

## 流态化焙烧技术与国内发展情况

中国铝业山西分公司 冯文洁 白永民 樊俊钊

**摘 要** 对广泛应用于氧化铝工业生产的三种流态化焙烧炉进行了分析和比较,指出了三种炉型各自的特点和不足。流态闪速焙烧炉和循环流态焙烧炉技术经验成熟,生产稳定性较强,气体悬浮焙烧炉能耗指标先进。并提出了引进应以流态化闪速焙烧炉优先,消化创新应以气体悬浮焙烧炉为基础。最后指出我国铝业应以气体悬浮焙烧炉为基础,在消化吸收流态化焙烧技术的前提下发展创新,形成适合我国氧化铝工业特点的流态化焙烧炉。

**关键词** 流态化焙烧 优劣 氢氧化铝 焙烧炉

中图分类号 :TF806.1

文献标识码 :A

## Fluidization Calcination Technology and Domestic Development Situation

Shanxi Branch of Chalco

FENG Wenjie BAI Yongmin FAN Junzhao

**Abstract** In this paper three kinds of fluidization calciners, which have widely used in alumina production, are analyzed and compared. And their characteristics and shortcomings are pointed out. The author thinks that fluidization flash calciner and circulation fluidization calciner have ripe experience and stable production, but gas suspension calciner has advanced index for energy consumption. The author also puts forward that import should give priority to fluidization flash calciner and innovation should base on gas suspension calciner. At last the author points out that on the basis of gas suspension calciner the aluminum industry in China should digest and absorb fluidization calcinations technology in order to form fluidization calciner suitable for the alumina industry in China.

**Key Words** fluidization calcinations, advantage and disadvantage, aluminum hydroxide, calciner

当今世界成功地应用于工业生产的流态化焙烧炉有四种,即:美国铝业公司的流态闪速焙烧炉(F.F.C),原西德鲁奇公司的循环流态焙烧炉(C.F.C),丹麦史密斯公司的气体悬浮焙烧炉(G.S.C)及法国弗夫卡乐巴柯克公司的气体悬浮焙烧炉(F.C.B);前三种流态化焙烧炉在世界上得到了广泛采用,我国也相继在中铝山西分公司、中州分公司、苹果分公司和贵州分公司引进了前三种炉型。已经投用的流态化焙烧炉设计能力为国内焙烧氧化铝总规模的 80% 以上,采用流态化焙烧炉已成

为我国氧化铝工业必然的发展趋势。

### 1 流态化焙烧炉的先进性

氢氧化铝流态化焙烧炉之所以发展如此迅速,是因为较传统的回转窑具有显著的先进性。

#### 1.1 热耗低

流态化焙烧的热耗约为  $730 \text{ kal}/(\text{kg} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3)$  ~  $760 \text{ kal}/(\text{kg} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3)$ ,较传统的回转窑热耗降低 30% 以上。

#### 1.2 产品质量好

流态化焙烧氧化铝的灼减能得到可靠稳定控

第一作者简介:冯文洁,女,1969年生,1992年毕业于昆明工学院冶金系,现从事氧化铝生产热工测定工作,工程师。邮编:043300。

制,与回转窑焙烧产品相比,不同粒级的氧化铝焙烧程序均匀,产品有害杂质  $\text{SiO}_2$  的增值几乎为零,相同比表面积的  $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$  含量低,有利于电解铝生产。

### 1.3 自动化水平高

流态化焙烧炉(固定式)较回转窑易于实现自动化。集中一分散系统可完成全套装置的起动、生产控制、设备保护、停车,可保障设备的安全运行和生产的均衡稳定进行。

### 1.4 占地面积小

流态化焙烧炉占地面积为  $500\text{ m}^2 \sim 800\text{ m}^2$ ,建筑面积约为回转窑的  $1/2$ 。

### 1.5 设备简单 维修费用低

流态化焙烧炉除风机外,无大型运转设备,焙烧炉内衬使用寿命可达 10 年以上,运转率高,维修费用较回转窑低。

### 1.6 环境污染轻

由于焙烧炉系统控制稳定,且过剩系数低,废气中的  $\text{SO}_2$  和  $\text{N}_x$  生成量低,同时,电收尘运转率高(几乎可达 100%)粉尘对环境污染小。

## 2 三种炉型的优劣分析

流态化焙烧炉具有共同的优点,但细微分析,无论从技术经济指标(见表 1),还是炉型的设计成熟性与稳定性,不同炉型具有各自的特点与不足。

表 1 三种类型的流态化焙烧炉的主要指标

主要指标	炉 型		
	F. F. C	C. F. C	G. S. C
产能(t/日)	1 300	1 300	1 300
热耗 $\text{kal}/(\text{kg} \cdot \text{AO})$	740	735	715
破损指数(%)	< 3	3 ~ 6	< 3
焙烧温度( $^{\circ}\text{C}$ )	1 050 ~ 1 100	950 ~ 1 000	1 150 ~ 1 200
电耗( $\text{kWh}/\text{t} \cdot \text{AO}$ )	20	20	14
比表面积( $\text{m}^2/\text{g}$ )	40 ~ 45	80 ~ 85	80
运转设备(台)	4	23	16
流化床数(台)	7	4	1
控制回路(条)	22	6	12
注	1 破损指数是指 $-44\ \mu\text{m}$ 微粒的破损率。		

### 2.1 美铝流态闪速焙烧炉(F. F. C)

美铝流态闪速焙烧炉属正压作业,采用稀相换热和浓相保温相结合的技术,相对另两种炉型有其特点。其一,由于采用了调节焙烧温度和停留保温槽料位(控制反应时间)这一双重控制方式,产品质量能得到可靠的保障,同时,可根据用户的要求,获得不同的灼减,比表面积及  $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$  含量的焙烧产品,

其二,由于整套装置设计了预热炉、流化干燥器、停留保温槽、流化冷却器这四个缓冲容器,若焙烧炉的干燥段、焙烧段和冷却段中任何一段出现短时故障(或因进出料外部系统影响),另外两段仍能维持运行,整个系统不会产生热工制度的大波动,对焙烧炉的使用寿命及生产的恢复极为有利;因此,整个焙烧炉运行稳定可靠,并且承受各种事故的能力强。其三,焙烧炉全系统设计成熟,主要体现在工艺检测控制及联锁保护系统设计合理,炉内衬及内衬养护(烘炉)过程设计合理,因此,焙烧炉年内运转率可达 95% 左右。

美铝流态闪速焙烧炉也有其自身的不足。①此套装置适应低水份的氢氧化铝物料(6% ~ 8%),若氢氧化铝附着水较高时,必须通过增加过量的过剩空气,使热量从焙烧段带入干燥段,以增强干燥能力,相对来说使焙烧氧化铝的热耗和电耗增加;②整套装置流化床板多,大小床板共达 7 块,这样维修时工作量相对加大;③全套装置的控制回路多,控制软件设计复杂,相应地对操作人员和计控人员提出了较高的要求;其四由于系统正压作业,整个焙烧炉体的密封、检测点的密封及容器间料封系统要求严格。

### 2.2 鲁奇循环流态焙烧炉(C. F. C)

鲁奇循环流态焙烧炉是一种设计和生产经验比较成熟的装置,采用了正压作业浓相流态化技术,其炉型有其独特之处。其一,流态化循环炉依靠大量的物料循环(约为产量的 12 倍 ~ 30 倍),焙烧停留时间 6 min 左右,这样可降低焙烧温度,有利于降低焙烧氧化铝热耗,同时确保焙烧氧化铝产品质量;此外,大量循环物料的热含量可以削弱系统的热冲击,维持系统的热稳定性,对提高炉内衬的使用寿命极为有利,炉运转率可达 90% ~ 94%;其二,整个装置无高(电)压大型设备,早期的焙烧炉均有鼓、排风机,随着生产时间经验的丰富,系统阻力损失的降低,装置的排风机被取消,鼓风机也化整为零,这样,设备简化,投资节省,生产控制灵活,事故率降低;其三控制回路简单,流态循环焙烧炉自动控制回路仅有 6 条。

循环流态焙烧炉也有其自身的缺陷。其一,循环焙烧炉对颗粒破损率大,究其颗粒破损率大的原因,一是气体在喷射口、旋风筒入口以及弯头处的流动速度大,二是颗粒在循环炉内发生颗粒和颗粒之间和颗粒和器壁的撞击与摩擦;尽管鲁奇公司对该装置不断地进行改造与完善,使破损率大幅度降低,但目前焙烧产品  $45\ \mu\text{m}$  粒级的破损率仍高达 3% ~ 6%。

其二,循环焙烧炉有四个流化床,不仅在冷却系统设计有流化床,而且在高温段也设有流化床,增强了检修工作量。其三,循环流态焙烧炉与流态闪速焙烧炉一样,亦不适应高氢氧化铝附着水物料。

### 2.3 丹麦气体悬浮焙烧炉(G. S. C)

丹麦气体悬浮焙烧炉是流态化焙烧的后起之秀,整个装置采用负压作业、稀相流态化技术,相对上述两种炉型有其明显的优势。其一,此炉型采用了在干燥段设计热发生器这一新颖措施,当供料氢氧化铝附着水含量增大时,不需象其它炉型那样采取增加过剩空气的方式来增加干燥能力,仅需启动干燥热发生器来增加干燥段热量,避免了废气量大增而大量损失热量,因此,与前两种炉型相比,气体悬浮焙烧炉热耗和电耗要低。其二,整套装置设计简单;简单有三个方面,一时工艺流畅,物料自上而下流动,可避免事故停炉时的炉内积料和计划停炉时的排料;二是设备简单,除流化冷却器外无任何流化床板,没有物料控制阀,方便了设备维检修;三是负压作业对焙烧炉的问题诊断和事故处理有利;这些简单的设计,有利于故障后生产的快速恢复,给生产组织带来方便。其三,控制回路简单,气体悬浮焙烧炉虽有12条自动控制回路,但在生产中起主要作用的仅有2条,一条是主燃烧系统的主炉温度控制回路,另一条是 $O_2$ 含量控制回路。

气体悬浮焙烧炉是80年代发展起来的流态化焙烧装置,设计和生产经验欠成熟。其一,耐火材料脱落严重,特别是高温段,这一现象不仅在山西分公司的气体悬浮焙烧炉发生,在印度兴达尔阔铝厂、欧洲氧化铝厂及雷诺金属公司的科.克氧化铝厂也都出现;造成这种现象的原因有两个方面,一是G. S. C炉内衬设计不合理,二是供炉制度不完善(甚至有烘炉“死区”,如3号冷却旋风筒、各旋风筒下料管);耐火材料脱落使料管堵塞,导致生产不稳定,炉运转率降低。其二,由于气体悬浮焙烧炉容器间设计采用下料管料封,生产中不能在低产能下运行,即便在开始下料,也必须迅速提高产量,其目的是避免气流“反窜”(走短路)或焙烧炉系统内料流形成“脉冲”,因此,G. S. C产能的可调范围窄,一般要求在设计能力的60%~100%内调节。其三,气体悬浮焙烧炉设计的检修、清理、观察等活动孔太多,设计中G. S. C每个旋风筒有检修孔3个,清理孔3~6个,观察孔3~4个,再加上连接烟道,孔数繁多,这些孔不仅增

加了散热损失,而且给系统造成了漏风隐患。其四,电收尘收集粉尘输送系统和文丘里烟道降温系统的设计尚未定型。

### 3 国内氢氧化铝流态化焙烧的发展分析

国内氢氧化铝流态化焙烧的发展,一是引进,二是消化创新,但这两者都必须结合国内氧化铝工业的实情。

我国引进流态化焙烧炉的关键是炉型的选择,在技术经济指标差别不大的情况下,应以焙烧炉生产可靠性和稳定性作为重要依据,设计指标是以正常生产为前提,最先进的指标在稳定性差的焙烧炉上难以实现,而且实际生产指标有可能大幅度偏离设计指标,稳定性差的焙烧炉有可能造成较大的经济损失(如氧化铝飞扬损失,影响整个生产损失及检修费用等)。经三种炉型的比较,稳定性较强的属美铝流态闪速焙烧炉和鲁奇循环流态焙烧炉,考虑到我国氢氧化铝性质,选择美铝流态闪速焙烧炉稍佳,但引进此炉型必须同步设计平盘过滤机,以降低供料氢氧化铝的附着水含量。

我国应在消化流态化焙烧技术的基础上创新,形成有自己特色的焙烧装置,研究发展流态化焙烧装置应以气体悬浮焙烧炉为基础:

——国内已经引进了5套大小不同的气体悬浮焙烧炉,并且在消化吸收方面作了大量的工作。

——气体悬浮焙烧炉在设计上有独特之处,其热耗和电耗指标处于世界领先水平。

——气体悬浮焙烧炉整体结构简单,工艺和控制系统简便,便于消化创新。

——消化创新气体悬浮焙烧炉,有利于老厂氧化铝焙烧炉的改造,也有利于有色行业和其它相关行业推广应用该项技术。

### 4 结语

4.1 技术成熟,生产稳定可靠,从能耗指标的先进性比较,依次为G. S. C、C. F. C、F. F. C。

4.2 单从技术角度考虑,引进流态化焙烧炉,美铝流态闪速焙烧炉稍优,同时,须配套平盘过滤机。

4.3 我国应以气体悬浮焙烧炉为基础,在消化吸收流态化焙烧技术的前提下发展创新,形成适合我国氧化铝工业特点的流态化焙烧炉。

#### 参考文献

- 1 王文光. 氢氧化铝流态化焙烧炉技术考察报告. 轻金属, 1994 (6): 11~14