

玻璃工业

热工设备及热工测量

樊德琴 主编

中等专业学校试用教材

武汉工业大学出版社

号 81 字 登 录 联

中等专业学校试用教材

玻璃工业热工设备及热工测量

樊德琴 主编

编 者

1990年2月



武汉工业大学出版社

7-2823-6743-9/10-02

鄂新登字 13 号

内 容 简 介

本书为中等专业学校硅酸盐玻璃专业试用教材,是《硅酸盐工业热工基础》的续册。包括玻璃池窑、坩埚窑、退火窑及热工测量等四章。重点介绍了玻璃行业中主要窑炉的基本构造、工作原理、使用的耐火材料、窑炉的设计及砌筑的质量要求。对玻璃窑炉热工参数的测量也作了全面的介绍。本书对玻璃窑炉的节能进行了系统的论述。

本书除用作中专教材外,还可作职工培训时参考使用,对从事玻璃生产的技术人员也有一定的参考作用。

中等专业学校试用教材
玻璃工业热工设备及热工测量

© 樊德琴 主编
责任编辑 黄春

*

武汉工业大学出版社出版(武昌珞狮路14号)
湖北省新华书店发行 各地新华书店经销
武汉工业大学出版社印刷厂印刷

*

开本 787×1092mm 1/16 印张 21.25 字数 507千字

1993年7月第1版 1993年7月第1次印刷

印数 1—3000册 定价 10.10元

ISBN 7-5629-0743-9/TO·67

前 言

《玻璃工业热工设备及热工测量》是根据国家建材局 1983 年中等专业学校教材工作会议规定的教材编写计划而编写的,是《硅酸盐工业热工基础》的续册。它包括玻璃池窑、坩埚窑、退火窑及玻璃工厂常用的热工测量等四章。授课时数为 80 学时左右。本书是中等专业学校玻璃专业的教学用书,也可供玻璃工厂技术人员及技工学校的师生参考。

本书由上海建筑材料工业学院樊德琴主编。书中第二、三章由上海建筑材料工业学院唐坚刚编写,第一、四章由樊德琴编写。

本书由华东化工学院孙承绪教授主审。参加审稿的人员有:河北省建筑材料工业学校刘永淳和长春建筑材料工业学校罗华君。

由于编者水平有限,错误之处请读者不吝指正。

编 者

1990 年 2 月

一、玻璃工业热工设备	(52)
二、玻璃工业热工测量	(52)
第六节 玻璃池窑设计	(95)
一、窑型	(95)
二、窑体	(96)
三、窑内衬	(96)
四、窑内耐火材料	(97)
五、窑内耐火材料	(98)
六、窑内耐火材料	(98)
第七节 玻璃池窑耐火材料	(98)
一、耐火材料的性质	(98)
二、常用耐火材料	(99)
三、耐火材料选择及使用	(99)
四、保温材料的使用	(99)
五、耐火材料的试验反应	(99)
六、使用耐火材料的经济性	(99)
第八节 玻璃池窑设计	(99)
一、窑体尺寸的设计	(99)
二、窑内空间尺寸的设计	(100)
三、分路设备设计	(107)
四、成形部尺寸设计	(110)
五、玻璃形成过程热量计算	(113)
六、燃料消耗量及窑窑效率计算	(119)
七、小炉尺寸设计	(129)
八、烟道面积设计	(139)
九、玻璃窑窑图例	(144)
十、设计例题	(144)

目 录

绪论	(1)
第一章 玻璃池窑	(2)
第一节 玻璃的熔制过程	(2)
第二节 玻璃池窑分类	(3)
第三节 玻璃池窑的构造	(3)
一、玻璃熔制部分	(3)
二、小炉	(39)
三、烟道	(42)
四、烟道闸板	(44)
五、换向设备(交换器)	(45)
第四节 窑型介绍	(48)
第五节 玻璃池窑工作原理	(52)
一、窑池内玻璃液的流动	(52)
二、玻璃池窑内热交换	(56)
第六节 玻璃池窑作业制度	(63)
一、窑温	(63)
二、窑压	(65)
三、泡界线	(66)
四、火焰气氛	(67)
五、玻璃液面	(68)
六、火焰	(68)
第七节 玻璃池窑用耐火材料	(68)
一、耐火材料的性质	(68)
二、常用耐火材料	(71)
三、耐火材料选择及使用	(85)
四、保温材料的使用	(92)
五、耐火材料的接触反应	(94)
六、使用耐火材料的经济性	(94)
第八节 玻璃池窑设计	(95)
一、窑池尺寸的设计	(95)
二、火焰空间尺寸的设计	(105)
三、分隔设备设计	(107)
四、成形部尺寸设计	(110)
五、玻璃形成过程耗热量计算	(113)
六、燃料消耗量及熔窑热效率计算	(119)
七、小炉尺寸设计	(129)
八、烟道截面积设计	(139)
九、玻璃池窑图纸	(144)
十、设计步骤	(144)

第九节 余热回收设备	(146)
一、换热器	(146)
二、蓄热室	(170)
三、余热锅炉	(194)
第十节 玻璃池窑节能	(196)
第十一节 玻璃池窑砌筑	(199)
一、熔窑砌筑的基本要求	(199)
二、熔窑各部砌体的砌筑和质量要求	(204)
第二章 坩埚窑	(207)
第一节 坩埚窑的分类	(207)
第二节 坩埚窑的构造	(209)
第三节 工作原理	(214)
第四节 设计概要	(220)
第三章 退火窑	(225)
第一节 退火过程和退火制度	(225)
第二节 分 类	(230)
第三节 基本构造与工作原理	(232)
第四节 设计概要	(239)
第四章 热工测量	(244)
第一节 温度测量	(246)
一、膨胀式温度计	(246)
二、热电偶温度计	(248)
三、电阻温度计	(270)
四、接触式温度计的显示仪表	(275)
五、热辐射式高温计	(282)
第二节 压力测量	(289)
一、液柱式压力计	(289)
二、弹簧式压力计	(292)
三、压力计的安装	(294)
第三节 流量测量	(295)
一、节流式流量计	(295)
二、转子流量计	(299)
三、转轮式流量计	(301)
四、电磁流量计	(302)
第四节 物位测量	(304)
一、浮力式液位计	(304)
二、静压式液位计	(306)
三、电容式物位计	(309)
第五节 烟气成分分析	(311)
一、奥氏气体分析器	(311)
二、导热式气体成分分析仪	(313)
三、氧化锆式氧量分析仪	(315)
四、红外线气体分析仪	(317)
第六节 玻璃池窑热工参数测量	(319)

一、温度测量	(319)
二、窑压测量	(321)
三、玻璃液面测量	(323)

玻璃生产中常用的热工设备主要包括玻璃窑炉和退火窑。

玻璃窑炉的结构合理性、设计的先进性、作业制度及操作控制水平、自动化程度等都会极大地影响着玻璃的产量、质量、能耗和成本，所以玻璃窑炉被人们称为玻璃工厂的“心脏”。

玻璃窑炉有连续作业和间歇作业。连续作业是指玻璃熔制过程从投料、熔化、澄清、均化到成形，是在熔窑不同部位同一时间连续进行的，而且窑内各处作业制度是稳定的。间歇作业是指玻璃的熔制过程是在同一部位不同时间进行的，窑内作业制度是随时间而变化的。一个熔制过程的玻璃液出料完毕后，再重新加料，例如坩埚窑和日池窑。

世界上最早出现的玻璃熔窑是间歇作业的，1867年才出现了第一座连续式玻璃熔窑，这在玻璃熔窑发展史上起了根本性转变。1913年出现了平板玻璃的有槽垂直引上成形法，是平板玻璃生产上的第一次突破。以后，出现了无槽引上法、对辊法及平拉法等。1959年美国皮尔金顿兄弟公司发明了浮法生产工艺，是平板玻璃生产上的第二次突破。浮法成形的玻璃质量好、拉引速度快、自动化程度高，其各项技术经济指标与其他成形法相比都遥遥领先，所以自问世以来发展很快。目前世界上新建或老厂改造，大多数采用浮法生产线，有的国家浮法生产的玻璃占总量的90%。

自1913年出现了平板玻璃的有槽垂直引上法以来，在成形方法上有改进和突破，但在熔制方法上尚无大的突破。因此，玻璃熔窑的热效率仍较低，能耗较大。如果能在熔制方法上有所改进和突破，则玻璃生产的前景更加广阔。

国内目前平板玻璃的生产大多数仍为垂直引上法，但浮法生产正迅速发展。我国自己研制成功的浮法成形玻璃熔窑，已于1981年通过了国家鉴定，正推广应用。

玻璃生产的最后一个环节是玻璃制品在退火窑中退火，退火的好坏，直接影响到玻璃制品的质量、成品率、生产成本和生产效率等技术经济指标，所以退火窑也是玻璃工厂的重要生产设备。

根据中等专业学校的培养目标和所具有的基础知识，本书阐述了热工管理的作用、基本原理、操作控制、设计计算等内容，注意加强理论与实际相结合。本书采用国际单位制，物理量用法定符号或文字表示，例如热/(米·度)表示为 $W/m^2 \cdot ^\circ C$ ，它头无单位符号时采用国际单位制的大写字母表示，如千克/立方米，则用 kg/m^3 表示。

本书课程应在学习《建筑材料工业热工基础》并进行认知的实习后进行讲授。本书教学时数分配建议如下：第一章50学时，第二章15学时，第三章15学时，第四章15学时，第五章15学时。

绪 论

玻璃生产中专用的热工设备主要包括玻璃熔窑和退火窑。

玻璃熔窑的结构合理性、设计的先进性、作业制度及操作控制的正确性、自动化程度等都会极大地影响着玻璃的产量、质量、能耗和成本,所以玻璃熔窑被人们称为玻璃工厂的“心脏”。

玻璃熔窑有连续作业和间歇作业。连续作业是指玻璃熔制过程从投料、熔化、澄清、均化到成形,是在熔窑不同部位同一时间连续进行的,而且窑内各处作业制度是稳定的。间歇作业是指玻璃的熔制过程是在同一部位不同时间进行的,窑内作业制度是随时间而变化的,一个熔制过程的玻璃液出料完毕后,再重新加料,例如坩埚窑和日池窑。

世界上最早出现的玻璃熔窑是间歇作业的,1867年才出现了第一座连续式玻璃池窑,这在玻璃熔窑发展史上起了根本性转变。1913年出现了平板玻璃的有槽垂直引上成形法,是平板玻璃生产上的第一次突破。以后,出现了无槽引上法、对辊法及平拉法等。1959年英国皮尔金顿兄弟公司发明了浮法生产工艺,是平板玻璃生产上的第二次突破。浮法成形的玻璃质量好、拉引速度快、自动化程度高,其各项技术经济指标与其他成形法相比都遥遥领先,所以自问世以来发展很快。目前世界上新建或老厂改造,大多数采用浮法生产线,有的国家浮法生产的玻璃占总量的90%。

自1913年出现了平板玻璃的有槽垂直引上法以来,在成形方法上有改进和突破,但在熔制方法上尚无大的突破。因此,玻璃熔窑的热效率仍较低、能耗较大。如果能在熔制方法上有改进和突破,则玻璃生产的前程更加广阔。

国内目前平板玻璃的生产大多数仍为垂直引上法,但浮法生产正迅速发展。我国自己研制成功的浮法成形玻璃熔窑,已于1981年通过了国家鉴定,正推广应用。

玻璃生产的最后一个环节是玻璃制品在退火窑中退火。退火的好坏,直接影响到玻璃制品的质量、成品率、生产成本和生产效率等技术经济指标。所以退火窑也是玻璃工厂的重要热工设备。

根据中等专业学校的培养目标和所具有的基础知识,本书阐述了热工设备的结构、基本原理、操作控制、设计计算等内容,注意加强理论与实际相结合。本书采用国际单位制,单位一律用法定符号或文字表示,例如瓦/(米·度)表示为 $W/(m \cdot ^\circ C)$ 。无法定符号时采用汉语拼音大写字母表示,如千克/标米³则用 kg/Bm^3 表示。

本课程应在学习《硅酸盐工业热工基础》并进行认识实习之后进行教学。本书学时数分配建议如下:第一章52学时;第二章4学时;第三章4学时;第四章20学时,共80学时。

第一章 玻璃池窑

第一节 玻璃的熔制过程

在玻璃生产过程中,配合料经过加热形成玻璃液的过程称之为玻璃的熔制过程。玻璃熔制是玻璃生产过程中重要阶段,熔制质量和速度决定着产品的质量和产量。

玻璃熔制过程大体上可分为五个阶段:

一、硅酸盐形成阶段

配合料在约 800~1000℃ 温度作用下发生一系列物理、化学和物理-化学变化,如,水分蒸发、盐类分解、多晶转变、组分熔化及石英砂与其他组分之间进行固相反应。使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。

二、玻璃液形成阶段

配合料加热到约 1200℃ 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溶解于熔融体中,成为含大量可见气泡的、在化学成分和温度分布上都不够均匀的透明玻璃液。

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就已开始。两个阶段所进行的速度相差很大,硅酸盐形成进行得极为迅速,而玻璃液形成却很缓慢。实际熔制时配合料一入窑就接触 1300℃ 左右的高温,硅酸盐形成极快,要划分这两个阶段很困难,所以生产上常把这两个阶段视作为一个阶段,称为配合料熔化阶段。

三、玻璃液澄清阶段

在玻璃液形成阶段结束后,整个熔融体包含许多气泡。从玻璃液中除去肉眼可见的气体夹杂物,消除玻璃液中气孔组织的阶段称为澄清阶段。因为玻璃液的粘度随温度升高而降低,因此高温有利于玻璃液的澄清。这阶段玻璃液温度约在 1400℃ 左右。

四、玻璃液的均化阶段

玻璃液形成后,其化学成分和温度都不均匀,为消除不均匀性,需要进行均化。它与澄清过程混在一起,没有明显的界限,可以看成边澄清边均化,均化阶段的结束往往在澄清阶段之后。高温有利于玻璃液的均化。

五、玻璃液的冷却阶段

澄清均化后的玻璃液温度高、粘度低,不适合成形,需要均匀冷却到成型温度,根据成型方法不同,成型温度比澄清温度低 200~300℃ 左右。

在实际生产过程中各阶段之间没有明显的界线,有些阶段是同时或部分同时进行的。

第二节 玻璃池窑分类

一、按所用能源分类

火焰窑、电熔窑、火焰-电熔窑。

火焰窑：以燃烧燃料为热能来源。燃料可以是气体燃料、液体燃料和固体燃料。

电熔窑：以电能作为热能来源。

火焰-电熔窑：以燃料为主要热能来源，电能为辅助热源。

二、按火焰流动方向分类

横焰、纵焰、马蹄焰。

横焰：窑内火焰方向是从窑的一侧流向另一侧，横越熔窑的宽度，与玻璃液流动方向相垂直，用蓄热室作为余热回收设备，适用于平板玻璃池窑，也适用于大中型流液洞池窑。

纵焰：火焰纵向流动，与玻璃液流动方向相平行。用换热器作为余热回收设备，适用于小型流液洞玻璃池窑。

马蹄焰：火焰呈马蹄形流动。有单马蹄和双马蹄之分，余热回收设备有用蓄热室，也有用换热器，适用于中、小型流液洞池窑。

三、按生产规模分类

玻璃熔窑规模可分大、中、小三种。

平板玻璃池窑垂直引上是以引上机台数划分为：三机以下是小型；四~六机是中型；八机以上是大型。每台引上机产量是20~25t/d玻璃液。浮法成型生产规模有小型300t/d以下；中型400~600t/d；大型700~1000t/d玻璃液。

流液洞池窑以熔窑的熔化面积或出料量划分。我国尚无统一规定。一般，以熔化面积划分：小于20m²的是小型，21~39m²是中型，40m²以上是大型；以出料量划分：日产量在15~50t为小型，50~150t为中型，150~300t为大型。

四、按熔窑分隔设备分类

按熔窑分隔设备可分为平板玻璃池窑和流液洞池窑两大类。

平板玻璃池窑：是用卡脖和矮碓作为玻璃液和空间分隔设备，它是蓄热式、横火焰的，生产平板玻璃。

流液洞池窑：是用流液洞作为玻璃液分隔设备。火焰空间有全分隔、半分隔、也有的不分隔。其横焰是蓄热式的，马蹄焰有蓄热式，也有换热式，纵焰为换热式。生产日用与工业玻璃。

第三节 玻璃池窑的构造

玻璃池窑由玻璃熔制部分、小炉、排烟供气部分和余热回收四大部分组成。

一、玻璃熔制部分

配合料从加料口入窑后，经高温加热熔化成玻璃液，并进行澄清、均化、冷却和成型。对于垂直引上成型的平板玻璃池窑，如图1-3-1所示，沿窑池的纵方向按玻璃液的熔化过程相应的分成加料口、熔化部、冷却部、通路、支通路和成型部。从前脸墙到卡脖称为熔化部，从卡脖（包括卡脖）到通路分叉口称为冷却部，大梁砖以后称为成型部（或引上室），冷却部、通路及支

通路又称总冷却部。对于浮法成型的平板玻璃池窑,如图 1-3-2 所示,卡脖前称为熔化部,卡脖后到流液口(锡槽入口)为冷却部,锡槽为成型部。流液洞池窑,如图 1-3-3 所示,沿其窑池纵向分成熔化部、冷却部(或工作部)和供料道,流液洞前称为熔化部,流液洞后为冷却部。

(一)加料口

加料作业是熔制过程中重要工艺环节之一,加料作业正确与否影响到配合料的熔化速度、熔化区的位置、熔化温度的波动及玻璃液面的稳定等,从而影响熔化率、玻璃质

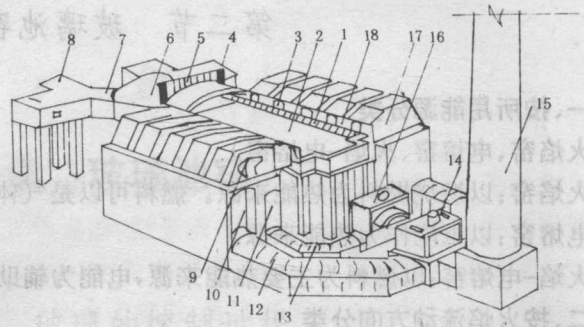


图 1-3-1 四机平板玻璃池窑模型

1—池壁;2—熔化部窑池;3—小炉口;4—矮碓;5—吊矮碓吊架;6—冷却部;7—通路;8—支通路;9—小炉舌头;10—空气蓄热室;11—煤气蓄热室;12—空气通道;13—煤气通道;14—空气交换器;15—烟囱;16—煤气交换器;17—小炉;18—胸墙

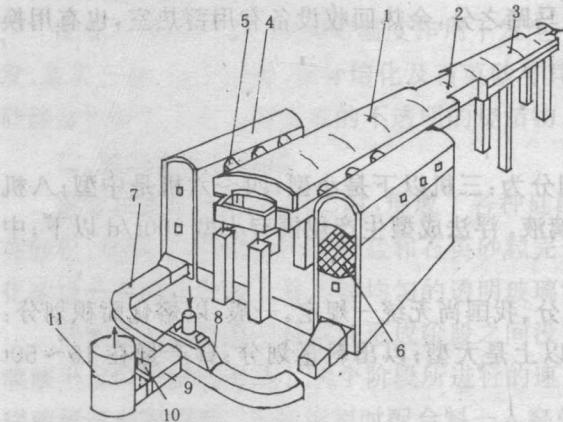


图 1-3-2 浮法平板玻璃池窑模型

1—熔化部;2—卡脖;3—冷却部;4—蓄热室;5—小炉;6—格子砖;7—烟道;8—交换器;9—总烟道;10—总烟道闸板;11—烟囱

量和燃料消耗量。

配合料在炉内的分布、位置和形状,应该是使配合料在熔化区的液面上既能最大限度地吸收上部火焰的辐射热,又能充分接受下部高温玻璃液流所传递的热量。

加料口结构与所加入配合料状态和加料方式有关。配合料状态有粉状、粒状和液态。目前我国一般用粉状。粒状和液态尚在试验之中。

加料方式有螺旋式、堑式、辊式、电磁振动式和毯式等。螺旋式加料机的加料口如图 1-3-4,只需在胸墙上开一个洞口,不需要加料池。堑式加料机的加料口如图 1-3-5,只需要一个较大的敞开加料池。电磁振动加料机的加料口如图 1-3-6,需要一个较小的密封加料池。辊式加料机(垫层投料)的加料口如图 1-3-7,需要一个比堑式加料机还大的加料池。毯式如图 1-3-8,需要一较大的加料池。我国平板玻璃池窑目前多使用堑式加料机,以数台加料机同时向加料池推入配合料,形成的小料堆是长堑状、扁平且较薄。堑式加料机虽然结构简单,使用方

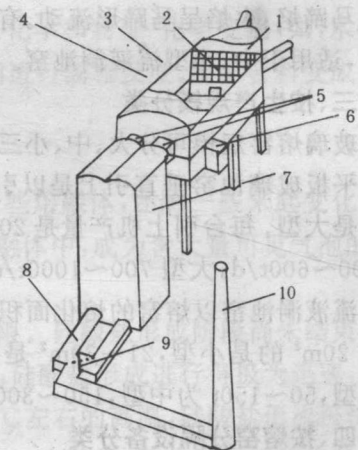


图 1-3-3 蓄热室马蹄焰池窑

1—冷却部(作业部);2—花格墙;3—流液洞;4—熔化部;5—小炉;6—加料口;7—蓄热室;8—烟道;9—空气交换器;10—烟囱

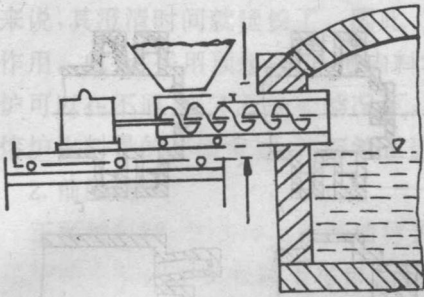


图 1-3-4 螺旋式加料机

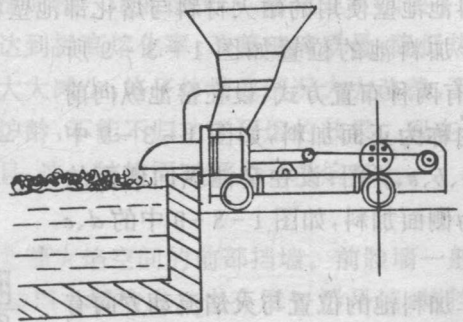


图 1-3-5 堑式加料机

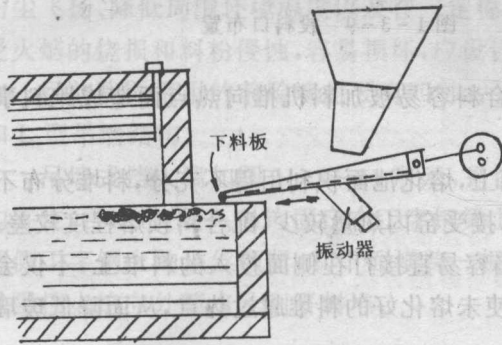


图 1-3-6 振动式加料机

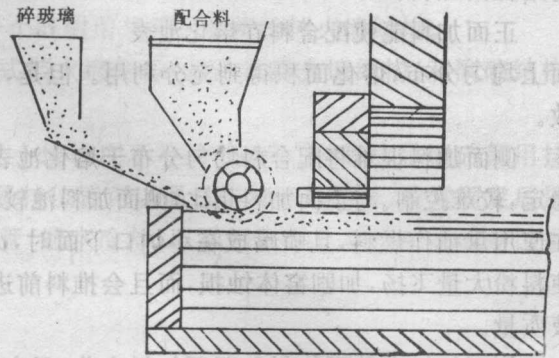


图 1-3-7 滚筒式加料机

便,但是,加料面窄、操作不当料堆易跑料(没熔化好的配合料越过泡界线)、加料池密封性差,粉尘飞散较严重。因此,目前大型平板玻璃池窑已使用辊式加料机(分格轮式或滚筒式)或毯式加料机,效果良好。其加料口结构与堑式加料口结构基本相同,只是加料池稍大些。

辊筒式投料机,碎玻璃不进入配合料,是由碎玻璃系统送至窑头单独投料。投料时碎玻璃位于配合料之下,即与玻璃液接触。其特点是配合料与碎玻璃不混合,减少了混合机的磨损,提高了混合机的产量。投料连续,平坦均匀,无成堑料堆。

毯式加料机,是将碎玻璃和配合料混杂在一起投入玻璃熔窑中。从传热效果来看比辊筒式好,其“偏料”问题比辊筒式加料机为小。该加料机布料均匀,覆盖面积大,在同一加料机上可以调节出不同的料层厚度以满足工艺过程的需要,它保留了老式堑式加料机各机料量可以独立调节的优点,减少了料堆之间的间隙,连续工作加料均匀。

堑式(或辊式)加料机的加料口包括加料池和前脸墙。

1. 加料池

加料池系突出于窑池外面和窑池相通的矩形小池,加料池的池壁上平面齐窑池的上平面。

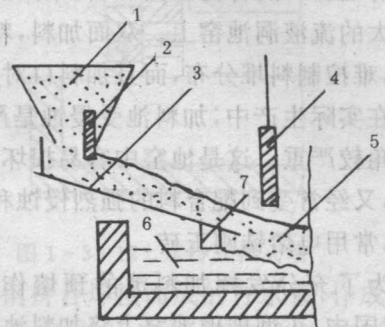


图 1-3-8 毯式加料机

1—料仓;2—控制闸板;3—往复式铲子;4—前墙闸板;5—毯料;6—玻璃液;7—水冷铲子端部

加料池池壁使用的耐火材料与熔化部池壁材料相同。

加料池的位置如图 1-3-9 所示,有两种布置方式:设在窑池纵向前端的称为正面加料,如图 1-3-9 中的 a、b、c、f 图;设在窑池纵向侧面的称为侧面加料,如图 1-3-9 中的 d、e 图。

加料池的位置与火焰流动方向有关:横焰窑用正面加料;纵焰窑用侧面加料;马蹄焰窑多数用侧面加料,个别的用正面加料。

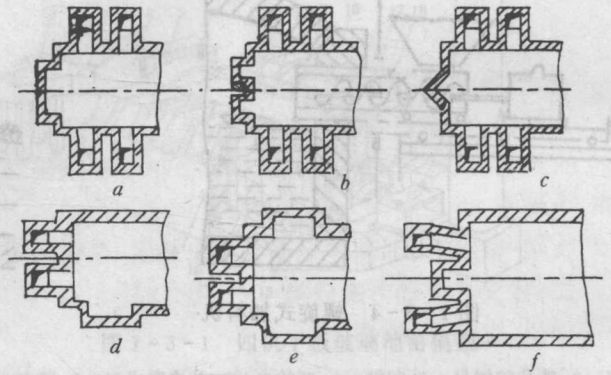


图 1-3-9 投料口布置

正面加料能使配合料在熔化池表面上均匀分布,熔化面积得到充分利用。但是,配合料容易被加料机推向热点而造成跑料事故。

侧面加料很难将配合料均匀分布于熔化池表面上,熔化池面积利用得不充分,料堆分布不稳定,较难控制。与正面加料相比,侧面加料池较小,接受窑内热量较少,配合料预熔程度较差。在使用重油作燃料,且喷嘴放在小炉口下面时,火焰容易直接打在侧面投入的料堆上,不仅会使料粉大量飞扬,加剧窑体侵蚀,而且会推料前进,使未熔化好的料堆越过热点,从而降低玻璃液质量。

侧面加料有单面加料和双面加料之分。只在窑池一侧设有加料口的称单面加料,在窑池两侧设有加料口的称为双面加料。单面加料多用于规模较小的流液洞池窑上,双面加料多用于规模较大的流液洞池窑上。双面加料,料粉覆盖面积大,但送料系统复杂。单面加料易形成成长的料垄,难控制料堆分布,而且加料口对面的池墙容易被侵蚀。

在实际生产中,加料池受侵蚀是严重的,尤其在加料池的拐角处,侧面投料池朝向流液洞的拐角较严重。这是池窑中容易损坏的部位之一。因为在拐角处两面受热,散热面小,冷却条件差,又经常受到配合料的强烈侵蚀和机械磨损作用。所以加料池拐角处要用高质量耐火材料砌筑,常用电熔锆刚玉砖。

为了充分发挥加料池的预熔作用,我国中、小型玻璃池窑上将加料池发展成为预熔池。图 1-3-10 为横焰窑和马蹄焰窑上预熔池的结构实例。共同点是原有的加料池放长加宽,加料口加高,但其尺寸和拱顶形式应按不同情况确定。为了保证预熔效果,加料口断面应尽量扩大,预熔池平面呈梯形,预熔池外面加保温材料。

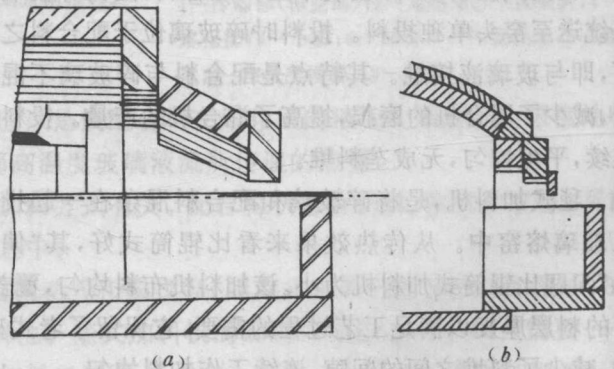


图 1-3-10 预熔池结构

(a)横焰池窑上的预熔池;(b)马蹄焰池窑上的预熔池

预熔池内的温度一般能保持在 1100~1300℃,配合料内各组分之间的硅酸盐反应在预熔池内已经开始,在这里料堆表面已开始熔融。这样,已初步熔化的料堆当

它进入熔化池后,其熔化速度当然可以加快。在熔化池面积一定的情况下,熔化速度加快了,相对来说,其澄清时间就延长了。因此,充分预熔是能达到提高熔化率、改善玻璃质量、降低热耗的作用。此外,采用预熔池后,池内料粉飞扬的情况大大减少,格子体堵塞情况大大改善,不少熔炉可以在不通灰、不更换的情况下,与熔炉达到同炉龄,不能不归功于预熔的效果。现在,随着熔炉出料量的不断增加,预熔池正进一步扩大;并且,这一结构同时运用到横焰窑上。

2. 前脸墙

正面加料时,加料口上部挡墙称为前脸墙,即熔化部火焰空间的前部挡墙。前脸墙一般是由二层或三层前脸碓和碓下弓形及阻挡碓下弓形孔口挡火墙构成。也有用L形吊墙,堵挡熔窑前端的火焰。前脸墙通常与胸墙所用耐火材料相同,一般用硅砖或电熔锆刚玉砖砌筑。

前脸碓碓股下的弓形孔口处挡火墙的作用是阻挡火焰喷出、保护加料机不被烧损和减少粉尘飞扬、降低周围环境温度以及在一定程度上还可控制料堆的厚度。由于前脸碓下的挡火墙受火焰的烧损和料粉侵蚀,容易损坏,应设计一个既耐用又便于维修的挡火墙结构。

目前我国采用的前脸墙主要有四种:吊墙式挡火墙结构、水冷式挡火墙结构、双副碓结构和L型吊墙结构。

吊墙式挡火墙如图1-3-11所示,是由几十块长度不等的硅砖组成,每块吊墙砖都用挂钩夹住,再通过吊杆、吊钩固定在工字钢梁上,悬挂位置可以通过螺丝进行调节,位置固定后用两侧工字钢上的顶丝顶紧,其下面横跨一根水管,通水冷却,以减轻粉料及火焰对吊砖的蚀损并阻挡火焰向外喷出及刮平料堆。

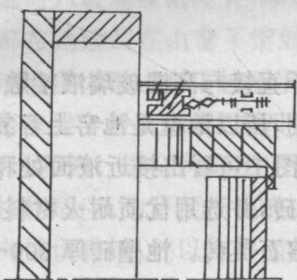


图1-3-11 吊墙式挡火墙

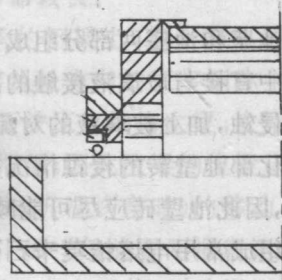


图1-3-12 水冷式挡火墙

水冷式挡火墙结构如图1-3-12所示,是用两根槽钢拼合焊接而成的方水管,作成方管梁,横跨加料池两侧池壁上,方水管上面摆放硅砖若干层。这种结构简单,便于维修,可以放得低,封闭前脸碓下的空隙较严,这对中、小型熔窑更为适用,但对水质要求高,水温要适宜,以防水管内表面出现水垢,外表面粘附料粉,导致水管蚀损。

双副碓结构如图1-3-13所示,其结构简单,但占据面积大,考虑到加料机往复行程,要加长加料池。

L型吊墙,结构如图1-3-14所示,为了解决加料口的密封和安全问题,大型平板玻璃熔窑较为广泛的采用L型前脸吊墙。该吊墙是单独悬吊的,通过机械千斤顶可以调节吊墙距液面的高度。采用L型吊墙的同时加长了加料池,不但减少了粉尘飞扬,还加强了对配合料的预熔作用。吊墙用耐火材料、耐热铸件、支承钢结构和冷却系统构成。吊墙的上部采用硅砖,鼻区采用电熔莫来石或锆刚玉砖等。吊墙外墙壁用陶瓷纤维毡进行保温,鼻区的前端设有水包,它可以将高料堆摊平,也起冷却和密封作用。

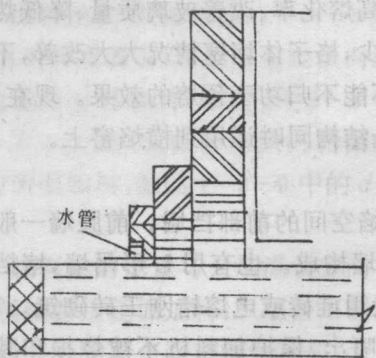


图 1-3-13 双副窑

(二) 熔化部

熔化部分为熔化带和澄清带，泡界线前称熔化带，泡界线后称澄清带。所谓泡界线，简单的说，就是未熔化好的具有许多泡沫的不透明的玻璃液与熔化好的透明的玻璃液之间的分界线。熔化部的作用是使加入的配合料在高温下熔化成玻璃液并澄清和均化。对于用火焰表面加热的熔化方法，熔化部分为上下两部分，下部为窑池，上部为火焰空间。

1. 窑池

窑池由池壁和池底两部分组成。

在窑池中直接与玻璃液接触的周围砖墙称为池壁。由于直接与高温玻璃液接触，玻璃液对池壁有化学侵蚀，加上玻璃液的对流对池壁的机械冲刷作用，所以池壁是池窑上容易损坏的部分之一。熔化部池壁砖的侵蚀情况如图 1-3-15 所示，从图中可看出接近液面处和水平横缝处侵蚀严重，因此池壁砖应尽可能减少横缝，最好采用大型砖，并选用优质耐火材料，根据温度及玻璃化学组成常用电熔锆莫来石砖、电熔锆刚玉砖或电熔石英砖。池壁砖厚 300~400mm。

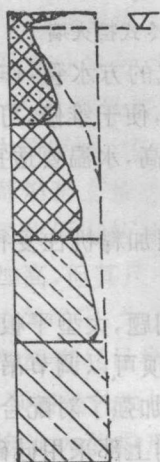


图 1-3-15 池壁侵蚀情况

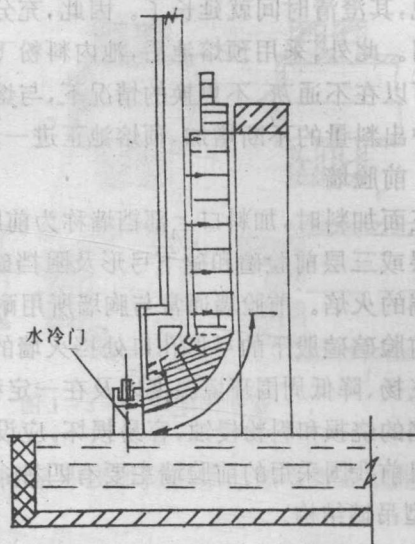


图 1-3-14 L型吊墙

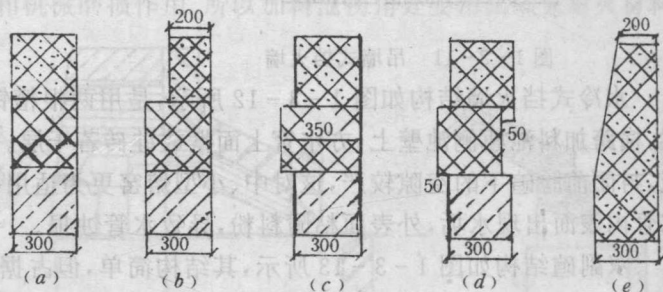


图 1-3-16 池壁砖排列方式

池壁砖的排列要考虑到能耐玻璃液侵蚀、维修方便、冷却效果好及砌筑简便等。一般有以下五种排列方式，如图 1-3-16 所示。其中图 (a) 由三层或四层耐火材料砌成，上层容易侵蚀，选用优质耐火材料，常用电熔锆刚玉砖，中间一、二层可用锆莫来石砖或优质耐火粘土砖，下层可用耐火粘土砖；图 (b)

上层池壁减薄,是为了使人工冷却早起作用和窑使用后期便于贴砖(热修需要);图(c)和(d)都设一个台阶,是为了热修和顶砖用;图(e)是用整块大砖,没有水平缝。前面四种排列在几层池壁之间都有水平缝和垂直缝,为了减轻玻璃液横向对流对池壁砖的侵蚀,上下层垂直缝要错开。

池底要承受全部玻璃液的重力,为了有足够的结构强度、延长使用寿命,池底砖在池底不保温情况下常用大型粘土砖砌筑。通常为 $300 \times 400 \times 1000\text{mm}$ 。为了满足窑池要求的尺寸,有时也用一些 $300 \times 400 \times 900\text{mm}$ 或 $300 \times 400 \times 600\text{mm}$ 的大型粘土砖。池底厚一般是 300mm 或 400mm 。池底砖排列如图1-3-17所示,池底砖的长边沿窑池纵向中心线方向排列,这是因为窑池下的次梁(工字钢)是沿窑池横向铺设的,而每块池底砖下应有两根或两根以上次梁支撑,以保证砖的稳定性。次梁间距 $\leq 500\text{mm}$ 。次梁的位置应躲开池底砖的砖缝,以保证砖缝处有较好的冷却条件,防止漏玻璃水时次梁受热变形。池底排列要使窑的纵向和横向砖缝贯穿,以便与其下面次梁相配置,在受热膨胀时窑底砖可以在某种程度上自由膨胀和移动。由于池底玻璃液温度较低(在池底不保温时),玻璃液粘度大,流动慢,所以池底砖使用寿命较长。

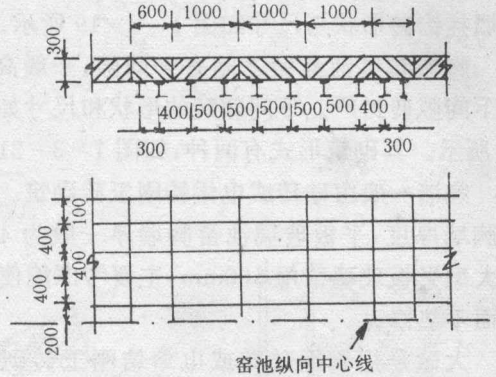


图1-3-17 池底砖排列

熔化部窑池建筑在由窑下钢筋混凝土柱子(窑墩)支承的钢架上,整个窑池的重力和其中所盛的玻璃液重力都由窑下柱子承担。柱子上面架设沿窑纵长方向的工字钢称主梁。大型平板玻璃池窑主梁一般有四根(或四排,每排两根)。主梁上面放工字钢为次梁,次梁与主梁相垂直,横跨窑池两侧。熔窑两侧工字钢立柱安装在次梁的两端部,因此次梁的位置还必须与两侧工字钢立柱相适应。为了便于池底大砖在温度变动时(冷修或升温烤窑时)的移动,在次梁上面沿窑池纵向铺设扁钢,并以点焊固接或不焊。每块池底砖下面一般放置两根扁钢,窑下柱子上要敷设厚钢板。(上面放几段圆钢,以备主梁受热膨胀时可以自由延伸,不致损坏柱子,圆钢段放置的方向与窑宽方向一致)。如图1-3-18所示。

2. 火焰空间

在熔化部玻璃液面的上面是由窑墙(胸墙)、窑顶(大碓)、前脸墙和后山墙所包围着的充满火焰的整个炉膛空间称为火焰空间。火焰空间内充有炽热的气体,火焰气体将自身热量传给玻璃液、胸墙和大碓。火焰空间应使燃料完全燃烧,以保证供给熔化和澄清所需要的热量并应尽量减少向外界的散热损失。

火焰空间的胸墙和大碓,由于各部位损坏情况不同,热修时间不同。为了分别进行热修,并减少胸墙和池壁的承重负荷,延长使用寿命,将大碓、胸墙分别支承,如图1-3-18所示。

窑两侧用工字钢立柱夹住,大碓的水平推力作用于工字钢立柱上,大碓的重力由碓碓砖到碓碓角铁再到上巴掌铁,通过工字钢立柱传到窑底次梁上。窑两侧用工字钢立柱夹住,两侧工字钢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,使大碓不致下沉。

胸墙的重力由挂钩砖传递到托板(也称铸铁板),再到下巴掌铁,通过工字钢立柱传到窑池底次梁上。

大碓、胸墙和窑池分成三个独立支承部分,最后都将负荷传递到窑底砖柱,如图 1-3-18 所示。

胸墙与大碓之间用上间隙砖封严,以保护大碓的碓碓和碓碓角铁,使其不被火焰和辐射热烧损。胸墙在高温下需要有足够的结构强度,其中挂钩砖是关键部位,它的作用是保护胸墙托板和下巴掌铁等铁件。因为挂钩砖更换困难,所以挂钩砖本身又由下间隙砖保护。胸墙挂钩砖形状与尺寸如图 1-3-19 所示。

胸墙与窑池池壁之间有一间隙,一般高 100mm,由下间隙砖封严。下间隙砖的形状和尺寸如图 1-3-20 所示。其砌筑形式有两种,如图 1-3-21 所示。

胸墙一般由硅砖或电熔锆刚玉砖砌筑。用硅砖砌筑胸墙厚度,平板玻璃池窑胸墙厚一般为 450mm,个别大型平板玻璃窑用 500mm,主要考虑能使用一个周期而不热修。

大碓是用楔形硅砖或电熔锆刚玉砖砌筑的弧形碓。碓的结构强度与其股跨比有关,随着股跨比的减小,碓的横向推力增大,其结构强度减低。横焰窑和马蹄焰窑大碓的股跨比一般为 $1/8 \sim 1/9$,碓厚与窑碓跨度有关,详见表 1-3-7。

在大碓结构中,碓碓是很重要的,因为碓碓承受大碓的作用力,如果碓碓损坏,会造成钢件受热变形产生严重塌窑事故。个别大型平板玻璃池窑,因为窑池跨度大,碓股高,碓碓承重大,有的熔窑碓碓是用厚铸铁板或钢板、型钢焊接而成的空心碓碓,且内通冷却风或冷却水。

熔化部的火焰空间还开有各种操作孔,如前脸墙上有观察孔,大碓碓顶上有测压孔(马蹄焰窑测压孔有时放在胸墙上)和测温孔等。

(三)冷却部

从熔化部进入冷却部的玻璃液进一步澄清、均化和冷却。冷却部结构与熔化部基本相同,也分上部空间和下部窑池两部分,上部空间由胸墙大碓组成,下部窑池由池底和池壁组成,只是其胸墙高度略低于熔化部的胸墙高度,窑池深度比熔化部稍浅。由于冷却部无燃料燃烧,胸墙和大碓不与火焰直接接触,窑池内玻璃液温度也低于熔化部,所以冷却部对材质的要求也略低于熔化部。

(四)通路及其与冷却部的连接

对于垂直有槽引上成型的平板玻璃熔窑具有通路和支通路。通路的主要作用是将玻璃液分配给各引上室。通路由上部空间与窑池组成,其上部空间比冷却部还低,基本上没有胸墙,只有碓碓砖的碓脚高度,碓碓下面就是池壁,为有利于冷却,其碓顶尽量放平,一般的股跨比是 $1/10$ 左右。通路池深较冷却部还要浅 300mm。熔制工艺要求玻璃液要缓慢均匀地冷却,以保

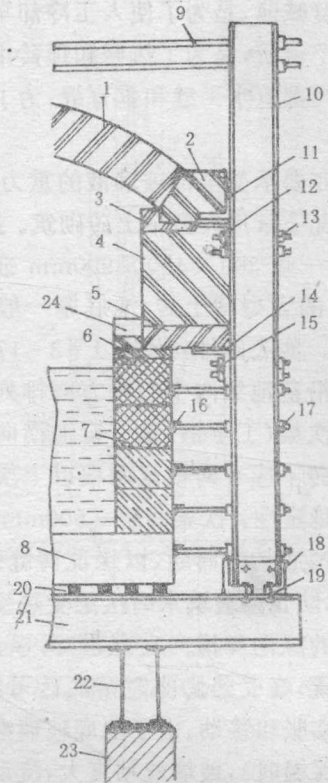


图 1-3-18 横焰窑熔化部剖面图

1—窑顶(大碓);2—碓脚(碓碓);3—上间隙砖;4—胸墙;5—挂钩砖;6—下间隙砖;7—池壁;8—池底;9—拉条;10—立柱;11—碓脚(碓)角铁;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—柱脚角铁;19—柱脚螺栓;20—扁钢;21—次梁;22—主梁;23—窑柱;24—护头砖