

逸散性工业粉尘控制技术

J. A. 奥里蒙 G. A. 久兹等 编著

张良璧 刘敬严 编译

潘南鹏 校

中国环境科学出版社

1989

译者的话

本书由美国俄亥俄州环境保护局和污染工程分公司(PEDCO)编著。它对排放逸散性工业粉尘的30种工业部门,提供了排放和控制措施的资料。具体内容包括:工业工艺概述;逸散性尘源鉴别;逸散性粉尘排放因子;颗粒特性和潜在有害影响;可用的控制技术、效率和费用以及每类源合理、可用控制措施的选择。

原书在费用计算方面篇幅较多,考虑到价格计算等不完全适合我国情况和避免同一计算方法的多处重复,译文中仅作典型介绍。此外,在工业工艺概述方面均有不同程度的删减,以尽量提高译本的适用性。

本书共三十章,其中第一章、第三章、第十二章、第十六章为刘敬严同志编译,其余部分为张良璧同志编译。全部校稿由潘南鹏同志完成。

引 言

逸散性粉尘(fugitive dust),系指工业(除烟囱管道排放的烟尘外)或露天逸散性尘源排入大气的颗粒物。其粒径范围,视排放源的特性而异,但多在 $75\mu\text{m}$ 以下(粒径小于 $75\mu\text{m}$ 的颗粒,易悬浮于大气中)。

据美国环境保护局有关资料介绍,1976年由逸散性尘源排放的颗粒物为58000万t,而由烟囱管道排放的颗粒物仅为1500万t。事实证明这些逸散性尘源对环境大气质量造成了实质上的影响。因此,美国环境保护局正在组织有关部门研究控制的方法。

一般说来,按美国联邦空气清洁法和要求各州提出的补充计划,明确提出和特别涉及点源的控制,并依靠减少点源排放量的措施作为达到国家总悬浮颗粒物质量标准的手段。逸散性粉尘排放量的控制仅粗略地写在这些计划内,一般以改进公害管理条例的形式出现。

但许多城市在达到规定的大气颗粒物质量标准方面的普遍失败,导致了对城市颗粒物问题的性质进行重新审查。早期各州补充计划中颗粒物控制的发展战略,基本上包括了对一般点源和面源的责任分担率的分析,而未更多地考虑其它不大普遍的颗粒物排放源,如工业过程中的逸散性排放、物料搬运、贮料堆、未铺砌道路和停车场等。由于逸散性粉尘排放量对环境大气中悬浮颗粒物的明显潜在影响,美国俄亥俄州环保局承担了制订“主要工业逸散尘源合理、可用控制措施(RACM)选择指南”的任务。

这份指南的目的是提出有潜在逸散尘问题的工业部门以及减轻这类污染可选用的控制措施资料。为实现这一目的，指南列出了30种工业部门的详细资料，其中包括工业的一般工艺概述、逸散性尘源的鉴别、可用的逸散尘排放因子、颗粒特性及其潜在有害影响、可用控制技术和有效性与费用以及对每类排放源合理、可用控制措施的选择。

工艺概述是对每类潜在逸散性尘源的生产操作的一般说明。这些源的可用排放因子及因子的可信度等级也一并列出。可信度等级是一种象征，它代表了产生因子的数据质量和数量。下面是采用的等级系列。

A——优秀——由大量试验、工艺数据和工程分析工作确定的因子；

B——中上——由多次试验、中等的工艺数据和工程分析工作确定的因子；

C——中等——由多次试验确定的因子；

D——中下——由有限的试验数据和工程判断确定的因子；

E——较差——由最好的工程判断（目测、相似源的排放试验等）确定的因子。

为了增进对逸散性粉尘潜在影响的了解，列出了逸散颗粒的组成、粒径范围、潜在环境和（或）健康影响方面的数据。

对每类鉴别的逸散性尘源，都陈述了可用的控制措施。也包括措施的有效性和费用方面的数据。本书中的费用，已调整为1980年的美元价格。列出的费用系作为价值大小的参考，而不应作为特定点的准确费用。

RA C M 被选作可用控制技术的范例。这种选择是基于技术可行性、经济合理性和费用有效性。选择过程是靠判

断，对翻新改造的应用更应强调判断，控制特性有高度的工厂特定性并能使其它控制技术成为RACM。本书对各种工艺过程提供了选择RACM的指南，但这并不意味着，在特定点的分析中排除对其它控制措施的考虑。

目 录

| | |
|---------------------------|---------------|
| 引言 | (ix) |
| 第一章 一般逸散尘排放源 | (1) |
| 一、工厂道路和停车场 | (1) |
| (一)源的概述 | (1) |
| (二)逸散尘排放因子..... | (4) |
| (三)逸散尘排放特性..... | (7) |
| (四)控制方法 | (8) |
| 二、粒料储堆 | (14) |
| (一)源的概述 | (14) |
| (二)逸散尘排放因子..... | (15) |
| (三)颗粒特性 | (20) |
| (四)控制方法 | (21) |
| 三、物料的装卸运输 | (26) |
| (一)源的概述 | (26) |
| (二)逸散尘排放因子..... | (27) |
| (三)颗粒特性 | (28) |
| (四)控制方法 | (29) |
| 四、矿物的开采 | (33) |
| (一)源的概述 | (33) |
| (二)逸散尘排放因子..... | (35) |
| (三)颗粒特性 | (42) |
| (四)控制方法 | (42) |
| 第二章 钢铁厂 | (48) |
| 一、焦炭生产 | (48) |

| | |
|-----------------------|--------------|
| (一)工艺概述 | (48) |
| (二)逸散尘排放因子 | (49) |
| (三)颗粒特性 | (51) |
| (四)控制方法 | (51) |
| (五)推荐的合理、可用控制措施 | (56) |
| (六)典型费用计算 | (57) |
| 二、铁的生产 | (62) |
| (一)工艺概述 | (62) |
| (二)逸散尘排放因子 | (64) |
| (三)颗粒特性 | (67) |
| (四)控制方法 | (68) |
| (五)推荐的合理、可用控制措施 | (70) |
| (六)典型费用计算 | (77) |
| 三、钢的生产 | (89) |
| (一)工艺概述 | (89) |
| (二)逸散尘排放因子 | (92) |
| (三)颗粒特性 | (94) |
| (四)控制方法 | (95) |
| (五)推荐的合理、可用控制措施 | (99) |
| (六)典型费用计算 | (102) |
| 第三章 石灰厂 | (106) |
| 一、工艺概述 | (106) |
| 二、逸散尘排放因子 | (109) |
| 三、颗粒特性 | (110) |
| 四、控制方法 | (111) |
| 五、推荐的合理、可用控制措施 | (114) |
| 六、典型费用计算 | (115) |
| 第四章 发电厂 | (120) |

| | |
|-------------------------|--------------|
| 一、工艺概述 | (120) |
| 二、逸散尘排放因子 | (122) |
| 三、颗粒特性 | (123) |
| 四、控制方法 | (123) |
| 五、推荐的合理、可用控制措施 | (124) |
| 六、典型费用计算 | (126) |
| 第五章 谷物贮仓 | (130) |
| 一、工艺概述 | (130) |
| 二、逸散尘排放因子 | (136) |
| 三、颗粒特性 | (137) |
| 四、控制方法 | (140) |
| 五、推荐的合理、可用控制措施 | (148) |
| 六、典型费用计算 | (151) |
| 第六章 乡村谷物仓库 | (153) |
| 一、工艺概述 | (153) |
| 二、逸散尘排放因子 | (156) |
| 三、颗粒特性 | (157) |
| 四、控制方法 | (158) |
| 五、推荐的合理、可用控制措施 | (160) |
| 六、典型费用计算 | (160) |
| 第七章 铸铁厂 | (161) |
| 一、工艺概述 | (161) |
| 二、逸散尘排放因子 | (167) |
| 三、颗粒特性 | (168) |
| 四、控制方法 | (170) |
| 五、推荐的合理、可用控制措施 | (173) |
| 六、典型费用计算 | (176) |
| 第八章 铸钢厂 | (178) |

| | |
|--------------------------|--------------|
| 一、工艺概述 | (178) |
| 二、逸散尘排放因子 | (180) |
| 三、推荐的合理、可用控制措施 | (181) |
| 四、典型费用计算 | (184) |
| 第九章 玻璃制造厂 | (185) |
| 一、工艺概述 | (185) |
| 二、逸散尘排放因子 | (189) |
| 三、颗粒特性 | (190) |
| 四、控制方法 | (190) |
| 五、推荐的合理、可用控制措施 | (192) |
| 六、典型费用计算 | (193) |
| 第十章 玻璃纤维制造厂 | (194) |
| 一、工艺概述 | (194) |
| 二、逸散尘排放因子 | (196) |
| 三、颗粒特性 | (197) |
| 四、控制方法 | (197) |
| 五、推荐的合理、可用控制措施 | (197) |
| 六、典型费用计算 | (198) |
| 第十一章 铝精炼厂 | (200) |
| 一、工艺概述 | (200) |
| 二、逸散尘排放因子 | (202) |
| 三、颗粒特性 | (202) |
| 四、控制方法 | (204) |
| 五、推荐的合理、可用控制措施 | (204) |
| 六、典型费用计算 | (207) |
| 第十二章 混合肥料厂 | (209) |
| 一、工艺概述 | (209) |
| 二、逸散尘排放因子 | (211) |

| | |
|----------------------------|--------------|
| 三、颗粒特性 | (212) |
| 四、控制方法 | (212) |
| 五、推荐的合理、可用控制措施 | (216) |
| 六、典型费用计算 | (216) |
| 第十三章 水泥厂 | (218) |
| 一、工艺概述 | (218) |
| 二、逸散尘排放因子 | (220) |
| 三、颗粒特性 | (222) |
| 四、控制方法 | (223) |
| 五、推荐的合理、可用控制措施 | (225) |
| 六、典型费用计算 | (229) |
| 第十四章 铁合金厂 | (231) |
| 一、工艺概述 | (231) |
| 二、逸散尘排放因子 | (234) |
| 三、颗粒特性 | (234) |
| 四、控制方法 | (235) |
| 五、推荐的合理、可用控制措施 | (237) |
| 六、典型费用计算 | (238) |
| 第十五章 废金属综合利用厂 | (240) |
| 一、工艺概述 | (240) |
| 二、逸散尘排放因子 | (241) |
| 三、颗粒特性 | (241) |
| 四、控制方法 | (241) |
| 五、推荐的合理、可用控制措施 | (243) |
| 第十六章 纸浆和造纸厂 | (247) |
| 一、工艺概述 | (247) |
| 二、逸散尘排放因子 | (248) |
| 三、颗粒特性 | (249) |

| | |
|-----------------------------|--------------|
| 四、控制方法和推荐的合理、可用控制措施 | (249) |
| 第十七章 木材加工厂 | (250) |
| 一、工艺概述 | (250) |
| 二、逸散尘排放因子 | (254) |
| 三、颗粒特性 | (255) |
| 四、控制方法 | (256) |
| 五、推荐的合理、可用控制措施 | (258) |
| 六、典型费用计算 | (260) |
| 第十八章 粒料加工厂 | (262) |
| 一、工艺概述 | (262) |
| 二、逸散尘排放因子 | (275) |
| 三、颗粒特性 | (278) |
| 四、控制方法 | (279) |
| 五、推荐的合理、可用控制措施 | (284) |
| 六、典型费用计算 | (288) |
| 第十九章 煤加工厂 | (289) |
| (一) 工艺概述 | (289) |
| (二) 逸散尘排放因子 | (307) |
| (三) 颗粒特性 | (308) |
| (四) 控制方法 | (309) |
| (五) 推荐的合理、可用控制措施 | (310) |
| (六) 典型费用计算 | (313) |
| 第二十章 砖和粘土产品制造厂 | (314) |
| (一) 工艺概述 | (314) |
| (二) 逸散尘排放因子 | (318) |
| (三) 颗粒特性 | (319) |
| (四) 控制方法 | (319) |
| (五) 推荐的合理、可用控制措施 | (320) |

| | |
|-----------------------------|--------------|
| 六、典型费用计算 | (321) |
| 第二十一章 沥青混凝土厂 | (322) |
| 一、工艺概述 | (322) |
| 二、逸散尘排放因子 | (326) |
| 三、颗粒特性 | (327) |
| 四、控制方法 | (328) |
| 五、推荐的合理、可用控制措施 | (328) |
| 第二十二章 混凝土分批搅拌厂 | (330) |
| 一、工艺概述 | (330) |
| 二、逸散尘排放因子 | (332) |
| 三、颗粒特性 | (332) |
| 四、控制方法 | (333) |
| 五、推荐的合理、可用控制措施 | (339) |
| 六、典型费用计算 | (342) |
| 第二十三章 喷砂厂 | (343) |
| 一、工艺概述 | (343) |
| 二、逸散尘排放因子 | (346) |
| 三、颗粒特性 | (346) |
| 四、控制方法 | (348) |
| 五、推荐的合理、可用控制措施 | (349) |
| 六、典型费用计算 | (351) |
| 第二十四章 石油炼制厂 | (352) |
| 第二十五章 农用化肥制造厂 | (353) |
| 一、工艺概述 | (353) |
| 二、逸散尘排放因子 | (355) |
| 三、颗粒特性 | (356) |
| 四、控制方法 | (357) |
| 五、推荐的合理、可用控制措施 | (357) |

| | |
|----------------------------|--------------|
| 六、典型费用计算 | (358) |
| 第二十六章 汽油库和加油站 | (359) |
| 第二十七章 碳黑厂 | (363) |
| 一、工艺概述 | (363) |
| 二、逸散尘排放因子 | (364) |
| 三、颗粒特性 | (366) |
| 四、控制方法 | (366) |
| 五、推荐的合理、可用控制措施 | (367) |
| 第二十八章 城市垃圾焚烧厂 | (369) |
| 一、工艺概述 | (369) |
| 二、逸散尘排放因子 | (372) |
| 三、颗粒特性 | (372) |
| 四、控制方法 | (376) |
| 五、推荐的合理、可用控制措施 | (378) |
| 第二十九章 盐加工厂 | (380) |
| 一、工艺概述 | (380) |
| 二、逸散尘排放因子 | (382) |
| 三、颗粒特性 | (382) |
| 四、控制方法 | (382) |
| 五、推荐的合理、可用控制措施 | (386) |
| 第三十章 镀锌厂 | (389) |
| 一、工艺概述 | (389) |
| 二、逸散尘排放因子 | (392) |
| 三、颗粒特性 | (392) |
| 四、控制方法 | (394) |
| 五、推荐的合理、可用控制措施 | (395) |
| 六、典型费用计算 | (396) |
| 参考文献 | (397) |

第一章 一般逸散尘排放源

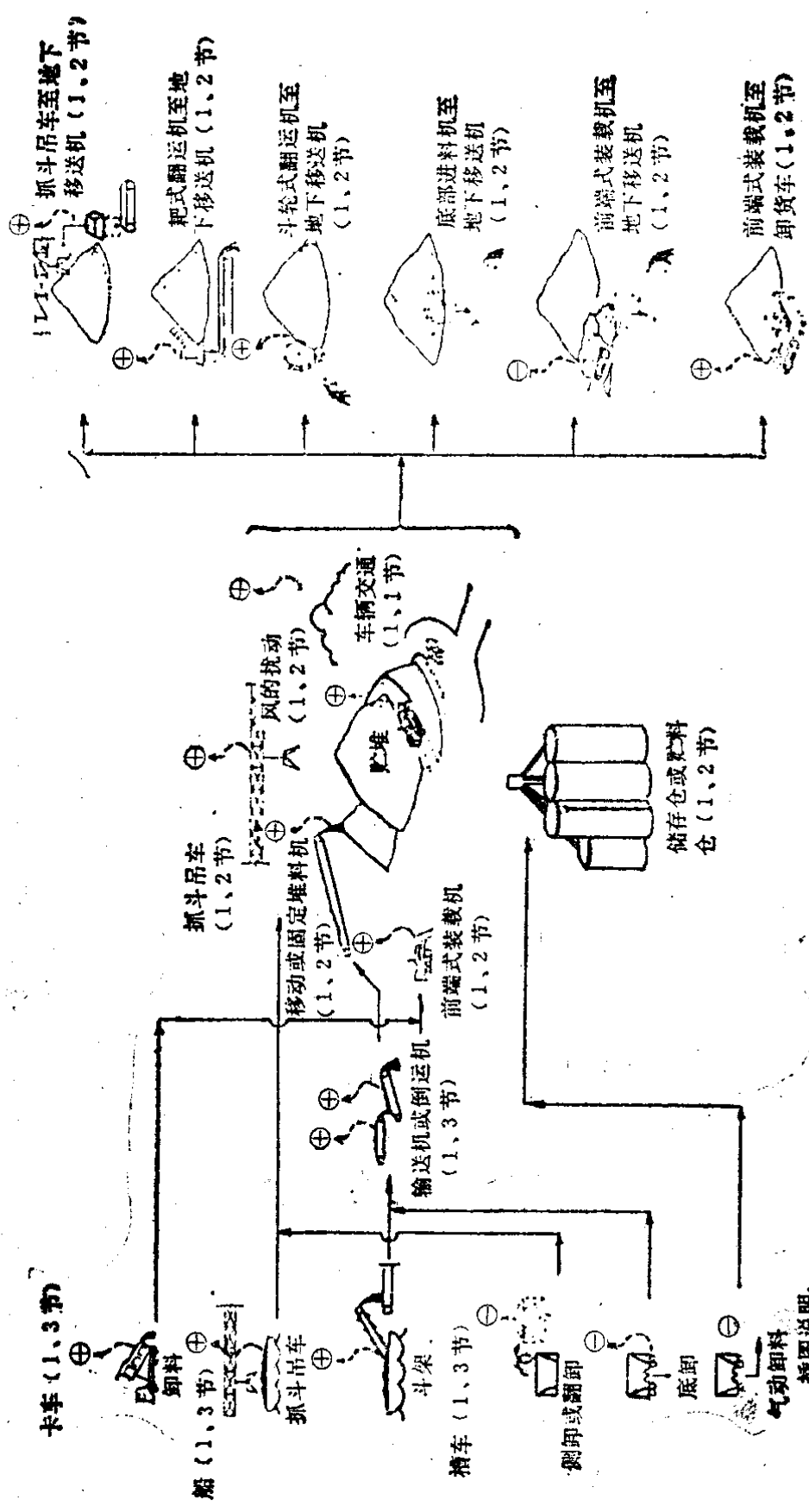
一般逸散尘源系指许多工业部门共有的那些尘源。这些尘源包括：(1)工厂道路和停车场；(2)粒料贮堆；(3)物料装卸；(4)矿物开采。为了避免重复，本书将其归纳在一起，并分别列为单独章节。

在某一工业内，逸散尘源的地点和位置有很大的差别。输送作业就是说明这种差异性的一个例子。运输机可以设置在生产过程的许多环节：原料的卸料、由贮堆设施进行的运输以及生产过程内部的物料搬动。由于放置地点的很大差别，不可能对这些尘源提出一个典型的流程图。但是，为了使读者对每个工业的一般逸散尘源可能的种类与地点有一个感性认识，本书提供了两种假想的工业装置。图1-1是具有三种逸散尘源的未指定工业的假想流程图。这些逸散尘源为：(1)工厂停车场和道路；(2)粒料贮堆；(3)物料装卸作业。图1-2是代表采矿作业的另一假想流程图。此图说明的是矿物开采所共有的逸散尘源。

一、工厂道路和停车场

(一)源的概述

位于工厂内的道路和停车场可能是逸散尘的重要来源。某一道路或停车场表面产生逸散尘的潜在能力取决于交通容量和道路表面的性质。这种路面可分成铺砌的（水泥或沥



插图说明:

- ⊕ 表示已得出的排放因子, 参考各节所述
- ⊖ 表示这些操作尚无可用的排放因子
- ⊙ 表示逸散尘源

图 1-1 假想工业装置中一般逸散尘源的种类和地点

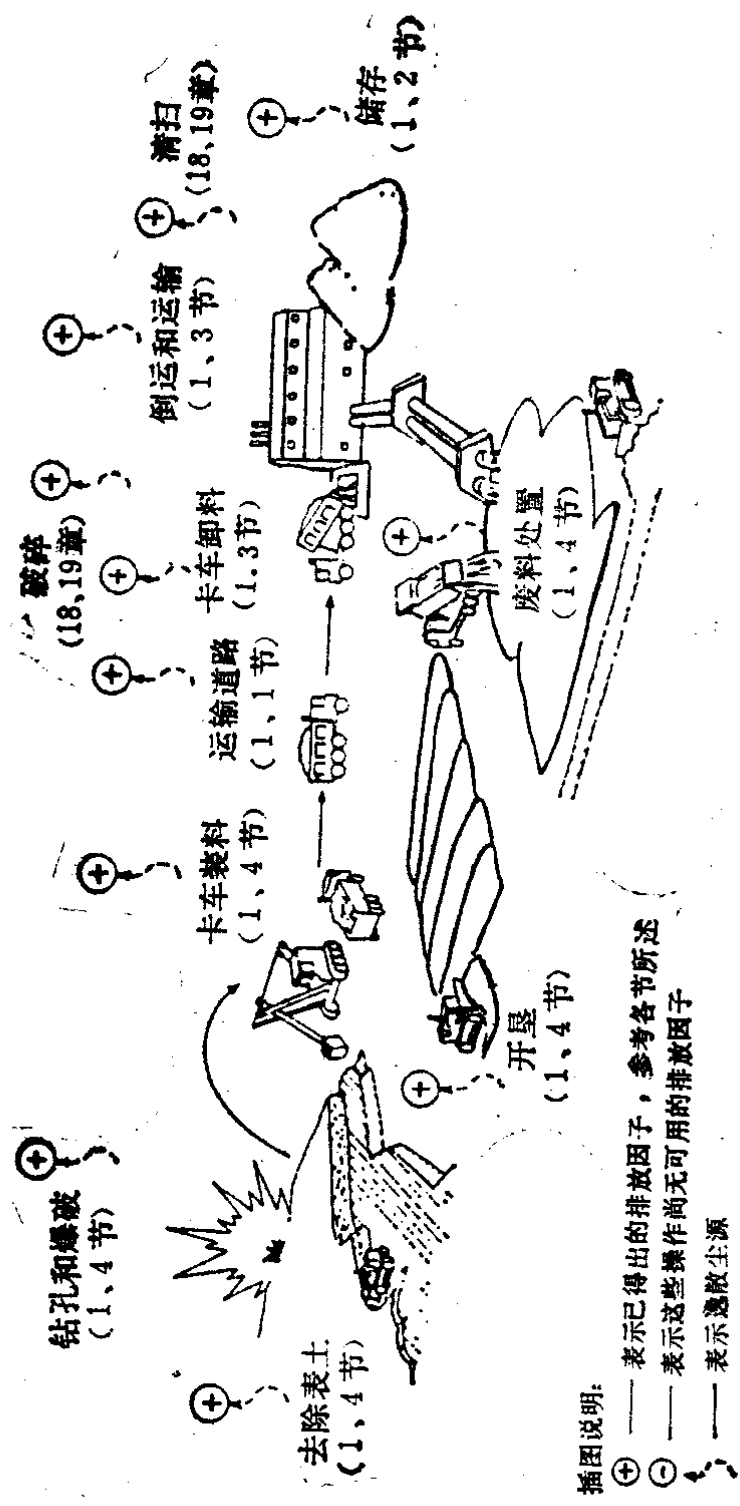


图1-2 假想采矿作业中一般逸散尘源的种类和地点

青)或未铺砌的(砾石或泥土)。

铺砌道路表面所产生的尘,是由车辆活动搅动了道路的“表面荷载物”,并使它们变成空气携带物。表面荷载物量被定义为在铺砌路面上存在的可以变成悬浮物的外来物的数量。在铺砌路面的表面荷载物量由下面这些成分构成:(1)车辆带入的沉积泥浆和污泥;(2)来往车辆倾卸物或洒落物;(3)铺砌路面的磨蚀物;(4)邻近地区土地的径流物或冲刷物;(5)大气沉降物;(6)生物碎片;(7)轮胎和刹车带磨蚀物;(8)汽车尾气排放物;(9)碎屑;(10)为抑制水冻而使用的物料。

与铺砌路面相反,由未铺砌或未作处理路面产生的尘源大多来自路基材料,而不是任何“表面荷载物”。

无论是铺砌或未铺砌路面,实际上逸散尘的悬浮是由路面上的车辆交通所造成的。路基材料和路面荷载物都是被车胎机械地碾碎的,并且随车辆移动形成的空气湍流带入环境空气中。除汽车携带外,较少量的尘土也可由于风搅动路面荷载物而产生悬浮。

在一些事例中,未铺砌的道路路肩,可能是逸散尘的另外来源。当路面狭窄并且不适当地设置路缘石栏时,这种情况就会出现。道路上来往的车辆可能多次偏离路面而走上路肩,因而产生大量额外的尘土。

(二)逸散尘排放因子

铺砌和未铺砌路面的排放因子已由公路上现场测试数据得出。但对于工厂专用的道路和停车场尚无可用的数据,故将公路的排放因子加以修正用于此处。

铺砌和未铺砌路面的排放因子直接与来往车辆里程数有关。

美国环保局对铺砌道路带尘埃提供的平均排放因子为 3.48g/km。这个值包括车胎磨蚀和尾气排放量(0.33g/km)和夹带逸散尘(3.15g/km)。虽然这个平均值也可以使用,但由于它是基于轻负载、四轮汽车的条件,故可能不能代表工业和商业道路的车辆情况。

通过对平均排放因子的组分的修正,得出了车辆特定的排放因子。

下列方程式给出了来往于铺砌路面的车辆的特定排放因子计算方法:

$$EF = P\{(E) + 0.12(T/4) + 3.15(T/4)\} \dots\dots(1.1)$$

式中 EF ——排放因子, g/km (车辆行程);

P ——来自铺砌路面并保持悬浮状态的颗粒物(直径小于 $30\mu\text{m}$)的分数, 0.90;

E ——来源于汽车尾气的颗粒物;

0.12——代表四轮车辆的车胎磨蚀量, g/km (车辆行程);

3.15——代表四轮车辆夹带尘量, g/km (车辆行程);

T ——车辆的轮胎数。

在铺砌路面上,平均和特定车辆的排放因子现列于表1-1。由于工厂内运输车辆类型差异很大,所以本表对10轮、12轮和18轮的重载汽油和柴油车辆列出了专门的排放因子。

未铺砌路面的逸散尘可使用美国环保局公布的下列公式求得:

$$EF = 0.454(P)(0.81)(s)(S/18.6)\{[(365 - \bar{W})/365]\} \times (T/4) \dots\dots (1.2)$$

式中 EF ——排放因子, kg/km (车辆里程);

P ——保持悬浮状态的颗粒物(直径小于 $30\mu\text{m}$)所

占的分数，砾石路基为0.62；泥土路基为0.32；

●——路基物质含粉砂的百分数，大约平均为12%（范围值为5~15%）；

S ——车辆平均速度，km/h；

W ——日降雨0.25mm或以上的天数；

T ——平均每辆车的轮胎数。

表1-1 铺砌路面来往车辆的排放因子(g/km)

| 车辆类型 | 尾气(E) | 轮胎 ^b 磨蚀 | 夹带尘 | 初始排 ^d 放因子 | 最终排 ^e 放因子 |
|----------------|-------|--------------------|-------|----------------------|----------------------|
| 平均状况 | 0.33 | | 3.15 | 3.48 | 3.11 |
| 轻载汽油车 (4轮) | 0.21 | 0.12 | 3.15 | 3.48 | 3.11 |
| 重载汽油车 (10轮) | 0.57 | 0.31 | 7.88 | 8.76 | 7.89 |
| 重载柴油车 (12轮) | 0.81 | 0.37 | 9.45 | 10.63 | 9.57 |
| 重载柴油车 (18轮) | 0.81 | 0.56 | 14.18 | 15.54 | 13.98 |

注：a. 尾气的排放量随燃料和车型而定。

b. 轮胎磨蚀量是基于四轮车辆的0.12g/km（车辆行程），对车轮数大于4者可向上调整。

c. 夹带尘量按正比于轮胎数计算。当考虑大轮胎的车辆时，如矿山拖运卡车、轮式拖拉机、载货车或推土机，表中对轮胎磨蚀和夹带尘两列数据应另乘2.5。

d. 初始排放因子是尾气、轮胎磨蚀和夹带尘的总和。

e. 最终排放因子等于初始排放因子乘以0.9。

0.9是颗粒物将保持悬浮状态的分数。

当使用大轮胎车辆时，公式(1.2)应再乘2.5。这个系数被认为是一般车辆和大轮胎车辆的轮胎面宽度的差异系数。这个系数(2.5)也可用来估算大多数轮式结构的运输

装备夹带尘的排放量，这些装备是轮式拖拉机、装载机或推土机和矿山运输卡车。

迄今尚未得出路肩逸散尘的排放因子或排放因子公式，这些排放在文献中还未受到足够的重视。如果认为这类源的逸散尘问题重要的话，则建议用未铺砌路面排放因子来估算泥土或砾石路肩的排放量。

(三)逸散尘排放特性

道路尘的化学或矿物组成直接取决于铺砌路面沉积物质的种类，或未铺砌路面用作路基材料的类型。

颗粒的粒径分布——工厂道路和停车场逸散尘的粒径范围取决于路面的类型。表1-2列出两类路面逸散尘的粒径分布。

表1-2 两类路面逸散尘的典型粒径分布

| 粒径范围 | 铺砌路面 | 未铺砌路面 | |
|-------------------------|------|-------|----|
| | | 砾石 | 泥土 |
| $< 5 \mu\text{m}$ | 50 | 23 | 8 |
| $5 \sim 30 \mu\text{m}$ | 40 | 39 | 24 |
| $> 30 \mu\text{m}$ | 10 | 38 | 68 |

密度和组成——铺砌和未铺砌路面逸散尘的密度和组成，受构筑路面或路基的材料类别和路面沉积物质的种类的影响，其密度和组成变化很大。

对健康的影响——从可能影响人体健康考虑，逸散性颗粒物可分为有毒的、产生肺尘病的或一般有害的三种。

逸散尘的有毒成分将随路面材料类别和来往车辆而变化。道路上表面荷载物的可能有毒成分是铅、石棉和燃料燃

烧的产物（这里不包括车辆拖运时散落在路面上的任何有毒物）。有机和无机铅污染物来源于含铅基抗爆成分汽油的燃烧。虽然吸入汽车尾气的铅化合物不会引起急性铅中毒，但长期曝露在汽车的尾气中，也会产生慢性铅中毒。

现已证实，由汽车尾气和夹带尘可直接断定铅对环境的影响。因此，由于在工厂交通容量低并使用了柴油及其它低含铅量的燃料，故可认为工厂路面夹带尘的铅含量是微不足道的。

至今还没有把刹车衬料磨蚀的石棉和车辆的燃烧产物作为道路逸散尘对健康影响的流行病学研究课题。对由工厂引起的逸散尘中存在的铅、石棉和燃烧产物，因缺乏具体定量资料，故不能从对健康影响的观点予以论述。

肺尘病是普遍与吸入尘有关的一种疾病。肺尘病的定义是“肺中的尘”，但是，现代的更实用的定义表明“肺尘病是沉积于肺中的尘及肺组织与尘所起的反应”。只是这样的物质如石棉和硅，在逸散尘中的存在达到足够高的浓度时，肺尘病的潜在危害才会出现。但现在还没有关于在道路尘中这些物质定量的文献。

道路逸散尘的最实际的影响，是它具有有害作用。所谓有害，是因为肺内的颗粒物会引起人体衰弱。但这种有害尘的影响，通常是可以消失的，也不能认为它是有毒的。所以，称它们为刺激剂更为确切，特别是对患有肺部症状如气喘病或肺气肿的人更是这样。

(四)控制方法

对工厂道路或停车场，减少逸散尘有许多有效的控制方法。这些控制措施按道路路面的类型（铺砌或未铺砌）列出。铺砌路面的控制措施有清扫（扫除或抽吸）、冲洗、一

般管理措施及减低车速方案。未铺砌路面的控制措施是包括使用化学稳定剂（抑尘剂）、道路烧油、对路面的物理改进（包括铺砌路面）和减低车速。

控制铺砌路面产生的逸散尘的技术、效率与费用——清扫和冲洗铺砌路面是减少其逸散尘的主要控制措施。累积的表面荷载物，可采用清除或冲洗，也可用二者混用的办法来除去。良好的管理是限制路面颗粒物不断积累的经常性地预防措施。清扫控制措施的真实效益尚不清楚，扫除器实际上可以产生更多的细微悬浮尘，甚至超过它们清除的尘埃。

但是，当两周使用一次扫帚扫除器时，控制效率估计为70%。为工业道路而设计采用的扫帚扫除器，其投资费用拖车型为5000美元，自身推动型（包括水喷雾系统）为15000美元，每年运行费用估计为22000美元。对真空扫除器的控制效率估计为75%，其投资费用是27000美元，每年运行费约为25000美元。

用水冲洗铺砌路面，减少了可夹带尘的数量。水冲洗比扫除更为有效，这是人们所公认的。但当冲洗铺砌路面毗邻的未铺砌路肩时，可能会增加新的泥迹。这种新增的泥迹，有可能成为排放逸散尘的重要来源。

每周进行一次水冲洗，估计约有80%的控制效率。11.4m³容量的冲洗车，其投资为13000美元（不包括卡车底盘），估计每年运行费为22000美元。

良好的管理工作，这仅是一种自身控制措施，必须更直接地与清除技术（如冲洗）结合使用。管理措施包括：（1）尽快清除车辆洒落物，（2）卡车车斗加盖以防止风的吹逸；（3）清洗卡车轮胎和底盘下方以减少携带物。其控制效率和费用无估计值。

这些措施的效率和费用列于表1-3中。

控制未铺砌路面和路肩产生的逸散尘的技术、效率和费用——对未铺砌的工厂路面(包括路肩和停车场)逸散尘控制的可用措施是通过使用尘抑制剂的化学稳定法、道路浇油、路面改进和车辆减速。

使用多种化学稳定剂能实现未铺砌路面逸散尘的抑制。为此目的而使用的化学品是润湿剂,或是凝固剂,将它们用水稀释并喷洒在未铺砌路面上。只有当化学稳定剂成为连续使用计划的组成部分,并按道路情况采用相应的频次时,化学稳定剂才能实现有效的利用。这项措施的控制效率估计为90~95%。投资费用估计为3730~9320美元/km(道路)(约1200m²)。年运行费用为3110~7460美元/km(道路)。

道路浇油的基建费用估算取决于三个因素:(1)被处理的道路面积总量;(2)路段的结构;(3)废油的可用程度。第一,道路面积,它明显地与作业的费用有关,处理的面积越大,需要的时间和材料越多,其结果是费用越高。第二,路段的结构,是指具有很多转弯和拐角的路段,车辆行驶需要多次的制动和启动,因而浪费汽油,增加了费用。第三因素,废油的可用程度,它取决于原油支付的价格;尽管当前出现了石油问题,但废油价格并不像其它石油产品同样地增加。在俄亥俄州三个大城市路段确定的承包费用估计值列于表1-4。

道路浇油承包商使用的两类废油为曲轴箱油(汽车修理厂或加油站的废油)和工业油(工业过程的废油)。二者相比,更愿使用曲轴箱油,因为它含有较少量的污染物(化学品和水溶性物质),因此具有较广泛的用途。当对未铺砌道路浇油时,应考虑对邻近植物的生存和景观可能有影响这一因素。另外的问题是它明显地增加了地面径流量。大面积的

表1-3 未铺砌路面逸散尘的控制技术、效率和费用
(1980年价格)

| 控制方法 | 估计的控制效率 (%) | 基建投资费用 (美元) | 年运行费用 (美元) |
|---------------------|-------------|-------------------------|------------------------------|
| 铺砌路面 | | | |
| ○扫除 | | | |
| —扫帚 | 70 | 5000~15000 ^a | 22000/a |
| —抽吸 | 75 | 27000 | 25000/a |
| ○冲洗 | | | |
| —水洗 | 80 | 13000 ^b | 22000/a |
| 未铺砌路面 | | | |
| ○化学稳定法 ^c | 90~95 | 3730~9320/km | 3110~7460/km ^{d, e} |
| ○道路浇油 | 75 | 746~1550/km | (每月浇油一次) |
| ○洒水 | 50 | 12000 | 2480/km ^{e, f} |
| ○路面改造 | | | |
| —石料 | 30 | 无可用数据 | 无可用数据 |
| —油和双层石屑 | 80 | 6830/km | 1550~3100/km ^{e, g} |
| —铺砌 | 90 | 21100~37900/km | (每五年重铺路面一次) |
| ○减速 ^h | | | |
| —48km/h | 25 | 无可用数据 | 无可用数据 |
| —32km/h | 65 | 无可用数据 | 无可用数据 |
| —24km/h | 80 | 无可用数据 | 无可用数据 |

注: a. 低值是拖车式清扫机, 高值是自身推进式。

b. 此值代表洒水车容量为11.4m³的费用 (不包括车底盘费用)。

c. 用于未铺砌道路和路肩。

d. 使用化学剂的频次未具体规定。

e. 这一平均值是根据一个工厂具有10km的未铺砌道路, 由四个钢铁厂的未铺砌道路里程测定而得出的。

f. 代表每天两次洒水的费用。

g. 根据一年一次重铺路面的费用。

h. 假设未控制的车速为64km/h。

表1-4 未铺砌道路浇油的费用估计值(1980价格)

| 大城市路段 | 油 价 (美元/L) | 用 油 量 (L/10 ³ m ²) | 费用估计值 (美元/10 ³ m ²) |
|-------|---------------|--|---|
| 辛辛那提 | 0.055 | 2040 | 112 |
| 克利夫兰 | 0.082 | 1510 | 124 |
| 哥 伦 布 | 0.074 | 1960 | 145 |

浇油可能需要特别的预防措施,以处理过量的水。估计道路浇油的控制效率为75%。1km未铺砌道路(大约8000m²)基建(承包)费用为746~1120美元,有的甚至高达1550美元。

对未铺砌路面的另一种尘抑制法是洒水。虽然常常认为这种方法比化学处理耗费少,但事实上这种方法有许多不足之处,也可能耗费更大。最明显的不利之处有:(1)需要连续洒水,(2)在干旱气候条件下效率下降,(3)增加携带到邻近铺砌路面的泥浆,(4)在寒冷的冬季应用受到限制。对这项措施的估计控制效率约为50%。洒水的基建费用为12000美元(洒水装备和卡车的费用),每日洒水两次,每年每公里的费用大约为2500美元。

改进路面也能用来控制未铺砌路面的逸散尘。改进路面的措施包括:(1)用低粉砂的粒料覆盖路面,(2)油和双层石屑铺面,(3)铺筑路面。

用粒料覆盖未铺砌道路,可以设想粒料(石灰石,河床砾石等)比泥土路基含有更低的粉砂,因此减少了可被夹带的细末。这种技术的控制效率是非常低的,大约为30%。这类表面覆盖法,要求连续地加强道路的维修,以维持30%的有效率。这种技术的基建投资和每年运行的费用无数据可以利用。

第二种改进路面的方法,是用油和双层石屑铺面,它能达到比粒料铺面更高的控制程度和更少的维护费用。这种技

术的控制效率为80%，每公里（8000m²）的基建投资费用为6840美元。年费用将取决于需要多长时间重铺一次路面，假设每隔2~4年重铺一次路面，其费用为1550~3110美元/年。

控制未铺砌路面逸散尘的第三种方法是铺筑路面。在路面改进技术中这一方法的控制效率最高，大约为90%。用沥青混凝土铺筑路面，其基建费用每公里为21100~37900美元，该费用取决于路基所要求的类型。这种道路一般间隔五年必须重铺路面。

降低车速，同样可作为减少未铺砌路面逸散尘的控制措施。这种方法有一定吸引力，因其基建投资和运行费用可能很低（无实际的费用估计值供采用）。但降低车速就需要增加卡车和驾驶员数量才能保持原有的运输能力。同时，强制性地限制车速，往往难以持久。降低车速的有效控制效率是随着车速的减少而增大。假设按未控制的车速65km/h为计算基础；则车速限制为48km/h时，将有25%的控制效率；限速为32km/h时，效率为65%；限速为24km/h时，效率为80%。

对铺砌和未铺道路减少逸散尘的控制效率和费用的概况已列在表1~3中。

该表不包含车辆类型和工厂与工厂之间道路里程的差异所发生的有效控制费用数据。由于不同工厂之间和工业之间有着不同的问题，这有碍于合理可用控制措施(RACM*)的选择。虽然，根据典型状况来选择RACM，但需说明在异常的经济或合乎逻辑的情况下，也可有不同的选择。对铺砌道路，推荐的控制措施是水冲路面，并辅以良好的管理计

* RACM为Reasonably Available Control Measure的缩写。

划，以减少洒落物和携带污物和淤泥。这些计划包括的措施是：卡车加罩，随即清除洒落物，绕道其它可通行的地方以避免未铺砌路段，同时，必须用水冲洗车轮。

对未铺砌路段，推荐的控制技术是使用化学稳定法或浇油与降低车速相结合的方法。在厂区内若有大量的未铺砌路段，交通运输频繁，长期使用，则铺筑道路（浇油和双层石屑路面或沥青混凝土路面）可能是经济合理的。这必须根据不同情况来判断。

控制措施的效益——对工厂道路和停车场逸散尘的控制，并未给我们提供明显的经济效益。但这种控制实际上有几种隐形的效益，它们可使工业费用得到节省。在本节介绍的每一控制措施的基本主题，都是使工业车辆行驶在保持良好的路面上。路面的改进预期能减少车辆的磨损。抑制逸散尘可增加驾驶员的能见度，并减少车辆的清洗和维护时间。在很多情况下，工厂位于居住区附近，控制道路和停车场的逸散尘将会增加一种美的感受。

二、粒料储堆

（一）源的概述

粒料储堆是指临时性地在露天处成堆地堆放粒料（通常为矿物）。储堆通常是不遮盖的，允许储放物料暴露于风雨中。储堆不遮盖，是因为需将储存物料频繁地转移去加工生产所致。

有粒料的堆储周期中，有几种情况都能发生尘的排放：

（1）在物料进场上堆时，（2）在储堆受风扰动时，（3）储放场区有车辆移动时，（4）在物料卸堆送出（清除）

时。

(二)逸散尘排放因子

上述四种活动都能导致粒料储堆产生逸散尘。而它们相对分担的百分率，则取决于储存物料的种类和储存使用的方法。对粒料储堆逸散尘排放因子的计算可按两种方式处理：

(1) 使用普遍的总排放因子公式，(2) 使用一组四种活动各自特有的公式。

普遍的总排放因子公式

预期粗略估计粒料储堆的逸散尘排放值，根据贮存物料的吨数可使用公式(1.3)确定。

$$EF = 0.165(PE/100)^2 \quad (1.3)$$

式中 EF = 排放因子，kg/t (储料)；

PE = Thornthwaite的降雨-蒸发指数。

公式(1.3)是代表具有直径小于 $30\mu\text{m}$ 的逸散颗粒物的排放量。确定该粒径，是根据用标准大容量采样器捕集密度为 $2.0\sim 2.5\text{g}/\text{cm}^3$ 粒料尘的有效切割直径。用此公式计算出的排放值，只是表示那些可能长期保持悬浮态的颗粒物。关于这一公式的推导或估计准确度，均无详细资料参考。

公式(1.3)含有一个校正系数即 PE 指数或Thornthwaite降雨-蒸发指数，它说明了整个美国气候的变化。 PE 指数是特定地区地面湿度特性的平均近似值。图1-3中列出了俄亥俄州和临近地区的 PE 指数值。

表1-5是按公式(1.3)划分成四种活动排放源，并按其各自分担的比率来表示总排放因子。这种由活动产生排放量的分担率，是一般粒料储堆的代表性数据，但也可能随任一具体活动种类或储存物料而变动。

表1-5 粒料储堆活动时总逸散排放速率的分担率

| 活 动 | 近似的分担率 (%) |
|----------|------------|
| 送物料上堆 | 12 |
| 储料的风扰和风蚀 | 33 |
| 卸物料下堆 | 15 |
| 车辆移动 | 40 |
| 总排放速率 | 100 |

注：每一种活动的排放分担量是根据碎石、砂和砾石储堆现场测试的悬浮尘排放量，并假设三个月为一储存周期。

特有的排放因子公式

与粒料储存周期有关的四种主要活动的逸散尘特有排放因子公式都是合用的，这些公式适合于特有的装备和储存的物料，因此，当应用于其它情况时，则应加小心。储存周期第一阶段（送料上堆）的排放量是以堆料运输机（连续堆料）或前端式装载机（批量堆料）为例。周期第二阶段（风扰动料堆）的排放量是使用风蚀公式来例证。第三阶段的排放量是按储堆周围车辆交通情况使用的公式为例。最后阶段（卸料下堆）的排放量是以前端式装载机将堆上粒料转运至货车为例。

堆料运输机运行（连续堆料）时的排放量由公式（1.4）确定。用三个变量（储料的粉砂含量、水分、运行时出现的平均风速）来修正基础排放速率。

$$EF_{\text{连续}} = 0.0004 \frac{(S/5)(U/5)}{(M/2)^2} \dots\dots\dots (1.4)$$

- 式中 EF ——送料上堆连续作业的排放因子, kg/t(堆料);
 S ——储料的粉砂含量, 重量% (见表1-6);
 M ——储料含水分, 重量% (见表1-6);

\bar{U} ——平均风速，m/s（见表1-7）。

前端式装载机在运行中（批量堆料）的排放量由公式（1.5）确定。用四个变量（粉砂含量、平均风速、物料水分和装载机的有效容量）来修正基础排放速率。

表1-6 不同储料的粉砂、水分和储存期参数

| 储料 | 粉砂含量 (重量%) | 水分 (重量%) | 储存期 (天) |
|-----|---------------|-------------|------------|
| 煤 | 4 | 6 | 107 |
| 焦炭 | 1 | 1 | 50 |
| 铁矿石 | 11 | 1 | 43 |
| 石灰石 | 2 | 2 | 76 |
| 砂 | 10 | — | — |
| 烧结矿 | 1.5 | 1 | 90 |
| 炉渣 | 2 | 1 | 60 |
| 表土 | 40 | — | — |

表1-7 俄亥俄州有关城市30年的平均风速

| 城市名称 | 平均风速 (m/s) |
|-------------------|------------|
| 阿克伦 (Akron) | 4.43 |
| 辛辛那提 (Cincinnati) | 4.07 |
| 克利夫兰 (Cleveland) | 4.83 |
| 哥伦布 (Columbus) | 3.89 |
| 德顿 (Dayton) | 4.56 |
| 曼兹菲耳德 (Mansfield) | 4.92 |
| 托莱多 (Toledo) | 4.25 |
| 扬兹敦 (Youngstown) | 4.47 |

$$EF(\text{物料}) = 0.0005 \frac{(S/5)(\bar{U}/5)}{(M/2)^2(Y/6)} \dots\dots\dots (1.5)$$

式中：EF——排放因子，kg/t（批量上堆物料）；

S ——储料的粉砂含量，重量%；

M ——储料含水分，重量%；

\bar{U} ——平均风速，m/s（见表1-7）；

Y ——装载机的有效容量， m^3 。

装载机有效能力是前端式装载机加料上堆的工作斗的容量。确定平均风速可经过一段时间的测定（采用实际现场测量）或采用表1-7列出的数据。

由储堆受风蚀发生的逸散尘可用公式（1.6）确定。调整风蚀的基础排放速率有四个校正参数：储料粉砂含量、储存时间、旱日数（降雨量少于0.254mm）、风速超过5.36m/s的时间百分率。

$$EF = 0.025(S/1.5)(D/90)(d/235)(f/15) \dots \dots (1.6)$$

式中 EF ——排放因子，kg/t（储料）；

S ——储料的粉砂含量，重量%（见表1-6）；

D ——储存期，天（见表1-6）；

d ——每年旱日数；

f ——风速超过5.36m/s的时间百分率。

风速超过5.36m/s的时间百分率最好是在储料堆现场实际监测获取。

在储堆周围车辆交通引起的逸散尘排放，可使用第一章第一节未铺砌道路的排放公式。因此，按在储堆周围活动特性计算车辆交通排放的方法列于下式：

$$EF = 0.05K(S/1.5)(d/235) \dots \dots \dots (1.7)$$

式中 EF ——排放因子，kg/t（物料经过的储存周期）

K ——活动因子，无量纲（见表1-8）；

S ——储料的粉砂含量，重量%；

d ——每年的旱日数。

活动因子（ K ）与采用的装载（或拖运）装备类型和各

种物料装满程度有关，活动因子是无量纲数。表1-8列出了K值。

表1-8 车辆活动因子

| 物 料 | 范 围 值 | 平 均 值 |
|------------------|----------|-------|
| 煤 | 0.0~0.25 | 0.08 |
| 焦 炭 | 0.0~1.0 | 0.25 |
| 砾 石 ^a | 0.25 | — |
| 铁矿石 ^b | 0.0~0.25 | 0.06 |
| 石灰石 ^c | 0.25 | — |
| 砂 ^d | 1.0 | — |
| 烧 结 矿 | 0.0 | — |
| 炉 渣 | 1.0 | — |
| 表 土 | — | — |

注：a. 大石块；

b. 块状和团状矿石的值，0.25为团状矿石值；

c. 白云石；

d. 砂和砾石

最后一种逸散尘是物料卸堆时的排放，它是储堆周期的一具体部分。用前端式装载机从储堆卸料至卡车的基础排放速率由四个校正参数调整：储料的粉砂含量、储料水分、平均风速和装载机有效容量。

用前端式装载机从储堆卸料的排放因子按下式计算：

$$EF = 0.0005 \frac{(S/5)(\bar{U}/5)}{(M/2)^2(Y/6)} \dots\dots\dots(1.8)$$

式中 EF——排放因子，kg/t(运送物料)；

S——储料的粉砂含量，重量% (见表1-6)；

M——储料的水分，重量% (见表1-6)；

U——平均风速，m/s (见表1-7)；

\bar{Y} ——装载机有效容量， m^3 。

前端式装载机的有效容量是根据不同的使用目的而变化。用于装载砾石的一台典型的前端式装载机，其有效容量为 $2.3m^3$ 。

有关公式(1.4) ~ (1.8)的实际推导、准确度、应用限制范围等均无可用的详细资料，但它却提出了应用的普遍性，考虑该估计值应最多处在一个数量级内。

(三) 颗粒特性

颗粒的粒径、密度和组成

由粒料储堆逸散的气载尘的粒径变动不大，可以说它与被储物料的性质无多大关系。粒料储堆逸散尘的典型粒径范围列在表1-9中。新近的资料确实表明，虽然颗粒的粒径分布可能与被储物质完全无关，但储堆表面的状况（扰动或不扰动）可影响粒径的分布。对煤储堆的研究表明，不扰动煤堆表面生成小于 $30\mu m$ 颗粒的百分数（约9%）少于扰动表面的百分数（约21%）。

由粒料储堆逸散排放的颗粒的密度和组成则直接与被储物质有关。

表1-9 粒料储堆逸散尘的典型粒径范围

| 粒径范围 | 排放重量% |
|------------------|-------|
| $< 3\mu m$ | 30 |
| $3 \sim 30\mu m$ | 23 |
| $> 30\mu m$ | 47 |

粒料储堆逸散排放物的有害性或毒性

粒料储堆逸散排放物的有害性或毒性几乎完全取决于被

储物料的种类。如果预先不知道储存物料的问题，就不可能论述对健康危害的性质。本章第一节论述的是储堆周围已铺砌和未铺砌路面上因车辆活动所引起的逸散尘对健康的影响，但对于储堆的其它活动则需要对所储物料性质作具体的了解。

(四)控制方法

按活动作业的类型：堆料、风扰动、车辆交通和卸料。本节提出了减少露天储堆活动引起的逸散尘的可用控制方法。

控制储堆堆料所排放逸散尘的技术、效率和费用

减少堆料活动逸散尘的控制技术有：封闭、化学稳定和操作上的预防措施。封闭措施包括贮仓、石头阶梯、防风装置和伸缩溜槽。化学稳定措施包括洒水、应用尘抑制剂和硬结剂。最后一项控制技术关系到人们预防操作的习惯，例如降低前端式装载机翻斗的卸料降落高度，并使操作者重视控制逸散尘的必要性。

封闭——封闭技术包括储存处封闭（如贮料仓）和物料装卸封闭（如溜槽）。储存处（如贮料仓或仓库）的封闭，必需对物料运送进行特殊的设计。此外在建筑上还要考虑，诸如对积雪、风或降雨承受能力，都会影响某一贮料仓或封闭结构的设计。由于这种设计特点的程度不同，故对贮料仓或仓库建筑难以分出精确的效率等级或费用估计值。预期一座完善的贮仓建筑，当物料转运入仓时，应是最大程度地减少进料的排放量。

石头阶梯是永久性的设施，它有助于输导物料从堆料机运送上堆。石阶梯是在阶梯不同高度上装有开口的垂直管，当储料充入管内至开口处时，物料即在此位置开始流到堆上。这种装置与前端式装载机相比，估计控制效率约相当于

表1-10 适用于粒料堆上的化学稳定剂

| 稳定剂 | 稀释状况 | 应用比例 (dm^3 溶液/ 10^3m^2) | 费用(1980) (美元/ 10^3m^2) |
|----------------------------|--------|--|-------------------------------------|
| 有机聚合物 | | | |
| ○Jonsson-March SP-301 | 不稀释 | 407 | 177.6 |
| ○Apollo | | | |
| Pentron DC-3 | 10% 溶液 | 48.8 | 45.2 |
| Pentron DC-5 | 10% 溶液 | 48.8 | 48.4 |
| ○Houghton | | | |
| Rexosol 5411-B | 2% 溶液 | 122 | 91.5 |
| 石油树脂水乳浊液 | | | |
| ○Witco Chemical Coherex | 2% 溶液 | 815 | 52.7 |
| 胶乳类合成液体胶粘剂 | | | |
| ○Dowell M145化学粘合剂 | 4% 溶液 | 73.3 | 52.7 |

后者的80%，而基建投资约为24500美元。

防风装置与伸缩槽是紧密相关的。防风装置覆盖着堆料机的卸料端，它有助于减少风力造成的弥散作用。堆料机防风装置的估计控制效率（当与前端式装载机相比时）约为50%。基建费用为12000~61000美元。

伸缩溜槽包含一系列薄壁圆筒，它有助于输导物料从堆料机运送上堆。当料堆升高时，伸缩溜槽缩回，这种特征用于固定式或移动式堆料机都适合。使用伸缩槽的目的就是使物料的降落距离减小，伸缩槽的控制效率（与前端式装载机相比）估计约为75%。基建费用约为8500美元。

化学稳定——在堆料作业中，使用化学稳定的主要方式是洒水和应用润湿剂。在固定式或移动式堆料机的卸料端装有水或润湿剂的喷雾系统。带有喷雾系统的固定式或移动式

堆料机与使用前端式装载机相比，其控制效率根据不同的源估计为75%，可高达80~90%。装备的基建投资约13500美元。这一数字不包括每年的运行费用而仅只使用水作为化学稳定剂。若使用化学润湿剂、硬结剂或抑尘剂，则会产生较高的费用，根据使用剂量每平方米表面的费用介于5.4~16.1美元之间。常用化学剂的费用现汇总于表1-10。

表1-11 粒料储堆逸散尘排放的控制技术、效率和费用总表
(1980年价格)

| 排放源和控制技术 | 估计的控制效率 (%) | 基建费用 (美元) | 年运行费用 (美元) |
|-------------------|-------------|-------------------|---|
| 堆料 | | | |
| ○封闭 | | | |
| 一贮料仓 | — | (见风扰动) | 无资料可用 |
| 一石头阶梯 | 80 | 24500 | 无资料可用 |
| 一防风装置 | 50 | 12000~61000 | 无资料可用 |
| 一伸缩溜槽 | 75 | 8500 | 无资料可用 |
| ○化学稳定 | 75至(80~90) | 13500 | 45.2~178/10 ³ m ² |
| ○操作上的预防措施 | 0~25 | 无资料可用 | 无资料可用 |
| 风扰动 | | | |
| ○封闭 | | | |
| 一贮料仓 | 95~100 | 每吨储料75 | 无资料可用 |
| 一防风林 | 30 | 每棵树45—425 | 无资料可用 |
| ○化学稳定 | 80~99 | 13500 | 45.2~178/10 ³ m ² |
| ○操作上的预防措施 | 30 | 无资料可用 | 无资料可用 |
| 车辆交通 | | | |
| 卸堆 | | (见第一章第一节工厂道路和停车场) | |
| ○卸料运输系统 | 80~85 | 2~6(100万) | 无资料可用 |
| 尘的抑制(包括斗式卸料系统和喷雾) | 95 | 75000 | 无资料可用 |

操作上的预防措施——当物料从前端式装载机或高度可调的堆料机降落时，在操作中采取预防措施可减少其所生成的逸散尘量。操作者利用设备的性能降低储料跌落的距离，这有助于减少逸散尘的排放量。一台“可调高度”的堆料机，只要操作恰当，即可获得高于前端式装载机25%的控制效率。文献中并没有论述前端式装载机减少降落距离而取得控制效率情况。现将储堆堆料作业的控制技术和效率汇总并列于表1-11中。

控制粒料储堆由风力扰动所致逸散尘的技术、效率和费用

减少风扰动储堆逸散尘的控制技术包括建筑物的封闭、使用化学稳定剂或在某些场合采取预防维护措施。减少风扰动而采用的封闭设施，包括贮料仓和防风屏障。化学稳定技术有洒水和使用表面结壳剂。预防措施包括保持尽可能低的储堆高度。

封闭——采用全部封闭（即贮料仓）或部分封闭（即风障），都能防止储堆直接的风蚀和分散作用。贮料仓并不是经常用来控制逸散尘的，而建设它的目的通常是为了特种物料的保存。现举一实例，在一大贮料仓内储煤，则有效地消除了风生成的排放量的95~100%。

建设贮料仓的费用是随不同物料而变化，建议每吨物料的建设投资约为75美元。诸如种树、灌木或其它植物或人工构筑物之类的风障，其估计控制效率为30%。这些设施费用有很大差异，如植物风障，一单行植树的防风林，其费用范围是由一林带宽为2.4m的45美元至林带宽7.6m的425美元。

化学稳定——利用一种物质以稳定粒料储堆表面的作用，通称为“表面稳定作用”。这个过程是通过使用化学结壳剂，将疏松的表面物质粘结成为坚固的不被风蚀的硬壳。

水（带或不带有润湿剂）也可用来保持表面水分并使小颗粒粘附成较大的粒团。为了湿润储堆表面，必需建造水塔、洒水器和管道系统。这种装置的基建费用估计约13500美元，喷洒费用的估计可由表1-10确定。水的喷洒系统的控制效率约为80%，而用化学剂的可达到99%。

预防措施——由于风速一般是随距地面高度的增加而增大，故降低储堆高度是有利的。较低的堆高会产生较低的表面风速，从而减少了风蚀。保持低的储堆不可能直接引起任何费用改变。对这种技术的控制效率估计为30%。

控制储堆周围车辆交通生成的逸散尘的技术、效率和费用

连接粒料储堆或靠近储堆的未铺砌道路与其它未铺砌工厂道路控制逸散尘的技术要求，并无不同之处。读者可参阅本章第一节工厂道路和停车场有关未铺砌工厂路面控制逸散尘的论述。

控制储堆由出料产生逸散尘的技术、效率和费用

减少出料作业逸散尘的控制技术包括使用出料系统和尘抑制剂。

储堆物料の出料，可用前端式装载机或出料系统来完成，出料系统则是靠地下运输机和耙式或斗式装备来完成。出料系统的这两种装备，使出料操作生成的逸散尘减少至最低排放量（与前端式装载机比较）。

耙式取料机沿储堆的表面移动，直取物料送向地下运输系统。斗式出料系统装有一斗轮铲，它与储堆表面相垂直并沿堆移动。铲斗在储堆表面将物料移送至运输机上。出料系统也可处于被动状态，即使物料仅靠重力作用落入储堆下方的运输机上。

耙式出料系统的控制效率（与前端式装载机比较）为

85%，而重力喂料式和斗式出料系统则为80%。根据出料系统所选择的系统类型和设计要求的的能力不同，其费用将有很大的差异。移动式堆料机和出料系统的基建费用是在2~6百万美元之间。

尘的抑制和化学稳定的机理在性质上是相似的。这种技术，是在前端式装载机翻动物料前，即对储堆进行洒水或采用化学润湿剂。这一技术，可在储堆表面进行简单的喷洒，或正当储堆表面物料在扰动时使用一种特殊的喷洒系统以喷湿物料。关于在物料扰动(由前端装载机或出料系统引起的)前润湿储堆表面的控制效率尚未有文献报导。实际效率想必是较低的。斗轮式出料机(装有喷洒系统)的控制效率(与无喷洒的前端式装载机相比)估计为95%，与一台移动的斗轮式出料机联合使用的喷洒系统的估计费用最少是75000美元。没有年运行费用估计值可用。

储堆的合理、可用控制措施(RACM)的选择，必须以现场的具体情况 and 所贮物料为依据。应靠评价逸散尘排放的严重程度和不同控制措施的费用来决定选择具体场合的RACM。对各类物料的储存业务，在本书后部分即工业特性的章节中已作出了RACM的选择。

三、物料的装卸运输

(一) 源的概述

物料的装卸运输是介绍从收料点(卡车站、船码头设施和铁路卸料口)搬运未加工的原料到工厂储料场(粒料储堆或贮料仓)或直接到加工工序；或工序之间的物料转运和将产品运入贮仓或装船。而实际的物料装卸运输就是卸料、转

运和运输作业三者的联合。这三种作业对所有加工工业实际上都是共同的。这些作业示意图表示在图1-3中。这张图描述了一个假想工业装置物料装卸运输每一作业的相对位置。



图1-3 典型物料装卸运输作业

本节中所述的卸料作业是随卸料车辆（卡车、船舶或铁路货车）运输方式而不同。经常与物料装卸运输有关的卸料作业类型有：自动卸货卡车；抓斗起重机和斗架（从船上卸料）；侧卸式、翻卸式，底卸式以及气动式车辆（铁路货车卸料）。

物料的转运和运输则靠皮带输送机、螺旋输送机、斗式提升机、振动输送机和气动装置。沿着物料装卸运输系统的进料、转运和卸料点，都会出现逸散尘或实际的物料损失。文献表明，大多数物料损失是由于装卸运输系统封闭不完善，以致造成物料的散落和风蚀。

（二）逸散尘排放因子

物料装卸过程发生的逸散尘排放量取决于卸料和转运所使用的方法以及被装卸物料的种类。在多数情况中，物料装卸的可用排放因子是基于工程判断或有限的现场测量。表1-12列出卸料的可用排放因子。表1-13列出物料运输和转运的排放因子。若需采用的物料因子本表未列出，则尽可能选用性质相近的表列物料因子。

表1-12 卸料的排放因子

| 运载工具 | 卸料方法 | 被卸物料 | 无控制的排放因子 | |
|------|-------|-------|----------|-------|
| | | | kg/t(卸料) | 可信度等级 |
| 卡 车 | 自动卸料 | 粒 料 | 0.01 | D |
| | | 石块和砾石 | 0.02 | E |
| | | 花 岗 石 | 0.0001 | E |
| | | 谷 物 | 1~4 | D |
| | | | 0.32 | B |
| 船 舶 | 抓斗起重机 | 谷 物 | 1.5~4 | D |
| 铁 路 | 斗 架 | — | — | |
| | 侧 倾 式 | — | — | |
| | 翻 卸 式 | — | — | |
| | 底 卸 式 | 铁燧岩小球 | 0.015 | E |
| | | 煤 | 0.2 | E |
| | | 谷 物 | 1.5~4 | D |
| | | 0.65 | B | |
| | 气 动 式 | — | — | |

(三) 颗粒特性

颗粒的粒径、密度和组成——物料装卸作业发生的逸散尘的颗粒粒径可认为不随储存粒料种类而变化。由于被运输物料的表面状况(结壳与聚集或细粉与未聚集)是影响逸散尘排放物最终粒径的分布,因此可以假设,尘的粒径分布是与某些被装卸物料的种类无关(见表1-9)。

由物料装卸活动逸散的排放物的密度和组成是直接与所装卸物料的种类有关。

物料装卸活动产生的逸散尘的有害性或毒性——物料装卸活动逸散排放的有害性或毒性几乎完全取决于被装卸物料的种类。具体工业物料的有害性可从参考文献中找到。

表1-13 物料运输和转运的排放因子

| 物料装卸作业 | 被装卸的物料 | 无控制的排放因子 | |
|--------|--------|--------------|-------|
| | | kg/t (装卸料) | 可信度等级 |
| 运输和转运 | 煤 | 0.02~0.48 | E |
| | | 0.01 | D |
| | | 0.01 | E |
| | 焦炭 | 0.0115~0.065 | D |
| | | 1.0~2.0 | E |
| | 谷物 | 0.055~0.70 | B |
| | | 可忽略不计 | E |
| | 花岗石 | 1.0 | E |
| | 铁矿石 | 0.023 | E |
| | 铅矿石 | 1.32~2.5 | E |
| 砂 | 0.15 | E | |
| 仅有转运 | 煤(散落) | 0.4 | E |

数据的可用性——回顾已有的文献，物料装卸系统中卸料或运输粒料的粒径分布仅有两项例子（见表1-9），其它装卸作业逸散的排放物中保持悬浮状态的颗粒，还需要作确切地了解。只有少数的运输和转运排放因子表明，物料大部分的大块散落物是可能变成长期悬浮物的。

(四) 控制方法

减少物料装卸活动逸散尘的可用控制方法是随释放尘的位置（如卸料点、运输过程或转运点）而变化。本节中将按产生尘的各类点讨论其控制方法，效率和费用。

控制卸料活动产生的逸散尘的技术、效率和费用——通过下述方法可将卸料活动逸散尘减至最少：（1）卸料装置的全部或部分封闭，并经袋式过滤系统去除颗粒物；（2）无袋

式过滤系统的封闭，(3)用水或化学剂的喷洒系统。

无论是封闭法或是喷洒系统技术，都可实现卡车卸料活动逸散尘的控制。卡车卸料点控制方法的实践应用，主要是取决于工业或所卸物料使用的方法，当采用封闭卸料点和排气通入控制装置以除去颗粒物时，可实现减少卡车卸料活动逸散尘的90~95%。用水喷洒系统可达到50%的控制效率。对这些喷洒系统的费用估计值尚无可用数据。

通过对铁路货车卸料站的封闭，并用袋式过滤器收集尘也能控制逸散尘的排放。这种控制方法能有效地减少逸散尘99%。估计这类系统的基建费用约为120000美元。没有每年运行费用的可用数据。根据铁路货车装载物料的类别，对其卸料活动产生的逸散尘也可使用喷雾系统加以控制。这种措施产生80%的有效控制率，其每年费用为37000美元。使用化学稳定剂可改进这种控制措施的效率。但喷雾系统要加添化学剂，因而要增加运行费用。

控制运输和转运活动产生的逸散尘的技术、效率和费用
——运输和转运作业逸散尘的控制，可通过与卸料使用的相同方法来实现。运输或转运产生的排放物通过封闭或喷洒系统也可减至最少。运输系统的封闭可以是部分封闭(顶部)或全部封闭。部分封闭系统的控制效率被评定为70%，其基建费用为141美元/m运输带。全封闭运输系统并使用尘收集系统，例如袋式过滤器，能使控制效率增至99%，其基建费用为325美元/m运输带。这两种控制措施的年运行费用无可用数据。

沿着运输作业路线设置的转运点都是逸散尘的重要源。对这些源的控制也可用封闭和(或)喷雾系统来实现。转运点的全封闭能有效地减少逸散尘70%，其基建费用为3700美元。对封闭的转运点增设袋式过滤器将使效率升高至99%左

右。增设装置使基建费用增至22000美元。喷雾系统（粒料在此受到化学剂的雾滴作用）还有一额外的好处，即被适当处理过的粒料，将在贯穿整个物料装卸系统中都能有效地抑制尘。在转运点上，喷雾系统控制效率估计在70~95%之间。对一单级转运点增设喷雾系统的基建费用约为18000美元，估计多级系统的费用为245000美元（根据工厂年运输200万吨粒料计）。单级转运点的年运行费用介于0.022~0.055美元/t运输物料之间。PEDCo环境公司按图1-6所示的系统估计投资费用约为70000美元，年费用为23700美元。

物料、运输和转运作业控制措施的情况，现汇总在表1-14中。

当然，物料装卸运输作业的合理可用控制措施（RACM）必须是按具体地点和具体物料选定。在大多数情况下，物料的特性不容许增加含湿度、水分或费用合理而控制效率良好的化学剂。因此，对有些物料的特性或规范需要防潮湿，则应采用封闭法和排气至纤维过滤袋来控制排放。为了弄清排放的严重程度和控制方法的相对经济性，必须再作逐个情况的评定。本书的“特定工业”章节中将列出具体物料和作业的RACM选择的详细情况。

控制措施的效益——物料装卸运输作业，通常是指一种“有价值”的矿产品在某一工业布局范围内从一处到另一处的移动。由于工业获得这些物料已付出一些费用，因此物料的部分散失将构成昂贵的浪费。在某些情况中，如谷物提升机，安装收集装置的费用都可由回收谷物的凭价进行部分的补偿。与收集装置有关的附带好处，即是这种形式还可用于许多其它工业。

表1-14 卸料、运输和转运作业逸散尘的控制技术、效率和费用（1980年）

| 控制方法 | 估计控制效率(%) | 基建费用(美元) | 年费用(美元) |
|---------------------|--------------------|---------------------------|------------------------|
| 卸料 | | | |
| 卡车 | | | |
| 封闭, 全封闭并附纤维过滤袋 | 95 | 76000 | 17000 |
| 部分封闭并附纤维过滤袋 | 90 | 50000 | 12500 |
| 喷水系统 | 50 | — | — |
| 船舶 | | | |
| 封闭的斗式提升机, 并排气至纤维过滤袋 | 95 | 51600 | 11600 |
| 铁路货车 | | | |
| 封闭, 全封闭并附纤维过滤袋 | 99 ^a | 120000 | — |
| 全封闭无纤维过滤袋 | 70 | — | — |
| 喷化学剂系统 | 80 | 37000 | — |
| 运输 | | | |
| 部分封闭(顶盖) | 70 ^b | 141/m | — |
| 全部封闭 | 99 ^c | 282/m | — |
| 转运 | | | |
| 封闭 | 70~99 ^d | 4000~22000 | — |
| 喷化学剂系统 | 70~95 | 18000~245000 ^e | 0.02—0.05 ^f |

注: a. 封闭并配有99%高效袋式过滤器。

b. “防风雨”系统; 无逸散尘收集系统。

c. 有逸散尘收集系统。

d. 低值, 仅有封闭。高值, 则包括袋式过滤器。

e. 低值代表单级转运站的控制费用。高值代表大型多级转运站系统的总费用。

f. 用于单级转运站的年费用, 按处理每吨物料计。

四、矿物的开采

采矿作业生成大量的逸散尘。除了选矿过程的排放外，还有和这些活动有关的逸散尘排放。逸散尘源是随开采的方法（露天开采、地下开采、螺钻和螺钻剥离）而变动，开采方法又取决于要开采的矿石类型。

(一) 源的概述

已被认为产生逸散尘的11种采矿作业，现列在表1-15中。其中有6种逸散尘源在本书的其它章节中介绍，五种源在本节中讨论。这五种具体的采矿逸散尘源是：(1)覆盖层的除去；(2)钻孔和爆破；(3)公路外的卡车装料；(4)废弃物处置；(5)回填。下面介绍这些采矿作业的一般性质，现场具体的操作也可能与这些介绍情况有差别。

表1-15 矿物开采工业逸散尘的评论

| | | | | | | |
|-----------|--------|---------|--------|--------|--------|---------|
| 源的概述 | 覆盖层的除去 | 钻孔和爆破 | 卡车装料 | 运输道路 | 卡车卸料 | 破碎 |
| 有关尘源资料的章节 | 第一章第四节 | 第一章第四节 | 第一章第四节 | 第一章第一节 | 第一章第三节 | 第十八、十九章 |
| 源的概述 | 转移和运输 | 清理 | 储存 | 废弃物处置 | 回填 | |
| 有关尘源资料的章节 | 第一章第三节 | 第十八、十九章 | 第一章第二节 | 第一章第四节 | 第一章第四节 | |

覆盖层的除去——除去覆盖层的作业是包括除去覆压在矿床上面物料的一切活动，这类作业包括清除地表的植被、表土、下层土和其它不需要的地层。这就是露天采矿作业中

的剥离和挖坑操作。

在美国，实际有三种剥离的采矿方法：地区法、等高法和螺钻法。地区法剥离采矿是在平坦地带使用，挖沟设备从正在采掘的土地上剥离掉覆盖层，并使其放入前期已剥离遗留的沟内。这仅仅有最初剥离作业产生的覆盖土需要处置或堆存。图1-4示出了用地区采矿法除去覆盖层。

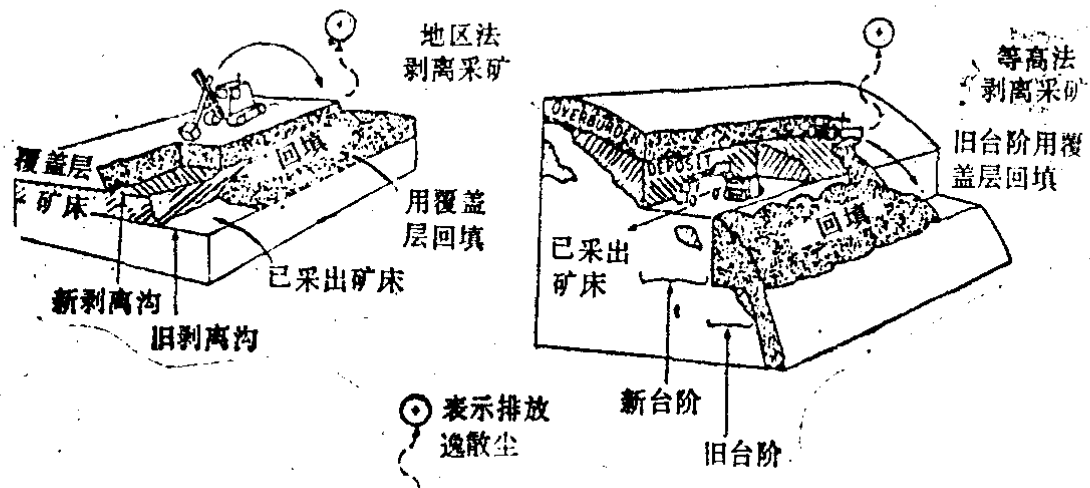


图1-4 地区法和等高法剥离采矿除去覆盖层的作业

第二种剥离法即等高法开采，是在土地坡度大于 15° 时采用。等高法是沿山坡边挖掘，形成一水平平台或“台阶”。将台阶上正在挖掘出来的覆盖土放入（或回填）早期挖掘过的地区。这种作业（台阶挖掘、采矿、回填）连续地沿斜坡而上，直至所需采掘的矿床都被采出。只是最初剥离产生的覆盖土需要堆存或处置，这一过量的覆盖土必须转移到平坦地区堆存，若留存在斜坡上则会增加滑坡的危险。图1-4绘出了用等高法采矿除去覆盖层的情况。

第三种剥离方法即螺钻采矿，使用大型钻机从水平矿床取矿。这种技术常与等高法剥离采矿法结合应用，在等高法采矿改变山坡为一系列台阶后，然后在每个台阶上螺钻采出曝露的矿层。其覆盖土的处置与等高法采矿相同。

地表采矿的第四种类型即露天开采，其所需除去的覆盖

层是十分有限(一次性)的。覆盖物通常被除去并输送至远离开采点的存放地区,直至回填活动开始为止。开采露天矿除去覆盖层的作业是一项很少发生的活动。

爆破作业——进行钻孔和爆破是为了破碎坚固和结实的物质,使之更容易和更有效地搬动。爆破作业是露天矿开采或挖掘的常规部分,但仅在其需要的情况下才进行。爆破活动通常是限制在隔离和暂时停工的矿区进行,一天爆破一次。这是为了使对其它采矿活动的干扰减少至最小程度。

卡车装料作业——在一些矿点上,将地表开采出的矿料或覆盖物装上非公路运输的卡车。虽然经常采用输送带系统来代替卡车,但采矿作业还是很经常地使用倾卸式卡车来搬运煤、石、砾石和粘土。卡车装料通常是用履带式铲挖机或前端装载机。

废弃物处置作业——在采矿和选矿过程中会产生大量的废料,由采矿作业出来的废弃物有低级矿、风化煤、不能销售的岩石、尾矿和矿泥。废弃物与开采的矿石有相同的性质,可当作回填物处置。但在大部分情况中,废弃物的处置作业与覆盖物的处置不同,废弃物是不用作回填物的。

土地回填——在采矿场,地表的开采会引起土地的巨大改变。有效的回填应包括预先安排好回填的程序,并将回填作为每日采矿作业同时进行的一部分。一个有效的程序,也应使覆盖层内的地层分离成不同性质的土层。表土、下层土和底层土应分别存放,以促使合理地回填土地。这样分层回填后的矿区土地还可再种植物。

(二)逸散尘排放因子

每个矿山开采都会产生逸散尘,且具有超过一个以上的尘源。下面按产生逸散尘的具体源列出其排放因子。

除去覆盖层作业中的逸散尘排放因子——与除去覆盖层有关的两个主要尘源是：(1)用牵引斗或铲将覆盖物倾入地沟，(2)用刮土机和推土机清除和转运土壤。其具体采样测定尚未完成，仅有一些源排放因子的估计值，现列在表1-16中。在采矿场，除去覆盖层已被证明为最大的逸散尘源。但对实际所产生尘量的了解仍有困难。

从有关文献得出的结论认为，除去覆盖层的排尘量是随覆盖物的组成、结构、水分而变化。其排放因子也是随使用的挖运设备类型和挖掘操作而变化。虽然，许多采矿场的具体变量都会影响该排放因子，但对任何矿场来说，覆盖层移动的量与因子的关系更为密切。

表1-16 除去覆盖层作业中的逸散尘排放因子

| 除去覆盖层的方法 | 逸散尘排放因子 | | 可信度等级 |
|------------------------------|-----------------|-----------------------------|-------|
| | 无 控 制 | 有 控 制 | |
| 地区法剥离 (来确定设备类型) ^a | 0.001kg/t(采煤) | | D |
| 地区法剥离 (用刮土机) ^b | 0.002kg/t(覆盖层) | | E |
| 地区法剥离 (用牵引铲挖机) ^b | 0.025kg/t(覆盖层) | | E |
| 地区法剥离 (用牵引铲挖机) ^c | 0.0365kg/t(覆盖层) | | E |
| 等高法剥离 ^a | 0.0315kg/t(采煤) | | D |
| 未指定剥离方法 ^d | 0.13kg/t(采煤) | 0.0045kg/t(采煤) ^e | E |

注：a. 美国的平均排放因子。

b. 美国北达科他州褐煤露天矿。

c. 代表美国科罗拉多、怀俄明、蒙大拿和北达科他四个州的西部煤矿的联合排放因子。

d. 美国西南部的采矿数据。

e. 控制措施为水喷雾系统，减少逸散尘95%。

钻孔和爆破作业中的逸散尘排放因子——通过各种采矿作业的采样检验，对钻孔作业排放的逸散尘量已作出了定量。根据花岗岩采石场的试样结果，发现每采石1t，排放0.004kg逸散尘。在两个西部煤矿钻孔作业的试样结果，显示出排放因子为：煤层每钻一孔排放逸散尘0.1kg；覆盖层每钻一孔排放0.7kg。

要估计爆破作业排放的逸散尘是一个艰难的过程。因为爆破的性质，它阻碍了监测装备和工作人员接近尘源，大量的通常非悬浮性物质飞扬，阻止了对尘量的准确目测；被爆破推入空中的大量物质，它保持悬浮状态不会超过几秒钟。

列于表1-17中的排放估计值，它代表了爆破作业中数值的广泛变动性。虽然爆破作业是矿场颗粒物的主要尘源，但由于爆破是间歇进行的，按实际次数加权所起的作用可能是十分小的。

表1-17 钻孔和爆破作业中的逸散尘排放因子

| 作 业 | 无控制的悬浮颗粒排放速率 | 可信度等级 |
|----------------------|---------------------------|-------|
| 覆盖层爆破 ^a | 26.5kg/次 (爆破) | E |
| 矿床爆破, 煤 ^a | 22.6kg/次 (爆破) | E |
| 其它 ^b | 0.0005~0.08kg/t (开采矿石或石料) | E |
| 钻孔, 花岗岩 | 0.004kg/t (开采石料) | E |
| 煤 | 0.1kg/个 (煤层钻孔) | E |
| | 0.7kg/个 (覆盖层钻孔) | E |

注: a. 由四个美国西部煤矿场测定值确定的。

b. 低值代表美国西部铜矿的爆破值; 高值代表花岗岩采石场爆破值。

卡车装料作业中的逸散尘排放因子——由铲斗将矿石卸入待运的牵引车中而产生的逸散尘，单纯这种源的排尘量估

计值的变动范围是很广泛的，这种变动可归因于被装运的矿石含有不同的水分和细粉量。也可假设，这种尘的排放速率是按照装料设备的类型和采矿场的气候条件而变动的。表1-18列出了采矿场卡车装料作业的可用逸散尘排放因子。

表1-18 卡车装料作业的逸散尘排放因子

| 卡车装货作业 | 无控制的排放速率 [kg/t (装料)] | 可信度等级 |
|---------------------|-------------------------|-------|
| 碎石(前端式装载机) | 0.025 | E |
| 褐煤(机铲) ^a | 0.01 | E |
| 煤(机铲) ^b | 0.025 | E |
| 煤(机铲) ^c | 0.05 | E |
| 煤(机铲) ^d | 0.02 | E |
| 花岗岩(未指定) | 可忽略不计 | E |

注：a. 美国北部达科他州褐煤采矿场数据。

b. 美国罗拉多州煤矿数据。

c. 未指定采矿场。

d. 美国罗拉多州采煤作业。

废弃物处置产生的逸散尘排放因子——处置废弃物的有关活动是不同于其它采矿作业的活动，但用其它采矿活动相同的步骤可估出这些源产生的逸散尘量。例如，废弃物运输到卸料点的卡车装料，其产生的尘排放量是与矿石运输到选矿场的卡车装料相似。处置废弃物有关的尘源有：卡车装料（见第四节矿物的开采，卡车装料作业的逸散尘排放因子）、未铺砌道路上的物料运输（见第一节，工厂道路和停车场）和牵引车卸料（见第三节，物料的装卸运输）。在前面章节废弃物处置中尚未指出而需要关注的逸散尘源，它们是与那些矿场车路护道和滤水垫层的土木建筑有关，这些尘源的排放量在表1-19中用大型土方建设工程的排放因子来确定。

表1-19 废弃物处置场周围大型土方建筑工程的逸散尘排放

| 作 业 | 无控制的排放因子 | 可信度等级 |
|----------|--|-------|
| 大型土方建设工程 | 0.009kg/(m ² ·d) ^a | D |

注：a. 代表被建筑土地每平方米每日的排放因子，该值是按中等活动水平确定的值，在土壤含泥浆30%及半干燥气候条件下进行。

回填活动中的逸散尘排放因子——当进行连续回填时，拉索挖铲机和刮土机搬动土壤会产生大量的逸散尘，这些排放已包括在除去覆盖层作业的排放部分中。如果将表土先存放后再搬动回填，或使用小型拉索挖铲机或推土机在回填表土层之前先平整废石场，则这些活动的排放量可用除去覆盖层的同一排放因子进行估计。

其它与回填作业有关的排放是由于未回填或部分已回填土地的风蚀。为了估算清理过的土地或无保护植被的表土的风蚀尘量，在近期的几项研究中使用了美国农业部的风蚀计算公式。这一风蚀公式原用于耕作土地上土壤风蚀的估计，但也能用于裸露的土地上，并一直用来预测风蚀土尘总量中的悬浮颗粒部分。

$$EF = \alpha IKCL'V' \dots\dots\dots (1.9)$$

式中：EF——排放因子，t/(km²·a)；

α——总风蚀量中按悬浮颗粒物计量的损失部分；

I——土壤风蚀度，t/(km²·a)；

K——地面粗糙系数；

C——气候系数；

L'——无遮蔽田野的宽阔度系数；

V'——植被系数。

K、C、L'和V'全都是无量纲系数。

近期一些工作表明,变量“ a ”和“ I ”与土壤类型有关,总结在表1-20中的“ a ”和“ I ”值,可以在露天采矿及随后的平整回填中应用。

表1-20 风蚀公式的变量

| 地面土壤类型 | a | $I, t/(km^2 \cdot a)$ (无控制的) |
|--------|-------|------------------------------|
| 岩石、砾石 | 0.025 | 8470 |
| 砂质土壤 | 0.010 | 29900 |
| 细粉状土壤 | 0.041 | 11600 |
| 粘性土壤 | 0.025 | 10500 |

K 值可变动在0.5~1.0之间; 0.5值是表示有深沟和壅埂的(为了防止风蚀筑的)粗糙地面, 1.0值是表示平滑受蚀地面的 K 值。如果已平整过的废石场, 地面不被挖过或变粗糙, 则应在风蚀公式中使用 $K=1.0$ 。

在美国农业部管辖的大部分地区已确定了用于公式(1.9)中的气候系数(C)如图1-51所示(图中值应乘以0.01)。对裸露地区宽度大于610m者, 田野阔度(L)将不再影响排放速率, 即 $L'=1.0$ 。对较小的不规则地形的回填地区, 田野宽度仅约305m, 则 L' 值约为0.7。因为新近重新平整过的地面只有少量或甚至没有植被, 则 L' 值几乎常为1.0。

用适当的数据代入风蚀公式, 则任何指定情况的年排放速率即可算出。这个估算排放速率(E)再乘以矿区某年中荒芜土地数, 即可确定该年风蚀的总逸散尘量。

这种风蚀排尘量的估计方法, 已被认为其准确度是有限的, 但尚未提出其它的方法。由于每单位时间的风蚀排放率是非常低而且变化大, 它不可能通过源的试样结果的比较来检查估计值的准确性。

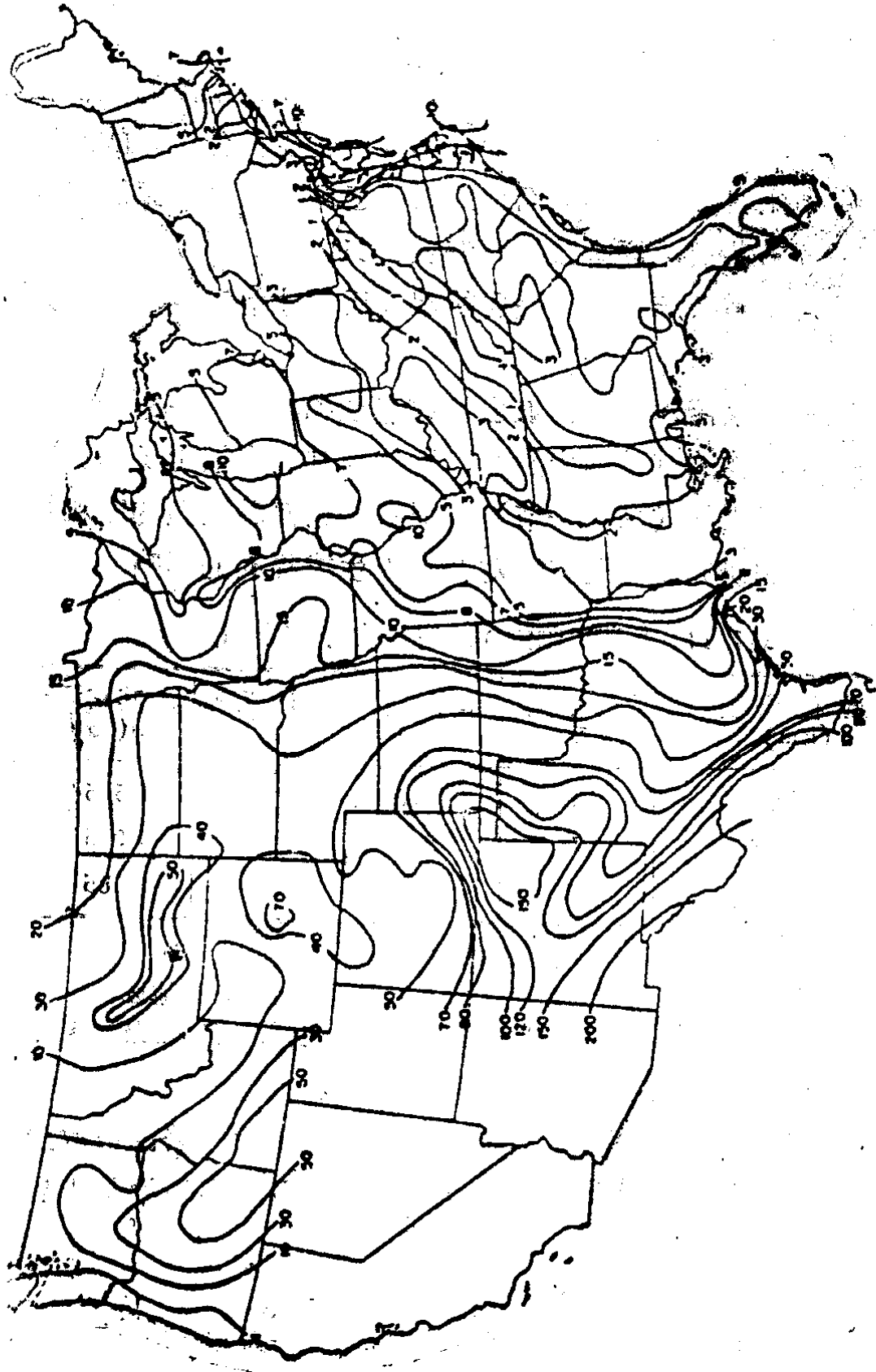


图1-5 在风蚀公式中使用的气候系数

(三) 颗粒特性

颗粒的粒径、密度和组成——任何矿物开采源的颗粒粒径分布是取决于被开采的矿物，不同矿物粒径分布间的差别尚无可用资料。但在美国西部采煤场已测定出这类源的广泛的粒径分布范围，这些数据列在表1-21中。

只有知道矿床及其覆盖层的组成后，才能确定矿物开采源逸散尘的组成。

矿物开采活动产生逸散尘的有害性和毒性——露天采矿源排放颗粒物的有关健康影响，可能与其它逸散尘源排放颗粒物的影响相同（见第一节）。但对无论何种类型的颗粒物尚无足够的研究以描述它们对公共卫生或福利的影响。

表1-21 某些矿物排放源的颗粒物粒径分布^a

| 粒径范围 (μm) | 覆盖层清除 (%) | 卡车装料 (%) | 裸露地区 ^b (%) | 其它源 ^c (%) |
|---------------------------|--------------|-------------|--------------------------|-------------------------|
| < 3 | 5 | 4.5 | 5 | 5.5 |
| 3 ~ 30 | 7 | 8.5 | 8 | 9.5 |
| > 30 | 88 | 87 | 87 | 85 |

注：a. 美国五个西部煤矿的特征。

b. 裸露地区，即重新种植前的废弃物地区和回填地区。

c. 其它采矿活动源，即上述三种源不包括的运输道路、卡车卸料和储料区等其它源。

数据的可用性——与其它尘源比较，矿物开采源逸散尘的情况描述和定量都是不完善的，其大部分可用数据都来自美国西部。

(四) 控制方法

矿物开采的现行可用控制措施是按逸散尘源提出，但对

采矿作出逸散尘的控制方法研究甚少，目前公认的控制方法仅限于三种基本技术的某些形式或联合形式。这三种技术为洒水、化学稳定和封闭（如风屏障的形式）。

除去覆盖层——减少除去覆盖层中排放逸散尘的控制方法只有少量资料可查。但已证明将翻动土地表层的活动减至最少，这就是除去覆盖层作业可能减少逸散尘的预防措施。

裸露土壤表面的风蚀是煤矿表层的主要尘源，这是因为采矿作业使大面积的土壤裸露。减少裸露于受风的面积即减少了风刮尘量。对这些技术无控制效率和费用估计值。

钻孔——这里介绍几种控制钻孔逸散尘的方法，一种是水注射系统，即用活塞泵将水注入孔内。另一种方法是水环法，即将水的细雾呈环形沿钻孔周围从孔顶喷入。最后一种可采用的是尘喷逐系统，即使用压缩空气将孔中尘粒喷逐入排气管，由此管导尘远离钻区；为了抑制逸散尘，在该管中喷水或泡沫，或在该管出口处使用纤维过滤袋以更有效地控制尘。

钻孔作业控制尘仅有的费用资料表明，水注射系统费用，一种为4295美元，另一种为5170美元，而纤维过滤袋集尘系统的可比费用为13335和15925美元。

爆破——文献调研表明，减少爆破作出逸散尘有两种预防方法：

(1)限制爆破区域——适当安排按顺序接连爆破和审慎地放置炸药量，则大大地减少爆破过程中颗粒物的向外流动通量。在任何一天中，爆破的矿区或覆盖层地区主要靠生产计划安排来确定。大部分煤矿，每天安排爆破仅能满足当天需要的矿物量，因为爆破计划与搬移覆盖物和矿石是紧密结合的，计划爆破的总面积只有小幅度的变动。这种控制措施没有外加的费用。

(2) 爆破中防止超量爆炸——由于爆破炸药的费用，要非常小心地计算特殊连续爆破需要的炸药量。在实践中靠矿工来观察防止超爆的情况，因此，这种控制手段没有增加费用。

卡车装料——许多控制措施都可用来减少卡车装料活动的逸散尘排放量。这些措施：

(1) 防止卡车超载——防止运输卡车超载，可减少洒落物和风失量。实际这种措施的费用，包括防止超载需要的各种检查费用以及运输物料所增加的额外卡车和驾驶员的费用。

实际上，控制措施与生产也可能有对立。减少每辆卡车的载煤量意味着必需购置额外的卡车，或使现有卡车作更多的往返以保持相同的生产水平。其结果是，由实现了控制措施减少的排放量，比车辆增加额外行驶里程的排放量可能还要多些。

(2) 封闭和喷雾系统——在卡车行驶时，遮盖装载的矿石或改变物料的表面特性可控制逸散尘，这些方法可防止松散颗粒移动时出现的滑流。另外，封闭或加盖消除了散落物的溢漏和可能的夹带。

极多的矿山，在设计运输周期时，要使工人和装备处于能胜任状态，在周期中要加上额外的操作步骤如卡车加盖或拆盖，要求有外加时间和可能还有外加的人力。

卡车加盖或处理卡车物料尚无费用的数据，只能作出估计费用。这种费用取决于覆盖罩的费用和装拆盖罩增加劳力的费用。有一报告指出防水帆布费用为 $0.43\sim 7.53$ 美元/ m^2 ，而外加人工费用为 3.5 美元/次，装载物料。人工费用是根据加盖和卸盖需要 $10\sim 20$ min的附加时间估计的。假设年有 454×10^4 t的运输量，25辆 4.5 t的卡车队（每辆车有 $18.6m^2$

的面积)，每 m^2 防水帆布费用为7.53美元，人工费用为3.5美元/次装载物料，则这项措施的年总费用为368000美元。

喷雾系统的可比费用为65000美元，这是由运煤的铁路货车的化学喷雾系统推导而得的估计值。用于此项控制措施无实际运行数据可供参考，故运输卡车的真实费用可能与推导得出的估值有很大差别。

(3)用加盖的输送机系统代替运输卡车——使用加盖的输送机系统代替卡车运煤或其它矿石和覆盖物，这将是控制尘的有效方法，因为在运输道路上行驶与输送机相比，前者是更主要的尘源。

虽然全封闭的输送机系统仅排放少量的尘，但它们的基建费用较高。运输系统设计的约束条件是运输机的费用。例如某一矿场的的数据表明，陆上运输机每米的费用在3035~4757之间变动，运输机加盖的费用是213美元。最近一份公布的报告称，运输机加盖费用范围为131~262美元。另外，封闭转运点的费用，对简单的封闭为3500美元左右，对包括过滤袋室的封闭为20000美元。

废弃物处置——废弃物处置作业包含有四个潜在逸散尘源，它们是卡车装料、运输道路、卡车卸料以及滤水垫层和车路护道建筑工程的控制。第一个尘源（卡车装料）已在本节“卡车装料作业”中讨论；运输道路尘的控制则在第一节“工厂道路和停车场”中讨论；卡车卸料的控制则在第三节“物料的装卸运输”中论述；唯有滤水垫层和车路护道的建筑工程未曾述及。

滤水垫层和车路护道的建造工作与建造装盛选矿泥浆废料池有关，其建造活动实质上是运土作业。这类逸散尘源及其控制方法都是很难确定的，在报导中也没有提出具体的控

制方法，但认为可以应用除去覆盖物同样的技术来控制。

矿物开采活动逸散尘的控制技术、效率和费用汇总在表1-22中。

表1-22 矿物开采活动逸散尘的控制技术、效率和费用

| 排放源和控制技术 | 估计控制效率 (%) | 基建费用 (1980年美元) | 年费用 (1980年美元) |
|---------------|------------|---------------------------------|------------------------|
| 除去覆盖层 | | | |
| 使翻动土地面积减至最小 | — | — | — |
| 钻孔 | | | |
| 水注射 | — | 4700 | — |
| 喷尘入纤维过滤袋 | — | 14300 ^a | — |
| 爆破 | | | |
| 限制爆破地区 | — | 无 | 无 |
| 防止爆破中超量爆炸 | — | 无 | 无 |
| 卡车装料 | | | |
| 防止卡车超载 | 不可靠 | — | — |
| 封闭 (加盖) | 85 | 0.43~ 7.58 美元/m ² | 3.5美元/次 (装载物料) |
| 喷雾系统 | 50 | 8500 | 65000美元/年 ^b |
| 用加盖运输机系统代替卡车 | 95~99 | 3035~ 4757 美元/m | 无可用数据 |
| 废弃物处置 | | | |
| 卡车装料控制 | | (见上) | |
| 运输道路控制 | | (见第一节) | |
| 卡车卸料控制 | | (见第三节) | |
| 滤水垫层及车路护道建造控制 | — | — | — |

注：a. 两个费用值的平均值。

b. $90 \times 10^4 t/a$ 装备的运行和维护费用。

控制措施的效益——矿物开采活动的逸散尘控制，对工业并未提供明显的经济效益；但如工厂道路和停车场尘的情

况（第一节）那样，这种控制可能有一些隐形效益。归根到底，多数引用的控制方法只是“良好”的作业步骤。在长期运行中，使翻动土地的面积减至最少并合理地装运土壤和废弃物，这将较容易而成功地保证土地回填的费用效益，同时也减少了大气中颗粒物的负荷。

采矿活动的 RACM 选择，必须根据采矿现场的具体情况而确定。

第三章 钢铁厂

一个钢铁联合企业有三个主要生产区，即焦炭生产区、铁生产区和钢生产区。在下面章节中，将对每个生产区的逸散尘排放源、控制技术和推荐的合理、可用措施（RACM）进行讨论。

一、焦炭生产

（一）工艺概述

焦炭是煤在缺乏空气条件下干馏的不挥发性残渣。煤干馏有三种方法，即蜂巢法、副产法和型焦法。由于副产法占炼焦生产的98%以上，这里仅讨论这种方法。

原煤被粉碎至粒径介于0.15~0.32mm之间，再转移至贮煤箱。在配煤工序，将低、中、高挥发分煤进行混合并加入油和水以控制炼焦煤的密度。然后，配合煤被送至焦炉顶贮煤箱。称好分量或特定体积的煤，由贮煤箱卸入翻底车。该车在炉顶宽轨上行驶，对炼焦炉组中边靠边排列的20~100个水平式焦炉（碳化室）按次装料。

装料后，炼焦周期持续15~40h。短周期用于高炉焦炭生产，长周期用于铸造焦炭生产。炼焦周期，炉温保持大约1100℃。通过每个炉的烟道或上升管，排出加热过程放出的气体，并由集合总管道输送至副产品回收车间。回收车间从这些气流中分离出煤的干馏产物，如焦油、轻芳香烃和氨。

炼焦周期结束后，从每个炉的末端摘除炉门，用大撞杆

将炽热焦炭推入熄焦车并送至熄焦塔。然后，潮湿的熄焦被堆放在倾斜的码头上排水和冷却，待水分和温度一致后，筛分成三种粒径的焦炭(高炉焦炭、焦丁和焦末)。一些工厂将焦丁粉碎以增加烧结用的焦末，其余部分供电熔合金厂使用。

炼焦流程示于图2-1。其逸散尘源包括卸煤、储存、装料、炼焦、推焦、熄焦和焦炭加工处理，并在图中标出。工厂道路是炼焦车间具有的尘源，但在第一章中已有论述，图2-1未列出。

(二)逸散尘排放因子

炼焦过程逸散尘排放因子列在表2-1中。

表2-1 炼焦过程的逸散尘排放因子

| 排 放 源 | 排 放 因 子 | 可 信 度 等 级 |
|------------------|----------------------|-----------|
| 1. 煤的卸料 | 0.2kg/t (卸煤) | E |
| 2. 煤的储存 | | |
| 送料上堆 | 0.04kg/t (进煤) | D |
| 车辆往来 | 0.03kg/t (储煤) | D |
| 出煤 | 0.05kg/t (出煤) | D |
| 风蚀 | 0.045kg/t (储煤) | D |
| 3. 煤的输送、倒运、粉碎和过筛 | 0.02~0.48kg/t(处理煤) | E |
| 4. 煤的装料 | 0.43kg/t (装煤) | C |
| 5. 炼焦(门、排出管和孔缘) | 0.26kg/t (装煤) | D |
| 6. 推焦(未捕集烟羽) | | |
| 生焦 | 1.5~2.0kg/t (装煤) | C |
| 适度生焦 | 1.05kg/t (装煤) | C |
| 清洁焦炭 | 0.24kg/t (装煤) | A |
| 7. 焦炭加工处理 | 0.012~0.065kg/t(处理炭) | E |

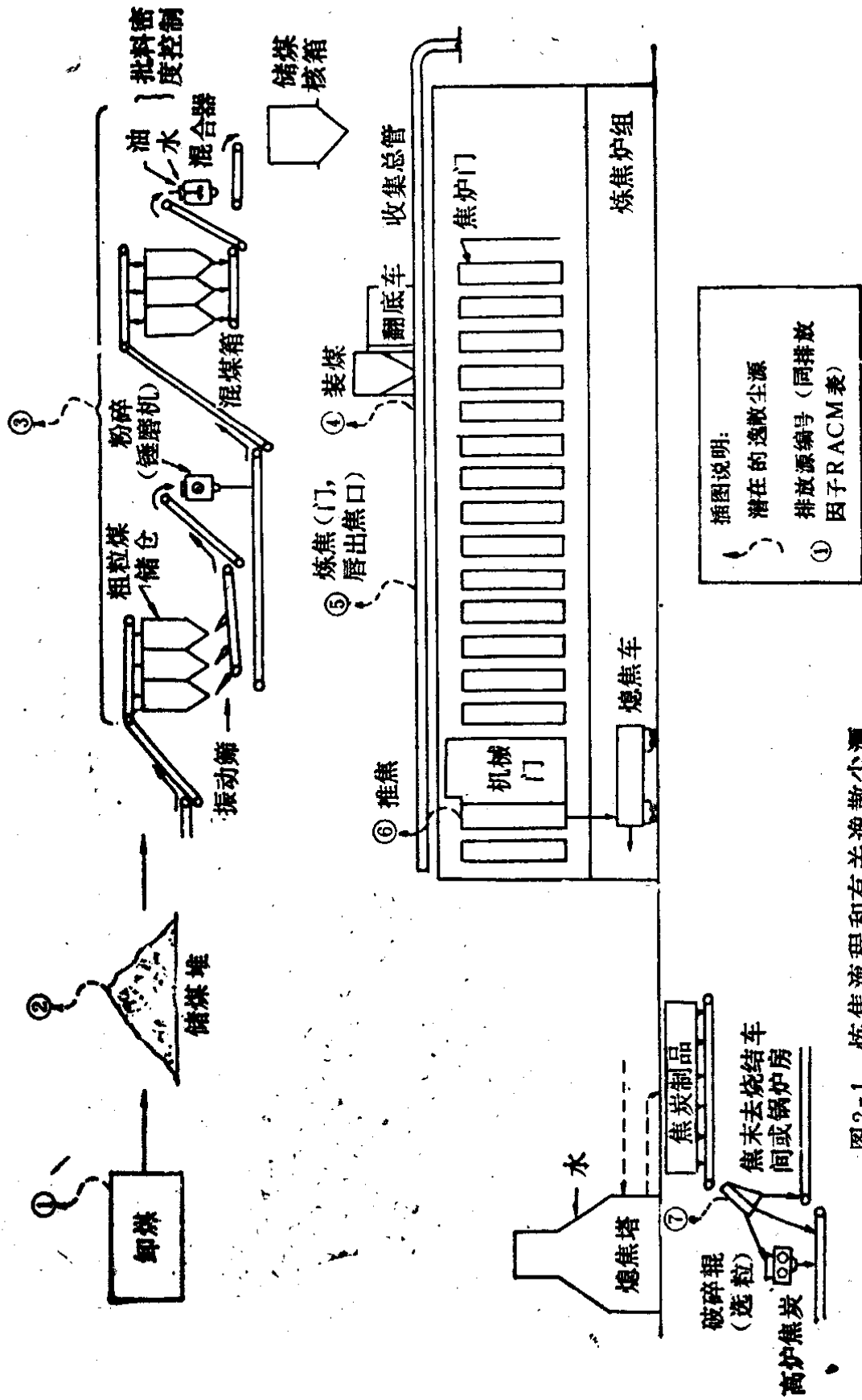


图2-1 炼焦流程和有关逸散尘源

(三) 颗粒特性

焦炭生产排放的逸散性颗粒物基本上包含煤、焦炭粉末和多环有机烃（可冷凝的）。由煤储存、处理、倒运排放的煤尘平均颗粒直径为 $1 \sim 10 \mu\text{m}$ 。

除煤尘和焦炭尘外，焦炉排放的多种多环有机物是致癌和致变的。在装料和焦炉泄漏的排放物中有机物的量是最大的。

对推焦排放物已作了大量粒径分析工作。用一导棚捕集推焦排放物（大颗粒沉降在室内；故不包括在内），颗粒粒径分布为： $<10 \mu\text{m}$ 的占 $27 \sim 80\%$ ， $<2 \mu\text{m}$ 的占 $15 \sim 26\%$ 。经烟罩捕集的排放物（大颗粒包括在内）， $<10 \mu\text{m}$ 的占 11% ， $<2 \mu\text{m}$ 的占 4% 。

(四) 控制方法

卸煤操作逸散尘可用带或不带排气的纤维过滤袋的全封闭装置来控制，或用带或不带化学润湿剂的湿抑制方法。

煤储堆的排放物可由周期性使用化学润湿剂或水来控制，或用封闭式煤堆。送料上堆作业也可用封闭法、水或润湿剂、伸缩溜槽、特定的上堆机、或使用石阶梯等。出煤作业可用下堆输送机、喷洒水和（或）化学润湿剂、或使用煤堆取料机和贮场装载输送机来控制。

煤的倒运、输送、粉碎和过筛操作可由封闭输送机、水或化学润湿剂、或使用封闭式排气纤维过滤袋来控制。

卸煤操作、储堆作业以及倒运和输送操作的控制在第一、二章中已有十分详细的论述。

对装料排放的控制，基本上有两种方法：装料室接通总管并顺序装料以及密闭管道装料。

装料室接通总管的控制包括抽取焦炉放出的气体进入总管，再靠位于焦炉上升管顶端的蒸汽喷射器抽进回收系统。影响这种系统控制效率大幅度变动的因素很多，这些因素是：（1）吸气的强度；（2）整个装料过程，碳化室对大气开放处的密封程度；（3）碳化室两端吸气的情况；（4）对焦炉放出的气体自由通到上升管，所需的炉顶自由空间的维护情况；（5）自由通过上升管的维护情况；（6）对装料步骤安排时间的控制情况。对任何具体装料控制系统来说，顺序装料系统的最佳状态的效率估计为99%。

管道装料是密闭系统。它是通过连接到碳化室上的管道装煤。焦炉放出的气体和夹带的细煤粉，由装料总管回收，并循环至煤预热器。碳化室的泄漏仍会出现一些潜在的排放，煤预热器厂的排放（由烟囱排出）也应考虑。不过由于对装料密闭系统首次使用发现的操作问题，现在已体验过了，故潜在的控制效率被判断为100%。

炼焦周期中泄漏的排放量可由良好的维修、重新填缝以及密封技术的实践来减少。对碳化室的凸缘和封闭用的门，在它们回复到原位后，要立即密闭，并在需要时重新填缝，这是最好的控制技术之一。每个碳化室的门罩和出焦一侧的导棚将有效地捕集碳化室出焦门的排放物。用湿式静电除尘器净化气体的效率已超过85%。

对捕集出焦排放物来说，有多种系统正在使用、建造、设计或发展，但这些系统大概可分为三类装置：（1）碳化室出焦一侧的导棚；（2）热焦车上的外壳或罩；（3）热焦车上的台式罩。

导棚是对炼焦炉组覆盖整个出焦侧的建筑物。推焦操作的排放物被牵制在导棚内并通过控制装置排出。两者的捕集效率估计为91%和85%。

对热焦车的外壳有各种设计，但所有的设计都体现为一密闭组合的外壳，它将通向大气的任何开口减至最小。外壳的开口尺寸和位置都会影响捕集效率。虽未作测量，但凭观察可知，外壳的捕集情况与导棚相类似。

第三类台式罩，在设计和工作中的，显示出巨大的差别。一般它对大气的开放面积比封闭车大，且典型的开口是在罩子与车之间的分界面上。虽然不如导棚那样大，但也需要能容纳大量气体的体积。捕集效率随设计而有很大变动，当使用大罩、大的气体体积和小的开口面积时，捕集效率增大。较好的设计的捕集效率可以等于导棚或密闭热焦车的捕集效率。特别是，在操作实践中将生焦减至最少时，效果更好。

与上述捕集系统结合使用的控制装置有洗涤器或湿式静电除尘器。当在导棚上装设这两种装置后，已证明可减少排放物98%以上。一种文丘里式洗涤器，对烟罩收集的排放物，已达到99%的去除率，可预期其工作效率等于一密闭车。阿诺蒂湿式洗涤器 (Asonetics Wet Scrubber) 对细微的铁合金烟雾可实现99%以上的收集，并至少已用于熄焦车上。

影响任何推焦排放控制系统的因素是焦炭的“生熟度”。生焦是没有充分焦化的焦炭。它含有高水平的挥发物，在推焦过程中将产生大量的排放物。因此，对控制系统带来更大的负荷。在估计控制系统工作时应考虑这一事实。

另一重要因素是，热焦车运送焦炭去熄焦塔时的排放。当使用导棚时，只在车未退出导棚前捕集排放物。对使用外壳和烟罩的热焦车，其捕集情况随设计而变动。那些在车上加罩并排废气至控制装置的设计，在车抵达熄焦塔前，一直控制排放物。而那些不用罩者，车离焦炉直到熄焦塔，其排放物均不受控制。

表 2-2 列出焦炭生产中可用的控制技术、效率、估计费用和RACM选择。

表2-2 焦炭生产中逸散尘源的控制技术、效率、费用和RACM

| 逸散尘源 | 可供选择的控制技术 | 控制效率 % | 控制费用 (1980.1) 美元 | | 费用效益比 (美元/kg) | RACM 选择 |
|------------------|--------------|------------------|----------------------|----------------------|---------------|--------------|
| | | | 投资费 | 年费用 | | |
| 1. 煤的卸料 | 封闭、排气至纤维过滤袋 | 99 | 120000 | 42000 ^a | 0.15 | 湿抑制 (化学润湿剂) |
| | 湿抑制 (化学润湿剂) | 80 | 37000 | 36000 | 0.15 | |
| | | 70 | 60000 ^b | 12000 ^c | 0.06 | |
| 2. 煤的储存 | 送料上堆 | | | | | |
| | 封闭(石阶梯) | 70~99 | 25000 | 5000 ^c | 0.10 | 伸缩溜槽和湿抑制 |
| | 伸缩溜槽 | 75 | 9000 | 2000 ^c | 0.046 | |
| | 湿抑制 (化学润湿剂) | 80~90 | 73000 | 30000 ^d | 0.61 | |
| | 防风装置 | 50 | 37000 | 8000 ^c | 0.28 | |
| | 出煤 | | | | | |
| | 下堆输送机 | 80 | 6300000 ^e | 1260000 ^c | 21.7 | 湿抑制 (化学润湿剂) |
| 湿抑制 (化学润湿剂) | 95 | 73000 | 30000 ^d | 0.43 | | |
| 斗轮取料机 | 80 | 4500000 | 900000 ^c | 15.5 | | |
| 风蚀 | 封闭 | 100 | 8400000 ^f | 1680000 ^c | 23.1 | 湿抑制 (化学润湿剂) |
| | 湿抑制 | 99 | 14000 | 10000 | 0.14 | |
| 3. 煤的运输、倒运、粉碎和过筛 | 湿抑制 (化学润湿剂) | 70~95 | 200000 | 660000 | 2.07 | 封闭 |
| | 封闭 | 70 | 69000 | 14000 ^c | 0.055 | |
| 4. 煤的装料 | 装料室接通总管和顺序装料 | 85 ^h | 489000 ⁱ | 390000 ^g | 0.74 | 装料室接通总管和顺序装料 |
| | 管道装料 | 100 ^j | — | — | — | |
| 5. 炼焦 | 门和顶边维修 | 85 | 0 ⁱ | 739000 | 2.35 | 维修 |
| | 罩、湿式静电除尘器 | 85 | — | — | — | |

续表

| 逸散尘源 | 可供选择的控制技术 | 控制效率 % | 控制费用 (1980.1) 美元 | | 费用效益比 (美元/kg) | RACM 选择 |
|----------|-------------|--------|----------------------|----------------------|----------------|-------------|
| | | | 投资费 | 年费用 | | |
| 6. 推焦 | 导棚、湿式洗涤器 | 88 | 3669000 ^k | 1173000 ^k | 3.90 | 封闭热焦车和湿式洗涤器 |
| | 导棚、湿式静电除尘器 | 88 | 6299000 ^k | 1555000 ^k | 5.18 | |
| | 封闭热焦车、湿式洗涤器 | 88 | 2617000 ^k | 579000 ^k | 1.93 | |
| | 罩、移动湿式洗涤器 | 88 | 1823000 ^k | 735000 ^k | 2.45 | |
| | 罩、固定湿式洗涤器 | 88 | 2924000 ^k | 1065000 ^k | 3.55 | |
| 7. 焦炭加工处 | 封闭 | 70 | 58000 | 12000 ^c | 1.39 | 封闭 |
| | 封闭、排气至纤维过滤袋 | 99 | 174000 | 102000 | 8.35 | |
| 运输道路 | 湿抑制 | 50 | — | — | 未铺砌道路浇油、铺砌道路清洗 | |
| | 洒水 | 50 | — | — | | |
| | 浇油 | 85 | — | — | | |
| | 铺筑道路 | 85 | — | — | | |

注: a. 根据594m³/min, 空气与纤维袋体积比为6.5:1, 每年运行8000h.

b. 根据用10mm厚的钢板封闭车斗.

c. 包括投资费和维修费 (约为20%总投资).

d. 根据每小时送料544t, 每年运行3000h.

e. 根据平均费用52.4美元/t和127000t储量.

f. 根据平均费用66.2美元/t和127000t储量.

g. 假设每年处理1.45×10⁶t煤.

h. 翻新改造后装有翻底车.

i. 假设每组炼焦炉年产焦炭308000t.

j. 假设为密闭系统.

k. 根据每组炼焦炉年产焦炭308000t.

(五)推荐为合理、可用控制措施 (RACM)

焦炭生产的逸散尘源的RACM列在表2-2中。

卸煤过程对尘的较好控制技术是化学润湿剂的湿抑制系统。这种系统比单独用水的控制效率高，比更有效的纤维过滤袋的费用低。

煤储堆的送料作业靠使用溜槽以减少自由降落距离，并辅以湿抑制系统，可减少排放量至较低水平。对储堆的其它作业用湿抑制也能得到最好的控制。湿抑制是以最低的费用实现最高的控制。

对煤的输送、倒运、粉碎和过筛活动，选择的RACM是封闭措施。这种方法是控制方法中费用最少的，并估计有70%的效率。在煤堆出料上采用湿抑制，它使随后的加工处理的潜在排放量也减少。此处选择的封闭系统，包括在加工处理及倒运作业的顶部和四周加罩。

对焦炉装料选择的RACM是顺序装料和装料室接通总管。这是仅知的有效控制技术，它也能用于翻新改造的焦炉。美国俄亥俄州几个焦炉组的碳化室已使用这种控制方法。

在炼焦周期中对逸散排放物选择的RACM是贯彻炉门和炉顶边的维修计划。这种计划将包括加煤孔炉盖的迅速密封、立即更换有缺陷的不密封炉盖，每次推焦后清理密封环、门柱和炉门。在摘门和复位过程中小心清扫炉门、认真栓紧门闩、修理和调整或更换泄漏的炉门，保持足够的备用门（8~10%）。这种计划在减少炼焦排放上是最有效的。美国俄亥俄州几个焦炉组碳化室已实现这种安排。

对推焦排放控制，选择的RACM是使用封闭的熄焦车，排风进入一辆有湿式洗涤系统的附属车。这种技术是有效而

费用最低的控制措施。

对焦炭装卸运输排放的推荐控制技术是封闭运输机和倒运点，这种技术是有效的，且比纤维过滤袋经济。

炼焦车间的运输道路可以是一个重要排放源。对运输道路建议的控制技术是经常地清扫铺砌道路、对未铺砌道路经常浇油、和对繁忙的未铺砌道路进行铺筑。

(六) 典型费用计算

每年俄亥俄州工厂平均用煤量为 $1.45 \times 10^6 \text{t}$ 。

1. 煤的卸料

$$\text{排放量} = 0.2(1.45 \times 10^6) = 290000 \text{kg/a}$$

封闭并排气至纤维过滤袋

$$\text{投资费} = 120000 \text{美元}$$

$$\text{年费用} = 42000 \text{美元}$$

$$\text{费用效益比} = \frac{42000 \text{美元/a}}{0.99(290000 \text{kg/a})} = 0.15 \text{美元/kg}$$

湿抑制 (化学润湿剂)

$$\text{投资费} = 37000 \text{美元}$$

$$\begin{aligned} \text{年费用} &= 0.22 \text{美元}(1.45 \times 10^6) + 0.11 \text{美元}(37000) \\ &= 36000 \text{美元} \end{aligned}$$

$$\text{费用效益比} = \frac{36000 \text{美元/a}}{0.8(290000 \text{kg/a})} = 0.15 \text{美元/kg}$$

封闭

$$\begin{aligned} &\text{自动倾卸车 } 12.2 \text{m} \times 6.4 \text{m} \times 9.1 \text{m} \text{ 车厢与门的封闭费用} \\ &= 5.24 \text{美元/kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{质量} &= 1.2 \times 22.6 \text{kg/m}^2 (2(12.2 \times 0.91) + 6.4 \times 12.2 \\ &\quad + 2(6.4 \times 9.1)) = 11400 \text{kg} \end{aligned}$$

$$\text{投资费} = 11400 \text{kg} \times 5.24 \text{美元/kg} = 60000 \text{美元}$$

年费用 = 0.20(60000美元) = 12000美元

$$\text{费用效益比} = \frac{12000 \text{美元/a}}{0.7(290000 \text{kg/a})} = 0.06 \text{美元/kg}$$

2. 煤的储存

送料上堆

排放量 = 58000kg/a

封闭 (石头阶梯)

投资费 = 25000美元

年费用 = 0.2(25000美元) = 5000美元

$$\text{费用效益比} = \frac{5000 \text{美元/a}}{0.85(58000 \text{kg/a})} = 0.10 \text{美元/kg}$$

伸缩溜槽

投资费 = 9000美元

年费用 = 2000美元

$$\text{费用效益比} = \frac{2000 \text{美元/a}}{0.75(58000 \text{kg/a})} = 0.046 \text{美元/kg}$$

湿抑制 (化学润湿剂)

投资费 = 73000美元

年费用 = 30000美元(544t/h和3000h/a)

$$\text{费用效益比} = \frac{3000 \text{美元/a}}{0.85(58000 \text{kg/a})} = 0.61 \text{美元/kg}$$

防风装置

投资费 = 37000美元

年费用 = 8000美元

$$\text{费用效益比} = \frac{8000 \text{美元/a}}{0.5(58000 \text{kg/a})} = 0.28 \text{美元/kg}$$

出煤

排放量 = 72600kg/a

下堆输送机

投资费 = 6300000 美元

年费用 = 1260000 美元

$$\text{费用效益比} = \frac{1260000 \text{ 美元/a}}{0.8(72600 \text{ kg/a})} = 21.7 \text{ 美元/kg}$$

湿抑制 (化学润湿剂) (见送料上堆)

$$\text{费用效益} = \frac{30000 \text{ 美元/a}}{0.95(72600 \text{ kg/a})} = 0.43 \text{ 美元/kg}$$

斗轮取料机

投资费 = 4500000 美元

年费用 = 900000 美元

$$\text{费用效益比} = \frac{900000 \text{ 美元/a}}{0.8(72000 \text{ kg/a})} = 15.5 \text{ 美元/kg}$$

风蚀

排放量 = 65300 kg/a

封闭

投资费 = 66 美元/t(127000) = 8400000 美元

年费用 = 0.2(8400000 美元) = 1680000 美元

$$\text{费用效益比} = \frac{1680000 \text{ 美元/a}}{1.0(72600 \text{ kg/a})} = 23.1 \text{ 美元/kg}$$

湿抑制 (化学润湿剂)

投资费 = 14000 美元

年费用 = 10000 美元

$$\text{费用效益比} = \frac{10000 \text{ 美元/a}}{0.99 \times (72600 \text{ kg/a})} = 0.14 \text{ 美元/kg}$$

3. 煤的输送、倒运、粉碎和过筛

排放量 = 363000 kg/a

湿抑制 (化学润湿剂)

投资费 = 200000 美元

年费用 = 660000 美元

$$\text{费用效益比} = \frac{660000 \text{ 美元/a}}{0.88(363000 \text{ kg/a})} = 2.07 \text{ 美元/kg}$$

封闭

假设输送机长305m, 经5个倒运站、1台粉碎机和1次过筛操作

投资费 = 69000 美元

年费用 = 14000 美元 (20%的维修费)

$$\text{费用效益比} = \frac{14000 \text{ 美元/a}}{0.70(363000 \text{ kg/a})} = 0.055 \text{ 美元/kg}$$

4. 装料

假设俄亥俄州平均炼焦炉产焦量 = 308000t/a

排放量 = 617000kg/a

装料室接通总管和顺序装料

投资费 = 489000 美元

年费用 = 390000 美元

$$\text{费用效益比} = \frac{390000 \text{ 美元/a}}{0.85(617000 \text{ kg/a})} = 0.74 \text{ 美元/kg}$$

管道装料 (无数据)

5. 炼焦

排放量 = 370000kg/a

炉门和炉顶边的维修

投资费 = 0

年费用 = 739000 美元

$$\text{费用效益比} = \frac{739000 \text{ 美元/a}}{0.85(370000 \text{ kg/a})} = 2.35 \text{ 美元/kg}$$

加罩和湿式静电除尘器 (无数据)

6. 推焦

排放量 = 341000kg/a (清洁焦炭)

导棚和湿洗涤器

投资费=3669000美元

年费用=1173000美元

$$\text{费用效益比} = \frac{1173000 \text{ 美元/a}}{0.88(341000 \text{ kg/a})} = 3.90 \text{ 美元/kg}$$

导槽和湿式静电除尘器

投资费=6299000美元

年费用=1555000美元

$$\text{费用效益比} = \frac{1555000 \text{ 美元/a}}{0.88(341000 \text{ kg/a})} = 5.18 \text{ 美元/kg}$$

封闭热焦车和湿式洗涤器

投资费=2617000美元

年费用=579000美元

$$\text{费用效益比} = \frac{579000 \text{ 美元/a}}{0.88(341000 \text{ kg/a})} = 1.93 \text{ 美元/kg}$$

加罩和移动湿式洗涤器

投资费=1823000美元

年费用=735000美元

$$\text{费用效益比} = \frac{735000 \text{ 美元/a}}{0.88(341000 \text{ kg/a})} = 2.45 \text{ 美元/kg}$$

加罩和固定湿式洗涤器

投资费=2924000美元

年费用=1065000美元

$$\text{费用效益比} = \frac{1065000 \text{ 美元/a}}{0.88(341000 \text{ kg/a})} = 3.55 \text{ 美元/kg}$$

7. 焦炭的加工处理

排放量=0.04(308000)=12300kg/a

封闭

假设输送机为305m和4个倒运点

投资费 = 58000 美元

年费用 = $0.2(58000) = 12000$ 美元

费用效益比 = $\frac{12000 \text{ 美元/a}}{0.7(12300 \text{ kg/a})} = 1.39 \text{ 美元/kg}$

封闭并排气至纤维过滤袋

投资费 = 174000 美元

年费用 = $73000 + 0.17(174000) = 102000$ 美元

费用效益比 = $\frac{102000 \text{ 美元/a}}{0.99 \times 12300 \text{ kg/a}} = 8.35 \text{ 美元/kg}$

二、铁的生产

(一) 工艺概述

生铁是在高炉中用溶剂和含碳物（一般为焦炭）冶炼含铁物料的产物。在美国，生产的生铁约90%用于炼钢，其余的用于铁和钢的铸件。在俄亥俄州，典型的高炉每年约生产生铁590000t。图2-2中介绍了炼铁高炉和辅助装置。

无论在天然矿石或精矿中，细小的颗粒都是不适合高炉的原料。高炉原料最合乎要求的粒径是6.4~25.4mm。在钢厂许多可用的造块方法中，最常用的方法是烧结法。

在烧结过程中，先将铁矿粉末、含铁物料或精矿、焦炭粉末和钢厂废料（如高炉烟道尘、铁皮等）混合，再布料到输送炉篦上。炉篦上的物料床从顶部由使用油、天然气或焦炉煤气的燃烧器点燃。当炉篦慢慢向卸料端移动时，抽吸空气穿过物料床以维持燃烧。当床上的焦炭燃烧时，产生的热量使床上的小颗粒矿粉团聚。在烧结机的卸料端，烧结块被破碎成适当的粒径，然后冷却、过筛。在一些情况中，石灰石

粉末也被加到烧结原料中以产生自熔性烧结矿，这代替了正常装入高炉的部分石灰石。

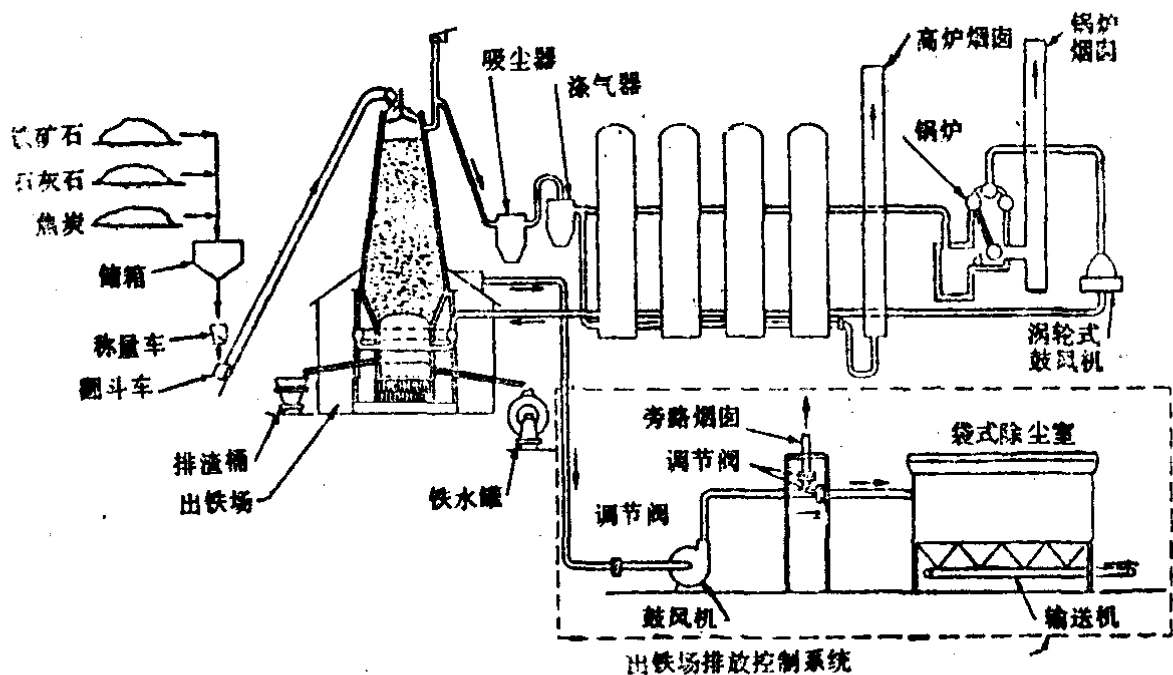


图2-2 炼铁高炉与辅助装置图

仅非常少量的烧结矿在露天料场中储存。烧结矿通常直接送至高炉料仓，称重并用料车卷扬机或带式输送机转移至炉顶。焦炭、铁矿石和石灰石也储于料仓中，并以同一方式装料。

含铁物料（铁矿石、烧结矿、球团矿、铁皮、炉渣、废铁）、焦炭和熔剂（石灰石、白云石等）等炉料被装入高炉顶部，将热空气吹入炉内（在炉的近底部）。有的厂将供给热量的燃料油或粉末焦炭也吹入炉的底部。炉料在炉内下降，同时靠焦炭燃烧产生的向上流动热气将铁矿石和含铁物料还原和熔化。当炉料下降时偶然也会发生滑落（崩料）。当部分炉料在炉上部形成楔或搭桥，而下层炉料仍连续向下移动时，造成一空位，空位逐渐加大直至搭桥倒塌，引起上面炉料的突然下落，即发生崩料并突然释放排放物。

热金属由炉孔或槽口流出并倾入铁道车的铁水罐以送交

炼钢炉。炉渣或由比铁水槽高的槽口流出，或在铸造中通过铁槽口排出。炉渣被导入渣沟，并卸入毗连高炉的渣坑，或进入渣导筒，输送至渣堆或其它处置区。去毗连高炉渣坑的炉渣，可经水喷射或空气冷却，然后由卡车送走。当炉渣由高炉流出时，也可将炉渣加工成粒，加工后的渣末用作填充物料或团矿。

铁的生产流程表示在图2-3中。铁生产过程的逸散尘源包括铁矿石和石灰石的卸料、装运、转运和储存；焦炭和高炉烟道尘的装运、转运和储存；烧结机的运行；烧结矿的装运、转运和储存；高炉操作；炉渣的装运、粉碎和储存。在图中标出了每个逸散尘排放点。但图中未列出工厂运输道路这个尘源。它在第一章中已有论述。

(二)逸散尘排放因子

对上述铁生产逸散尘源的估计排放因子列在表2-3中。这些排放因子大多数是基于非常有限的试验和(或)工程判断，可信度较差。但对一些主要源，已通过试验，达到中等至良好的可信度。

储存活动的排放因子(包括铁矿石、石灰石、焦炭、烧结矿和炉渣)是基于类似活动的有限数据和工程判断，可信度较差。

铁矿石和石灰石卸料的排放因子是从其它物料的数据用工程判断导出的，这些因子可信度较差。

铁矿石的装运和转运的排放因子是基于某些有限的数
据，可信度较差。

石灰石、焦炭、烧结矿、高炉烟道尘和炉渣的装运与转运的排放因子是基于工程判断，可信度较差。

高炉烟道尘储存过程仅有可忽略的排放量，这是基于大

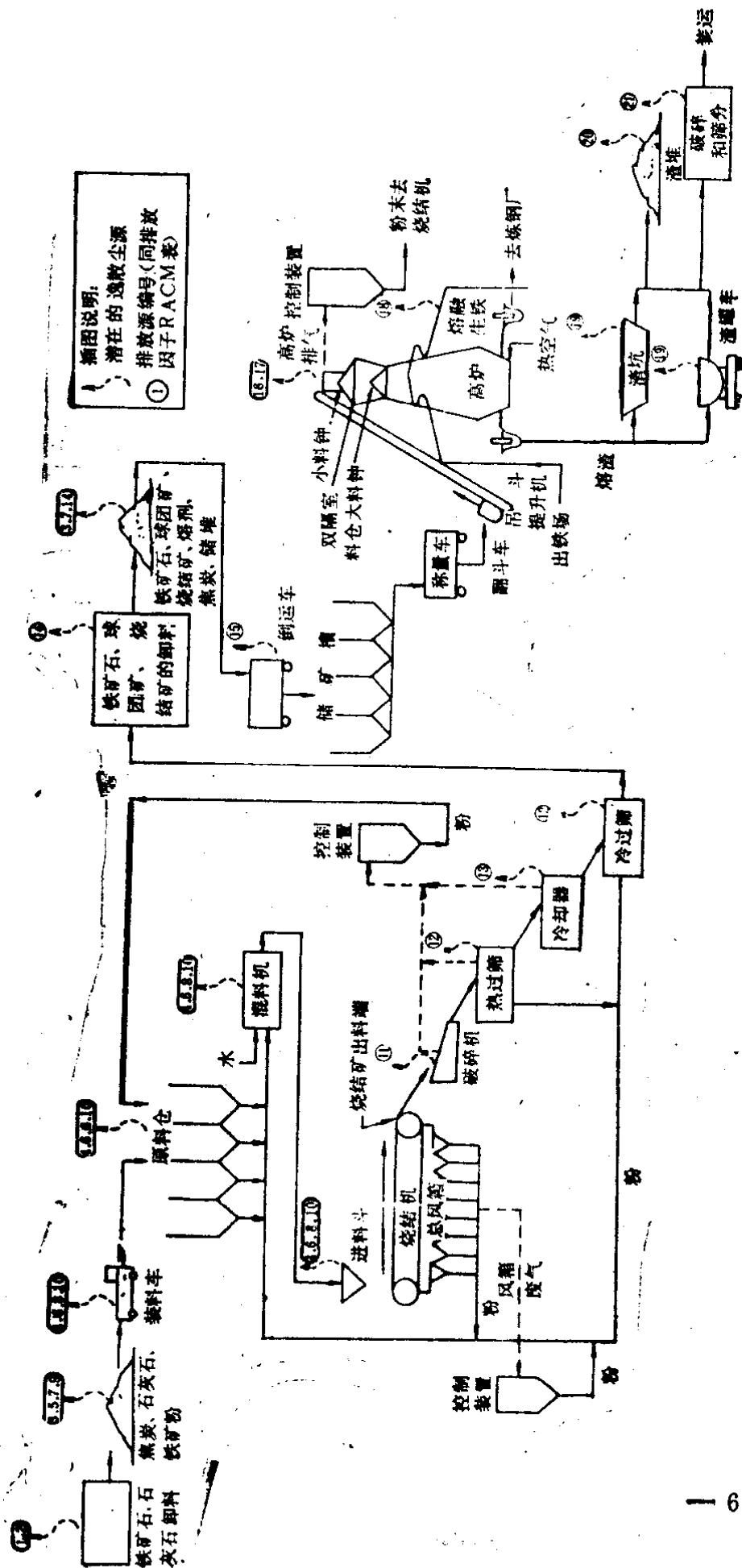


图2-3 铁生产的简化流程和有关逸散尘源

表2-3 铁生产的逸散尘排放因子

| 逸散尘源 | 排放因子 | 可信度等级 |
|--------------------|--------------------|-------|
| 1. 铁矿石卸料 (船或铁路) | 0.01~0.015kg/t(卸料) | E |
| 2. 石灰石卸料 (船或铁路) | 0.015~0.20kg/t(卸料) | E |
| 3. 铁矿石储存 | | |
| 送料上堆 | 0.105kg/t(进料) | D |
| 车辆交通 | 0.04kg/t (储料) | D |
| 出料 | 0.15kg/t (出料) | D |
| 风蚀 | 0.125kg/t (储料) | D |
| 4. 铁矿石的装运与转运 | 1.0kg/t (装料) | D |
| 5. 石灰石的储存 | | |
| 送料上堆 | 0.02kg/t (进料) | D |
| 车辆交通 | 0.06kg/t (储料) | D |
| 出料 | 0.025kg/t (出料) | D |
| 风蚀 | 0.05kg/t (储料) | D |
| 6. 石灰石装运与转运 | 0.4kg/t (装料) | |
| 7. 焦炭储存 | | |
| 送料上堆 | 0.01kg/t (进料) | |
| 车辆交通 | 0.015kg/t (储料) | |
| 出料 | 0.015kg/t (出料) | |
| 风蚀 | 0.004kg/t (储料) | D |
| 8. 焦炭装运与转运 | 0.055kg/t (生铁) | E |
| 9. 高炉烟道尘的储存 | 可忽略 | D |
| 10. 高炉烟道尘的装运与转运 | 0.015kg/t (烟道尘) | E |
| 11. 烧结机风箱出料 | 可忽略 | E |
| 12. 烧结机出料(破碎和过筛) | 3.4kg/t (烧结矿) | B |
| 13. 烧结矿冷却器(不经烟囱排气) | 0.16~0.4kg/t(烧结矿) | E |
| 14. 烧结矿储存 | | |
| 送料上堆 | 0.125kg/t (进料) | D |
| 车辆交通 | 0.05kg/t (储料) | D |

续表

| 逸散尘源 | 排放因子 | 可信度等级 |
|----------------|-------------------|-------|
| 出料 | 0.205kg/t (出料) | D |
| 风蚀 | 0.15kg/t (储料) | D |
| 15. 烧结矿加工处理和转运 | 0.2kg/t (烧结矿) | E |
| 16. 高炉装料 | 可忽略 | E |
| 17. 高炉崩料 | 39.5kg/一次崩料 | D |
| 18. 高炉出铁和出渣 | 0.15kg/t (铁) | B |
| 19. 炉渣的装运 | 0.01~0.05kg/t (渣) | C |
| 20. 炉渣的储存 | | |
| 送料上堆 | 0.02kg/t (进料) | B |
| 车辆交通 | 0.06kg/t (储料) | B |
| 出料 | 0.025kg/t (出料) | B |
| 风蚀 | 0.015kg/t (储料) | B |
| 21. 炉渣的粉碎 | 1.0kg/t (粉碎料) | A |

部分工厂采用密闭储存系统，排放因子的可信度为中等。

烧结机风箱出料和冷却器的排放因子是基于观察和工程判断，可信度较差。烧结机出料和过筛的排放因子是基于试验数据，可信度良好。

高炉装料和崩料的排放因子是基于试验数据和工程判断，并具有中等的可信度。高炉出铁和出渣的排放因子是基于有限的试验数据，但显示良好的可信度。

炉渣粉碎的排放因子是基于石块破碎的数据，可信度较差。

(三) 颗粒特性

由铁生产排放的颗粒物主要包括焦炭、石灰石、铁矿石

的尘和铁的氧化物。由储堆装运与转运排放的焦炭尘具有 $3\sim 10\mu\text{m}$ 的平均颗粒直径。由储堆装运与转运排放的石灰石尘具有 $3\sim 6\mu\text{m}$ 的颗粒直径,其中 $45\sim 70\%$ 小于 $5\mu\text{m}$ 。

由烧结过程排放的逸散尘大部分为矿石尘和金属氧化物,并具有 $48\sim 180\mu\text{m}$ 的平均直径,仅 $1\sim 10\%$ 小于 $5\mu\text{m}$ 。排出尘的温度范围为 $38\sim 150^\circ\text{C}$ 。在烧结过程出料端和冷却过程中排放的逸散性铁氧化物具有 $48\sim 180\mu\text{m}$ 的平均直径,其中 $40\sim 80\%$ 粒径小于 $100\mu\text{m}$,而 10% 小于 $5\mu\text{m}$ 。

在高炉运行和出铁过程中排出的逸散性金属烟尘、铁氧化物和炽热颗粒, $50\sim 90\%$ 具有小于 $70\mu\text{m}$ 的平均直径,排出温度范围为 $1650\sim 2200^\circ\text{C}$ 。由高炉转运热金属至炼钢炉,其排放物 60% 具有小于 $100\mu\text{m}$ 的直径,并 10% 的直径小于 $5\mu\text{m}$ 。

(四)控制方法

由原料装运与转运排放的逸散尘可用湿抑制、操作封闭、操作参数和步骤的改进来控制。例如,输送带系统可部分加盖以防止风吹尘,或全封闭以阻止全部逸散尘的排放。注意操作技术、防止输送系统超载并减少抓斗机自由降落物料的距离也将减少逸散尘的排放。

在烧结机风箱出料时,用细小水滴喷洒(湿抑制),将减少逸散尘的排放。缩小出料点和接受系统间自由降落的距离,有利于减少逸散尘量。封闭风箱出料和接受系统,将限制扩散引起的逸散性排放。对出料和受料系统加固定罩,将有效的捕集排放物,然后排气至袋式集尘室。其逸散尘排放量通常可忽略不计。

由烧结机出料和烧结矿过筛排放的逸散尘可由封闭法来控制。这些排放物系由初级控制装置集尘不完全所产生。如

果初级控制装置具有足够的容量，则增加排气速率可增加集尘效率。但可能需要换一台新的风扇和马达。根据具体情况，可考虑对现有控制系统的重新设计。对有缺陷的部件进行修理和更换，将有助于减少逸散性的排放。围绕过筛操作设置固定罩，将有助于减少逸散性排放。由烧结矿冷却器逸散的尘可用封闭冷却器并排气至机械集尘器或纤维过滤袋控制。对烧结机出料、过筛或冷却逸散的尘，可用湿抑制法控制。但由于烧结矿在这些过程中是非常热的，其效果可能很差。但当烧结矿从冷却器卸出时，有时也使用湿抑制。由于烧结矿增加水分后，在高炉中需要更多的热量，故用水比例必须严密管理。

操作的实践和原料质量的控制能防止高炉中的崩料。高炉操作者，为了减少崩料，将经常变动翻斗车装载物（焦炭、铁矿石、石灰石等）的次序。由于没有两座高炉相似运行，因此，必须对每座高炉确定适当的投料次序。对高炉崩料逸散尘的控制已提出两种控制技术。一种设想为用地面排气管阀通气入热水井，在此井中，当气体鼓泡逸出时，颗粒物即沉入水中。第二种建议系将排放管阀放于一箱中，箱内装有折流板，引导颗粒物沉降。虽然这两种方法被视为可行，但尚未见使用者。

出铁和出渣的排放，可用固定或移动罩控制。固定或移动罩的选择取决于空间的限制和有关的操作，即看哪一类更合操作要求。近期，由于炉设计的要求，罩子必须高出出渣、出铁口一定距离。在此情况下，移动式风帘将有助于限制逸散尘并引导入罩。在铁水和渣的流道上设置密闭罩，是有效捕集烟尘的另外方法。并常将废气排至袋式集尘室，以其作为控制装置。

用带或不带化学添加剂的水喷雾的湿抑制法，对矿渣处

理和倒卸过程逸散尘的控制，是一种可能有效的方法。但湿抑制法局限于渣是冷的状态。如果在倒渣过程中将自由降落距离缩至最小，也能减少逸散尘。倒渣地区的封闭或安置防风墙也有助于防止风吹尘的产生。如果倒渣区面积相对较小，可装一固定罩并将逸散尘排至袋式集尘室。

表2-4列出可用的控制技术、效率、估计费用和 RACM。

(五)推荐的合理、可用控制措施

对铁生产逸散尘源选出的RACM列在表2-4中。

对铁矿石卸料选定的控制技术是在受料点使用喷雾的湿抑制法，与其他控制方案相比，此法有效（80%控制）且经济。

对石灰石卸料选定的控制技术也是湿抑制系统。这种系统对卸料操作、倒运点和送料上堆、风蚀和出料作业将有总控制的作用。喷雾点将是受料点、全部倒运点、储料上堆和出料点和储堆的表面。这种系统是有效（95%控制）且费用最低者。

对铁矿石储堆上料排放尘的控制，靠伸缩溜槽或石头阶梯，并辅以湿抑制来有效地完成。由风蚀、出料作业、倒运点排放的尘可用湿抑制。这个费用最少的方法仍能提供良好的控制效率（95%）。焦炭储存、处理和倒运排放的尘也可用相同方法控制（即石阶梯或伸缩溜槽和湿抑制）。

对高炉烟道尘，由于它是封闭操作，未推荐控制方法。但在倒运点，推荐湿抑制法。

烧结机风箱出料，由于它是可忽略的源，没有选择控制的方法。烧结矿条筛和冷却器通常按点源控制。但如此过程未适当加罩（良好捕集效率的罩）也可能发生大量排放。推荐的控制技术是适当加罩并排气至纤维过滤袋。

对烧结矿储堆作业推荐的控制技术是湿抑制，由于它是有效的（80~90%控制）和费用较低。在送料上堆点和出料点或储堆面都使用湿抑制。

烧结矿装运与转运的控制，靠在倒运点使用喷雾的湿抑制系统来完成。

对高炉装料，由于它是可忽略的源，未推荐控制的方法。对高炉崩料，则由小心操作和控制原料质量来进行最好的控制。并已证明别无它法。

对高炉出料（出铁场排放）的逸散尘的RACM选择，或是在出料孔和流道（至撇渣槽）加罩，并排气至纤维过滤袋，

表2-4 铁生产中逸散尘源的控制技术、效率、费用及RACM的选择

| 逸散尘源 | 可供选择的控制技术 | 控制效率 (%) | 控制费用 (1980.1) 美元 | | 费用效益比 (美元/kg) | 选择的RACM |
|------------------|----------------|----------|--------------------|--------------------|---------------|-------------|
| | | | 投资费 | 年费用 | | |
| 1. 铁矿石卸料 (驳船或铁路) | 湿抑制 (化学润湿剂) | 80 | 37000 | 32000 | 0.41 | 湿抑制 (化学润湿剂) |
| | 部分密封斗车 | 低 | — | — | — | |
| | 封闭受料点 | 70 | 60000 ^a | 12000 ^b | 0.18 | |
| | 封闭受料点并排气至纤维过滤袋 | 99 | 120000 | 42000 ^c | 0.44 | |
| 2. 石灰石卸料 (驳船或铁路) | 封闭受料点 | 50 | 15000 | 3000 | 4.58 | 湿抑制 (化学润湿剂) |
| | 封闭受料点并排气至纤维过滤袋 | 99 | 87000 | 21000 | 16.2 | |
| | 湿抑制 (化学润湿剂) | 95 | 64000 ^d | 15700 ^e | 2.80 | |
| 3. 铁矿石储存 | 送料上堆 | 80 | 25000 | 5000 ^b | 0.076 | 伸缩溜槽和湿抑制 |

续表

| 逸散 尘源 | 可供选择的 控制技术 | 控 制 效 率 (%) | 控制费用 (1980.1) 美元 | | 费用效 益 比 (美元 /kg) | 选择的 RACM |
|---------------------|---------------------|--------------------|-----------------------|----------------------|---------------------------|--------------------|
| | | | 投资费 | 年费用 | | |
| 4. 铁矿 石装运 与转运 | 防风装置 | 50 | 37000 | 7000 ^b | 0.17 | 湿抑制 (化学润 湿剂) |
| | 湿抑制 (化 学润湿剂) | 75 | 73000 | 30000 ^a | 0.49 | |
| | 伸缩溜槽 | 75 | 9000 | 2000 ^b | 0.033 | |
| | 出料下堆输送机 | 80 | 13680000 ^f | 2736000 ^b | 29.23 | |
| | 斗轮取料机 | 80 | 4500000 | 900000 ^b | 9.62 | |
| | 湿抑制 (化 学润湿剂) | 95 | 73000 | 30000 | 0.27 | |
| | 风蚀封闭 | 100 | 17280000 ^e | 3456000 ^b | 35.45 | |
| | 湿抑制 (化 学润湿剂) | 99 | 14000 | 10000 | 0.10 | |
| | 封闭 | 70 | 65000 | 13000 ^b | 0.024 | |
| | 封闭并排气 至纤维过滤 袋 | 99 | 218000 | 67000 | 0.087 | |
| 5. 石灰 石储存 | 湿抑制 (化 学润湿剂) | 95 | 110000 | 52000 | 0.07 | 湿抑制 (化学润 湿剂) |
| | 送料上堆封闭 | 70~99 ^a | 950000 ^b | 162000 ^b | 217.9 | |
| | 湿抑制 (化 学润湿剂) | 80~90 | 费用包括在出料中 | | 2.80 | |
| | 可调节的溜 槽 | 75 | 44000 | 8000 ^b | 48.93 | |
| | 出料湿抑制 (化 学润湿剂) | 80~90 | | | 2.80 | |
| | 重力送料上 运输机 | 80 | 570000 ⁱ | 14000 ^b | 523.9 | |
| | 风蚀封闭 | 95~99 ^a | 费用包括在送 料上堆封闭中 | | 217.9 | |
| | 湿抑制 (化 | 90 | 6000 ^j | 8000 | 16.34 | |

续表

| 逸散尘源 | 可供选择的控制技术 | 控 制 率 效 率 (%) | 控制费用(1980.1) 美元 | | 费用效 益 比 (美元 /kg) | 选择的 RACM |
|---------------------|---------------------|---------------------|-----------------------|----------------------|---------------------------|-----------------------------|
| | | | 投资费 | 年费用 | | |
| 6. 石灰 石运输 与转运 | 学润湿剂) 洒水 | 50 | 5000 ^j | 2600 | 9.56 | |
| | 湿抑制(化 学润湿剂) | 90 | | | 2.80 | 湿抑制 (化学润 湿剂) |
| | 封闭并排气 至纤维过滤 袋 | 95 | 117000 | 32000 ^e | 7.73 | |
| 7. 焦炭 储存 | | | | | | |
| 送料 上堆 | 封闭(石头 阶梯) | 80 | 25000 | 5000 ^b | 1.81 | 伸缩溜槽 和湿抑制 (化学润 湿剂) |
| | 防风装置 | 50 | 37000 | 7000 ^b | 4.06 | |
| 出料 | 湿抑制(化 学润湿剂) | 75 | 73000 | 30000 ^e | 11.6 | |
| | 伸缩溜槽 | 75 | 9000 | 2000 ^b | 0.77 | |
| | 下堆输送机 | 80 | 13680000 | 2736000 | 660.9 | 湿抑制 (化学润 湿剂) |
| | 斗轮取料机 | 80 | 4500000 | 900000 ^b | 217.4 | |
| | 湿抑制(化 学润湿剂) | 95 | 73000 | 30000 ^e | 6.10 | |
| 风蚀 | 封闭 | 100 | 17280000 ^e | 3436000 ^b | 2490 | 湿抑制 (化学润 湿剂) |
| | 湿抑制(化 学润湿剂) | 99 | 14000 | 10000 | 7.32 | |
| 8. 焦炭 装运与 转运 | 封闭 | 70 | 65000 | 13000 ^b | 0.52 | 湿抑制 (化学润 湿剂) |
| | 封闭并排气 至纤维过滤 袋 | 99 | 218000 | 67000 ^e | 1.88 | |
| | 湿抑制(化 学润湿剂) | 95 | 110000 | 52000 | 1.52 | |
| 9. 高炉 烟道尘 储存 | 可忽略的排 放源 | | | | | 无控制 |

续表

| 逸散尘源 | 可供选择的控制技术 | 控制效率 (%) | 控制费用 (1980.1) 美元 | | 费用效益比 (美元/kg) | 选择的 RACM |
|-------------------|---------------|--------------------|----------------------|---------------------|---------------|---------------|
| | | | 投资费 | 年费用 | | |
| 10. 高炉烟道尘 | 封闭 | 70 | 20000 | 4000 ^b | 16.14 | 湿抑制 (化学润湿剂) |
| | 封闭并排气至纤维过滤袋 | 99 | 70000 | 15000 ^c | 42.8 | |
| | 湿抑制 (化学润湿剂) | 95 | 37000 | 9000 | 26.76 | |
| 11. 烧结机风箱出料 | 可忽略的排放源 | | | | | 无控制 |
| 12. 烧结机出料 (粉碎和过筛) | 封闭 | 50 | 25000 | 5000 ^b | 0.0045 | 封闭或加罩排气至纤维过滤袋 |
| | 封闭并排气至纤维过滤袋 | 99 | 343000 ^k | 122000 ^k | 0.0555 | |
| 13. 烧结矿冷却器 (不经排气) | 封闭 | 50 | 25000 | 5000 ^b | 0.07 | 封闭或加罩排气至纤维过滤袋 |
| | 封闭或加罩排气至纤维过滤袋 | 99 | 费用包括在烧结机出料、过筛中 | | 0.0555 | |
| 14. 烧结矿储存 | 送料上堆 | 70~90 ^a | 950000 ^b | 162000 ^b | 0.985 | 湿抑制 (化学润湿剂) |
| | 湿抑制 (化学润湿剂) | 80~90 ^a | 64000 ^l | 15700 ^c | 0.086 | |
| | 可调溜槽 | 75 ^a | 44000 | 7500 ^b | 0.123 | 湿抑制 (化学润湿剂) |
| | 湿抑制 (化学润湿剂) | 80~90 ^b | 费用包括在送料上堆中 | | 0.088 | |
| 出料 | 重力送料输送机 | 80 ^a | 2993000 ^m | 599000 ^b | 5.59 | |
| 风蚀 | 封闭 | 95~99 ^a | 费用包括在送料上堆的封闭费内 | | 0.99 | 湿抑制 (化学润湿剂) |

续表

| 逸散 尘源 | 可供选择的 控制技术 | 控 制 率 (%) | 控制费用(1980.1) 美元 | | 费用效 益 比 (美元 /kg) | 选择的 RACM |
|---------------------------------|-------------------------|--------------------|----------------------|----------------------|---------------------------|---|
| | | | 投资费 | 年费用 | | |
| 15. 烧 结矿装 运与转 运 | 湿抑制 (化 学润湿剂) | 90 ^a | 6000 ^j | 8000 | 0.091 | 湿抑制 (化学润 湿剂) |
| | 洒水 | 50 ^a | 5000 ^j | 2600 | 0.053 | |
| | 封闭 | 70 | 37000 | 7000 ^b | 0.077 | |
| | 封闭、排气 至纤维过滤 袋 | 99 | 117000 | 33000 | 0.29 | |
| | 湿抑制 (化 学润湿剂) | 95 | 55000 | 34000 | 0.277 | |
| 16. 高 炉装料 | 可忽略的排 放源 | | | | | 无控制 |
| 17. 高 炉崩料 | 操作实践和 原料控制 | 未知 | 无 | 无 | | 操作实践 和原料控 制 |
| | 排放阀通至 水井 | 未知 | — | — | — | |
| | 排放阀加折 流板封闭箱 | 未知 | — | — | — | |
| 18. 高 炉出 渣和出 铁的排 放) | 出料孔和撒 泡槽加罩、 纤维过滤袋 | 65 | 4611000 ^a | 1355000 ^a | 21.28 | 出料场抽 气、纤维 过滤袋或 出料口和 撒渣槽加 罩、纤维 过滤袋 |
| | 出料口和流 通加罩, 纤 维过滤袋 | 94 | 7313000 ^a | 2550000 ^a | 27.7 | |
| | 出铁场抽 气、纤维过 滤袋 | 99 | 5779000 | 1627000 ^a | 16.78 | |
| 19. 渣 的装运 | 湿抑制 | 50 | 55000 | 34000 | 1.27 | 无控制 |
| | 加罩、湿洗 涂器 | 95 | 4942000 | 1030000 | 20.23 | |
| 20. 渣 的储存 送料上 堆 | 封闭 | 70~99 ^a | 950000 ^b | 162000 ^b | 2.87 | 湿抑制 |

续表

| 逸散 尘源 | 可供选择的 控制技术 | 控 制 效 率 (%) | 控制费用(1980.1) 美元 | | 费用效 益 比 (美元 /kg) | 选择的 RACM |
|--------------|----------------|--------------------|---------------------|---------------------|---------------------------|--------------------|
| | | | 投资费 | 年费用 | | |
| 风蚀 | 湿抑制(化 学润湿剂) | 80~90 ^a | 64000 ^l | 15700 ^e | 0.23 | (化学润 湿剂) |
| | 湿抑制(化 学润湿剂) | 90 ^a | 6000 ^j | 8000 | 0.33 | 湿抑制 (化学润 湿剂) |
| | 封闭 | 95~99 ^a | 费用包括在送料 上堆的封闭费内 | | 2.87 | |
| 出料 | 洒水 | 50 ^a | 5000 ^j | 2600 | 0.19 | |
| | 湿抑制(化 学润湿剂) | 30~90 ^b | 费用包括在 送料上堆中 | | 0.22 | 湿抑制 (化学润 湿剂) |
| 21. 渣 的粉碎 | 湿抑制 | 50 | 31000 ^a | 12000 ^a | 0.013 | 湿抑制 |
| | 加罩、纤维 过滤袋 | 90 | 279000 ^a | 118000 ^a | 0.073 | (化学润 湿剂) |

- 注: a. 根据用10号厚度钢板封闭。
 b. 包括投资费和维修费(约为20%总投资)。
 c. 根据每年运行3000h。
 d. 根据卸料、送料上堆、出料和倒运操作的湿抑制。
 e. 根据每小时处理料544吨和每年运行3000h。
 f. 根据每吨料52.4美元和储存261000t。
 g. 根据每吨料66.2美元和储存261000t。
 h. 根据储存10900t。
 i. 根据每吨料52.4美元和储料10900t。
 j. 每年通过量调整到90700t。
 k. 根据每年产烧结矿 0.69×10^6 t。
 l. 根据每小时通过量136t, 并控制进料和出料作业。
 m. 根据每吨费用52.4美元和储料57100t。
 n. 根据年产热金属能力为690000t。
 o. 加投资费(20%总投资费)。

或是将出铁场的气体抽至纤维过滤袋。虽然后者的费用效益较前者为低, 但对某些设备由于通风要求较大的空气体积,

预计费用效益将会大很多。

对渣装运的控制技术或是无效的，或是非常昂贵，对这类相对较小的排放源未推荐控制的技术。

对渣储存和粉碎操作，推荐的控制技术是湿抑制。应用点将包括进料和出料点、整个储堆和破碎机入口。它是最低费用的有效控制方法。

道路是钢铁工厂主要逸散尘排放源，推荐的控制技术是经常地打扫和清洗铺砌道路。对繁忙的交通要道进行铺筑，对运输较少而未铺砌的道路经常地绕油或使用湿抑制（化学润湿剂）。有关详细介绍见第一章。

(六)典型费用计算

美国俄亥俄州铁生产设备的平均生产能力

烧结矿能力（平均） $=0.69 \times 10^6 \text{t/a}$

高炉能力（平均） $=1.58 \times 10^6 \text{t/a} \cdot \text{工厂}$

或 $0.59 \times 10^6 \text{t/a} \cdot \text{炉}$

炉膛直径（平均） $=7.7 \text{m}$

工作体积 $=1.145 \text{m}^3$

平均储堆堆料量

| | 储堆量 (t) | 年通过量 (10^6t) |
|-------|---------|--------------------------|
| 焦炭 | 18140 | 0.345 |
| 铁矿石球团 | 90700 | 0.218 |
| 结块铁矿石 | 170500 | 0.562 |
| 矿石混匀 | 13600 | 0.263 |
| 渣 | 146900 | 1.787 |
| 烧结矿 | 57140 | 0.653 |

1. 铁矿石卸料

总卸料量 = 780000t/a

排放量 = (0.125kg/t)(780000t/a) = 97500kg/a

湿抑制

投资费 = 37000美元

年运行费用 = 0.033美元/t × 780000t/a = 25700美元/a

年费用 = 32000美元

$$\text{费用效益比} = \frac{32000 \text{美元/a}}{0.8(97500 \text{kg/a})} = 0.41 \text{美元/kg}$$

封闭受料点

$$\text{费用效益比} = \frac{12000 \text{美元/a}}{0.5(97500 \text{kg/a})} = 0.18 \text{美元/kg}$$

封闭受料点并排气至纤维过滤袋

$$\text{费用效益比} = \frac{42000 \text{美元/a}}{0.99(97500 \text{kg/a})} = 0.44 \text{美元/kg}$$

2. 石灰石卸料

排放量 = (0.12kg/t)(10900t/a) = 1310kg/a

封闭受料点

$$\text{费用效益比} = \frac{3000 \text{美元/a}}{(0.5)(1310 \text{kg/a})} = 4.58 \text{美元/kg}$$

封闭受料点并排空气至纤维过滤袋

$$\text{费用效益比} = \frac{21000 \text{美元/a}}{0.99(1310 \text{kg/a})} = 16.2 \text{美元/kg}$$

湿抑制

费用效益比

$$\begin{aligned} & \frac{15700 \text{美元/a}}{(0.95(1310) + 0.9(218) + 0.9(272) + 0.9(4360)) \text{kg/a}} \\ & = 2.80 \text{美元/kg} \end{aligned}$$

3. 铁矿石储存

进料

$$\text{排放量} = 0.105 \text{ kg/t} (780000 \text{ t/a}) = 81900 \text{ kg/a}$$

封闭(石阶梯)

$$\text{投资费} = 25000 \text{ 美元}$$

$$\text{年费用} = (0.20)(25000) = 5000 \text{ 美元}$$

$$\text{费用效益比} = \frac{5000 \text{ 美元/a}}{(0.8)(81900 \text{ kg/a})} = 0.076 \text{ 美元/kg}$$

防风装置

$$\text{投资费} = 37000 \text{ 美元}$$

$$\text{年费用} = (0.2)(37000) = 7000 \text{ 美元}$$

$$\text{费用效益比} = \frac{7000 \text{ 美元/a}}{(0.5)(81900 \text{ kg/a})} = 0.17 \text{ 美元/kg}$$

湿抑制

$$\text{投资费} = 73000 \text{ 美元}$$

$$\text{年费用} = 30000 \text{ 美元}$$

$$\text{费用效益比} = \frac{30000 \text{ 美元/a}}{(0.075)(81900 \text{ kg/a})} = 0.49 \text{ 美元/kg}$$

伸缩溜槽

$$\text{投资费} = 9000 \text{ 美元}$$

$$\text{年费用} = 2000 \text{ 美元}$$

$$\text{费用效益比} = 0.033 \text{ 美元/kg}$$

出料

$$\text{排放量} = (0.15 \text{ kg/t})(780000 \text{ t/a}) = 117000 \text{ kg/a}$$

下堆输送机

$$\text{投资费} = (52.4 \text{ 美元/t})(261000 \text{ t}) = 13680000 \text{ 美元}$$

$$\text{年费用} = (0.2)(13680000) = 2736000 \text{ 美元}$$

$$\text{费用效益比} = \frac{2736000 \text{ 美元/a}}{(0.8)(117000 \text{ kg/a})} = 29.23 \text{ 美元/kg}$$

斗轮取料机

投资费 = 4500000 美元

年费用 = (0.2)(4500000) = 900000 美元

费用效益比 = $\frac{900000 \text{ 美元/a}}{(0.8)(117000 \text{ kg/a})} = 9.62 \text{ 美元/kg}$

湿抑制

投资费 = 73000 美元

年费用 = 30000 美元

费用效益比 = $\frac{30000 \text{ 美元/a}}{(0.95)(117000 \text{ g/a})} = 0.27 \text{ 美元/kg}$

风蚀

排放量 = $0.125 \text{ kg/t} \times 780000 \text{ t/a} = 97500 \text{ kg/a}$

封闭

投资费 = $66.2 \text{ 美元/t} \times 261000 \text{ t (储料)}$

= 17280000 美元

年费用 = $0.2 \times 17280000 = 3456000 \text{ 美元}$

费用效益比 = $\frac{3456000 \text{ 美元/a}}{1.0 \times (97500 \text{ kg/a})} = 35.45 \text{ 美元/kg}$

湿抑制

投资费 = 14000 美元

年费用 = $(0.549 \text{ 美元/m}^2)(13900 \text{ m}^2) + 0.17(14000)$

= 10000 美元

费用效益比 = $\frac{10000 \text{ 美元/a}}{0.99(97500 \text{ kg/a})} = 0.10 \text{ 美元/kg}$

4. 铁矿石装运和转运

排放量 = $1 \text{ kg/t} \times 780000 \text{ t/a} = 780000 \text{ kg/a}$

封闭

输送机每米 114.8 美元, 转运站每吨次 3307.6 美元 假

设输送机长 305m 和有 6 个转运站

投资费 = 65000 美元

年费用 = $0.2 \times 65000 = 13000$ 美元

$$\text{费用效益比} = \frac{13000 \text{ 美元/a}}{0.7(780000 \text{ kg/a})} = 0.024 \text{ 美元/kg}$$

封闭并排气至纤维过滤袋

运输费 230 美元/m, 转运站每吨次 19846 美元

投资费 = 218000 美元

年费用 = 67000 美元

$$\text{费用效益比} = \frac{67000 \text{ 美元/a}}{0.99 \times 780000 \text{ kg/a}} = 0.087 \text{ 美元/kg}$$

湿抑制

投资费 = 110000 美元

年费用 = 52000 美元

$$\text{费用效益比} = \frac{52000 \text{ 美元/a}}{0.99(218) + 0.97(544)} = 0.07 \text{ 美元/kg}$$

5. 石灰石储存

进料

排放量 = $0.02(10884) = 218 \text{ kg/a}$ (参看石灰 2)

封闭

$$\text{费用效益比} = \frac{162000 \text{ 美元/a}}{0.75(218 \text{ kg/a})} = 217.9 \text{ 美元/kg}$$

湿抑制

费用效益比 = 2.80 美元/kg

可凋溜槽

$$\text{费用效益比} = \frac{8000 \text{ 美元/a}}{0.75(218 \text{ kg/a})} = 48.93 \text{ 美元/kg}$$

出料

排放量 = $0.025(10900) = 273 \text{ kg/a}$ (参看石灰 2)

湿抑制

$$\text{费用效益比} = 2.80 \text{ 美元/kg}$$

重力送料上输送机

$$\text{费用效益比} = \frac{114000 \text{ 美元/a}}{0.8(270 \text{ kg/a})} = 523.9 \text{ 美元/kg}$$

风蚀

$$\text{排放量} = 0.05(10884) = 544 \text{ kg/a (参看石灰 2)}$$

封闭

$$\text{费用效益比} = 217.9 \text{ 美元/kg}$$

湿抑制

$$\text{费用效益} = \frac{8000 \text{ 美元/a}}{0.9(544 \text{ kg/a})} = 16.34 \text{ 美元/kg}$$

洒水

$$\text{费用效益} = \frac{2600 \text{ 美元/a}}{0.5 \times 544 \text{ kg/a}} = 9.56 \text{ 美元/kg}$$

6. 石灰石输送和转运

$$\text{排放量} = 4355 \text{ kg/a}$$

湿抑制

$$\text{费用效益比} = 2.80 \text{ 美元/kg (参看石灰 1)}$$

封闭并排气至纤维过滤袋

假设输送机198m和有4个转运站

$$\text{费用效益比} = \frac{32000 \text{ 美元/a}}{0.95(4355 \text{ kg/a})} = 7.73 \text{ 美元/kg}$$

7. 焦炭储存

进料

$$\text{排放量} = 0.01(0.345 \times 10^6) = 3447 \text{ kg/a (参看铁矿石储存)}$$

封闭 (石阶梯)

$$\text{费用效益比} = \frac{5000 \text{ 美元/a}}{0.8(3447 \text{ kg/a})} = 1.81 \text{ 美元/kg}$$

防风装置

$$\text{费用效益比} = \frac{7000 \text{美元/a}}{0.5(3447 \text{kg/a})} = 4.06 \text{美元/kg}$$

湿抑制

$$\text{费用效益比} = \frac{30000 \text{美元/a}}{0.75(3447 \text{kg/a})} = 11.6 \text{美元/kg}$$

伸缩溜槽

$$\text{费用效益比} = \frac{2000 \text{美元/a}}{0.75(3447 \text{kg/a})} = 0.77 \text{美元/kg}$$

出料

$$\text{排放量} = 0.015 \times (0.345 \times 10^6) = 5175 \text{ kg/a} \quad (\text{参看铁矿石储存})$$

下堆输送机

$$\text{费用效益比} = \frac{2736000 \text{美元/a}}{0.8 \times 5175 \text{kg/a}} = 660.9 \text{美元/kg}$$

斗轮取料机

$$\text{费用效益比} = \frac{900000 \text{美元/a}}{0.8 \times 5175 \text{kg/a}} = 217.4 \text{美元/kg}$$

湿抑制

$$\text{费用效益比} = \frac{30000 \text{美元/a}}{0.95 \times 5175 \text{kg/a}} = 6.10 \text{美元/kg}$$

风蚀

$$\text{排放量} = 0.004(0.345 \times 10^6) = 1380 \text{ kg/a} \quad (\text{参看铁矿石储存})$$

封闭

$$\text{费用效益比} = \frac{3436000 \text{美元/a}}{1.0 \times 1380 \text{kg/a}} = 2490 \text{美元/kg}$$

湿抑制

$$\text{费用效益比} = \frac{10000 \text{美元/a}}{0.99 \times 1380 \text{kg/a}} = 7.32 \text{美元/kg}$$

8. 焦炭装运和转运

排放量 = $0.55(0.653 \times 10^6) = 35915 \text{ kg/a}$ (参看铁矿石)

封闭

$$\text{费用效益比} = \frac{13000 \text{ 美元/a}}{0.7 \times 35915 \text{ kg/a}} = 0.52 \text{ 美元/kg}$$

封闭并排气至纤维过滤袋

$$\text{费用效益比} = \frac{67000 \text{ 美元/a}}{0.99 \times 35915 \text{ kg/a}} = 1.88 \text{ 美元/kg}$$

湿抑制

$$\text{费用效益比} = \frac{52000 \text{ 美元/a}}{0.95 \times 35915 \text{ kg/a}} = 1.52 \text{ 美元/kg}$$

9. 高炉烟道尘储存 无控制

10. 高炉烟道尘装运和转运

排放量 = $0.015(23582) = 354 \text{ kg/a}$

封闭

假设输送机长91m和有3个转运站

投资费 = 20000美元

年费用 = 4000美元

$$\text{费用效益比} = \frac{4000 \text{ 美元/a}}{0.7(354 \text{ kg/a})} = 16.14 \text{ 美元/kg}$$

封闭并排气至纤维过滤袋

投资费 = 70000美元

年费用 = 15000美元

$$\text{费用效益比} = \frac{15000 \text{ 美元/a}}{0.99 \times 354 \text{ kg/a}} = 42.8 \text{ 美元/kg}$$

湿抑制

投资费 = 37000美元

年费用 = $0.03(100000 \text{ t}) + (37000)(0.17) = 9000 \text{ 美元}$

$$\text{费用效益比} = \frac{9000 \text{ 美元/a}}{0.95(354 \text{ kg/a})} = 26.76 \text{ 美元/kg}$$

11. 烧结机风箱出料 无控制

12. 烧结机出料和过筛

$$\text{排放量} = 3.4 \text{kg/t} (0.653 \times 10^6) = 2.22 \times 10^6 \text{kg/a}$$

封闭

假设输送机长21m; 并有1个转运站

投资费 = 25000 美元

年费用 = $0.2(25000) = 5000$ 美元

$$\text{费用效益比} = \frac{5000 \text{美元/a}}{0.5 \times 2220000 \text{kg/a}} = 0.0045 \text{美元/kg}$$

封闭或加罩并排气至纤维过滤袋

投资费 = 343000 美元

年费用 = 122000 美元

$$\text{费用效益比} = \frac{122000 \text{美元/a}}{0.99 \times 2220000 \text{kg/a}} = 0.0555 \text{美元/a}$$

13. 烧结矿冷却器

$$\text{排放量} = 0.28 \text{kg/t} (0.653 \times 10^6) = 182850 \text{kg/a}$$

封闭或加罩并排气至纤维过滤袋 (参看12)

费用效益比 = 0.0555 美元/kg

封闭 (参看12)

$$\text{费用效益比} = \frac{5000 \text{美元/a}}{0.5(182850 \text{kg/a})} = 0.07 \text{美元/kg}$$

14. 烧结矿储存

进料

$$\text{排放量} = 0.125(0.653 \times 10^6) = 81625 \text{kg/a}$$

封闭 (参看石灰2)

$$\begin{aligned} \text{费用效益比} &= \frac{162000 \text{美元/a}}{(0.85 \times 81625 + 0.97 \times 97978) \text{kg/a}} \\ &= 0.985 \text{美元/kg} \end{aligned}$$

湿抑制

投资费 = 64000 美元

年费用 = 15700 美元

$$\begin{aligned} \text{费用效益比} &= \frac{15700 \text{ 美元/a}}{(0.85 \times 81625 + 0.85 \times 133812) \text{ kg/a}} \\ &= 0.086 \text{ 美元/kg} \end{aligned}$$

可调溜槽 (参看石灰 2)

$$\text{费用效益比} = \frac{7500 \text{ 美元/a}}{0.75 \times 81625 \text{ kg/a}} = 0.123 \text{ 美元/kg}$$

出料

排放量 = $0.205(0.653 \times 10^6) = 133865 \text{ kg/a}$

湿抑制 (参看进料)

费用效益比 = 0.088 美元/kg

重力送料上输送机

投资费 = $47.50(63000) = 2993000$ 美元

年费用 = $0.2(2993000) = 599000$ 美元

$$\text{费用效益比} = \frac{599000 \text{ 美元/a}}{0.8(133865 \text{ kg/a})} = 5.59 \text{ 美元/kg}$$

风蚀

排放量 = $0.15(0.653 \times 10^6) = 97950 \text{ kg/a}$ (参看石灰 2)

封闭

费用效益比 = 0.99 美元/kg

湿抑制

$$\text{费用效益比} = \frac{8000 \text{ 美元/a}}{0.9 \times 97950 \text{ kg/a}} = 0.091 \text{ 美元/kg}$$

洒水

$$\text{费用效益比} = \frac{2600 \text{ 美元/a}}{0.5 \times 97950 \text{ kg/a}} = 0.053 \text{ 美元/kg}$$

15. 烧结矿装运和转运

排放量 = $0.2 \times (0.653 \times 10^6) = 130600 \text{ kg/a}$

封闭 (参看15)

投资费 = 37000 美元

年费用 = $0.2(37000) = 7000$ 美元

$$\text{费用效益比} = \frac{7000 \text{ 美元/a}}{0.7 \times 130600 \text{ kg/a}} = 0.077 \text{ 美元/kg}$$

封闭并排气至纤维过滤袋 (参看石灰石)

$$\text{费用效益比} = \frac{38000 \text{ 美元/a}}{0.99 \times 130600 \text{ kg/a}} = 0.29 \text{ 美元/kg}$$

湿抑制 (参看15)

投资费 = 155000 美元

年费用 = 34000 美元

$$\text{费用效益比} = \frac{34000 \text{ 美元/a}}{0.94 \times 130600 \text{ kg/a}} = 0.277 \text{ 美元/kg}$$

16. 高炉装料 无控制

17. 高炉崩料 无费用数据

18. 高炉出料 (出铁场排放)

$$\text{排放量} = 0.15 \times (0.653 \times 10^6) = 97950 \text{ kg/a}$$

出料孔、撇泡槽加罩并排气至纤维过滤袋

投资费 = 4611000 美元

年费用 = 1355000 美元

$$\text{费用效益比} = \frac{1355000 \text{ 美元/a}}{0.65 \times 97950 \text{ kg/a}} = 21.28 \text{ 美元/kg}$$

出料孔至流道加罩并排气至纤维过滤袋

投资费 = 7313000 美元

年费用 = 2550000 美元

$$\text{费用效益比} = \frac{2550000 \text{ 美元/a}}{0.94 \times 97950 \text{ kg/a}} = 27.7 \text{ 美元/kg}$$

出铁场抽气至纤维过滤袋

投资费 = 5779000 美元

年费用 = 1627000 美元

$$\text{费用效益比} = \frac{1627000 \text{ 美元/a}}{0.99 \times 97950 \text{ kg/a}} = 16.78 \text{ 美元/kg}$$

19. 渣的装运

排放量 = $0.03 \times (1.8 \times 10^6) = 53604 \text{ kg/a}$

湿抑制 (参看15)

$$\text{费用效益比} = \frac{34000 \text{ 美元/a}}{0.5 \times 53604 \text{ kg/a}} = 1.27 \text{ 美元/kg}$$

加罩和湿洗涤器

投资费 = 4942000 美元

年费用 = 1030000 美元

$$\text{费用效益比} = \frac{1030000 \text{ 美元/a}}{0.95 \times 53604 \text{ kg/a}} = 20.23 \text{ 美元/kg}$$

20. 渣的储存

进料

排放量 = $0.02(1.787 \times 10^6) = 35740 \text{ kg/a}$ (参看14)

封闭

$$\begin{aligned} \text{费用效益比} &= \frac{162000 \text{ 美元/a}}{(0.85 \times 35740 + 0.97 \times 26808) \text{ kg/a}} \\ &= 2.87 \text{ 美元/kg} \end{aligned}$$

湿抑制

$$\begin{aligned} \text{费用效益比} &= \frac{15700 \text{ 美元/a}}{(0.85 \times 35740 + 0.85 \times 44453) \text{ kg/a}} \\ &= 0.23 \text{ 美元/kg} \end{aligned}$$

出料

排放量 = $0.025(1.79 \times 10^6) = 44675 \text{ kg/a}$ (参看14)

湿抑制

$$\text{费用效益比} = 0.22 \text{ 美元/kg}$$

风蚀

$$\text{排放量} = 0.015(1.79 \times 10^6) = 26805 \text{ kg/a (参看14)}$$

封闭

$$\text{费用效益比} = 2.87 \text{ 美元/kg}$$

湿抑制

$$\text{费用效益比} = \frac{8000 \text{ 美元/a}}{0.9(26805 \text{ kg/a})} = 0.33 \text{ 美元/kg}$$

洒水

$$\text{费用效益比} = \frac{2600 \text{ 美元/a}}{0.5(26805 \text{ kg/a})} = 0.19 \text{ 美元/kg}$$

21. 渣的粉碎

$$\text{排放量} = 1.0 \times (1.79 \times 10^6) = 1787000 \text{ kg/a (参看15)}$$

湿抑制

$$\text{投资费} = 31000 \text{ 美元}$$

$$\text{年费用} = 12000 \text{ 美元}$$

$$\text{费用效益比} = \frac{12000 \text{ 美元/a}}{0.5 \times 1787000 \text{ kg/a}} = 0.013 \text{ 美元/kg}$$

加罩并排气至纤维过滤袋

$$\text{投资费} = 279000 \text{ 美元}$$

$$\text{年费用} = 118000 \text{ 美元}$$

$$\text{费用效益比} = \frac{118000 \text{ 美元/a}}{0.9 \times 1787000 \text{ kg/a}} = 0.073 \text{ 美元/kg}$$

三、钢的生产

(一) 工艺概述

钢通常用废钢和(或)铁水(熔化生铁)炼制。废钢和生铁中存在的杂质(如硫和磷)用熔剂去除。碳合金的成分,如锌和硅,应按需要进行调整。三类主要的炼钢炉为平炉、氧气顶吹转炉和电弧炉。

平炉——在平炉炼钢过程中，废钢、熔剂和铁水在一矩形浅炉缸或炉床内熔化。装料机将废钢和熔剂放入炉内。由高炉送来的铁水从铁水罐经耐火材料衬里的槽流入炉内。燃烧嘴位于炉的尾墙上，在一炉钢与一炉钢之间可以轮换使用。由燃烧燃料油、焦油沥青混合物、焦炉气或天然气供给热量。杂质由熔化金属的顶部渣层去除。如果使用氧气，则穿过炉盖喷射氧气进入平炉，它可以加速炼钢过程、节约燃料、减少出钢出渣时间并增加钢的生产速率。常规平炉炼钢的完整周期（一炉钢）通常约为10小时，但使用氧气吹喷或富氧燃料，根据导入氧气的数量，吹炼时间可减至6小时。然后，通过炉后出钢口钢水进入钢水罐。

氧气顶吹转炉——高炉的铁水由铁水罐车运至氧气顶吹转炉车间。在倒罐站，铁水被转移到装料铁水罐。为了装入适量的铁水，在倒罐站中铁水罐车和铁水被称重。一台吊车运送铁水去炼钢炉，氧气顶吹转炉不需外加热源。圆柱形的炉体与盘形底座相连，而形如截去尖嘴的锥形顶部用作废钢装料。一个转运铁水罐将熔化的生铁加入转炉，一支氧气喷枪向下伸入炉内。氧气流冲击金属熔池表面，立即开始碳、硅、锰与一些铁的氧化放热反应。通过开罩操作过程，将熔剂和其它添加剂加入炉内。

在吹氧（30~45min）完成后，喷枪被取出，读记温度并取钢样作化学分析。当温度和组成符合要求时，将转炉倾斜，使钢水倒入倒运车上的钢水罐内，而合金的组成用添加剂调节。

电弧炉——在电弧炉中，由电能提供热量。随电源切断，电极和炉盖被旋离炉体。借助桥式吊车将固体废钢料和其它成分（有时包括铁水）炉料放入炉内。合铸用的物料按要求的数量和时间加入炉内。

电弧炉装料后，炉盖被旋回原位，同时将电极下降。接通电源，由电极来的电流穿透炉料。由于电弧熔化了直接处于每支电极下部的炉料，电极钻入固体炉料金属中，在炉床上形成一个液池。由液池辐射、电弧的热量和电流流过废钢而由电阻产生的热量加热炉料。第二和第三批炉料可加入熔料中。但在这些装料过程，大量的逸散性排放物释出。熔化继续进行，直至炉料完全被熔化。然后加入合金料，调节钢的组成，吹氧进入液池并用熔剂去除杂质。炼钢结束后倾斜电炉，使钢水流入钢水罐。炼钢周期随生产钢的种类而变动较大。碳钢的周期为1.5~5小时，合金钢为5~10小时。

无论哪种类炉子炼成的钢，都排入钢水罐并由桥式吊车送至倾倒平台，在平台注入一系列钢锭模内或直接流至连续铸钢机。在注入钢水或铸锭前，钢水可用真空脱气法以减少钢的游离气体含量。注钢水入模，熔化钢水固化形成钢锭。连续铸钢法是将钢水注入中间罐，再按注入一个或多个连续铸钢机钢锭模的钢水数量来控制中间罐的流出量。固化的钢锭由模底提出，成为连续的钢股，再切成规定的长度。

钢锭冷却后，从钢锭模脱锭，并转移至加热炉（均热炉），升温至退火温度，使能在开坯轧机上进行轧制。开坯轧机的产品有初轧方坯、初轧板坯和钢坯等半成品。

在火焰清理过程中可由人工或机械消除钢锭的表面缺陷。机械火焰清理器直接装在轧辊作业线上，并由许多火焰清理喷嘴（氧炔焰）组成。设计这些喷嘴，就是在初轧方坯、初轧板坯或钢坯通过喷嘴时去掉这些红热钢坯四周的薄层（3.2mm或更薄）。某些车间也由手工完成清理缺陷，且通常为冷清理。轧钢之前，坯料必须在卧式加热炉中再加热。

初轧板坯可进一步加工成薄板或卷板。卷板通常在薄板轧机或镀锡钢皮轧机中轧制。金属表面的氧化物和铁屑用酸

洗去除。酸洗带钢的常规设备是由一个槽或几个槽组成的水平连续作业线，通常包括酸洗、漂洗两部分。在入口端常有松卷和焊接装置，在出口端有复绕和剪切装置。

酸洗后，薄卷板或镀锡钢皮可分别接受下列多种处理，如冷压缩，批料连续退火、回火、镀锡、镀锌、无锡镀层、镀铬，纵切，平整，剪切等。初轧方坯和钢坯被加工成热轧建筑型钢、钢管、条钢、钢筋和钢丝。

生产钢的流程图示于图2-4。逸散尘源包括废钢搬运作业，熔剂搬运作业，铁水倒罐，氧气顶吹转炉、平炉和电弧炉操作，铸锭、钢水倒罐和火焰清理。每一过程的潜在逸散尘排放点在图中标出。所有钢厂的公共尘源是工厂运输道路，在图中未标出，已在第一章中讨论。

(二) 逸散尘排放因子

对钢生产过程估算的排放因子列在表2-5中，大部分排放因子是基于试验数据，具有中等或优秀的可信度。

对废钢和熔剂搬运作业的排放因子不清楚，应视为可信度较差。

铁水转移至装料罐的排放因子是基于8次试验数据，其可信度为优秀。

氧气顶吹转炉操作的排放因子是基于39次试验，其可信度为良好至优秀。

平炉操作的排放因子是基于28次测定，其可信度为中等。

电弧炉操作的排放因子是基于28次测定，其可信度为中等。

连续铸锭和常规注模、钢水倒罐的排放因子是基于9次试验，其可信度应视为优秀。

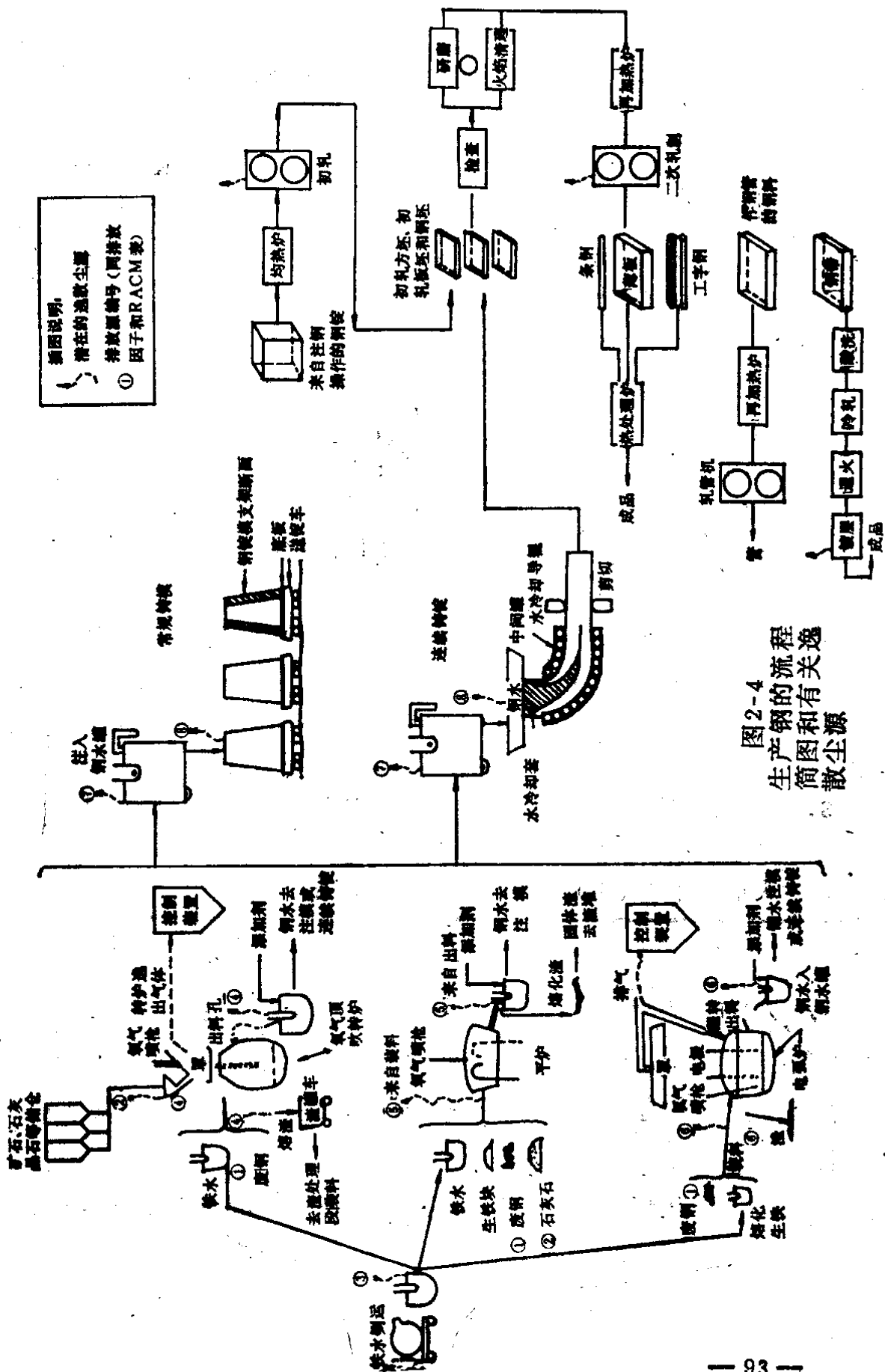


图2-4 生产钢的流程简图和相关逸散尘源

表2-5 钢厂逸散尘排放因子

| 尘源 | 排放因子 | 可信度等级 |
|---------------------------|------------------|-------|
| 1. 废钢卸料、倒运和储存 | 可忽略 | E |
| 2. 铁矿石和熔剂的卸料, 倒运和储存 | 可忽略 | E |
| 3. 铁水转移至装料罐 | 0.095kg/t (铁水) | A |
| 4. 氧气顶吹转炉 | | |
| 炉顶监测 (总计) | 0.25kg/t (钢) | B |
| 装料 (在排放源) | 0.30kg/t (钢水) | A |
| 泄漏 | 可忽略 | E |
| 出料——钢和渣 (在排放源) | 0.46kg/t (钢) | A |
| 5. 平炉-炉顶监测 (总计包括装料和出料) | 0.084kg/t (钢) | C |
| 6. 电弧炉-炉顶监测 (总计包括装料出钢和出渣) | 0.6kg/t (钢) | C |
| 7. 钢水倒罐 | 0.405kg/t (加铅钢) | A |
| | 0.035kg/t (不加铅钢) | A |
| 8. 连续铸锭和常规注模 | 0.405kg/t (加铅钢) | A |
| | 0.035kg/t (不加铅钢) | A |
| 9. 火焰清理 (人工) | 无可用数据 | |

(三) 颗粒特性

生产钢排出的逸散性颗粒物主要为铁氧化物的烟雾。按美国工业卫生学家协商会资料, 铁氧化物烟雾对人体健康产生影响的水平为 5 mg/m^3 。

氧气顶吹转炉操作的排放物可以具有 $293 \sim 1650^\circ\text{C}$ 的排出温度, 但排出后, 温度迅速下降。逸散性排放物具有 $0.5 \mu\text{m}$ 的平均粒径, 且 $85 \sim 99\%$ 小于 $5 \mu\text{m}$ 。氧气顶吹转炉法在铁

水装料中逸散的烟雾有35%的铁氧化物和30%的片状石墨。出料逸散的烟雾有75%的铁氧化物，粒径小于 $10\mu\text{m}$ 。铁水倒罐逸散的烟雾有35%的铁氧化物，其粒径小于 $3\mu\text{m}$ ，有42%的片状石墨，其粒径大于 $75\mu\text{m}$ 。排渣逸散的排放物通常小于 $100\mu\text{m}$ 。

平炉法排放的逸散性颗粒物可以具有 $238\sim 982^\circ\text{C}$ 的排出温度，也能在扩散前迅速冷却。这种逸散尘在高于释放点 24.4m 处排放，并具有 $53\text{m}/\text{min}$ 的垂直速度和高于环境 29°C 的温度。颗粒物的平均直径为 $0.3\sim 5.0\mu\text{m}$ ，且 $50\sim 99\%$ 小于 $5\mu\text{m}$ 。

电弧炉法逸散的颗粒物可以具有 $538\sim 1650^\circ\text{C}$ 的排出温度，但在扩散前很快冷却。这种逸散尘在 $27\sim 42\text{m}$ 高处排放，并具有 $61\sim 152\text{m}/\text{min}$ 的垂直速度，而温度则变动于环境温度与高于环境温度 44°C 之间。颗粒物的平均直径为 $0.3\sim 5\mu\text{m}$ （平均值为 $1.3\mu\text{m}$ ），且 $59\sim 99\%$ 小于 $5\mu\text{m}$ 。

火焰清理中排放的逸散尘通常小于 $2\mu\text{m}$ ，并具有高于环境大约 23°C 的排出温度。

（四）控制方法

铁水和钢水倒罐中排放的逸散尘可由一个紧贴的、可伸缩的罐罩和一套控制装置有效地控制。

对氧气顶吹转炉车间来说，一旦排放物在厂房内扩散，它将变得难于捕获，同时仅有的有效方法是厂房抽气。虽然这种方法从运行观点看是良好的选择，并且排放物近于全部捕集；但缺点是通风速率高和需要较大尺寸的控制装置，并带来较高的费用。可以代替厂房抽气的另一种方案是将炼钢炉和出料地区完全封闭以控制装料、出料、钢水罐添加合金料和排渣时的排放。图2-5介绍一个氧气顶吹转炉的抽气系统。

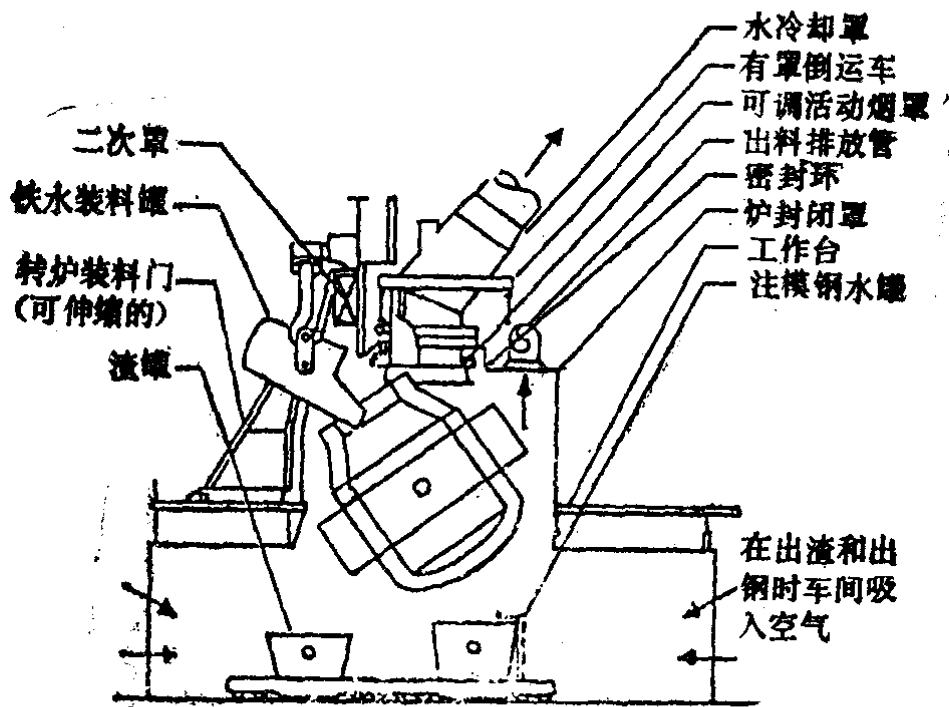


图2-5 氧气顶吹转炉的全封闭系统

氧气顶吹转炉的其它控制技术包括每个排放点的局部罩或顶罩。后者能用于装料和出料排放物的控制。收集的排放物可导至现有的或新的收集装置。许多钢厂被重新设计和对现有系统进行改造而不再装新设备。增加管道、更换大抽气机和加罩是增进捕集效率的主要改动工程。如果保持适当的通风，则氧气喷吹过程排放的一股股烟气将不会出现。同样，使用颚式风档以加大主排气罩装料一侧的抽力，可以加强装料排放物的捕集。氧气顶吹转炉的顶罩系统示于图2-6。

为了控制平炉的逸散性排放，可对厂房进行全部或部分抽气，但如氧气顶吹转炉车间那样，将需要非常大的空气流速。因此，这种系统仅能控制全部排放点到一定程度。装料门和出料地区装设顶罩或局部罩也是一种方法，并能控制平炉的泄漏。这些罩可通过管道输送气流至现有的控制装置或单独的控制系统。

对平炉逸散性排放的其它控制方法是操作上的预防。这种预防包括采用砖格换向计算机，调整为最优化的燃烧以及在炉内装置压力敏感元件维持负压环境。

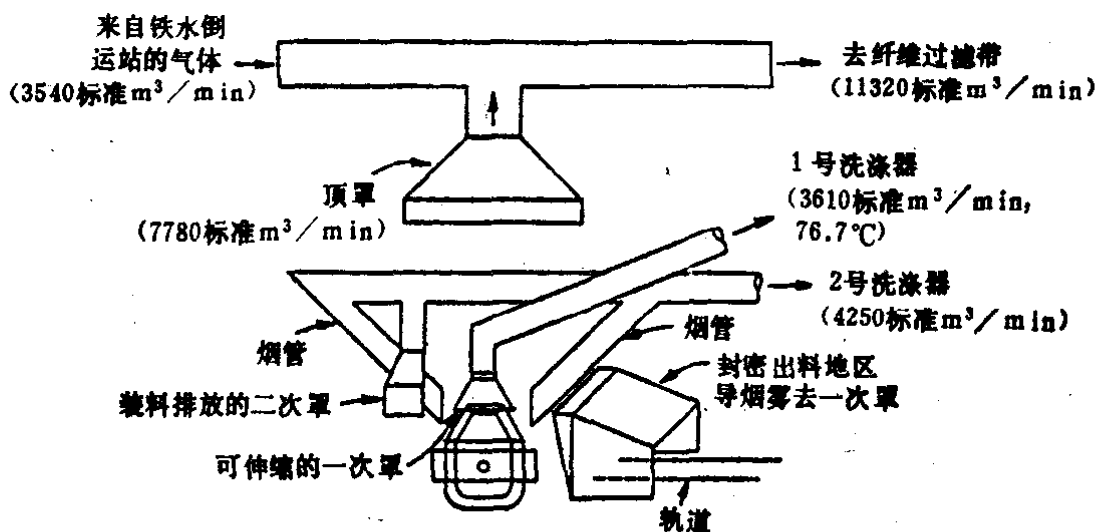


图2-6 氧气顶吹转炉的顶罩系统

对电弧炉炼钢车间有几种控制方案：(1)电炉上部设置局部罩；(2)顶罩；(3)厂房抽气。

三种系统都有优点和缺点。局部罩和顶罩能控制装料和出料的排放物，但必须使罩不干扰正常操作。厂房抽气能捕集所有的逸散性排放物，但需承担大容量抽气系统和控制装置的费用。根据几个电炉车间的情况，排气速率超过 $28300 \text{ m}^3/\text{min}$ 。一台 $45280 \text{ m}^3/\text{min}$ 的排气装置，投资费超过1000万美元。一般来说，每吨炉容量的厂房抽气速率约为 $85 \sim 113 \text{ m}^3(\text{标})/\text{min}$ 。电炉厂房抽气系统示于图2-7。

一种通用的控制系统是同时采用直接抽气和顶罩两种办法。设计这种系统时，顶罩应靠近源的上方以尽量不干扰吊车或其它照管电炉的操作。炉和顶之间距离常常需要 $9 \sim 12 \text{ m}$ 。电炉三边设置金属薄板隔墙以容纳排放物并构成烟囱效应。每吨电炉容量的排气速率大约为 $42 \sim 113 \text{ m}^3(\text{标})/\text{min}$ 。电炉顶罩系统示于图2-8。

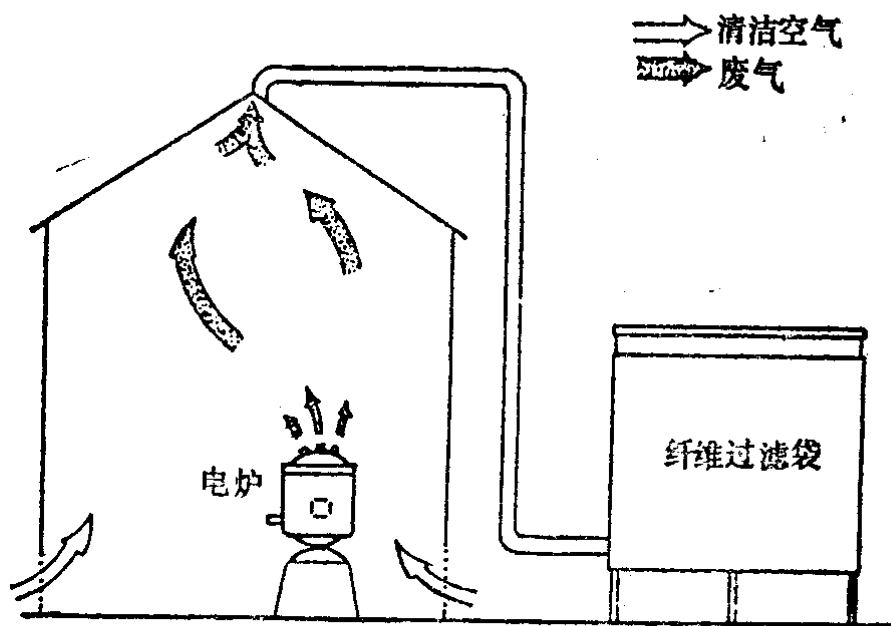


图2-7 电炉厂房抽气系统

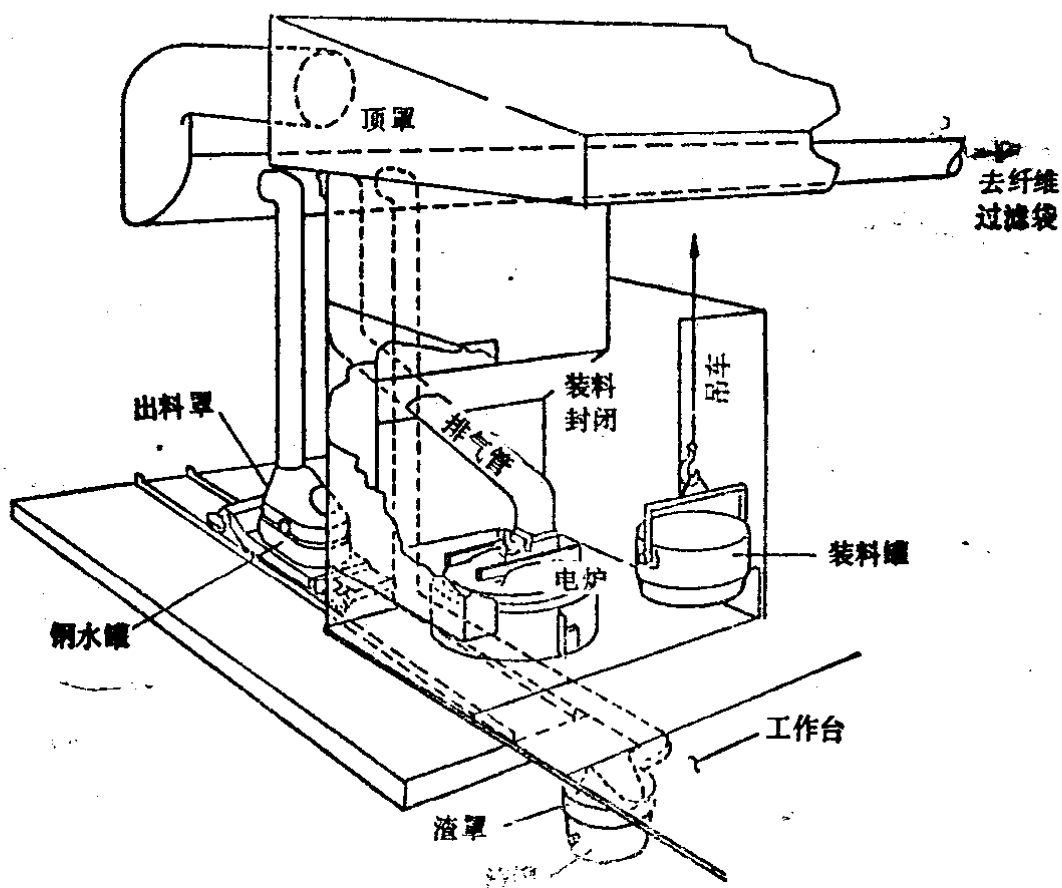


图2-8 电炉顶罩系统

当炉壳的抽气系统不能用来捕集熔化和炼制过程中的排放物时，单用顶罩尚不能胜任，还需进行厂房抽气。

一种公认的捕集技术是封闭炼钢炉并抽气。这样，封闭间内的全部排放物需要的抽气量将比整个厂房抽气的体积小。

厂房抽气系统对电弧炉的排放物估计能有接近100%的捕集。袋式除尘法可收集95%的排放物。顶罩对装料和出料逸散性排放物估计能捕集50~90%。由于许多因素，如排放烟羽的体积、炼钢炉的操作情况和厂房中交叉的通风装置，使某一装置逐日之间或几台装置之间的捕集效率有所变动。

人工火焰清理过程的逸散性排放物可用罩和通气管送至洗涤器或纤维过滤袋。

连续铸锭可选用固定式或移动式罩来控制，它取决于空间的限制和操作的步骤。厂房抽气也是一种办法，但仍需大量的空气流量。每个浇注工段需要的通气速率估计为14150 m³/min。另外，浇注温度的小心控制也能帮助减少逸散性排放物。但浇注温度是一个重要的冶炼参数，常常不能用以减少排放量。在可能使用铸锭释放物（含少量油或不含油的挥发性物料）的车间，将有助于阻止逸散性排放物的发生。常规注模操作或者不予控制，或在生产钢的操作中由抽气系统顺便捕集。

这些可用的控制技术，其有效性、估计费用和 RACM 选择列在表 2-6 中。

(五)推荐的合理、可用控制措施

生产钢过程中逸散性排放源的 RACM 选择列在表 2-6 中。

对废钢和熔剂的卸料、倒运、储存操作，由于这些源

表2-6 生产钢过程中逸散尘源的控制技术、效率、费用及RACM

| 逸散尘源 | 可供选择的控制技术 | 控制效率 (%) | 控制费用 1980.1 美元 | | 费用效益比 (美元/kg) | 选择的 RACM |
|----------------------|------------------|-----------------|----------------------|----------------------|---------------|----------------------------|
| | | | 投资费 | 年费用 | | |
| 1. 废钢卸料、倒运和储存 | 可忽略的源 | | | | | 无控制措施 |
| 2. 熔剂的卸料、倒运和储存 | 可忽略的源 | | | | | 无控制措施 |
| 3. 铁水转运至装料罐 | 加罩和纤维过滤袋 | 98 | 968000 ^a | 304000 ^a | 5.59 | 加罩和纤维过滤袋 |
| 4. 氧气顶吹转炉 (装料、出料、漏等) | 厂房抽气, 纤维过滤袋 | 99 | 9432000 | 3124000 | 9.59 | 局部罩、排气至转炉现有的控制装置 |
| | 转炉封闭, 纤维过滤 | 92 | 5627000 | 1452000 | 1.58 | |
| | 局部罩、排气至现有的转炉控制装置 | 60 | 1085000 ^b | 290000 ^b | 0.48 | |
| 5. 平炉 (装料、出料、泄漏等) | 厂房抽气, 纤维过滤袋 | 99 | 9432000 | 3124000 | 219.1 | 预防性操作 |
| | 平炉封闭, 纤维过滤 | 92 ^c | 5627000 ^c | 1452000 ^c | 109.6 | |
| | 局部罩、排气至现有的平炉控制装置 | 60 ^c | 1065000 ^c | 290000 | 33.6 | |
| 6. 电弧炉 (装料、泄漏等) | 厂房抽气, 纤维过滤袋 | 99 | 9421000 ^d | 3164000 ^d | 20.7 | 电炉抽气、纤维过滤袋 |
| | 顶罩、纤维过滤袋 | 97 | 5763000 ^d | 1357000 ^d | 12.6 | |
| | 电炉抽气、纤维过滤袋 | 90 | 2228000 ^d | 846000 ^d | 5.89 | |
| 7. 钢水倒罐 | 加罩、纤维过滤袋 | 98 | 96000 ^a | 304000 ^a | 1.31 (加铅) | 加罩纤维过滤袋 (加铅钢) 无控制措施 (不加铅钢) |
| | | | | | 15.2 (不加铅) | |

续表

| 逸散尘源 | 可供选择的控制技术 | 控制效率 (%) | 控制费用 1980.1 美元 | | 费用效益比 (美元/kg) | 选择的 RACM |
|-------------|-----------|----------|----------------------|---------------------|--------------------------|---------------------------|
| | | | 投资费 | 年费用 | | |
| 8. 连续铸锭 | 加罩、纤维过滤袋 | 92 | 2476000 ^e | 750000 ^e | 3.44 (加铅) 39.96 (不加铅) | 加罩、纤维过滤袋 (加铅) 无控制措施 (不加铅) |
| 常规浇注 | 无 | 无可用数据 | 无可用数据 | 无可用数据 | 无可用数据 | 无控制措施 |
| 9. 火焰清理(人工) | 加罩、控制装置 | 无可用数据 | 无可用数据 | 无可用数据 | 无可用数据 | 加罩、控制装置 |

注: a. 171000t(钢)/a.

b. 1315000t(钢)/a.

c. 假设等于氧气顶吹转炉的费用。

d. 266000t(钢)a.

e. 464000t(钢)/a.

f. 如果进行大量人工火焰清理操作, 则仅要求加罩和控制装置 (湿式或干式静电除尘器、纤维过滤袋、湿洗涤器等); 无推荐的控制技术。

是非常小的, 建议不控制。

对铁水转运至装料罐, 推荐的控制技术是转运区加罩并用纤维过滤袋收集排放物。

对氧气顶吹转炉装料、泄漏和出料的排放物, 选择的 RACM 是安装局部罩, 再排气至转炉现有的主控制装置。这个方案在三个可供选择的方案中费用最低, 同时比其它方案更易实现。如果现有控制装置的容量不足, 就需要添置一台新装置。虽然没有费用数字, 但应比转炉全部封闭的费用少。

对平炉装料、泄漏和出料，选择的RACM是预防性操作。由砖格换向计算机化和装置压力计以保持平炉的最优化燃烧和负压状态。此方案适合控制平炉的泄漏，并对装料排放物有一定控制作用。在此方案中，对出料的排放将不予控制。由于没有其它方案被认为是经济有效的，故选择此控制方法。

对电弧炉装料、泄漏和出料的排放物，选择的RACM是直接将电炉抽气通向纤维过滤袋。此法控制效率可达90%，而且费用最低。

对钢水倒罐站或加铅钢的连续铸锭操作，推荐的控制技术是加罩并排气至纤维过滤袋。对不加铅钢的倒运，由于排放量小，且其它控制方法并不经济有效，故不推荐控制措施。对常规浇注，主要由于在这样一些作业地区要安装控制装置是不可行的，也未推荐控制措施。

对人工火焰清理的逸散性排放物，推荐的RACM是加罩和废气去控制装置（如湿式或干式静电除尘器、纤维过滤袋或湿洗涤器）。对大量进行人工火焰清理的操作，这是仅有的RACM。对那些不经常进行人工火焰清理的操作（非有规律的生产），安装这样的控制装置将不是经济有效的。故无推荐的控制措施。

(六) 典型费用计算

平炉平均容量 = 171400t/a

氧气顶吹转炉平均容量 = 1315000t/a

电弧炉平均容量 = 265800t/a

1. 废钢卸料、倒运和储存：无控制设施
2. 熔剂卸料、倒运和储存：无控制设施
3. 铁水转运至装料罐

加罩、纤维过滤袋

平均生产规模=584000t/a (系平炉、氧气顶吹转炉、
电弧炉容量的平均值)

$$\text{排放量} = 0.095 \times 584000 = 55500 \text{kg/a}$$

$$\text{投资费} = 968000 \text{美元}$$

$$\text{年费用} = 304000 \text{美元}$$

$$\text{费用效益比} = \frac{304000 \text{美元/a}}{0.98 \times 55500 \text{kg/a}} = 5.59 \text{美元/kg}$$

4. 氧气顶吹转炉 (装料、泄漏、出料)

$$\text{排放量} = 0.25 \times 1315000 = 328800 \text{kg/a}$$

厂房抽气、纤维过滤袋

$$\text{投资费} = 9432000 \text{美元}$$

$$\text{年费用} = 3124000 \text{美元}$$

$$\text{费用效益比} = \frac{3124000 \text{美元/a}}{0.99 \times 328800 \text{kg/a}} = 9.59 \text{美元/kg}$$

转炉封闭、纤维过滤袋

$$\text{投资费} = 5627000 \text{美元}$$

$$\text{年费用} = 1452000 \text{美元}$$

$$\text{费用效益比} = \frac{1452000 \text{美元/a}}{0.92 \times 999400 \text{kg/a}} = 1.58 \text{美元/kg}$$

局部罩、排气去现有转炉控制装置

$$\text{投资费} = 1085000 \text{美元}$$

$$\text{年费用} = 290000 \text{美元}$$

$$\text{费用效益比} = \frac{290000 \text{美元/a}}{0.60 \times 999400 \text{kg/a}} = 0.48 \text{美元/kg}$$

5. 平炉 (装料、出料、泄漏)

$$\text{排放量} = 0.084 \times 171400 = 14400 \text{kg/年}$$

厂房抽气、纤维过滤袋 (见氧气顶吹转炉)

$$\text{费用效益比} = \frac{3124000 \text{ 美元/a}}{0.99 \times 14400 \text{ kg/a}} = 219.1 \text{ 美元/kg}$$

平炉封闭、纤维过滤袋（见氧气顶吹转炉）

$$\text{费用效益比} = \frac{1452000 \text{ 美元/a}}{0.92 \times 14400 \text{ kg/a}} = 109.6 \text{ 美元/kg}$$

局部罩、排气至现有平炉控制装置（见氧气顶吹转炉）

$$\text{费用效益比} = \frac{290000 \text{ 美元/a}}{0.60 \times 14400 \text{ kg/a}} = 33.6 \text{ 美元/kg}$$

6. 电弧炉（装料、泄漏、出料）

$$\text{排放量} = 0.6 \times 265800 = 159500 \text{ kg/a}$$

厂房抽气、纤维过滤袋

$$\text{投资费} = 9421000 \text{ 美元}$$

$$\text{年费用} = 3264000 \text{ 美元}$$

$$\text{费用效益比} = \frac{3264000 \text{ 美元/a}}{0.99 \times (159500 \text{ kg/a})} = 20.7 \text{ 美元/kg}$$

顶罩、纤维过滤袋

$$\text{投资费} = 5763000 \text{ 美元}$$

$$\text{年费用} = 1957000 \text{ 美元}$$

$$\text{费用效益比} = \frac{1957000 \text{ 美元/a}}{0.97 \times 159500 \text{ kg/a}} = 12.6 \text{ 美元/kg}$$

平炉封闭抽气、纤维过滤袋

$$\text{投资费} = 2228000 \text{ 美元}$$

$$\text{年费用} = 846000 \text{ 美元}$$

$$\text{费用效益比} = \frac{846000 \text{ 美元/a}}{0.90(159500 \text{ kg/a})} = 5.89 \text{ 美元/kg}$$

7. 钢水再装罐

$$\text{排放量（加铅）} = 0.405 \times 584000 = 236500 \text{ kg/a}$$

$$\text{排放量（不加铅）} = 0.035 \times 584000 = 20400 \text{ kg/a}$$

加罩、纤维过滤袋（加铅）（见3）

$$\text{费用效益比} = \frac{304000 \text{ 美元/a}}{0.98 \times 236500 \text{ kg/a}} = 1.31 \text{ 美元/kg}$$

加罩、纤维过滤袋（不加铅）（见3）

$$\text{费用效益比} = \frac{304000 \text{ 美元/a}}{0.98 \times 20400 \text{ kg/a}} = 15.2 \text{ 美元/kg}$$

8. 连续铸锭

排放量（加铅）= 236500 kg/a

排放量（不加铅）= 20400 kg/a

加罩、纤维过滤袋

投资费 = 2476000 美元

年费用 = 750000 美元

$$\begin{aligned} \text{费用效益比（加铅）} &= \frac{750000 \text{ 美元/a}}{0.92 \times 236500 \text{ kg/a}} \\ &= 3.44 \text{ 美元/kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{费用效益比（不加铅）} &= \frac{750000 \text{ 美元/a}}{0.92 \times 20400 \text{ kg/a}} \\ &= 39.96 \text{ 美元/kg} \end{aligned}$$

9. 火焰清理：无数据

第三章 石灰厂

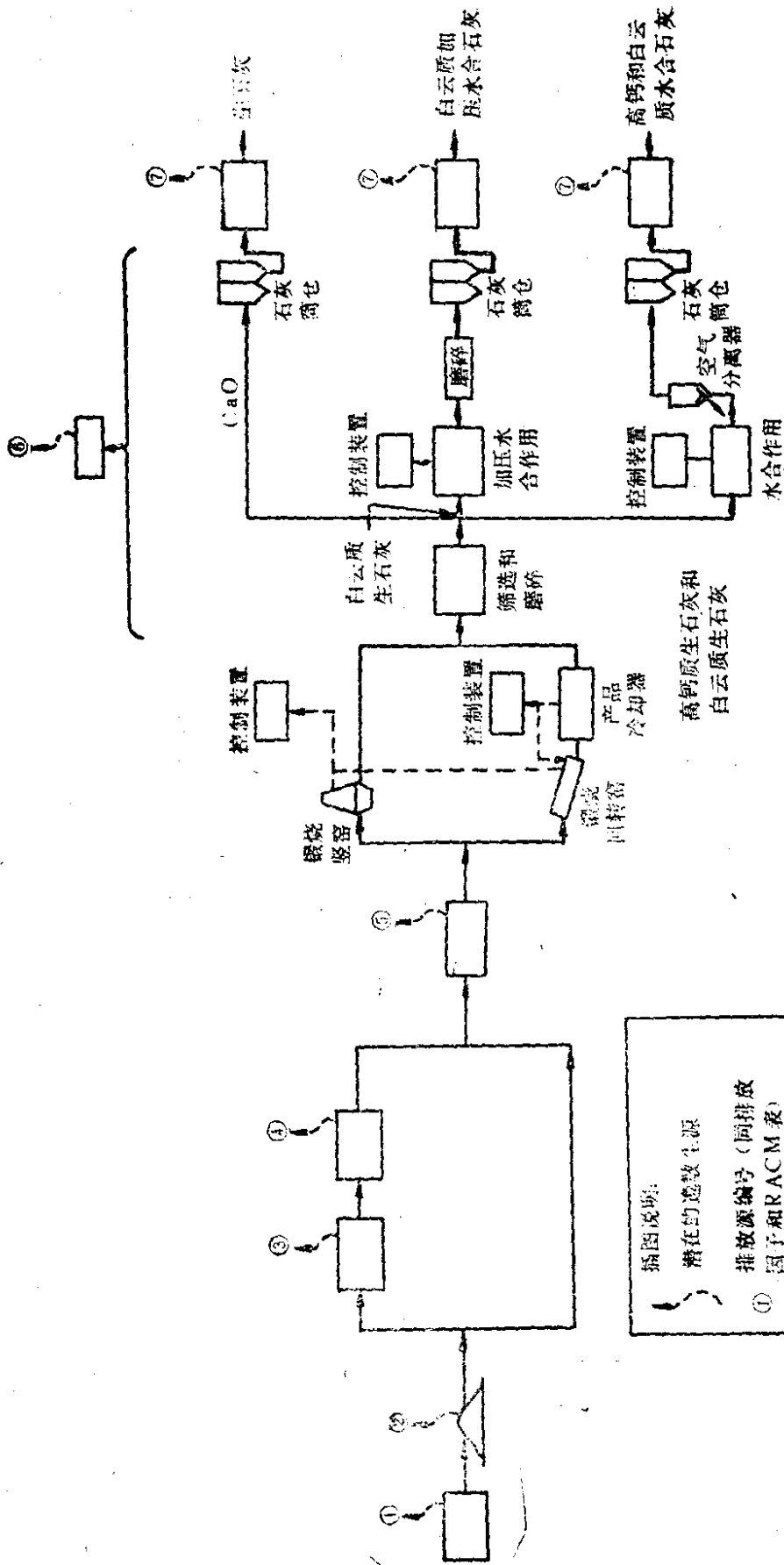
一、工艺概述

常用煅烧石灰石 (CaCO_3 或 $\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$) 的方法来制造石灰 (CaO 或 $\text{CaO} \cdot \text{MgO}$) 并放出二氧化碳, 制造石灰的石灰石有三种: (1) 含钙量高或含碳酸镁低于 5% 的方解石; (2) 含碳酸镁 5~10% 的镁质石灰石; (3) 含白云石的石灰石或含碳酸镁 30~40% 的白云石。无论那种石灰石, 其基本的制造工艺是一致的, 如图 3-1 所示。

90% 以上的石灰厂都建于紧靠石灰石采石场的地方。在采石场, 通过一系列的机械作业开采天然的石灰石矿。其基本的采矿作业是钻孔和爆破。石头在运至石灰厂前, 要先经过破碎和筛选。采石作业将在第十八章中讨论。

在美国, 煅烧石灰石是在回转窑 (竖窑) 中进行。回转窑占主要地位, 它需要将石灰石原料进行再次破碎才能煅烧, 而大多数竖窑只需要一次破碎, 但也有少数窑由于设计要求, 需要二次破碎。

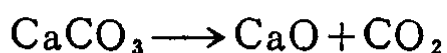
转窑是一长形钢制的倾斜圆筒, 用耐火砖作内衬并支撑在滚轴上。卵石大小的石灰石从窑的一端加入, 而热的燃烧气体却从窑的另一端进入, 石灰石与燃烧气体反向流动。回转窑可以烧煤、烧油或烧气体。回转窑可分成三个不同的区段: 进料和干燥区、中央或预热区、煅烧区。使用成品冷却器来回收烧成石灰的余热。



• 图3-1 石灰生产的工艺流程和逸散尘源

燃烧油或天然气的竖窑，自上而下分成四个不同的区段：矿石贮区、预热区、煅烧区、冷却和卸料区。在窑内，矿石是与冷却空气和燃烧气体反向流动，矿石在窑顶装入，利用从煅烧区上升的热气将矿石预热。在卸灰前，冷空气吹入窑底，使石灰冷却；这股空气，由此再到达煅烧区时得以充分加热，以用作二次燃烧空气。

竖窑和回转窑，两者入料端的温度均保持低于538℃，预热和煅烧区的温度介于1093~1315℃之间。若是短体窑，则温度还要高些。在此温度下，石灰石分解生成石灰和二氧化碳。



大部分生石灰，经分筛、碾碎、风力输送或带式输送机送至筒仓贮存，然后出厂。根据市场需要，煅烧生成的石灰块可以是成块的，送至水合器制成消石灰或磨成粉出售。

全部生产的石灰，大约有10%被制成水合（消合）石灰。



在水合过程中，将水加入装有破碎或磨碎的生石灰的混合器（水合器）中，靠水合反应的热来干燥消和后的石灰，再将它送入空气分离器分离，装包待运。白云质的加压水合石灰，在装运前，还要有一道附加的磨碎工序。开口式水合器是连续操作的，加压式水合器则是按批料方式操作。

关于装运方面，生石灰和水合石灰产品是用袋装，同时也用卡车、火车、轮船或驳船散装运输。

石灰生产的工厂，它们的日生产能力是45~590t，通常是每日24小时运行，每周连续6或7日工作。

在石灰厂中，逸散尘排放源包括原料石卸车、露天储堆、破碎、筛选、输送和转运作业，成品的包装、装运作业

和工厂运输道路。这些排放源已在图3-1中表示。开采石灰石也产生逸散尘，但这类排放源在第一章第四节中已有讨论。

二、逸散尘排放因子

现将本章前节所述的石灰生产逸散尘源的排放因子综合汇总在表3-1中。大多数这些尘源的排放因子，是摘自美国环境保护局“控制工业过程逸散颗粒排放的技术指南”。其排放因子的可信度等级表明，这些因子都是工程上的估计值，仅适用于一组的这类排放源，而用于特定源的估计是不

表3-1 石灰生产的逸散尘排放因子

| 排 放 源 | 排 放 因 子 | 可 信 度 等 级 |
|--------------------------|----------------------------|-----------|
| 1. 卸 料 | 0.015—0.2kg/t (卸料) | E |
| 2. 石灰石贮存 ^a | | |
| 积 堆 | 0.02kg/t (装料) | D |
| 汽车运输 | 0.06kg/t (储料) | D |
| 卸 堆 | 0.025kg/t (装料) | D |
| 风 蚀 | 0.05kg/t (储料) | D |
| 3. 第一次破碎 | 0.25kg/t (碎料) | C |
| 4. 第二次破碎和筛选 | 0.75kg/t (碎料) ^b | C |
| 5. 石灰石输送和转运 | 0.40kg/t (石灰) | E |
| 6. 成品的转运和输送 ^c | 0.05kg/t (石灰) | E |
| 7. 包装和装运 ^d | 0.125kg/t (装运) | E |

注：a. 假设 $PE=101$, $K_1=0.75$, $K_2=0.75$, $K_3=0.75$, $S=2$, $D=60$.

b. 根据进入一次破碎机的原料。

c. 包括磨碎机、喂料和卸料排气的泄漏。

d. 包括贮料筒仓的排气。

准确的。

卸料作业的排放因子是通过类似作业的工程判断和外部观察的基础上得来的。以某一具体源的资料为依据时，其估计值应认为有中等的可信度。贮堆的排放因子，仅根据有限的数据和工程判断作出，其可信度是低的。一次破碎，二次破碎和筛选作业的排放因子是根据花岗石破碎的有限数据，它具有中等可信度。原料转运和运输的排放因子是根据其类似作业的数据和工程判断作出，因此，可信度较差。包装和装运的排放因子是根据水凝水泥的数据和工程判断作出的，这一排放因子的可信度也是较差的。

运输道路的排放因子已在第一章中详述，这里不再阐述。

三、颗粒特性

从石灰石的贮存、装卸运输和转运排放的逸散性颗粒物，其平均粒径为 $3 \sim 6 \mu\text{m}$ ， $45 \sim 70\%$ 的颗粒小于 $5 \mu\text{m}$ 。

下表为排气管排放的颗粒特性，它与逸散颗粒相近似。

| 作 业 | 颗粒粒径的分布 |
|-----------|--|
| 锤击磨 (破碎机) | $30\% < 3 \mu\text{m}$, $47\% < 5 \mu\text{m}$, $60\% < 10 \mu\text{m}$ $74\% < 20 \mu\text{m}$, $85\% < 40 \mu\text{m}$ |
| 筛 选 | $46\% < 3 \mu\text{m}$, $72\% < 5 \mu\text{m}$, $85\% < 10 \mu\text{m}$, $95.5\% < 20 \mu\text{m}$, $98.8\% < 40 \mu\text{m}$ |
| 装袋间 | $71\% < 5 \mu\text{m}$, $87.3\% < 10 \mu\text{m}$, $96\% < 20 \mu\text{m}$, $98.8\% < 40 \mu\text{m}$ |

美国工业卫生工作者会议证实，若石灰石不含其它有毒杂质，则石灰石颗粒是无毒的有害物。但当石灰粉尘浓度超过

5mg/m³时，则应认为对健康是有潜在的危害。

四、控制方法

石灰石卸料的排放一般不作控制。在卸料处建围墙、洒水都可减少排放。有时，也将卸料处的空气抽至布袋滤尘间。

石灰石经常是以叠堆的方式进行贮存，形成逸散颗粒排放源。但有时石灰石也贮存于筒仓内，在卸堆前对石堆进行洒水，采用伸缩溜槽、可调式堆料输送机和石阶梯，这些都可减少石块下落的距离，从而减少尘的排放。这些装置已在第一章中详述。

运输作业的排放物是矿物质，在输送带上部加盖以减少排尘。物料从一条输送带转移到另一条所发生的排放物，最常用的控制方法是封闭或洒水。在转运点采用抽风至布袋滤尘室的办法有增加的趋势。

一次破碎机、二次破碎机和筛选机通常安装的位置是低于四周的台阶，以构成一堵防风墙，减少排放物带出和影响。在这些作业的喂料处采用喷水抑尘是很普遍的，一次破碎机有时采用水洗涤器或纤维过滤袋控制。现在，越来越多的工厂采用在二次破碎机和筛选机的出料处抽风至纤维过滤袋。

当装仓时夹带入空气颗粒物的清除，用装在排气管上的纤维袋来控制。石灰仓气动系统的空气经常是通过纤维过滤袋抽出。

在石灰包装和散装装货作业时，要经常地使逸散物抽吸通过纤维过滤袋。许多石灰工厂采用一种重力供料多吸头的机械装置，它是在机外装有集中的吸尘管，再将粉尘抽入纤

维过滤袋。在石灰包装和装船时，这种装置对减少排放物是有显著成效的。

烧成的生石灰和消石灰的转运、输送和分筛，如果没有适当的封闭或抽吸措施，可能造成相当大的逸散排放物问题。几乎所有的石灰厂都全部封闭其运输系统，最常见的是带式全封闭系统，也有许多厂只封闭转运点和筛选处，并将排放物抽吸至纤维过滤袋。

表3-2概括出可用的控制技术、它们的效率、估计费用和RACM的选择。

表3-2 石灰厂逸散尘源的控制技术、效率、费用和RACM

| 逸散尘源 | 可供选择的控制技术 | 控制效率 (%) | 控制费用美元 (1980年1月) | | 费用效益比 (美元/kg) | 选择的RACM |
|---------------|------------------------|----------|---------------------|--------------------|---------------|-----------|
| | | | 投资费 | 年费用 | | |
| 1. 石灰石卸料 (货车) | 封闭、通风至纤维过滤袋 | 99 | 87400 ^a | 21000 ^b | 0.48 | 湿抑制 (化学剂) |
| | 湿抑制 (化学剂) ^c | 95 | 64000 ^d | 15700 | 0.03 | |
| | 封闭 | 50 | 15000 ^e | 2600 | 0.12 | |
| 2. 石灰石贮堆 | 上堆 封闭 | 70~99 | 950000 ^f | 162000 | 6.06 | 湿抑制 (化学剂) |
| | 湿抑制 (化学剂) | 80~90 | 费用在卸料湿抑制中 | | 0.03 | |
| | 卸堆 可调溜槽 | 75 | 44000 | 7500 | 1.22 | |
| 风堆 | 湿抑制 (化学剂) | 80~90 | 费用在卸料湿抑制中 | | 0.03 | 湿抑制 (化学剂) |
| | 重力喂料输送机 | 80 | 无可用数据 | | 无可用数据 | |
| | 封闭 | 95~99 | 费用在进堆封闭中 | | 6.06 | |
| | 湿抑制 (化学剂) | 90 | 6000 | 8000 | 0.44 | |
| | 洒水 | 50 | 5000 | 2600 | 0.26 | |

续表

| | | | | | | |
|---------------|---------------|-----------------|---------------------|--------------------|------|----------------------------|
| 3. 一次破碎和筛选 | 湿抑制(化学剂) | 90 | 费用在卸料湿抑制中 | | 0.03 | 湿抑制 (化学剂) |
| | 封闭、排气至纤维过滤器 | 95 | 130000 ^e | 33000 ^b | 0.07 | |
| 4. 二次破碎和筛选 | 湿抑制(化学剂) | 90 | 费用在卸料湿抑制中 | | 0.03 | 湿抑制 (化学剂) |
| | 封闭、排气至纤维过滤器 | 95 | 费用在一次破碎中 | | 0.07 | |
| 5. 石灰石的运输和转运 | 湿抑制(化学剂) | 90 | 费用在卸料湿抑制中 | | 0.03 | 湿抑制 (化学剂) |
| | 封闭、排气至纤维过滤器 | 95 | 费用在一次破碎中 | | 0.07 | |
| 6. 产品转运、运输和筛选 | 封闭、排气至纤维过滤器 | 95 | 45000 ^b | 12000 ^b | 1.1 | 封闭、排气至纤维过滤器 |
| | 气动运输 | 99 ⁱ | 99000 | 21200 ^j | 1.86 | |
| 7. 包装和装运 | 排气至纤维过滤器 | 99 | 64000 ^k | 18000 ^b | 0.64 | 排气至纤维过滤器 |
| | 过饱进料、抽气至纤维过滤器 | 99 | 96000 | 23500 | 0.83 | |
| 运输道路 | 湿抑制(化学剂) | 50 | 见第一章 | 见第一章 | | 湿抑制 (化学剂), 渣油或铺筑以及良好的养护 |
| | 洒水 | 50 | 见第一章 | 见第一章 | | |
| | 浇油 | 85 | 见第一章 | 见第一章 | | |
| | 铺筑 | 85 | 见第一章 | 见第一章 | | |

- 注: a. 投资费用按6.1m×6.1m×4.6m的封闭罩与布袋滤尘室计。
 b. 每年运行3000小时。
 c. 湿抑制系统对卸料速率小于68t/h, 时不可采用。
 d. 136t/h卸料量。
 e. 6.1m×6.1m×9.2m封闭罩。
 f. 平均贮量10900t。
 g. 对二次破碎、筛选、石灰石运输和转运的控制, 抽气流量566 m³/min。
 h. 抽气量142m³/min。
 i. 用纤维过滤器过滤来控制输送的空气。
 j. 假设5000美元作为运行和维护费用。
 k. 抽气量284m³/min。

五、推荐的合理、可用控制措施

石灰厂逸散尘源的RACM选择在表3-2中已说明。它指出对石灰石卸料、叠堆、一次破碎、二次破碎（包括筛选）、转运和输送作业推荐的控制措施是用化学润湿剂的湿抑制系统。这一系统具有良好的控制效率（估计为90%），并使大气中可见的排放物降低到浊度几乎为零的情况。上述排放源如装有排气纤维过滤器的封闭系统，则将有略高的效率（95%），但它的投资费用会高出很多。在每小时加工速率为136吨石灰石的工厂，两种控制技术的投资比较，湿抑制为70000美元，纤维过滤系统为217400美元。湿系统每年费用为23700美元，纤维过滤系统为54000美元。石灰厂石灰石装卸运输采用的湿抑制系统示意图表示在图3-2中。许多石灰厂使用的湿式粉尘喷洒器，事实上有多种形式。

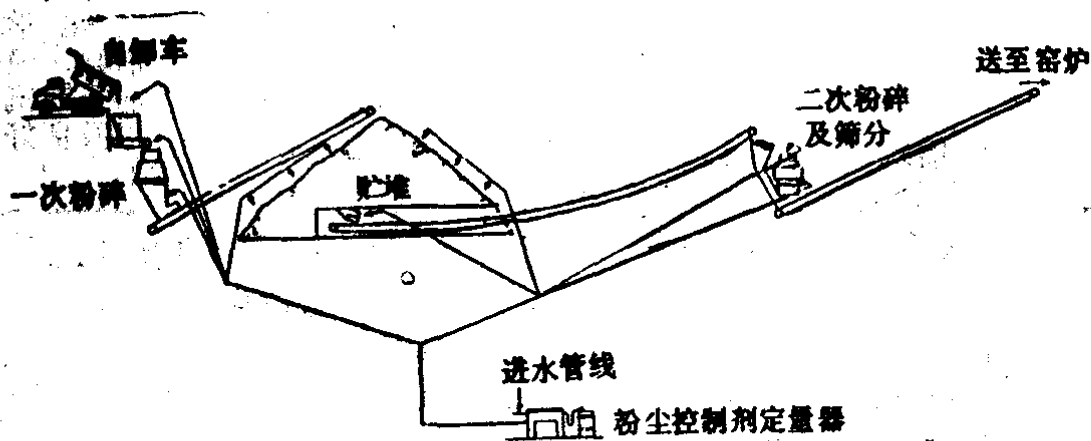


图3-2 石灰厂采用的湿抑制尘系统

注：在细孔筛处进行湿抑制，必须适当管理以避免堵塞筛孔。

对石灰产品的转运、运输和筛选作出所推荐的控制技术是封闭系统并排气至纤维过滤袋，该装置排出的含尘量可达

0.069g/干m³(标)或没有可见尘排放。大部分工厂产品输送带转运点和筛选处使用封闭罩并排气去纤维过滤袋。这种系统不仅能控制排放源，并且可增加回收产品的效益。

对包装和装运作业所推荐的控制技术是随作业的类型而变化。对卡车和铁路货车的装运，根据其经济和控制效率推荐集中抽气去纤维过滤袋，对装袋作业，推荐由装袋装置排气去纤维过滤袋。虽然此项技术耗费昂贵，但它非常有效并具有回收产品的优点。上述两项系统都应设计达到排放浊度为零，或排放口浓度为0.069g/干m³(标)。

运输道路逸散尘的控制可用浇油，或使用湿抑制（化学），或进行永久性的铺筑。经常使用的道路，铺筑后要有良好的管理才能减少尘的排放，它包括盖好行驶中的卡车、周期性地清扫和及时清除散落物。对临时性的道路，推荐浇油或湿抑制，如果能用破碎机的废油，在大部分石灰厂使用浇油措施，将是十分经济的。

六、典型费用计算

1. 石灰石卸料（卡车）

$$\text{排放量} = 0.107\text{kg/t} \times 136\text{t/h} \times 3000\text{h/a} = 43660\text{kg/a}$$

封闭、排气至纤维过滤袋

假设封闭区域为6.1m×4.6m×6.1m

总面积（10号厚度的防护罩板）=130m²

封闭罩总费用=14000美元

袋滤室总费用=73400美元

投资费=73400+14000=87400美元

年费用=21000美元

费用效益比=21000/0.99×43660=0.48美元/kg

湿抑制 (化学剂)

设计通过量为68t/h, 在卸料、一次破碎机的入口与出口、贮堆卸堆、二次破碎机的入口与出口和输送带转运点施加喷尘抑制剂。

$$\text{年费用} = 15700 \text{ 美元}$$

总湿抑尘量 (即卸料+上堆+卸堆+一次破碎和筛选+二次破碎和筛选+石灰石输送和转运)

$$= 41690 + 6940 + 8680 + 91850 + 275600 + 82330$$

$$= 507090 \text{ kg}$$

$$\text{费用效益比} = 15700 / 507090 = 0.03 \text{ 美元/kg}$$

封闭

假设封闭罩要求为6.1m×6.1m×9.2m的10号钢板。

总直接投资费为10700美元, 间接投资费为直接费的40%, 即 $10700 \times 40\% = 4300$ 美元。

$$\text{投资费} = 10700 + 4300 = 15000 \text{ 美元}$$

$$\text{年费用} = 0.17 \times (15000) = 2600 \text{ 美元}$$

$$\text{费用效益比} = 2600 / 0.50 \times 43660 = 0.12 \text{ 美元}$$

2. 石灰石贮堆

$$\text{排放量} = 8170 \text{ kg/a}$$

石灰石上堆

封闭

封闭体积为 $0.086 \sim 0.204 \text{ m}^3$, 其平均费用236美元/ m^3

假设贮堆平均储量为 $10 \text{ d} \times 8 \text{ h/d} \times 136 \text{ t/h} = 10880 \text{ t}$

石灰石密度= 2710 kg/m^3

$$\text{贮堆体积} = 10880(1000) / 2710 = 4020 \text{ m}^3$$

$$\text{投资费} = (4020 \text{ m}^3)(236 \text{ 美元/m}^3) = 950000 \text{ 美元}$$

$$\text{年费用} = 0.17(950000) = 162000 \text{ 美元}$$

$$\text{上堆抑尘量} = 0.85(8170) = 6944.5 \text{ kg}$$

风蚀排放量 = 20400 kg/a

风蚀抑尘量 = $0.97(20400) = 19788 \text{ kg/a}$

费用效益比 = $162000 / (6944.5 + 19788) = 6.06 \text{ 美元/kg}$

可调式溜槽

投资费用 = 44000 美元

年费用 = $0.17 \times 44000 = 7500 \text{ 美元}$

费用效益比 = $7500 / 0.75 \times (8170) = 1.22 \text{ 美元/kg}$

湿抑制 (化学剂)

见1.的湿抑制费用效益比 = 0.03 美元/kg

石灰石卸堆

排放量 = 10200 kg/a

湿抑制 (化学剂)

见1.的湿抑制费用效益比 = 0.03 美元/kg

重力喂料输送机

费用无可用数据

风蚀

排放量 = 20400 kg/a

封闭

见2.中上堆的封闭费用效益比 = 6.06 美元/kg

湿抑制 (化学剂)

假设年石灰石通过量为 98900 t

投资费 = 6000 美元

年费用 = 8000 美元

费用效益比 = $8000 / 0.9(20400) = 0.44 \text{ 美元/kg}$

洒水

投资费 = 5000 美元

年费用 = 2600 美元

费用效益比 = $2600 / 0.5(20400) = 0.26$ 美元/kg

3. 一次破碎和筛选

排放量 = 102000 kg/a

湿抑制 (化学剂)

见1.的湿抑制费用效益比 = 0.03 美元/kg

封闭、排气至纤维过滤器

此项费用包括一次破碎、二次破碎、筛选和输送带转运点的费用。其中：一次破碎和筛的抑尘量为 $0.95(102000)$ ；二次破碎和过筛的抑尘量为 $0.95(306000)$ ，石灰石输送和转运抑尘量为 $0.95(91400)$ 。

投资费 = 130000 美元

年费用 = 33000 美元

费用效益比 = $33000 / (0.95(102000) + 0.95(306000) + 0.95(91400)) = 0.07$ 美元/kg

4. 二次破碎和筛选

排放量 = 306000 kg/a

湿抑制 (化学剂)

见1.的湿抑制费用效益比 = 0.03 美元/kg

封闭、排气至纤维过滤袋

见3.的封闭、排气至纤维过滤袋

费用效益比 = 0.07 美元/kg

5. 石灰石的输送和转运

排放量 = 91400 kg/a

湿抑制 (化学剂)

见1.的湿抑制费用效益比 = 0.03 美元/kg

封闭、排气至纤维过滤袋

见3.的封闭、排气至纤维过滤袋

费用效益比 = 0.07 美元/kg

6. 产品转运、运输和筛选

排放量 = 11400 kg/a

封闭、排气至纤维过滤袋

假设空气流量为 $142 \text{ m}^3/\text{min}$

投资费 = 45000 美元

年费用 = 12000 美元

费用效益比 = $12000 / 0.95(11400) = 1.1 \text{ 美元/kg}$

气动输送

投资费 = 99000 美元

年费用 = 21200 美元

费用效益比 = $21200 / 0.99(11400) = 1.86 \text{ 美元/kg}$

7. 包装和装运

排放量 = 28600 kg/a

排气至纤维过滤袋

投资费 = 64000 美元

年费用 = 18000 美元

费用效益比 = $18000 / 0.99(28600) = 0.64 \text{ 美元/kg}$

过饱进料、抽气至纤维过滤袋

投资费 = 96000 美元

年费用 = 23500 美元

费用效益比 = $23500 / 0.99(28600) = 0.83 \text{ 美元/kg}$

第四章 发电厂

一、工艺概述

美国蒸气发电厂可利用的燃料包括煤、油、天然气以及裂变原料等等。然而，从逸散尘的观点来看，只有燃煤的发电厂比较重要。用煤发电的基本流程如图4-1的说明。

燃煤发电厂用煤的第一步是选煤。在运往发电厂之前，通过选煤可去除煤中杂质。

煤可用卡车、火车、运输带、管道和驳船运往发电厂。煤到厂后，一般贮于煤堆场中，然后通过运输带、储煤斗、接煤箱等系统从煤堆场将煤送至装煤斗。贮仓的煤通过破碎、称重、气动输送至粉碎机，然后送至锅炉燃烧。

煤在燃烧中，杂质是不会燃烧的。矿物质和其它不燃物一般被收集后，或用水冲出并泵至处理池；或用干法收集，以卡车运至处理场。

一座典型发电厂可能有500MW的发电能力，相当于每小时耗烟煤209t。

在燃煤发电厂中有几处逸散尘排放源。在煤矿中，潜在的尘源包括覆盖层的去除，煤的选洗、堆贮、搬运、装车和运输。在发电厂中，可能的尘源有卸煤、堆贮、搬运和转运以及干煤渣的搬运和处置。煤的备料过程，如破碎、分级、搬运等作业，无论在矿区或工厂都是逸散尘排放源。

插图说明:

潜在的逸散生源

① 排放源编号 (同排放因子和RACM表)

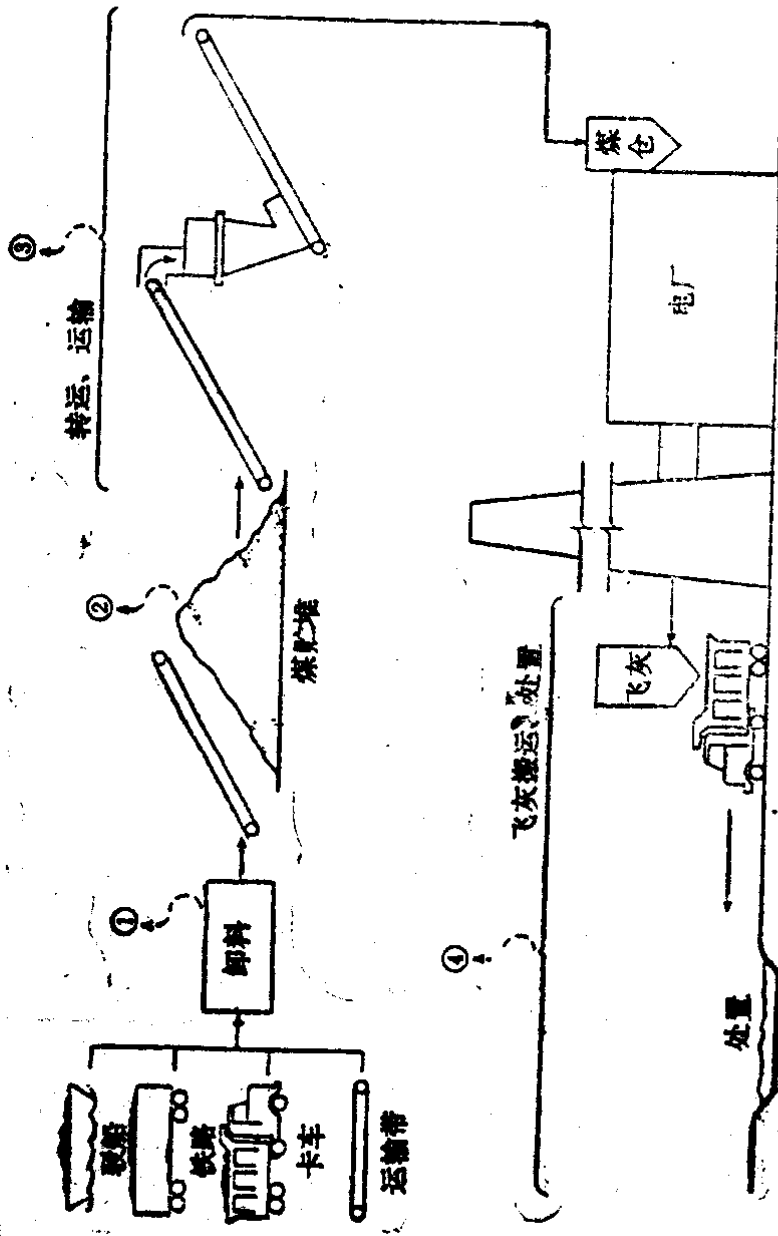


图4-1 燃煤发电厂的简化流程和有关的逸散尘源

二、逸散尘排放因子

对燃煤发电厂排放逸散尘估计的排放因子在表4-1中概括列出。表中不包括煤的开采和加工中的排放因子，可分别参见第一章和第十九章。

铁路货车、卡车和运输带卸煤的排放因子没有特别提到出处，因此它的可信度非常差。驳船卸煤的排放因子是基于

表4-1 燃煤发电厂的逸散尘排放因子

| 排 放 源 | 排 放 因 子 | 可 信 度 等 级 |
|------------|--------------------|--------------|
| 1. 卸煤 | | |
| 铁路货车卸煤 | 0.2kg/t (卸煤) | E |
| 驳船卸煤 | 0.023kg/t (卸煤) | C |
| 卡车卸煤 | 0.2kg/t (卸煤) | E |
| 运输带 | 0.02—0.5kg/t (卸煤) | E |
| 2. 煤的储存 | | |
| 上堆 | 0.04kg/t (进煤) | D |
| 运输车辆 | 0.08kg/t (储煤) | D |
| 出堆 | 0.05kg/t (卸煤) | D |
| 风蚀 | 0.045kg/t (储煤) | D |
| 3. 转运和运输 | 0.02~0.5kg/t (搬运煤) | E |
| 4. 飞灰搬运和处置 | 10~50kg/t (搬运灰渣) | E |

有限的试验和现场观测，其可信度属中等。储煤和煤在转运与运输中的排放因子已在第二章中论及。飞灰搬运和处置的排放因子是按工程估计值而未作详细的推导，因此，它的可信度也是很差的。

三、颗粒特性

对燃煤发电厂逸散尘的粒径分布无可用数据。

如果可吸入人体的那部分尘含石英量小于5%，则引起有害健康的煤尘浓度为 $2\text{mg}/\text{m}^3$ 。对飞灰的毒性无数据。预期飞灰含石英的百分数更高，但并非必然更毒（10%的石英，其阈限值为 $0.83\text{mg}/\text{m}^3$ ）。上述阈限值不仅适用于可吸入尘，也适用于总尘（可吸入和不可吸入尘）。如果要在毒性方面作出结论，需要可吸入尘的石英含量的更多数据。

四、控制方法

煤的卸料作业可用全封闭，带或不带排气至纤维过滤袋、或用水和化学润湿剂的湿抑制方法来控制尘的污染。

煤储堆风蚀尘可周期性地应用含化学润湿剂的水液或单独的水、或遮盖储堆来控制。上堆作业可用润湿剂或机械设备（如伸缩溜槽、特殊的堆积机或石头阶梯）。出堆作业可用堆下运输带、水或化学剂喷雾、或堆积与取料运输机来控制。煤的转运、运输、破碎和过筛作业可用封闭运输带、喷水和化学剂、或封闭并排气至纤维过滤袋来控制。

如果飞灰是湿的，则搬运和处置时不存在排放问题，但干飞灰的搬运则需要控制。飞灰控制方法包括喷润湿剂、遮盖载灰卡车、装灰时将自由降落高度减至最小。在飞灰处置点，由倾倒作业排放的尘也可用湿抑制、倾倒地区加围墙、和将飞灰的自由降落距离减至最小来控制。处置地点的风蚀尘可用泥土或稳定物质覆盖、再行绿化或化学稳定。

发电厂的其它潜在逸散尘源是运输道路，并已在第一章

中论及。

表4-2概括出可用的控制技术、它们的影响、估计费用和RACM选择。

五、推荐的合理、可用控制措施

发电厂逸散尘源的RACM列在表4-2中。如表所示，对煤的卸料（各种类型的卸煤）、堆贮、破碎、转运和运输作业推荐的控制措施是使用化学润湿剂的湿抑制系统，其控制效率估计为80~99%，并应减少可见尘的排放至浑浊度几乎为零（根据相似石料加工作业所达到的效率）。封闭并排气至纤维过滤袋的系统效率更高（=99%），但安装费用高很多。发电厂煤的搬运作业中采用的湿抑制系统列在图4-2中。

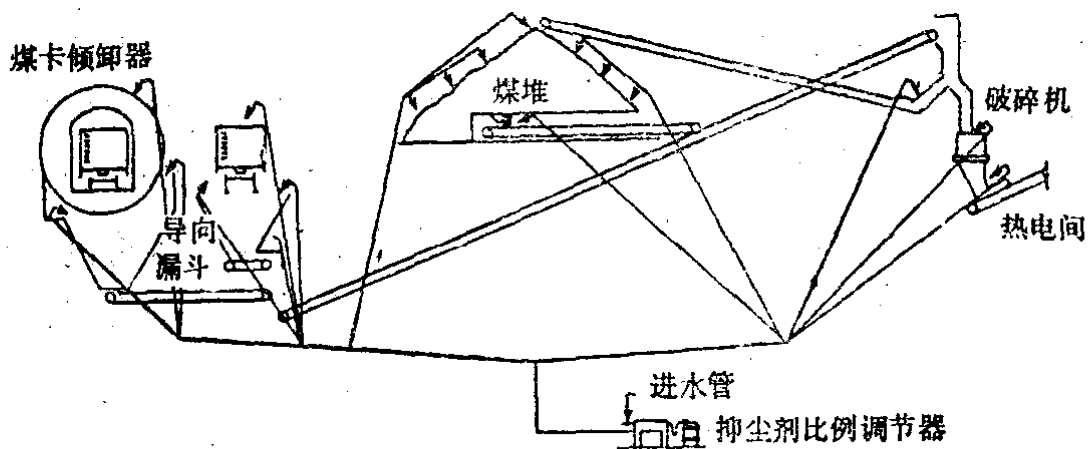


图4-2 燃煤发电厂的湿抑尘系统

飞灰搬运和处置的RACM是湿抑制，运输卡车在驶往或离开处置场时都要加罩，用泥土覆盖弃置的飞灰。这些措施将以较低的费用而有效地减少逸散尘的排放。在多数大发电厂，由于飞灰是湿的，并贮于灰池水下，而不需要这些措

表4-2 燃煤发电厂逸散尘的控制技术、效率
费用和RACM

| 逸散尘源 | 可选择的控制技术 | 控制效率 (%) | 控制费用 1980.1美元 | | 费用效益比 (美元/kg) | 选择的RACM |
|--------------|-------------|----------|----------------------|--------------------|------------------|------------------------------|
| | | | 投资费 | 年费用 | | |
| 1. 卸煤 (铁路货车) | 封闭 | 70 | 60000 | 12000 | 0.05 | 对铁路货车和其它运载工具卸煤 |
| | 封闭、排气至纤维过滤袋 | 99 | 120000 | 42000 ^a | 0.15 | |
| | 湿抑制 (化学剂) | 80 | 104000 ^b | 38000 ^c | 0.055 | |
| 2. 煤的堆贮 | 上堆 | | | | | |
| | 伸縮溜槽 | 75 | 9000 | 2000 | 0.05 | 湿抑制 (化学剂) |
| | 防风装置 | 50 | 37000 | 8000 | 0.29 | |
| | 湿抑制 (化学剂) | 80~90 | 费用在卸煤湿抑制中 | | 0.055 | |
| 卸堆 | | | | | | |
| | 斗轮式运输机 | 80 | 4500000 | 900000 | 16.4 | 湿抑制 (化学剂) |
| | 堆下运输机 | 80 | 6300000 ^d | 1260000 | 23 | |
| | 湿抑制 (化学剂) | 95 | 费用在卸煤湿抑制中 | | 0.055 | |
| 风蚀 | 封闭 | 100 | 8400000 ^d | 1680000 | 27.23 | 湿抑制 (化学剂) |
| | 湿抑制 (化学剂) | 99 | 14000 | 10000 | 0.16 | |
| 3. 转运和运输 | 封闭 | 70 | 69000 | 14000 | 0.055 | 湿抑制 (化学剂) |
| | 封闭、排气至纤维过滤袋 | 99 | 196000 | 86000 | 0.24 | |
| | 湿抑制 (化学剂) | 70~95 | 费用在卸煤湿抑制中 | | 0.055 | |
| 4. 飞灰搬运和处理 | 湿抑制 | 50~100 | 无数据可用 | | 无数据可用 | 湿抑制、运输卡车加罩、用泥土覆盖处置地区, 并将自由降落 |
| | 运输卡车加罩 | 无估计值 | 无数据可用 | | 无数据可用 | |
| | 将自由降落高度减至最小 | 无估计值 | 无数据可用 | | 无数据可用 | |

续表

| 逸散尘源 | 可选择的控制技术 | 控制效率 (%) | 控制费用 1980.1美元 | | 费用效益比 (美元/kg) | 选择的 KACM |
|------|-----------|----------|------------------|-----------------------|------------------|-------------|
| | | | 投资费 | 年费用 | | |
| 运输道路 | 倾卸地区加围墙 | 无估计值 | 无可用数据 | 无可用数据 | 无可用数据 | 高度减至最小 |
| | 处置地区再绿化 | 25~100 | 无可用数据 | 无可用数据 | 无可用数据 | |
| | 用泥土覆盖处置地区 | 100 | 无可用数据 | 0.16美元/m ² | 无可用数据 | |
| | 洒水 | 50 | 见第一章 | 见第一章 | 无可用数据 | 浇油或铺筑 |
| | 湿抑制 | 50 | 见第一章 | 见第一章 | 无可用数据 | |
| | 浇油 | 85 | 见第一章 | 见第一章 | 无可用数据 | |
| | 铺筑 | 85 | 见第一章 | 见第一章 | 无可用数据 | |

注: a. 空气流量为 $9.9\text{m}^3(\text{标})/\text{s}$, 空气与过滤袋比例为 $6.5:1$, 每年运行8000h,

b. 每小时通过量为907t。其费用包括卸煤、转运点、上堆、卸堆、破碎机入口和出口湿抑制的费用。

c. 年通过煤量1373000t。

d. 煤堆储量为136000t。

施。

对运输道路排放的逸散尘或用永久性的铺筑路面及适当的维护、或用浇油来控制。经常使用的道路采用铺筑和清扫的办法, 但费用较高。对较少使用或筑路费用太高的道路浇油, 也能提供良好的控制, 且费用合理。

六、典型费用计算

1. 卸煤 (铁路货车)

$$\text{排放量} = (0.2\text{kg/t}) (1373000\text{t/a}) = 274600\text{kg/a}$$

封闭 (见焦炭1.)

$$\text{费用效益比} = \frac{12000\text{美元/a}}{0.7(274600\text{kg/a})} = 0.06\text{美元/kg}$$

封闭、排气至纤维过滤袋 (见焦炭1.)

$$\text{费用效益比} = \frac{42000\text{美元/a}}{0.9(274600\text{kg/a})} = 0.15\text{美元/kg}$$

湿抑制 (化学剂)

煤通过量 = 261t/h, 年开工时间为60%, 则年处理煤量为1373000t/a。假设最大搬运能力为907t/h

$$\text{投资费} = 104000\text{美元}$$

$$\text{年费用} = 38000\text{美元}$$

$$\text{卸煤排尘量} = 274640\text{t/a}$$

$$\text{煤上堆排尘量} = 54900\text{t/a}$$

$$\text{煤出堆排尘量} = 68500\text{t/a}$$

$$\text{风蚀排尘量} = 61700\text{t/a}$$

$$\text{转运、运输排尘量} = 357000\text{t/a}$$

费用效益比

$$\begin{aligned} &= \frac{38000\text{美元/a}}{(0.8(274640) + 0.85(54900) + 0.95(68500))} \\ &\quad \times \frac{1\text{美元/a}}{+0.99(61700) + 0.83(357000)}\text{kg/a} \\ &= 0.055\text{美元/kg} \end{aligned}$$

2. 煤的堆贮

$$\text{上堆 排放量} = 0.4\text{kg/t}(1373000\text{t/a}) = 54900\text{kg/a}$$

伸缩溜槽 (见焦炭2.)

$$\text{费用效益比} = \frac{2000\text{美元/a}}{0.75(54900\text{kg/a})} = 0.05\text{美元/kg}$$

防风装置 (见焦炭2.)

$$\begin{aligned} \text{费用效益比} &= \frac{8000 \text{ 美元/a}}{0.9(54900 \text{ kg/a})} \\ &= 0.29 \text{ 美元/kg} \end{aligned}$$

湿抑制 (化学剂) (同1.) 费用效益比 = 0.055 美元/kg

$$\begin{aligned} \text{卸堆 排放量} &= (0.05 \text{ kg/t}) (1373200 \text{ t/a}) \\ &= 68500 \text{ kg/a} \end{aligned}$$

斗轮式运输机 (见焦炭2.)

$$\text{费用效益比} = \frac{900000 \text{ 美元/a}}{0.8(68500 \text{ kg/a})} = 16.4 \text{ 美元/kg}$$

堆下运输机 (见焦炭2.)

$$\text{费用效益比} = \frac{1260000}{0.8(68500 \text{ kg/a})} = 23 \text{ 美元/kg}$$

湿抑制 (化学剂) (同1.) 费用效益比

$$= 0.055 \text{ 美元/kg}$$

风蚀 排放量 = 0.045 kg/t (1373000 t/a) = 61700 kg/a

封闭 (见焦炭2.)

$$\begin{aligned} \text{费用效益比} &= \frac{1680000 \text{ 美元/t}}{1.0(61700 \text{ kg/t})} \\ &= 27.23 \text{ 美元/kg} \end{aligned}$$

湿抑制 (见焦炭2.)

$$\begin{aligned} \text{费用效益比} &= \frac{10000 \text{ 美元/a}}{0.99(61700 \text{ kg/a})} \\ &= 0.16 \text{ 美元/kg} \end{aligned}$$

3. 转运和运输

排放量 = 0.26 kg/t (1373200 t/a) = 357000 kg/a

封闭 (见焦炭2.)

$$\begin{aligned} \text{费用效益比} &= \frac{14000 \text{ 美元/a}}{0.7(357000 \text{ kg/a})} \\ &= 0.056 \text{ 美元/kg} \end{aligned}$$

封闭、排气至纤维过滤袋 (见焦炭3.)

$$\begin{aligned}\text{费用效益比} &= \frac{86000 \text{ 美元/a}}{0.99(357000 \text{ kg/a})} \\ &= 0.24 \text{ 美元/kg}\end{aligned}$$

湿抑制 (化学剂) (同1.) 费用效益比 = 0.055 美元/kg

4. 飞灰搬运和处置

没有可用的费用数据。

第五章 谷物贮仓

一、工艺概述

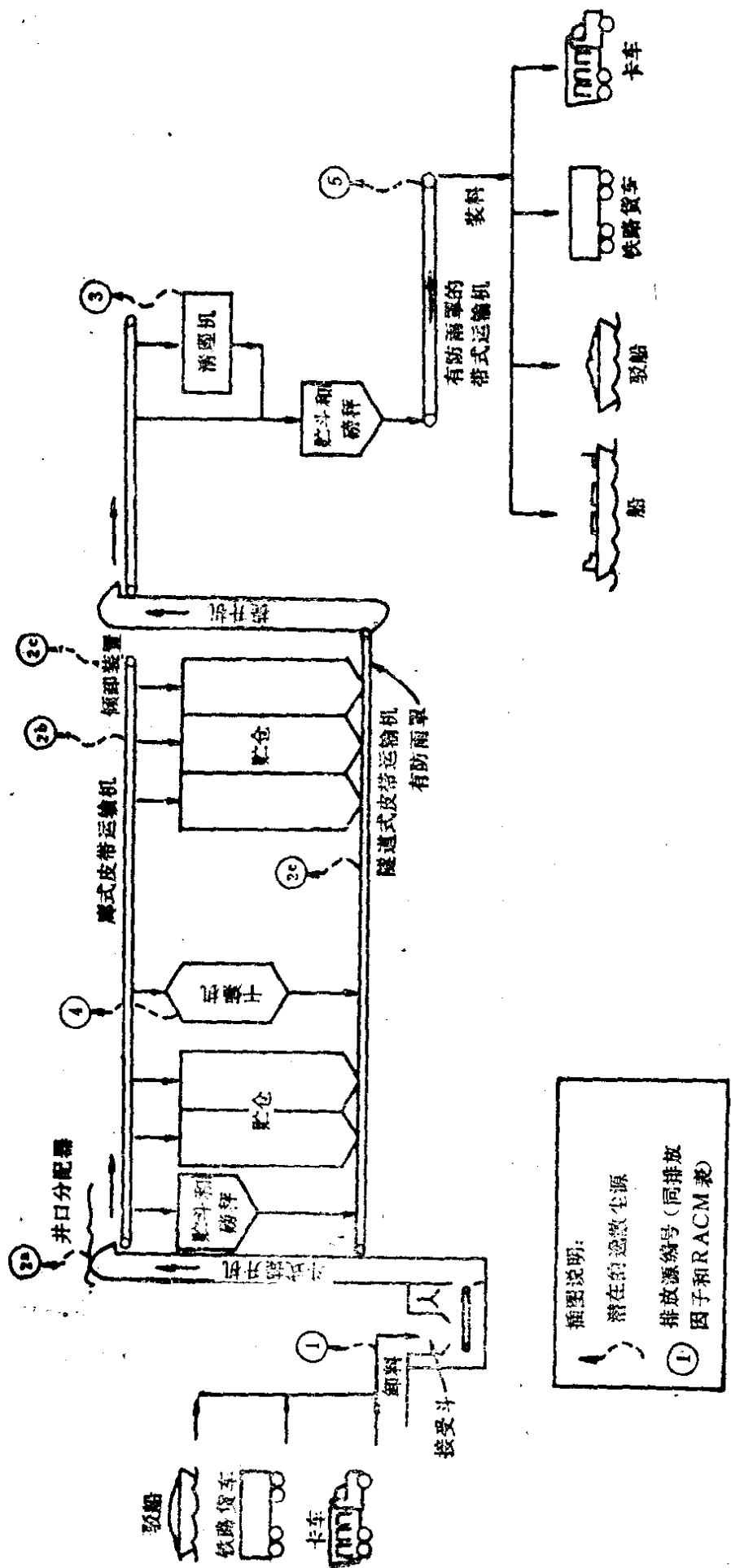
在谷物由农场运向市场的过程中，谷物的贮存、处理和转移常使用谷物贮仓。收获的谷物通常用卡车运至本地农村贮仓，然后由卡车、铁路货车或驳船转运到较大的中转粮仓。其贮量为70480m³或更多。贮存的谷物包括玉米、小麦、黑麦、燕麦、大麦、亚麻籽、高粱和大豆。

在谷物装运到谷物加工厂、饲料生产厂或其他用户之前，在中转粮仓需进行适度处理（干燥、过筛和清理），并贮藏起来。还有一些中转粮仓仅从邻村收集谷物，并运至其他中转粮仓。这种粮仓有时称辅助粮仓。每年可按其贮量周转20次。但大部分中转粮仓的年处理量仅为其贮量的数倍。

图5-1和5-2是典型谷物贮仓作业的流程圖。

在中转粮仓中首先的作业是从卡车（见图5-3）、箱式车辆和底卸式车辆（见图5-4）或驳船卸出谷物。谷物通常被卸入低于地面的接受斗。然后经带有防雨罩的带式输送机送至几台斗式提升机的底部。斗式提升机及其连接的分配器和加工装置，都装在称为“井口房”的主要设备构架上。

提升机携带谷物至井口房（又称硃室）的顶部，再卸入分配器，可移动的分支管，靠它引导谷物进入收集箱（或称“贮斗”）称重。分配器也可引导谷物进入清理机或落到廊式运输带上。廊式运输带携带谷物越过长廊到达指定的贮



插图说明：
 潜在的逸散尘源
 排放源编号（同排放因子和RACM表）
 ①

图5-1 谷物贮仓的简化作业流程图及有关逸散尘源

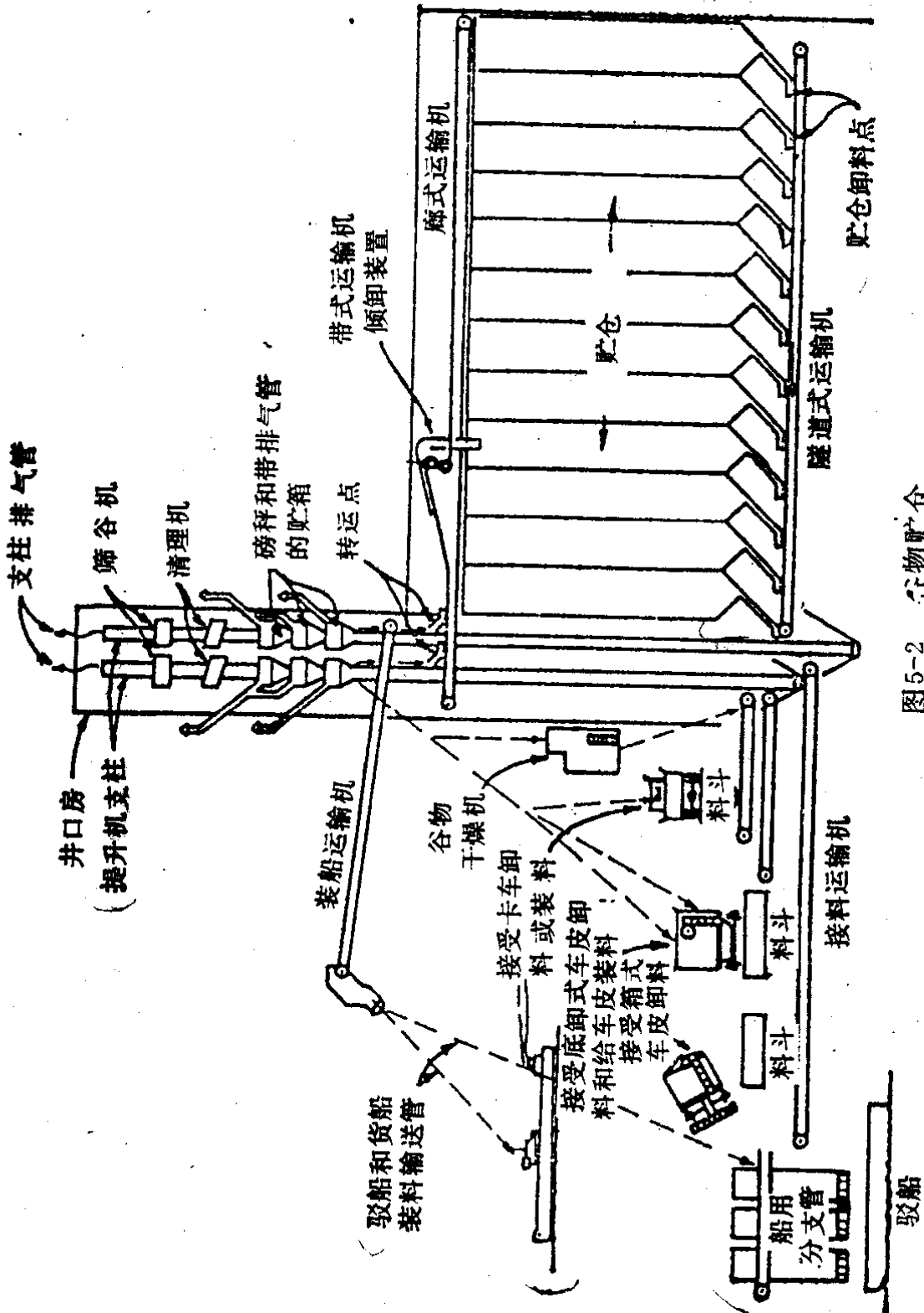


图5-2 谷物贮存

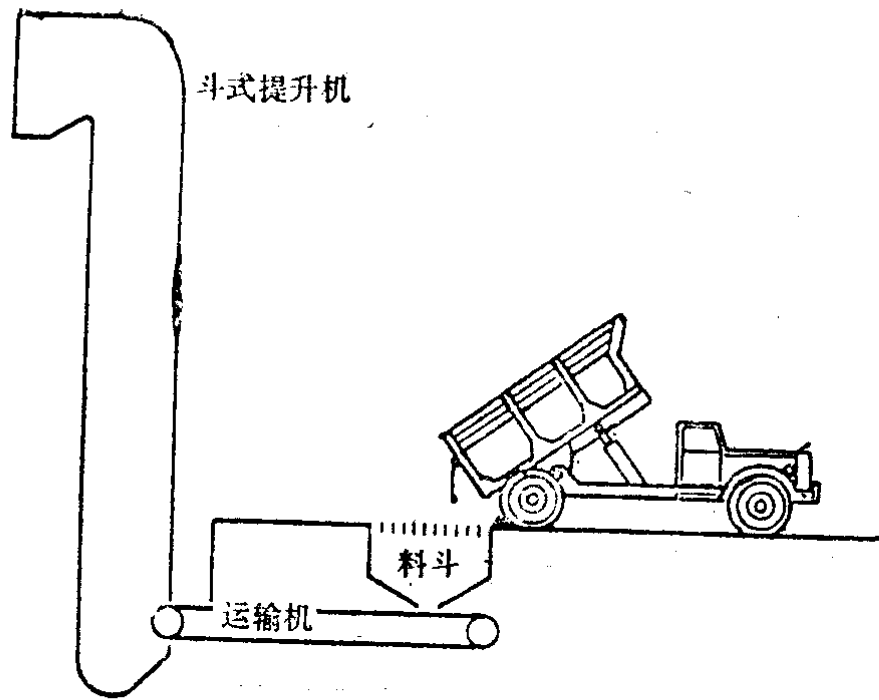


图5-3 卡车卸料

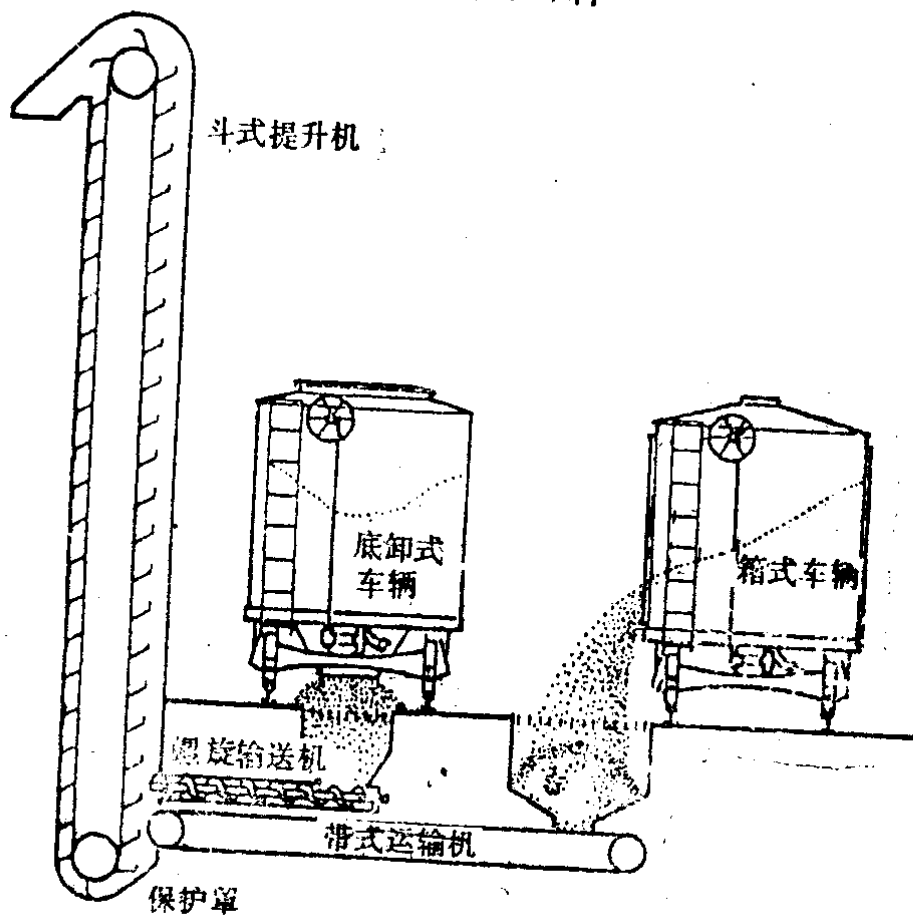


图5-4 铁路货车卸料

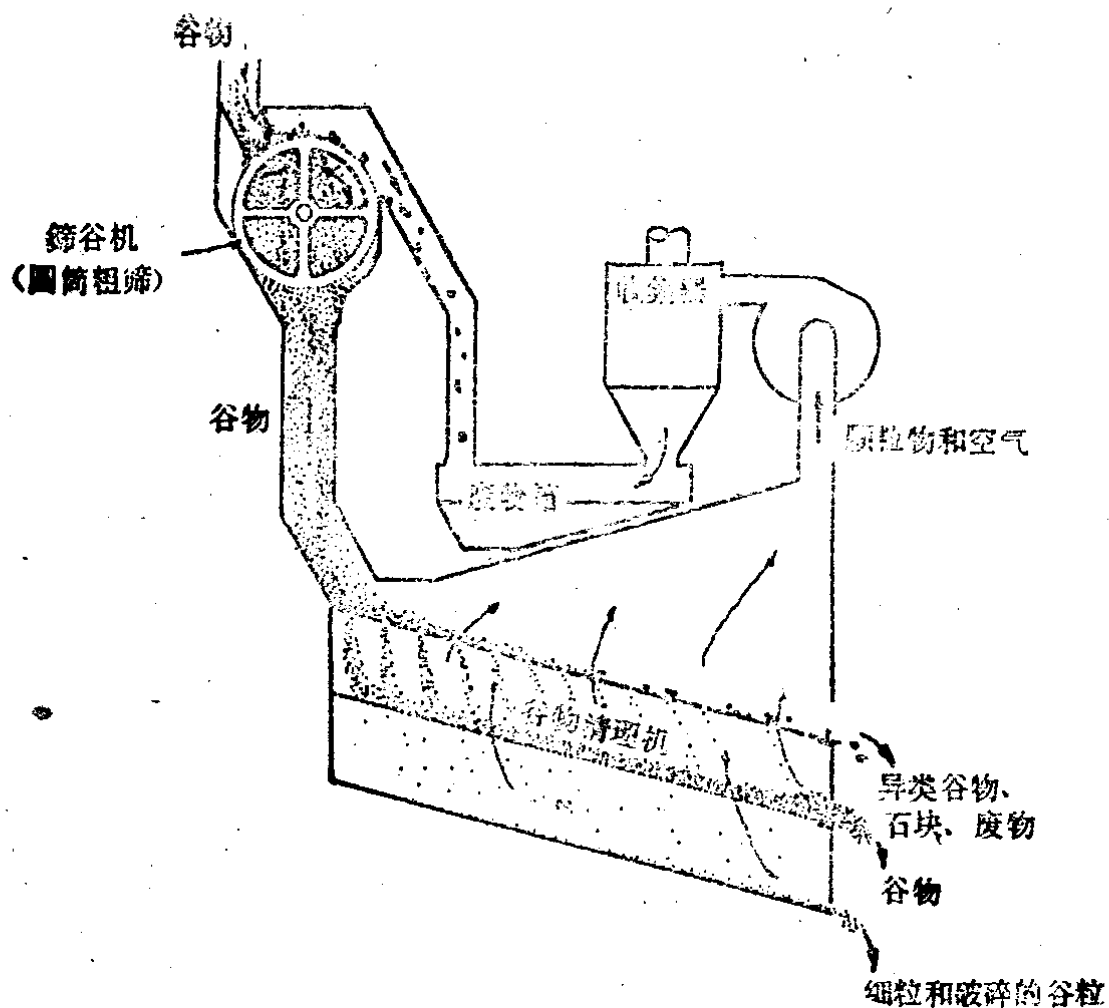


图5-5 谷物清理机

仓，由称为“倾卸装置”的转移器将谷物卸入贮仓。谷物清理机在图5-5中说明。

由于含14%或更多水分的谷物在贮存中会变坏，因此在转移至长期贮仓之前，潮湿的谷物需要干燥。在谷物贮仓一般使用齿条或柱式干燥机（见图5-6）。干燥机位于井口房的外边。

由于谷物开始变坏或受到霉菌、真菌的侵扰，长期贮存在贮仓的谷物的温度可以升高。为了防止变质，可用“倒仓”作业来冷却谷物。

在贮仓接受脏的谷物时，常用清理机去除夹杂物，如尘

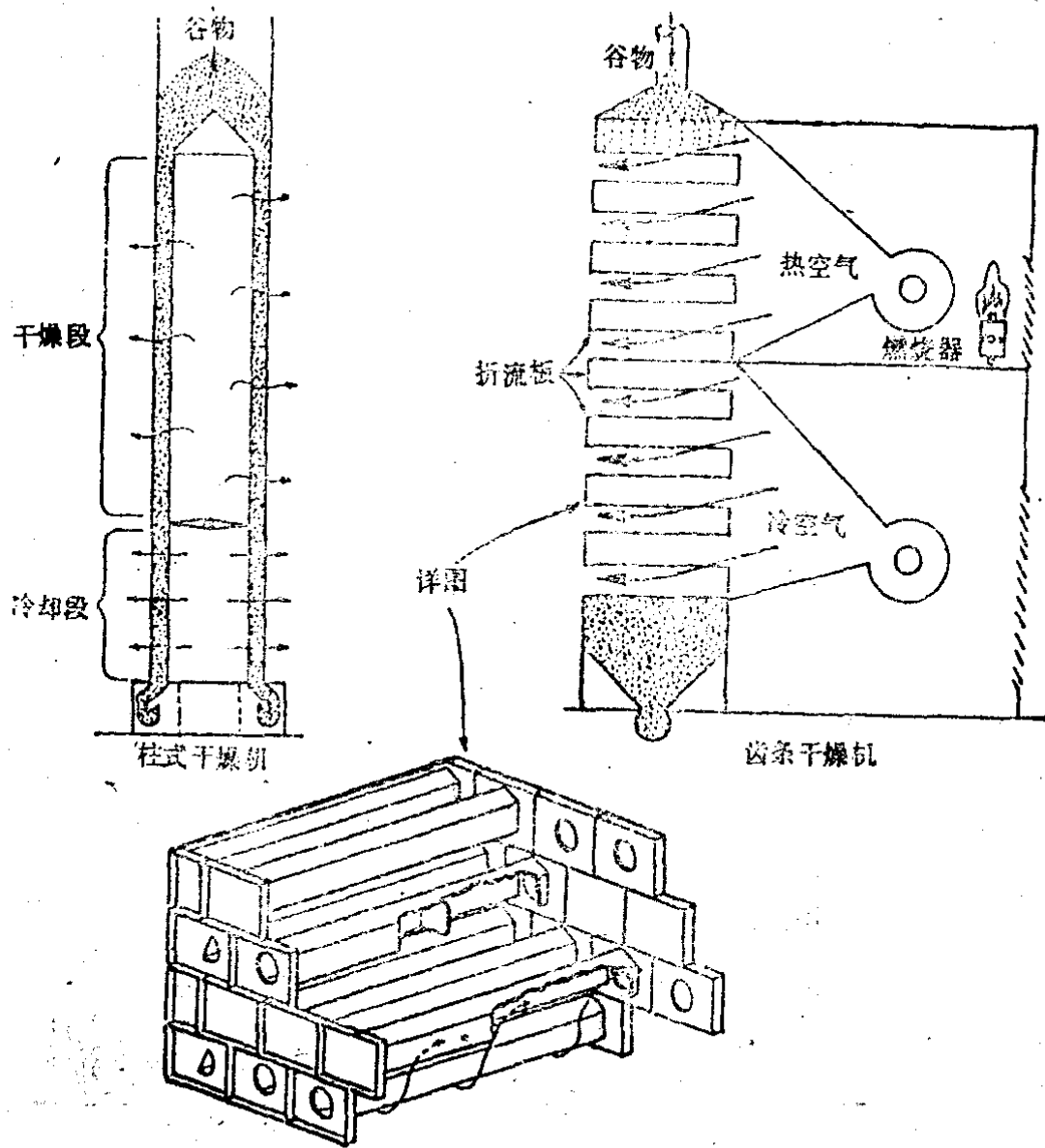


图5-6 齿条和柱式谷物干燥机

土、枝条、石块、叶柄、茎和野草种子。谷物常常首先转移到暂贮仓，再跌落到隧道式运输机，并由斗式提升机提升至谷物清理机和贮斗。用来清理谷物的装置包括简单的筛选装置和抽吸型的清理机，前者去除大的枝条、石块和其它废物，后者去除谷壳等较轻的杂质。清理后的谷物被提升至廊式运输机并被导入空仓。

装运的谷物由贮仓落入隧道式运输带。运输带将谷物卸至斗式提升机的底部，再提升至分配器。谷物经过出仓磅

秤，称重后通过装料斜槽，进入铁路货车、卡车、驳船或货船。装料作业介绍在图5-7和图5-8。

谷物贮仓的逸散尘源包括谷物的接受、过筛和清理、转运和运输、干燥和装运。这些源在图5-1中标出。

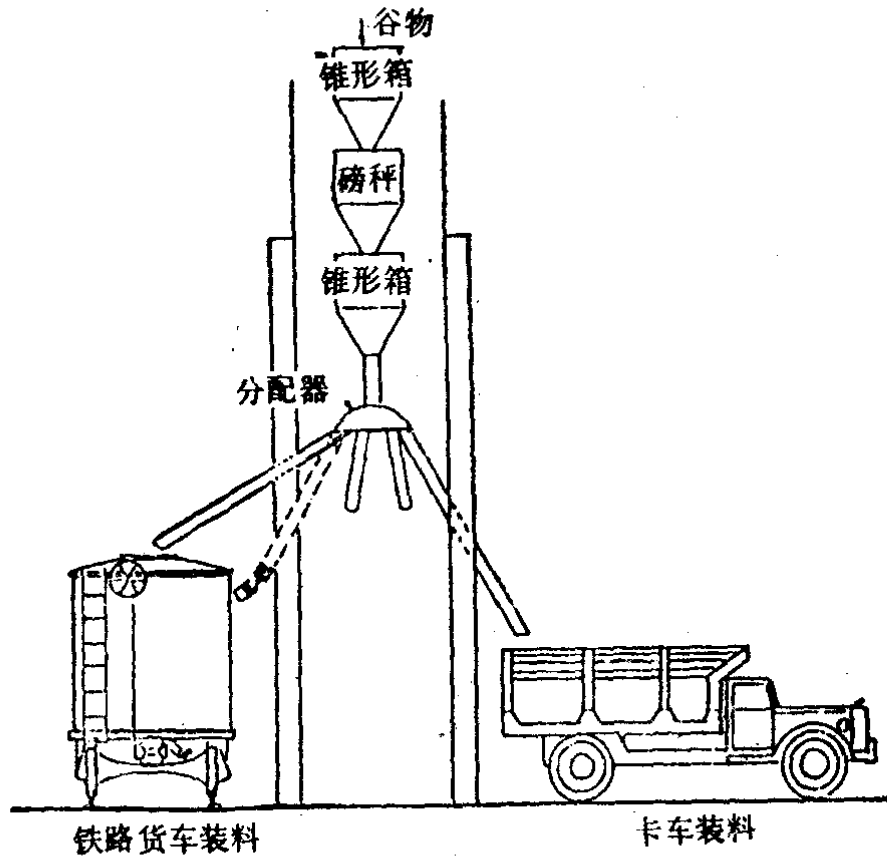


图5-7 铁路货车和卡车装料

二、逸散尘排放因子

谷物贮仓逸散尘源的排放因子估计值概括在表5-1中。它们以有限谷物贮仓的测试数据为依据。排放因子随处置的谷物类型不同而有很大变动。从田间运来的谷物中，大豆、燕麦、高粱比小麦和玉米的尘多。但数据不足，难以定量其差值。因此，任何具体作业的排放因子是不准确的，有较差的

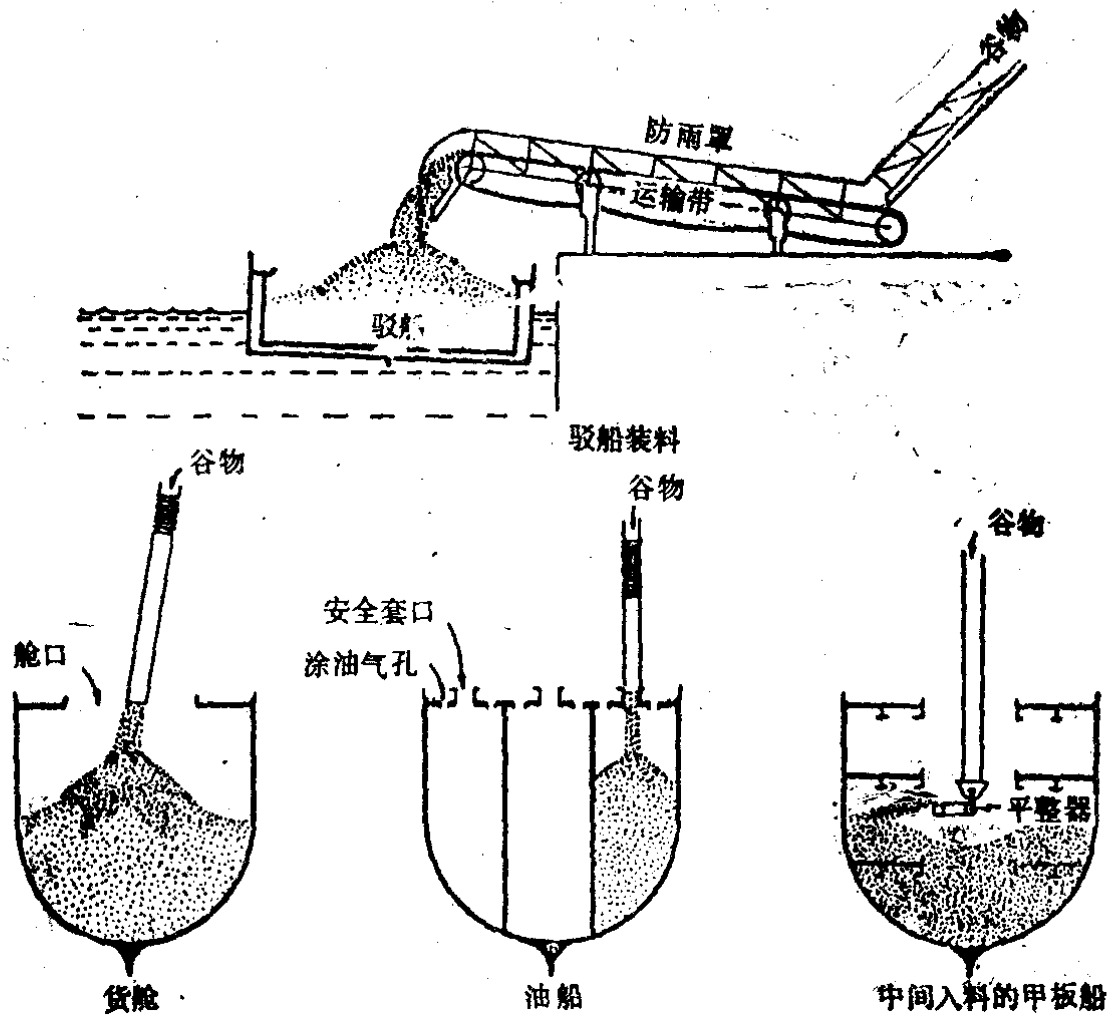


图5-8 驳船和货船装料

可信度。

三、颗粒特性

谷物贮仓的逸散尘包含少量的黑穗病和霉菌的孢子、昆虫肢体、野草种子、各种花粉以及由谷物生长地区植物和土壤带来的硅尘。而更多的尘是单粒谷物间擦损产生的谷粒外壳毛和颗粒。

谷粒尘的比重一般为 $0.8 \sim 1.5$ ，与之相比，各种工业尘通常其比重介于 $2.0 \sim 2.5$ 间。谷物尘大部分粒径范围介于 10

~100 μ m。

表5-2列出了提升机排气用旋风除尘器入口处的粒径分布测定结果，它可以近似地代表此处未经控制向大气排放的逸散尘粒径分布。

在贮仓附近监测的悬浮颗粒物浓度为240 μ g/m³。这些颗粒的粒径分布，99%小于2 μ m，50%小于0.03 μ m。这样的颗粒，在浓度高于100 μ g/m³时，对人体有不利健康的影响。

表5-1 谷物贮仓的逸散尘排放因子

| 排 放 源 | 排 放 因 子 | 可信度等级 |
|------------------|-----------------------------------|-------|
| 1. 收料 | | |
| 卡车卸料 | 0.3kg/t(卸料)(0.16~1.75kg/t) | D |
| 铁路货车卸料 | 0.65kg/t(卸料)(0.02~1.5kg/t) | D |
| 驳船卸料 | 0.85kg/t(卸料)(0.04~1.75kg/t) | D |
| 2. 转运和运输 (总和) | 3.0kg/t(运料) | D |
| 2a. 收料提升机支管、贮斗和称 | 包括在总估计值中 | |
| 2b. 分配器、倾卸装置和斜槽 | 包括在总估计值中 | |
| 2c. 贮仓排气管和倒仓 | 包括在总估计值中 | |
| 3. 过筛和清理 | 2.5kg/t (过筛和清理料) (0.1~4.6kg/t) | D |
| 4. 干燥 | | |
| 柱式 | 0.25kg/t (干燥料) (0.10~0.55kg/t) | D |
| 横条 | 2.0kg/t(干燥料)(0.9~4.0kg/t) | D |
| 5. 装运 | | |
| 卡车装料 | 0.15kg/t(装料)(0.07~1.75kg/t) | D |
| 铁路货车装料 | 0.14kg/t(装料)(0.008~1.5kg/t) | D |
| 驳船或货船装料 | 0.6kg/t(装料)(0.001~1.75kg/t) | D |

表5-2 提升机支管(排气管)旋风除尘器入口尘的粒径分布

| 美国筛的目数 | 孔径 (μm) | 累积重量百分数大于下值 |
|--------|----------------------|-------------|
| 100 | 149 | 32.7 |
| 170 | 88 | 44.7 |
| 200 | 74 | 48.7 |
| 325 | 44 | 68.0 |
| — | 20 | 91.0 |
| — | 10 | 99.1 |
| — | 5 | 99.9 |
| — | 1 | 99.9 |

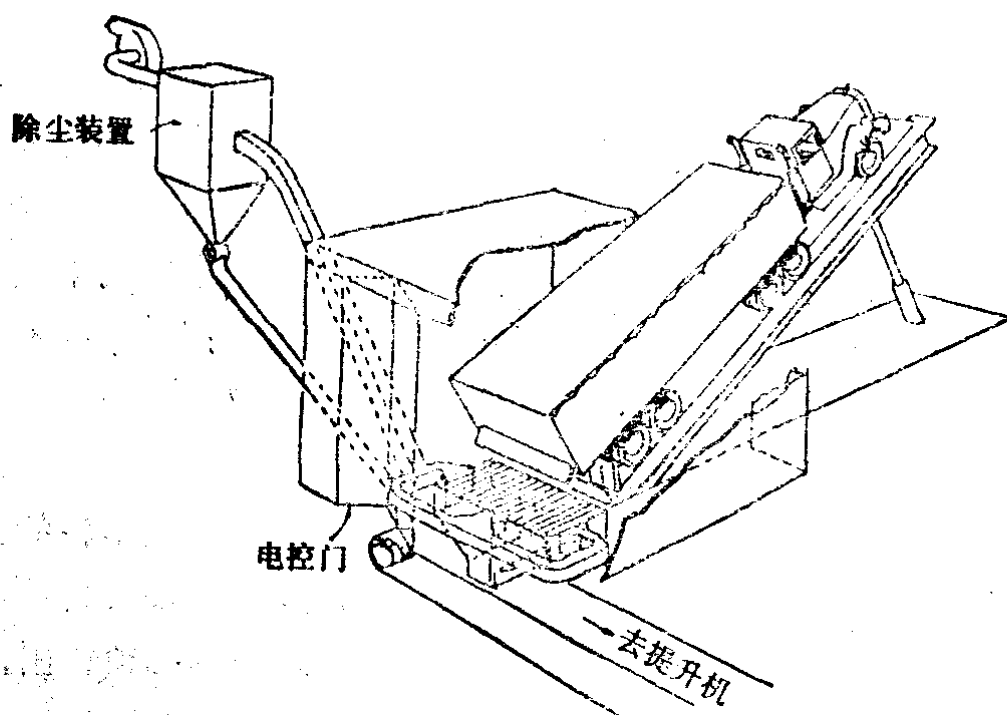


图5-9 卡车卸料除尘系统

与谷物处理有关的昆虫、霉菌和真菌能产生呼吸道疾病。贮仓内的工人能遇到 $100\sim 400\text{mg}/\text{m}^3$ 浓度的尘。这样的水平大大超过呼吸道疾病发生的阈值。

谷物干燥时，谷物外表那层薄薄的外壳也随之飘扬。这种烽翼物的直径基本上都超过 $50\mu\text{m}$ ，总平均直径大约为

150 μ m。

四、控制方法

在卡车卸料作业中，有效的尘控制一般需要使用格栅底部抽气和适度的封闭或遮盖接受点。抽出的空气送至除尘装置，它可以是旋风除尘器或纤维过滤袋。图5-9说明这一系统。

卸料作业的封闭型式影响到逸散尘的排放量。一些谷物贮仓仅使用两边封闭和加顶。对逸散尘排放控制，最适合的结构是三边和顶部封闭或卡车开过隧道有门控制。在每次卡车卸料时将隧道门放下。当卡车卸料在全封闭罩内进行或开过具有两扇快闭门的隧道时，将达到最大的控制效果。用这种封闭型控制结构，在卡车卸料时，也能防止大部分风刮逸散尘的排放，但费用是很高的。

最好的铁路货车卸料的排放控制也要求全封闭罩或通过带快闭门的隧道。底卸式车辆的控制技术与箱式车辆不同。底卸式车辆已有两种控制技术：一是使用格栅底部抽气至旋风除尘器或纤维过滤袋，它们的形状与卡车卸料相同；二是使用一个小的收料斗以有效的过饱和卸料。箱式车辆的卸料常由打开车辆内的谷物门来完成。谷物涌流入接受料斗，就会产生谷物和尘的涌流。剩余在车辆内的谷物必须铲出，而每铲一次谷物将产生一团尘云。在中转粮仓普遍使用的车辆卸料的其他技术是机械倾倒车，即倾倒车谷物进入接受坑。这种快速卸料法形成一大团尘云，可能难于控制。上述两种车辆卸料法的排放物可由格栅底部抽气至纤维过滤袋或旋风除尘器来控制。但对大量的空气必须达到95%的捕尘效率。图5-10介绍了底卸式和箱式车辆卸料的控制系统。图5-11给出了更详细的车辆卸料控制系统图。

驳船主要由可缩回的斗式提升机（船用起重机）卸料。此提升机能降入驳船的货舱，在货舱中当谷物被铲出舱，或由船用起重机顶部卸入运输带时，都会产生一些逸散尘。驳船卸料最好用全封闭的提升机支管并抽吸尘入纤维过滤袋或旋风除尘器来实现控制。图5-12介绍了这一系统。

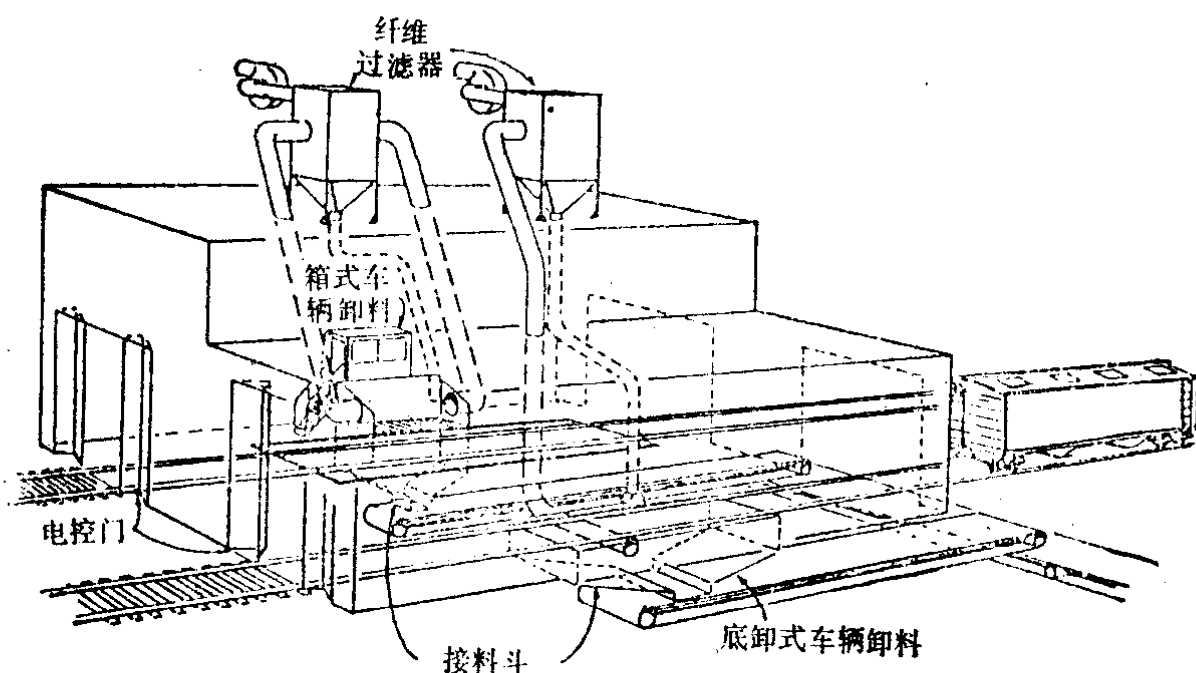


图5-10 铁路车皮卸料除尘系统

仓内谷物转运和运输排放尘的控制常用管道输送连接多个尘源与共用的尘收集系统，这就是贮仓井口房尘源的一般作法。因此，提升机支管、转运点、贮仓排气管等的抽吸系统都可用管道输送至一个收集器。在这些控制系统中，希望尽可能全封闭运输带以控制可能排放的细小颗粒物。对倾卸装置经常加罩并排气至旋风除尘器或纤维过滤袋。谷物称量斗和与之连接的调节谷仓也可排气至共用收集器。许多谷物贮仓由于谷物流入而产生的尘，都直接排入大气，在一些大城市已使用小型纤维过滤袋收集尘。其它谷物贮仓从内部抽净仓室的尘，以防止尘的释放。谷物倒仓是一项沾满尘的操

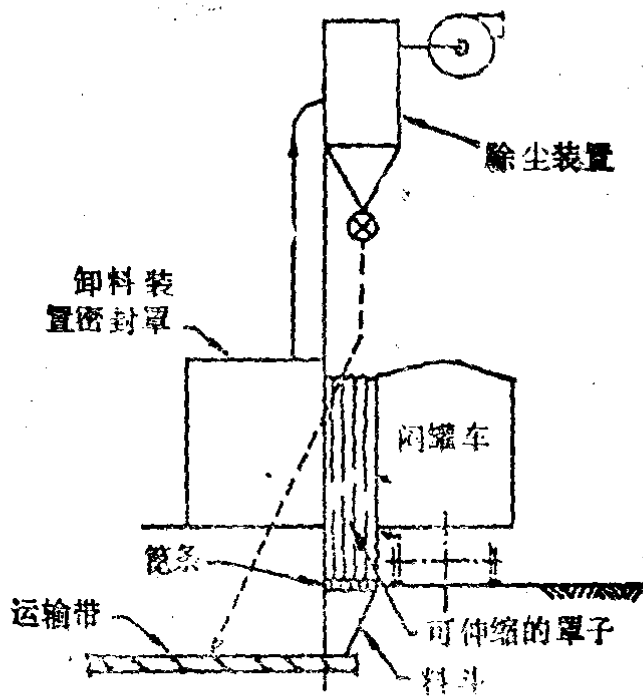


图5-11 箱式车皮卸料除尘系统

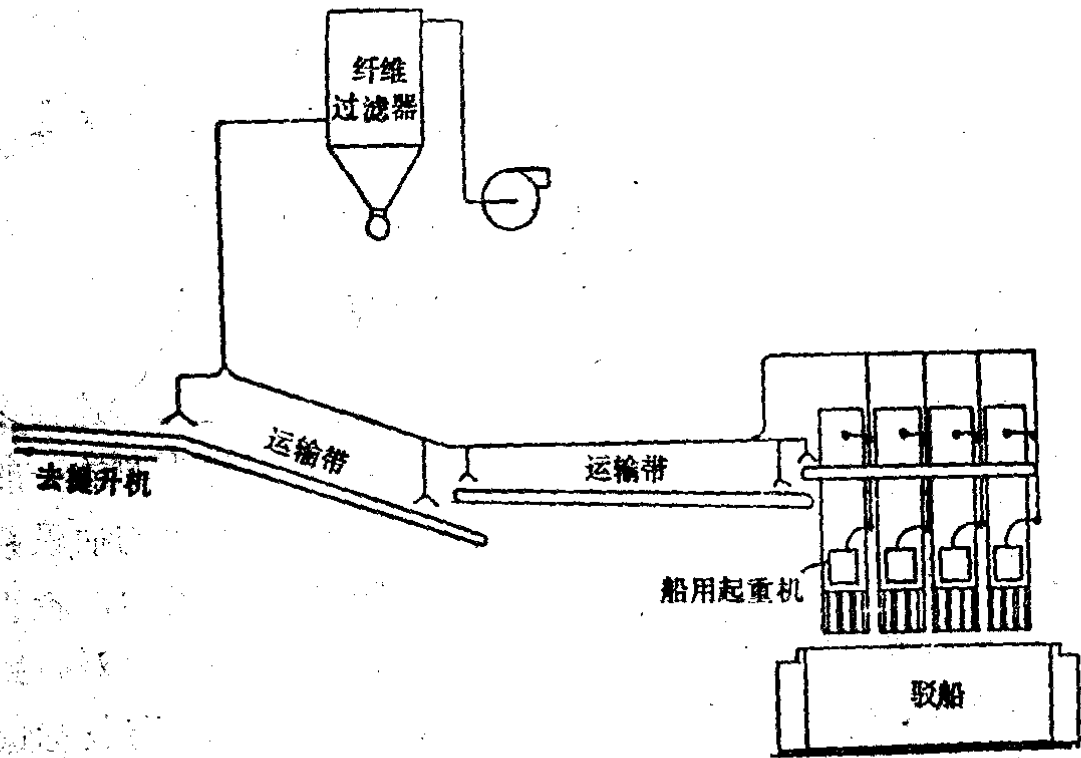


图5-12 驳船卸料除尘系统

作，而许多谷物贮仓现正实行谷物仓的通风。通风约比倒仓减少40%的尘，并大大减少了为冷却而转运谷物的需要，图

5-13和5-14分别表示出如何从提升机支管和转运点捕捉排放尘的情况。

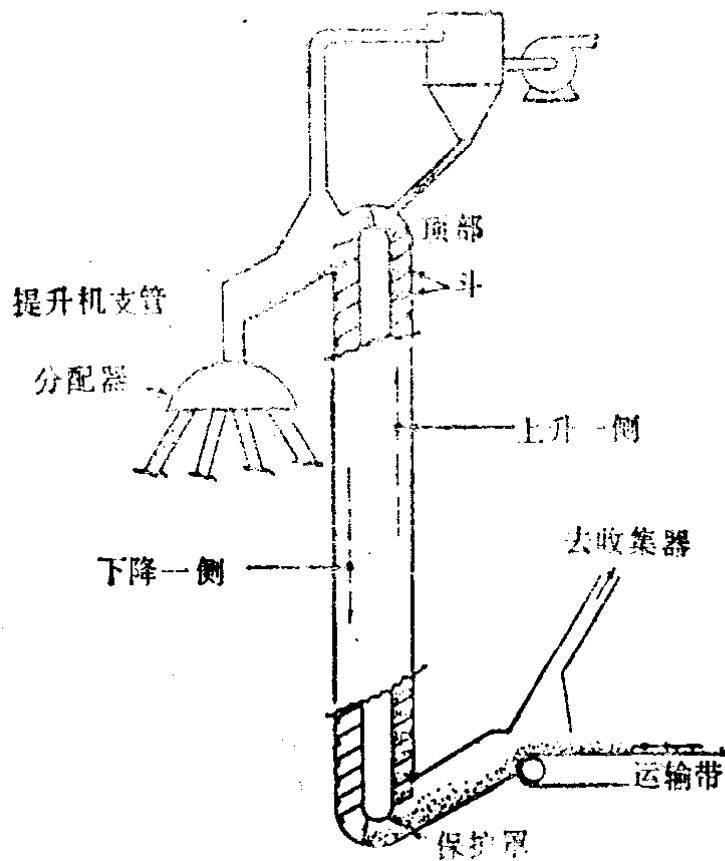


图5-13 提升机支管除尘系统

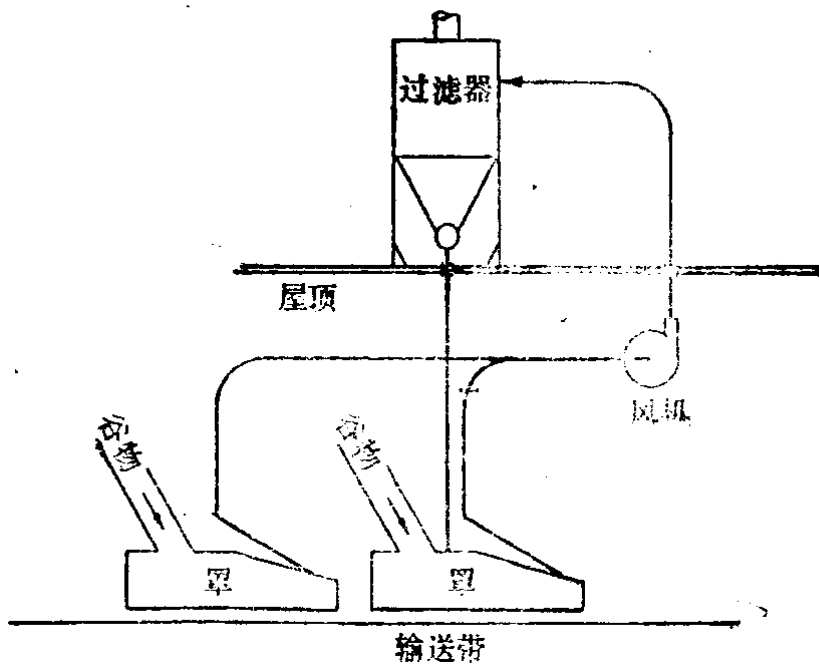


图5-14 转运点除尘系统

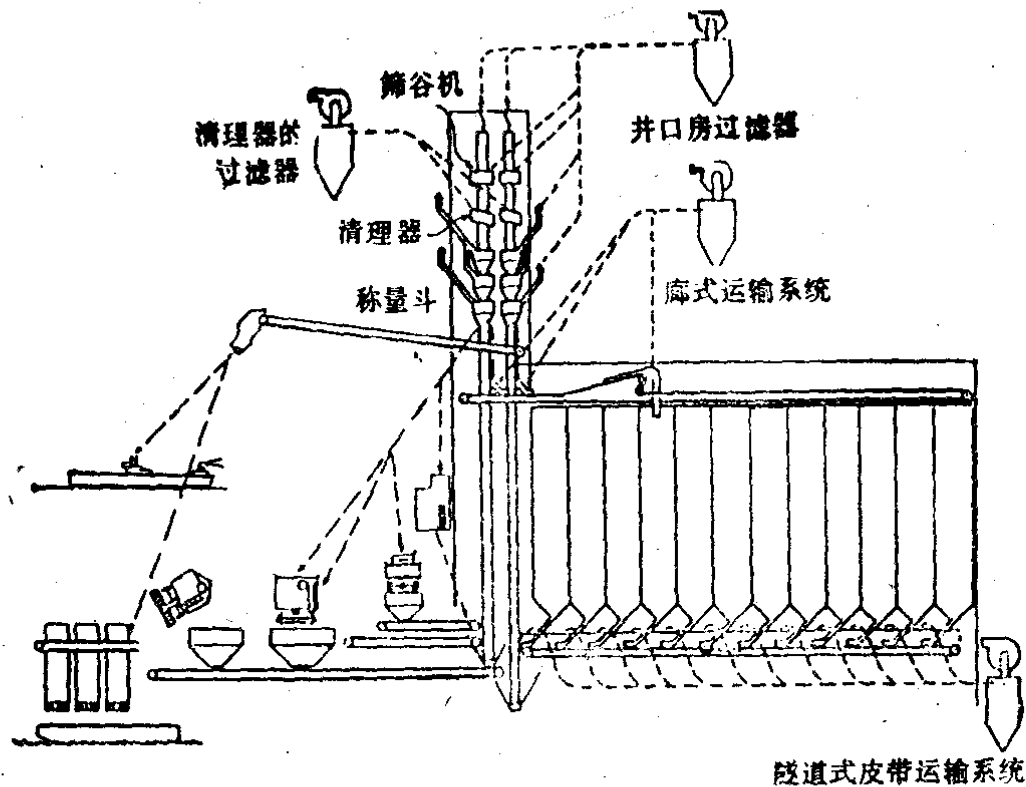


图5-15 谷物搬运和清理的除尘系统

谷物筛分和清理排放的尘，由加罩或封闭该装置并排气至旋风除尘器或纤维过滤袋来控制。具有气密罩的筛不需通风至除尘装置。搬运和清理作业的除尘系统列于图5-15中。

谷物干燥机存在着难于控制的空气污染问题。干燥机排出大量的空气，排气管具有大的横切面，排尘具有低的比重，而排气流含有高水分。齿条或柱式干燥机普遍用于仓室谷物的干燥。柱式干燥机比齿条干燥机具有较低的排放率，这是由于谷物下降柱捕捉了部分尘。这类干燥机也可用筛分系统来控制颗粒物。筛子必须连续抽真空以保持清洁和防止空气气流阻塞。其他筛分清理系统是一种滑杆式自身清理系统。带有真空清理的筛分过滤除尘系统表示在图5-16中。

有如卡车卸料除尘那样，如果在三边和顶部密封、一边带有可关闭门的系统中装料，将是卡车装料作业的最好除尘方法。装料包括排放大量尘的谷物自由落入卡车的过程。使

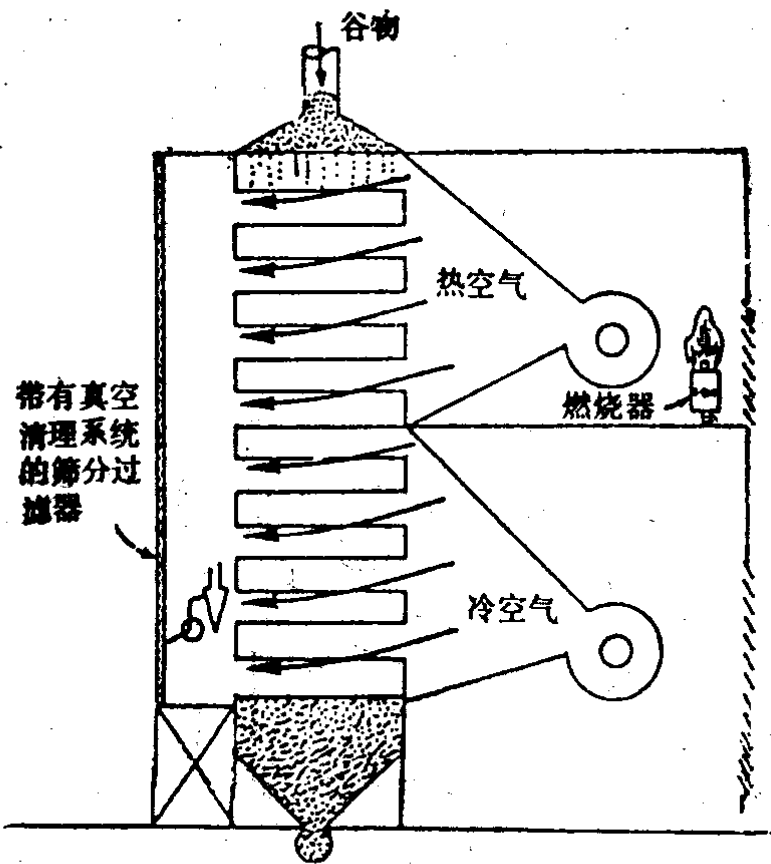


图5-16 带有筛分过滤器的齿条干燥机

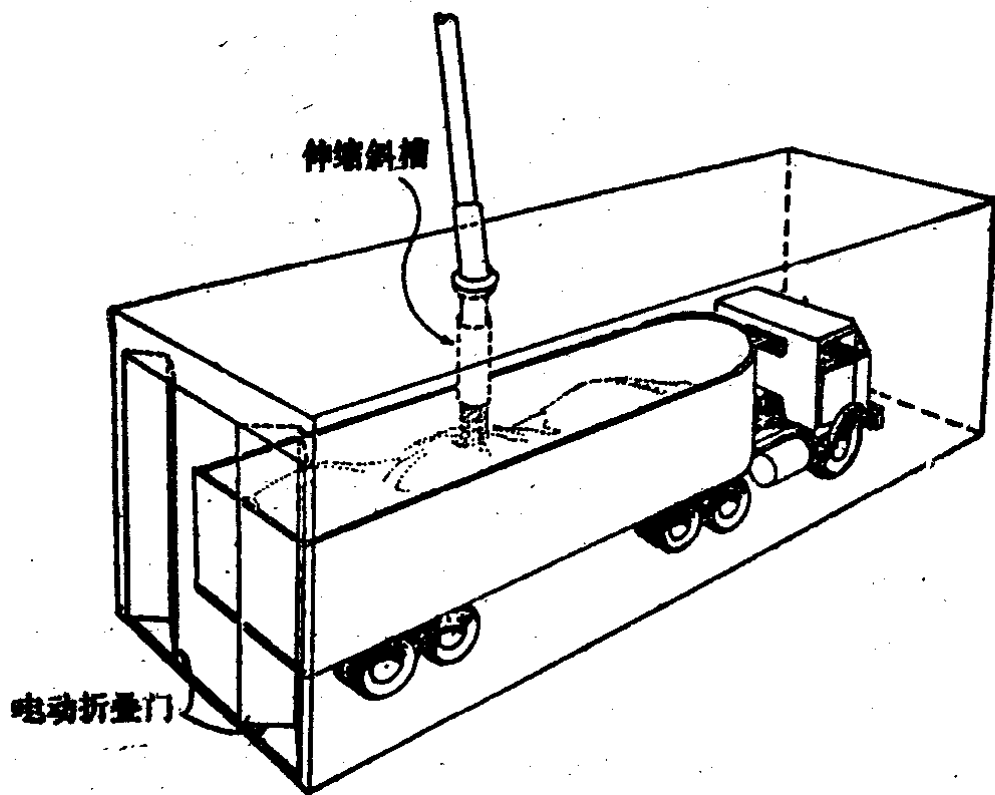


图5-17 卡车装料除尘系统

用伸缩斜槽（见图5-17）或带有帆布延伸套筒的斜槽，可减少尘的排放。由于卡车尺寸变化和装料斜槽需要移动，使卡车装谷物过程的控制出现困难。少数情况下，在斜槽卸料口安装一罩，使用罩内抽气的方法。颗粒物被捕集并排至旋风除尘器或纤维过滤袋。

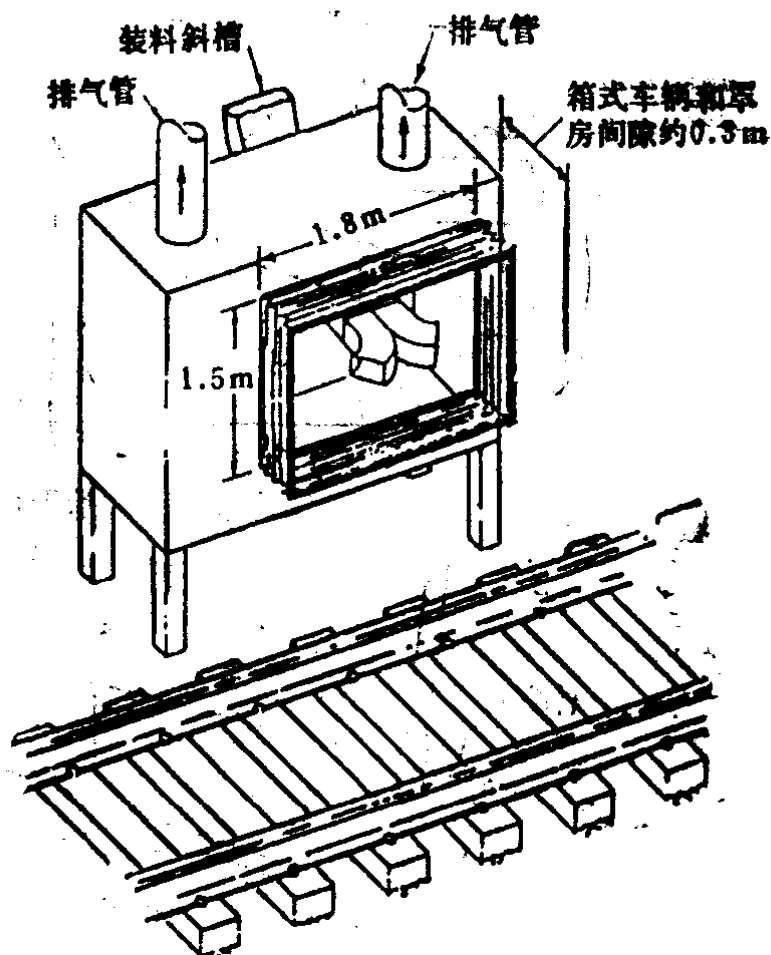
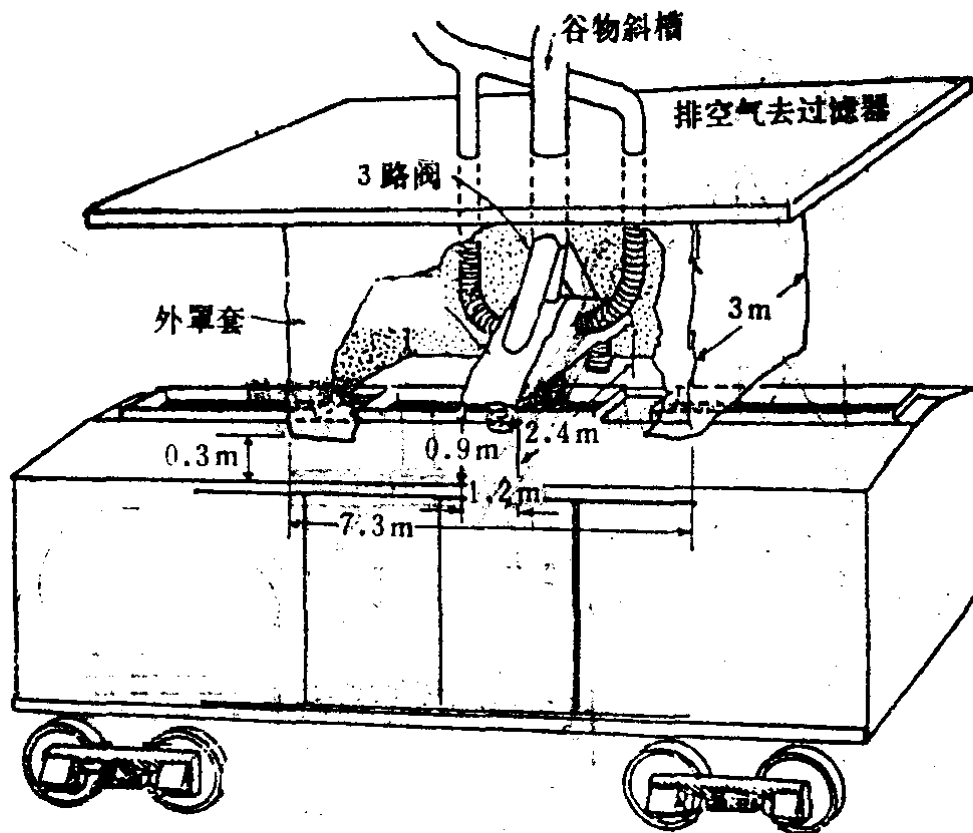


图5-18 箱式车辆装料除尘系统

铁路箱式车辆装谷物的控制是不普遍的。其控制方法之一是对车辆门上加罩筒并排颗粒物至纤维过滤袋或旋风除尘器（见图5-18）。底卸式车辆装谷物的控制与卡车使用方法相同。装料常在半封闭地段进行。也可在装料斜槽出口装罩（见图5-19）。底卸式车辆装谷物的排尘采用加罩，并排气

至纤维过滤袋或旋风除尘器。也可使用伸缩斜槽或过饱和进料。



注意：三路阀装料至易弯曲的装料斜槽，可对底卸式车辆顶部的中心或两侧装料

图5-19 底卸式车辆装料除尘系统

驳船装料的排放可由减小谷物自由降落距离而降至最少。保持伸缩斜槽延伸至谷物堆面（即达到过饱和进料），将减少排放。也可增设斜槽出口抽气并排气去纤维过滤袋或旋风除尘器（见图5-20）。

装船时，在装料斜槽口也可使用弹型箱或封闭箱系统以减缓谷物的流速。也可安装捕尘的旋风除尘器或纤维过滤袋的收集系统。其他方法是用帆布覆盖整个船舱，仅留装料斜槽入口，并从帆布下抽气去纤维过滤袋。但选用这种控制方法对装料快结束阶段是不适用的（即装船舱顶部1.2m时），这是由于为了平坦分布谷物需要快速移动装料斜槽。在恶劣

天气条件及大风情况下，这种系统也是不行的。

表5-3概括列出可用的控制技术、效率、估计费用和选择的RACM。

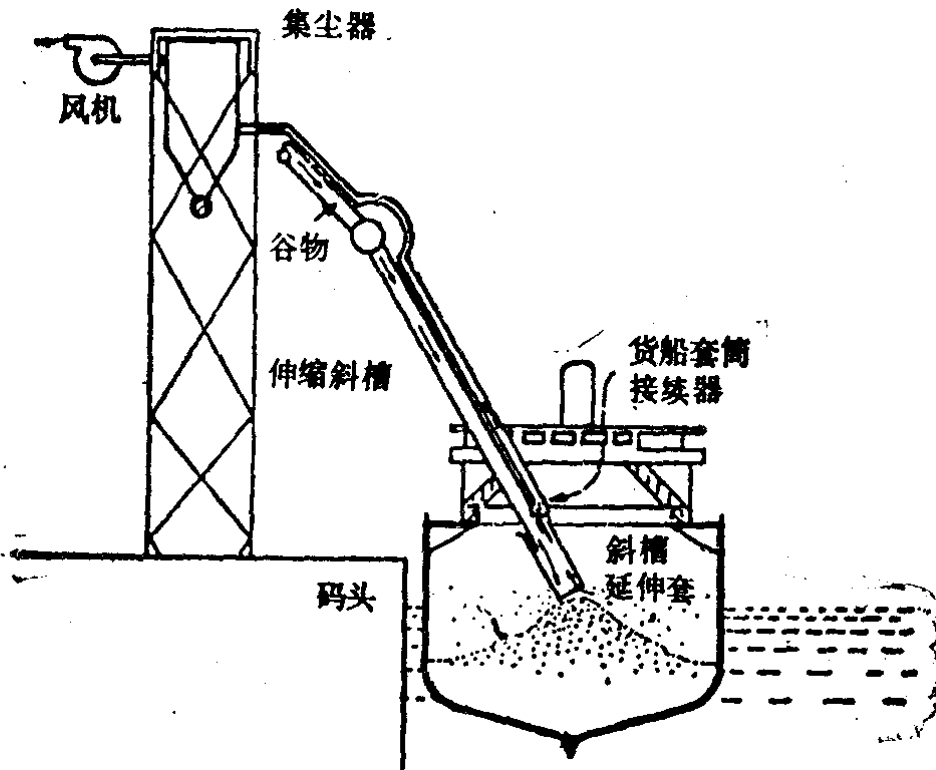


图5-20 驳船或货船装料的除尘系统

五、推荐的合理、可用控制措施

谷物贮仓逸散尘的RACM列在表5-3中。

卡车卸料选用带有快速关闭门的三边遮档房并通风至纤维过滤袋。这种方法虽然比卸料斗排气至旋风除尘器的费用效果低，但能达到很好的控制水平，空气浑浊度达到零。

铁路车辆卸料选用封闭受料区并通风至纤维过滤袋。这个系统费用合理，且无可见的排尘。

驳船卸料选用封闭船用支管、接受斗和运输带并通风至纤维过滤袋。这是费用合理且最有效的方法。

表5-3 谷物贮仓逸散尘源的控制技术费用和RACM选择

| 逸散尘源 | 可用的控制技术 | 控制效率 (%) | 控制费用 1980.1美元 | | 费用效益比 (美元/kg) | 选择的RACM |
|-----------------|--------------|-----------------|---------------------|--------------------|------------------|-----------------|
| | | | 投资费 | 年费用 | | |
| 1. 收料 | | | | | | |
| 卡车卸料 | 收料斗排气至旋风除尘器 | 90 ^a | 28200 ^b | 6100 ^b | 0.21 | 封闭和纤维过滤袋 |
| | 封闭、并排气至纤维过滤器 | 99 | 53500 | 11700 | 0.37 | |
| 铁路货车卸料 | 封闭和旋风除尘器 | 90 ^a | 34200 ^c | 6200 ^c | 0.02 | 封闭和纤维过滤袋 |
| | 封闭和纤维过滤器 | 99 | 71800 | 33900 | 0.10 | |
| 驳船卸料 | 封闭和旋风除尘器 | 90 ^a | 39200 ^d | 11200 ^d | 0.035 | 封闭和纤维过滤袋 |
| | 封闭和纤维过滤器 | 99 | 55000 | 12300 | 0.035 | |
| 2. 转运和运输 | | | | | | |
| | 排气至旋风除尘器 | 90 ^a | 260260 ^e | 68700 ^e | 0.06 | 排气至纤维过滤袋 |
| | 排气至纤维过滤器 | 99 | 265300 ^e | 73500 ^e | 0.06 | |
| 3. 清理 | | | | | | |
| | 排气至旋风除尘器 | 90 ^a | 29400 ^e | 6200 ^e | 0.037 | 排气至纤维过滤袋 |
| | 排气至纤维过滤器 | 99 | 43400 ^e | 9600 ^e | 0.026 | |
| 4. 干燥 | | | | | | |
| 齿条干燥机 | 过筛(24目) | 63 | 11000 ^e | 2300 ^e | 0.04 | 真空筛分系统 (50目) |
| | 真空筛分系统(50目) | 99 | 51800 | 11300 | 0.15 | |
| 柱式干燥机 | 多孔板(孔径2mm) | 无可用数据 | — | — | 无可用数据 | 孔径2mm孔板 |
| 5. 装货 | | | | | | |

续表

| 逸散尘源 | 可用的控制技术 | 控制效率 (%) | 控制费用 1980.1美元 | | 费用效益比 (美元/kg) | 选择的 RACM |
|--------|------------------|-----------------|---------------------|--------------------|------------------|--------------------------|
| | | | 投资费 | 年费用 | | |
| 卡车装料 | 可调斜槽 | 75 | (见第一章) 费用同于卡车卸料 | | | 封闭和纤维过滤袋 |
| | 封闭和旋风除尘器 | 90 ^a | | | 0.67 | |
| | 封闭和纤维过滤袋 | 99 | | | 1.17 | |
| 铁路车皮装料 | 可调斜槽 | 75 | (见第一章) 费用同于卡车卸料 | | | 封闭和纤维过滤袋 |
| | 加罩和旋风除尘器 | 90 ^a | 62200 ^b | 13000 ^c | 0.56 | |
| | 封闭和纤维过滤袋 | 99 | 103900 ^b | 22100 ^c | 0.87 | |
| 驳船装料 | 伸缩斜槽、过饱和进料和旋风除尘器 | 90 ^a | 费用包括在转运、运输中 | | 0.06 | 伸缩斜槽、过饱和进料和纤维过滤袋 |
| | 伸缩斜槽、过饱和进料和纤维过滤袋 | 99 | 费用包括在转运、运输中 | | 0.06 | |
| 货船装料 | 防水帆布舱盖和旋风除尘器 | 90 ^a | 41200 ^b | 11300 ^a | 0.02 | 防水帆布舱盖、纤维过滤袋或过饱和进料和纤维过滤袋 |
| | 防水帆布舱盖和纤维过滤袋 | 99 | 57000 ^b | 12400 | 0.02 | |
| | 过饱和进料和旋风除尘器 | 90 ^a | 65700 | 13600 | 0.025 | |
| | 过饱和进料和纤维过滤袋 | 99 | 66100 | 19600 | 0.033 | |

注: a. 高效旋风除尘器的收集百分数。

b. 贮仓能力为每年通过谷物1410000m³。

c. 贮仓能力为每年通过谷物528600m³。

d. 估计费用系根据旋风除尘器流量为4720空气m³/min。

e. 费用包括634m²帆布(每m²帆布3.12美元)的费用。

转运和运输作业选用将排放源连通至纤维过滤袋的系统。这种系统经济有效，可达到空气浑浊度为零。

清理作业最好实行排气至纤维过滤袋。

齿条干燥机推荐使用50目筛和真空清理筛网。这种系统以中等费用实现空气浑浊度为零。对柱式干燥机的标准控制装置为孔径2mm或小于2mm的孔板。此系统有效，也能达到浑浊度为零。

卡车装料建议的控制技术是使用三边封闭、一边带快速关闭门，并排气至纤维过滤袋。虽然仅能达到10%的浑浊度，但这种系统是可用技术中最有效的。

对铁路车辆装料推荐的控制措施是用罩遮档装料区三面并抽气至纤维过滤袋。这种系统可达到浑浊度为零。

驳船装料建议的控制技术是使用伸缩斜槽，达到过饱和进料并从斜槽抽气至纤维过滤袋。这个系统经济有效，以可用的控制方法保证了最好的控制水平。

货船装料推荐的控制方法是使用防水帆布舱盖，并抽气至纤维过滤袋。但这种系统不能用于油船或几层甲板船的中层装料。对装船的结束阶段也必须去掉帆布。对恶劣天气或不适合使用帆布者，推荐使用过饱和进料，并排气至纤维过滤袋。

运输道路可能是谷物贮仓周围的主要逸散尘源。对它推荐的控制措施列在第一章中。

六、典型费用计算（使用的参数）

1. 收料

假设贮仓能力 = 1410000m^3 ，平均重量 = $747\text{kg}/\text{m}^3$ ，收料排尘量 = $0.3\text{kg}/\text{t} \times 1410000\text{m}^3/\text{a} \times 747\text{kg}/\text{m}^3 \times \text{t}/1000\text{kg}$

=315980kg/a。

卡车卸料排尘量占收料排尘量的10% = 31598kg/a

铁路车辆卸料量占贮仓进料的50%，其排放量 = 0.65 kg/t × 704780m³/a × 747kg/m³ × t/1000kg = 342200kg/a

驳船卸料量占贮仓进料量的40%，则其排放量 = 0.85kg/t × 563826m³/a × 747kg/m³ × t/1000kg = 358000kg/a

2. 转运和运输

假设搬运量为528600m³/a

排放量 = 3kg/t × 528600m³/年 × 747kg/m³ × t/1000kg + 2.6kg/t × 0.35 × 528600 m³/a × 747 kg/m³ × t/1000kg = 1267500kg/a

3. 清理

排放量 = 3kg/t × 0.221 × 528600m³/a × 747kg/m³ × t/1000kg = 261800kg/a

4. 干燥

干燥谷物量 = 528600m³/a

排放量 (齿条干燥机) = 528600m³/a × 0.2kg/t × 747 kg/m³ × t/1000kg = 78973kg/a

5. 装运

卡车装料排放量 = 0.15kg/t × 528600m³/a × 747kg/m³ × t/1000kg × 0.17 = 10070kg/a

铁路车辆装料排放量 = 0.135kg/t × 528600m³/a × 747 kg/m³ × t/1000kg × 0.48 = 25600kg/a

驳船装料 (见2. 转运和运输)

货船装料排放量 = 0.6kg/t × 1410000m³/a × 747kg/m³ × t/1000kg × 0.94 = 594044kg/a

费用效益比的计算从略。

第六章 乡村谷物仓库

一、工艺概述

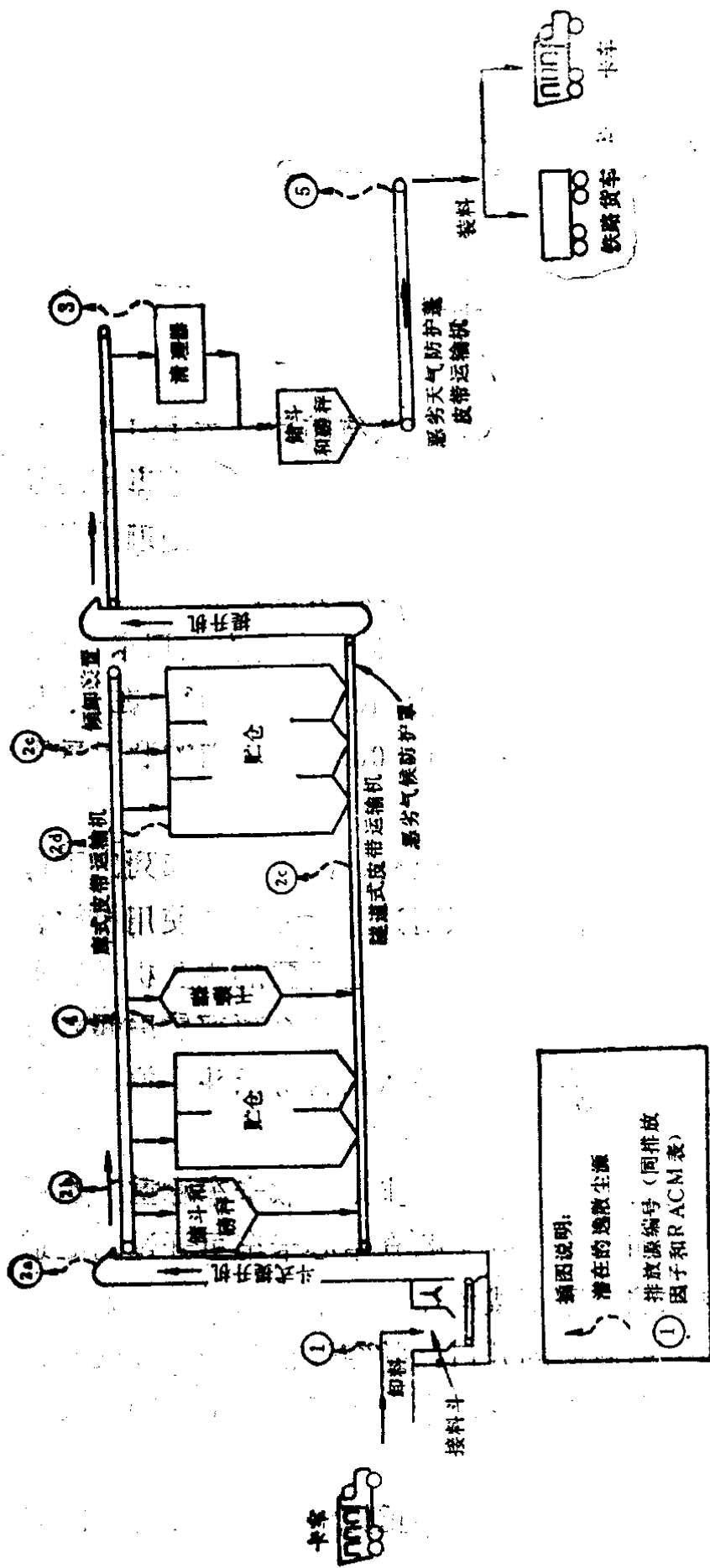
乡村谷物贮仓接受和储存谷物以待随后装运至中转粮仓、磨粉厂和其它加工厂。除储存外，乡村谷物仓库有时还备有清理谷物或干燥谷物的设备，或二者皆有。处理的谷物包括玉米、燕麦、小麦、黑麦、大豆和大麦。

乡村谷物贮仓主要接受从16~20km内的农庄用卡车或拖拉机运来的谷物。其储存容量为140~26400m³。在美国，1974年乡村谷物贮仓平均容量为15500m³。它们的贮运量平均约为容量的2倍。

乡村谷物贮仓常为立式混凝土仓。图6-1和6-2列出了简图和样式图。这种贮仓的设计原则通常为尽量少使用机械装置，尽量利用重力流动以简化操作。它需要的主要机械装置是斗式提升机或“支管”，它提升谷物至贮仓顶部然后卸入分配器。再导入希望的贮仓或直接进入出料称量斗。执行这种功能的贮仓部分称为“井口房”。

谷物到达贮仓后，装卸的第一步是装载卡车称重。然后卡车开至卸料站，卸料站常处于贮仓中心卡车可开过的隧道上。常用一悬空的绞车系统或液压台将卡车的前端升起。这就引起谷物流出卡车后面的开口，并穿过格栅进入接受斗。随卡车卸料完毕和卡车放低后，卡车开回再称重以确定接收谷物的数量。

倾倒入接受斗的谷物，通常靠重力流入斗式提升机的底



插图说明：
 潜在的逸散尘源
 排放源编号（同排放因子和RACM表）
 ①

图6-1 乡村谷物贮仓的简化流程和有关逸散尘源

- 1——集尘器； 2——井口房滑轮和支管皮带； 3——分配器；
 4——清理机； 5——分配器斜槽； 6——上称量斗； 7——自动
 量斗(0.88m³)； 8——下
 称量斗(0.88m³)； 9——
 出料料槽； 10——混凝土
 支管； 11——支管皮带和
 斗； 12——电动-手动提
 升机； 13——杂物和筛出
 物贮箱； 14——人孔；
 15——卡车装料斜槽；
 16——通风系统； 17——
 工作间； 18——车道； 19
 ——倾倒格栅； 20——倾
 倒坑， 21——电动卡车提
 升机； 22——隧道； 23——
 保护罩和下支管； 24——
 喷水管

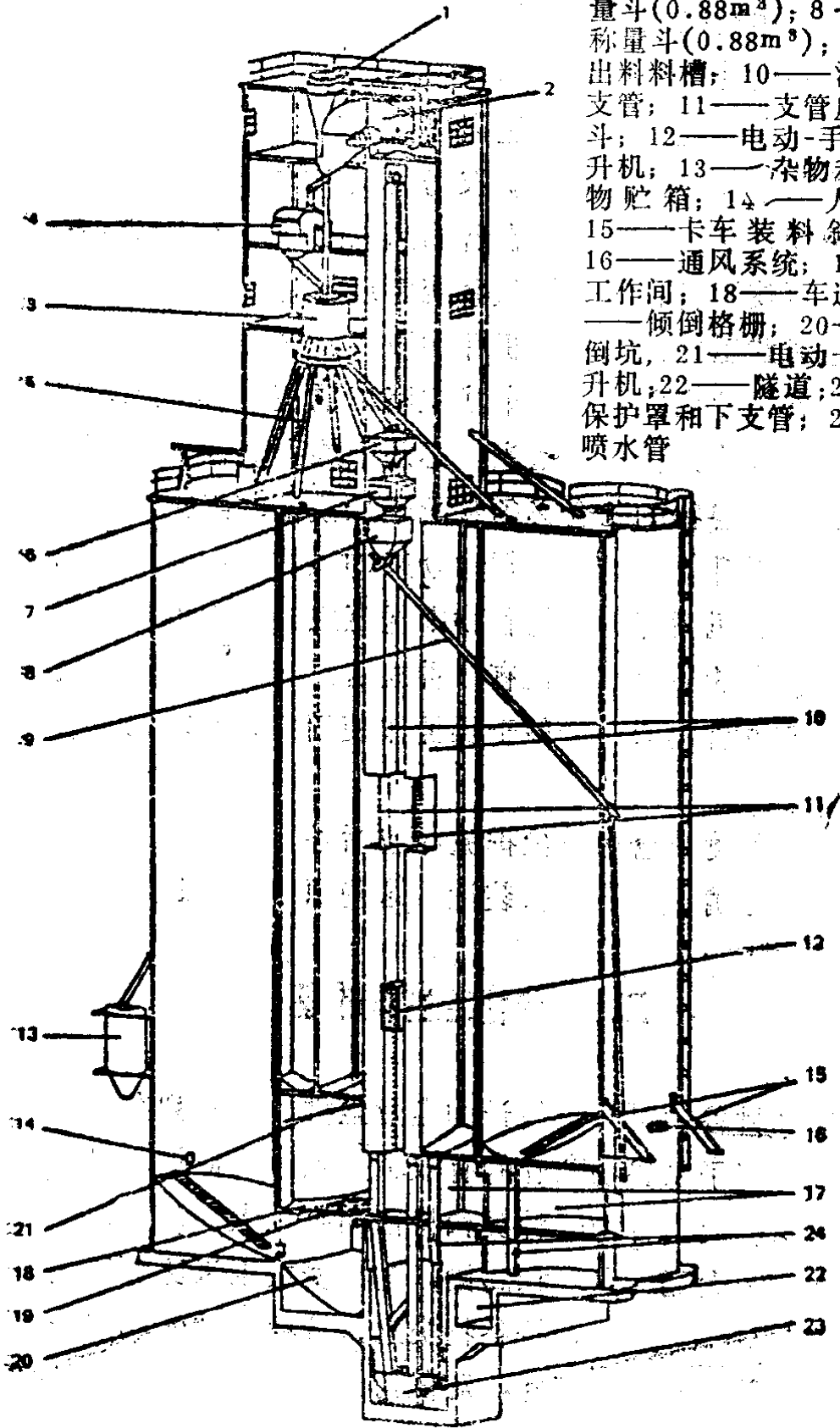


图6-2 立式乡村谷物贮仓

部（即提升机保护罩下）。在一些情况中，谷物靠带式、刮板或螺旋运输机从接受斗输送至提升机保护罩下。

收料提升机以 $176\sim 264\text{m}^3/\text{h}$ 流率，提升谷物至井口房的顶部，在此处谷物可通过配料器卸出。配料器将谷物导入适合的贮仓或清理装置。从农场接受来的谷物，经常含有各种夹杂物，某些情况下，在谷物送入贮仓之前，需进行清理操作。可使用各种筛和抽气系统清理谷物。贮仓谷物的卸出，通常靠重力流回提升机保护罩下，再提升并通过分配器卸出。谷物贮仓主要靠卡车或铁路车辆装运。

某些谷物，特别是玉米，必须干燥到适合长期储存。长期储存这些谷物的贮仓必须装配干燥设备。某些干燥机需要增设一台提升机，以提升暂贮仓来的湿的谷物到干燥机的顶部，而干燥机后部出来的谷物则送至主提升机再提升至最终贮仓。现有的谷物干燥机有多种规格，安装的规格取决于预期处理的湿谷物量。一般干燥操作使用 $17.6\sim 70.5\text{m}^3/\text{h}$ 规格的干燥机。

乡村谷物贮仓逸散尘排放源包括谷物接收、转运和运输、筛分和清理、干燥和装运。这些源在图6-1中标出。

二、逸散尘排放因子

对乡村谷物提升机估计的逸散尘排放因子列在表6-1中。这些排放因子以谷物贮仓的有限试验数据为依据。已发现排放速率随被装卸谷物的种类和特性而有巨大变动。由田野来的谷物，如大豆、燕麦和高粱，与小麦或玉米比较都是很脏的。但要对各种谷物，按谷物类别，分别对其排放因子进行定量，则数据不足。因此，对任何具体作业的排放因子并不可用。

三、颗粒特性

乡村谷物贮仓逸散的颗粒物产生于贮仓接受了未清理的谷物以及由各种机械装卸操作产生的细小颗粒。谷物可能包含少量的黑穗病和霉菌的孢子、昆虫肢体、野草种子、各种花粉以及由谷物生长地区植物和土壤带来的硅尘。但大部分

表6-1 乡村谷物贮仓的逸散尘排放因子

| 排 放 源 | 排放因子平均值 (括弧内为范围值) | 可信度等级 |
|-----------------|-----------------------------------|-------|
| 1. 收料 | | |
| 卡车卸料 | 0.3kg/t(卸料) (0.16~4kg/t) | D |
| 2. 转运和运输 (总量): | 1.25kg/t (1.0~2.0kg/t) | D |
| 2a. 收料、提升机和顶屋 | a | |
| 2b. 贮谷箱和磅称排气管 | a | |
| 2c. 分配器、倾卸装置、斜槽 | a | |
| 2d. 贮仓排气管 | a | |
| 3. 筛分和清理 | 1.5kg/t(清理料) (0.095~5.05kg/t) | E |
| 4. 干燥 | | |
| 柱式干燥机 | 0.25kg/t(干燥料) (0.095~0.55kg/t) | D |
| 齿条干燥机 | 2.0kg/t(干燥料) (0.9~4.0kg/t) | D |
| 5. 装运 | | |
| 卡车装料 | 0.15kg/t(装料) (0.07~4.0kg/t) | D |
| 铁路车辆装料 | 0.135kg/t(装料) (0.0075~4.0kg/t) | D |

注: a. 排放量包括在总估计值中。

尘为谷粒外壳的毛和其磨损所产生的颗粒。

表6-2列出了提升机排气用旋风除尘器入口尘的粒径分布试验结果。它可近似地作为无控制的提升机排入大气的逸散尘的粒径分布。

表6-2 提升机旋风除尘器(入口)尘的粒径分布

| 美国筛目 | 筛孔大小(μm) | 累积重量% (筛上颗粒) |
|------|-----------------------|--------------|
| 100 | 149 | 32.7 |
| 170 | 88 | 44.7 |
| 200 | 74 | 48.7 |
| 325 | 44 | 68.0 |
| /// | 20 | 91.0 |
| /// | 10 | 99.1 |
| /// | 5 | 99.9 |
| /// | 1 | 99.9 |

在玉米干燥中,被称作“蜂翼”的玉米粒外层膜随谷物尘排入空气。所有蜂翼的粒径基本上超过 $50\mu\text{m}$,总的平均直径约 $150\mu\text{m}$ 左右。

其毒性和健康影响已在第五章中论及。

四、控制方法

乡村谷物贮仓的控制方法,除尺度较小外,基本上与大粮仓相同。表6-3概括出可用控制技术的效率、估计费用和RACM选择

表6-3 乡村谷物贮仓逸散尘的控制技术、效率、费用和RACM

| 逸散尘源 | 可选用的控制技术 | 控制效率 (%) | 控制费用 1980.1美元 | | 费用效益比 (美元/kg) | 选择的RACM |
|--------------|-------------|----------|------------------|------|------------------|-------------|
| | | | 投资费 | 年费用 | | |
| 1.收料 卡车卸料 | 收料斗排气至旋风除尘器 | 90* | 42700 | 8700 | 0.97 | 封闭,排气至纤维过滤袋 |

续表

| 逸散尘源 | 可选用的控制技术 | 控制效率 (%) | 控制费用 1980.1美元 | | 费用效益比 (美元/kg) | 选择的RACM |
|----------|--------------|----------|------------------|--------|------------------|---|
| | | | 投资费 | 年费用 | | |
| 2. 转运和运输 | 封闭、排气至纤维过滤袋 | 99 | 72200 | 14900 | 1.52 | (小于 24700m ³ /a 谷仓, 推荐三边遮挡) |
| | 封闭 (三边) | 60 | 27700 | 6100 | 1.30 | |
| 装运和称重 | 排气至旋风除尘器 | 90* | 14100 | 3000 | 0.11 | 排气至纤维过滤袋 (小谷仓推荐排气至旋风除尘器) 排气至纤维过滤袋 (小谷仓推荐排气至旋风除尘器) |
| 3. 清理 | 排气至纤维过滤袋 | 99 | 22100 | 4700 | 0.15 | |
| | 排气至旋风除尘器 | 90* | 16100 | 3400 | 1.19 | |
| 4. 干燥 | 排气至纤维过滤袋 | 99 | 23900 | 6000 | 1.90 | 50目真空清理筛 |
| | 齿条干燥机 | 排气至旋风除尘器 | 90* | 79000 | 22200 | |
| 柱式干燥机 | 真空筛分系统 (50目) | 93 | 35900 | 7300 | 1.50 | 孔径 2mm 的多孔板 |
| | 多孔板 (孔径 2mm) | 无可用数据 | — | — | 无可用数据 | |
| 5. 装货 | 卡车装料 | 可调斜槽 | 75 | (见第一章) | | 封闭、排气至纤维过滤器 (对小谷仓推荐可调斜槽) |
| 铁路车辆 | 排气至旋风除尘器 | 90* | 42700 | 8700 | 4.89 | |
| | 封闭、排气至纤维过滤袋 | 99 | 72200 | 14900 | 7.63 | |
| | 可调斜槽 | 75 | (见第一章) | | | |
| | 加罩、排气至旋风除尘器 | 90* | 27000 | 5700 | 3.57 | (小谷仓推荐可调斜槽) |
| | 封闭、排气至纤维过滤袋 | 99 | 62700 | 12500 | 7.12 | |

注: * 高效除尘器。

五、推荐的合理、可用控制措施

表6-3列出了乡村谷物仓库控制逸散尘排放的RACM。它与大粮仓的基本相同。表6-3仅补充列出年贮量小于24700 m³的乡村谷物贮仓选择的合理、可用控制措施。

六、典型费用计算（使用的参数）

1. 接受料

$$\text{排放量} = 0.3 \text{ kg/t} \times 26300000 \text{ t/a} \times \text{t} / 1000 \text{ kg} = 7890 \text{ kg/a}$$

2. 转运和运输

$$\text{排放量} = 1.25 \text{ kg/t} \times 26300 \text{ t/a} = 32900 \text{ kg/a}$$

3. 清理

$$\text{排放量} = 1.5 \text{ kg/t} \times 26300 \text{ t/a} \times 0.08 = 3156 \text{ kg/a}$$

4. 干燥

$$\text{排放量} = 2 \text{ kg/t} \times 26300 \text{ t/a} \times 0.1 = 5260 \text{ kg/a}$$

5. 装运

$$\text{排放量} = 0.25 \text{ kg/t} \times 0.3 \times 26300 \text{ t/a} = 1970 \text{ kg/a}$$

铁路车辆装料

$$\text{排放量} = 0.25 \text{ kg/t} \times 0.3 \times 26300 \text{ t/a} = 1973 \text{ kg/a}$$

费用效益比的计算从略。

第七章 铸 铁 厂

一、工 艺 概 述

铸铁厂生产机动车部件、轻型和重型机械、管道和各种各样的杂项产品。铸造过程包括熔化废弃金属和（或）生铁（重量约45kg的生铁毛坯），并将熔化金属倾倒入预制模型。铸件分灰口铸铁和铸钢两大类。但两者都由元素铁与不同含量的碳组成。灰铁含2~4%的碳，含1%或更少的铜。灰铁配方混有不同数量的其它元素，但一般小于1%。钢也可含合金元素。

灰铁铸造厂可进一步分类为铸工车间或加工车间。铸工车间常与钢铁厂连同作业。加工车间则属于独立的，通常较小，并更多的生产顾客需要的产品。

图7-1和7-2介绍了典型灰铁铸造厂的生产流程。这种基本流程，无论铸造厂是铸工车间还是加工车间，都基本上是一样的。在美国，80%以上工厂使用冲天炉熔化生铁。冲天炉的熔铁能力为1~60t/h（图7-3介绍了典型的冲天炉）。灰铁铸造厂使用的其它类型炉有电弧炉、感应电炉和反射炉（这些炉表示在图7-4至图7-7中）。

原料从冲天炉顶的门装入。原料包括废铁、生铁、助熔剂和焦炭。助熔剂是石灰石或同类的矿物，在炉料熔化后，它们吸收杂质。焦炭基本上是成块状的纯碳。焦炭燃烧提供原料熔化的热量。炉料熔化时，降到炉的底部，熔化的金属

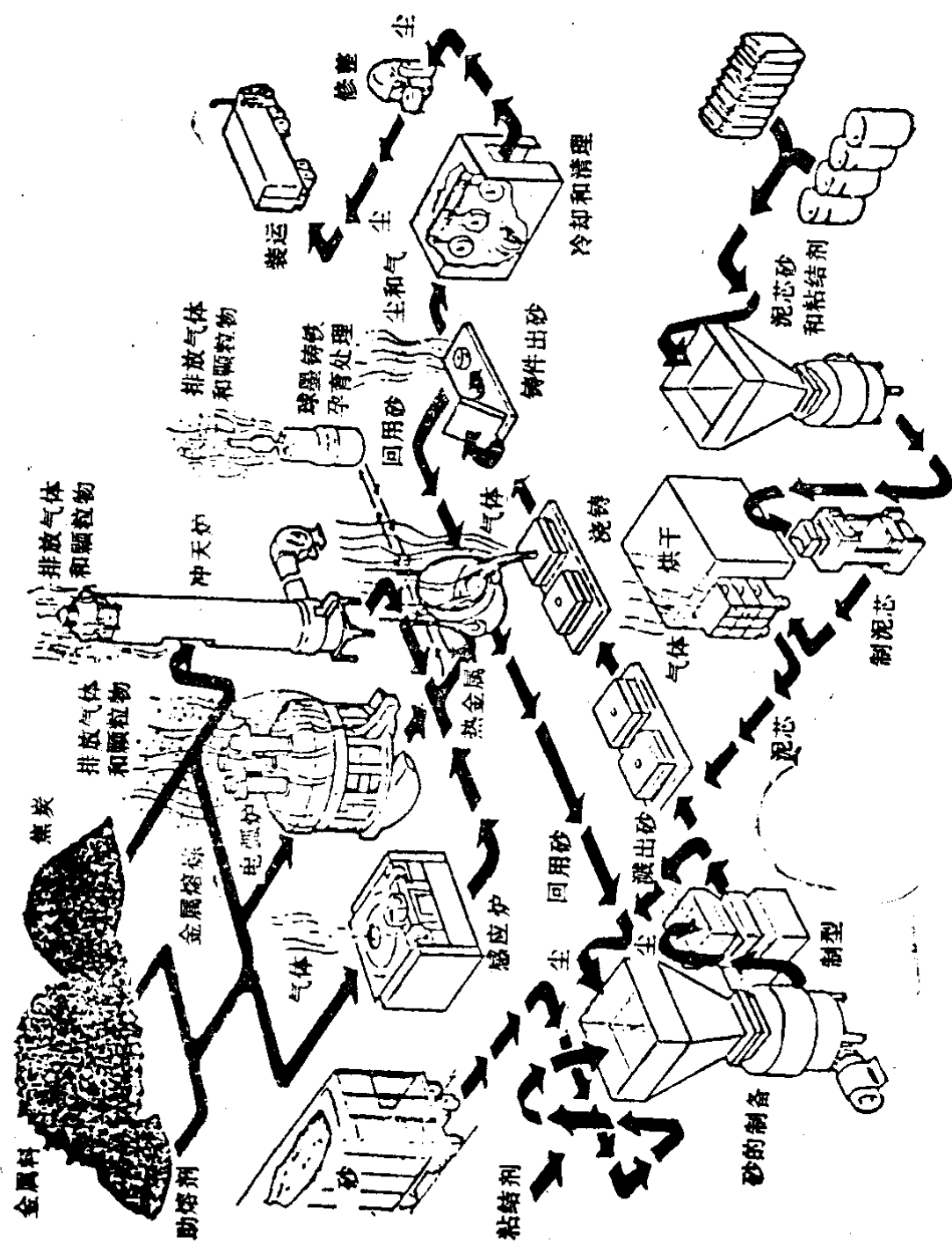


图7-2 灰铁铸造厂生产流程图

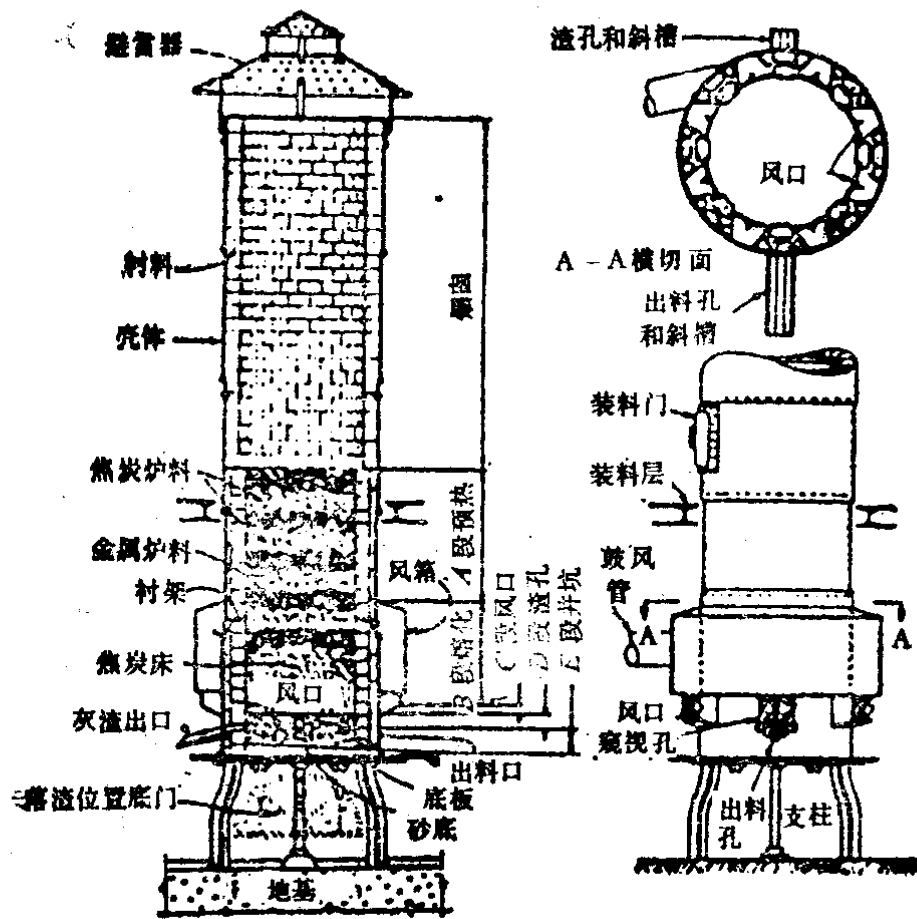


图7-3
冲天炉

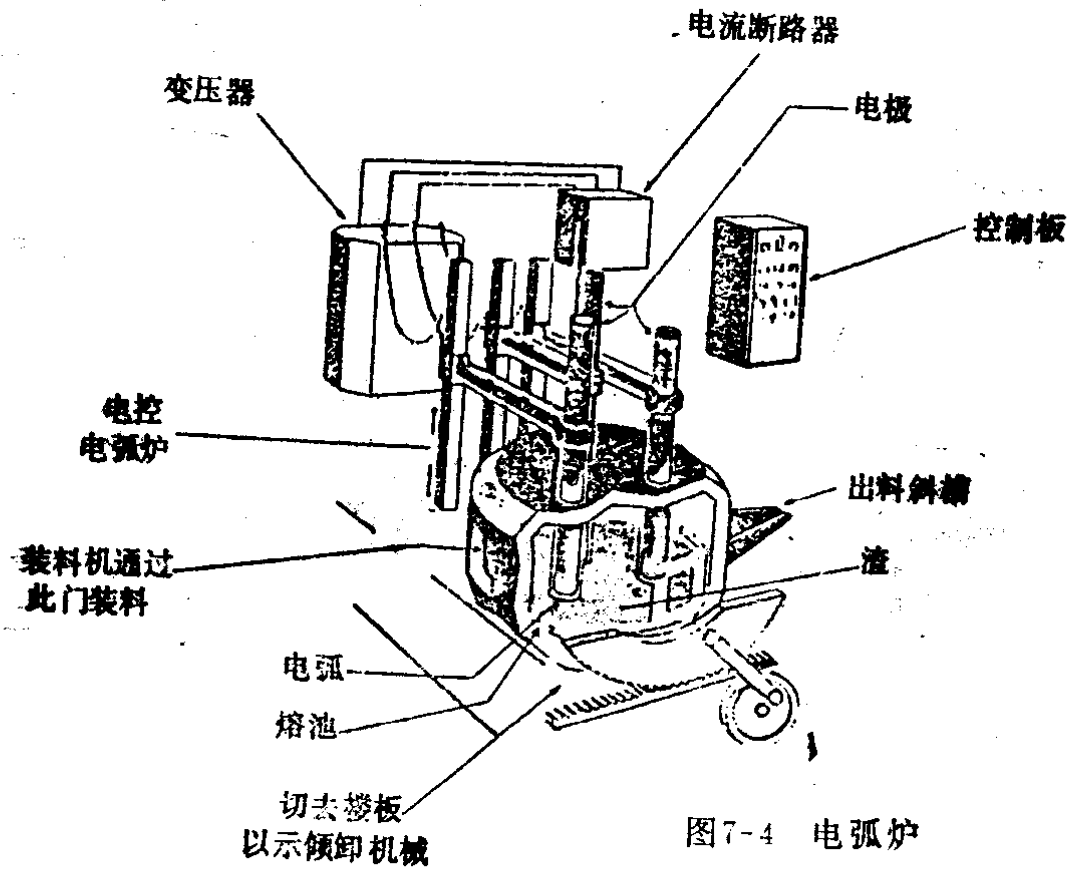


图7-4 电弧炉

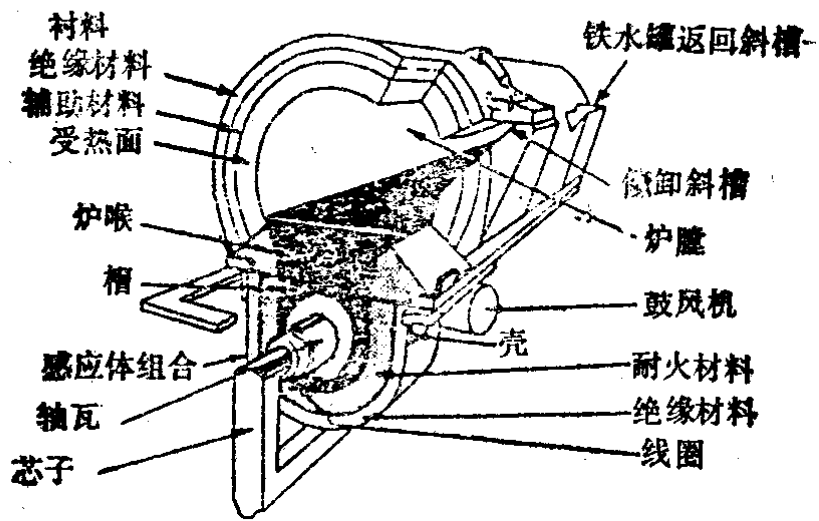
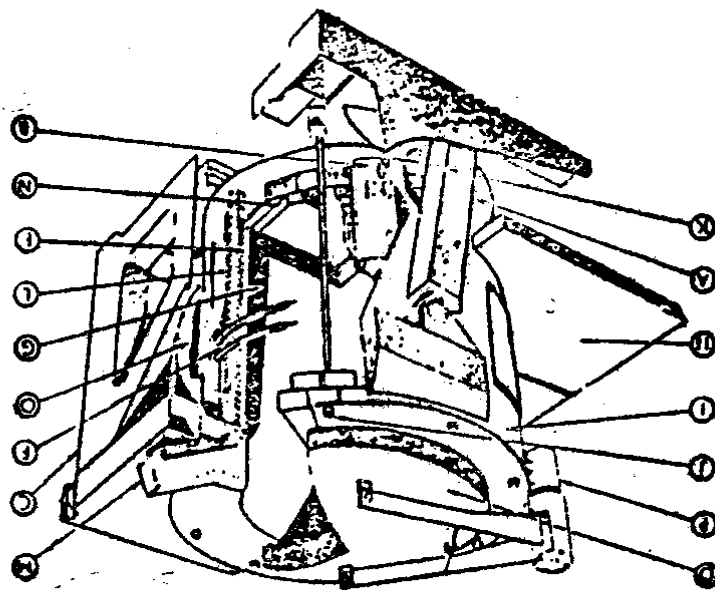
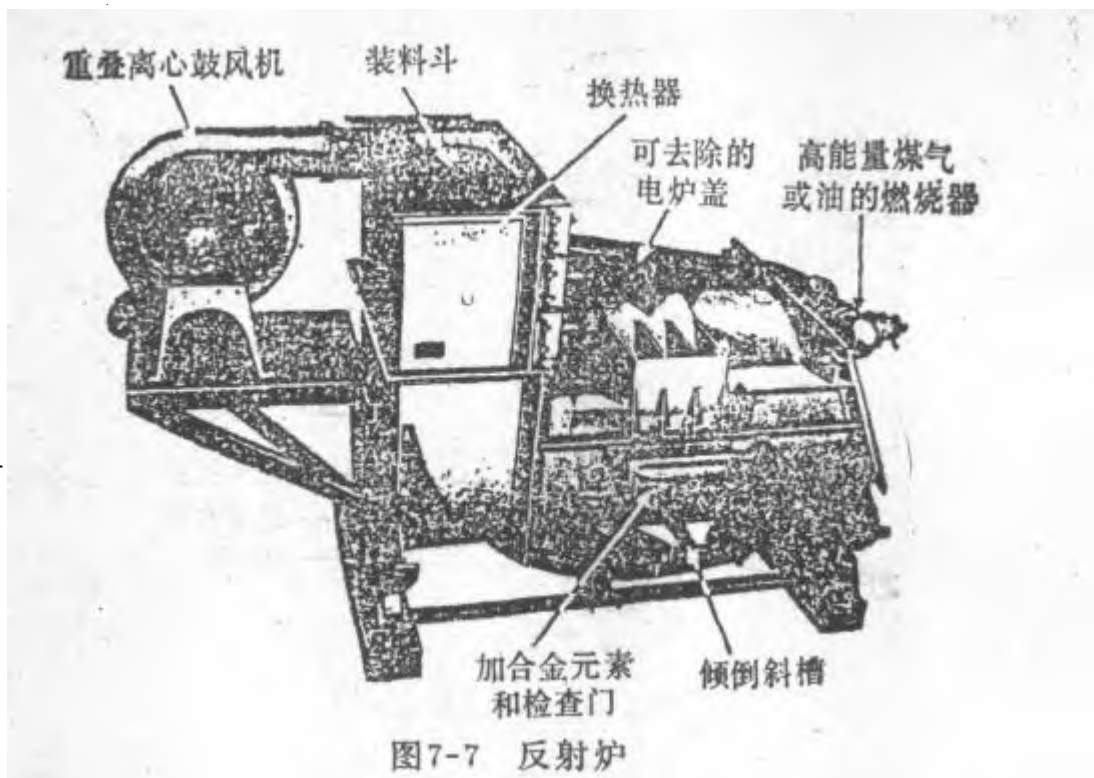


图7-5 槽式感应电炉



A——水力升压油缸；B——分流器；C——支柱；D——盖；E——线圈；F——铅条；G——加工耐火材料；H——操作台；I——钢壳；J——拉杆；K——夹紧装置；L——线圈支持物；M——斜槽；N——耐火砖；O——入口孔；P——凸缘升举盖。

图7-6 无芯感应电炉



周期性地排出。再加入新的原料以保持炉子填满。冲天炉的运行也可以连续进行。

电弧炉、感应电炉和反射炉的炉料主要为废铁、生铁和石灰石。反射炉靠燃气或油加热。这些炉子都按批料作业。熔化的金属在 1600°C 左右进入铁水罐。铁水罐运至铸模线，倾卸溶化金属入预制砂型中。熔化铁水保持在砂型形状下固化。在生产高强铸件（“球墨铸铁”）中采用“孕育”过程，将镁加入熔化的铁水中。固化后，砂型和铸件分开，砂循环回到造模工序。铸件出砂，或敲去砂型。当铸件充分冷却时，经喷砂清理并研磨去除表面毛刺。这些过程一般均在封闭房内进行。

为了某些用途，铸件可在 $540\sim 870^{\circ}\text{C}$ 退火（热处理）几小时，燃烧煤气或油的热处理炉有退火炉、淬火炉、活底炉和移动床式炉。已退火的铸件常常作为可锻造的铁铸件。修整操作，如喷砂、研磨和涂漆，可在热处理后进行。

砂型和泥芯的生产是铸造厂操作的组成部分。砂型是由

砂、水与粘结剂（如粘土、沥青或树脂）在研磨机内混合而制成的。泥芯是用来在铸件中形成空腔的砂型的部件，它也由砂和粘结剂制成。按要求的形状做成泥芯后，或在烘干炉（泥芯炉中以 $150\sim 260^{\circ}\text{C}$ 固化，或在室温下固化。烘干炉燃烧煤气或油。

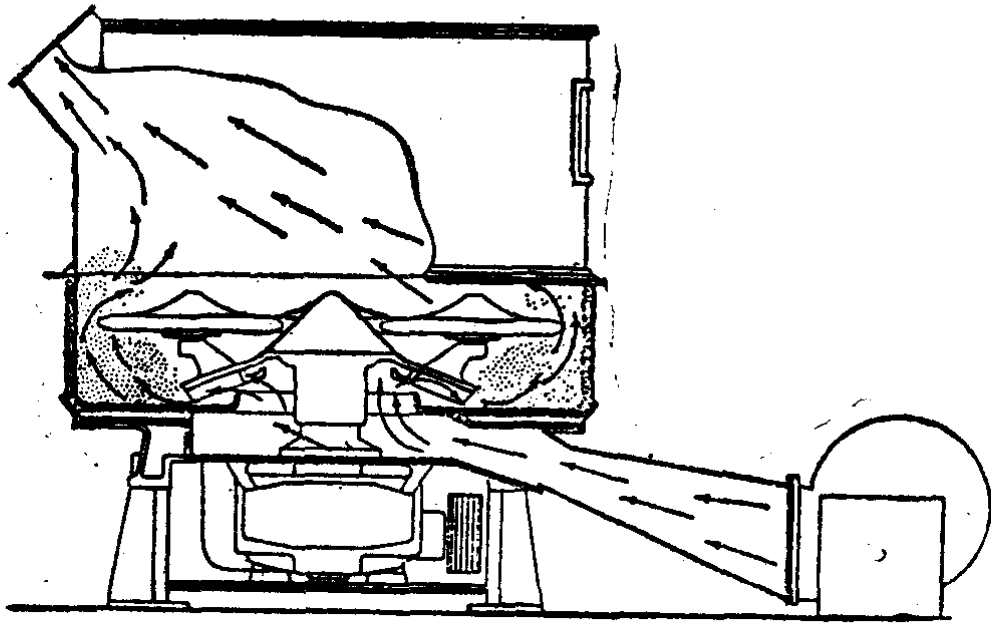


图7-8 砂研磨机

灰铁铸造厂的逸散尘源包括原料接受、储存和装卸、熔炉装料和出铁、孕育处理、铁水运输和倾出、浇铸、铸件的出砂、冷却、清理和修整以及泥芯和砂型的制造。这些源在图7-1和7-2中列出。

二、逸散尘排放因子

灰铁铸造厂逸散尘源的估计排放因子列在表7-1中。这些排放因子大部分根据“工程判断”和少量试验数据确定，只有较差的可信度。焦炭搬运和储存的排放因子已在第二章论述，此处未列出。由于缺乏数据，未列出原料搬运、储存、

表7-1 灰铁铸造厂逸散尘排放因子

| 逸散尘源 | 排放因子 | 可信度等级 |
|-----------------|---------------------------------------|--------|
| 1. 冲天炉装料和排料 | 0.05~1.00kg/t (生铁) | E |
| 2. 电弧炉装料和排料 | 2.50~5.00kg/t (产铁) | E |
| 3. 感应电炉装料和排料 | 0.75kg/t (产铁) | E |
| 4. 反射炉装料和排料 | 0.05kg/t (产铁) | E |
| 5. 球墨铸铁孕育处理 | 1.65~2.25kg/t (产铁) | D |
| 6. 倾卸铁水入砂型 | 0.05~2.06kg/t (产铁) | D |
| 7. 铸件出砂 | 0.60~9.1kg/t (产铁) | E |
| 8. 冷却和清理铸件 | 0.08~0.4kg/t(生铁铸件) | D |
| 9. 修整铸件 | 0.005kg/t (生产铸件) | E |
| 10. 泥芯和砂型用砂的卸料 | 0.015kg/t (卸砂) | E |
| 11. 泥芯用砂和粘结剂的混合 | 0.15kg/t (混砂) 或 0.37~4.12kg/t (产铁) | E E |
| 12. 泥芯制造 | 0.17kg/t (生产泥芯) | E |
| 13. 泥芯烘干 | 0.015~2.7kg/t(烘干泥芯) | E |
| 14. 砂型用砂的制备 | 0.65kg/t (生产铸件) | E |
| 15. 砂型的制作 | 0.20kg/t (生产铸件) | E |

和转运的排放因子。

各种炉装料和出料的排放因子系假设其排放量等于炉的排放总量的某个百分数，而推算出的。由于没有试验数据，这些因子未被证实，并仅有很差的可信度。

其它排放因子则依据非常少的试验数据和对源的工程判断确定。这些因子的可信度也非常差。

三、颗粒特性

铸造厂各种作业所排放尘的组成和颗粒粒径变动很大。

例如，铸件出砂排尘大部分是非常细的含碳物质。另外，铸件研磨尘包含新破裂的粗颗粒、元素铁、氧化铁和砂。

表7-2表明铸造厂各种操作的排尘特性和来源。

表7-2 铸造厂各种操作排放尘的特性

| 铸造厂操作 | 尘的类型 | 尘的粒径 (μm) |
|-----------|-----------|------------------------|
| 原料储存和补充装料 | 焦炭、石灰石和砂尘 | 焦炭细-粗粒, 其它尘30~1000 |
| 熔化 | | |
| 冲天炉 | 飞灰 | 80~120 |
| | 焦炭粉 | 细-粗粒 |
| | 金属氧化物 | 高达0.7 |
| 电炉 | 金属氧化物 | 高达0.7 |
| 反射炉 | 金属氧化物 | 高达0.7 |
| | 飞灰 | 8~20 |
| 孕育处理 | 金属氧化物 | 高达0.7 |
| 砂型的制作 | 砂 | 粗粒 |
| 浇铸 | 金属氧化物 | 细~中粒 |
| 出砂 | 细砂、尘 | 50%, 2~15 |
| 清理 | 尘 | 50%, 2~15 |
| 研磨 | 金属尘 | > 7 |
| | 细砂 | 细-中粒 |
| | 研磨料 | 50%, 2~7 |
| 砂的储存 | 细砂 | 50%, 2~15 |
| 砂的搬运 | 细砂 | 50%, 2~15 |
| 过筛、混合 | 细砂 | 50%, 2~15 |
| 砂的干燥和回收 | 尘 | 50%, 2~15 |
| 泥芯用砂的储存 | 细砂 | 细粒 |
| 泥芯的制作 | 细砂、尘 | 细粒-中粒 |

冲天炉排尘是非常不均匀的混合物。硅含量高，特别是0~10 μm 部分。金属部分，60%为硅和铁的氧化物。也可

找到值得注意的锌和铅的氧化物。颗粒物中的其他元素为锰、铬、锡、钛、钼、锆、镍、铜、钴和银。

电弧炉的烟是很细的，有的参考文献指出90~95%低于 $0.5\mu\text{m}$ 。有的提出75%小于 $5\mu\text{m}$ ，总的平均粒径介于 $2.27\sim 2.33\mu\text{m}$ 。排放物几乎全部为装入的各种金属料的氧化物，并带有少量的耐火材料和助熔剂，铁氧化物为主要成分。

四、控制方法

对焦炭、石灰石的搬运、储存、转运操作的控制已在第二章讨论。假设废铁和废钢的这些操作排尘量较少，而不推荐控制措施。

强调使用清洁的废金属作炉料，以减少熔化操作的排尘。清洁炉料系指废金属外表不带脏物、油或脂。

冲天炉装料或出铁，可在装料和出铁地段加罩并排气至纤维过滤袋或洗涤器。另一种系统是建筑物抽气至纤维过滤袋。适合规格的主控制系统，可保持装料门的连续抽气，将有助于减弱逸散尘的排出。冲天炉装料区上部带有排气口，可通过装料门保持强烈的内抽气并消除逸散的尘。

用于电弧炉或感应电炉的典型控制装置有固定的捕集罩和纤维过滤袋或湿洗涤器。带有集合罩的电弧炉设计所要求的排气体积约为每吨装料 $1.18\text{m}^3/\text{s}$ 。这样的排气水平能提供对装料和出料的有效控制。较新的炉子可利用顶罩或套罩直接抽气。这些控制措施，对老炉子是行不通的。这是由于空间和设计的限制。

对较新的反射炉，使用顶罩捕集装料的排放物。静电除尘器和布袋滤尘室用来去除排气中的颗粒物。老炉子因空间和操作的限制，这些措施也不合用。

适合各种炉型作业逸散尘捕集的典型方法有建筑物抽气或局部排气系统（见图7-9和7-10）。建筑物抽气至收集装置可控制铸件出砂、冷却、清理和修整等铸造车间所有的排放源。而局地排气控制系统一般仅针对特定源。但建筑物总抽气系统需大体积的排气，并带来高的运行和投资费用，故通常多使用局地排气法。

近年来，球墨铸铁孕育站已装配收集罩或安置在密闭室内。排出气体送至尘收集系统。中等能量的湿洗涤器和纤维过滤袋已用作尘收集系统。

浇铸区常用抽气罩，出砂区则使用侧面或底部抽气的罩。在浇铸区或出砂区之间的砂型冷却运输机则常用薄金属片完全罩没。连接每个作业区的排气管系统通向一简单控制装置，此装置常为湿洗器。

由清理和修整作业来的颗粒物也可用局地排气系统，并

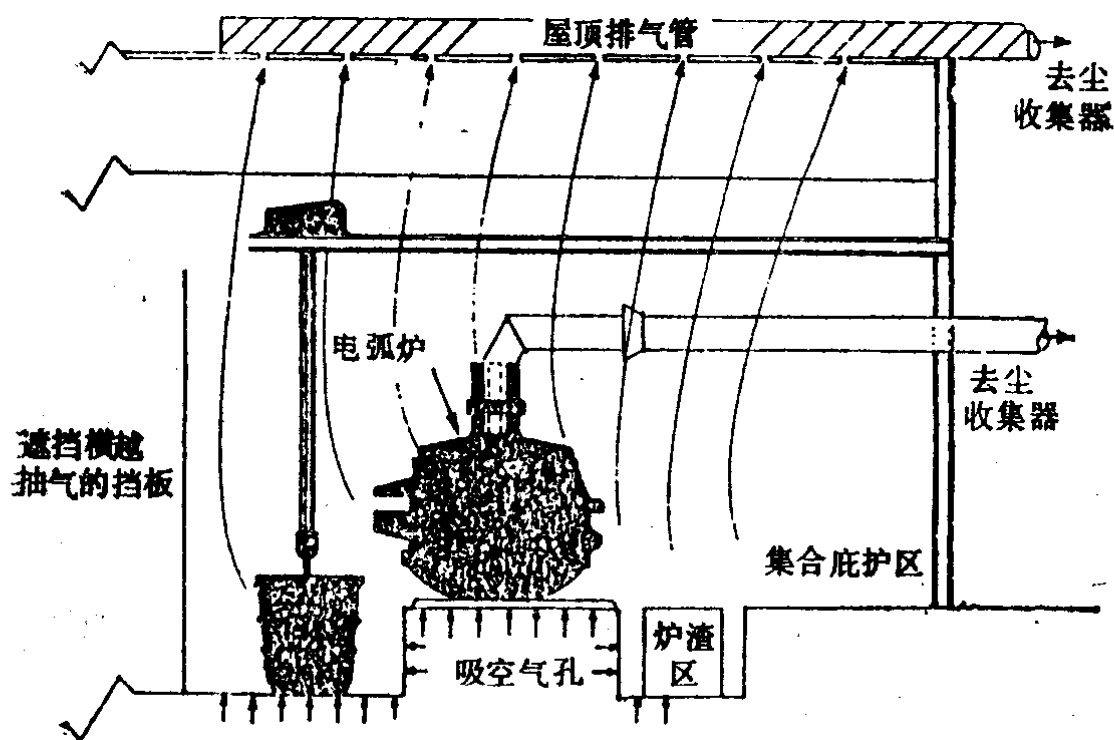


图7-9 建筑物抽气系统

与干式机械除尘器或纤维过滤袋连接。铸件喷砂或转筒清理器来的颗粒物一般用纤维过滤袋或中等能量的湿式集尘器控制。干式机械集尘器也用于喷砂清理过程。研磨作业通常用排气罩，并连接至高效旋风集尘器或纤维过滤袋。

去控制装置的连接管

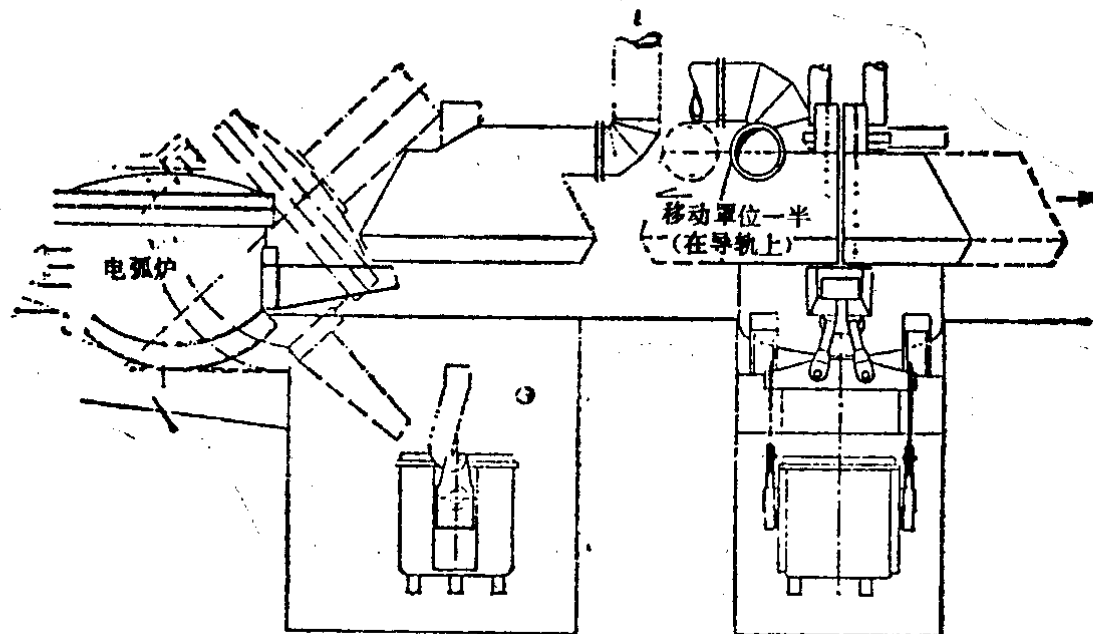


图7-10 移动式出铁罩

泥芯作业排放物主要为烘干炉和壳状泥芯机排放的气体，通常经排气系统排入大气。泥芯烘炉，当在 200 °C 以下运行并烧天然气时，一般不需要空气污染控制装置并可直接排气入大气。改变泥芯粘结剂的组成和降低烘炉温度可减少排放。如果烘炉通过烟囱排气，则可消除这种逸散尘源。

湿砂制备和装卸最适合中等能量的湿式集尘器。当存在干砂时，偶然也用纤维过滤袋。对砂运输机，特别是转运点上，常使用某些捕集罩。当还有许多其他作业时，输送管和排气机成为一完善集尘系统的必备物。图7-11介绍了典型砂装卸系统的捕尘系统。

表7-3列出了可用的控制技术、效率、估计费用和RACM选择。

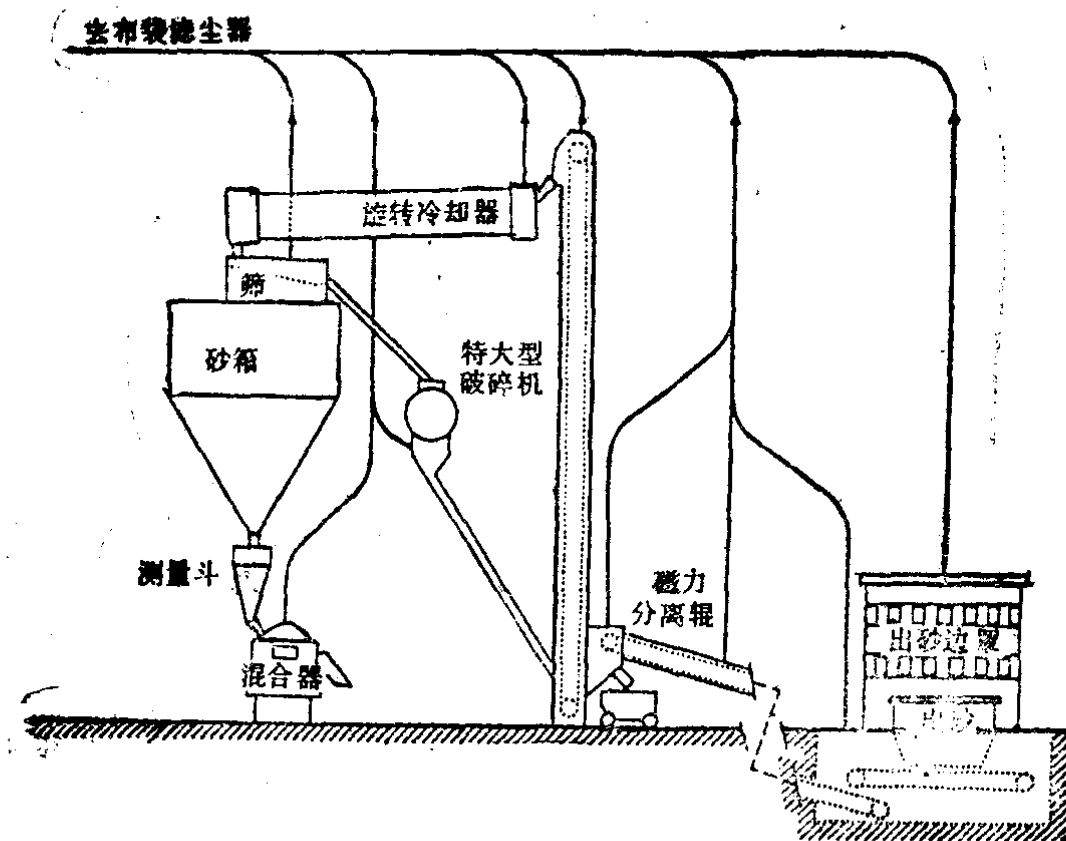


图7-11 典型砂装卸系统的捕尘设计

五、推荐的合理、可用控制措施

表7-3列出了灰铁铸造厂逸散尘源的RACM选择。

冲天炉装料和出料排尘的 RACM 是通过装料门的大量抽气以有效地控制装料的排放，并排气至现有的主控制装置。

对电弧炉和感应炉的控制，选择的RACM是通过现有的主除尘罩，在装料和出料时，保持连续地抽气。这种技术还包括对现有的除尘罩作一些改进或延伸以保证良好的捕集。对没有主除尘罩的炉子，RACM为添加局部顶罩，并排气至纤维过滤袋。

反射炉的颗粒物排放量非常低，通常不予控制。

表7-3 灰铁铸造厂逸散尘的控制技术、效率、费用和RACM

| 逸散尘源 | 可选用的控制技术 | 控制效率 (%) | 控制费用 1980.1 美元 | | 费用效益比 (美元/kg) | 选择的 RACM |
|-------------|------------------|----------|----------------|-------|---------------|---|
| | | | 投资费 | 年费用 | | |
| 1.冲天炉装料和出料 | 加罩、排气至纤维过滤袋 | 90 | 336000 | 82000 | 5.80 | 维持装料门连续抽气 (如已有主除尘装置), 其他地方加罩、排气至纤维过滤袋装料和出料时保持连续抽气 (如已有主除尘装置), 其他地方加罩、排气至纤维过滤袋 |
| | 建筑物封闭、抽气至纤维过滤袋 | 95 | 无可用数据 | | | |
| | 维持装料门连续抽气 | 70 | 150000 | 30000 | 2.73 | |
| 2.电弧炉装料和出料 | 加罩、排气至纤维过滤袋 | 90 | 336000 | 82000 | 0.81 | 装料、出料时保持连续抽气 (如已有主除尘装置), 其他地方加罩、排气至纤维过滤袋 |
| | 建筑物封闭、抽气至纤维过滤袋 | 95 | 无可用数据 | | | |
| | 在装料、出料时, 保持连续抽气 | 70 | 20000 | 4000 | 0.05 | |
| 3.感应电炉装料和出料 | 加罩、排气至纤维过滤袋 | 90 | 336000 | 82000 | 4.06 | 装料、出料时保持连续抽气 (如已有主除尘装置), 其他地方加罩、排气至纤维过滤袋 |
| | 建筑物封闭、抽气至纤维过滤袋 | 95 | 无可用数据 | | | |
| | 在装料、出料时保持连续抽气 | 70 | 20000 | 4000 | 0.25 | |
| 4.反射炉装料和出料 | 加罩、排气至纤维过滤袋 | 90 | 336000 | 82000 | 60.9 | 不控制 |
| | 建筑物封闭、抽气至纤维过滤袋 | 95 | 无可用数据 | | | |
| 5.球墨铸铁孕育 | 加罩、排气至纤维过滤袋或洗涤器 | 90 | 153000 | 33000 | 0.63 | 加罩、排气至纤维过滤袋或洗涤器 |
| | 室封闭、排气至纤维过滤袋或洗涤器 | 95 | 无可用数据 | | | |

续表

| 逸散尘源 | 可选用的控制技术 | 控制效率(%) | 控制费用 1980.1 美元 | | 费用效益比 (美元/kg) | 选择的 RACM |
|---------------|-----------------|---------|---------------------|-------|---------------|------------------------|
| | | | 投资费 | 年费用 | | |
| 6. 浇铸铁水 | 加罩、排气至纤维过滤袋或洗涤器 | 95 | 63000 | 17000 | 0.57 | 加罩、排气至纤维过滤袋或洗涤器 |
| 7. 铸件出砂 | 加罩、排气至纤维过滤袋或洗涤器 | 95 | 234000 ^a | 82000 | 0.36 | 加罩、排气至纤维过滤袋或洗涤器 |
| 8. 铸件冷却和清理 | 加罩、机械集尘器或纤维过滤袋 | 90 | 费用包括在铸件出砂中 | | 0.36 | 组合导管系统, 并集中于纤维过滤系统或洗涤器 |
| 9. 铸件修整 | 加罩、机械集尘器或纤维过滤袋 | 90~99 | 费用包括在铸件出砂中 | | 0.36 | 同上 |
| 10. 泥芯和砂的卸料 | 加罩、机械集尘器 | 80 | 33600 | 12000 | 4.45 | 湿抑制(化学) |
| | 湿抑制(化学) | 85 | 26000 | 7000 | 2.44 | |
| | 封闭 | 50 | 15000 ^b | 3000 | 1.78 | |
| 11. 泥芯砂和粘结剂混合 | 加罩、机械集尘器或纤维过滤袋 | 90 | 费用包括在铸件出砂中 | | 0.36 | 组合导管系统, 并集中于纤维过滤系统或洗涤器 |
| 12. 泥芯制作 | 加罩、纤维过滤袋 | 90 | 同上 | | 0.36 | 同上 |
| 13. 泥芯烘干 | 后燃烧器 | 90 | 35000 | 21000 | 5.77 | 不控制 |
| 14. 砂型用砂的制备 | 加罩、纤维过滤袋或洗涤器 | 90 | 费用包括在铸件出砂中 | | 0.36 | 组合导管系统, 并集中于纤维过滤系统或洗涤器 |
| 15. 砂型制作 | 加罩、纤维过滤袋或洗涤器 | 90 | 费用包括在铸件出砂中 | | 0.36 | 同上 |

注: a. 抽气量为 23.6 m³/min, 包括砂处理、冷却、清理、混合、泥芯和砂

型混合操作。

b. 6m × 6m × 9m 的封闭系统。

对球墨铸铁孕育的RACM是加罩并排气至纤维过滤袋或湿洗涤器。这种系统给出非常好的控制效果，并已普遍用于现有的铸造厂。

对铁水浇铸操作的RACM是加罩和在浇铸点抽气至纤维过滤袋或湿洗涤器。这种系统提供了非常好的除尘效率(95%)，并已作为典型控制措施用于铸造厂。

对铸件出砂逸散尘的控制，选择的RACM是加罩，组合导管集中尘于一共用的纤维过滤系统或湿洗涤器。这个系统将设计用来处理铸件清理和冷却、修整、砂和粘结剂的混合、泥芯和砂型的制作、砂制备和搬运操作的排尘。这种系统非常有效并在现有铸铁厂中使用。

砂卸料作业可用湿抑制来有效地控制。

对泥芯烘干作业，由于适当的操作，排放的颗粒物相对较少，故不控制。

六、典型费用计算(使用的参数)

1. 冲天炉装料和出料

$$\text{排放量} = 0.525 \text{ kg/t} \times 29940 \text{ t/a} = 15717 \text{ kg/a}$$

2. 电弧炉装料和出料

$$\text{排放量} = 3.75 \text{ kg/t} \times 29940 \text{ t/a} = 112275 \text{ kg/a}$$

3. 感应电炉装料和出料

$$\text{排放量} = 0.75 \text{ kg/t} \times 29940 \text{ t/a} = 22455 \text{ kg/a}$$

4. 反射炉装料和出料

$$\text{排放量} = 0.05 \text{ kg/t} \times 29940 \text{ t/a} = 1497 \text{ kg/a}$$

5. 球墨铸铁孕育

$$\text{排放量} = 1.95 \text{kg/t} \times 29940 \text{t/a} = 58383 \text{kg/a}$$

6. 浇铸铁水

$$\text{排放量} = 1.051 \text{kg/t} \times 29940 \text{t/a} = 31467 \text{kg/a}$$

7. 铸件出砂

$$\text{排放量} = 4.85 \text{kg/t} \times 29940 \text{t/a} = 145209 \text{kg/a}$$

8. 冷却和清理铸件

$$\text{排放量} = 0.24 \text{kg/t} \times 29940 \text{t/a} = 7186 \text{kg/a}$$

9. 修整铸件

$$\text{排放量} = 0.005 \text{kg/t} \times 29940 \text{t/a} = 150 \text{kg/a}$$

10. 泥芯和砂型用砂卸料

$$\begin{aligned} \text{排放量} &= 0.015 \text{kg/t} \times 29940 \text{t/a} \times 15 \times 0.5 \\ &= 3368 \text{kg/a} \end{aligned}$$

11. 泥芯砂和粘结剂混合

$$\text{排放量} = 2.25 \text{kg/t} \times 29940 \text{t/a} = 67365 \text{kg/a}$$

12. 泥芯制作

$$\text{排放量} = 0.175 \text{kg/t泥芯} \times 2994 \text{t/a} = 524 \text{kg/a}$$

13. 泥芯烘干

$$\text{排放量} = 1.35 \text{kg/t泥芯} \times 2994 \text{t/a} = 4042 \text{kg/a}$$

14. 砂型用砂的制备

$$\text{排放量} = 0.65 \text{kg/t} \times 29940 \text{t/a} = 19461 \text{kg/a}$$

15. 砂型制作

$$\text{排放量} = 0.2 \text{kg/t} \times 29940 \text{t/a} = 5988 \text{kg/a}$$

费用效益比的计算从略。

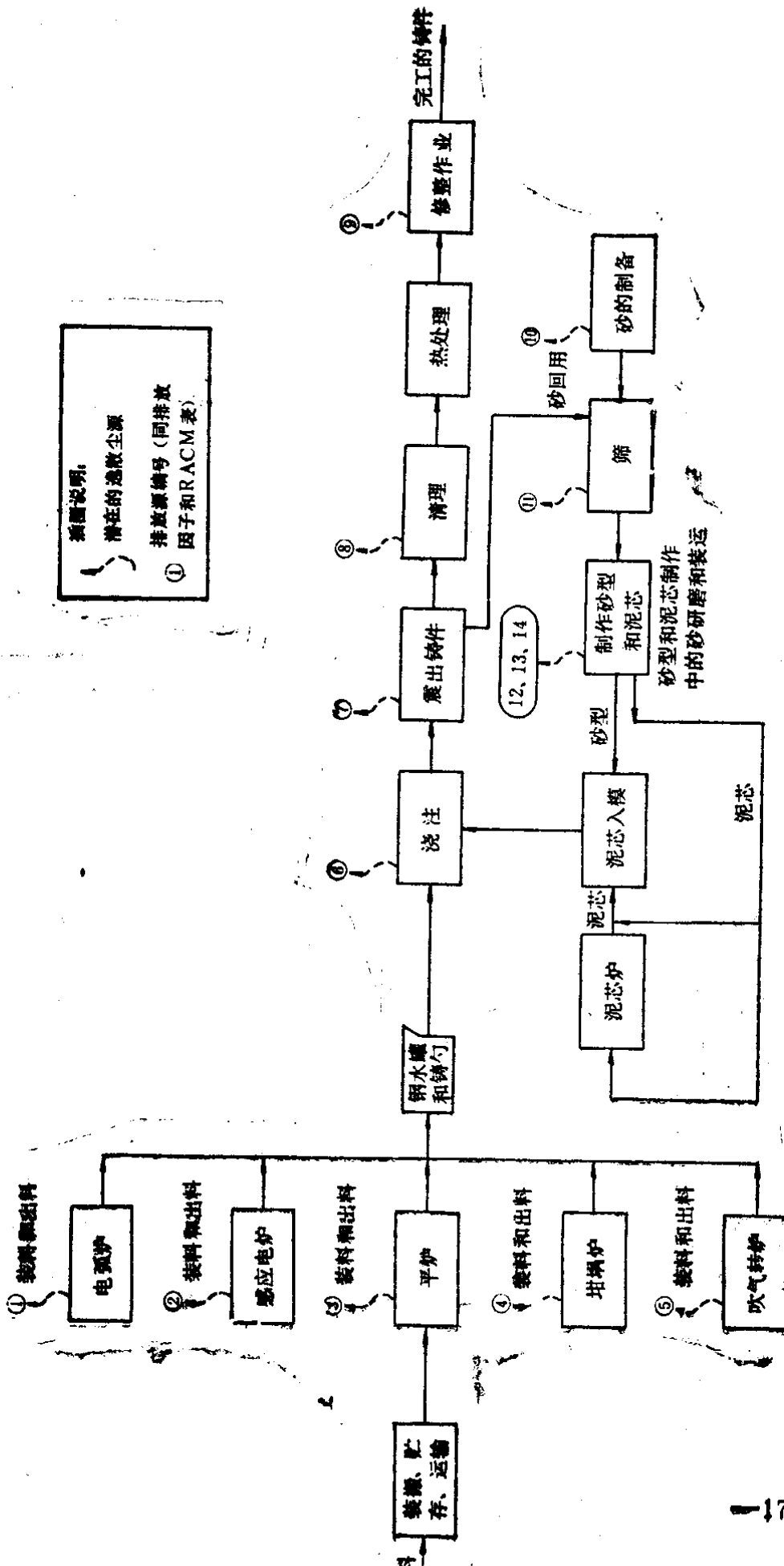
第八章 铸钢厂

一、工艺概述

多数联合钢厂都设有为本厂或重型设备厂生产铸件的铸件车间。常用的熔钢炉有几种类型：直流电弧炉、感应电炉、平炉、坩埚炉和吹气转炉。坩埚炉和吹气转炉的使用不广泛（见第二章和第七章中介绍的这些炉子）。

图8-1介绍了典型的铸钢工艺流程。熔炼炉是通过门或开孔装入原料，如废钢、生铁、铁合金和石灰石。随熔炼炉温度的增加，原料熔化。当炉温升至约1650℃时，熔炼炉出钢并使钢水流入钢水罐。熔化金属从钢水罐转入浇铸勺，然后浇入预制的砂型内，钢水开始形成铸件，然后振动出模并让其进一步冷却。钢铸件通常用喷砂法清理，经局部熔化和碾磨方法可消除表面缺陷。最后工序是在均热炉中进行热处理，并表面涂漆。

制作砂型和泥芯是铸钢工序不可缺少的一部分。泥芯是砂型中提供铸件空腔的一个独立部件。泥芯通常用砂和粘结剂制作，并用泥芯糊连接到砂型上。泥芯强度必须足以经受砂型内熔化金属的压力。硅酸盐、树脂、油和谷物制成的粘合剂被用来提供这种强度。制成泥芯后，即可在烘炉上烘烤，或用二氧化碳或空气固化。



详细说明：
潜在的逸散尘源
排放源编号（同排放
因子和RACM表）
①

图8-1 铸钢厂简化流程和有关逸散尘源

与铸钢厂有关的逸散尘源有原料装卸、储存和转运作业、熔化炉进料和出料、浇铸、铸件振出、清理作业、修整作业、砂的制备和筛选以及做砂型和泥芯。

大铸钢厂连续作业，每日24小时，每周7天，而小厂则仅每日作业8小时。铸钢厂的能力取决于熔炼炉的个数，典型的能力为每日生产25~220t钢件。

二、逸散尘排放因子

表8-1中概括出铸钢厂逸散尘的估计排放因子。对铸钢厂某些逸散尘源的排放率实际上没有可用的数据，因此，建议用铸铁厂的排放因子作铸钢厂的因子。

表8-1 铸钢厂逸散尘排放因子

| 排 放 源 | 排 放 因 子 | 可 信 度 等 级 |
|-----------------------------|-------------------------------------|-----------|
| 1. 电弧炉装料和出料 | 0.53~1.74kg/t (钢) | E |
| 2. 感应电炉装料和出料 | 0.05kg/t(装入金属料) | E |
| 3. 平炉装料和出料 | 0.05~0.45kg/t(装料) | E |
| 4. 坩埚炉装料和出料 | 0.05~0.30kg/t(装料) | E |
| 5. 吹气转炉装料和出料 | 无可用数据 | |
| 6. 钢水浇铸 | 0.28~2.07kg/t(钢水) | D |
| 7. 铸件振出 ^a | 0.6~9.1kg/t (钢) | E |
| 8. 铸件清理 ^a | 0.08~0.40kg/t(铸件) | E |
| 9. 铸件修整 ^a | 0.005kg/t (铸件) | E |
| 10. 砂的制备 ^a | 0.65kg/t (铸件) | E |
| 11. 过筛 ^a | 0.65kg/t (铸件) | E |
| 12. 泥芯砂和粘结剂的混合 ^a | 0.15kg/t (砂) 或 0.37~4.12kg/t (铁) | E |
| 13. 泥芯制作 ^a | 0.18kg/t (泥芯) | E |
| 14. 砂型制作 ^a | 0.20kg/t (铸件) | E |

注：^a按铸铁厂的排放因子列出

三、推荐的合理、可用控制措施

表8-2列出了铸钢厂逸散尘源的RACM选择。

电弧炉、感应电炉和平炉的RACM，是利用现有的捕集和控制系统以达到装料和出料作业的有效控制。RACM的技术也可能需要改进现有的罩盖和导管系统，还可能要求

表8-2 铸钢厂逸散尘源的控制技术、效率、费用和RACM

| 逸散尘源 | 可选择的控制技术 | 控制效率 (%) | 控制费用 1980.1 美元 | | 费用效益比 (美元/kg) | 选择的 RACM |
|--------------|---------------|-----------------|--------------------|-------------------|---------------|--------------------------------------|
| | | | 投资费 | 年费用 | | |
| 1. 电弧炉装料和出料 | 加罩、排气至纤维过滤袋 | 90 | 336000 | 82000 | 2.39 | 装料和出料时，保持连续抽气（如主除尘装置），其他为加罩、排气至纤维过滤袋 |
| | 厂房封闭、抽气至纤维过滤袋 | 95 | 无可用的数据 | | | |
| | 装料和出料时，保持连续抽气 | 70 ^a | 20000 ^b | 4000 ^c | 0.15 | |
| 2. 感应电炉装料和出料 | 加罩、排气至纤维过滤袋 | 90 | 336000 | 82000 | 50.96 | 在装料和出料时保持连续抽气（如主除尘装置），否则不加控制 |
| | 厂房封闭、抽气至纤维过滤袋 | 95 | 无可用的数据 | | | |
| | 装料和出料时，保持连续抽气 | 70 ^a | 20000 ^b | 4000 ^c | 3.19 | |
| 3. 平炉装料和出料 | 加罩、排气至纤维过滤袋 | 90 | 336000 | 82000 | 10.19 | 装料和出料时，保持连续抽气（如主除尘装置），其他则加罩、排气至纤维过滤袋 |
| | 厂房封闭、抽气至纤维过滤袋 | 95 | 无可用的数据 | | | |
| | 装料和出料时，保持连续抽气 | 70 ^a | 20000 ^b | 4000 ^c | 0.64 | |

续表

| 逸散尘源 | 可选择的控制技术 | 控制效率(%) | 控制费用 1980.1 美元 | | 费用效益比 (美元/kg) | 选择的 RACM |
|--------------|-------------------|-----------------|---------------------|-------------------|------------------|-------------------|
| | | | 投资费 | 年费用 | | |
| 4. 坩埚炉装料和出料 | 加罩、排气至纤维过滤袋 | 90 | 336000 | 82000 | 18.29 | 不控制 |
| | 厂房封闭、抽气至纤维过滤袋 | 95 | 无可用数据 | | | |
| | 装料和出料时, 保持连续抽气 | 70 ^a | 20000 ^b | 4000 ^c | 1.14 | |
| 5. 吹气转炉装料和出料 | 加罩、排气至纤维过滤袋 | 90 | 336000 | 82000 | 50.96 | 不控制 |
| | 厂房封闭、抽气至纤维过滤袋 | 95 | 无可用数据 | | | |
| | 装料和出料时, 保持连续抽气 | 70 ^a | 20000 ^b | 4000 ^c | 3.19 | |
| 6. 钢水浇铸 | 加罩、排气至湿洗涤器或纤维过滤袋 | 95 | 63000 | 18000 | 0.49 | 加罩、排气至纤维过滤袋 |
| 7. 铸件震出 | 加罩、排气至湿洗涤器或纤维过滤袋 | 95 | 234000 ^d | 82000 | 0.33 | 同上 |
| 8. 铸件清理 | 加罩、排气至机械集尘器或纤维过滤袋 | 90 | 费用在铸件振出中 | | 0.33 | 排气导至联合系统、一套纤维过滤装置 |
| 9. 铸件修理 | 加罩、排气至机械集尘器或纤维过滤袋 | 90~99 | 同 | 上 | 0.33 | 同上 |
| 10. 砂的制备 | 加罩、排气至纤维过滤袋或洗涤器 | 90 | 同 | 上 | 0.33 | 同上 |
| 11. 过筛 | 加罩、排气至机械集尘器或纤维过滤袋 | 90 | 同 | 上 | 0.33 | 同上 |

续表

| 逸散尘源 | 可选择的控制技术 | 控制效率 (%) | 控制费用 1980.1 美元 | | 费用效益比 (美元/kg) | 选择的 RACM |
|---------------|--------------------|----------|----------------|-----|---------------|----------|
| | | | 投资费 | 年费用 | | |
| 12. 泥芯砂和粘结剂混合 | 加罩、排气至机械集尘器、或纤维过滤袋 | 90 | 同 | 上 | 0.33 | 同上 |
| 13. 泥芯制作 | 加罩、排气至纤维过滤袋 | 90 | 同 | 上 | 0.33 | 同上 |
| 14. 砂型制作 | 加罩、排气至纤维过滤袋或洗涤器 | 90 | 同 | 上 | 0.33 | 同上 |

注: a. 按仅控制装料排放尘的90%得出。

b. 按所需的可移动导管费用估计。

c. 仅按装料投资费的20%，估计维修费用。

d. 按抽气量为 $23.6\text{m}^3/\text{s}$ ，并对砂搬运、冷却、清理、混合、过筛、制作泥芯和砂型作业进行控制所估计的费用。

增加控制装置的能力。对没有主除尘装置的电弧炉和平炉，其RACM包括局部顶罩，并排气至纤维过滤袋。感应电炉没有主除尘装置，其RACM为不控制。

对坩埚炉或吹气转炉，由于排放很少的颗粒物，通常不予控制，并逐步从工业中淘汰，故不推荐控制措施。

对钢水浇铸作业的RACM，是加罩和在浇铸区抽气至纤维过滤袋。这种控制系统给出约95%的控制效率，并在铸钢厂已作典型系统采用。

对铸件振出逸散尘的RACM，是带有罩盖、导管和纤维过滤袋的局部排气系统。也可设计为铸件清理和冷却、修整作业、砂与粘结剂混合、泥芯和砂型制作、砂制备、过筛和搬运作业等排气的联合控制系统。这样的系统是非常有效的，并在现有铸钢厂中使用。

关于上述控制措施的介绍，见第七章。

四、典型费用计算（使用的参数）

1. 电弧炉装料和出料

$$\text{排放量} = 1.15 \text{kg/t} \times 90.7 \text{t/d} \times 365 \text{d/a} = 38000 \text{kg/a}$$

2. 感应电炉装料和出料

$$\text{排放量} = 0.05 \text{kg/t} \times 98 \text{t/d} \times 365 \text{d/a} = 1788 \text{kg/a}$$

3. 平炉装料和出料

$$\text{排放量} = 0.25 \text{kg/t} \times 98 \text{t/d} \times 365 \text{d/a} = 8940 \text{kg/a}$$

4. 坩埚炉装料和出料

$$\text{排放量} = 0.15 \text{kg/t} \times 91 \text{t/d} \times 365 \text{d/a} = 4980 \text{kg/a}$$

5. 吹气转炉装料和出料

$$\text{排放量} = 0.05 \text{kg/t} \times 98 \text{t/d} \times 365 \text{d/a} = 1790 \text{kg/a}$$

6. 钢水浇铸

$$\text{排放量} = 1.17 \text{kg/t} \times 91 \text{t/d} \times 365 \text{d/a} = 38700 \text{kg/a}$$

7. 铸件振出

$$\text{排放量} = (4.85 + 0.243 + 0.005 + 0.65 + 2.25 + 0.2 + 0.175 \times (0.05)) \times 91 \times 365 = 278400 \text{kg/a}$$

8. 铸件清理、修整、砂制备、过筛、泥芯砂和粘结剂混合、泥芯和砂型制作

排放量已包括在铸件振出中。

费用效益比的计算从略。

第九章 玻璃制造厂

一、工艺概述

玻璃被定义为无规则结构、非晶态固体、多组分混合的无机氧化物。作为商品生产，玻璃有几种大家熟悉的类别，这些类别系按组成物料或原料命名，如钠钙玻璃、熔融石英玻璃、硼硅酸盐玻璃或高硅氧玻璃（含 SiO_2 高达96%）。钠钙玻璃占总玻璃生产的90%，它被选作这里概述的对象。其它玻璃类别的生产过程则基本相同。钠钙玻璃由砂、石灰石、煅烧纯碱、碎玻璃（破损而循环回用的玻璃）和少量的澄清剂（如硫酸盐）组成。典型产品的组成为（以重量计）：

70~74%的 SiO_2 ；10~13%的 CaO ；13~16%的 Na_2O 。

钠钙玻璃制造过程的流程图列在图9-1中。

原料储存和处置通常是分仓进行和归属配料车间。从铁路或货车分别收料并倾入接料斗。原料经破碎机后，由螺旋运输机和斗式提升机送入原料储仓。由调节斗来的碎玻璃被同一方式处置。主要和辅助原料由储料仓重力喂入称量斗，在斗中调节各原料量使成适当的比例，配成的配合料靠重力坠入混合器，由混合器经斗式提升机送入配合料储箱。配合料按熔窑需要，经控制进料速率的加料机进入熔窑。

加入熔窑的原料被熔化，并按 $1450\sim 1700^\circ\text{C}$ 保温，以促进原料的化学反应和产生均匀的稠性玻璃液。熟悉的澄清过程，即去除气泡，也发生在熔制过程稠性处于最低的这个高

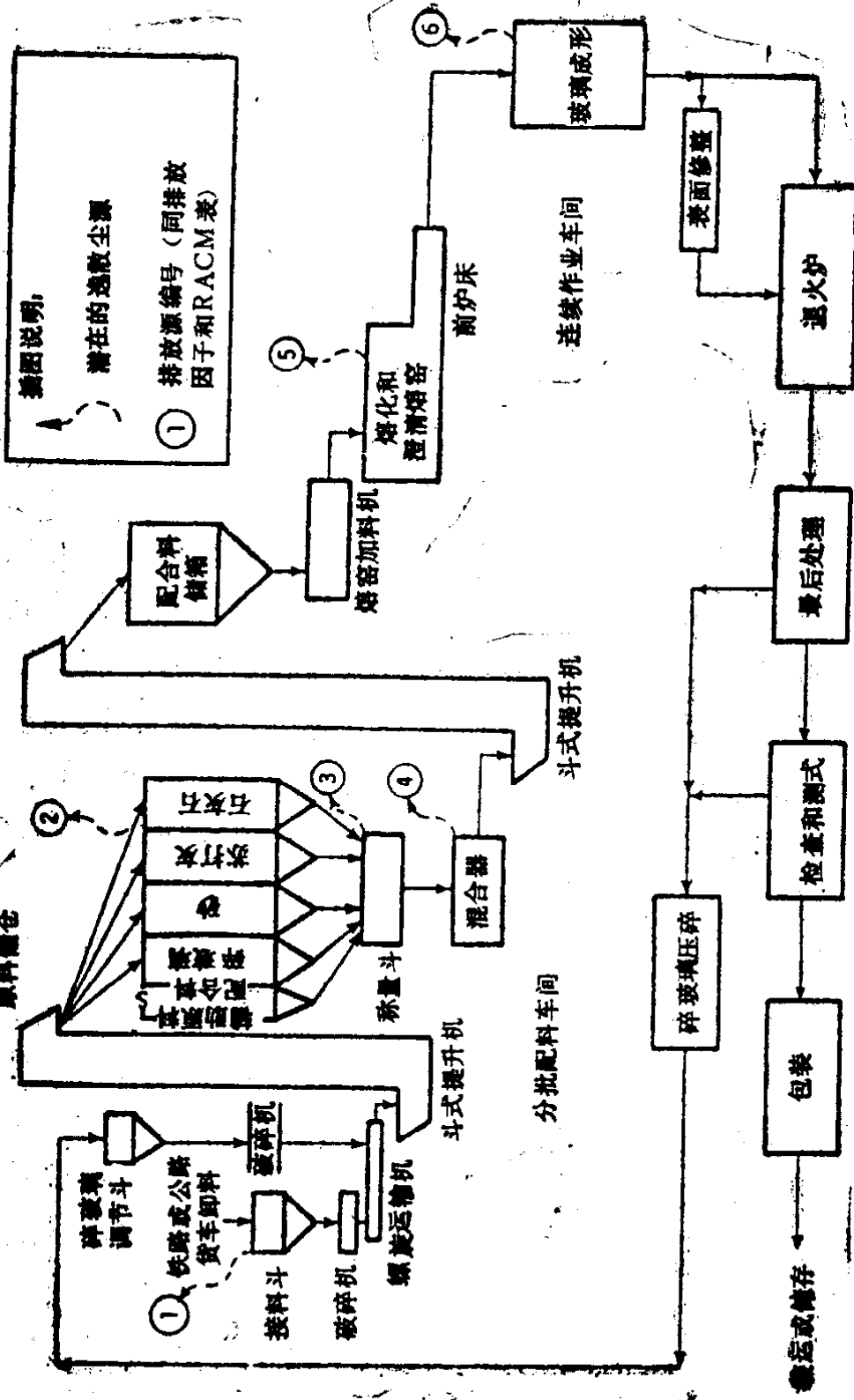


图9-1 钠钙玻璃生产简化流程和有关逸散尘

温范围。玻璃经熔制后去熔窑调温段,温度慢慢降至1300℃,以增大熔制玻璃的粘度和达到成形要求的特性。

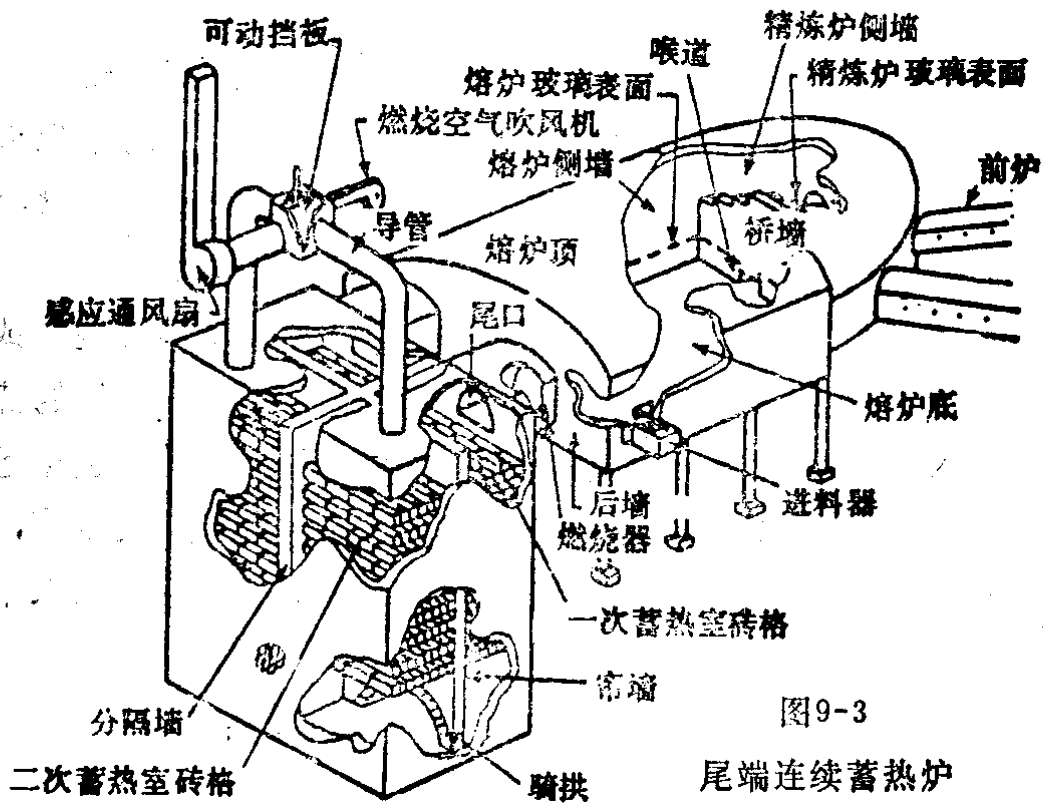
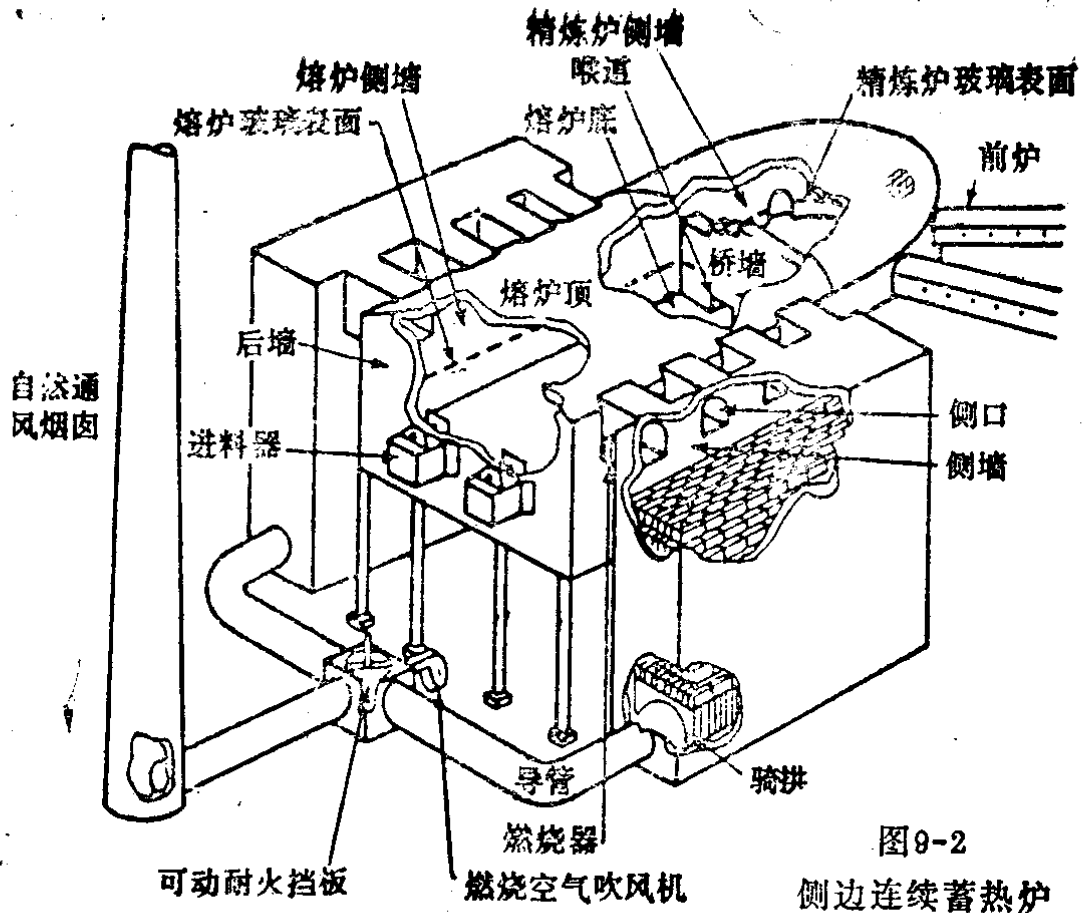
最通用的熔窑是一种连续、燃气、蓄热式池窑,且具有每日50~300t的玻璃生产能力。如图9-2和9-3所示。熔窑的侧边或尾端可以有砖砌的格或装置与熔窑内部相连。格式装置的目的是利用燃烧产物的热量预热去熔窑的燃烧空气以节省燃料。为实现此经济目的,燃烧空气和熔窑废气的通路周期性的进行转换。

熔窑也可燃油并使用换热器,熟悉的有保热装置的热回收系统。也可使用高频电感系统以增大生产速率。熔制玻璃也可专用电感融化玻璃,经澄清均化后,再冷至800~1100℃准备成形。除浮法外,熔制玻璃离开熔窑经前炉床去成形工段。熔制玻璃的成形可用压制、吹制、拉制、辊间压延或浮法完成。选用的过程取决于要求的产品。压制和吹制由机械使用模型完成,玻璃切割则由一台剪切机分段(粘性块)。拉制过程中,熔制玻璃被牵引向上穿过对辊,导出薄板玻璃。板的厚度由拉制的速度和空心对辊的结构决定。辊压延法同于拉制法,仅有平拉和模辊拉区别。如此生产的平板玻璃就需要研磨和抛光。浮法使用锡液槽,由熔窑来的玻璃流于其上,被拉制和形成光洁的表面而不需研磨和抛光。

在退火之前,成形后的产品可以进行表面修整(装饰或涂层)、或直接退火。退火过程要求去除成形过程中产生的热应力。表面处理后的加工过程为切割或装饰。产品包装和运出前,需冷至室温,进行检查和测试,剔除的产品被压碎,形成粗粒的碎玻璃,再循环去碎玻璃调节斗,准备再卸入熔窑。

玻璃生产地区排放逸散性颗粒物的潜在源:

①铁路或公路货车物料的卸料



- ② 储料仓
- ③ 原料称量斗
- ④ 原料混合器
- ⑤ 熔化和澄清的熔窑
- ⑥ 玻璃成形工序

二、逸散尘排放因子

各生产操作的逸散性粉尘排放因子列在表9-1中。虽然公认玻璃工业有某些排放，但调研文献未包括逸散性粉尘排放的数据。表中列出的因子系由其它工业类似操作推出。熔窑本身是一个点源，由烟囱排放熔窑来的燃烧气体和反应气体。这些废气流通常按规定路线通过一去除颗粒物的控制装置。但在熔窑泄漏时，熔窑厂房内将出现逸散性粉尘排放，并经过屋顶排气管逸入大气。列出的排放因子是不经控制烟囱而排放的那部分颗粒物的估计值。

表9-1 玻璃制造厂逸散性粉尘排放因子

| 污 染 源 | 不经控制烟囱的逸散尘排放因子 | |
|------------|--------------------|-------|
| | kg/t 生产玻璃 | 可信度等级 |
| 1. 原料接收区 | 0.5 | E |
| 2. 输送原料至储仓 | 0.25 | E |
| 3. 原料配料称重 | 0.01 | E |
| 4. 原料混合 | 0.02 | E |
| 5. 熔化和澄清熔窑 | 0.08 ^a | E |
| 6. 玻璃成形 | 可忽略不计 ^b | E |

注：a. 熔窑排放逸散性粉尘的工程估计值等于不经控制烟囱排放量的5%。

b. 由这个源来的排放物是蒸气而不是颗粒物。

三、颗粒特性

从原料处置工段散发出的颗粒相对较大，粒径在 $10 \sim 100\mu\text{m}$ 之间，并与处置的原料（即砂、煅烧纯碱和石灰石）有关。

但从熔窑来的颗粒物有较小的粒径和较高的钠、硅和钙含量。根据文献，熔窑排出颗粒粒径小于 $1\mu\text{m}$ 。

关于排放气体或颗粒物的毒性，调查文献中没有涉及。但有的分析数据表明，当使用氟化物的助熔剂或原料时，熔窑排放颗粒物中存在氟化物。这些数据还表明熔窑和成形工序排出气体中存有气体氟化物、三氧化二砷和烃。

四、控制方法

逸散性粉尘可供选择的排放控制技术列在表9-2中。对原料处置逸散粉尘的控制有多种可用的方法。卸货地点加隔档板；使用气力搬运接收料；使用闸门进料，防止原料从装载车辆溢出；或用少量水润湿原料，可以控制从铁路或公路货车卸料产生的颗粒排放。

闸门进料，靠流量控制装置（如带有马达转动阀门的中间储斗），调节固体进料的流量。当从一个储仓以极端高速精确分开固体物料时，这种闸门进料可以防止原料溢出。

由原料转移到储仓排放的逸散尘，可用水抑制或隔档板和抽气至一纤维过滤袋进行控制。

由配料称重和原料混合排放的颗粒物，可在这些操作地段上面加罩以捕集排放物。这些罩经输送管道通至纤维过滤袋以去除颗粒物。

表9-2 玻璃制造厂排放逸散尘源的控制技术、效率、费用和RACM

| 逸散尘源 | 可供选择的控制技术 | 控制效率(%) | 控制费用 1980.1 美元 | | 费用效益 (美元/kg) | 选择的RACM |
|------------|---------------|-----------------|---------------------|-----------------------|--------------|--------------|
| | | | 投资费 | 年费用 | | |
| 1. 原料接受区 | 隔挡板 | 50 | 28000 | 9000 ^a | 0.72 | 加挡板和纤维过滤袋 |
| | 隔挡板, 纤维过滤袋 | 90 | 93000 | 30000 ^{a, b} | 1.34 | |
| | 闸门进料 | 70 | 33000 | 11000 | 0.63 | |
| | 水抑制 | 50 | 23000 ^c | 7000 | 0.56 | |
| | 气力搬运 | 90 | 53000 ^d | 22000 ^e | 0.98 | |
| 2. 输送原料至贮仓 | 湿抑制 | 50 | 23000 | 7000 | 1.13 | 湿抑制 |
| | 地段抽气至纤维过滤袋 | 90 ^f | 136000 ^g | 49000 ^h | 4.45 | |
| 3. 原料配料称重 | 纤维过滤袋 | 90 ^f | 65000 ^h | 21000 ^h | 47.62 | 纤维过滤袋 |
| 4. 原料混合 | 纤维过滤袋 | 90 ^f | 65000 ^h | 21000 ^h | 23.61 | 纤维过滤袋 |
| 5. 熔化和澄清熔窑 | 熔窑和控制装置的预防性维修 | 90 | 忽略不计 ⁱ | 25000 ^j | 7.56 | 熔窑和控制装置预防性维修 |
| 6. 玻璃成形 | 无 | | | | | |

注: a. 反映了按15%投资费估计的挡板维修费和按投资费17%估计的直接费。

b. 根据工程试验和判断估计的效率。

c. 对一个操作场所采用每小时50t的喷雾速率的估计值。

d. 对14m³/min的空气过滤系统的估计值

e. 根据工程判断估计的。

f. 加捕集罩和纤维过滤袋二者结合的控制效率。

g. 适于566m³/min空气流量的系统。

h. 适于283m³/min空气流量的系统。

i. 增加维修, 将不引起投资费的支付。

j. 增加维修的人工和材料估计费

熔化和澄清的熔窑是玻璃制造厂的主要排放源。单座熔窑可以装有颗粒控制装置，但仍可由窑口、窑落处泄漏气体或由不良的操作或控制装置的维护，产生逸散尘的排放。因此，防止逸散尘的排放，得由熔窑和颗粒物控制系统的预防性维修来完成。

预防性维修意味着，在装置变得明显需要维修之前，进行修理。例如，对熔窑，预防性维修包括，在熔窑材料显示出堕落迹象之前，将熔窑重新砌砖。对控制装置，则意味着周期性的维修有关装置以防止泄漏或操作中发生故障。例如，空气吹风机的上油，吹风机叶片周期性的变质检查或去除固体累积物，纤维过滤袋的更换和从洗涤器壁上去除固体累积物。

考虑玻璃成形过程排放的颗粒物，可以忽略不计，因此，未作逸散性粉尘排放量的测试。气体排放物确有发生，但本书不讨论。

五、推荐的合理、可用控制措施

对每个逸散尘排放源推荐的 RACM 列在表 9-2 中。RACM 的选择系以适合管理需要的控制程度和工业的实践、容易使用和安装或经济为依据。

对原料接受地区，根据对逸散尘最大排放源的去除效率，推荐加隔档板和抽风至纤维过滤袋。

对原料输送排放尘的控制技术，根据工业实践、使用容易和花费少，选择水抑制技术。

对原料称重和混合工序仅选择性地列出纤维过滤袋。某些装置是合理的，因为它们对过程定位、实用、可以循环捕集排放尘和费用方面都是合理的。

对熔化和澄清的熔窑，则预防性维修熔窑和有关排放控制装置是仅有的可行性选择。如前所述，有计划的安排某些维修，以防止生产时间内熔窑的损坏。靠生产停工周期性地间隔地安排维修装置一览表，不仅可避免逸散性粉尘的排放并由于减少装置故障引起的停工，从而实现了较高的产量。

六、典型费用计算（使用的参数）

假设一工厂平均玻璃生产规模 = 136t/d 或 49000t/a。

1. 原料接受区

排放量 = $0.50\text{kg/t} \times 49000\text{t/a} = 24500\text{kg/a}$

2. 运送原料至贮仓

排放量 = $0.25\text{kg/t} \times 49000\text{t/a} = 12300\text{kg/a}$

费用效益比的计算从略

第十章 玻璃纤维制造厂

一、工艺概述

各种形状玻璃纤维的制造过程表示在图10-1中。原料，如玻璃砂、矾土、硼酸盐和碱土，由卡车或铁路车辆卸出并转运至各自的贮仓。这些物料按照下列典型配比由贮仓去批料称量斗。

| | |
|--------|-------------|
| 二氧化硅 | 52~56% (重量) |
| 铝氧化物 | 12~16% (重量) |
| 硼氧化物 | 8~13% (重量) |
| 钠和钾氧化物 | 0~1% (重量) |
| 钙氧化物 | 16~25% (重量) |
| 镁氧化物 | 0~6% (重量) |

原料卸入转鼓混合器后，混合约5分钟，用运输机和提升机送至炉料斗，每批炉料在此停留，等待装入熔炼炉。硼硅酸盐玻璃混合物被熔化，并保持 1538°C 左右，以降低粘度和加强精炼。正常使用的炉子为再生型，如第九章所述。其它使用的炉型有同流换热炉和感应电炉。

熔炼炉能力变动于 $45\sim 180\text{t/d}$ 间。随后的加工步骤由所希望的产品类型支配。如需要纺织纤维、纱线原料或粗编织产品，熔炼的玻璃成形为玻璃弹子。玻璃弹子在一小型电炉中熔化，并进入电炉前膛的铂金衬套装置。以空气鼓风机，强迫熔化玻璃通过小孔，以形成玻璃长丝，长丝被拉出并收集在高速络纱机上。制造粗编织产品时，长丝制成的编织

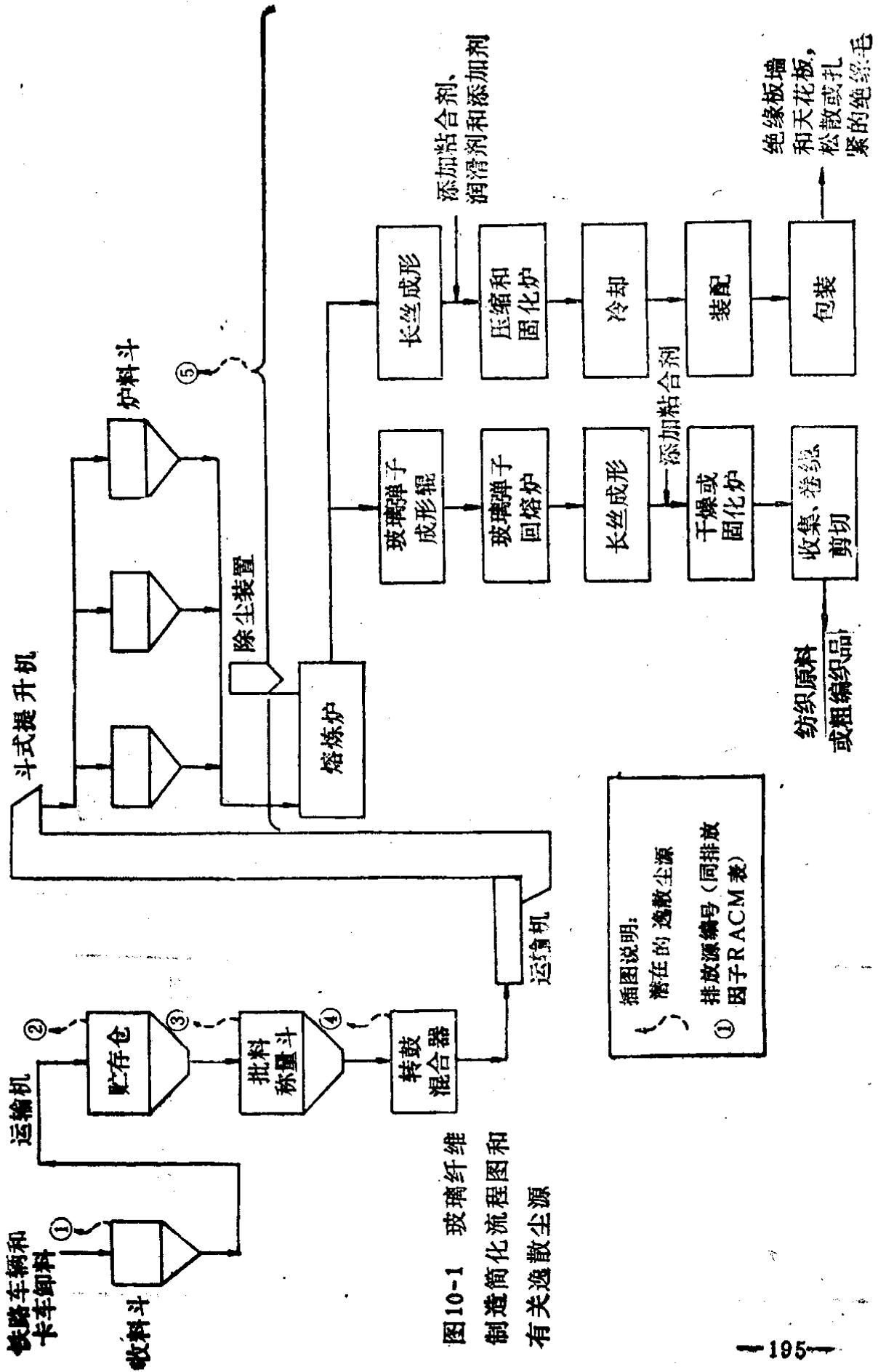


图10-1 玻璃纤维制造简化流程图和有关逸散尘源

物 按指定的具体尺寸切开或斩断，然后将编织品辗平、打包待运。

如希望玻璃毛产品，则熔融的玻璃由空气或蒸汽喷射穿过炉子一端的铂金衬套上的小孔。形成的长丝被高速气体喷射流所捕接，拉成纤维并收集在传送带上。产生的毛状纤维由有机粘结剂浸渍，然后固化和成形为棉胎状，以作绝缘材料或放入框架内，作空气过滤器。

工厂的潜在逸散尘排放源如下：

1. 原料收货点，
2. 原料转运至贮仓，
3. 原料称重，
4. 在转鼓内混合原料，
5. 熔化、精炼和成形。

二、逸散尘排放因子

玻璃纤维制造作业的估计逸散尘排放因子列在表 10-1 中。文献中没有这方面的报导，这些因子或来自其它工业的类似作业，或根据工程经验和判断估计。

表10-1 玻璃纤维制造的逸散尘排放因子

| 逸散尘源 | 无控制的逸散尘排放因子 | |
|-------------|----------------|-------|
| | kg/t (加工玻璃) | 可信度等级 |
| 1. 原料接收 | 0.5 | E |
| 2. 转运原料至贮仓 | 0.25 | E |
| 3. 批料称重 | 0.01 | E |
| 4. 原料混合 | 0.02 | E |
| 5. 熔化、精炼和成形 | 0.50 | E |

三、颗粒特性

工厂中原料搬运排放的颗粒物是相对较大的，粒径为10~100 μm 。其组成反映了被搬运的原料，即砂、硼酸盐和硼酸。

由熔炼炉来的颗粒物则小得多，主要为硼酸和碱金属硼酸盐，粒径小于1 μm 。

由玻璃长丝或玻璃毛成形作业来的颗粒物与纤维性质相似，它们细而长，具有0.05~3 μm 的粒径。它们的组成为生成的硼硅酸盐玻璃。

关于各道工序排放物的毒性，无论是气体或颗粒物，都无这方面的文献。

四、控制方法

在表10-2中列出了可选用的逸散尘控制方法。原料搬运作业的控制方法有多种，它们和玻璃生产中的方法一样，已在第九章中详细介绍。

五、推荐的合理、可用控制措施

控制各工序的逸散尘的RACM列在表10-2中。

对原料接受，选用的RACM为封闭并排气至纤维过滤袋。这是由于对最大逸散尘源的有效性而决定的。

对转运原料至贮仓，RACM为湿抑制。在这种工业中现多采用此法。它是在合理费用下易于使用的措施。

对原料称量和混合工序，RACM为安装纤维过滤袋，

表10-2 玻璃纤维厂逸散尘的控制技术、效率、费用和RACM

| 逸散尘源 | 可选用的控制技术 | 控制效率(%) | 控制费用 1980.1 美元 | | 费用效益比 (美元/kg) | 选择的 RACM |
|--------------|--------------|-----------------|---------------------|--------------------|---------------|--------------|
| | | | 投资费 | 年费用 | | |
| 1. 原料接受 | 封闭 | 50 | 28000 | 9000 | 0.74 | 封闭、纤维过滤袋 |
| | 封闭、纤维过滤袋 | 90 | 93000 | 30000 | 1.36 | |
| | 过饱和进料 | 70 | 33000 | 11000 | 0.64 | |
| | 湿抑制 | 50 | 23000 | 7000 | 0.57 | |
| | 气动卸料 | 90 | 53000 | 22000 | 1.00 | |
| 2. 将原料转运至贮仓 | 湿抑制 | 50 ^a | 23000 | 7000 | 1.14 | 湿抑制 |
| | 作业区通风至纤维过滤袋 | 90 ^b | 136000 ^c | 49000 ^c | 4.45 | |
| 3. 批料称重 | 纤维过滤袋 | 90 | 65000 ^d | 21000 ^d | 47.62 | 纤维过滤袋 |
| 4. 原料混合 | 纤维过滤袋 | 90 | 65000 ^d | 21000 ^d | 23.81 | 纤维过滤袋 |
| 5. 熔化、精炼、成形线 | 炉和控制装置的预防性维护 | 90 | 忽略不计 | 25000 | 7.56 | 炉和控制装置的预防性维护 |

注: a. 估计为0.236m³/min的湿抑制系统。

b. 为捕集罩与纤维过滤袋相加的效率。

c. 空气流量为0.944m³/min。

d. 空气流量为0.472m³/min。

其费用合理, 适用于车间安装, 并可回收利用捕集到的排放物。

对熔炼炉, 长丝成形和处理装置, 推荐的RACM为对这些炉子和其控制装置加强预防性维护, 防止泄漏。

六、典型费用计算 (使用的参数)

1. 原料接受

$$\text{排放量} = 0.5\text{kg/t} \times 49000\text{t/a} = 24500\text{kg/a}$$

2. 转移原料至贮仓

$$\text{排放量} = 0.25\text{kg/t} \times 49000\text{t/a} = 12300\text{kg/a}$$

费用效益比的计算从略。

第十一章 铝精炼厂

一、工艺概述

铝精炼作业是熔化废铝并与其它金属熔混以产生工业铸件用的轻合金。铜、镁和硅是最通用的合金成分。

精炼铝厂的原料有三种主要来源：

1. 铝块 这些铝块可以是粗铝，也可以是大精炼炉生产的精铝，以适合更严格的合金规格的要求。
2. 铸造厂返回物 它包括废弃的铸件、浇模的组件，如浇口、冒口、浇道结块和熔渣。
3. 其它废铝 这类碎片包括镗屑、车屑；沾有油、脂、油漆、橡胶和塑料的碎铝以及与铁、镁、锌和黄铜混合的铝碎片。

图11-1是精炼铝厂流程图。原料有时经预处理，除去氧化物的杂质，以备精炼。使用铸件和其它铸造厂返回物时，可经破碎或过筛，以促进机械或磁铁除铁以及机械分离脏而疏松的铝氧化物。镗屑和车屑，在直接火焰的转窑内加热，以去除切割油、脂和水分。

其它预处理形式是热解，以回收含铁量高的废铝。一般使用带有倾斜炉膛的有焰反射炉，也可使用炉篦炉。废铝片被装入炉内，在炉中铝被熔化和收集，而熔点较高的铁、黄铜和其它物质保持固态。用这种过程回收的铝属于“热解”锭。

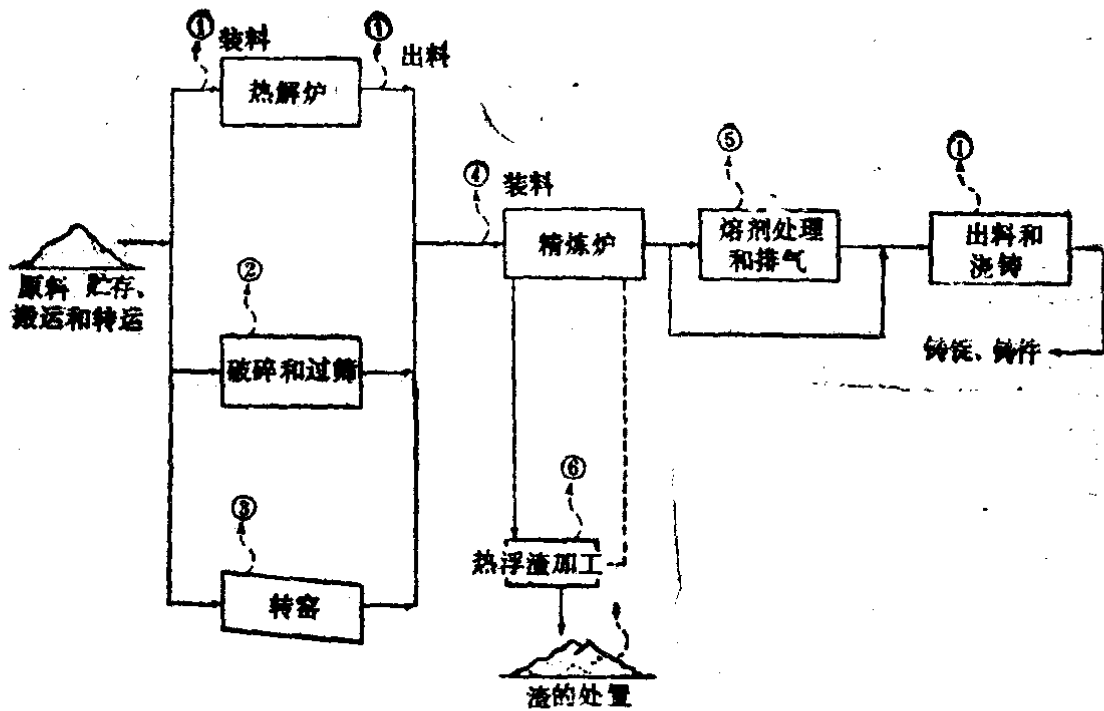


图11-1 铝精炼厂简化流程图和有关的逸散尘源

预处理和粗铝碎片的冶炼在坩埚炉或反射炉内完成。熔化小量的铝（可高至450kg），使用坩埚炉或罐型炉，通常用手工填入铝锭或铸造厂的返回物。对中等或大容量的反射炉，使用机械装料。两者均使用烧煤气和烧油的装置。

在炉料完全熔化后，加入合金成分，以调整产品的组成。然后再净化或加熔剂处理，以去除熔融铝中存留的气体或金属（如镁）。使用氯气或其它物质作助熔剂，这一过程在精炼炉、炉的分隔井、或另外的装置内完成。助熔过程常常属于脱气或脱镁处理，并取决于处理的目的。脱气处理减少溶解的气体。脱镁处理减少熔化铝中的镁含量。氯可作为助熔剂以脱除熔化铝中的镁和气体，这种作用取决于加入氯化物的性质和数量。

在熔化金属中加入氯或氟化物来助熔，使镁漂浮于表面，随浮渣或矿渣去除。熔融金属通过氯气的鼓泡作用也可脱气。

脱气也可由其它方法完成，如将干燥的氮气通入熔化金属内鼓泡，机械振动，或抽真空。

完成这些处理后，熔化金属或浇铸锭模后运走，或注入预热坩埚中制成产品后运走。

精炼炉的浮渣含有够多的金属铝而需要回收。回收金属铝有两种方法，湿法精选或干法精选（机械法），或热浮渣处理（火法冶金法），在湿法精选中，冷却的浮渣被磨碎、过筛和磁力分离。在干法精选中，冷却的浮渣被磨碎、过筛和用空气分类。在热浮渣处理中，将熔化杂质的物质加入熔化的浮渣中，不溶的金属铝从底部排出并回到精炼炉。

典型的精炼铝厂有4或5座精炼炉，每日可生产45~450t铝。

在图11-1中已列出精炼铝厂产生逸散尘的几个排放源。它们包括原料接收和装卸作业，热解炉，废金属破碎和过筛、废金属干燥、精炼作业、热浮渣处理和冷却、加助熔剂和脱气、热金属浇铸和矿渣处理。

二、逸散尘排放因子

精炼铝厂生产过程的估计排放因子列在表11-1中。根据文献记载，这些因子都按其在整个工艺中所排放的物质均为逸散性颗粒物为依据。这些假设没有详细的资料。因此，这些因子的可信度是很差的。

三、颗粒特性

由铝精炼炉排放的颗粒物，粒径小于 $2\mu\text{m}$ ，由于含氟化物和氯化物，这些颗粒物有毒。表11-2列出精铝生产排出物

表11-1 精铝生产厂逸散尘排放因子

| 逸散尘源 | 排放因子 | 可信度等级 |
|---------------|------------------|-------|
| 1. 热解炉装料和出料 | 0.36kg/t (加工金属) | E |
| 2. 碎金属的破碎和筛选 | 可忽略不计 | E |
| 3. 铝屑转筒干燥器 | 0.36kg/t (干燥金属) | E |
| 4. 精炼炉装料和出料 | | |
| 4a 反射炉 | 0.11kg/t (加工金属) | E |
| 4b 坩埚 | 0.045kg/t (加工金属) | E |
| 4c 感应炉 | 0.045kg/t (加工金属) | E |
| 5. 助熔 (氯化作用) | 25kg/t (使用氯) | E |
| 6. 热浮渣处理和冷却 | 0.11kg/t (加工金属) | E |
| 7. 倾卸热金属入模或坩埚 | 可忽略不计 | E |
| 8. 矿渣处置 | 不清楚 | — |

表11-2 精铝生产排出物的特性

| 排放源 | 最大颗粒粒径 (μm) | 化学组成 | 毒性 |
|---------|--------------------------|---|---------------|
| 加助熔剂和脱气 | 2.0 | 高可变性, 可含 Al_2O_3 , AlCl_3 , NaCl , 氟化物, 碱 | 毒性系由氟化物与氯化物造成 |
| 氯化作用 | 1.0 | 金属氧化物等 | |

的特性。

一位研究者发现, 在炉中用盐-冰晶石助熔时, 烟中主要成分为大量的氯化钠并有少量的铝和镁的化合物。颗粒均小于 $2\mu\text{m}$ 。这种烟, 干时为腐蚀物, 湿时形成强腐蚀的淤泥。有凝固和变硬的倾向。

其它的研究指出, 脱气释放的烟, 100% 的烟粒小于 $2\mu\text{m}$, 90~95% 小于 $1\mu\text{m}$ 。显微镜检验表明平均粒径约 $0.7\mu\text{m}$,

每小时处理能力为345kg的铝热解炉，排放颗粒物的粒径，有95%小于 $39\mu\text{m}$ 。

四、控制方法

薄片铸件、剪切物或镗屑等原料被收存于屋内，因此限制了逸散性粉尘而不需要控制。

在干法研磨过程中，破碎机、振动筛和转运点发生的尘可在作业点加罩，并用导管连接至纤维过滤袋来控制。

由转窑来的排放物，通常排至洗涤系统。由加工过程泄漏产生的逸散尘，可以通过检修和（或）提高至主除尘装置的排气速率来控制。

热解炉和精炼炉排放尘可由顶罩捕集并排气至主除尘装置或纤维过滤袋或湿洗涤器。也可使用厂房封闭和抽气至纤维过滤装置。一套建筑物总除尘系统可控制建筑物内全部作业的排放物。

熔剂处理的排放尘，可在熔剂处理处安装一罩，并排气至袋滤室或湿洗涤器。

热浮渣处置和冷却的排放尘，也可用罩捕集并排气至纤维过滤袋。矿渣搬运作业可用湿抑制控制。

表11-3概括了可用的控制技术。它们的效率、估计费用和RACM选择。

五、推荐的合理、可用控制措施

表11-3列出了精炼铝厂逸散尘的RACM。

对热解和精炼炉排尘的RACM，是改进或延伸现有的罩，对装料和出料排放尘进行捕集，并用导管连接至现有的

主除尘装置。大部分炉子已受到控制，同时这些措施是以相对较低的费用而获得良好的控制效率。厂房密闭并排气至纤维过滤袋也是一种RACM。

对废金属的破碎和筛选，推荐的控制措施是加罩和由纤维

表11-3 精炼铝厂逸散尘源的控制技术、效率、费用和RACM

| 逸散尘源 | 可选用的控制技术 | 控制效率(%) | 控制费用 ^{1980.1} 美元 | | 费用效益比 (美元/kg) | 选择的RACM |
|-------------------------|-----------------|---------|---------------------------|-------------------|------------------|---------------------------|
| | | | 投资费 | 年费用 | | |
| 1.热解炉装料和出料 | 加罩、排气至除尘装置 | 95 | 20000 ^a | 5000 ^b | 0.16 | 加罩、排气至主除尘装置或新除尘装置 |
| | 厂房封闭、排气至纤维过滤袋 | 99 | 600000 ^c | 162000 | 1.91 | |
| 2.废金属的破碎和筛选 | 加罩、排气至纤维过滤袋 | 95 | 63000 ^c | 17000 | 无可用数据 | 加罩、排气至纤维过滤袋 |
| | 厂房封闭、排气至纤维过滤袋 | 99 | 列入热解炉费用中 | | 1.91 | |
| 3.转窑 | 加罩、排气至洗涤器 | 95 | 63000 | 30000 | 0.96 | 后燃烧器 |
| | 后燃烧器 | 90 | 35000 | 21000 | 0.17 | |
| 4.精炼炉装料出料 4a反射炉装料和出料 | 加罩、排气至主除尘装置 | 95 | 20000 | 5000 | 0.52 | 加罩、排气至主除尘装置或厂房封闭、排气至纤维过滤袋 |
| | 厂房封闭、排气至纤维过滤袋 | 99 | 列入热解炉费用中 | | 1.91 | |
| | 加罩、排气至洗涤器或纤维过滤袋 | 90 | 336000 | 82000 | 9.08 | |
| 4b坩埚炉装料和出料 | 加罩、排气至主除尘装置 | 95 | 20000 | 5000 | 1.28 | 同上 |
| | 厂房封闭、排气至纤维过滤袋 | 99 | 列入热解炉费用中 | | 1.91 | |
| | 加罩、排气至洗涤器或纤维过滤袋 | 90 | 336000 | 82000 | 22.19 | |

续表

| 逸散尘源 | 可选用的控制技术 | 控制效率 (%) | 控制费用 1980,1 美元 | | 费用效益比 (美元/kg) | 选择的 RACM |
|---------------|-----------------|----------|----------------|--------|---------------|---------------------------|
| | | | 投资费 | 年费用 | | |
| 4c 感应炉装料和出料 | 加罩、排气至主除尘装置 | 95 | 20000 | 5000 | 1.28 | 加罩、排气至主除尘装置或厂房封闭、排气至纤维过滤袋 |
| | 厂房封闭、排气至纤维过滤袋 | 99 | 列入热解炉费用中 | | 1.91 | |
| | 加罩、排气至洗涤器或纤维过滤袋 | 90 | 336000 | 82000 | 22.19 | |
| 5. 助熔处理 | 加罩、排气至洗涤器或纤维过滤袋 | 99 | 175000 | 62000 | 3.03 | 使用低排放熔剂或加罩、排气至洗涤器或纤维过滤袋 |
| | 使用低排放熔剂 | 不清楚 | 无可用的 | 费用数据 | 无可用的数 | |
| 6. 热浮渣处置和冷却 | 加罩、排气至洗涤器或纤维过滤袋 | 95 | 60000 | 27000 | 2.83 | 不控制 |
| | 厂房封闭、排气至纤维过滤袋 | 99 | 列入热解炉费用中 | | 1.91 | |
| 7. 浇铸热金属入模或坍塌 | 可忽略的排放源 | | | | | 不控制 |
| 8. 矿渣搬运 | 湿抑制 | 不清楚 | | 无可用的数据 | 无可用的数 | 不控制 |

注: a. 为额外加罩和改善的费用。

b. 估计投资和维修费要占安装费的20%。

c. 包括热解炉、破碎和过筛、废金属、精炼炉装料和出料、助熔处理、热浮渣处置和冷却排放尘的控制。

纤维过滤袋捕集排放尘。在现有作业中, 已证明这种措施是有效的。

对转窑的RACM是后燃烧器。通常使用热力以消除转窑废气中的可冷凝物和碳氢化物。

助熔工序的排放通常与精炼炉的排放物都由除尘装置一起控制。但当助熔处理站与精炼炉分开时，则 RACM 为适合的罩盖并用湿式洗涤器或纤维过滤袋来除尘。使用不产生明显排放的熔剂，也是可用的措施。

对热浮渣处置或热金属倾卸操作，推荐不予控制。它们是非常小的排放源，在工业中没有正规的控制措施。矿渣搬运也是小排放源，不予控制。

六、典型费用计算（使用的参数）

假设精炼铝厂每日处理金属铝250t，全年365日生产

1. 热解炉装料和出料

$$\text{排放量} = (0.36\text{kg/t}) \times 250\text{t/d} \times 365\text{d/a} = 32850\text{kg/a}$$

2. 废金属破碎和过筛

排放量可忽略不计

3. 转窑

$$\text{排放量} = 0.36\text{kg/t} \times 250\text{t/d} \times 365\text{d/a} = 32850\text{kg/a}$$

4. 精炼炉装料和出料

反射炉装料和出料

$$\text{排放量} = 0.11\text{kg/t} \times 250\text{t/d} \times 365\text{d/a} = 10040\text{kg/a}$$

坩埚炉装料和出料

$$\text{排放量} = 0.045\text{kg/t} \times 250\text{t/d} \times 365\text{d/a} = 4110\text{kg/a}$$

感应炉装料和出料

$$\text{排放量} = 0.045\text{kg/t} \times 250\text{t/d} \times 365\text{d/a} = 4110\text{kg/a}$$

5. 助熔处理

假设日用氯3270kg。

$$\text{排放量} = 25\text{kg/t} \times 2.27\text{t/d} \times 365\text{d/a} = 20700\text{kg/a}$$

6. 热浮渣处置和冷却

排放量 = $0.11\text{kg/t} \times 250\text{t/d} \times 365\text{d/a} = 10040\text{kg/a}$

7. 热金属倾倒入模或坩埚

排放量 = 可忽略不计

8. 矿渣搬运

排放量 = 不清楚

费用效益比的计算从略。

第十二章 混合肥料厂

一、工艺概述

按照采用的生产技术，混合肥料工业可分成三类：氨化及造粒厂、散装掺合厂和液体混合厂。在俄亥俄州有13家氨化及造粒厂，102家液体混合厂和260家散装掺合厂。由于散装掺合厂排放逸散尘最大，故本文着重阐述这一工艺。

典型的工厂能力为4~45t/h，其平均能力为18t/h，但实际生产更低，平均为1t/h。每年生产450~3175t，平均为1152t。最大生产量（75%）出现在1~6月间。

混合肥料包含氮（N）、磷（P）和钾（K）三种营养成分，这些混合物按N-P-K等级表示。N代表可用氮的百分数，P代表可吸收利用的五氧化二磷（ P_2O_5 ）百分数，K代表可溶性氧化钾（ K_2O ）的百分数。在美国，使用的混合肥料中，75%以上都包含这三种主要植物营养成分。

散装掺合工艺是混合多种原料以生产营养成分均衡的肥料，它的流程在图12-1中作介绍。原料是干的并呈粒状，含有全部的主要植物营养成分。正或三元过磷酸盐、硫酸铵、尿素和钾碱，它们是代表单体的营养成分原料。磷酸氢铵或磷酸氢二铵和硝酸钾，它们是代表复合的营养成分原料。除了这些主要营养成分外，微量营养成分、有机除莠剂也常常在混合肥料厂中掺入。

在工厂通常接受底卸式铁路车辆的原料，并卸入地下接收箱。原料经带式运输机转运到斗式提升机，再靠斜槽送入

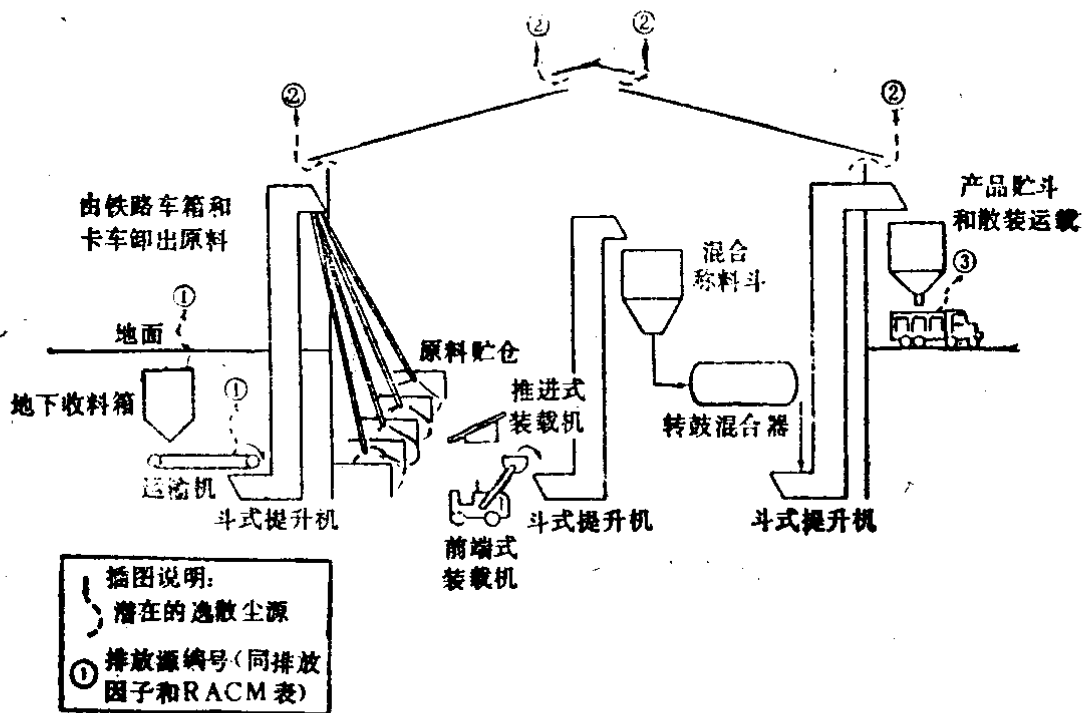


图12-1 混合肥料厂的典型流程和有关的逸散尘源

指定的贮存地点或混合厂房内的贮仓。当需要原料时，用前端式装载机或螺旋推运机从散装贮仓取出，转运至斗式提升机。然后将原料卸入称量斗称量，喂入转鼓混合器。当原料按需要的混合配方加入后，转鼓旋转直至生成均匀的混合物。混合肥料再由斗式提升机卸出并转运至成品贮斗，由贮斗散装或袋装发运。半数以上的混合肥料厂都使用贮斗式装货站，如图12-2所示。据报导，散装装入敞篷车能引起排放量高达散装肥料厂总排放量的75%。

散装混合肥料厂的排放颗粒物，是逸散性的，并由下面三种源排出：

1. 铁路车辆卸料和转运至贮斗；
2. 混合厂房内逸散损失（由原料搬运，混合和装袋引起的）；
3. 装货作业（散装成品装入敞篷卡车）。

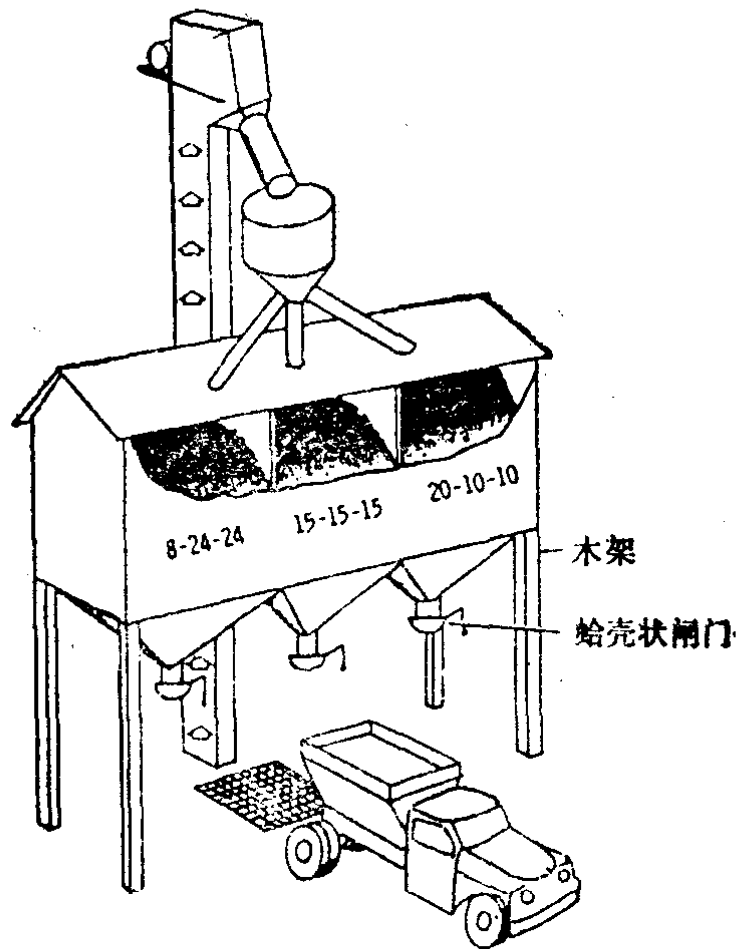


图12-2 混合肥料厂采用提升贮存的散装装料站

在工厂运输道路也可发现逸散尘源，这在第二章中已作了介绍。

二、逸散尘排放因子

混合肥料厂一些作业的颗粒物排放因子在表12-1中列出。排放因子是根据混合肥料厂使用原料的颗粒粒径小于 $44\mu\text{m}$ 的部分来分析的，然后才作出最坏的排放估计。这种估计是假设，小于 $44\mu\text{m}$ 的全部物料都排入大气。现在还没有排放源的测试数据可用。

表12-1 混合肥料厂逸散尘排放因子

| 排 放 源 | 无控制装置的排放因子 (kg/t) | 可信度 等级 ^a |
|------------------------|----------------------|------------------------|
| 铁路车辆卸料并转运至贮斗 | 0.1 | E |
| 混合厂房内逸散损失 ^b | 0.1 | E |
| 装货作业 ^c | 0.1 | E |

注：a. 据报导，排放因子有±100%的波动。

b. 混合厂房内逸散损失（通过窗和门逸出），它是由原料搬运、混合和装袋引起的。

c. 散装装入敞篷卡车。

三、颗粒特性

混合肥料厂逸散颗粒物的组成与投入生产的原料（营养成分）相同。散装肥料中使用的营养物，估计它们的综合阈限值（TLV）为 $0.01\text{g}/\text{m}^3$ 。混合肥料中也使用除莠剂，一般使用除莠剂其最低阈限值为 $0.0005\text{g}/\text{m}^3$ 。但每种除莠剂的排放因子决不超过总颗粒物排放因子的0.001%，因此，这一浓度预期不会引起健康的问题。

四、控制方法

混合肥料厂逸散尘控制技术的概况在表12-2中已列出。大多数散装肥料厂都不采用颗粒物控制技术，但随着更严格管理的出现，就必须考虑采取控制方法。

在散装混合肥料厂，铁路车辆使用防尘罩，以减少卸料时的排放。伸缩斜槽也可用来控制原料转运至贮仓的排放物，伸缩槽可装上一系列的盖罩并导至一中央纤维过滤器。

这一系列也包括物料搬运、混合、装袋和装卡车的排放物的捕集罩和导管。图12-3介绍了这种系统和铁路车辆防尘罩的设计。

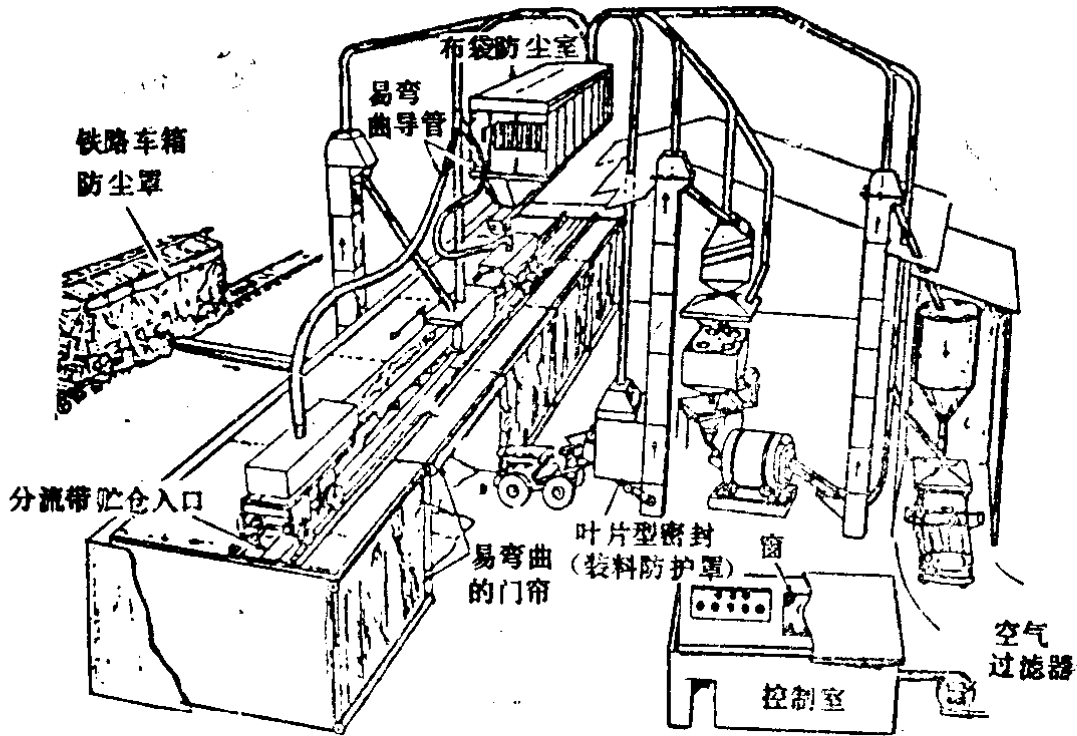


图12-3 肥料厂装有铁路车辆卸料防尘罩及其它罩输入纤维过滤器的控制逸散尘系统

湿抑制系统也可用来控制逸散尘。在散装肥料或原料搬运、混合或装袋过程中，可使用喷水、液体肥料或轻油（包括车用废油）的方法来控制尘，加入1%的液体肥料或0.5~1%的轻油即可显示减少排放的效果。由于潜在的爆炸危险，对混有60%以上硝酸铵的肥料不应使用轻油。图12-4是介绍典型的湿抑制系统。

改善高速斗式提升机（离心卸料），能减少排放物。这类提升机不能将物料全部卸出，而一些物料落入提升机的防护罩并逸出机外。低速的翻斗卸料提升机，它是利用一空转链轮使链斗沿顶链轮转动，将物料几乎全部翻卸而出。就这

表12-2 混合肥料厂逸散尘源的控制技术、效率、费用和RACM

| 逸散尘源 | 可用的控制技术 | 控制效率 (%) | 1980.1 控制费用 美元 | | 费用 ^a 效益比 ^a (美元/kg) | 选择的 RACM |
|---------------------|------------|----------|--------------------|--------------------|--|----------|
| | | | 投资费 | 年费用 | | |
| 1. 物料搬运 | | | | | | |
| 铁路车厢卸料 | 铁路车厢防尘罩 | 50 | 6000 ^b | 1200 | 40.78 | 不控制 |
| 转运至贮仓 | 伸缩斜槽 | 75 | 13500 | 2700 | 61.07 | 不控制 |
| | 加罩、排气至纤维过滤 | 99 | 76000 ^c | 17000 ^d | 58.20 | |
| 2. 混合厂房内逸散损失 | | | | | | |
| 物料搬运 | 湿抑制 | 75 | 5000 ^e | 1350 ^f | 15.21 | 不控制 |
| | 加罩、排气至纤维过滤 | 99 | g | g | 58.20 | |
| | 改善斗式提升机 | 50 | 无可用数据 | | 无可用数据 | |
| 混合 | 湿抑制 | 50 | h | h | 15.21 | 不控制 |
| | 加罩、排气至纤维过滤 | 99 | g | g | 58.20 | |
| 装袋 | 湿抑制 | 95 | h | h | 15.21 | 不控制 |
| | 加罩、排气至纤维过滤 | 99 | g | g | 26.40 | |
| 3. 装货作业 | | | | | | |
| 卡车装运 (散装) | 伸缩斜槽 | 75 | 4500 | 900 | 10.14 | 伸缩斜槽 |
| | 加罩、排气至纤维过滤 | 99 | g | g | 58.20 | |

- 注: a. 费用效益分析是按1179t/a的产量作基础。
 b. 根据557m²的防尘罩和10.76美元/m²。
 c. 对加罩、导管和2.83m³/s纤维过滤器估计的费用, 它包括物料搬运、混合、装袋和卡车装货的排放控制。
 d. 根据投资费用的17%和每年运行3000小时估计的费用。
 e. 包括泵、槽、控制装置、管道、阀门费用和间接投资费40%。
 f. 按投资费17%和运行维修费10%估计。
 g. 此费用已包括在转运至贮仓的同项技术中。
 h. 此费用已包括在物料搬运的同项技术中。

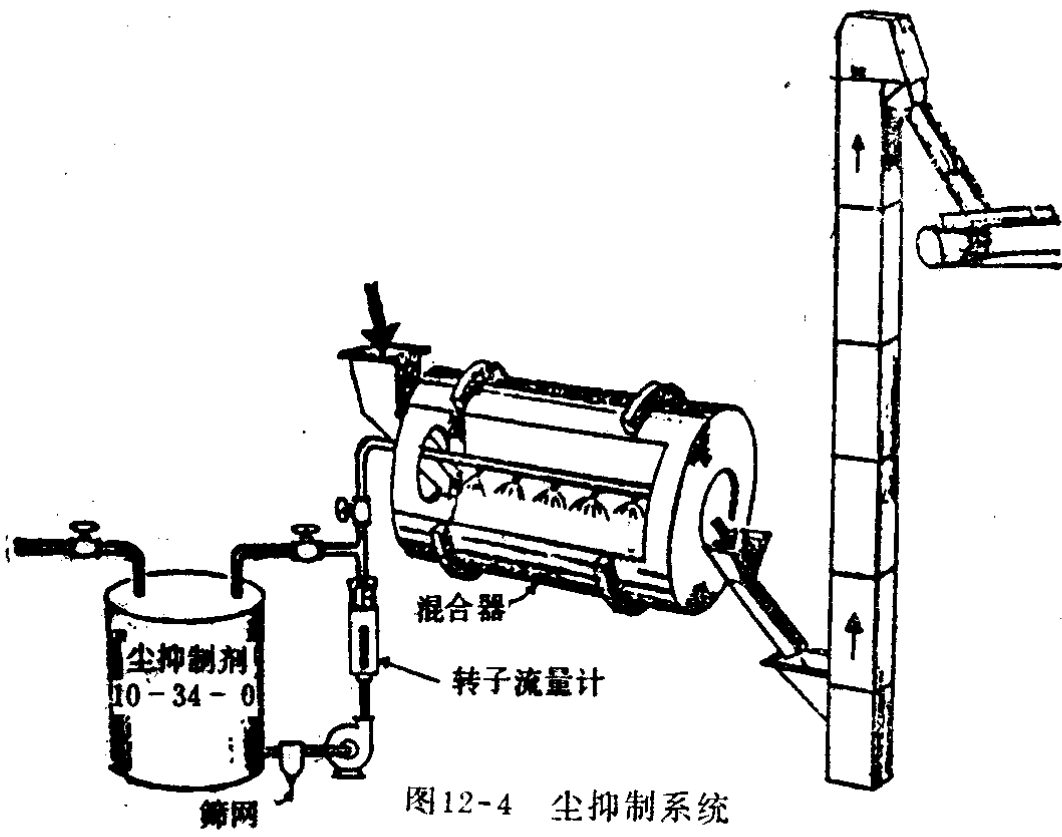


图12-4 尘抑制系统

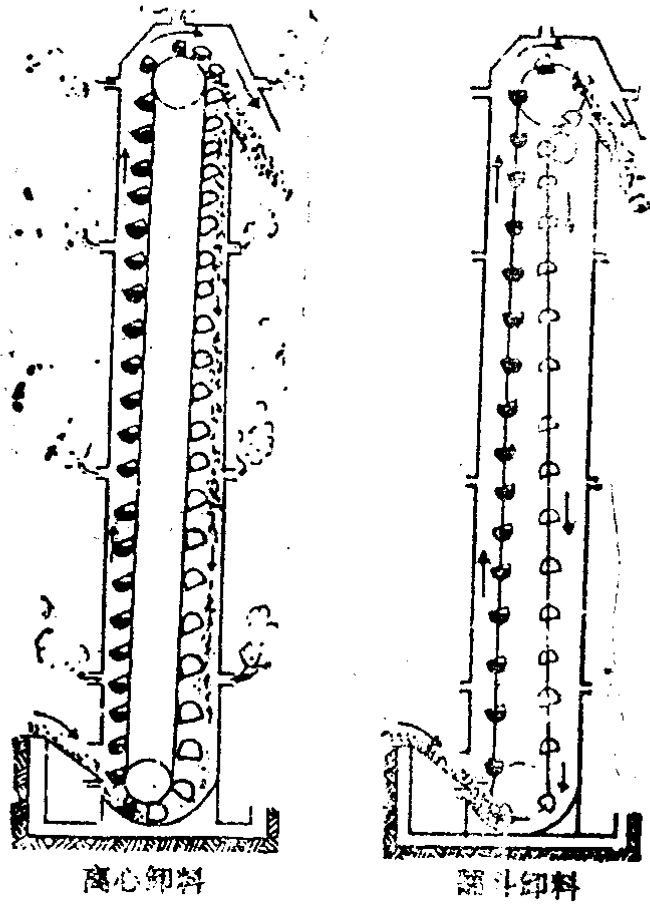


图12-5 混合肥料厂使用的斗式提升机

样再通过卸料斜槽将物料卸干净。两种斗式提升机都列在图12-5中。

散装肥料卸入敞篷卡车时，可使用伸缩斜槽以减少排放。

五、推荐的合理、可用控制措施

对各种逸散尘源推荐的RACM已在表12-2中列出。为了符合国家排放控制条例要求的控制程度，根据工业的实际及易于应用、安装简便和投资经济的做法来选择RACM。

由于散装混合肥料厂一般规模都较小（年生产率低），选用控制技术受到一些限制，因为年排放量相对较低，则引起高费用的效益比。故此，这许多源都要求控制，必然会造成这类工业的经济困难。

推荐的伸缩斜槽或能减少自由降落距离的其它类型卸料溜槽，这都可用于散装肥料的卸料。推荐这种控制措施，是因为已经证实散装卸料是这类工厂的最大单体排放源，也是费用效益比最高的控制措施。对大多数工厂的其它排放源都不要求控制，但对规模较大的工厂或造成使人讨厌或公诉问题的工厂，则采用湿抑制是合理的。

六、典型费用计算（使用参数）

1. 物料搬运：假设搬运物料1179t/a。

铁路车辆卸料排放量：假设占物料搬运排放总量的1/2，

即

排放量 = $0.05\text{kg/t} \times 1179\text{t/a} = 59\text{kg/a}$ 。

铁路车辆防尘罩：假设防尘罩 557.4m^2 ，而每平方米费

用为10.76美元，即投资费为

$$557.4 \times 10.76 = 6000 \text{ 美元。}$$

转运至贮仓排放量：假设占物料搬运排放总量的1/2，即59kg/a。

伸缩斜槽的费用：假设每个斜槽直接费用为3200美元，间接费用1280美元，三个斜槽投资费用为 $4480 \times 3 = 13500$ 美元。

加罩并排气至纤维过滤器费用：采用容量 $2.83 \text{ m}^3/\text{s}$ 的抽气过滤系统，分别按如下尘源：

转运至贮仓：导管15.24m，肘管3个；

物料搬运：罩：导管9.14m肘管2个；

混合：罩、导管15.24m，肘管2个；

装袋：罩、导管15.24m，肘管2个；

卡车装货：罩、导管18.29m，肘管2个；

导管总费用=27000美元

袋式除尘器费用=49000美元

总投资费=27000+49000=76000美元。

2. 混合厂房内逸散损失

物料搬运的排放量= $0.1 \text{ kg/t} \times 1179 \text{ t/a} = 118 \text{ kg/a}$ 。

假设物料搬运平均控制效率为

$$(0.75 + 0.50 + 0.95) / 3 = 73\% \text{ 即接近似75\%计。}$$

3. 装货作业

卡车装货（散装肥料）的排放量为

$$0.1 \text{ kg/t} \times 1179 \text{ t/a} = 118 \text{ kg/a}$$

以上参数，费用效益比的计算从略。

第十三章 水泥厂

一、工艺概述

硅酸盐水泥（普通水泥）被用来制作许多混凝土建筑物，如房屋、桥梁和公路；也作一些产品，如混凝土砖石构件、混凝土管道、建筑物的许多预制件。在美国，按照对特性的要求，生产五种硅酸盐水泥，如一般建筑用水泥、整体结构使用的缓释热水泥、抗硫酸盐水泥或快硬水泥（早强水泥）。

水泥的原料包括石灰石、粘土或页岩、带铁和含硅的物料。表13-1列出美国生产硅酸盐水泥使用的原料。这些原料，大部分在采石场，由钻孔和爆破而得。然后运至破碎机和筛分设备。经这些工序的产品送至贮仓，再经连续生产过程处理转变成普通水泥烧结块。

干法——原料按一定比例送到干燥磨细装置，干燥和磨细可分开或同步进行。贮存之前，磨细的产品通常用空气分级（即利用空气阻力或颗粒惯性的原理作粒径分级），粒径过大的物料返回磨碎工序。煅烧之前，磨细的产物经掺合后贮存。

湿法——其原料与干法相似，一般还包括天然产生的湿泥灰岩或粘土。开采后，它们可在水洗磨中与其它原料（如石灰石）一起泥浆化，并磨成很细的颗粒，以生产带水的泥浆。这种泥浆在质量控制工序加以调配后再进入转窑，在窑

中水分被赶走、原料混合物被煨烧成普通的水泥烧结块。

表13-1 美国普通水泥使用的原料

| 原 料 名 称 | 1973年的原料使用量 (1000t) |
|--------------------------------|------------------------|
| 钙质的 | |
| 石灰石 (包括文石) | 78652 |
| 胶泥岩 (包括泥灰岩) | 23647 |
| 蚝 壳 | 4667 |
| 泥质的 | |
| 粘 土 | 7195 |
| 页 岩 | 3719 |
| 其它 (包括十字石、铝土矿、铝氧化 物、浮石和火山岩) | 218 |
| 硅质的 | |
| 砂 | 1862 |
| 砂石和石英 | 679 |
| 铁质的 | |
| 铁矿石、黄铁矿、轧钢皮和其它含铁 物质 | 878 |
| 其 它 | |
| 石膏硬石膏 | 3858 |
| 高炉渣 | 619 |
| 飞 灰 | 271 |
| 其 它 | 4 |

煨烧——掺合料 (干法或湿法的) 被直接送入长形、倾斜的转窑, 或先经预热再去转窑。煨烧过程的热产品 (水泥烧结块) 从转窑卸出, 立即进入烧结块冷却器冷却。冷却后, 烧结块与石膏 (重量占5%) 一起在球磨机 (如图13-1) 内磨碎。磨过的水泥经空气分级, 粒径过大者返回球磨机。

然后将磨细的水泥贮存，待包装或散装入铁路车辆、驳船或卡车。

水泥生产的流程和有关的逸散尘排放源列在图13-2中。工厂道路和石灰石开采场（常为水泥厂的组成部分）未包括在本章中，它们在第一章第四节中分别讨论。

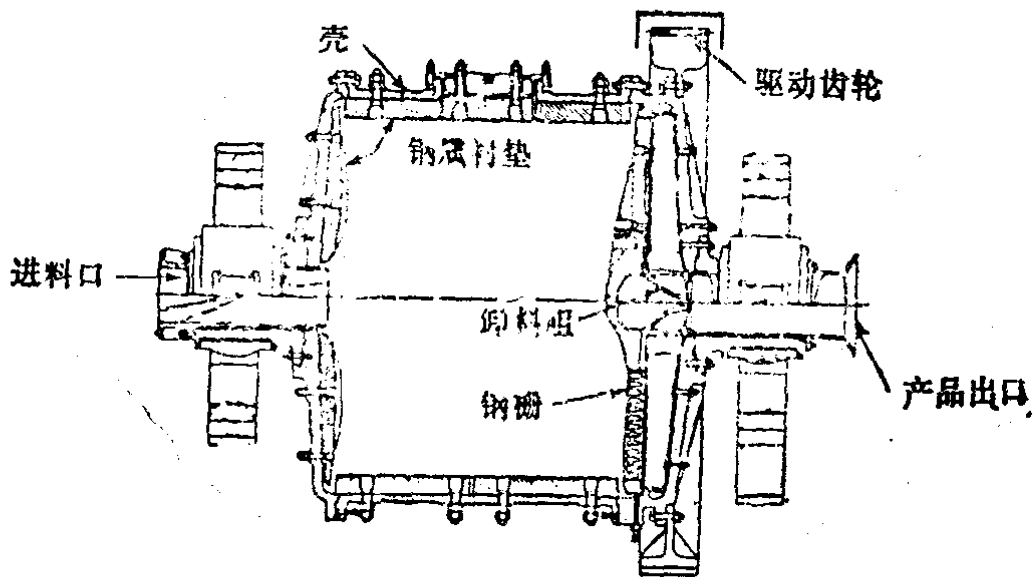
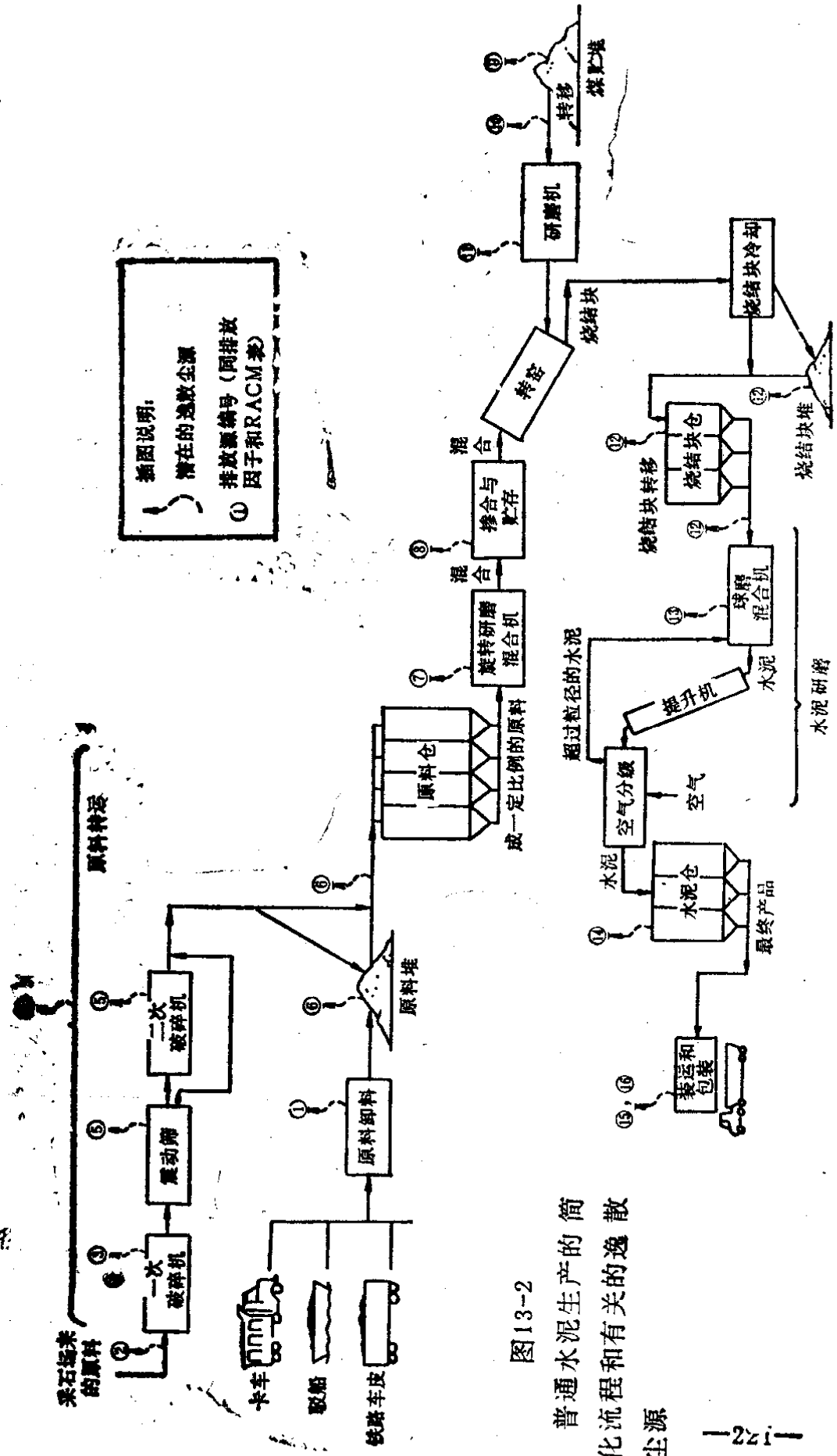


图13-1 典型球磨机的结构

二、逸散尘排放因子

水泥生产的逸散尘的估计排放因子列在表13-2中。全部排放因子或基于工程判断或直观观察。没有推导方法的详细资料。这类因子的可信度是较差的。



插图说明：
潜在的逸散尘源
① 排放源编号（同排放因子和RACM表）

图 13-2

普通水泥生产的简化流程和有关的逸散尘源

表13-2 水泥生产的逸散尘排放因子

| 排 放 源 | 排 放 因 子 | 可信度等级 |
|----------------------------|---------------------------------------|-------|
| 1. 石膏、铁矿石、粘土、石灰石、砂、煤等原料的卸料 | 0.2kg/t (卸煤), 0.015—0.2kg/t (其它卸料) | E |
| 2. 原料装入一级破碎机 | 0.00015~0.02kg/t (装料) | D |
| 3. 一级破碎机 | 0.25kg/t (破碎料) | C |
| 4. 转运和运输 | 0.1~0.2kg/t (搬运料) | E |
| 5. 振动筛和二级破碎机 | 0.75kg/t (过筛和破碎料) | C |
| 6. 卸料口至贮仓 | 1.5~2.5kg/t (卸料) | E |
| 7. 原料磨碎机和喂料、卸料的排气系统 | 0.05kg/t (磨料) | E |
| 8. 原料掺合和贮存 | 0.025kg/t (掺合料) | E |
| 9. 煤的贮存 | 见表2-1 | D |
| 10. 煤转运至磨碎机 | 0.1kg/t (转移) | D |
| 11. 磨碎机泄漏 | 忽略不计 | E |
| 12. 烧结块和石膏磨碎机出口卸料、贮存、装料出仓 | 2.5~5 kg/t | E |
| 13. 最后磨碎机泄漏、喂料、卸料的排气 | 0.05kg/t (水泥) | E |
| 14. 水泥贮仓排气 | 忽略不计 | E |
| 15. 水泥装载 | 0.118kg/t (装料) | E |
| 16. 水泥装袋 | 0.005kg/t (装袋) | E |

三、颗粒特性

普通水泥生产排放的逸散颗粒，其组成与各工序所处理的物料相同，并仅有少量粒径范围的资料可用。烧结块和水泥尘的典型氧化物组成范围如下：

| 化合物名称 | 逸散尘的氧化物组成 (重量%) | |
|--------------------------------|-----------------|-------|
| | 烧 结 块 尘 | 水 泥 尘 |
| 硅 | 19~24 | 18~23 |
| Al ₂ O ₃ | 3~8 | 3~8 |
| Fe ₂ O ₃ | 1~5 | 1~5 |
| CaO | 62~69 | 61~66 |
| MgO | 0~5 | 0~5 |
| SO ₃ | 0~1 | 2~4 |
| 游离石灰 | 0~2 | 0~2 |
| 较少的成分 | 0~1 | 0~1 |

美国政府工业卫生学家会议确定了对人无害的、可容忍的气载化合物的浓度范围。上述氧化物中，氧化铝、氧化铁、氧化镁和游离石灰是能容许较大量存在的讨厌物。硅可以是有毒的，它取决于硅中石英的含量。氧化钙能容许的浓度高达5mg/m³，而二氧化硫高达13mg/m³。

四、控制方法

水泥工厂原料破碎和筛选作业的控制技术基本上与第一章介绍的相同。这些作业一般是封闭的并常常置于地下，以进一步减少逸散尘的逃逸。在一级和二级破碎以及筛选作业的进料点上，普遍采用水喷雾进行湿抑制。在一些工厂中，对贮仓、卸料点、运输转运点采用加罩并排气至主纤维过滤装置。虽然煤尘可用纤维过滤袋收集，但必须注意爆炸的危险。

原料和烧结块搬运过程中产生的逸散尘，常用转运运输带加盖、或转运点封闭（或加罩）并排气至纤维过滤袋进行控制。适当的设计罩、配用0.47~1.89m³/s的风机，能有

效地控制排放量。一些工厂对物料贮堆使用伸缩斜槽或阶梯斜槽，它限制了物料的逸散并减少了物料自由降落的距离。也使用湿抑制方法，但由于可能引起物料质量变坏和搬运特性变化，仅限于对烧结物料和石膏使用。

烧结块的磨蚀性质也可能对气动输送和排气系统的装置（导管、风机等）带来维修和磨损问题。降低气管中气流的速度是一种解决的方法，但由于同时会减小收集效率，在使用上受到限制。

用带式运输机和（或）气动运输系统输送和转运粉状水泥产品，对防止产品损失和空气污染控制来说，常常是最好的限制和控制方法。气动运输系统的空气一般用纤维过滤袋除尘。

烧结块贮存是水泥厂的主要逸散尘源之一。大部分工厂有一些防风贮烧结块的构筑物，但这些部分封闭的结构，大部分不能完全限制从缝隙、装料与卸料作业逸散的排放物。一些工厂采用带有部分边墙的敞口结构，贮存烧结块和其它物料。这样的结构，在强风中，能变成有效的风洞。最有效的控制方法是贮存地区完全封闭并排气至纤维过滤袋。一般工厂具有部分封闭的构筑物，并采用移动的卸料阶梯及排气至纤维过滤袋，可以实际上消除烧结块卸入贮堆的排放物。

从捕集原料和水泥磨碎作业排放尘的罩子以及与之相连的空气分离器和提升机逃逸出的部分粉尘，在一些工厂是明显的，这是由于主除尘控制系统捕集效率低劣造成的。可增加风机压头和主控制系统的排气速率，并重新设计罩子以改进这些作业状况。

球磨机的泄漏，例如紧固球磨机内壁上钢板螺母与螺栓间的橡胶密封垫破坏所造成的泄漏，是值得注意的排放源。周密的维护计划是对这类排放源的最好控制方法。这些磨碎

机常置于一封闭结构中，以防止排放物的逃逸。

水泥贮仓排气（因水泥入仓而置换出的空气）或不予控制，或加盖软纤维保护套，或排气至作为气动运输系统一部分的纤维过滤袋。控制措施的发展趋势是抽气至纤维过滤袋。

散装水泥入卡车、铁路车辆和驳船的作业，典型的方法是重力进料系统，该系统对卡车和铁路车辆装货，用部分封闭法，对驳船则不限制。水泥装袋常在厂房或部分封闭结构内进行。一些工厂，将装货和装袋过程中随置换空气排放的尘排至纤维过滤袋；而其它的工厂则完全没有控制系统。由装货斜槽和外部集中抽气导管排气至纤维过滤袋组成的装货或装袋抽气系统，已被越来越多的工厂采用。

在水泥厂，大部分由纤维过滤袋收集的物料，按循环回路，返回有关的作业点。但在收集物料不能回收利用，而由敞篷卡车运至废料贮场时，则会成为间歇性的严重排放问题。装运作业的湿抑制和封闭、卡车加罩能减少这种排放问题。废料处置地区排放物的控制已在第一章中讨论。

周密的管理包括对运输带载货途中和转运点散落物的常规清除。对磨碎机泄漏和对受到风蚀的堆积物的常规清扫，都是水泥厂整个逸散尘控制计划的非常重要的部分。

表13-3概括出水泥厂可用的控制措施、效率、估计费用和RACM。

五、推荐的合理、可用控制措施

水泥厂逸散颗粒物的RACM列在表13-3中。对原料贮存和处置（一次和二次破碎、过筛、磨碎、运输等）推荐的控制措施是使用化学润湿剂的湿抑制系统。这种系统提供了良好的控制效率（约90~95%），并明显地减少了可见排放

物。在硅酸盐水泥厂已普遍使用这一措施。

对烧结块、石膏及水泥产物的处理和贮存，推荐的控制措施是建筑物封闭并将空气（与尘）抽至纤维过滤系统。其优点不仅是对颗粒物控制效率高，还增加了产品回收的效益。由于湿抑制会损坏物料的质量和搬运特性，故不能使用。采用纤维过滤系统能得到更多的产品，它将有助于补偿这种控制措施的高费用。

表13-3 水泥厂逸散尘源控制措施、效率、费用和RACM

| 逸散尘源 | 可用的控制措施 | 控制效率(%) | 控制费用 1980.1 美元 | | 费用效益比 (美元/kg) | 选择的RACM |
|---------------------------|-------------|-----------------|------------------------|--------------------|---------------|-----------|
| | | | 投资费 | 年费用 | | |
| 1. 石膏、铁矿、粘土、石灰石、砂和煤等原料的卸料 | 封闭、排气至纤维过滤袋 | 99 | 87400 ^a | 21000 ^b | 0.64 | 湿抑制 (化学的) |
| | 封闭 | 50 ^c | 15000 ^d | 2600 | 0.15 | |
| | 湿抑制(化学的) | 95 ^e | 64000 ^f | 15700 ^b | 0.009 | |
| 2. 原料装入一级破碎机 | 封闭、排气至纤维过滤袋 | 95 ^g | 130000 ^h | 33000 ^b | 0.018 | 湿抑制 (化学的) |
| | 湿抑制(化学的) | 90 | 费用包括在源1. 的湿抑制中 | | 0.009 | |
| 3. 一级破碎机 | 封闭、排气至纤维过滤袋 | 95 | 费用包括在源2. 的封闭、排气至纤维过滤袋中 | | 0.018 | 湿抑制 (化学的) |
| | 湿抑制(化学的) | 90 | 费用包括在源1. 的湿抑制中 | | 0.009 | |
| 4. 原料转运和运输 | 封闭、排气至纤维过滤袋 | 99 | 费用包括在源2. 的封闭、排气至纤维过滤袋中 | | 0.018 | 湿抑制 (化学的) |
| | 湿抑制(化学的) | 95 | 费用包括在源1. 的湿抑制中 | | 0.009 | |
| 5. 振动筛、二级破碎机 | 湿抑制(化学的) | 90 | 费用包括在源1. 的湿抑制中 | | 0.009 | 湿抑制 (化学的) |
| | 封闭、排气至纤维过滤袋 | 95 | 费用包括在源2. 的封闭、排气至纤维过滤袋中 | | 0.018 | |

续表

| 逸散尘源 | 可用的控制措施 | 控制效率(%) | 控制费用 1980.1 美元 | | 费用效益比 (美元/kg) | 选择的RACM |
|-----------------|-------------|---------|-----------------------|-----|------------------|-----------------------------|
| | | | 投资费 | 年费用 | | |
| 6. 破碎机出口至贮堆(原料) | 封闭、排气至纤维过滤袋 | 99 | (同上) | | 0.018 | 湿抑制(化学的) (干法生产)不控制(湿法生产) |
| | 可调斜槽 | 75 | (见第一章) | | 无可用数据 | |
| | 湿抑制(化学的) | 95 | 费用包括在源1.的湿抑制中 | | 0.009 | |
| 7. 原料磨碎和喂料的排气系统 | 湿抑制(化学的) | 90 | (同上) | | 0.009 | 湿抑制(化学的) (干法生产)不控制(湿法生产) |
| | 封闭、排气至纤维过滤袋 | 95 | 费用包括在源2.的封闭、排气至纤维过滤袋中 | | 0.018 | |
| 8. 原料掺合与贮存 | 封闭、排气至纤维过滤袋 | 95 | (同上) | | 0.018 | 湿抑制(化学的) |
| | 湿抑制(化学的) | 95 | 费用包括在源1.的湿抑制中 | | 0.009 | |
| 9. 煤的贮存 | | | | | | |
| 送料上堆 | 封闭 | 70~99 | (见第一章) | | 无可用数据 | 湿抑制(化学的) |
| | 湿抑制(化学的) | 80~90 | (同上) | | (同上) | |
| 风蚀 | 可调斜槽 | 75 | (同上) | | (同上) | 湿抑制(化学的) |
| | 封闭 | 95~99 | (同上) | | (同上) | |
| | 湿抑制(化学的) | 90 | (同上) | | (同上) | |
| | 洒水 | 50 | (同上) | | (同上) | |
| | 风屏 | 非常低 | (见第一章) | | 无可用数据 | |
| 10. 将煤转运至磨碎机 | 湿抑制(化学的) | 80~90 | (同上) | | 同上 | 湿抑制(化学的) |
| | 洒水 | 50 | (同上) | | 同上 | |
| | 重力喂料入运输机 | 80 | 无可用数据 | | 同上 | |
| 11. 煤磨碎机的泄漏 | 操作改进和维护计划 | 不清楚 | 同上 | | 同上 | 操作改进和维护计划 |

续表

| 逸散尘源 | 可用的控制措施 | 控制效率 (%) | 控制费用 1980.1 美元 | | 费用效益比 (美元/kg) | 选择的 RACM |
|----------------------|----------------------|-----------------|-------------------------|--------------------|---------------|----------------------|
| | | | 投资费 | 年费用 | | |
| 12. 烧料和石膏的卸料、贮存、出料 | 可调斜槽 | 75 | (见第一章) | | 同上 | 封闭、排气至纤维过滤袋 |
| | 封闭、排气至纤维过滤袋 | 95~99 | 130000 ^h | 33000 ^h | 0.022 | |
| 13. 最后磨碎机和泄漏和进料的排气系统 | 封闭、排气至纤维过滤袋加上良好的作业计划 | 95 | 费用包括在源12. 的封闭、排气至纤维过滤袋中 | | 0.022 | 封闭、排气至纤维过滤袋加上良好的作业计划 |
| | 气动运输 | 99 | 99000 ⁱ | 21200 ⁱ | 1.06 | |
| 14. 水泥仓排气 | 排气至纤维过滤袋 | 99 ^c | 费用包括在源12. 的同项中 | | 0.022 | 排气至纤维过滤袋 |
| | 排气至过滤袋 (软纤维保护罩) | 99 | 无可用数据 | | 无可用数据 | |
| 15. 水泥装运 | 可调斜槽 | 75 | (见第一章) | | 无可用数据 | 排气至纤维过滤袋 |
| | 排气至纤维过滤袋 | 99 | 费用包括在源12. 的同项中 | | 0.022 | |
| 16. 水泥装袋 | 排气至纤维过滤袋 | 99 | 同上 | | 0.022 | 排气至纤维过滤袋 |
| | 过饱和进料 | 75 | (见第一章) | | 无可用数据 | |

注: a. 费用根据0.5m×0.5m×0.38m的密封罩和喷射脉冲布袋集尘室(空气体积流率为4.7m³/s, 空气和布的比例为6.5:1)。

b. 每年作业3000小时。

c. 工程判断。

d. 6m×6m×9m的密封罩。

e. 可见排放物减少至零(偶然可见5%浑浊度)。

f. 68t/h的通过量。包括卸料、一级破碎机入口和出口、二级破碎机入口和出口、料堆的出料和转运点的湿抑制费用。

g. 按破碎作业的尘控制效率估计。

h. 空气体积流率为9.4m³/s。

i. 费用参照石灰生产的运输费(见第三章)。

六、典型费用计算 (使用的参数)

水泥厂的平均生产能力 = 403200t/a

1. 原料卸出

排放量 (煤的卸料) = $0.2\text{kg/t} \times 79088\text{t/a} = 15817\text{kg/a}$

排放量 (其它物料卸料)

$$= \left(\frac{0.015 + 0.2}{2} \text{kg/t} \right) \times 161061\text{t/a}$$
$$= 17314\text{kg/a}$$

总排放量 = 33131kg/a

2. 装原料入一级破碎机

$$\text{排放量} = \left(\frac{0.0015 + 0.02}{2} \text{kg/t} \right) \times 590770\text{t/a}$$
$$= 6351\text{kg/a}$$

3. 一级破碎机

排放量 = $0.25\text{kg/t} \times 590763\text{t/a} = 147691\text{kg/a}$

4. 转运和运输 (原料)

排放量 = $0.15\text{kg/t} \times 590763\text{t/a} = 88614\text{kg/a}$

5. 振动筛和二级破碎机

排放量 = $0.75\text{kg/t} \times 590616\text{t/a} = 442962\text{kg/a}$

6. 磨碎机出口至贮堆 (原料)

排放量 = $2\text{kg/t} \times 590173\text{t/a} = 1180346\text{kg/a}$

7. 原料磨碎和进料、出料的排气系统

排放量 = $0.05\text{kg/t} \times 588994\text{t/a} = 29450\text{kg/a}$

8. 原料掺合和贮存

排放量 = $0.025\text{kg/t} \times 588965\text{t/a} = 14724\text{kg/a}$

9.10. 煤的贮存、转运至磨碎机 见第一章

11. 煤磨碎机的泄漏 无可用数据

12. 烧结块和石膏磨碎机出口的卸料、贮存和出料

$$\text{排放量} = \left(\frac{2.5 + 5}{2} \text{kg/t} \right) \times 404576 \text{t/a} = 1517160 \text{kg/a}$$

13. 最后磨碎机泄漏和进料、出料的排气系统

$$\text{排放量} = 0.05 \text{kg/t} \times 403184 \text{t/a} = 20159 \text{kg/a}$$

14. 水泥仓排气

$$\text{排放量} = 0.00005 \text{kg/t} \times 403161 \text{t/a} = 20 \text{kg/a}$$

15. 水泥装运

$$\text{排放量} = 0.118 \text{kg/t} \times 375031 \text{t/a} = 44254 \text{kg/a}$$

16. 水泥装袋

$$\text{排放量} = 0.005 \text{kg/t} \times 28099 \text{t/a} = 140 \text{kg/a}$$

费用效益比的计算从略。

第十四章 铁合金厂

一、工艺概述

铁合金是铁和一种（或多种）其它金属的合金。用于炼钢生产的铁合金，是将非铁的金属作为合金元素或脱氧剂掺入铁水中。铁合金有三种主要类型：硅基型，它包括硅铁和硅钙；锰基型，它包括锰铁和锰硅；铬基型，它包括铬铁和硅铬铁。其它的铁合金包括钛铁、铌铁、钨铁和钒铁。

虽然有几种工艺都可生产铁合金，但采用电冶炼炉生产的铁合金占总量的75%以上。因此，这一工艺将在本章介绍并概括于图14-1中。其它工艺，如电解法、真空法，则没有值得注意的颗粒物排放。

如图所示，原料，如铬矿石、石灰石、石英（硅石）、煤、木柴和废铁，一般从漏斗形底卸式车辆卸下并送至露天贮堆。当需用时，将这些原料送至破碎机，然后，经筛选和干燥，再由运输机和斗式提升机送至原料贮仓。这些物料通过重力作用从贮仓至称量进料器（用作原料的专门混合器）。称重、掺合后的原料，用斗式提升机和带式运输机送入装料贮斗，原料靠重力从贮斗卸入冶炼炉。

在浸入式电弧炉中，碳电极从炉顶伸到炉底附近。图14-2表示出该炉的典型简图。电极发生电弧，放出热量，在电极周围的温度可达2204~2760℃。这样的温度可以由碳还原所出现的金属氧化物，并熔化装入炉内的原料。各种杂质被

插图说明：
潜在的逸散尘源
排放源编号（同排放
因子和RACM表）
①

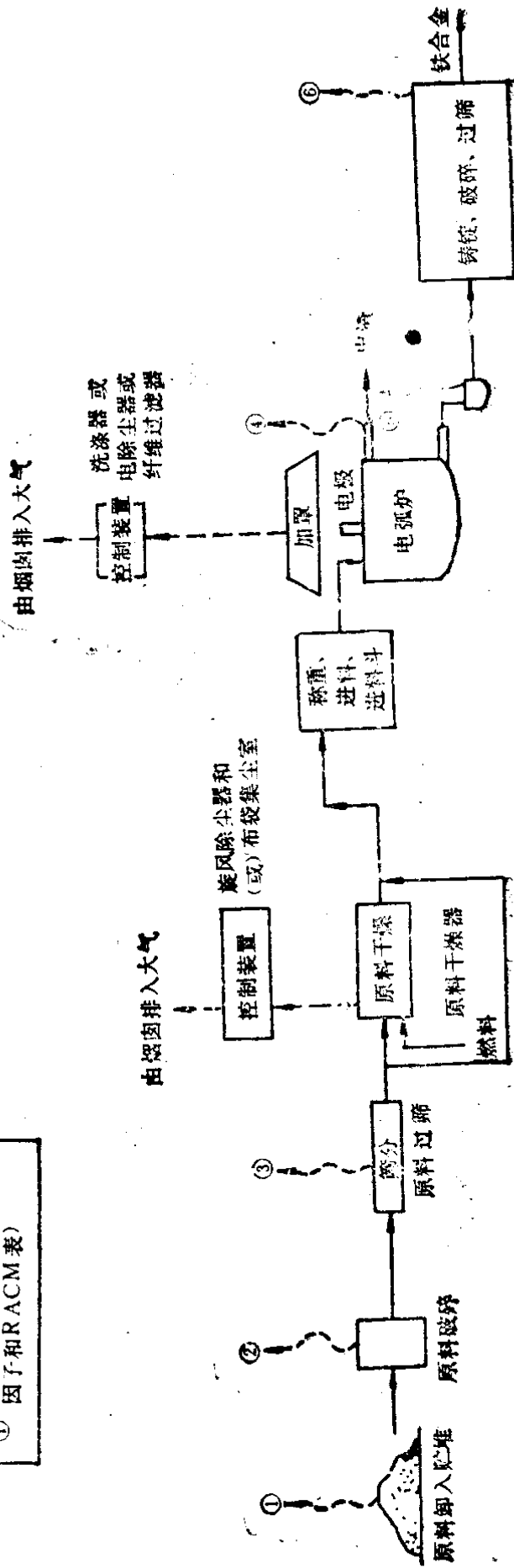


图14-1 铁合金厂简化流程及有关逸散尘源

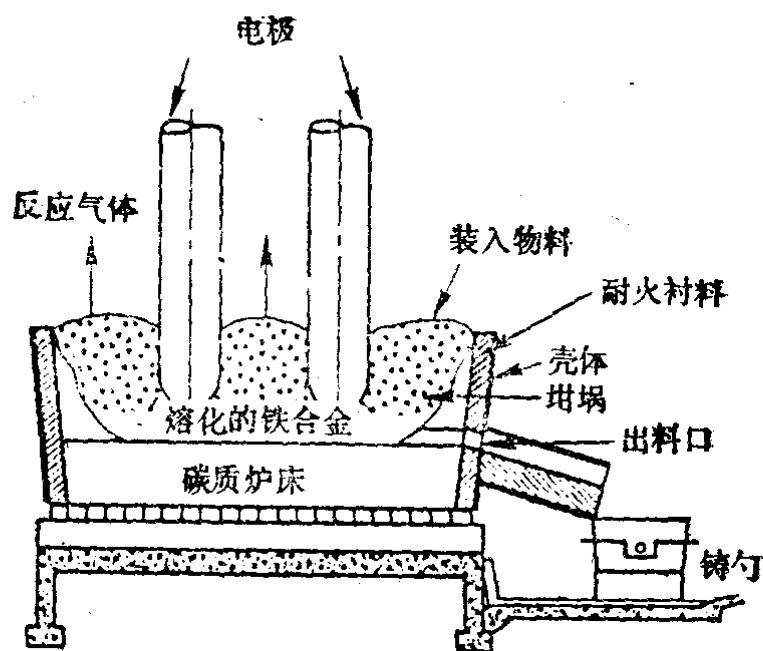


图14-2 用于铁合金生产的浸入式电弧炉

分离成渣而浮在熔化的铁合金之上，熔化的铁合金则集中于冶炼炉的底部。冶炼炉的平均生产能力约为109t/d, 或36280 t/a。

熔化的产品从炉底流出进入浇铸勺，并随即送至铸造间注入砂型。经冷却固化成形后，破碎、筛选至需要的尺寸并贮存起来。产品从贮仓取出，装包再出厂。

铁合金制造厂有几个逸散尘源，如图14-1所示，这些排放源如下：

1. 原料卸出和贮存
2. 原料的破碎
3. 原料的筛选
4. 电弧炉的装料和冶炼
5. 冶炼炉出料
6. 浇铸、破碎和筛选

在所列出的这些排放源中，逸散尘的最大排放源是冶炼炉。

二、逸散尘排放因子

表14-1介绍了各生产工序的逸散颗粒物排放因子。这些因子是基于对铁合金工业的研究，并具有中等的可信度。

从表可以看出，电弧炉运行和出料的排放因子，都较其它源的大。其引用的数值是半封闭式冶炼炉，在电极周围出现泄漏时的中间值。硅铁合金生产的排放因子高于锰铁合金的，这是因为它需要更高的炉温。

铸造车间引用的排放因子包括浇铸作业、破碎和筛选作业的全部排放物。要得到这些排放源的单个排放因子，则还没有可用的数据。

表14-1 铁合金生产的逸散尘排放因子

| 排放源 | 排放因子 | 可信度等级 |
|-------------|---|-------|
| 1. 原料卸出和贮存 | 1.4kg/t (贮料) | D |
| 2. 原料的破碎 | 2.0kg/t (破碎料) | D |
| 3. 原料的筛选 | 2.25kg/t (过筛料) | D |
| 4. 冶炼炉装料和熔炼 | 2.5 ^a —7.75 ^b kg/t(熔炼料) | C |
| 5. 冶炼炉出料 | 6.0kg/t (出料) | D |
| 6. 浇铸、破碎和筛选 | | |
| a. 浇铸 | 1.2kg/t (铸件) | D |
| b. 产品破碎和磨细 | 3.6kg/t (破碎和磨细料) | D |

注：a. 使用锰铁合金（半封闭式炉）。

 b. 使用硅铁(50%)合金(半封闭式炉)。

三、颗粒特性

由原料搬运过程排入大气的颗粒物的性质与原料的性质

相同。产生的颗粒的粒径范围为 $3\sim 100\mu\text{m}$ 。并具有 $560\sim 1602\text{kg}/\text{m}^3$ 的体积密度。

从电弧炉冶炼、出料和浇铸作业中散发出的颗粒的粒径很小，已报导的粒径范围为 $0.1\sim 1\mu\text{m}$ 。其体积密度较低，为 $64\sim 480\text{kg}/\text{m}^3$ 。颗粒物的化学成分随生产的具体合金而变化。硅合金产生的一种灰色烟气，含有高百分率的二氧化硅。硅铬铁合金产生二氧化硅和氧化铬的排放物。生产锰铁合金，则产生一种棕色烟气，含有二氧化硅和氧化锰。在所有合金生产中，还有另外一种颗粒物成分，就是碳。它由原料中碳质还原剂而来。其它合金也同样产生金属氧化物的排放物（如氧化钒、氧化钛等）。

产品合金的破碎和筛选所排放的金属颗粒，其粒径范围为 $3\sim 100\mu\text{m}$ ，粉尘的化学成分与生产的合金成分相同。

调查文献中，还没有发现与排放颗粒物毒性有关的任何数据。从半封闭电弧炉排出的气体，含有较大比例的一氧化碳。

四、控制方法

表14-2中列出可选用的各种源的控制方法。

原料通常露天贮存，建议选用湿抑制和在贮堆迎风面设置风障。

对原料破碎和筛选排放物的控制，可将粉尘通过罩盖排至机械集尘器或纤维过滤袋。

半封闭式冶炼炉的逸散尘，可由环绕电极的入口密封件的维护或使用辅助罩盖抽气至纤维过滤袋，或两者合用来控制。这些控制措施仅能控制电极周围的逸散排放物。点源的气态流出物排至控制装置，如高压文丘里氏洗涤器或纤维过

表14-2 铁合金厂逸散尘源的控制技术、效率、费用和RACM

| 逸散尘源 | 可选用的控制技术 | 控制效率 (%) | 控制费用 1980.1 美元 | | 费用效益比 (美元/kg) | 选择的 RACM |
|-----------------|----------------|-----------------|---------------------|---------------------|---------------|---------------------------|
| | | | 投资费 | 年费用 | | |
| 1. 原料卸出和贮存 | 湿抑制 | 50 | 11000 ^a | 7000 ^a | 0.29 | 湿抑制和风障 |
| | 风障 | 40 | 35000 ^b | 7000 ^c | 0.35 | |
| 2. 原料的破碎 | 加罩、排气至纤维过滤袋 | 90 ^d | 61000 ^e | 18000 ^f | 0.29 | 加罩、排气至纤维过滤袋 |
| | 加罩、排气至机械集尘器 | 80 ^g | 30000 ^h | 6000 ^h | 0.11 | |
| 3. 原料的筛选 | 加罩、排气至纤维过滤袋 | 90 ^d | 61000 ^e | 18000 ^f | 0.24 | 加罩、排气至纤维过滤袋 |
| | 加罩、排气至机械集尘器 | 80 ^g | 30000 ^h | 6000 ^h | 0.09 | |
| 4. 冶炼炉装料 (半封闭式) | 电极入口密封件的维护 | 80 | 不清楚 | 不清楚 | 不清楚 | 带纤维过滤袋的辅助罩和电极入口密封件的维护 |
| | 带纤维过滤袋的辅助罩 | 90 ^d | 61000 ^e | 18000 ^f | 0.07 | |
| 5. 冶炼炉出料 | 加罩、排气至新增纤维过滤袋 | 90 ^d | 600000 | 200000 | 1.01 | 加罩并导入现有的除尘装置 |
| | 加罩并导入现有的除尘装置 | 90 ^d | 不清楚 | 不清楚 | 不清楚 | |
| 6. 浇铸、破碎和筛选 | 破碎作业加罩并导至纤维过滤袋 | 50 ⁱ | 130000 ^j | 47000 ^j | 0.40 | 破碎和筛选作业加罩并导至纤维过滤袋 (浇铸不控制) |
| | 建筑厂房排气至纤维过滤袋 | 90 | 390000 ^o | 130000 ^o | 0.84 | |

- 注:
- a. 按一个作业点的水喷雾抑制估计。
 - b. 按贮堆迎风面筑栏阻墙估计。
 - c. 按墙的维护和投资费用分期偿还估计。
 - d. 集尘罩 (90%效率) 与纤维过滤袋 (保持99.9%效率者) 联用的效率。
 - e. 纤维过滤袋具有4.7m³/s的流量。
 - f. 纤维过滤袋具有4.7m³/s的流量, 每年运行8400小时。
 - g. 按机械集尘器 (效率90%) 和集尘罩 (效率90%) 联合的效率估计。
 - h. 根据控制在环境温度下操作的数据估值。
 - i. 按辅集颗粒与铸造间排放总量之比, 估计效率。
 - j. 按废气排放速率9.4m³/s估计。

滤袋，废气通过烟筒排入大气。

合金冶炼出料的排放物，可通过装在出料槽上方的罩盖和风道与单独的纤维过滤袋连接，或导至冶炼炉现有的排放物主除尘装置。但如用吹风吹料，由于出料排放物被强制逐散，其控制就不可能实现。

铸造车间的逸散尘是由合金浇铸作业和产品破碎及筛选过程产生的。可采用加罩，并将具体地点的排放物排至纤维过滤袋，或建筑厂房抽气至一台单独的大容量纤维过滤装置，来实现控制。

五、推荐的合理、可用控制措施

表 14-2 中列出各种排放源的推荐 RACM。选择这些 RACM，是根据安装容易，符合地方管理条例和工业上的习惯作法。

对原料卸出和露天贮存，推荐湿抑制并结合使用风障，这是由于容易实现并且行之有效。工厂道路和贮堆粉尘的控制，请参阅第一章。

对原料破碎和筛选排放的控制，基于工业上的习惯作法，推荐用纤维过滤袋。这一控制系统能符合地方管理条例中的浑浊度和颗粒负荷 ($0.0686\text{g}/\text{m}^3$)。破碎和筛选排放物可排至一共用的粉尘收集器，以节省分装两台的费用。收集的粉尘很容易再回到生产过程中去，由此防止了原料的损失。

如表 14-2 所述，冶炼炉环绕电极的入口密封件的维护费用是不清楚的。于是，选择罩盖与纤维过滤袋合用，成为更受欢迎的控制方法。

对熔化金属出料推荐的 RACM，是将排放物排至冶炼

炉现有的除尘装置。这项费用难于估计，因为由一个装置到另一装置，各合金厂变化很大。一些工厂，还由于冶炼炉除尘装置的能力限制或设备结构问题，这种选择不可能实现。在这些情况下，由于出料排放的重要性，推荐新增一台除尘装置。

对铸造车间作业推荐的RACM是从具体的排放点（如破碎、磨碎、筛选）收集和捕捉排放物。提出这种办法，是因为它保持了厂房内较为清洁的环境，同时也避免了装一台大型纤维过滤装置的厂房改造困难。对浇铸没有推荐控制措施。对铸造排放物唯一可行的控制选择，是厂房抽气至纤维过滤袋。但是，这一措施并未显示费用的有效性，因为需要大容积的空气排气和大尺寸的纤维过滤装置。而且，在俄亥俄州典型的铁合金生产厂，铸造一般在许多场所或建筑厂房内进行。由于所列的建筑厂房抽气至纤维过滤袋的费用效益仅代表控制一间建筑厂房的数值，对进行铸造的附加厂房的控制，则不会是经济有效的。

六、典型费用计算（使用的参数）

假定平均生产能力 = 36280t/a

1. 原料卸出和贮存

排放量 = $1.4\text{kg/t} \times 36280\text{t/a} = 50800\text{kg/a}$

2. 原料破碎

排放量 = $2.0\text{kg/t} \times 36280\text{t/a} = 72600\text{kg/a}$

3. 原料筛选

排放量 = $2.25\text{kg/t} \times 36280\text{t/a} = 81600\text{kg/a}$

4. 冶炼炉装料和冶炼（半封闭式）

排放量 = $7.75\text{kg/t} \times 36280\text{t/a} = 281200\text{kg/a}$

5. 冶炼炉出料

$$\text{排放量} = 6\text{kg/t} \times 36280\text{t/a} = 217700\text{kg/a}$$

6. 浇铸、破碎和筛选

$$\text{排放量 (浇铸)} = 1.2\text{kg/t} \times 36280\text{t/a} = 43500\text{kg/a}$$

$$\begin{aligned} \text{排放量 (破碎和筛选)} &= 3.6\text{kg/t} \times 36280\text{t/a} \\ &= 130600\text{kg/a} \end{aligned}$$

费用效益比的计算从略。

第十五章 废金属综合利用厂

一、工艺概述

废汽车的破碎，包含了大多数废金属综合利用作业。图15-1说明这一过程的主要工序及其逸散尘的潜在源。首先将汽车压缩（一定要在综合利用厂），以便把它们喂入破碎机或锤磨机。发动机、油箱和其它金属部件常在挤压前就封闭在汽车内，以增加废金属重量。压缩后的汽车送入破碎机（一般由吊机送入），可燃的燃料（油）预先清除，再行压缩和破碎，以免破碎时由于摩擦产生热量，引起燃油的着火或爆炸。一些破碎机装有喷水装置，可以减少逸散颗粒的排放和热量的生成。

废金属综合利用厂排放物的另一来源，是乙炔切割站。在这里，当用乙炔气切割枪切割汽车各种部件时，可燃物常常猛烈地着火。这些切割站可产生明显的烟气排放物。

破碎后的物料，一般用带式输送机送走，经振动器和磁力分离器，从碎片中分离出铁质物料。用堆料输送机将铁质物料送露天堆场，也可用前端式装载机或带式输送机装入卡车、火车或驳船。将非铁碎片堆贮起来，以便最后运去回收或处理。

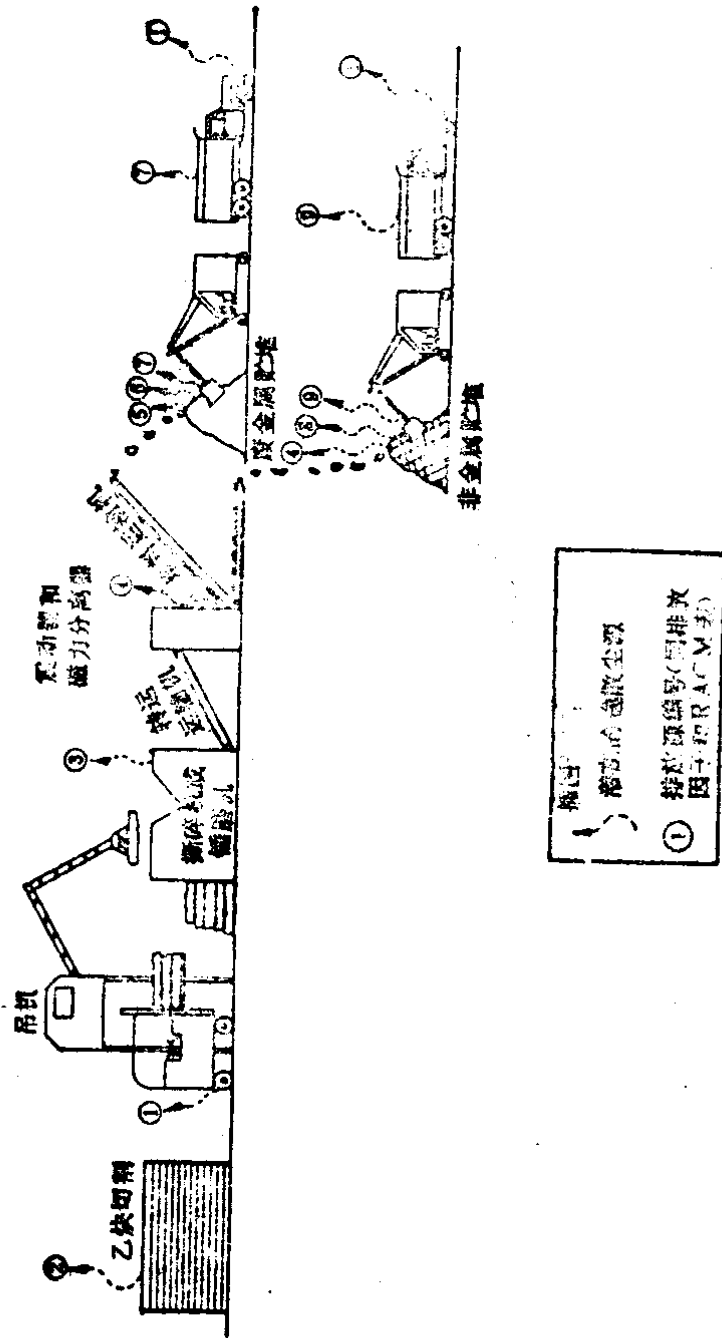


图15-1 废金属(汽车)综合利用厂流程图和潜在的逸散尘源

二、逸散尘排放因子

据文献调查，废金属利用厂的排放物还没有定量化，甚

至也没有发现其他可类比作业具体的排放因子。要推算出废金属利用厂的可靠排放因子，还须对这种工厂的上述几种作业进行全面的试验。由于数据缺乏，未作逸散尘排放因子的估计。

三、颗粒特性

对废金属利用厂排放颗粒物的粒径和密度，没有可用的资料。尽管铁质物料搬运和贮存过程排放逸散尘，非铁物料的搬运、贮存和破碎作业中的燃烧烟气才是主要的逸散尘源。非铁物料的颗粒物，其主要组成是：汽车坐垫或沙发的纤维物（约占80%），锈（约占15%），污物和泥土（约占5%）。由于破碎作业有燃烧发生，经测验其烟气达到80~90%的浑浊度水平。每日常有一或二次出现。

四、控制方法

可供选择的逸散尘源的控制方法列在表15-1中，并附有估计的控制效率和费用。与废汽车破碎作业有关的更重要的问题，包括废汽车载运、破碎作业本身和非铁物料搬运的排放。前端式装载机的移动和卡车在未铺筑路面上行走也可能成为逸散尘的主要问题。控制物料搬运作业和铺筑路面尘有许多可用的方法。这些方法已在第一章的第一节和第三节中详细讨论。

当乙炔切割站发生意外着火时，消防灭火器可用来灭火，同时也消除了烟气的发生。应该采用正确的切割操作，以防止这样的火灾。

对废金属利用厂，使用文氏管洗涤器是常见的。用风力

收集和风送粉尘（包括纤维“绒毛”物质）至洗涤器，有助于控制破碎机的逸散损失。湿破碎也可用来抑制很多排放颗粒。内部喷水适用于“干式”破碎系统，改进了对粉尘的控制。两种作业系统（干式或湿式）中产生的摩擦，可能点燃汽车内含的可燃物质。去除带有可燃液体的发动机和变速箱，有助于避免爆炸和减少蓝烟造成的高浑浊度。发动机和变速箱除尽可燃液体后，再分别送入破碎机。这类预防措施，可减少爆炸和火灾引起的停机，从而提高生产力。

磁力分离器和运输带转运点也产生逸散尘。汽车破碎装置使用低能耗的旋风除尘器或湿式洗涤器来控制这些排放源。这些系统也有助于分离和去除较轻的非铁碎片。旋风除尘器收集的物料先被贮存起来，再进行处置。在副产品回收前，较重的物料碎片也被运至贮存点。对这些作业的排放物控制，封闭是比旋风除尘器或湿式洗涤器更有效的方法，但由于初期费用高，在工业中未普遍采用。

铁和非铁物料的搬运（送入或卸出贮堆），封闭技术表现出对逸散尘控制的最大效果。另外运输机减少了物料自由降落的距离也可减少尘的排放。湿抑制也可用来控制产品和非铁物质的损失。

碎料贮堆的风蚀也可用封闭、风障和湿抑制。这些技术见第一章第二节。

五、推荐的合理、可用控制措施

对废金属利用厂逸散尘源的RACM列于表15-1。

对乙炔切割作业的意外着火，推荐使用良好的操作习惯进行预防，也推荐使用灭火器迅速灭火。对破碎作业，推荐的控制技术是执行去除全部可燃液体的措施，并同时使用湿式

表15-1 废金属利用厂逸散尘控制技术、效率和费用RACM

| 逸散尘源 | 可用的控制技术 | 控制效率 (%) | 控制费用 1980.1美元 | | 费用效益比 (美元/kg) | 选择的 RACM |
|--------------------|------------------------------|---------------------|------------------------|---------------------|---------------|------------------------------|
| | | | 投资费 | 年费用 | | |
| 1. 运输 (未铺砌道路) | (见第一章第一节) | (见第一章第一节) | | | | 浇油或铺筑路面 |
| 2. 乙炔切割 | 使用灭火器 | 100 | 无可用的数据 | | 无可用的数据 | 使用灭火器 |
| 3. 破碎机 | 排气至湿式洗涤器 | 90%~99% | 100000 ^a | 36000 ^a | b | 排除可燃液体再破碎并排气至湿式洗涤器 |
| | 排除可燃液体并排气至湿式洗涤器 | 75%~90% | — | 120000 ^d | b | |
| | 湿抑制和冷却 | 50~75% | 50000 ^e | 11000 ^e | b | |
| 4. 磁力分离器和非铁物料上露天贮堆 | 用旋风除尘器或湿式洗涤器分出轻物料, 运送重的碎片至贮堆 | 90~95 ^f | 300000 ^f | 92000 ^f | b | 用旋风除尘器或湿式洗涤器分出轻物料, 运送重的碎片至贮堆 |
| | 封闭 (运输机用伸缩斜槽) | (见第一章的第三节) | | | | |
| 5. 运送铁物料上露天堆场 | 可调运输机加湿抑制 | 50%~85 ^g | 1200 ^g | 3000 ^g | b | 可调运输机加湿抑制 |
| | 封闭 (运输机带伸缩斜槽) | (见第一章第三节) | | | | |
| 6. 铁碎片贮堆 | 湿抑制 | 50 ^h | 1200 ^h | 3000 ^h | b | 湿抑制 |
| | 风障 | 非常低 | 无可用的数据 | | 无可用的数据 | |
| | 封闭 | 95~99 ⁱ | 300000000 ^h | 无可用的数据 | b | |
| 7. 铁物料的搬运和装货 | 控制操作步骤和湿抑制 | 50~85 ^j | 1200 ^j | 3000 ^j | b | 控制操作步骤和湿抑制 |
| | 封闭 (运输机带伸缩斜槽) | (见第一章第三节) | | | | |
| 8. 非铁物料贮堆 | 湿抑制 | 50 ^k | 1200 ^k | 3000 ^k | b | 湿抑制 |

续表

| 逸散 尘源 | 可用的控 制技术 | 控制效率 (%) | 控制费用 1980.1美元 | | 费用效 益比 (美元/ kg) | 选择的 RACM |
|-----------------------|----------------------------------|--------------------|---------------------|-----------|--------------------------|--------------------|
| | | | 投资费 | 年费用 | | |
| 9. 非铁物 料的搬运 和装运 | (贮在工 厂) | 非常低 | 无可用数据 | | | |
| | 风障 | | | | | |
| | 封闭 | 95~99 ⁱ | 300000 ^h | 无可用 数据 | b | 控制操作 步骤和湿 抑制 |
| 控制操作步骤 和湿抑制 | 50 ^e ~85 ^e | 1200 ^g | 1300 ^g | b | | |
| 封闭(运输机 带伸缩斜槽) | | (见第一章第三节) | | | | |

- 注: a. 投资费用包括3.2mm厚的碳钢板的文氏管洗涤器、肘管、分离器、泵和控制器(由法兰至法兰)。运行费用根据大约23.6 m³(空气)/s, 压差降为508mm的装置估计的。
- b. 由于缺乏排放因子, 费用效益比未算出。
- c. 效率的估计是根据观察和工程判断。
- d. 根据大约每年生产废铁块54420t, 预处理费为压实汽车, 每吨2.2美元。
- e. 采用干式破碎机带水喷雾系统者, 估计除尘控制效率为75%。厂家装置投资费用一般在25000~75000美元。系统操作自动化。所需劳力(按每日计)为开、停系统之用, 按每人每小时2美元计。每年运行费用包括直接和固定折旧费。
- f. 控制系统效率是基于工程判断。整套系统费用包括两台旋风除尘器(4.8mm厚碳钢板和101.6mm厚耐热内衬制成)和一台洗涤器进气速度为23.6m³/s)。旋风除尘器的安装费为原设备价的130%。每年运行费用包括直接费用和固定折旧费, 直接运行费用按安装费的11%确定的。
- g. 投资费用是根据水管和消防站的装置费估计的。每年生产费用包括直接和固定折旧费。
- h. 根据最大贮堆规格为61m×30.5m×7.6m, 贮堆封闭体积最少为14158m³, 而每m³为139.5~331.3美元的投资。
- i. 根据工程判断估计。

破碎和将破碎机气体排至湿式洗涤器。这些措施已用于工厂并在减少逸散尘上非常有效。对磁力分离器和运输作业的推荐控制技术是使用旋风除尘器或湿式洗涤器。铁和非铁物料进出贮堆的搬运可使用可调运输机以减少自由降落距离，并在进料和出料之前采用湿抑制，以减少风失。湿抑制也被推荐用于减少贮堆的风蚀。

第十六章 纸浆和造纸厂

一、工艺概述

造纸生产的基本工艺是破坏木材中与纤维素结合的木质素，纤维素（或纸浆）是纸和浆板的原料。

溶解木质素常用的几种化学工艺，主要有硫酸盐纸浆（如牛皮纸）、亚硫酸盐纸浆和中性亚硫酸盐半化学纸浆。纸浆生产工艺采用的步骤有所不同，但所有的工艺都是以木屑为基础原料而着手加工的。

木屑可以从市场购买或厂内生产，原木首先用机械剥皮，然后在高速切片机中切成粒片，其尺寸约为 $2.54\text{ cm} \times 2.54\text{ cm} \times 0.48\text{ cm}$ 。木屑经筛选后贮存备用。图16-1介绍了这些纸浆原料预处理步骤及潜在的逸散尘源。

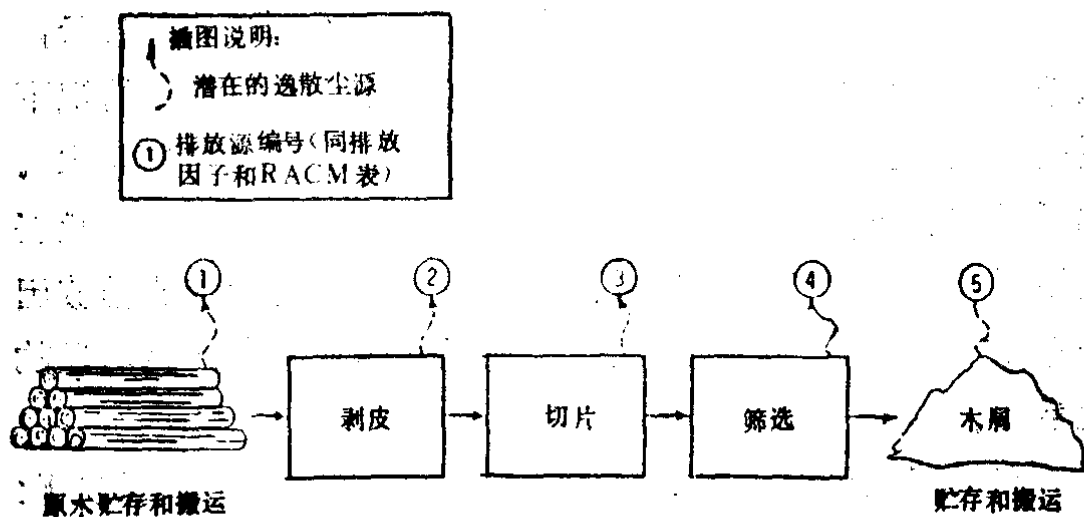


图16-1 纸浆造纸厂木浆生产中原料预处理的简化流程和有关逸散尘源

纸浆生产的第一步，木屑被送入蒸煮锅，在锅中木屑与溶解木质素的化学液一同蒸煮。由于可以用几种不同化学液溶解木质素，制浆过程因此不同。但从逸散尘的观点看，这些工艺都是湿作业，因此都不是逸散尘源。

为了良好的经济效果，纸浆工艺的黑液需进行钠和硫的回收。在这项回收过程中，浓缩的黑液被喷入回收炉，由木材来的碳元素被烧掉，剩余的水被蒸发掉，钠被转变成融化的碳酸钠或硫化钠。这些熔融的盐被重新溶于水中，生成“绿液”，然后用石灰净化和苛化。产生的溶液含氢氧化钠与硫酸钠，被称为“白液”。“白液”再返回蒸煮锅。

苛化产生的碳酸钙从“白液”中滤出，并送至燃油或燃气的窑炉。在窑炉入口，含35%水分的碳酸钙被干燥，然后在1300℃分解成氧化钙和二氧化碳。

二、逸散尘排放因子

纸浆厂原木剥皮、切片、搬运排放逸散尘量的数据很少。一份资料估计原木处理作业仅有可忽略不计的排放量，这似乎是合理的。特别是在纸浆厂通常接受湿态原木情况下更是如此。原木剥皮的排放因子为0.012kg/t（剥皮原木）。如果原木剥皮在湿原木上进行或使用湿剥皮法，则排放量将是不明显的。对切片、筛选、搬运或贮存没有确定的排放因子范围。但由于木屑为大尺寸的，这些作业并不产生明显的逸散尘。

在纸浆或造纸厂最明显的逸散尘排放源或许是石灰贮存、搬运和转运作业。这些作业基本上与第三章介绍的石灰厂相同。另外的逸散尘源是工厂运输道路。这些源的情况已在第一章详细介绍。

三、颗粒特性

纸浆和造纸厂排放的逸散颗粒的特性没有可以利用的资料。颗粒物包括加工带来的木屑、附着在木料上的污物和灰尘以及运输中带来的树皮。

石灰尘的特性已在第三章中论及。

四、控制方法和推荐的合理、 可用控制措施

由于原木搬运、贮存、切片、筛选和木屑搬运及贮存作业都是不重要的逸散尘源，没有推荐的控制方法。在湿态情况下的原木，本身就是良好的控制技术。一般物料的搬运与贮存作业的控制技术已在第一章中论及。

石灰搬运作业的控制技术已在第三章中论及。

第十七章 木材加工厂

一、工艺概述

这类工厂包括排放各种逸散颗粒物（如木刨花、磨床尘和锯屑）的木材、树皮或木材副产品的任何加工作业。这些木材加工作业可以包括去（树）皮、锯木、刨平、切片、成形、制模、弯拱、镟、钻、刻和砂磨。在下列工厂中都可找到这些作业：锯木厂；胶合板厂、碎料板厂和硬质纤维板厂；家俱厂和其它木制品制造厂。

由于使用木材加工作业的工业众多，且采用多种木材加工装置，对每个工业全部工艺过程进行描述，会超出本书的范围。但对采用多种木材加工装置的制材和家具制造业的主要工艺过程，将作为代表进行讨论。

家具制造厂可使用原木、板、枋材作原料。这种选择通常取决于制成的最终产品的体积和类型。但任一情况下，都在锯木厂对采伐的树木进行初步加工。

砍伐的树木用卡车、或在河中漂浮而下，或由拖船牵引原木筏或木排，转运至锯木厂。在锯木厂，或堆积于地上，或使用原木池贮存。为了便于搬运，较大的原木在截段工序锯成较短的长度。

然后原木使用下面五种机械之一除去树皮：鼓式去皮机、环式去皮机、袋式去皮机、水力去皮机和刀盘去皮机。环式和刀盘去皮机是干法，而其它三种是用水的湿法。

原木被锯成一定长度后，再按标准规格纵向剖成板枋

材。

然后，板枋材在环境温度或窑炉内干燥，再转运至家具厂。

在家具制造厂，可以增设空气或窑炉干燥工序。为了防止由于天然木材中高水分引起的家具挠曲或收缩，而需要窑炉干燥。天然木材包含大约60~70%水分，而窑炉干燥过的木材含5~8%的水分。

在家具制造厂有五个主要加工区，即(1)粗加工，(2)精加工，(3)砂磨，(4)组装，(5)涂漆。

粗加工区，板枋材被锯成要求的近似尺寸，并去除天然缺陷。这里通常使用的加工作业包括锯、刨平和画线。

细加工可以包括锯、成形、铰、开榫眼和挖刻等加工作业。

砂磨常用来完成平滑的木面。通常用机械打磨而不用手磨。

组装作业通常包括将木块粘胶或钉肘钉连接在一起，如果需要时，对组装块可作小量的手磨。

涂漆通常包括对产品作表面涂层和干燥。最后，对完工家具进行检查，包装、运给顾客。

木材加工作业，如刨平、砂磨和锯木，在家具厂和其它木材加工厂都在厂房内完成，并有气动运输系统以去除工作间的木材废屑。在木材加工作业中为了去除极大量的木材废屑，需要这样的运输系统，否则废屑将堆积起来。收集废屑于一中心收集点以作最后处置，这种运输系统也是方便的。这些气动运输系统通常包括已开孔的盖罩，以捕集木材加工装置抛出的废末。罩盖部分用管导至旋风除尘器和(或)纤维过滤袋。用排气风机提供抽出大部分废屑所需的风量。常用贮仓来收集由旋风除尘器和(或)纤维过滤袋捕集的废

屑。

大直径的旋风除尘器比纤维过滤袋使用更广泛，这主要是前者便宜些，且很少需要维修，耗能也适度。在明显出现粉末状的细木尘或砂磨机尘的地方，或木屑尘达到不能忍受的地方，一般使用纤维过滤袋。纤维过滤袋捕集废木屑是高效的，常常与去除效率较低，但能去除大部分较大木屑粒的旋风除尘器或冲击式集尘器联用。

旋风除尘器的设计是基于空气体积和被处理废料的类型。在砂磨尘占主要地位的木材加工作业点，使用直径小于0.9m的高效旋风除尘器。对大颗粒占主要地位的作业点，直径高达2.4m的旋风除尘器都是有效的。但许多作业点采用木材和树皮打碎机来减小颗粒粒径，以便于运输和（或）用于燃烧木材的锅炉（见图17-1）。对产生各种粒径废末的木材加工作业，采用中等直径的旋风除尘器。

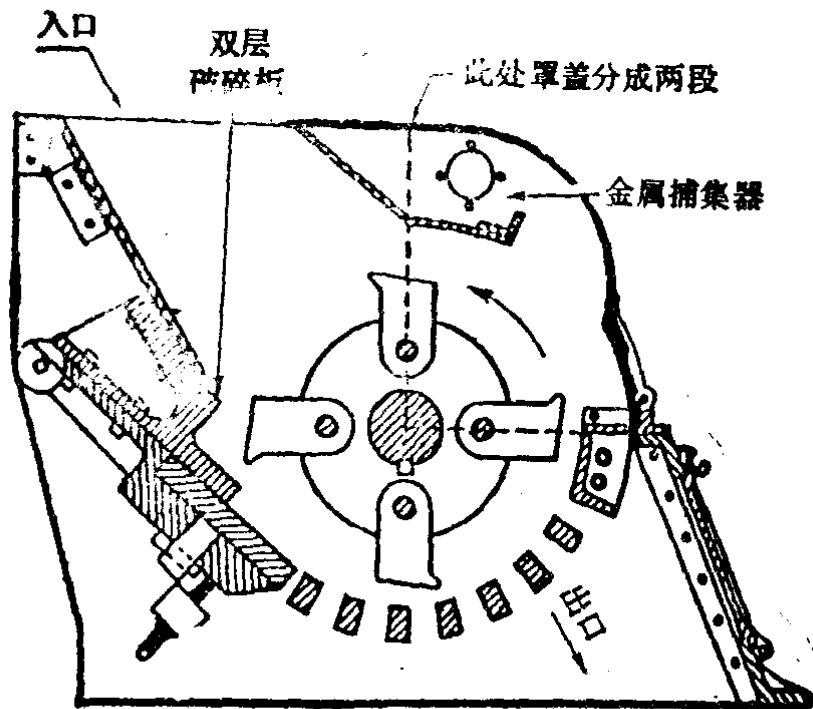


图17-1 典型木材打碎机的横切图

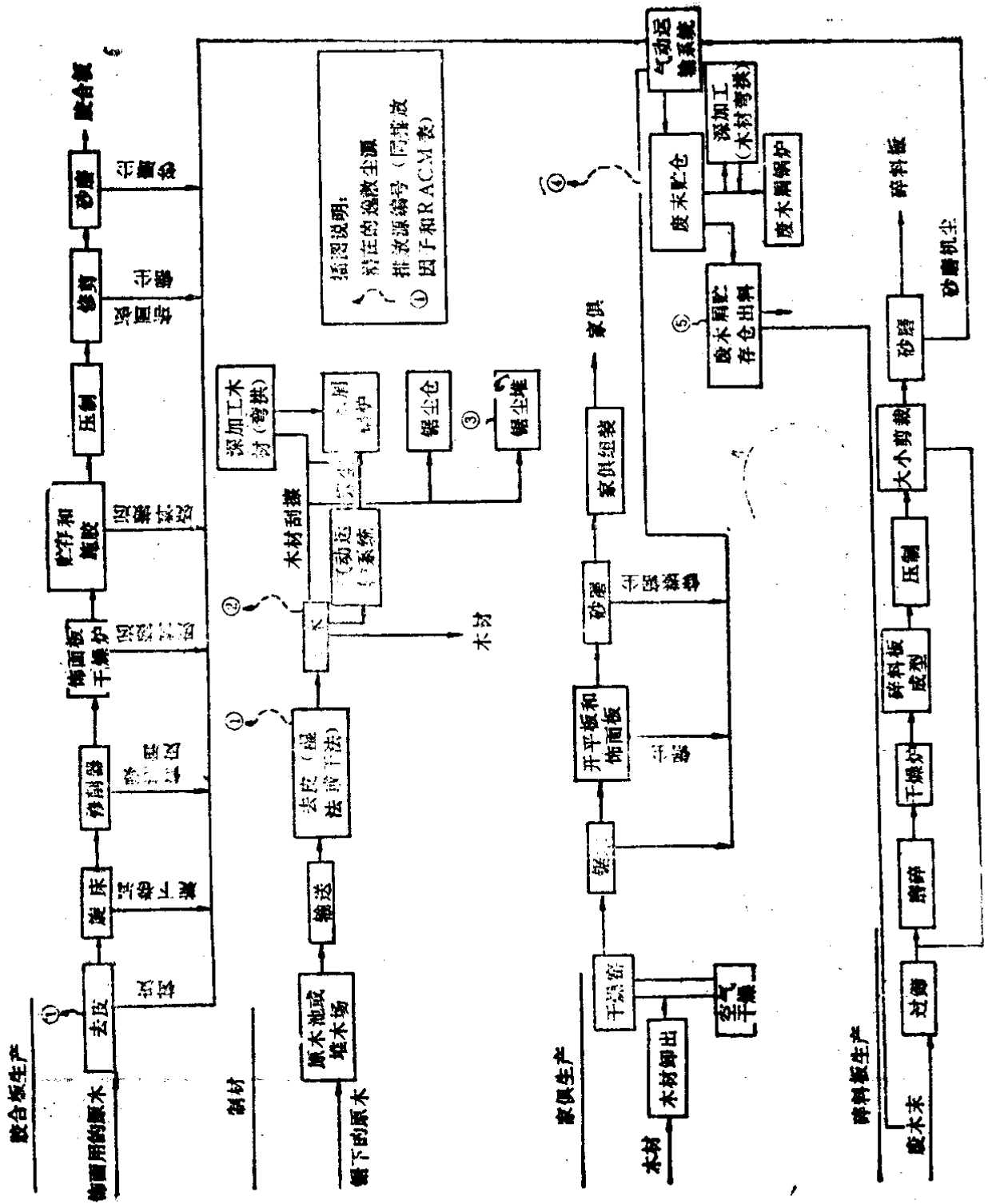


图 17-2
几种木材加工厂的
简化流程图和
有关的逸散尘源

气动运输系统逸出的废木屑和从门窗、通风系统逸出的相比，一般是不明显的。在家具厂和其它木工厂使用的单个作业排放的逸散尘可忽略不计，故本章不予考虑。对在室内作业，采用气动运输系统和旋风除尘器的任何木材加工作业，通常把旋风除尘器当作排放源，而不考虑单个木材加工作业。因此，旋风除尘器被当作已控制的源，也就是一个点源。

在图17-2中介绍了制材、家具、胶合板和碎料板的工艺流程。图中标出潜在的逸散尘源。它们是：锯木厂的原木去皮；锯木和锯末堆的装料、卸料和贮存；家具、胶合板或碎料板或任何相似木材加工厂的原木去皮（在饰面和胶合板厂）、废木屑贮仓排气和出料。其它的逸散尘源，如工厂道路，已在第一章中讨论。

二、逸散尘排放因子

各种木材加工厂逸散尘排放源的估计排放因子概括在表17-1中。原木去皮、锯料、锯末堆的进料和出料，贮存的排放因子是基于物料平衡和工程判断粗略估计的。木材废料贮仓排气和出料的排放因子仅基于工程判断。因此，考虑这些因子只有较差的可信度。

表17-1 木材加工作业的逸散尘排放因子

| 排 放 源 | 排 放 因 子 | 可 信 度 等 级 |
|-------------------------|-----------------|--------------|
| 1.原木去皮（锯木厂） | 0.012kg/t（去皮原木） | E |
| 2.锯末（锯木厂） | 0.175kg/t（锯原木） | E |
| 3.锯末堆的进料、出料 和贮存（锯木厂） | 0.50kg/t（贮存废木屑） | E |
| 4.废木屑贮仓通气 | 0.50kg/t（贮存废木屑） | E |
| 5.废木屑贮仓出料 | 1.00kg/t（废木屑出料） | E |

原木搬运和截段，在锯木厂中被认为是可忽略的逸散尘源，故无排放因子列出。

三、颗特粒性

锯木厂排放的逸散颗粒物主要含树皮碎屑和锯末。另外，由泥土和尘埃产生的颗粒，则是包埋于原木树皮中的尘土，在卸料、拖运、去皮和贮存作业中变成气载颗粒物。

锯木厂作业排放逸散颗粒的粒径仅有非常有限的可用数据。一份研究报告指出，堆木场中锯木作业产生的颗粒物，大约91%的粒径大于 $991\mu\text{m}$ ，少数的粒径小于 $30\mu\text{m}$ 。因此，在大气中能作较长时间悬浮的颗粒数量可能很少。

对家具制造厂或其它木材加工厂，逸散颗粒粒径也仅有非常少的可用的公开数据。一份有关红雪松家具厂的研究报告称，该厂在主要木材加工作业处装有气动排气系统，工厂环境中大部分悬浮颗粒的粒径均小于 $2\mu\text{m}$ 。

木材加工作业产生的废木屑的粒径变动较大，可以小于 $1\mu\text{m}$ ，也可高达几厘米。这类木材加工作业的废木屑粒径大小取决于许多因素，如作业的类型、加工木材的类型和切割木材工具的锋利程度。

作业类型明显影响产生的木材废屑的粒径，例如，木材弯拱的锤磨机将产生各种粒径的颗粒，而打砂机仅产生细颗粒，其它类型机械产生的废木屑一般粒径较大，较为一致，且粒径很少小于 $10\mu\text{m}$ 。

加工木材的类型也影响产生的废木屑的粒径。例如，硬木通常倾向于碎裂成微小碎片和较小的颗粒，而软木则倾向于撕裂和扯成条。

使用的切割工具的锋利度也影响废木屑的粒径。钝的切

制工具倾向于增加木材的撕裂或扯碎。由此产生较大的粒径。

为了作木材废料的相对粒径的比较，表17-2中列出用作锅炉燃料的木材残渣的典型组成的大概粒径范围。

表17-2 木材残渣典型组成的大概粒径范围

| 成 分 | 粒径范围 (mm) |
|-------------|------------|
| 树 皮 | 0.79~101.6 |
| 粗木材残渣 | 0.79~101.6 |
| 平刨屑 | 0.79~101.6 |
| 锯 末 | 0.79~9.53 |
| 砂磨机尘 | 0.002~0.79 |
| “粗糙面精加工”的弃屑 | 0.01~6.35 |

木材加工作业排放的逸散颗粒物一般被认为对健康无害、对财富无损失，但在某些条件下，这些排放物也能成为讨厌的问题。对已用有毒的防腐剂(如五氯苯酚)处理过的木材加工废屑的适当收集和处置，在任何情况下都应形成惯例。五氯苯酚是一种有害的化学剂，并为致癌物。

四、控制方法

木材加工厂逸散尘源的控制方法，包括工业中已使用的典型方法、非典型的方法以及技术上可行而尚未使用的方法。

在原木去皮作业中，如工厂采用湿法去皮，通常不需要额外的控制措施。如果要求进一步对逸散尘进行排放控制，可在去皮前，将原木保持湿状态贮存。已有原木池的工厂，原木即可保存在原木池内。无原木池的工厂，则可装备湿贮存池。使用干法去皮作业者，在去皮前，原木可用湿贮存控

制。如果湿贮存不可能实现，则对去皮作业可以全封闭或安装固定罩并吸尘至旋风除尘器或纤维过滤袋。旋风除尘器或纤维过滤袋，虽然在技术上是可行的，在原木去皮作业中，并未使用。总的来看，木材加工工业中，无论干法或湿法去皮，现在都没有通用的逸散尘控制技术。事实上，这样的作业，在无论什么情况下，都没有采用控制技术。

对锯木厂的锯木作业的逸散尘，工业上使用的典型控制技术是加罩并吸气至旋风除尘器。使用纤维过滤袋代替旋风除尘器是一种技术上可行的选择，但在木材加工工业中并未普遍使用。最后，使用较薄的锯片，将有助于减少产生的逸散尘，并导致木材更有效的利用而受益。

对锯木堆的进料、出料和贮存逸散的尘，可使用湿抑制技术来控制，虽然它还不是这个工业的典型控制技术。而更普遍的控制技术是尽可能很快的处理掉锯末，使锯末堆的体积减至最小。对具有燃烧木材锅炉或加工锯末作业（即碎料板）的工厂，由气动输送系统直接吹锯末入这些锅炉或加工过程，可部分或全部免除锯末堆的上堆、卸堆和贮存过程。如没有上述装备者，也应养成习惯，及早去除堆场的锯末。

近年来，锯木厂和其它木材加工厂已较容易处置它们的木材废屑。传统的情况是：用干燥窑处理过的木材加工所产生的废屑有较高的售价，而湿的废屑则基本上没有价值。近期，使用湿的木材废料作燃烧木材锅炉的燃料、或用于某些加工生产者（例如，生产压缩木材地板）正在增多。

前已述及，锯木、刨平、砂磨和其它木材加工作业通常在室内完成，没有任何逸散尘逸至室外，同时用气动输送系统控制。

木材废屑贮存排气的逸散尘常常用筛网作部分控制。如果筛网用一简单非吸气式的纤维过滤袋（袖袋过滤器）代替，

则可较大地减少排放量。图17-3介绍了在水泥仓中安装和使用的这种系统。

对废木屑贮仓出料的逸散尘，可使用贮仓出料口至卡车间的伸缩管来减少排放。伸缩管减少自由降落距离，并由此减少逸散排放。伸缩管与卡车的帆布盖罩及边裙合用，将提供进一步的控制。要达到更大的逸散尘控制，可对出料地区尽可能多的进行封闭，或封闭并排气至旋风除尘器或纤维过滤袋。一般说来，也可使用其它类型的斜槽，但不如伸缩斜槽可调，并有较多的逸散尘排放。

控制技术、效率、估计费用和RACM选择，列在表17-3中。

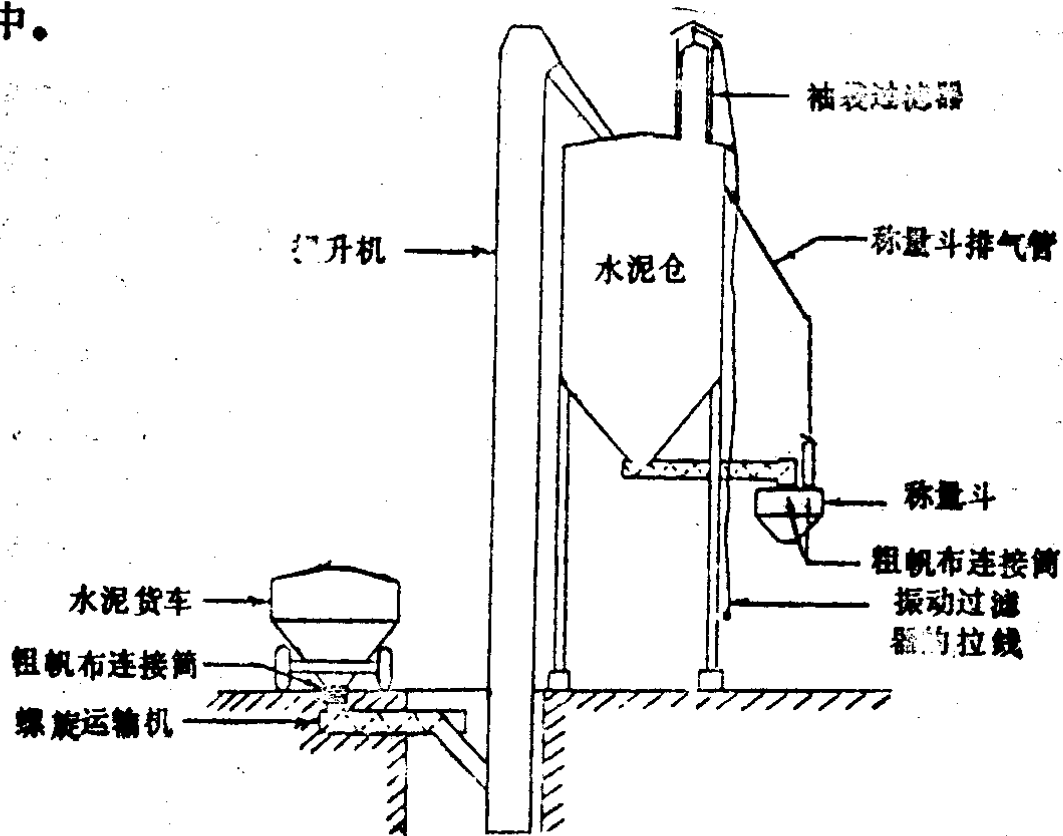


图17-3 接收和贮存水泥系统

五、推荐的合理、可用控制措施

木材加工作业逸散尘源的RACM选择列在表17-3中。

对原木去皮，推荐不控制。所有的可选择控制措施，都由于这个作业排放量较少而费用效益不好。

表17-3 木材加工厂逸散尘源的控制技术、费用、效率和RACM

| 逸散尘源 | 可选用的控制技术 | 控制效率 (%) | 控制费用 1980.1美元 | | 费用效益比 (美元/kg) | 选择的RACM |
|-----------------------|----------------|-----------------|---------------------|---------------------|------------------|--------------|
| | | | 投资费 | 年费用 | | |
| 1. 原木去皮 (锯木厂) | 去皮之前湿贮存 | 95 ^a | 173000 ^b | 21500 ^c | 112.43 | 不控制 |
| | 封闭 | 100 | 15000 ^d | 2600 ^d | 12.85 | |
| | 加罩、排气至旋风除尘器 | 80 ^a | 166000 | 26000 ^e | 202.82 | |
| | 加罩、排气至纤维过滤袋 | 99 | 306000 | 126600 ^f | 632.72 | |
| 2. 锯木 (锯木厂) | 加罩、排气至旋风除尘器 | 80 ^a | 59500 | 10900 ^g | 5.22 | 加罩、排气至旋风除尘器 |
| | 加罩、排气至纤维过滤袋 | 99 | 122000 | 42000 ^f | 16.38 | |
| 3. 锯末堆的进料、出料和贮存 (锯木厂) | 湿抑制 | 50 ^a | 24500 ^h | 7300 ^h | 12.92 | 伸缩筒 |
| | 封闭 (水泥筒仓) | 100 | 260600 ⁱ | 34900 ^j | 30.86 | |
| | 伸缩筒 | 75 | 8560 | 1150 ^j | 1.34 | |
| | | 不清楚 | — | — | 无可用数据 | |
| 4. 木材废料贮存仓排气管 | 筛网纤维过滤袋 (非吸气式) | 99 ^k | 5000 | 670 | 0.99 | 纤维过滤袋 (非吸气式) |
| 5. 木材废料贮存仓出料 | 伸缩筒 | 75 | 8560 | 1150 ^j | 1.34 | 伸缩筒 |
| | 封闭 (3边) | 60 ^l | 27700 | 6100 | 7.47 | |
| | 封闭、排气至旋风除尘器 | 80 | 87200 ^m | 17000 ^m | 15.61 | |
| | 封闭、排气至纤维过滤袋 | 99 ^k | 149700 ⁿ | 48100 ⁿ | 35.71 | |

注: a. 根据工程判断。

b. 湿贮存的投资费用是基于9300m²初次澄清系统的费用。

c. 假设年运行和维修费用可忽略不计。年费用是按30年使用期和年投资的12%确定的。

- d. 根据 $6\text{ m} \times 6\text{ m} \times 9\text{ m}$ 的封闭罩。
- e. 年维修费用系按 $1.38\text{ 美元}/(\text{m}^3\text{ 空气} \cdot \text{s}^{-1})$ 估计的, 运行费用按年运行3000小时, 每小时运行费1.70美元估计, 年费用系按20年使用期和投资费的12%确定的。
- f. 年费用系按20年使用期和每年投资费的12%计。
- g. 每年维修费用按 $138\text{ 美元}/(\text{m}^3\text{ 空气} \cdot \text{s}^{-1})$ 估计, 运行费用按 2000 h/a 及 0.42 美元/h 估计, 而年费用系假设20年使用期和年投资费的12%计。
- h. 按 11.3 t/h 用量和 2000 h/a 的运行时间估计。
- i. 基建投资费用基于封闭贮存, $221.4\text{ 美元}/\text{m}^3$ 。
- j. 年费用按20年使用期和投资费用的12%计。
- k. 根据 $4.65 \sim 5.54\text{ m}^2$ 的纤维过滤装置估计的。
- l. 从第六章表6-3卡车卸料项获得。
- m. 投资和年费用系基于与锯木厂锯木过程使用的类似旋风除尘器系统和三边封闭的费用。
- n. 投资和年费用系基于与锯木厂锯木过程使用的类似纤维过滤袋系统和三边封闭的费用。

对制材厂的锯木作业控制, 推荐加罩并排气至旋风除尘器。虽然这一控制技术的费用效益比 (5.29 美元/kg) 是高的, 但用导管接其它木材加工作业的尘至此系统并未减少除尘效率, 便能达到经济的尺度, 因而许多锯木厂现在采用这样的系统。

对锯末堆的进料、出料和贮存, 选择伸缩筒以减少废木料的自由降落距离。也可使用风屏, 以减少逸散性排放。

对木材废料贮仓排气管逸散尘排放的控制, 推荐非吸气型纤维过滤袋。这种系统是经济有效的, 并可实现无可见尘排放。

六、典型费用计算 (使用的参数)

典型锯木厂和家具生产厂具有下列的生产数据:

1. 锯木厂;

原木去皮 16858t/a

原木锯材 14802t/a

锯木搬运 2261t/a

2. 家具厂:

使用板枋材 4082t/a

贮存废木屑 1360t/a

木材废料贮仓出料 1360t/a

费用效益比计算从略。

第十八章 粒料加工厂

一、工艺概述

粒料加工厂生产由石块或矿渣颗粒组成的产品，并被分成特定粒径范围的级别。粒料也可由砾石或碳酸盐沉积和火山灰岩获得。它已广泛地用作道路的基础物料并作为水泥混凝土、沥青混凝土的组成成分。它也用于农业、玻璃生产、金属精炼、防火材料和废水处理。

美国俄亥俄州主要有三种粒料来源。它们是(1)砂和砾石，(2)碎石，(3)炼铁高炉和炼钢炉的炉渣。

砂和砾石基本上是松散的天然沉积物，它包含各种粒径的石头颗粒。砂被定义为能通过4号筛的任何粒料，而砾石则是保留在4号筛上的任何石头颗粒或卵石。

在俄亥俄州，碎石产品由石灰石或白云石组成。这些物料实际上是出现在河床或地层中的坚硬石料，而它们一般需要钻孔和爆破以粉碎成足以加工的小碎片。1977年俄亥俄州，碎石生产量大约为4000万吨。

矿渣是冶金作业的非金属的副产品，由钙和其它金属的硅酸盐或铝硅酸盐组成。矿渣被用作天然粒料的代用品。

这里仅涉及粒料加工厂的逸散尘排放源，而不包括采矿或采石作业的。对采矿作业的逸散尘排放资料，读者可参阅第一章第四节。

这里讨论的粒料加工厂是破碎、研磨、筛选和分级成各类产品的生产厂。粒料加工厂采用的具体加工过程取决于粒

料的类型、顾客对粒径和杂质含量的要求规范。砂和砾石、碎石和矿渣的加工厂流程图分别在图18-1~18-3中介绍。下文将详细讨论每种加工过程。

砂和砾石沉积物采用捞取或挖掘，取决于沉积物的位置。由机动铲、索斗铲、缆索起重机或吸砂泵挖取。然后经过抽吸泵、运土机、驳船、卡车或运输带转运至加工厂。

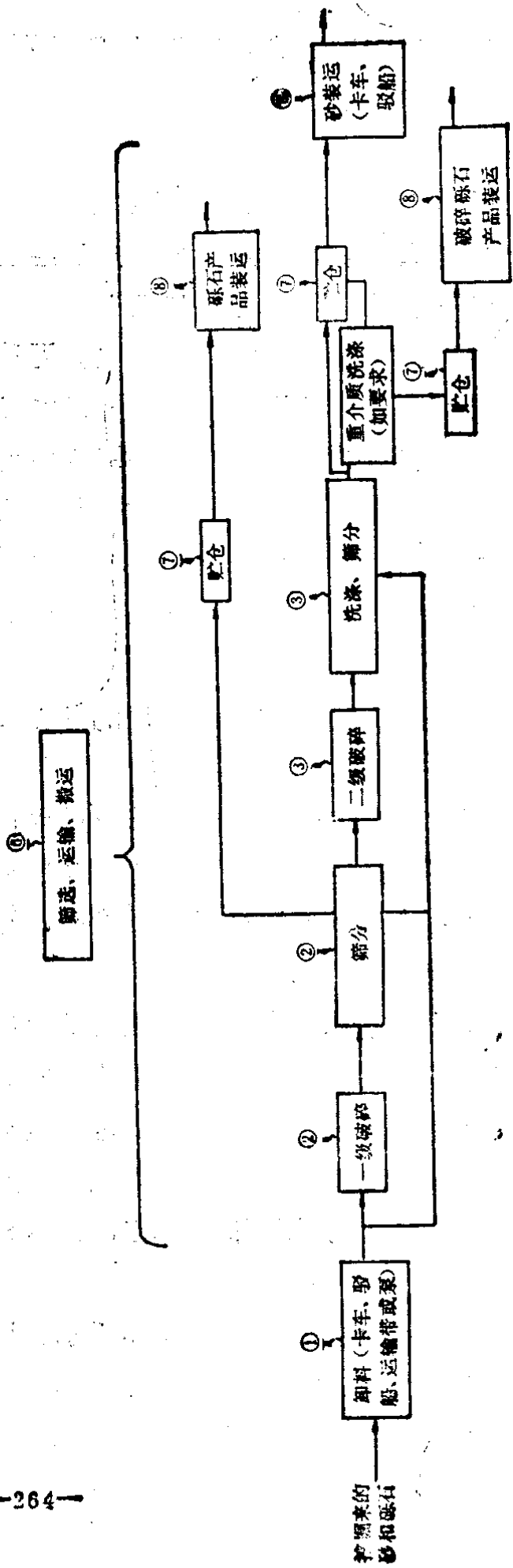
在加工厂里，粒料根据工厂的产品和粒料的类型可采用各种加工作业。典型的砂和砾石加工厂可以包括一级和二级破碎、筛选、运输、洗涤和重介质洗涤、出料和装料活动、露天或封闭贮存成品物料和部分加工物料。砂和砾石加工作业和其它物料加工厂明显不同之处在于：使用较少的装置，且一般原料和材料是湿的，因此，比破碎石料和矿渣的加工厂排放较少的逸散尘。

砂和砾石作业一般生产多种系列的不同粒径的砂和砾石以及碎砾石产品。

典型碎石加工厂的作业包括一级、二级和三级破碎；过筛；运输；洗涤；出料和装料；露天或封闭贮存成品物料和部分加工的粒料。这些作业生产多种粒径的碎石产品，包括开采出的毛石块和农用石灰粉。

典型矿渣加工厂的作业，从铁路车辆卸出热熔渣至渣坑开始，然后由空气冷却、水喷射冷却或水浸渍矿渣冷却。冷却后，矿渣被挖起、运至卸料地区。其后的加工过程包括一级和二级破碎、筛选、运输、除铁、装料、露天或封闭贮存成品物料和部分加工物料。也可对矿渣进行干化，但这样的加工过程很少进行。

这些作业可以生产各类矿渣产品，如图18-3所示。用那些可以在大气条件下固化的熔渣，生产空气冷却的矿渣产品。膨胀矿渣系用控制数量的水处理熔渣，以加速固化和增多孔

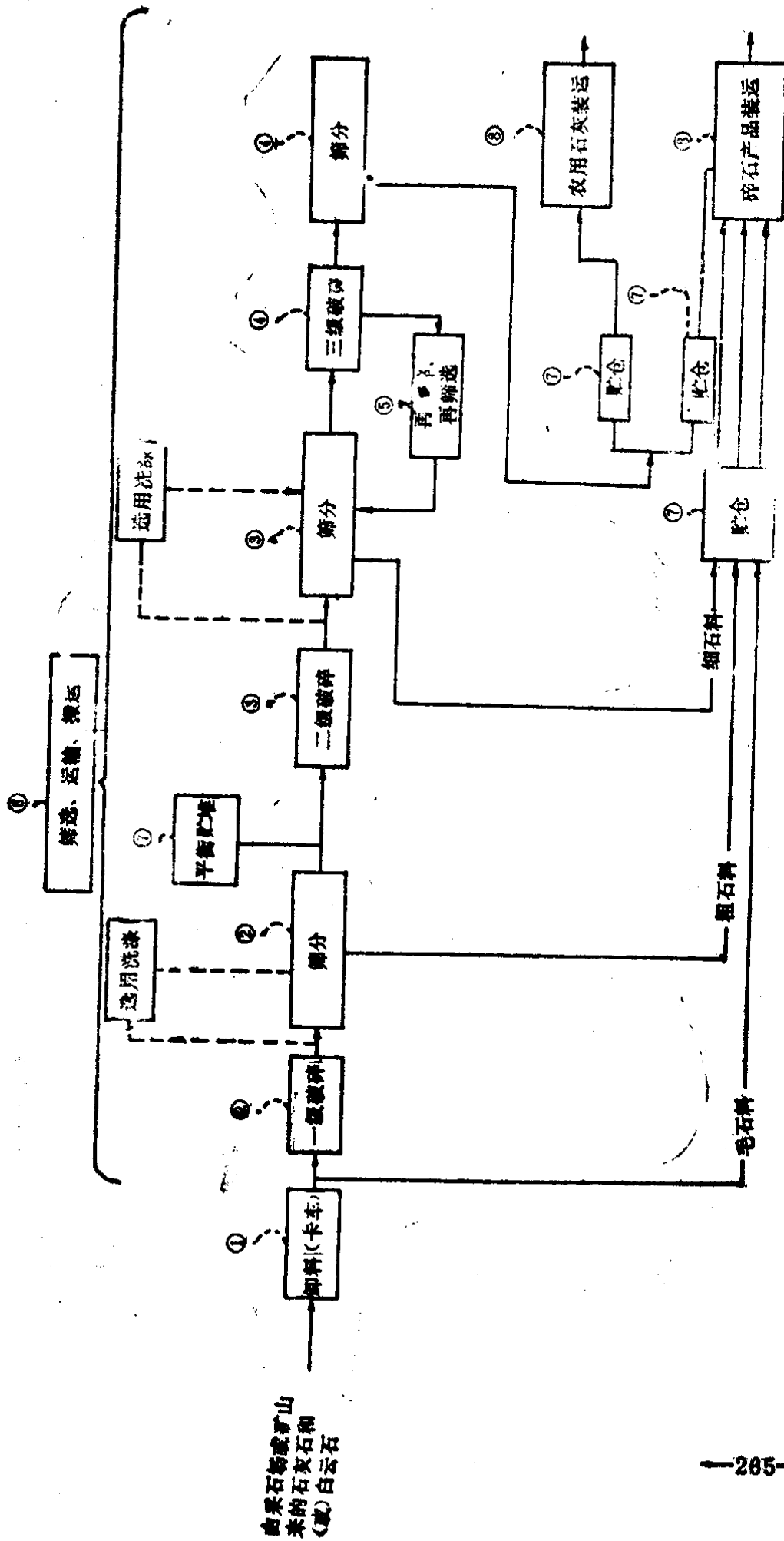


插图说明

潜在的逸散尘源

① 排放源编号 (同排放因子和RACM表)

图18-1 砂和砾石加工厂简化流程图和有关逸散尘源



由采石场或矿山
来的石灰石和
(或)白云石

图18-2 碎石加工厂的简化流程图和有关逸散尘源

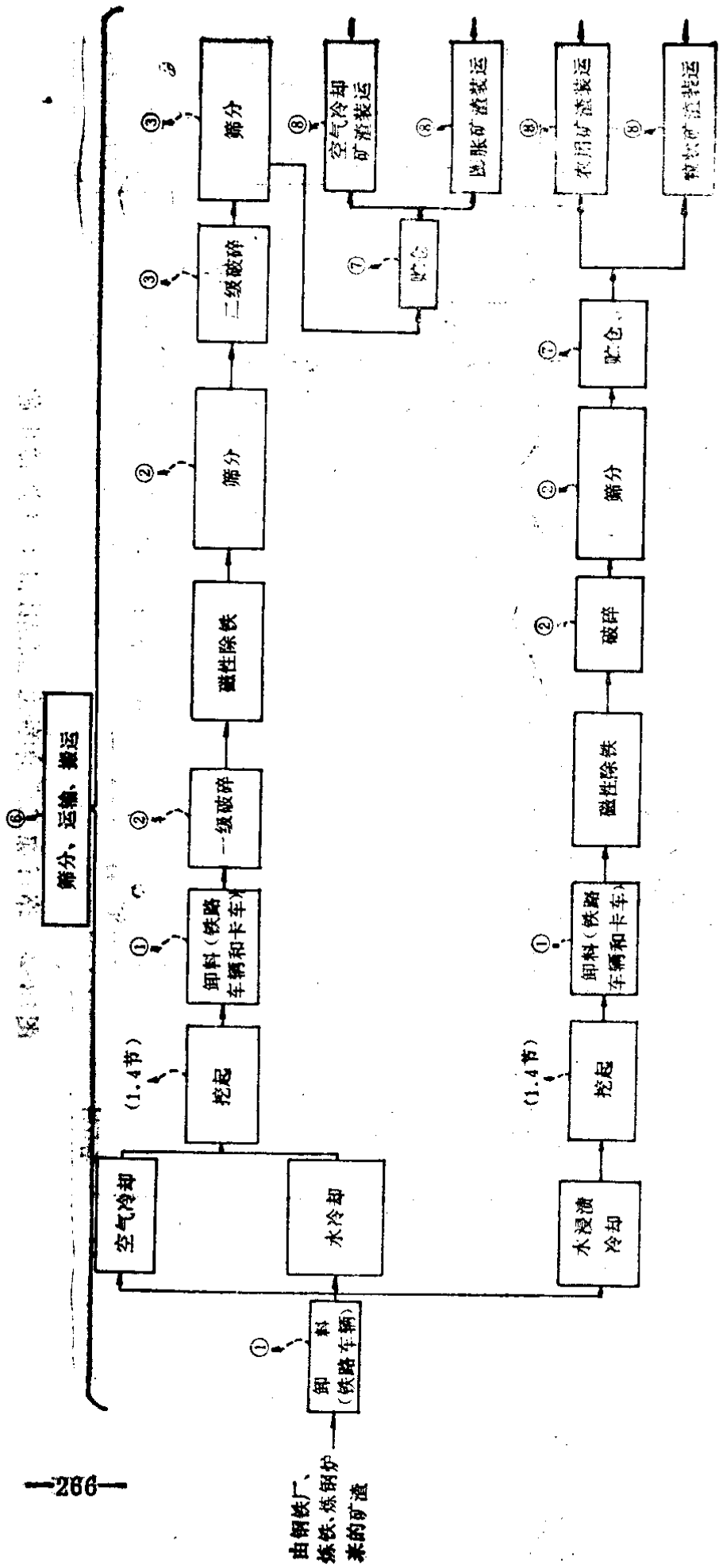


图18-3 矿渣加工厂简化流程图和有关逸散尘源

插图说明：
 潜在的逸散尘源
 排放源编号（同排放因子和RACM表）
 ①

状结构而生产的轻质产品。粒状矿渣是在水中浸渍熔渣，使其迅速骤冷，以生产玻璃体、粒状、砂子大小的产品。农用矿渣是已被磨细的粒状矿渣，用作土壤中和剂。

虽然粒料加工厂的种种作业采用不同的装备和工艺。但对上述三类厂的一般加工过程可描述如下：

一般从卸料开始，卸料作业包括卡车倾卸原料入给料斗，然后进入一级破碎机。破碎过的粒料和筛槽内余料一同经带式运输机送至调节堆场或筒仓暂贮。

调节贮堆的碎料通常用堆下的一系列振动式给料器排出。这些给料器分配碎料于带式运输机上，再送至粒料筛。在粒料筛上，碎料被分成三部分：超过粒径的、合粒径的、筛槽内的余料。超过粒径的被送入二级破碎机，以进一步减小粒径。合粒径的被装入贮仓。槽内的余料（多余的细料和筛尾）从加工过程排出，并作破碎机的出料堆存（破碎机未过筛的全部产品）。

二级破碎机的出料（粒径通常为25.4mm或更小）被送至二级筛。超过粒径的碎料，如果需要，可输送至或直接进入三级破碎机。三级破碎机出料通常返回二级筛筛分。二级筛合格的粒料直接去最后的筛。二级筛槽内的余料也送至最后的筛。最后的产品由重力送入最后的贮仓，或使用运输机或卡车堆贮于露天堆场。

一些产品规范，如混凝土粒料，要求粒料清洗。一般在一级破碎机后进行清洗，粒料落在细筛网上直接用高压水喷射进行洗涤。

粒料加工厂的最终产品或是露天堆贮或是贮仓贮存。露天贮堆一般用前端式装载机进行装货。而高架筒仓则靠重力卸货入敞篷卡车。

如前所述，粒料加工过程使用众多的各类装置。就以破

碎机而论，在工业中使用的也有四类：颚式、旋回、对辊和冲击破碎机。

一级破碎一般用颚式破碎机，并大多使用双肘颚式破碎机，如图18-4。少数使用单肘式如图18-5。粒料主要遭受到固定颚板的压力而破碎。

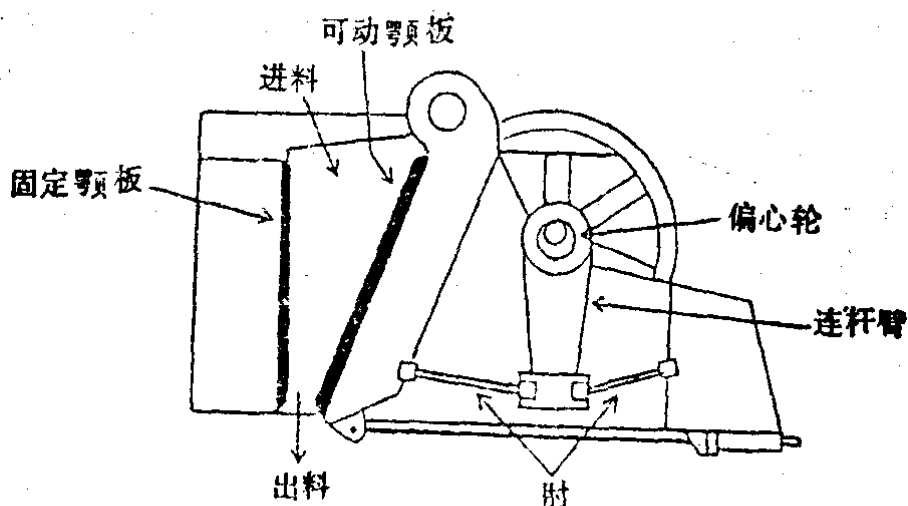


图18-4 双肘颚式破碎机

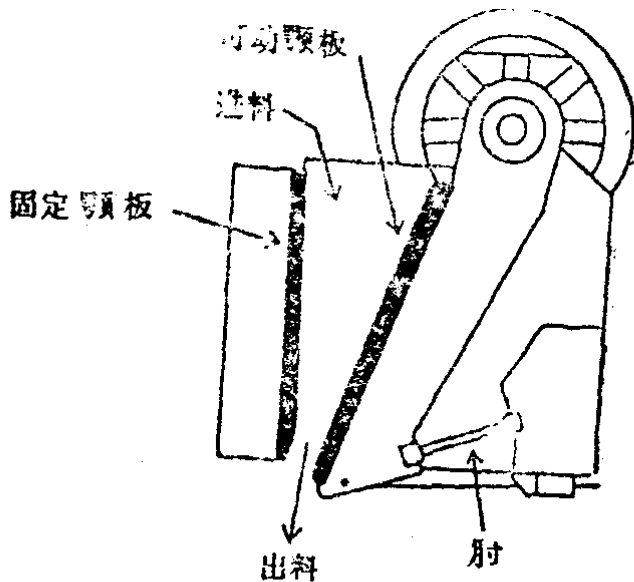


图18-5 单肘颚式破碎机

旋回式破碎机普遍用于二级和三级破碎。这类破碎机，除使用圆形颚板破碎物料外，其它与颚式破碎机相同。旋回

破碎机的三种主要类型为定轴、枢轴和圆锥三种。定轴和枢轴用于一级和二级破碎，而圆锥式的最普遍地用于二级和三级破碎。枢轴和圆锥旋回破碎机分别在图18-6和图18-7中介绍。

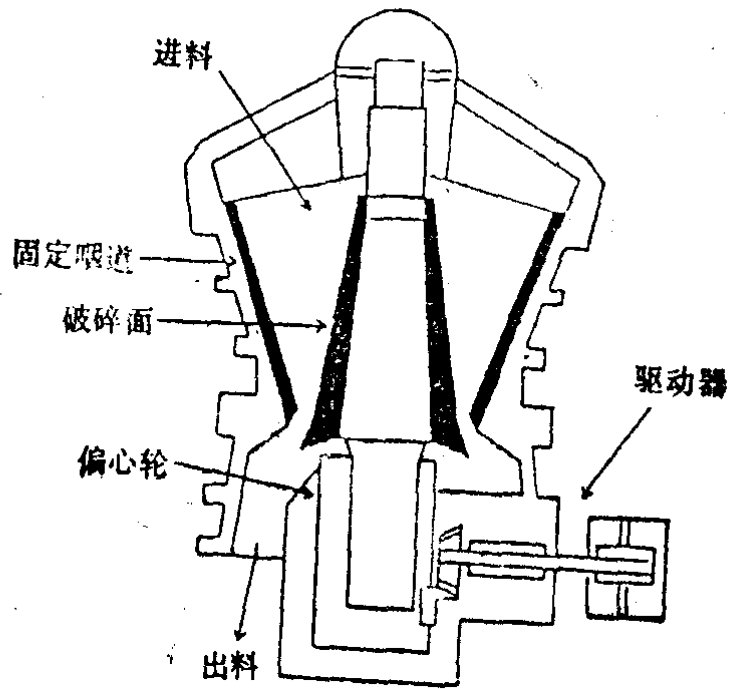


图18-6 枢轴旋回破碎机

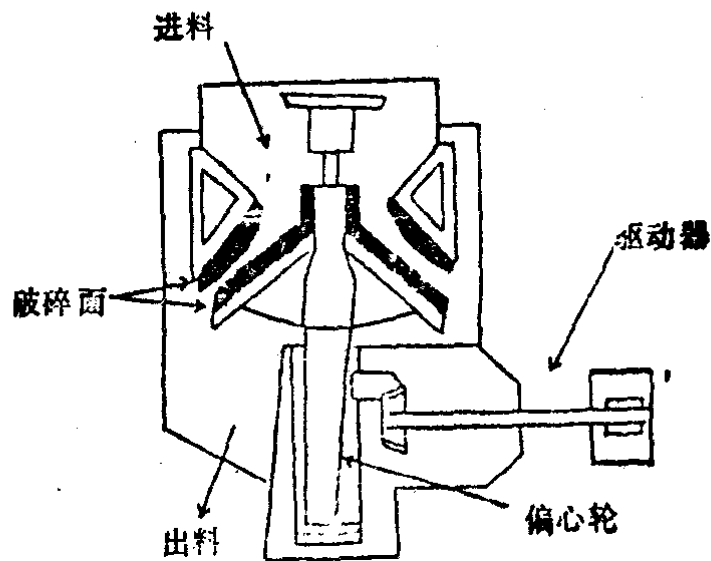


图18-7 圆锥旋回破碎机

单辊和双辊破碎机由一或两个旋转辊组成，靠辊的压力破碎原料。单辊破碎机靠旋转单辊对固定破碎板的作用进行破碎。而双辊破碎机则由平行的两个辊子互相对转进行破碎。单辊和双辊破碎机主要用于中间或最后减小粒径的阶段，并常用于移动式设备。单辊破碎机主要用于破碎石灰石之类的软料，而双辊则用于破碎硬料。二者分别在图18-8和18-9中介绍。

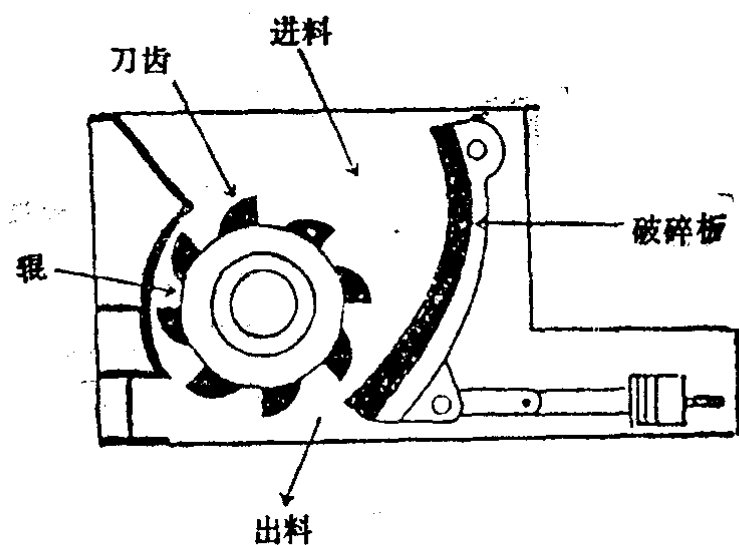


图18-8 单辊破碎机

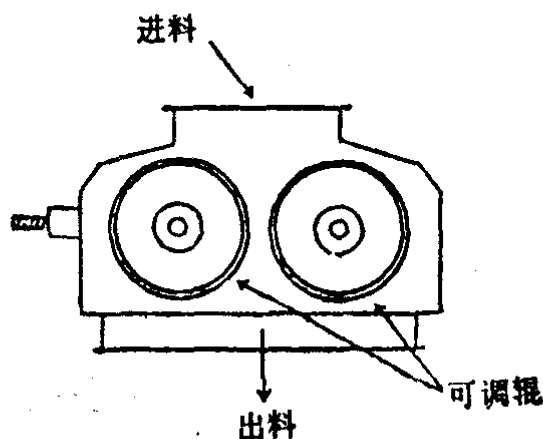


图18-9 双辊破碎机

普遍使用于粒料加工的其它破碎机是冲击破碎机。它包

括锤式和冲击式两种（见图18-10和图18-11）。冲击式破碎机使用快速旋转的刀盘或锤子砸碎落下的粒料。由于它减小粒径的能力很强，主要用于希望生产粒径范围较宽且细颗粒比例较大（如农用粒料）的工厂。

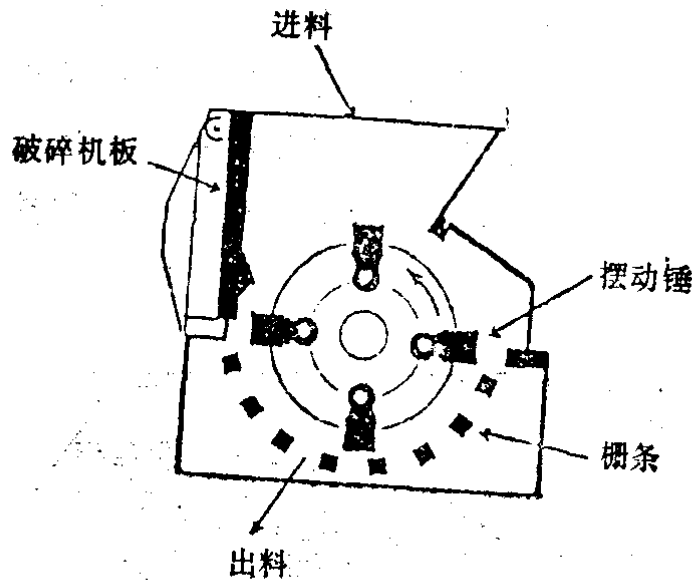


图18-10 锤式破碎机

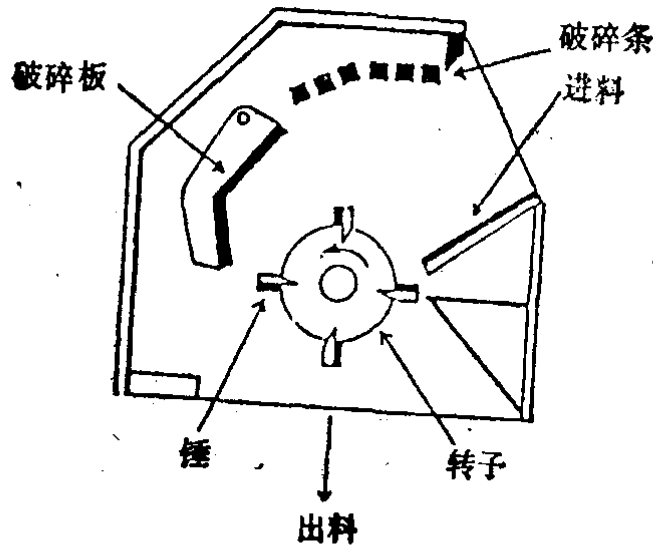


图18-11 冲击式破碎机

由于冲击式破碎机产生大量的细颗粒和旋转锤引起颗粒的高速度，通常冲击式破碎机排放的逸散尘量比其它破碎机的大。

与冲击式破碎机相反，由颚式、旋回、圆锥和对辊破碎机排放的逸散尘量主要取决于由它减小粒料粒径的程度。

粒料加工厂中使用四种主要的筛选装置，它们是格筛、摇动筛、振动筛和转筒筛。

格筛由几根均匀分隔的水平或倾斜格条组成，筛的顶部开口面积大于底部面积，以防止阻塞。它们主要用于一级破碎前去除细小粒料。工业上常用的格筛有三种类型，即固定式、悬臂式（一端固定，卸料端振动）和机械振动式。振动式格筛如图18-12。

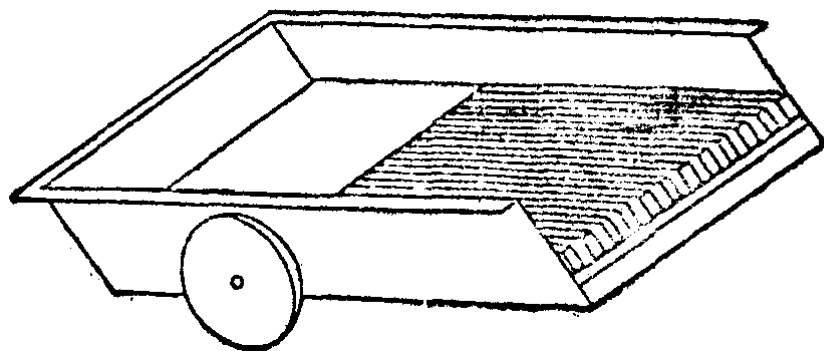


图18-12 振动式格筛

摇动筛由矩形框架与孔板或线网（作筛选介质）组成。这类筛由机械摇动以助分离。主要用于筛分粗粒料（粒径等于或大于12.7mm者）。

在粒料加工工业中，最普遍使用的为振动筛。它具有一倾斜的平整筛面或微凸筛面，并按垂直于筛面的方向快速振动，这种筛有一至三层筛面。振动筛表示在图18-13中。

转筒筛包含一倾斜的圆筒框架，架上包有线网或孔板的筛网，当筛子转动时，物料进入框架的顶端。合格的粒料穿过筛，而尺寸过大的粒料则从筛的另一端排出。

粒料加工厂还采用许多物料搬运装置，如给料器、带式

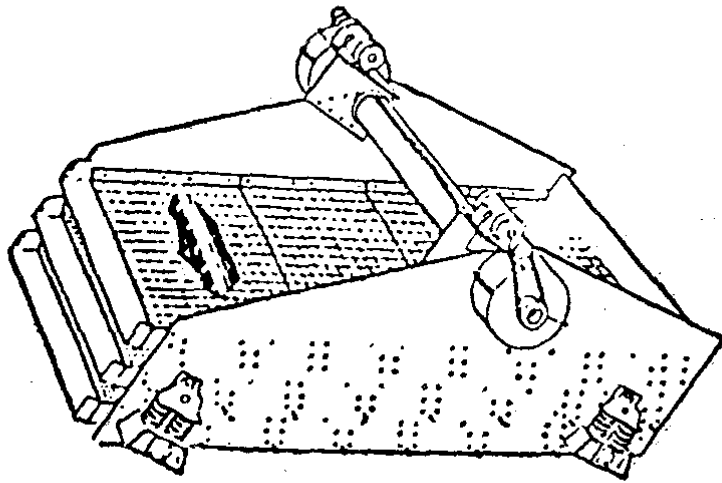


图18-13 振动筛

运输机、斗式提升机和螺旋运输机。

工业用给料器有五种，即平板、带式、往复板式、振动式和摇动式。

平板给料器包含交迭的金属盘或平板，它们被绞链连结，串成一条运输带，并由滚筒支撑。

带式给料器为滚筒支撑的短运输带，物料进入速度受调节门控制。

往复板式给料器包含一水平板，它由摆动机构驱动，引起物料向前移动。给料速度受摆动频率和摆动的长度调节。

振动给料器与往复板式给料器相同，仅进料速度由料床倾斜度和振幅来调节。

摇动式给料器包含一系列紧密而分隔开的椭圆形棒组成，该棒被机械转动，由此引起超过规格的物质跌入给料器的卸料端，而小于规格的物质穿过给料器的空隙。进料速度受棒的空隙和转动棒的速度来调节。

最普遍使用的物料搬运手段是带式运输机。带式运输机转运点的结构见图18-14。

提升物料用的斗式提升机，其三种排料方式见图18-15。

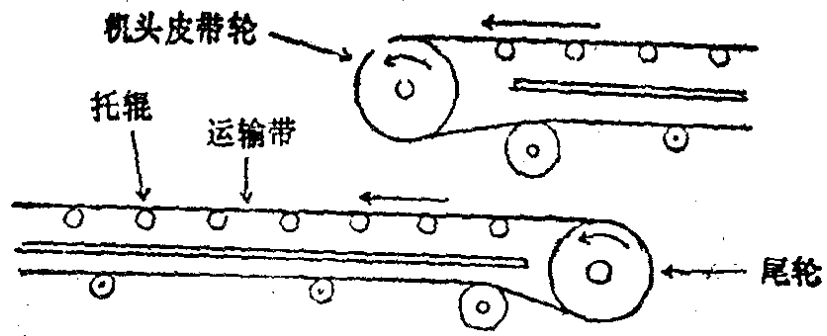
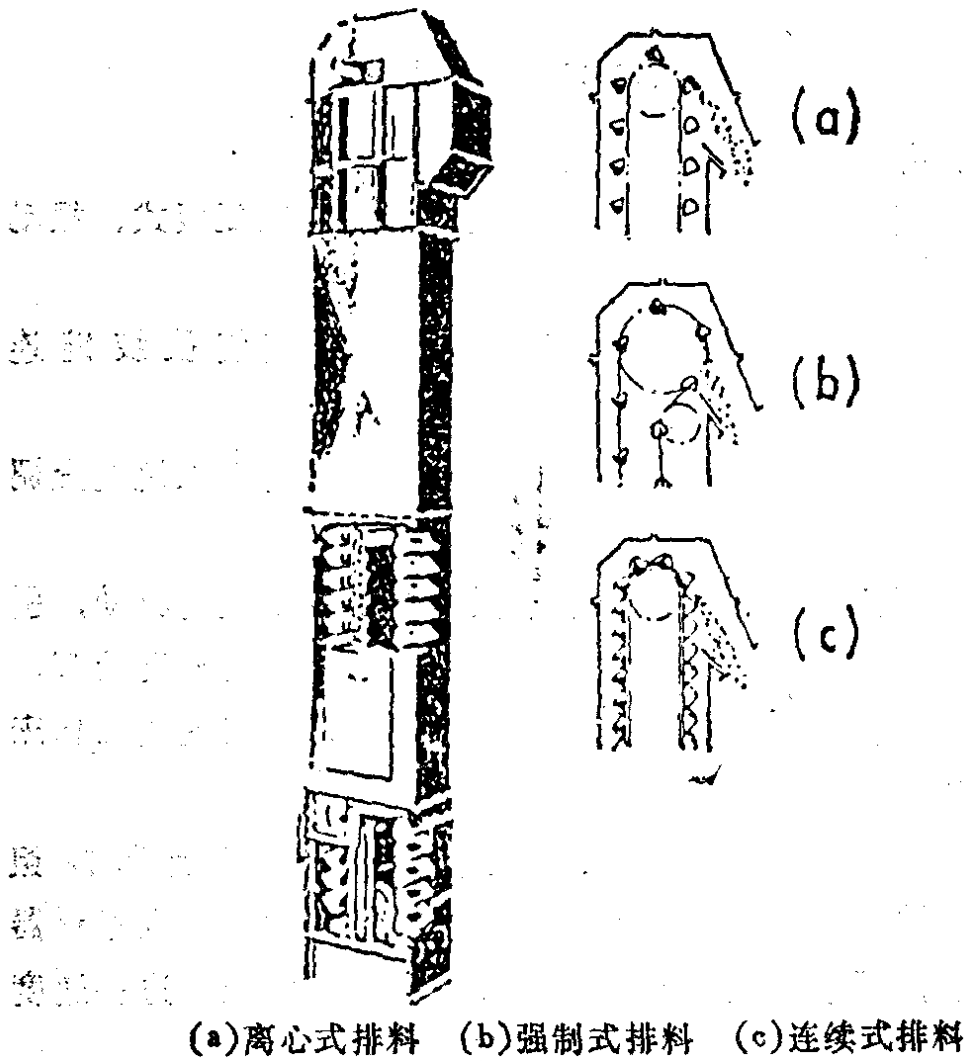


图18-14 带式运输机的转运点



(a)离心式排料 (b)强制式排料 (c)连续式排料

图18-15 斗式提升机的类型

重介质洗涤装置仅在少数砂和砾石加工厂中使用。有关它的介绍，参见第十九章。

二、逸散尘排放因子

粒料加工厂逸散尘源的排放因子列在表18-1中。

表18-1 粒料加工厂逸散尘的排放因子

| 尘 源 | 排 放 因 子 | 可 信 度 等 级 |
|------------|-----------------------------|--------------|
| 1.卸料 (卡车) | | |
| 砂和砾石 | 0.01kg/t (卸料) | E |
| 碎石 | 0.02kg/t (卸料) | E |
| 矿渣 | 0.01kg/t (卸料) | E |
| 2.一级破碎和筛选 | | |
| 砂和砾石 | 0.05kg/t (破碎料) ^a | 无可用资料 |
| 碎石 | 0.25kg/t (破碎料) ^b | C |
| 矿渣 | 0.25kg/t (破碎料) ^b | E |
| 3.二级破碎和筛选 | | |
| 砂和砾石 | 0.05kg/t (破碎料) ^a | 无可用资料 |
| 碎石 | 0.75kg/t (破碎料) ^b | C |
| 矿渣 | 0.75kg/t (破碎料) ^b | E |
| 4.三级破碎和筛选 | | |
| 碎石 | 3.0kg/t (破碎料) ^b | C |
| 5.再破碎和再过筛 | | |
| 碎石 | 0.5kg/t (破碎料) ^b | C |
| 6.筛选、运输和搬运 | | |
| 砂和砾石 | 0.15kg/t (搬运料) | E |
| 碎石 | 1.0kg/t (贮料) ^o | C |
| 矿渣 | 1.0kg/t (贮料) ^o | E |
| 7.贮堆 | | |
| 送料上堆 | | |
| 砂和砾石 | 0.0006kg/t (进料) | E |

续表

| 尘 源 | 排 放 因 子 | 可 信 度 等 级 |
|------------|------------------|--------------|
| 碎石 | 0.0007kg/t (进料) | E |
| 矿渣 | 0.0029kg/t (进料) | E |
| 出料 | | |
| 砂和砾石 | 0.00115kg/t (装料) | E |
| 碎石 | 0.00145kg/t (装料) | E |
| 矿渣 | 0.006kg/t (装料) | E |
| 1 风蚀 | | |
| 砂和砾石 | 0.235kg/t (贮料) | E |
| 碎石 | 0.0465kg/t (贮料) | E |
| 矿渣 | 0.037kg/t (贮料) | E |
| 车辆来往 | | |
| 砂和砾石 | 0.032kg/t (贮料) | E |
| 碎石 | 0.016kg/t (贮料) | E |
| 矿渣 | 0.065kg/t (贮料) | E |
| 8. 装货 (卡车) | | |
| 砂和砾石 | 0.01kg/t (装货) | E |
| 碎石 | 0.02kg/t (装货) | E |
| 矿渣 | 0.01kg/t (装货) | E |

注: a. 排放因子代表一级和二级破碎和筛分的总排放量。

b. 根据进入一级破碎机的物料量。

c. 根据贮存产品的单位排放量。

粒料加工厂逸散尘排放因子的定量受很多因素影响, 很难确定。这些因素包括原料的含水量、加工原料的类型和加工作业使用的装置类型和操作方法。

原料的水分可由零到百分之几, 取决于地理和气象条件。表面潮湿将引起细颗粒粘附于较大粒料上, 由此减少了潜在的逸散尘量。因此, 对一级破碎和其前面的作业来说,

表面含湿度是减少逸散尘的重要因素。在其后的操作，如二级破碎，摩擦和水分的蒸发导致更多的暴露表面，由表面水分的抑制效果减小和变为不明显。

加工原料的类型也是值得注意的因素。由于软粒料比硬粒料有更大的脆性，会产生更多的筛尾，也就导致产生更多的逸散尘。主要几类石料的硬度递增序列如下：石灰石和白云石、砂石、花岗岩、暗色岩、石英岩和石英。完全可以想象，加工石灰石会比加工石英产生更多的逸散尘。

使用的装置和操作习惯也是重要因素。加工装置排放逸散尘的数量取决于加工后物料的粒径分布和传递给物料的速度。

美国环保局公布的粒料卸料作业（卡车倾卸）的排放因子为 0.02kg/t 。但对砂和砾石以及矿渣则使用 0.01kg/t 。这是因为碎矿渣有较大的粒径，同时砂、砾石和水熄渣含水分较高。因此，这些排放因子可信度差。

砂和砾石、碎石的一级、二级、三级破碎和筛选、再破碎和再筛选的排放因子取自美国环保局砂和砾石加工的排放因子。由于碎石和矿渣加工厂的工艺和装备与石块加工相似，并有相似的可见排放量，因而将石块加工的排放因子用于矿渣加工作业。砂和砾石排放因子的可信度不清楚。由于矿渣加工的排放因子仅仅根据工程判断和表观观察，所以可信度差。

粒料筛选、运输、搬运的排放因子，砂和砾石的是基于转运和运输砂的报告值，而报告的可信度是差的。碎石的因子取自美国环保局，可信度一般。矿渣使用碎石的因子，是假设两者物料相似，设备相同，所以可信度也差。

露天贮堆活动的排放因子，系使用第一章的经验公式计算得出。由于代入的变量是基于工程判断，公式的运算精度

有限，应用条件不适合，可信度是差的。

装货活动的排放因子用的是卡车卸货的排放因子，由于被装粒料比卡车卸的物料较干较细、对装货的无控制的逸散尘的估计是非常偏低的。其可信度差。

运输道路的排放因子见第一章第一节。

三、颗粒特性

粒料加工厂排放逸散尘的一般颗粒特性仅有有限的数据。

一份资料报导，石灰石贮存、搬运和转运逸散尘一般具有 $3\sim 6\mu\text{m}$ 的粒径， $45\sim 70\%$ 小于 $5\mu\text{m}$ 。

一份资料报导，锤碎机、筛选作业和装袋车间排气筒排放颗粒的粒径分布如下表。它应表明粒料加工厂相同逸散尘源的颗粒粒径分布。

| 作 业 | 颗 粒 粒 径 分 布 |
|-----------|---|
| 锤碎机 (破碎机) | $30\% < 3\mu\text{m}$; $47\% < 5\mu\text{m}$; $60\% < 10\mu\text{m}$; $74\% < 20\mu\text{m}$; $86\% < 40\mu\text{m}$ 。 |
| 筛选 | $46\% < 3\mu\text{m}$; $72\% < 5\mu\text{m}$; $85\% < 10\mu\text{m}$; $95.5\% < 20\mu\text{m}$; $98.8\% < 40\mu\text{m}$ 。 |
| 装袋车间 | $71\% < 5\mu\text{m}$; $87.3\% < 10\mu\text{m}$; $96\% < 20\mu\text{m}$; $98.8\% < 40\mu\text{m}$ 。 |

美国政府工业卫生学家会议对石灰石颗粒的鉴定，如无其它有毒杂质存在，它是一种无毒而令人讨厌的颗粒物。然而与石灰石有关的其它有毒物的数据，大都不能采用。

暴露于砂和砾石的加工逸散尘中，可能对人体有害，它

取决于二氧化硅的含量和暴露时间的长短。吸入硅尘超过一定的持续时间就会引起呼吸器官失调，如所知的矽肺。

更多的是粒料加工厂排放的逸散尘产生了令人讨厌的状况，而不是引起严重的健康问题。

四、控制方法

粒料加工厂逸散尘源的可用控制方法列在表18-2中。并伴有控制效率和费用。

粒料加工厂加工装置有两种主要的惯用控制方法。一种是使用湿喷雾，多数采用含表面活性剂或润湿剂（减少水的表面张力）的水液；另一种是使用罩盖、导管及纤维过滤袋。许多工厂现在采用两种技术合用。湿抑制用于前部加工阶段（大粒料），干捕集系统用于后部（小粒料）。

湿抑制也可用于本书所指出的全部逸散尘源。在那些要求严格的地方，例如在粒料运输转运点或筛选地区，用喷雾杆和咀进行湿抑制。一般需要加化学润湿剂于水中，特别是中间或最后加工阶段，因为单加水可能引起粒料含水过多，从而使筛选装置堵塞或产品不合规格。加入化学剂可大量减少用水量（约4比1）。已有报导，75~85%的碎石厂都使用湿抑制系统。而其它工厂由于石料类型和产品尺寸的关系不能单用湿抑制法，而必须使用干集尘或干、湿两种方法合用。由于近期的技术革新，在某些干收集系统中可以使用静电喷雾和泡沫剂喷雾系统。

喷雾点的类型、数目和位置、用水和润湿剂的数量取决于许多因素，如粒料大小，生产速率、装置的易接近度。一般一台成套的湿抑制系统用水及润湿剂量约为每吨生产粒料 0.00626m^3 。单用水则用量增加3~4倍。

典型粒料加工厂，湿抑制喷雾点通常设在卡车卸料、破碎机入口和出口、物料转运点（如带式输送机转运点见图18-14）、调节贮堆下方给料至带式运输机和带式运输机卸料于露天堆场的卸料口。图18-16介绍了碎石厂典型湿抑制系统。图18-17说明了破碎机卸料于带式运输机的典型喷雾系统。

湿抑制系统减少逸散尘的原因：（1）引起较小颗粒的聚集，（2）引起较小颗粒粘附于大颗粒上，（3）增加颗粒的密度。使用润湿剂（表面活性剂）有助于尘的抑制，是由于减少水的表面张力，使更多的颗粒表面变湿。

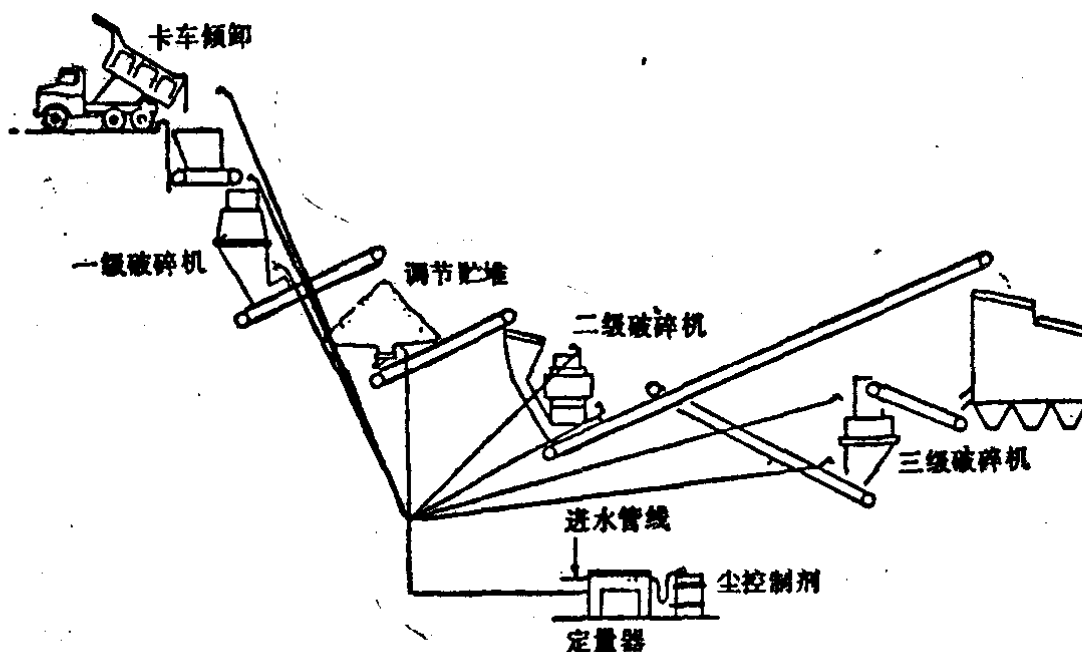


图18-16 湿抑制系统

已报导，用泡沫剂代替润湿剂，在几个采矿和加工过程中已有效地控制了逸散尘的排放。但对粒料厂的试验数据很少，其有效性尚不清楚。

在破碎机、筛、运输带转运点、贮仓等处的逸散尘也可捕集并排气至集尘装置，如纤维过滤袋（最普遍采用），湿洗涤器（很少采用）。对上述尘源的控制，纤维过滤袋可使用一集中位置的，也可几个位置分装。每个都必须设计适合的集

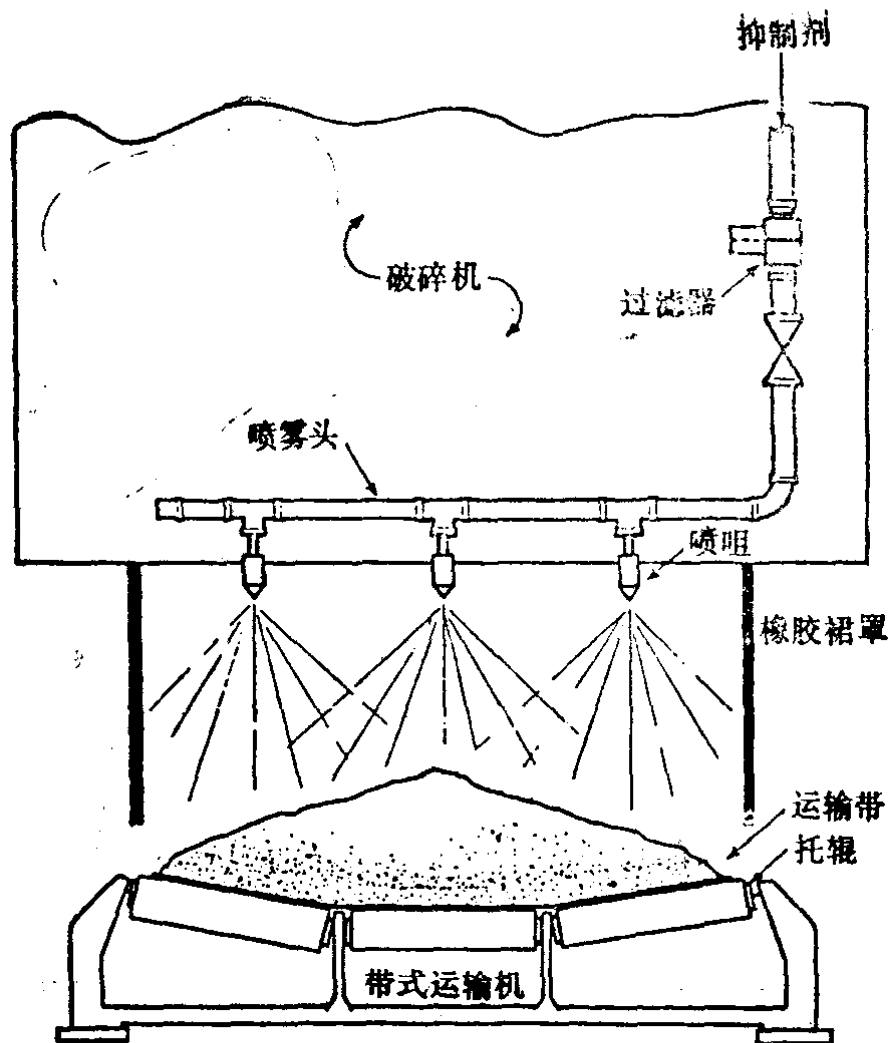


图18-17 破碎机排料点的湿抑制应用

尘系统，使纤维过滤袋达到有效的控制。例如，设计物料转运点的封闭罩盖取决于自由降落距离。图18-18和图18-19分别表示出自由降落距离小于或大于0.9m的罩盖。

在用水没有问题和生产团聚的细粒径产品（破碎和筛选作业为6.35mm颗粒）的地方，可联合使用湿抑制和纤维过滤袋（如图18-20）。湿抑制一般用于主要加工部位，即一级破碎机和筛选作业、改造的给料器和运输带转运点。对二级和三级破碎机、筛及循环运输机，则由布袋集尘室控制。这种联合系统一般比全部湿抑制有较高的年度费用，但比完全干式系统费用低（如果用水方便）。如果水须经卡车输送入厂，

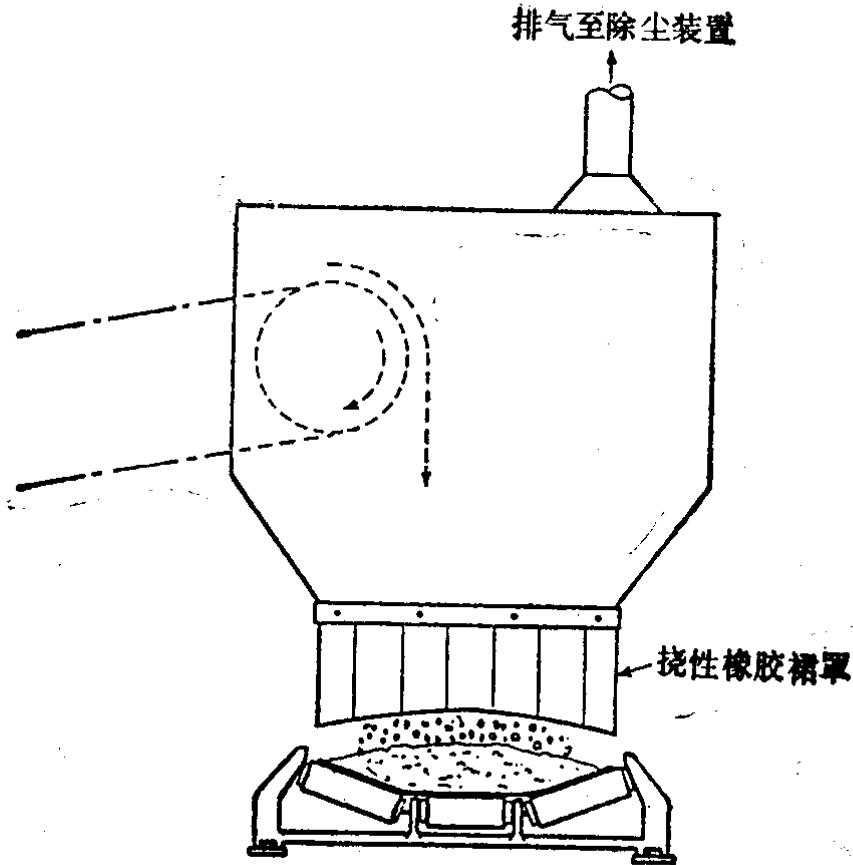


图18-18 具有小于0.9m自由降落距离的转运点罩盖结构

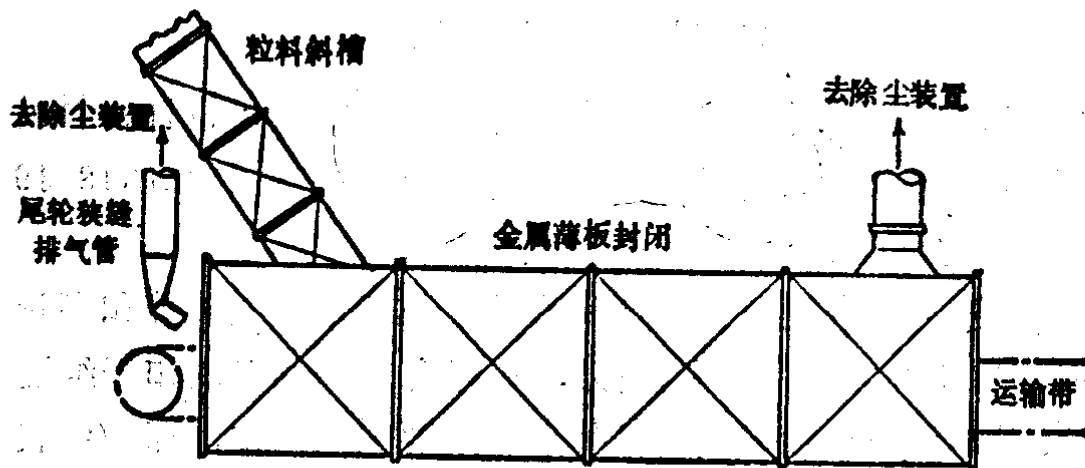


图18-19 具有大于0.9m自由降落距离的转运点罩盖结构

则需考虑增加的运输费用。在一联合系统中，湿抑制仅用于工厂的部分工序，所以用水量仅为整个湿抑制系统的40%。

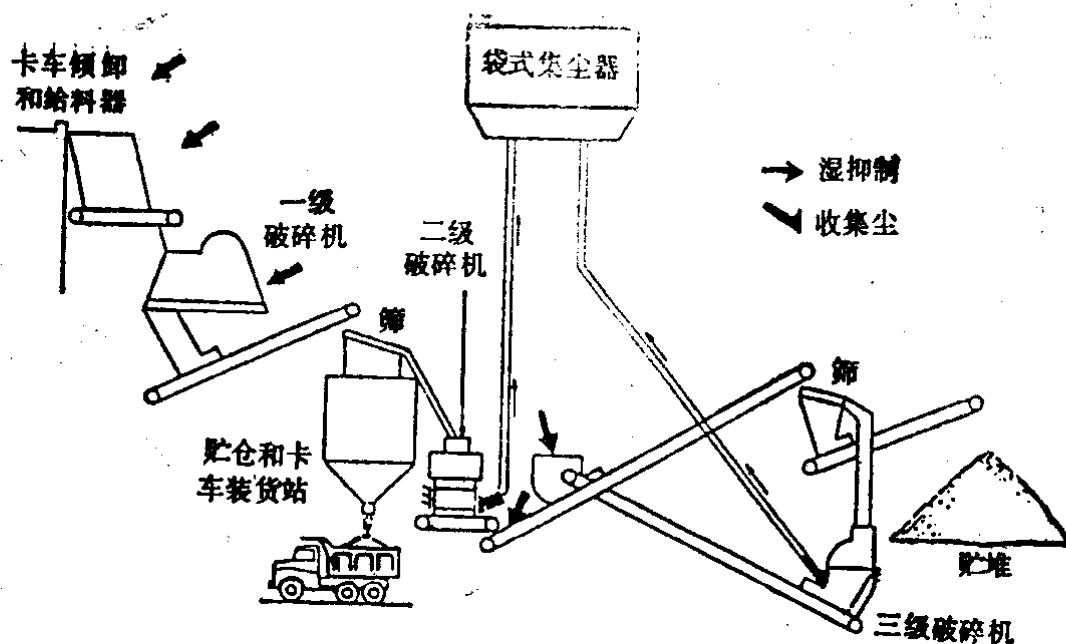


图18-20 包含湿抑制和干收集尘的联合控制系统

近期发展的控制技术是静电喷雾系统。但有关实际应用的的数据很少。这种方法主要用于排放非常细的尘埃和不能用湿抑制的地方。按照初步了解，这种技术的原理为：一般颗粒粒径小于 $8\mu\text{m}$ 者趋向于带阴电荷，而更大的颗粒则趋向于带阳电荷或无电荷。这种技术使用带适当电荷的水雾，吸引相反电荷的颗粒，而且在雾滴与颗粒之间造成接触。随后湿颗粒聚集并沉降。使用的装置可以仅包含改造过的商品静电涂层喷雾枪，这种枪用压缩空气使水成为雾滴。雾滴可以不带电荷、或带阳电或阴电荷，根据需要变化。

与一个类似湿抑制系统相比较，每小时生产率为272t，用水 1.7m^3 ，而静电喷雾系统每小时用水为 0.036m^3 ，用水量大量减少。

三级破碎所排小颗粒尘 ($<10\mu\text{m}$)，由于产品规格或水分含量不能使用湿抑制，应试用静电喷雾系统。另外，也可使用湿洗涤装置，以改进效率和减少能耗。

运输机和转运点逸散尘较多，可选择的控制技术包括湿抑制和运输机封闭。

对带式运输机送料上贮堆时逸散尘的控制，湿抑制和减少自由降落距离是有效的。在送最终产品上贮堆，如在加工的前阶段已有充分的湿抑制，则可不再使用，如还有可见的尘，则可增加前面阶段的喷雾量，或在运输机跌落点单独装喷雾系统。

减少自由降落距离可使用石阶梯、伸缩斜槽和铰链悬臂堆料运输机。

贮堆出料可使用前端式装载机或堆下方的重力给料运输系统（通常仅用于调节贮堆）。也可用湿抑制保持贮料潮湿和重力给料运输系统（代替用前端式装载机出料）。

控制贮堆的风蚀尘，湿抑制、洒水和封闭贮堆都是可用的方法。很少搬动的贮堆，全部表面可喷洒结壳剂。在天然或人工风障之后设置贮堆，使工作面保持在贮堆的下风面，都能进一步减少逸散尘量。

对贮堆周围车辆往来逸散尘的控制见第一章第一节。

对前端式装载机装运产品入卡车的逸散尘，可尽量保持贮料潮湿。在操作上尽可能将车斗紧闭，使出料斗尽可能卸空。靠重力自由降落装货入开盖式斗车时，装货地区可以部分封闭，或部分封闭再排气至纤维过滤袋。使用伸缩斜槽也是有效的方法。

五、推荐的合理、可用控制措施

粒料加工厂的RACM选择列在表18-2中。

对原料卸料（通常为卡车），RACM为湿抑制系统（用于物料卸出卡车的转运点）。该系统用于粒料加工厂的其它尘源

表18-2 粒料加工厂逸散尘控制技术、效率、费用和RACM

| 逸散尘源 | 可选用的控制技术 | 控制效率 (%) | 控制费用 1980.1美元 | | 费用效益比 美元/kg | | | 选择的 RACM |
|--------------|-------------|-----------------|---------------------|--------------------|-------------|------|-------|-----------|
| | | | 投资费 | 年费用 | 石料 | 砂 | 矿渣 | |
| 1. 原料卸料 (卡车) | 封闭、排气至纤维过滤袋 | 99 ^a | 87400 ^b | 13500 ^b | 1.87 | 5.00 | 4.70 | 湿抑制 (化学剂) |
| | 封闭 | 70 | 11000 | 1900 ^c | 0.37 | 0.99 | 0.93 | |
| | 湿抑制 (化学剂) | 90 | 72000 ^e | 26000 ^e | 0.018 | 0.40 | 0.088 | |
| | 水喷雾 | 50 | 无可用数据 | | — | — | — | |
| 2. 一级破碎和筛选 | 封闭、排气至纤维过滤袋 | 99 ^a | 154000 ^f | 53000 ^f | 0.022 | 0.99 | 0.15 | 湿抑制 (化学剂) |
| | 湿抑制 (化学剂) | 90 | e | e | 0.018 | 0.40 | 0.088 | |
| | 水喷雾 | 70 | 无可用数据 | | — | — | — | |
| 3. 二级破碎和筛选 | 封闭、排气至纤维过滤袋 | 99 ^a | f | f | 0.022 | 0.99 | 0.15 | 湿抑制 (化学剂) |
| | 湿抑制 (化学剂) | 90 | e | e | 0.018 | 0.40 | 0.088 | |
| 4. 三级破碎和筛选 | 封闭、排气至纤维过滤袋 | 99 ^a | f | f | 0.022 | — | — | 湿抑制 (化学剂) |
| | 湿抑制 (化学剂) | 90 | e | e | 0.018 | — | — | |
| 5. 再破碎和再筛选 | 封闭、排气至纤维过滤袋 | 99 ^a | f | f | 0.022 | — | — | 湿抑制 (化学剂) |
| | 湿抑制 (化学剂) | 90 | e | e | 0.018 | — | — | |
| 6. 筛选、运输和搬运 | 封闭、排气至纤维过滤袋 | 99 ^a | f | f | 0.022 | 0.99 | 0.15 | 湿抑制 (化学剂) |
| | 湿抑制 (化学剂) | 90 | e | e | 0.018 | 0.40 | 0.088 | |

续表

| 逸散 尘源 | 可选用的 控制技术 | 控制 效率 (%) | 控制费用 1980.1美元 | | 费用效益比 美元/kg | | | 选择的 RACM | |
|---------------------|-------------------------|-------------------------------|------------------------------|---------------------|-------------------|-------|-------|------------------|------------------|
| | | | 投资费 | 年费用 | 石料 | 砂 | 矿渣 | | |
| 7. 贮堆 风蚀 | 封闭 | 100 ^g | 3890000 ^g (矿渣) | 661000 ^d | 295 | 59.5 | 372 | 湿抑制 (化学 剂) | |
| | | | 4550000 (砂和砾 石) | 747000 | | | | | |
| | | | 6090000 (碎石) | 1035000 | | | | | |
| | | 湿抑制 (化学剂) | 90 | e | e | 0.018 | 0.40 | 0.088 | |
| | | 洒水 | 80 ^g | 11500 ^g | 2700 ^h | 0.97 | 1.19 | 1.50 | |
| | | 风障 | 10 | 无可用的数据 | | — | — | — | |
| | 送料上 堆 | 封闭 (石阶梯) | 80 | 24500 | 4200 ^d | 20.68 | 32.14 | 6.24 | 湿抑制 (化学 剂) |
| 湿抑制 (化学剂) | | 90 | e | e | 0.018 | 0.040 | 0.088 | | |
| 伸缩斜槽 | | 75 | 8600 ^e | 1500 ^d | 7.87 | 12.24 | 2.38 | | |
| 堆料运输机 | | 25 | 122000 | 21000 ^d | 331 | 514 | 99.9 | | |
| 出料 | | 湿抑制 (化学剂) | 90 | e | e | 0.018 | 0.40 | 0.088 | 湿抑制 (化学 剂) |
| | 堆下运输机 | 80 | 无可用的数据 | | — | — | — | | |
| 8. 产品 装运 (卡车) | 前端式 装载机 (粗粒 料) | 装货前对粒 | 70 | 无可用的数据 | | — | — | — | 湿抑制 (化学 剂) |
| | | 料洒水 | | | | | | | |
| | | 风障 | 50 | 同 | 上 | — | — | — | |
| | | 预防措施 (将自由降 落距离缩至 最小) | 无可 用数 据 | 同 | 上 | — | — | — | |

续表

| 逸散 尘源 | 可选用的 控制技术 | 控制 效率 (%) | 控制费用 1980.1美元 | | 费用效益比 美元/kg | | | 选择的 RACM |
|------------------------|---------------------|-----------------|--------------------|--------------------|----------------|------|------|-----------------------------------|
| | | | 投资费 | 年费用 | 石料 | 砂 | 矿渣 | |
| 由贮仓 装货 (细粒 料) | 湿抑制 (化学剂) | 90 | e | e | 0.018 | — | — | 湿抑制 (化学 剂) 和伸 缩 斜槽 |
| | 伸缩斜槽 | 75 | 8600 | 1500 ^d | 0.29 | 0.73 | 0.68 | |
| | 装货地区封 闭 | 70 | 11000 | 1900 ^d | 0.37 | 0.99 | 0.93 | |
| | 封闭、排气 至纤维过滤 袋 | 99 ^a | 87400 ^b | 13500 ^c | 1.87 | 5.00 | 4.70 | |
| | 风障 | 50 | 无可用数据 | | — | — | — | |
| | 水喷雾 | 50 | 同 | 上 | — | — | — | |
| | 湿抑制 (化学剂) | 90 | e | e | 0.018 | — | — | |

注：a. 工程估计值。

b. 根据6m×6m×4.6m的封闭罩和脉动喷射器、温度21℃、空气与布的比例为6.5：1的布袋除尘室。空气流量为4.72 m³/s。

c. 根据1000h/a的运行时间。

d. 年费用为投资费的17%。

e. 根据每小时加工272t的工厂。湿抑制包括卸料；一级、二级和三级破碎机进出口；运输机转运点；贮堆排放源和装运。

f. 根据每小时272t的加工厂。此措施包括一级、二级和三级破碎机；运输和转运点的控制。

g. 根据风动洒水系统。

h. 基建折旧费和维修费为投资费的20%。

时，以其相对低的年度费用，提供了有效的控制。当然，在卸湿砂和砾石时，如可见尘可忽略，则不予控制。

同样，对破碎、筛选、运输和搬运都可选用湿抑制作RACM。但对某些作业采用完全湿抑制会出现筛堵塞、不能

符合产品规格（由于物料中细粒过量）等问题，和（或）由于细小粒径的农用石灰的加工而不能用水，这时则应使用联合系统。这种联合系统可以包含湿抑制与下述三种系统之一，即（1）封闭并排气至纤维过滤装置；（2）静电喷雾系统；（3）泡沫剂喷雾系统。

贮堆进料、出料、风蚀也可选择湿抑制作为RACM。如在前面已应用适当的尘抑制剂，则在贮堆不再另外设置喷雾点。

六、典型费用计算（使用的参数）

假设每类粒料的典型加工厂的能力：

| | t/h | t/a | h/a | 贮料t |
|------|-----|--------|------|-------|
| 碎石 | 272 | 362800 | 1300 | 75280 |
| 砂和砾石 | 272 | 272100 | 1000 | 56230 |
| 矿渣 | 272 | 290240 | 1100 | 48070 |

费用效益比的计算从略。

第十九章 煤加工厂

一、工艺概述

煤加工厂包括所有选煤厂和煤的装卸设备。

选煤厂包括一个或多个下列加工过程的工厂（地下采矿作业除外），这些加工作业为：断裂、破碎、筛选、湿法或干法清理和加热干燥等。一般选煤厂被分为三类：

1. 进行全部分选，即粗煤和细煤二者都清洗；
2. 进行部分分选，即仅清洗粗煤；
3. 仅破碎煤至一特定规格。

煤装卸设备包括单独使用下列一个或多个加工过程的工厂（与采矿有关者除外），这些加工作业为：转运、运输、装料、卸料或贮存。

所有的煤矿都设有选煤或装卸设备来加工所开采的原煤。这些设备通常设于临近矿场的固定点上，以减少运输费，但某些厂（一般为小厂）具有可移动的装置并随矿的位置而移动。

煤加工厂可以在规模上、复杂性上和加工目的上变动。例如，典型的煤加工厂可以包括一简单的煤装运站（倒煤场），每小时仅处理几吨煤；也可以大至一复杂的、每小时加工超过907t的洗煤厂。煤加工厂完成的作业类型取决于最终用户的要求。图19-1介绍了各类煤加工厂。

如图19-1所示，对煤加工厂逸散尘源的研究，开始于一些运输工具将原煤带入煤加工厂（卡车、铁路车辆、运输

机、驳船)并卸出,直至在煤加工厂加工完毕装入运输装置运至最终的用户。

美国俄亥俄州的露天煤矿,原煤通常装入公路外的卡车或铁路车辆,然后运输至一集中加工厂或转运场。在俄亥俄州的地下矿,如果加工厂靠近矿山口,则原煤通常直接由矿山运送至加工厂或经过铁路车辆或带式运输机至转运场。如果加工厂距地下煤矿出口很远,则原煤通常由陆地运输设备或铁路车辆运送。

在煤加工厂,原煤由卡车或铁路车辆倾卸入接料斗,再装入一级破碎机、或卸入倒煤场、或进入给料器。给料器随即进入一运输机,再转运至露天贮堆或密闭筒仓。由运输机直接载入工厂的原煤被卸于露天贮堆或筒仓,以便安排适当的加工运输装置。露天贮堆的煤,用前端式装载机或自动进料隧道输送机送去破碎、过筛或装车。而筒仓的煤送去加工的方式有:用带式运输机、靠煤自重装车的卡车或铁路车辆。

带式运输机具有较大的运载能力,是煤加工厂普遍使用的物料运送工具,其它的运输机如螺旋运输机、振动运输机、连续流运输机由于不能大量运送物料而很少使用。

承担分选原煤的加工厂,至少有一级破碎作业。在许多小厂中,被破碎加工的煤直接装入卡车、铁路车辆或驳船运至用户。大部分大的加工厂将提供二级破碎、筛选、湿法或干法清理和碎煤干燥。其余的过程将在典型选煤厂中讨论。

选煤厂为了许多理由而进行煤的清理,其中之一是为了改进煤的质量。

通过清除了不希望有的杂质,改进了煤的质量。这将增加煤的热值,并为用户提供较好的燃料。事实上,为了出售原煤,清理掉原煤中可以高达60%的杂质,常常是需要的。

另一理由是减少空气污染的控制要求,用户常常要求部

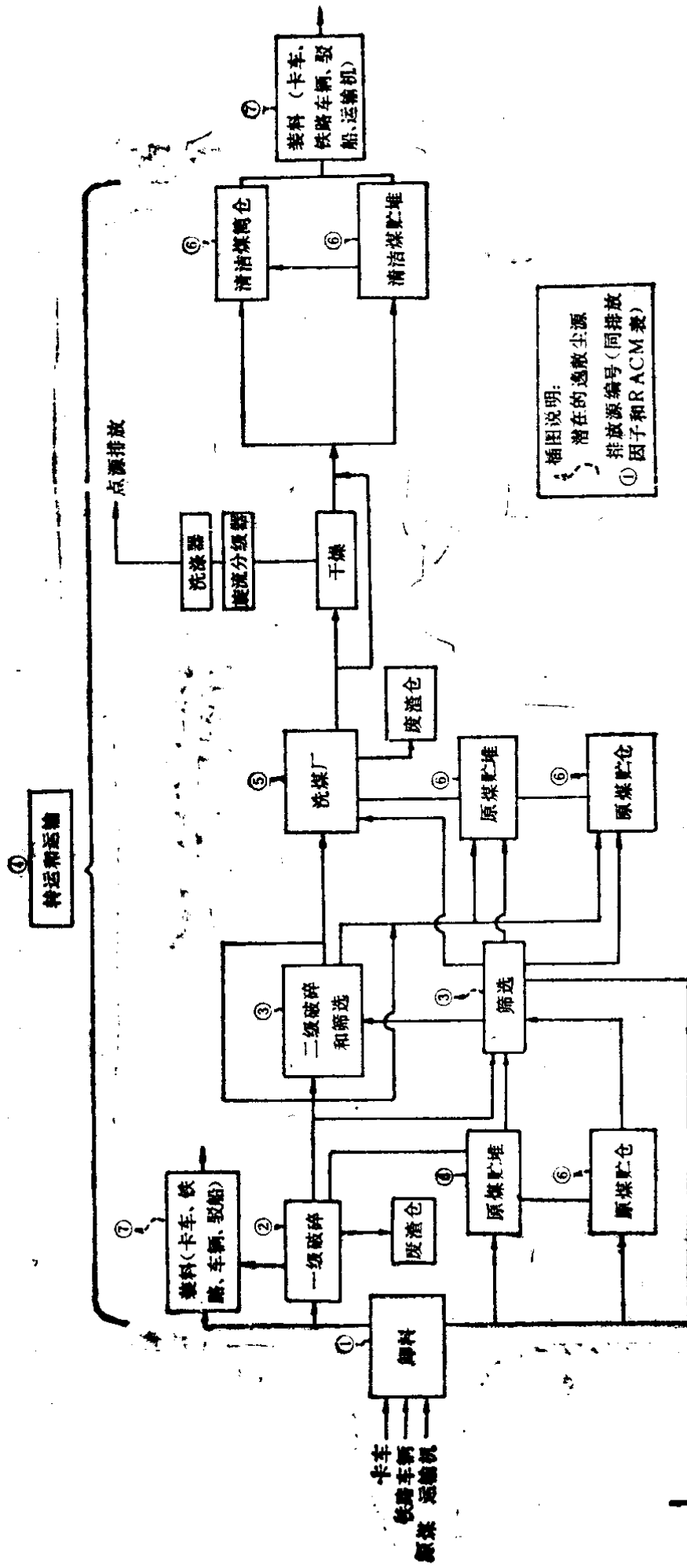


图 19-1 煤加工厂简化流程图和有关的逸散尘源

分去除伴随灰分的硫铁矿，以减少煤的含硫量。也就是，必须常常监测灰分，并把它降低到合同规定的水平。但是，为了保证适合的燃烧特性，还必须保持最低量的灰分。

最后，在煤装运前去掉杂质，实际上可以节约运煤费。而且比在烧煤地点更易处理这些杂质，因为烧煤地点一般位于人群聚居的城市。

1977年，俄亥俄州大约37% (15.8万t)的原煤在选煤厂中清洗。原煤约有87%来源于地下矿，而其余的来自露天矿。

在选煤厂中，起始的加工过程包括去除煤中夹杂的铁矿和减小粒径。在图19-2中列出这些过程。

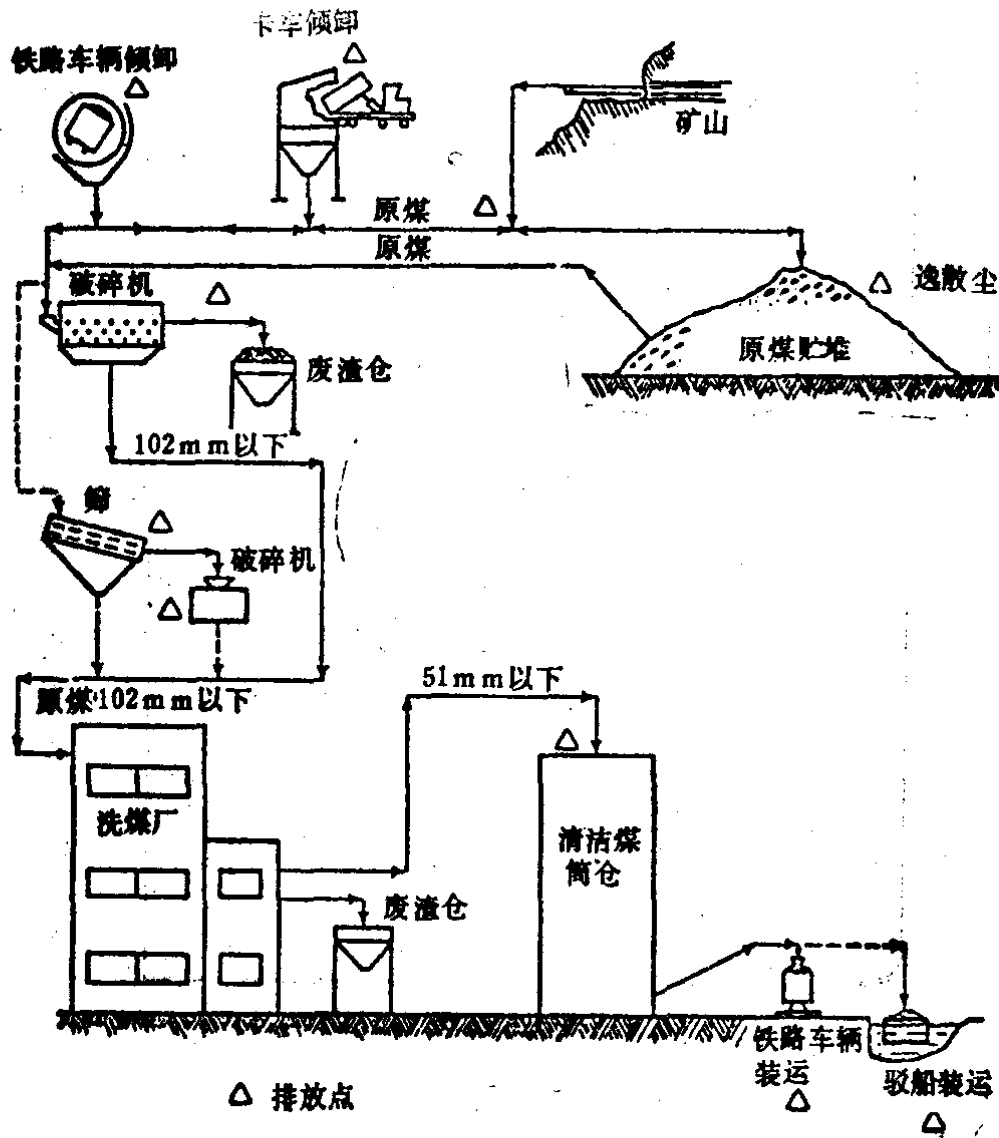


图19-2 选煤厂中煤块分级流程

原煤首先经过悬挂于送料带式运输机上的高强度磁力器，除去杂质铁。高强度磁力器也可在破碎机后，但常在筛和破碎机之前。

然后将煤送至破碎机（见图19-3），它包含一带孔的圆筒壳（孔径51~203mm）和内层的插刀。穿孔的壳容许粒径较小的煤穿过。破碎机在一水平轴上旋转，使翻滚的煤破裂。硬度低的物料（煤）被破裂成符合粒径的煤块而通过外壳，而硬的、较大的不破裂的物料（废渣）从破碎机的另一端排到废渣仓。废渣被最终运至废石场。通常小于102mm的煤穿过外壳然后转运至选厂。

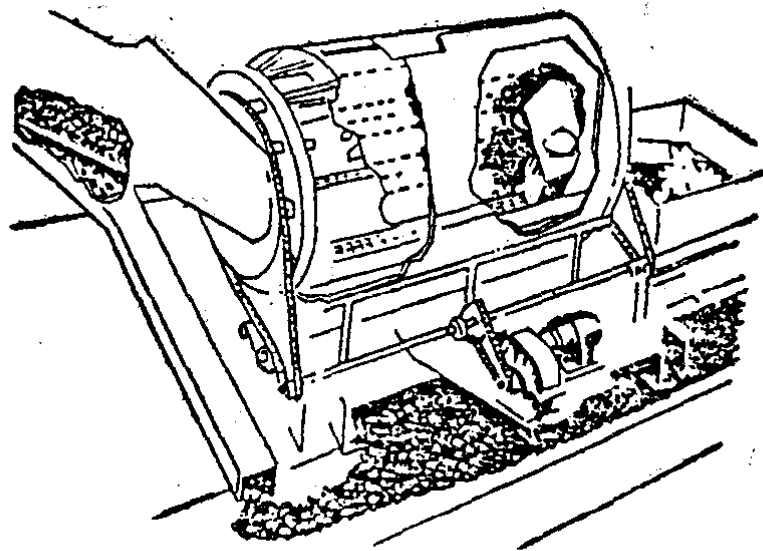


图19-3. 回转筛筒破碎机

如果不进入破碎机，一些原煤转到脱介筛，超过粒径（大于102mm）的物料从筛落入破碎机并减小粒径至102mm以下。这些物料和脱介筛的筛出废物一齐送至选厂。尽管这会使破碎机碰到大块物料，但这种流程更常采用。具有防煤中铁矿的重型单辊破碎机，最常用于破碎过程。

选煤厂也可使用多种型式的破碎机。最常用的类型是锤碎机和单辊式、双辊式、环式碎煤机。使用类型取决于希望

的粒径。这些破碎机示于图19-4~图19-7。

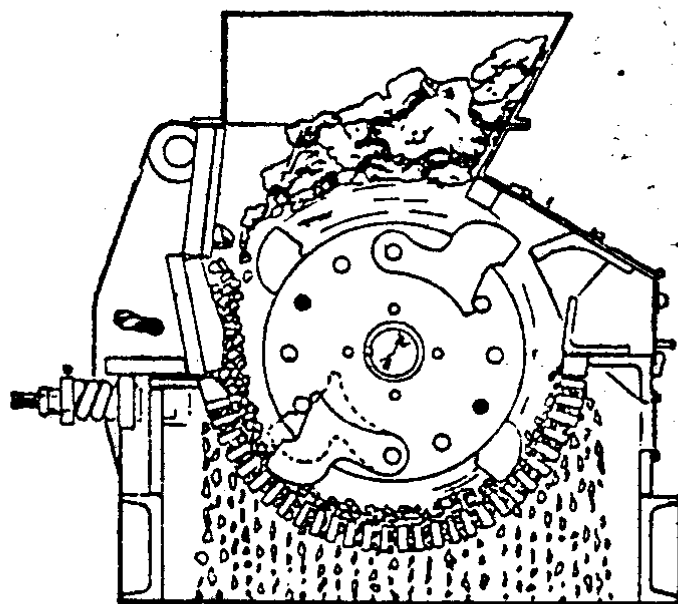


图19-4 锤碎机

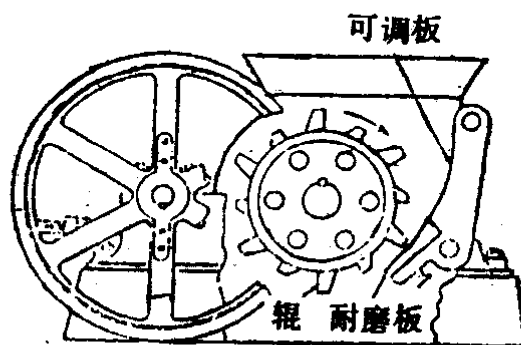


图19-5 单辊式碎煤机

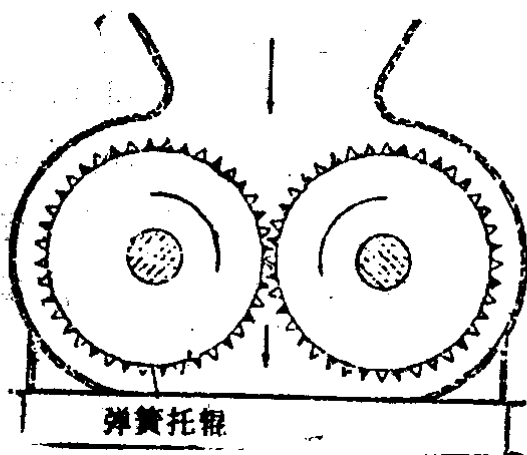


图19-6 双辊式碎煤机

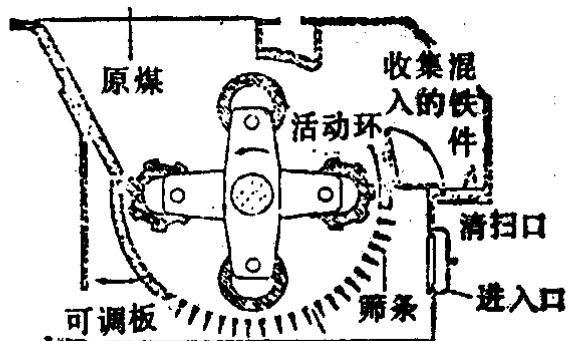


图19-7 环式碎煤机

选煤厂也使用多种筛煤装置。一般使用格筛、摇动筛和振动筛。

格筛，仅靠重力分煤，通常用于破碎机或带式输送机装料作业之前。

摇动筛不常使用，少数用来分离小于51mm的煤块。

振动筛是最普遍使用的分离装置，它用于干法或湿法加工厂。

破碎和筛选后，原煤被贮于露天贮堆或筒仓，为清洗作业提供平稳而有效的加工条件。

在选厂，使用的清洗机械类型取决于进入工厂的煤的粒径范围和希望的煤的粒径。例如，大于203mm的煤常被破碎，如需煤块，则大于203mm的部分可用拣研工洗煤。表19-1列出公称粒径范围和相应的清洗装置。

表19-1 清洗装置适用的煤的粒径范围

| 粒 径 | 清 洗 装 置 |
|--------------|---------------------|
| 203mm | 拣选槽 |
| 203mm至6.35mm | 重介质槽或鼓式跳汰机 |
| 6.35mm至48目 | 二元酸酯槽；重介质旋流分级机；风力摇床 |
| 48目以下 | 泡沫浮选机 |

煤的粒径小于9.5mm者，常常用风力送煤装置或风力摇床。这些装置有一穿孔的底板，煤层经过其上。空气流穿过底板向上流过，而较小的颗粒则经过底板被空气带走。再通过旋风除尘器和纤维过滤器，从空气流中去除这些细小颗粒。随着煤到达风力摇床的末端时，煤被分成几层。底层为重物料（高灰分），中层是中等重量煤和炭质页岩（高灰分），顶层为煤（低灰分）。中层物料或与底层废渣，或再回去洗

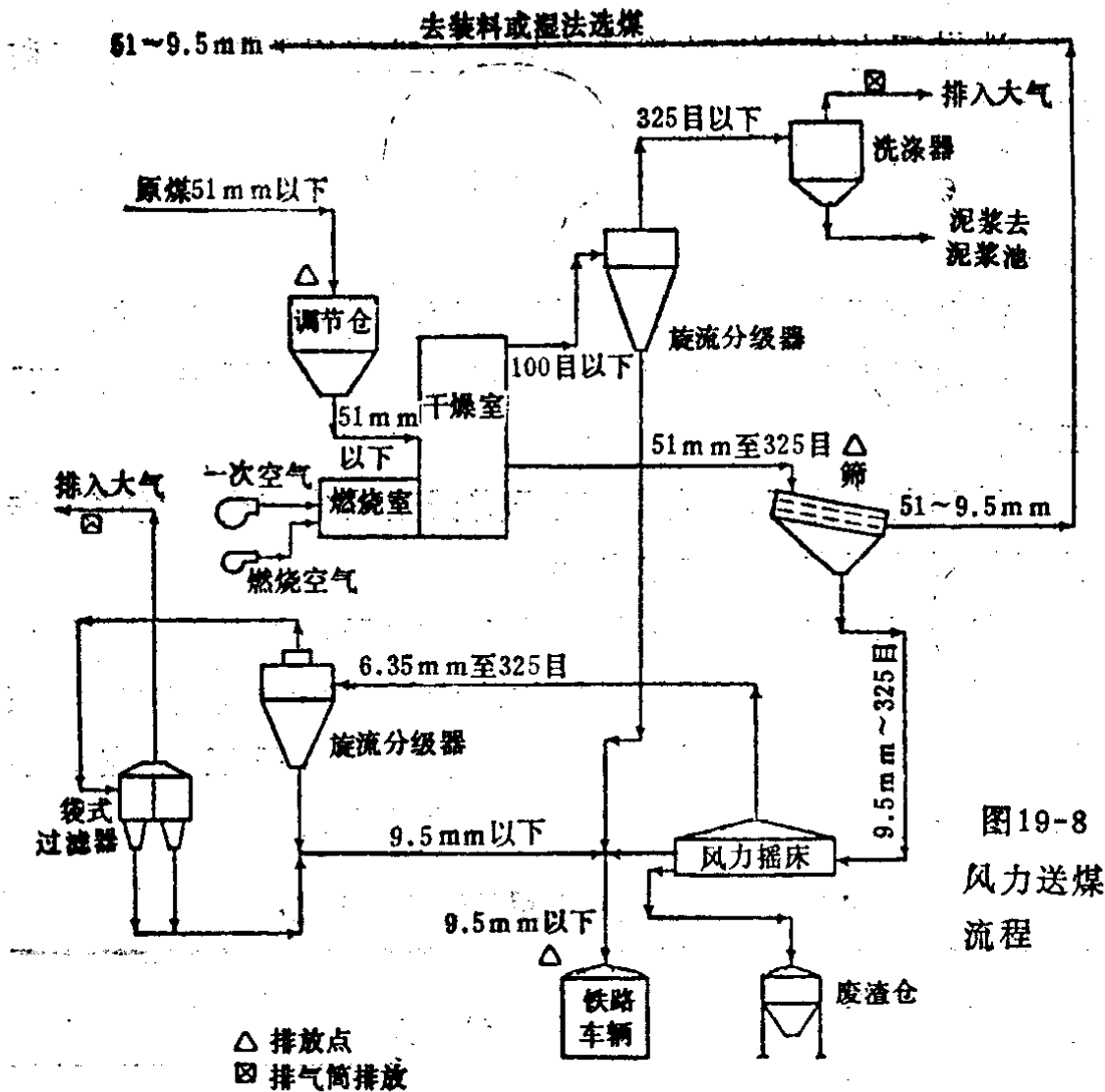


图19-8
风力送煤
流程

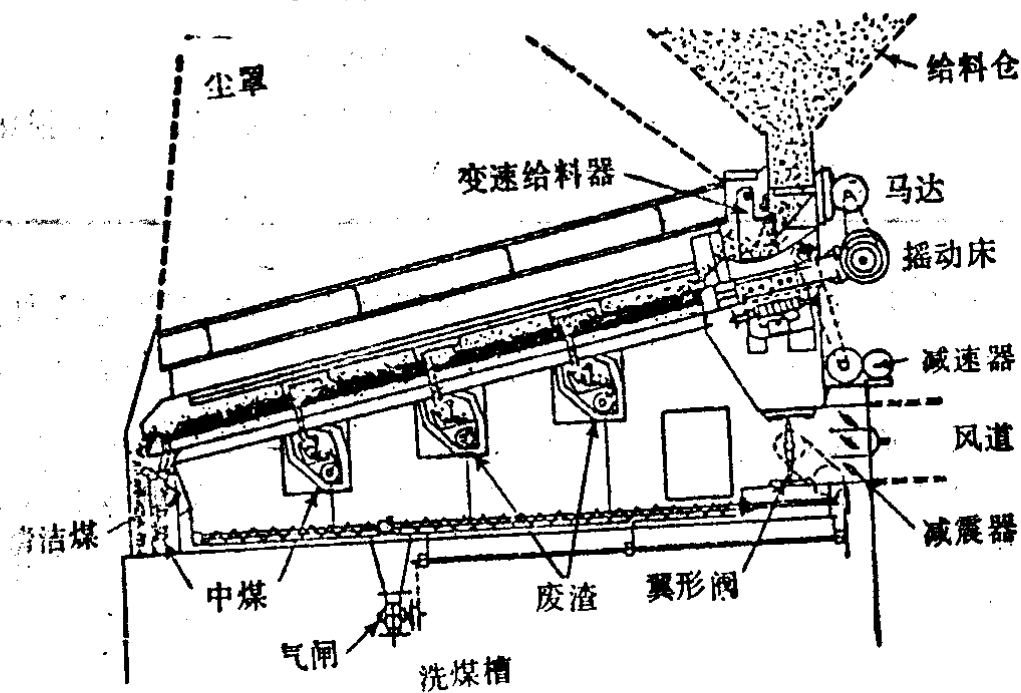


图19-9 风力摇床

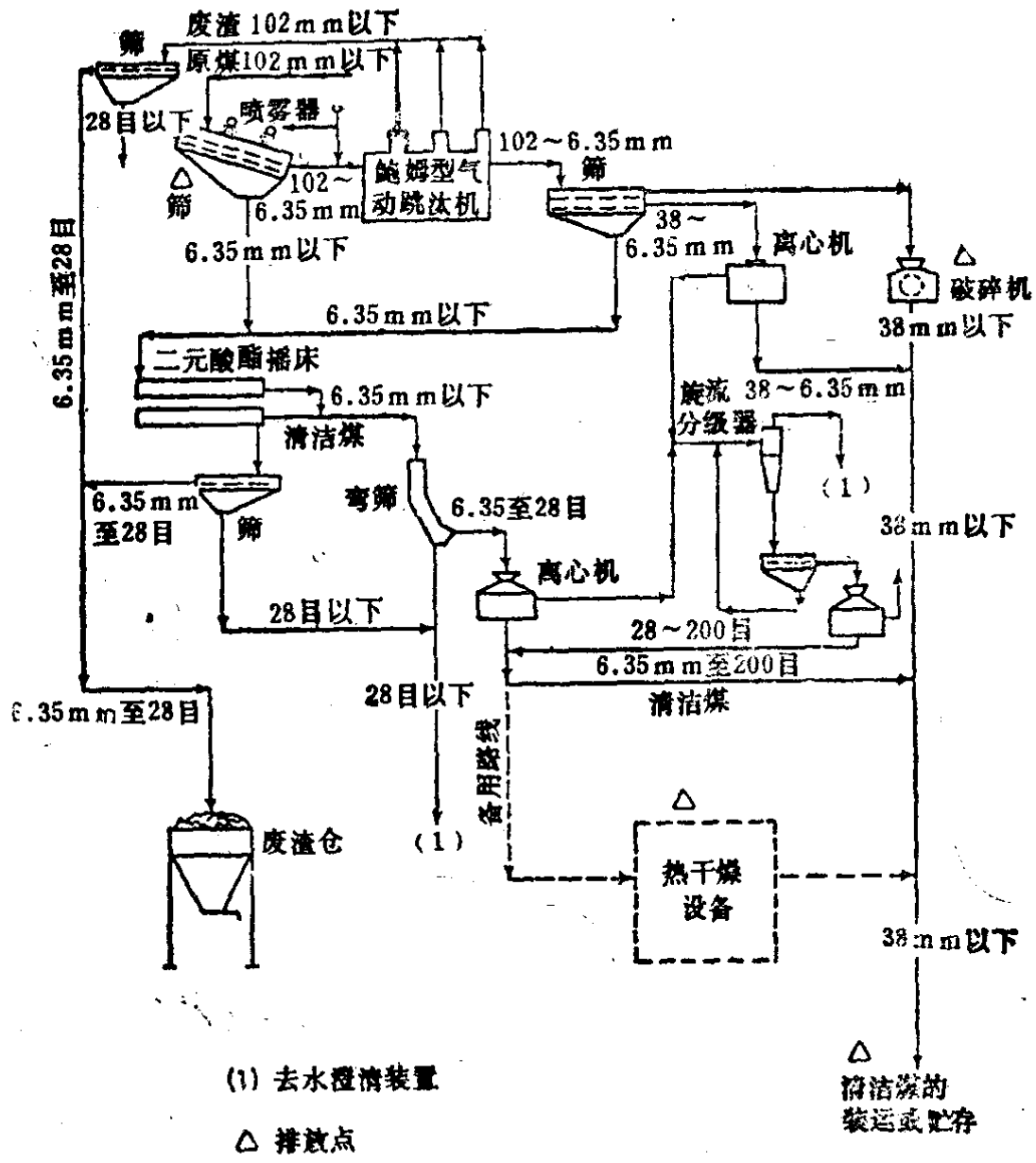


图19-10 跳汰-摇床选煤流程

涤，或加入到顶层中卸入贮仓。图19-8表示出典型气动清理煤厂的线路，而图19-9为风力摇床。

一般来说，风力摇床对去除煤中灰分并非非常有效。一份报告指出其去除灰分效率仅限于2~3%。风力摇床要求进料经过筛选和加热干燥。

跳汰-摇床洗煤厂用跳汰机清洗粒径大于6.35mm的煤，而二元酸酯选矿摇床则清洗6.35mm至28目粒径范围的煤。

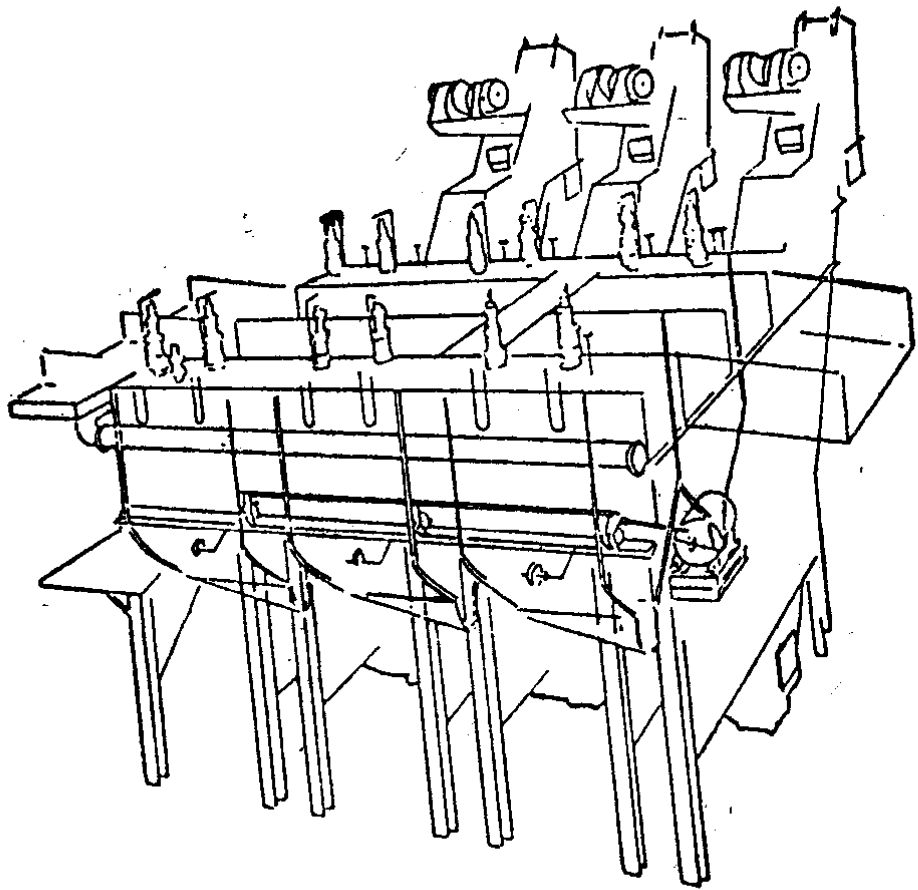


图19-11 风动跳汰机

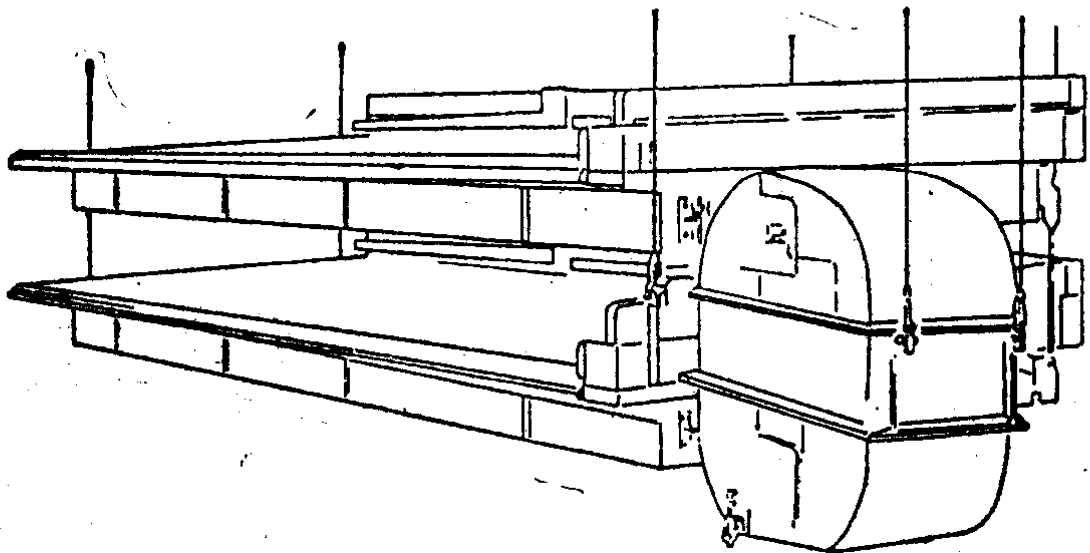
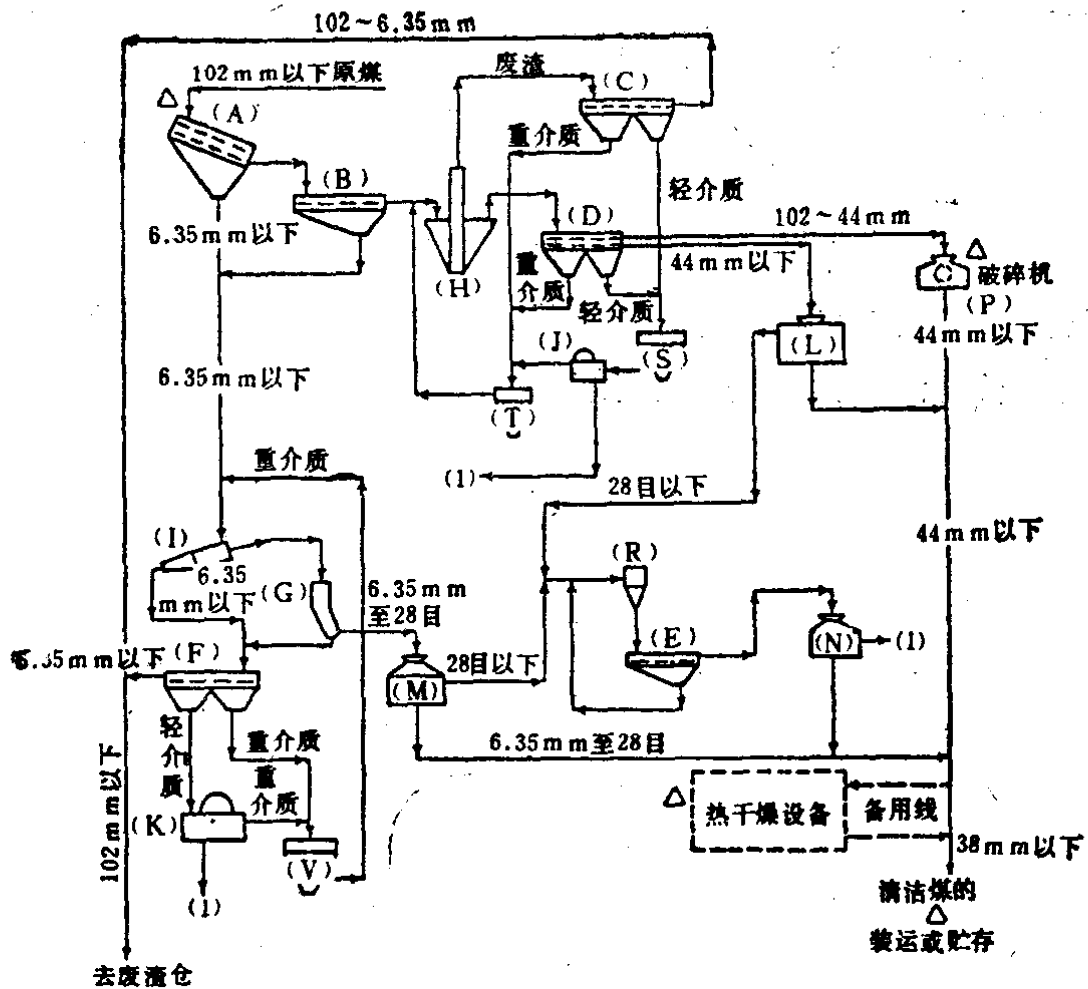


图19-12 二元酸酯摇床



- | | |
|-------------|-------------|
| △——排放点 | (1)——去水澄清装置 |
| (A)原煤筛 | (K)细磁铁矿分离器 |
| (B)预湿筛 | (L)离心机 |
| (C)废料漂洗筛 | (M)离心机 |
| (D)煤漂洗筛 | (N)离心机 |
| (E)泥浆筛 | (P)破碎机 |
| (F)废渣漂洗筛 | (R)旋流分级器 |
| (G)弯筛 | (S)轻介质池 |
| (H)重介质槽 | (T)重介质池 |
| (I)重介质旋流分级器 | (V)重介质池 |
| (J)粗磁铁矿分离器 | |

图19-13 重介质选煤流程

这种装置常使用泡沫池和(或)加热干燥器。跳汰-摇床选煤流程见图19-10。风动跳汰机见图19-11。二元酸酯摇床见

图19-12.

重介质选煤厂流程见图19-13。特定比重（密度）的介质被用来浮选煤。细磁铁矿粉被分散于介质中。

由重介质洗煤厂原煤筛来的细煤（ $<6.35\text{mm}$ ）与磁铁矿和水一起被泵至重力旋流分级器（如图19-14所示），由旋流分级器的作用从废渣中分出煤。旋流分级器使用的重介质一般较重介质分选槽的粒度细。

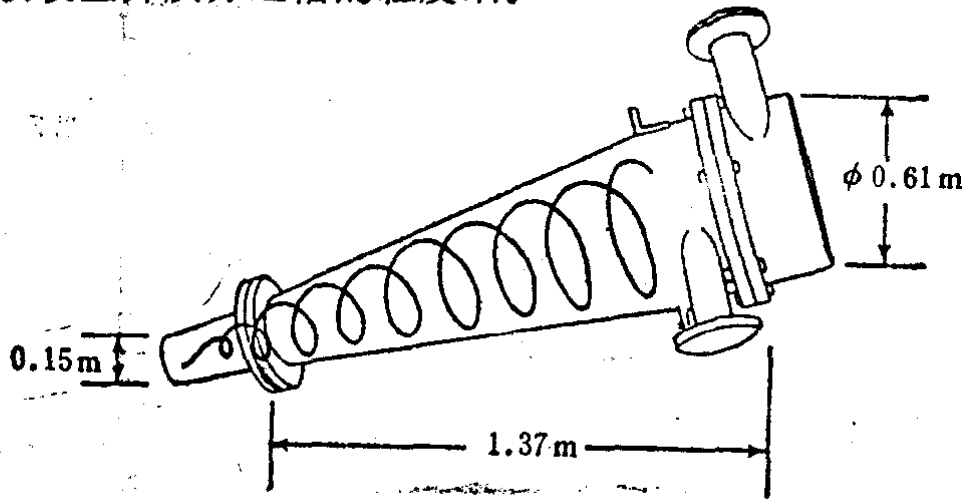


图19-14 重介质旋流分级器

水澄清厂也是洗煤厂的组成部分。它接受洗煤厂来的全部泥浆，分离出粒径在48目以下的清洁煤，而回收水返回到洗煤厂。典型澄清厂的流程见图19-15。48目以下的煤被卸入泡沫浮选池，并与轻油混合。煤被油层包裹，漂浮到池顶溢出，并排至盘式过滤器。经过滤器将过量的水吸滤出来。然后，回收水返回洗煤厂。细煤送入热干燥器、贮存或装运。泡沫浮选装置示于图19-6。

不为油包裹的废渣，沉至浮选池的底部，并随进入的水而被带到静式浓密池。静式浓密池是一大型沉淀池，容许有足够的停留时间，使废渣能沉降到槽底。澄清的水由沉淀池周围的溢流槽抽走，并被送回洗煤厂。

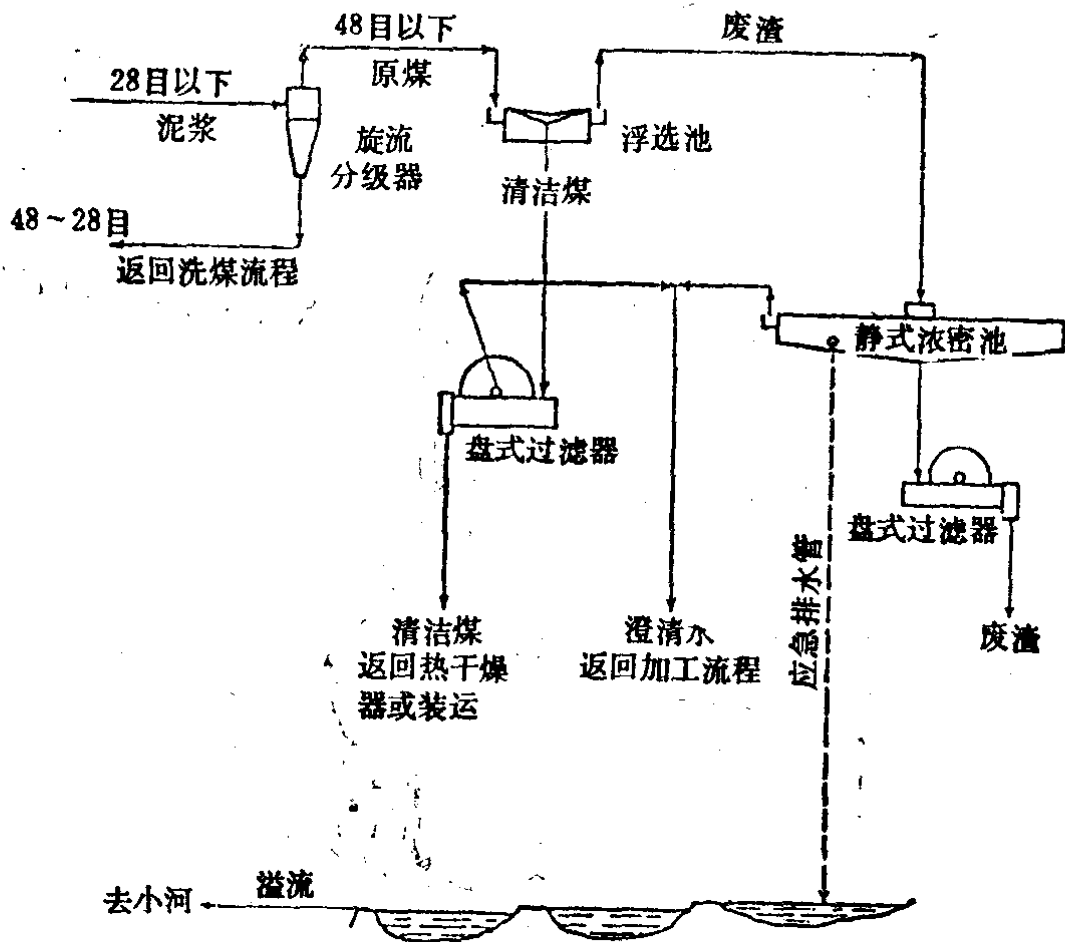


图19-15 水澄清流程图

煤的热干燥机用于采用洗煤装置的煤加工厂。用热干燥机干燥煤，一般有一个或多个理由：

1. 避免结冰并有利于装运、贮存和转运时的搬动；
2. 使研磨机保持高的能力；
3. 改进炼焦用煤的质量；
4. 减少运输费用。

热干燥机一般用来干燥6.35mm以下的细粒煤。但有时为了易于过筛，干燥大于6.35mm的煤。

热干燥机是简单的接触装置，在燃烧过程的排气被用来加热湿煤并蒸发表面的水分。现在使用的热干燥机有七种主要类型；转筒式、筛式、梯流式、连续输送式、飘悬式、百

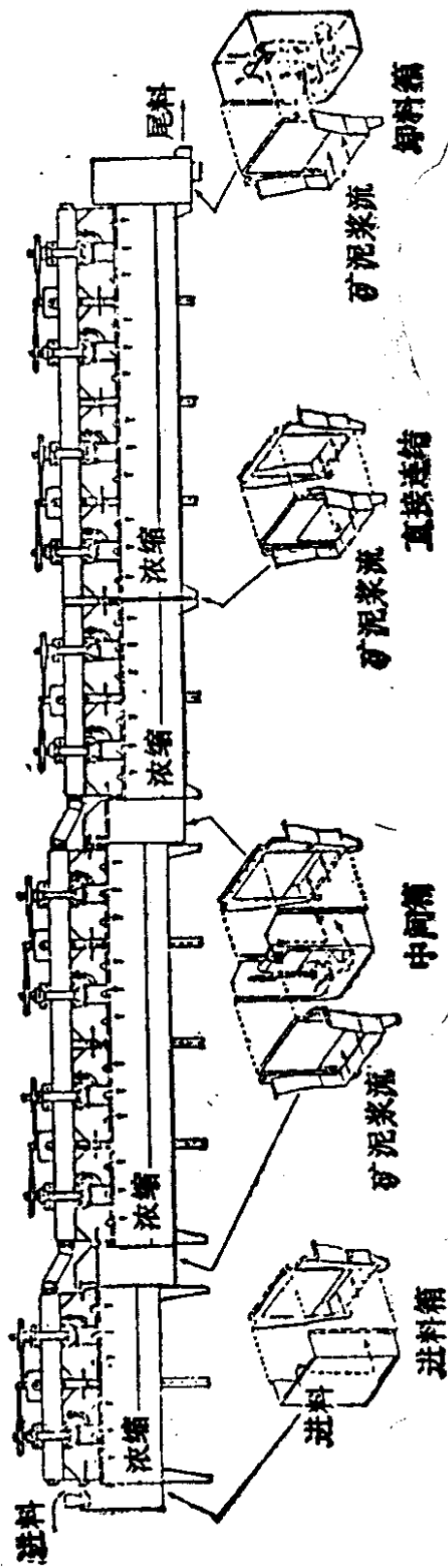


图19-16 泡沫浮选装置

叶窗式和流化床。但热干燥机最流行的类型是飘悬式和流化床干燥机。

转筒式干燥机由一旋转筒组成(直径 2.4~3.0m,长19.8~24.4m),筒中湿煤和热气反向流动。干燥机装有提升叶片,帮助煤跌落并穿过热气。

筛式干燥机在往复筛上运送湿煤,而热气则穿过筛床。此种干燥机通常用来干燥12.7~51mm的煤粒。图19-17介

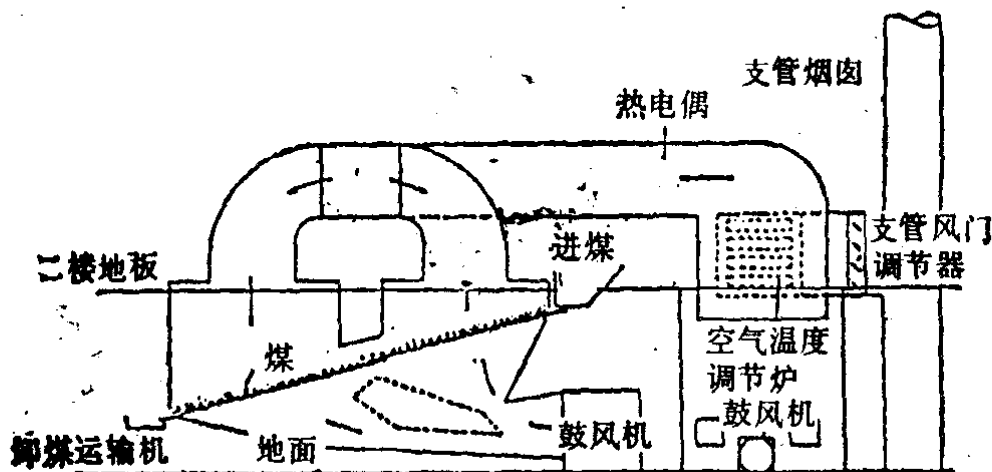


图19-17 筛式热煤干燥机

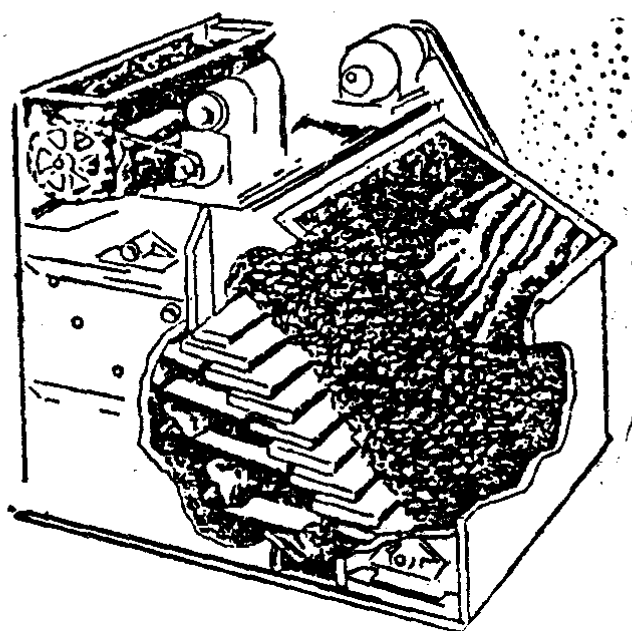


图19-18 梯流式热煤干燥机

绍了典型的筛式干燥机。

梯流式干燥机，湿煤首先经过转动叶轮定量给料机再进入干燥机。湿煤呈瀑布状经过振动的楔形金属丝筛板。同时，热气被向上抽，并通过楔形筛板间隙，干煤被收集到干燥机底并排出。这类干燥机最普遍地用来干燥细煤粒（9.5mm以下）。梯流式干燥机表示于图19-18。

连续输送式干燥机是一种非常不普遍的干燥机，还没有介绍的资料。

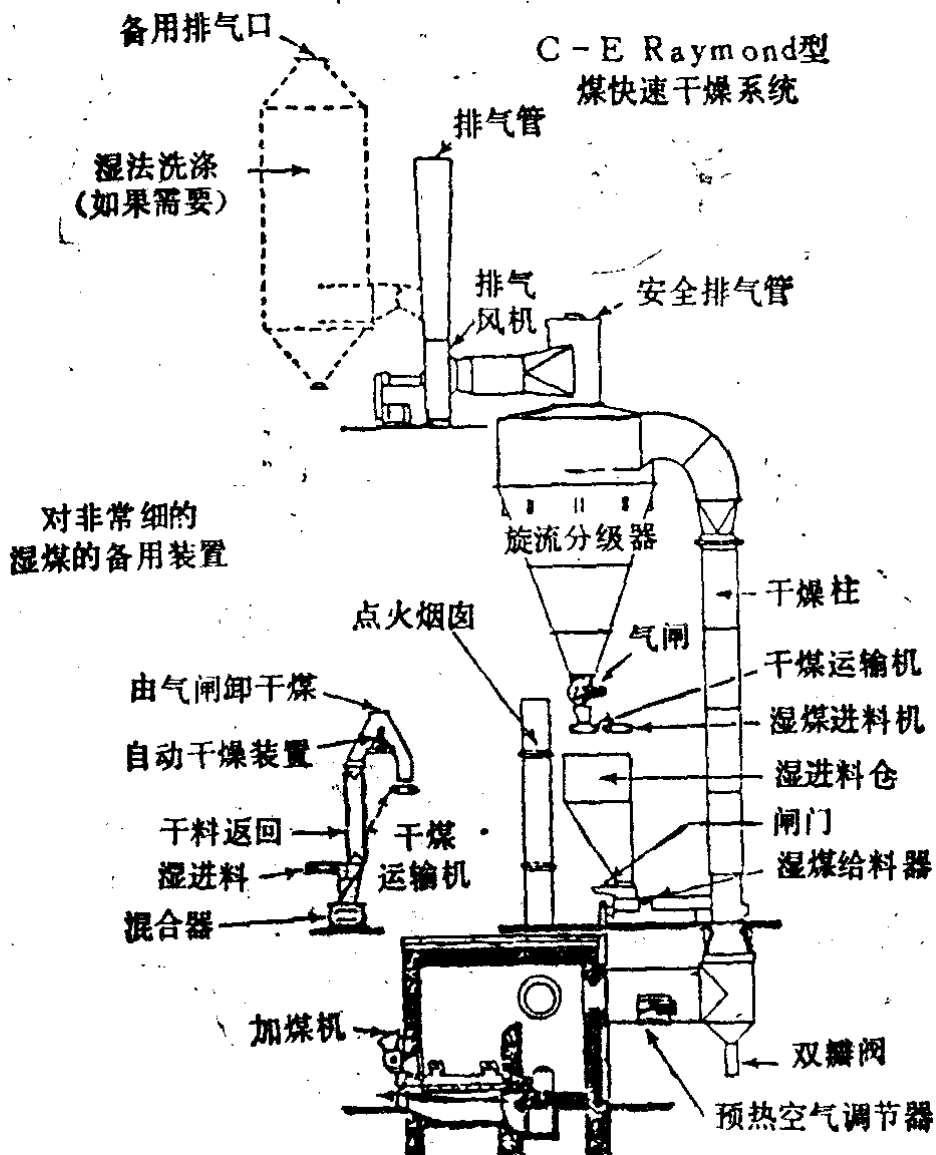


图19-19 飘悬式热煤干燥机

飘悬式干燥机是另一类使用较多的干燥机。在这类干燥机中，干燥机燃烧炉产生的热气把湿煤输送上提升机。提升机内产生湍流，提供优良的干燥环境。这种干燥机用来干燥极细的煤粒，粒径最高不超过9.5mm。飘悬式干燥机示于图19-19。

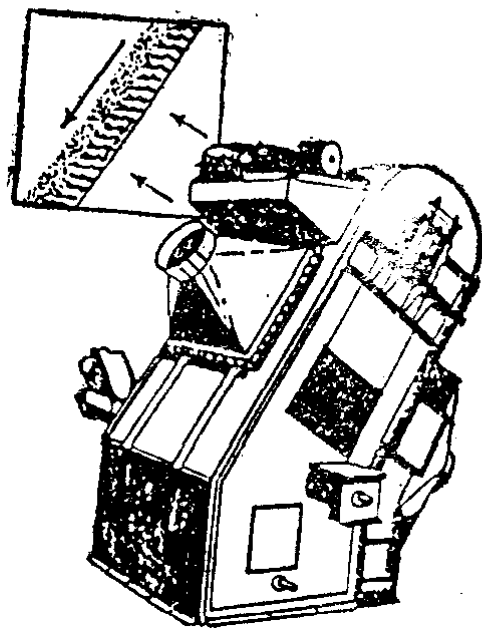


图19-20 百页窗式热煤干燥机

百页窗式干燥机示于图19-20。它主要用来干燥大量的煤和要求快速干燥者。在这类干燥机中，湿煤被向上输送至刮板，然后在浅床中越过上升刮板向下流动。煤从进料口进入后，在每一行程中逐步移动，跨过干燥机，进到卸料区。

现今最流行的干燥机是流化床干燥机。干燥机包含一穿孔板，该板处在一负压流化室中，煤被上升的热气柱悬浮在板上方。干煤从溢流堰排出干燥机，图19-21介绍了典型流化床干燥机。

洗涤和干燥后的煤，在使用牵引拖车装运的矿山，通常贮存足够的清洁煤以装拖车。贮仓常常用于这个目的。此外，贮仓贮存可防止湿气凝聚或风的吹失。采用露天贮存的

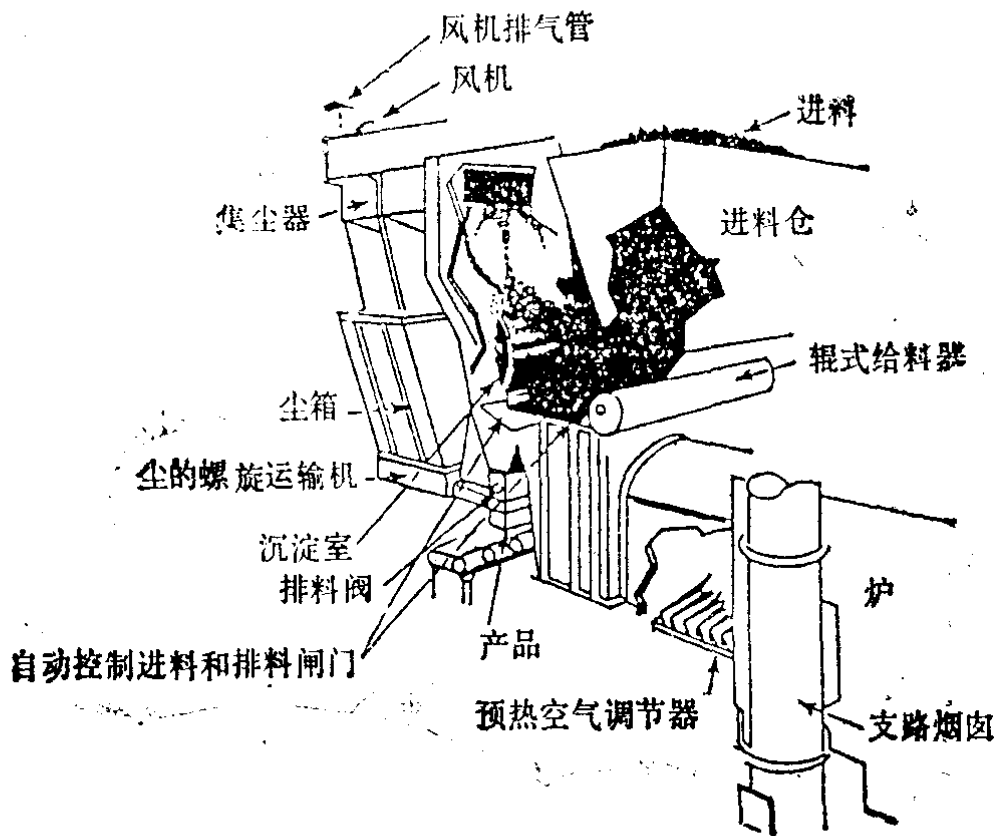


图19-21 流化床热煤干燥机

一些矿山，使用运输机装货。最后，在一些矿山，加工好的煤直接装入铁路车辆或驳船。

一般，装煤的方法取决于加工厂的规模、可用的运输工具和终端用户的位置。最常用的运输工具是驳船、卡车或陆地运输工具。

通常采用下列五种方法之一进行驳船装煤：

1. 卡车直接倾卸入驳船；
2. 通过固定溜槽装料；
3. 起重吊杆装货，驳船在河床中移前和移后；
4. 浮吊装货，装货的吊杆被安装于漂浮驳船上并可按装货需要而旋转；
5. 自动倾卸运输机，驳船固定而装卸溜槽移前移后。

铁路车辆可用前端式装载机、带式运输机装料，起重吊

杆可从高架贮仓装料，也可由地面贮堆装料。在大型煤加工工厂中通常使用贮仓装货于铁路车辆，装货时，通过伸缩式溜槽涌流装煤于车辆中。这样的贮仓一般具有9070~13600t的能力。

用陆地运输工具时，煤被直接送至最终用户（通常为发电厂）。

煤加工厂逸散尘的潜在源是矿山原煤的卸料；一级破碎、二级破碎和筛选；运输和转运；清理；贮存；煤的装料。这些源列在图19-1。

运输道路交通和贮堆周围往来车辆排放的逸散尘在第一章第一节中说明。

有关煤贮堆和煤搬运排放逸散尘的资料已在第一章第二节和第三节中说明。

二、逸散尘排放因子

煤加工厂逸散尘的排放因子总结在表19-2中。由于这些因子都是基于工程估计值，排放因子的全部可信度都是较差的。

装煤卡车倾卸料的排放因子，由于煤的粒径较大和含有较高的水份，应比可比的粒料的因子小，现按洒水的效率估计，即减少50%。

铁路车辆卸料的排放因子取自燃煤发电厂的铁路车辆的卸料值（见第四章）。这一因子也被其它各种运煤方式的排放源所引用。

根据一般装货和卸料作业的资料，假设装货的排放因子与卸料的相同。

表19-2 煤加工过程逸散尘的排放因子

| 逸散尘源 | 排 放 因 子 | 可信度等级 |
|------------|----------------------------|-------|
| 1. 卸料 | | |
| 卡车 | 0.01kg/t (卸料) | E |
| 铁路车辆 | 0.20kg/t (卸料) ^a | E |
| 2. 一级破碎 | 0.01kg/t (破碎料) | E |
| 3. 二级破碎和筛选 | 0.08kg/t (破碎和过筛料) | E |
| 4. 运输和输送 | 0.10kg/t (转移或运输料) | E |
| 5. 清选 | 可忽略不计 | |
| 6. 贮存 | | |
| 送料上堆 | 0.04kg/t (装料) | D |
| 车辆交通 | 0.08kg/t (贮料) | D |
| 出料 | 0.05kg/t (装料) | D |
| 风蚀 | 0.045kg/t (贮料) | D |
| 7. 装货 | | |
| 卡车 | 0.01kg/t (装货) | E |
| 铁路车辆 | 0.20kg/t (装货) | E |
| 驳船 | 0.20kg/t (装货) | E |

注: a. 仅用于底卸式车辆。由边门和翻斗倾卸的铁路车辆排放因子不能用这个因子。

三、颗粒特性

没有煤加工厂逸散尘的粒径分布资料。

对排放煤尘来说, 一份报告指出, 如果可吸入尘部分包含的石英少于 5%, 则 $2\text{mg}/\text{m}^3$ 的浓度可产生不利健康的影响。另外的报告指出, 煤尘的潜在健康危害取决于尘中硅(SiO_2)的总量。在硅尘中曝露, 持续呼吸超过一定时间已出现了矽肺这类问题。矽肺是扩散性纤维变性的慢性肺

病

如果煤加工厂位于稠密的人群地区，煤尘将产生令人讨厌的状况。由于这样的尘除了采用大面积清洁外，难于去除。故煤尘可以通过对车辆或房屋的外观沾污而造成明显的财产损失。

四、控制方法

对卡车或铁路车辆排放逸散尘的控制方法有：

1. 全封闭并排气至纤维过滤袋；
2. 部分封闭；
3. 水喷射系统；
4. 用水和化学润湿剂或泡沫剂的湿抑制系统。

一级和二级破碎以及筛选作业的控制方法包括封闭并排气至纤维过滤袋和利用化学润湿剂或泡沫剂的湿抑制系统。

运输作业使用的控制方法，是部分封闭(顶部封闭)，全封闭，或湿抑制。

转运点的控制也可使用全封闭、封闭并排气至纤维过滤袋、或使用化学润湿剂。

清选作业通常在密闭建筑屋内进行，并可进行湿加工处理。因此，逸散尘不明显，一般不需控制。

贮堆排放的逸散尘有四种源：进料、风扰动、车辆交通和出料。它们的控制方法随源的类型而变动。

在贮堆进料中，控制方法包括：

1. 使用石阶梯封闭；
2. 风障；
3. 伸缩式溜槽；
4. 湿抑制和操作上的预防措施。

贮堆由风扰动逸散的尘，可使用湿抑制和表面结壳剂。操作中注意主导风向，减少贮堆曝露表面，将有助于减少风蚀。

煤贮堆周围的车辆交通，在第一章第一节中已列出了控制方法。

由煤贮堆出料的控制方法包括装置堆下输送系统、斗轮式出料系统和湿抑制。

在贮仓内贮存煤的逸散尘，通常用带罩的运输机控制。对进煤置换出空气夹带的尘或贮仓排气携带的尘，可用排气过滤器或排气至纤维过滤袋，但这些排放是不明显的。

装货操作的控制包括伸缩式溜槽和湿抑制。

五、推荐的合理、可用控制措施

煤加工厂逸散尘排放源的RACM列在表19-3中。

煤卸料（从铁路车辆和卡车）的RACM是湿抑制系统，为了更有效的控制逸散尘还可利用化学润湿剂或泡沫剂。这种方法比更有效的纤维过滤袋的费用低，同时比其它措施更有效。

一级、二级破碎和筛选作业可用湿抑制系统有效地控制。

在转运和运输中，RACM选择湿抑制，也是它比封闭并排气至纤维过滤袋（或只封闭）的费用低。

煤的清选作业一般在封闭的建筑物中进行，并（或）用湿加工，因此不需要控制。

煤贮堆进料使用伸缩式溜槽并辅以湿抑制系统可达到较高的控制效果。风蚀和煤的装运也选择湿抑制，因为它有较高的效率和较低的费用。

表19-3 煤加工厂逸散尘源的控制技术、效率、费用和RACM

| 逸散尘源 | 可选用的控制技术 | 控制效率 (%) | 控制费用 1980.1美元 | | 费用效益比 (美元/kg) | 选择的RACM |
|---------------|---------------------|------------------|---------------------|--------------------|------------------|--------------------|
| | | | 投资费 | 年费用 | | |
| 1. 矿山原煤的卸料 | 封闭、排气至纤维过滤袋 | 99 | 120000 | 39000 ^a | 0.066 | 湿抑制 (化学剂) |
| | 封闭 | 70 ^b | 33000 ^c | 5600 ^d | 0.011 | |
| | 湿抑制(化学剂) | 80 | 98000 ^e | 37000 ^f | 0.022 | |
| | 洒水 | 50 | 无可用数据 | | | |
| 卡车 | 封闭、排气至纤维过滤袋 | 99 | 87400 ^g | 23000 ^h | 0.68 | 湿抑制 (化学剂) |
| | 封闭 | 70 | 11000 ⁱ | 1900 ^d | 0.066 | |
| | 湿抑制(化学剂) | 80 | 98000 ^e | 37000 ^f | 0.066 | |
| | 洒水 | 50 | 无可用数据 | | | |
| 2. 一级破碎 | 封闭、排气至纤维过滤袋 | 99 ^j | 129000 ^k | 38000 ^a | 0.13 | 湿抑制 (化学剂) |
| | 湿抑制(化学剂) | 90 ^j | 费用包括在铁路车辆卸料中 | | 0.022 | |
| 3. 二级破碎和筛选 | 封闭、排气至纤维过滤袋 | 99 ^j | 费用包括在一级破碎中 | | 0.13 | 湿抑制 (化学剂) |
| | 湿抑制(化学剂) | 90 ^j | 费用包括在铁路车辆卸料中 | | 0.022 | |
| 4. 转运和运输 | 运输机和转运点的封闭、排气至纤维过滤袋 | 99 | 100000 ^l | 30000 ^m | 0.088 | 湿抑制 (化学剂) |
| | 湿抑制(化学剂) | 90 ^j | 费用包括在铁路车辆卸料中 | | 0.022 | |
| | 运输带、转运点封闭 | 70 | 28000 ⁿ | 8400 ^m | 0.044 | |
| 5. 清选 | 封闭 | 100 ^j | 无可用数据 | | | 不控制 |
| 6. 贮存 送料上堆 | 封闭(石阶梯) | 80 | 24000 | 4000 | 0.044 | 湿抑制 (化学剂)、伸缩式溜槽 |
| | 伸缩式溜槽 | 75 | 8600 | 1500 | 0.022 | |
| | 湿抑制(化学剂) | 75 | 73000 | 36000 | 0.44 | |

续表

| 逸散尘源 | 可选用的控制技术 | 控制效率 (%) | 控制费用 1980.1美元 | | 费用效益比 (美元/kg) | 选择的 RACM |
|-------------|----------|----------|-----------------------|----------------------|------------------|------------------------|
| | | | 投资费 | 年费用 | | |
| 风蚀 | 防风装置 | 50 | 61000 | 12000 ^a | 0.22 | 湿抑制 (化学剂)、伸缩 式溜槽 |
| | 封闭 | 100 | 15000000 | 2550000 | 20.81 | |
| 出料 | 湿抑制(化学剂) | 99 | 13400 | 6400 ^p | 0.044 | |
| | 堆下输送机 | 80 | 14520000 ^c | 2900000 ^d | 26.63 | |
| | 湿抑制(化学剂) | 95 | 73000 | 36000 ^e | 0.29 | |
| 7.装货 | 斗轮式出料机 | 80 | 6480000 | 1300000 ^g | 11.9 | |
| | 湿抑制(化学剂) | 80 | 73000 | 36000 ^f | 0.088 | |
| 铁路车辆 和驳船 | 伸缩式溜槽 | 75 | 8600 | 1500 | 0.022 | |
| | 湿抑制(化学剂) | 80 | 73000 | 36000 ^e | 1.65 | |
| 卡车 | 湿抑制(化学剂) | 80 | 73000 | 36000 ^e | 1.65 | |
| | 伸缩式溜槽 | 75 | 8600 | 1500 | 0.066 | |

- 注:
- a. 680t/h的碎石厂和作业时间5000h/a.
 - b. 部分封闭, 不排气至纤维过滤袋.
 - c. 15m × 9 m × 6.4m的10mm厚钢板封闭铁路车辆卸料处.
 - d. 包括投资费17%的折旧费.
 - e. 680t/h的碎石厂, 包括卸料、一级破碎、二级破碎和筛选, 转运和运输等作业喷水所用的费用.
 - f. 作业时间5000h/a.
 - g. 6m × 6m × 4.6m封闭罩和喷射脉动式袋滤室, 处理4.7m³(空气)/s, 气温21℃, 空气与布袋的比例为6.5:1, 用于石灰石卡车卸料作业.
 - h. 680t/h的碎石厂、作业时间为5000h/a, 每年费用包括封闭费用.
 - i. 6m × 6m × 4.6m的10号厚度钢板的铁路车辆卸料罩.
 - j. 工程估计.
 - k. 9.4m³/s的纤维过滤袋.
 - l. 122m长的运输机和三个转运点. 投资费用基于230美元/m(运输带)和18000美元/转运点.
 - m. 年费用为投资的30%.
 - n. 122m长的运输机和三个转运点, 投资费按115美元/m(运输带)和3000美元/转运点.
 - o. 折旧费和维护费按投资的20%计.
 - p. 贮堆面积费用0.56美元/m², 贮量227000t, 贮存1个月.
 - q. 52.4美元/t(贮料).

六、典型费用计算（使用的参数）

计算中使用的基础数据

矿山原煤进入工厂的速率 = 680t/h

清洁煤的小时生产速率 = 544t/h

清洁煤的年生产速率 = 2720000t/a

加工厂的进料量（假设20%为废弃物） = 340000t/a

费用效益比的计算从略

第二十章 砖和粘土产品制造厂

一、工艺概述

生产砖和粘土产品，如瓦管、陶器和耐火砖（不包括陶瓷制品）的制造厂通常采用研磨、筛选、配料、成形、剪切、干燥和烧窑以生产最终产品。此工业使用的基本原料是粘土。

粘土由带有各种杂质的铝、铁和镁的硅酸盐水合物的极细结晶或颗粒组成。这些杂质包括粉状的长石、石英、砂、石灰石以及含碳物质（如煤）和黄铁矿。粘土独特的性质（也是最希望的）是：当充分研磨和润湿后是可塑的；当干燥时是坚硬的；高温焙烧后呈玻璃状。在露天凹地开采表层粘土或页岩，但最细的粘土则在地下。一般工业使用的粘土应具有满足加工要求的可塑性，是一种含有低水分的可塑性物质，干燥和焙烧后，尺寸和质量的缩小有限。

制造砖或粘土产品可使用三种主要技术路线：软泥法、硬泥法和干（或半干）压法。

在软泥法中，粘土混合物中含20~30%的水分，而希望的产品则在模中成形。含砂的粘土不能充分挤压，特别适合用这种方法生产砖。这种方法不利之点在于干燥砖所需的费用。由于软泥法的粘土含有高的水分，其干燥费用将比硬泥法或干压法均高。

硬泥法使用的粘土，具有能适应加工的水分（15~20%），并有正常的干燥特性。这种粘土混合物被放入螺旋形挤压

机，并被强制通过冲模。挤压出的条成矩形，然后被切成砖，在窑内干燥和焙烧。在美国，生产砖和粘土产品的主要方法是硬泥（或挤压）法。

最后，在干压法中，粘土混合物（含4~7%的水分）被放入模内并承受极端高的压力（大约 $6.9 \times 10^7 \text{Pa}$ ），然后在窑内焙烧。虽然此种状态生产的砖或产品直接送入窑内焙烧而不需中间干燥过程，但仍需大量能量预先干燥粘土，使它能承受压力加工。

无论使用那种粘土加工方法，原料同样均需经研磨、筛选和配料等工序，以获得特定的粒径和组成。但有些工厂直接购买加工好的原料，则可取消研磨和过筛工序。除此之外，从粘土矿来的粘土必须经过预破碎。

通常用来研磨的破碎机是一种盘式破碎机，它包含一个或多个研磨轮或在磨盘中旋转的轱轮。盘可以保持固定而轱轮被驱动，或盘被驱动而轱轮靠摩擦力带动。

其次，转运粘土至分级筛。粒径适合的粘土送至大贮仓。超过粒径的粘土送入锤磨机，减小粒径后再返回筛的入口。

使用振动式给料机或转盘式给料器，将粘土从贮仓供至搅拌机（通常为捏土机），加水和添加剂。

混合后，用软泥法、硬泥法或干压法使粘土成形。软泥法和硬泥法的产品，在窑内焙烧之前，放在室内干燥。干压法的产品，则直接入窑。

生产过程的最后步骤是在窑内烧成砖或器皿。虽然有几类窑至今还在使用，但实际上全部新式的砖瓦厂都使用隧道窑。

在隧道窑作业中，砖或器皿在连续移动的车内通过隧道窑，如图20-1所示。粘土器皿在窑内经加热而逐渐升温，到

达炉区时，升至最高温度，出窑后再冷却。空气穿过窑炉与器皿反向流动。冷空气被强制从窑的出货端输入以冷却产品。从冷却段抽取部分空气，用作燃烧器的一次助燃空气。窑出口的空气温度范围为 $160\sim 338^{\circ}\text{C}$ ，取决于预热带长度。

隧道窑的能力变动于 $91\sim 227\text{t/d}$ 之间。

其它类型的窑炉是间歇式（批料）或蜂房式窑炉。在间歇式窑炉中（如图20-2），燃烧室建于窑炉（B）内，热气通过加热管口（S）升至窑炉拱顶。热气被折向下穿过器皿，再穿过烟道罩（A）和地下烟道（F），进入总烟道（D）并从烟囱（C）排出。

在所有窑炉中，砖或粘土器皿都要经历焙烧过程的六个变化：

1. 驱除非化学结合的水分；
2. 随化学结合水的释放，粘土也出现分解；
3. 燃烧并消除存在的可燃物；
4. 分解存在的杂质；
5. 由粘土中存在的二氧化硅和氧化铝与某些杂质结合，

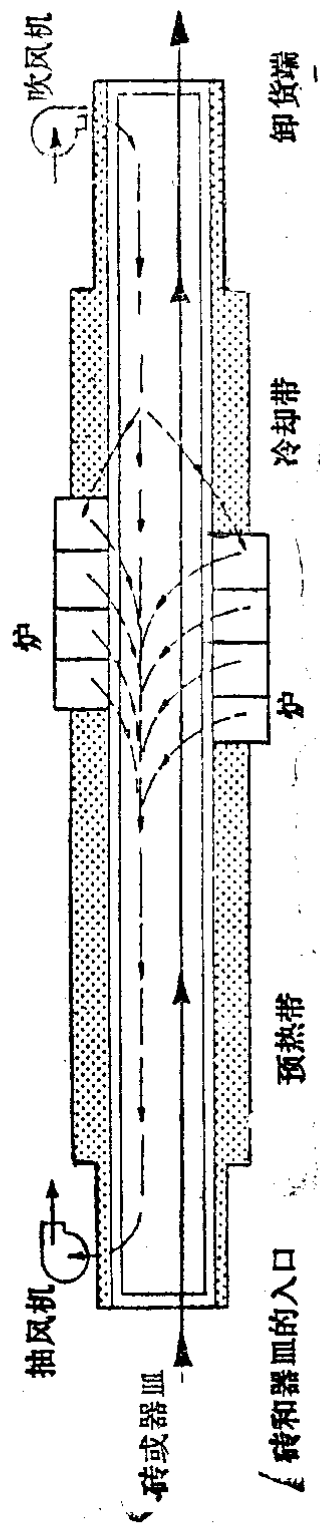
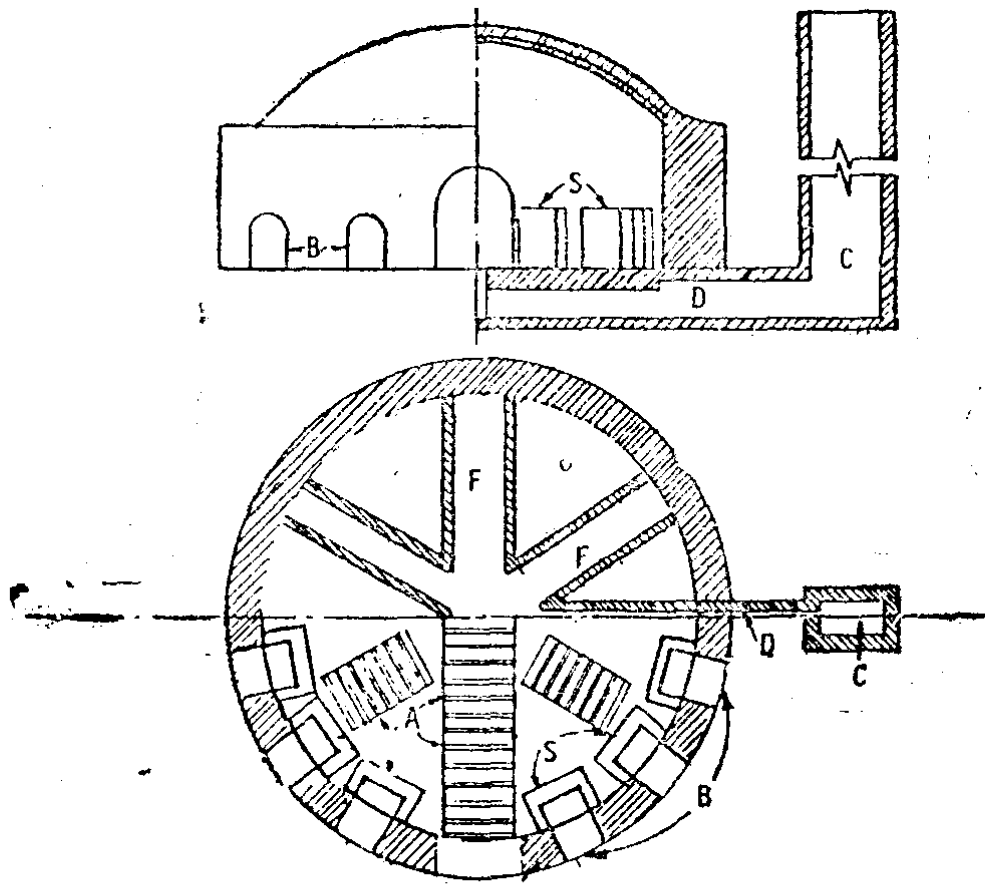


图20-1 隧道窑

形成熔融的玻璃质；

6. 冷却后，玻璃物质粘合固体颗粒，形成坚硬的产品。



A——烟道罩； B——炉； C——烟囱；
D——烟道； F——地下烟道； S——加热管。

图20-2 间歇式窑炉

粘土器皿的温度慢慢升高，以便水和燃烧产物逃逸时，不破坏产品的结构，焙烧器皿的窑炉温度（最高温度为1093℃）和时间确定了玻璃物生成的数量。

砖和粘土产品制造厂的逸散尘源包括原料的卸料、一级破碎、工厂道路的车辆交通。二级破碎（或研磨）和筛选过程通常在室内进行，以防止吸湿，因此不是逸散尘源。流程图和逸散尘源表示在图20-3中。

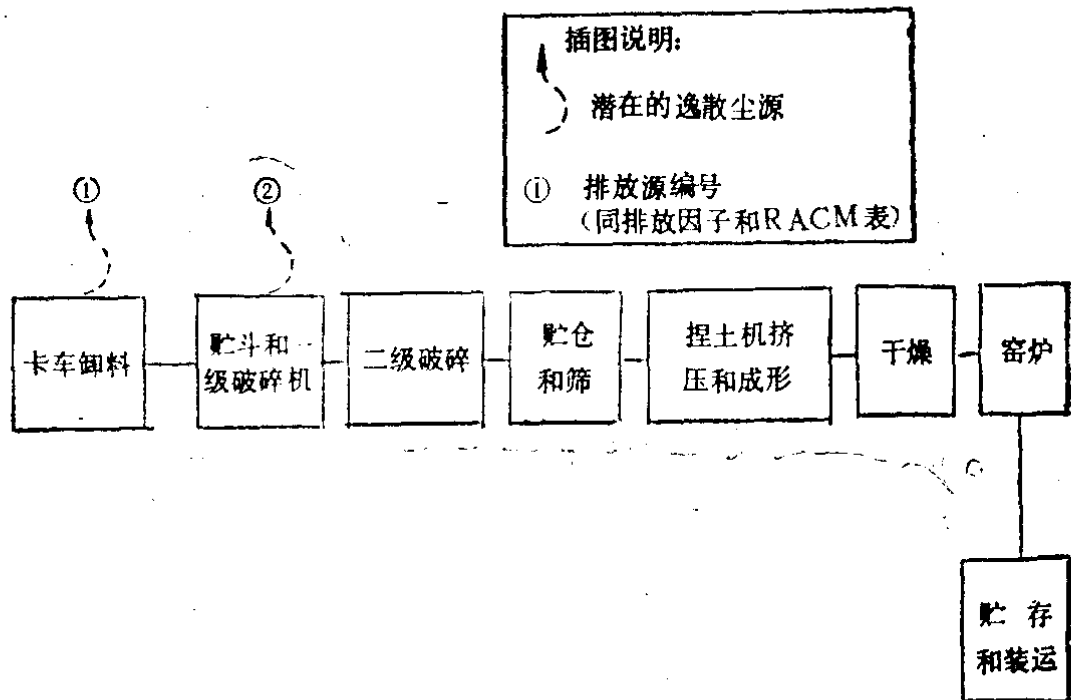


图20-3 砖和粘土产品制造厂的简化生产流程和有关逸散尘源

二、逸散尘排放因子

砖和粘土产品制造厂的逸散尘排放因子列在表20-1中。它引自美国环保局《工业过程逸散颗粒物控制指南》。这些因子是基于工程估计的，用于具体的现场排放不太准确。

表20-1 砖和粘土产品制造厂逸散尘的排放因子

| 排 放 源 | 排 放 因 子 | 可 信 度 等 级 |
|---------|-----------------|-----------|
| 1. 卡车卸料 | 0.02kg/t (卸料) | E |
| 2. 一级破碎 | 0.125kg/t (破碎料) | E |

对筛选、物料转运和二级研磨没有单独操作过程的排放因子。主要的逸散尘源是卡车卸料、一级破碎和工厂道路的车辆交通。在某些工厂中，贮存、二级破碎和筛选在没有适

当密闭的建筑物中进行，而出现可见的排放尘时，必须采取进一步的封闭或其它控制措施。在美国俄亥俄州，这些作业大部分在室内进行，如发生尘逸入环境空气的情况，也是少量的。

物料搬运和道路尘已在第一章中详细介绍。

三、颗粒特性

从化学上看，粘土是带有多种杂质的铝、铁和镁的硅酸盐水合物。其毒性取决于粘土中二氧化硅的含量。粘土（通常为 $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ）的分子量为258.2，不溶于水。如在高浓度下长时间的吸入是有毒的。

在美国国立职业安全和卫生研究院进行的一项研究确定，在科罗拉多州制砖厂出现的浓度下，暴露于这样的可吸入游离二氧化硅下是有毒的。已确定粘土的阈限值为 1060×10^6 颗尘/ m^3 。

没有颗粒粒径分布的数据。

四、控制方法

对卡车卸料和一级破碎产生的逸散尘，可用化学抑尘剂、封闭并抽气至纤维过滤袋或使用三面封闭的建筑物。

典型的湿抑制系统包含下列装备：尘的抑制剂；计量、分配和控制执行装置。卸料作业，在倾卸贮斗上方用喷雾杆喷湿抑制剂。这将减少卸料和随后的破碎作业产生的逸散尘。虽然未作效率的测试，但根据报导其效率约为90%。

也可在卸料地区上方加罩或装导气管捕集逸散尘，并吸气至纤维过滤集尘器。

最后，卡车卸料和破碎工段的三面封闭也能有效地减少逸散尘量。

工厂道路和停车场，由于道路表面类型不同，也可成为明显的逸散尘源。对铺筑道路表面的清扫、冲洗、降低车速和良好的管理都是典型的控制方法。对未铺筑道路喷湿抑制剂、洒油、铺筑表面或降低车速都是典型的方法。

五、推荐的合理、可用控制措施

砖和粘土产品制造厂逸散尘的RACM列在表20-2中。

表20-2 砖和粘土制造厂逸散尘源的控制技术、效率、费用和RACM

| 逸散尘源 | 可选用的控制技术 | 控制效率 (%) | 控制费用 1980.1美元 | | 费用效益比 (美元/kg) | 选择的RACM |
|---------|--------------|-----------------|--------------------|--------------------|------------------|--------------|
| | | | 投资费 | 年费用 | | |
| 1. 卡车卸料 | 三面封闭 | 50 ^a | 4900 ^b | 800 ^b | 0.088 | 湿抑制 (化学剂) |
| | 湿抑制(化学剂) | 95 ^c | 64000 ^d | 15700 ^d | 0.84 | |
| | 封闭, 排气至纤维过滤袋 | 99 ^e | 87400 ^e | 21000 ^e | 1.08 | |
| 2. 一级破碎 | 三面封闭 | 50 | 费用包括在卡车卸料的同项措施中 | | 0.088 | 湿抑制 (化学剂) |
| | 封闭, 排气至纤维过滤袋 | 99 | 费用包括在卡车卸料的同项措施中 | | 1.08 | |
| | 湿抑制(化学剂) | 95 | 费用包括在卡车卸料的湿抑制中 | | 0.84 | |

- 注: a. 估计值。
 b. 假设封闭罩为6m×6m×4.6m, 粘土处理量68t/h和年作业时间为250日。
 c. 无可见的排放尘。
 d. 假设处理能力为68t/h, 年作业250日, 并包括物料搬运作业的湿抑制。
 e. 假设封闭罩为6m×6m×4.6m, 并有喷射抽气装置和袋滤室, 在空气温度21℃时, 处理空气量为4.7m³/s, 空气与布的比例为6.5:1。

原料卸料和一级破碎推荐的控制措施是化学抑尘系统。这一系统提供了良好的控制效率（90%），并明显地减少了可见尘的排放。对没有适当封闭（即通过建筑物的开口处能看到排放尘）的贮存和（或）二级筛选和研磨作业，或是进一步封闭，或安装控制装置（如湿抑制）。

道路逸散尘的RACM已在第一章第一节介绍。

六、典型费用计算（使用的参数）

三面封闭：

$$6 \times 6 + 6 \times 4.6 + 6 \times 6 = \text{总面积} 100\text{m}^2。$$

费用效益比的计算从略。

第二十一章 沥青混凝土厂

一、工艺概述

沥青混凝土是用各种比例的粗、细粒料与热沥青或冷沥青（溶于石油馏出物或乳化的）在混合器内混合制成。这些粒料由带有石英颗粒的高硅质砂和砾石组成。

热混合沥青混凝土厂有三种不同的生产方法：批料法、连续法和干燥机滚筒法。批料法和连续法仅在最后的混合过程有差别（即两种方法有基本相同的物质流动型式）。

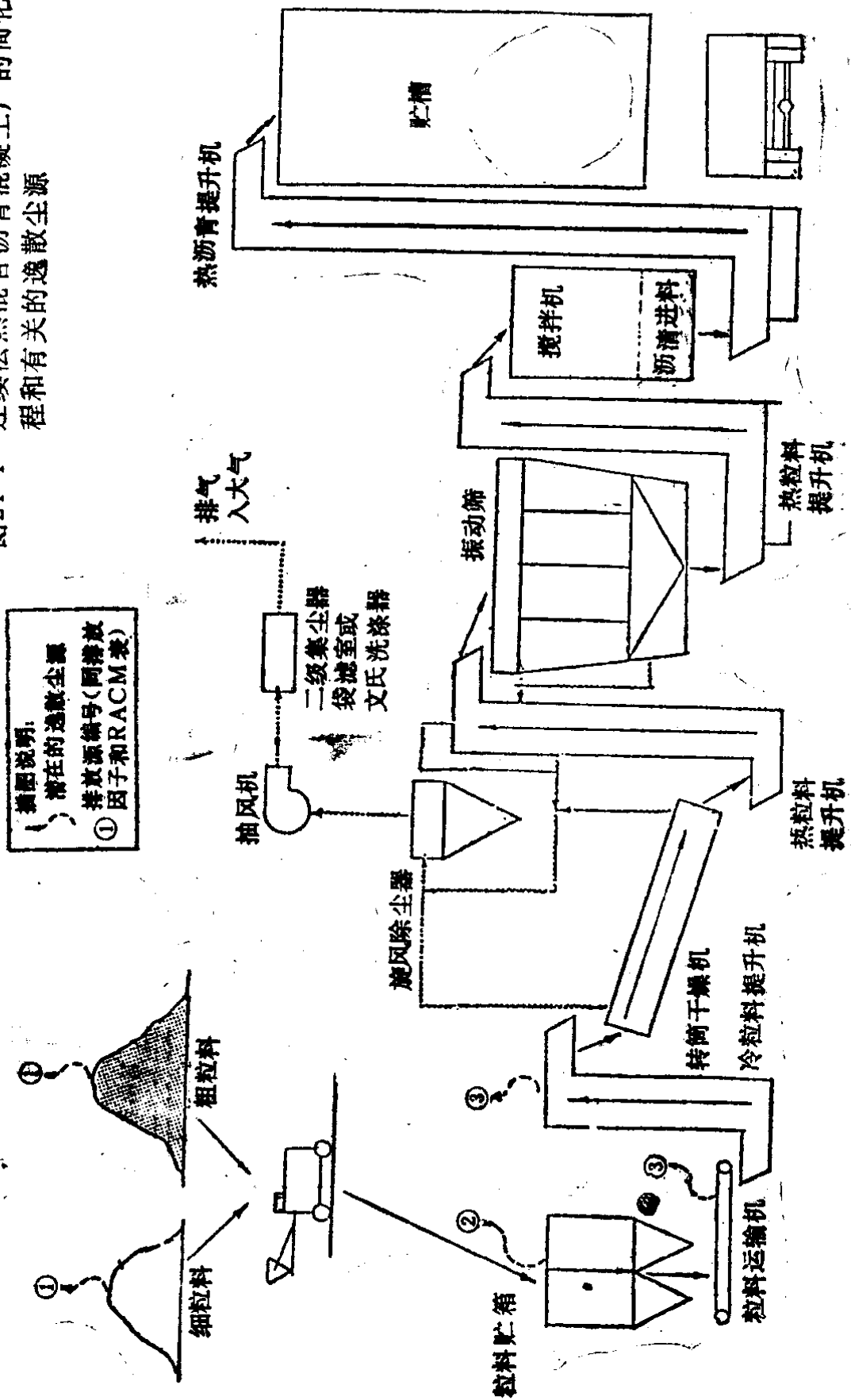
在批料法工厂中，粒料被送入给料机并运至转筒干燥机。干燥后，粒料被分级、称重和装入搅拌机。热沥青被单独称重，然后放入混合器，粒料变成均匀涂上沥青的粒料。

在连续法中，分级和配好比例的粒料被送入搅拌机。正压移动计量泵自动计出沥青的准确数量并在搅拌机内与物料充分混合。进入的粒料和沥青是正量联锁，以保证进入搅拌机的每种物料的适当比例。物料在搅拌机内的停留时间，由位于卸料点的可调空气阀控制。

批料法和连续法典型厂的简化流程图在图21-1和图21-2中。

在干燥机滚筒法中，配好比例的粒料被送入连续运输带、称量装置，由此依次进入干燥机滚筒。在同一时间，适当数量的热沥青被连续直接喷射入滚筒，对粒料表面进行涂层。在干燥机滚筒内，沥青和粒料混合物被干燥，形成所希望的沥青混凝土产品。这种方法取消了热粒料筛、进料仓和

图21-1 连续法热混沥青混凝土厂的简化流程图和有关的逸散尘源



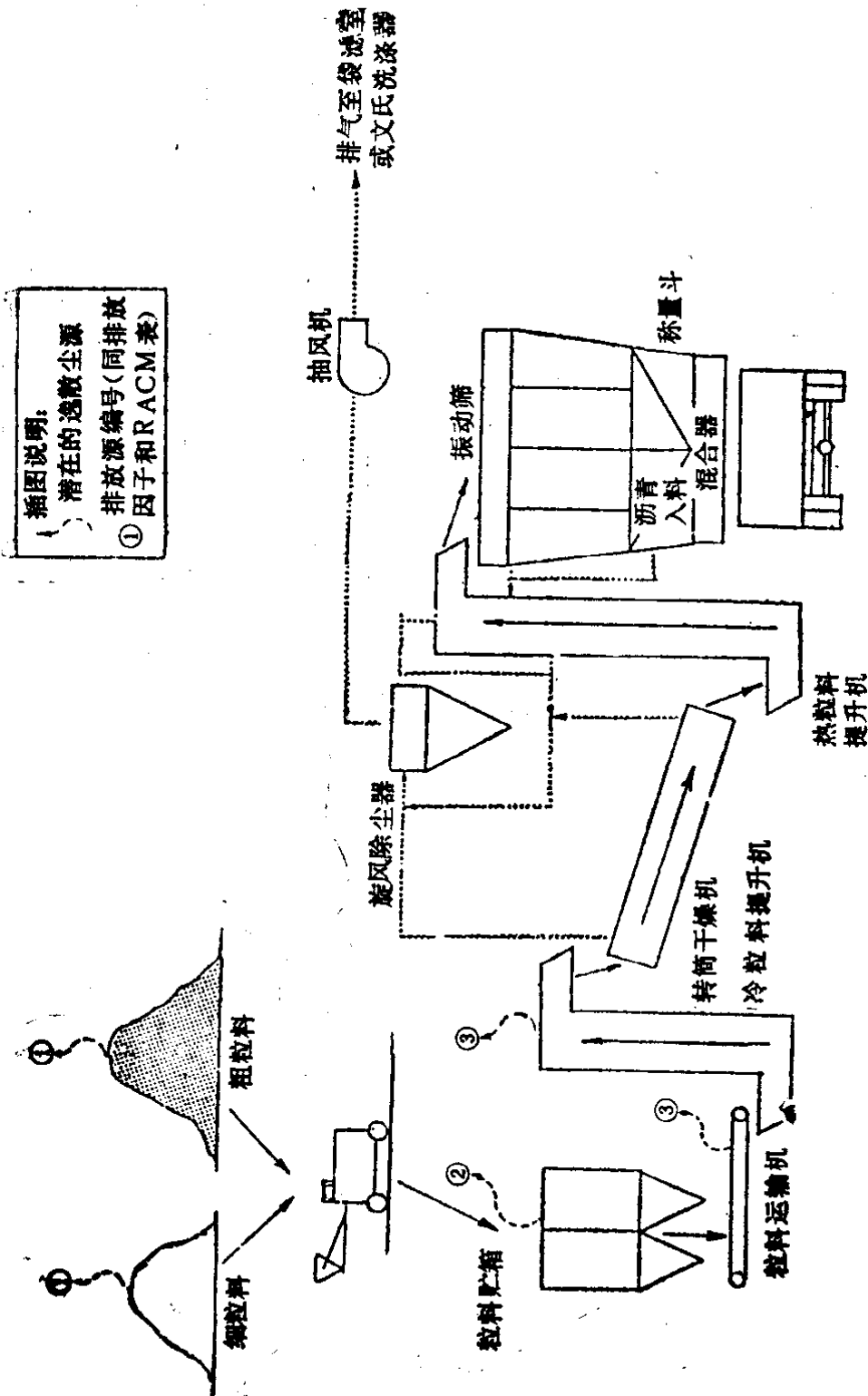
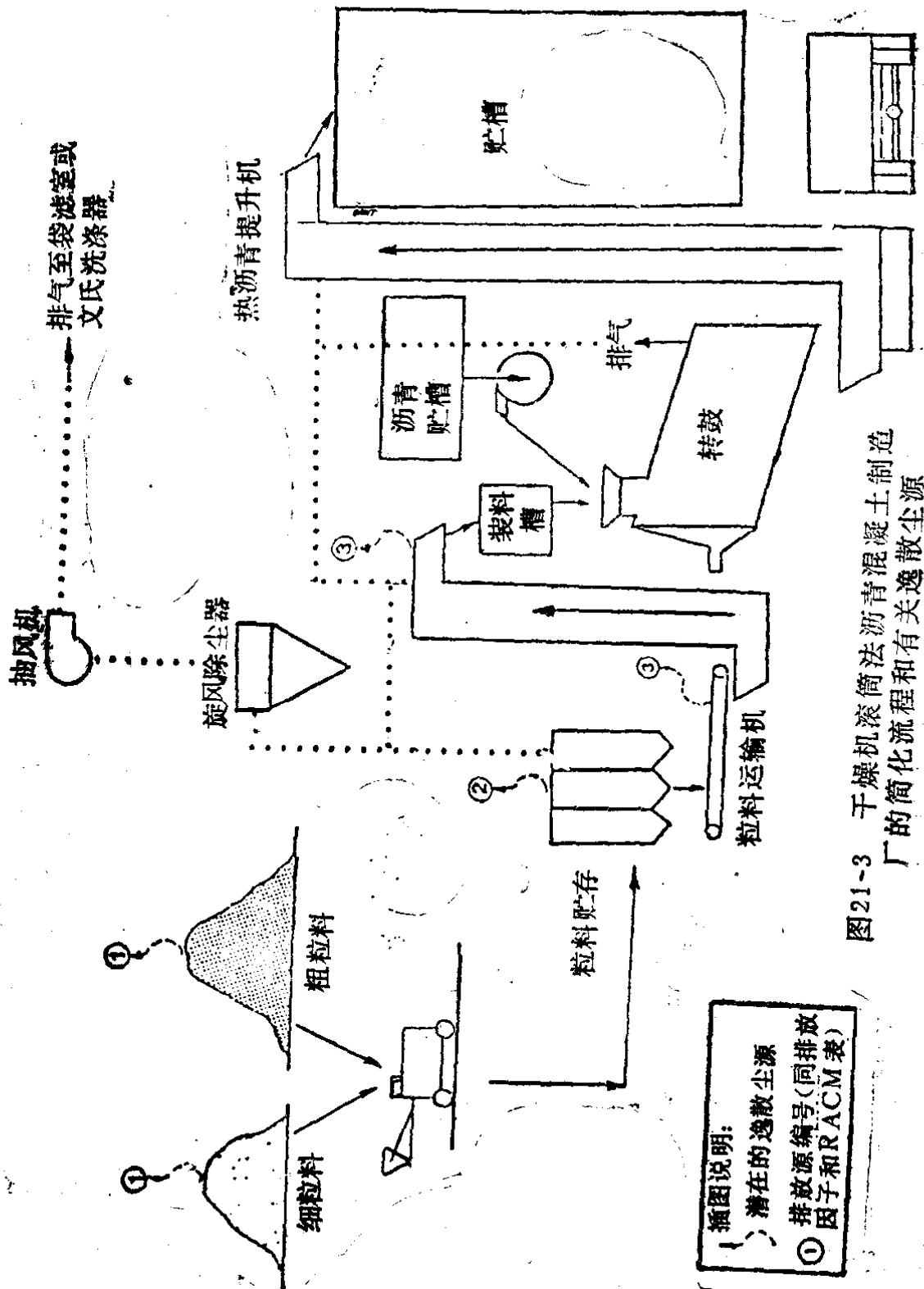


图21-2 批料热混合沥青混凝土简化流程图和有关的逸散尘源



插图说明：
 潜在的发散尘源
 ① 排放源编号(同排放因子和RACM表)

图21-3 干燥机滚筒法沥青混凝土制造厂的简化流程和有关逸散尘源

提升机（用于批料法和连续法的装置）。在图21-3中列出典型干燥机滚筒法工厂的流程。

制造冷批料沥青混凝土的一种方法是使用含溶剂和油的石油馏出物溶化的沥青，这样将使粒料得到较好的涂复特性和延长固化时间。冷批料沥青混凝土可由批料法或连续法制造，但其生产的方法，除冷批料法的干燥机在较低温度下运行外，其它条件和热混合沥青混凝土相同。

制造冷批料沥青混凝土的另一方法是用乳化剂和水代替石油馏出物和油。这种乳液与粒料混合，成为冷批料沥青混凝土。其使用的工艺或装置与石油馏出物的相同。因为不再用石油馏出物作稀释剂，乳化沥青的主要优点便是大量减少挥发性有机物的排放量。而这些排放物是在固化过程中蒸发释放出来的。

沥青混凝土厂的生产能力变动于45~317t/h之间，平均为148t/h。典型的沥青混凝土厂一般分为两类：一种产量小于90700t/a，另一种产量大于350000t/a。

在沥青混凝土厂，主要的逸散尘源是道路、粒料贮堆和粒料搬运作业。热粒料提升机及其转运点、振动筛，由于这些地区常常被封闭并排气至转筒干燥机的尘收集器，都不被当作逸散尘源，而作为点源的一部分。粒料采石场和道路的排放情况已在第一章和第十八章中讨论。

二、逸散尘排放因子

沥青混凝土生产中无控制措施的逸散尘排放因子列在表21-1中。排放因子随包括的作业类型和被干燥粒料的组成而变化。

排放因子的可信度等级为D，表明这些因子是基于工程

判断和有限的试验数据。

表21-1 沥青混凝土制造厂的逸散尘排放因子

| 排 放 源 | 排 放 因 子 | 可信度等级 |
|--------------|-----------------|-------|
| 1. 粗细粒料的贮存 | | |
| 送料上堆 | 0.02kg/t (上堆料) | D |
| 车辆交通 | 0.0065kg/t (贮料) | D |
| 出料 | 0.025kg/t (贮料) | D |
| 风蚀 | 0.055kg/t (贮料) | D |
| 2. 卸粗、细粒料到贮箱 | 0.05kg/t (卸料) | D |
| 3. 冷粒料提升机 | 0.25kg/t (粒料) | D |

三、颗粒特性

一些研究指出，沥青混凝土厂逸散尘的粒径由 $0.1\mu\text{m}$ 到大于 $300\mu\text{m}$ ，且90%的颗粒小于 $10\mu\text{m}$ 。颗粒的粒径分布取决于沥青混凝土中使用的粗、细粒料数量。

逸散尘的化学组成随使用粒料的类型而变化。粒料通常包含石块、砾石、砂、细砂或钢厂炉渣和碎玻璃等废弃物。砂、砾石和玻璃的主要化学组成为二氧化硅或石英。

长时间吸入二氧化硅，是引起矽肺的主要原因。这种病的特征为纤维样变性，并在肺中发展为粟疹状小结。随着病情的发展，肺组织被破坏，其结果使呼吸功能实际上受到损害，受害者更易感染。

在钢厂炉渣中的主要化合物是氧化钙、氧化镁和二氧化硅。氧化钙对活组织有一种强腐蚀性。当吸入氧化镁后，能产生发热病或白血球增多症。

四、控制方法

粒料贮堆和工厂道路形成了最大的逸散尘源。

对粒料贮堆减少排放的控制措施，包括使用**封闭**、**风障**、**水和（或）化学剂抑制**以及操作时采取适当的**预防措施**。虽然全封闭粒料贮堆是防止逸散尘的最有效的方法，但也是最费钱的。风障也是一种选择，但不是很有效。使用**水和（或）化学剂抑制尘**是控制逸散尘的最常用方法。

工厂所属的道路和停车场也是一种明显的逸散尘源，它取决于往来车辆的数量和道路表面的类型。道路可分为两类：**铺砌和未铺砌**。一般来说，对铺砌路面的**清扫、冲洗、降低车速和实行良好的管理**，都是典型的控制方法。尘抑制剂、道路浇油、铺筑路面或车辆减速都是未铺砌道路逸散尘的典型控制方法。

粒料搬运作业（包括从贮堆卸出粒料，转运到加工作业点）一般由前端式装载机进行。这个阶段产生的逸散尘，是由于散落造成的。卸料产生的排放与风失量同时混合发生。采用的控制方法包括搬运中适当的注意，以避免散落、使用封闭式设备或在可能的任何地方使用防风装置以及在冷贮箱内使用湿抑制。

以上讨论的有关粒料贮堆、道路和物料搬运的控制方法详见第一章第一、二、三节。

五、推荐的合理、可用控制措施

贮堆的RACM包含湿抑制（水或化学剂）的**喷淋系统**加上部分封闭（或风障）。详见第一章第二节。

虽然装粒料入冷贮箱产生的尘可由装在贮箱上的喷淋系统减至最少，但也可由减少粒料下落距离而减少排放量。

对铺筑道路的RACM是用水冲洗并辅以良好的管理，以将散落物或携带的脏土等减至最小。

对未铺砌道路的RACM是用油或其它抑制剂，并辅以一般的降低车速。仅在对个别工厂被证明是经济时，铺筑路面才合算。详见第一章第一节。

第二十二章 混凝土分批搅拌厂

一、工艺概述

混凝土分批搅拌厂一般有三种类型，它们是湿法分批搅拌厂、集中搅拌厂和干法搅拌厂。

混凝土分批搅拌厂贮存、运输、计量和掺合各种组分来制造混凝土。三类工厂中，对固体原料（砂、粒料和水泥）的接收、贮存、转运和掺合方法都相同，仅加水入混合料的部位不同。

原料由铁路或卡车卸入工厂。水泥由气动运输（最常用的）或斗式提升机送入贮仓。砂和粒料一般通过带式运输机或斗式提升机贮于地面和转运到高架贮仓。物料由高架仓落入称量斗，按配方称出各种物料的适当数量。

湿法分批搅拌厂中，称量过的粒料和水泥落入接收斗。当混合料从接收斗卸出时，需要的水喷入卸下的流动混合料中，并进入移运式搅拌车。在到达混凝土倾卸点前，移动式搅拌车沿途搅拌这批混合料。

干法搅拌厂混合砂、粒料和水泥，然后倾卸这种干的混合料入平板卡车。这些卡车运输混合批料至工作现场的铺筑机，加入水并进行混合。

集中搅拌厂使用处于中心位置的搅拌机以制造湿混凝土。湿混凝土被卸入敞篷车并运输至工作现场倾出。

混凝土制造厂的生产流程图示于图22-1。工厂道路逸散尘源列于第一章中。其它尘源包括砂和粒料贮场、转运和运

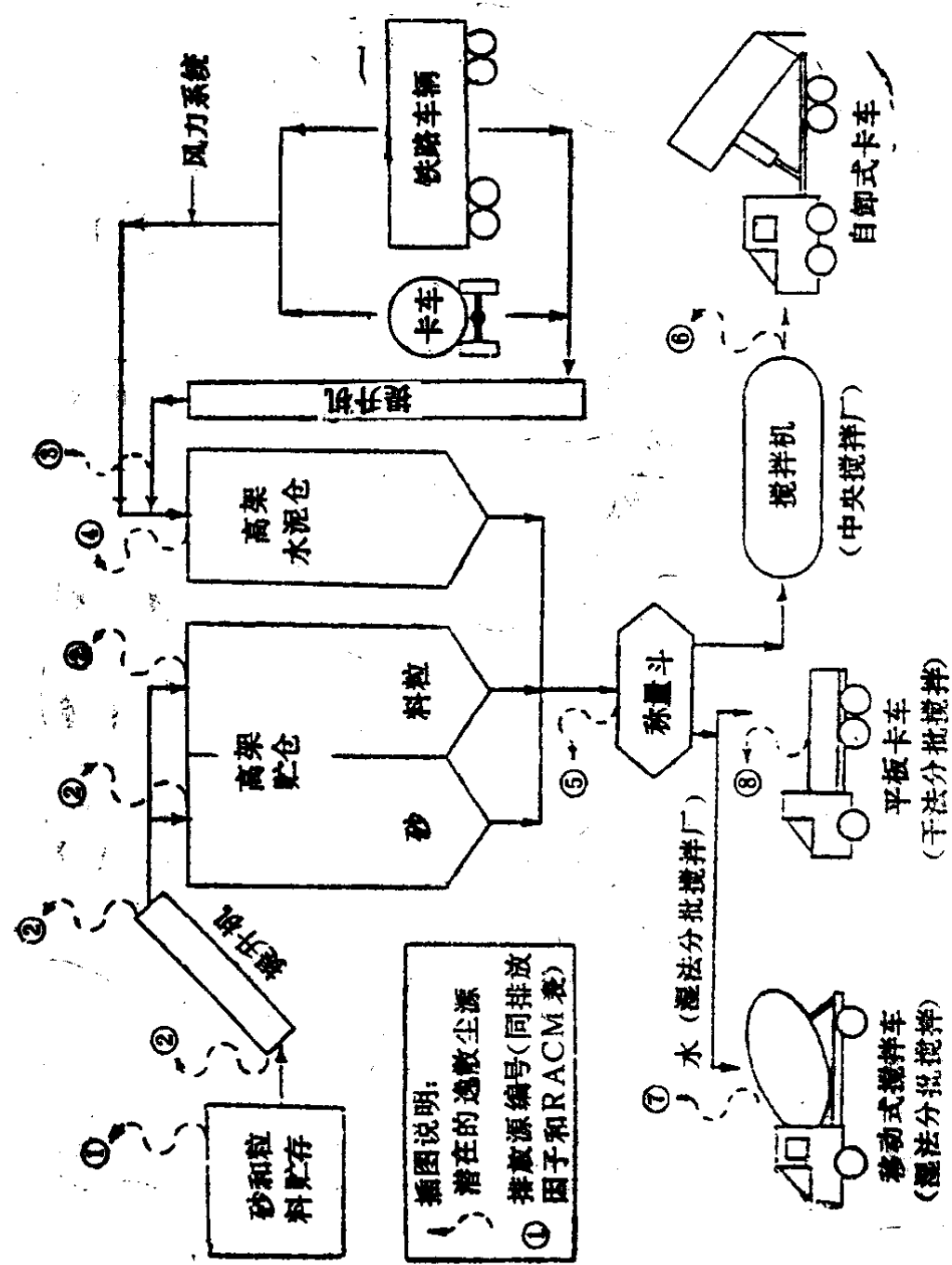


图22-1 混凝土分批搅拌简化流程图和有关逸散尘源

输作业、水泥卸料、水泥贮仓排气、称量斗装料、搅拌机装料（集中搅拌厂）、移运式搅拌车装料作业（湿法分批搅拌）和平板敞篷卡车装料作业（干法分批搅拌）。

二、逸散尘排放因子

混凝土分批搅拌厂的逸散尘源及其排放因子示于表22-1。全部排放因子基于工程判断或目测。这些因子的可信度是差的。

表22-1 混凝土分批搅拌厂的逸散尘排放因子

| 逸散尘源 | 排放因子 | 可信度等级 |
|----------------------------|----------------|-------|
| 1. 砂和粒料贮存 | | |
| 送料上堆 | 0.02kg/t (装料) | D |
| 车辆交通 | 0.02kg/t (贮料) | D |
| 风蚀 | 0.055kg/t (贮料) | D |
| 出料 | 0.025kg/t (装料) | D |
| 2. 转运砂和粒料至高架贮仓 | 0.02kg/t (搬运料) | E |
| 3. 卸水泥至高架贮仓 | 0.12kg/t (卸料) | E |
| 4. 贮仓排气 | 0.12kg/t (卸料) | E |
| 5. 装水泥、砂和粒料入称量斗 | 0.01kg/t (装料) | E |
| 6. 装水泥、砂和粒料入搅拌机 (集中搅拌厂) | 0.02kg/t (装料) | E |
| 7. 移动式搅拌车的装料 (湿法分批搅拌) | 0.01kg/t (装料) | E |
| 8. 平板卡车装料(干法分批搅拌) | 0.02kg/t (装料) | E |

工厂运输道路的排放因子见第一章。

三、颗粒特性

由于使用的大部分砂和粒料都是潮湿的，在混凝土分批

搅拌厂中，实际产生的逸散尘是水泥尘。因此，本章仅集中讨论水泥尘的颗粒特性。

典型水泥尘的氧化物组分如下：

| 化合物 | 逸散水泥尘中氧化物的重量百分数 |
|----------|-----------------|
| 二氧化硅 | 18~23 |
| 三氧化二铝 | 3~8 |
| 三氧化二铁 | 1~5 |
| 氧化钙 | 61~66 |
| 氧化镁 | 0~5 |
| 三氧化硫 | 2~4 |
| 游离石灰 | 0~2 |
| 含量较少的化合物 | 0~1 |

美国政府工业卫生学家会议已确定了对人群健康无害而能忍受的气载化合物的浓度水平。上述化合物中，氧化铝、氧化铁、氧化镁和游离石灰被看作令人讨厌的物质，但可忍受相对较高的浓度水平。二氧化硅可能是有害的，它取决于含石英的多少。氧化钙的容许浓度可达 $5\text{mg}/\text{m}^3$ 。

尘的颗粒粒径随水泥的等级而变化。各种等级水泥中粒径 $<5\mu\text{m}$ 的颗粒重量百分数，典型值范围为10~20%。表22-2中列出三种通用水泥等级的粒径分布和容重。

四、控制方法

对砂和粒料贮堆逸散尘的控制有几种可用的方法。对送料上堆，可用的控制方法有石头阶梯、湿抑制（化学剂）和伸缩式溜槽。出料作业可用湿抑制（化学剂）、洒水、堆下运输机（带有重力进料至运输机的装置）。对风蚀排放的控制，可用的控制方法包括封闭（贮箱或贮仓）、湿抑制（化

表22-2 三种通用水泥等级的物理特性

| 特 性 | 占水泥的重量百分数 | | |
|-------------------------------|-----------|------|-------|
| | I 级 | II 级 | III 级 |
| 颗粒粒径 (μm) | | | |
| 0 ~ 5 | 13.2 | 9.6 | 21.8 |
| 5 ~ 10 | 15.1 | 16.6 | 22.5 |
| 10 ~ 20 | 25.7 | 18.8 | 26.7 |
| 20 ~ 40 | 29.0 | 36.6 | 23.6 |
| 40 ~ 50 | 7.0 | 10.4 | 5.4 |
| 50 ~ 66 | 5.0 | 6.0 | 0 |
| 66 ~ 99 | 4.0 | 2.0 | 0 |
| 99 ~ 250 | 1.0 | 0 | 0 |
| 250 (60目) | 0 | 0 | 0 |
| 容重 (kg/m^3) | 864 | 824 | 992 |

学剂)和洒水。最后,与贮堆活动有关的车辆交通产生的尘可使用封闭、湿抑制(化学剂)、洒水或使用移动式吊杆代替车辆分送物料。

工厂道路和停车场尘的控制见第一章。

由贮堆转运砂、粒料至高架贮仓的过程中产生的逸散尘的数量,取决于这些物料的表面水分含量。为了防止逸散尘,保证物料充分润湿,喷水的方法可用于带式运输机或斗式提升机的进料、转运和卸料点。为了防止风蚀,大部分工厂采用部分或全封闭运输系统、或洒水、和(或)喷化学抑尘剂。另外,转运点也可排气至纤维过滤袋。在第一章和第十六章中已详细讨论了转运和运输源。

典型的水泥接收和贮存系统示于图22-2。接收斗是在地面或低于地面。如果接收斗、卡车设计有帆布卸料管,则在这个点上,只排放少量尘或不排放尘。在短暂的初始尘烟之后,接收斗完全装满,水泥由卡车流入斗就不会有任何自由

降落。

水泥提升机或是垂直螺旋型或是封闭的斗式提升型。由于两者都是全封闭，如处于良好状态，则都不会排尘。

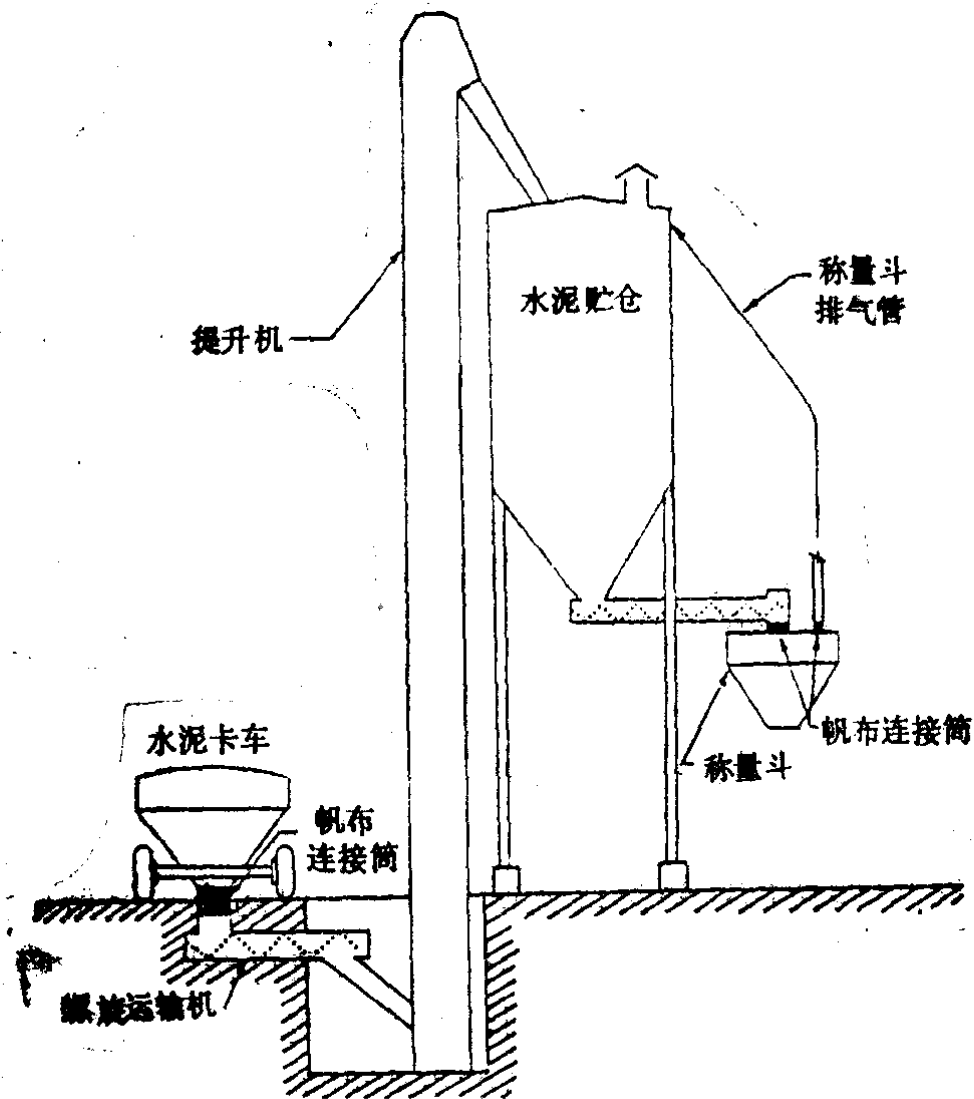


图22-2 水泥接收和贮存系统

水泥贮仓必须排气，让水泥进入贮仓时置换的空气逸出。如排气不经过滤，则会有大量的逸散尘。可排气至集中的尘收集系统或每个贮仓顶端的单个收集器，来进行除尘。对水泥贮仓排气，最常用的收集器是纤维套筒。纤维套筒被套在每个贮仓排气管上，当水泥被斗式提升机送入贮仓时，它用来过滤被挤出的少量空气，所以，无须抽气机。

用配备压缩机和风力送料管的卡车和铁路车辆，风力将水泥送至高架贮仓。这种转运方法比使用斗式提升机的越来越多。风力转运法消除了卡车（或铁路车辆）与水泥贮仓间的排放，仅需要水泥贮仓排气用的纤维过滤袋。在采用风力接收水泥的厂中，使用纤维套筒是不适合的，起过滤作用的风力排风口常常会被水泥严重堵塞。

送料系统中要求的运送空气体积约为 $0.165\sim 0.33\text{ m}^3/\text{s}$ ，具体数量取决于送料的周期等。由于空气被强制进入贮仓，布袋收尘室将需要一送风机以减少筒仓内的压力，并让气流穿过纤维过滤器。机械振动装置也是需要的，以防止水泥阻塞布袋收尘室的滤布。一般要求的排气速度大约为 $0.566\sim 0.613\text{ m}^3/\text{s}$ 。使用强制通风造成负压，也可防止门和其它开口附近的尘泄漏。

另外花费较少的控制措施是在贮仓顶上安装一系列（大约4个）单仓排气过滤器。过滤速度应不超过 0.036 m/s ，过滤布袋的面积大约为 9.3 m^2 ，在循环路线末端的空气为 $0.33\text{ m}^3/\text{s}$ 。过滤器设计必须包括振动机械，以防止布袋堵塞。使用一系列（几个）单仓排气过滤器的主要缺点是贮仓内可能产生正压力。如果由于某些原因，过滤袋变成堵塞状态，则贮仓有破裂的危险。因此，适当的维修和有规则的检查是必要的。

在使用布袋收尘室控制其它较大水泥尘源的工厂（如干法分批搅拌混凝土厂或集中搅拌厂），则水泥贮仓可排气至同一布袋收尘室。

快速卸砂、粒料和水泥入称量斗产生的尘，可将置换出的空气排至单个贮箱和贮仓，或直接排至集中控制系统进行控制。

在集中搅拌厂中，当干物料由称量斗卸入搅拌机时，置

换出的空气夹带的尘是大量的。搅拌机卸料端出口处设置活动罩，并排气至纤维过滤袋，可实现有效的控制。当搅拌机准备卸物料时，这个液压操纵罩就离开卸料端悬挂起来。这类罩子吸入面的速度应大约为 $5.08\sim 7.62\text{m/s}$ ，才能满足捕集逸散尘的需要。

在湿法分批搅拌厂，当物料由称量斗落入移运式搅拌车时，能引起几个点排放水泥尘。在移动式搅拌车装料时，常使用收集斗以控制物料的流动。尘可从收集斗、卡车接料斗和搅拌机排出。推敲收集斗的设计和装置位置可大量减少尘的排放。收集斗应能良好地与卡车接收斗配合，同时垂直位置应是可调的。图22-3介绍了一台有效减少尘排放的收集斗的设计，用压缩空气圆筒升高和降低收集斗，以适应卡车的高度变动。一块带有泡沫橡胶衬垫的钢板贴在收集斗的底部并随斗下降，直至搁在卡车接料斗的顶部。搅拌用水通过收集斗周围的夹套导入，并形成减尘的水帘。将水泥称量斗卸料口移入粒料流的中心，并在称量斗和收集斗之间采用过饱和进料，这样也可将收集斗顶端的排尘减至最少。对没有这类收集斗的工厂，在适当的地方加封闭或加钢板罩并排气至布袋收尘室，并使该罩完全封闭移动式搅拌车的接收斗。

多数工厂既作干批料也作湿批料，因此，称量斗必须高到足以容纳湿批料使用的移动式搅拌车。由于大多数移动式搅拌车的接料斗比干批料用的运输平板卡车的顶端高几英尺，当干批料卸料时，物料降落会有大量的逸散尘排出。因为操作者必须靠观察进行操作和卡车必须有移动的自由度，对罩子的调节是困难的。卡车一般被分隔成几个分隔室，而批料需落入每个分隔室。由于分隔室逐个装料，每次卸料后卡车需要移动。天篷式的罩，大到足以每次遮盖一个分隔室，提供有效的捕尘作用并排气至纤维过滤袋，并供给足够

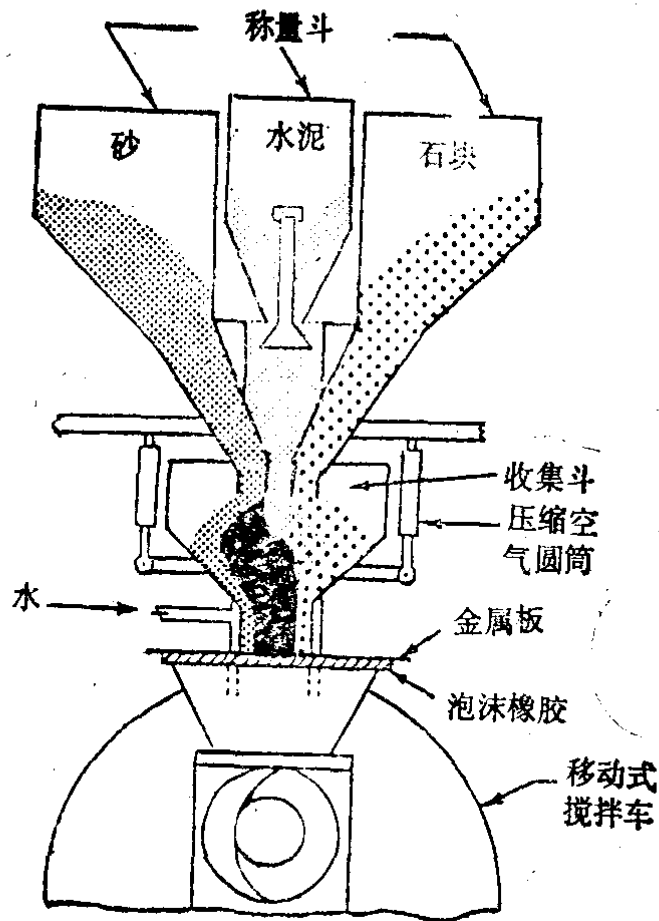


图22-3 可调的收集斗

的可见度。为了使罩盖具有一些柔软性，罩边可用原橡胶制成，如果卡车碰撞罩盖时，可防止损坏。罩盖有时装在铁轨上，以便移开并容许湿批料卸入移动式搅拌车。收集尘要求的排气体积，随罩盖的形状和位置而变动。适当良好的罩盖，要求的气体体积大约为 $3.16\sim 3.3\text{m}^3/\text{s}$ 。

周密的管理计划，如迅速清除散落物、维修运输装置以防止泄漏、和对纤维过滤袋收集的物料作适当搬运和处置，对混凝土分批搅拌厂完成逸散尘的全面有效控制来说是需要的。

表22-3列出了可用的控制技术、效率和费用，RACM选择。

五、推荐的合理、可用控制措施

混凝土分批搅拌厂逸散尘源的RACM列在表22-3中。对砂和粒料的贮存和转运至高架贮仓的RACM是加化学润湿剂和湿抑尘系统。这种系统控制效率良好（估计为90%），并减少可见的排放物，达到浑浊度几乎为零。

对砂和粒料贮存场地的车辆交通，在未铺筑贮堆地区，推荐用湿抑制（化学剂）。喷在物料上的润湿剂（在加工或转运点上喷射的）在随后的贮存作业中仍保持有效，因为它们延长了表面水分的保留时间，由此防止了尘的产生。

对水泥卸入高架贮仓的RACM是使用封闭的方法。因为大部分工厂已用这种方法控制排放。

贮仓排气（风力送料入贮仓）可用集中控制系统，控制水泥尘源排放的逸散尘，有如下法分批搅拌厂或中央搅拌厂现有的控制装置，或用大约4个一列或每个贮仓顶上的单个贮箱排气过滤器。这种控制不仅有高效的颗粒物控制，而且有回收产品的效益。

用斗式提升机装料的贮仓，其RACM是简单地使用纤维套筒。这种控制方法，对这样的系统是适合的，因为在这样的装料过程中从贮仓置换出的空气是少量的。

对称量斗的排放物，不采用集中收集系统，而是排气返回贮箱或贮仓。

对集中搅拌厂的水泥、砂和粒料装入搅拌机，其RACM为活动罩并排气至集中纤维过滤器。

对湿法分批搅拌厂移动式搅拌车装料过程产生的排放，可采用封闭，或可调式收集贮斗并过饱和进料，无论那种方法，对每个工厂都是有效和更经济可行。

对平板（干法分批搅拌厂）卡车装料，RACM为天篷罩并排气至纤维过滤袋。

表22-3 水泥分批搅拌厂逸散尘源的控制技术、效率、费用和RACM

| 逸散尘源 | 可选用的控制技术 | 控制效率 (%) | 控制费用 1980.1美元 | | 费用效益比 (美元/kg) | 选择的RACM |
|----------------|-------------|----------|------------------|------|------------------|---------------------|
| | | | 投资费 | 年费用 | | |
| 1. 砂和粒料贮堆 | 送料上堆 | 封闭(石阶梯) | 70~99* | 见第一章 | 无可用数据 | 湿抑制(化学剂) |
| | 出料 | 湿抑制(化学剂) | 80~90 | 同上 | 同上 | 湿抑制(化学剂) |
| | | 伸缩式溜槽 | 75 | 同上 | 同上 | |
| | | 湿抑制(化学剂) | 80~90 | 同上 | 同上 | |
| | 风蚀 | 洒水 | 50 | 同上 | 同上 | 湿抑制(化学剂) |
| | | 重力送料上运输机 | 80 | 同上 | 同上 | |
| | | 封闭 | 95~99 | 同上 | 同上 | |
| | | 湿抑制(化学剂) | 90 | 见第一章 | 无可用数据 | |
| | 车辆交通 | 洒水 | 50 | 见第一章 | 同上 | 湿抑制(化学剂) (良好的管理) |
| | | 封闭 | 95~99 | 同上 | 同上 | |
| 湿抑制(化学剂) | | 90 | 同上 | 同上 | | |
| 洒水 | | 50 | 同上 | 同上 | | |
| 用移动式吊杆送物料 | | 无估计值 | 同上 | 同上 | | |
| 2. 转运砂和粒料至高架贮箱 | 封闭、排气至纤维过滤袋 | 99 | 同上 | 同上 | 湿抑制(化学剂) | |
| | 湿抑制(化学剂) | 95 | 同上 | 同上 | | |
| | 洒水 | 50 | 同上 | 同上 | | |

续表

| 逸散尘源 | 可选用的控制技术 | 控制效率 (%) | 控制费用 1980.1美元 | | 费用效益比 (美元/kg) | 选择的 RACM |
|------------------------|-----------------------|--------------------|-------------------------|--------------------|------------------|--|
| | | | 投资费 | 年费用 | | |
| 3. 卸水泥入高架贮仓 | 封闭 ^a | 70 ^b | 860 ^c | 200 ^d | 0.0066 | |
| 4. 贮仓排气 | 排气至纤维过滤袋 ^b | 99 ^e | 107000 ^f | 16300 ^g | 0.265 | 排气至纤维过滤袋 ^h 、纤维套筒 ^a |
| | 纤维套筒 ^a | 99 ^e | 2300 | 无可用数据 | | |
| | 排气至纤维过滤袋 ⁱ | 99 ^e | 10800 | 3000 ^g | 0.066 | |
| | 排气至过滤器 | 99 ^e | 5200 ^j | 1500 | 0.044 | 排气至过滤器 |
| 5. 装水泥和粒料入称量斗 | 排气返回贮箱或贮仓 | 95 ^e | 无可用数据 | | | 排气返回贮箱或贮仓 |
| | 排气至纤维过滤袋 | 99 ^e | k | k | 0.265 | 排气至纤维过滤袋 |
| 6. 装水泥、砂和粒料(集中搅拌机)入搅拌机 | 活动罩、排气至纤维过滤袋 | 99 ^e | k | k | 0.265 | 活动罩, 排气至纤维过滤袋 |
| | 封闭 | 70~99 ^l | 4000~22000 ^l | 无可用数据 | | 纤维过滤袋封闭 ^m |
| 7. 装料入移动式搅拌机(湿法分批搅拌厂) | 过饱和进料 | 90 | 无可用数据 | | | |
| 8. 装料入移动式搅拌机(干法分批搅拌厂) | 天篷罩、排气至纤维过滤袋 | 99 | k | k | 0.265 | 天篷罩, 排气至纤维过滤袋 |

注: a. 适用于斗式提升机。

b. 防风雨的系统, 无逸散尘收集系统。

c. 61m的运输机, 运输机带有封闭罩, 封闭费用为141美元/m。

d. 假设年费用大约为投资费的20%。

e. 工程判断。

- f. 过滤空气速率为 $4.7\text{m}^3/\text{s}$ 。一个系统控制尘源 4、6、6 和 8 的排放。
- g. 作业时间 $2000\text{h}/\text{a}$ 和产量 $354000\text{t}/\text{a}$ 。
- h. 中央搅拌厂，控制尘源 4、5、6 和 8 的部分集中收集系统。
- i. 运用于风力送料厂并无集中收集系统。装备有机械振动装置和送风机的布袋收尘室。
- j. 用于风力送料厂并不使用集中收集系统〔贮仓顶部排气有一列（约 4 个）的单个过滤器〕。
- k. 费用包括在尘源 4 内。集中收集系统控制尘源 4、5、6 和 8 的排放。
- l. 低值为简单封闭；高值为封闭加袋滤。
- m. 假定现在尚未使用可调收集斗（过饱和进料）。对使用这种贮斗和过饱和进料者，不需另增控制装置。

六、典型费用计算（使用的参数）

典型的混凝土分批搅拌厂具有下列生产数字：

$$\text{生产量} = 354000\text{t}/\text{a},$$

$$\text{作业时间} = 2000\text{h}/\text{a}.$$

费用效益比的计算从略。

第二十三章 喷砂厂

一、工艺概述

喷砂是一种工业加工。在喷砂厂里，具有各种研磨度的硅砂（或其它研磨料），被喷射到产品的表面。喷砂为最终的产品造成预期的表面结构。尽管喷砂的应用有多种，但本章仅讨论喷砂的一般性质及其加工作业，此项作业属于与产品生产过程相连而长期使用的作业，并且是一个逸散尘源。

喷砂作业能在露天室外进行，也可在室内封闭作业。喷砂的RACM选择，更多的取决于喷射的方法和地方，而不是喷砂的部件类型。因此，喷砂的类别将分成室内和室外喷砂作业。

最普遍的喷砂方法是使用压缩空气，或用抽吸喷砂法，或用直接压力喷砂法。在抽吸法中（图23-1），两条软管分别直接连到供砂和供空气的装置上。然后，这些软管再接到喷砂机上。在空气高速穿过喷枪时，造成部分真空，吸入并喷出砂。

直接压力法（图23-2）中，砂是位于钢罐中，在受压情况下排出。研磨料供给罐是一压力容器，它带有与罐底出砂管和罐顶连通的压缩空气管线，由此造成研磨料上面和下面的等压状况。这样，在出砂管中容许研磨料靠重力落入出砂软管的大容量空气流中，然后加速研磨料使其达到喷砂清理要求的速度。直接喷砂机比抽吸法需要多喷2~4倍的研磨料（用同体积的空气压）。不管使用什么样的喷砂方法，当

喷射的研磨料冲击到产品表面时，由于砂和产品表面都将产生断裂，故形成大量的逸散尘。喷砂过程产生的大颗粒尘将在最靠近喷砂的地区沉降，而小颗粒的尘则将由环境空气输送到较远的地方。喷砂作业的最大逸散尘源就是喷砂本身。其它几个尘源是与喷砂作业有关的作业，如图 23-3 所示，这些尘源包括道路、车辆交通、物料搬运和贮存。

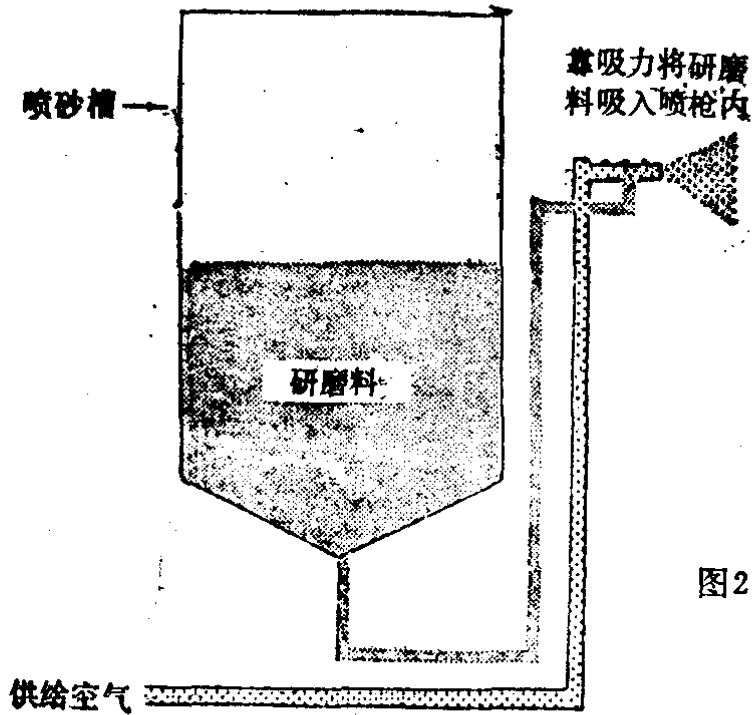


图23-1 抽吸喷砂法

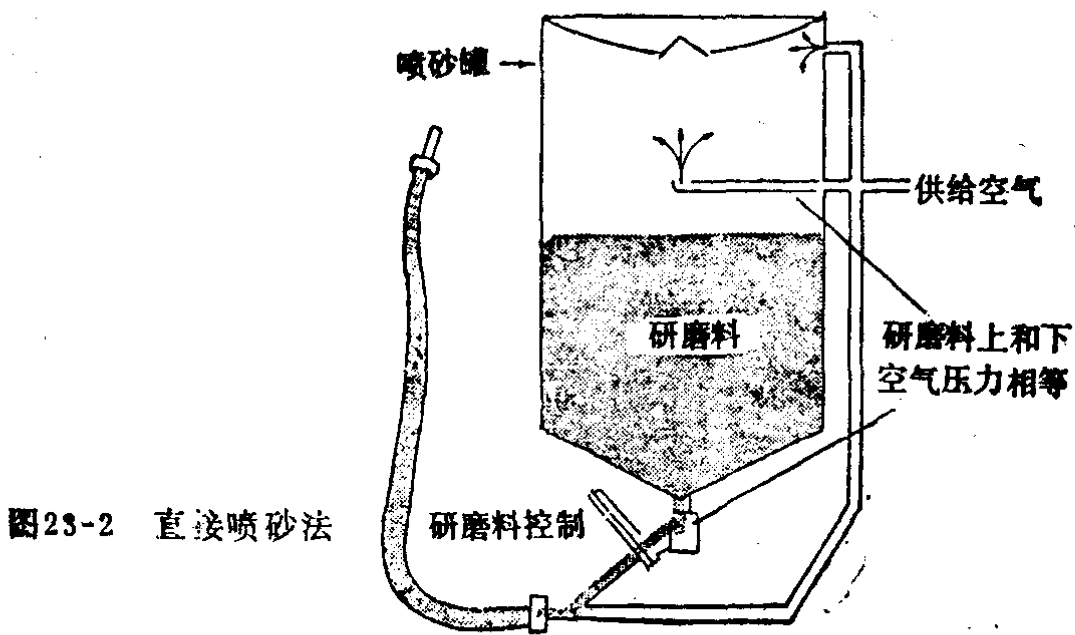


图23-2 直接喷砂法

插图说明：
 () 潜在的逸散尘源
 ① 排放源编号(同排放因子和RACM表)

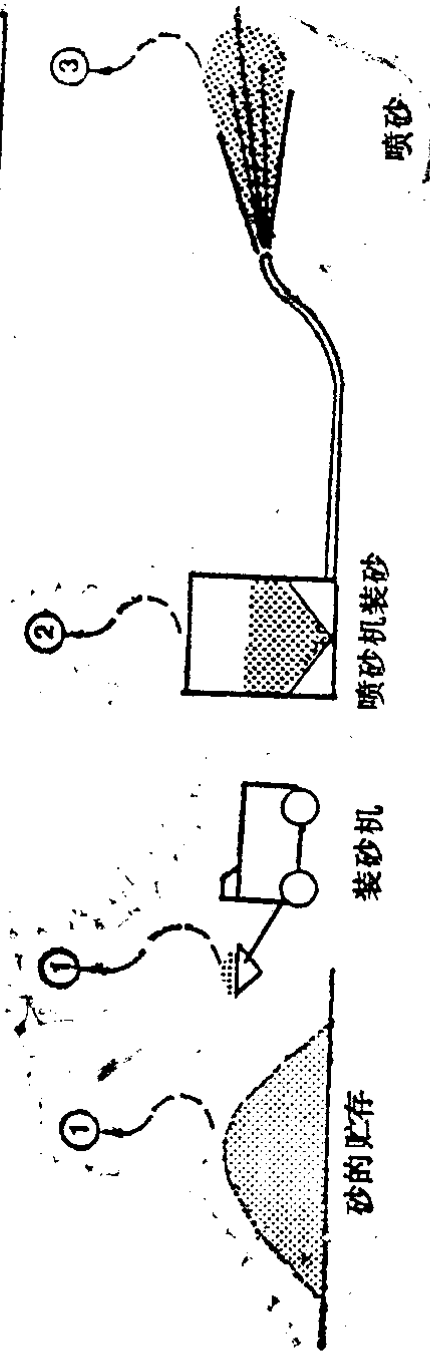


图23-3 喷砂厂简化流程图和有关的逸散尘源

二、逸散尘排放因子

喷砂厂各过程的逸散尘排放因子列在表23-1。

没有可用的资料，故不能按不同喷砂法列出排放因子。自然，产生逸散尘的量是直接与使用的研磨料的类型和数量以及被喷射的部件的组成有关。一个粗略估计值表明，预制混凝土板喷砂具有0.775kg/t产品的排放因子。对一具体工厂来说，这仅是一个粗略值，而它的准确性还不清楚。

表23-1 喷砂厂逸散尘排放因子

| 逸散尘源 | 排放因子 | 可信度等级 |
|----------|-----------------|-------|
| 砂的贮存 | | |
| 送砂上堆 | 0.02kg/t (转运料) | D |
| 车辆交通 | 0.0325kg/t (贮料) | D |
| 出料 | 0.025kg/t (转运料) | D |
| 风蚀 | 0.055kg/t (贮料) | D |
| 卸砂入喷砂机贮箱 | 0.02kg/t (转运料) | D |
| 喷砂 | 0.775kg/t (进料) | E |

注：a. 这个排放因子是预制混凝土板喷砂的因子。其它产品的喷砂排放因子尚无可用的。

三、颗粒特性

镀锌作业中喷砂产生的二氧化硅砂粒的典型粒径分布，被用来表示一般喷砂排放颗粒的粒径分布。表23-2列出了这些颗粒的粒径。

硅砂（二氧化硅）是无色的结晶，它主要引起肺尘病，

表23-2 喷砂产生逸散尘粒的典型粒径分布

| 颗粒粒径 (μm) | 累积重量 (%) |
|------------------------|----------|
| 1.6 | 0.4 |
| 2.7 | 1.8 |
| 4.4 | 5.3 |
| 6.6 | 11.1 |
| 8.3 | 15.6 |
| 9.3 | 18.2 |
| 10.4 | 21.6 |
| 11.5 | 24.6 |
| 14.8 | 33.2 |
| 19.8 | 41.3 |
| 26.4 | 50.1 |
| 33.0 | 58.7 |
| 41.2 | 65.6 |
| 49.5 | 72.1 |
| 65.9 | 82.0 |
| 98.9 | 96.5 |
| 147.8 | 100.0 |

特别是矽肺。喷砂工出现矽肺需要的暴露时间，估计为 2~10 年。

美国联邦和州的法律通常要求操作者戴上供给空气的面罩（头盔）以防止过分地暴露于颗粒物中。虽然使用维护很好的喷砂防护罩，在喷砂过程提供了良好的保护，但大众关切的是：在不喷砂时，环境空气中仍悬浮着高浓度的可吸入的颗粒（它超过阈限值几倍）。因此，仅在喷砂时戴上防护罩，对防止矽肺并未全部解决问题。

四、控制方法

由于大部分封闭装置不能限制室内干研磨料喷砂发生的全部尘，还因此种尘会降低操作者的视力并造成呼吸困难，为此，常需要采取一些控制措施。最广泛使用和最有效的尘收集器，在这类工业中，是布袋收尘室（气体穿过滤布的表面速度低于 0.015m/s ）。装有管式纤维过滤器的高效旋风除尘器也可用来控制逸散尘，但这种方法不如布袋收尘室有效。高效旋风除尘器难于收集非常细的尘粒（ $<5\mu\text{m}$ ）。管式纤维过滤器除了不能捕集细颗粒之外，还有易堵塞的倾向，从而使旋风除尘器入口风量减少。

布袋收尘室可收集粒径 $\leq 1\mu\text{m}$ 的颗粒，其效率为90%。整个来说，布袋收尘室效率在99%以上。

估计建造一间 34m^3 的封闭室（混凝土板喷砂）并抽气至布袋收尘室，室具有3比1的空气与布的比例，这将需要投资费用41000美元，年费用6500美元。另一方面，同样作业具有同样能力的旋风除尘器，将需要投资18000美元和年费用1600美元。

湿法喷砂接合器消除了80~90%尘，而不会降低喷砂效益。湿法喷砂接合器，如图23-4所示，是一个圆环，套到喷砂咀上。圆环上有孔，在空气和研磨砂离开喷咀后，从这些孔喷水入喷砂形成的圆锥体中。喷射的水由位于喷砂头的小型旋塞计量。这种湿法喷砂接合器由标准的花园用软管或水龙头供水。

能抑制混凝土板喷砂作业产生尘的湿抑制系统的投资费用大约为400~500美元（湿法喷砂接合器与软管）。运行费用仅限于水费。

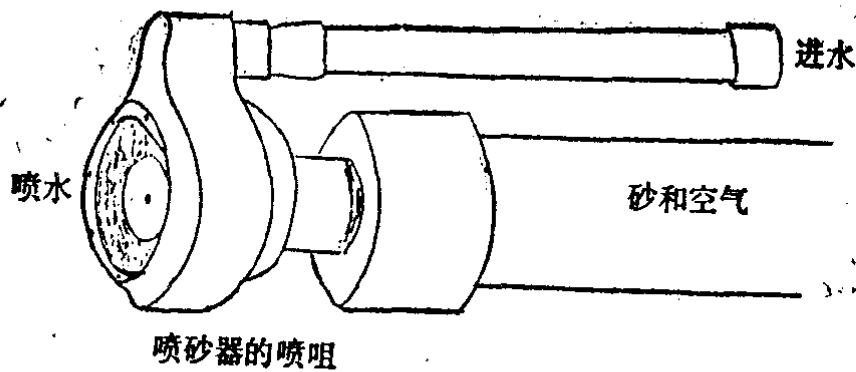


图23-4 湿法喷砂接合器

贮存原料砂于户外的大贮堆和转运原料砂至喷砂机都靠前端式装载机。在本书第一章中已讨论搬运贮堆推荐的控制方法和道路尘的控制方法。

五、推荐的合理、可用控制措施

在表23-3中列出每种逸散尘源的RACM。这些RACM是根据下述几条原则选择的：安装容易、符合排放控制的要求和喷砂工业中目前惯用的控制措施。

砂贮存的RACM是用水润湿。对喷砂机装砂不推荐控制装置，这是由于在一般喷砂作业中、装砂的排尘量低和生产速率低（每小时少于0.45kg）。

对喷砂作业本身，选出两种RACM。在水不影响产品质量的情况下，可使用喷砂与喷水的结合装置（在户外或喷砂室内）以控制逸散尘。水接合器的费用效益比为0.02美元/kg尘。对过量水会有害产品质量者，则推荐封闭并导入抽气系统，以保持通风和可见度。也推荐废气排去布袋收尘室。布袋收尘室应有切实的100%的收集效率。推荐的地面通风速度是0.41m/s，全部吸气口的吸气速度为2.54m/s，穿过过滤布表面的速度不超过0.015m/s。这种控制方法的费用效

益比大约为0.37美元/kg (尘)。

带有管式纤维过滤器的高效旋风除尘器不太受欢迎，因为收集细颗粒它不如布袋吸尘室那样有效。也因为，过滤管易于粘结或堵塞，从而使旋风除尘器风量减小。

表23-3 喷砂作业逸散尘源的控制技术、效率、费用和RACM

| 逸散尘源 | 可选用的控制技术 | 控制效率 (%) | 控制费用 1980.1美元 | | 费用效益比 (美元/kg) | 选择的RACM |
|-----------|----------------------|--------------------|--------------------|--------------------|------------------|------------------------|
| | | | 投资费 | 年费用 | | |
| 砂的贮存 | 封闭、排气至纤维过滤器 | 99 ^a | 87400 ^b | 21000 ^b | 161.5 | 周期性的洒水 |
| | 封闭 | 50 ^a | 15000 ^b | 2600 ^b | 19.97 | |
| | 湿抑制(化学的) | 95 ^a | 13500 ^b | 2200 ^b | 16.91 | |
| | 洒水 | 50 ^a | 可忽略不计 | — | — | |
| 卸砂于喷砂机的贮仓 | 操作上的预防 | — | — | — | — | 操作上的预防 |
| 喷砂 | 封闭和布袋收尘室 | 99 ^a | 40000 ^c | 6500 ^c | 0.37 | 封闭, 排气至布袋收尘室或用水使用喷水结合器 |
| | 封闭, 用高效旋风除尘器用管式纤维过滤器 | 90 ^a | 18000 ^c | 1400 ^c | 0.17 | |
| | 喷水结合器 | 80~90 ^a | 500 ^c | 500 ^c | 0.022 | |

注: a. 工程估计值。

b. 根据6m × 6m × 4.6m的封闭室和脉动喷射器处理能力4.72 m³ (空气) /s。参看第一章和第十三章中有关章节。

c. 假设喷砂能力为426kg/h, 布袋收尘室处理4.53m³ (空气) /s。

六、典型费用计算（使用的参数）

假设：封闭室1.83m宽×3.05m高×6.1m长，总体积为34m³。

地面通风流速为0.41m/s（排气速率）。

气体穿过滤布的表面速度为0.015m/s。

8个交替点的空气流速为4.53m³/s。

费用效益比的计算从略。

第二十四章 石油炼制厂

石油炼制有大量的化学处理过程，而它们都不是逸散尘源。事实上石油炼制厂只有很少几个逸散尘源，它们是工厂道路、停车场、车辆交通、焦炭贮堆和物料搬运作业。

工厂道路、停车场和车辆交通排放的逸散颗粒物已在第一章第一节中讨论。

由炼焦过程产生的焦炭一般不是逸散尘源，这是因为焦炭从反应器中出料时，是潮湿的。出焦过程包括使用水平的高压水喷射器。然后，焦炭再脱水、干燥和贮于贮堆。焦炭贮堆是潜在的逸散尘源并已在第一章第一、三节和第二章中讨论。焦炭的卸料、搬运和转运也已在上述章节中讨论。

第二十五章 农用化肥制造厂

一、工艺概述

农用化肥制造厂与肥料厂是有区别的。后者具有三种不同的特征化的生产技术,即形成含氮颗粒、批料掺合和液体混合。所生产的各种类型肥料均包含一种以上的主要植物营养素(氮、磷、钾)。这种肥料厂可以包括,也可以不包括原料间进行化学反应的生产过程。而农用化肥制造厂,则常常包括化学反应的过程,且最终产品常为只含一种主要植物营养素的肥料。另外,农用化肥制造厂的生产规模很大而生产技术和设备更为复杂。

由于美国俄亥俄州的农用化肥制造厂仅有尿素厂产量较大,这里也将只介绍尿素生产有关的逸散尘排放情况。但在其它固体肥料生产中也会碰到相同的问题,而解决这些问题也是相似的。

制造尿素,有液体和固体两种产品。生产尿素溶液时,由于生产过程仅包括搬运液体状态的原料和产品,所以不是明显的逸散尘源。而固体尿素的生产除包括尿素溶液的全部生产过程外,还包括生成固态产品的装备和过程。

典型农用化肥制造厂的能力为70100t/a。在美国,市售尿素的38%,据估计是液体,而其余62%,则在出售前先转化成固体颗粒。

在高温高压反应器中,液态氨和二氧化碳首先合成中间产品氨基甲酸铵($\text{NH}_2\text{COONH}_2$),并在同一反应器内脱

水，形成尿素(NH_2CONH_2)。然后对尿素的水溶液用结晶或用真空蒸发进行浓缩。最后作成粒状的固体尿素。

在成粒的生产过程中，浓缩的尿素溶液由位于圆柱成粒塔（大约30.5m高）内的喷嘴喷成雾状，当液滴降落时，被上升的空气流冷却和固化。一般粒径为10~14目的固体颗粒落到运输带上并送去贮存。现今使用的固体尿素中大约15%是成粒塔生产的。

由于要遵从美国联邦和州的颗粒物排放管理条例，各工厂对成粒塔正面临技术困难和大量耗资的困境。因此，晶种成粒的方法变成生产固体尿素更希望的方法。这种成粒在接入晶种的表面溶化连续层上的固化。当颗粒长至适当的粒径（8~12目）时，从成粒过程中排出，并送至筛选机，筛分后贮存。

应指出，晶种成粒一般比喷雾成粒的颗粒在搬运和贮存中产生更少的尘或更少的结块，这是因为前者的颗粒更坚实和更耐磨。但晶种成粒不能生产小至饲料级的尿素，因此，喷雾成粒法还将保留。

被冷却的最终产品，如需要时，也可分级并经高架运输机堆贮于室内。其后这些产品或从贮堆散装运走，或由运输机装袋送出。贮存、装袋和装运都在同一建筑物内进行。

尿素生产厂逸散尘源列在表25-1中，并归纳为四类源：

1. 物料转运和运输作业；
2. 贮存
3. 装袋；
4. 散装料装运。

二、逸散尘排放因子

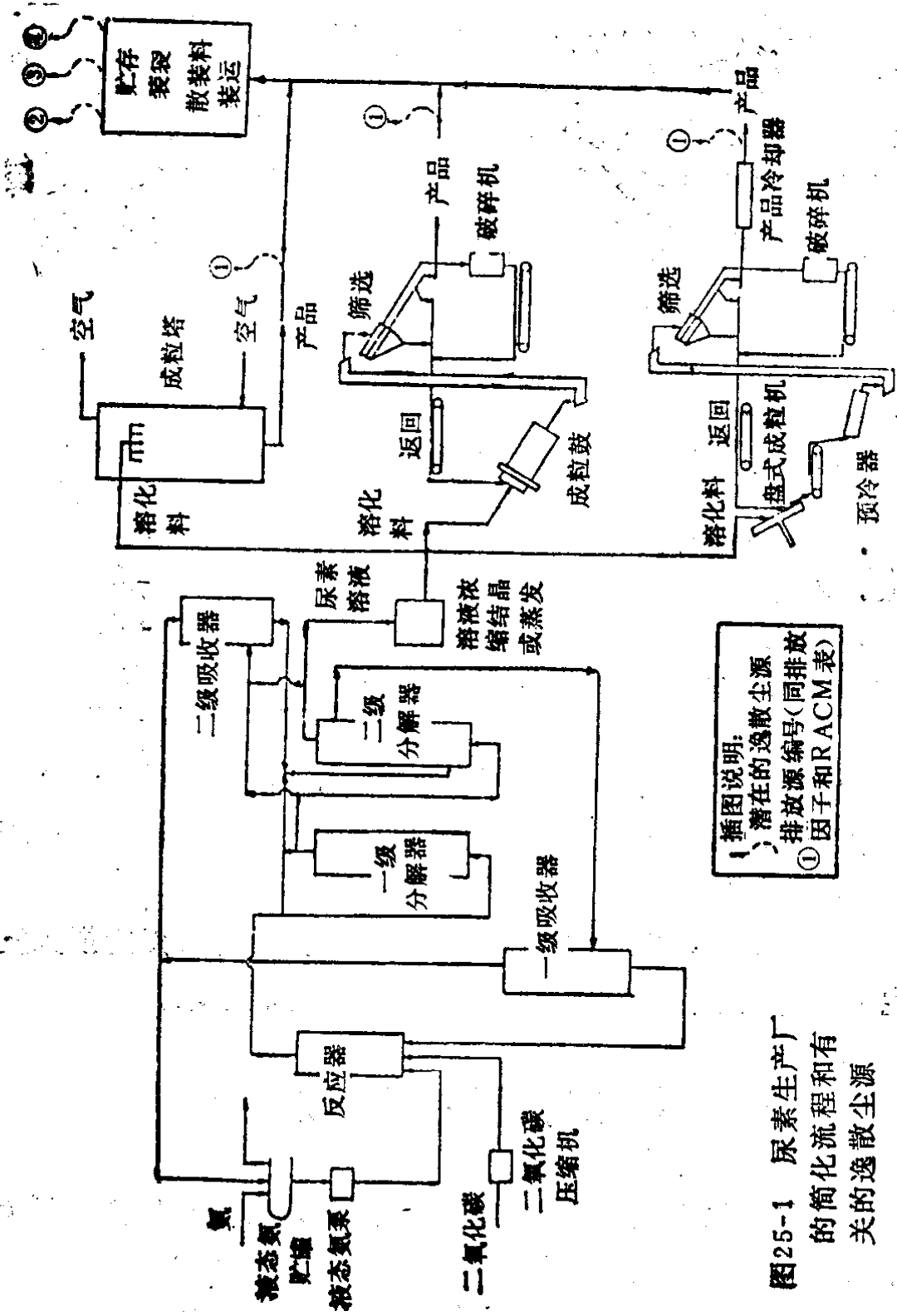


图25-1 尿素生产厂的简化流程和有关的逸散尘源

虽然尿素生产厂在贮存、物料搬运、装袋和散装作业中都排放逸散尘，但其排放因子却没有可用的数据。

但从喷雾成粒的尿素厂装料和散装料的作业已了解到的颗粒粒径分布来看，大约0.015%的颗粒粒径小于 $44\mu\text{m}$ 。假设在装袋和散装料中这些小颗粒全部变成气载颗粒。则散装料和装袋每吨产品将排放0.15kg的颗粒。虽然实际的排放因子可能小于0.15kg/t，但可作散装料的最坏情况的估计值。逸散尘排放因子列在表25-1中。

表25-1 尿素生产厂逸散尘排放因子

| 排 放 源 | 排 放 因 子 | 可 信 度 等 级 |
|----------|------------|-----------|
| 1. 转运和运输 | 无可数据 | — |
| 3. 贮存 | 无可数据 | — |
| 3. 装袋 | 无可数据 | — |
| 4. 散装料装运 | 0.15kg/t装料 | E |

运输带和物料转运点的排放因子也不清楚。但逸散尘的速率将随使用的运输机的类型、皮带运行速度和转运物料的类型而变化。

在贮堆上，也将出现逸散尘的损失，估计67%的损失发生于送料上堆、贮存地区的装置移动和卸料下堆。

三、颗粒特性

从固体尿素生产厂排放的逸散颗粒，99%是尿素，尿素不被当作有害物质，并没有定出限值。

缩二脲 $((\text{NH}_2\text{CO})_2\text{NH})$ 是固体尿素中的主要杂质，其含量介于0.1~1.0%之间，而其它杂质估计小于0.1%，当

固体尿素在大气压力下加热至130℃时，生成缩二脲。虽然缩二脲对植物生命有毒，但对动物不伤害，同时没有指定阈限值。

对逸散尘的粒径没有数据。

四、控制方法

可选用的逸散尘控制技术列在表25-2中。

在散装料装入铁路车辆时，使用伸缩式溜槽和装料喷管，以控制产生的逸散尘。可调喷管伸入铁路车辆的开孔，由此减少了装料作业的自由降落距离。伸缩喷管也能抽气，以便捕集发生的排放物并排气至纤维过滤器。

对入厂物料搬运（运输带、转运点和装袋）产生尘的控制也可使用纤维过滤器。尿素在转运和贮存时发生的逸散尘，可由关闭贮仓和装袋场地的门窗和将产品散落减至最小来控制。

五、推荐的合理、可用控制措施

每个逸散尘源的RACM列在表25-2中。RACM的选择是为了适应排放控制管理条例、工业的现行实践、容易使用或安装和经济。

对散装料装入铁路车辆的RACM是可调的装料喷管并抽气至纤维过滤器。这些措施相对费用较低，又提供了实质上的保护。

表25-2 农用化肥制造厂逸散尘源的控制技术、效率、费用和RACM

| 逸散尘源 | 可选用的控制技术 | 控制效率 (%) | 控制费用 1980.1美元 | | 费用效益比 (美元/kg) | 选择的RACM |
|----------|--------------|-----------------|---------------------|--------------------|-------------------|--------------------------|
| | | | 投资费 | 年费用 | | |
| 1. 转运和运输 | 加罩排气至纤维过滤器 | 99 ^a | 429300 ^b | 57500 ^b | — | 加罩, 排气至纤维过滤器 |
| 2. 贮存 | 同上 | 99 ^a | 费用包括在1.中 | | — | 同上 |
| 3. 装袋 | 同上 | 99 ^a | 费用包括在1.中 | | — | 同上 |
| 4. 散装装料 | 伸缩式溜槽 | 75 ^a | 4500 ^c | 900 ^c | — | 伸缩管至纤维过滤器 伸缩管抽气至纤维过滤器 |
| | 伸缩管加抽气至纤维过滤器 | 99 ^a | d | d | 2.76 ^e | |

注: a. 工程估计值。

b. 对加罩、加导管和58.3m³(空气)/s的纤维过滤器的估计费用, 包括对物料搬运、贮存、装袋和散装料的控制。

c. 一个伸缩式溜槽的估计费用。

d. 抽气费用包括在1.中, 但不包括伸缩式溜槽的费用。

e. 根据工厂产量136000t/a分析出的费用。

六、典型费用计算 (使用的参数)

尿素生产厂受控的尘源和估计的空气流量

1. 运输带转运点: $(1.66\text{m}^3/\text{s} \text{ 的空气}) \times (10 \text{ 个转运点})$
 $= 16.6\text{m}^3/\text{s}$

2. 装袋作业: $(6.66\text{m}^3/\text{s}) \times (2 \text{ 个装袋机}) = 13.3\text{m}^3/\text{s}$

3. 散装料作业: $(6.66\text{m}^3/\text{s}) \times (2 \text{ 个溜槽}) = 13.3\text{m}^3/\text{s}$

4. 贮料地区估计值: $13.3\text{m}^3/\text{s}$

要求的总室气量为 $56.5\text{m}^3/\text{s}$

费用效益比的计算从略。

第二十六章 汽油库和加油站

汽油中转油库，通过输油管线、油槽车或驳船从炼油厂接收汽油，贮于地面贮槽。然后经油罐卡车分配到汽油库和加油站，以便进一步分配。

使用各种类型的封闭式圆筒形罐作汽油贮存器，以防止挥发物逃逸和贮存物料的污染。

中转油库的贮罐容积在 $1900\sim 19000\text{m}^3$ 之间。一个中转油库平均有4.5个贮罐。

每个中转油库有一个或多个装油器，用它来给油罐卡车装油。这类装油架装备有一系列过程控制装置，以控制流速和保证操作安全。

汽车装料主要使用淹没装料法。其它通用的装料法是底部进料法。在美国俄亥俄州，很少使用喷溅装料法，这种方法意味着装料过程中产生明显的搅动和接触引起的液体蒸汽。

汽油库通过油罐卡车由中转油库接受汽油，并随后分配给加油站或其它的小商业帐户。

汽油库贮罐的容积在 $49\sim 76\text{m}^3$ 之间。一般汽油库平均具有三个油罐，总贮存能力为 190m^3 。美国环保局的调查表明，在全国范围内，50%的汽油库的汽油通过量小于 $15\text{m}^3/\text{d}$ 。

另外，汽油库也有装料架，以装油入油罐卡车。使用喷溅装料法者，在汽油库中占50%，其他50%则为淹没式装料法。

在图26-1和图26-2中是典型的中转油库和汽油库的简化流程。不同的装料系统表示在图26-3至图26-5中。

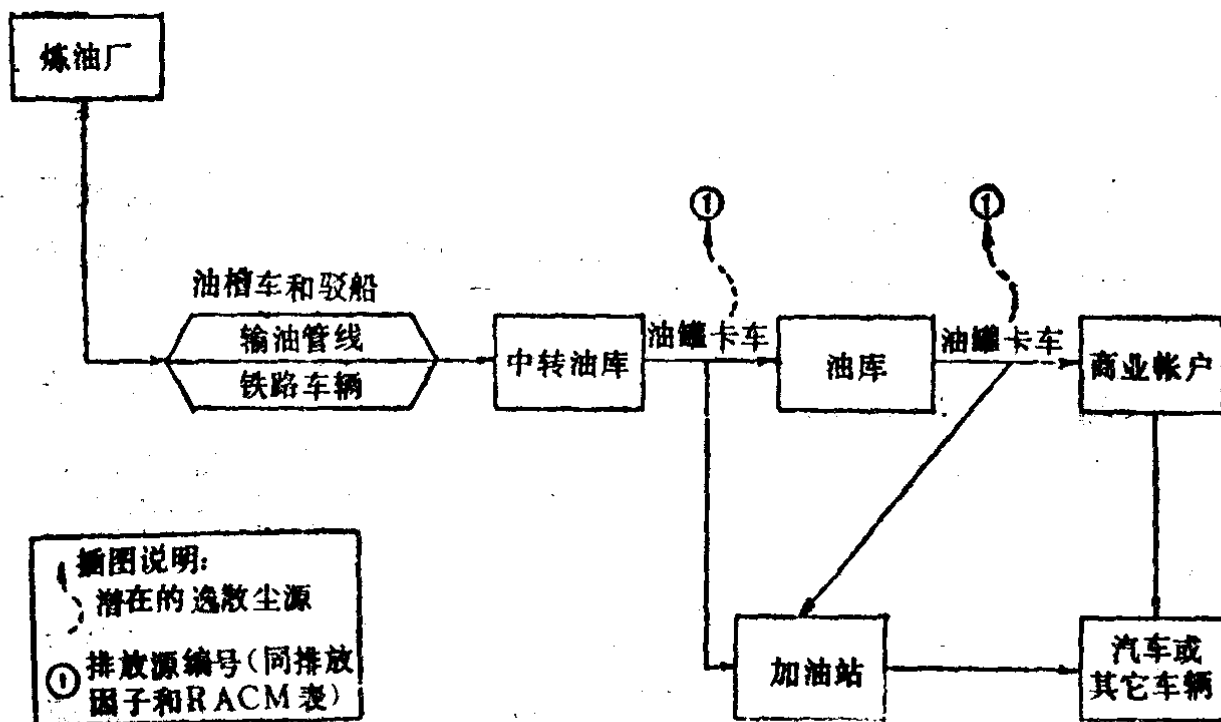


图26-1 汽油分配和贮存的简化流程图和有关的逸散尘源

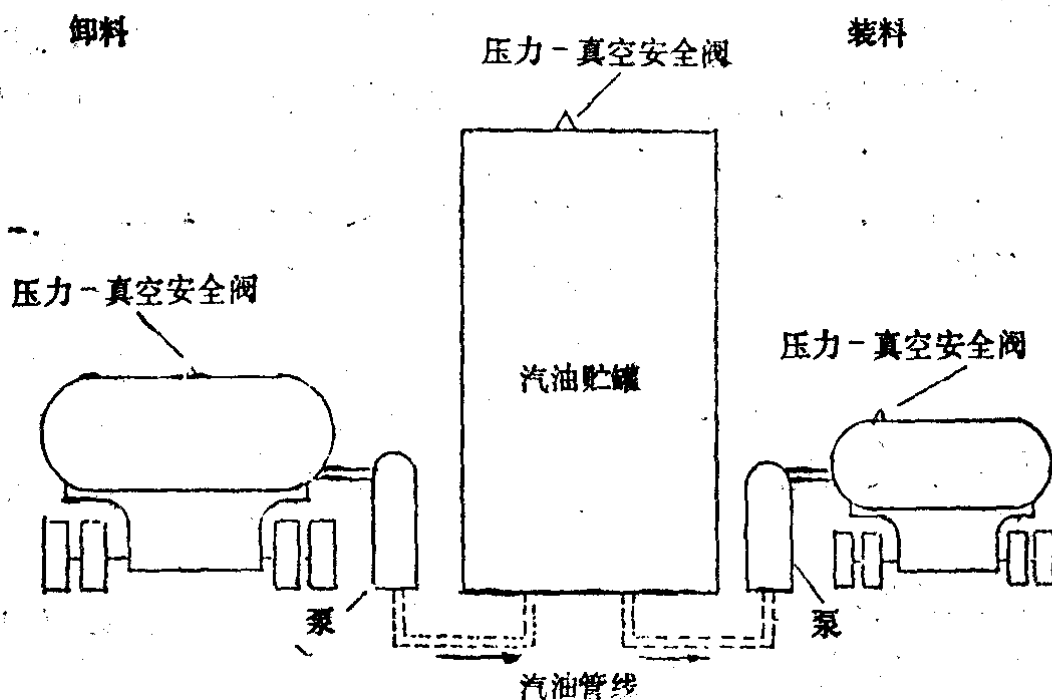


图26-2 汽油贮存的简化流程图

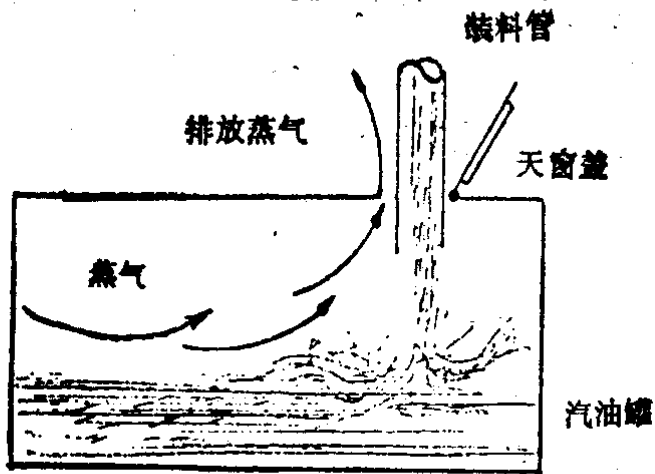


图26-3 喷溅装料法

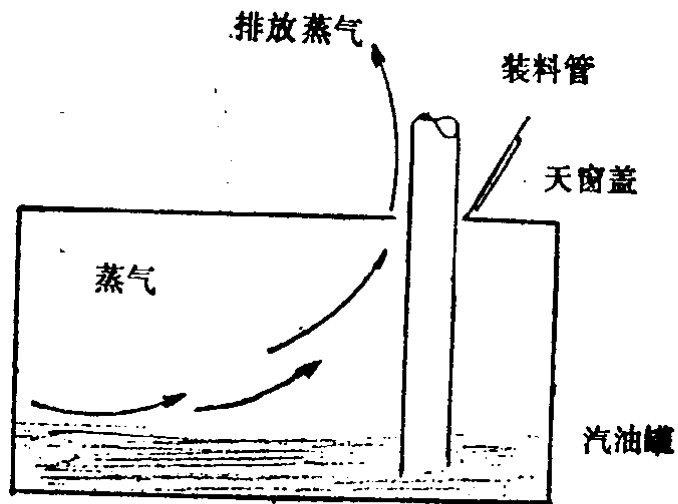


图26-4 淹没式装料法

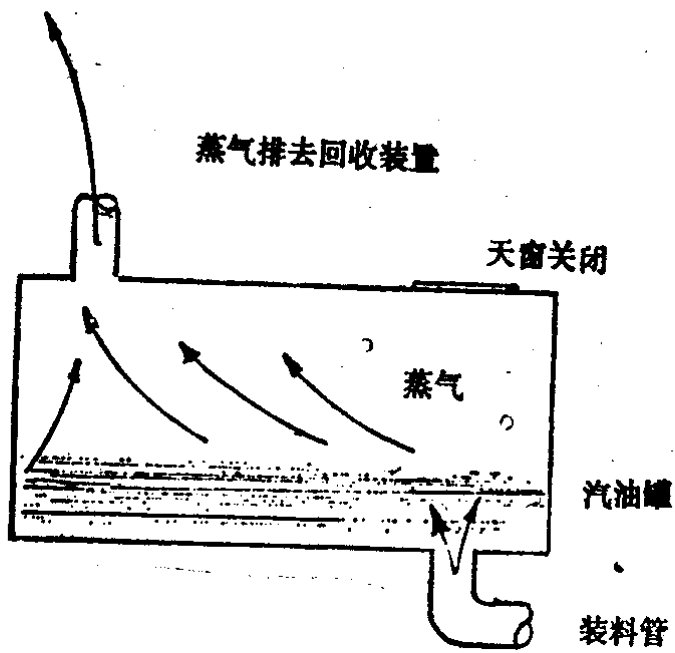


图26-5 底部装料法

汽油库或中转汽油库排放的逸散尘，主要由库区内铺筑或不铺筑道路上车辆交通产生。关于这些排放源的排放因子、控制措施和RACM选择在本书第一章第一节中已有详细讨论。

第二十七章 碳黑厂

一、工艺概述

碳黑属于工业碳大家族的一员，它是由气态烃燃烧或热解产生的。对比之下，焦炭则是由固态烃高温分解的产物。

在美国，用两种方法生产碳黑，即油炉法和热解法。

在热解法中，天然气被喷射入已加热的耐火室，被分解而形成碳黑。因为这个反应是吸热的，因此需要交替使用天然气，先使热解炉达到适当的温度，再使喷入的天然气分解成碳黑。这是一种循环的过程。

在油炉法中，液态烃原料被连续注入燃烧天然气的炉内燃烧带，在此处分解生成碳黑。美国现今生产的碳黑约有50%用的是这种方法。

现在，美国有30家碳黑厂使用油炉法。这30个厂的联合生产能力为 $1.9 \times 10^6 \text{ t/a}$ 。单个厂的生产能力则变动于 $(23 \sim 177) \times 10^3 \text{ t/a}$ ，其典型碳黑厂的生产能力为 $52 \times 10^3 \text{ t/a}$ 。

在油炉法中使用的原料为天然气、预热的原油和空气。油被预热至 $200 \sim 370^\circ\text{C}$ 。所选用的原料油要有高芳香度，不含游离焦碳或其它硬油渣（但可含沥清质、硫或碱金属）。

这种方法的反应器包含一衬钢板的耐火炉，它的长度为 $4.5 \sim 9 \text{ m}$ ，内径为 $0.15 \sim 0.76 \text{ m}$ 。燃烧天然气以达到 $1320 \sim 1540^\circ\text{C}$ 。预热油随空气喷入热燃烧气带的中心而雾化。油被裂解成氢、碳和副产品。这些副产品包括碳氧化物、水、甲烷、乙炔和其它烃。由产品规范和经济条件决定反应器的具

体设计和结构特征。原料中35~65%的碳转化为碳黑，具体转化的数量取决于原料类型和希望的产品质量。

从反应器出来的热燃烧气，包含悬浮的碳黑颗粒，它们在反应器出口的骤冷区受到水的喷射雾滴，首先被冷至540℃左右。再由骤冷塔最后冷至230℃。

用布袋收尘室中的玻璃纤维过滤袋从反应器排出气流中回收碳黑。收集到的碳黑随即通过一锤磨机，再由风力运输至旋风除尘器和袋式过滤器，从此处收集的碳黑进入调节贮箱。

其次，碳黑通过螺旋输送机送入成粒机。产生的小球具有1.6~3.2mm直径。然后输送小球至干燥机以去除水分。

干燥后的碳黑粒被筛选，并通过斗式提升机送至大贮仓。超过粒径的颗粒被循环回入锤磨机再加工。由贮仓来的产品可装袋或散装料装入斗式铁路车辆。

图27-1是油炉法的简化流程图。

在碳黑工业内逸散尘源包括道路、车辆交通、铁路车辆散装料、装袋作业和粒状碳黑贮存。

二、逸散尘排放因子

没有各个逸散尘源排放量和排放浓度的资料。

一份文献报导碳黑厂的逸散尘排放因子为0.1kg/t。但这个排放因子包括下列情况排放的尘：

1. 清理堵塞的加工装置；
2. 包括贮仓排气管和风力运输系统在内的全部加工装置的泄漏；
3. 在箱式车辆装入散装料或袋装作业时物料的散落。
4. 一般维护和修理工作。

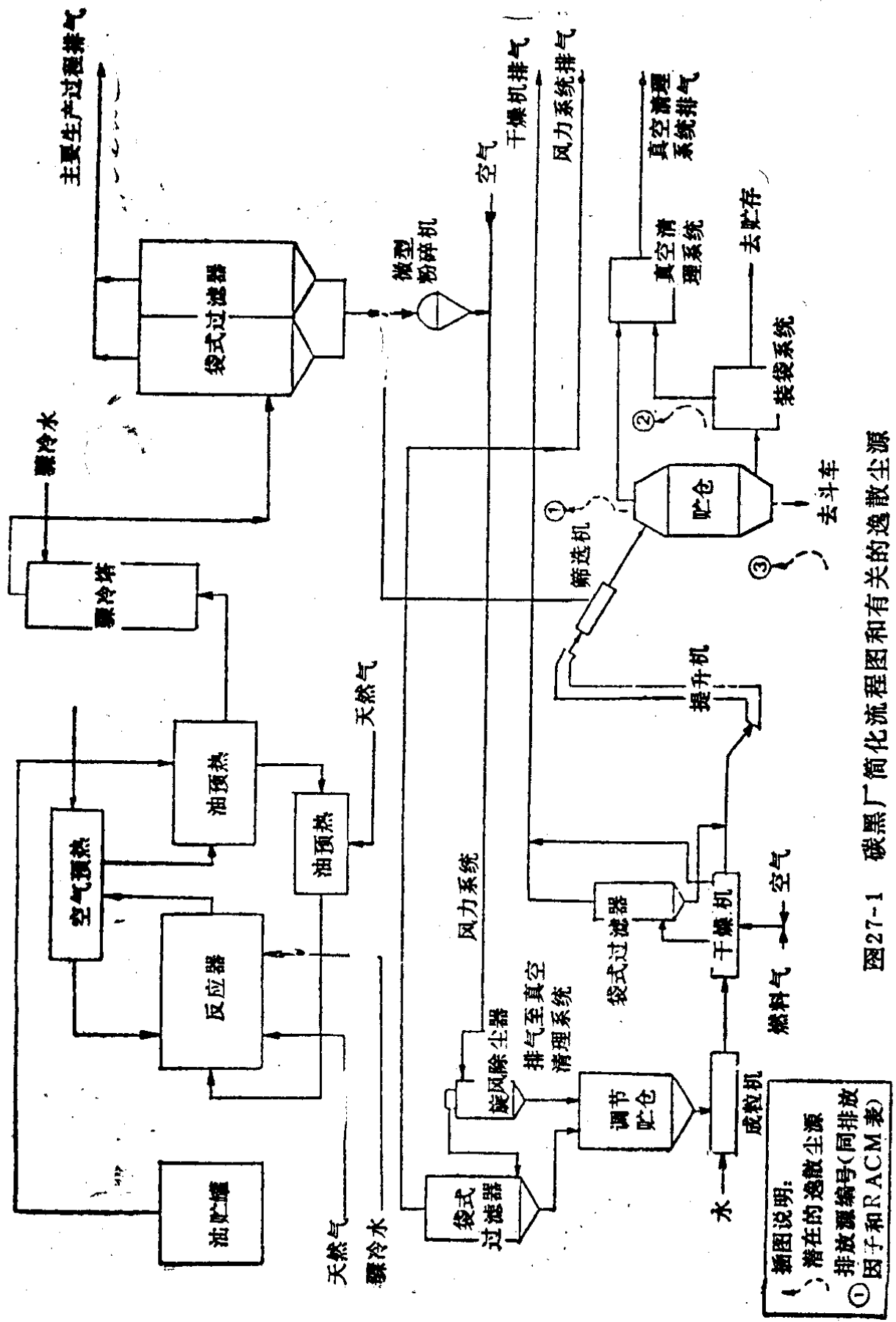


图27-1 碳黑厂简化流程图和有关的逸散尘源

因此，上述的逸散尘排放因子没有多大意义，因为它包括了太多的排放源，甚至包括一些不能被当作逸散尘源的排放。

三、颗粒特性

在成粒之前，碳黑由非常小的颗粒组成，其直径为18~55nm，密度为24~59kg/m³。这些颗粒具有松散性，一般含90~99%的元素碳，并带有氧、氢和硫。

尽管碳黑包含微量的能致癌的多环芳烃，但尚无证据说明碳黑对人类有毒。

当碳黑粒被搬运和贮存时，产生的逸散颗粒的粒径和粒径分布方面的物理特性是不清楚的。它们的化学性质与未聚集的碳黑相同。

四、控制方法

为了减少由贮仓排入大气的碳黑量，一般需采用控制措施。如果工厂有真空清理系统（美国2/3的工厂有这样的系统），它们被用来收集由工厂加工机械排放的碳黑颗粒或偶然事故散落的碳黑颗粒。如果在每个贮罐的排气管安装纤维过滤器，也有助于防止碳黑进入大气。

对铁路斗车装料和装袋作业产生的逸散尘，可使用一排小心放置的真空套筒，并连接到现有的真空清理系统来进行控制。

由散装料排放的尘也可排气至现有的装袋机排气系统（它被用来收集装袋作业中的碳黑尘）。这种尘被转入小型脉冲袋式过滤器。最后，一些工厂采用两台独立的脉冲喷吹

袋式过滤器，一台捕集铁路车辆散装料排放的尘，而另一台则控制装袋作业排放的尘。全部回收的碳黑返回到生产过程。

道路逸散尘的控制见第一章。

五、推荐的合理、可用控制措施

由于没有碳黑逸散尘的具体数据，将用一般工业实践作为RACM选择的依据。

对贮仓排气的RACM，或是排气至现有的真空清理系统或在排气管上安装非抽吸性纤维过滤器以收集排放的颗粒。

对铁路车辆散装料，可使用真空清理系统以防止碳黑尘的过分集结，并捕集任何散落的碳黑。其它可选用的控制技术包括安装脉冲-喷吹纤维过滤系统，或排尘至装袋机的排气系统。

装袋作业的尘，可用管导至现有的清理系统，或使用与外界隔绝的密封真空装袋系统。最后，单个的脉冲-喷吹式纤维过滤器可用来收集这种逸散尘源的排放物。

表27-1列出了RACM选择等

表27-1 碳黑厂逸散尘源的控制技术、效率、费用和RACM

| 逸散尘源 | 可用的控制技术 | 控制效率 (%) | 控制费用 1980.1美元 | | 费用效益比 (美元/kg) | 选择的RACM |
|------------|---------------|-----------------|------------------|-----|------------------|---|
| | | | 投资费 | 年费用 | | |
| 1. 贮仓上的排气管 | 吸贮仓气至真空清理系统 | 99 ⁺ | — | — | 无数据可用 | 全部列出控制技术都可作RACM, 对RACM没有单项的选择, 这是由于这些控制技术具有很高的性能指标。 |
| | 在贮仓排气管上装纤维过滤器 | 99 ⁺ | — | — | 无数据可用 | |
| 2. 碳黑的装袋作业 | 安装袋机械排气系统 | 99 ⁺ | — | — | 无数据可用 | |
| | 吸气至真空清理系统 | 99 ⁺ | — | — | 无数据可用 | |
| | 安装脉冲-喷吹纤维过滤系统 | 99 ⁺ | — | — | 无数据可用 | |
| 3. 铁路斗车散装料 | 吸气至真空清理系统 | 99 ⁺ | — | — | 无数据可用 | |
| | 安装脉冲-喷吹纤维过滤系统 | 99 ⁺ | — | — | 无数据可用 | |
| | 排气至装袋机排气系统 | 99 ⁺ | — | — | 无数据可用 | |

第二十八章 城市垃圾焚烧厂

一、工艺概述

城市垃圾焚烧是一种受控燃烧方法，它把城市垃圾变为气体和含少量可燃物或不含可燃物的残渣。虽然大部分城市垃圾焚烧炉仅设计来减少垃圾的体积以便最后处置，但焚烧过程产生的热也能有效地用来生产电能或蒸汽。

在燃烧过程中，垃圾的水分首先被蒸发，然后可燃部分被汽化和氧化。垃圾焚烧炉最终的主要产物是二氧化碳、水蒸气和不可燃的灰分。

焚烧炉组件和附属系统是：

1. 垃圾接收和装料系统；
2. 燃烧空；
3. 空气供应系统；
4. 灰渣搬运系统；
5. 空气污染控制装置。

这些组件和附属系统表示在图28-1中，并标出有关的逸散尘源。

使用中的焚烧炉有多种类型，它们采用不同的炉排和燃烧室结构。一般常用的机械炉排有链条、振动、往复三类。炉型包括矩形和回转窑，并带有耐火或水冷内壁。

垃圾运载卡车常常先经一称量磅，然后卸入焚烧炉的贮坑，因此能得出每日进入焚烧厂的垃圾总量。垃圾贮坑的大小通常取决于：炉的容量、焚烧炉停炉时需要临时贮存的

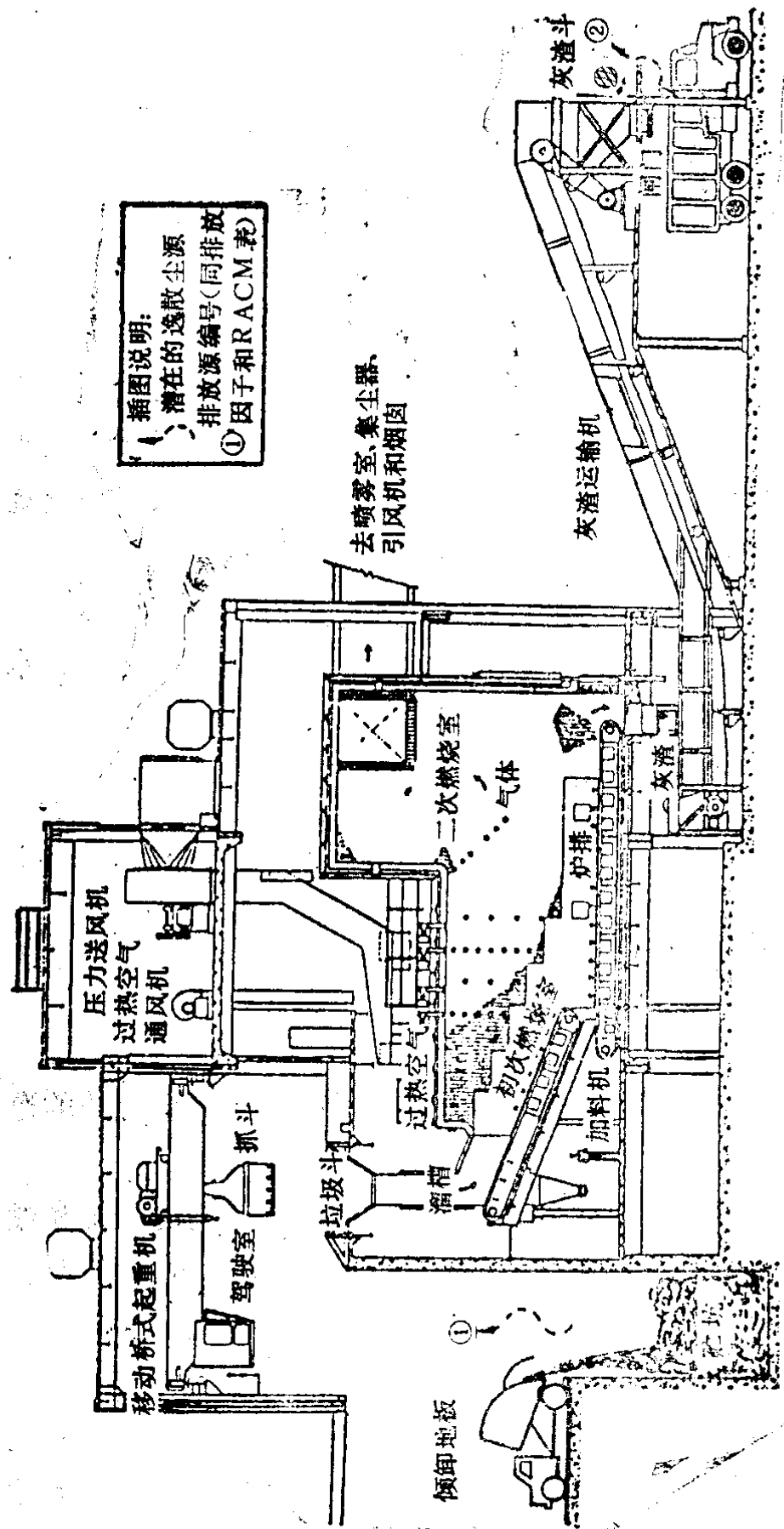


图28-1 城市垃圾焚烧厂的简化流程和有关的逸散尘源

量和清运垃圾卡车的时间表。在大型焚烧炉，垃圾车进入倾卸地板，并倒车至坑边，再倾卸垃圾。在一些小型焚烧炉，垃圾被直接卸入焚烧炉装料斗或倾卸地板上。一些焚烧炉有与贮料场地同一高度的装料地板，并可用前端式装载机或特定装置转运垃圾。

典型情况下使用蛤壳式或多爪式抓斗起重机将贮坑的垃圾提升入装料斗或重力溜槽，再由此连续送入焚烧炉。溜槽始终被垃圾充满，以保持对空气的密封，并防止烟和热量由焚烧炉逸散至装料地区。

通常垃圾在倾卸入燃烧室炉排前，在加料机上就被点燃。通过炉排、燃烧室的边墙和炉顶提供燃烧需用的空气，并控制温度。

在所有的焚烧炉中，燃烧气被通入二次燃烧室，以使这些气体及其夹带的固体颗粒完全燃烧，然后燃烧气被清洗，再通过烟囱排出。

燃烧过程的灰渣由燃烧炉排的尾端卸入灰斗。通常用水骤冷灰斗，以减少搬运灰渣的着火危害，同时减少灰渣夹带的尘。最后，由裙罩式链板运输机从焚烧炉底部连续清出。

在焚烧炉中留下的灰就是炉排下的漏灰和飞灰。漏灰从炉排底用人工通过清灰门清除，或收集于灰池，并用机械运送至贮灰渣斗。气体除灰装置捕集到的飞灰，可以单独处置或与其它灰渣一起处置。

大部分城市垃圾焚烧系统的设计，容许倾卸卡车直接从链板运输机装运灰渣，以卸至填地场或其它处置场地。

城市垃圾焚烧过程的逸散尘源如下：

1. 垃圾倾卸地板和贮坑地区（垃圾卸出、吊装等）；
2. 灰分搬运和处置系统；
3. 道路。

二、逸散尘排放因子

城市垃圾焚烧厂各逸散尘源的排放因子列在表28-1中。为了简化已知的这类装置的排放因子，这里只提供飞灰搬运和处置的排放因子。这个因子是工程估计的，没有详细的推导资料，它的可信度是非常差的。

表28-1 城市垃圾焚烧厂逸散尘的排放因子

| 排 放 源 | 排 放 因 子 | 可 信 度 等 级 |
|------------|-----------------|-----------|
| 1. 垃圾倾卸、搬运 | 无可用数据 | — |
| 2. 飞灰搬运、处置 | 10~50kg/t (搬运灰) | E |

对垃圾倾卸或类似的作业没有找到实用的排放因子。道路的逸散尘排放因子见第一章。

三、颗粒特性

在城市垃圾焚烧系统中有两类逸散尘颗粒。一是垃圾带至焚烧炉的尘，一是垃圾焚烧引起的飞灰（道路尘的颗粒特性见第一章）。在垃圾倾卸和搬运过程产生的逸散尘的颗粒粒径和密度数据是有限的。

各城市之间垃圾的组成是变动的。表28-2列出美国21个城市居民团体废物的组成范围。固体废物的水分是特别重要的变量，因为它影响废弃物的“发热量”。水分也可影响固体废物的密度和搬运的难易。

如表28-3所示，垃圾中主要可燃成分是碳和氢，并带有少量的硫和氮。灰渣中的一些成分在焚烧过程也可氧化。

表28-2 美国21个城市居民固体废物的组成范围

| 组 成 | 组 成 % (重量) | | |
|-----------|------------|------|-------|
| | 低 值 | 高 值 | 平 均 值 |
| 废弃食物 | 0.8 | 36.0 | 18.2 |
| 花园废物 | 0.3 | 33.3 | 7.9 |
| 纸类产品 | 13.0 | 62.0 | 43.8 |
| 金 属 | 6.6 | 14.5 | 9.1 |
| 玻璃和陶瓷 | 3.7 | 23.2 | 9.0 |
| 塑料、橡胶和皮革 | 1.6 | 5.8 | 3.0 |
| 纺 织 品 | 1.4 | 7.8 | 2.7 |
| 木 材 | 0.4 | 7.5 | 2.5 |
| 石块、脏土、灰渣等 | 0.2 | 12.5 | 3.7 |

表28-3 城市固体废物的典型组成

| 类 别 | 重 量 % (被烧掉的) | 组 成 | 重 量 % |
|-------|-----------------|-----------------------|-------|
| 金 属 | 8.7 | 水分 (H ₂ O) | 28.16 |
| 纸 类 | 44.2 | 碳 (C) | 25.62 |
| 塑 料 | 1.2 | | |
| 皮革和橡胶 | 1.7 | 氧 (O) | 21.21 |
| 纺 织 品 | 2.3 | 氢 (H) | 3.45 |
| 木 材 | 2.5 | 硫 (S) | 0.10 |
| 废弃食物 | 16.6 | 氮 (N) | 0.64 |
| 庭院废物 | 12.6 | 灰 分 | 20.82 |
| 玻 璃 | 8.5 | | |
| 其 它 | 1.7 | | |
| | 100 | | 100 |

有效燃烧的最后成果是转化废物中的碳为二氧化碳，转化氢为水。硫被转化成硫氧化物（主要为SO₂），一部分氮转化

成氮氧化物，而有机氯化物被转化成氯化氢。

另外，有可能存在有毒物质，如重金属（汞和铅）、铍、农药、石棉和溶剂。典型的有害废物列在表28-4中。要完全防止这些废物进入城市垃圾中，是不可能的。

焚烧炉烟囱中已验明的颗粒物包括烟、烟灰、飞灰、砂粒、脏土、含碳絮片、醛、有机酸、醚、脂肪、油脂类物质、酚、烃和多环烃。颗粒的粒径从小于 $5\mu\text{m}$ 至 $200\mu\text{m}$ 以上。典型的颗粒密度范围为 $2\sim 3\text{g}/\text{cm}^3$ 。

表28-4 城市固体废物中有害物

油漆、溶剂、汽油、煤油、油类
极易起火的塑料、尘、刨花、炸药和引火物质
有机化学品（包括有毒物质，如农药、酚和含氯化合物）
其它有毒物质（如汞、铅和砷的化合物、含铅的曲轴箱废油和油漆的有毒废物）
酸、苛性碱、其它易起反应的化学品
生物活性物质（如制药废物、兽医院和医院的一些病理学废物）
放射性废物。
密封容器
污染的容器

表28-5给出了三类焚烧炉（每类具有不同的炉排系统）颗粒粒径和其它物理性质的分析，这些颗粒物是在燃烧室和气体除尘装置之间收集的。

这些颗粒物化学组成方面发表的数据非常少。少数结果表明，由城市垃圾焚烧炉排放的飞灰一般包含 $5\sim 30\%$ 的有机物和 $70\sim 95\%$ 的无机物。在表28-6中列出纽约南滨(South Shore)焚烧炉飞灰的各种无机成分。

——由詹斯(Tens)和里黑姆(Rehm)公布了焚烧炉烟囱排出物和收尘器的飞灰的更详细的元素分析值。被测试的焚烧炉装有湿法冲撞式控制系统，两次测试结果列在表28-7中。

表28-5 焚烧炉排出颗粒的物理特性

| | 装置编号* | | |
|---------------------------|-------|-------|------|
| | 1 | 2 | 3 |
| 在旋风除尘器收集颗粒% (对总样本) | 77.0 | 77.5 | 63.0 |
| 在布袋收尘室收集颗粒% (对总样本) | 23.0 | 22.5 | 37.0 |
| 密度 (g/cm ³) | 2.65 | 2.70 | 3.77 |
| 容积密度 (g/cm ³) | — | 30.87 | 9.4 |
| 烧失量 (150°C) % | 18.5 | 8.15 | 30.4 |
| 分析 < 2 μm 的颗粒重量% | 13.5 | 14.6 | 23.5 |
| < 4 μm 的颗粒重量% | 16.0 | 19.2 | 30.0 |
| < 6 μm 的颗粒重量% | 19.0 | 22.3 | 33.7 |
| < 8 μm 的颗粒重量% | 21.0 | 24.8 | 36.3 |
| < 10 μm 的颗粒重量% | 23.0 | 26.8 | 38.1 |
| < 15 μm 的颗粒重量% | 25.0 | 31.1 | 42.1 |
| < 20 μm 的颗粒重量% | 27.5 | 34.6 | 45.0 |
| < 30 μm 的颗粒重量% | 30.0 | 40.4 | 50.0 |

•每类焚烧炉有一不同的炉排系统。焚烧炉的容量处于109~227 t/d之间。

表28-6 纽约南滨焚烧炉飞灰的化学分析 (%)

| 成 分 | 试 样 的 来 源 | | |
|--|-----------|------|------|
| | 上烟道 | 膨胀室 | 排气 |
| 有机的 | 0.5 | 0.6 | 10.4 |
| 无机的 | 99.5 | 99.4 | 89.4 |
| 硅石 (按SiO ₂ 计) | 50.1 | 54.6 | 36.1 |
| 铁 (按Fe ₂ O ₃ 计) | 5.3 | 6.0 | 4.2 |
| 矾土 (按Al ₂ O ₃ 计) | 22.5 | 20.4 | 22.4 |
| 钙 (按CaO) | 7.9 | 7.8 | 8.6 |
| 镁 (按MgO) | 1.8 | 1.9 | 2.1 |
| 硫 (按SO ₃ 计) | 4.3 | 2.3 | 7.6 |
| 氧化钠和氧化钾 | 8.1 | 7.0 | 19.0 |

表28-7 焚烧炉飞灰颗粒物的光谱分析

| 元素名称 | 烟 肉 (占飞灰物质的%) | 收 尘 器 (占飞灰物质的%) |
|------|---------------------|--------------------|
| 硅 | 5 ⁺ ~ | 10 ⁺ ~ |
| 锰 | 0.1~1.0 | 0.1~1.0 |
| 铬 | 0.1~1.0 | 0.1~1.0 |
| 镍 | 1.0~10 ⁺ | 0.001~0.01 |
| 铜 | 0.1~1.0 | 0.01~0.1 |
| 钒 | 0.001~0.1 | 0.01~0.1 |
| 铁 | 0.1~5.0 | 0.5~5.0 |
| 锡 | 0.001~0.5 | 0.05~0.5 |
| 铝 | 0.1~10 | 1~10 |
| 锌 | 1~10 | 1~10 |
| 镁 | 1~10 | 1~10 |
| 钛 | 0.5~5.0 | 0.5~5.0 |
| 银 | 0.001~0.01 | 0.001~0.1 |
| 硼 | 0.01~0.1 | 0.01~0.1 |
| 钼 | 0.1~1.0 | 0.1~1.0 |
| 铍 | 0.001~0.01 | 0.001~0.01 |
| 钙 | 10 ⁺ ~ | 10 ⁺ ~ |
| 钠 | 1~10 | 1~ |
| 铅 | 0.01~0.5 | 0.1~1.0 |
| 硫 | ~ | 0.620~ |
| 磷 | 1.140~1.460 | 1.760~ |
| 硅酸盐 | 5.4~ | — |

四、控制方法

城市垃圾焚烧系统在垃圾倾卸、吊车装料和贮斗装料过程中，在倾卸地板和贮坑地区产生的尘能成为麻烦的问题。

为了控制尘、限制恶臭、减少风刮垃圾、噪音和夜晚及周末车辆的保管等，采取封闭倾卸地区。许多焚烧炉，首先希望低费用，则仅在倾卸台上装设篷罩，或什么也不装。

使用水喷雾以润湿贮坑内的固体废物，常常作为尘的控制手段。这种湿润技术带来的问题是润湿垃圾常常燃烧不完全和产生较高的排放物，同时因高水分而腐蚀排气经过的装置，也使需要的热能增加，耗能费用增高。

装卸地区的排气罩也能减少尘。带尘的空气流通过导管导至纤维过滤器。一些焚烧炉，为了拦截垃圾倾卸排放的尘，在垃圾贮坑顶部设计抽空气的入口通道，以抽取倾卸地板和贮仓上部的空气。常常从这个地区抽取焚烧炉需要的燃烧室空气。这种方法使这个地区产生负压空气，能有效地防止带尘空气从建筑物逸出，有助于管理、防止工厂残渣发生的恶臭，在坑内垃圾着火时，有助于去除烟和热量，以保障安全。注意设计和建造垃圾卡车进入的大门和卸载装置，也能将卡车进入或离开厂房时搅动产生的尘减至最少。

对城市焚烧炉喜欢采用封闭物料搬运系统，以容许通过净化系统强制排气。带尘的空气可进入纤维过滤器或导至焚烧炉。

如果飞灰是湿的，则搬运和处置作业将不会出现问题。一些工厂，用飞灰与湿灰渣互相混合，或用湿的灰渣盖在运输卡车的上面。干的飞灰很难处理，其控制方法可采用湿润剂，运输时遮盖卡车上的灰渣，在装飞灰时，将自由降落距离减至最小。在处置场地上，也可用湿抑制和缩小飞灰自由降落距离来控制倾卸作业的排放。在处置场地上风蚀的排放可用脏土或稳定物质覆盖，或栽种植被和用化学稳定剂。

在城市垃圾焚烧厂中，道路是主要的逸散尘源。有关的控制方法已在第一章详细讨论。表28-8列出可用的控制技

术、效率、估计费用和RACM选择。

五、推荐的合理、可用控制措施

在垃圾倾卸地板和贮坑地区推荐的控制措施是在倾卸地区使用空气抽气口，并抽气至空气过滤器。这将给出最有效的控制，并在许多工厂使用。

对飞灰搬运和处置的RACM包括湿抑制、将自由降落距离减至最小和给处置场地上来往卡车加上罩。此外，用脏土覆盖堆置的飞灰也是推荐的。

表28-8 城市垃圾焚烧炉的控制技术、效率、费用及RACM

| 逸散尘源 | 可用的控制技术 | 控制效率 (%) | 控制费用 1980.1美元 | | 费用效益比 (美元/kg) | 选择的RACM |
|------------|--------------------|-----------------|---------------------|--------------------|------------------|------------------------------------|
| | | | 投资费 | 年费用 | | |
| 1. 垃圾倾卸、搬运 | 在垃圾贮坑上设空气抽气口，并抽气入炉 | 90 ^a | 139000 ^b | 24500 ^b | 无数据可用 | 在垃圾贮坑设空气抽入口，并抽气至焚烧炉；并加罩；并排气在纤维过滤器。 |
| | 搬运、排气至纤维过滤器 | 98 ^a | 无数据可用 | 无数据可用 | 无数据可用 | |
| | 在垃圾贮坑上用水喷雾 | 50 | 无数据可用 | 无数据可用 | 无数据可用 | |
| 2. 飞灰搬运、处置 | 湿抑制 | 50~100 | 49700 | 22300 | 0.022 | 湿抑制，运输卡车加盖，将自由降落距离减至最小。 |
| | 运输卡车加盖 | 99 ^a | 50 ^d | 无数据可用 | 无数据可用 | |
| | 将自由降落高度减到最小 | 无数据可用 | 无数据可用 | 无数据可用 | 无数据可用 | |

注：a. 工程判断

b. 日处理能力454t的城市垃圾焚烧炉，该炉具有两个连续进料的耐火墙和年运行360日

c. RACM取决于现有的设计特性。

d. 卡车加罩11.6m²，每m²罩的费用为4.3美元。

对道路，相对常用的是铺筑路面及有计划的清扫，它是减少逸散尘的最好办法；但是，在一些情况下，费用可能受到限制。洒油也能在合理费用下提供良好的控制，推荐用于那不常使用的道路，或铺筑费用过高而无法铺筑的道路。更详细的情况可参见第一章第一节。

第二十九章 盐加工厂

一、工艺概述

在美国和加拿大每年生产干盐大约2450万t。而用于除水的盐达1180万t，这是盐的最大用项。

盐从盐场运至分级装置（破碎和筛选），被分成需要的各种等级，表29-1列出不同等级盐的特性。这种加工盐的过程，一般在厂房内进行。

破碎和筛选后的盐，被送入贮仓、露天贮堆或直接送入运输装置（驳船、铁路车辆或卡车）。贮堆的盐再经运输机运至驳船、铁路车辆或卡车。有的也可用前端式装载机装盐入卡车。前端式装载机也可将贮堆的盐倾入位于船上的运输机的贮斗。它以907t/h的装盐速度，大约12~13小时装一条船。

船运的盐，常常用自动装料运输机或蛤壳式抓斗机和运输机卸料。铁路车辆或卡车则倾卸料于地面，再用前端式装载机送盐上贮堆。

也用前端式装载机装盐入卡车，或直接送盐入街区，或运至其它贮区以再分配。

送盐上堆，贮堆受到风的扰动，称量斗的装料，船、铁路车辆或卡车的装料和卸料，在贮场的车辆活动都能产生逸散尘。盐加工厂流程图示于图29-1。在图中也标出每个潜在的逸散尘源。

表29-1 不同等级盐的规格

| 等级 | 粒 径 分 布 | | | | | | | | | | 纯度% |
|--------|---------|-------|--------|--------|--------|--------|-------|-------|---------|--|-----|
| | 12.7mm | 9.5mm | 4目 | 8目 | 12目 | 16目 | 30目 | 底盘 | 氯化钠* | | |
| R.O.M. | 0~1% | 1~5% | 20~30% | 25~35% | 10~15% | 8~12% | 5~15% | 5~17% | 氯化钠* | | |
| 粗 粒 | 17.8mm | 2目 | 9.5mm | 7.9mm | 6.4mm | 12目 | 底盘 | | | | |
| | 0~2% | 2~10% | 5~12% | 50~75% | 9~15% | 2~5% | 0~2% | | 90~93 | | |
| “CC”中粒 | 9.5mm | 6.4mm | 4目 | 8目 | 12目 | 16目 | 30目 | 底盘 | | | |
| | 0% | 8~16% | 12~18% | 38~45% | 13~20% | 8~15% | 1~8% | 0~2% | | | |
| 北方细粒 | 12目 | 14目 | 16目 | 20目 | 30目 | 40目 | 底盘 | | | | |
| | 0~2% | 0~2% | 2~10% | 30~50% | 22~30% | 5~15% | 5~25% | | 97~98 | | |
| 特别细粒 | 12目 | 14目 | 16目 | 20目 | 30目 | 40目 | 底盘 | | | | |
| | 0~1% | 0~1% | 2~7% | 30~55% | 25~30% | 7~16% | 5~25% | | 97~98 | | |
| “F.C.” | 12目 | 20目 | 30目 | 40目 | 70目 | 100目 | 底盘 | | | | |
| | 0~1% | 3~11% | 10~17% | 16~22% | 24~46% | 10~20% | 3~23% | | 96~97.5 | | |

* 杂质为镁、钙和硫酸盐

二、逸散尘排放因子

尚未发现对盐加工厂定量化的排放因子，在其它工业排放源中，也未发现与盐加工作业类似的具体排放因子。

三、颗粒特性

盐贮堆逸散尘颗粒粒径的变动，取决于贮堆装料和卸料作业的扰动。由盐堆逸散的尘大部分粒径在 $2\sim 5\mu\text{m}$ 。盐中包含氯化钠（约95%）、水分、钙-镁盐和不溶物（约5%）。

盐对混凝土、构建物质和活动的金属部件上的腐蚀性有别于第一章第二节和第三节“粒料贮堆”和“物料搬运”中所讨论的粒料。伴随盐的堆贮和搬运，生锈和腐蚀更频繁和严重。

四、控制方法

逸散尘源的可选用的控制技术列在表29-2中，并伴有它们的估计控制效率和费用。由于盐的腐蚀性，其它物料贮堆和搬运的正常控制措施，并非总能用于盐上。这是必须注意的。

无论是在盐场或是在商店和用户的运输作业中，有效的尘控制措施要求部分封闭运输系统，或是全封闭。

当装盐上贮堆时，盐由运输机上落到堆上会产生逸散尘。可将自由降落距离减至最小，利用高度可调堆积机和伸缩式溜槽，可进一步减少逸散尘的排放。

盐不会很快潮解，暴露于正常大气水中，并不容易溶

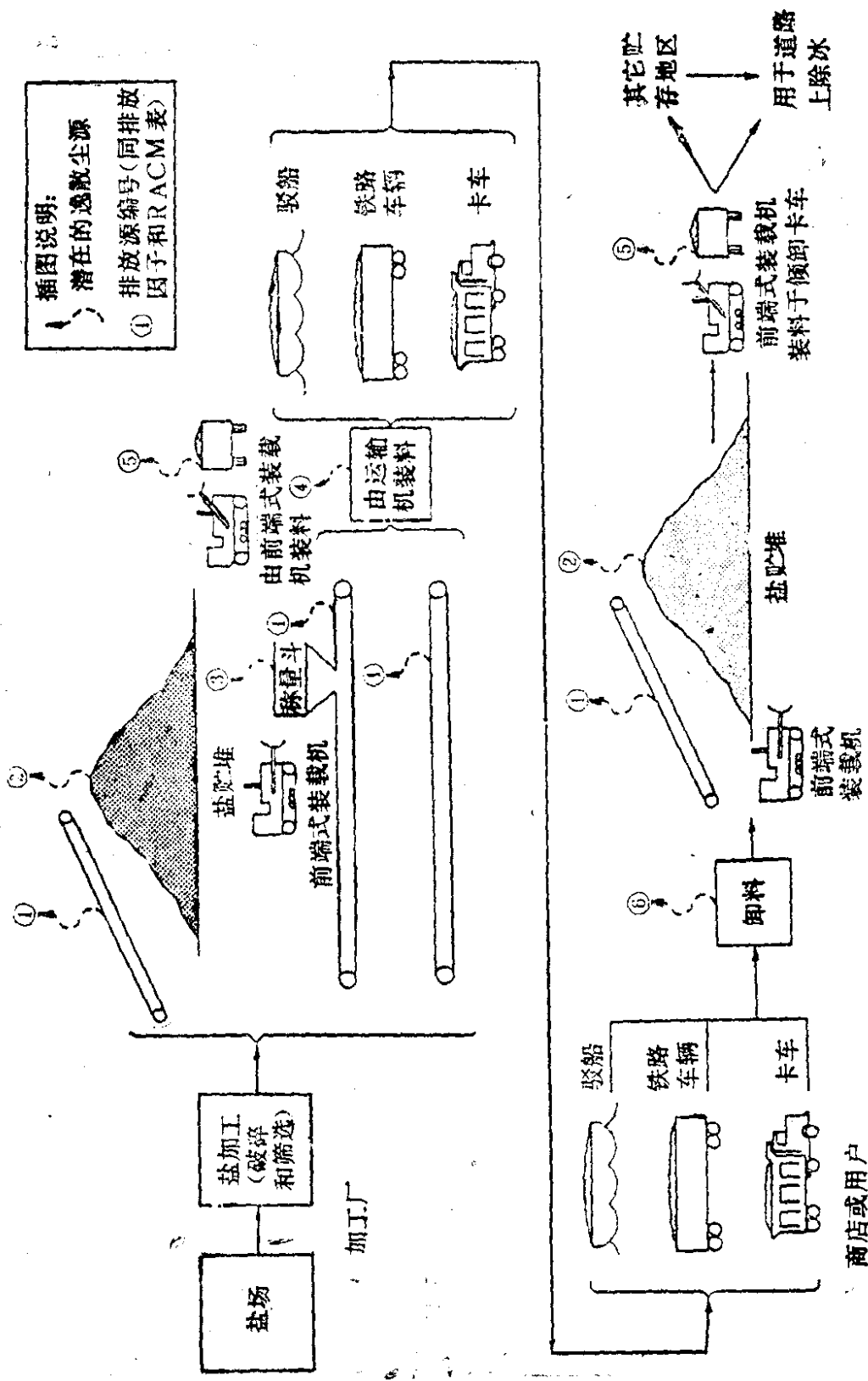


图29-1 盐加工厂的简化生产流程和有关的逸散尘源

解。甚至未加罩的大盐贮堆，直接曝露于降雨中，也仅遭受较小的损失。大部分水由盐堆的外层保持，随后再蒸发。盐形成一保护壳并遮挡雨水。较大的贮堆，每吨盐有较少的暴露面，甚至作长时间的露天贮存损失的比例也较小。这种自然结壳减少了露天堆逸散尘的问题，盐堆被前端式装载机频繁装卸料除外。

美国食盐研究所竭力推荐全部贮盐应封闭在固定的设备中。如果必须贮于户外，重要的是，它要放在不渗透的衬垫上，并适当地加盖，以防止对环境产生可能的有害影响。应适当控制流失。临时罩盖物，可以使用防水油布和聚乙烯、聚氨酯甲酸乙酯或聚丙烯罩。这些物料也可加厚，以增加强度。粗帆布盖布一般必须一年更换一次。

根据贮堆的大小，提供足够的罩盖材料，应考虑材料收缩和接缝所耗材料。为了连接柔软的盖罩，带有50.8mm标准缝口的盖罩，用芬克伯因（Finkbine）缝纫机或同效的缝纫机将它们包缝在一起。规划的缝口部分应是双缝线缝制。所有的缝口端部应使用聚酯线作三线缝制。这样缝制将相对更防水和耐用。缝口贴绝缘胶布会改进防水性。

旧轮胎用绳或电缆捆住连结起来，并均匀的分放在柔软的盖布之上，以提供适当的重量压制。为了防避风将盖布吹离盐堆，应围绕盐堆底部放置重物，如船板（包括铁路枕木）或混凝土锚块。

为什么盐应贮存在带屋顶的密封仓中，特别是对450t以下的盐堆，这是由于下面几条理由：少量的盐贮于户外堆场，如果不适当加盖布，将吸水而引起在盐中形成团块和格外的凝结成硬壳；湿而重的盐块是难于用装料机搬运和经散布机撒散；为了保证盐的质量，放少量盐于仓内，是相对较简单的事，不但可以保持较好的质量，同时可用撒料机装料

和搬运；最后，盐贮于仓内，减少了盐径流污染溪水或井水的可能性，并大大地减少了逸散尘的排放。

对除冰用盐的最好贮存场合是地面的贮棚或建筑房内。贮棚结构的大小和费用将按个人的需要而变化。

圆顶式的结构有时用来贮存高达5400t的盐。圆顶贮棚的优点之一是，它的空气动力学的形状对雨水、冰雹或风不构成平面障碍物，使自然界的压力减至最小。在这种结构中不能利用的空间较小，并没有支撑柱或横梁。圆顶结构大约能维持50年。

盐常贮于木材、混凝土、钢材的筒仓或贮仓内，贮仓支撑于柱条上，或直接放于地上。贮仓或筒仓的基建投资费用常较建筑房或棚贵。贮仓或筒仓的贮存能力小于地上的贮棚，并只能贮存干盐。这种贮存方法的优点之一是，当冬天暴风雪时，可让单人装料的散布机快速运盐。

前端式装载机一般用于贮堆的出盐。其防尘措施，如在贮堆下风边出盐，使自由降落距离减至最小或减小速度，都将有助于减少这项作业排放的逸散尘。

前端式装载机装料入运输带的称量斗时，其逸散尘的控制，可使用风屏。风屏也可用于前端式装载机装料入卡车。

由运输机装盐入卡车和铁路车辆时，也能产生逸散尘。可对装料站封闭或使用可调式溜槽来控制。

在用运输机对驳船或海船装盐时，通常落入贮仓要经一大段距离。这引起云团状尘的释放。尽可能将伸缩式装料溜槽接近盐的表面，将减少自由降落距离和尘的排放。

在卡车和铁路车辆卸料中，有效的控制措施为适当封闭或罩盖接料地区。在用前端式装载机搬运已卸出的盐时，有时也可用风屏。

船的卸料主要用活动斗式提升机（海运杆式起重机）。吊

杆放低进入船舱。当铲斗从船舱铲盐 and 海运提升机顶部卸盐上运输机时，都会出现一些逸散尘。为控制这些排放量，海运起重机应完全封闭。在大风之日减少卸盐量，将进一步减少逸散排放。

从加工盐的工厂前往商店(或用户)的运输中，卡车装盐后，在启程前都应加罩盖。

五、推荐的合理、可用控制措施

对盐加工厂逸散尘的RACM列在表29-2中。这些措施已用于制盐工业，而且非常有效。

对运输机发生的逸散尘的RACM是全封闭运输机。

对运输机送盐上堆发生的逸散尘排放的RACM是，用伸缩式溜槽将自由降落物料的距离缩至最小。

对风扰动引起的贮堆逸散尘，其RACM是贮堆加罩或全封闭。

表29-2 盐加工厂的逸散尘控制技术、效率、费用和RACM选择

| 逸散尘源 | 可选用的控制技术 | 控制效率 (%) | 控制费用 1980.1美元 | | 费用效益比 (美元/kg) | 选择的RACM |
|----------------|----------|-----------------|-------------------|-------|-------------------|---------|
| | | | 投资费 | 年费用 | | |
| 1. 运输 | 部分封闭(顶部) | 70 ^a | 4300 ^b | 无可用数据 | 由于无排放因子，无法计算费用效益比 | 全封闭 |
| | 全封闭 | 90 | 8600 ^c | 同上 | | |
| 2. 盐贮堆 送料上堆 | 伸缩式溜槽 | 75 | 8500 | 同上 | 同上 | 伸缩式溜槽 |
| | 可调堆料机 | 25 | 无可用数据 | 同上 | 同上 | |

续表

| 逸散尘源 | 可选用的控制技术 | 控制效率 (%) | 控制费用 1980.1美元 | | 费用效益比 (美元/kg) | 选择的 RACM |
|----------------|------------------|----------|--------------------|-----|---------------|-----------------|
| | | | 投资费 | 年费用 | | |
| 风蚀 | 贮堆加罩盖 | 95 | 16000 ^a | 同上 | 同上 | 贮堆 (大于450t) 加罩盖 |
| | 封闭 | 90 | 费用取决于封闭堆大小和类型 | 同上 | 同上 | 封闭 (小于450t的堆) |
| 出料 | 小心操作 | 50 | 无可用数据 | | 同上 | 小心操作 |
| | 3.称量斗装料 (前端式装载机) | 50 | 同上 | | 同上 | 风屏 |
| 4.用运输机装料 | 卡车、铁路车辆 | | 同上 | | 同上 | 可调溜槽和封闭 |
| | 封闭 | | 同上 | | 同上 | |
| 船 | 伸缩式装料溜槽 | 75 | 同上 | | 同上 | 伸缩式装料溜槽 |
| 5.用前端式装载机对卡车装料 | 风屏 | 50 | 同上 | | 同上 | 风屏和小心操作 |
| | 小心操作 | 50 | 同上 | | 同上 | |
| 6.卸料 | 卡车铁路车辆 | 风屏 | 50 | 同上 | 同上 | 封闭 |
| | 封闭 | 70 | 同上 | | 同上 | |
| 船 | 封闭海运起重机 | 75 | 无可用数据 | | 由于无法计算效益比 | 封闭海运起重机和小心操作 |
| | 小心操作 | 50 | 同上 | | | |

注: a.不透风雨的系统, 无有效的收尘系统。

b 30.5m长的运输机和141美元/m。

c. 30.5m长的运输机和282美元/m。

d. 盐堆为45400t和0.35美元/t。

由前端式装载机装料入称量斗排放的逸散尘，可采用风屏。

由运输机装料入卡车或铁路车辆产生的排放尘，应使用可调溜槽和封闭进行控制。由运输机装料入船时，推荐伸缩式溜槽。用前端式装载机装料入卡车，推荐的控制技术包括小心作业和设置风屏。

卡车和铁路车辆卸料引起的逸散尘，可由封闭卸料站来控制。对船舱卸料，应使用封闭海运起重机和收料斗，并小心操作进行控制。

第三十章 镀锌厂

一、工艺概述

镀锌是在无氧化物的清洁铁或钢材上镀一薄层锌的工艺。被镀锌的物品适当清理后，完全浸入熔化的锌浴中(449~460℃)，表面粘上一层熔化的锌薄膜后取出，以达到期望的涂层性质。

镀锌厂可以批料作业，如镀螺帽和螺栓、护栏等，或连续作业，如镀电线或链环栅栏等。这些作业可在加工车间或在大厂中作为附属工序。

在铁或钢物品的清理和镀锌中，典型的基本工序如下：

1. 在热碱溶液中去油；
2. 用水彻底冲洗；
3. 在热酸浴中浸渍；
4. 用水彻底冲洗；
5. 预涂氯化锌铵溶液（助熔剂）；
6. 穿过助熔剂的覆盖层（通常为氯化锌铵），浸渍物品于熔化的锌中；
7. 抛光（撒氯化铵以产生平滑的表面）。

图30-1中介绍了镀锌厂典型的批料或连续作业。

从镀锌厂空气污染方面考虑，工序的前五步可以忽略，因为这些作业在正常情况下不产生过多的空气污染排放物。但如油脂去除不完全，当物品浸渍入热锌时，将产生更多的空气污染物。再加上在酸洗槽中锌层剥落可引起过量的酸

雾。

在镀锌工厂中，上述第(6)和第(7)作业步骤是造成逸散尘排放的主要问题。已观察到，每当新的助熔剂被加入，或锅中的助熔剂覆盖层被搅动时，或当镀锌物品撒氯化铵时，都排放灰白色颗粒物的烟。

通用的两种锅用助熔剂是氯化铵和氯化锌铵，再加上起泡剂，如甘油、木末和锯末。这些发泡剂被用来提供较深的助熔层，并延长助熔剂的寿命。

用助熔剂覆盖层去除可能形成的任何氧化物薄膜（如物品从最后冲洗槽运至镀锌锅时），并排除部件的空气（如部件进入锌浴时）。助熔剂覆盖层用作预热和干燥的介质，以减少熔化锌的溅出或爆炸以及薄金属镀件的变形。由于有了助熔剂覆盖层，也减少了锅中的热损失。

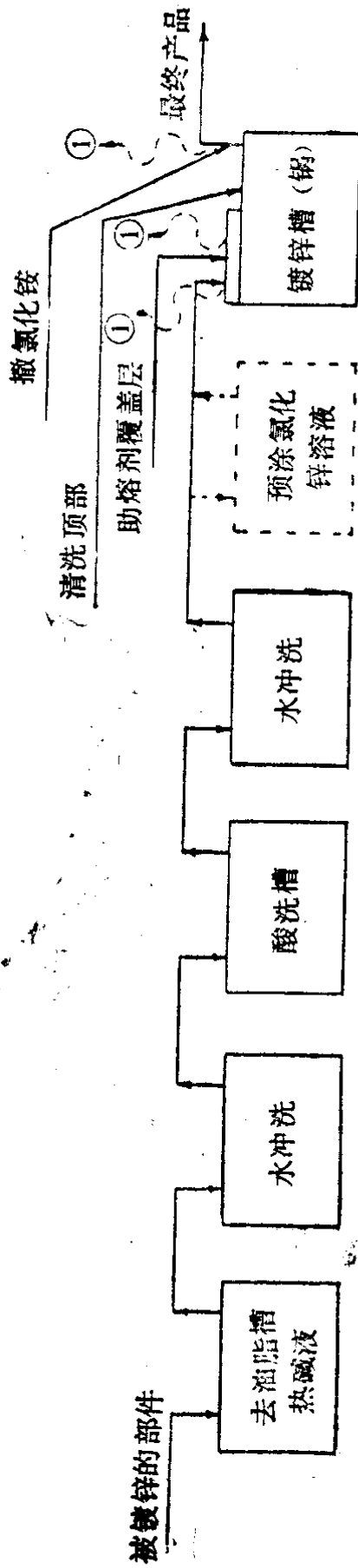
一些工厂反对使用锅助熔剂的正常“湿法”镀锌技术，可以使用“干法”镀锌。采用干法可不使用锅助熔剂，仅在镀锌锅前，使用预涂熔剂。这种工艺比“湿法”镀锌大大减少了排放。

在每次镀件穿过助熔剂覆盖层浸渍入熔化锌中，会发生某种程度的助熔剂搅动。如果这个镀件是平滑而干燥的，搅动是不大的，而发烟是低的。当助熔剂覆盖层搅动严重时，则会排出相应较大的烟。也就是，机械的动作，破坏了泡沫组成的助熔剂覆盖层，将释放形成烟的气体。

当新的助熔剂放入锅时，它需要一些时间以形成泡沫覆盖层。由于搅动以及新助熔剂由泡沫吸收和变成泡沫的一部分的过程，都会逸散出浓烟。

为了获得更亮、更光泽的最终产品，特别是小零件，当它们从熔化的锌浴中取出并立即撒上磨细的氯化铵粉时易排烟。因为物件撒粉时一直处于温度高于氯化铵的分解温度，

插图说明：
 潜在的逸散尘源
 ① 排放源编号（同排放因子和RACM表）



图SC-1 镀锌厂的简化流程图和有关的逸散尘源

更多的氯化铵在此作业中转变成烟。虽然仅使用少量的撒粉，一般也产生浓烟。

二、逸散尘排放因子

镀锌厂逸散尘排放因子表示于表30-1。连续、批料镀锌或撒粉作业没有具体的排放因子。这些作业平均的排放因子是美国洛杉矶郡空气污染控制地区1966年的报导，且这些数据很可能是1960年前洛杉矶地区镀锌厂进行测试的结果。这个排放因子的可信度应属中等。

表30-1 镀锌厂逸散尘排放因子

| 逸散尘源 | 排放因子 | 可信度等级 |
|------|-------------|-------|
| 镀锌锅 | 2.5kg/t (锌) | D |

三、颗粒特性

镀锌厂排放烟的明显程度和组成随进行作业的情况而变化。例如，螺帽、螺栓和其它小物件的镀锌并不造成助熔剂覆盖层太多搅动，而排放量是微小的。但当物件从锌浴取出撒上氯化铵时会产生一些烟。而对这些烟的分析揭示出它们基本上仅是氯化铵。但镀锌作业的烟，也可包含大量的非氯化铵化合物，如氯化锌和氧化锌。

当许多不同的物件被镀锌时，对助熔剂的某些搅动，会产生比其它情况更多的烟。例如，镀锌环栅栏时，连续搅动助熔剂覆盖层，从锅中会连续排出烟。

镀锌排放颗粒的平均粒径大约为 $2\mu\text{m}$ 。在镀锌厂之间，

真实的颗粒粒径分布有微小的变动。但从用于加工车间镀锌锅的布袋收尘室获得的排放物的典型粒径分析如下：

| 颗粒直径 (μm) | 累积重量 (%) | 颗粒直径 (μm) | 累积重量 (%) |
|------------------------|----------|------------------------|----------|
| 1.7 | 0.0 | 11.8 | 74.0 |
| 2.1 | 2.6 | 13.9 | 80.5 |
| 2.8 | 11.5 | 25.0 | 88.5 |
| 3.5 | 21.0 | 41.7 | 92.0 |
| 5.6 | 41.5 | 83.4 | 99.0 |
| 8.3 | 62.5 | 104.0 | 100.0 |
| 10.4 | 70.0 | | |

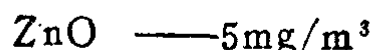
在一些情况下，这些烟可以有不同的特性，但这要归因于别的污染物的影响。例如，表30-2中列出用于链环栅栏镀锌过程的静电除尘器捕集尘与用于加工车间镀锌锅的布袋收尘室捕集尘的组分比较。从布袋收尘室收集的尘是干的和成粉状，但它聚集成块并难于用普通袋式摇动方法振落。从静电除尘器来的烟是粘性的，同时有粘稠油脂的外貌。表30-2

表30-2 镀锌厂用布袋收尘室和静电除尘器收集烟的化学分析

| 化学组成 | 在布袋收尘室中收集的烟 (加工车间锅) (重量%) | 静电除尘器收集的烟 (镀链环) (重量%) |
|------------------------|---------------------------|-----------------------|
| NH_4Cl | 63.0 | 23.5 |
| ZnO | 15.0 | 6.5 |
| ZnCl_2 | 3.6 | 15.2 |
| Zn | 4.9 | — |
| NH_3 | 1.0 | 3.0 |
| 油 | 1.4 | 41.4 |
| H_2O | 2.5 | 1.2 |
| C | 2.8 | — |
| 未鉴别物 | — | 9.2 |

列出两种烟的不同化学组成，说明了收集后它们具有不同外貌的原因。由静电除尘器收集到的烟油，无疑地是来自链环栅栏上油膜在热锌中气化的产物。由于氯化铵气化的温度为 350°C ，而锌浴的温度通常介于 $449\text{—}460^{\circ}\text{C}$ ，因此氯化铵构成大量的颗粒物，是不值得惊奇的。但在正常镀锌温度下，锌和氯化锌具有非常低的蒸气压，故预计它们不会有多大气化量。相信这些物质的排出是由于机械夹带和镀潮湿的物件或浸渍物件过快的穿过助熔剂层所造成的。

莱纳姆 (Lynam) 讨论了镀锌颗粒物影响健康的问题。与氯化锌 (ZnCl_2) 和氧化锌 (ZnO) 有关的主要问题是，当吸入高浓度时能引起金属烟雾热。美国劳动保护和健康协会 (OSHA) 阈限值为：



但未揭示邻近镀锌锅的这些化合物在空气中的浓度。

四、控制方法

采用助熔剂覆盖层法进行连续或批料镀锌作业，为了控制其排放的极细颗粒，必须对产生的烟使用有效控制装置。通常用来捕集镀锌过程排放物的捕烟装置有：洗涤器（很少令人满意）、静电除尘器（油雾为要捕集的空气污染物中的主要成分）和布袋收尘室（有少量油或无油雾进入排气系统）。在镀锌厂虽然布袋收尘室比静电除尘器需要更少的维护，但布袋收尘室内的温度必须保持在露点之上（ 65°C ），甚至不使用时也如此，以防止在袋上的冷凝。一些工厂使用灌有石灰的布袋（60%的 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 和40%的 $\text{Mg}(\text{OH})_2$ 的混合物），以改进对氯化铵的去除效率。

当镀锌锅的结构改变时，需要改变空气污染控制系统，以捕集这一过程排放的极细颗粒物。

在加工车间上空需要使用高的天篷罩或室内罩。这种罩的设计应容许车间上空使用物料搬运装置，并不限制操作者接近镀锌锅。用高天篷罩需要的通风容积随天篷罩的高度而大量的增加。因此，收尘器的大小必须大到足以适应所要求的大空气容量。长孔罩（高入口速度）应仅用于产烟面积小的地方，如连续作业的链环栅栏镀锌锅的助熔剂箱。为了克服大锅整个表面的热气流，需要的孔口流速是高的，高流速需要的大容量空气会冷却锌浴的表面。这种冷却效应影响所镀锌层的质量，还要多耗燃料。当能使用长孔罩时，其需要的通风量比高天篷罩的小，因此，控制装置也相应较小。

当不需要车间上空净空时，在镀锌锅上可使用低天篷罩。为了适应烟的捕集，这种罩容许较低的通风速率，因此，能使用较小的控制装置。

使用“干法”镀锌技术的工厂，其排放量一般可忽略不计，除有严重的可见烟外，将不需要控制装置。

镀锌物件抛光时，减少氯化铵的用量，将明显地减少镀锌锅的可见排放。

表30-3列出了镀锌厂可用的控制技术、效率、费用和RACM选择。

五、推荐的合理、可用控制措施

镀锌厂逸散尘源的RACM选择列在表30-3。如表所示，对连续和批料镀锌作业使用助熔剂覆盖层者，推荐的控制措施是加罩，并将镀锌锅排气至纤维过滤袋。这个系统给出了良好的控制效率并减少了可见的排放物，使浑浊度几乎为零。

表30-3 镀锌厂逸散尘的控制技术、效率、费用和RACM选择

| 逸散尘源 | 可选用的控制技术 | 控制效率 (%) | 控制费用 1980.1美元 | | 费用效益比 (美元/kg) | 选择的RACM |
|---------|----------------|--------------------|---------------------|---------------------|------------------|------------------|
| | | | 投资费 | 年费用 | | |
| 1. 镀锌锅 | | | | | | |
| 批料作业 | | | | | | |
| 无助熔剂覆盖层 | 不控制 (排放量可忽略不计) | — | — | — | — | 不控制 ^a |
| 用助熔剂覆盖层 | 天篷罩、排气至纤维过滤袋 | 90~99 ^b | 205400 ^c | 34500 ^d | 2.82 | 天篷罩、排气至纤维过滤袋 |
| | 天篷罩、排气至洗涤器 | 无可用的数据 | | 无可用的数据 | | |
| 连续作业 | 长孔罩、排气至纤维过滤袋 | 90~99 ^b | 95500 ^e | 16600 ^f | 0.93 | 长孔罩、排气至纤维过滤袋 |
| | 长孔罩、排气至静电除尘器 | 80~95 | 215200 | 34100 ^f | 2.14 | |
| | 长孔罩、排气至洗涤器 | 90 | 375000 ^f | 105700 ^f | 5.89 | |

- 注: a. 除严重的可见排放外, 一般不控制。
 b. 控制后无可见排放。
 c. 镀锌锅宽1.22m × 长7.63m × 高0.91m。
 d. 作业时间6000h/a, 镀了锌的钢护栏68000t/a。
 e. 按过滤布372m²和排气速率4.7m³/s。
 f. 作业时间6000h/a, 镀了锌的钢旋管99800t/a。
 g. 高效、可变喉道的文氏洗涤系统。

使用批料作业和干法镀锌作业 (无助熔剂覆盖层者, 仅在出现严重可见排放物 (进入环境大气) 的情况下, 需要有控制装置。

六、典型费用计算 (使用的参数)

批料作业: 天篷罩, 排气至纤维过滤袋

假设镀锌锅宽 $1.22\text{m} \times$ 长 $7.62\text{m} \times$ 高 0.91m ;

罩.....宽 $3.05\text{m} \times$ 长 12.2m ;

抽气速度..... 0.508m/s ;

排气速率..... $14.15\text{m}^3/\text{s}$;

导管直径..... 1.33m ;

过滤面积..... 1394m^2 ;

过滤速度..... 0.01m/s

连续作业：长孔罩、排气至纤维过滤袋

排气速率= $4.72\text{m}^3/\text{s}$;

过滤面积= 280m^2 ;

过滤速度= 0.01m/s 。

连续作业：长孔罩、排气至静电除尘器

排气速率= $0.80\text{m}^3/\text{s}$;

长孔面积= 2000cm^2 ;

长孔气流速度= 10.16m/s ;

长孔长度= 0.026m ;

抽气速度= 0.508m/s ;

导管直径= 0.32m 。

费用效益比的计算从略

参 考 文 献

- [1] Technical Guidance for Control of Industrial Process Fugitive Particulate Emissions. EPA-450/3-77-010. March 1977.
- [2] Capital and Operating Cost of Selected Air Pollution Control Systems. EPA-450/3-76-014. May 1976.
- [3] Minick, L.J. Control of Particulate Emissions from Lime Plants. 63rd Annual Meeting of the Air Pollution Control Association, June 1977. P. 19 st. Louis.
- [4] R. Bohn, T. Cuscino Jr. and C. Cowherd Jr. Fugitive

- Emissions from Integrated Iron and Steel Plants. EPA 600/2-78-050. March, 1978.
- [5] Thimsen, D.J. and P.W. Aften. A Proposed Design for Grain Elevator Dust Collection. Journal of the Air Pollution Control Association 18 : 738-742. November, 1968.
- [6] Standards Support and Environmental Impact Statement Volume 1 : Proposed Standards of Performance for Grain Elevator Industry. EPA-450/2-77-77-001a. January, 1977.
- [7] Shannon. L.J., R.W. Gerstle, etc. Emissions Control in the Grain and feed Industry. EPA-450/3-73-003a. December 1973.
- [8] Hozella, T.I. Selecting, Installing and Maintaining Cyclone Dust Collectors. Chemical Engineering. January 30, 1978. P88
- [9] White, R.L., J.M. Hughes, and N.T. Stephens. Physico-chemical Properties of Metal Furnace Fume Emissions. Paper Presented at the 6th Annual Meeting of the Air Pollution Control Association. June 1976.
- [10] Engineering and Cost Study of the Ferroalloy Industry. U.S. Environmental Protection Agency, EPA-450/2-74-008, May, 1974.
- [11] Fennelly P.F., and P.D. Spawn, Air Pollutant Techniques for Electric Arc Furnaces in the Iron and Steel Foundry Industry. EPA-450/2-78-024. June, 1978.
- [12] Air Pollution Aspects of the Iron Foundry. PB 204172. February, 1971.
- [13] Glass Manufacturing Plants-Background Information: Proposed Standards of Performance. EPA-450/3-79-005a. June, 1979. P6-14.
- [14] Summary Report on Emissions from the Glass Manufacturing Industry. EPA-600/2-78-010. April, 1979. P. 20.
- [15] Industrial Gas Cleaning Institute. Air Pollution Control Technology and Cost in Seven Selected Areas

- EPA-450/3-73-018. December, 1973, P.586-599.
- [16] Source Assessment, Fertilizer Mixing Plants. U.S. Environmental Protection Agency. EPA-600/2-76-032c. March, 1976. P168.
 - [17] Assessment of Fugitive Particulate Emission Factor for Industrial Processes. EPA-450/3-78-107.
 - [18] A Method for Characterization and Quantification of Fugitive Lead Emissions from Secondary Lead Smelters, Ferroalloy Plant, and Gray Iron Foundries, Prepared by PEDC. Environmental, Inc. for U.S. EPA. EPA-450/3-78-003, August, 1978.
 - [19] Inspection Planual for the Enforcement of New Source Performance Standards: Coal Preparation Plant EPA-340/1-77-022. November, 1977.
 - [20] Guidance for Lowest Achievable Emission Rates from 18 Major Stationary Sources of Particulate, Nitrogen Oxides, Sulfur Dioxide, or Volatile Organic Compounds, PEDC. Environmental, Inc. EPA-450/3-79-024, April, 1979.
 - [21] Control of Particulate Emission from Wood-Fired Boilers. EPA-340/1-77-26.
 - [22] Jutze, G.K. Axetell and R. Amick. Evaluation of Fugitive Dust Emissions from Mining. EPA-600/9-76-001.
 - [23] Control of Air Emissions from Process Operations in the Rock Crushing Industry. EPA-340/1-79-002.
 - [24] Szabo, M. Environmental Assessment of Coal Transportation. EPA-600/7-78-081.
 - [25] Formica, P.N. Control and Uncontrolled Emission Rates and Applicable Limitations for Eighty Processes. EPA-450/3-77-061.
 - [26] Kinsey, S.J., An Evaluation of Control Systems and Mass Emission Rates From Dryer-Drum Hot Asphalt Plants. Journal of the Pollution Control Association (December, 1976). 26 : 1163.
 - [27] Air Pollution Engineering Manual PB. 225132.
 - [28] The Efficiency of Protective Hoods used by Sandbl-

sters to Reduce Silica Dust Exposure American Industrial Hygiene Assoc. Journal Feb. 1975. Vol. 30 P. 140.

[29] Development Document for Proposed Effluent Limitation Guidelines and New Source Performance Standards for Petroleum Refining. EPA-440/1-73-014.

[30] Search, W.J., and Reznik, R.B., Source Assessment, Urea Manufacture. EPA-600/2-77-107.

[31] Richard P. Ruskan, "Prilling Vs. Granulation", Chemical Engineering. June, 1976. Vol. 7, P.114.

[32] Control of Volatile Organic Emissions from Bulk Gasoline Plants, U.S. EPA. EPA-450/2-77-035.

[33] Lemke, E.E., W.F. Hammond, and G. Thomas. "Air Pollution Control Measures for Hot-Dip Galvanizing Kettles", J. Air Pollution Control Assoc. Sept. 1960. P. 70-77.