

# HJ 型多通道智能旋涡流燃烧器

## 技术手册

### 1、概述

HJ 型多通道智能旋涡流燃烧器是河南汇金智能装备有限公司研制开发的新一代的燃烧设备，HJ 型多通道智能旋涡流燃烧器是经过近两年收集 300 多条新型干法水泥生产线实际烧成系统统计数据、总结分析国内外先进的煤粉燃烧器的技术优劣，采用现代最新燃烧技术的大速差和强旋流理论，结合我国原煤资源的特性以及我国新型干法水泥生产系统的结构和性能，运用大型计算机仿真技术 CFD(Computational Fluid Dynamics)数值模拟技术开发的多通道智能旋涡流燃烧器，总体性能达到国际领先的煤粉燃烧器技术水平。

HJ 型多通道智能旋涡流燃烧器适用于我国水泥生产行业各类回转窑，具有一次风量比例低、燃烧推力大的显著技术特点。其超音速的出口射流，大大强化了煤粉气流和二次热风的混合，最大限度消除了不完全燃烧，减少了不必要的热损失，并有利于降低热耗和利用低、劣质燃料；其独特的结构设计，具有灵便快捷的火焰调节手段，可使火焰形状随时满足窑内工况的需要，有利于建立合理的煅烧制度，提高产品质量；其卓越的燃烧特性，可提高回转窑的煅烧能力，充分发掘了设备的潜在能力以增加产量。

### 2、技术方案

#### 2.1 燃烧器的基本要求

煤粉燃烧器是将生料粉煅烧成熟料的关键设备之一，现代回转窑单位容积产量都达到了 190t/h.m<sup>3</sup>，为了获得高的容积产量，必须加

快回转窑的转速，这样才能保持窑内物料填充率基本不变，为此高入窑分解率和优良性能的燃烧器是窑取得高产的根本保证。目前高容积产量的回转窑要求入分解率一般在 95%以上，同时燃烧器要能适应高转速窑内熟料的烧成。

对于煤粉燃烧器，目前有两通道、三通道、四通道、新型两通道等类型，无论何种燃烧器都应该具有如下性能：①空气动力学参数是否合理可靠，燃烧器的火焰形状是否易于调节；②燃烧火焰是否稳定；③燃烧效率如何，一次风用量是否较低，是否能够消除有害气体的产生；④燃烧器是否对回转窑的窑皮有不利的影晌等。

燃烧器都存在内回流区和外回流区。外回流区的大小有一个最佳范围，适度的外回流可以防止扫窑皮现象；合适的内回流量是确保无烟煤或低挥发分烟煤稳定燃烧的最简便方法，而内回流大小取决于燃烧器喷嘴结构参数。决定燃烧器结构参数主要为动量通量和旋流数。

$$\text{动量通量: } G = \frac{\rho_o}{\rho_a} \text{tg}^2 \alpha \left[ \frac{K_3 q_c G_c / Q_{DW}^y - M_o}{K_1 \left( \frac{D}{2} - \text{atg} \alpha \right) + K_2 R_o S_o \ln \left( \frac{D}{2 \text{tg} \alpha} \right)} \right]^2$$

$$\text{其中: } K_1 = (0.32 \sim 0.35) \sqrt{\frac{\pi \rho_0}{2}} \quad K_2 = (0.8 \sim 1.70) \sqrt{\frac{\pi \rho_0}{2}}$$

动量通量是衡量一次射流对二次风引射的能力。动量通量过小会造成：①煤粉和二次风不能很好混合，从而造成煤粉燃烧不完全；②煤灰沉落不均匀而影响熟料质量；③煤粉在窑前沉落而引起结前圈；④外回流消失，火焰刚度不够（火焰飘升）；⑤火焰冲撞窑皮。但动量通量过大使得外回流过大，从而挤占下游燃烧空间，使火焰氧浓度下降而影响燃烧过程。

$$\text{旋流数: } S \approx \frac{G_\phi}{G_x R} = \frac{2 \text{tg} \phi \rho_o' (r_{\text{内}}'^3 - r_{\text{内}}^3) P_{\text{内}}^2}{3 r_{\text{外}}' (r_{\text{内}}'^2 - r_{\text{内}}^2)^2 \left[ \frac{\rho_o' P_{\text{内}}^2}{r_{\text{内}}'^2 - r_{\text{内}}^2} + \frac{\rho_m P_{\text{煤}}^2}{r_{\text{煤}}'^2 - r_{\text{煤}}^2} + \frac{\rho_o' P_{\text{外}}^2}{r_{\text{外}}'^2 - r_{\text{外}}^2} \right]}$$

旋流数主要控制火焰形状，因此通常也称为火焰形状系数。增大旋流数可以使火焰变粗、变短，从而强化火焰热辐射。但旋流数过大会出现双峰火焰，造成局部窑皮过热而剥落。多通道燃烧器的旋流数可在操作中调节，但在设计燃烧器时旋流数范围的确定是十分重要的参数之一。

稳定的火焰是燃烧器的一个重要指标，稳定火焰的方法除控制煤粉细度、二次风温度及一次风量外，还有：①一定的煤粉喷出速度。②一定的热气体内回流量。③采用适当的短火焰。产生热烟气内回流的方法有：旋转射流、大速差射流、钝体及整流罩。

煤粉燃烧器的结构形式、管层布置、喷嘴结构、能力规格直接影响到水泥窑内火焰形状和温度分布，进而影响到水泥熟料的产量和质量。/

煤粉燃烧器应保证入窑煤粉充分燃烧，使火焰形状和温度分布满足熟料在窑内不同位置对热量的最优吸收利用，即煤粉燃烧后高温区域分布在窑内的烧成带，同时避免峰值高温以降低氮氧化物的生成，达到节能环保的效果。

煤粉燃烧器的头部材料应选用耐磨、耐高温的材料，以提高煤粉燃烧器的使用寿命。

## 2.2 HJ 型多通道智能旋涡流燃烧器的基本结构

HJ 型多通道智能旋涡流燃烧器采用四风道形式，分别是：外轴流风道、煤粉风道、旋流风道、涡流风道。如图 1 所示：

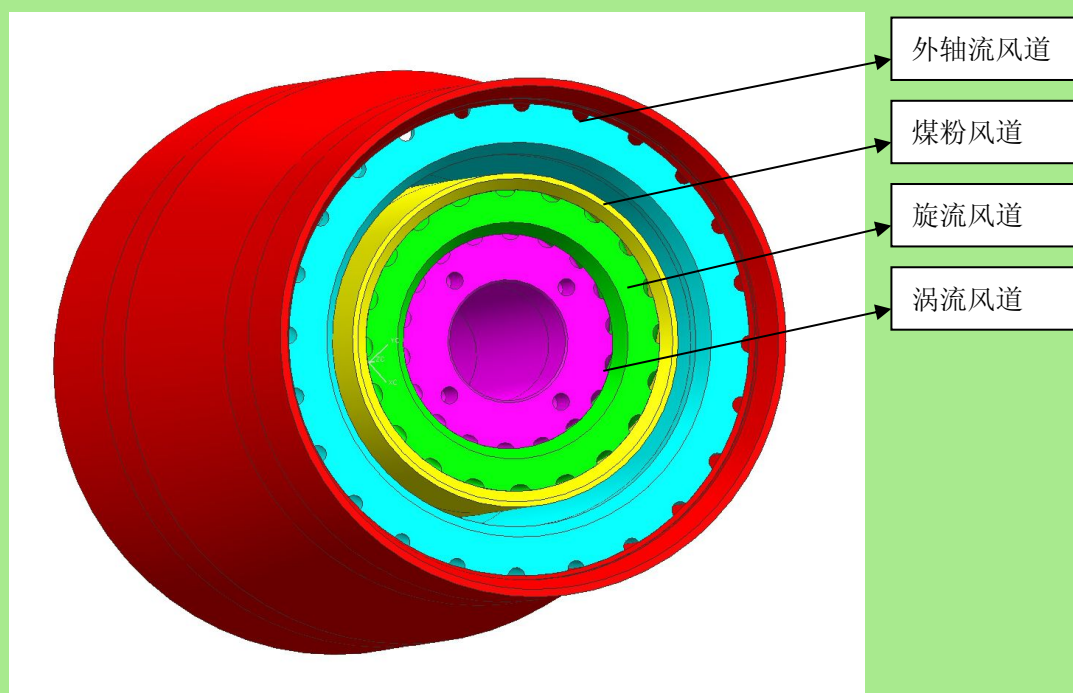


图 1 HJ 型多通道智能旋涡流燃烧器风道结构图

其中：外轴流风道、旋流风道、涡流风道通入一次净风；外轴流风道出口面积可以无极调节；旋流风道和涡流风道的出口面积和角度可以无极调节；煤粉通道通入煤粉风。

### (1) 外轴流风道：

外轴流风道设置在最外侧，外轴流风通过外圈多个带斜度和锥度的半圆形喷嘴喷出多个高速射流，在高速射流作用下，外轴流风道喷嘴口形成的局部负压区，周围的高温气体被卷吸并通过两束射流之间的缝隙与煤粉混合，使煤粉快速升温而燃烧。通过外轴流风的高速引射作用，提高高温二次风的用量，从而降低烧成热耗。如图 2 所示：

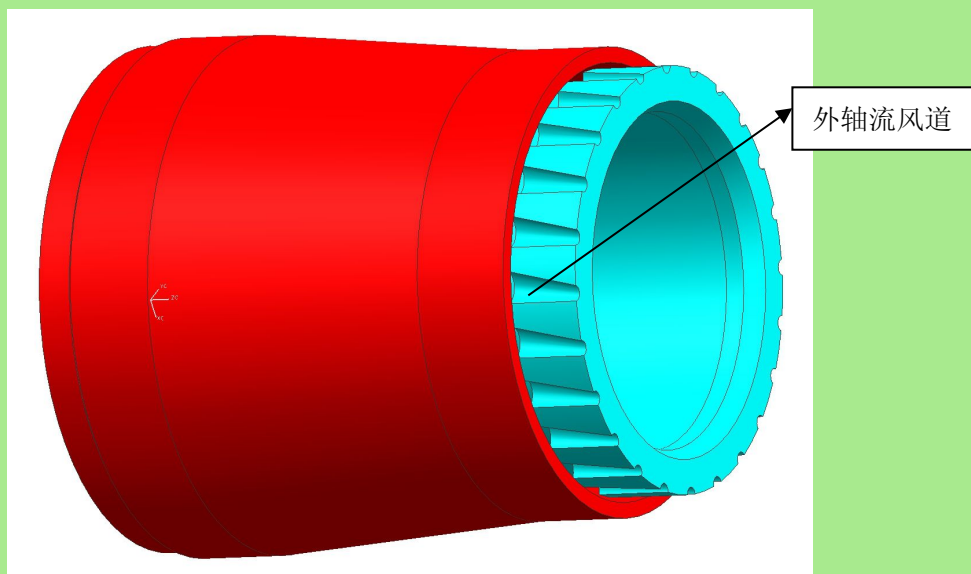


图 2 外轴流风道结构图

技术核心：

A、外轴流风道的出口面积可以无级调节，进而可以调节外轴流风的出口风速。

B、外轴流风道喷嘴的截面采用半圆孔形式，降低了风阻，提高了射流强度，亦降低了对喷嘴的磨损。

C、外轴流风道的喷嘴带有一定的斜度，高速风以螺旋形式喷出，可以充分卷吸高温二次风和扩散煤粉。

D、外轴流风由间断的半圆螺旋孔喷射，高温二次风从相隔小孔的缝隙中进入火焰根部，使火焰集中有力，同时使 CO、H 含量高的燃烧气体在火焰根部回流，降低 O<sub>2</sub> 含量，避免生成过多的 NO 气体。

E、外轴流风可以控制火焰的粗细和长短，可以调整温度在窑内的分布。

## (2) 煤粉风道：

煤粉风道设置在外轴流风道和外旋流风道之间。煤粉在外轴流风和外旋流风作用下迅速扩散，使煤粉快速着火；在外轴流风和旋流风

作用下，控制煤粉在窑内的走向和分布，可以有效调节火焰形状和火焰温度的分布。如图 3 所示：

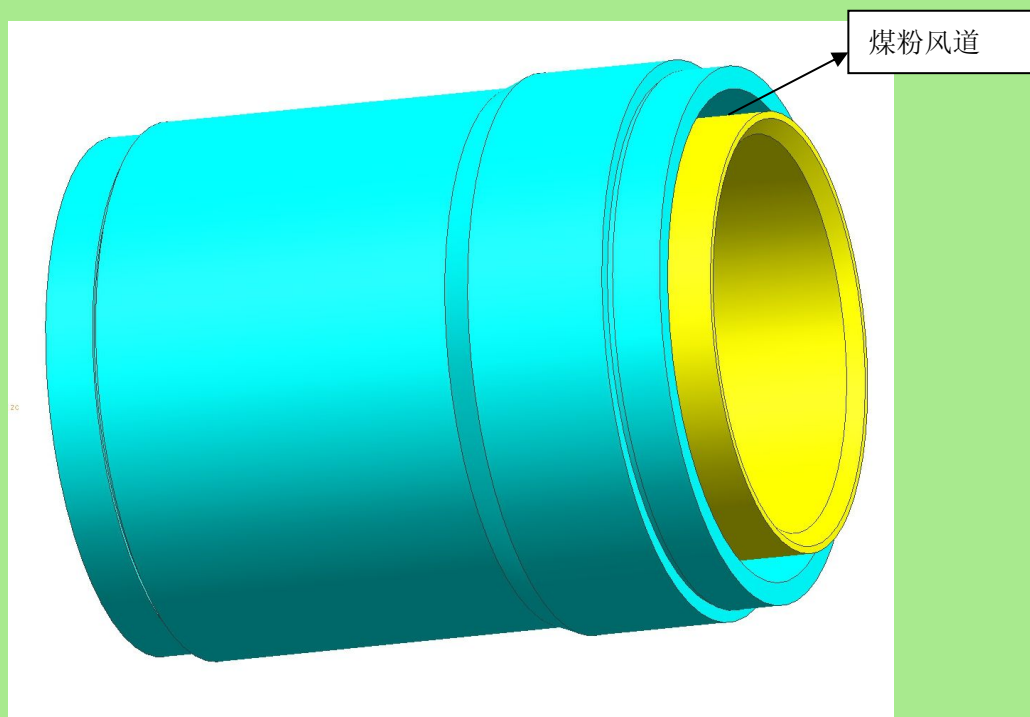


图 3 煤粉风道结构图

### (3) 旋流风道：

旋流风道设置在煤粉风道的内侧，外旋流风通过多个带锥度的半圆形螺旋槽的旋流器喷出多个高速旋流风，产生旋流效应，使煤粉在出燃烧器后迅速散开，降低了煤粉浓度，提高了煤粉与空气的接触时间和接触面积，使煤粉能够快速燃烧，提高了煤粉燃烧效率。

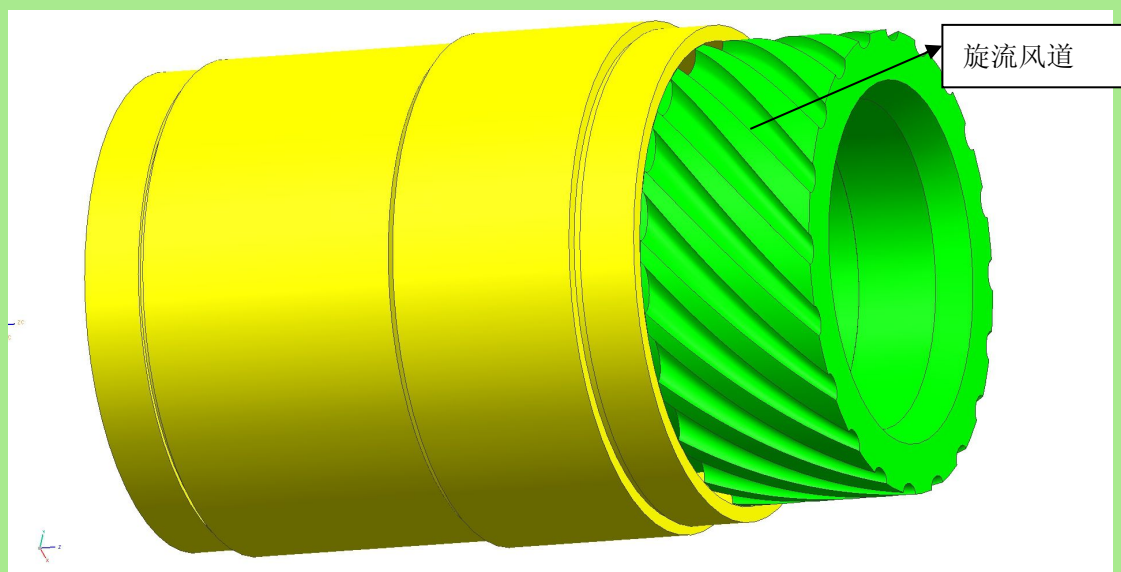


图 4 外旋流风道结构图

#### 技术核心：

A、旋流风道的出口面积和角度可以无级调节，进而可以调节旋流风的出口风速和角度。

B、旋流风道的截面采用半圆孔形式，降低了风阻，提高了旋流强度，亦降低了对旋流器的磨损。

C、旋流风道的旋流器采用螺旋形式，高速风以螺旋形式喷出，可以充分扩散煤粉，促使煤粉和二次高温风充分混合。

D、旋流风可以控制火焰的粗细和长短，可以调整温度在窑内的分布。

#### （4）涡流风道：

涡流风道设置在旋流风道的内侧，涡流风有多个带不同螺旋角度的半圆形螺旋槽旋流器喷出多个高速涡流风，其中涡流风道的旋流器通过调整轴向位移可以调整旋流风喷出的角度，以调整火焰形状。配合旋流风，使燃烧火焰更加集中，稳定火焰。如图 5 所示：

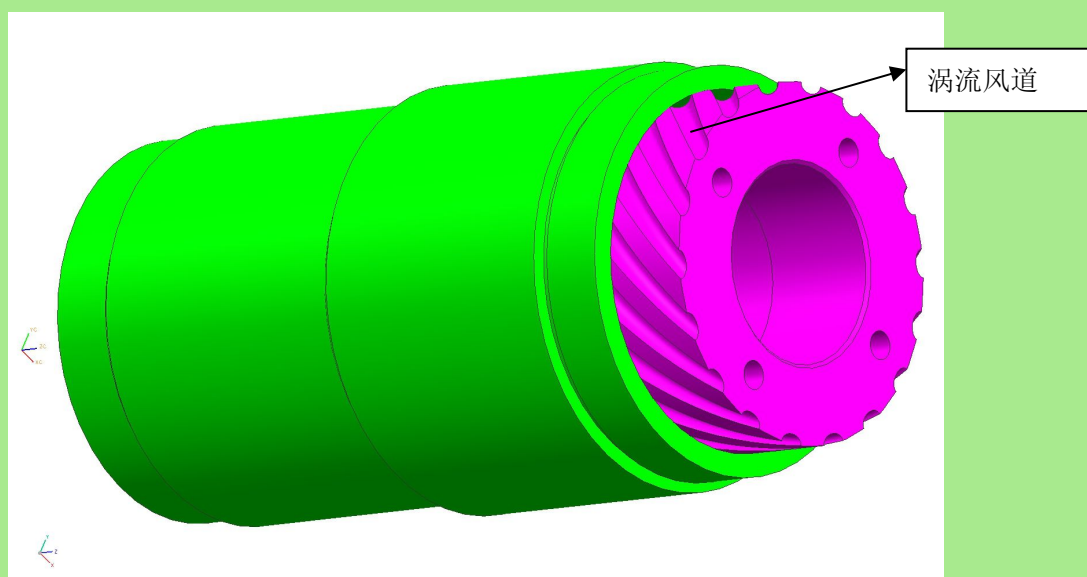


图 5 涡流风道结构图

技术核心：

A、涡流风道的出口面积和角度可以无级调节，进而可以调节旋流风的出口风速和角度。

B、通过调整涡流风道旋流器的轴向位移来调节旋流器的角度，进而调整火焰形状。

C、内旋流风道的截面采用半圆孔形式，降低了风阻，提高了旋流强度，亦降低了对旋流器的磨损。

D、配合外轴流风，外旋流风可以稳定火焰，调整火焰形状，亦可以调整温度在窑内的分布。

### 2.3 HJ 型多通道智能旋涡流燃烧器的整体结构

HJ 型多通道智能旋涡流燃烧器的结构设计采用当今最先进的数字化三维产品设计软件 UG 进行仿真优化设计，对整体结构进行了优化设计。

HJ 型多通道智能旋涡流燃烧器使各个风道的分布更加合理，使每一个风道的沿程流动阻力系数最小；调节机构方便灵活，质量可靠；



整机操作便捷，性能稳定。

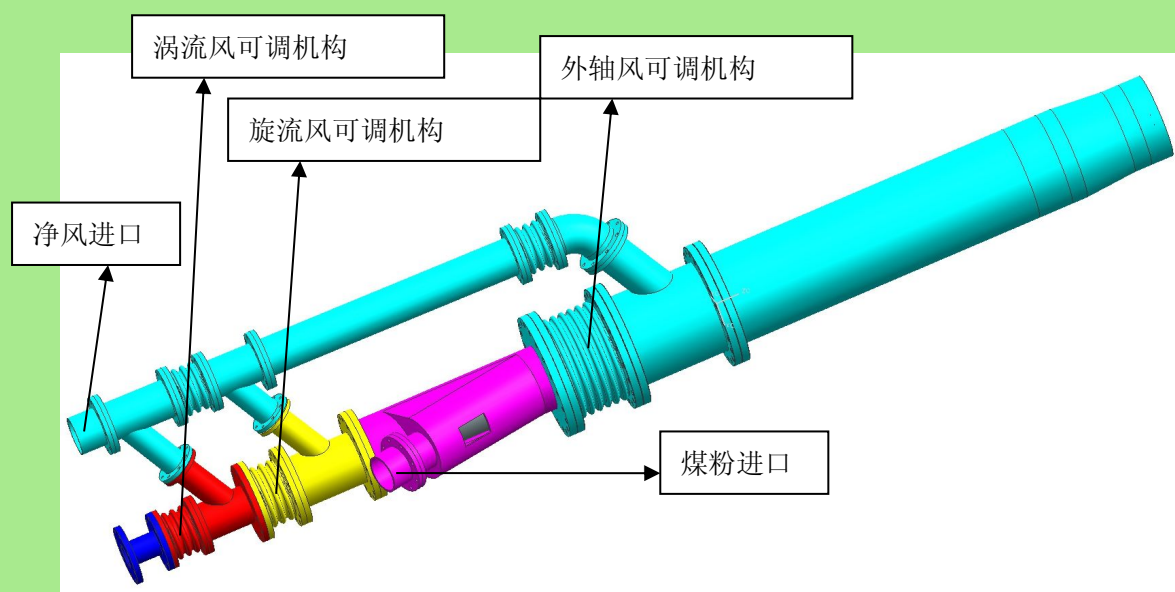


图 6 多通道可调旋流煤粉燃烧器整体结构图

技术核心：

- A、外轴流风道、出口的通风面积可无极调节；
- B、旋流风道、涡流风道出口的通风面积和角度可以无极调节；
- C、头部零件拆装便捷，便于检修和更换；
- D、净风通道截面采用半圆孔螺旋槽形式，降低了风阻，提高了旋流和涡流强度；
- E、调节机构方便灵活，质量可靠；整机操作便捷，性能稳定。

### 3、技术参数

#### 3.1 HJ 型多通道智能旋涡流燃烧器的设计参数

- (1) 燃烧器发热功率：85 MW~135MW。
- (2) 燃烧器发热能力：345GJ/h~510GJ/h。
- (3) 燃烧器喷煤量：3t/h~30t/h。
- (4) 一次风用量：4%~5%。
- (5) 燃烧器推力：523N~600N。
- (6) 燃烧器相对动量：1300% $m/s$ ~1500% $m/s$ 。
- (7) 单位热能推力：5.4N/MW~6N/MW。
- (8) 一次风压力：49kPa~60kPa。
- (9) 一次风速：140~460  $m/s$ （可无极调节）。

#### 3.2 HJ 型多通道智能旋涡流燃烧器的主要技术参数

HJ 型多通道智能旋涡流燃烧器各个风道的分布更加合理，每一个风道的沿程流动阻力系数最小，各个净风通道截面积和角度可无级调节，调节范围大，调节比达 1:6。

表 1 HJ 型系列多通道智能旋涡流燃烧器主要技术参数表

型号	主要技术参数						
	窑型规格	喷煤量 (t/h)	煤粉风 速 (m/s)	外轴流 风速 (m/s)	旋流风速 (m/s)	涡流风 速 (m/s)	调 节 比
HJ-RSQ120	1200T/D	3-5	25-30	350-460	220-280	140-180	1:6

HJ-RSQ200	2000T/D	4-6	25-30	350-460	220-280	140-180	1:6
HJ-RSQ250	2500T/D	5-8	25-30	350-460	220-280	140-180	1:6
HJ-RSQ300	3000T/D	6-9	25-30	350-460	220-280	140-180	1:6
HJ-RSQ400	4000T/D	8-12	25-30	350-460	220-280	140-180	1:6
HJ-RSQ450	4500T/D	9-15	25-30	350-460	220-280	140-180	1:6
HJ-RSQ500	5000T/D	10-18	25-30	350-460	220-280	140-180	1:6
HJ-RSQ600	6000T/D	10-20	25-30	350-460	220-280	140-180	1:6
HJ-RSQ700	7000T/D	12-24	25-30	350-460	220-280	140-180	1:6
HJ-RSQ800	8000T/D	14-28	25-30	350-460	220-280	140-180	1:6
HJ-RSQ1000	10000T/D	18-30	25-30	350-460	220-280	140-180	1:6

### 3.3 HJ 型多通道智能旋涡流燃烧器的配风工艺参数

采用了先进的开发研究设计手段，优化了 HJ 型多通道智能旋涡流燃烧器的结构工艺参数，使 HJ 型多通道智能旋涡流燃烧器烧成系统配风工艺使装机容量配置显著降低，节能效果显著。

表 2 HJ 型多通道智能旋涡流燃烧器配套风机技术参数

型号	风机技术参数表						
	窑型规格	净风机			煤粉风机		
		流量 (m <sup>3</sup> /min)	压力 (KPa)	功率 (KW)	流量 (m <sup>3</sup> /min)	压力 (KPa)	功率 (KW)
HJ-RSQ120	1200T/D	25	36	35	20	29	25
HJ-RSQ200	2000T/D	36	49	50	25	36	35
<b>HJ-RSQ250</b>	<b>2500T/D</b>	<b>42</b>	<b>49</b>	<b>55</b>	<b>25</b>	<b>49</b>	<b>35</b>
HJ-RSQ300	3000T/D	48	49	67	30	49	40
HJ-RSQ400	4000T/D	62	58.8	88	36	49	46
HJ-RSQ450	4500T/D	80	58.8	110	40	49	55
<b>HJ-RSQ500</b>	<b>5000T/D</b>	<b>80</b>	<b>58.8</b>	<b>110</b>	<b>40</b>	<b>49</b>	<b>55</b>

HJ-RSQ600	6000T/D	96	68.8	132	50	58.8	66
HJ-RSQ700	7000T/D	115	68.8	154	62	58.8	76
HJ-RSQ800	8000T/D	126	76.8	176	72	76.8	86
HJ-RSQ1000	10000T/D	160	76.8	200	80	76.8	110

## 4、主要性能指标

### 4.1 技术特性

(1) 超音速风速；大推力、大速差煤风混合。

火焰强度高：大推力、大速差旋流风卷吸高温二次风，煤风混合均匀，燃料燃尽率大于 99%；

火焰刚性好：超音速外轴风速，火焰刚性好；

火焰稳定性强：大推力、高强度涡流风控制火焰稳定性。

(2) 火焰形状可调多变，无级调节，调节灵活，可以适应多种窑情的变化。

外轴流风道、旋流风道、涡流风道在面积、角度上都可进行无级调节。在操作中调节各风道出口截面积和，从而改变喷出速度和角度，达到调节火焰形状和强弱的目的。使火焰形状和温度分布满足生料在窑内不同位置对热量的最优吸收利用，煤粉燃烧后高温区域分布在窑内的烧成带。

(3) 火焰形状好，强度高，刚性好，稳定性强。

火焰形状极似笔锋，完整火焰形态，高强度，无波动，稳定。保证整个烧成带具有强而均匀的热辐射，避免峰值温度产生，利于熟料

结粒、矿物晶相正常发育，不伤窑皮，不会出现扫窑衬的现象，从而可延长窑口筒体、窑口护板和窑口耐火衬料的使用寿命，极大提高窑的运转率。

(4) 环保，绝杀峰值高温，降低氮氧化物排放。

一次风用量大大降低，同时采用涡旋流风道，通过调节涡流风的风速和角度，使燃烧器射流中心的涡流强度调节灵活；涡流风由间断的半圆螺旋孔喷射，高温二次风从相隔小孔的缝隙中进入火焰根部，使 CO、H 含量高的燃烧气体在火焰根部回流，降低 O<sub>2</sub> 含量，避免生成过多的 NO 化物气体。

燃烧器射流中心旋流强度设计合理且调节灵活，无峰值高温，NO<sub>x</sub> 的排放量大幅降低，相对于传统低动量的煤粉燃烧器可降低 NO<sub>x</sub>：20—35%。

(5) 一次风用量小，节能、降耗效果显著。

节煤方面：一次风用量小于 5%，由于一次风用量低，入窑冷空气用量大幅度降低，超音速外轴风保持火焰形状，且大推力、大速差旋流风卷吸高温二次风，煤风混合均匀，有利于煤粉完全燃烧，燃料燃尽率大于 99%，因而多通道智能旋涡流燃烧器可有效降低煤耗；每吨熟料标煤耗 102kg-108kg，与传统燃烧器系统相比节煤达 5%~15%。

节电方面：燃烧系统配风工艺使装机容量配置显著降低，与传统燃烧器系统相比节电可达 15~35%。同时显著提升二次风温。

(6) 耐磨、耐腐蚀，使用寿命长。

燃烧器头部采用耐热钢热喷涂技术，喷涂耐热、隔热材料。同时与 HJ 加强合金粉“强强联合”，使头部更加耐磨、耐腐蚀。即使在满负荷状态下运行，燃烧器头部的正常使用寿命 1 年以上，整机使用寿命 2 年以上。

## 4.2 节能分析

HJ 型多通道智能旋涡流燃烧器对我国 300 多条新型干法水泥生产线实际燃烧系统统计数据进行分析研究, 结合实践, 采用最先进的、最节能环保的燃烧配风工艺。表 4 所示 HJ 型多通道智能旋涡流燃烧器 (5000t) 的燃烧配风工艺参数与传统燃烧器配风工艺参数对照表:

表 3 所示多通道可调旋流煤粉燃烧器 (5000t) 的燃烧配风工艺参数

对比分析 配风风道	多通道智能旋涡流燃烧器 (5000t) 配风工艺参数			目前烧成系统燃烧器 (5000t) 配风工艺参数(统计平均值)		
	流量 (m <sup>3</sup> /min)	压力 (KPa)	功率 (KW)	流量 (m <sup>3</sup> /min)	压力 (KPa)	功率 (KW)
净风风机	80 m <sup>3</sup> /min	58.8 KPa	110 KW	150-200 (m <sup>3</sup> /min)	29-35 (KPa)	130-190 (KW)
煤粉风机	40 m <sup>3</sup> /min	49 KPa	55 KW	65-90 (m <sup>3</sup> /min)	70-90 (KPa)	100-130 (KW)

HJ 型多通道智能旋涡流燃烧器的设计技术路线是按照一次风用量 (不包括煤风) 为 4%-5%来设计的, 根据一次风用量 (不包括煤风) 4%-5%来确定配风工艺参数。由上表可以看出 HJ 型多通道智能旋涡流燃烧器 (5000t) 的燃烧配风工艺参数可使烧成系统更加节煤节电。

### (1) 节煤效益:

与目前大多数水泥窑烧成系统的配风工艺相比, 多通道可调旋流煤粉燃烧器 (5000t) 比目前烧成系统燃烧器 (5000t) 每日少进入窑内的冷空气量为:

$$\text{每日少进入窑的冷空气量 (m}^3\text{/d)} = (180 \text{ m}^3\text{/min} + 80 \text{ m}^3\text{/min}) - (80 \text{ m}^3\text{/min} + 40 \text{ m}^3\text{/min}) \times 60 \text{ min} \times 24\text{h} = 201600 \text{ m}^3\text{/d}.$$

由以上可以看出, 目前烧成系统燃烧器 (5000t) 每天多进入窑

内 201600m<sup>3</sup> 冷空气，大量的冷空气在窑内需要吸收热量，1m<sup>3</sup> 空气加热到 1000℃ 需要 50g 标煤，则每日多用标煤：

$$50g \times 201600m^3 \div 1000g = 10080kg$$

即，采用多通道可调旋流煤粉燃烧器（5000t）配风工艺每天可节约标煤 10080kg（约 10 吨）。

（2）节电效益：

与目前大多数水泥窑烧成系统的配风工艺相比，HJ 型多通道智能旋涡流燃烧器（5000t）比目前烧成系统燃烧器（5000t）所用风机功率要小，风机降低功率为：

$$(160 \text{ KW} + 110 \text{ KW}) - (110 \text{ KW} + 55 \text{ KW}) = 105 \text{ KW}$$

则每天节电：

$$105 \text{ KW} \times 24 \text{ h} = 2520 \text{ KW} \cdot \text{h}$$

即，采用多通道可调旋流煤粉燃烧器（5000t）配风工艺每天可节约电能 2520 度。

## 5、技术总结

HJ 型多通道智能旋涡流燃烧器采用了先进的开发研究手段 (CFD(Computational Fluid Dynamics)数值模拟技术)、先进的设计手段 (最先进的数字化三维产品设计软件 UG 进行仿真优化设计)、先进的加工制造与装配工艺、先进的节能环保燃烧配风工艺使多通道可调旋流煤粉燃烧器达到国际领先地位。

(1) 一次风用量小：一次风用量 (不包括煤风) 为 4%-5%;

(2) 节能:

节煤，一次风风量为 4%~5%，外轴流风和旋流风调节方便灵活，燃烧效率高，与传统燃烧器系统相比节煤达 5%~15%。

节电，燃烧系统配风工艺使装机容量配置显著降低，与传统燃烧器系统相比节电可达 15~35%。

(3) NO 化物排放量低:

由于一次风用量大大降低，同时在外轴流风和涡旋流风的作用下，避免峰值高温，有效地降低 NO 化物的排放量。

外轴流风由间断的半圆螺旋孔喷射，高温二次风从相隔小孔的缝隙中进入火焰根部，使 CO、H 含量高的燃烧气体在火焰根部回流，降低 O<sub>2</sub> 含量，避免生成过多的 NO 化物气体。

(4) 各净风通风面积调节方便灵活，调节范围宽，火焰形状可调性好。



(5) 头部零件拆装便捷，便于检修和更换。

(6) 对煤质适应性强，可以适应烧无烟煤、劣质烟煤、低挥发分煤等。