

doi:10.3969/j.issn.1007-7545.2024.09.022

赤泥深度脱水探索

张延利^{1,2}, 闫琨^{1,2}, 和新忠^{1,2}, 雷树喜^{1,2}

(1. 中铝郑州有色金属研究院有限公司, 郑州 450041;
2. 国家铝冶炼工程技术研究中心, 郑州 450041)

摘要:以某企业国内矿和国外矿赤泥为研究对象,通过研究7种物理助滤剂和5种化学助滤剂对赤泥抽滤滤饼含水率的影响,筛选出固废XS和表面活性剂PL50作为赤泥脱水调理的物理和化学助滤剂,并研究确定了最佳添加量;在固废XS和表面活性剂PL50共同调理下,某企业国内矿和国外矿赤泥在室温、二次压榨压力1.32 MPa下压榨20 min,压滤滤饼含水率降低比例分别达3.18%和6.11%。

关键词:赤泥;深度脱水;含水率;助滤剂

中图分类号:TF821

文献标志码:A

文章编号:1007-7545(2024)09-0188-06

Exploration on Deep Dehydration of Red Mud

ZHANG Yanli^{1,2}, YAN Kun^{1,2}, HE Xinzhong^{1,2}, LEI Shuxi^{1,2}

(1. Zhengzhou Nonferrous Metals Research Institute Co., Ltd., CHALCO, Zhengzhou 450041, China;
2. National Engineer Research Central of Aluminum Metallurgy, Zhengzhou 450041, China)

Abstract: Applying the red mud from domestic and foreign mines of a enterprise as the research object, by studying the effects of 7 physical filter aids and 5 chemical filter aids on water content in the red mud filter cake, solid waste XS and surfactant PL50 were selected as physical and chemical filter aids for dehydration and conditioning process of red mud, and the optimal addition amount was determined. Under the combined conditioning of solid waste XS and surfactant PL50, the domestic and foreign ore red mud were pressed for 20 min under the secondary pressing pressure of 1.32 MPa at room temperature and the water content of the filter cake dropped by 3.18% and 6.11% respectively.

Key words: red mud; deep dehydration; moisture content; filter aid

由于赤泥具有碱性强、粒度细、黏度大、温度高等一系列特点,造成赤泥脱水存在滤板变形、滤布使用寿命低、压滤机腔内料浆残留多、滤板夹带滤液较多以及赤泥滤饼含水率高等问题,从而影响赤泥资源化利用,如赤泥生产水泥,赤泥制备发泡保温砖、免烧砖、轻质土等^[1-5]。工业生产中,赤泥滤饼含水量一般在30%左右,进一步降低赤泥含水率可减少附碱流失、降低赤泥干化成本、降低堆存风险。按照

百吨赤泥(干重)计算,含水率降低8%,可增加回水约16 m³、减少附碱流失约80 kg,节省后续利用过程烘干能耗 61.028×10^6 kJ,约相当于2 080 kg标煤。

目前,常用的赤泥脱水助滤剂包括无机电解质混凝剂和高分子聚合电解质两类^[6-10]。无机电解质混凝剂主要利用高价阳离子的压缩双电层的作用。高分子聚合电解质除了电荷中和与压缩双电层外,还有吸附

收稿日期:2024-02-26

基金项目:国家重点研发计划项目(2020YFC1908802)

作者简介:张延利(1983-),女,正高级工程师

架桥、网捕、卷扫作用等机理。依靠无机混凝剂和高分子絮凝剂的电负性中和作用与吸附架桥作用能在一定程度上改善赤泥脱水性能。但是赤泥会在压力作用下产生压缩变形,使得滤饼中水的过滤通道被堵塞,从而导致机械脱水效率较低。因此,投加一定的物理助滤剂可以在一定程度上解决赤泥的可压缩性问题。

本文从物理和化学助滤剂联合调理方向考虑,研究筛选适宜的物理和化学助滤剂,并确定其最佳添加量,以期达到实现赤泥进一步脱水的目的。

1 试验原料

试验原料采用某企业国内矿和国外矿赤泥,具体成分见表 1。由表 1 可知,国外矿赤泥呈现高铁、低硅、低钠的特点,而国内矿赤泥呈现高铁、高铝、高硅、高钠、高钙的特点。由图 1 可知,某企业国外矿赤泥 D_{10} 为 $0.383 \mu\text{m}$, D_{50} 为 $1.042 \mu\text{m}$, D_{90} 为 $3.063 \mu\text{m}$; 国内矿赤泥 D_{10} 为 $0.499 \mu\text{m}$, D_{50} 为 $1.936 \mu\text{m}$, D_{90} 为 $4.826 \mu\text{m}$ 。整体上,国外矿赤泥较国内矿赤泥细。

表 1 某企业赤泥成分

Table 1 Composition of red mud in an enterprise /%

赤泥来源	Al ₂ O ₃	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	K ₂ O	Na ₂ O	CaO	MgO
国外矿	18.97	4.64	54.82	4.32	0.32	2.36	0.66	0.012
国内矿	24.76	22.44	12.91	3.62	1.95	6.73	12.09	0.680

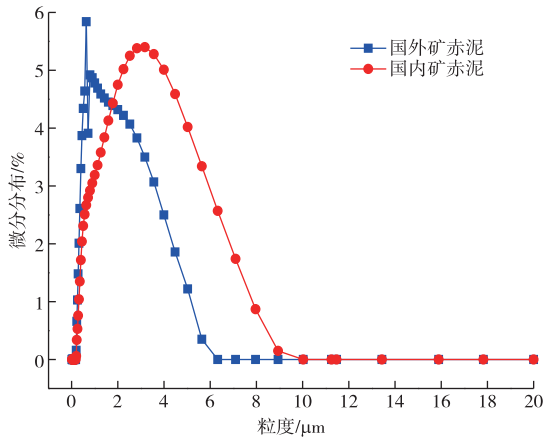


图 1 某企业赤泥粒度分布图
Fig. 1 Particle size distributions of red mud from an enterprise

固废 XS 为河砂与炉渣按 1 : 4 ~ 3 : 1 混合后的混合物,炉渣为中铝矿业热电厂燃煤锅炉炉渣。固废 XS 的粒度分布见图 2。由图 2 可知,固废 XS

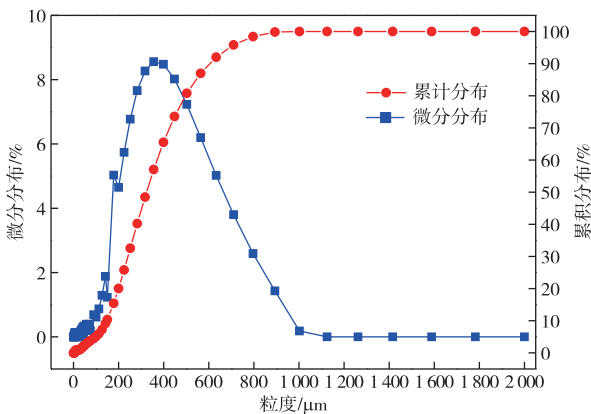


图 2 固废 XS 粒度分布
Fig. 2 Particle size distributions of solid waste XS

的 $D_{10} = 147.586 \mu\text{m}$; $D_{50} = 323.540 \mu\text{m}$; $D_{90} = 601.988 \mu\text{m}$ 。

2 试验方法

1)以某企业国内矿赤泥为研究对象,选取粉煤灰、磷石膏、石灰石粉(94%)、生石膏粉、炉渣、高岭土和固废 XS 等七种物理助滤剂,在添加量为 2 g (按 100 g 干基赤泥计,下同)、泥浆温度 90 ℃、搅拌时间 20 min 条件下搅拌调理后,测试泥浆抽滤滤饼含水率,确定最佳物理助滤剂种类。

2)以某企业国内矿赤泥为研究对象,在调理温度 90 ℃、搅拌时间 20 min 条件下,考察不同添加量的最佳物理助滤剂对调理后赤泥浆抽滤滤饼含水率的影响,确定物理助滤剂最佳添加量。

3)以某企业国内矿赤泥为研究对象,选取 PAC、PAM、硫酸铁、SD80 和 PL50 等五种化学助滤剂,在最佳物理助滤剂添加量、泥浆温度 90 ℃、搅拌调理时间 20 min 条件下,分别按 0.2 g 添加量添加 PAC、PAM、硫酸铁、SD80 和 PL50,调理搅拌后测试泥浆抽滤滤饼含水率,确定最佳化学助滤剂种类。

4)以某企业国内矿赤泥为研究对象,在最佳物理助滤剂添加量、泥浆温度 90 ℃、调理搅拌时间 20 min 条件下,考察不同添加量的最佳化学助滤剂对调理后赤泥浆抽滤滤饼含水率的影响,确定化学助滤剂最佳添加量。

5)以某企业国内矿和国外矿赤泥为研究对象,在最佳物理助滤剂添加量、最佳物理助滤剂添加量、泥浆温度 90 ℃、调理搅拌时间 20 min 条件下,测试调理后赤泥浆的抽滤滤饼含水率。

6)以某企业国内矿和国外矿赤泥为研究对象,在最佳物理助滤剂添加量、最佳物理助滤剂添加量、泥浆温度室温、调理搅拌时间 20 min,一次压榨压力 0.80 MPa,二次压榨压力 1.32 MPa,二次压榨时间 20 min 条件下,测试调理后赤泥浆的压滤滤饼含水率。

7)对比分析最佳条件脱水试验滤饼,以及不添加助滤剂、泥浆温度 90 ℃、调理搅拌时间 20 min 条件下得到的滤饼的厚度、表面粗糙度以及 SEM 形貌,开展助滤剂脱水机理探索。

3 结果与讨论

3.1 物理助滤剂筛选

在低成本和以废治废的前提下,选取了 7 种助滤剂,在助滤剂添加量为 2 g,调理温度 90 ℃,搅拌时间 20 min 条件下,考察了 7 种助滤剂调理后抽滤滤饼含水率,结果见表 2。由表 2 可知,在相同条件下,固废 XS 调理后赤泥浆抽滤滤饼含水率最低,为 34.18%;粉煤灰、石灰石、炉渣和高岭土对抽滤滤饼含水率有不同程度的降低;磷石膏和生石膏粉的加入不仅会使滤饼含水率升高,而且会使泥浆 pH 降低。由以上研究可知,较为适宜的物理助滤剂为固废 XS。

表 2 不同助滤剂对抽滤滤饼含水率的影响

Table 2 Effect of different filter assistants on the moisture content of filter cakes

序号	助滤剂	添加量/g	pH	滤饼含水率/%
HS-00	空白	0	12.43	39.42
HS-01	粉煤灰	2	13.43	37.03
HS-02	磷石膏	2	11.18	41.06
HS-03	石灰石粉(94%)	2	12.30	36.01
HS-04	生石膏粉	2	10.30	39.25
HS-05	炉渣	2	12.14	35.90
HS-06	高岭土	2	12.27	36.95
HS-07	固废 XS	2	12.44	34.18

3.2 物理助滤剂最佳添加量确定

在调理温度 90 ℃、搅拌时间 20 min 条件下,考察不同固废 XS 添加量对调理后赤泥浆抽滤滤饼含水率的影响,结果见图 3。由图 3 可知,赤泥浆抽滤滤饼含水率随固废 XS 添加量的增加先显著下降,至固废 XS 添加量为 6 g 时达到最小值 34.16%,后略有升高趋势。这可能是由于随着固废 XS 添加量的增加,在过滤过程中促使赤泥形成不可压缩泥饼,有利于水的排出,所以滤饼含水率有所降低,固废

XS 添加量超过 6 g 后,固废 XS 的添加逐渐阻塞了部分水的通道,使滤饼含水率略有上升。

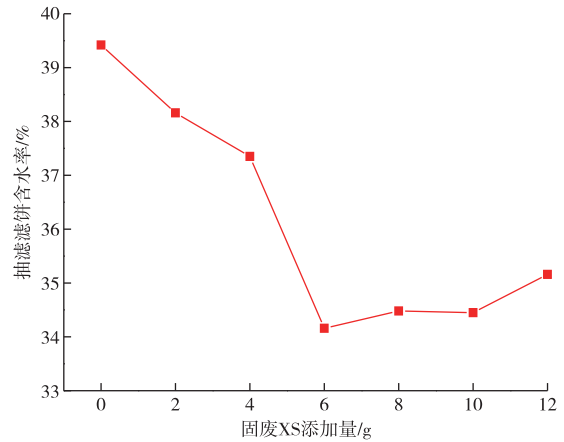


图 3 固废 XS 添加量对滤饼含水率的影响

Fig. 3 Effect of addition of solid waste XS on the moisture content of filter cake

3.3 化学助滤剂筛选

选取 PAC、PAM、硫酸铁、SD80 和 PL50 五种化学助滤剂作为筛选对象,在固废 XS 添加量 6 g、泥浆温度 90 ℃、搅拌调理时间 20 min 条件下,按 0.2 g 添加量(按 100 g 干基赤泥计,下同)分别添加 PAC、PAM、硫酸铁、SD80 和 PL50,调理搅拌后测试抽滤滤饼含水率,结果见表 3。由表 3 可知,相同条件下,PL50 可有效降低滤饼含水率,且基本不影响泥浆酸碱度。

表 3 化学助滤剂筛选试验结果

Table 3 Results of chemical filter aid screening test

序号	絮凝剂名称	100 g 干基赤泥添加量/g	pH	滤饼含水率/%
1	PAC	0.2	12.28	39.44
2	PAM	0.2	12.36	38.83
3	硫酸铁	0.2	12.31	37.82
4	SD80	0.2	12.41	34.23
5	PL50	0.2	12.40	33.72

注:SD80 和 PL50 均为阴离子表面活性剂,武汉宏达化学试剂厂生产。

3.4 化学助滤剂最佳添加量的确定

在固废 XS 添加量 6 g、泥浆温度 90 ℃、调理搅拌时间 20 min 条件下,考察不同 PL50 添加量对赤泥过滤性能的影响,结果见图 4。由图 4 可见,随着 PL50 添加量的增加,抽滤滤饼含水率呈现先迅速降低,后维持平稳的趋势。PL50 较为适宜的添加量为 0.4 g。

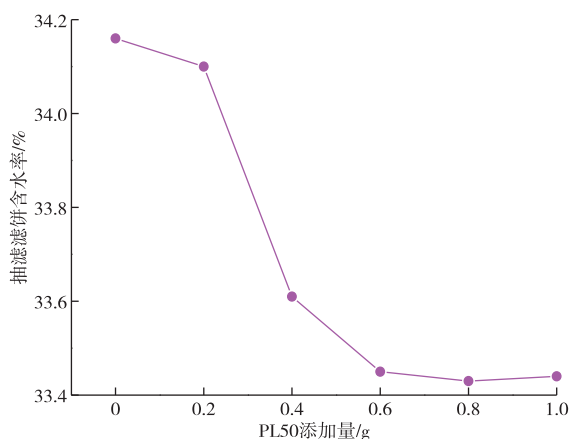


图 4 PL50 添加量对滤饼含水率的影响

Fig. 4 Effect of PL50 addition on the moisture content of filter cake

3.5 最佳条件抽滤脱水试验

在固废 XS 添加量 6 g、PL50 添加量 0.4 g、泥浆温度 90 ℃、调理搅拌时间 20 min 条件下,赤泥调理后抽滤滤饼含水率见表 4。由表 4 可知,固废 XS 和 PL50 联合调理,基本不对赤泥浆酸碱碱性产生影响,且某企业国内矿和国外矿赤泥抽滤滤饼含水率均有约 6 个百分点的降低,降低比例达 15% 以上,说明物理助滤剂和化学助滤剂联合调理不仅适用于国内矿赤泥,也适用于国外矿赤泥。

表 4 某企业赤泥抽滤滤饼含水率和 pH

Table 4 Moisture content and pH value of red mud filter cake in a certain enterprise

序号	分类	抽滤滤饼含水率/%	pH
1	国外矿	34.56	12.32
2	赤泥原浆	39.20	12.43
3	赤泥原浆 + 国外矿	28.63	12.30
4	助滤剂	33.12	12.40

3.6 压滤脱水效果

为了验证赤泥脱水前期实验室抽滤试验结果,采用实验室小型压滤机(图 5)开展压滤试验。

因压滤机材质不能承受高温,小型压滤试验的压滤温度为室温,可能会对试验结果产生一定的影响。某企业赤泥添加助滤剂前后的压滤滤饼含水率见表 5。由表 5 可知,在固废 XS 添加量 6 g、PL50 添加量 0.4 g、泥浆温度室温、调理搅拌时间 20 min、一次压榨压力 0.80 MPa、二次压榨压力 1.32 MPa、二次压榨时间 20 min 条件下,调理后某企业国内矿赤泥压滤滤饼含水率降低了 1.02 个百分点,国外矿赤泥压滤滤饼含水率降低了 1.61 个百分点,降低比例分别达 3.18% 和 6.11%。



图 5 小型污泥隔膜压滤机(0.6 m²)

Fig. 5 Small sludge diaphragm filter press(0.6 m²)

表 5 某企业赤泥压滤滤饼含水率

Table 5 Water content of red mud filter cake from an enterprise

序号	分类	压滤滤饼含水率/%
1	赤泥原浆	26.37
2	国外矿	32.11
3	赤泥原浆 + 助滤剂	24.76
4	国内矿	31.09

3.7 助滤剂脱水机理初探

固废 XS 物理助滤剂是一种无机惰性材料。一定程度上可在赤泥中形成坚硬网格骨架保持多孔结构,起骨架构建的作用(图 6),可以解决赤泥的可压缩性问题,改善赤泥脱水性能。

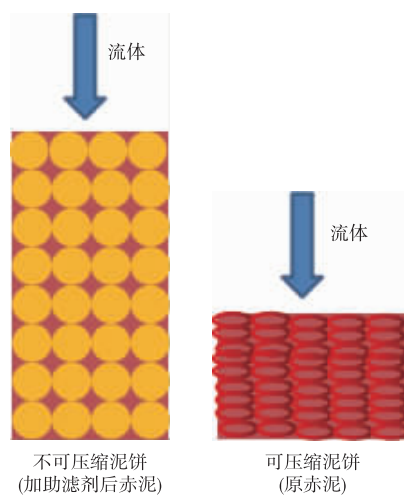
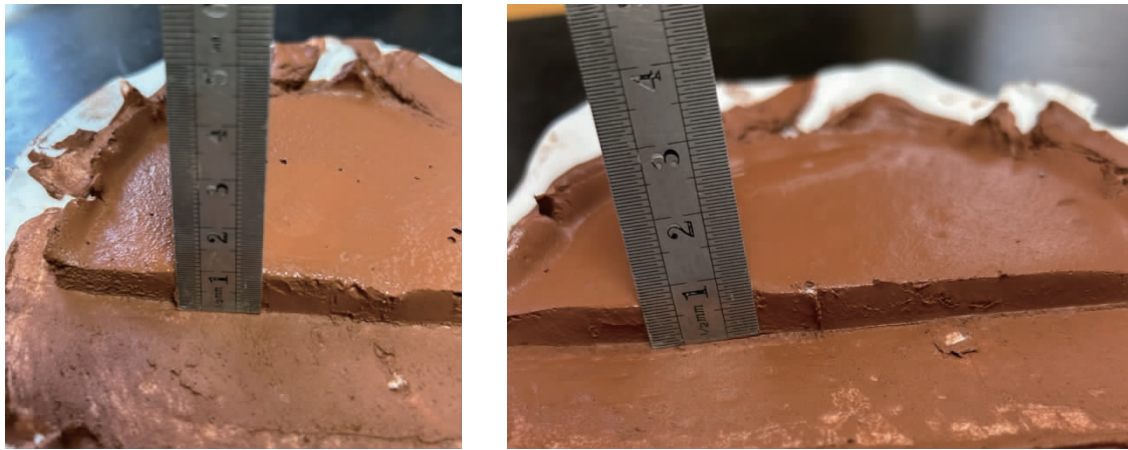


图 6 不可压缩泥饼与可压缩泥饼的效果示意图

Fig. 6 Effect diagram of incompressible and compressible mud cake

由图 7 可知,添加物理助滤剂后滤饼厚度较未添加物理助滤剂厚,且表面粗糙,有部分孔洞,说明添加物理助滤剂后,赤泥泥饼变成不可压缩泥饼,构建了一定的水分通道,有利于水分排出。



(a)添加物理助滤剂时滤饼

(b)不添加助滤剂时滤饼

图7 添加物理助滤剂与不添加助滤剂滤饼厚度与表明粗糙度

Fig. 7 Thickness and indicated roughness of mud cake with and without physical filter aid

PL50 化学助滤剂是一种阴离子表面活性剂,它对赤泥颗粒起表面活性作用,首先是静电斥力作用。当化学助滤剂分子与浆体中的赤泥粒子吸附时,形成吸附双电层,相互接近的赤泥粒子会同时受到粒子间的静电斥力的作用,从而防止了粒子间的凝聚,可以把水泥颗粒内部包裹的水释放出来。其

次是空间位阻作用。化学助滤剂的极性亲水端朝向水溶液,构成了赤泥微粒表面的一层溶剂化膜,阻止赤泥颗粒间的直接接触(图8)。

由赤泥压滤滤饼 SEM 形貌(图9)可知,添加化学助滤剂后赤泥颗粒表面形成了溶剂化膜,有利于水的排出。

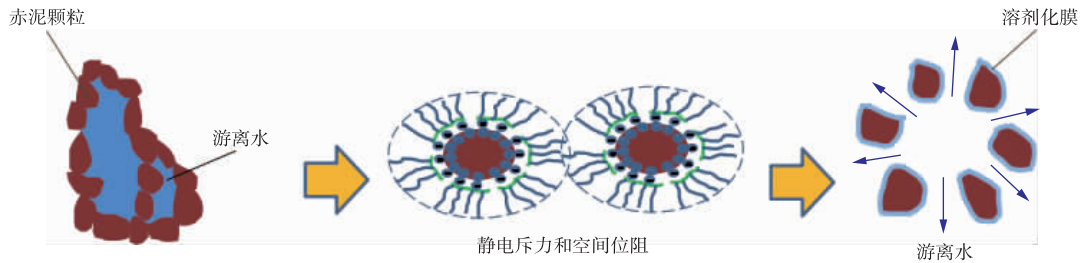
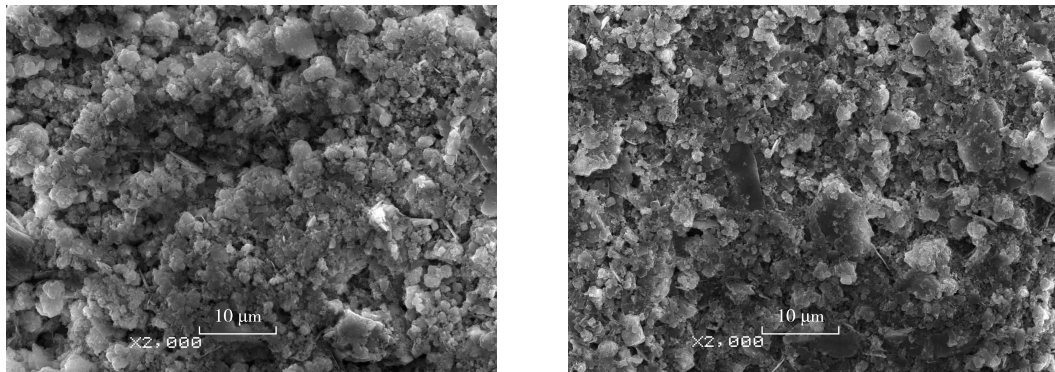


图8 化学助滤剂作用机理示意图

Fig. 8 Schematic diagram of mechanism of action of chemical filter aid



(a)原赤泥

(b)添加化学助滤剂后赤泥

图9 赤泥压滤滤饼的 SEM 形貌

Fig. 9 SEM morphologies of red mud filter cake

4 结论

1)在选定的7种物理助滤剂中,在泥浆温度90℃、搅拌时间20min条件下,固废XS在进一步降低某企业国内矿赤泥脱水含水率方面效果最好,其最佳添加量为6g(以100g干基赤泥计)。

2)在选定的5种化学助滤剂中,在泥浆温度90℃、搅拌时间20min条件下,PL50在进一步降低某企业国内矿赤泥脱水含水率方面效果最好,其最佳添加量为0.4g(以100g干基赤泥计)。

3)固废XS和表面活性剂PL50联合调理,基本不对赤泥浆酸碱性产生影响,某企业国内矿和国外矿赤泥抽滤滤饼含水率降低比例均达15%以上,压滤滤饼含水率降低比例分别达3.18%和6.11%。说明物理助滤剂和化学助滤剂联合调理不仅适用于国内矿赤泥脱水,也适用于国外矿赤泥脱水。

4)物理助滤剂固废XS一定程度上可在赤泥中形成坚硬网格骨架保持多孔结构,起骨架构建的作用,可以解决赤泥的可压缩性问题,为水分排出撑起通道;化学助滤剂PL50起静电斥力和空间位阻作用,在赤泥颗粒表明形成了溶剂化膜,有利于水的排出。

参考文献

- [1] 檀中鑫,穆满根. 赤泥资源综合利用研究现状[J]. 广州化工,2018,46(19):12-65.
TAN Z X, MU M G. Research status of comprehensive utilization of red mud resources [J]. Guangzhou Chemical Industry, 2018, 46(19): 12-13, 65.
- [2] 柳晓,韩跃新,何发钰,等. 赤泥的危害及其综合利用研究现状[J]. 金属矿山,2018,47(11):7-12.
LIU X, HAN Y X, HE F Y, et al. Research status on the hazards and comprehensive utilization of red mud[J]. Metal Mine, 2018, 47(11): 7-12.
- [3] 李彬,张宝华,宁平,等. 赤泥资源化利用和安全处理现状与展望[J]. 化工进展,2018,37(2):714-723.
LI B, ZHANG B H, NING P, et al. Current status and prospects of resource utilization and safe treatment of red mud[J]. Chemical Industry and Engineering Progress, 2018, 37(2): 714-723.
- [4] 马龙. 利用赤泥制备轻质保温材料的工艺与性能研究[D]. 济南:济南大学,2015.
MA L. Study on the process and properties of preparing lightweight thermal insulation materials using red mud[D]. Ji'nan: Ji'nan University, 2015.
- [5] 齐建召. 赤泥道路材料的试验研究[D]. 武汉:华中科技大学,2005.
QI J Z. Experimental research on red mud road materials[D]. Wuhan: Huazhong University of Science and Technology, 2005.
- [6] 师荣梅,宁平,赵健蓉,等. 粉煤灰和硅藻土对昆明污水厂污泥的脱水研究[J]. 昆明理工大学学报(理工版), 2008, 33(5): 65-67, 85.
SHI R M, NING P, ZHAO J R, et al. Study on the dewatering of sludge from Kunming sewage treatment plant using fly ash and diatomaceous earth[J]. Journal of Kunming University of Science and Technology (Science and Technology), 2008, 33(5): 65-67, 85.
- [7] 杨斌,杨家宽,唐毅,等. 粉煤灰和生石灰对生活污水污泥脱水影响研究[J]. 环境科学与技术, 2007, 30(4): 98-99.
YANG B, YANG J K, TANG Y, et al. Study on the effect of fly ash and quicklime on the dewatering of domestic sewage sludge [J]. Environmental Science and Technology, 2007, 30(4): 98-99.
- [8] 范艳辉,范凉娟,齐彪,等. 聚合氯化铝(PAC)改善污泥脱水性能的研究[J]. 环保科技, 2012, 18(1): 34-37.
FAN Y H, FAN L J, QI B, et al. Research on improving sludge dewatering performance with polyaluminum chloride (PAC) [J]. Environmental Protection and Technology, 2012, 18(1): 34-37.
- [9] 赵国玺. 表面活性剂物理化学[M]. 北京:北京大学出版社,1991.
ZHAO G X. Physical chemistry of surfactants [M]. Beijing: Peking University Press, 1991.
- [10] 赵扬. 滤饼微观结构与压榨过滤理论的研究[D]. 杭州:浙江大学,2006.
ZHAO Y. Research on the microstructure of filter cake and the theory of press filtration[D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2006.