

UDC

团体标准

P

T/CMCA XXXX-2025

并流蓄热式双膛竖窑安装施工与验收标准

Code for construction and acceptance of co-current heat accumulated kiln

with double shafts

(征求意见稿)

*-**-**发布

202*-**-**实施

中国冶金建设协会 发布

团 体 标 准

并流蓄热式双膛竖窑安装施工与验收标准

Code for construction and acceptance of co-current heat accumulated kiln
with double shafts

T/** 00**-2025**

主编单位：中冶天工集团有限公司

发布单位：中国冶金建设协会

实施日期：202* 年**月**日

冶金工业出版社

2025 北京

前 言

为规范并流蓄热式双膛竖窑安装施工与验收，确保工程质量和安全，标准编制组经广泛调查研究，认真总结实践经验，参考有关国家标准和地方标准，并在广泛征求意见的基础上，制定本标准。

本标准共分12个章节，主要内容包括：总则，术语，基本规定，材料和设备，设备基础、垫铁和灌浆，窑体制作与安装，设备安装，耐火材料施工，调试与试运转，烘炉，工程验收，施工安全与环境保护等。

本规程由中国冶金建设协会负责管理，由中冶天工集团有限公司负责具体技术内容解释。执行过程中如有意见或建议，请寄送中冶天工集团有限公司（地址：天津市空港经济区西二道 88 号，邮编：300308，联系电话：022-84363529；电子邮箱：jys88715022@163.com），以便今后修订。

主 编 单 位： 中冶天工集团有限公司

中冶天工集团天津有限公司

参 编 单 位： 中冶长天国际工程有限责任公司

中国二十冶集团有限公司

上海宝冶集团有限公司

主要起草人员： 张国银 马全丽 王险峰 陈文娟 刘凯铭 杜军科

常 喜 侯世英 孙怀平 孙好放 朱 飞 潘绍兵

范兴建 李煜晗 唐 哲 陈林清 张 艳 马耀敏

邢学然 白金元 刘双权 杨永明 张少强 张 岩

赵文学 张良田 时东健 石家源 王乃坤 李 晶

主要审查人员： ***** *****

目 次

1	总 则	1
2	术 语	2
4	材料和设备	7
4.1	一般规定	7
4.2	材料	7
4.3	设备	8
5	设备基础、垫铁和灌浆	9
5.1	一般规定	9
5.2	设备基础	9
5.3	垫铁	9
5.4	灌浆	9
6	窑体制作与安装	11
6.1	一般规定	11
6.2	窑体制作	11
6.3	窑体安装	12
6.4	悬挂缸安装	13
7	设备安装	14
7.1	一般规定	14
7.2	上料斜桥安装	14
7.3	料车及卷扬机、绳轮安装	15
7.4	炉顶料罐及称量料斗安装	15
7.5	可逆皮带机安装	15
7.6	料仓及布料器安装	16
7.7	料钟开闭机构及料钟支撑架安装	16
7.8	卸料漏斗安装	16
7.9	喷枪安装	17
7.10	窑体气密性试验	17
7.11	其他设备安装	17
8	耐火材料施工	19
8.1	一般规定	19
8.2	材料的存储和运输	21
8.3	耐火材料砌筑	21
9	调试与试运转	25
10	烘炉	26
11	工程验收	28

12 施工安全与环境保护	30
12.1 施工安全	30
12.2 环境保护	31
本标准用词说明	32
引用标准名录	33
条文说明	34

Contents

1. General Provisions.....	1
2. Terms.....	2
4. Materials and equipment.....	7
4.1 General Provisions.....	7
4.2 Materials.....	7
4.3 Equipment.....	8
5 Equipment foundation, pad iron, and grouting.....	9
5.1 General Provisions.....	9
5.2 Equipment foundation.....	9
5.3 Pad iron.....	9
5.4 Grouting.....	9
6 Kiln system operation and installation.....	11
6.1 General Provisions.....	11
6.2 Kiln system work.....	11
6.3 Kiln body installation.....	12
6.4 Installation of the suspension cylinder.....	13
7 Equipment installation.....	14
7.1 General Provisions.....	14
7.2 Installation of loading inclined bridge.....	14
7.3 Installation of material truck, winch and rope wheel.....	15
7.4 Installation of furnace top material tank and weighing hopper.....	15
7.5 Reversible belt conveyor installation.....	15
7.6 Installation of material bin and distributor.....	16
7.7 Installation of the bell opening and closing mechanism and the clock support frame.....	16
7.8 Installation of unloading funnel.....	16
7.9 Installation of the spray gun.....	17
7.10 Air tightness test of kiln body.....	17
8 Construction of refractory materials.....	19
8.1 General Provisions.....	19
8.2 Storage and transportation of materials.....	21
8.3 Refractory material masonry.....	21
9. Commissioning and test run.....	25
10 The oven.....	26
11. Project acceptance.....	28
12. Construction safety and environmental protection.....	30
12.1 Construction safety.....	30
12.2 Environmental protection.....	21
Word Description of this specification.....	32
Reference standard directory.....	33

Article description..... 错误！未定义书签。

1 总 则

1.0.1 为了加强并流蓄热式双膛竖窑工程的安装施工与质量控制，保证工程质量，做到安全适用、工艺合理、节约资源、保护环境、技术先进，统一施工技术和验收标准，制定本标准。

1.0.2 本标准适用于并流蓄热式双膛石灰竖窑新建、改建和扩建安装施工与质量验收。

1.0.3 本标准为并流蓄热式双膛石灰竖窑施工的基本要求，当设计文件对施工有专门要求时，尚应按设计文件执行。

1.0.4 并流蓄热式双膛竖窑的施工除应符合本标准外，尚应符合国家现行有关标准的规定。

2 术 语

2.0.1 并流蓄热式双膛竖窑 co-current heat accumulated kiln with double shafts

并流蓄热式双膛竖窑属于生产活性石灰的一种窑体，竖窑窑体由两个圆形或方形窑身构成。由窑壳、耐材内衬、上料系统、工艺管道等构成。

2.0.2 支柱 support

在基础上放置的支撑石灰窑的结构，用垫板找平并用地脚螺栓进行固定。

2.0.3 拨火孔 stoke hole

设置于窑壳四周，为了方便检查炉窑内燃烧状况、定期清理膛内积灰和维护内部耐材结构的一种装置。正常生产时处于封闭状态，仅在维护检修状态下打开。

2.0.4 空气炮 air cannon

在悬挂缸缸体处设置的压缩空气喷射管道，主要作用是对悬挂缸缸体的积灰进行吹扫。

2.0.5 支撑柱 support pillar

支撑上部煅烧带、预热带砌体的承重砖砌体。

2.0.6 悬挂缸 suspension cylinder

悬挂缸是一种完全悬挂于窑体中心的结构，为一个由空气冷却的空腔筒体结构，外围浇注（砌筑）耐火材料，缸体的外侧形成环形通道的墙体，上部为煅烧带、预热带的砖砌体。

2.0.7 支撑拱 brick arch

支撑柱间的拱形砖砌体，用以支撑上部窑内墙体。

2.0.8 连接通道 connection channel

两窑膛连通的通道，处于煅烧带和冷却带的结合部，燃烧空气与废气换向的通道。

3 基本规定

3.1 施工管理

3.1.1 资质与体系

承担并流蓄热式双膛竖窑工程的施工单位应具备相应资质，并建立覆盖施工全过程的 ISO 9001 质量管理体系。对材料验收、工序交接、隐蔽工程验收等关键环节应形成程序文件，实施 PDCA 循环管理。

3.1.2 人员配置

施工项目部应配备项目经理、技术负责人、质量员、安全员等关键岗位人员，特种作业人员须持证上岗。施工前应组织交底，并针对窑体吊装、耐材砌筑等关键工序进行实操考核。

3.1.3 图纸管理

施工图应经设计交底及图纸会审，形成《图纸会审记录》并由参建各方签章。涉及工艺管道碰撞、耐材节点优化的深化设计，应通过原设计单位书面确认并加盖施工印章。

3.1.4 技术文件

施工前应编写施工组织设计、专项施工方案并按规定进行审批，施工现场应配备施工过程中所需的技术资料。危大工程专项方案应通过专家论证，并按《危险性较大的分部分项工程安全管理规定》执行。

3.1.5 资料管理

施工技术资料应随工程进度同步形成，确保真实、完整、可追溯。隐蔽工程验收记录应附影像资料，并经建设、监理单位签认。

3.1.6 四新技术管理

采用新技术、新工艺、新材料、新设备时，按照有关规定进行评审、鉴定及备案。专利技术应用不得降低工程质量标准。

3.1.7 工序管理

严格实行“三检制”（自检、互检、专检），上道工序未验收合格不得进入下道工序。关键工序应设置质量控制点并留存检查记录。

3.1.8 安全环保

施工现场安全防护、消防设施、环境保护措施应符合《建筑施工安全检查标准》JGJ59、《建设工程施工现场环境与卫生标准》JGJ146等规定。冬期施工执行《建筑工程冬期施工规程》JGJ/T104。

3.1.9 应急管理

应编制专项应急预案，重点针对高空坠落、物体打击、火灾等风险制定响应措施，并按规定组织应急演练。

3.2 钢结构

3.2.1 工厂化制

窑壳宜采用工厂预制，制造单位应具备 ISO3834 焊接体系认证。焊缝质量验收标准不得低于《钢结构焊接规范》GB50661 的II级要求。

3.2.2 材料验收

钢材、焊材等进场时应核验质量证明文件，涉及结构安全的材料应进行复验。高强度螺栓连接副应见证取样送检。

3.2.3 尺寸控制

窑壳卷制对接焊缝错边量应符合规定，环焊缝圆度偏差 $\leq D/1000$ 且 $\leq 15\text{mm}$ 。分段预拼装累计误差应进行公差分配。

3.3 耐火材料

3.3.1 材料管控

耐火材料进场应核查耐材关键理化指标，镁质制品、陶瓷纤维等易潮材料应专库储存，相对湿度 $\leq 60\%$ 。

3.3.2 砌筑工艺

耐火砌体应错缝砌筑，砖缝饱满度 $\geq 95\%$ 。拱脚砖安装水平偏差 $\leq 2\text{mm/m}$ ，支撑拱锁砖打入深度应 $\geq 2/3$ 砖长。

3.3.3 浇注料施工

浇注料搅拌应采用强制式搅拌机，加水量偏差控制在 $\pm 0.5\%$ 。承重模板拆除时，浇注体应达到设计强度。

3.3.4 膨胀缝控制

环形膨胀缝填充陶瓷纤维毡压缩率宜为 30%-50%，接缝处应搭接 100mm 并用耐火胶泥密封。膨胀缝宽度允许偏差 $\pm 1\text{mm}$ 。

3.4 质量验收

3.4.1 验收单元

质量验收按检验批-分项工程-分部工程分级实施。检验批划分应经监理审批，每个检验批抽检率 $\geq 10\%$ 且不少于 5 处。

3.4.2 合格标准

主控项目合格率 100%，一般项目合格率 $\geq 80\%$ 且最大偏差 \leq 允许值 1.2 倍。不合格项整改后应重新验收。

3.4.3 验收文件

分项工程验收应包含：材料复验报告、施工记录、检测报告、隐蔽工程影像资料。

4 材料和设备

4.1 一般规定

- 4.1.1 设备和材料宜根据施工进度编制进场计划。
- 4.1.2 施工使用的材料、产品和设备，应符合国家现行有关标准、设计文件和施工方案的规定。
- 4.1.3 材料、半成品和成品进场时，应对其规格、型号、外观和质量证明文件进行检查，并按现行国家相关标准的有关规定进行检验。
- 4.1.4 耐火材料的牌号、砖号、等级在施工前均应按文件资料检查，外观质量应进行检查。对易变质或按规定应进行二次检验的材料，应由具有相应资质的试验室进行检验。
- 4.1.5 材料进入现场，应按牌号、规格、等级和砌筑顺序放置，并应作出标识。
- 4.1.6 不定形耐火材料、镁质制品、结合剂和耐火陶瓷纤维及制品宜保管在仓库内，或采取有效的通风、防潮和保护措施，不得受潮、损伤和混淆。有防冻要求的材料应采取防冻措施。

4.2 材料

- 4.2.1 钢板、型材及管材的品种、规格、性能应满足设计要求。钢板进场时，应按国家现行标准的规定抽取试件进行屈服强度、抗拉强度、伸长率和厚度偏差检验，检验结果应符合国家现行标准的规定。
- 4.2.2 硅砖、刚玉砖、镁质制品、炭素制品、含炭制品、隔热制品和用于重要部位的高铝砖、黏土耐火砖等应存放在仓库内。
- 4.2.3 不定形耐火材料应具有产品使用说明书，有时效性的材料应注明其有效期限。
- 4.2.4 利用拆炉回收的耐火砖时，应清除耐火泥浆和炉渣。经检验合格后，可用于次要部位的砌筑。

4.3 设备

4.3.1 设备的型号、规格、质量、数量应满足设计技术文件要求。

4.3.2 设备到场后应进行开箱检查，形成检查记录。设备开箱后应注意保护，并应及时进行安装。

5 设备基础、垫铁和灌浆

5.1 一般规定

5.1.1 设备安装前进行基础测量控制网、基准点及沉降观测点进行交接，基础的强度应符合设计技术文件的要求。

5.1.2 安装期间并流蓄热式双膛竖窑主体设备基础应做沉降观测，并形成记录。

5.2 设备基础

5.2.1 设备安装前应按施工图和建筑物轴线、标高线绘制测量控制图，按图设置中心标板及标高基准点。主体设备应埋设永久中心标板和标高基准点。

5.2.2 设备基础轴线位置、标高、尺寸和地脚螺栓位置、预留孔和预埋件应符合设计技术文件要求，当设计无要求时，应符合现行国家标准《机械设备安装工程施工及验收通用规范》GB50231的有关规定。

5.3 垫铁

5.3.1 垫板的规格、尺寸应符合设计文件的规定。设计无规定时，应符合现行国家标准《机械设备安装工程施工及验收通用规范》GB50231的有关规定。

5.3.2 采用座浆法设置垫板时，座浆混凝土48h的强度应达到基础混凝土的设计强度。

5.3.3 采用研磨法放置垫板的混凝土基础表面与垫板的接触点应分布均匀，接触面积不应小于75%。

5.4 灌浆

5.4.1 设备二次灌浆前应在设备安装验收合格后进行。

5.4.2 灌浆前应将设备基础清洗洁净，灌浆强度应高于设备基础的混凝土强度。

6 窑体制作与安装

6.1 一般规定

6.1.1 钢结构及窑体部件出厂前应对构件数量、焊接质量及外观质量进行联合检查验收。

6.2 窑体制作

6.2.1 窑本体卷制对接焊缝的错边量控制应满足表 6.2.1 的规定。

表 6.2.1 窑本体卷制对接焊缝的错边量控制允许偏差 (mm)

母材厚度 T	错边量	
	纵向焊缝	环向焊缝
$T \leq 12$	$\leq T/4$	$\leq T/4$
$12 < T \leq 20$	≤ 3	$\leq T/4$
$20 < T \leq 40$	≤ 3	≤ 5

6.2.2 钢材切割面或剪切面应无裂纹、夹渣、毛刺和分层。

6.2.3 火焰切割的尺寸应满足表 6.2.3 的规定。

表 6.2.3 火焰切割的允许偏差 (mm)

项目	允许偏差
部件宽度、长度	± 3.0
切割面平面度	板厚 5%，且不大于 2.0
割纹深度	0.3
局部缺口深度	1.0

6.2.4 部件机械剪切的允许偏差应符合表 6.2.4 的规定。机械剪切的零件厚度不宜大于 12mm。

表 6.2.4 机械剪切的允许偏差 (mm)

项目	允许偏差
部件宽度、长度	± 3.0
边缘缺棱	1.0
型钢端部垂直度	2.0

6.2.5 碳素结构钢在环境温度低于 -16°C ，低合金结构钢在环境温度低于 -12°C 时，不应进行冷矫正和冷弯曲。

6.2.6 热轧碳素结构钢和低合金结构钢，当采用热加工成型或加热矫正时，加热温度、冷却温度等工艺应符合现行国家标准《钢结构工程施工规范》GB50755 的规定。

6.2.7 矫正后的钢材表面，不应有明显的凹痕或损伤，划痕深度不得大于 0.5mm，且不应大于该钢材厚度允许负偏差的 1/2。

6.3 窑体安装

6.3.1 窑体结构安装前，应进行基础交接和检验，未经验收合格的设备基础，不得进行设备安装。

6.3.2 人孔门及外层人孔门与门框接触应严密、压紧且转动灵活。

6.3.3 窑本体焊接质量控制要求应符合表 6.3.3 的规定。

表 6.3.3 窑本体焊接质量控制允许偏差 (mm)

长度	≤1000	≤3000	≤6000	≤15000	≤30000	>30000
每段窑体外形尺寸	±5	±7	±9	±12	±15	±20
圆度	D/100 且 不大于 4.0	6.0	8.0	10.0	15.0	20.0
每段窑体平行度	6.0	8.0	12.0	16.0	20.0	30.0
严密性要求	每段壳体焊接完成后采用煤油渗漏或磁粉检测每道焊口					

6.3.4 窑壳现场对接焊缝应做 100%无损检测，检测合格后方可进行下道工序施工。

6.3.5 窑壳的安装允许偏差及检验方法应符合表 6.3.5 的规定。

表 6.3.5 窑壳的安装允许偏差及检验方法

项目	允许偏差(mm)	检验方法
窑壳标高	+10, -5	水准仪检查
纵横中心线	±5	钢尺检查
上下两端面中心位移	10	吊线铅坠钢尺检查
窑壳的垂直度	1/1000 且 全高≤20	吊线铅坠钢尺或用经纬仪检查

6.4 悬挂缸安装

6.4.1 悬挂缸的焊接宜采用对称焊，减小焊接变形，并对所有焊缝进行着色试验，检查焊缝表面质量。

6.4.2 悬挂缸的安装允许偏差及检验方法应符合表 6.4.2 的规定。

表 6.4.2 悬挂缸的安装允许偏差及检验方法

项目	允许偏差(mm)	检验方法
悬挂缸标高	+10, -5	水准仪检查
纵横中心线	±5	钢尺检查
上下两端面中心位移	10	吊线铅坠钢尺检查
悬挂缸的垂直度	1/1000 且全高≤8	吊线铅坠钢尺或用经纬仪检查

7 设备安装

7.1 一般规定

7.1.1 设备安装单位应根据交接资料进行基础复测和外观检查，基础表面标高、设备中心线、预埋地脚螺栓顶部标高、垂直度和中心距以及基础外形等，符合现行国家标准《机械设备安装工程施工及验收通用规范》GB50231的有关规定。

7.1.2 垫板的规格、尺寸应符合设计文件的规定。设计无规定时，应符合现行国家标准《机械设备安装工程施工及验收通用规范》GB50231的有关规定。

7.1.3 垫板的设置方法应符合设计文件的规定。设计无规定时，应采用座浆法。座浆法设置垫板应符合现行国家标准《机械设备安装工程施工及验收通用规范》GB50231的有关规定。

7.1.4 构件、设备件组装应根据设计要求、构件形式、连接方式、焊接方法和焊接顺序等确定合理的组装顺序。

7.2 上料斜桥安装

7.2.1 斜桥及料车轨道的安装允许偏差及检验方法应符合表 7.2.1 的规定。

表 7.2.1 斜桥及料车轨道的安装允许偏差及检验方法

项目	允许偏差 (mm)	检验方法
斜桥纵向中心线与炉体铅垂中心线在同一平面内偏差	20	经纬仪检查
斜桥及料车轨道在同一截面内的两轨面高低差	3	水准仪测量
轨距	±2	钢卷尺检查
接头错位	1	钢卷尺检查
接头间隙	2	钢卷尺检查

轨道直线度	2/1000, 全长≤10	经纬仪检查
小车轨道中心线对炉子中心线	5	经纬仪检查

7.3 料车及卷扬机、绳轮安装

7.3.1 卷扬机、滑轮安装允许偏差及检验方法应符合表 7.3.1 的规定。

表 7.3.1 卷扬机、滑轮安装允许偏差及检验方法

项目	允许偏差 (mm)	检验方法
卷扬机底座水平度	0.1/1000	水平仪检查
卷扬机卷筒轴水平度	0.1/1000	水平仪检查
减速器输出轴水平度	0.15/1000	水平仪检查
制动器抱紧后闸轮与闸瓦接触面积	≥75%	塞尺和观察检查
滑轮组主导轮中心线	1	钢卷尺检查
滑轮组水平度	0.2/1000	水平仪检查
联轴器安装偏差	符合通用标准	百分表、塞尺检查

7.4 炉顶料罐及称量料斗安装

7.4.1 料罐的固定位置应牢固、可靠，各连接部位应严密、平滑。

7.4.2 料罐安装的允许偏差应符合表 7.4.2 的规定。

表 7.4.2 料罐安装允许偏差

项目	允许偏差 (mm)	检验方法
纵、横中心线	2.0	用钢尺检测
标高	±5.0	用水准仪检测
垂直度	1/1000	吊线坠检测

7.5 可逆皮带机安装

7.5.1 皮带机安装的允许偏差应符合表 7.5.1 的规定。

表 7.5.1 皮带机安装允许偏差

项目	允许偏差 (mm)	检验方法
纵、横中心线	2.0	用钢尺检测
标高	±5.0	用水准仪检测
导轨纵向水平度偏差	≤0.1%	水平尺检测
导轨横向水平度偏差	≤0.1%	水平尺检测

头、尾轮平行度	0.5/1000	水平尺检测
皮带机张紧调节装置	完好, 调节灵活	观察

7.6 料仓及布料器安装

7.6.1 缓冲料仓衬板应用螺栓固定牢固, 上下段接口处焊接牢固。

7.6.2 旋转布料器及传动装置安装允许偏差及检验方法应符合表 7.6.2 的规定。

表 7.6.2 旋转布料器及传动装置安装允许偏差及检验方法

项目	允许偏差(mm)	检验方法
转盘与滚轮间局部间隙	0.1	塞尺检查
齿轮端面与转盘法兰间局部间隙	0.15	塞尺检查
盘底座与炉体纵横中心线	±2	经纬仪检查
盘底座与炉体纵横中心线	0.1/1000	水平仪检查
齿圈径向跳动	节圆直径×0.4/1000	百分表检查
齿圈端面跳动	节圆直径×0.5/1000	百分表检查
小锥齿轮轴水平度	≤0.1/1000	水平仪检查
联轴器的安装偏差	符合通用标准	百分表、塞尺检查

7.7 料钟开闭机构及料钟支撑架安装

7.7.1 料钟支撑架安装允许偏差及检验方法应符合表 7.7.1 的规定。

表 7.7.1 料钟支撑架安装允许偏差及检验方法

项目	允许偏差(mm)	检验方法
立柱平面位置	±5	钢卷尺检查
立柱、横梁的标高	±5	水准仪检查
立柱的垂直度	1/1000	吊线检查
横梁的水平度	1/1000	水平仪检查

7.8 卸料漏斗安装

7.8.1 卸料漏斗安装允许偏差及检验方法应符合表 7.8.1 的规定。

表 7.8.1 卸料漏斗安装允许偏差及检验方法

项目	允许偏差(mm)	检验方法
----	----------	------

项目	允许偏差(mm)	检验方法
出料机中心与出灰机漏斗纵、横中心线	3	钢卷尺测量
出灰机纵、横水平度	0.3/1000	水平仪测量

7.9 喷枪安装

7.9.1 喷枪安装必须均匀布置在窑壳环形煅烧带圆周上，且各喷枪轴线（水平方向）必须汇交于窑壳中心。

7.9.2 喷枪法兰与煤气管法兰必须无泄漏，密封严密，密封垫不得有破损。

7.9.3 盘根密封材料缠绕法兰圈数不得小于4圈，螺栓必须坚固，受力均匀，保证管段无泄漏。密封绳接头必须平整、光滑，不得有刀痕等其他缺陷，保证严密、无泄漏。

7.9.4 喷枪安装允许偏差符合表 7.9.4 的规定。

表 7.9.4 喷枪安装允许偏差及检验方法

项目	允许偏差(mm)	检验方法
喷枪圆周方向偏差	±30	钢卷尺测量
喷枪垂直度	0.5%	线坠测量

7.10 窑体气密性试验

7.10.1 设备安装完毕后应进行窑体的气密性试验，窑体密封性能应符合设计要求。

7.10.2 试验压力应符合设计要求，保压维持1~2小时，压力下降不应超过10%。

7.11 其他设备安装

7.11.1 风机、压缩机、泵的安装应符合设计文件要求，并应符合国家标准《风机、压缩机、泵安装工程施工及验收规范》GB 50275 的有关规定。

7.11.2 电气设备的安装应符合设计文件要求，并应符合国家标准《冶金电气设备安装验收规范》GB 50397 的有关规定。

8 耐火材料施工

8.1 一般规定

8.1.1 砌筑工程应在窑体钢结构和有关设备安装经检查合格并办理工序交接后，方可进行施工。

8.1.2 泥浆的品种、牌号、配合比必须符合设计或规范要求。

8.1.3 耐火泥浆的粘接时间应视耐火制品材质和外形尺寸的大小而定，宜为 1.0min~1.5min。

8.1.4 泥浆的稠度应与砌体类别相适应，不同稠度的泥浆及其适用的砌体类别，可按表 8.1.4 采用。

表 8.1.4 泥浆的稠度选择

名称	稠度 (0.1mm)	砌体类别
泥浆	320~380	I ~ II
	280~320	III
	260~280	IV

注：耐火砌体的分类应按《工业炉砌筑工程施工与验收规范》GB50211 的规定执行。

8.1.5 砌体砖缝的泥浆饱满度应不低于 95%，不允许出现通缝。

8.1.6 砌体膨胀缝的数值、构造及分布位置均应按设计要求留设。留设的膨胀缝应均匀平直。缝内应保持清洁，并按规定填充材料。

8.1.7 窑体砌筑允许偏差应符合表 8.1.7 规定的数值。

表 8.1.7 双膛竖窑的砌筑允许偏差

项目	允许偏差 (mm)
线尺寸偏差： (1) 支撑拱两侧拱脚砖的间距 (2) 环形通道内、外筒墙体的间距 (3) 装料区部位喷涂层的厚度	±2 ±5 0~10
表面平整偏差 (用 2m 靠尺检查，靠尺与砌体之间的间隙)	5
直径偏差 (圆形炉墙)：	±10

项目	允许偏差 (mm)
垂直偏差 (圆形炉墙): 每米高 全高	3 15
膨胀缝的尺寸偏差: (1) 分散膨胀缝 (2) 集中膨胀缝	0~1 0~5
砖缝厚度的偏差: (1) 镁砖、镁铝尖晶石砖 (2) 其他耐火砖	±1 -1~2

8.1.8 不定形耐火材料搅拌用水应采用洁净水，配比用量应符合产品使用说明书规定。

8.1.9 耐火材料砌筑工程的冬期施工应符合《建筑工程冬期施工规程》JGJ/T104 中的相关规定，并应符合以下要求：

a) 冬期耐火材料砌筑应在采暖环境中进行，在砌筑季节大气温度偏低，环境相对湿度偏大的地区，或者在施工期间装设采暖设施较为困难的施工现场，不宜进行耐火材料砌筑冬期施工。

b) 砌筑耐火材料时，工作地点和砌体周围的温度均不应低于 5℃。耐火材料砌筑完毕不能随即烘炉投产时，应采取烘干措施，排除炉衬内的水分。

c) 耐火砖和预制块在砌筑前应预热至 0℃ 以上。

d) 耐火泥浆、耐火可塑料、耐火喷涂料和水泥结合耐火浇注料等施工时的温度，均不应低于 5℃。黏土结合耐火浇注料、水玻璃耐火浇注料、磷酸盐耐火浇注料施工时的温度不宜低于 10℃。

e) 冬期施工时，耐火泥浆、耐火浇注料的搅拌应在暖棚内进行。运距较远时，应采取保温措施。水泥、模板等材料宜事先运入暖棚内存放。

f) 耐火浇注料的搅拌用水应加热，加热温度为：硅酸盐水泥耐火浇注料的水温不应超过 60℃，铝酸盐水泥耐火浇注料的水温不应超

过 30℃。水泥不得直接加热。

g) 耐火浇注料施工过程中不得另加促凝剂。

h) 水泥耐火浇注料的养护可采用蓄热法或加热法。硅酸盐水泥耐火浇注料的加热温度不应超过 60℃，铝酸盐水泥耐火浇注料的加热温度不应超过 30℃。

i) 粘土、水玻璃和磷酸盐耐火浇注料的养护应采用干热法。水玻璃耐火浇注料的加热温度不应超过 60℃。

8.2 材料的存储和运输

8.2.1 耐火材料存储要按材质、砖型分类码放整齐，并要有必要的防雨、防潮措施。

8.2.2 存储区域的耐火材料应按牌号、等级、型号和砌筑顺序依次放置，并作出清晰明显标志。

8.2.3 所有装运的耐火材料均应有防水措施，开箱后的耐火材料必须用防水薄膜覆盖。

8.2.4 耐火制品在运输、装卸时，应轻拿轻放，以防破损，并应预防受潮，有防冻要求的耐火材料，应采取防冻措施。

8.3 耐火材料砌筑

I 下窑体部分

8.3.1 砌筑前应复核石灰窑和石灰窑基础上窑体的中心线，中心线的位移偏差应不超过 15mm 且须符合设计或规范要求。

8.3.2 基础底板水平度偏差应符合规范要求，保证两个窑膛砖层起始位置处于同一水平面。高度差值不大于 15mm 可用泥浆找平；变形较大，高差不小于 30mm 可用耐火粘土捣打料找平。

8.3.3 冷却带和立柱砌筑应以牛腿斜线为基准，标高及垂直度应符合

设计规范要求。

II 支撑柱砌筑

8.3.4 各耐火材料品种、规格符合设计要求。

8.3.5 支撑柱砖切割尺寸和支撑柱子向窑壳中心出台位置及尺寸必须符合设计图纸要求。

8.3.6 支撑拱式双膛石灰竖窑支柱砖应出台均匀，相邻支撑柱标高差的允许偏差应为 0mm~5mm，相邻支撑柱炉内端头间距的允许偏差应为±10mm。

8.3.7 悬挂缸式双膛竖窑的悬挂砖应按设计半径排列，允许偏差应为±5mm。

III 拱与拱脚砖

8.3.8 拱与拱脚砖施工允许误差应符合设计和规范要求。切割拱脚砖时，应提前在窑炉外将整个拱进行预砌筑。

8.3.9 所有立柱顶面，即拱脚砖底面必须处于同一水平面，水平高差符合设计规范要求。

8.3.10 根据拱跨度及角度调整拱脚砖位置，确保所有拱脚砖的间距和角度相同，符合设计要求。

8.3.11 拱砖砌筑火泥缝厚度应符合规范要求，拱表面火泥涂抹应均匀，使砖受荷均匀。

8.3.12 所有支撑拱上面宜用镁质捣打料找平，保证两窑膛捣打料顶面处于同一平面。

IV 膨胀缝

8.3.13 膨胀缝宽度应符合设计或规范要求，允许偏差范围为-1mm~+2mm。

8.3.14 为满足下部窑体砖结构垂直膨胀，燃烧区应设置 50mm 环形间隙膨胀缝，空隙使用陶瓷纤维毡填充，并用弯曲金属片封接。

8.3.15 环形通道盖下方应按设计要求预留膨胀缝，填充材料及密封应符合设计规范要求。

8.3.16 环形通道盖的重质浇注料层的拨火门之间膨胀缝应采用耐火陶瓷纤维板，各部位缝隙厚度应符合设计规范要求。

8.3.17 空气炮管外侧和环形通道及连接通道拨火门管外等应设膨胀缝，并用规定厚度耐火陶瓷纤维毡包裹，外部用油纸将耐火陶瓷纤维毡与浇注料隔开。

V 内筒

8.3.18 内筒砌筑与环形通道盖的浇注料底面之间应按设计留设膨胀间隙。并用油纸覆盖浇注料表面，以防止浇注料内水分浸入镁砖。

VI 环形通道和连接通道顶部

8.3.19 环形通道盖浇注施工前，平吊顶用的锚固件焊接位置必须符合设计图纸；应将拨火孔钢管用耐火陶瓷纤维毡及油纸包裹好。

8.3.20 浇注施工过程中要注意留设好膨胀缝的填充材料位置，填充材料放置要做好定型和防水。并用矿渣棉填充浇注料与钢结构之间的空隙，填充时要注意其密实程度适当。

VII 内筒上部煨烧带

8.3.21 砌筑支撑圈第一环砖时，高铝砖与支架之间宜插入厚 10mm 的耐火陶瓷纤维板，支架上表面的水平度应符合设计要求。

8.3.22 完成环形砌砖后，顶部窑壳里的空隙应用水泥结合耐火浇注料填实，下部用耐火陶瓷纤维棉填充。

8.3.23 基础支撑环砖的定位必须符合设计图纸，耐磨衬浇注时应将镁

砖和浇注区隔离开。

VIII 上窑身部分

8.3.24 隔热板应用火泥固定在上部锥形外壳上，其余的空隙用矿渣棉填充。砖体上端的密封层应密实，防止透气。

8.3.25 装料区的壳体绝热喷涂料应严格控制含水量，保证喷涂料吸附能力。

8.3.26 煅烧带中部塞缝用的密封钢板必须安放到环形空隙中，空隙中应干净无杂物，并用指定的填充材料填充。

9 调试与试运转

9.0.1 电气设备的试验、调试应符合国家标准《电气装置安装工程电气设备交接试验标准》GB 50150 的有关规定。

9.0.2 料车及卷扬机试运转必须符合设备技术文件的规定，并符合以下规定：

a) 电机带动减速机及卷筒正、反向运转各 4 小时，以最高速度运转各 1 小时。滚动轴承温度 $\leq 70^{\circ}\text{C}$ ，轴承、齿轮转动无杂音，密封部位不漏油。

b) 卸料小车行走平稳，停止位置正确，在弯轨处倾翻灵活。

c) 料车停车及极限位置时，保留在卷扬机卷筒上的钢丝绳每根不少于 3 圈。

d) 控制料车及平衡车的行程开关位置正确，动作灵活、可靠。

e) 卷扬机无负荷运转后，挂上钢丝绳带动料车低速运行，无卡阻现象。

f) 料车以正常生产操作速度连续运行 8 小时。

9.0.2 可逆皮带机传动装置的试运转必须符合以下规定：

a) 各轴承部位不得有不正常的噪音。

b) 滚动轴承温度不得超过 70°C ，滑动轴承温度不得超过 60°C 。

c) 齿轮传动不得有不正常的噪音与磨损。

9.0.3 卸料机在试运转过程中，不得有不正常的噪音，滚动轴承温度不超过 70°C 。

10 烘炉

10.0.1 并流蓄热式双膛竖窑施工验收合格后，应及时组织烘炉。不能及时烘炉时，应采取相应的保护措施。

10.0.2 烘炉应在其生产流程有关的机械和设备联合试运转合格后进行，投产前必须烘炉。

10.0.3 采用耐火浇注料等不定形耐火材料砌筑的内衬应按规定养护后，才可进行烘炉。

10.0.4 应根据并流蓄热式双膛竖窑的结构、耐火材料的性能和施工季节等制订烘炉方案。

10.0.5 烘炉方案中的阶段性保温时间及总烘炉时间，应满足最长烘炉时间的材料的要求。

10.0.6 烘炉方案应包括下列内容：热源及供热方式、热源循环流向、温度检测系统、温度控制系统、温度控制曲线、水分检测系统、烘炉结束判定基准、操作规程、安全措施、应急预案、与热态工程配套的内容等。

10.0.7 烘炉应按烘炉方案进行。烘炉过程中应测定和绘制实际的烘炉曲线。烘炉后需要降温的并流蓄热式双膛竖窑，在烘炉曲线中应注明降温速度。烘炉时应做详细的记录，对发生的不正常现象应采取相应措施，并应注明其原因。

10.0.8 烘炉期间应观察内衬耐火材料的膨胀以及拱顶的变化。拱顶上部应安设监测标志，跟踪检查拱顶的变化。

10.0.9 在烘炉过程中，当主要设施发生故障而影响其正常升温时，应立即保温或停止烘炉。待故障消除后，才可继续烘炉。

10.0.10 烘炉过程中所出现的缺陷应经处理后，才可投入正常生产。

10.0.11 并流蓄热式双膛竖窑的烘炉时间按《工业炉砌筑工程施工与

验收规范》中的相关规定执行。

11 工程验收

11.0.1 并流蓄热式双膛竖窑工程施工完毕后，除应按本规程进行验收外，尚应符合现行国家标准《工业炉砌筑工程施工及验收规范》GB50211 的规定。

11.0.2 验收时应提交下列资料：

- a) 施工图，图中应注明施工过程中的设计变更。当有重大变更时，应提交竣工图；
- b) 设计变更证明资料；
- c) 耐火材料的证明资料，包括：耐火材料的出厂合格证，耐火材料代用证，必要的实验室检验合格证，泥浆和不定形耐火材料的配制记录；
- d) 窑炉主要部位的测量记录；
- e) 筑炉隐蔽工程验收记录，分部工程检查记录和质量鉴定意见，并经建设方代表签字认可；
- f) 工序交接证明书；
- g) 机电设备、仪器仪表冷态运转记录。

11.0.3 隐蔽工程应在浇注混凝土或地面水泥浆铺设前，对使用材料的质量、尺寸和位置等进行检查验收，并做好验收记录。

11.0.4 钢结构工程的验收应按现行国家标准《钢结构工程施工质量验收规范》GB50205 进行。

11.0.5 窑体砌筑工程的验收应按现行国家标准《工业炉砌筑工程质量验收标准》GB50309 进行。

11.0.6 传动系统的验收应按现行国家标准《机械设备安装工程施工及验收通用规范》GB50231 的有关规定进行，并对传动系统进行试运转，其结果应符合设计要求。

11.0.7 管道系统的验收应按现行国家标准《工业金属管道工程施工质

量验收规范》GB50184、《工业设备及管道绝热工程施工质量验收标准》GB/T50185 的有关规定进行。

11.0.8 电气设备的验收应按现行国家标准《冶金电气设备工程安装验收规范》GB50397 的有关规定进行。

11.0.9 压缩机、风机、泵安装的验收应按现行国家标准《压缩机、风机、泵安装工程施工及验收规范》GB50275 的规定进行。

12 施工安全与环境保护

12.1 施工安全

12.1.1 并流蓄热式双膛竖窑工程施工的安全技术应符合国家现行有关规定。

12.1.2 并流蓄热式双膛竖窑工程施工前应针对工程特点建立事故预警体系，并在施工过程中有效运行。

12.1.3 并流蓄热式双膛竖窑工程施工前应制定安全技术操作规程，进行安全教育。现场施工人员应佩戴劳动保护用品。

12.1.4 施工现场、加工厂和仓库应设有消防水源、配备消防设施，并应设专人定期检查。

12.1.5 易燃、易爆和有毒材料应分类存放在专用仓库内，并应设专人管理。库内应设置明显标志。在易燃、易爆区域内使用明火时，应采取防范措施。

12.1.6 施工现场应设置安全通道。危险区域应设置明显标志，危险区域内的通道上方应搭设保护棚。

12.1.7 施工区域及各运输通道应光线充足，使用的照明器具须符合有关标准的规定。

12.1.8 施工用机械设备必须由具备相应资格的专人操作，并应设专人检查和维护。

12.1.9 起重机械设备须经检查合格后方可使用。专用吊具、索具应符合国家有关强制性标准的规定。

12.1.10 施工现场的临时用电应采用三相五线制，满足现行用电规范要求，电器设备应可靠接地。

12.1.11 焊接作业前应首先检查焊机和工具的安全性，施焊过程应严格按照相关操作规程进行。

12.1.12 高空施工应搭设牢固、可靠的临时设施，高处及立体交叉作业应做好防护。

12.1.13 在有煤气、烟尘等有害气体的区域应采取防护措施，并应设专人测量有害气体和氧含量的浓度。

12.1.14 窑内施工应采取通风换气措施。

12.2 环境保护

12.2.1 施工的环境保护应符合国家现行有关规定。

12.2.2 施工单位应建立环境保护、环境卫生的管理和检查制度。

12.2.3 施工中应积极采用新材料、新工艺、新技术改善环境。

12.2.4 施工中应采取措施控制施工现场的粉尘、废气、废水、固定废弃物以及噪声等。严禁泥浆、污水、废水外流或未经允许排入河道，严禁堵塞下水道和排水河道。

12.2.5 施工现场应积极推行硬地坪施工，主要道路必须做硬化处理，满足现场施工需要。

12.2.6 搅拌场所和砖加工场所应采取控制扬尘措施，施工人员应做好自身防护。

12.2.7 对产生噪声、振动的施工机械，应采取降噪、隔离等措施。

12.2.8 运输垃圾的车辆应采取有效措施，防止尘土飞扬、洒落或流溢。

12.2.9 可回收再利用的固体废弃物应集中存放并及时清理回收，有毒有害的固体废弃物不得回填。

本标准用词说明

1 为便于在执行本标准条文时区别对待，对要求严格程度不同的用词说明如下：

1) 表示很严格，非这样做不可的：

正面词采用“必须”，反面词采用“严禁”；

2) 表示严格，在正常情况下均应这样做的：

正面词采用“应”，反面词采用“不应”或“不得”；

3) 表示允许稍有选择，在条件许可时首先应这样做的：

正面词采用“宜”，反面词采用“不宜”；

4) 表示有选择，在一定条件下可以这样做的，采用“可”。

2 条文中指明应按其它标准执行的写法为：“应符合……的规定”或“应按……执行”。

引用标准名录

- 1 《工业炉砌筑工程施工与验收规范》 GB50211
- 2 《工业炉砌筑工程质量验收标准》 GB50309
- 3 《钢结构工程施工质量验收标准》 GB50205
- 4 《钢结构工程施工规范》 GB50755
- 5 《钢结构焊接规范》 GB50661
- 6 《钢结构、管道涂装技术规程》 YB/T 9256
- 7 《工业金属管道工程施工质量验收规范》 GB50184
- 8 《现场设备、工业管道焊接工程施工规范》 GB50236
- 9 《机械设备安装工程施工及验收通用规范》 GB50231
- 10 《建筑电气工程施工质量验收规范》 GB50303
- 11 《工业安装工程施工质量验收统一标准》 GB/T 50252
- 12 《自动化仪表工程施工及质量验收规范》 GB50093
- 13 《电气装置安装工程电气设备交接试验标准》 GB50150
- 14 《建筑工程冬期施工规程》 JGJT104
- 15 《压力容器焊接规程》 NB/T 47015
- 16 《承压设备无损检测》 NB/T 47013
- 17 《建筑施工脚手架安全技术统一标准》 GB 51210
- 18 《工业窑炉大气污染物排放标准》 GB 9078

团体标准

并流蓄热式双膛竖窑安装施工与验收标准

Code for construction and acceptance of co-current heat accumulated kiln

with double shafts

T/**** 00**-2023

条文说明

目 次

1	总 则	36
2	术 语	37
3	基本规定	38
	3.1 施工管理	38
	3.2 钢结构	39
	3.3 耐火材料	40
	3.4 质量验收	40
6	窑体制作与安装	41
	6.2 窑体制作	41
8	耐火材料施工	42
	8.3 耐火材料砌筑	42
10	烘 炉	43
12	施工安全与环境保护	错误! 未定义书签。
	12.1 施工安全	44
	12.2 环境保护	44

1 总 则

1.0.1 本条为制定本标准的意义。为了适应并流蓄热式双膛石灰竖窑建设的发展，对并流蓄热式双膛石灰竖窑工程制定统一的质量标准，达到质量控制的目的。

1.0.3 本标准总结了近年来我国并流蓄热式双膛石灰竖窑施工的实践经验和研究成果，提出了并流蓄热式双膛石灰竖窑工程施工管理和过程控制的基本要求。当设计文件对并流蓄热式双膛石灰竖窑施工有不同于本标准的专门要求时，应遵照设计文件执行。

1.0.4 当工程有具体要求而本标准又无具体规定时，应执行现行国家有关标准、规范的规定，或由建设、设计、施工、监理等有关方面协商解决。

2 术语

2.0.1 并流蓄热式双膛竖窑属于生产活性石灰的一种窑体，竖窑窑体由两个圆形或方形窑身构成，两个窑膛交替轮流煅烧和预热矿石，在两个窑膛的煅烧带底部之间设有连接通道彼此连通，每隔一段时间换向一次以变换窑膛的工作状态。

2.0.3 拨火孔是石灰窑构造设计中的一个重要部分，数量因石灰窑的设计和尺寸而异。通过排气和通风，拨火孔可以调节窑内温度，防止温度过高或变化过快导致的烧结不均匀，从而保证石灰的质量。拨火孔还可以排出不必要的废气和杂质，改善窑内环境，提高石灰的工业利用价值。

2.0.4 空气炮是利用压缩空气瞬间释放产生冲击波，清除悬挂缸及窑体关键部位积灰的专用装置。其安装角度、压力参数需与窑体结构匹配，确保清灰效果的同时避免耐火材料损伤。

2.0.6 悬挂缸采用耐高温合金钢制造，内部空腔设计可实现循环风冷，降低热应力。其悬挂系统需设置弹性补偿装置，以吸收热膨胀带来的结构变形。

3 基本规定

3.1 施工管理

3.1.1 承担并流蓄热式双膛竖窑的施工单位应具备冶金工程施工总承包资质。施工单位的质量管理体系应覆盖施工全过程，包括材料的采购、验收和储存，施工过程中的质量自检、互检、专检，隐蔽工程检查和验收，以及涉及安全功能的项目抽查检验等环节。并流蓄热式双膛竖窑施工全过程中，应随时记录并处理出现的问题和质量偏差。

3.1.2 施工项目部应确定人员的职责、分工和权限，制定工作制度、考核制度和奖惩制度。施工项目部的机构设置应根据项目的规模、结构复杂程度、专业特点、人员素质等确定，施工操作人员应具备相应的技能，对有从业证书要求的，还应具有相应的证书。

3.1.3 当原设计文件深度不够，不足以指导施工时，需要施工单位进行深化设计。深化设计文件应经原设计单位认可。对于改建、扩建工程，应经承担改建、扩建工程的设计单位认可。当涉及BIM技术应用时，深化设计模型需通过原设计单位审核，确保与工艺管道、电气仪表等专业无碰撞。三维模型应作为工序交接的基准文件。

3.1.4、3.15 施工单位应重视施工资料管理工作，建立施工资料管理制度，将施工资料的形成和积累纳入到施工管理的各个环节和有关人员的职责范围。在资料管理过程中应保证施工资料的真实性、有效性和完整性。除应建立配套的管理制度，明确责任外，还应根据工程具体情况采取措施，确保施工资料真实、有效。

3.1.6 采用新技术、新工艺、新材料、新设备时，应经过试验和技术

鉴定，并应制定可行的技术措施。设计文件中制定使用新技术、新工艺、新材料时，施工单位应依据设计要求进行施工。施工单位欲使用新技术、新工艺、新材料时，应经监理单位核准，并按相关规定办理。本条的“新的施工工艺”系指施工单位以前未实施过的施工工艺。

3.1.7 在并流蓄热式双膛竖窑工程施工过程中，应贯彻执行施工质量控制和检验的制度。每道工序均应及时进行检查，确认符合要求后方可进行下道工序施工。“三检制”是一种有效的企业内部质量控制方法，“三检制”是指自检、互检和专检三种检查方式。对发现的质量问题及时返修、返工，是施工单位进行质量过程控制的必要手段。本标准提出了施工质量检查的主要内容，在实际操作中可根据质量控制的需要调整、补充检查内容。

3.1.9 并流蓄热式双膛竖窑施工前的准备工作包括：供水、用电、道路、运输、施工机具和安全防护设施等。重点针对窑体高空吊装、煤气管道试压等高风险作业编制专项预案，明确应急响应流程、人员疏散路线及救援资源配置，并应按规定组织应急演练。

3.2 钢结构

3.2.1 由于受运输、起吊等条件限制，窑壳为了检验其制作的整体性，由设计规定或合同要求在出厂前进行工程拼装，预拼装均在工程支撑平台上进行，且预拼装时不应使用大锤锤击，检查时应拆除全部临时固定和拉紧装置。

3.2.3 窑壳圆度偏差检测应选取 0° 、 90° 、 180° 、 270° 四个截面，每个截面测上、中、下三点取最大值。

3.3 耐火材料

3.3.2 错缝砌筑能增加砌体的结构强度，保证其整体性，是砌筑的基本要求。砖缝是耐火砌体的薄弱环节，耐火砌体的破坏一般首先从砖缝开始。对整个砌体而言，砖缝是透气度最大的部位。为了使泥浆将砖粘接成致密的整体内衬，砖缝内的泥浆应密实饱满。

3.3.4 膨胀缝的留设是为了更好地吸收砌体加热后的膨胀，如果膨胀缝留设不均匀、不平直，或者掉入砖屑等杂物，则无法均匀地吸收烘窑和生产时砌体的膨胀，严重时还可能导致砌体变形，甚至破坏。煅烧带镁砖砌体膨胀缝按 8-10mm/m 留设，硅莫砖砌体按 5-6mm/m 控制。为防止膨胀缝内掉入砖屑等杂物，缝内应按规定填入皱纹马粪纸、发泡苯乙烯等填充材料。填充料需提供 1200℃加热永久线变化试验报告。

3.4 质量验收

3.4.3 可采用移动端验收系统，关键验收节点通过二维码关联三维模型、检测报告及影像资料，实现质量追溯。

6 窑体制作与安装

6.2 窑体制作

6.2.1 焊缝错边量控制参照《压力容器焊接规程》NB/T 47015，对 $T > 40\text{mm}$ 厚板环缝错边量允许偏差增加说明：“当采用埋弧焊工艺时，环向焊缝错边量可放宽至 $\leq 6\text{mm}$ ”。

6.3.3 焊接质量检测：煤油渗透检测需保压 30 分钟无渗漏，磁粉检测按《承压设备无损检测》NB/T 47013 执行，II 级合格。对返修焊缝需 100%复探。

8 耐火材料施工

8.3 耐火材料砌筑

8.3.6 支撑柱砌筑：支撑柱出台压顶时，每层出台量不超过砖长的 1/4，出台方向应交错布置以增强结构稳定性。采用激光定位仪实时监测柱体垂直度。

8.3.13 膨胀缝施工：陶瓷纤维毡需采用高纯氧化铝型（ $Al_2O_3 \geq 45\%$ ），填充前需浸渍耐火胶泥增强密封性。膨胀缝两侧砌体需设置导向滑板防止纤维毡位移。

10 烘 炉

10.0.4 烘炉曲线制定

低温阶段（ $<200^{\circ}\text{C}$ ）：重点排除游离水，升温速率 $\leq 5^{\circ}\text{C}/\text{h}$ ，保温时间按浇注料厚度每 100mm 增加 12h 计算。

中温阶段（ $200\text{--}800^{\circ}\text{C}$ ）：控制结晶水释放速率，每 50°C 阶梯保温 4h，避免镁质耐火材料爆裂。

高温阶段（ $>800^{\circ}\text{C}$ ）：按设计煅烧工艺同步升温，监测拱顶膨胀量，最大允许偏移量 $\leq 15\text{mm}$ 。

12 施工安全与环境保护

12.1 施工安全

12.1.12 高空作业防护：窑体内部搭设满堂脚手架时，立杆间距 $\leq 1.2\text{m}$ ，步距 $\leq 1.8\text{m}$ ，作业层满铺钢制脚手板并设置双道防护栏杆。窑顶开口处设置硬质防护网。

12.2 环境保护

12.2.4 粉尘控制：耐火砖切割需在封闭式加工棚内进行，配备布袋除尘装置，作业区 PM10 浓度控制在 $4\text{mg}/\text{m}^3$ 以下。喷涂料施工采用湿式喷射工艺。