

团 体 标 准

T/ZIUR XXXX—2026

水泥烧成系统能效提升技术规范

Technical Specification for Energy Efficiency Improvement of Cement Burning  
System

(征求意见稿)

XXXX - XX - XX 发布

XXXX - XX - XX 实施

## 目 次

前言 .....	II
1 范围 .....	1
2 规范性引用文件 .....	1
3 术语和定义 .....	1
4 基本原则 .....	2
5 能效诊断 .....	2
6 能效提升技术 .....	3
7 运行优化 .....	6
8 能效监测 .....	7
9 能效验收 .....	9
10 持续改进 .....	10

## 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XXX提出。

本文件由浙江省产学研合作促进会归口。

本文件起草单位：XXX。

本文件主要起草人：XXX。

# 水泥烧成系统能效提升技术规范

## 1 范围

本文件规定了水泥烧成系统能效提升技术的术语和定义、基本原则、能效诊断、能效提升技术、运行优化、能效监测、能效验收、持续改进。

本文件适用于水泥烧成系统的能效提升工作。

## 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/T 2589 综合能耗计算通则

GB 16780 水泥单位产品能源消耗限额

GB 17167 用能单位能源计量器具配备和管理通则

GB/T 29456 能源管理体系 实施、保持和改进GB/T 23331能源管理体系指南

GB/T 30760 水泥窑协同处置固体废物技术规范

GB 50577 水泥工厂职业安全卫生设计规范

JC/T 465 水泥工业用预热器分解炉系统装备技术条件

## 3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

### 3.1

**水泥烧成系统 cement sintering system**

由预热器、分解炉、回转窑、冷却机及配套风机、燃料输送等设备组成，完成生料预热、预分解、煅烧成熟料及熟料冷却全过程的系统。

### 3.2

**综合能耗 comprehensive energy consumption**

在统计报告期内生产某种产品或提供某种服务实际消耗的各种能源实物量，按规定的计算方法和单位分别折算后的总和。

[来源：GB/T 2589, 3.5]

### 3.3

**回转窑 rotary kiln**

回转卧式圆筒型水泥熟料煅烧设备，用于将经过预热、预分解的生料煅烧成熟料。

### 3.4

**固体废物 solid waste**

在生产、生活和其他活动中产生的丧失原有利用价值或者虽未丧失利用价值但被抛弃或者放弃的固态、半固态和置于容器中的液态或者气态的物品、物质。

注：固体废物包括危险废物、工业固体废物、生活垃圾及其处理产物、建筑垃圾、城市和工业污水处理污泥、动植物加工废物、农林业废物、受污染土壤、应急事件废物（包括突发公共卫生事件、安全事故、重大灾害、环境保护专项行动等集中产生的废物）等。

[来源：GB/T 30760, 3.1]

### 3.5

**替代燃料 alternative fuel**

用于替代部分常规燃料，投入水泥烧成系统中燃烧利用的固体废物、生物质等燃料。

### 3.6

#### 能效诊断 energy efficiency diagnosis

通过对水泥烧成系统的运行现状调查、能效对标、薄弱环节识别，分析系统能效水平及提升潜力的过程。

## 4 基本原则

### 4.1 科学性原则

应基于水泥烧成工艺机理，结合系统实际运行工况，采用经过实践验证、技术成熟可靠的能效提升技术与方法。

### 4.2 实用性原则

应结合企业现有生产装备、工艺条件和管理水平，选择适配性强、操作简便、维护成本可控的技术方案，确保改造后可稳定落地运行。

### 4.3 经济性原则

应兼顾能效提升效果与投资回报，优先选择投资少、回收期短、节能效益显著的技术措施，避免过度投入造成资源浪费，实现节能与效益双赢。

### 4.4 安全性原则

应确保能效提升改造过程不影响烧成系统正常生产秩序，不降低系统运行安全性，符合GB 50577相关要求，防范生产安全风险。

### 4.5 协同性原则

应统筹能效提升与污染物治理、资源综合利用，推动烧成系统与上下游工序协同优化，结合智能管控技术，实现全流程节能降耗，契合建材行业绿色低碳发展要求。

## 5 能效诊断

### 5.1 现状调查

5.1.1 现状调查应全面覆盖水泥烧成系统的设备配置、运行参数、能耗数据、维护记录等核心内容，为能效诊断提供基础数据支撑。

5.1.2 设备现状调查应包括预热器、分解炉、回转窑、冷却机、风机等关键设备的型号、规格、运行年限、维护保养情况及性能参数，排查设备老化、破损、效率下降等问题。

5.1.3 运行现状调查应记录烧成系统正常生产工况下的风煤比、燃烧温度、生料喂料量、窑速、冷却机风量等关键运行参数，连续监测不少于72小时。

5.1.4 应按照GB/T 2589的要求，核算烧成系统单位熟料综合能耗、煤耗、电耗等指标，梳理能源消耗环节，明确各环节能耗占比，识别能耗异常点。

5.1.5 基础资料调查应收集企业生产报表、设备台账、能源计量记录、历史能效数据及相关技术文件，梳理现有能效管理体系、操作规程及培训情况，为后续诊断分析提供依据。

5.1.6 现状调查应形成完整的调查报告，明确调查范围、方法、数据来源及初步发现的问题。

### 5.2 能效对标

5.2.1 能效对标应选取合理的对标基准，结合企业实际生产规模、工艺路线，参考GB 16780规定的能耗限额值及行业先进能效水平开展对标分析。

5.2.2 对标指标应包括单位熟料综合能耗、预热器换热效率、分解炉燃料利用率、窑体热损失、冷却机余热回收率等核心能效指标，确保对标指标的针对性和可比性。

5.2.3 应采用定量对比与定性分析相结合的方法，对比企业现有能效指标与对标基准的差距，分析差

距产生的原因，包括设备性能、运行参数、操作水平、管理模式等方面。

5.2.4 对标分析应结合行业节能技术发展趋势，参考《国家工业和信息化领域节能降碳技术应用指南与案例》中的先进案例，明确能效提升的潜力和方向。

5.2.5 能效对标应形成对标报告，明确对标基准、对比结果、差距原因及初步的能效提升目标。

### 5.3 薄弱环节识别

5.3.1 应基于现状调查和能效对标结果，聚焦烧成系统能耗较高、效率较低的关键环节，结合工艺机理和运行数据，精准识别能效提升的薄弱点。

5.3.2 设备层面薄弱环节识别应重点关注：

——预热器结皮、漏风导致换热效率下降；

——分解炉燃烧器老化、燃烧不均匀导致燃料浪费；

——窑体隔热层破损导致热损失过大；冷却机换热效率低、余热回收不充分等问题。

5.3.3 运行层面薄弱环节识别应重点关注：

——风煤匹配不合理导致燃烧效率低；生料易烧性差导致烧成温度偏高、能耗增加；

——漏风治理不到位导致系统热效率下降；

——启停窑操作不规范导致能耗浪费等问题。

5.3.4 管理层面薄弱环节识别应重点关注：

——能源计量器具配备不齐全、精度不足，不符合 GB 17167 要求；

——能效监测体系不完善，数据采集不及时、不准确；

——操作人员技能不足，操作不规范等问题。

5.3.5 薄弱环节识别应明确各薄弱点的具体表现、影响范围及严重程度，结合能耗数据量化分析其对系统能效的影响，优先识别节能潜力大、改造难度适中的薄弱环节。

5.3.6 薄弱环节识别可采用专家评估、数据建模分析等方式，结合企业生产实际，形成薄弱环节清单，明确每个薄弱环节的整改优先级和初步整改方向。

### 5.4 诊断结论

5.4.1 应基于现状调查、能效对标和薄弱环节识别的结果，全面总结水泥烧成系统当前的能效水平、存在的主要问题及节能潜力，结论应客观、严谨、准确。

5.4.2 应明确烧成系统当前的单位熟料综合能耗、关键设备能效等核心指标，对比对标基准，量化能效差距，明确总体节能潜力。

5.4.3 应列出识别出的所有薄弱环节，明确各薄弱环节的优先级，结合企业实际生产条件，提出针对性的能效提升建议，包括技术改造、运行优化、管理改进等方面。

5.4.4 应明确能效提升的阶段性目标和总体目标，目标设定应科学合理、切实可行，符合 GB 16780 规定的能耗限额要求，兼顾企业的投资能力和生产需求。

5.4.5 应形成完整的能效诊断报告，包括调查数据、对标结果、薄弱环节清单、整改建议及能效提升目标。

## 6 能效提升技术

### 6.1 预热器结构优化

6.1.1 预热器结构优化应结合现有设备型号和运行工况，采用低阻力、高效换热的结构设计，提升预热器换热效率，降低系统阻力和风机能耗，符合 JC/T 465 的相关要求。

6.1.2 预热器换热元件优化宜采用高效低阻型换热元件，替代传统换热元件，优化换热元件的布置方式，增加换热面积，减少气固分离阻力。

6.1.3 预热器结皮治理应采用防结皮结构设计，优化预热器内气流速度和温度分布，减少结皮产生；同时配备高效清堵装置，定期清理结皮，避免换热面积减少和系统阻力增加。

6.1.4 预热器漏风控制应优化密封结构，采用耐高温、耐磨的密封材料，加强预热器各级接口、检修门、下料管等部位的密封，降低漏风率，减少热损失。

6.1.5 多级预热器宜采用分级换热优化技术，根据各级预热器的温度梯度，合理分配换热负荷，提升

整体换热效率，可结合数值模拟技术优化结构参数。

6.1.6 预热器结构优化后，应确保其换热效率提升 5%以上，系统阻力降低 10%以上，符合行业先进水平。

## 6.2 分解炉燃烧改造

6.2.1 应聚焦燃料高效利用，优化燃烧结构和燃烧方式，降低燃料消耗，减少污染物排放，兼顾能效提升与环保要求。

6.2.2 燃烧器优化应采用节能型低氮燃烧器，替代传统燃烧器，优化燃烧器结构设计，改善燃料雾化效果，使燃料与空气充分混合。

6.2.3 分解炉燃烧区域优化应合理划分燃烧区域，调整燃料喷射角度和位置，确保燃料在分解炉内充分燃烧，延长燃料停留时间，减少未燃尽燃料损失。

6.2.4 燃烧参数优化应结合生料分解需求，合理调整分解炉内的温度、风量、风煤比等参数，避免局部温度过高或过低，确保生料充分分解的同时，降低燃料消耗。

6.2.5 宜采用分级燃烧技术，将燃料分阶段送入分解炉，优化空气供给方式，实现低氧燃烧，减少热损失和污染物排放。

6.2.6 燃烧系统应配备精准的燃料计量和调节装置，确保燃料供给稳定，根据生料喂料量和分解情况，实时调整燃料供给量，实现燃烧过程的精准控制。

6.2.7 分解炉燃烧改造后，燃料利用率应提升 3%以上，单位熟料燃料消耗降低 2%~5%。

## 6.3 窑体隔热强化

6.3.1 应采用高效隔热材料和合理的隔热结构，减少窑体表面热损失，提升窑内温度稳定性，降低燃料消耗。

6.3.2 窑体隔热材料应选用耐高温、导热系数低、耐磨、抗剥落的高效隔热材料，替代传统隔热材料，优化隔热层厚度和结构，提升隔热效果，可采用新型梯度复合保温技术。

6.3.3 窑衬修复与更换应定期对窑体隔热层进行检查，及时修复破损、脱落的窑衬，对于老化严重的隔热层，应及时更换，确保隔热层的完整性和隔热性能。

6.3.4 窑体表面保温优化宜在窑体外壳增设保温层，采用保温涂料或保温板材，减少窑体表面散热，使窑体表面温度控制在 60℃以下。

6.3.5 窑口、窑尾密封优化应加强窑口、窑尾的密封性能，采用新型密封装置，减少冷空气漏入和热气体泄漏，降低窑内温度波动。

6.3.6 窑体隔热强化后，窑体热损失应降低 15%以上，窑内温度稳定性提升，单位熟料燃料消耗降低 1%~3%，延长窑衬使用寿命。

## 6.4 冷却机余热利用

6.4.1 应遵循“梯级利用、高效回收”的原则，结合冷却机类型和运行工况，采用合理的余热回收技术，提升余热利用率，降低系统能耗。

6.4.2 冷却机余热回收应优先用于预热生料，通过换热装置将冷却机排出的热空气引入预热器，替代部分高温烟气，提升生料预热温度。

6.4.3 多余余热可用于发电或供暖，配套建设余热发电系统或供暖系统，将冷却机余热转化为电能或热能，实现能源梯级利用。

6.4.4 冷却机风量优化应调整冷却机风机风量，合理分配冷却风，在保证熟料冷却效果的前提下，减少冷却风消耗。

6.4.5 换热装置优化应采用高效换热设备，优化换热面积和换热方式，减少换热损失，提升余热回收效率，确保余热回收系统稳定运行。

6.4.6 冷却机余热利用系统应配备完善的监测和调节装置，实时监测余热温度、流量等参数，根据系统运行情况，及时调整余热利用方案。

6.4.7 冷却机余热利用率应提升至 60%以上，余热发电系统发电效率符合相关标准，实现节能与资源综合利用的双重效益。

## 6.5 生料易烧性改善

- 6.5.1 应通过优化生料配比、调整生料细度和均匀性，降低生料烧成温度，缩短烧成时间，减少燃料消耗。
- 6.5.2 生料配比优化应结合原料特性，合理调整生料中碳酸钙、硅铝质原料的比例，添加适量的矿化剂，降低生料易烧性指数，改善生料烧成性能，可采用生料助磨剂技术提升易烧性。
- 6.5.3 生料细度控制应优化生料粉磨工艺，调整粉磨参数，使生料细度达到合理范围，确保生料颗粒均匀，提升生料反应活性，减少烧成过程中的燃料消耗。
- 6.5.4 生料均化优化应加强生料均化过程控制，采用高效均化设备，确保生料成分均匀稳定，避免因生料成分波动导致烧成温度波动。
- 6.5.5 宜采用生料预均化技术，优化预均化堆场设计和操作方式，减少生料成分波动，为烧成系统稳定运行和能效提升奠定基础。
- 6.5.6 生料易烧性改善后，生料烧成温度可降低 30~50℃，单位熟料燃料消耗降低 2%~4%，同时提升熟料质量，减少烧成系统故障发生率。

## 6.6 替代燃料协同处置

- 6.6.1 应在确保烧成系统稳定运行和熟料质量的前提下，合理选用替代燃料，优化燃料输送和燃烧方式，实现能源替代和资源综合利用，符合 GB/T 30760 要求。
- 6.6.2 替代燃料应优先选用高热值、低杂质、易燃烧的替代燃料，包括生活垃圾衍生燃料、工业固体废物燃料、生物质燃料等。
- 6.6.3 替代燃料预处理应采用合适的预处理技术，去除替代燃料中的杂质、水分，破碎至合适粒度。
- 6.6.4 替代燃料掺加比例应结合烧成系统工况和燃料特性，合理控制掺加比例，初期宜控制在 5%~10%，逐步提升至 15%以上。
- 6.6.5 替代燃料燃烧控制应优化燃烧系统，调整燃烧参数，确保替代燃料充分燃烧，减少未燃尽物质，避免对烧成系统和熟料质量造成影响。
- 6.6.6 应配备完善的监测装置，实时监测燃烧过程中的温度、压力、烟气成分等参数，及时调整操作。

## 6.7 风机节能升级

- 6.7.1 应针对烧成系统中的预热器风机、冷却机风机、窑尾风机等关键风机，采用高效节能技术，优化风机运行参数，降低风机电耗。
- 6.7.2 应采用高效节能风机替代传统高耗能风机，优化风机叶轮、蜗壳等结构设计，提升风机效率，降低风机运行阻力，风机效率应达到 85%以上。
- 6.7.3 风机变频控制应配备变频调速装置，根据烧成系统运行工况，实时调整风机转速，实现风机风量的精准控制，避免风机长期处于满负荷运行状态。
- 6.7.4 风机运行参数优化应结合烧成系统的风煤比、压力、温度等参数，合理调整风机风量和压力，确保风机运行与系统需求匹配。
- 6.7.5 风机维护优化应定期对风机进行清洁、润滑、检修，及时排查风机故障，确保风机运行稳定，避免因风机故障导致能耗增加和系统停机。
- 6.7.6 宜采用风机群协同控制技术，统筹各风机运行状态，实现风机之间的协同优化，提升风机系统运行效率，进一步降低电耗。
- 6.7.7 风机节能升级后，风机电耗应降低 10%~15%，风机运行稳定性提升，减少故障停机时间。

## 6.8 智能控制应用

- 6.8.1 应结合水泥烧成系统的工艺特点，采用先进的智能控制技术和设备，实现系统运行参数的实时监测、精准调节和智能优化。
- 6.8.2 智能监测系统应配备完善的传感器和监测设备，实时采集烧成系统的温度、压力、流量、能耗等关键参数。
- 6.8.3 智能调节系统应基于实时监测数据，采用先进的控制算法，实现风煤比、生料喂料量、窑速、冷却机风量等参数的自动调节，确保系统运行在最优工况。
- 6.8.4 能效优化模型应结合烧成系统工艺机理和历史运行数据，建立能效优化模型，通过大数据分析，预测系统运行状态，提出最优运行方案。
- 6.8.5 智能管控平台应整合监测数据、调节参数、能效数据等信息，实现烧成系统运行状态的可视化

展示、远程监控和故障预警，提升管理效率，可结合数字孪生技术实现全流程管控。

6.8.6 智能控制设备应与烧成系统的现有设备兼容，安装调试过程应不影响系统正常生产，投入运行后应定期进行校准和维护。

6.8.7 宜采用磨窑一体协同优化调控技术，突破多约束、大时滞、强耦合生产过程调控难点，实现“风、煤、料”的智能调控。

## 7 运行优化

### 7.1 风煤匹配

7.1.1 风煤匹配优化应结合烧成系统实时运行工况，根据燃料特性、生料喂料量及窑内燃烧状态，动态调整风量与燃料供给量。

7.1.2 风煤比设定应科学合理，兼顾燃烧效率与能源消耗，避免风量不足导致燃料不完全燃烧，或风量过大造成热损失增加，可结合智能控制技术实现精准匹配。

7.1.3 一次风、二次风、三次风的分配应根据分解炉和回转窑的燃烧需求合理调整，确保燃料在窑内和分解炉内充分燃烧。

7.1.4 应建立风煤匹配联动调节机制，当生料喂料量、燃料热值发生波动时，及时调整风量和燃料供给量，维持系统稳定运行。

7.1.5 宜定期对风煤匹配参数进行校准，结合能效监测数据，优化调整风煤比设定值，确保风煤匹配始终处于最优状态。

### 7.2 燃烧调整

7.2.1 燃烧调整应基于燃料特性和烧成系统运行状态，优化燃烧参数，改善燃烧效果，减少燃料浪费，同时控制污染物排放。

7.2.2 燃烧温度调整应根据生料易烧性和熟料质量要求，合理控制窑内和分解炉内燃烧温度，避免温度过高或过低。

7.2.3 燃料喷射方式应优化，调整燃烧器喷射角度和速度，使燃料均匀分布在燃烧区域，延长燃料停留时间。

7.2.4 应加强对燃烧过程的实时监控，及时发现燃烧异常情况，如局部熄火、结焦等，采取针对性调整措施。

7.2.5 对于采用替代燃料的系统，燃烧调整应兼顾常规燃料与替代燃料的燃烧特性，优化混合比例和燃烧参数。

7.2.6 宜定期清理燃烧器喷嘴，避免结焦、堵塞导致燃烧效果下降，确保燃料雾化均匀，提升燃烧效率。

### 7.3 生料控制

7.3.1 生料控制应围绕生料质量稳定性展开，优化生料喂料、均化、细度等关键环节，为烧成系统高效运行奠定基础。

7.3.2 生料喂料应保持连续、稳定，根据烧成系统负荷变化，精准调整生料喂料量。

7.3.3 生料均化应加强过程控制，确保生料成分均匀，减少生料成分波动对烧成过程的影响。

7.3.4 生料细度应控制在合理范围，根据生料易烧性和烧成工艺要求，优化粉磨参数，避免细度偏粗增加烧成难度，或细度偏细增加粉磨电耗。

7.3.5 应定期检测生料易烧性指标，根据检测结果调整生料配比或粉磨参数，改善生料易烧性，降低烧成温度。

### 7.4 漏风治理

7.4.1 漏风治理应覆盖烧成系统所有可能漏风的部位，采用有效的密封措施，降低漏风率，减少热损失，提升系统能效。

7.4.2 重点漏风部位治理应按以下要求执行：

- 预热器各级接口、检修门、下料管等部位，应采用耐高温、耐磨密封材料，优化密封结构，定期检查更换密封件；
- 窑口、窑尾密封应采用新型密封装置，加强密封性能，减少冷空气漏入和热气体泄漏；
- 冷却机进料口、出料口及检修门，应优化密封设计，避免冷却风泄漏和热空气流失；
- 风机、管道接口等部位，应定期检查密封情况，及时处理漏风隐患。

7.4.3 应建立漏风定期检查机制，每月至少开展一次全面漏风排查，对发现的漏风点及时整改。

7.4.4 漏风治理后，应监测系统热损失变化，结合能效数据评估治理效果，对治理不到位的部位进一步优化调整。

## 7.5 启停窑管理

7.5.1 启停窑管理应遵循科学、规范的操作流程，减少启停过程中的能源浪费。

7.5.2 启窑前应做好准备工作，检查设备运行状态、燃料和生料储备情况，优化启窑升温曲线，避免升温过快导致设备损坏和能源浪费。

7.5.3 启窑过程中应逐步调整风煤比、生料喂料量，缓慢提升窑速和燃烧温度，确保系统平稳过渡到正常生产工况。

7.5.4 停窑前应合理调整生料喂料量和燃料供给量，逐步降低窑速和燃烧温度，避免突然停窑导致燃料浪费和设备损伤。

7.5.5 停窑后应做好保温工作，合理控制窑体降温速度，减少窑体热损失。

7.5.6 应建立启停窑操作记录制度，详细记录启停时间、操作参数、能耗数据等信息，总结经验，优化启停窑操作流程。

7.5.7 宜采用启停窑节能操作技术，结合智能控制手段，优化启停过程中的参数调节。

## 7.6 负荷调节

7.6.1 负荷调节应根据市场需求和系统运行状态，合理调整烧成系统生产负荷，实现能效与产能的协同优化。

7.6.2 负荷调整应循序渐进，避免负荷骤升骤降导致系统工况波动，增加能耗和设备故障风险，调整幅度应控制在合理范围。

7.6.3 高负荷运行时，应优化风煤匹配、燃烧调整和生料控制，确保系统高效稳定运行。

7.6.4 低负荷运行时，应适当降低燃料供给量和风量，优化燃烧参数，减少热损失，避免因负荷过低导致能耗上升，可结合替代燃料协同处置降低能耗。

7.6.5 应建立负荷调节联动机制，统筹预热器、分解炉、回转窑、冷却机等设备的运行参数，确保负荷调整时系统整体协调运行。

7.6.6 宜根据能效监测数据，确定不同负荷下的最优运行参数，形成负荷调节操作指南，指导现场操作。

## 8 能效监测

### 8.1 测点布局

8.1.1 测点布局应全面覆盖烧成系统关键能耗环节和设备，确保监测数据全面、准确，为能效分析和优化提供支撑。

8.1.2 测点设置应结合烧成系统工艺流程，重点布局在预热器、分解炉、回转窑、冷却机、风机等关键设备及能源输入、输出部位。

8.1.3 温度测点应布置在窑内、分解炉出口、预热器各级进出口、冷却机进出口等关键位置，监测各部位温度变化，反映系统热损失情况。

8.1.4 压力测点应布置在预热器各级、分解炉、风机进出口、窑尾等部位，监测系统压力变化，及时发现漏风、堵塞等问题。

8.1.5 流量测点应布置在燃料输送管道、风管道、生料喂料管道等部位，监测燃料、风量、生料量等关键参数，为风煤匹配、负荷调节提供依据。

8.1.6 能耗测点应布置在电力输入、燃料输入等部位，监测系统电耗、煤耗等核心能耗指标。

8.1.7 测点布局应避免干扰设备正常运行，便于仪器安装、维护和数据采集，同一类型测点的布置应遵循统一标准，确保数据可比性。

## 8.2 仪器配置

### 8.2.1 计量仪器要求

8.2.1.1 计量仪器应选用符合国家计量标准、精度满足监测要求的产品，经依法检定合格后方可投入使用。

8.2.1.2 电能计量仪器应选用精度等级不低于 0.5 级的电能表，用于监测风机、水泵等设备的电耗。

8.2.1.3 燃料计量仪器应选用精度等级不低于 1.0 级的计量设备，用于监测燃料输入量，确保燃料消耗数据准确。

8.2.1.4 温度、压力、流量监测仪器的精度应符合相关行业标准，确保监测数据能够真实反映系统运行状态。

### 8.2.2 监测仪器要求

8.2.2.1 监测仪器应具备数据采集、存储、传输功能，能够实时将监测数据上传至能效监测平台。

8.2.2.2 高温环境下使用的监测仪器应具备耐高温性能，适应烧成系统的高温工况，避免因温度过高导致仪器损坏或数据失真。

8.2.2.3 仪器应具备良好的稳定性和可靠性，定期进行校准和维护，确保长期稳定运行，数据采集连续性符合要求。

8.2.2.4 能效监测仪器配置应满足监测需求，不同类型测点的仪器配置应适配测点特性。

## 8.3 数据采集

8.3.1 数据采集应遵循真实、准确、及时、连续的原则，确保监测数据能够客观反映烧成系统能效状况。

8.3.2 数据采集频率应根据监测参数的特性合理设定，关键能耗参数和运行参数的采集频率不低于 1 次/分钟，常规参数采集频率不低于 1 次/10 分钟。

8.3.3 数据采集应采用自动采集方式，通过监测仪器和数据采集模块，实时采集各测点数据，减少人工采集误差，确保数据连续性。

8.3.4 采集的数据应包括能耗数据、运行参数数据、设备状态数据等，明确数据采集时间、测点位置、数据数值等关键信息，建立完整的数据台账。

8.3.5 应建立数据采集校验机制，定期对采集的数据进行校验，对比人工检测数据与自动采集数据，及时发现数据采集异常，排查仪器故障。

8.3.6 采集的数据应进行备份存储，存储时间不少于 3 年，便于后续能效分析、追溯和复盘，符合能源管理相关规范。

## 8.4 平台架构

8.4.1 能效监测平台架构应科学合理，具备数据接收、存储、处理、分析、展示等功能，实现烧成系统能效的全流程监测和管控。

8.4.2 平台应采用分层架构设计，包括数据采集层、数据传输层、数据存储层、数据处理层和应用展示层，各层协同工作。

8.4.3 数据采集层应兼容不同类型的监测仪器和数据采集模块，实现各类监测数据的统一采集和接入，支持多种数据传输协议。

8.4.4 数据传输层应采用安全、稳定的传输方式，确保监测数据实时、准确传输至数据存储层。

8.4.5 数据存储层应具备大容量、高可靠性的存储能力，支持历史数据和实时数据的分类存储，便于数据查询和分析。

8.4.6 数据处理层应具备数据清洗、筛选、分析等功能，对采集的数据进行处理，提取关键信息，为能效优化提供数据支撑。

8.4.7 应用展示层应具备可视化展示功能，通过图表、曲线等形式，直观展示系统能耗、运行参数等信息。

## 8.5 异常报警

8.5.1 异常报警应针对烧成系统能效异常和设备运行异常，建立完善的报警机制，及时发现问题并提醒相关人员处理。

8.5.2 报警阈值应根据系统正常运行参数范围和能效标准，科学设定不同参数的报警上限和下限，阈值设定应结合企业实际运行工况优化调整。

8.5.3 报警类型应包括能耗异常报警、运行参数异常报警、设备故障报警等，明确报警信息的优先级。

8.5.4 报警方式应采用声光报警、短信通知、平台弹窗等多种方式，确保相关人员能够及时收到报警信息，快速响应处理。

8.5.5 应建立报警处理机制，明确报警处理流程和责任人员，对报警信息及时排查处理，记录处理过程和结果，形成报警处理台账。

8.5.6 报警阈值应定期校准和优化，结合系统运行状态和能效提升效果，及时调整阈值范围。

## 8.6 能耗展示

8.6.1 能耗展示应直观、清晰，通过多种形式展示烧成系统的能耗状况，便于操作人员和管理人员掌握系统能效水平。应包括实时能耗展示和历史能耗展示，实时能耗展示应实时更新系统电耗、煤耗等核心能耗指标。

8.6.2 历史能耗展示应支持按日、周、月、年查询历史能耗数据，通过曲线、柱状图等形式，展示能耗变化趋势。

8.6.3 应区分不同设备、不同环节的能耗数据，明确各设备、各环节的能耗占比，便于识别高能耗环节，针对性开展节能优化。

8.6.4 应结合能效对标数据，展示系统当前能效水平与标杆水平、基准水平的差距，明确能效提升方向。

8.6.5 展示界面应简洁明了，操作便捷，支持数据导出功能，便于能耗数据的统计分析和报告生成。

## 8.7 报告生成

8.7.1 报告生成应基于能效监测数据，定期生成能效监测报告，全面反映烧成系统的能效状况、存在的问题及改进建议。

8.7.2 报告生成周期应分为日报、周报、月报和年报，日报应反映当日系统能耗和运行情况，周报、月报、年报应进行汇总分析，总结能效变化趋势。

8.7.3 报告内容应包括系统基本运行情况、能耗数据统计、能效指标分析、异常情况汇总、能效优化建议等，内容完整、数据准确。

8.7.4 报告应结合能效对标结果，对比分析系统当前能效与标杆水平、基准水平的差距，明确能效提升潜力和改进方向。

8.7.5 报告应采用规范的格式，清晰呈现相关数据和分析结果，便于管理人员查阅和决策，可作为能效验收、持续改进的依据。

8.7.6 报告生成可采用自动生成与人工完善相结合的方式，确保报告内容的科学性和完整性，生成后应及时归档保存，便于追溯。

## 9 能效验收

### 9.1 验收条件

9.1.1 能效验收应在烧成系统能效提升改造完成后，满足相关验收条件方可开展。

9.1.2 能效提升改造工程应全部完工，所有相关设备安装调试完毕，能够正常稳定运行，连续运行时间不少于 72 小时，无重大设备故障。

9.1.3 能效监测系统应安装调试完毕，能够正常采集、传输、处理监测数据，数据采集精度和连续性符合要求，监测平台运行稳定。

9.1.4 应提供完整的验收资料，包括改造方案、施工记录、设备台账、监测数据、能效诊断报告等，资料齐全、规范、准确。

9.1.5 系统运行参数应达到设计要求，能效指标应符合 GB 16780 规定的能耗限额要求，且不低于能效

诊断确定的提升目标。

9.1.6 改造过程应符合相关安全、环保标准，无安全事故和环保超标情况，相关环保指标符合国家及地方环保要求。

9.1.7 操作人员应经过专业培训，熟悉系统运行操作和能效监测方法，具备独立操作能力，符合能源管理岗位相关要求。

## 9.2 技术审查

9.2.1 技术审查应组织专业审查团队，对能效提升改造的技术方案、施工质量、设备配置等进行全面审查，确保改造技术符合规范要求。

9.2.2 技术方案审查应重点核查改造方案的科学性、合理性和可行性，是否结合企业实际工况，是否采用成熟可靠的节能技术，是否符合相关标准。

9.2.3 施工质量审查应核查改造工程的施工记录、验收记录，检查设备安装质量、管道连接质量、密封性能等，确保施工质量符合要求。

9.2.4 设备配置审查应核查节能设备、监测仪器的型号、规格、精度等，是否符合设计要求和相关标准，是否经过依法检定合格。

9.2.5 技术审查应查阅相关资料，包括改造合同、设备说明书、监测数据报告等，核实资料的真实性和完整性，形成技术审查意见。

9.2.6 对技术审查中发现的问题，应明确整改要求和整改期限，督促相关单位整改完善，整改完成后重新进行审查。

9.2.7 技术审查合格后，方可进入性能确认阶段；审查不合格的，应限期整改，直至审查合格。

## 9.3 性能确认

9.3.1 性能确认应在技术审查合格后开展，通过现场检测、数据核查等方式，确认烧成系统的能效性能和运行稳定性，符合验收要求。

9.3.2 应监测系统连续运行 72 小时的能耗数据和运行参数，核算单位熟料综合能耗、煤耗、电耗等核心能效指标，与改造目标和相关标准进行对比。

9.3.3 应检查节能技术的应用效果，包括预热器、分解炉、风机等设备的节能效果，是否达到设计要求和能效提升目标。

9.3.4 应核查能效监测系统的运行效果，确保监测数据准确、连续，监测平台功能完善，能够满足能效管理需求。

9.3.5 应包括系统运行稳定性检查，核查设备运行状态、故障发生率等，确保系统能够长期稳定运行，符合生产需求。

9.3.6 应形成性能确认报告，明确确认结果、存在的问题及处理建议，性能确认合格的，方可通过能效验收；不合格的，应限期整改后重新确认。

9.3.7 应符合《工业重点领域能效标杆水平和基准水平（2023 年版）》要求，确保系统能效达到规定水平。

## 10 持续改进

### 10.1 基准与对标

10.1.1 能效基准应结合烧成系统实际运行数据、行业标杆水平及相关标准，科学建立，作为能效持续改进的参照依据，符合 GB/T 29456 相关要求。

10.1.2 基准指标应包括单位熟料综合能耗、煤耗、电耗等核心能效指标，明确指标核算方法和统计范围，确保基准的科学性和可比性。

10.1.3 宜定期更新能效基准，结合行业技术进步、标准更新及系统运行工况变化，每年至少更新一次。

10.1.4 能效对标应建立常态化机制，定期与行业标杆企业、能效标杆水平进行对比，分析差距成因，明确改进方向和重点。

### 10.2 管理体系

10.2.1 应建立健全水泥烧成系统能效管理体系，整合能效监测、运行优化、技改实施等环节，实现能效管理全流程管控。

10.2.2 管理体系应明确各岗位能效管理职责，落实专人负责能效改进工作，形成“责任到人、层层落实”的管理机制。

10.2.3 应完善能效管理制度，包括能效目标管理、运行操作规程、设备维护保养、能耗统计分析等制度，规范能效管理行为。

10.2.4 管理体系运行过程中，应定期排查管理漏洞，重点关注以下方面：

- 能效管理制度的执行情况，及时纠正违规操作行为；
- 各岗位能效职责的落实情况，确保各项工作有序推进；
- 能耗统计数据的真实性和完整性，为改进决策提供可靠依据。

10.2.5 宜结合智能制造技术，优化管理体系流程，提升能效管理的智能化、精细化水平，降低管理成本。

### 10.3 培训教育

10.3.1 应建立常态化培训教育机制，针对烧成系统操作人员、管理人员开展能效相关培训。

10.3.2 培训内容应结合岗位需求，重点包括节能技术、运行优化方法、能效监测操作、设备维护技巧等，避免培训内容与岗位脱节。

10.3.3 培训频次应合理设定，新员工上岗前必须进行岗前培训，在岗员工每年培训不少于2次，及时更新节能知识和操作技能。

10.3.4 宜建立培训考核机制，对培训效果进行检验，考核不合格者应重新培训，确保培训质量。

### 10.4 内部评审

10.4.1 内部评审应定期开展，对烧成系统能效管理体系运行效果、能效目标完成情况、节能措施落实情况进行全面评审。

10.4.2 评审周期应明确，每年至少开展一次全面内部评审，当系统发生重大技改、运行工况大幅变化时，应增加评审频次。

10.4.3 评审团队应由专业技术人员、管理人员组成，确保评审的客观性和专业性，评审过程应规范记录，形成完整评审资料。

10.4.4 评审内容应包括能效基准落实情况、管理体系运行有效性、节能技术应用效果、能耗数据真实性等，全面排查存在的问题。

10.4.5 对评审中发现的问题，应明确整改责任人、整改措施和整改期限，整改完成后进行跟踪验证，形成“评审-整改-验证”的闭环管理。

### 10.5 技改评估

10.5.1 技改评估应针对烧成系统能效提升技改项目，定期开展效果评估，分析技改项目的节能效益、运行稳定性及经济性。

10.5.2 评估周期应结合技改项目特点设定，技改项目投用后3个月内开展首次评估，之后每年开展一次复核评估，跟踪技改效果的持续性。

10.5.3 评估内容应包括能效指标改善情况、投资回报周期、设备运行稳定性、维护成本等，客观评价技改项目的实施效果。

10.5.4 技改评估结果应作为后续技改项目规划的重要依据，对效果显著的技改技术，可在系统内推广应用；对效果不佳的，应分析原因并优化调整。