



玻璃制造业环境、健康与安全指南

前言

《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。¹。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

《玻璃制造业 EHS 指南》涵盖与玻璃制造设施相关的信息。但不包括原材料的开采，这部分信息参见《建筑材料开采环境、健康和安全管理指南》。附录 A 是对该工业活动的总体介绍。

本文由以下几个部分组成：

- 1 具体行业的影响与管理
- 2 指标与监测

¹ 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

本章概述玻璃制造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

与玻璃制造相关的环境问题，包括：

- 大气排放
- 废水
- 固体废物

废气排放

玻璃制造是高温、高能耗的生产活动，会产生燃烧副产物（二氧化硫、二氧化碳和一氧化氮），并使大气中的氮气在高温下被氧化。熔窑排放的废气还包含颗粒物（PM），并可能含有少量金属。由熔窑排放到大气中的废气占玻璃制造厂废气排放总量的 80%~90%。玻璃成型阶段和完成阶段的废气排放涉及各种类型的玻璃制造工艺。在容器压吹机中，由于熔融玻璃（玻璃坯）会与该设备的润滑剂接触，因而此过程中产生的废气排放最多。平板玻璃、容器玻璃、餐具以及工艺玻璃的制造也会产生废气排放，这是由退火过程中的燃烧引起的。在退火过程中，玻璃产品被置于 Lehr 炉（退火炉）内，采用控制冷却工艺维持在 500~550℃。生产者应该考虑生产较轻的容器及餐具，这样由一定量的熔融玻璃能生产出数量更多的产品，从而减少对环境的影响。

颗粒物

颗粒物是玻璃制造设备排放的主要污染物。玻璃制造业的所有子部门都需要使用粉状、粒状或尘状的原材料。对玻璃制造业的各子部门来说，原材料存储和混合是经常进行的活动。原材料的运输、装卸、储存和混合可能造成粉尘的排放。这些过程所产生的粉尘通常比热处理过程排放的颗粒物（粒径小于 1 微米）粒度更大，但小颗粒物很容易团聚成较大的颗粒。装卸过程产生的粉尘是主要的职业健康和安全（OHS）问题，而原料配合设备中的热处理过程产生的颗粒物则是潜在的环境问题。

在原材料运输、装卸、存储及混合的过程中，尽可能减少粉尘排放及其潜在影响的推荐防控技术主要包括：

- 将储存和配合料准备区与其他区域分离；
- 使用封闭式筒仓储存配合料；
- 采用水或者碱溶液（例如氢氧化钠[NaOH]、碳酸钠[Na₂CO₃]）以湿法降低配合料中微



细颗粒的数量，也可采用预烧结、压块或者码垛堆积等方法；

- 采用正确的装卸规范；
- 采用封闭式输送机传输配合原料到熔窑；
- 执行熔窑进料区的各项管理措施 [如：配合料加湿；采用熔窑平衡化操作，使其处于微正压 ($<10\text{ Pa}$)，以提高燃烧效率，同时限制可能的灰尘排放；采用过滤器除尘；封闭式螺旋进料器；以及封闭式进料袋]。

微细颗粒物的排放主要来源于熔炼过程。配合料和熔体中的可挥发性组分与硫的氧化物发生燃烧，产生的熔窑废气中含有高浓度的颗粒物成分。其他来源还包括配合料遗撒的微细颗粒物，以及一些化石燃料的燃烧。

减少颗粒物排放的预控措施包括：

- 增加废玻璃的使用；
- 优化熔窑设计和形状，降低窑温；
- 使用低含硫量的燃料；
- 考虑改变加料方式、颗粒大小以及湿度优化。

有效应用上述的颗粒物初级控制措施可使熔窑烟气中的颗粒物排放浓度低于在标准状态下 100 mg/m^3 。随着窑炉炉龄的增加，熔窑中耐火材料的损坏增加了其能量需求，从而使窑炉排出的燃烧产物流量也随之增长，导致颗粒物排放持续增加。

减少粉尘排放的最终防控技术包括安装静电除尘器 (ESP) 或者布袋除尘器。¹ 静电除尘器总除尘率为 $95\% \sim 99\%$ ，且可使粉尘排放浓度降至 20 mg/m^3 。拥有两个以上熔融设备的较大大型玻璃制造厂具有规模经济，但是成本²问题常常使得静电除尘器在这些企业的使用受到限制。静电除尘器和布袋除尘器的成本往往具有较大的可变性，这主要取决于所需性能和废气排量。袋式除尘器用于较小的烟气流量，特别是 $20\,000 \sim 30\,000\text{ m}^3/\text{h}$ 的烟气 (在标准状态下)，而静电除尘器更常用于更高流量的烟气处理。布袋除尘器 (也叫“袋滤捕尘室”或纤维除尘器)³ 系统也能有效地将除尘效率提高到 $95\% \sim 99\%$ 。

氮氧化物

氮氧化物 (NO_x) 的主要排放源是熔窑高温所产生的热 NO_x 、配合料中含氮成分的分解，以及燃料中含氮成分的氧化。常规的初级工艺改进基于如下技术或其组合：减少空气/燃料比例、分段燃烧、低 NO_x 的密闭燃烧器，以及燃料的合理选择。另一个有效的措施是使熔窑在一定的还原条件下运转。

为了提高能效并抑制 NO_x 的形成，尽可能减少通入熔窑的助燃空气是非常重要的。通常建议单元熔窑中保持氧气含量为 $0.7\% \sim 1\%$ ，马蹄焰窑则为 $1\% \sim 2\%$ ，该值应在燃烧室出口处测量。并且应监测一氧化碳 (CO) 含量，该含量应尽可能低 [$(200 \sim 300) \times 10^{-6}$ ，最高不

¹ 欧盟立法会定义这些减排设备的安装为最佳可行技术。

² 通常处理 $50 \sim 100$ 吨/天的熔窑，其投资费用 (包括酸性气体去除) 在 1 欧元到 1.5 欧元 (布袋除尘或静电除尘)，处理 500 吨/天则需要 2.5 欧元到 3.5 欧元。如果副产物在熔融过程中可以回用，年运行费用将在 50 000 欧元到 250 000 欧元之间，但这需要颜色的一致性。副产物处理的成本很高，可能是操作费用的两倍。现有厂房末端处理的投资费用通常比投资新厂要高，特别是考虑到空间的制约。

³ 尽管布袋除尘器在低温下有效，温度控制是很必要的。这一控制要用于防止由低温酸凝所引起的腐蚀，也保证不会使过高温度的热量破坏过滤器的紧密度。其他关于可吸入颗粒物控制技术的应用与操作问题请参见 EHS 通用指南。



超过 $1\,000 \times 10^{-6}$]

其他可考虑的初级工艺措施包括氧气助燃熔融（全氧助燃或部分氧助燃）的选择，参见附件A，以及低 NO_x 熔窑¹的选择。

在主要措施无法达到满意的 NO_x 水平时，应该实施如下的二级污染控制技术减少玻璃制造过程中 NO_x 的排放量：

- 采用燃料进行化学还原（如：3R 工艺）；
- 采用选择性催化还原法（SCR）。

选择性非催化还原（SNCR）还没有被玻璃工业广泛采用。有关 NO_x 排放控制技术的适用性及性能的更多信息参见《通用 EHS 指南》。

硫氧化物

玻璃熔窑废气中硫氧化物（ SO_x ）取决于燃料含硫量及原材料中亚硫酸盐、硫酸盐、硫化物的含量，特别是为玻璃氧化而增加的硫酸钠或者硫酸钙。

建议采用如下污染控制技术来减少二氧化硫（ SO_2 ）排放：

- 使用低硫燃料，特别是天然气；
- 减少配合料中硫酸钠或硫酸钙的用量。

通常，使用天然气为燃料时，废气中的 SO_x 含量较低。如果需要进一步减少酸性气体排放，例如使用了含硫燃料，那么可以考虑下列技术：

- 在过滤废气之前，采用干式洗涤器将钙基或钠基²物质注入烟气流产物中；
- 安装半湿式洗涤器（反应式洗涤器或淬火反应器），其特点是在洗气液中添加了一些碱性化学反应剂，如含钙和含钠的反应剂（湿法除尘）。

如果采用干法吸附工艺（例如利用碳酸氢钠 $[\text{NaHCO}_3]$ 或者熟石灰 $[\text{Ca}(\text{OH})_2]$ 减少 SO_2 、氯化氢 $[\text{HCl}]$ 或者氟化氢 $[\text{HF}]$ ），布袋除尘器通常比静电除尘器（ESP）更有效，因为前者接触面积更大，固-气接触时间更长。

氯化物和氟化物

玻璃熔融窑中的这些污染物来自原材料中的杂质，因此量通常不多。但乳色玻璃（乳浊玻璃）及连续的玻璃纤维制造是例外，因为在这种情况下配合料中添加了氟石，氟化氢（HF）的质量浓度在处理前可达标准状态下的 $1\,000\text{ mg/m}^3$ 甚至更多。干法和半干法除尘技术可用于处理 HF 排放。当玻璃制造的氟化物排放严重时（如：含有氟的乳色玻璃），应首选电窑。

除了制造特种玻璃，HCl 和 HF 排放的来源通常和原材料中的杂质（如，氯化钠或氯化钙）有关，有时也与配合料中的少量氟化钙（ CaF_2 ）有关。HF 和 HCl 的排放都可以通过上述 SO_2 减排技术进行控制。

¹ 一些新的熔融窑设计了不同的选择用于减少氮氧化物排放。低氮氧化物窑和 FlexMelter 窑是以废气的返流输出为特征的，从燃烧区中分离出一片窑区创造“阶段燃料”的条件。另外一个技术叫“阶梯式系统”，在燃烧口进行。一部分燃料的预燃在最终燃烧阶段之前进行，使得混合助燃空气的燃烧含氧比例低。这种技术类型通常比传统燃烧方法贵，应该将其与其他有标准图纸和末端减排系统的熔窑的成本与效率进行比较。

² 最常用的钠基化合物是碳酸氢钠（ NaHCO_3 ），用在 NEUTREC 工艺的干法条件下。和磨粉机将 NaHCO_3 研磨到粒径小于 $15\ \mu\text{m}$ ，然后加入废气流。在温度高于 107°C （通常高于 140°C ）时， NaHCO_3 分解成 Na_2CO_3 和水。“出生的”表面积巨大的 Na_2CO_3 与酸性化合物反应的能力是很强的。反应减少了活性化学物质及其副产物。



金属

金属排放是一些子部门（如铅晶玻璃和釉料的生产）中的重要问题。然而，该问题在玻璃制造的其他部门中也存在，只是程度较轻。重金属可能会以微量杂质的形式存在于某些原材料、废玻璃及燃料当中。在釉料生产中，铅和镉用于助熔剂和着色剂。铅晶玻璃制造所释放颗粒物的含铅量可达 20%~60%。特种玻璃制造可能会释放砷、锑和硒（茶色玻璃所使用的着色剂或者是一些透明玻璃的脱色剂）。

应采用高效除尘技术，以减少含有金属的颗粒物排放。干式和半干式洗涤器结合除尘技术可去除废气中的金属（如，使用硒的情况下）。

温室气体（GHG）

玻璃制造是温室气体（GHG），特别是 CO₂，的一个重要排放源。用燃气窑生产 1kg 玻璃大约产生 0.6 kg CO₂，其中的 0.45kg 来自化石燃料的燃烧，0.15kg 来自配合料所用碳酸盐原料（CaCO₃ 和白云石）的分解。GHG 的产生量与玻璃的种类、所用化石燃料的种类、工艺能效以及废玻璃的使用直接相关。由于一些玻璃产品有很高的质量要求（如：用于医药、化妆品、实验室或照明的产品），因此废玻璃的使用受到了限制。

除了《通用 EHS 指南》中建议的 GHG 管理策略之外，各部门 GHG 排放的防控方法包括：

- 采取增加能效的措施（如下所述）：
 - 使用低碳燃料（如：可能的情况下，用天然气代替燃料油或固体化石燃料）；
 - 尽可能利用废玻璃，从而提高能效，减少碳酸盐原材料的使用，特别是在容器玻璃生产中。尤其是当生产绿色容器时，可以在配合料中宜使用高比例的废玻璃。配合料中每使用 1% 的废玻璃，熔窑通常可减少 0.15%~0.3% 的能耗；¹
 - 采用基于逆变器的变速装置驱动大型风机，输送助燃空气和冷却空气；
 - 熔窑烟气余热回收：热量可用于配合料或废玻璃预热（见下文），或者为加热炉腔供热量或蒸汽。一项开发中的技术是以高压蒸汽的形式回收热量，进而可能以高压蒸汽在涡轮机中发电。
- 提高窑炉能效的技术包括：²
 - 熔窑尺寸：日产量小于 50 t 的熔窑在玻璃熔融过程中能源的结构性损失很大，因此其能效较低；
 - 熔融技术的选择：与换热窑相比，蓄热窑具有更高的助燃空气预热温度，因此能效更高；
 - 使用加强的隔热技术和材料；
 - 采取控制燃烧的措施；
 - 尽可能利用废玻璃；
 - 配合料及废玻璃进窑前利用熔窑烟气余热进行预热。

¹ 在欧盟国家（EU），产生容器玻璃所使用的废玻璃比例从小于 20% 到大于 90% 不等，EU 平均值为 48%，对于琥珀玻璃的生产为 25%~60%。

² EU BREF 2001



废水

工业工艺废水

用水最多的环节是冷却和废玻璃的清洗。排放的废水水中包括接触式水冷系统的废水、清洗用水以及地表水径流。应该采用密封式的水处理系统，尽可能减少水的损失。与其他工业相比，玻璃制造所产生的液体排放量较小，且仅仅局限于特定的一些工艺（如：热熔块淬火和水冷剪切）。可能污染废水的物质包括固体玻璃和一些可溶的玻璃制造材料（如：硫酸钠）、用于切割过程的滑润剂中含有的一些有机物，以及水冷系统的水处理剂（如：溶解盐和水处理剂）。

工艺废水处理

本行业工艺废水的处理技术包括：油水分离器；采用 pH 调节流量及负载平衡；在沉淀池或澄清器中采用格栅及沉淀法去除悬浮物；采用多介质过滤技术去除非沉降型悬浮物；脱水并在填埋场处置残渣。残渣若为危险物，则应交给指定的有害废弃物处理场处置。还可能需要其他的一些工程控制及预处理的步骤来处理接触冷却水中的金属、溶解盐、有机物以及水处理剂。

《通用 EHS 指南》讨论了工业废水的管理以及和处理方法的示例。通过采用这些废水管理的工艺和实用技术，各设施应该达到本行业文件第 2 节相关表格规定的废水排放指导值。玻璃的机械处理工艺中应循环使用工艺用水。

其他废水和水的消耗

《通用 EHS 指南》中提供了适用于管理各职能部门的未污染废水、未污染的雨水，以及生活污水等未污染废水的指导原则。而被污染的废水应引入工业工艺废水处理系统。针对水资源有限的地区，《通用 EHS 指南》推荐了减少耗水量的措施。

固体废弃物

玻璃业的制造活动产生的固体废弃物较少。玻璃制造所产生的固体废物主要来自运输区域。接收场的清扫和维护可以减少这类废物，同时有助于收集散落材料并将其加到原料中。接收场的地面铺筑可以保证更有效的收集和清扫，并且使遗撒材料充分得以识别、分离并回收到工艺中。

熔融过程产生的固体工艺残渣包括机械清扫或热清洁时扫除的蓄热器（或换热器）内的灰尘，以及来自熔窑定期维护、修理和报废（对于 500~2 000 t 的产量，通常每 5 到 15 年进行一次）时废弃的耐火材料，包括富含铬和锆的耐火材料。其他废弃物包括除尘设备收集的粉尘等。

污染防治的办法包括：

- 尽可能将废玻璃作为进料使用；
- 回收废弃耐火材料用于制砖（该技术不影响最终产品的质量）；
- 每 6 到 12 年就更换耐火砖（当熔窑/前窑床重建和维修时，适当地循环利用这些材料也是污染防治的一项措施）；
- 如果对颜色的要求允许，配合料中可重复使用收集到的灰尘。



1.2 职业健康与安全

玻璃制造项目中会发生并应具体考虑的最主要的职业健康与安全问题包括：

- 热接触
- 噪声接触
- 呼吸系统危害接触
- 物理危害
- 电危害

热接触

热接触主要发生在操作和维护熔窑及其他热设备进行时。预防和控制方法包括：

- 在这些场所采取较短的换班间隔，从而减少高温环境下的工作时间；
- 为了避免工作场所过热，应提供充足的通风和冷气，清除工作站的烟气和粉尘；
- 根据需要，提供和使用空气或氧气呼吸器；
- 在靠近或可能接触工作人员的高温设备表面加装隔热罩，并根据需要使用个人防护装备（PPE），包括隔热手套和隔热鞋。

噪声

玻璃制造中，工作人员可能会暴露于噪声中。听力减退是该行业特别是容器玻璃制造业典型的职业病。在玻璃容器成型过程中，冷模工艺的高压可能会产生巨大的噪声。玻璃压制设备的噪声水平可达 100 分贝甚至更高，可能造成听力损伤。《通用 EHS 指南》中讨论了针对噪声的防控建议，包括听力保护及其他个人防护装备（PPE）的使用。

呼吸系统危害（粉尘、烟气和有毒化合物）接触

玻璃制造的职业健康风险可能还包括工作场所飘浮微细颗粒物。这些颗粒物可能包含由硅砂和长石形成的硅尘，有时还会含有一些有毒化合物（如：氧化铅、硼、砷、锡、镍和钴）。生产容器和餐具的工作场所通常还会含有由热模润滑油产生的油烟和烟气。铅晶玻璃制造所产生的颗粒物中含铅量可达 20%~60%。一些特种玻璃的制造过程中，工作场所可能含有高浓度的 HCl、HF、砷、锑和硒。

表面热处理可能会使用含有锡和钛的化合物，如氯化锡或含锡的氯化有机物，可能会导致排放的粉尘含有大量锡、钛和 HCl。相应的防控措施包括：

- 将原材料储存和配合料准备区域与其他操作区域隔离；
- 执行正确的装卸规范；
- 采用封闭的转送机或管道将配合料运输到熔窑；
- 使用通风系统。



物理危害

破碎的玻璃和飞溅的玻璃屑对眼睛可能造成的伤害是玻璃制造业常见的危险因素。所有工作人员和参观者应该统一佩戴安全眼镜以预防该类危险。如果平板玻璃在处理时破碎，有可能会产生严重的割伤。通过自动化的平板玻璃处理，以及为处理平板玻璃的工作人员配备防切割手套和长围裙，可以将人身伤害的风险降至最低。

电危害

因为玻璃制造厂到处都是电器，工作人员可能会暴露在电危害之下。预防和控制电危害暴露的建议，参见《通用 EHS 指南》。

1.3 社区健康与安全

玻璃制造厂的建造、操作和退役过程中的社区健康与安全影响与其他大多数工业设备相同，并在《通用 EHS 指南》中有所论述。

2 指标与监测

2.1 环境

废气排放和污水排放指南

表 1 和表 2 介绍了该行业的污水排放和废气排放指南。该行业的污水排放和废气排放指导值是各国的相关标准在公认的法规框架内所体现的国际行业惯例。通过上文介绍的污染防控技术，我们可以知道，经过合理设计和操作的装置在正常的操作条件下是可以满足这些指南的要求的。废液必须在工厂设备或生产机器年运行时间至少 95% 的时间范围内，在不经稀释的情况下达到以上排放水平。在环境评估中，所产生的水平偏差应当根据当地特定的项目环境进行调整。

废液处理指南适用于已处理废液直接排放到常规用途的地表水中。特定场地的排放水平可以按照公共经营的污水回收和处理系统的可行性及特定条件设定；或者，如果废液直接排放到地表水中，排放水平可依据环境健康与安全通用指南中规定的受水区的用途分类设定。

废气排放指南适用于处理废气排放物。与热能消耗不高于 50 兆瓦的热电生产相关的燃烧源排放物管理指南，请参见《通用 EHS 指南》。能耗更高的燃烧源排放物管理指南，请参见《热能 EHS 指南》。《通用 EHS 指南》还包含基于总排放量的环境研究指南。

表 1 玻璃制造业的大气污染物排放水平

污染物	单位（标准状态）	指导值
-----	----------	-----



颗粒物		
天然气	mg/m ³	100 ^a
其他燃料		50 ^a
二氧化硫 (SO ₂)	mg/m ³	700~1 500 ^b
氮氧化物 (NO _x)	mg/m ³	1 000
盐酸 (HCl)	mg/m ³	30
氟化物	mg/m ³	5
铅	mg/m ³	5
镉	mg/m ³	0.2
砷	mg/m ³	1
其他重金属 (总量)	mg/m ³	5 ^c

a 若存在有毒金属，则不能超过 20 mg/m³。为了达到 50 mg/m³ 的粉尘排放标准，需要安装二级处理（布袋除尘器或静电除尘器）。维持熔炉良好的运行状态，并采取初级的除尘措施，即可使颗粒物排放控制在 100 mg/m³ 以内。

b 若燃料是天然气为 700 mg/m³，若使用燃油则为 1 500 mg/m³。

c 含硒量 1 mg/m³。

表 2 玻璃制造业的废水排放水平

污染物	单位	指导值
pH 值	S.U.	6~9
总悬浮固体	mg/L	30
化学需氧量 (COD)	mg/L	130
油脂	mg/L	10
铅	mg/L	0.1
镉	mg/L	0.3
砷	mg/L	0.1
氟化物	mg/L	5
硼酸	mg/L	2
温度升高	°C	<3 ^a

注：a 在按科学方法界定的排放混合区边界处。该混合区的设定需考虑环境水质、接受水体的用途、潜在受体，及同化能力等。

环境监测

该行业的环境监测项目的执行应当面向在正常操作和异常条件下可能对环境产生重大潜在影响的所有生产活动。环境监测活动应当以适用于特定项目的废气、废水和资源利用的直接或间接指标为基础。

环境监测的频率应当足以为监测参数提供具有代表性的数据。环境监测应由受过系统训练的人员使用经正确校准的、维护良好的设备按照检测和记录程序进行。监测得出的数据应经定期分析和检查，并与操作标准相对比，以便采取合适的矫正行动。《通用 EHS 指南》中介绍了对废气废水监测的抽样和分析方法。

资源利用和排放负荷

表 3 和表 4 列举了这一行业能源和水的资源消耗的范例以及该行业的排放负荷，行业基准



值仅用于比较，单个项目应以不断改进为目标。

表 3 资源和能量消耗^{a、d}

单位产品的消耗量	单位（以熔体计）	行业参考标准
燃料		
蓄热马蹄焰窑（用于玻璃容器生产）的燃料消耗率（产量大于 200 t/d）	GJ/t	3.9 ^b
浮法熔窑的燃料消耗率（产量为 400~500 t/d）	GJ/t	5.5
单元熔窑（用于硼硅玻璃生产）的燃料消耗率（产量为 10~15 t/d）	GJ/t	9
电力		
耗电率	kW·h/t	110
水		
单位产品耗水量	m ³ /t	4 ^c

a 能量消耗率与熔窑尺寸、玻璃产能、负荷、使用年限和废玻璃的利用等因素密切相关。小型熔窑或者熔窑负荷不足时，由于热量损耗率较高，通常能效较低。能耗也取决于玻璃质量（熔炼温度）、碎玻璃比例和窑龄。通过新窑、尽可能使用碎玻璃、熔窑良好的隔热，以及适合的工作条件（例如：操作温度不要过高和加强对燃烧的控制），可使能耗降低。燃料使用的数据假定没有辅助电熔。电力使用的数据同样也不包括直接电热熔融用电，但是包括助燃风机用电。

b 蓄热窑和全氧助燃窑（不包括氧气的生产），以及容器玻璃生产的耗能率低于换热窑及平板玻璃、餐具的生产。

c 该值适用于玻璃纤维制造。

d 在钠钙玻璃制造中，废玻璃的使用每增加 10%，能耗则减少 3%，能耗范围为 0.09~0.13 GJ/t（22~30 kcal/kg）

表 4 污染排放

单位产品的污染排放	单位 [以玻璃（熔体）计]	行业参考标准	
		平板玻璃窑	容器玻璃窑
颗粒物	kg/t	0.02~0.1	0.02~0.22
	mg/m ³	5.0~40	1~35
氮氧化物（NO _x ）	kg/t	1.1~2.9	<0.75
	mg/m ³	495~1 250	<400
硫氧化物（SO _x ）	kg/t	0.54~4.0	0.2~3.5
	mg/m ³	200~1 700	100~1, 650
HCl	kg/t	<0.01~0.08	0.01~0.07
	mg/m ³	4.0~30	7~30
HF	kg/t	<0.002~0.01	=0.02
	mg/m ³	<1.0~4.0	=1~6
金属	kg/t	<0.001	<0.001
	mg/m ³	<1.0	<1.0

注：a 数据来源于欧盟（2005），使用初级和二级减排技术。数据涵盖了燃气窑和燃油窑。

2.2 职业健康与安全指南

职业健康与安全指南

职业健康与安全性能应按国际公认的接触风险指南进行评估，包括美国政府工业卫生学



家会议 (ACGIH)¹发布的阈值 (TLV[®]) 职业接触风险指南和生物接触限值 (BEI[®]), 美国职业安全健康研究所 (NIOSH)²发布的危险化学品的袖珍指南, 美国职业安全健康局 (OSHA)³发布的允许接触极限 (PEL), 欧盟成员国⁴发布的指示性职业接触限值以及其他类似资源。

事故率和死亡率

各种项目均应尽全力保证项目工人 (不管是直接雇佣或是间接雇佣的工人) 的生产事故为零, 尤其是那些会导致误工、不同等级残疾或甚至死亡的事故。设备生产率可以参考相关机构 (如美国劳工部劳动统计局和英国健康与安全执行局) 发布的信息, 按照发达国家的设备性能设定基准。

职业健康与安全监测

应当对工作环境进行监测, 以发现特定项目的职业危险物。作为职业健康与安全监测项目的一部分, 监测操作应当委派有适当资质的专业人员⁵制定并执行。管理者还应记录职业事故、疾病和危险事件。《通用EHS指南》中介绍了职业健康与安全监测项目的其他指南信息。

3 参考文献和其他资料来源

- [1] Australian Government, Department of the Environment and Heritage. Emissions Estimation Technique Manual for Glass and Glass Fibre Manufacturing: Version 2.0, Canberra, Australia, 2004.
- [2] European Commission. Integrated Pollution Prevention and Control (IPPC) Reference Document on Best Available Techniques in the Glass Manufacturing Industry. Sevilla, Spain, 2001.
- [3] European Union. Corinair. Emission Inventory Guidebook, 2005.
- [4] European. Potential Socio-Economic Effects of Setting an EU Occupational Exposure Limit for Respirable Crystalline Silica. 2005.
- [5] International Labour Organization (ILO). Safety in the Use of Synthetic Vitreous Fibre Insulation Wools. Geneva, Switzerland, 2001.
- [6] State of New Jersey, Department of Environmental Protection, Air Quality Permitting Program. State of the Art (SOTA) Manual for the Glass Industry Section 3.15. Trenton, New Jersey, 1997.
- [7] UNECE/EMEP Task Force on Emission Inventories and Projections. EMEP/CORINAIR Emission Inventory Guidebook — 2005. Glass Production. Activities 030314-030317 & 040613. European Environment Agency. Copenhagen, Denmark, 2005.
- [8] US Department of Labor, Bureau of Labor Statistics. 2003 and 2004. Nonfatal Occupational Injuries and Illnesses for Glass and Glass Product Manufacturing (Code 327200) and for Glass Container

¹ 可登录 <http://www.acgih.org/TLV/> and <http://www.acgih.org/store/> 获取相关信息。

² 可登录 <http://www.cdc.gov/niosh/npg/> 获取相关信息。

³ 可登录 http://www.osha.gov/pls/oshaweb/owadisp.show_document?p_table=STANDARDS&p_id=9992 获取相关信息。

⁴ 可登录 http://europe.osha.eu.int/good_practice/risks/ds/oel/ 获取相关信息。

⁵ 有合格资质的专家包括执证的工业卫生学家、注册职业卫生学家、执证安全专家或有同等资质的人员。



Manufacturing (Code 327213). Washington, DC.

- [9] US Environmental Protection Agency (US EPA). Standards of Performance for New Stationary Sources. Subpart CC – Standards of Performance for Glass Manufacturing Plants, 40 CFR Part 60. Washington, DC, 2005.
- [10] US EPA. National Emission Standards for Hazardous Air Pollutants. Subpart N – National Emission Standards for Inorganic Arsenic Emissions from Glass Manufacturing Plants, 40 CFR Part 61. Washington, DC, 2004.
- [11] US EPA. 1995a. AP-42 Section 11.15, Glass Manufacturing. Washington, DC, 1995.
- [12] US EPA, Office of Compliance. 1995b. Profile of the Stone, Clay, Glass and Concrete Products Industry. Sector Notebook Project. Washington, DC.
- [13] US EPA. 1995c. Glass Manufacturing Point Source Category. Subpart E – Float Glass Manufacturing Subcategory 40 CFR Part 426. Washington, DC.
- [14] US EPA. 40 CFR Part 426. Glass Manufacturing Point Source Category. Subpart H – Glass Container Manufacturing Subcategory, 40 CFR Part 426. Washington, DC, 1995.

附录 A：工业活动的通用描述

玻璃工业包括各种各样的制造设备和产品。玻璃的生产原料范围广泛，其中最重要的原材料是石英砂、废玻璃和中间物料/改性材料，如纯碱、石灰石、白云石和长石。工厂设计和厂址选择时首先考虑的是要便于获得原料。好的厂址能减少主要原材料和产品的运输距离，从而能大量获得低成本的原材料并生产出相对低廉的产品，这些是一个合适的厂址应具备的基本条件。这一点对于玻璃工业最大的生产部门——容器玻璃制造尤其重要。

90%以上的玻璃工业产品出售到其他的工业部门。玻璃制造业主要依赖于建筑施工部门、汽车制造业，以及餐饮业。然而，有些较小规模的部门可生产具有高价值的技术产品或者消费品。特种玻璃部门包含了多个子部门，如阴极射线管和 X 射线管、照明玻璃（灯管和灯泡）、电子和电工玻璃、玻璃封口和绝缘材料、硼硅酸盐玻璃（药物容器和烹调用具）、微晶玻璃、光学玻璃、泡沫玻璃、玻璃砖和艺术玻璃。

沙子、石灰石、纯碱和其他原材料验收后，储存在不同的料仓。在熔融之前，原材料被传送到称重与混合系统，并与碎玻璃混合，以确保必要的均匀度。然后，混合物运送到配合料储仓存放，等待进入熔融炉。原材料在熔融炉中加热到 1 500°C 到 1 650°C 之间。通过一系列化学反应，材料转变成熔融玻璃。玻璃的熔融液从锅炉倒出并在前炉床中热处理，确保其在后继工作阶段的最佳可塑性。在成型阶段之后，玻璃在退火窑中退火，去除成型玻璃的残余应力。接下来就是检查和测试阶段。最终的包装阶段完成产品，准备储存或运输。典型的玻璃制造工艺见图 A.1。

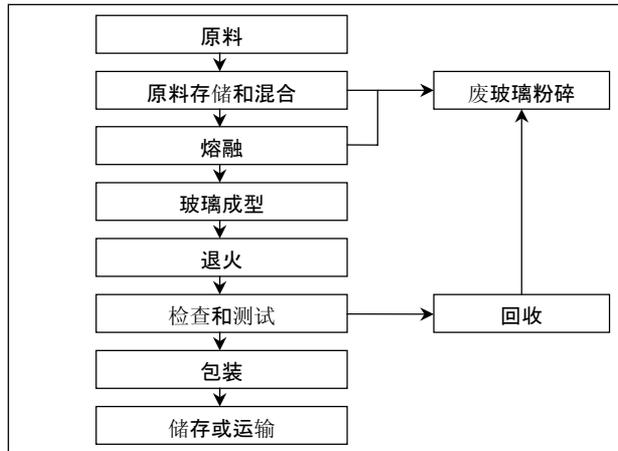


图 A.1 玻璃制造工艺

注：外来的废玻璃（没有表现在图中）也作为原料使用。因为其在使用前要经过清洗，所以不可与其他原料一起处理。外来的废玻璃通常在运送到工厂后直接被存储，然后经过清洗后混入配合料中，不需储存清洗后的废玻璃。

原材料

玻璃制造业的不同子部门和各生产厂所使用的原材料范围广泛。主要的原材料包括玻璃成型材料（如：硅砂、碎玻璃），中间物料/改性材料（如：纯碱、石灰石、长石和白云石），以及着色剂/去色剂（如：亚铬酸盐、氧化铁、氧化钴、硒和亚硒酸锌）。特种玻璃和技术玻璃的制造，还要使用氧化铅、碳酸钾、氧化锌和其他金属氧化物。玻璃液澄清剂包括氧化砷、氧化锑、硝酸盐和硫酸盐。其中 3~4 种原材料占据了玻璃制造业原料的 95%以上（硅砂、纯碱、石灰石和白云石），而其他多种原材料用于玻璃成型、中间物料和改性材料，以及着色剂。

能耗和燃料

玻璃制造是高能耗的工业活动，必须采取节能措施，特别是在熔窑的设计阶段。熔融过程是能耗最高的阶段，占玻璃制造总能耗的 60%~80%。熔窑的特性（尤其是类型和尺寸）会影响其能耗表现。玻璃制造业中，其他耗能部分包括前炉床、成型过程、退火、厂房供热等等。燃烧和冷却风扇是重要的用电设备。通过减少产品（尤其是容器玻璃）的重量，可减低单位产出的能耗和废气排放。这一目的可以通过设备设计的优化、成型过程的优化，以及成型后处理来实现。

熔融过程

能量来源、加热技术以及热回收方法的选择是玻璃熔融熔炉设计的核心。这些选择是影响熔融操作的环境性能和能效的首要因素，进而也是影响整个玻璃生产过程的能效的首要因素。



玻璃熔融窑根据其燃料来源及加热方式分成如下四类：蓄热式熔窑、换热式熔窑、单元熔窑和电熔窑。换热式熔窑、蓄热式熔窑和单元熔窑可以采用天然气、油或是粉碎固体燃料。对于温室气体、颗粒物和二氧化硫排放，熔窑所使用的燃料是非常重要的影响因素。燃料的使用要考虑到厂址周边的环境因素。

蓄热窑

这类熔窑使用成对的蓄热式热回收装置来预热助燃空气。燃烧器通常安置在助燃气/废气口的里面或者下面。熔窑每次点燃一侧的燃烧器。热的熔窑烟气穿过蓄热室中的耐火材料，将其预热。经过适当的时间，烧熔炉过程反转，入口的助燃空气通过起先由废气预热的蓄热室。预热温度通常在 1 100℃ 到 1 350℃ 之间，以使这种消耗化石燃料的熔窑发挥最大的热效率。

蓄热窑有两种，横焰和马蹄焰。横焰式蓄热窑在熔窑的侧面布有燃烧口和燃烧器，而蓄热室位于熔窑的一侧。马蹄焰窑的两个蓄热室位于熔窑的一端，各有一个单火孔。马蹄窑通常是小规模应用，因为其尺度和附属装置都比较紧凑，同时热损失、能耗以及建筑成本都较低。但是，马蹄熔窑的一大特点是 U 形火焰从一个蓄热室进入邻近的另一个蓄热室，因此很难“覆盖”大玻璃表面（最大表面积约 110~120 m²，且产能大约为 400~500 吨/天）。因此对于生产大面积的玻璃，应首选横焰窑。几乎所有用于平板玻璃制造的熔窑都有侧火孔。

换热式窑/单元熔窑

换热窑用金属热交换器回收热量，利用废气持续预热助燃空气。材料性质限制了气体预热温度在约 750℃ 到 800℃ 之间，但是有些还处于实验阶段的新型熔窑，可承受 900℃ 以上的预热温度。因为气体预热温度较低，这些熔窑的熔融容量比（单位熔窑面积）与蓄热窑比约低 30%。这种熔窑主要用于需要高灵活性且初始资金有限的生产项目。在小规模生产中，蓄热器的使用从经济上讲不可行。换热窑通常用于小容量的装置，也存在一些大容量熔窑（可达 400 吨/天）。单元熔窑（直燃窑）可以不必装备换热器，但是现在大多数已经安装。通常，换热窑和单元熔窑的安装所需土方工程较少。

全氧助燃窑

全氧助燃是以氧气替代助燃空气。去除助燃气中的氮气能减少废气量，从而避免使用热量回收系统。由于系统中被加热到燃烧温度的是氧气而非空气（含 80% 的氮气），熔窑的能耗也因而减少。一些全氧助燃窑使用废气预热配合料和碎玻璃。产生的 NO_x (kg/kg 玻璃) 有效减少，但是，因为烟气流量减少，NO_x 的浓度比常规高出很多。全氧助燃窑的基本设计与单元熔窑相似，特点就是有多侧向燃烧器和一个废气出口。其应用要仔细权衡成本，这一部分在下一节进行讨论。

电熔窑

电熔窑内建有耐火的熔融构架，电极从炉的侧面、上面，或者更常见的是从底部插入。电熔窑通常较小，特别适用于特种玻璃的制造。电加热避免了化石燃料的使用和配合料的飞散，从而消除了燃烧副产物的形成，因而显著减少了熔窑的污染物排放。而且，电熔窑可充分密封，所以尤其适于配合料的污染排放特别严重时使用。



间歇式熔窑

这类熔窑适用于少量玻璃的生产，尤其适合玻璃配方经常改变的情况。罐式或日池式熔窑用于熔融原材料的配合料。一些熔窑使用简单的换热器，该换热器呈同心圆柱状，可预热空气温度至 300℃ 到 400℃。但大部分这类熔窑没有安装空气预热系统。

电助熔和氧助熔

完全的电热熔窑是存在的，但是更常见的是使用电“助熔”供热，辅助蓄热窑或换热窑中的燃料燃烧。当一般的火焰（底焰）难以加热玻璃的特定区域或者需要特定的温度分布时，通常采用电助熔以达成目标。当需要短期提高产量，或者想在不大规模重建的前提下提高熔窑产能时，也可以使用电能助熔。电助熔所消耗的电能通常占总能耗的 4%~10%。类似地，氧助熔（在部分燃烧器中用氧气替代助燃空气）用于在特定情况下增加熔窑产量。通常，10%~30% 的助燃空气由氧气替换。

在熔窑燃料使用方面，燃氧窑和电窑都减少了燃料的使用，且因为废气量的充分减少，以及往往投资成本降低，没有必要安装余热回收系统。尽管如此，这些技术需要在经济、能源和环境各方面形成一种正确的平衡，从而决定氧气和电生产相关的能源和环境问题。这些技术的经济可行性主要取决于电力和化学燃料的相对成本，需要根据不同的案例具体情况具体分析。