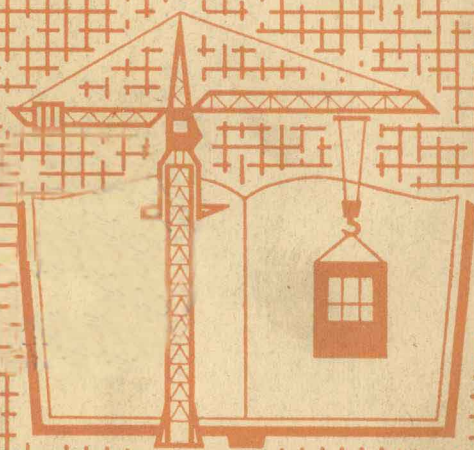


硅酸盐工业热工过程及设备

下 册

玻璃工业热工设备

上 海 化 工 学 院
浙 江 大 学 编
武汉建筑材料工业学院



高等学校试用教材

中国建筑工业出版社

高等学校试用教材

硅酸盐工业热工过程及设备

下 册

玻璃工业热工设备

上海化工学院
浙江大学 编
武汉建筑材料工业学院

中国建筑工业出版社

硅酸盐工业热工过程及设备为高等学校硅酸盐类各专业本科教学用书。分上、下两册。上册为理论基础部分,介绍窑炉中的气体力学、燃料及燃烧计算、燃料燃烧过程及设备、传热学四章。下册为专用设备部分,按专业性质不同,分成玻璃、陶瓷、水泥三个分册。

本书为玻璃分册。阐述玻璃工业专用热工设备(如池窑、坩埚窑、退火窑等)的窑型结构,工作原理,设计计算及改进途径等。

本书亦可供工程技术人员阅读。

高等学校试用教材
硅酸盐工业热工过程及设备
下 册

玻璃工业热工设备
上海化工学院
浙江大学编
武汉建筑材料工业学院

*

中国建筑工业出版社出版(北京西郊百万庄)
新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售
中国建筑工业出版社印刷厂印刷(北京阜外南礼士路)

*

开本: 787×1092毫米1/16 印张: 20¹/₂ 字数: 499千字

1980年12月第一版 1980年12月第一次印刷

印数: 1— 3,920 册 定价: 2.10元

统一书号: 15040·3919

序

本书是“硅酸盐工业热工过程及设备”课关于玻璃工业热工设备的专册。

玻璃生产中专用的热工设备统称为玻璃窑炉，其中包括玻璃熔窑、退火窑和一些玻璃加工用的窑炉。玻璃熔窑在玻璃生产中起着十分重要的作用，常比作为玻璃工厂的“心脏”。玻璃退火窑也是一个关键的设备，它对成形好的制品能否使用有着决定意义。

虽然很早就出现了玻璃坩埚窑，但1867年第一座连续式玻璃池窑雏型的出现，才使得玻璃熔窑发展史上起了根本性转折。直到十九世纪末才接近目前池窑的结构。近卅年来，随着工业技术的进步，玻璃熔窑的生产技术指标也有较大提高。但综观整个玻璃熔窑发展史，可以看出它的发展是和冶金炉的发展分不开的，我们必须重视和借鉴外专业的经验。

根据我国考古发掘证明，远在春秋战国时代就掌握了玻璃制造技术，有了1200~1300℃的高温窑炉。但由于长期在封建主义、帝国主义和官僚买办的反动统治下，我国的玻璃窑炉极其落后，反映在窑型陈旧、设备简陋、操作繁重、技术指标很低。解放后，在党的领导下，玻璃窑炉发展很快，新窑型大量涌现，窑结构不断改进，燃料结构也发生了根本变化，优质耐火材料广泛采用，作业指标大幅度提高，热工自动控制日益完善，新工艺、新技术正在逐渐推广。当前，在“四个现代化”的宏伟目标鼓舞下，玻璃窑炉的生产正朝向自动化和高效率迈进。

玻璃窑炉的设计、施工和管理，传统上都由玻璃工艺人员负责。在本专业的培养目标中也明确规定了要具有独立设计窑炉的能力。因此，本书内容以设计为中心，详细阐述玻璃窑炉的窑型结构、工作原理、设计计算和改进途径。配以筑炉实习和设计作业等实践环节。至于玻璃窑炉的热修、冷修和热工测定等内容安排在现场教学。

本课程共讲授80学时。各章分配为：第一章42学时，第二章6学时，第三章10学时，第四章10学时，第五章12学时。

本书由上海化工学院孙承绪、周志豪主编。编写的分工为：第一、三章——上海化工学院孙承绪、周志豪、郑达德，第一章第六、八节——浙江大学沈锦林、王秀芳，第二、四章——浙江大学蒋欣之，第五章——武汉建材学院曹文聪。上海化工学院毛文达、陈宝生、孙世珍，上海电子管四厂刘经伟参加了部分编写工作。

本书审稿工作由上海耀华玻璃厂许学源主持。参加审稿的人员有：上海轻工业专科学校陈润生，西北轻工业学院黄照柏和陆洪炳，武汉建材学院孙晋涛，上海建材专科学校徐佐璋，北京工业大学卢义芳，上海玻璃搪瓷研究所姜传德，建材部第一玻璃工业设计研究院瞿果芳，轻工业部第一轻工业设计院黄福娜，上海耀华玻璃厂杨浩德，上海玻璃瓶一厂王明昌。

新型建筑材料设计研究院陈正树和北京玻璃二厂王澍德参加了部分审稿工作。

限于编者水平和时间，错误处请读者不吝指正。

编者

一九七九年九月

目 录

第一章 玻璃池窑	1
第一节 玻璃的熔制过程	1
第二节 分类、构造与窑型	2
第三节 工作原理	20
第四节 作业制度	53
第五节 结构设计	59
第六节 砖结构和钢结构计算	102
第七节 热工计算	135
第八节 砌窑用耐火材料	156
第九节 发展近况	165
第二章 坩埚窑	177
第一节 分类与窑型	177
第二节 构造	182
第三节 工作原理	185
第四节 简易设计	191
第三章 退火窑	196
第一节 玻璃退火过程与退火制度	196
第二节 分类与窑型	208
第三节 间歇式退火窑	209
第四节 半连续式退火窑	210
第五节 连续式退火窑	212
第六节 退火窑的计算	221
第四章 固体燃料的气化与煤气发生炉	226
第一节 玻璃生产中应用的发生炉煤气	226
第二节 混合发生炉煤气的制造原理	230
第三节 固体燃料性质对气化过程的影响	241
第四节 煤气发生炉的构造	244
第五节 煤气发生炉的操作对气化过程的影响	249
第六节 煤气的净化	251
第七节 煤气发生站	254
第八节 简易煤气发生炉的设计计算	256
第五章 余热回收设备	259
第一节 换热器	259
第二节 蓄热室	284
第三节 余热锅炉	302
附录 玻璃窑炉专用耐火材料规格（供参考）	306

第一章 玻璃池窑

第一节 玻璃的熔制过程

按照料方混合好的配合料，经过高温加热形成玻璃液的过程，叫做玻璃的熔制。熔制过程的目的是要获得均匀、纯净、透明，并适合于成形的玻璃液。

玻璃熔制是玻璃制造中的主要过程之一。熔制速度和熔制的合理性对产品的质量、产量和成本的影响很大。

玻璃熔制过程可分为依次进行的五个阶段：

一、硅酸盐形成阶段

配合料入窑后，在高温（约 $800\sim 1000^{\circ}\text{C}$ ）作用下迅速发生一系列物理的、化学的和物理-化学的变化，如粉料受热、水分蒸发、盐类分解、多晶转变、组分熔化以及石英砂与其它组分之间进行的固相反应。这个阶段结束时，配合料变成了由硅酸盐和游离二氧化硅组成的不透明的烧结物。硅酸盐形成速度决定于配合料性质和加料方式。

二、玻璃液形成阶段

配合料加热到 1200°C 时，形成了各种硅酸盐，出现一些熔融体，还剩一些未起变化的石英砂粒。继续升高温度时，硅酸盐和石英砂粒完全熔解于熔融体中，成为含大量可见气泡的，在温度上和化学成分上不够均匀的透明的玻璃液。

硅酸盐形成阶段与玻璃液形成阶段之间没有明显的界限。硅酸盐形成阶段尚未结束时玻璃液形成阶段已开始。两个阶段所需时间相差很大，硅酸盐形成进行得极为迅速，而玻璃液形成却很缓慢。实际熔制时配合料直接加热到 1300°C 左右，硅酸盐形成极快（约 $3\sim 5$ 分钟），要划分这两个阶段很困难。所以生产上把这两个阶段视为一个阶段，称为配合料熔化阶段。

三、玻璃液澄清阶段

玻璃液形成阶段结束时，整个熔融体包含许多气泡和灰泡（小气泡）。从玻璃液中除去肉眼可见的气体夹杂物，消除玻璃中的气孔组织的阶段称为澄清阶段。因为气泡在玻璃液中排出的速度符合斯托克斯定律。当温度升高，玻璃液的粘度迅速降低，使气泡大量逸出。因此，澄清过程必须在较高的温度下进行。

四、玻璃液均化阶段

玻璃形成后，各部分玻璃液的化学成分和温度都不相同，还夹杂一些不均体。为消除这个不均性，获得均匀一致的玻璃液，必须进行均化。

玻璃液的均化过程早在玻璃形成时已开始，然而主要的还是在澄清后期进行。它与澄清过程混在一起，没有明显的界限，可以看作一面澄清，一面均化，而均化的结束往往在澄清之后。

玻璃液均化的达到主要依靠扩散和对流作用。高温是一个主要的条件，因为它可以减

小玻璃液粘度，使扩散作用加强。此外，搅拌是提高均匀性的一个很好的方法。

五、玻璃液冷却阶段

澄清均化后的玻璃液粘度太低，不适于成形，必须把它提高到成形所需的范围，所以玻璃液要均匀冷却到成形温度。根据玻璃液性质和成形方法的不同，成形温度约比澄清温度低200~300℃。

必须指出，以上五个阶段的作用和变化机理各有特点，互不相同，但又彼此密切联系。在实际熔制过程中各阶段之间没有明显的界限，也不一定按顺序进行，有些阶段可能是同时或部分同时进行的。

玻璃熔制过程是在玻璃熔窑内实现的。所以有关玻璃熔窑设计、施工和操作等方面的因素（如窑结构尺寸、窑砌筑材料、窑热工制度、燃料质量和加料方法等）都直接影响着玻璃熔制过程。

按照熔制玻璃所用容器的构造，玻璃熔窑分为池窑和坩埚窑两大类，下面分述之。

第二节 分类、构造与窑型

玻璃池窑是最普遍的一种玻璃熔窑。由于配合料在这种窑的槽形池内被熔化成玻璃液，故名池窑。

通常，玻璃池窑按下列特征予以分类：

一、按使用热源分

（一）火焰窑：以燃烧燃料为热能来源。燃料可以是煤气、天然气、重油或煤。

（二）电热窑（电炉）：以电能作为热能来源。按热生成方法与热量传给玻璃粉料的方法又分成电弧炉、电阻炉（直接电阻炉和间接电阻炉）及感应电炉三种。

（三）火焰-电热窑：以燃料为主要热源，电能为辅助热源。

二、按熔制过程连续性分

（一）间歇式窑：玻璃熔制的各个阶段系在窑内同一部位不同时间依次进行的，窑的温度制度是变动的。

（二）连续式窑：玻璃熔制的各个阶段系在同一时间窑不同部位同时进行的，窑内温度制度是稳定的。

三、按烟气余热回收设备分

（一）蓄热式窑：按蓄热方式回收烟气余热。

（二）换热式窑：按换热方式回收烟气余热。

四、按窑内火焰流动的方向分

（一）横焰窑：窑内火焰作横向（相对于窑纵轴而言）流动，与玻璃液流动方向相垂直。

（二）马蹄焰窑：窑内火焰呈马蹄形流动。有平行马蹄形，垂直马蹄形和双马蹄形几种。

（三）纵焰窑：窑内火焰作纵向流动，与玻璃液流动方向相平行。

五、按制造的产品分

（一）平板玻璃窑：制造平板、压延、夹丝等玻璃。熔化部和冷却部的玻璃液作浅层

分隔为其结构特征。

(二) 日用玻璃窑：制造瓶罐、器皿、化学仪器、医用、电真空及其他工业玻璃。熔化和冷却部（或成形部）的玻璃液作深层分隔为其结构特征。

六、按窑的规模分成大、中、小型。目前有几种划分方法，尚未统一。

(一) 按窑产量分：

大型窑——日产玻璃液150~400吨。

中型窑——日产玻璃液50~150吨。

小型窑——日产玻璃液50吨以下。

(二) 按熔化面积分（对日用玻璃窑而言）

大型窑——40米²以上。

中型窑——20~40米²。

小型窑——20米²以下。

(三) 按引上机台数分（对平板玻璃窑而言）

大型窑——八机以上。

中型窑——四至六机。

小型窑——三机以下。

日用玻璃窑也有控制瓶机台数以及平板玻璃窑也有按日产量或熔化面积划分的。

根据我国目前能源情况，基本上都采用火焰池窑。和一般的工业窑炉相同，火焰池窑构造分为：玻璃熔制，热源供给，余热回收，排烟供气四大部分，在图1-1所示作为代表性实例的蓄热式横焰池窑的立体图中可清楚看出。各部分的结构和作用分述如下：

一、玻璃熔制部分

相应于玻璃熔制过程，池窑窑体沿长度方向分成熔化部（包括熔化带和澄清带）、冷却部（我国平板玻璃厂习惯地把它叫作澄清部，这是不够确切的）和成形部。

(一) 熔化部

熔化部是进行配合料熔化和玻璃液澄清、均化的部分，鉴于现用火焰表面加热的熔化方法，熔化部分为上下两部分。上部称为火焰空间，下部称为窑池。

1. 火焰空间（图1-2）

火焰空间充有来自热源供给部分的炽热的火焰气体（可能含有部分未燃物）。在此，火焰气体将自身热量传给玻璃液、窑墙（通称胸墙）和窑顶（通称大碛）。火焰空间应使燃料完全燃烧，保证供给熔化、澄清所需的热量（尚需留有一定余量）并应尽量减少向外界散热。

火焰空间由胸墙和大碛构成。为便于热修，胸墙和大碛均单独支承。胸墙由托铁板（用铸铁板或角钢）支承。用下巴掌铁托住托铁板。在胸墙底部设挂钩砖，挡住窑内火焰，不使其穿出烧坏托铁板和下巴掌铁。挂钩砖被胸墙压住，更换困难。因此，又用活动护头砖来保护之，护头砖搁在下间隙砖上。

大碛有平碛和拱碛两种。平碛向外散热面最小，但需用大量铁件将其吊起（亦称吊顶），一般多用拱碛。按照碛的股跨比（即 $\frac{\text{碛股} f}{\text{碛跨} s}$ 的比值，亦称窑碛升高），拱碛分为半

圆碛（ $f = \frac{1}{2} s$ ）、标准碛（ $f = \frac{1}{3} \sim \frac{1}{7} s$ ）、倾斜碛（ $f = \frac{1}{8} \sim \frac{1}{10} s$ ）和悬挂碛

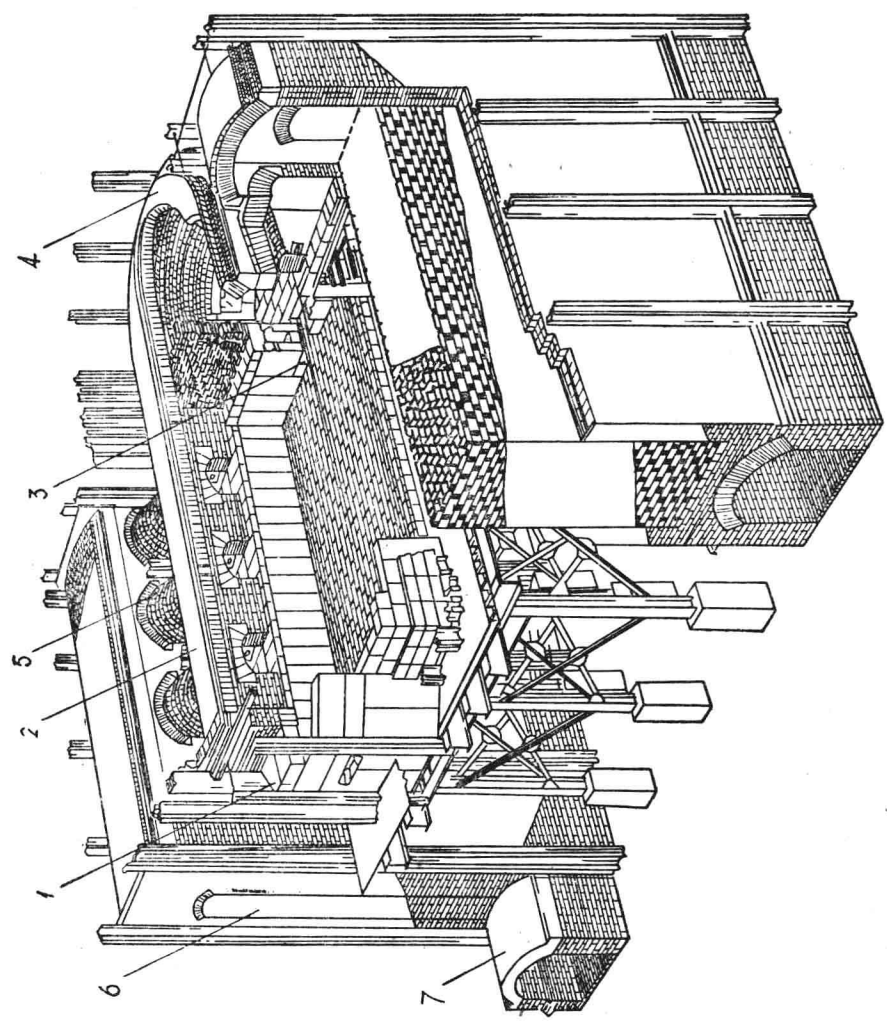


图 1-1 蓄热式横焰池窑立体图

1—投料口，2—熔化部，3—流液洞，4—冷却部，5—小炉，6—蓄热室，7—烟道

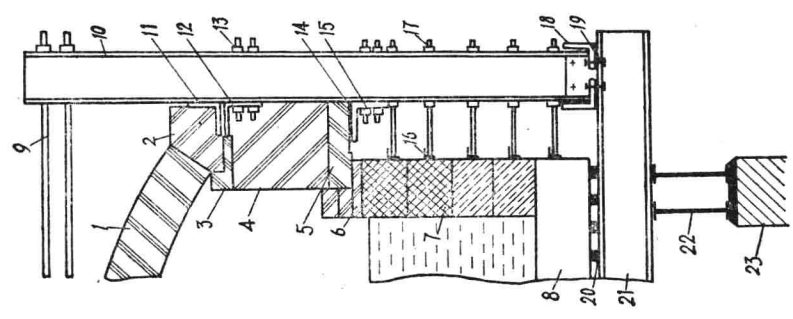


图 1-2 横焰窑熔化部剖面图

1—窑顶(大碛)，2—碛脚(碛碴)，3—上间隔砖，4—胸墙，5—挂钩砖，6—下间隔砖，7—池壁，8—池底，9—拉条，10—立柱，11—碛脚(碴)角钢，12—上巴掌铁，13—联杆，14—胸墙托板，15—下巴掌铁，16—池壁顶铁，17—池壁顶丝，18—柱脚角钢，19—柱脚螺栓，20—扁钢，21—次梁，22—主梁，23—窑柱

($f = \frac{1}{12} s$) 四种。大碓多为倾斜碓。

大碓的横推力压在两边碓碓砖上(也叫碓脚砖), 碓碓砖由碓碓角钢托住, 同时也保护了角钢不受窑内火焰烧损, 用上巴掌铁托住碓碓角钢。上、下巴掌铁都固定在立柱上, 它们所承受的重量都转嫁到立柱上。窑两侧用立柱夹住, 两侧立柱顶端间用拉条拉紧, 根据大碓胀缩情况调节拉条的松紧。

在大碓和胸墙之间的缝隙用上间隙砖填塞。

大碓与小炉喷火口或投料口连接处采用反碓或碓碓结构。反碓结构(图 1-3)是借两走向与大碓相垂直的小碓承受喷火口或投料口处大碓的横推力, 并将其分散到碓碓砖和胸墙上, 它不要钢构件, 还能降低火焰空间高度。但结构复杂, 砌筑麻烦, 安全性差, 并在一定程度上限制了小炉喷火口的放宽。碓碓(亦叫插入式碓)结构(图 1-1)中, 大碓碓碓在小炉喷火口碓之上, 其情况正和反碓相反。

在换热式池窑的火焰空间内有单层碓和双层碓两种。后者两层碓之间作为排出烟气的通道。

2. 窑池(图 1-2)

窑池是配合料熔化成玻璃液并进行澄清的地方, 它应能供给足够量的熔化完全的透明的玻璃液。

窑池由池壁和池底两部分构成。池壁和池底均用大砖砌筑, 为便于大砖制造, 减少材料加工量和施工方便起见, 窑池基本上都呈长方形或正方形。为使池窑达到一定的使用期限, 池壁和池底的厚度常取 300 毫米。

窑池内玻璃液的横向压力由池壁顶铁和顶丝顶住。池壁顶丝也固定在立柱上, 立柱底脚通过支承角钢用螺栓固定在次梁上。整个窑池(包括其中的玻璃液)的重量通过其下面的钢架(扁钢, 次梁, 主梁等组成)传给砖柱。

窑池起端连接一个投料池, 配合料在此入窑。

(二) 投料口

配合料从投料口投入窑内, 受火焰空间和玻璃液传来的热量, 在投料口处配合料部分熔融(尤其是表面)可以大大减少窑内的粉料飞扬, 同时也改善了投料口处的操作环境和保护了投料机不被烧损。

现有的投料口布置见图 1-4, 从图看出, 有两种投料口位置: 设在窑纵轴前端的称为正面投料(图 1-4 a、b、c、f), 设在窑纵轴侧面的称侧面投料(图 1-4 d、e)。横焰窑都用正面投料, 纵焰窑都用侧面投料, 马蹄焰窑多用侧面投料, 个别的正面投料。正面投料能使配合料在熔化池表面上均匀分布, 熔化部面积得到完全利用, 但配合料容易被投料机推向冷却部, 造成跑料事故。侧面投料不能将配合料均匀分布于熔化池表面上, 熔化部面积利用得不充分, 料堆分布不稳定, 难控制。与正面投料相比, 侧面投料口较小, 接受窑内来的热量较少, 配合料预熔程度较差。在用油作燃料并且喷嘴放在小炉口下面时, 火焰易直接打在侧面投入的料堆上, 不仅会使料粉大量飞扬, 加剧窑体蚀损, 而且会推料前进, 把未化好的料推向冷却部, 有可能恶化玻璃液质量, 因此侧面投料的缺点较

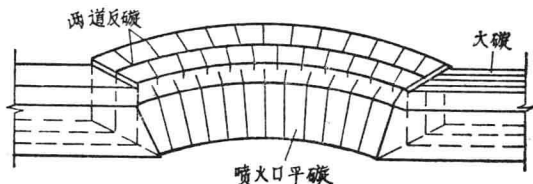


图 1-3 反碓结构

多。

侧面投料时在窑两侧都设有投料口的（称双面投料口，图1-4e），或只在窑一侧设投料口的（称单面投料口，图1-4d）。前者多用于大窑，后者多用于小窑。双面投料时粉料覆盖面较大，但送料系统复杂。单面投料时易形成长的料垅，难控制料堆的分布，且在

投料口对面的池墙很易蚀损。

投料口结构与所加配合料状态及所用投料机种类有关。配合料有粉状、粒状和液态三种状态，目前都用粉状。粒状和液态尚在试验。投料机用螺旋、垄式和电磁振动三种。螺旋投料机只需在胸墙上开个洞，毋需投料口。垄式投料机又叫毯式或往复投料机，需要一个较大的敞开的投料口。电磁振动投料机需要

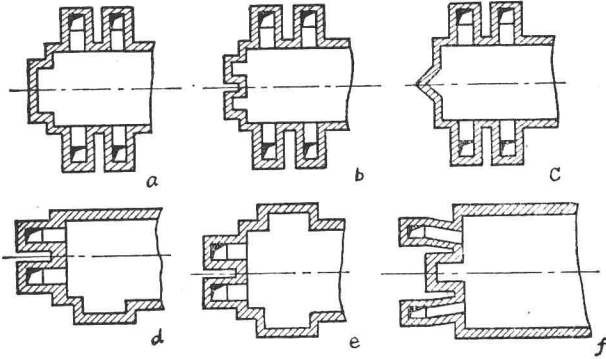


图 1-4 投料口布置

一个较小的密封的投料口。

投料口包括投料池和上部挡墙两部分。

投料池系突出于窑池外面的和窑池相通的矩形小池。投料池的上平面齐窑池的上平面。

正面投料时上部挡墙称前脸墙，它就是熔化部火焰空间的前部挡墙。前脸墙阻隔火焰不让其外冒，可以降低投料口处环境温度，保护投料机，以及减轻投料口处粉料飞扬。此外，在一定程度上可以控制料堆的厚度。

前脸墙受到火焰烧损和粉料侵蚀，很易损坏。因此，设计一个经久耐用又便于热修的前脸墙结构是一个重要的课题。

（三）冷却部

冷却部是熔化好的玻璃液进一步均化和冷却的部位，也是将玻璃液分配给各供料通路的部位。冷却部应供给纯净、透明、均匀且具有既定温度的玻璃液。在平板玻璃池窑内冷却部包括成形通路，简称通路。人工成形时在日用玻璃池窑内冷却部与成型部合而为一，亦称工作部。冷却部亦分为上部空间与窑池两部分，结构与熔化部大体相同，但要简单些。

熔化部与冷却部间的分隔程度关系到冷却部上部空间的作用。一般来说，分隔程度大时，冷却部上部空间起冷却作用，分隔程度小时，由于熔化部火焰的辐射热量和溢流气体带入的热量，冷却部上部空间非但不能起冷却作用，反而对玻璃液起加热作用。

（四）分隔装置

在熔化部和冷却部之间的气体空间和窑池玻璃液中都设有分隔装置。

1. 气体空间的分隔装置

为了使熔化澄清好的玻璃液迅速冷却和减少熔化部作业制度波动对冷却部的影响，在熔化部和冷却部之间的气体空间设了分隔装置。有完全分隔和部分分隔两种。平板玻璃池窑中只用部分分隔，日用玻璃池窑中两种都用。

完全分隔（图1-5a、b）有这些好处：（1）免除熔化部向冷却部散热，减少熔化部的热量支出。（2）减轻冷却部散热的负担，减少了冷却部面积。（3）完全分隔后，冷却部的温度只受玻璃液流动的影响，便于控制。用低热值燃料时，由于流入冷却部的玻璃液温度较低，需要熔化部空间给予一部分热量，所以不能完全分隔。只在制品成形要求十分严格或成形部面积要求较大的情况下（如在垂直拉管和熔制高级器皿玻璃与仪器玻璃时）才采用完全分隔（图1-5b）。此时，成形部分必须另外加热，它的结构也较复杂。用高热值燃料时，流入冷却部的玻璃液数量多且温度高，因而带到冷却部的热量较多，为充分冷却玻璃液，最好将空间完全分隔。完全分隔后成形部分可保持独立的稳定的作业制度，能保证制品质量，这点对自动化成形尤为重要。所以，目前在生产一般制品时也倾向于完全分隔。

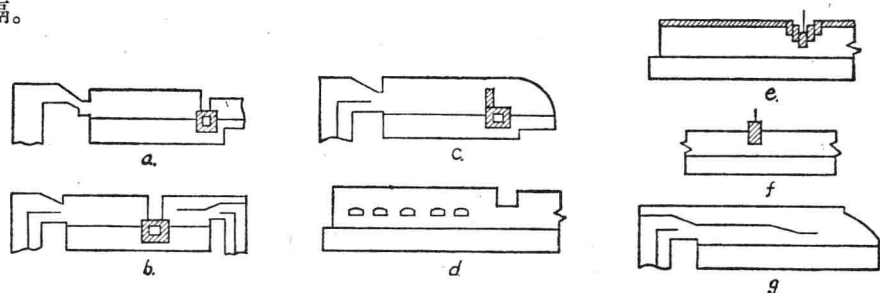


图 1-5 气体空间分隔情况

气体空间部分分隔装置目前用下列四种：

（1）花格墙（图1-5c）。它是一道布满格孔的单层隔火墙。花格墙砌在桥墙上，与流液洞（窑池分隔装置之一）配合使用。凭借花格砖的数量，格孔的大小和花格墙的位置来调节分隔程度。花格墙的分隔程度对冷却部以至成形部分玻璃液的温度影响甚大。

（2）矮墙（图1-5d）。它是比熔化部和冷却部窑碯都要矮得多的一种碯。由于该处取消或降低了胸墙，整个矮墙结构中可以是付碯或多付碯（逐步压低）。利用矮墙减少熔化部与冷却部相通的截面来减弱熔化部对其他部分的影响。但由于结构强度关系，矮墙碯股不能过小，分隔作用受到限制，一般降温30~50℃。为了增大分隔作用，可在矮墙下面的窑池处采用卡脖结构。

（3）吊矮墙（图1-5e），是为克服矮墙的缺点而设计的，它由一付吊碯和两付或四付矮墙组成。由于吊碯不受结构强度限制，可以放得很低，分隔作用就大了。据实测可降低空间温度100℃左右。但使用吊碯也带来一些不利处：如吊碯砖制造困难，砌筑复杂，费用大，另外在使用过程中并不如设计所确定的那样能任意调节。

（4）吊墙（图1-5f），常用在平板玻璃池窑冷却部和成形通路之间，系一活动吊墙，可任意调节，降温效果较大。

在日用玻璃池窑内，尤其是在使用低热值燃料或在人工成形时熔化部和冷却部之间的气体空间可以完全不分隔（图1-5g）。

2. 玻璃液分隔装置

为使熔化澄清好的玻璃液迅速冷却，挡住液面上未熔化砂粒和浮渣以及调节玻璃液流，在熔化部和冷却部之间的窑池（玻璃液）中设了分隔装置。玻璃液分隔装置有浅层分隔和深层分隔两种。凡将窑池高度隔断一半以上的或通道断面积小于熔化部窑池横断面

20%的为深层分隔。

浅层分隔装置目前用两种：

(1) 卡脖(图1-6a)是把熔化部与冷却部之间的一段窑池缩窄。与矮礞配合使用。卡脖所起的降温作用不大,对稳定平板玻璃引上作业有一定作用,对玻璃原板质量无多大影响。

(2) 冷却水管(图1-6b)是一根通冷却水的无缝钢管,水管截面的1/4~1/3露出液面。钢管附近的玻璃液受冷却后,变成粘度很大的不流动的物体,在冷却水管旁边构成一道围壁,起着挡砖一样的作用。

冷却水管比较耐用,更换方便,降温作用较大(水压3大气压时降温30~50℃),对玻璃液质量无影响。但用水量,使燃料消耗量有所增加;使用不当时,会造成窑宽上玻璃液的温度不均。

浅层分隔装置用于平板玻璃池窑中。目前有些厂在熔化部和冷却部之间不放冷却水管,而只在冷却部和成形通路之间设冷却水管。

深层分隔装置目前用三种：

(1) 流液洞(俗称过桥)。由一套特制的砖砌成,结构如图1-7,是熔化部和冷却部之间的位于窑底上面的断面积很小的涵洞,形如桥洞。应注意的是:砖缝要小,盖板砖要压住,液面与砖缝要错开,以防止漏玻璃液。前后挡砖之间要用异型砖或用角钢和方钢嵌紧,以顶住玻璃液的推力。为防流液洞侵蚀,在盖板砖上面前后挡砖之间留一与外界贯通的冷却孔(或叫风洞),孔的大小一般为300×300毫米。

流液洞有“明”“暗”之分,俗称明桥与暗桥(图1-7a、b)。如上述,明桥暴露在外面,可予以人工冷却,能减轻流液洞的蚀损,从而提高了玻璃液的质量,但玻璃液的温降大,窑体散热量多。暗桥裹在窑池内,不能予以冷却,因而很快被蚀损掉,也影响了玻璃质量,虽然其结构简单,玻璃液温降小,但缺点严重,极少应用。如在暗桥内放水管冷却(图1-7b)可减慢蚀损速度。

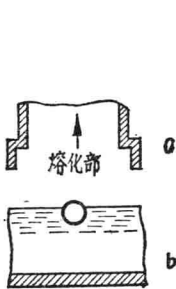


图 1-6 玻璃液浅层
分隔装置

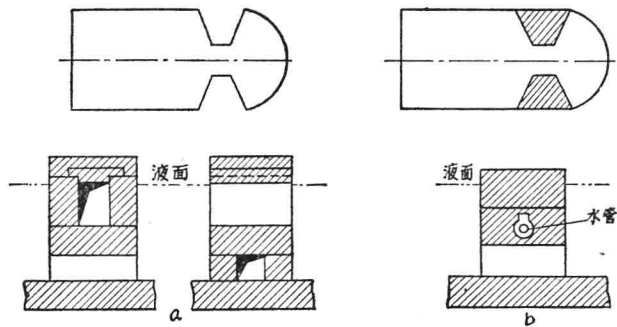


图 1-7 流液洞结构

由于流液洞处于窑池深层,以单位玻璃液容量计的散热面大,冷却快,故能大大降低玻璃液的温度(约能降温80~90℃)。此外,由于只有熔化好的玻璃液才能沉入深层,就容许扩大熔化面积,提高熔化能力,并且能有效地控制制品内气泡含量。流液洞还能减少从冷却部流向熔化部的回流量,这样相应地就提高了窑的热效率,降低了燃料消耗量。

对流液洞的降温作用要适当掌握。通过流液洞的玻璃液如上升到冷却部液面受到重热

(由于熔化部火焰空间的影响), 有可能出现大量再生气泡。降温过度时玻璃液会在洞内凝固变硬, 使生产受很大影响。由于从较大断面的窑池进入较小断面的流液洞, 液流很紊乱, 加上引入底层回流, 使通过流液洞的玻璃液在成分上和温度上都不够均匀, 要在冷却部和成形部内进一步均化, 只有在适当控制流量时才能获得优质玻璃液。流液洞内玻璃液流速很大(表面流速约20~25米/时), 使砖蚀损严重, 也恶化了玻璃液质量。

鉴于流液洞在熔化量, 玻璃液质量和成形部分布置等方面适应性很大, 故广泛用于熔制器皿玻璃、瓶罐玻璃、电真空玻璃、玻璃纤维、医用玻璃及各种工业玻璃的池窑内。用流液洞的池窑数量很多, 已成为池窑中的两个大类之一, 并称之为流液洞池窑。然而, 因在窑池宽度上的玻璃液流不够均匀, 故一般不用于生产平板玻璃。

(2) 窑坎: 常用的有挡墙式与斜坡式两种, 窑坎实际上不完全是一个坎, 其分隔玻璃液的程度可小也可大。挡墙式(图1-8a)是在热点处用电熔砖砌一单层墙, 墙高为池深的1/2以上, 甚至达3/4。斜坡式(图1-8b)是将澄清带的池底抬高, 砌成梯形斜坡, 坡高为池深的1/2或略小于1/2。

窑坎实际上起浅层澄清作用, 迫使澄清带的液流全部流过窑池上层并呈一薄层。这样, 玻璃液温度可进一步提高, 有利于气泡排除, 能大大加快澄清速度和改善玻璃液质量。另外, 窑坎可延长玻璃液在熔化池内的停留时间, 并可阻止池底脏料流往工作部。然而, 单单使用窑坎达不到对分隔装置提出的要求, 它只能设在流液洞前, 加强流液洞的作用。如果窑坎后再采用鼓泡技术, 有可能获得更好的效果。

对窑坎材质的要求很高, 否则会影响玻璃质量。所以, 只在拥有优质电熔耐火材料时才可以考虑采用。

(3) 浮筒(俗称髻)。浮筒放在成形池内, 用于人工成形时。浮筒为一无底的或下半部开口(流液口)的横口坩埚(图1-9)。熔化钠钙玻璃时用粘土质浮筒, 熔化硼硅酸玻璃时用石英质浮筒。浮筒规格有多种, 视产品大小而定。熔化好的玻璃液经浮筒底部或流液口进入浮筒。改变浮筒沉入的深度与浮筒的大小可以选择玻璃液的质量和调节玻璃液的成形温度。浮筒不仅能阻止未熔化生料的进入, 还能改善成形场地的操作环境。

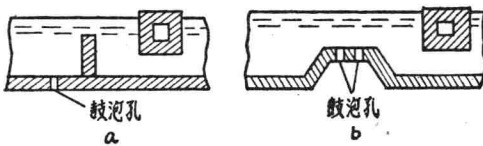


图 1-8 窑坎形式
a—挡墙式; b—斜坡式

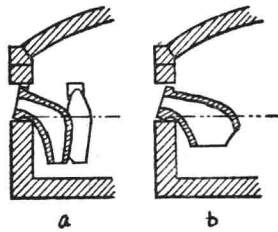


图 1-9 浮筒结构
a—无底坩埚; b—尾部开口的无底横口坩埚

(五) 成形部

平板池窑的成形部结构和流液洞池窑截然不同。

平板池窑的成形部叫引上室(图1-10), 由大梁、托砖、槽子砖、假梁(即外大梁)、堵头及八字砖等组成。

大梁分隔通路与引上室, 以杜绝烟气进入引上室, 使原板保持成形所需的温度制度,

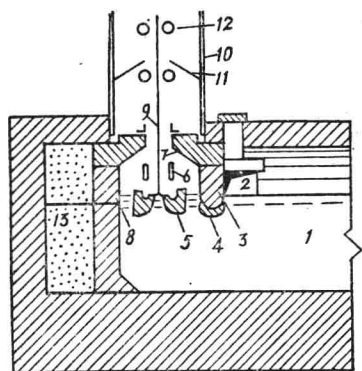


图 1-10 引上室

1—通路；2—小眼；3—大梁；4—托砖；
5—槽子砖；6—冷却水包；7—八字砖；8—假
梁；9—玻璃原板；10—引上机；11—鱼鳞
板；12—石棉辊；13—堵头

还能挡住一部分浮渣，不使其进入引上室。为保护大梁不受玻璃液侵蚀（因大梁更换很困难），在大梁下面放一块托砖。托砖可以更换，改变托砖的厚度可以调节分隔玻璃液的深度。

槽子砖是成形工具。槽子砖下部做成八字形，使其长度上的玻璃液温度均匀。槽子砖做成中间宽两头窄，并且从宽变窄时很均匀，使原板厚度均匀。槽唇做成中间高两头低，可防止中部板根发“胖”。

假梁是引上室外部的挡砖，假梁底部做成斜坡状，可防止此处玻璃液析晶形成死角。

堵头是引上室前端的围蔽墙，起保温作用。

八字砖放在引上室顶部，是引上机的底座，八字砖中间的空隙（即八字砖口宽）对保持引上作业的

的稳定有很大的影响。

压延池窑的成形部就是冷却部的出口（图1-11），由流液口平磁、挡焰砖、底砖、池壁、流槽、挡边砖组成。

流液洞池窑的成形部视供料方法而异。机械成形时的供料方法有滴料和吸料两种。用滴料法时的成形部叫供料通路，在其端部设供料机。用吸料法时的成形部叫成型池，成形机吸料头直接伸入成形池内取料。目前，我国普遍采用滴料法。吸料法只在个别工厂采用。

滴料法所用供料通路的结构见图1-12，可分为三个系统：料槽系统，加热系统和滴料系统。料槽系统包括供料槽和上部空间。玻璃液在供料槽内处于保温过程，得到进一步均化并具有与成形相近的温度。加热系统按热源和加热方法而有所不同。热源有重油，煤气和电等。加热方法有集中和分散两种（图1-12为煤气分散加热）。为节约热量，有时在供料槽设一小烟囱抽引一部分窑内烟气来加热玻璃液。加热系统保证了玻璃液的成形温度。如玻璃液温度比规定的成形温度高，则不需加热，只要保温，甚至还要均匀冷却。因此，有的供料通路上设有冷却装置。滴料系统包括料盆、料碗、料筒（也叫泥芯）、冲头和加热空间等，起着滴料，搅匀，调节料形、料重、料温等作用。

二、热源供给部分

为供给热源（以火焰形式表现出来），设置了燃料燃烧设备。玻璃池窑内的燃烧设备俗称小炉。

小炉结构应保证火焰有一定长度，有足够大的覆盖面积，紧贴玻璃液面，不发飘，不分层，还要满足窑内所需的温度和气氛的要求。小炉结构随燃料种类不同而略有不同。目前，我国采用发生炉煤气、重油和天然气三种燃料，下面以烧发生炉煤气的小炉结构为例说明之。

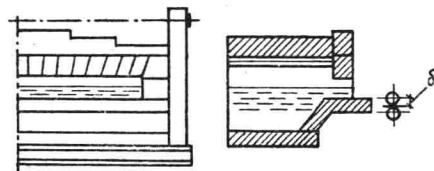


图 1-11 压延池窑流液口

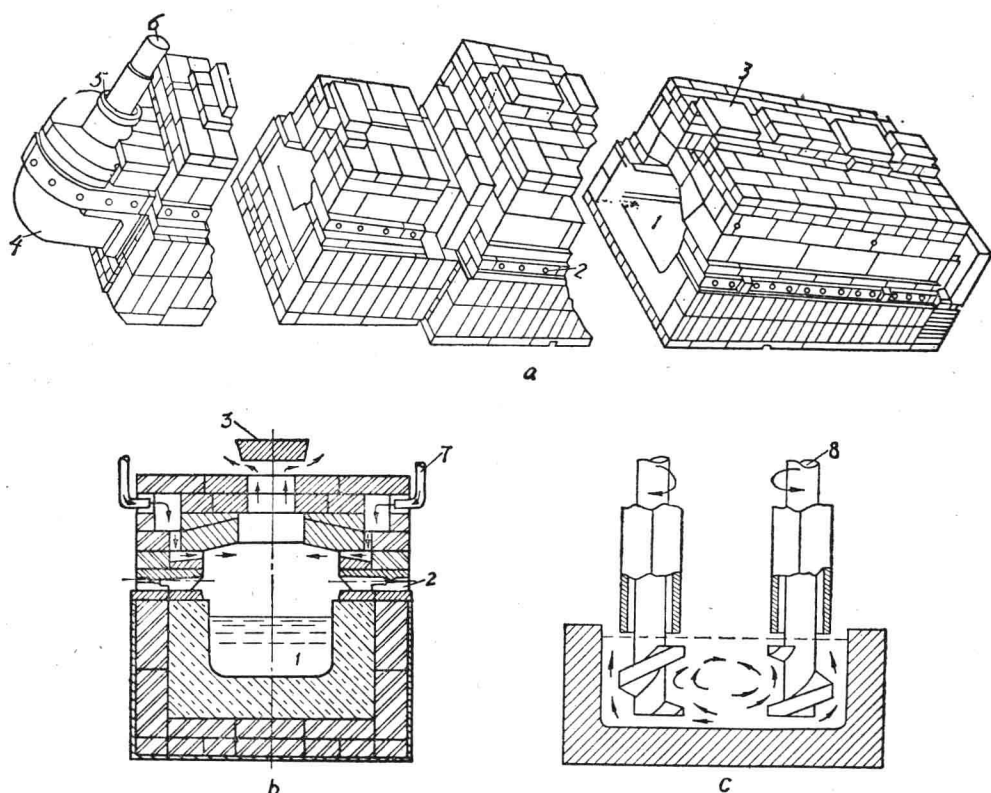


图 1-12 送料通路结构

1—供料槽；2—煤气火焰烧嘴；3—冷却孔；4—料盆；5—料筒；6—冲头；7—吹风管；8—搅拌器

烧发生炉煤气的小炉属短焰烧嘴一类。它包括空气、煤气通道，舌头，预燃室和喷火口（也叫喷出口或吹出口）四部分（图1-13 a）。

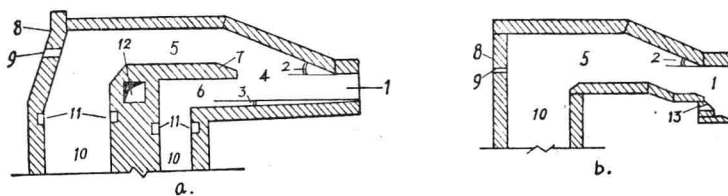


图 1-13 小炉结构

a—烧煤气小炉；b—烧油小炉

1—喷出口；2—空气下倾角；3—煤气上倾角；4—预燃室；5—空气水平通道；6—煤气水平通道；7—舌头；8—后墙；9—看火孔；10—垂直上升道；11—闸板台；12—风洞；13—喷嘴砖

（一）空气、煤气通道

空气、煤气通道是经过加热的空气、煤气离蓄热室后，在进预燃室会合之前流过的一段通道。空气、煤气在通道内继续被加热。空气、煤气通道也是烟气从火焰空间排至蓄热室所经过的通道。空气、煤气通道由直立通道（常称垂直上升道或上升道）和水平通道组成。

空气、煤气通道应使气流通畅（流动阻力小），气体在蓄热室内分布均匀，还要尽量避免砌体的局部烧损。与上述关系较大的通道部位是小炉后墙，就是空气由上升道转向水平通道的转弯处。经实践，如图1-13a所示的斜后墙形式较好。

空气、煤气上升道之间的隔墙（叫风火墙，与蓄热室的中间隔墙相接）要求很严密。但该处温度较高，隔墙容易产生裂缝，造成透火现象，加速隔墙损坏。为了减轻隔墙的烧损，在墙中间开一与外界相通的风洞，通风冷却。

空气、煤气上升道中设有闸板，用以调节空气、煤气量。

空气、煤气水平通道的出口决定了空气、煤气会合前的状态，这个状态对于空气、煤气混合预燃程度和火焰喷出方向有很大影响。一般控制气体出口速度和出口角度两个指标。利用出口断面来达到规定的出口速度。利用小炉斜碛、小炉底板和舌头探出来达到规定的出口角度。

（二）舌头

舌头分隔空气、煤气的水平通道。舌头的长短、厚薄和形状对火焰长度和发飘情况有很大关系。

舌头的长度盖过煤气上升道。其超过煤气上升道的一段长度叫做探出长度，这段长度能控制煤气上倾角和空气、煤气的混合、预燃程度。

舌头的形状有拱舌和平舌两种。目前都用拱舌，它能克服火焰发飘，尤其是喷出口碛处火焰发卷的现象，使火焰能平射喷出。

舌头处于高温部位。烟气离窑后首先接触舌头，同时还带有料粉侵蚀舌头。因此，舌头易被烧短和烧裂。烧裂后空气、煤气穿透冒火，更加剧了舌头的损坏。

（三）预燃室

预燃室是空气、煤气出水平通道后，籍气流涡动，分子扩散和相互撞击，在入窑前预先进行部分混合和燃烧的地方。因为混合速度远较燃烧速度慢，为了保证煤气在窑内能完全燃烧，故设预燃室。由此可见，预燃室长度是一个重要的结构指标，它是空气、煤气混合燃烧的路程，也反映了混合燃烧的时间。

（四）喷火口

喷火口是喷出火焰（部分预燃的燃烧气体）的地方。火焰由此入窑。喷火口的形状，大小和长度对喷出火焰的速度、厚度、阔度和方向有很大的影响。

燃油小炉结构比煤气小炉简单些。它使用油喷嘴，没有煤气通道、舌头、甚至预燃室。油喷嘴的安装位置对燃烧、传热、玻璃液质量和池窑寿命等都有很大影响。油喷嘴有窑内安装与窑外安装两种方法。窑内安装指油喷嘴装在小炉里面，其缺点甚多，如需要冷却水套，喷嘴易结焦，易损坏，换向时要将喷嘴抽到窑外等，故极少采用。一般都在窑外安装，窑外安装指喷嘴装在小炉外面，安装的位置颇多，如装在小炉口下面、小炉两侧和小炉顶部等。

烧天然气小炉的结构基本上与燃油小炉相同。

三、余热回收部分

为了提高窑内火焰温度，设置了烟气余热回收设备。利用烟气余热来加热助燃空气和煤气。预热的空气、煤气可以加速燃烧，提高火焰温度和节省燃料。

烟气余热回收设备有蓄热室、换热器和余热锅炉（或余热汽包）。