

高效脱水集成工艺及设备 在高铝粉煤灰生产中的应用

谭蔚,朱国瑞*,刘丽艳,苏艳霞,刘颖

(天津大学化工学院,天津300072)

摘要:以高铝粉煤灰生产氧化铝工艺为背景,结合过滤分离技术与设备在冶金、煤炭行业的发展现状,重点阐述了高铝粉煤灰生产中过滤分离工艺存在的主要问题,研究分析了影响高铝粉煤灰生产过滤工艺的因素,并结合前期研究结果,提出了高铝粉煤灰生产中过滤分离工艺的关键技术——高效脱水过滤集成工艺。

关键词:脱硅粉煤灰;活性硅酸钙;硅钙渣;过滤分离;高效脱水

中图分类号:TQ028.5

文献标志码:A

文章编号:0253-4320(2014)02-0124-04

Application and research progress of efficient dehydration integration technology and equipments in high-aluminum fly ash process

TAN Wei, ZHU Guo-rui*, LIU Li-yan, SU Yan-xia, LIU Ying

(College of Chemical Engineering and Technology, Tianjin University, Tianjin 300072, China)

Abstract: According to the development of the filtration and separation technology and equipments in the metallurgy and mining industry, the problems about filtration and separation occurred during the transformation of high-aluminum fly ash to aluminium oxide have been summarized and analyzed. In combination with the previous findings, the key technology of filtration and separation—the efficient dehydration integration technology has been suggested.

Key words: desilication fly ash; active calcium silicate; calcium silicate slag; filtration and separation; efficient dehydration

随着铝土矿资源的日益短缺,利用高铝粉煤灰生产氧化铝越来越受到人们的重视^[1]。内蒙古大唐国际再生资源开发有限公司采用新的氧化铝生产路线,即预脱硅-碱石灰石烧结法工艺,在其技术开发中,此工艺会联产出非晶态 SiO₂,并将提取的 SiO₂ 进一步处理成活性硅酸钙或者其他硅质产品,最后的残渣—硅钙渣脱碱之后可用来生产水泥熟料,从而大幅增加了高铝粉煤灰的利用价值^[2]。在该工艺背景下,整个工艺流程中存在多处的过滤分离工序,而该工序的技术水平的高低、设备质量的优劣、操作水平的科学合理以及能耗的高低不仅是正常生产的前提和保证,更是保证工业生产过程现代化、实现工艺先进性,以及提高产品质量和品位持续发展的关键。

1 过滤分离技术与设备在冶金、煤炭行业的发展现状

近年来过滤分离技术与设备随着矿山事业的发展而不断进步,更因为它几乎是各行各业都不可少

的作业,所以发展速度更快^[3]。过滤分离技术在矿业行业的发展包括过滤理论得到不断深入研究,过滤预处理操作的不断进步,即向过滤处理物料中添加絮凝剂、助滤剂等添加剂优化过滤等^[4],除此之外还包括过滤方式和过滤设备的优化改进。在这些因素的影响下,矿业生产中的过滤单元得以不断进步^[5-6]。在矿业生产中,预处理工艺主要针对粒度较小,水分偏高的处理物料,这些物料在运输时,不仅会随着水分渗出而流失,既浪费资源又污染环境。尤其在冬季寒冷的地区,会发生冻车皮事故等。此外,高含水率的细粒物料,其堆放场地周围会产生泥水的集聚、物料的流失等。目前,常用的细粒脱水技术有过滤脱水技术、离心脱水技术、干燥技术以及助滤剂辅助脱水技术等。世界各国选煤工业者正在寻求更有效的细粒脱水方法,包括工艺、设备和各种类型助滤剂的开发^[7]。

对于细颗粒脱水问题,传统的方法是使用压滤机,添加絮凝剂、助滤剂等,由于这些方法受设备投资大、药剂来源和成本条件的限制,细颗粒脱水问题

收稿日期:2013-09-11;修回日期:2013-12-12

基金项目:国家自然科学基金项目(21376167)

作者简介:谭蔚(1964-),女,教授;朱国瑞(1987-),女,博士生,研究方向为非均相分离技术与设备,通讯联系人,022-27408728, zhugorui_ok

@126.com。

仍然没有得到很好地解决^[8]。研究大型、高效、可靠的细颗粒脱水设备,不仅能够降低滤饼水分,有利于物料回收,而且还可以节约能源、减少运力、保护环境,对矿物的洗选加工和洁净煤技术的发展都有着深远的意义。

2 高铝粉煤灰生产中过滤分离工艺存在的主要问题

高铝粉煤灰生产氧化铝的工艺如图1所示。在整个工艺流程中涉及了多个过滤分离操作。主要有:

(1)在粉煤灰进行预脱硅工序后,通过泵输送进入分离与洗涤工序,在此工序内,通过过滤设备完成脱硅粉煤灰和硅酸钠溶液的分^[9]。

(2)预脱硅后分离得到的铝酸钠溶液进一步加工生产活性硅酸钙,经过过滤分离操作得到活钙产品,并回收氢氧化钠溶液^[10]。

(3)在熟料溶出后经过过滤分离形成固相的硅钙渣和液相的铝酸钠溶液^[11]。

(4)得到的硅钙渣送往硅钙渣脱碱工序与电石渣或者石灰石反应,再经过过滤分离单元生成符合质量要求的副产品硅钙渣^[12]。

这些工序中过滤操作的稳定进行是正常生产的前提和保证。然而,由于在过滤操作中对要分离的物料缺少系统的物性测试与分析,对于已选择好的过滤分离设备不能科学合理地确定操作条件,致使

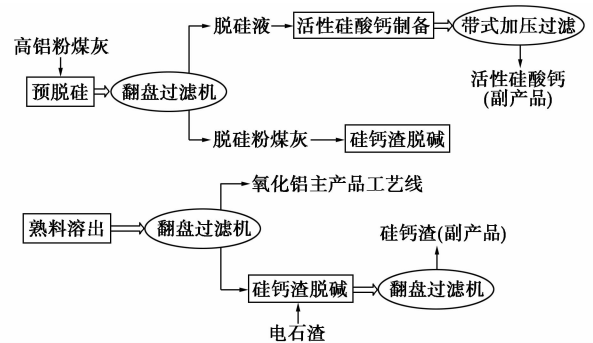


图1 高铝粉煤灰生产氧化铝的工艺

分离精度低,生产效率不高。例如在预脱硅处理后物料进入翻盘过滤器,其进料浓度、进料速度会影响形成的滤饼厚度,进而影响过滤效率和过滤效果,因此定量研究滤饼厚度与处理量之间的关系的问题亟待解决。

此外,不能根据具体的情况选择合理的过滤介质,以致无法满足或提高过滤截留精度与处理量的要求。例如在翻盘过滤器处理脱硅粉煤灰悬浮液时,由于脱硅粉煤灰滤饼致密、板结、透气率差等原因造成滤布阻塞,致使滤布使用寿命降低,生产效率低下,所以需要^[13]对滤布的材质、透水、透气、鼓泡、织法以及再生方式等进行实验研究和深入探讨^[13]。一般采用单一的过滤分离技术,较少采用预过滤分离技术或者不能正确选择助滤剂与确定助过滤方法和操作条件^[14]。例如。本工艺生产的活性硅酸钙有效地利用了传统生产中废弃的物料,并将其用作

(上接第123页)

- [4] 徐森,胡晓东,郑秋辉. 生物组合工艺处理抗生素废水现状及展望[J]. 工业水处理,2011,(2):5-8.
- [5] 岳秀萍,张涛. Fenton 氧化与 Fe/C 微电解预处理头孢菌抗生素废水的实验研究[J]. 太原理工大学学报,2012,(3):325-328.
- [6] 姜文明,袁浩. 铁碳内电解-厌氧-好氧处理安普霉素废水的调试研究[J]. 环境科学与管理,2008,(7):110-112.
- [7] 国家环境保护总局《水和废水监测分析方法》编委会. 水和废水监测分析方法[M]. 4版. 北京:中国环境科学出版社,2002.
- [8] 李天鹏,荆国华,周作明. 微电解技术处理工业废水的研究进展及应用[J]. 工业水处理,2009,(10):9-13.
- [9] 王兵,高洁,任宏洋,等. 超声-微电解耦合处理难降解污染物研究进展[J]. 环境科学与技术,2012,(s2):217-220.
- [10] 管硕,张鸿涛,吴春旭,等. 水解-复合生物滤池工艺处理盐化工工业废水[J]. 环境工程学报,2013,(4):1411-1416.
- [11] 吴烈善,杨希,罗错. 铁炭内电解-CASS 工艺处理模拟印染废水实验研究[J]. 环境科学与技术,2011,(1):132-135,143.
- [12] 吴光前,张齐生,周培国,等. 固定化微生物竹炭对废水中主要

污染物的降解效果[J]. 南京林业大学学报:自然科学版,2009,33(1):20-24.

- [13] 潘碌亭,王文蕾,吴锦峰. 水解酸化/SBR/强化絮凝处理抗生素废水[J]. 中国给水排水,2011,27(4):78-80.
- [14] 商佳吉,邢子鹏,孙德智. 水解酸化-好氧 MBBR 耦合 Fenton 法处理抗生素废水研究[J]. 工业水处理,2008,28(12):45-48.
- [15] 黄健,汤利华,张华,等. 化学磷回收辅助 A²O 工艺处理低碳城市污水的除磷规律[J]. 安全与环境工程,2007,14(1):68-71.
- [16] 王伟锋,孟祥磊,徐建顺,等. A/O 生物膜法(SDF/SAF)在污水处理厂的应用与调试[J]. 中国给水排水,2009,25(22):46-48.
- [17] 陈级新. AAO 法污水处理运行浅谈[J]. 燃料与化工,2007,38(6):50-52.
- [18] 赵应宏,冉阿倩,曹猛. 混凝法处理抗生素制药废水研究[C]. 中国环境科学学会学术年会,2009:213-217.
- [19] 林衍,王海业. 内电解-水解酸化-UASB-MBR 工艺处理香料废水[J]. 给水排水,2010,36(11):59-61. ■

造纸的原料,但是在进行活性硅酸钙的过滤分离时,在带式加压过滤设备处理后滤饼含水率仍然高达质量分数 65% 以上,这会提高后续烘干操作的能耗。若在过滤前增加预处理,将有可能降低活性硅酸钙的滤饼含水量,进而可以提高产品质量和降低能耗。同样,本工艺生产的硅钙渣的碱含量及放射性元素含量均满足水泥生产的要求,但其含水量仍然较高,若不控制含水量将无法进行水泥的生产,这不仅不能将硅钙渣废物利用,而且大量地堆放还会造成对环境的破坏。

3 影响高铝粉煤灰生产过滤工艺的因素

影响高铝粉煤灰生产的过滤工艺因素有很多,大致可以分为处理物料的物理化学性质、预处理操作、操作条件、过滤方法和过滤设备等。

3.1 物料的性质

物料的基本性质是整个过滤分离单元进行的基础和前提,对于不同性质的物料采取的过滤方式不同^[15]。对于高铝粉煤灰生产工艺中过滤处理物料的性质,如在活性硅酸钙生产中,其颗粒形貌呈蜂窝状,如图 2 所示。由于活性硅酸钙在水中溶解后呈负电性,粒度较细,存在结晶水等因素导致过滤后滤饼水分较高,通过添加阳离子表面活性剂附着在固相表面,非极性端朝向水,从而可以提高固相颗粒之间的疏水性,使水分易于排出,降低了滤饼水分。

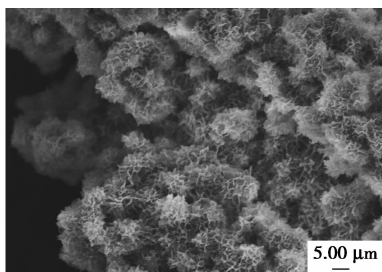


图 2 活性硅酸钙颗粒形貌

3.2 操作条件

过滤工序中的操作条件包括操作压力、过滤介质、处理量、悬浮液浓度、滤饼洗涤等。这些条件的选择和配合对过滤操作有着重要的影响。例如在脱硅粉煤灰通过翻盘过滤机时,出现滤布堵塞的现象,如图 3 所示。造成生产效率降低,物料损失等问题。这样就需要对滤布进行筛选,根据物料的性质及过滤分离的要求,选择适宜的孔径和透水率的滤布。

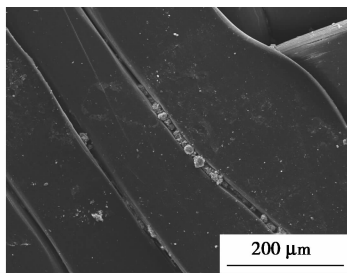


图 3 滤布阻塞局部图

此外,在确定活性硅酸钙过滤分离工艺的实验中,为了确定物料适宜的操作压力,通过对不同操作压力条件下的过滤效果进行实验测定,可以得到活性硅酸钙的可压缩性系数为 0.3 左右,为中等可压缩性物料,因此生产中进行加压过滤时,压力不宜过高。

3.3 过滤方法和过滤设备

在进行设备选型时应该充分考虑工艺要求、固相性质、液相性质以及料浆的过滤特性。例如,之前脱硅粉煤灰浆液分离与洗涤采用平盘过滤机进行真空过滤,滤饼含水率在质量分数 40% 左右。从生产实践来看,有产能低、生产连续性差、过滤性能恶化快等缺陷。这种缺陷从表现上看,是由于平盘过滤机的螺旋卸料造成在盘面上始终会残留一层滤饼,称为残留滤饼层,残留滤饼层导致过滤性能极差;其深层次的原因因为脱硅粉煤灰中硅酸钠溶液造成脱硅粉煤灰滤饼致密、板结、透气率差,也导致滤布的孔隙逐步被堵死。为了彻底解决残余滤饼层带来的影响,引入磷酸行业常用的翻盘过滤机来处理脱硅粉煤灰浆液改善过滤效果。

4 高铝粉煤灰生产中过滤分离工艺关键技术

针对高铝粉煤灰生产氧化铝工艺中的过滤分离工序,结合内蒙古大唐国际再生资源开发有限公司运行现状,以及已经得到的初步研究结果,针对不同产品可以提出过滤分离关键技术如下:

(1) 粉煤灰-氢氧化钠浆液:采用数值模拟方法对粉煤灰-氢氧化钠浆液槽内固液两相搅拌混合以及功耗进行研究,分析了优化转速随颗粒粒径的变化规律,同时研究了颗粒粒径、固相初始体积分数以及搅拌转速对功率的影响。通过细化实验得到的颗粒粒径随时间的变化规律以及优化转速的数值模拟,在保证搅拌均匀以及产品质量的基础上可将搅拌能耗降低 30%。

(2) 活性硅酸钙:针对目前活性硅酸钙悬浮液

在采用带式加压过滤后,滤饼含水率过高,使得后续工序干燥设备的负荷较大,能耗较高问题。关键技术是应该采用预处理进行强化脱水,并优化过滤操作条件。重点需要研究设置预处理的阶段与预处理条件、悬浮液酸碱性对过滤操作的影响,以及滤液循环利用等。

(3)脱硅粉煤灰:对于脱硅粉煤灰经过翻盘过滤机进行过滤分离工序,关键问题是控制适宜的滤饼层厚度,这直接影响着过滤效果和生产能力。而过滤介质的筛选对保证过滤效果,减少滤布再生次数与时间至关重要。另外,高铝粉煤灰进入加热套管进行预脱硅反应时,在加热管中的滞留时间会影响物料的粒度分布,进而影响过滤操作,这也是一个值得考虑的问题。

(4)硅钙渣:对于硅钙渣的过滤分离步骤,考虑到其碱含量及放射元素含量均已达标,只要降低滤饼含水率即可作为生产水泥的材料。关键技术是研发降低硅钙渣含水率的助滤方法和条件,并且需要控制处理的成本。

5 结论与展望

针对高铝粉煤灰生产氧化铝生产工艺中的过滤分离操作以及设备的现状进行了阐述。在对生产中过滤分离工艺进行分析基础上,提出了在脱硅粉煤灰浆液、活性硅酸钙浆液、溶出浆液以及硅钙渣浆液等过滤工序中存在的主要问题,以及物料的物理化学性质、预处理操作、操作条件、过滤方法和过滤设备等对高铝粉煤灰过滤分离的影响。符合实际生产,有针对性地提出了高铝粉煤灰生产中过滤分离工艺关键技术以及解决方案。

在对高效脱水过滤集成工艺及设备在高铝粉煤灰生产中的应用与研究进展进行总结分析基础上,可以提出以下展望:

(1)过滤工序绝对不是能够单一架空出来的操作单元,它与反应、搅拌、输送等操作均有着千丝万缕的联系,因此研发应该从整体工艺出发,针对不同的工艺阶段进行研究,最终提出适合于高铝粉煤灰生产工艺中的过滤操作条件。

(2)高铝粉煤灰生产氧化铝联产出的副产品如活性硅酸钙、硅钙渣等物料,在充分考虑其成本控制条件下,如何在已有的研究结果基础上,再提高其过滤效率和过滤效果是值得进一步深入研究的课题。

(3)对于预处理操作中的搅拌沉降设备,还需进一步地研究开发。采用理论计算以及数值模拟功率曲线的对比可以证实模拟方法准确有效,进而达到对调配槽正常操作工况进行合理地优化。

参考文献

- [1] Zhao Y C, Zhang J Y, Sun J M, *et al.* Mineralogy, chemical composition, and microstructure of ferrospheres in fly ashes from coal combustion[J]. *Energy & Fuels*, 2006, 20(4): 1490 - 1497.
- [2] 冯国瑞,任亚峰,张绪言,等.塔山矿充填开采的粉煤灰活性激发实验研究[J]. *煤炭学报*, 2011, 36(5): 732 - 737.
- [3] Inada M, Tsujimoto H. Microwave assisted zeolite synthesis from coal fly ash in hydrothermal process[J]. *Fuel*, 2005, 84(12/13): 1482 - 1486.
- [4] 白志民,杨静,丁浩.硅酸盐固体废弃物应用的研究进展-粉煤灰应用研究新成果[J]. *硅酸盐学报*, 2007, 35(s1): 172 - 179.
- [5] Wakeman J, Tarleton E S. Filtration equipment selection modeling and process simulation [M]. UK: Elsevier Advanced Technology, 1999.
- [6] 金雷.选煤厂固液分离技术[M].北京:冶金工业出版社, 2012: 34 - 45.
- [7] Chvedov D, Ostap S, Le T. Surface properties of red mud particles from potentiometric titration[J]. *Colloids and Surfaces*, 2001, 182(1/2/3): 131 - 141.
- [8] 郭仁慧,张建设.滤布性能测定与选用[M].北京:机械工业出版社, 1997: 67 - 88.
- [9] 闫学良,许正军,刘阳,等.翻盘过滤机在脱硅粉煤灰浆液过滤生产中的应用[J]. *流体机械*, 2012, 40(3): 52 - 55.
- [10] Song S X, Zhang M Y, He Z B, *et al.* Investigation on a novel fly ash based calcium silicate filler: Effect of particle size on paper properties[J]. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 2012, 51(50): 16377 - 16384.
- [11] Tsakiridis P E, Agatzini-Leonardou S, Oustadakis P. Red mud addition in the raw meal for the production of Portland cement clinker[J]. *Journal of Hazardous Materials*, 2004, 116(1/2): 103 - 110.
- [12] Liu W C, Yang J K, Xiao B. Application of bayer red mud for iron recovery and building material production from aluminosilicate residues[J]. *Journal of Hazardous Materials*, 2009, 161(1): 474 - 478.
- [13] Rushton A, Ward A S, Holdich R G. Solid-liquid filtration and separation technology [M]. 2nd edit. New York: Wiley-VCH, 2000: 156 - 167.
- [14] 叶东忠,杜育红,林春莺.外加剂对粉煤灰水泥胶砂强度影响的研究及工艺条件确定[J]. *硅酸盐通报*, 2012, 31(3): 665 - 687.
- [15] Liao J L. Effect of Al_2O_3/SiO_2 Ratio on the viscosity and structure of slags[J]. *ISIJ International*, 2012, 52(5): 753 - 758. ■