

平板玻璃生产技术丛书

熔窑和熔化

11.6
23

中国建筑工业出版社

平板玻璃生产技术丛书

熔 窑 和 熔 化

秦皇岛玻璃厂编写组

中国建筑工业出版社

本书主要介绍平板玻璃熔窑的种类和结构、玻璃熔化的原理和操作、熔窑的热修和维护保养等。有关影响玻璃形成速度的因素和熔制操作问题都介绍得比较详细，内容结合生产实际，可供工人、技术人员和管理干部阅读。

平板玻璃生产技术丛书
熔窑和熔化
秦皇岛玻璃厂编写组

*

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

*

开本：787×1092毫米 1/32 印张：3 插页 3 字数：62 千字
1974年5月第一版 1974年5月第一次印刷
印数 1—5,910 册 定价：0.20元
统一书号：15040·3144

毛主席语录

鼓足干劲，力争上游，多快好省地建设社会主义。

抓革命，促生产，促工作，促战备。

工业学大庆。

编 者 的 话

在毛主席的无产阶级革命路线指引下，我国玻璃工业得到了迅速的发展。许多青年加入到工人队伍中来，为玻璃工业战线增添了新生力量。

为了适应玻璃工业发展的需要，为培训青年工人提供学习材料，我厂组织了由工人、干部和技术人员“三结合”的编写组，编写了这一套《平板玻璃生产技术丛书》。

这一套丛书共分《原料》、《熔窑和熔化》、《引上》、《煤气发生炉》和《熔窑冷修》五个分册。其中，《原料》分册主要介绍生产平板玻璃所用原料的种类、特性、加工工艺和玻璃的成分及其控制；《熔窑和熔化》分册主要介绍平板玻璃熔窑的结构，玻璃熔化的原理和操作，窑炉的热修和维护、保养等；《引上》分册主要介绍平板玻璃的成型原理、看火和引上操作；《煤气发生炉》分册主要介绍煤气发生的原理、煤气发生炉的操作等；《熔窑冷修》分册主要介绍冷修前的准备工作、冷修施工和点火烤窑等。

这一套丛书，从工厂的生产实际出发，重点总结了我厂工人的操作经验，并有简明的理论阐述，因此，除了适合青年工人阅读外，还可供老工人、技术人员和干部参考。

由于缺乏编写经验和水平所限，书中难免有缺点、错误，希望广大读者提出宝贵意见，以便再版时补充和修订。

1973年6月

目 录

第一章 概述.....	1
第二章 玻璃熔窑的结构	3
第一节 玻璃熔窑的作业室.....	5
第二节 火焰燃烧设备——小炉.....	9
第三节 蓄热室、烟道和烟囱.....	11
第四节 玻璃熔窑的分隔设备.....	16
第五节 冷却部、通路和引上室.....	18
第六节 玻璃熔窑常用的耐火材料.....	20
第三章 玻璃熔融	24
第一节 玻璃的熔化过程.....	24
第二节 影响玻璃形成速度的工艺因素.....	29
第三节 熔制玻璃的温度制度.....	33
第四节 玻璃液的流动及其作用.....	38
第五节 玻璃的熔制操作.....	41
第四章 玻璃熔窑的热修	70
第一节 热修的目的及其意义.....	70
第二节 熔窑的热修.....	74

第一章 概 述

玻璃的熔化是玻璃生产工艺中最重要的过程之一。它的任务是用煤气或液体燃料把合乎质量的配合料，在熔窑中加热、高温熔化，而获得化学均匀和热均匀的玻璃液，供给引上成型。要完成这一任务，除了要求熔窑结构先进合理，还要制订各项合适的热工制度和作业条件。并选用为控制工艺参数所需的各类测量、控制、调节仪表和科学的熟练的操作技术。

玻璃的熔化过程极其复杂，在这个过程中，原料受到高温作用，进行着一系列的物理化学反应。过程进行得是否合理和迅速，不仅对玻璃的产量质量、原板的外观缺陷（波筋、疙瘩等）有决定作用，而且对熔窑的生产能力、熔化率、燃料消耗以及产品成本等经济技术指标有重大关系。因此，在平板玻璃生产“大四稳●”操作中，熔化的稳定是极其重要的。

玻璃的熔化是通过熔窑进行的，熔窑是生产玻璃的关键热工设备。在生产过程中，如果熔窑砌体受到损坏，就会影响或破坏熔化的平衡状态和正常的工艺制度，严重地影响产品产量和质量。可见正确而合理的使用熔窑，加强对熔窑的维护和热修，使之正常运行，不但对提高产品的产量和质量有重要作用，而且也是延长熔窑使用周期，挖掘生产潜力的

● 大四稳即原料稳、煤气稳、熔化稳和引上稳。

有效手段。

解放以后，随着我国玻璃工业的飞跃发展，我国玻璃熔窑的生产能力、使用周期等重要经济技术指标都跃进到一个新的水平，如熔化能力由解放初期的 $0.74 \text{ 吨/米}^2 \cdot \text{昼夜}$ 提高到 $1.45 \text{ 吨/米}^2 \cdot \text{昼夜}$ ，使用周期由12个月延长到30个月，有的达到42个月，为多快好省地建设社会主义做出了贡献。

第二章 玻璃熔窑的结构

玻璃熔窑的分类方法很多，一般依据熔化料量的多少和所生产的品种，可分为坩埚窑和池窑两大类，池窑是在坩埚窑的基础上发展起来的。

坩埚窑也分为好多种，依据坩埚窑中气体的流动方向可分为倒行、上行、混合和平行走向的窑。坩埚窑的特点是熔化量小，且玻璃液的熔化、澄清和冷却都在坩埚中进行，生产是不连续的，适用于小量生产，如生产光学玻璃、灯泡和器皿玻璃等。

池窑有换热式和蓄热式两种。从气体和火焰的流动方向分又有横火焰窑、马蹄形火焰窑、纵火焰窑和联合流动火焰窑。燃料可以采用气体，也可以采用液体。大、中型平板玻璃熔窑多是带有蓄热室的横火焰窑，而小型池窑多采用马蹄形火焰窑。

生产平板玻璃的带有蓄热室的横火焰大型池窑的结构比较复杂，它包括作业室、小炉、废气余热利用装置、废气的排出与鼓入助燃风的装置、窑池的冷却装置、投料装置和成型装置等。下面就按其结构分别加以介绍。图1和图2所示的是一座具有6对小炉，9台引上机，连通式蓄热室的生产平板玻璃的熔窑。按照熔制玻璃的实践把熔窑按纵方向分为熔化部、澄清部和冷却部或熔化部和冷却部，并根据这几个带来具体设计熔窑的结构。

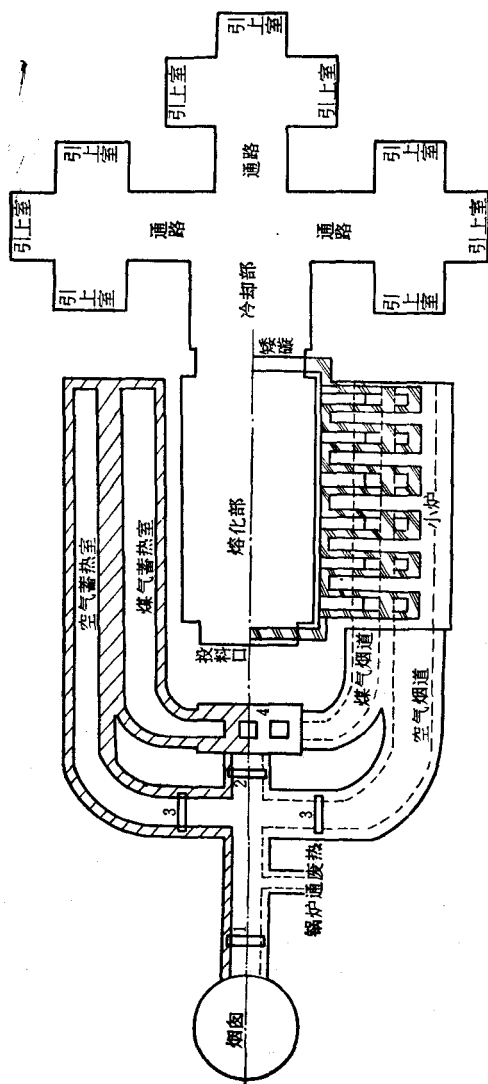


图 1 6 对小炉 9 台引上机的玻璃熔窑平面示意图

1—大闸板；2—中间闸板；3—空气换热器；4—煤气换热器

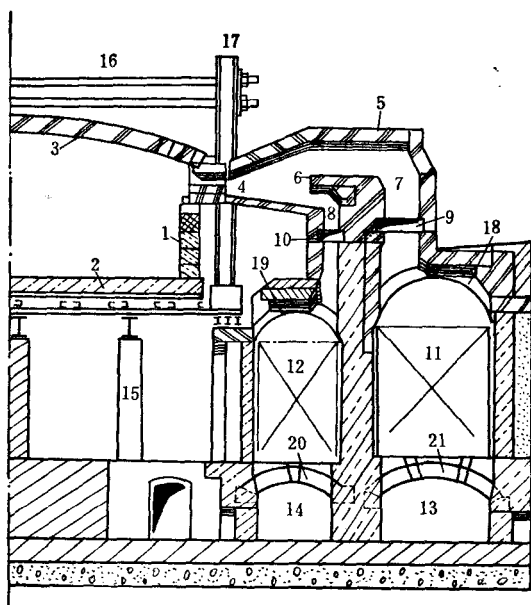


图 2 池窑熔化部横断面示意图

1—池壁；2—池底；3—大藏；4—喷火口；5—小炉；6—舌头；7—空气上升道；8—煤气上升道；9—空气隔板；10—煤气隔板；11—空气蓄热室；12—煤气蓄热室；13—空气烟道；14—煤气烟道；15—立柱；16—拉条；17—工字钢；18—空气蓄热室圆藏；19—煤气蓄热室圆藏；20—煤气蓄热室炉条；21—空气蓄热室炉条

第一节 玻璃熔窑的作业室

玻璃熔窑的作业室由熔化玻璃原料的窑池和窑池上部的火焰空间两个部分组成。

一、窑池的结构

窑池是将制备好的配合料投入其中，使之熔化成玻璃液

并进行澄清的地方。窑池由池壁和池底两部分构成。

窑池建筑在由立柱所支承的工字钢梁上。在窑底砖下面有一定数量的立柱，在立柱上面铺有工字钢梁，在工字梁上铺有扁铁，窑底大砖就铺设在扁铁上。整个窑池的重量和其中所盛装的玻璃液的重量均由立柱支承。

窑池的面积按每平方米窑池面积所熔化的玻璃液量来确定。窑池的宽度与火焰的长度有关，通常是根据窑宽来选择小炉。依窑池容积不同，其宽度可为6~10米，我国大型平板玻璃熔窑的窑宽一般为7.8~8.0米。通常窑越宽，火焰燃烧越完全，火焰在窑内停留时间越长，辐射传热效能越好。但因燃料性质不同，有的达不到必要的火焰长度，熔化不良。所以窑宽要以窑池容积、澄清效果和燃料等因素来选择。

一般窑底砖的厚度为300毫米，采用干砌法以缩小砖缝和减少玻璃液对窑底的侵蚀。砌筑窑底砖时，要求按窑的纵向和横向砖缝贯通，以使下面支承部分的位置按需要配置，且在受热膨胀时窑底砖可以得到一定程度的自由膨胀和移动。为防止窑底砖浮起，在横向接缝处应具有斜坡形。

窑池的池深与玻璃液的粘度及透明度有关。当玻璃液中含铁量低、透明度高、透热性好时，池深可以深一些；大型熔窑可以深一些。一般熔化部池深为1200~1500毫米。

由于在熔化部要进行燃料的燃烧并熔化原料，温度高达1550~1580℃，玻璃液的作业流和热对流都很激烈，对池壁的侵蚀和冲刷也很严重，所以砌筑池壁的砖材均选耐高温和耐侵蚀的耐火材料，如电铸莫来石砖（铁砖）和锆刚玉砖（白铁砖）砌筑。考虑到玻璃液在窑底层流动性较小，并为了节约起见，一般在池壁最下一层采用质量较好的铝砖，上部

第一、二、三行采用电铸莫来石砖（铁砖），有时在第一行采用锆刚玉砖（白铁砖）。砖的侵蚀多发生在接缝处，所以为减少砖的缝隙间的侵蚀，池壁最好用大型砖，用干砌，砖材应该干磨，竖缝应该错开。对池壁进行冷却可以减慢侵蚀速度，通常冷却方法有吹风冷却和水幕冷却。为使吹风冷却能够对池壁内层起作用，一般池壁砖采用 300 毫米厚为宜。

为防止在玻璃液的压力下造成池壁外移，在两侧工字钢柱上通过顶丝、槽钢顶住池壁。

二、围成火焰空间的胸墙和大碛的结构

火焰空间是指玻璃液面以上，由大碛和胸墙围起来的做为火焰和气体流动的空间。通常火焰空间较窑池宽出 300~500 毫米，以便在外部架设工字钢柱。围成火焰空间的胸墙和大碛的构造如图 3 所示。胸墙是通过挂钩砖及下面的铸铁板和铸铁制的巴掌铁（亦称角铁）连于两侧的工字钢柱上，大碛是通过碛碴，碛碴角铁及下面的巴掌铁连于两侧的工字钢柱上。胸墙和大碛分别独立悬挂，同窑池并不相连，所以熔窑两侧的成对的工字钢柱承受着胸墙和大碛的全部重量。胸墙和池壁，胸墙和大碛的空隙用间隙砖填满，以避免窑内火焰向外喷射。

巴掌铁靠螺栓紧固于工字钢柱上，上面分别托起铸铁板和碛碴角铁。为保护铸铁板和碛碴角铁不被火焰和辐射热烧损，其挂钩砖和碛碴的下面做成二级台阶式异形砖，罩住铸铁板和碛碴角铁。

大窑两侧的各对工字钢柱利用横跨大碛顶部的拉条拉紧，在点火烤窑和冷修凉窑过程中，要随温度的变化和硅砖膨胀的程度来调整拉条，以保证拉条拉力维持在一定范围，窑碛才不致发生松动和下沉。

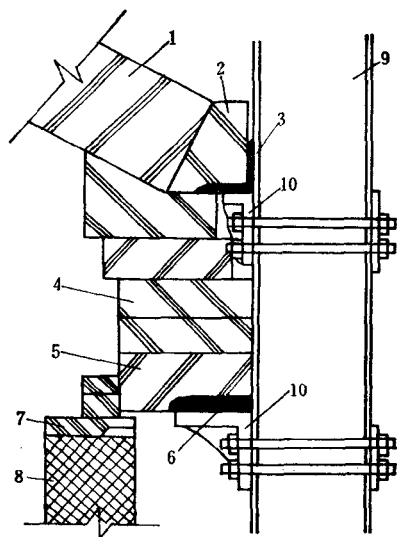


图 3 围成火焰空间的胸墙和大碚结构简图

1—大藤；2—藤碇；3—藤碇角鐵；4—胸牆；5—掛鈎磚；6—鑄鐵板；7—間隙磚；8—池壁鉄磚；9—工字鋼；10—巴掌鉄

窑池、胸墙和大碛各自分开，互不相连可以便于热修，这是因为在生产期间，熔窑各部分受侵蚀的程度不同，所需热修的时间间隔也不相同，这样处理就可以哪个地方侵蚀最厉害就先修哪个地方，互不干扰。

胸墙和大龕受到极高温度的作用和火焰的烧损，故全部用硅砖砌成（龕碴可用铝砖）。特别是大龕，对砖材和砌筑质量都要求严格，砖材要好，泥缝要小。大龕可分为几节，每节3~6米，各自独立，并且在两节大龕之间留有膨胀缝，以适应点火烤窑时硅砖的膨胀性能，冷修时可以拆除受烧蚀最严重的部分。

从热工的角度考虑，大碓低一点是有好处的，可增加大碓对玻璃液的辐射强度，胸墙向外散失的热量也减少。降低大碓有两种方法，一种是降低胸墙高度，另一种是减小大碓的碓股。但降低胸墙的高度是有一定限度的，大碓太低也影响大碓的安全，因此大碓的碓股通常为跨度的 $1/8 \sim 1/10$ 。为了减少由大碓向外散失的热量，有些国家采用在大碓上部覆以热绝缘层和采用双层大碓的办法，看来是值得探讨的。

第二节 火焰燃烧设备——小炉

小炉是将经蓄热室预热的空气和煤气进行混合、燃烧而喷出火焰的设备。空气和煤气预热温度的高低，以及空气过剩系数的多少，决定了火焰的气氛和火焰的燃烧温度。喷入窑内的火焰应有一定的角度和速度，并对玻璃液面有较大的覆盖面积。

沿熔窑熔化部两侧纵向设置3~7对小炉。控制各对小炉的燃烧情况，可以在熔窑纵向获得熔制玻璃所需要的温度、压力和火焰的气氛。因此小炉的结构是否合理，对玻璃熔窑能否满足上述要求是非常重要的。小炉（见图2）由喷火口、预燃室、小炉舌头、空气上升道、煤气上升道以及控制空气、煤气量的小炉闸板组成，下面就分别加以介绍：

一、喷火口

喷火口也叫吹出口，是向窑内喷出火焰的地方，又是从窑内排出废气的地方。当空气和煤气的压力、流量和预热温度以及火焰的燃烧温度一定时，喷火口截面积的大小决定了火焰的喷出速度。而当喷火口截面积一定时，喷火口的长和高的比，决定了火焰对玻璃液面的覆盖面积。

对小炉的喷火口断面积的设计要求是保证火焰通过顺利，同时要顺利地排出废气。小炉喷火口断面积一般按所有喷火口总面积约等于熔化部面积的2~4%来确定。喷火口的顶是平碛，并用反碛和大碛连接，两边是小炉垛并和胸墙连接。小炉喷火口是小炉中受飞料侵蚀和火焰烧损最剧烈的部分，因此整个喷火口和反碛都由硅砖砌成，现在有的玻璃工厂其平碛和小炉垛用电铸莫来石砖或锆刚玉砖砌成，降低其侵蚀速度，减少了热修次数。

二、小炉舌头

为保证空气和煤气良好的混合，使预热的空气从小炉舌头上进入，使预热的煤气从小炉舌头下面进入。由于空气比煤气重，在小炉舌头前面相遇后，煤气上浮，空气下沉，互相扩散混合并预燃一部分。在小炉其它尺寸固定后，舌头愈长，空气和煤气相遇点距喷火口愈近，即预燃室愈短，这对火焰的燃烧是有一定影响的。舌头碛一般是用硅砖砌成，有的工厂在舌头碛第一行用电铸莫来石砖或锆刚玉砖砌成，以减轻烧蚀情况。

三、预燃室

从小炉舌头的端部至喷火口的地方称为小炉的预燃室。预热的空气和煤气由舌头碛上、下分别进入后，在舌头前面（即预燃室）相遇，进行混合和预燃。预燃室的顶碛称小炉斜坡碛，是向下倾斜的，预燃室的底可以是向上倾斜的，也可以是水平的。这上、下倾斜的角度总和，就是空气和煤气的相交角，角度大时，空气和煤气混合的较好。由于煤气较空气轻，煤气上浮，空气下沉，相互扩散和相互撞击而达到混合，但预燃量的比例相对增大，故一般采用交角为 $20^{\circ} \sim 30^{\circ}$ 。

预燃室的长度直接关系到燃料预燃部分的多少和火焰的长度。气体燃料预燃的目的是提高喷入窑内的火焰温度，并使在火焰流股的长度上温差缩小。预燃室长了，预燃量多了，火焰就短了，相反则预燃量少了，火焰就长了。由于空气和煤气的预热温度较高，在预燃室处火焰的燃烧速度较快，故选择预燃室长度时，应在满足混合的条件下，预燃室尽量缩短，可以节约燃料。一般预燃室的长度为1~1.5米，有些国家预燃室长度还不到1米。空气和煤气混合后，火焰以小于 15° 的角度喷向窑内玻璃液面。预燃室的壁（小炉斜坡壁），侧墙和底一般均用硅砖砌成。

四、控制空气量和煤气量的小炉闸板结构

在空气和煤气的上升通道上放置小炉闸板，用小炉闸板的开度来控制所通过的空气和煤气的流量。小炉闸板可采用粘土砖，但由于粘土砖软化点低，容易烧损，需经常更换，有的工厂已采用硅砖做闸板，以减少更换次数。

放置小炉闸板的地方为闸板台，一般用硅砖砌成。由于闸板台也是受侵蚀较厉害的地方，所以有的工厂已经采用电铸莫来石砖砌筑小炉闸板台。

第三节 蓄热室、烟道和烟囱

一、蓄热室

蓄热室是砌在小炉的空气和煤气上升道的下面，并填充着耐火物格子体的长方形室。空气和煤气蓄热室放在一起，中间用隔墙分开，煤气蓄热室在里侧，空气蓄热室在外侧。当废气通过蓄热室时，格子砖吸收了废气带来的热量，换火以后，供燃烧用的空气和煤气经过这些格子砖时，格子砖就