

ICS 81.100;25.180.01

CCS Y20/29

团 体 标 准

T/CNAGI 007-2025

# 全氧燃烧玻璃窑炉设计规范

Design specification for Oxy-fuel glass furnace

2025 - 08 - 22 发布

2025 - 09 - 01 实施

中国日用玻璃协会 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。

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。

本文件为首次发布。

本文件由中国日用玻璃协会提出并归口。

本文件起草单位：安徽顺鼎阿泰克科技有限公司、河南奥克金泰窑炉技术有限公司、泰安恒成复合材料工程技术有限公司、山东力诺医药包装股份有限公司、凯盛君恒有限公司、郑州德众刚玉材料有限公司。

本文件主要起草人：张魁东、郭勇、刘琦、史生宏、戴季初、郭玺、吕宏伟、华德生、孟庆建、武妹玲。

# 全氧燃烧玻璃窑炉设计规范

## 1. 范围

本文件规定了全氧燃烧玻璃窑炉的术语、定义；窑炉砖结构、钢结构设计、燃烧系统、控制系统设计、耐火材料选用；窑炉冷却系统、余热利用和烟气处理等窑炉辅助系统。

本文件适用于日用玻璃行业全氧燃烧玻璃窑炉的通用设计。其他玻璃行业可选择参考本标准。

## 2. 规范性引用文件

本文件内容引用了下列文件中的条款。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。凡是注明日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本文件。凡是未注明日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB/T 2589	《综合能耗计算通则》
GB/T 4754	《国民经济行业分类》
GB 15081	《玻璃工厂工业卫生与安全技术规程》
GB/T 16618	《工业炉窑保温技术通则》
GB 17820	《天然气》
GB/T 25328	《玻璃窑炉节能监测》
GB 26453	《玻璃工业大气污染物排放标准》
GB 50016	《建筑设计防火规范》
GB 50017	《钢结构设计规范》
GB 50211	《工业炉砌筑工程施工及验收规范》
GB 50661	《钢结构焊接规范》
GB 55037	《建筑防火通用规范》
JC/T 60004	《玻璃窑用耐火材料使用规程》
QB/T 5360	《玻璃保温瓶胆单位产品能源消耗限额》
QB/T 5361	《玻璃瓶罐单位产品能源消耗限额》

QB/T 5362 《玻璃器皿单位产品能源消耗限额》

TSG D3001 《压力管道安装许可规则》

### 3. 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

#### 3.1 全氧燃烧 oxy-fuel

采用纯度大于 92%的氧气替代空气作为燃烧介质,显著减少 NO<sub>x</sub> 生成和烟气排放量的燃烧方式。

#### 3.2 全氧燃烧玻璃窑炉 oxy-fuel glass furnace

采用全氧燃烧作为主要或全部供能方式的玻璃窑炉,且窑炉主体是由耐火材料砌筑与钢结构加固的能满足配合料熔化成玻璃的热工设备。

全氧玻璃窑炉的燃料包括:天然气、液化石油气、焦炉煤气、氢气等以及其他热值和燃烧性能满足全氧燃烧条件的燃料。

#### 3.3 加料口 doghouse

用于投放玻璃配合料的入口,通常不计入熔化面积内。

#### 3.4 熔化池 melting tank

将配合料熔化成玻璃液并对其进行澄清、均化的区域。

#### 3.5 窑坎 weir

位于熔化池内部,由耐火材料砌筑而成,垂直于玻璃液流动方向的挡坎。

#### 3.6 流液洞 throat

熔化池和工作池之间用于玻璃液流动的通道。可根据不同的玻璃工艺要求选择是否采用流液洞。

#### 3.7 工作池 working end

位于流液洞和供料道之间,用于玻璃液调质、调温和液流分配的部位。

#### 3.8 大碓 crown

熔化池火焰空间的弧形顶盖,由耐火材料砌筑而成。

#### 3.9 胸墙 breast wall

熔化部池壁砖和大碓砖之间的两侧墙体。

#### 3.10 山墙 front wall/back wall

位于熔化部两端,用于封闭熔化部火焰空间的砌体。分为前山墙和后山墙,前山墙靠近流液洞侧,后山墙靠近加料口侧。

### 3.11 排烟口 exhaust port

设置在火焰空间适当的位置，用于排放燃烧及熔化过程产生的烟气。

### 3.12 烟道 flue

连接窑炉排烟口和烟囱的通道，用于排出窑炉的烟气。

### 3.13 全氧燃烧系统 Oxy-fuel System

包括氧气供应系统、阀组、控制、烧枪等。

#### 3.13.1 全氧烧枪 Oxy-fuel burner

氧气和燃料的混合与燃烧器具。

#### 3.13.2 全氧燃烧控制系统 Oxy-fuel skids

控制氧气和燃料的比例、流量、压力和安全互锁的自动控制系统。

#### 3.13.3 氧气供应系统 Oxygen supply system

用于制备达到符合全氧燃烧纯度需求氧气的生产装置，通常配置与备用的液氧系统自动切换装置。

### 3.14 窑炉控制系统 furnace control system

主要采用分布式集中控制系统（DCS），通常控制的参数有：窑压、温度、液面、燃料流量参数等。

### 3.15 窑炉余热回收和烟气处理系统 waste heat recovery and exhaust gas treatment system

窑炉余热回收通常采用热交换器装置，用于制备热空气、热水及蒸汽等。

窑炉烟气处理系统主要处理粉尘、二氧化硫、氮氧化物等。

### 3.16 熔化率 melting rate

指每平方米熔化面积每天熔化玻璃液的质量，单位为： $t/m^2 \cdot d$ 。

### 3.17 窑炉玻璃液熔化能耗 melting consumption

企业在统计期内，玻璃窑炉将配合料熔化成合格玻璃液所消耗的直接能源折算成标准煤的总量。

### 3.18 窑炉单位玻璃液熔化能耗 melting specific consumption

企业在统计期内，窑炉玻璃液熔化能耗与窑炉玻璃液总出料量的比值。单位为：千克标准煤/吨玻璃液（kgce/t）。

### 3.19 全氧燃烧窑炉分类 furnace type

全氧燃烧玻璃窑炉按照烧枪布置方式主要分为：顶烧式、侧烧式。

### 3.20 氧燃比 oxygen-fuel ratio

在标准气体状态下，氧气和燃料的体积比。

### 3.21 全氧燃烧火焰空间热负荷 combustion space heat load

指单位时间内、单位火焰空间容积所释放的热量，单位为  $\text{kJ}/(\text{m}^3 \cdot \text{h})$ 。它是衡量窑炉燃烧强度的重要指标，直接影响窑炉的窑压、热效率和使用寿命。

## 4. 技术要求

### 4.1 加料口

加料口应为密封结构，避免粉尘飞扬，减少热损失。

### 4.2 全氧玻璃窑炉的熔化率

熔化率的设计可参考附录 A。

### 4.3 熔化池面积的计算

窑炉的熔化面积按式计算：

$$F_{\text{熔}} = P/E$$

式中：

$F_{\text{熔}}$ ：熔化面积，单位为平方米， $\text{m}^2$ ；

$P$ ：出料量，单位为吨每天， $\text{t}/\text{d}$ ；

$E$ ：熔化率，单位为吨每天每平方米， $\text{t}/\text{m}^2 \cdot \text{d}$ ；

### 4.4 熔化池深

熔化池池壁砖宜选择整块竖砌，材料可选用准无缩孔浇铸或无缩孔浇铸的电熔锆刚玉、电熔铬锆刚玉、电熔高锆等材料，厚度一般为  $200 \sim 300\text{mm}$ ，池深设计可参考附录 B。

### 4.5 熔化池长宽比

熔化池长宽比一般为  $1.5 \sim 4.0$  之间。

### 4.6 窑坎

窑坎的高度根据不同玻璃产品的特性确定。窑坎可以采用实心窑坎或带冷却的空心窑坎。

窑坎高度一般为池深的  $1/3 \sim 4/5$ ，上部宽度一般为  $300 \sim 900\text{mm}$ 。

### 4.7 大碓

玻璃窑炉大碓中心角一般在  $56 \sim 72^\circ$  范围，大碓一般采用电熔锆刚玉、电熔刚玉材质，或根据玻璃挥发分的特性选用适当的材质，厚度一般为  $250 \sim 400\text{mm}$ 。

### 4.8 工作池

工作池结构，应有加热或冷却的辅助手段。

#### 4.9 流液洞

流液洞结构可采用倾斜式、水平式、下沉式等结构。

如果采用铂金料道，出料口为圆形，直径根据出料量计算，一般为100~300 mm。

#### 4.10 胸墙

胸墙高度应依据窑炉火焰空间热负荷确定，一般应为600~1500mm。

一般选用普通浇筑的电熔锆刚玉材料、电熔刚玉或根据玻璃挥发分的特性选用适当的材质，外部配合隔热耐火砖和复合保温材料。胸墙上应设置观察孔与测压孔平常要全密闭，不能有火焰外冒。

#### 4.11 前山墙/后山墙

耐火材料应使用不低于胸墙材质标准的同类耐火材料。

#### 4.12 排烟口及烟道

排烟口要充分考虑烟气对耐火材料的侵蚀，根据工艺需求可以设置一个或多个排烟口及烟道。

排烟口烟气流速一般为2~8m/s。

烟道建议采用锆刚玉或其他中性或偏碱性耐火材料。

#### 4.13 氧燃比

氧气与燃料的燃烧的配比。

可按照式1计算所需氧燃比：

式1：

$$X = \frac{Q}{8500 \times 4.18} \times \frac{2}{Y}$$

Q：燃料低位发热量，单位：kJ/m<sup>3</sup>

Y：氧气纯度

X：氧燃比

其中：低位发热量Q为实测值，不能确定实测值的可参考《综合能耗计算通则》GB/T 2589。

#### 4.14 全氧燃烧火焰空间热负荷

全氧燃烧窑炉合理火焰空间热负荷范围： $1.8 \times 10^5 \sim 3.5 \times 10^5$  kJ/(m<sup>3</sup> · h)。

#### 4.15 耐火材料

全氧玻璃窑炉耐材选择应符合 JC/T 60004《玻璃窑用耐火材料使用规程》的有关规定，同时由于窑炉中水蒸气含量高，火焰空间部分一般也应选用电熔刚玉或电熔锆刚玉或其他中性和偏碱性类的耐火材料。

#### 4.16 钢结构设计要求

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《钢结构设计规范》GB 50017 的有关规定，同时应保证窑炉在高温条件下的结构强度、刚度和稳定性。

胸墙和大碓应有独立的钢结构支撑，大碓不应直接支撑在胸墙上。

钢结构的设计，应能保证窑炉各个部位可进行单独调节，满足在烤窑过程及高温工作时耐火材料膨胀要求。

钢结构的焊接应符合 GB 50661 的规范要求。

#### 4.17 全氧燃烧控制系统

##### 4.17.1 全氧烧枪

全氧烧枪的主要参数用功率表述，单位为 MW。

在设计全氧窑炉时要考虑全氧烧枪的火焰形状和尺寸。各烧枪的火焰不能相撞。平烧烧枪的火焰长度不宜超过窑炉宽度的 2/3。顶烧烧枪的辐射火焰不能损害胸墙、挂钩砖、池壁和大碓。

全氧烧枪燃烧充分，燃烧后排烟口烟气中的残氧量应到达  $(3 \pm 1)\%$ 。

##### 4.17.2 燃烧控制系统

全氧燃烧烧枪的控制原则上采用单枪控制或分区控制（如果燃料/氧气流量自动控制，流量控制阀必须有不低于自动控制阀精度的手动旁通流量控制阀）。

氧气管道和阀门等接触氧气的部分宜采用不锈钢或其他符合要求的材质。管道内氧气流速不大于 30m/s。

氧气和燃料总管上要设置有减压或稳压阀。

氧气或燃料总管上要有安全切断阀。

氧气或燃料阀组总管上入口处要有过滤器。氧气过滤器滤芯宜采用符合要求的材质。

氧气或燃料阀组要有压力开关以保证安全。

氧气和天然气的计量采用标准立方米（Nm<sup>3</sup>）。

氧气和燃料要设置总管流量计或有总管流量监测和显示。

每支烧枪或每个独立的控制区要有流量计（如果是固体燃料要有称重装置）和调节阀，调节阀要有旁通。

燃烧控制系统内的所有电气接线箱和电缆要采用防爆型式。

烧枪进口处要有逆止阀。

电气控制系统要有安全互锁功能。当压力、流量、氧燃比超出安全范围时要迅速关闭燃料并报警。电气控制系统要有氧气和燃料的流量、压力等的记录。要有窑炉各个测温点温度状况的记录。

窑炉电气系统要有 UPS，UPS 的不间断供电时间不小于 1 小时。

#### 4.17.3 氧气供应系统

一般分为外购液氧和现场制气两种方式，现场制气分为深冷制氧和变压吸附制氧。

液氧和深冷制氧的氧气纯度一般大于 99.6%。

变压吸附制氧的氧气纯度要求大于 92%。

如果采用现场制气形式，现场制氧设备需要配备 24 小时远程监控系统，全年开机率要达到 98%以上；为保证 100%（不间断）氧气供应，需要配备包含液氧储罐和汽化器等设备的备用系统，作为现场制氧设备故障/检修时备用氧气来源。备用液氧罐至少要能满足窑炉 48 小时的正常用氧需求。为了避免人为操作错误和供气安全，备用系统需配备高精度自动切换装置以及储罐液位监控设备。

#### 4.18 窑炉控制系统（DCS）

##### 4.18.1 自动控制系统

采用 PLC 与 DCS 工业计算机控制系统加部分 FCS 的控制方案，构成全生产过程的控制。公用工程控制系统采用现场总线将运行及故障等监视信号发送至 DCS 系统。

##### 4.18.2 窑炉控制

主控采用 DCS 构成对从投料到成型的全过程控制与管理；DCS 的主要硬件如：电源、CPU 控制器、通讯模块、操作站采用冗余，加上 UPS 供电与必要的后备手操柜，确保本控制系统安全、可靠运行。

主要控制策略如下：

- ① 窑温控制：采用空间温度加权控制，温度控制与天然气串级控制，燃料与氧气比例控制。
- ② 窑炉玻璃液面控制：液面计与投料机联锁。
- ③ 高温工业摄像系统：火焰燃烧空间宜采用内窥式工业电视，用于监视炉内火焰燃烧状态与玻璃熔制状态。
- ④ 燃气安全系统：具有燃气泄漏检测等报警功能，具有低压紧急切断等联锁保护功能。

⑤ 窑压控制：具有报警和联锁功能，窑压超过 30Pa 且持续 3 分钟以上，燃烧系统自动降低燃料总量 30%运行，窑压继续升高，燃烧总量继续降低 40%，超过 10 分钟，燃烧系统自动切断。

⑥ 冷却水：对冷却水温度、压力或流量进行测量，并具备报警与联锁功能，确保用水设备安全运行。

#### 4.18.3 主要技术指标自动控制精度

① 窑炉空间温度： $\pm 2^{\circ}\text{C}$

② 窑压： $\pm 1.5\text{Pa}$

③ 玻璃液面： $\pm 0.2\text{mm}$

#### 4.19 窑炉冷却风

窑炉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 80mm；

池壁冷却风嘴中心一般位于玻璃液面下不小于 50mm，风嘴向上倾斜，风嘴与水平面夹角一般为  $15^{\circ}\sim 45^{\circ}$ ，风嘴之间的空隙小于 20~50mm；窑炉各冷却部位的冷却风量及冷却风嘴出口速度应满足表 1 中的要求。

表 1 窑炉各冷却部位的冷却风量及冷却风嘴出口速度

冷却部位	全氧玻璃窑炉	
	风量	出口风速 (m/s)
液面线	$\geq 0.55\text{Nm}^3/\text{s}\cdot\text{m}$	$\geq 10$
加料口拐角	$\geq 0.55\text{Nm}^3/\text{s}\cdot\text{m}$	$\geq 10$
流液洞	$\geq 1.66\text{Nm}^3/\text{s}\cdot\text{m}^2$	$\geq 15$

注：流液洞需冷却面积为流液洞上盖砖和两侧砖内流过玻璃液的表面积

#### 4.20 余热回收和烟气处理系统

全氧窑炉烟气的温度较高，需要在烟道上安装热交换器进行余热回收。

烟气处理系统的能力应满足国家和地方的排放标准。

#### 4.21 窑炉安全

4.21.1 窑炉控制系统要有安全互锁功能，能精确控制氧气和燃料的比例。燃烧控制系统能够在紧急状态下实现燃料的切断并报警。

4.21.2 燃气和氧气管道布管时严禁下穿窑炉底部。

4.21.3 循环冷却水系统要有应急备用。

4.21.4 窑炉基础立柱应用耐火材料防护。

4.21.5 电气安全要求

窑炉用电属二级负荷，对供电的可靠性要求较高，中断供电会造成重大经济损失，因此应采用可靠的双回路电源，一路供电时应设柴油发电机组作为窑炉、冷却水的备用保安电源。

配电站设置靠近负荷中心，站内设置高低压配电室等。功率因数在低压侧集中补偿，补偿后功率因数达到 0.9 以上。

4.21.6 制氧和液氧设备的安全要求

制氧及液氧设备的设计和建设必须符合国家 and 地方相关的法律、标准、规范。

4.21.7 窑炉胸墙和山墙上要有足够的观察孔，能够实现窑炉玻璃液面、山墙、胸墙部位的无死角观察。

4.22 单位玻璃液熔化能耗

4.22.1 日用玻璃行业单位玻璃液熔化能耗

依据生产的产品和所用的燃料，单位玻璃液熔化能耗分别符合行业标准《玻璃保温瓶胆单位产品能源消耗限额》（QB/T5360）、《玻璃瓶罐单位产品能源消耗限额》（QB/T5361）、《玻璃器皿单位产品能源消耗限额》（QB/T5362）中相应先进值的要求。玻璃仪器、中硼硅玻璃的单位玻璃液熔化能耗应符合《玻璃器皿单位产品能源消耗限额》（QB/T5362）中对硼硅玻璃器皿先进值的要求。不同玻璃的熔化率参考范围见附录 A。

4.22.2 玻璃棉窑炉/特种玻璃窑炉可根据实际产品的玻璃成分去对应参考相应的指标。

4.23 环境保护

全氧燃烧玻璃窑炉应监测烟囱中大气污染物排放浓度、排烟量及相应时间内的玻璃出料量，参照 GB26453《玻璃工业大气污染物排放标准》及地方环保标准执行。有组织排放控制要求参照 GB26453《玻璃工业大气污染物排放标准》4.4 条款执行。

附录 A

熔化率参考范围			
序号	玻璃种类		熔化率 (t/m <sup>2</sup> ·d)
1	玻璃瓶罐/器皿类	晶质料	1.5-2.5
		高白料	1.6-2.6
		普白料	1.8-3.5
		颜色料	1.8-3.5
2	保温瓶类		1.2-2.0
3	电光源玻璃类		1.2-2.0
4	硼硅仪器玻璃类		0.6-1.5
5	硼硅药用玻璃类		0.6-1.2
6	玻璃棉类	普通棉	2.0-3.5
		超细棉	1.8-2.5

附录 B

熔化池深设计参考范围			
序号	玻璃种类		池深 mm
1	玻璃瓶罐/器皿类	晶质料	1200-2000
		高白料	1200-2000
		普白料	1200-2000
		颜色料	800-1500
2	保温瓶类		1200-1500
3	电光源玻璃类		1200-1500
4	硼硅仪器玻璃类		600-1500
5	硼药用玻璃类		600-1500
6	玻璃棉类	普通棉	400-1500
		超细棉	400-1500