

中华人民共和国建材行业标准

JC/T XXXXX—202X

水泥窑全氧燃烧技术规范

Technical specification for oxy-fuel combustion of cement kilns

(点击此处添加与国际标准一致性程度的标识)

(征求意见稿)

202X - XX - XX 发布

202X - XX - XX 实施

中华人民共和国工业和信息化部 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有可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别这些专利的责任。

本文件由中国建筑材料联合会提出。

本文件由建材工业综合标准化技术委员会归口。

本文件起草单位：天津水泥工业设计研究院有限公司。

本文件主要起草人：

水泥窑全氧燃烧技术规范

1 范围

本文件规定了水泥窑全氧燃烧技术的基本要求、系统构成、设备与检测以及安全环保等内容。本文件适用于新建及技术改造的水泥窑炉全氧燃烧烧成系统的设计和运行。

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 2894 安全标志及使用导则
- GB 4915 水泥工业大气污染物排放标准
- GB 12348 工业企业厂界环境噪声排放标准
- GB 16780 水泥单位产品能源消耗限额
- GB 50030 氧气站设计规范
- GB 50264 工业设备及管道绝热工程设计规范
- GB 50295 水泥工厂设计规范
- GB 50316 工业金属管道设计规范
- GB 50443 水泥工厂节能设计规范
- GB 50577 水泥工厂职业安全卫生设计规范
- GB/T 150 压力容器
- GB/T 4272 设备及管道绝热技术通则
- GB/T 8196 机械安全 防护装置 固定式和活动式防护装置设计与制造一般要求
- GB/T 21372 硅酸盐水泥熟料
- GB/T 32994 水泥工业用回转窑
- GB/T 35150.2 新型干法水泥生产成套装备技术要求 第2部分：烧成系统
- GB/T 35150.5 新型干法水泥生产成套装备技术要求 第5部分：除尘系统
- GB/T 35150.6 新型干法水泥生产成套装备技术要求 第6部分：脱硫系统
- GB/T 35150.7 新型干法水泥生产成套装备技术要求 第7部分：脱硝系统
- GB/T 35528 低温液化气体安全指南
- GB/T 50087 工业企业噪声控制设计规范
- HJ 434 水泥工业除尘工程技术规范
- JB/T 6427 变压吸附制氧设备
- JB/T 8941 一般用途罗茨鼓风机 第1部分：技术条件
- JC/T 465 水泥工业用预热器分解炉系统装备技术条件
- JC/T 879 水泥工业用离心通风机技术条件
- JC/T 938 水泥工业用多通道煤粉燃烧器技术条件
- JC/T 2196 水泥回转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 全氧燃烧 oxy-fuel combustion

以水泥窑炉烟气碳捕集为目的，全部采用高纯度工业氧气替代空气作为助燃介质，并可掺混循环烟气以调节燃烧过程的燃烧技术。

3.2 循环烟气 recycle flue gas

在全氧燃烧水泥熟料烧成系统中，从烟气中引出的高浓度二氧化碳烟气，再返回燃烧区域或冷却区域作为助燃介质或调节介质的烟气。

4 基本要求

4.1 系统的工艺流程应根据烟气组成及性质、产品方案、场地条件等具体情况，经技术与经济比较后确定。

4.2 水泥烧成全氧燃烧系统成套装备规格应根据窑系统产量，原、燃料条件、海拔高度等综合确定，各设备的工艺性能应满足烧成系统生产能力的要求，设备选型设计应符合 GB 50295 和 GB 50443 的规定。

4.3 熟料的物理性能与化学性能，应符合 GB/T 21372《硅酸盐水泥熟料》标准的有关规定。

4.4 系统中压力容器、泵、换热器、管道、阀门的设计应符合 GB51316 的有关规定。

4.5 水泥窑采用全氧燃烧技术，应从工艺参数、设备选型、系统集成及安全控制等多方面进行综合考虑，设计开发全氧燃烧工艺方案，同时满足水泥熟料生产要求。全氧燃烧系统的引入不应对水泥窑原有烧成制度造成干扰。

4.6 全氧燃烧烧成衬里设计、保温材料及耐火材料的施工、质量及性能验收、使用与维护应符合 JC/T 2196 的规定。

4.7 新建水泥生产线及现有生产线进行全氧燃烧改造时，全氧燃烧系统应能适应空气助燃与全氧燃烧两种工况，并具备切换运行的能力。

4.8 全氧燃烧系统应设置氧气浓度监测、火焰监测及熄火保护装置，并与供氧系统联锁。

4.9 应在容易发生结皮堵塞的位置布置清堵装置。

5 系统构成

5.1 基本构成

水泥烧成全氧燃烧系统构成主要包括全氧燃烧燃烧器、全氧燃烧分解炉、全氧燃烧回转窑、全氧燃烧冷却机、预热设备、高温风机、烟气处理设备、循环烟气系统及供氧系统。水泥烧成全氧燃烧技术工艺流程图如图1所示。

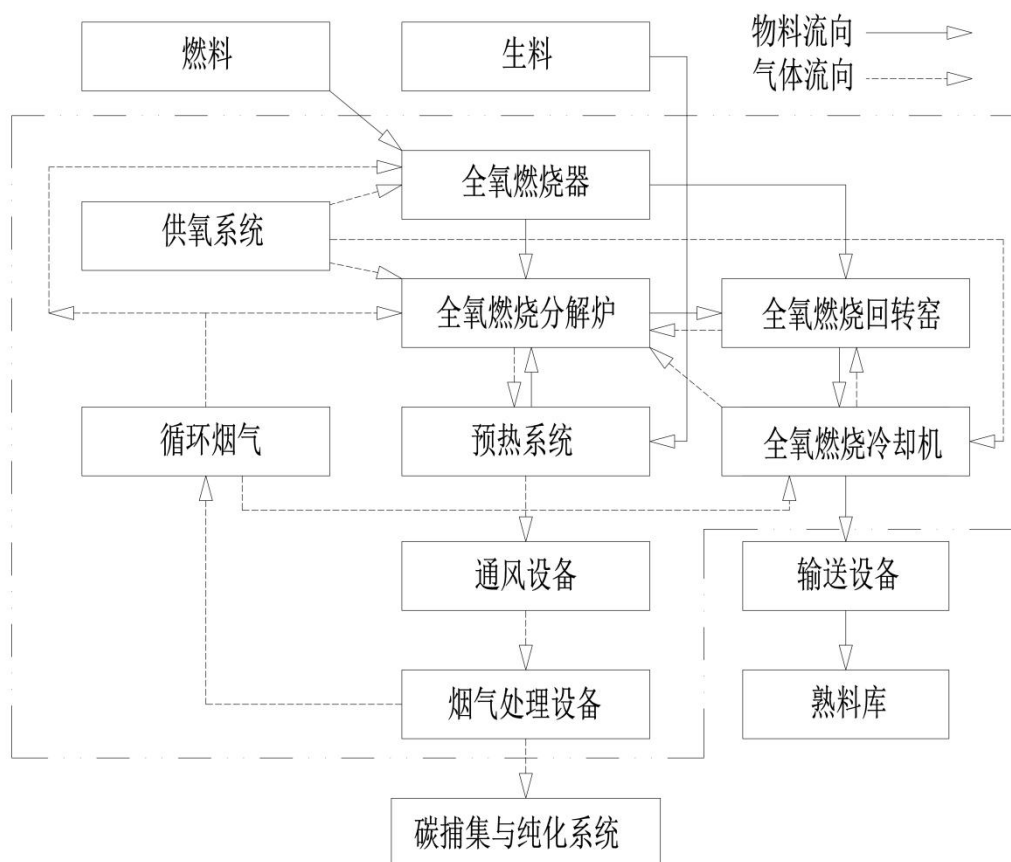


图 1 水泥烧成全氧燃烧系统和工艺流程

5.2 系统性能

5.2.1 烧成系统单位产品能耗应符合 GB 16780 的规定，排放应满足 GB 4915 及地方水泥行业污染物排放标准相关限值要求的排放水平。

5.2.2 系统的主要性能指标见表 1。

表 1 系统的主要性能指标

指标名称		参数值	备注
出全氧燃烧系统烟气 CO ₂ 浓度		≥80%	干基，体积分数
能耗	供氧系统能耗	≤ 0.30 GJ/t.cl	计算公式见附录 A
	全氧燃烧系统综合能耗	符合 GB/T 16780 的规定	/
入窑物料表观分解率		≥ 90%	/

6 设备与检测

6.1 供氧系统

6.1.1 供氧系统应根据设计工艺选择相应的供氧工艺，宜采用深冷空分、变压吸附或膜分离技术。

6.1.2 深冷空分法供氧系统冷冻液化系统应符合 GB/T 35528 的规定。

- 6.1.3 变压吸附法供氧系统应符合 JB/T 6427-2015 的要求。
- 6.1.4 供氧系统氧气纯度宜 $\geq 93\%$ ，氧气纯度波动应 $\leq \pm 2\%$ 。
- 6.1.5 供氧系统应具有流量、压力、温度等监测设施。
- 6.1.6 氧气输送管道的设计、选材、施工及验收应符合 GB 50030 和 GB 50316 的规定。
- 6.1.7 设备、管道有下列情况之一的应进行保冷措施：外表面温度低于环境温度且需减少冷介质在生产和输送过程中冷损失量的；需减少冷介质在生产和输送过程中温度升高或气化的；为防止常温以下、 0°C 以上设备及管道外壁表面凝露的。
- 6.1.8 保温、保冷层的厚度计算应符合现行国家标准 GB 50264 的有关规定。
- 6.1.9 系统中压力容器、泵、换热器、管道、阀门的设计应符合 GB/T 150 的有关规定。

6.2 全氧燃烧燃烧器

- 6.2.1 全氧燃烧燃烧器应符合 GB50295、JC/T 938 的规定。
- 6.2.2 全氧燃烧燃烧器应具备在空气助燃或全氧燃烧工况下切换供风的功能。
- 6.2.3 全氧燃烧燃烧器应具备火焰形状、长度及强度的调节能力，以适应不同燃料种类和不同工况下的煅烧需求。
- 6.2.4 全氧燃烧燃烧器在全氧燃烧工况下的助燃介质宜采用循环烟气与高浓度氧气的混合气体，其中一次助燃混合气体中的氧气体积分数应根据燃料特性确定，且氧气体积分数应 $\leq 50\%$ 。
- 6.2.5 全氧燃烧燃烧器与窑头罩的连接处应采取可靠的密封措施，防止空气漏入系统，密封装置应便于检修和更换。
- 6.2.6 全氧燃烧器宜采用带有喷油点火装置的多通道燃烧器，头部内衬宜采用抗热震耐磨浇注料或预制件。

6.3 全氧燃烧分解炉

- 6.3.1 全氧燃烧分解炉应符合 JC/T 465 的规定。
- 6.3.2 全氧燃烧分解炉应设置循环烟气进口与工业氧气喷入口，其位置与数量应根据炉内流场、温度分布及燃烧组织要求确定。
- 6.3.3 全氧燃烧分解炉应系统密封堵漏，包括但不限于法兰、阀门、观察孔、人孔门、燃烧器安装孔、焊缝、热电偶、SNCR 喷枪等。
- 6.3.4 全氧燃烧分解炉出口宜设置具备 CO、CO₂、O₂ 等气体实时监测功能的气体分析仪，CO₂ 检测体积分数量程宜为 0%-100%。
- 6.3.5 全氧燃烧分解炉宜采用具有脱硝功能的低氮型分解炉。
- 6.3.6 全氧燃烧分解炉易结皮部位耐火材料工作衬易采用微晶板及碳化硅抗结皮材料。

6.4 全氧燃烧回转窑

- 6.4.1 全氧燃烧回转窑的设计应符合 GB/T 32994 的规定。
- 6.4.2 全氧燃烧回转窑应设置密封装置以减少系统漏风，窑头、窑尾密封装置宜采用循环烟气作为密封介质，以阻隔空气进入系统。
- 6.4.3 全氧燃烧回转窑应有筒体温度的检测装置。
- 6.4.4 全氧燃烧回转窑窑尾烟室宜设置气体分析仪。
- 6.4.5 全氧燃烧回转窑烧成带耐火材料应能适应全氧燃烧工况下的高温、高氧浓度环境，其高温抗侵蚀性能应满足设计使用寿命要求。

6.5 全氧燃烧冷却机

- 6.5.1 全氧燃烧冷却机的设计应符合 GB 50295 的规定。
- 6.5.2 全氧燃烧冷却机应选用带有中置辊式破碎机的冷却机。
- 6.5.3 全氧燃烧冷却机应采用可靠的密封结构，减少系统漏风，冷却机壳体及活动部件连接处宜设置密封装置，并定期检测漏风情况。
- 6.5.4 全氧燃烧冷却机在全氧燃烧工况下，各段篦床应设置压力检测装置，保持各段篦床上方料层压力平衡，并维持微负压运行。
- 6.5.5 全氧燃烧冷却机在全氧燃烧工况下的冷却风应采用循环烟气。
- 6.5.6 全氧燃烧冷却机各鼓风机宜设置风量、风压测量装置，冷却机出口宜设置熟料温度测量装置。

6.6 预热系统

- 6.6.1 预热系统应符合 JC/T 465 的规定。
- 6.6.2 水泥烧成全氧燃烧系统应设置预热系统，用于回收分解炉出口烟气中的热量，可包括但不限于旋风预热器、立式预热器或其他具有热回收功能的设备。
- 6.6.3 预热系统出口应设置气体分析仪。
- 6.6.4 预热系统应系统密封堵漏，包括但不限于法兰、阀门、观察孔、安装孔、人孔门、焊缝、热电偶孔等。
- 6.6.5 预热系统锁风阀宜采用微动阀，轴头无漏风。
- 6.6.6 预热系统的清堵装置宜采用循环烟气作为工作介质。

6.7 通风设备

- 6.7.1 离心式通风机应符合 JC/T 879 的规定。
- 6.7.2 罗茨鼓风机应符合 JB/T 8941 的规定。
- 6.7.3 窑尾高温风机、窑头排风机应采用变频调速装置，高温风机效率应大于 80%。
- 6.7.4 系统其他风机宜设置变频调速装置。
- 6.7.5 全氧燃烧系统的风机应严格控制漏风率，包括但不限于高温风机、窑头排风机、循环风机、冷却风机等，均应严格控制漏风率，单台风机本体漏风率应 $\leq 0.3\%$ 。

6.8 烟气处理设备

- 6.8.1 烟气处理设备主要包括除尘、脱硫、脱硝设备。
- 6.8.2 烟气处理设备主要包括除尘设备、脱硫设备和脱硝设备，其设计、运行与维护应符合 HJ 434 和 GB/T 35150.5、GB/T 35150.6、GB/T 35150.7 的规定。
- 6.8.3 除尘设备的清堵装置宜采用循环烟气作为工作介质。
- 6.8.4 除尘设备应严格控制漏风率，漏风率应 $\leq 0.5\%$ 。

6.9 烟气循环系统

- 6.9.1 循环烟气可根据工艺配置与运行需求，可以送入全氧燃烧器、全氧燃烧分解炉或全氧燃烧篦式冷却机。
- 6.9.2 循环烟气的分配应设置独立支路与调节装置，以满足不同燃烧区域或熟料冷却的用风需求。
- 6.9.3 循环烟气管道应评估烟气结露风险，选材应满足烟气在结露工况下的耐腐蚀要求，并设置管道伴热或保温层的防结露措施。
- 6.9.4 循环烟气循环比例宜为 10-80%。
- 6.9.5 循环烟气管道应设置气体成分及压力测量装置，在线监测烟气中的 CO_2 、 O_2 、 CO 等组分浓度及管道压力，为烟气循环比例调节和系统运行控制提供依据。

- 6.9.6 循环烟气取气口应设置在烟气除尘、脱硝、脱硫等净化设备之后，避免污染物在系统内循环富集。
- 6.9.7 循环烟气管道应设置空气进口及切换装置，以满足空气助燃与全氧燃烧两种工况下的运行需求。
- 6.9.8 循环烟气与氧气的混合应在燃烧设备入口处或燃烧区内进行，严禁在管道内预混。

6.10 系统参数检测与过程控制

- 6.10.1 水泥烧成全氧燃烧系统应设置自动检测及控制系统。
- 6.10.2 生料、燃料及熟料过程控制应符合 GB/T 35150.2 的要求。
- 6.10.3 水泥烧成全氧燃烧系统主要检测项目见表 2 所示。

表 2 水泥烧成全氧燃烧系统主要检测项目

序号	检测样品名称	检测位置	检测项目	频率
1	水泥窑烟气	预热系统出口	温度、压力、烟气组分 (CO ₂ 、O ₂ 、NO _x 、SO ₂)	实时
2	水泥窑烟气	全氧燃烧分解炉出口	温度、压力、烟气组分 (CO ₂ 、O ₂ 、NO _x 、SO ₂)	实时
3	水泥窑烟气	全氧燃烧回转窑出口	温度、压力、烟气组分 (CO ₂ 、O ₂ 、NO _x 、SO ₂)	实时
4	水泥窑烟气	全氧燃烧冷却机篦床	温度、压力	实时
5	水泥窑烟气	循环烟气管道	温度、压力、烟气组分 (CO ₂ 、O ₂)	实时
6	物料	全氧燃烧分解炉出口	入窑物料表观分解率	一次/班
7	熟料	全氧燃烧冷却机出口	熟料温度、游离氧化钙含量	一次/班

- 6.10.4 水泥烧成全氧燃烧系统宜在分解炉出口设置取样口，用于生产过程中样品的取样分析。
- 6.10.5 水泥烧成全氧燃烧系统电气及自动化设计应符合 GB 50295 的规定。
- 6.10.6 过程控制宜采用水泥窑系统同步运行的自动控制系统，对整个装置进行控制和监视。
- 6.10.7 水泥窑烧成全氧燃烧系统应设置物料流量、气体温度、气体压力及气体成份等参数的过程监测装置。

7 安全环保

7.1 安全

- 7.1.1 水泥烧成全氧燃烧系统的建筑安全设计、电机和电器设备防电伤及防雷要求应符合 GB 50577 的规定。

- 7.1.2 循环烟气与氧气应分别设置独立的输送管道与喷射通道，不应在进入燃烧设备前预混。
- 7.1.3 燃料输送气应为冷却后的循环烟气，严禁高纯氧气作为燃料输送气。
- 7.1.4 设备周围应留有符合规定的操作和维修空间，通道和照明，应不对操作或设备检修人员构成危险。
- 7.1.5 表面温度超过 50℃ 的设备和管道，应在人员容易接触到的位置，采取防护措施。
- 7.1.6 应设置安全警示标志，并应符合 GB 2894 的规定。
- 7.1.7 水泥烧成全氧燃烧系统应与回转窑同步设计相应的事故防范、应急和救援设施。
- 7.1.8 各种机械传动装置的外露部分应设置防护罩或防护网等安全防护装置。防护装置应符合 GB/T 8196 的规定。
- 7.1.9 水泥烧成全氧燃烧系统应设置脱硝装置，氮氧化物排放、氨逃逸应符合 GB 4915 的规定。
- 7.1.10 熟料篦式冷却机除尘器的粉尘排放应满足 GB 4915 的规定。
- 7.1.11 设备检修时，应断开电源，挂牌上锁，按下急停开关。在有限空间作业时，应执行“先通风、再检测、后作业”的原则。在具有导电性的设备或容器内作业时，应使用 12 V 安全电压照明。
- 7.1.12 装备两侧护栏、警示牌应齐全，严禁人员从运转设备底部穿越靠近设备。

7.2 环保

- 7.2.1 系统大气污染物排放应符合 GB 4915 的规定。
- 7.2.2 噪声控制应符合 GB 12348、GB 50087 的规定。
- 7.2.3 设备和管道的绝热设计应符合 GB/T 4272 的规定。

附 录 A
(资料性)
供氧系统能耗计算方法

A.1 供氧系统能耗是指，在统计报告期内，水泥窑全氧燃烧系统中供氧设备为生产满足工艺要求的氧气所消耗的能量。

A.2 供氧系统单位产品能耗计算按式 (A.1)。

$$\dots\dots\dots e_b = \frac{E_{be}}{m_t} \times 0.0036 \quad (\text{A.1})$$

式中：

E_{be} —统计报告期内供氧系统用电设备消耗的电能，单位为千瓦时 (kW·h)；

m_t —统计报告期内熟料总产量，单位为吨 (t)；

e_b —供氧系统熟料单位产品能耗，单位为吉焦/吨 (GJ/t)。