

玻璃池窑 设计及运行 实用指南

● 梁 德 海 编 著 ●



● 中国轻工业出版社 ●

81.534.
3323

玻璃池窑设计及运行实用指南

梁 德 海 编著

中国轻工业出版社

(京)新登字034号

内 容 提 要

本书是一本有关玻璃池窑设计及实际运行的参考书。书中介绍了国内日用玻璃池窑设计的基本规定,叙述了国内外玻璃池窑的现代生产技术;提供了国内外大量玻璃厂家有关玻璃池窑生产运行中出现的事故及处理实例。书中还介绍了国内外玻璃池窑用的优质耐火材料及国内节能型玻璃池窑耐火材料的配套选用。

本书可供玻璃行业的工程技术人员、技术工人及大专院校有关专业师生作为从事窑炉工程设计及处理工厂生产运行问题的实用指南。

玻璃池窑设计及运行实用指南

梁德海 编著

责任编辑 朱骏

中国轻工业出版社出版

(北京市东长安街6号)

三河市宏达印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经售

787×1092毫米¹/₃₂ 印张 10.25 插页 2 字数 226千字

1994年5月 第1版第1次印刷

印数: 1—2,000 定价: 13.80元

ISBN7-5019-1571-7/TQ·076

前 言

玻璃池窑是玻璃工厂中最重要的设备。玻璃池窑的设计，牵涉面广，影响因素很多。玻璃池窑设计是否合理与先进，对玻璃的熔制质量、池窑的熔化率、单位能耗、窑龄等有很大的影响。本书在广泛收集和总结国内外资料的基础上，系统地列出了有关国内日用玻璃池窑设计的基本规定，并全面地叙述了近一二十年来在国内外玻璃池窑上已被应用并被证实是行之有效的现代化生产技术。

玻璃池窑是玻璃工厂中投资最大的设备。因此，延长池窑寿命，保证池窑能够连续地熔制出一定质量和数量的玻璃液是玻璃工厂一项至关重要的工作。所以，本书着力收集了国内外玻璃厂有关池窑运行中出现的各种事故和处理措施，以便使国内有关从事玻璃生产和管理的工作人员能借鉴这方面的经验，最大限度地延长池窑的寿命和发挥池窑的生产作用。

在玻璃工业中，耐火材料是窑炉设计的基础，因为在玻璃池窑上要实施一系列技术措施，没有可供使用的优质耐火材料是难以实现的。所以，本书系统地介绍了国内外玻璃池窑用的优质耐火材料及国内节能型玻璃池窑耐火材料的配套选用。

本书在编写过程中，参考了国内外玻璃池窑的设计、国内外工厂的经验总结，并归纳了某些工厂和作者多年积累的实践经验。金效先设计大师审阅了全书，在此致以谢意。

书中错误之处，敬请读者指正。

目 录

第一章 国内日用玻璃池窑设计的基本规定 ·····	1
一、能源的确定	1
二、窑型的确定	1
三、瓶罐玻璃池窑主要技术指标的确定	2
四、池窑基本结构及有关参数的确定	4
五、玻璃池窑耐火材料的确定	11
六、玻璃池窑钢结构设计要点	14
七、玻璃池窑烟尘排放设计标准	19
八、池窑风冷却	20
第二章 现代玻璃池窑的生产技术 ·····	21
一、窑型选择	21
二、池窑大型化	23
三、选用优质耐火材料	24
四、窑体保温	37
五、池底鼓泡和窑坎	41
六、电助熔	48
七、减少流液洞中玻璃液回流	55
八、燃烧工艺和火焰空间	60
九、加强窑体和蓄热室的密封	63
十、采用蜂窝状大碇碇顶结构	67
十一、加料口与加料技术的合理化	69
十二、作业部的合理结构	74

十三、正确确定蓄热室的结构·····	76
十四、蓄热室格子砖·····	82
十五、合理地选择燃油喷嘴·····	94
十六、采用重油管路电伴热技术·····	97
十七、提高熔化温度·····	101
十八、采用先进的熔制温度制度·····	108
十九、控制空气过剩系数·····	109
二十、应用微机控制玻璃窑炉·····	110
第三章 玻璃池窑运行事故及处理技术·····	113
一、烤窑过程中常见事故及处理实例·····	113
二、熔化部常见事故及处理实例·····	133
三、小炉常见事故及处理实例·····	188
四、作业部常见事故及处理实例·····	201
五、蓄热室常见事故及处理实例·····	203
六、燃料输送系统常见事故及处理实例·····	241
七、玻璃熔制质量事故及处理实例·····	254
第四章 玻璃池窑耐火材料的配套选用·····	275
一、节能型池窑耐火材料的配套选用·····	275
二、设计单位推荐的耐火材料厂·····	281

第一章 国内日用玻璃池窑 设计的基本规定

一、能源的确定

(1) 玻璃池窑使用的能源应根据国家能源政策, 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。

(2) 日出料量 $>150\text{t}$ 、颜色玻璃熔化率 $>2.0\text{t}/(\text{m}^2\cdot 24\text{h})$ 、无色玻璃熔化率 $>1.6\text{t}/(\text{m}^2\cdot 24\text{h})$ 的大型池窑, 宜采用燃料油、天然气及城市煤气为燃料。日出料量 $\leq 150\text{t}$ 、颜色玻璃熔化率 $<2.0\text{t}/(\text{m}^2\cdot 24\text{h})$ 、无色玻璃熔化率 $<1.6\text{t}/(\text{m}^2\cdot 24\text{h})$ 的中小型池窑, 可采用发生炉煤气为燃料。

(3) 以发生炉煤气为燃料的玻璃池窑, 宜用少量的燃料油、天然气或城市煤气作为辅助能源, 供池窑作业部单独加热用, 但其用量按热值计算不宜超过全窑能耗的5%。

二、窑型的确定

(1) 日出料量 $>180\text{t}$ 的大型玻璃池窑, 宜采用蓄热式横火焰形式。日出料量 $\leq 180\text{t}$, 以燃料油、天然气及城市煤气为燃料的玻璃池窑, 应采用蓄热式马蹄形火焰形式。

(2) 发生炉煤气流量难以测量, 热值波动大, 燃烧时黑

度小，传热效果差。因此，以发生炉煤气为燃料的马蹄形火焰池窑不宜过大，仅推荐日产 80t 以下的中小型玻璃池窑采用蓄热式马蹄形火焰形式。

(3) 利用现有厂房的改造项目，应根据现有厂房、现有能源等条件选择窑型，不受上述条件限制。

三、瓶罐玻璃池窑主要技术指标的确定

1. 熔化率

熔化率指熔化池单位面积每日熔制的玻璃数量 $[\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot 24\text{h})$ 或 $\text{t}/(\text{m}^2 \cdot 24\text{h})]$

熔化率应按下列公式计算：

$$(1) \text{熔化率} = \frac{\text{料滴重} \times \text{机速} \times 24\text{h}}{\text{熔化池面积}}$$

$$(2) \text{熔化率} = \frac{\text{粉料重量} \times (1 - \text{气体率}) + \text{熟料量}}{\text{熔化池面积}}$$

以燃料油、天然气及城市煤气为燃料的瓶罐玻璃池窑熔化率宜采用下列指标：

颜色玻璃 $1.8 \sim 2.5 [\text{t}/(\text{m}^2 \cdot 24\text{h})]$

无色玻璃 $1.5 \sim 2.1 [\text{t}/(\text{m}^2 \cdot 24\text{h})]$

以发生炉煤气为燃料的瓶罐玻璃池窑熔化率，宜采用下列指标：

颜色玻璃 $1.5 \sim 2.0 [\text{t}/(\text{m}^2 \cdot 24\text{h})]$

无色玻璃 $1.2 \sim 1.6 [\text{t}/(\text{m}^2 \cdot 24\text{h})]$

2. 玻璃液燃料单耗

计算范围只包括熔化部和作业部的耗热，以吨玻璃液燃料消耗量 (kg) 表示。

(1) 能源折算

标准煤 $7000 \times 4.18 \text{ kJ}$

标准燃料油 $10000 \times 4.18 \text{ kJ}$

电力 $2850 \times 4.18 \text{ kJ}$

其它(天然气、城市煤气)按实际低发热量计算。

(2) 玻璃池窑烤窑期间消耗的燃料不应作为玻璃液燃料单耗计算的依据。

(3) 玻璃液燃料单耗。

① 以燃料油或天然气为燃料的玻璃池窑(折成标准燃料油)燃料单耗不宜大于表 1-1 中所列数值。

表 1-1

玻 璃 种 类		吨玻璃液耗油(kg/t)	
		普通池窑	节能型池窑
颜 色 玻 璃		≤180	≤140
无 色 玻 璃	高 白 料	} ≤240	≤200
	中 性 料		≤210
	压 制 器 皿		≤210
	吹 制 器 皿		≤220
备 注	1. 高白料指含 $\text{Fe}_2\text{O}_3 < 0.06\%$ 的瓶罐玻璃。		
	2. 颜色玻璃的碎玻璃含量按30%计算；无色玻璃的碎玻璃含量按10%计算；碎玻璃加入量每增减1%，所需能耗相应增减21kJ/(kg玻璃液)		
	3. 配合料湿度按4%计算，湿度每增减1%，所需能耗将相应增减167kJ/(kg玻璃液)。		

② 以发生炉煤气为燃料的玻璃池窑(折成标准煤)燃料单耗不宜大于表 1-2 中所列数值。

3. 玻璃液熔制质量应符合下列要求

(1) 颜色玻璃

表 1-2

玻 璃 种 类		吨玻璃液耗煤(kg/t)	
		普通池窑	节能型池窑
颜 色 玻 璃		450	310
无 色 玻 璃	高 白 料	} 600	460
	中 性 料		480
	压制器皿		480
	吹制器皿		500
备 注	同表1-1		

气泡 < 50 个/30g

相对密度差 $\leq 10 \times 10^{-4}$

环切均匀度 C以上

(2) 无色玻璃

气泡 < 40 个/30g

相对密度差 $\leq 5 \times 10^{-4}$

环切均匀度 B-以上

四、池窑基本结构及有关参数的确定

1. 熔化部

(1) 熔化面积按下式确定：

$$F_{\text{熔}} = \frac{P}{E}$$

式中 $F_{\text{熔}}$ ——熔化面积(m^2)

P ——出料量($\text{t}/24\text{h}$)

E ——熔化率[$\text{t}/(\text{m}^2 \cdot 24\text{h})$]

(2) 马蹄形火焰池窑熔化池长宽比值范围一般为 1.4~2.0。横火焰池窑熔化池长宽比值范围一般为 1.6~2.2。横火焰池窑宽度不宜小于 5m。

(3) 池壁宜选用倾斜浇铸的电熔铸 AZS 大砖竖向排列配磨砌成，大砖尺寸一般为 250~300mm×400mm×1100~1600mm。池壁顶部至玻璃液面的距离一般为 50~75mm。池深（指池壁顶部至池底的距离）一般采用下列尺寸：颜色玻璃为 1100~1300mm；无色玻璃为 1200~1600mm。

(4) 池底宜采用多层式结构，厚度一般为 600~900mm。池底顶部应用厚 75~120mm 无缩孔电熔铸 AZS 砖或致密型烧结 AZS 砖配磨铺成铺面层。铺面层下面必须设置密封层，厚度不得低于 35mm。采用鼓泡的池底，必须选用整块无缩孔电熔铸 AZS 砖 (ZrO_2 41%级) 作为鼓泡砖，并应增强鼓泡砖周围铺面层的耐侵蚀能力。

(5) 出料量每 10t/24h 所需流液洞的通道截面积一般为 $1(dm)^2$ ；流液洞通道高度宜为 250~300mm，通道长度宜为 1000~1600mm。倾斜流液洞的倾斜角一般为 15~20°。流液洞砖应仔细地配磨组装。

(6) 加料口拐角砖宜选用整块无缩孔电熔铸 AZS 砖 (ZrO_2 41%级) 砌筑。加料口拱应单独加固、能自由地膨胀。

(7) 燃烧空间热负荷（单位时间的供热量与燃烧空间容

表 1-3

窑 型	燃烧空间热负荷 [$\times 4.18kJ/(m^3 \cdot h)$]
马蹄形火焰池窑	$(4.5 \sim 8.9) \times 10^4$
横火焰池窑	$(6.5 \sim 11.6) \times 10^4$

积之比)一般如表 1-3 所示。

(8) 窑拱(大碓)应选用优质硅砖砌筑,拱砖厚度与窑拱跨度关系一般如表 1-4 所示。窑拱中心角一般为 60° 。窑拱每隔 3~5m 应留设一条膨胀缝,其尺寸一般为总长度的 1.1~1.4%。窑拱应尽量采用独立支撑、加固和单独调整的结构。

表 1-4

窑拱跨度(mm)	拱砖厚度(mm)
<3000	250
3000~4900	300
4900~6700	350或375
>6700	450

(9) 胸墙高度一般为 0.7~2m。应采用基质玻璃相渗出温度高的氧化法电熔铸 AZS 砖砌筑;尽量避免电熔铸 AZS 砖与硅砖直接接触,特别是直接砌筑在硅砖的上面。用于胸墙部位的锆英石砖必须具备高的荷重软化温度($T_{0.2} > 1650^\circ\text{C}$)和极好的高温蠕变性能。胸墙应采用独立支撑和自身加固的结构。

(10) 空间挡墙(又称花格墙)应尽量砌成密闭的隔墙,或去掉空间挡墙而将熔化部与作业部独立砌筑。空间挡墙一般采用氧化法电熔铸 AZS 砖砌筑。

2. 作业部

(1) 作业池面积按下式计算

$$F_{\text{作}} = aF_{\text{熔}}$$

式中 $F_{\text{作}}$ ——作业池面积(m^2)

$F_{\text{熔}}$ ——熔化池面积(m^2)

$\alpha = 0.05 \sim 0.25$

(2) 池壁严禁采用还原法生产的电熔铸 AZS 砖砌筑。用于连接供料道的供料槽口使用电熔铸 AZS 砖时,必须使其内端面和下面的池壁内面平齐或向供料道侧稍错后一些。池壁至玻璃液面的距离一般为 $30 \sim 50\text{mm}$ 。颜色玻璃池窑的作业部池深宜为 $0.4 \sim 0.6\text{m}$,无色玻璃池窑的作业部池深为 $0.6 \sim 0.9\text{m}$ 。

(3) 一般采用多层式池底结构,厚度一般为 $600 \sim 1500\text{mm}$ 。严禁采用还原法生产的电熔铸 AZS 砖铺砌池底铺面层。

(4) 窑拱中心角一般为 60° ,拱砖厚度宜为 $230 \sim 300\text{mm}$,胸墙高度一般为 $0.6 \sim 1\text{m}$ 。狭长作业部(俗称分配料道)的火焰空间,应用隔墙分成单独部分进行温度调节。与供料道相接处,应设置分隔闸板。

3. 小炉

(1) 横火焰池窑第一对小炉侧墙与加料口侧端墙的间距一般为 $1.5 \sim 2.4\text{m}$,最后一对小炉侧墙与流液洞墙的间距一般为 $0.8 \sim 1.8\text{m}$ 。马蹄形火焰池窑小炉侧墙与胸墙的间距一般为 $0.5 \sim 1\text{m}$,小炉中心线向熔窑中心线一般倾斜 $3 \sim 6^\circ$ 。

(2) 小炉喷火口气流速度一般如表 1-5 所示。

(3) 火焰喷射角一般为 $5 \sim 10^\circ$ 。火焰喷射角是指小炉喷出火焰方向对池窑玻璃液面的倾角,通常以空气和煤气(或重油喷雾后)流股的动量作为矢量,按平行四边形法,其合矢量可以估计火焰喷射角。

(4) 小炉与蓄热室应用竖向膨胀缝分开。

4. 蓄热室

表 1-5

燃料种类	窑 型	空气流速 (1200℃、m/s)	废气流速 (1500℃、m/s)
燃料油 或 天然气	横 火 焰	8~12	10~14
	马蹄形火焰	9~13	12~18
发生炉煤气	横 火 焰	—	10~16
	马蹄形火焰	—	12~20

(1) 马蹄形火焰池窑应采用箱形蓄热室围体结构，在厂房面积允许的条件下，可采用多通道箱形蓄热室围体结构。横火焰池窑应尽量采用半分隔箱形蓄热室围体结构。采用碱性砖或硅砖砌筑蓄热室围体时，必须设置适合的胀缝或能吸收膨胀的相应结构。

(2) 蓄热室围体的拱顶中心角一般为 $90^{\circ}\sim 180^{\circ}$ ；拱顶厚度应为 $300\sim 350\text{mm}$ ；侧墙厚度一般为 $580\sim 700\text{mm}$ ；隔墙厚度一般为 $460\sim 580\text{mm}$ 。

(3) 蓄热室围体的设计和砌筑必须保证蓄热室围体具有良好的气密性；蓄热室围体外侧应用密封性保温材料严格密封。

(4) 蓄热室格子体体积与熔化面积之比值范围一般为 $2\sim 3.5\text{m}^3/\text{m}^2$ ，格子体高度一般为 $6\sim 11\text{m}$ 。格子体内气流速度一般为 $1.6\sim 3.0\text{m/s}$ 。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 $2:1$ 。煤气蓄热室中，不得采用含铁量较高的镁铬砖摆砌格子体。熔化含硼玻璃的池窑，严禁采用碱性砖摆砌蓄热室格子体。碱性格子砖不宜摆

砌成西门子式格子体。碱性砖严禁雨淋和受潮。

(5) 格子体支撑拱 (又称炉条碶) 中心角一般为 $90^{\circ} \sim 180^{\circ}$; 拱厚一般为 $300 \sim 460\text{mm}$, 宽度一般为 $114 \sim 172\text{mm}$ 。支撑拱之间净距 (又称气流通道宽度) 一般为 $200 \sim 300\text{mm}$ 。支撑拱上面必须设置格子体支撑砖。支撑拱应选用低气孔率粘土砖砌筑。

5. 窑体保温

窑体各部位保温强度可用隔热度 (见表 1-6) 计算评价。隔热度应按下列公式计算。

表 1-6

项 目		隔 热 度
熔 化 部	窑 拱 (大碶)	7~20
	胸 墙	8~20
	池 壁	4~10
	池 底	10~15
作 业 部	窑 拱	7~20
	胸 墙	8~20
	池 壁	4~20
	池 底	15~25
小 炉	拱	6~20
	侧 墙	4~15
蓄 热 室	拱	7~20
	墙	15~25

$$\text{隔热度} = (b_1/\lambda_1 + b_2/\lambda_2 + \dots + b_n/\lambda_n) \times 1.163 \times 10$$

式中 $b_1, b_2, \dots, b_n$ ——耐火砖或保温材料的厚度 (m)

$\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n$ —— 热传导率(kJ/m·K), 系指耐火砖和保温材料在其平均工作温度下的热传导率, 其推荐计算值见表 1-7。

表 1-7

耐火砖或保温材料名称	热传导率推荐计算值 [$\times 1.163 \text{ kJ}/(\text{m} \cdot \text{K})$]
电熔铸AZS砖(F-AZS)	5.3
电熔铸 α - β 刚玉砖	4.5
电熔铸 β 刚玉砖	6.0
烧结AZS砖(B-AZS)	2.1
磷英石砖	2.15
硅砖	1.7
电熔铸AZS质捣打料	1.85
磷英石质捣打料	1.8
磷莫来石质捣打料	1.75
镁砖	2.7
镁铬砖	2.1
硅线石和热风莫来石砖(SK37)	1.60
SK 36($\text{Al}_2\text{O}_3 \geq 55\%$)	1.5
SK 34	1.1
SK 32	0.8
轻质硅砖	
$r=1.1$	0.7
$r=0.8$	0.6
轻质高铝砖	
$r=1.4$	0.66
$r=1.0$	0.42
$r=0.8$	0.38
$r=0.5$	0.19
轻质粘土砖	
$r=1.25$	0.43
$r=1.05$	0.41
$r=0.8$	0.32

续表

耐火砖或保温材料名称	热传导率推荐计算值 ($\times 1.163 \text{ kJ}/(\text{m} \cdot \text{K})$)
硅藻土砖	
$r=0.45$	0.11
$r=0.7$	0.3
$r=0.75$	0.4
硅酸钙板 (轻)	0.08
硅酸钙板	0.1
岩 棉	0.07
陶瓷纤维	0.08
保温涂料	0.07

6. 烟道

(1) 烟道中废气流速一般取 $1 \sim 3 \text{ m}(\text{标})/\text{s}$; 烟道截面高度不宜低于 700 mm , 宽度不宜小于 600 mm 。

(2) 烟道长度应尽量短, 减少拐弯和避免截面突变; 烟道爬坡角度不宜大于 30° 。

(3) 煤气烟道及配套设备必须严格密封, 并应在烟道系统中设置防爆装置。

(4) 应避免烟道进水, 埋入地下的烟道应采取可靠的防水、排水措施。

五、玻璃池窑耐火材料的确定

(1) 瓶罐玻璃池窑中各主要部位所选用的耐火材料一般如表 1-8 所示。

(2) 瓶罐玻璃池窑用耐火材料主要性能应满足表 1-9 ~ 11 中的指标。

(3) 大碱用硅砖应选用符合表 1-12 所示标准的优质硅