

T/SCS

团 体 标 准

T/SCS XXXX—XXXX

玻璃熔窑通用设计规范

General specification for design of glass furnaces

（征求意见稿）

（本草案完成时间：2022.9.20）

在提交反馈意见时，请将您知道的相关专利连同支持性文件一并附上。

2022 - XX - XX 发布

2022 - XX - XX 实施

上海市硅酸盐学会 发布

前 言

本文件按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由上海市硅酸盐学会提出并归口。

本文件由上海市硅酸盐学会提出并归口。

本文件起草单位：中国科学院上海硅酸盐研究所、中国建材国际工程集团有限公司、上海吉驰玻璃科技有限公司、上海大学、华东理工大学、东华大学、上海荣丰科技发展有限公司、南通畅达窑炉技术工程有限公司、安徽省凤阳县前力玻璃制品有限公司、郑州德众刚玉材料有限公司、河南省新密市振发耐火材料有限公司、河南省豫华电熔科技有限公司、上海玻搪硅酸盐工程设计有限公司，上海瑞由思环保节能科技发展有限公司\上海市硅酸盐学会。

本文件主要起草人：宁伟、陈奕睿、左泽方、张有新、谢建军、薛明俊、程湘荣、罗理达、黄培聪、刘薇、王夕增、丁振朝、闫松涛、吕宏伟、顾中华、程骏。

玻璃熔窑通用设计规范

1 范围

本文件规定了以马蹄焰熔窑、横火焰熔窑以及全氧助燃熔窑为主的玻璃熔窑的术语、定义、技术要求、耐火材料、钢结构、熔窑风冷却和环境保护。

本文件适用于上述玻璃熔窑的通用设计，其他玻璃熔窑的设计也可参考使用。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB 117 钢结构设计规范

GB 985 气焊、手工电弧焊及气体保护焊焊缝坡口的基本形式与尺寸

GB 21340 平板玻璃单位产品能源消耗限额

GB 26453 平板玻璃工业大气污染物排放标准

GB 29495 电子玻璃工业大气污染物排放标准

GB 50051 烟囱设计规范

GB/T 25328 玻璃熔窑节能监测

JC/T 60004 玻璃窑用耐火材料使用规程

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

玻璃熔窑 glass melting furnace

以火焰辐射加热为主，满足玻璃熔制工艺的要求，由耐火材料和钢结构组成的热工设备。

3.2

马蹄焰玻璃熔窑 end-fired glass furnace

火焰沿熔窑纵轴水平燃烧，其轨迹呈马蹄形，并作周期性交替换向的玻璃熔窑。

3.3

横火焰玻璃熔窑 cross-fired glass furnace

火焰沿熔化池宽度方向水平燃烧且与玻璃液流动方向垂直、作周期性换向的玻璃熔窑。

3.4

全氧助燃玻璃熔窑 oxy-fuel glass furnace

用全氧助燃，火焰水平燃烧且与玻璃液流动方向垂直的玻璃熔窑。

3.5

投料池 doghouse

由耐火材料砌筑，用于投料机投送配合料至熔化池的一个结构，具有预熔作用。

3.6

熔化池 melting chamber

将配合料熔化成玻璃液并进行澄清及均化的区域。

3.7

马蹄焰熔窑熔化面积 melting area of end-fired glass furnace

马蹄焰熔窑的熔化池面积，该面积不包括投料池面积。

3.8

横火焰熔窑熔化面积 melting area of cross-fired glass furnace

末对小炉中心线后1米到投料口的末端的距离乘以熔化池宽所得到的面积。

3.9

熔化率 melting capacity

指每平方米熔化面积24小时熔化玻璃液的重量，单位 $t/m^2 \cdot 24h$ 或 $t/m^2 \cdot d$ 。它的大小主要与玻璃品种、熔窑结构及燃料种类等有关。

3.10

窑坎 weir

位于熔化池由耐火材料组成垂直于玻璃液流动方向的挡坝，其内部可设置冷却装置。

3.11

熔化池顶 crown of melting area

由楔形耐火砖砌筑而成的熔化池弧形顶盖。

3.12

胸墙 breast wall

熔窑池壁砖和顶碓之间的两侧墙体。

3.13

小炉 port

连接蓄热室与熔化池的通道，周期性地交替喷出火焰或排出烟气。

3.14

火焰喷射角 angel of flame ejection

火焰喷射角是指小炉喷出火焰方向对熔窑玻璃液面的夹角。

3.15

蓄热室 regenerator

蓄热室是通过格子砖吸收并积蓄烟气热量、再加热助燃空气的装置，它成对配置、周期性的交替工作。

3.16

流液洞 throat

由耐火材料砌筑而成、用于连接熔化池和工作池或分配料道之间的玻璃液通道，一般用于生产日用玻璃的熔窑。

3.17

卡脖 waist

一般在生产平板玻璃的熔窑中连接熔化部和冷却部的通道。

3.18

冷却池 cooling end

在横火焰熔窑中，位于卡脖和成型设备之间的作业池，用于冷却、调节玻璃液温度，满足成型温度的要求。

3.19

分配料道 distribution forehearth

连接流液洞与支料道的通道，将玻璃液分配至各支料道，满足总体工艺布局及结构要求。

3.20

烟道 flue

连接熔窑与烟囱的通道，用于排出熔窑的烟气。

3.21

排烟口 exhaust port

烟气排放的出口。横火焰熔窑和马蹄焰熔窑的喷火口也作为排烟口。全氧助燃熔窑排烟口一般设置在熔化部的端部或胸墙上。

4 技术要求

4.1 能耗

平板玻璃能耗参照国标GB 21340-2019。日用玻璃能耗应符合表1之要求。

表 1 日用玻璃行业常用种类能耗要求

序号	玻璃种类		能耗 kJ/kg
1	玻璃瓶罐类	精白料 ^a	≤ 8200
		高白料 ^b	≤ 7320
		普白料	≤ 6450
		颜色料	≤ 5860
2	器皿玻璃类		≤ 7320
3	保温瓶类		≤ 7470
4	电光源玻璃类		≤ 11000
5	中硼硅仪器玻璃类		≤ 13180
	中硼药用玻璃类		≤ 13180
6	玻纤球类	中碱玻璃球类	≤ 8290
		无碱玻璃球类	≤ 11190
^a Fe ₂ O ₃ ≤ 0.03%; ^b Fe ₂ O ₃ ≤ 0.06%;			

4.2 熔化池

4.2.1 熔化面积

熔窑的熔化面积按式（1）计算：

$$F_{熔} = P/E \dots\dots\dots (1)$$

式中：

$F_{熔}$ ——熔化面积，单位为平方米，m²；

P——出料量，单位为吨每24小时，t/24h；

E——熔化率，单位为吨每24小时每平方米，t/m²·24h；

一般情况下，玻璃熔窑的熔化率不大于2.6，具体情况视熔窑结构及熔制产品而定。

4.2.2 熔化池长宽比

熔化池的长宽比应符合表2的规定。

表 2 熔化池长宽比

窑型	长宽比
马蹄焰玻璃熔窑	1.4 ~ 2.0
横火焰玻璃熔窑	1.6 ~ 2.2
全氧助燃玻璃熔窑	1.6 ~ 3.0

4.2.3 熔化池深度

熔化池的深度应符合表3的规定。

表 3 熔化池深度

窑型		深度 (mm)
采用流液洞的熔窑	熔制颜色和难熔玻璃	600 ~ 1300
	熔制无色玻璃	1000 ~ 1800
采用深澄清的熔窑		澄清区比熔化区深100 ~ 500
采用卡脖分隔的熔窑		澄清区比熔化区浅0 ~ 500

4.2.4 熔化池底

池底宜采用多层式结构，厚度一般为600 ~ 1200 mm。池底接触玻璃液的铺面砖应用厚75 ~ 120 mm的无缩孔熔铸锆刚玉砖，铺面层下方根据需要可设置同质砖及密封料。

4.2.5 窑坎

窑坎的高度为池深的 $1/3 \sim 3/5$ ，上部宽度一般为 $300 \sim 600 \text{ mm}$ 。

4.2.6 投料池

马蹄焰熔窑投料口长度不大于 2.2 m ，深度不大于熔化池深度，宽度应与投料机相匹配，需满足出料量的要求。横火焰熔窑投料口长度不大于 2.3 m ，深度不大于熔化池深度，宽度一般与熔化池等宽。投料口须密封，避免粉尘飞扬，减少散热。

4.2.7 胸墙

马蹄焰玻璃熔窑的胸墙高度不超过 1.5 m ；横火焰玻璃熔窑的胸墙不超过 2 m ；全氧助燃玻璃熔窑的胸墙不超过 1.8 m 。

4.2.8 熔化池碓

玻璃熔窑的窑碓中心角一般在 $52 \sim 62^\circ$ 范围内。马蹄焰玻璃熔窑和横火焰玻璃熔窑的熔化池碓应采用硅碓砖，其厚度应符合表5的规定。全氧助燃玻璃熔窑的熔化池碓应采用电熔锆刚玉或电熔刚玉砖，厚度应在 $250 \sim 350 \text{ mm}$ 。

表4 马蹄焰玻璃熔窑和横火焰玻璃熔窑的砖厚度与窑拱跨度

窑拱跨度 (mm)	硅碓砖厚度 (mm)
< 3000	≥ 250
$3000 \sim 4900$	≥ 300
$4900 \sim 6700$	≥ 350
$6700 \sim 9000$	≥ 400
$9000 \sim 12500$	≥ 450
$12500 \sim 14000$	≥ 500
> 14000	≥ 550

4.2.9 卡脖

卡脖宽度为熔化池宽度的 $30 \sim 40\%$ 。一般在卡脖处安装有冷却水包和搅拌器，长度不小于 4 m 。

4.2.10 流液洞

流液洞高度为 $200 \sim 350 \text{ mm}$ ；长度为 $1000 \sim 2000 \text{ mm}$ 。倾斜流液洞的倾斜角为 $11 \sim 20^\circ$ 。下沉流液洞下沉深度为 $100 \sim 300 \text{ mm}$ 。宽度依据出料量计算，一般为 $300 \sim 800 \text{ mm}$ 。

4.2.11 冷却池

生产平板玻璃的玻璃熔窑冷却池宽度占熔化池宽度的 $65 \sim 85\%$ ，长度满足温降梯度 $10 \sim 20^\circ\text{C}/\text{m}$ ，其冷却池面积一般为熔化池的 $25 \sim 45\%$ 。

4.2.12 分配料道

宽度为 $500 \sim 1200 \text{ mm}$ ；深度为 $300 \sim 600 \text{ mm}$ ；长度按支料道的工艺布置确定。

4.3 小炉

4.3.1 小炉尺寸

小炉长度为池壁内壁到蓄热室前墙内壁的距离，马蹄焰玻璃熔窑一般为 $2.5 \sim 3 \text{ m}$ ，横火焰玻璃熔窑一般为 $3.5 \sim 4 \text{ m}$ ；小炉宽度与小炉喷火口相同；小炉高度应根据下倾角和喷火口的位置进行确定。马蹄焰玻璃熔窑小炉侧墙与胸墙的间距一般为 $0.4 \sim 0.8 \text{ m}$ ，小炉中心线向熔窑中心线一般倾斜 $0 \sim 5^\circ$ 。横火焰玻璃熔窑空气下倾角一般为 $18 \sim 25^\circ$ ，小炉底板下倾角 $0 \sim 10^\circ$ 。

4.3.2 喷火口

马蹄焰玻璃熔窑喷火口总宽度一般为熔化池宽度的 $55 \sim 70\%$ ；横火焰玻璃熔窑一侧小炉喷火口的总宽度一般为熔化区池长的 $45 \sim 55\%$ 。喷火口碓升高 $1/10 \sim 1/8$ 。采用重油和天然气作为燃料时，一般二次助燃空气的速度 $7 \sim 10 \text{ m/s}$ ；采用煤气作为燃料时，火焰喷射角是以空气和煤气流股的速度、

质量和角度,按矢量平行四边形法则来计算,一般为 $5 \sim 10^\circ$,其中二次助燃空气速度为 $5 \sim 7 \text{ m/s}$,煤气的速度为 $6 \sim 8 \text{ m/s}$,空气、煤气动量比为 $1.2 \sim 1.4$ 。

4.3.3 氧枪

全氧助燃玻璃熔窑不设小炉及蓄热室,燃料、氧气直接进入氧枪混合燃烧。一般氧枪以两侧交错布置为主,如采用扁平焰的喷枪也可采用对烧布置,以两侧火稍不相互干扰为准。

4.4 蓄热室

4.4.1 蓄热室尺寸

蓄热室的顶碓中心角一般为 60° ,碓顶厚度为 $300 \sim 350 \text{ mm}$;炉条碓中心角度为 $90 \sim 180^\circ$,顶碓厚度应为 $350 \sim 460 \text{ mm}$;侧墙总厚度一般为 $578 \sim 694 \text{ mm}$;隔墙厚度一般为 $462 \sim 578 \text{ mm}$ 。蓄热室的设计和砌筑必须保证蓄热室具有良好的气密性;蓄热室外侧应用密封性保温材料严格密封。

4.4.2 蓄热室热效率

蓄热室的热效率为 $45 \sim 67\%$ 。

4.4.3 蓄熔比及构筑系数

玻璃熔窑蓄热室的蓄熔比和构筑系数应符合表6的规定。格子体内自然进风气流速度一般为 $0.2 \sim 0.5 \text{ Nm/s}$ 。燃烧发生炉煤气时,空气蓄热室与煤气蓄热室格子体体积之比一般为 $(1.5 \sim 3.0) : 1$ 。

表5 玻璃熔窑蓄熔比及构筑系数

名称	构筑系数	蓄熔比
马蹄焰玻璃熔窑	2~ 3.5	(35 ~ 50) : 1
横火焰玻璃熔窑	2~ 3.5	(35 ~ 45) : 1

4.5 烟道

烟道中烟气设计流速为 $1 \sim 3 \text{ Nm/s}$,烟道内外表面及配套设备必须采取措施进行严格密封,烟道中应避免进水,埋入地下的烟道应采取可靠的防水、排水措施。马蹄焰玻璃熔窑的烟道宽度一般为 $700 \sim 1600 \text{ mm}$,横火焰玻璃熔窑烟道截面积根据烟气量确定,烟道高宽比一般为 $(1.1 \sim 1.2) : 1$ 。

4.6 烟囱

烟囱的设计应符合GB 50051之规定,在烟囱周围半径200m的距离内有建筑物时,玻璃熔窑烟囱高度应高出最高建筑物3m,当两座熔窑共用一个烟囱时,烟囱底部应设高度不低于8m的中间隔墙。烟气在烟囱内的温降速率应符合表7之规定。

表6 烟气在烟囱内的温降速率

烟囱材质	烟气温降速率范围 ($^\circ\text{C}/\text{m}$)	高度范围 (m)
砖烟囱	0.5 ~ 1.5	35 ~ 60
混凝土烟囱	1 ~ 1.5	>60
钢板烟囱 [°]	内壁衬砖	< 40
	不带内衬	
[°] 钢板烟囱的内壁衬砖窑根据烟气的腐蚀性选择		

4.7 全氧助燃玻璃熔窑排烟口

日产玻璃300t以下的熔窑一般需设置1个或2个排烟口,日产玻璃300t以上的熔窑一般需设置2个或者4个排烟口。

5 耐火材料

玻璃熔窑中各主要部位的耐火材料应符合JC/T 60004之规定。全氧助燃玻璃熔窑胸墙采用电熔AZS耐火材料，大碓也可采用 α - β 氧化铝砖，也可采用电熔AZS砖。垂直烟道一般采用电熔AZS耐火材料。

6 钢结构的设计要求

钢结构设计和计算在考虑地震对结构强度的影响前提下，需符合GB 50205钢结构工程施工质量验收标准的有关规定，同时应保证熔窑在高温条件下的结构强度、刚度和稳定性。钢结构的设计，应能保证熔窑各个部位可进行单独调节，以便能满足这些部位在烤窑过程及高温工作时对耐火材料膨胀变化的调节要求。钢结构的焊接应符合GB 50661的规范要求，并应考虑高温变形的特点。

7 熔窑风冷却

熔窑冷却部位一般为池壁、流液洞、加料口拐角砖、鼓泡砖等处。冷却风嘴距冷却面距离一般不超过80 mm；池壁冷却风嘴中心一般位于玻璃液面下不小于50 mm，风嘴向上倾斜，风嘴与水平面夹角一般为 $15 \sim 45^\circ$ ，风嘴之间的空隙小于 $20 \sim 50$ mm；熔窑各冷却部位的冷却风量及冷却风嘴出口速度应满足表8中的要求。

表 7 熔窑各冷却部位的冷却风量及冷却风嘴出口速度

冷却部位	风量 $\text{Nm}^3/(\text{s} \cdot \text{m})$		出口风速 (m/s)	
	马蹄焰玻璃熔窑	横火焰玻璃熔窑	马蹄焰玻璃熔窑	横火焰玻璃熔窑
液面线	≥ 0.4	≥ 0.6	≥ 20	≥ 30
侵蚀严重部位	≥ 1.0	≥ 1.0	≥ 50	≥ 50

注：100 m^2 以上的马蹄焰窑参照横火焰玻璃熔窑。

8 环境保护

8.1 能源

玻璃熔窑使用的能源应根据国家能源相关政策，燃料成本、控制、使用、购入的难易程度以及环保规定等条件进行选择。综合利用各种能源，应尽量选用清洁能源、绿色能源以及低碳环保的组合燃烧与加热技术。

8.2 排放

对排放的污染物采取综合治理措施，以符合GB 26453和GB 29495之要求。为了减少碳排放，可选用全氧助燃燃烧和电助熔等低排放技术。

8.3 节能与监测

采用合理的保温材料和结构、减少各种散热及优化燃烧技术等节能措施，玻璃熔窑的节能监测应符合GB/T 25328标准。