

有色冶炼企业煤粉制备车间设计

周敬文

(中国恩菲工程技术有限公司, 北京 100038)

[摘要] 本文介绍了有色冶炼企业煤粉制备的工艺流程、主要设备选型和安全设计等内容,重点论述了煤粉制备过程关键参数控制,主要装置立式磨煤机的工作原理和特点,煤粉制备安全措施设计要点等内容,为有色冶炼企业煤粉制备设计提供参考。

[关键词] 有色冶炼;煤粉制备;中速磨煤机;安全设计

[中图分类号] TQ512.63 **[文献标志码]** B **[文章编号]** 1003-8884(2023)05-0089-06

DOI: 10.19611/j.cnki.cn11-2919/tg.2023.05.016

0 前言

煤粉制备系统广泛应用于有色冶炼行业,煤粉是一种常见易得的低价高热值燃料,它的优点在于:煤粉和空气混合较好的情况下火焰稳定、煤粉火焰的长度和强弱易于调节、将原煤磨成煤粉作为炉窑燃料,其燃尽率可达 99%,使燃料得到充分利用,大大提高了煤炭的利用率。煤粉制备系统工艺的选择一般是根据使用点要求及使用点需求量确定的,根据有色行业煤粉使用的特点,目前该系统多使用立式磨煤机进行碾磨、烘干、分选及输送。立磨具有工艺流程简单、产量大、成品质量高、更换物料灵活、耗电低、占地小、易实现智能化及自动化控制等优点^[1]。煤粉制备系统工艺技术相对成熟,本文从煤粉制备工艺流程及制粉过程关键参数选择、制粉关键设备和煤粉的安全制备等方面对工艺设计进行介绍和分析。

1 工艺流程及工艺参数选择

1.1 工艺流程

煤粉制备主要包括烘干、碾磨及输送三部分。贮存在配料系统工段的原煤,由胶带输送机送至煤

粉制备车间原煤仓内,再由称重给煤机送至立式磨煤机。热风炉燃料可以采用天然气、煤粉或柴油,燃料通过与助燃风燃烧产生的热风,与冷风机输送的冷风和循环风混兑到合适的风温、含氧量和风量后,送入立式磨煤机干燥煤粉。在离心风机的作用下,干燥煤粉后的热风携带合格煤粉出立式磨煤机,煤粉经气箱脉冲袋式除尘器收集后下落到煤粉筛,经煤粉筛筛分后送至煤粉仓。废气则经离心风机部分送往烟气处理系统,部分作循环风使用,两部分风量的比例通过阀门来调节。煤粉仓中的煤粉通过仓式泵,由压缩空气经仓式泵将煤粉输送到各用点,如图 1 所示。

1.2 工艺参数选择

建立煤粉制备数学计算模型进行物料平衡和热平衡计算,根据工艺要求,确定工艺计算参数,主要根据物料平衡、热平衡和工艺要求,确定模块参数,包括煤粉含水、磨机进出口温度、系统散热量和漏风等。计算出热风炉所需的燃料量及所需空气量、各设备出口烟气量及烟气成分,并复核烟气露点及氧含量等指标。

煤粉制备系统关键参数主要包括操作系统温度、烟气氧含量和 CO 浓度等。

1.2.1 系统温度

煤粉制备系统是集干燥、磨粉于一体的工艺过程,系统各部分的温度选择直接关系到煤粉的质量、产量和系统安全。

系统的高温区域是入磨热风温度,热风温度的确定是由煤的特性、干燥要求和系统安全性等多个

[收稿日期] 2023-05-10

[第一作者] 周敬文(1988—),女,北京市人,工程师,大学本科,主要从事有色冶金工程设计工作。

[引用格式] 周敬文.有色冶炼企业煤粉制备车间设计[J].有色设备,2023,37(5):89-94.

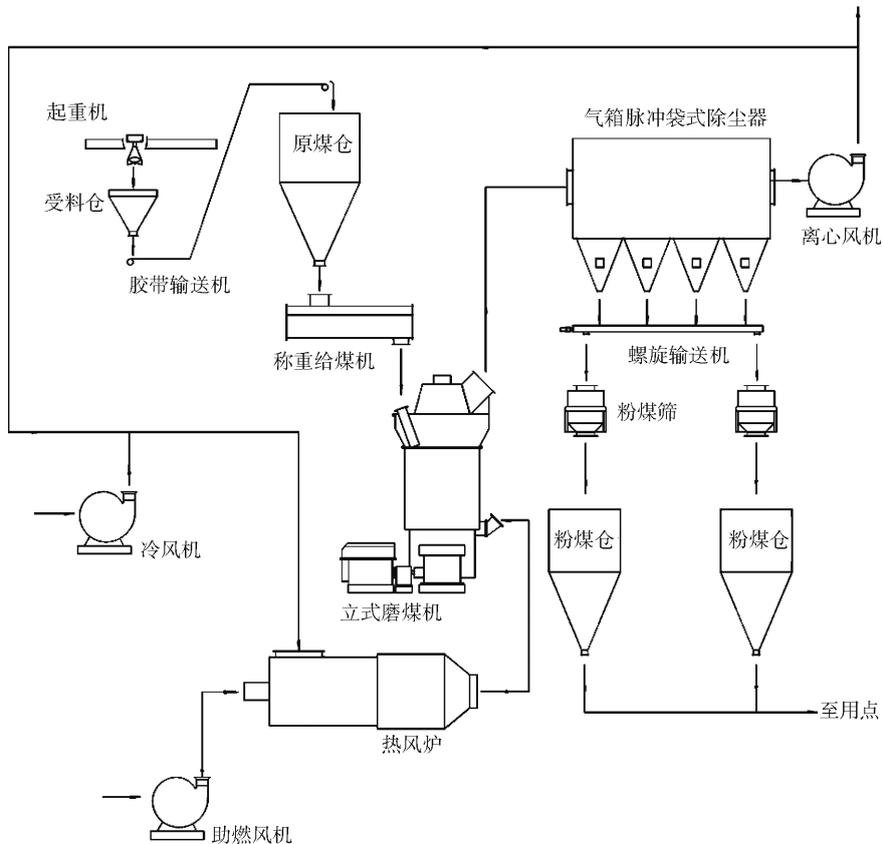


图1 煤粉制备工艺流程图

因素确定的,是保证系统安全、高效运行的重要指标。入磨热风温度一般是在保证安全的前提下,采用较高的温度,提高效率。

控制入磨热风的温度,是煤粉制备系统安全操作的重要措施之一。设计热风炉出口温度约 280°C ,在操作生产中一旦超过该值,需要在磨机进口兑入冷风进行降温,并在磨机入口前设置冷风调节阀,防止热风进入磨机,起到快速降温的作用。磨煤机的出口温度取决于入磨烟气温度、磨机漏风、煤的特性、干燥要求及系统防爆要求等因素。

系统的低温区是收尘系统,露点温度是干燥尾气的重要指标,要求烘干后烟气的温度不得低于露点温度,否则会造成烟气结露,影响收尘系统正常运行。烘干前物料的水分发生变化时,烟气露点温度也会随之变化,需控制烟气温度以防止烟气结露。

通常根据磨煤机的型式和煤的特性确定磨煤机出口温度,同时磨煤机出口温度也受设备耐温性和防爆要求限制。有色冶炼企业多使用烟煤,挥发分一般在 $20\% \sim 30\%$,磨机出口温度需控制在 $80 \sim 100^{\circ}\text{C}$ 。根据生产运行经验,由于系统存在热损和

漏风,烟气系统有一定的温降,但一般不超过 $10 \sim 15^{\circ}\text{C}$ 。控制布袋收尘器出口烟气温度高于露点 5°C 并且不低于 60°C ,可防止干燥介质不结露和入磨干燥能力。

1.2.2 烟气氧含量

烟气氧含量是煤粉制备过程的重要监控参数之一。干燥介质的最高允许氧含量与介质温度、介质压力、介质种类、煤粉粒径及烟煤种类等有关。有色企业多使用烟煤,要求煤粉粒径较细, $-74\ \mu\text{m}$ 为 $80\% \sim 85\%$,含水 1% 左右。为了防止煤粉的自燃和爆炸,在热风炉进口、磨煤机进口及气箱脉冲袋式除尘器出口都必须控制氧含量,防止系统氧含量超出限定值。在惰性气氛系统中,负压系统磨煤机入口或末端出口氧含量小于或等于 14% ,煤粉仓内氧含量小于 12% 。

系统采用尾气循环利用,可将系统氧含量降低,防止系统煤粉的爆炸。在生产系统稳定时,调整离心风机后管道阀门的开合度,增加循环风量来降低系统氧含量。

控制氧含量的方法也可采用惰性气体注入,整

个系统分别在磨机防爆口、气箱脉冲袋式除尘器进出口、煤粉仓内、热风炉出风口等位置,设置了氮气保护措施。

1.2.3 CO 浓度

制粉系统应设固定式一氧化碳浓度在线监测装置,达到报警值时应报警并自动充氮,达到上限值时应自动停机。该系统分别在热风炉出口设有 CO 气体分析仪,监测燃料是否充分燃烧;在气箱脉冲袋式除尘器出口设 CO 气体分析仪,以判断煤粉是否有燃烧的现象;在煤粉仓中设置 CO 气体分析仪,当煤粉在仓内长时间堆积时,煤粉与空气接触可挥发生成部分 CO。设置 CO 测量浓度范围在 $0 \sim 3\,000 \times 10^{-6}$,当浓度显示超过 500×10^{-6} 值时报警并连锁开启氮气阀门。在系统的配置中,为这些分析仪器的配套柜子单独设置了房间,起到了防污染、防干扰、检测数值精准的作用。

2 关键设备

根据项目所需煤粉的使用量,确定磨煤机的生

产能力,再根据磨机的相关参数及煤粉的性质,选择配套设备,包括称重给煤机、热风炉、冷风机、助燃风机、气箱脉冲袋式除尘器、离心风机、热风炉等;鉴于煤粉的特殊性,煤粉制备系统的设备电机必须要求选择防尘防爆型。

2.1 磨煤机

磨煤机是煤粉制备系统的核心设备,磨煤机的选型关系到工艺流程的构成。立磨设备及工艺的优势克服了传统球磨机粉磨工艺的诸多缺陷,它是利用料床原理进行粉磨,避免了金属间的撞击与磨损,金属磨损量小、噪声低;物料的输送方式为负压吸送,避免了合格细粉的过粉磨现象,减少了无用功的消耗,粉磨效率高。在组成工艺方面,立磨系统采用一步法对物料进行烘干,实现了对物料的边烘边磨,不仅降低了能耗,也大大增强了对物料水分的烘干能力。

目前煤粉制备系统大多选用钢球磨煤机或中速立式磨生产煤粉,两种磨煤机的性能与优缺点如表 1 所示。

表 1 球磨机与立磨机性能与优缺点一览表

磨煤机型式	钢球磨煤机	立式磨煤机
性能	低速 $8 \sim 25$ r/min	中速 $60 \sim 300$ r/min
优点	<ol style="list-style-type: none"> 1. 可以磨各种软硬性质不同的煤,产量大,工作安全可靠; 2. 可长期连续工作; 3. 原煤中进入铁块,影响不大; 4. 钢球磨损,可在工作时补加; 5. 煤粉细度易保证; 6. 能与落煤干燥管很好配合,因此可以磨高水分的煤。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 单位耗电量较少; 2. 设备紧凑; 3. 重量不大、占地小; 4. 初建投资低。
缺点	<ol style="list-style-type: none"> 1. 设备笨重,消耗金属多,需要较大的附属设备和厂房; 2. 初建投资较大,约为中速磨煤机的 2 倍; 3. 工作时噪音大; 4. 磨煤单位耗电量大,尤其是在低负荷工作时,电能消耗更大。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 不能用来磨湿煤及较硬的煤; 2. 部件磨损后,生产能力显著降低,煤粉质量也恶化; 3. 更换机件需较长时间停止工作; 4. 价格昂贵。

由表 1 可见,与球磨系统相比,立磨粉磨电耗低、效率高。此外,立磨还具有工艺流程简单、单机产量大、入料粒度大、成品质量高、更换物料灵活、易实现智能化及自动化控制等优点。

立式磨煤机集碾磨、烘干、分选、输送于一体,大大简化了工艺流程。立式磨煤机的工作过程:块煤落到转动的磨盘中心,被磨辊碾磨,在离心力的作用下扩散到环形粉磨辊道,并进一步移动到磨盘边缘。

煤粉被底部的热风吹起并烘干后被气流带至分离器内,细粉则随气流出磨,在后续的收尘装置中收集,得到合格煤粉,粗粉重新落至磨盘上再次被碾磨。中速磨本体中部留有防爆气体接口,在正常使用情况下当中速磨出口氧含量大于 12% 时,系统自动向磨机内充氮稀释。

2.2 气箱脉冲袋式除尘器

收粉装置的基本要求是满足系统通风量的前提

下,有较高的分离效率和较低的阻力,且运行可靠、安全、环保。

制粉系统最常用的收粉装置是布袋收尘器。煤粉相比其他矿物密度小,更加容易附着在滤袋上,因此需要更为有效的清灰方式、脉冲空气喷吹具有喷吹气压大、清灰效率高、结构简单、对滤袋损伤小等特点,是收集煤粉粉尘的理想方式。

气体流量是气箱脉冲袋式除尘器选型的重要依据,是决定气箱脉冲袋式除尘器的过滤面积的主要因素。过滤面积还与过滤风速有极大的关系,过滤风速对收尘效率、使用寿命、设备投资和运行成本、运行阻力等有较大的影响。但过滤风速的确定是个复杂的问题,工程上布袋收尘器的过滤风速一般在 2 m/min ,但为了保证收尘效率,实际过滤风速在 1 m/min 以下的较为普遍。

2.3 离心风机

离心风机为整个生产系统提供负压抽力,使得热风炉的热能源能够与立磨内的煤粉进行热量交换,同时为煤粉的负压气力输送提供动力。

离心风机需根据项目当地气候条件,特别是在高原地区,必须要进行严格计算。风机压头确定需考虑立式磨煤机入口管道阻力、磨煤机阻力、气箱脉冲袋式除尘器阻力及管道阻力等几处阻力损失以及生产受其他因素影响,来确定风机压头参数。风机风量主要依据工艺计算确定,还应该适应煤粉产能的波动,该离心风机采用变频防爆电机,防护等级为 IP55, F 级。

2.4 热风炉

热风炉设备由热风炉本体、烧嘴、助燃风机、冷风机、火焰监测、点火、监测系统及阀门组成。为了防止混合室内气体压力过大,会在混风室顶部设置防爆门及放散装置,使膨胀气体能迅速排出。

热风炉为系统提供干燥热源,主要的参数包括温度和风量。

热风炉的温度主要包括炉膛温度、出口温度、循环风温度等。为了利用余热或出于安全考虑降低系统氧含量,会在炉膛内引入循环风,用于调节高温烟气的温度达到系统要求。

热风炉的风量在风温确定的情况下,决定了系统的热量输入,还决定物料的气力输送过程,因此风量是烘干系统乃至制粉系统最重要的参数之一,是系统的工艺设计及生产过程工艺控制的关键参数。

热风炉排出的热风风量和温度的确定是由磨煤机决定的,需根据工艺计算,确定热风量。在热风炉风量和温度确定后,可根据燃料热值换算燃烧器的能力、助燃风机风量等参数。

3 煤粉的安全制备

3.1 煤粉爆炸要素

煤粉爆炸具有极强的破坏性,所以其生产安全是必须要充分考虑的问题,粉尘爆炸必须具备三个要素。

1) 系统环境中的粉尘浓度,使得粉体与氧气能够充分接触。一般来说,煤粉爆炸极限浓度为 $20 \sim 2000\text{ g/m}^3$,爆炸力最强浓度范围为 $300 \sim 500\text{ g/m}^3$,因此,煤粉浓度在制粉系统内已构成爆炸的必然因素之一。

2) 气氛中有足够的氧含量。一般认为 O_2 体积含量在 16% 以上易引起爆炸, < 14% 则视为惰性气体。相关规定认为当原料采用烟煤,控制制粉系统气粉混合物中 $\text{O}_2 \leq 14\%$,可以防止爆炸,原料为褐煤时, $\text{O}_2 \leq 12\%$ 。

3) 着火源,有足够的点火能。温度控制是安全制粉的核心环节之一。对于明火存在粉尘浓度的环境是绝对禁止的。-170 目煤粉着火温度在 $300 \sim 350\text{ }^\circ\text{C}$ 左右。

爆炸预防的原则是避免爆炸三要素的“碰面”。煤粉及煤尘爆炸必须以上三个条件同时满足才能发生,因此爆炸三要素也是煤粉防爆事先控制的依据,保证煤粉制备系统的安全操作和生产。对于制粉系统而言,粉尘浓度已经成为爆炸因素之一,那么如何控制氧含量及着火源就成为煤粉安全制备的关键。

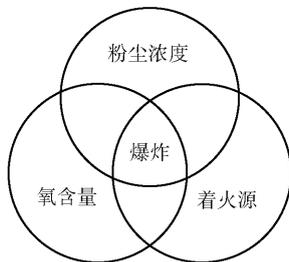


图 2 爆炸三要素示意图

3.2 安全设计

从以上分析可以看出,煤粉制备系统在制粉过程中,粉尘浓度已经成为爆炸因素之一,如何控制系统氧含量及着火源就成为了煤粉安全制备的关键。

因此,必须保证制粉系统的严密性,减少制粉系统的管路或设备漏入空气,防止系统含氧超过限值。

3.2.1 设计中采取的安全措施

煤粉由于其本身具有可燃性和自燃性,因此煤粉制备过程的安全防爆显得尤其重要。煤粉系统作了相应的安全措施^[2-5]。

1)在磨机进口、出口、气箱脉冲袋式除尘器出口、煤粉仓设有温度测点,根据规范要求,每个煤粉仓测温点不应少于4处,并在每个测点设有氮气阀门,当温度超过设计安全温度时,除了及时停车外,迅速启动充氮装置以防止过热引起煤粉的自燃或爆炸。

2)在热风炉出口、袋式除尘器出口、煤粉仓中设置CO气体分析仪,监测是否CO浓度,有效抑制煤粉爆炸。

3)制粉系统按内部防爆压力设计。不同的规范对煤粉系统的防爆设计要求不同,因煤粉的特殊危险性,应参考较严格的规范进行防爆设计。

对于中速磨煤机制粉系统,相关规范要求:装设防爆门时,应按减低的最大爆炸压力设计,给煤机、给粉机、锁气器应按承受不小于40 kPa的内部爆炸压力设计;除以上所列之外的设备,管道及部件应按承受150 kPa内部爆炸压力设计;煤粉仓的设计压力,保持上部空间的负压值不宜低于150 Pa,也不宜高于300 Pa。

4)在磨机出口、气箱脉冲袋式除尘器、煤粉仓上设计安装了泄爆阀,选用满足泄压面积的防爆阀,防爆阀的位置应避免对着设备和人员活动的场所。

5)氮气惰化和流化。为了防止煤粉仓下料口堵塞,在煤粉仓的锥部设计氮气管,对煤粉进行流化状态。气箱脉冲袋式除尘器灰斗增加了氮气流化,防止布袋气箱脉冲袋式除尘器锥体部位长时间积粉。

6)氮气保护。当有监测点温度、氧气浓度或CO浓度超过安全设定时,立即声光报警并立即启动相应的氮气阀门进行充氮保护。在紧急情况下,煤粉可切换氮气进行输送。

7)防静电措施和电气防爆。所有与煤粉接触

的设备、容器、管道均设防静电和安全接地,输送煤粉管道之间的法兰用导线跨接,气箱脉冲袋式除尘器使用的是防静电布袋,相关电气设备要求防尘防爆等。

8)增加高压二氧化碳自动灭火装置。

9)防积灰措施。煤粉具有自燃倾向,长时间堆积会因氧化放热导致自燃而引发燃爆,因此应避免煤粉的堆积。磨机出口气粉混合管道与水平面的倾角不应小于45°;煤粉仓和气箱脉冲袋式除尘器料仓角度不应小于65°,最好为70°。

3.2.2 其他注意事项

煤粉制备生产,平时应注意车间卫生,防止煤粉沉积。为防止煤粉堆积自燃的情况发生,仓内煤粉不应长时间存放。同时还严格禁止火源带入煤粉制备车间。对有可能出现危险的区域,现场须设置醒目警示牌。车间操作人员必须经过相关培训合格后才能上岗,从事相关岗位的操作^[6]。

4 结语

随着有色行业对煤粉的制备和使用日益频繁,而粉尘防爆和火灾安全要求的提高,对制粉系统的设计要求越来越高。尽管可以参考其他行业的相关要求,但针对有色企业的工艺要求和流程不同,相关企业在建设、运行煤粉系统中缺少针对性的指导。通过对工艺流程、设备选型、安全设计等内容的详细分析介绍,为有色行业粉煤制备系统的设计提供参考。

[参考文献]

- [1] 王俊哲. 煤粉制备技术及应用[M]. 北京:化学工业出版社,2019.
- [2] DL/T5145—2002,火力发电厂制粉系统设计计算技术规定[S].
- [3] DL/T5023—2005,火力发电厂煤和制粉系统防爆设计技术规定[S].
- [4] DL/T5145—2012,火力发电厂制粉系统设计计算技术规定[S].
- [5] GB50607—2010,高炉喷吹煤粉工程设计规范[S].
- [6] 徐华军. 浅谈煤粉制备系统的防爆设计[J]. 中国有色冶金,2013,42(06):35-37.

Design of Pulverized Coal Preparation Workshop for Non-ferrous Smelting Enterprises

ZHOU Jingwen

Abstract: In this paper, the process flow, main equipment selection and safety design of pulverized coal preparation in non-ferrous smelting enterprises are introduced. The key parameters control of pulverized coal preparation process, the working principle and characteristics of the main device vertical coal mill, and the design points of safety measures for pulverized coal preparation are emphatically discussed, which can provide reference for pulverized coal preparation design in non-ferrous smelting enterprises.

Key words: non-ferrous smelting; pulverized coal preparation; medium speed coal mill; safety design



(上接第 54 页)

Research and Application of Comprehensive Carbon Removal Technology in Bayer Process

MA Xiangyang, LI Ningce, JIANG Rui, PEI Xuefeng

Abstract: At present, bauxite resources are scarce, and the use of bauxite in alumina plants is complex, low grade and high carbon content in ore, resulting in increased unit energy consumption and reduced production capacity. Meanwhile, the accumulation of sodium carbonate in alumina production has adverse effects on multiple processes such as dissolution, settlement, decomposition and evaporation, so the work of carbon emission and impurity removal is imminent. At present, the aluminum oxide plant mainly adopts evaporation forced effect salt-discharge causticization process to remove sodium carbonate system, but the process is complicated, the carbon emission cost is high and the carbon emission capacity is limited. Through technical transformation of the side flow causticization series vertical leaf filter carbon removal process, the comprehensive carbon removal capacity of the system is improved, the types of bauxite are expanded, and the production cost is further reduced.

Key words: bauxite; sodium carbonate; salt-discharge causticization; side flow causticization; vertical leaf filter

