

基于拜耳法氧化铝生产过程中锥形沉降槽失稳分析探讨

裴雪峰, 马向阳, 张纯智

(洛阳香江万基铝业有限公司, 河南 洛阳 471800)

[摘要] 本文重点对赤泥浆液的各项指标及絮凝剂对沉降性能的影响,做了深入分析,通过对赤泥浆液及絮凝剂的物理化学分析,提前采取各种干预操作手段,从而避免各种沉降生产事故的发生。维持沉降系统动态平衡:赤泥平衡和溶液平衡。

[关键词] 沉降槽; 赤泥浆液; 沉降性能; 絮凝剂

[中图分类号] TF821

[文献标志码] B

[文章编号] 1003-8884(2023)06-0076-05

DOI:10.19611/j.cnki.cn11-2919/tg.2023.06.015

0 前言

氧化铝生产中赤泥浆液是赤泥与铝酸钠溶液组成的悬浮液,属于非均相物系范畴。非均相物系分离的依据是连续相与分散相具有不同的物理性质,因此可以用机械的方法将两相分离。操作方式有两种:沉降分离和过滤分离。沉降分离又可分为重力沉降和离心沉降。拜耳法氧化铝生产中赤泥是用重力沉降方法进行分离和洗涤。

沉降槽是利用重力沉降从悬浮液中分离出固体颗粒的设备。如用于低浓度悬浮液分离时亦称为澄清器;用于中等浓度悬浮液的浓缩时,常称为浓缩器或增稠器。沉降槽适于处理颗粒不太小也不太大、浓度不太高,处理量较大的悬浮液的分离,这种设备具有结构简单,可连续操作且增稠物浓度较均匀,但如果操作不当就会造成沉降槽失稳的情况。

沉降槽的失稳包括跑浑、冒槽、耙机压死等,而造成失稳的原因主要有赤泥的沉降性能差和操作人员对沉降槽的操作不当造成沉降槽的进出料不平衡。

1 赤泥的沉降性能

沉降性能主要包括:赤泥的沉降速度、压缩性能和上清液的澄清度,赤泥的沉降性能差是造成沉降槽失稳的最常见的原因之一。赤泥沉降性能好,则沉降槽单位产能高,溢流质量好,沉降槽不跑浑,洗涤效率高,附碱和附液损失少。而影响赤泥沉降性能的因素主要有矿石的组成、赤泥颗粒的细度、赤泥浆液的固含、絮凝剂、赤泥浆液的浓度、赤泥浆液的温度以及沉降设备本身等。

1.1 矿石的组成对赤泥沉降性能的影响

生产实践和实验研究都证明,铝土矿的矿石组成和化学成分是影响赤泥沉降、压缩性能的重要因素,铝土矿中常见的一些矿物,如:黄铁矿、针铁矿、高岭石、金红石等矿物组成的赤泥,因溶剂化现象较强,能降低赤泥的沉降速度,而赤铁矿、菱铁矿、硫铁矿、锐钛(铁)矿等则有利于赤泥沉降。高岭石在溶出过程中生成亲水性很强的含水的铝硅酸钠沉淀,当原矿中 SiO_2 含量高于 10% 的时候,赤泥沉降和压缩性能都很差。

另外,矿石中的有机物对赤泥的沉降性能也会造成较大影响,由于有机物的密度小,大部分漂浮在赤泥浆液的表面,当赤泥浆液进入到沉降槽,分散在赤泥浆液中的絮凝剂部分与矿石中的有机物互相溶解和发生化学反应,导致絮凝剂的沉降效果大大减弱,同时有机物含量高赤泥浆液的粘度增大,赤泥的

[收稿日期] 2023-09-02

[第一作者] 裴雪峰(1983—),男,河南新安人,大学学历,主要从事冶金技术工作,现任洛阳香江万基铝业有限公司调度中心主任。

[引用格式] 裴雪峰,马向阳,张纯智.基于拜耳法氧化铝生产过程中锥形沉降槽失稳分析探讨[J].有色设备,2023,37(6):76-80.

沉降速度也会减慢。

1.2 矿石的组成对赤泥沉降性能的影响

颗粒与流体在力场中作相对运动时,受到三个力的作用:重力 F 、浮力 F_b 、曳力 F_d 。对于一定的颗粒和流体,重力 F 、浮力 F_b 一定,但曳力 F_d 却随着颗粒运动速度而变化。当颗粒运动速度 u 等于某一数值后达到匀速运动,这时颗粒所受力可表达为式(1)。

$$\sum F = F + F_b + F_d = 0 \quad (1)$$

球形颗粒在静止流体中沉降时,颗粒受到的作用力有重力、浮力和阻力当合力为零时,颗粒相对于流体的运动速度称为沉降速度,又称为终端速度。终端速度计算式见式(2)。

$$u_t = \sqrt{\frac{4gd(\rho_s - \rho)}{3\zeta\rho}} \quad (2)$$

式中: ζ 为颗粒沉降时的阻力系数,颗粒对流体作相对运动时的雷诺准数 Re 的函数; ρ_s 为颗粒的密度; ρ 为流体的密度; d 为颗粒的直径^[1]。

连续工作的沉降槽,沿着槽子的高度大致可以分为三个带:清液带、沉降带和浓缩带。

经过研究发现,只有少数赤泥粒子在槽中央垂直下沉,大部分细粒子是被液体带着向溢流口方向前进一段距离之后,才先后沉降的。赤泥浆从槽中央进料筒进入槽内后朝四周的溢流口向上流动,液体流速逐步减慢,又分为三种。

1)粗粒子:沉速大大超过流速的最粗粒子进入槽中央后便一直下沉到浓缩带。

2)细粒子:开始阶段,沉速小于液体流速,被液体带动向溢流口,朝上流动一段距离,由于液体流速减慢,直至小于粒子沉速,粒子一边前进,一边下沉到浓缩带。

3)极细粒子:粒子越小,被液体带走的距离越远,有些极细粒子(微小)被液体带至槽边,其沉速仍小于液体的流速,因而被溢流带走,成为溢流的浮游物。

赤泥从沉降带进入浓缩带以后,赤泥粒子相距很近,并且互相接触,赤泥靠它上面的液体压力将粒子间隙中的液体压出来,浓缩带的高度决定于赤泥在槽内的停留时间,浓缩带高度增加,底流液固比随之减小,底流固含随之增大。

赤泥的沉降速度与赤泥粒子直径的平方根成正比,因此,若赤泥粒子过细,赤泥粒子在浆液中做布

朗运动,会使沉降速度大大降低,但过粗的粒子,不利于溶出率的提高,同时也会导致沉降速度过快造成沉降槽的底流堵塞。

1.3 赤泥浆液的固含对赤泥沉降性能的影响

对同一种赤泥而言,其他条件一定时候,赤泥浆液的液固比越大,固含越小,赤泥的沉降速度越快,反之赤泥浆液的液固比越小,固含越大,则赤泥的沉降速度越慢。研究表明当赤泥浆液的固含过大,同时絮凝剂添加量也增加的时候会起到相反的效果,即絮凝剂添加量越多,赤泥浆液的粘度越大,赤泥沉降的阻力越大,赤泥的沉速越慢。因此,对于氧化铝生产的而言沉降槽的进料固含不能过高,一般不能超过150 g/L。

1.4 絮凝剂对赤泥沉降性能的影响

絮凝剂的作用机理是,可以划分为吸附(即絮凝剂吸附于悬浮液中固体粒子表面)和絮凝(单个粒子互相联合形成絮团)两个阶段。在絮凝剂的作用下,赤泥浆液处于分散状态的细小赤泥颗粒互相联合成团,颗粒增大,因而使沉降速度大大增加^[2-4]。

絮凝剂是影响赤泥沉降的关键因素,目前沉降槽都使用了高效絮凝剂,如爱森、山东诺尔、绿色奇点等。

1.4.1 絮凝剂的选型

赤泥沉降过程中,通过试验选择适宜的絮凝剂是加速赤泥沉降的有效方法。

通过对爱森 ALP80 固体絮凝剂、爱森 AL99EST 乳液絮凝剂、山东诺尔 XD680 固体絮凝剂、绿色奇点 K-380 乳液絮凝剂、山东诺尔 XD6350-1 乳液絮凝剂、河南亿群乳液及固体絮凝剂的试验作出曲线图,如图1所示。

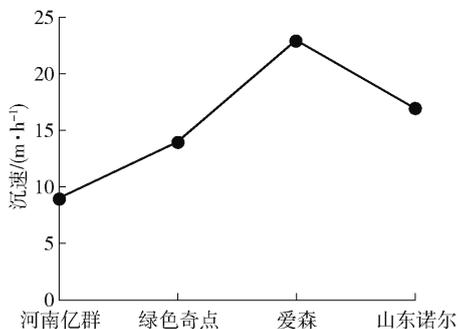


图1 沉速与絮凝剂种类关系图

由图1可以看出絮凝剂均按3‰的浓度来配制

时,爱森的乳液絮凝剂沉速效果最好,效果其次是山东诺尔和绿色奇点沉速。

1.4.2 絮凝剂的配制

絮凝剂配制水的水质、碱水浓度、配制水的温度、熟化时间等对絮凝剂的配制效果都有较大影响。

1) 絮凝剂的配制水的水质对絮凝剂的影响较大,如果配制水中含有的 Ca^{2+} 、 Al^{3+} 、 Fe^{2+} 较多,将大大减弱絮凝剂的沉降性能,絮凝剂的单耗比用蒸馏水配制时至少高出 30%。

2) 配制碱水的浓度对絮凝剂的影响也很明显,以爱森 AL99EST 为例,作出曲线图如图 2 所示。

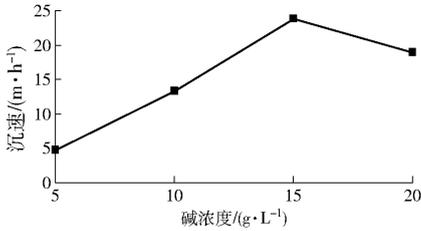


图 2 沉速与碱浓度关系图

由图 2 可以看出碱浓度控制在 15 g/L 时,絮凝剂沉速达到最大值,过大或过小都不利于絮凝剂效果的发挥。

3) 配制水的温度对絮凝剂的影响较大,温度过低不利于絮凝剂的溶解分散,温度过高则会造成絮凝剂分子的断裂,大大降低絮凝剂的沉降性能。以爱森 AL99EST 为例,配制水温度在 20 ~ 40 °C 时絮凝剂能较好分散,温度在 20 °C 以下絮凝剂溶解很慢,结块较多,60 °C 以上絮凝剂的分子断裂严重造成沉降性能迅速下降。

4) 熟化时间对絮凝剂的影响也较为明显,絮凝剂配制好之后如熟化时间不够,分子链的展开不完全,絮凝剂的沉降性能明显下降,如熟化时间过长,絮凝剂分子在受力不均的作用下,发生沉积导致絮凝剂沉降效果不好,以爱森 AL99EST 为例,熟化时间在 2 h 沉降效果最好,超过 6 h 沉降效果会进行缓慢下降。

1.5 赤泥浆液的浓度对赤泥沉降性能的影响

铝酸钠溶液的粘度与溶液中的氧化铝以及苛碱浓度的关系见式(3)。

$$\eta = \eta_0 \times 10^{\frac{K}{a}} \text{ 或 } \lg(\eta/\eta_0) = K_a \quad (3)$$

式中: a 为溶液中氧化铝的浓度; η_0 为氧化铝的浓度为零时的苛性钠溶液的黏度; η 为铝酸钠溶液的黏

度; K 为常数。

从公式可以看出,铝酸钠溶液的粘度随着苛性碱溶液浓度的提高而增大,并与氧化铝的浓度成指数关系,即随铝酸钠溶液浓度的提高,溶液粘度剧烈增大。这样把溶出矿浆经过稀释,使溶液浓度降到中等浓度,溶液与赤泥的溶剂化程度降低,将促进粒子附聚,加速沉降。实践证明:当溶液中氧化铝浓度从 260 g/L 稀释到 160 ~ 180 g/L 时,溶液粘度降低 2 ~ 3 倍,絮凝剂的沉降性能将大大提高^[5-8]。

1.6 赤泥浆液的温度对赤泥沉降性能的影响

铝酸钠溶液的粘度随着温度升高而减小,铝酸钠溶液粘度的对数与绝对温度的倒数成直线关系,即 $\eta = 10f(1/T)$ 。赤泥沉降过程是液固分离过程,温度越高其粘度越小,赤泥沉降速度越快。

另外,浆液的温度高,铝酸钠溶液稳定性强,氧化铝水解损失少,沉降槽结疤减少,所以保证沉降槽温度至关重要。生产上分离槽温度都能保证在 100 °C 以上,洗涤槽保证在 90 °C 以上。

1.7 沉降槽的设备对赤泥沉降性能的影响

沉降槽的设备对赤泥沉降性能的影响包括沉降槽的直径及高度,絮凝剂的加入点,进料管和出料管直径,耙机及底流泵的规格型号等,在这里只针对絮凝剂的加入点对赤泥沉降性能的影响进行分析。

生产上为了使絮凝剂与赤泥悬浮液混合均匀,形成絮团,一般选择向料浆进料管中直接加入絮凝剂,以便使絮凝剂在进沉降槽之前就与料浆充分混合。加入点的选择非常重要,由于沉降槽进料管的流速通常在 1.5 m/s 以上,管内很容易形成紊流,破坏高分子絮凝剂的分子链,降低沉降效果。所以,不能在离进料口太远的位置选择加入点,以免破坏分子链。

某氧化铝厂在分离沉降槽进料口的不同位置加入合成絮凝剂,实验结果如表 1 所示。

表 1 絮凝剂加入点对赤泥沉降性能的影响

加入点到 进料口的 距离/m	进料 流量/ ($\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$)	进料 固含/ ($\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$)	10 分钟 清液层总 高/cm	上清液浮 游物/ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)
1	727	63	22.03	190
2	742	60	22.40	148
3	732	62	22.60	110
4	745	61	23.10	184

从结果看出,10 min 后量筒内清液层总高基本相近,但在 3 m 处加入絮凝剂后,料浆清液层的浮游物比其他点明显偏低。说明该厂絮凝剂加入点应选择距进料口 3 m 处较好。由于各氧化铝厂的规模不同,导致设备的规格型号不同,所以应通过试验来确定絮凝剂的最佳添加点^[3]。

2 锥形沉降槽的平衡操作

锥形沉降槽的平衡是一个动态平衡,因沉降槽的物料是一种液相和固相的混合悬浮液,连续运行的沉降槽需要通过添加絮凝剂实现快速液固分离,保持槽况运行稳定。因此,沉降槽的平衡分为液相溶液平衡,固相赤泥平衡。

2.1 赤泥平衡

赤泥的平衡是指每个沉降槽的进槽干赤泥和出槽干赤泥要保持平衡。以分离槽为例,假设进槽进泥量为 $1\ 500\ \text{m}^3/\text{h}$,进槽固含为 $110\ \text{g/L}$,出槽泥的固含为 $550\ \text{g/L}$,则出此槽的泥的流量应该控制为 $1\ 500 \times 110/550 = 300\ \text{m}^3/\text{h}$,以保持赤泥的进出平衡。如果赤泥的出槽泥量过小,长期下去,该槽就会出现,管道堵塞,耙机被压死的情况。如果赤泥的出槽泥量过大就会造成下一沉降槽负担过大,导致下一沉降槽出现跑浑、管道堵塞、耙机压死等情况。因此,赤泥的平衡操作是沉降槽一个很重要的控制环节。

2.2 溶液平衡

溶液的平衡是指每个沉降槽的进槽苛碱和出槽苛碱,进槽液体流量和出槽液体流量要保持平衡。以二洗槽为例,假设二洗槽进槽洗液苛碱浓度为 $15\ \text{g/L}$,流量为 $500\ \text{m}^3/\text{h}$;出槽洗液苛碱浓度为 $30\ \text{g/L}$,流量为 $500\ \text{m}^3/\text{h}$;进槽泥附碱为 10% ,泥量为 $150\ \text{t/h}$;出槽泥附碱为 5% ,泥量为 $150\ \text{t/h}$,则进槽苛碱为 $500 \times (30 - 15) \times 0.001 = 7.5\ \text{t/h}$,出槽苛碱为 $150 \times (10\% - 5\%) = 7.5\ \text{t/h}$ 。这样进出槽苛碱达到平衡,液体流量也达到平衡。如果进出槽的液体流量不平衡会导致冒槽、碱的损失等等。因此,溶液的平衡也是沉降槽沉降槽一个重要控制环节。

3 结语

综上所述,影响沉降槽失稳的因素较多,而且每一个因素都很关键,如果其中的某个因素出现问题,就会带来一系列沉降槽失稳的情况。因此,为了更

好的满足生产需要,要严格监控每一个因素的变化。

另外,随着经济的快速发展,资源短缺的问题将越来越明显,矿石质量下降,导致沉降槽压力增大的问题也会越来越明显,为此,选矿将是铝行业共同面临的一个难题。在选矿技术成熟前,现阶段对沉降槽而言,要密切关注矿石的质量变化,在操作上做相应的调整。经过实地考察,近年来锥形沉降槽在全国各大氧化铝厂得到广泛的使用,尤其是新建氧化铝项目。据了解,锥形沉降槽的特点在于产能大,流程简单。但其在实际生产中供操作人员调整或干预的方法较少,出现跑浑、底流固含低(赤泥压缩性差)等问题,缺乏有力的调整手段,更多的依靠于操作人员的生产经验,维持、稳定沉降槽操作的动态平衡是关键所在。

本文重点对赤泥浆液的各项指标及絮凝剂对沉降性能的影响,做了深入分析,通过对赤泥浆液及絮凝剂的物理化学分析,提前采取各种干预操作手段,从而避免各种沉降生产事故的发生。维持沉降系统动态平衡:赤泥平衡和溶液平衡。该平衡也是氧化铝工业生产中沉降操作环节最主要的调节、干预手段。针对实际生产,本文对此也做了简要阐述。希望本文中对锥形沉降槽失稳原因的粗略探讨,能够减少因沉降槽失稳对氧化铝工业生产的影响,提高工厂设备产能,创造良好的经济效益。

[参考文献]

- [1] 潘羿诺,孙虹,冀婷,等.倒锥形阳极氧化铝模板的制备及其应用[J].科技通报,2023,39(4):1-9.
- [2] 姚鹏.大型沉降槽跑浑的原因分析及对策[J].科技情报开发与经济,2006(11):1-3.
- [3] 邱峰,李蕾,王宁.拜耳法赤泥提铁工艺成套技术的研究与应用[J].有色设备,2022,36(3):39-42.
- [4] 姜学海.氧化铝生产中如何高效应用絮凝剂[J].轻金属,2008(3):17-19.
- [5] 毕诗文,于海燕.氧化铝生产工艺学[M].北京:冶金工业出版社,2005.
- [6] 曹万秋.种分槽内部流场分布的数值模拟及实验对比分析[J].有色设备,2021,35(6):101-105.
- [7] 王东.氧化铝种子过滤锥形母液槽技术改造[J].石化技术,2020,27(6):199.
- [8] 马向阳,李宁册,蒋锐,等.拜耳法生产工艺中综合除碳技术的研究及应用[J].有色设备,2023,37(5):49-54+94.

Analysis and discussion on the instability of conical settling tanks in Bayer alumina production process

PEI Xuefeng, MA Xiangyang, ZHANG Chunzhi

Abstract: This article focuses on the various indicators of red mud fluid and the impact of flocculants on settling performance. Through the physical and chemical analysis of red mud fluid and flocculants, various intervention measures are taken in advance to avoid various settling production accidents. Maintain dynamic balance of sedimentation system; red mud balance and solution balance.

Key words: settlement tank; red mud fluid; settlement performance; flocculant



敬告读者

为了加快稿件处理速度,缩短稿件出版周期,方便广大作者投稿及查询稿件处理情况。本刊开通由中国知网提供的“腾云”网络采编系统,作者投稿请注册并登录本刊主页上的“作者投稿系统”进行相关操作,网址 <https://yssb.cbpt.cnki.net/>。注册登录后可以向本刊投稿并查询稿件处理状态。请勿重复注册,否则可能导致您的信息查询不完整。

本刊文章数字版可在中国知网(<http://www.cnki.net>)、万方数据知识服务平台(<https://www.wanfang-data.com.cn/>)、维普网(<http://www.cqvip.com/>)下载使用。

本刊从未委托任何单位或个人组稿或代收、代转稿件,作者咨询投稿事宜请拨打编辑部办公电话 010-63936591 联系。

《有色设备》编辑部