



# 煤炭加工业环境、健康与安全指南

## 简介

《环境、健康与安全指南》（简称《EHS指南》）是技术参考文件，其中包括优质国际工业实践（GIIP）所采用的一般及具体行业的范例。<sup>1</sup>。如果世界银行集团的一个或多个成员参与项目，则应根据这些成员各自政策和标准的要求执行本《EHS指南》。本《EHS指南》是针对具体行业，应与《通用EHS指南》共同使用，后者提供的指南针对所有行业都可能存在的EHS问题。如果遇到复杂的项目，可能需要使用针对多个行业的指南。在以下网站可以找到针对各行业的指南：<http://www.ifc.org/ifcext/sustainability.nsf/Content/EnvironmentalGuidelines>

《EHS指南》所规定的指标和措施是通常认为在新设施中采用成本合理的现有技术就能实现的指标和措施。在对现有设施应用《EHS指南》时，可能需要制定具体针对该场所的指标，并需规定适当的达标时间表。

在应用《EHS指南》时，应根据每个项目确定的危险和风险灵活处理，其依据应当是环境评估的结果，并应考虑到该场所的具体变量（例如东道国具体情况、环境的吸收能力）以及项目的其他因素。具体技术建议是否适用应根据有资格和经验的人员提出的专业意见来决定。

如果东道国的规则不同于《EHS指南》所规定的指标和措施，我们要求项目要达到两者中要求较高的指标和措施。如果根据项目的具体情况认为适于采用与本《EHS指南》所含规定相比要求较低的指标和措施，则在针对该场所进行的环境评估中需要对提出的替代方案作出详尽的论证。该论证应表明修改后的指标能够保护人类健康和环境。

## 适用性

《煤炭加工业的EHS指南》适用于将煤炭加工成气体或液体化学品，包括燃料。合成天然气（合成气）是通过各种气化过程生成的，之后转化成液态烃（费-托合成）、甲醇或其他含氧液态产品，以及在煤中直接加氢生成液态烃。

本指南文件包括以下部分：

- 1 具体行业的影响与管理
- 2 指标与监测

<sup>1</sup> 定义是：熟练而有经验的专业人员在全球相似情况下进行同类活动时，按常理可预期其采用的专业技能、努力程度、谨慎程度、预见性。熟练而有经验的专业人员在评估项目可采用的污染防控技术时可能遇到的情况包括（但不限于）：不同程度的环境退化、不同程度的环境吸收能力、不同程度的财务和技术可行性。



### 3 参考文献和其他资料来源

#### 附录 A 行业活动的通用描述

## 1 具体行业的影响与管理

本章概述煤炭加工行业在操作阶段发生的 EHS 问题，并提出如何对其进行管理的建议。关于如何管理大多数大型工业活动建造阶段和报废阶段各种常见 EHS 问题的建议包含于《通用 EHS 指南》。

### 1.1 环境

与选煤相关的潜在环境问题管理方法如下：

- 气体排放
- 废水
- 危险材料
- 废物
- 噪声

#### 气体排放

##### 散逸性颗粒和气体排放

选煤活动中主要排放源包括散逸性颗粒 (PM)、挥发性有机化合物 (VOCs)、一氧化碳 (CO) 以及氢气。对煤进行转移、储存以及洗选活动可能会在相当程度上造成散逸性煤炭颗粒的排放。对散逸性煤炭颗粒排放防控的建议方法包括：

- 对选煤厂或设施的设计应做到有利于排放管理并减少转移点的数量；
- 使用设备进行装卸时应尽量降低煤的下落高度；
- 根据煤质的可行性要求，在储存时使用喷水系统/有机涂层以减少散逸性粉尘的形成；
- 在粉碎/切割活动中对煤进行捕集，并运送到带式除尘器或其他颗粒控制设备中；
- 使用离心（旋风）除尘器，然后使用高效文丘里湿式除尘器以及加热干燥器；
- 使用离心（旋风）除尘器，然后使用纤维过滤器以及气动选煤设备；
- 使用封闭式传送带，在两端使用提取和过滤设备；
- 选煤工艺中对煤进行压缩（如粉碎、切割和干燥）和转移，如使用喷水系统，然后将水收集以便进行处理或再使用。

其他散逸性污染物排放包括挥发性有机化合物 (VOC)、一氧化碳 (CO) 以及各种加工过程产生的氢气，如合成气生产装置、煤储存、甲醇和费-托合成装置 (F-T)、产品升级装置、含油污水排放系统以及废水处理系统，尤其是调节池和油/水分离器。散逸性排放还有其他排放源，包括管道、阀门、连接件、法兰、垫片、开口管线、有固定或可移动顶盖的储存罐和水泵密封在储存和作业过程中的泄漏，气体传送系统、压缩机密封、泄压阀、开放式矿坑/密封外壳以及对烃的装卸过程。



散逸性污染物排放防控的建议方法包括：

- 通过使用蒸汽检测设备进行定期监测和对设备构件进行优先维修或更换，减少自管道、阀门、密封器、立罐以及其他基础设施构件的散逸性排放。
- 保持恒定的立罐压力和蒸发空间：
- 协调注入和排出日程安排，在各立罐之间实行蒸汽平衡，通过这种过程，蒸汽在注入活动中被转移到立罐的蒸汽空间，在这里蒸汽被排空或转移到其他密封外壳以进行回收；
- 使用低吸热的白色或其他彩色油漆对储存较轻馏出物（如汽油、乙醇和甲醇）的立罐外层进行涂刷，以降低热吸收；应考虑立罐外层光线反射对视觉造成影响的可能。
- 根据国际设计标准，基于立罐储存容量和储存材料的蒸汽压力，选择一种适合的立罐以尽量减少储存和作业过程中的泄漏<sup>1</sup>。
- 有固定顶盖的储存罐，安装一个内部浮顶和密封层，以尽量减少储存和作业过程中的泄漏<sup>2</sup>。
- 有浮顶的储存罐，根据国际上关于减少蒸发损失的标准，设计和安装罐底甲板、配件和边缘密封。<sup>3</sup>
- 考虑使用供应和回收系统，在装卸过程中考虑使用蒸汽回收胶管以及蒸汽致密卡车/滑轨车/容器。
- 使用卡车/滑轨车底部装卸系统，以减少蒸汽排放。
- 如果蒸汽排放会使得周围环境的空气质量水平高于健康标准，考虑安装二级排放控制，如蒸汽冷凝和回收工艺、催化氧化剂、气体吸收媒介、冷藏或贫油吸收器。

### 温室气体（GHGs）

合成气生产过程中会产生大量的二氧化碳（CO<sub>2</sub>），尤其是在水—气转换反应中，另外还有与燃烧有关的所有工艺（如发电和热电联产中的副产品焚烧或利用）。节约能源和温室气体排放管理的建议方法根据项目和场地的不同而定，但其中的一部分可参见《通用环境、健康与安全指南》。所有一体化设施的运营者应开发并选择出整体工艺和实用技术方案。

### 颗粒、重油和重金属

选煤活动（如使用干燥机）、煤炭气化工艺（如进煤和除灰）以及煤炭液化工艺可能会产生粉尘和重油（焦油）的点源排放。应选择适当的技术以减少颗粒排放。煤当中所含的重金属可通过煤炭气化工艺释放出来。

大部分的重金属可通过湿法除尘除掉。含汞较多的煤可通过吸附技术除汞。颗粒控制的建

<sup>1</sup> 例如：根据 API（美国石油学会）650 标准：《钢制焊接油罐》（1998 年），新型、修订过或重新构造的容量在 4 万加仑或以上、其储存的液体蒸汽压力相当于或超过 0.75PSI 但低于 11.1PSI 的油罐，或容量在 2 万加仑或以上、其储存的液体蒸汽压力相当于或超过 4PSI 但低于 11.1PSI 的油罐。必须配备固定顶盖加内置浮顶对上升液体进行机械一级密封；或者是外置浮顶对上升液体进行机械一级密封加持续的边缘上升二级密封，一级和二级密封均须达到一定的最小缝隙要求和顶盖配件进行填密覆盖；或者是密封排气系统加 95% 有效控制器具。

<sup>2</sup> 工人进入油罐应根据《通用环境、健康与安全指南》要求的程序，从规定的密闭空间入口进入。

<sup>3</sup> 例如：API（美国石油学会）620 标准：《大型低压焊接罐设计和建造》（2002 年）；API（美国石油学会）650 标准：《钢制焊接油罐》（1998 年）；欧盟（EU）欧洲标准（EN）12285-2：《易燃和非易燃水污染液体地面储存车间预制钢罐》（2005 年）。



议方法参见《通用环境、健康与安全指南》。

### 酸气和氨气

克劳斯硫回收装置产生的烟道气排放包括多种含二氧化硫（SO<sub>2</sub>）的惰性气体，它们是选煤工艺中主要的排放源。气化工艺也有可能产生污染物如硫化氢（H<sub>2</sub>S）、硫化羰（COS）、二硫化碳（CS<sub>2</sub>）、一氧化碳（CO）、氨气（NH<sub>3</sub>）以及氰化氢（HCN）。通常，在合成气净化工艺中可对这些气体进行回收（>99%）。包括煤浆罐搅拌在内的液化工艺可能会导致其他酸气和挥发有机物的释放。酸气和氨气排放管理的建议方法包括：

- 安装硫回收工艺以防止硫化氢排放（如克劳斯）；
- 对煤浆搅拌罐进行通风以提供足够的空气用于燃烧发电或生热；
- 安装除尘工艺以减少二氧化硫的排放，包括氧化尾气除尘器、还原尾气除尘器以及文丘里除尘器；
- 如果安装焚烧装置进行除硫，则焚烧炉的温度应为 650°C 以上，并进行恰当比例的气体-燃料搭配，以使硫化氢充分燃烧；
- 配备烟道以对监测装置进行操作（如监测克劳斯工艺和焚烧炉中产生的二氧化硫排放）。

### 尾气

在选煤厂进行的合成气燃烧或粗柴油燃烧是大气中热量的主要排放源，包括二氧化碳、氧化氮（NO<sub>x</sub>）、二氧化硫以及燃烧不充分产生的一氧化碳。

不论使用何种燃料，被设计用于生产电力、机械能、蒸汽、热能或其任何一种组合的、额定总热能输入能力为 50 MW·h 的小型燃烧工艺，其管理方法均参见《通用环境、健康与安全指南》。大于 50 MW·h 的工艺参见《火电站环境、健康与安全指南》。

应通过采用综合方法以尽量减少与动力源操作有关的排放，包括降低能源需求，使用清洁燃料以及按要求实行排放控制措施等。能效建议方法参见《通用环境、健康与安全指南》。

### 通风和燃烧

通风和燃烧是选煤工艺中使用的、可操作的重要安全措施，可以保证在出现紧急情况、供电故障、设备故障以及其他不利条件的时候安全处理气体。未反应原材料和副产品可燃气体也可通过通风和燃烧进行安全处理。过剩气体不应直接进行通风排放，而应输送到有效的燃烧系统后处理。

减少气体通风排放和燃烧的建议方法包括：

- 对工厂控制进行优化以提高反应转化率；
- 在可能的情况下，利用未反应原材料和副产品可燃气体进行热电联产；
- 提供支持系统以提高工厂可靠性；
- 将燃烧系统置于远离员工工作和居住区的安全地点，并对其进行维护以维持高效。

如果条件不适合燃烧气体，可以采用紧急情况下的通风处置。同时应使用标准风险评估方法对此类情况进行分析。在考虑紧急气体通风设施之前，应将不使用气体火炬燃烧系统的情况在文件中进行完整论证。



## 废水

### 工业工艺废水

工艺废水可能会受烃、氨气和胺类、含氧化合物、酸、无机盐以及重金属离子的污染。工艺废水管理实践的建议方法包括：

- 在对储存和传送系统（包括泵和阀上的填料盒和其他潜在泄漏点）进行检验和维修时应注意防止液体意外泄漏以及实行溢出反应计划；
- 提供足够的工艺流体下泻能力，以在工艺中进行最大化回收，防止大量工艺流体排放到含油废水排放系统；
- 废水和危险材料储存和收集池须设计和建造有密封表面，以防止污水渗入土壤和地下水中。

不同的废水流具体管理方法包括：

- 由于气化工艺下游的二氧化碳除碱系统产生的胺溢出，应将其收集到一个完全密封的排放系统进行过滤后再回收到工艺中；
- 费-托合成工艺中的汽提塔出水中含有溶烃和含氧化合物（主要是酒精和有机酸）以及少量的酮，应在费-托合成工艺中进行再循环，在汽提塔中对烃和含氧化合物进行回收；
- 从脱钙水制备（取决于供应的原水水质）中产生的酸性出水和碱性出水，应在排放到工厂的废水处理系统前进行中和；
- 蒸汽生产系统和冷却塔的出水应在排放前进行冷却。含杀虫剂或其他添加剂的冷却水也要求排放前在废水处理系统进行调整或处理；
- 在工厂运转期间按计划进行的清洗（清洗每年都要进行，并且可能持续几周时间）产生的含烃污水、工艺泄漏产生的含油污水以及从固定床和流化床产生的含重金属出水，应通过废水处理系统进行处理。

### 工艺废水处理

本章节中的工业工艺废水处理技术包括对集中废水流进行源分离和预处理。典型的废水处理步骤包括：隔油池、分液器、溶气气浮以及将油和悬浮物分离出去的油/水分离器；对可过滤固体进行过滤；流载平衡；使用澄清剂进行沉淀以减少悬浮物；生物处理尤其是好氧处理以减少可溶有机物（BOD）；化学或生物脱氮除磷以减少氮和磷；如果要求杀菌则对出水进行氯化消毒；以及在指定危险垃圾填埋场对残渣进行脱水和处理。其他工程控制要求包括：将从废水处理系统各单元操作中流出的挥发性有机物进行控制和处理；使用膜滤或其他物理/化学处理技术进行后期金属去除；使用活性炭或高级化学氧化法去除顽固有机物、氰化物以及非生物降解化学需氧量（COD）；使用适当的技术（如逆渗透、离子交换以及活性炭等）降低出水毒性；对公害恶臭进行控制和中和。

工业废水管理和处理方法案例参见《通用环境、健康与安全指南》。关于对这些技术的使用以及废水管理的良好实践，选煤厂应符合本产业文件第2部分相关表格中所列废水排放参数。在自然资源尤其有限的地方，开展降低水消费工作的建议方法，参见《通用环境、健康与安全指南》。



### 其他废水流和水消费

关于来自实际操作、非污染暴雨水以及生活污水的非污染废水管理的建议方法参见《通用环境、健康与安全指南》。污染水流应导入工业工艺废水处理系统。其他具体指导包括：

暴雨水：暴雨水可能会被污染，包括工艺液体溢出、来自煤炭储存区含烃和重金属的淋滤液。具体的建议方法包括：

- 对工艺区进行道路铺设，将污染和非污染暴雨水进行分离以及实行溢出控制计划，将暴雨水从工艺区导入废水处理系统；
- 煤炭储存设施和相关淋滤液收集系统的设计和选址应预防对土壤和水资源造成影响；煤库应进行道路铺设以隔离可能污染的暴雨水，并将暴雨水导入废水处理系统。

冷却水：冷却水可能会耗费过多的水，并有可能排出高温水、杀生剂残渣或者其他冷却系统中防污剂残渣。冷却水管理的建议方法包括：

- 对冷却系统采取水保护措施，办法参见《通用环境、健康与安全指南》；
- 使用热能回收方法（即能效提高）或其他冷却方法，在将加热水排出之前降低其温度，以保证排放水温度不会导致科学建立的混合区周围环境温度升高 3°C 以上，并且考虑周围环境的水质、接纳水体的使用以及同化能力等；
- 通过保证适当深度的进水和使用振动筛，减少对防污染和防腐蚀化学品的使用；至于毒性、生物降解性、生物可用性以及生物富集潜力等方面，则应选择危害最低的一种；按照当地法规要求和生产商建议掌握剂量；
- 对沉淀杀生剂以及其他污染物进行测试，以决定是否需要在将冷却水排放之前进行剂量调整或处理。

静压测试水：对设备和管道的静液测试（氢测试）包括对水进行压力测试（通常指已过滤原水），以核证其整体性并发现可能的泄漏。可以加入化学添加剂，尤其是防腐剂、除氧剂或染料。对静压测试水进行管理时，应实行以下污染防控措施：

- 对水进行再使用和多种测试，以节约用水和减少可能已污染出水的排放；
- 通过缩减测试水在设备或管道中停留的时间，减少对防腐剂或其他化学品的使用；
- 至于毒性、生物降解性、生物可用性及生物富集潜力等方面，应选择危害最低的一种，根据当地法规要求及生产商建议掌握剂量。

如果将静液测试水排放到海洋或地表水是惟一可行的处理选择，应根据地点及排放率、化学品使用率和离散度、环境风险水平以及监测要求制定静液测试水处理计划。应避免将静液测试水排放到沿岸浅水中。

### 危险材料

选煤厂生产出大量的危险材料，包括中间产品、最终产品以及副产品。对其处理、储存和运输应进行适当管理，以避免或减少这些危险材料对环境的影响。危险材料管理的实践包括处理、储存以运输的建议方法，参见《通用 EHS 指南》。



## 废物

非危险废物包括煤底灰、炉渣<sup>1</sup>、飞灰及煤炭储存污泥。煤底灰和炉渣就是从气化炉底层收集的粗糙和不易燃颗粒状副产品。飞灰也可从反应器中捕集。产生炉渣及底灰、飞灰的数量非常重要，这取决于选煤厂用煤的等级。是底灰还是飞灰，其物理形式与气化工艺有关。

产生危险废物的可能性主要在于废催化剂、油、溶剂、反应液、过滤器、饱和滤层、合成净化产生的重质终馏分、使用过的容器、含油碎渣、矿物醇、使用过的脱硫醇、为去除二氧化碳产生的废胺、活性炭过滤器、油水分离器中的含油污泥、废弃或使用过的操作液体或维修液体如油和测试液以及废水处理污泥。

危险废物和非危险废物管理的通用建议方法参见《通用环境、健康与安全指南》。工业废物管理实践的建议方法包括：

### 煤底灰、炉渣及飞灰

只要商业可行和技术条件许可，煤底灰、炉渣及飞灰可根据其毒性和辐射性进行回收。回收方法包括：

- 对底灰的使用包括作为轻量化混凝土砌筑单元的骨料、硅酸盐水泥生产的原材料给料、路基和底基骨料、结构性填料以及作为铺筑沥青路面和流动填料的细骨料；
- 对炉渣的使用包括作为爆破砂砾、屋面瓦颗粒剂、路面冰雪控制、铺筑沥青路面的骨料、结构性填料以及作为路基和底基骨料；
- 在要求有火山灰材料的建筑材料中使用飞灰；
- 如果这些材料具有毒性/辐射性或商业不可行性以及技术上有其他选择，不能回收利用，则应对其进行填埋处理，填埋场应根据良好国际工业实践设计和运行并且具有专业的许可证。<sup>2</sup>

### 煤炭储存污泥

在可行性条件下，煤炭储存和洗选工艺中产生的煤尘泥应进行干燥处理以再使用或回收。根据选择的气化技术，在气化工艺中可以作为给料再使用。应根据《通用环境、健康与安全指南》中建议的非危险工业废物管理方法对所有污泥进行处理、运输和现场/非现场管理。

### 废催化剂

在按计划对合成气进行脱硫周转时，因替换催化床会产生废催化剂、费-托（F-T）反应、异构化反应、催化裂解以及甲醇合成。根据不同的工艺，废催化剂中可能含有锌、镍、铁、钴、铂、钯或铜。

对废催化剂进行废物管理的建议方法包括：

- 进行适当的现场管理，包括在短期储存和运输过程中将自燃废催化剂浸入水中，直至到达最终处理点，以避免不受控制放热反应；
- 返给生产商进行再生产；
- 由专业公司进行非现场管理，条件许可时可以通过回收和循环工艺对重金属或贵金属进

<sup>1</sup> 再生材料资源中心（RMRC）。《煤炭底灰/锅炉渣》。参见 <http://www.rmrc.unh.edu/Partners/UserGuide/cbabs1.htm>。

<sup>2</sup> 关于危险和非危险工业废料的其他信息参见《废物管理站环境、健康与安全指南》。



行回收，或者根据《通用环境、健康与安全指南》中建议的危险废物和非危险废物管理方法，由能够对废催化剂或其不可回收材料进行管理者进行非现场管理。含有铂或钯的催化剂应送到有良好声誉的金属回收厂进行处理。

### 重质馏分

甲醇合成单元中净化环节产生的重质馏分通常在蒸汽锅炉通过一个专用烧嘴进行燃烧。

### 噪声

选煤厂主要的噪声源包括对煤进行的物理工艺（如筛选、粉碎、切割和分类）以及大型旋转机器（如压缩机、涡轮、泵、电动机、空气冷却器及火焰加热器）。在应急减压过程中，将高压气释放进行点燃/将蒸汽释放到大气中时，会产生高水平噪声。噪声管理的建议方法参见《通用环境、健康与安全指南》。

## 1.2 职业健康与安全

具体（选煤）厂的职业健康与安全危险，应根据工作安全分析、综合危险评估或综合风险评估进行确定，可使用已确立的方法，如危险确认研究（HAZID）、危险及可操作性研究（HAZOP）或情景风险评估（QRA）。

通常来说，按照《通用环境、健康与安全指南》描述，健康与安全计划应包括制定系统性制度，以对物理、化学、生物及放射性健康与安全危险进行防控。

选煤厂运行阶段最可能产生的职业健康与安全危险主要包括：

- 工艺安全
- 富氧气体释放
- 缺氧大气
- 吸入危险
- 火灾和爆炸危险

### 工艺安全

工艺安全方案的实行应基于具体工业特性，包括复杂化学反应、使用的危险材料（如有毒、活性、易燃或易爆化合物）以及多步反应。工艺安全管理包括以下行动：

- 对材料和反应进行物理危险测试；
- 进行危险分析研究，以检查工艺化学和工程实践，包括热动力学及反应动力学；
- 进行预防性维修检查，对工艺设备和效用进行机械一体化；
- 对工人进行培训；
- 制定操作说明书和应急反应程序。

### 富氧气体释放

富氧气体可从空气分离单元中产生，因而使大气中充满氧气并造成起火的风险。富氧大会导致材料、毛发和衣物饱含氧气，一旦点燃就会迅速燃烧。减少现场和非现场暴露于富氧大



气的防控措施包括：

- 安装一个自动应急切断系统，可以在失控氧气释放（包括作业区富氧大气的存在<sup>1</sup>）时检测到并进行警报，及时采取切断行动以减少释放持续时间和避免可能的点燃源；
- 对设施及组件根据适用工业安全标准进行设计，防止在有限空间内放置输氧管道，使用本质安全电气安装设备，以及在适当考虑通风气体可能带来的影响的前提下，在整个厂内使用氧气通风系统；
- 实行高温作业和密闭空间进入标准程序，尤其要考虑氧气释放的可能；
- 实行良好室内清洁管理，避免可燃材料的累积；
- 制定和实行应急准备和反应计划，尤其应包含失控氧气释放的管理程序；
- 按下列描述（火灾和爆炸危险）提供恰当的防火设备。

## 缺氧大气

作业区内可产生氮气释放和累积，由于这些气体取代了氧气，可导致窒息。减少窒息气体释放的防控措施包括：

- 根据公认工业标准设计和放置氮气排放系统；
- 安装一个自动应急切断系统，可检测到失控氮气的排放并进行警报（包括作业区缺氧大气的存在<sup>2</sup>），及时采取强制通风，减少释放持续时间；
- 按照《通用环境、健康与安全指南》描述，考虑到具体（选煤）厂的危险，实行受限空间进入程序。

## 吸入危险

选煤厂中的化学暴露主要与吸入煤灰、煤沥青挥发物、一氧化碳以及其他气体（如甲醇及氨气）有关。暴露于煤灰的工人可能会导致胃部受损和肺纤维化。暴露于一氧化碳会导致碳氧血红蛋白（COHb）的形成，会降低红细胞的携氧能力。一般程度的暴露症状包括头痛、头晕、警觉下降、手眼协调下降、虚弱、混淆、定向障碍、嗜睡、恶心以及视力障碍，更大程度或更长时间的暴露可导致休克和死亡。

（选煤）厂常规运行期间应基于工作安全分析和工业卫生调查结果，并根据《通用环境、健康与安全指南》关于职业健康与安全的指导，对潜在的化学品吸入暴露进行管理。保护措施包括对工人进行培训，作业批准制度，使用人身保护设备（PPE）以及使用毒气检测和警报系统。

<sup>1</sup> 可能产生富氧大气的作业区应配备有能够检测出这种情况的区域监测系统，工人也应配备有人身监测系统。两种监测系统均应配备警报器，警报标准为空气中氧气浓度超过 23.5%。

<sup>2</sup> 可能产生缺氧大气的作业区应配备有能够检测出这种情况的区域监测系统，工人也应配备有人身监测系统。两种监测系统均应配备警报器，警报标准为空气中氧气浓度低于 19.5%。



## 火灾和爆炸危险

### 煤炭储存和洗选

煤很容易自燃，最常见的是由于硫铁矿或煤中其他含硫污染物氧化所致。<sup>1、2</sup> 因为会产生煤灰，而根据其在空气中的浓度以及点燃源的存在与否，煤灰可能会起燃，所以洗选作业也具有火灾和爆炸危险。由于在煤储存和处理设施等密闭空间中可能会产生煤灰云，煤灰就代表了相当大的爆炸危险。尘云也会出现在任何疏松煤尘累积的地方（如结构台阶）。煤炭储存密闭空间燃烧和爆炸危险防控技术的建议方法包括：

- 为预防或减少燃烧的可能，煤炭储存方式包括：
  - 紧致煤堆以降低其中空气含量；
  - 减少煤炭储存次数；
  - 防止将煤堆放置在热源之上（如蒸汽管道或入孔）；
  - 用非易燃材料建造煤炭储存构造；
  - 煤炭储存构造的设计应减少表面积并提供除尘系统，因其表面容易落积煤尘；
  - 使用温度检测系统对热点（自燃煤）进行持续监测；如发现热点，应移走自燃煤；应提供防火通道。
- 排除潜在点燃源的存在以及提供合适的设备接地装置以减少静电危险。所有煤炭储存密闭空间或构造内的机械和电气设备必须经过批准允许在危险地点使用，并提供防火花电机。
- 所有电气线路应设计为可自动远程切断。
- 在密闭储存空间内安装足够的侧面通风系统，以降低甲烷、一氧化碳及挥发性产品（来自煤的氧化）浓度，火灾发生时也可用来排烟。

密闭空间内洗选工艺造成的爆炸风险防控技术，建议包括：

- 干煤筛选、粉碎、干洗、磨削、制粉以及其他会产生煤尘的作业，应在氮气层或其他防爆方式（如通风条件）下进行；
- 将设施放置于远离其他主要建筑物和设备的地点以减少火灾和爆炸暴露；
- 根据气化技术要求，在使用前考虑控制煤炭含水量；
- 安装空气甲烷浓度安全保险监测，如果甲烷浓度达到底限值即 40%，则停止作业；
- 安装并适当维修吸尘系统，对来自煤炭处理设备或机械设备的散逸性排放进行捕集。

### 选煤

选煤作业中产生的火灾和爆炸危险包括合成气（含一氧化碳和氢）、氧气、甲醇以及氨气意外释放。根据易燃材料的数量以及云的受限度，高压合成气释放会引起“喷射火”，或导致蒸气云爆炸（VCE）及“火球”或“闪火”。如果氢和一氧化碳气体的温度分别达到 500°C 和 609°C，即使没有点燃源它们也会起燃。易燃液体溢出可能会导致“池火”。选煤作业中爆炸风险防控措施的建议方法包括：

<sup>1</sup> NFPA（美国国家消防协会）标准 850：《电厂和高压直流电换流站消防实践》（2000 年）。

<sup>2</sup> NFPA（美国国家消防协会）标准 120：《煤矿火灾防控标准》（2004 年）。



- 提供早期释放检测，比如，除了进行烟感和热感检测外，对气体和液体传送系统进行压力监测。
- 通过远离大型煤库进行隔离选煤作业，以限制潜在的释放。
- 防止潜在的点燃源（如通过管道配置设计防止高温管涌、自设备/旋转机器的溢出）；
- 通过进行隔离和在选煤、储存、使用以及安全区之间保持适当距离，控制火灾或爆炸的潜能效应。安全距离的实现可通过对设施进行具体的安全分析以及通过采用国际公认安全标准<sup>1</sup>。
- 对可能受意外释放影响的区域进行限制：
  - 确定防火带并配备排水系统以对易燃液体意外泄漏进行收集，并将其传递到一个安全的阻留区域，包括储存罐二级阻留；
  - 对建筑物进行加固，或在不能进行适当距离隔离的地方安装防火墙/防爆墙；
  - 含油污水系统的设计应防止火灾蔓延。

### 1.3 社区健康与安全

在选煤厂建设和退役阶段产生的社区健康与安全影响（对于多数其他工业设施来说很常见）在《通用环境、健康与安全指南》中已讨论过。与选煤厂有关的最严重的社区健康与安全危险发生在作业阶段，包括来自重大意外事故的威胁，主要指潜在的火灾和爆炸危险或选煤厂以外成品运输过程中的意外释放。对这些问题的管理建议方法参见《通用环境、健康与安全指南》中相关章节：“危险材料管理”（包括重大危险），“交通安全”，“危险材料运输”，以及“应急准备和响应”。适用于海洋和铁路以及岸上设施的其他相关信息参见《航运业环境、健康与安全指南》《港口、港湾和码头环境、健康与安全指南》和《原油和成品油销售终端业环境、健康与安全指南》。

## 2 指标与监测

### 2.1 环境

#### 排放和废水指南

表 1 和表 2 代表的是适用于本章节的排放和废水指南。本章节中工艺排放和废水参数采用的是良好国际工业实践，反映的是已拥有公认常规框架的国家使用的相关标准。在正常作业条件下，通过适当设计和操作设施以及采取本文件前面讨论过的污染防控技术，可以达到这些指标。

排放指南适用于工艺排放。关于生产能力相当或低于 50 MW·h 的蒸汽生产活动和发电活动的燃烧源排放指南参见《通用环境、健康与安全指南》，高于 50 MW·h 的电源排放参见《火

<sup>1</sup> 例如：NFPA（美国国家消防协会）标准 30：《易燃和可燃液体规范》（2003 年）。



电站环境、健康与安全指南》。基于排放总量对周围环境的考虑参见《通用环境、健康与安全指南》。

表 1 选煤厂空气排放标准

	污染物	单位	指标
洗选厂	热干颗粒	mg/m <sup>3</sup> (Vn)	70
	热干气体混浊度	%	20
	气动洗煤设备颗粒	mg/m <sup>3</sup> (Vn)	40
	气动洗煤设备混浊度	%	10
	传送、储存及洗选气体混浊度	%	10
总量	二氧化硫 (SO <sub>2</sub> )	mg/m <sup>3</sup> (Vn)	150~200
	氧化氮 (NO <sub>x</sub> )	mg/m <sup>3</sup> (Vn)	200~400*
	氢 (H)	mg/m <sup>3</sup> (Vn)	1.0
	颗粒物	mg/m <sup>3</sup> (Vn)	30~50*
	挥发性有机化合物 (VOC)	mg/m <sup>3</sup> (Vn)	150
	重金属总含量	mg/m <sup>3</sup> (Vn)	1.5
	硫化氢 (H <sub>2</sub> S)	mg/m <sup>3</sup> (Vn)	10**
	羰基硫+二硫化碳 (COS+CS <sub>2</sub> )	mg/m <sup>3</sup> (Vn)	3
	氨气	mg/m <sup>3</sup> (Vn)	30

注：\* >100 MW·h 的选煤厂取低值；<100 MW·h 的选煤厂取高值。

\*\* 克劳斯单元产生的排放（奥地利、比利时、德国）。

1. 工艺排放水平应基于实用源排放考虑进行检查，须达到选煤厂最低总排放率标准。

2. 干气 15% 氧气。

表 2 选煤厂出水标准

污染物	单位	指标
pH 值		6~9
生化需氧量 (BOD <sub>5</sub> )	mg/L	30
化学需氧量 (COD)	mg/L	150 (40°C 冷却水)
氨氮 (N)	mg/L	5
总氮	mg/L	10
总磷	mg/L	2
硫化物	mg/L	1
油及油脂	mg/L	10
悬浮固体 (TSS)	mg/L	35
总金属	mg/L	3



镉	mg/L	0.1
铬（总）	mg/L	0.5
铬（六价）	mg/L	0.1
铜	mg/L	0.5
钴	mg/L	0.5
锌	mg/L	1
铅	mg/L	0.5
铁	mg/L	3
镍	mg/L	1
汞	mg/L	0.02
钒	mg/L	1
锰	mg/L	2
酚	mg/L	0.5
氰化物	mg/L	0.5

废水指南适用于将处理过的废水直接排放到地表水体中的一般用途。具体的现场排放水平取决于公共污水收集和处理系统的适用性和条件，如果是其直接排放到地表水体中，则取决于《通用环境、健康与安全指南》中描述的受纳水体使用类型。在不进行稀释的情况下，至少在工厂或工艺单元每年运作的95%以上时间里，都应该实现这一水平，这一比例的计算是指占全年运行小时的百分比。由于当地项目具体条件导致的对这些水平的偏差，应在环境评估中进行论证。

### 资源使用、能源消费、排放以及废物生成

表3提供的是本章节中关于能源和水资源的消费指标实例。表4提供的是排放和废物生成指标实例。工业基准参数仅用于相对目的，具体项目应在这些领域进行持续地改进。选煤厂相关基准可从用于大型电厂的煤炭气化工艺中得出。按照合成催化剂纯净度要求，气化厂生产的费-托合成气排放应低得多。

表3 资源和能源消费

参数	单位	工业基准
电力		
煤炭液化厂电力消费	兆瓦小时/公吨 总液化煤产品	0.05~0.1
甲醇厂电力消费	兆瓦小时/公吨 甲醇	0.07

表4 排放和废物生成<sup>(1)</sup>

参数	单位	工业基准
二氧化硫 (SO <sub>2</sub> )	g/m <sup>3</sup> (Vn) 合成气	0.3~0.5
SO <sub>2</sub> (煤-甲醇-汽油) <sup>(4)</sup>	t/d	6~14



SO <sub>2</sub> (F-T) <sup>(4)</sup>	t/d	9~14
氧化氮 (NO <sub>x</sub> )	g/m <sup>3</sup> (Vn) 合成气	0.35~0.6
NO <sub>x</sub> (煤-甲醇-汽油) <sup>(4)</sup>	t/d	5~15.5
NO <sub>x</sub> (F-T) <sup>(4)</sup>	t/d	5~23.6
散逸性颗粒 PM10	g/m <sup>3</sup> (Vn) 合成气	0.12
颗粒 (煤-甲醇-汽油) <sup>(4)</sup>	t/d	0.5~7.5
颗粒 (F-T) <sup>(4)</sup>	t/d	1~6
二氧化碳 (CO <sub>2</sub> ) <sup>(2) (3)</sup>	kg/kg 煤	1.5
CO <sub>2</sub> (煤-甲醇-汽油及 F-T) <sup>(4)</sup>	t/d	21 000
氨气	g/m <sup>3</sup> (Vn) 合成气	0.004
固体废物 (煤灰、炉渣及硫) <sup>(2)</sup>	kg/t 煤	50~200

注：1. 产量：1 300~1 500 m<sup>3</sup> (Vn) 合成气/吨煤

2. 根据煤的品级和等级；计算标准：1GHP=30 GJ/kg

3. 无碳捕集及封存 (CCS)

4. Edgar T F. 1983 年，用于液化能力为 50 000 桶/天的液化煤厂。

## 环境监测

本章节环境监测方案应用于解决所有已确认在正常操作和不利条件下对环境可能产生重大影响的活动。环境监测活动应基于特定项目的直接或间接排放、出水以及资源使用指标。监测频率应足以监测参数提供有代表性的数据。监测应由受过培训的人员按照监测和记录程序并使用经校准和维修设备进行。应对监测数据进行定期分析和检查并与操作标准进行对比，以备采取任何校正之需。关于适用于排放和出水的采样和分析方法其他信息，参见《通用环境、健康与安全指南》。

## 2.2 职业健康与安全

### 职业健康与安全指南

职业健康与安全绩效应根据已出版《国际暴露指南》进行评估，其中包括由美国政府工业卫生学家会议 (ACGIH) 发布的《职业暴露限值 (TLV®)》<sup>1</sup> 和《生物暴露指标 (BEIs®)》<sup>1</sup>，由美国国家职业安全与卫生研究所 (NIOSH) 发布的《化学危险袖珍指南》<sup>2</sup>，由美国职业安全与健康管理局 (OSHA) 发布的《职业暴露允许浓度限值 (PELs)》<sup>3</sup>，由欧盟成员国发布的《指导性职业暴露限值》<sup>4</sup> 以及其他类似指导原则。

### 事故和死亡率

项目应尽量将项目工人（直接聘用或间接雇用）发生事故的次数减少到零，尤其是能导致

<sup>1</sup> 网址：<http://www.acgih.org/TLV/> 和 <http://www.acgih.org/store/>。

<sup>2</sup> 网址：<http://www.cdc.gov/niosh/npg/>。

<sup>3</sup> 网址：[http://www.osha.gov/pls/oshaweb/owadisp.show\\_document? P\\_table=STANDARDS&p\\_id=9992](http://www.osha.gov/pls/oshaweb/owadisp.show_document? P_table=STANDARDS&p_id=9992)。

<sup>4</sup> 网址：[http://europe.osha.eu.int/good\\_practice/risks/ds/oel/](http://europe.osha.eu.int/good_practice/risks/ds/oel/)。



工时损失、各种级别的伤残甚或死亡的事故。死亡率可参考本章节中发达国家选煤厂绩效基准，也可向出版来源（如美国劳工部劳动统计局和英国健康与安全执行局）进行咨询<sup>1</sup>。

### 职业健康与安全监测

应根据具体项目可能产生的职业危害对作业环境进行监测。作为为关闭后长期健康考虑而制订的职业健康与安全监测方案的一部分，监测的设计和实行应由合格专业人员<sup>2</sup>完成。企业应建立对职业事故和疾病以及危险发生和意外的记录。职业健康与安全监测其他方案参见《通用环境、健康与安全指南》。

## 3 参考文献与其他资料来源

- [1] Edgar T F. 1983. Coal Processing and Pollution Control. Houston: Gulf Publishing Company.
- [2] European Bank for Reconstruction and Development (EBRD). Sub-sectoral Environmental Guidelines: Coal Processing. London: EBRD. <http://www.ebrd.com>.
- [3] European Commission. 2006. European Integrated Pollution Prevention and Control Bureau (EIPPCB). //Document for Large Combustion Plants. Sevilla, Spain: Best Available Techniques (BAT) Reference. <http://eippcb.jrc.es/pages/FActivities.htm>.
- [4] European Commission. 2003. European Integrated Pollution Prevention and Control Bureau (EIPPCB). //Document for Mineral Oil and Gas Refineries. Sevilla, Spain: Best Available Techniques (BAT) Reference. <http://eippcb.jrc.es/pages/FActivities.htm>.
- [5] German Federal Ministry of the Environment, Nature Conservation and Nuclear Safety (BMU). 2002. First General Administrative Regulation Pertaining to the Federal Emission Control Act (Technical Instructions on Air Quality Control – TA Luft). Bonn: BMU. [http://www.bmu.de/english/air\\_pollution\\_control/ta\\_luft/doc/36958.php](http://www.bmu.de/english/air_pollution_control/ta_luft/doc/36958.php).
- [6] Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 2006. Special Report, Carbon Dioxide Capture and Storage. Geneva: IPCC.
- [7] Kirk-Othmer R E. 2006. Encyclopedia of Chemical Technology: 5th Edition. New York: John Wiley and Sons Ltd.
- [8] Lockhart N. 2002. Advances in Coal Preparation. London: World Energy Council. [http://www.worldenergy.org/wecgeis/publications/default/tech\\_papers/17th\\_congress/1\\_2\\_02.asp](http://www.worldenergy.org/wecgeis/publications/default/tech_papers/17th_congress/1_2_02.asp).
- [9] National Fire Protection Association (NFPA). 2004. Standard 120. Standard for Fire Prevention and Control in Coal Mines: 2004 Edition. Quincy, MA: NFPA.
- [10] NFPA. 2003. Standard 30. Flammable and Combustible Liquids Code: 2003 Edition. Quincy, MA: NFPA.
- [11] NFPA. 2000. Standard 850: Recommended Practice for Fire Protection for Electric Generating Plants and High Voltage Direct Current Converter Stations: 2000 Edition. Quincy, MA: NFPA.

<sup>1</sup> 网址: <http://www.bls.gov/iif/>和 <http://www.hse.gov.uk/statistics/index.htm>。

<sup>2</sup> 合格专业人员包括注册工业卫生师、注册职业卫生师或注册安全工程师以及同类专家。



- [12] Northeast States for Coordinated Air Use Management (NESCAUM). 2003. Mercury Emissions from Coal-Fired Power Plants: The Case for Regulatory Action. Boston, MA: NESCAUM.
- [13] United States (US) Environmental Protection Agency (EPA). 2005. 40 CFR Part 60, Standards of Performance for New and Existing Stationary Sources: Electric Utility Steam Generating Units, Clean Air Mercury Rule. Washington D C: US EPA.
- [14] US EPA. 40 CFR Part 60. Standards of Performance for New Stationary Sources. Subpart Y—Standards of Performance for Coal Preparation Plants. Washington D C: US EPA.
- [15] US EPA. 40 CFR Part 434—Coal Mining Point Source Category BPT, BAT, BCT//Limitations and New Source Performance Standards. Washington D C: US EPA.
- [16] United States Congress. 2005. Clean Skies Act of 2005. (Inhofe, S.131 in 109th Congress). Washington D C: Library of Congress. <http://thomas.loc.gov/cgi-bin/query/z?c109:S.131>.
- [17] University of New Hampshire Recycled Materials Resource Center (RMRC). Coal Bottom Ash/Boiler Slag. <http://www.rmrc.unh.edu/>.
- [18] Zhu D, Zhang Y. Major trends of new technologies for coal mining and utilization beyond 2000 Technical scenario of the chinese coal industry. China.
- [19] Coal Research Institute, Ministry of Coal Industry, Beijing, China. [http://www.worldenergy.org/wecgeis/publications/default/tech\\_papers/17th\\_congress/3\\_1\\_11.asp](http://www.worldenergy.org/wecgeis/publications/default/tech_papers/17th_congress/3_1_11.asp).
- [20] Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry. 2005. Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. <http://www.wileyvch.de/vch/software/ullmann/index.php?page=home>.

## 附件 A：行业活动的通用描述

将煤炭加工成气体或液体化学品（包括燃料），包括以下工艺和附属设施：

- 煤的气化
- 间接煤液化
- 氨气生产
- 甲醇生产
- 直接煤液化

## 煤

煤是世界上蕴藏量最大的资源之一，随着温室气体（即二氧化碳）处理技术的日益可行，对煤的使用很可能会增长。煤以各种形式和品质存在。对植物物质的转换程度或煤化程度被称为“品级”（rank）。土状褐煤、暗色褐煤、次烟煤、烟煤以及无烟煤根据其含碳量按级递增排列。美国材料试验协会（ASTM）对煤的分类见表A-1<sup>1</sup>。

固碳含量低于 69%的煤根据其总发热量（GCV）进行分类：

- 烟煤 GCV > 24 400 kJ/kg, 黏结

<sup>1</sup> Kirk-Othmer. 《化学技术百科全书》：第五版（2006年）。



- 次烟煤 19 300 kJ/kg < GCV < 26 700 kJ/kg, 不黏结
- 暗色褐煤 14 600 kJ/kg < GCV < 19 300 kJ/kg, 不黏结

表 A-1 美国材料试验协会 (ASTM) 煤分类标准

种类		固碳*/%		挥发性物质*/%	
		Min	Max	Min	Max
无烟煤	高碳化无烟煤	98			2
不黏结	无烟煤	92	98	2	8
	贫煤	86	92	8	14
烟煤	低挥发	78	86	14	22
常黏结	中度挥发	69	78	22	31
	高度挥发		69	31	

\* 干燥, 无矿物质基础

在国际贸易上及欧盟内部, 对硬煤、土状褐煤及暗色褐煤不同的分类系统已获许可。

煤炭中的杂质会煤炭级别的差异, 这些杂质主要指硫、氮以及灰分。大部分商业煤的含硫质量百分数为 0.5%~4.0%, 表现形式为硫酸盐、硫铁矿以及有机硫, 含氮质量百分数为 0.5%~2.0%。因为氮通常与有机分子结合在一起, 因而不能进行物理清除。煤灰来自燃烧或使用过程中煤炭中所含的矿物。煤灰可能包含微量元素, 如砷、铍、镉、铬、铜、氟、铅、锰以及汞。

## 煤的气化

根据其生产的合成气最终目的地不同, 煤炭气化厂在规模上有很大不同。在化工生产中, 典型的设计能力基于 1 500~2 000 吨/天的给煤率, 更大的设计也是可行的, 尤其是甲醇生产。液体燃料生产中, 现有的液化煤厂以 12 万吨/天 (即 4 000 万吨/年) 的煤每天能够生产出 16 万桶 (即 1 000 吨/年) 油当量的液体燃料。

### 煤炭运输和洗选

大型煤-油厂基本上都位于接近矿山的地区, 并共享储存区和相关设施, 煤炭由传送带传送到工厂料仓、煤仓以及料斗中。小型厂可能会远离矿山。在这种情况下, 煤炭由铁路、驳船或矿浆管道运输并进行库存。一般来说, 根据矿山和煤炭特性以及采矿技术, 在运输和使用前有必要对煤进行洗选。<sup>1</sup> 关于洗选的要求请参见《通用环境、健康与安全指南》。根据合成气生产技术的不同, 选煤厂储存的煤在使用前被转化成合成气生产堆所需的物理形式。典型的作业包括对煤进行干燥处理和切割 (粉碎、磨削或粉化)。

### 合成气生产厂

煤炭气化包括对煤的氧化反应、蒸汽反应以及二氧化碳反应, 形成一种含有氢和一氧化碳的气态产物 (合成气)。本质上, 气化涉及还原环境下的不完全燃烧。在运行上与完全燃烧主要不同之处在于气化会消耗掉燃烧过程产生的热能。在气化还原环境下, 煤炭中所含的硫作为

<sup>1</sup> Lockhart N. 《选煤技术进展》. 世界能源委员会。



硫化氢而不是二氧化硫被释放出来，煤中的氮大部分被转化成氨气而不是氧化氮。这些硫及氮的还原形式容易被分离、捕集和使用。

根据气化炉类型以及作业条件的不同，气化可用来生产一种适用于任何使用的合成气。气化工艺简单描述参见图 A-1。

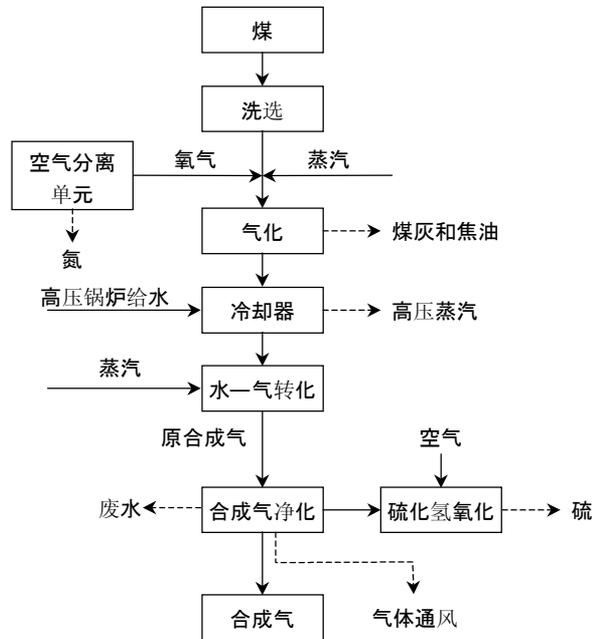


图 A-1 煤炭气化方框流程

经过洗选的煤与氧气和蒸汽一起被输入气化炉。根据气化炉类型，从生产堆中流出的合成气可以被冷却，热能被还原成高压蒸汽。煤灰从生产堆底部回收，一起回收的还有焦油（固化或渣化取决于工艺）。合成气与蒸汽一起被输入变换炉，将氢/一氧化碳调整到要求的比率。之后按照具体要求，对合成气进行净化，去除硫化氢（ $H_2S$ ）、二氧化碳（ $CO_2$ ）、硫化羰（ $COS$ ）、氨气（ $NH_3$ ）以及氰化氢（ $HCN$ ）。主要使用三种气化反应器：固定床反应器、流化床反应器和携带流反应器。

## 固定床反应器

目前，固定床反应器作为一种早期类型正在进行开发。在这一工艺中，空气和蒸汽被注入底部并沿煤床上升。煤被进到煤床顶部并逆流而下。固定床有几点优点：热气从燃烧带上升会对煤进行预热以导致有效加热；通过使固体沿气化区和燃烧区流动造成碳的高度转化；使燃料在反应器中停留较长的时间；产品气以相对较低的温度排出，不会污染固体。不过，可能会产生油和焦油，从而导致下游设备的污染。

固定床气化炉的缺点是它不能处理结块（黏结）煤（如烟煤），从而容易在加热时发生拥堵和黏结。这些结块煤会阻碍气体和固体流动，从而导致工艺失败。



## 流化床反应器

流化床反应器使温度混合与一致性提高成为可能，从而使氧气与脱挥产品起反应。在干流化床反应器中，必须保证温度低于煤灰熔点，以生成因碳的不完全转化导致的未反应的煤。黏灰气化器的温度要高一些（达到 1 150℃），接近煤灰软化点，从而提高碳转化率并使未反应高品质煤及黏煤完成气化。温度越高，气化率就越高，煤炭产出效率也就越高。流化床气化器最大的优点是可以灵活使用黏煤以及含灰量高的低品质煤。另外，流化床气化器可以高荷载或高产进行作业而不会导致工艺效率的大幅下降。

## 携带流反应器

在这种类型的反应器中，气化器可以是干燥进煤型、加压型、吹氧型或者携带流结渣型。煤可以事先进行干燥处理并研磨成直径小于 0.1 mm 的颗粒，然后由运输气体（通常是氮）送入气化器中。煤、氧气和蒸汽通过水平对置燃烧室进入气化器。原燃料气由高温气化反应产生并向上流动，并携带一些由灰分和少量未反应碳构成的颗粒。

反应器中的高温将残余灰分转换成高温熔渣，熔渣沿气化器内壁下流至一个炉渣急冷池。原燃料气可在反应器出口由冷却回收的燃料气急冷至低于煤灰熔点的温度，并防止黏性固体进入原燃料气冷却器。原气冷却器进一步冷却气体并产生高压蒸汽，高压蒸汽接下来被送入蒸汽循环。固体在颗粒过滤器中被回收到反应器。这种类型的反应器可以很容易管理各种品级的煤。

## 间接煤液化

### 液体烃生产

费-托工艺可用于生产一种轻质合成原油和低级烯烃，或者重质含蜡烃。合成原油可以被冶炼成汽油和粗柴油；重质烃可被冶炼成特性蜡；或者如果对其进行加氢裂化/异构化，可被用来生产粗柴油、润滑油和粗汽油，粗汽油可作为一种原料裂解成烯烃。过程中使用含钾和铜的铁基催化剂。

典型的费-托设计反应器包括低温反应器（LTFT，浆态床反应器）和高温反应器（HTFT，流化床反应器）。

浆态床反应器由一个载有工艺导出的、包括一种催化剂的蜡浆的容器组成。合成气通过浆态床在典型工艺条件下（温度 220~250℃及压力 2.5 MPa~4.5 MPa）生成气泡并转化成烃。生成的热能由煤浆传送到反应器内的冷却圈以产生蒸汽。汽相轻质烃和未转化的反应剂一起从反应器顶部的稀相区被移至下游冷凝机组进行冷凝。较重的液态烃被混入浆体，在这里它们通过固体分离工艺被移走。

流化床反应器由一个载有一种还原熔铁型催化剂流化床的容器组成。合成气通过流化床以一种气体分配器的方式生成气泡，在这里被催化转换成烃，在温度 340℃和压力 2.5 MPa 的工艺条件下，烃处于汽相。产品和未转换气体通过内部旋流器离开反应器。

### 烃化反应

烃化反应的目的是产生高质机动车燃料。“烃化反应”用来描述烯烃与异丁烷反应生成具



有高辛烷值的高分子量异烷烃。这种工艺涉及到由于强酸 [氢氟酸 (HF)] 或硫酸 ( $H_2SO_4$ ) 的存在而产生的低温反应条件。

### 异构化反应

异构化反应被用来改变分子结构而不改变原始分子的成分。低分子量烷烃 (C5~C6) 被转换成辛烷指数高得多的异烷烃。目前这一工艺使用三种截然不同的催化剂: 三氯化铝, 沸石和硫酸氧化锆。

### 催化裂解

催化裂解用于将重质烃升级到更有价值、沸点更低的烃。这一工艺使用热能和一种催化剂将较大的烃分子分裂成小而轻的分子。通常使用流化床催化裂化 (FCC) 单元, 包括三个不同的部分: 一个由鼓风机和余热锅炉组成的反应器-回热器; 由一个湿气压缩机构成的主要的分馏器以及不饱和气发生站。在 FCC 工艺中, 预热至温度为 250~425°C 的油和油蒸气在提升管反应器中与温度为 680~730°C 的热催化剂 (沸石) 接触。为加强蒸发以及其后的裂解, 使用蒸汽对进料进行雾化。裂解工艺在温度 500~540°C 和压力 0.15~0.2 MPa 的条件下进行。催化裂解中使用的催化剂多为沸石, 由非晶合成氧化硅-氧化铝负载金属。

### 氧合加氢反应

在这一工艺中, 充氧化合物被氢化成混合醇。

### 氨气生产

氨气 ( $NH_3$ ) 发生站可以作为独立单元存在或与其他单元一体化, 尤其是与尿素生产和甲醇生产单元。氢/一氧化碳生产也可与氨气站整合。氨气由氢和氮的一种放热反应生成。这一反应的完成需有加压金属氧化物催化剂的存在。氮的原材料是大气压空气, 它可以在自然状态下作为压缩空气或者作为从空气中分离出来的纯氮使用。氢可通过多种方式获得, 如天然气、原油、粗汽油, 或者从选煤工艺中产生。

从合成气中生产氨气包括以下工艺: 在进料中去除痕量/微量特征, 一级和二级转化, 一氧化碳相移转换, 去除一氧化碳, 甲烷化, 压缩, 氨气合成以及氨气产品制冷。碳以浓缩二氧化碳的形式去除, 可作为尿素生产或其他工业目的使用, 以防止释放到大气中。这一工艺中使用的催化剂包括钴、钼、镍、氧化铁/氧化铬、氧化铜/氧化锌以及铁。

两种非传统工艺路径包括: 在二级转化器中加入额外的工艺空气低温去除多余的氮; 热量交换自热式转化。后者有一定的环境优点, 因其降低了一级转化器内燃烧的需要且有更低能耗的潜力。

### 甲醇生产

甲醇合成单元一般包括反应、气体回收以及净化工艺。在反应工艺中, 一氧化碳和氢在温度 250°C 和压强 50 MPa~80 MPa 的条件下加上一种铜基催化剂来生产甲醇。商业上可行的反应器包括管式固定床或绝热径向型多床。在反应器下游, 甲醇被冷凝, 未转化的气体被回收合成气单元。净化工艺包括两个分馏塔, 在这里轻组份和重组份 (高分子量乙醇) 均被从甲醇产品中去除。轻组份一般再生为燃料气。重组份一般在一个蒸汽锅炉内通过一个专用烧嘴进行



燃烧。

## 直接煤液化

许多国家已对直接煤液化进行了研发。目前开发中的大部分工艺基于对分散和部分溶解于一种有机溶剂中的煤进行加氢催化。这种反应极其依赖于煤的品级、等级和年代。对于低品级煤，更有效的氢化反应剂是水、氢和一氧化碳（合成气）的混合物。一个问题是由于煤杂质会导致催化剂中毒，另外还有废水处理问题。一些大型选煤试点厂和示范厂已成功运行。