

# 团 体 标 准

T/CIECCPA 029—2023

## 水泥窑炉富氧燃烧技术规范

Technical specification for oxygen-enriched combustion  
energy saving of cement kiln

2023 - 07 - 04 发布

2023 - 07 - 07 实施

中 国 工 业 节 能 与 清 洁 生 产 协 会 发 布

CLECCPA

## 目 录

前 言 .....	II
1 范围 .....	1
2 规范性引用文件 .....	1
3 术语和定义 .....	1
3.1 富氧燃烧 .....	1
3.2 富氧率 .....	1
3.3 低浓度富氧法 .....	1
3.4 高浓度富氧法 .....	2
3.5 常规富氧法 .....	2
3.6 直接富氧法 .....	2
4 工艺流程 .....	2
5 应用分类与适用条件 .....	3
5.1 应用分类 .....	3
5.2 适用条件 .....	4
6 技术要求 .....	4
6.1 一般要求 .....	4
6.2 燃烧器、富氧喷管要求 .....	4
6.3 管道要求 .....	4
6.4 控制要求 .....	4
6.5 环保要求 .....	4
7 评价指标 .....	5
7.1 富氧率 .....	5
7.2 富氧节能率 .....	5
7.3 富氧电耗 .....	5
7.4 节能效果评价方法 .....	5
7.5 考核方法 .....	5
附录 A .....	6
图 1 .....	2
图 2 .....	3
图 3 .....	3
图 4 .....	3
图 5 .....	3

## 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。

本文件由中国工业节能与清洁生产协会提出并归口。

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。

本文件主要起草单位：北京汉能清源科技有限公司、昆明理工大学冶金与能源工程学院、杭氧集团股份有限公司、湖南省建筑材料研究设计院有限公司、西南科技大学、西南化工研究设计院有限公司、成都益志科技有限公司。

本文件主要起草人：陈立新、张永谋、李法社、王文超、彭旭东、王新杰、吴春宏、柴晓东、徐迅、胡海龙、殷文华、余秋兰、邓向辉、胡学奎、梁勇。

# 水泥窑炉富氧燃烧技术规范

## 1 范围

本文件规定了富氧燃烧节能技术的原理与流程、应用分类与适用条件、技术要求和评价指标。  
本文件适用于各种水泥窑炉，其他行业也可参照执行。

## 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（包括所有修改单）适用于本文件。

GB/T 3863-2008 工业氧  
GB 4915-2013 水泥工业大气污染物排放标准  
GB 12348-2008 工业企业厂界噪声排放标准  
GB 16780-2021 水泥单位产品能源消耗限额  
GB/T 17195-1997 工业炉名词术语  
GB/T 20001.3-2015 标准编写规则 第3部分：分类标准  
GB 50030-2013 氧气站设计规范  
GB 50295-2016 水泥工厂设计规范  
GB 50316 工业金属管道设计规范  
T/CCAS 022-2022 水泥工业大气污染物超低排放标准  
JB/T 5902-2015 空气分离设备用氧气管道技术条件  
JB/T 6427-2015 变压吸附制氧制氮设备  
HG 20202-2000 脱脂工程施工及验收规范

## 3 术语和定义

GB/T17195 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

### 3.1

**富氧燃烧** oxygen-enriched combustion

助燃空气中氧浓度大于常规空气氧浓度（含氧体积百分比，20.95%）的燃烧。

### 3.2

**富氧率** oxygen-enriched rate

助燃空气富氧时对比常规大气（含氧体积百分比，20.95%）增加的氧含量百分比。

### 3.3

低浓度富氧法 low oxygen-enriched concentration method  
助燃空气中氧浓度小于或等于 30%的富氧方法。

3.4

高浓度富氧法 high oxygen-enriched concentration method  
助燃空气中氧浓度大于 30%的富氧方法。

3.5

常规富氧法 conventional oxygen enrichment method  
采用燃烧器作为富氧空气通道而不外加富氧空气输送装置入窑炉的富氧助燃方法。

3.6

直接富氧法 direct oxygen enrichment method  
采用不经燃烧器、额外设置富氧空气输送通道（富氧喷管），给燃料提供助燃富氧空气的方法。

4 工艺流程

水泥窑炉富氧燃烧一般采用常规富氧法。典型的富氧燃烧工艺流程如图 1。

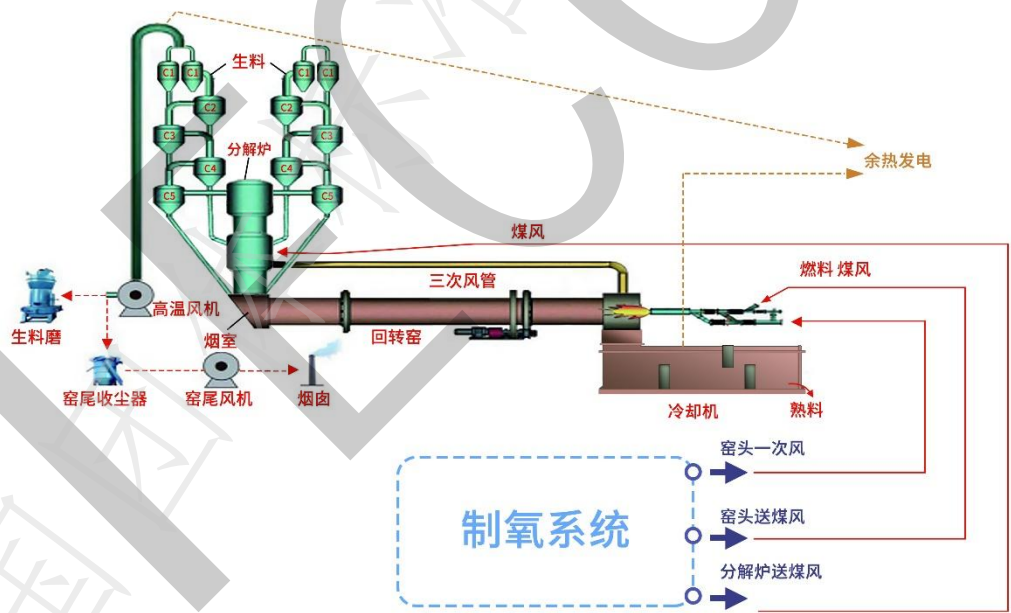


图 1 富氧燃烧工艺流程

图 1 工艺流程说明：通过制氧系统制备所需要的氧气，按照水泥生产工艺要求为水泥窑炉提供燃料燃烧所需要的富氧气体，通过一次风、窑头送煤风和分解炉送煤风分别进入回转窑和分解炉进行燃烧，提高燃料的燃烧效率。

## 5 应用分类与适用条件

### 5.1 应用分类

5.1.1 依照富氧率的不同，富氧燃烧方法可分为低浓度富氧法、高浓度富氧法。

5.1.2 按氧气接入点的不同，富氧燃烧方法可分为常规富氧法和直接富氧法见图 2 和图 3。



图 2 常规富氧法

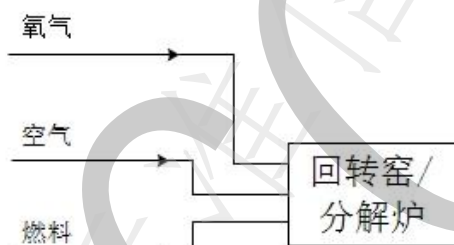


图 3 直接富氧法

5.1.3 按与燃料混合方式不同，富氧燃烧方法可分为预混富氧法和非预混富氧法见图 4 和图 5。



图 4 预混富氧法

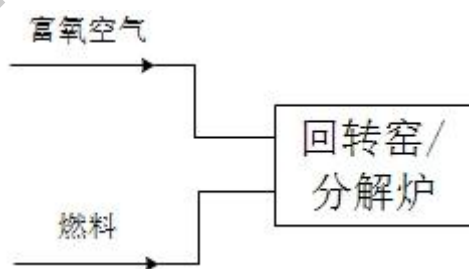


图 5 非预混富氧法

5.1.4 按照不同的制备富氧方法，分为深冷空分法、变压/温吸附法和膜分离法。

深冷空分法是利用液化后各组分沸点差异来精馏分离的，主要特点是单套装置产生氧气量大，适用

于单产纯氧  $10000\text{Nm}^3/\text{h}$  以上的工况，主要优点是产生氧气的浓度高，还能产生副产高纯度氮气和其它稀有气体，主机装备寿命在 20 年以上，不足之处是设备投资较大、占地面积较大、工艺流程复杂、运行维护复杂。

变压/温吸附法是利用吸附剂对特定气体的吸附和脱附能力不同来分离的，主要特点是产生氧气量较大，适用于单产纯氧  $500\text{--}7500\text{Nm}^3/\text{h}$  的工况，主机装备寿命在 10 年以上，主要优点是投资较少、设备占地面积较小、工艺流程简单、运行维护简单、能耗较低，不足之处是制备的氧气浓度小于 96%且 10 年后要更换分子筛。

膜分离法是利用膜对特定气体的选择透过性能不同来分离的，主要特点是产生氧气量较小，适用于  $500\text{Nm}^3/\text{h}$  以下的工况，主要优点是投资小，运行维护简单，不足之处是对环境较敏感、产品氧气需要脱湿、膜组件寿命较短。

5.1.5 依据水泥熟料生产工艺要求选择不同的富氧制备和燃烧方法。

## 5.2 适用条件

富氧燃烧技术适用于不同燃料的水泥窑炉。

## 6 技术要求

### 6.1 一般要求

无论采用何种技术制备氧气及与正常大气或烟气混合为富氧的状态，均应为气态为宜。

### 6.2 燃烧器、富氧喷管要求

6.2.1 入窑氧浓度（体积百分比、富氧率）应满足富氧燃烧节能改造的工艺设计要求。

6.2.2 在富氧燃烧过程中，无论是传统燃烧器、富氧燃烧器或富氧喷管，都应能满足水泥窑炉富氧燃烧的技术要求。

6.2.3 富氧空气与燃料（燃煤、燃气）预混输送时，应满足输送的安全性要求，并应设有必要的安全装置，以确保满足防制灾害扩大的要求。

### 6.3 管道要求

氧气输送管道应符合 GB50030 和 GB50316 规定，管道及附件的脱脂应符合现行标准《脱脂工程施工及验收规范》HG20202-2000 的规定。

### 6.4 控制要求

6.4.1 富氧燃烧控制系统宜采用计算机自动控制，可通过 DCS 实现对富氧燃烧智能控制，使富氧燃烧适应水泥窑炉热工要求。

6.4.2 氧气及助燃空气的供给应具有自动、手动切断回路，并能与原空气助燃系统自由切入、切出，满足无损工艺切换的要求。

6.4.3 氧气供应系统及富氧空气出口，均应具有流量、压力、温度等监测设施。

### 6.5 环保要求

6.5.1 富氧燃烧的水泥窑炉的烟气污染物排放应符合 GB4915-2013 《水泥工业大气污染物排放标准》或 T/CCAS022-2022 《水泥工业大气污染物超低排放标准》。

6.5.2 噪音应符合《GB12348-2008 工业企业厂界噪声排放标准》。



## 7 评价指标

可采用富氧率、富氧节能率、富氧电耗。对应用富氧燃烧技术的水泥窑炉进行节能效果评价，定期完成热平衡测定，测定与评价方法应符合 GB/T262822-2021 规定。

### 7.1 富氧率

富氧率按式（1）计算：

$$n = \varphi_1 - \varphi_2 \dots \dots \dots (1)$$

式中：  $n$  -富氧率，以%表示；

$\varphi_1$  -使用富氧后氧气含量，以%表示；

$\varphi_2$  -使用富氧前氧气含量，以%表示，一般为空气（其体积百分比为 20.95%）；

### 7.2 富氧节能率

富氧节能率按式（2）计算。

$$\eta_f = \frac{B_q - B_h}{B_q} \times 100\% \dots \dots \dots (2)$$

式中：  $\eta_f$  -富氧节能率，以%表示；

$B_q$  -富氧前窑炉的标准煤耗；

$B_h$  -富氧后窑炉的标准煤耗；

富氧节能率受水泥窑炉工艺技术装备水平、原燃材料情况、操作水平等因素影响，一般富氧节能率为 3-8%。

### 7.3 富氧电耗

富氧燃烧系统主要消耗为电能，富氧电耗一般控制为 $\leq 0.33\text{kWh/Nm}^3$  纯氧（不含氧压机），如果富氧电耗含有氧压机一般控制为 $\leq 0.35\text{kWh/Nm}^3$  纯氧。

### 7.4 节能效果评价方法

可采用富氧节能率和富氧电耗对应用富氧燃烧技术的窑炉进行节能效果评价，定期开展热平衡测定，测定与评价方法应符合 GB 16780 规定。

### 7.5 考核方法

可采用富氧节能率和富氧电耗为主要指标进行考核。

附录 A

(规范性)

富氧空气氧含量

富氧空气氧含量计算公式如下：

$$\gamma_{O_2} = \frac{\varphi_1 V_{O_2} + \varphi_2 V_k}{V_{O_2} + V_k} \times 100\% \dots\dots\dots (A.1)$$

- 式中：  $\gamma_{O_2}$  -富氧空气的氧含量，以%表示；
- $\varphi_1$  -使用富氧后氧气纯度，以%表示；
- $\varphi_2$  -使用富氧前氧气纯度，以%表示
- $V_{O_2}$  -接入的氧气流量，单位为立方米每秒（Nm<sup>3</sup>/s）；
- $V_k$  -富氧前空气流量，单位为立方米每秒（Nm<sup>3</sup>/s）。
-