

大气污染源控制手册编写组 编

玻璃工业大气污染源 控制手册

中国环境科学出版社

玻璃工业大气污染源控制手册

《大气污染源控制手册》编写组 编

中国环境科学出版社

·北 京·

图书在版编目(CIP)数据

玻璃工业大气污染源控制手册/《大气污染源控制手册》编写组编. —北京: 中国环境科学出版社, 2001. 11

ISBN 7-80163-221-4

I. 玻… II. 玻… III. 玻璃-化学工业-空气污染-工业污染-污染控制-手册 IV. X781.5-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2001)第 078123 号

中国环境科学出版社出版
(100036 北京海淀区普惠南里 14 号)
北京市联华印刷厂印刷
各地新华书店经销

2001 年 11 月第 一 版 开本 787×1092 1/16

2001 年 11 月第一次印刷 印张 6 3/4

印数 1—3 000 字数 110 千字

定价: 18.00 元

大气污染源控制手册编写名单

日本方

主 编：日本环境省大气保全局大气规制课
副 主 编：海外环境协力中心
株式会社爱克斯都市研究所

中国方

主 编：洪少贤
副 主 编：樊元生 李 蕾 焦志延
编写组成员：刘 孜 黄慧娟 吕文艳 周水华 汤大钢
陈 岩 杜 渐 张 杰 罗宜平 董景春
杨建军 郝彦伟 黄树林 夏昌建 薛延清
鄂保良 黄四领 徐建池 卢子文 张德发
崔 强

前 言

近年来，东南亚发展中国家以快速城市化、工业化为背景的大气污染问题越来越严重，而且这些发展中国家针对发生源污染物的削减技术和测量技术往往又不十分普及，处于较难有效实施防治大气污染措施的状态。

另一方面，日本曾经有过随着经济的高速增长产生严重公害问题的教训，通过行政手段和产业界的积极协作，从而在大气污染防治方面取得了显著成果。

我们认为通过以上过程所积累的大气环境保护措施的一些专业知识和经验，对发展中国家会有很大帮助。

为此，日本环境厅为援助发展中国家防治大气污染，自1995年开始，根据各地的实际需求，编写了一系列主要工业行业大气污染对策手册，旨在推广普及此项事业。1995年和1996年，以中国的火力发电业和钢铁业为目标，以在中国进行的实际情况调查和制定手册方案为基础召开了研讨会，和行政人员和企业相关管理者交换意见后，编制了火力发电业和钢铁业大气污染对策手册。同样地，1997年和1998年编写了有色金属（铝、铜制造业）和水泥制造业手册；1999年和2000年编写了玻璃制造业和肥料制造业手册。

本手册是以发展中国家的环境保护行政人员、工厂公害防止技术工作者为对象编成的，并分发给广大发展中国家的有关机构，我们希望今后有关人员充分利用该手册，以推动发展中国家大气污染防治对策的实施。

另外，在本手册的编制过程中，得到了中国国家环境保护总局、（社）海外环境协力中心、（株）爱克斯都市研究所、（财）北九州国际技术协力协会等多方支持与合作。

日本环境省环境管理局大气环境课

2001年3月

目 录

1 玻璃行业大气污染问题

1.1 玻璃行业概要	1
1.1.1 玻璃制造工艺	1
(1) 玻璃的种类与原料	1
(2) 玻璃制造工艺概要	2
(3) 玻璃生产方式概要	3
1.1.2 玻璃熔炉的种类与构造	3
(1) 池炉	3
(2) 坩埚炉	5
(3) 电熔炉	6
1.2 玻璃制造工艺中产生的大气污染物	8
1.2.1 烟尘、粉尘	8
1.2.2 SO_x	8
1.2.3 NO_x	9
(1) 池炉	9
(2) 坩埚炉	10
(3) 电熔炉	10
1.2.4 其他有害物质	11
(1) 铅及其化合物	11
(2) 氟及其化合物	11

2 玻璃行业大气污染控制对策

2.1 玻璃行业的环境管理	13
2.1.1 环境管理的概念	13
2.1.2 环境管理体系	13
2.1.3 环境影响评价	13
(1) 环境监测数据的取得	14
(2) 环境变化预测	15
2.1.4 环境标准及排放标准	15
(1) 中国、发达国家及 WHO 的主要大气环境标准	15
(2) 日本大气污染物排放标准	15
2.1.5 建厂与治理设备的计划	17
(1) 方案的确定	17
(2) 治理设备的设计	17
2.1.6 操作管理与员工教育	19
2.1.7 环境监测	19

2.1.8 环境管理体制	19
2.2 节能技术	20
2.2.1 节约能源	20
(1) 基本方针的制定	20
(2) 现状的把握	20
(3) 目标的确定	20
(4) 方案的确定	20
2.2.2 助熔	20
(1) 增加碎玻璃的使用比例	20
(2) 主原料的细粒化	22
(3) 原料(配合料)的水分管理	22
(4) 良好的玻璃组成提高熔化性能	22
2.2.3 燃烧	23
(1) 燃烧管理	23
(2) 燃烧管理操作的规范	24
(3) 防止空气侵入	25
(4) 挡住玻璃熔炉溢出的火焰	26
(5) 改善与更换燃烧器	26
2.2.4 加强保温和减少冷却	27
(1) 加强保温	27
(2) 减少冷却	30
2.2.5 废热回收	30
(1) 提高蓄热室、换热室的效率	30
(2) 安装废热锅炉	31
(3) 利用废热预热碎玻璃	31
2.2.6 电力	31
(1) 引入同时供热供电系统	31
(2) 大型鼓风机上采用变频调节阀, 控制电流变化	31
2.2.7 薄板化、轻量化	31
(1) 日本玻璃瓶协会的举措	31
(2) 可回收啤酒瓶的轻量化	31
(3) 不可回收瓶的轻量化	31
2.2.8 生产工艺的稳定化	32
2.3 大气污染控制对策技术	32
2.3.1 粉尘削减法	32
(1) 从燃料及操炉入手, 减少粉尘	32
(2) 集尘、除尘	33
2.3.2 SO _x 削减法	40
(1) 燃料的低硫化	40
(2) 原料(Batch)中的硫酸盐的削减	40

(3) 排烟脱硫·····	40
2.3.3 NO _x 削减法·····	45
(1) 硝酸盐的削减·····	46
(2) 从燃料上削减 NO _x ·····	47
(3) 用操作方法削减·····	47
(4) 低 NO _x 燃烧器·····	50
2.3.4 其他有害物质削减法·····	53
(1) 镉及其化合物·····	53
(2) 铅及其化合物·····	53
(3) 氟及其化合物·····	54
3 大气污染物质的监测与分析技术	
3.1 大气污染物质的监测、分析方法 ·····	56
3.1.1 烟尘量的监测方法·····	56
(1) 监测目的与监测方法·····	56
(2) JIS Z8808 “烟气中粉尘浓度的测定方法”概要·····	57
(3) 等速采样·····	57
(4) 测定位置与测定点·····	57
(5) 废气中含水量的测定·····	58
(6) 烟气流速及流量的测定·····	58
(7) 采样管嘴和粉尘收集器·····	58
(8) 粉尘浓度的计算·····	60
3.1.2 烟气中的 SO _x 的测定方法·····	60
(1) 化学分析法 (JIS K0103)·····	60
(2) 连续分析、自动监测仪器 (JIS B7981)·····	63
3.1.3 烟气中 NO _x 的测定方法·····	64
(1) 化学分析法 (JIS K0104)·····	64
(2) 连续分析、自动监测仪器 (JIS B7982)·····	66
3.1.4 烟气中的其他有害物质的测定方法·····	67
(1) 氟化物的分析方法·····	67
(2) 镉及铅的分析方法·····	68
3.2 烟尘的扩散 ·····	68
3.2.1 大气污染与扩散·····	68
(1) 烟囱排放口周围烟气的扩散与下沉·····	69
(2) 烟气的抬升与有效烟囱高度·····	69
(3) 落地浓度·····	70
(4) 气温梯度、大气稳定度和自由对流·····	70
(5) 大气边界层·····	72
(6) 海陆风、城市热岛·····	74
3.2.2 扩散浓度的计算方法·····	74

(1) 烟云抬升高度的计算·····	74
(2) 烟气扩散法·····	75
4 日本的玻璃制造业控制大气污染的经验	
4.1 日本玻璃制造业的历史 ·····	78
4.1.1 玻璃的起源·····	78
4.1.2 海外技术的引进与玻璃工业的鼎盛时期·····	78
4.1.3 战后的复兴·····	79
4.2 日本有关玻璃行业大气污染的法规标准 ·····	79
4.2.1 发展生产振兴产业时期·····	79
4.2.2 战后经济高速增长期·····	80
4.2.3 公害问题的出现与对策实施·····	80
4.3 日本玻璃行业的环境问题和所采取的对策 ·····	80
4.3.1 玻璃行业环境问题产生的背景·····	80
4.3.2 玻璃行业的公害对策·····	81
4.3.3 汲取的教训·····	82
5. 发展中国家玻璃行业大气污染防治对策的现状 ·····	83
5.1 玻璃行业的现状 ·····	83
5.1.1 平板玻璃·····	83
5.1.2 日用玻璃·····	84
5.2 大气污染与防治对策的现状 ·····	84
5.2.1 能源状况·····	84
(1) 能源消耗状况·····	84
(2) 化石燃料消耗量的构成·····	86
5.2.2 大气污染的现状与防治对策·····	86
(1) 大气污染的现状·····	86
(2) 大气污染防治对策·····	87
5.2.3 墨西哥的实例·····	87
(1) 玻璃厂(A)·····	87
(2) 玻璃厂(B)·····	88
5.2.4 中国的实例·····	89
(1) 污染状况·····	89
(2) 治理方案·····	89
(3) 治理后的环境·····	89
5.3 实例研究(中国) ·····	90
5.3.1 中国的浮法玻璃厂实例·····	90
(1) 工厂概要·····	90
(2) 原料和燃料·····	90
(3) 大气污染防治措施·····	90

(4) 感想.....	90
5.3.2 中国瓶罐玻璃厂实例.....	90
(1) 工厂概要.....	90
(2) 原料	91
(3) 大气污染防治措施.....	91
(4) 污水处理.....	91
(5) 感想.....	91
5.3.3 中国玻璃厂的课题与建议.....	91
参考文献	93

1. 玻璃行业大气污染问题

玻璃制造工艺的一个最大特点是，虽有个别的产品需要经过二次加工，但多数产品通常是由原材料到最终产品一次成型。毫无疑问，把粉状材料当作原料使用，除产生粉尘外，如果原料在高温炉中熔化产生的废气未经过处理，也会向大气中排放大量有害气体。

从环境保护角度出发，对生产过程中产生的含有害物质的废水也必须引起重视，但在本文中，对这部分作了省略，仅就如何处理排放到大气中的粉尘、烟尘以及有害物质进行重点论述。

1.1 玻璃行业概要

1.1.1 玻璃制造工艺

(1) 玻璃的种类与原料

玻璃制品种类繁多，形状各异。

按成分分类，分为与人们生活密切相关的普通玻璃（即钠钙玻璃）和硬质玻璃（即硼硅酸盐玻璃、铅玻璃、无碱玻璃等）。

按形状分类，分为平板玻璃、瓶罐玻璃（食用器皿玻璃）、照明用玻璃、理化仪器玻璃、医用玻璃、电气玻璃、玻璃纤维、光学玻璃、粉末（熔块）玻璃。

近几年来，日本玻璃产量波动较大，表 1-1 列出了日本 1994 年和 1998 年玻璃年生产量。

表 1-1 日本玻璃年生产量

玻璃种类	1994 年	1998 年
平板玻璃（建筑用、汽车用）	3183 万换算箱	2603 万换算箱
瓶类的容器（饮料、食品容器、化妆品、药用）	244 万 t	197 万 t
玻璃基础制品（医用容器、照明用镜头、电灯类用、电子管用）	87 万 t	75 万 t
理化学医疗用	1.1 万 t	1.2 万 t
厨房餐桌器皿、家庭用品	11.8 万 t	10.8 万 t
光学用玻璃原料	0.6 万 t	0.9 万 t
玻璃纤维	603 万 t	624 万 t
其他玻璃制品	8.3 万 t	9.0 万 t

注：平板玻璃的换算箱是以厚 2mm、面积 9.29m²（100ft²）为基准换算的箱数来表示。

来源：通产省《窑业·建材统计年报》和通产大臣官房调查统计部纤维杂货统计调查室的数据。

经研究发现，化学元素中的 1/7 共 14 种元素及其化合物可作为玻璃原料。可分为主要原料和辅助原料。主要原料，具有物理和化学双重性质。包括二氧化硅 (SiO_2)、氧化铝 (Al_2O_3)、氧化硼 (B_2O_3)、五氧化二磷 (P_2O_5)、氧化钠 (Na_2O)、氧化钾 (K_2O)、氧化钙 (CaO)、氧化镁 (MgO)、氧化钡 (BaO)、氧化铅 (PbO)，氧化亚锌 (ZnO) 等，此外，还有碎玻璃。

辅助原料包括作着色剂的硒和钴等金属氧化物、作玻璃澄清和促进熔化的硝酸盐、亚砷酸以及芒硝 (Na_2SO_4)。

(2) 玻璃制造工艺概要

玻璃制造工艺如图 1-1 所示。为在高温下熔化达到均质化，首先将原料粉碎，直到符合要求的粒度、然后在高温下熔化（熔化过程）、最后去除熔化后玻璃中的气泡和杂质，进行均化

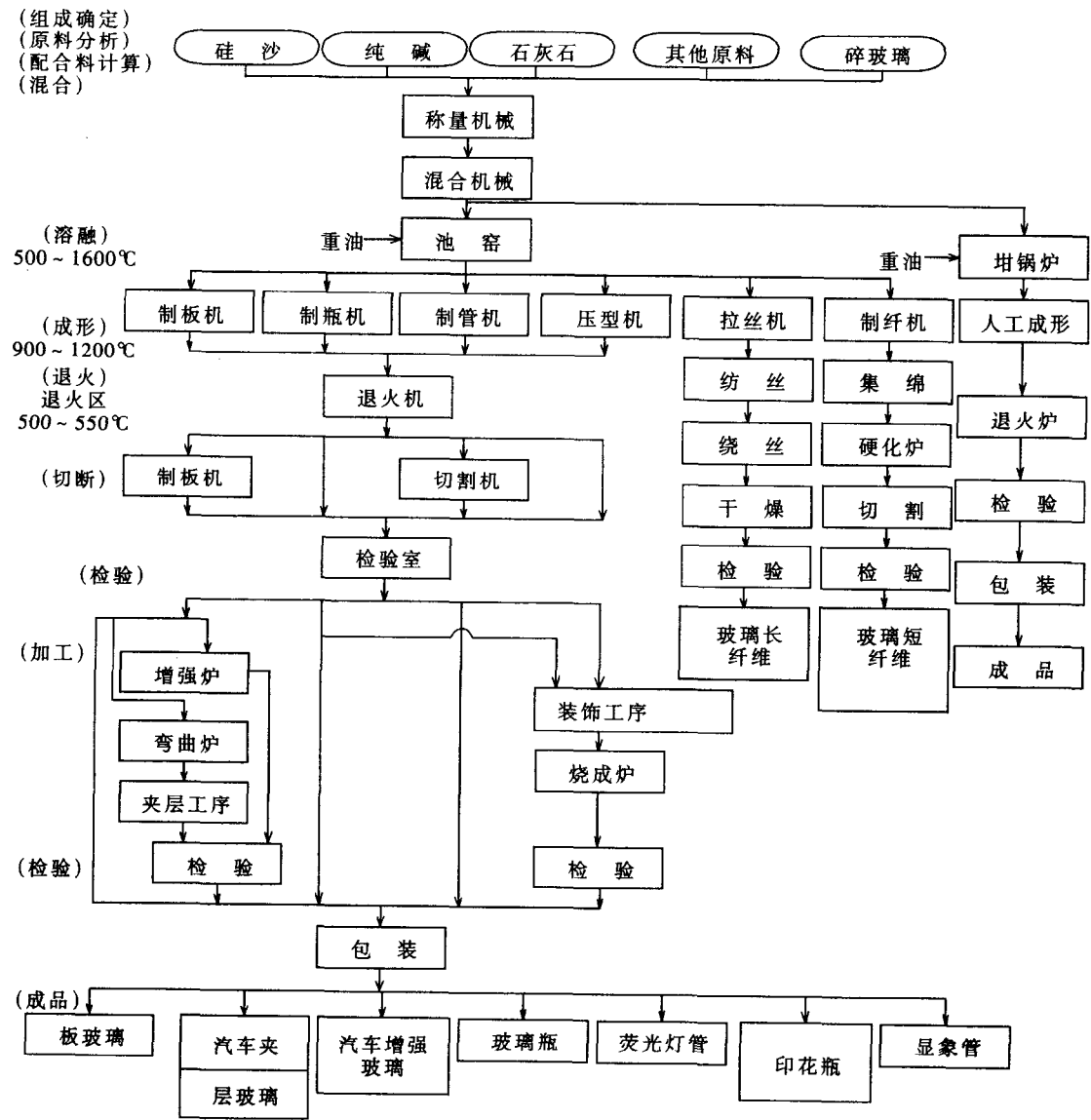


图 1-1 玻璃的制造工艺

(澄清过程)。根据所定产品形状将玻璃液调整到适当温度，进入成型工序。成形后，趁玻璃尚未冷却，进行退火处理。另外，还要经过烧磨、研磨、着色、印刷等二次工序才能形成最终成品。

(3) 玻璃生产方式概要

现代玻璃生产方法比较复杂，按熔化与成型这两组分类，分为以下几种。

- ①品种少、产量大的（连续式池炉溶解 + 机械成型方式）组合
- ②品种多、产量小的（连带式坩埚炉溶解 + 人工成型）的组合

此外，还有特殊的制造光学玻璃的单坩埚炉，制造粉末（熔块）玻璃的、具有特殊机能和形状的小型连续炉。

1.1.2 玻璃熔炉的种类与构造

(1) 池炉

一般大型企业多采用池炉，适合大批量生产。主要用于生产平板玻璃、瓶罐玻璃、食用器皿等普通玻璃（钠钙玻璃）以及照明用、耐热、医疗用硬质玻璃、玻璃纤维用无碱玻璃。

池炉的规格、型号主要取决于企业的规模、产品的种类。

池炉包括横火焰池炉、马蹄形火焰池炉和单元炉三种类型。玻璃的生产规模、种类决定池炉的用途。

横火焰池炉(见图1-2),熔化能力为每日100t以上的大型熔炉。常用来生产平板玻璃、大型

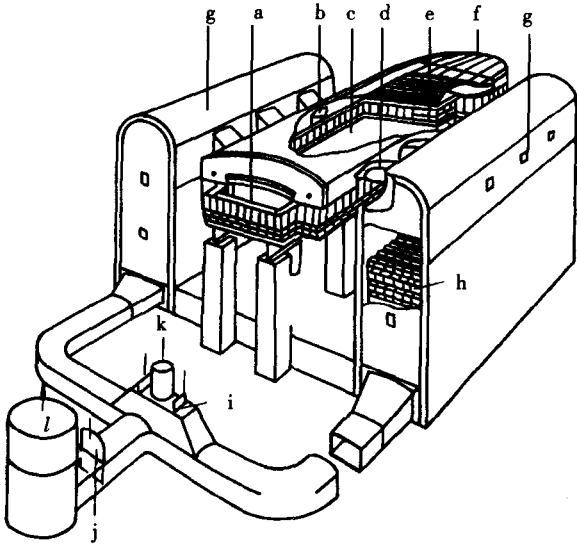


图 1-2 横火焰炉

- | | |
|------------|---------|
| a—加料口 | g—蓄热室 |
| b—喷火口 | h—格子体 |
| c—熔化池 | i—换向器 |
| d—小炉 | j—烟道闸板 |
| e—流液洞 | k—空气流入口 |
| f—工作部（澄清槽） | l—废气出口 |

瓶罐玻璃和部分电气玻璃。蓄热室分设在炉池的左右两侧，炉内火焰分布合理，火焰对玻璃液的加热面积大，热点位置容易控制，能有效地提高玻璃的熔化质量和熔化率。

马蹄形火焰池炉（见图 1-3），主要用来生产瓶罐玻璃和电气玻璃。生产规模小，适用于中小型熔炉。与横火焰池炉相比，马蹄形火焰池炉炉内火焰形状呈 U 字形（马蹄形），火焰在炉内的行程较长，有利于充分燃烧，蓄热室设在熔化部的端头，结构紧凑。

单元式熔炉（见图 1-4），与以上两种池炉不同的是，炉形狭长（幅长比为 1: 3~4）、燃烧室较短（60~90cm），主要生产玻璃纤维和特长纤维。基于单元设计上的考虑，炉内火焰与玻璃液作逆向流动，玻璃液的流动路线较长，可以有充分的澄清和均化时间。

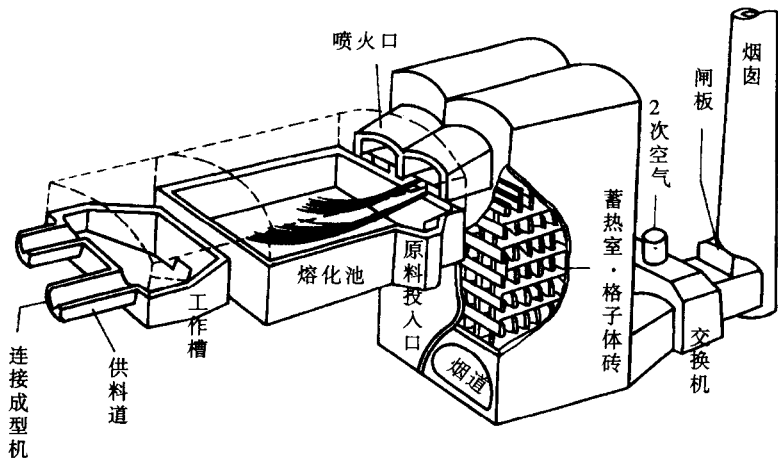


图 1-3 马蹄焰池炉

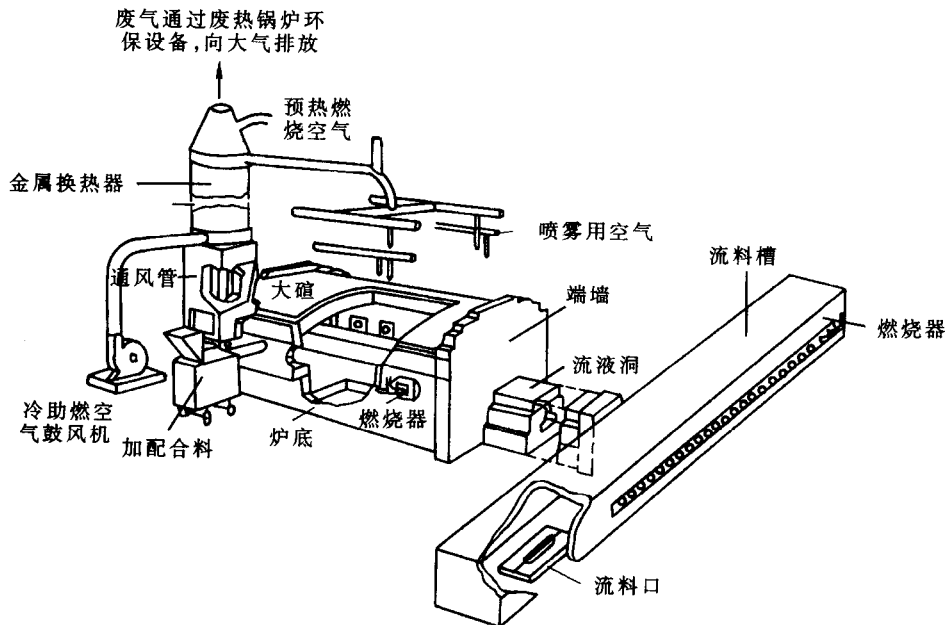


图 1-4 单元式熔炉

从保护环境出发，为减少废气的排放量，近年来开始实行富氧燃烧法。由于这种方法无需蓄热室，所以比较适合大型炉。

(2) 坩埚炉

主要生产光学玻璃、釉料以及用人工成型方法生产的钠钙玻璃和铅玻璃。炉中放置有许多坩埚，在坩埚四周加热。配合料可分批投入到各坩埚中。当配合料在坩埚中完成熔制、澄清和冷却后即可进行成型操作。在成型结束后，又可以重新分次按批投入配合料，进行下一循环的熔制周期。坩埚炉的熔制周期，即从第一次加料开始到这坩埚料成型结束一般为一日夜。坩埚炉占地少、投资省，同一炉内可熔制多种不同组成或不同颜色的玻璃，生产灵活性大，适合于生产品种多、产量少、质量要求高或有特殊工艺的玻璃。

坩埚炉又分为开口坩埚炉和闭口坩埚炉。开口坩埚主要用于生产光学玻璃，闭口坩埚主要用于生产其他玻璃。坩埚炉的燃料主要有重油、轻油、液化天然气（LNG）、液化石油气（LPG）。在设计上为调节二次空气量，以形成长火焰加热坩埚，同时为了预热二次空气，设有换热器或蓄热室。

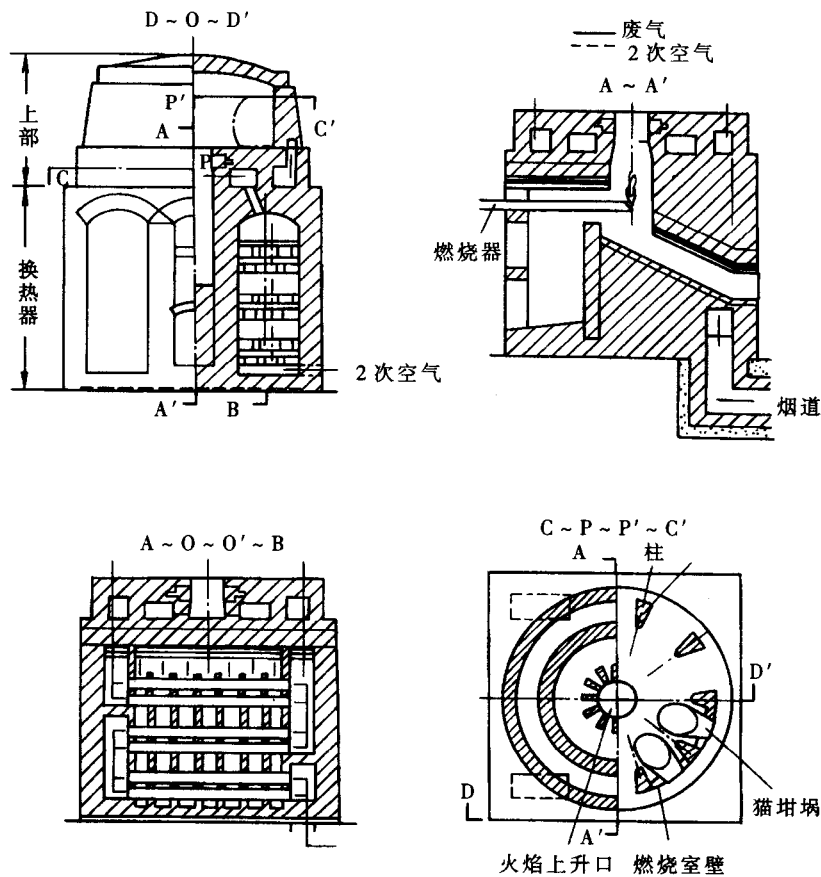


图 1-5 连带坩埚炉一例

1) 开口坩埚炉

开口坩埚主要用于熔制光学玻璃，虽可达数百种之多，但都有很高的质量要求。开口坩埚炉的制造方式为分期分批型。

炉的烧结，要经过投料（下种）、煮、搅拌、输送几道工序，此间，温度在 $800 \sim 1500^{\circ}\text{C}$ 范围内变化，是制作水平很高的特殊炉。

2) 闭口坩埚炉

主要用来生产手工餐用器皿、工艺品玻璃、小型照明用玻璃等品种多数量少的玻璃。为了取料，设有横向的挑料口（与猫弓起背的坐姿相似，所以称猫坩埚）。有 $6 \sim 12$ 只坩埚呈放射状放置在圆形坩埚中（又称连带坩埚炉）。在加热时，由于火焰是通过坩埚壁对玻璃进行传热，因此传热效率低。与开口坩埚不同，闭口坩埚炉在熔制颜色玻璃时，使火焰与坩埚内的玻璃液无法直接接触，所以最便于控制颜色。目前，在生产量少品种多情况下，中小企业一般采用人工延压或吹制成型的方法。

在闭口坩埚中，除圆形坩埚炉外（见图 1-5），还有少数被称为扇炉的小坩埚，其体积仅为坩埚炉的几分之一。

(3) 电熔炉

电热熔化玻璃，主要有 2 种方法，一种是利用电阻发热体的热辐射间接加热。通常放在电炉内对闭口坩埚间接加热，通称电加热炉；另一种是利用电极在玻璃液中通电直接加热。这种方法是在玻璃深处进行的，预先用适当的方法把玻璃加热，在熔融状态下从电极通入电流，在玻璃内部产生焦耳热（Joule heat），就能使玻璃保持连续熔融状态。由于电流的工业电频率交流较好，近年来这种炉的数量在逐渐增多。通常称它为电熔炉。

1) 电加热炉

在低温熔化时，一般用碳化硅发热体加热，但在温度更高（ 1700°C 时），则使用近年来广泛普及的二硅化钼电热元件间接加热开口坩埚或单坩埚（见图 1-6）。

2) 电熔炉

直接通电型电熔炉分热炉顶型和冷炉顶型两种。

热炉顶型熔炉通常在玻璃液内部插入电极通电加热的同时，还在玻璃液表面，利用发热体辅助加热。在通常情况下，电炉与坩埚式连带炉一样，能够连续熔融，但很多厂家都把卷曲成型等工序集中在白天完成。由于从炉中取出玻璃量随时间而变动，所以很难保证质量的稳定。现在生产量较大的、企业都开始采用冷炉顶型。

冷炉顶型电熔炉（见图 1-7），又称配合料覆盖式电熔炉，即从熔化池上部均匀地投入配合料，配合料层下部通入电极，对玻璃进行加热，熔化，澄清。以下两点可以说明这种炉不会产生大气污染。

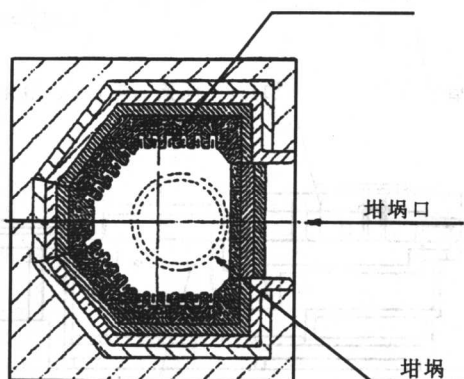
①由于不使用煤气、液化气等燃料，所以不会从原料中产生 SO_x 、 NO_x 。

②由于熔化池表面的配合料覆盖层（粉状）有较强的隔热性，使上部空间温度很低（一般不超过 200°C ），因此，玻璃中的挥发分（如氟化物、硼化物、铅化物、澄清剂等）即使在熔化池的下部加热挥发，也会被上部的覆盖层全部吸收，不会排放到炉外。

20 世纪 60 年代后半期，玻璃行业引起的大气污染问题日趋成为焦点，这种熔化玻璃的方法作为减少污染的生产方式，曾一度被开发和推广。它不只用于生产制造钠钙玻璃，现在全世界几乎都用这种方法制造晶质玻璃或特种玻璃（硬质玻璃）。

平面图

加热器



断面图

加热器

坩埚口

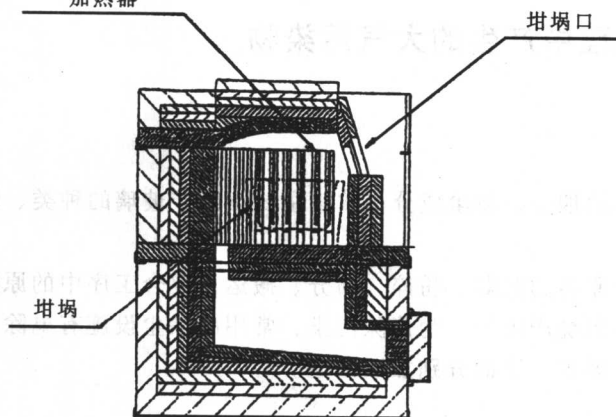


图 1-6 电加热炉