

doi:10.3969/j.issn.1007-7545.2023.05.020

我国有色金属冶炼行业废水污染防治的现状与对策

王妍

(中国环境保护产业协会, 北京 100045)

摘要:我国是有色金属生产大国。有色金属冶炼过程中产生的工业废水对环境带来了极大危害。为了不断加大对有色金属冶炼行业水污染的监管力度,我国出台了一系列法规政策。在技术层面,大多数有色金属冶炼企业通过化学、物理或生物的方法进行废水处理,基本实现了废水达标排放的目标。但是冶炼行业环境污染问题仍然突出,污染事故也时常发生。未来,尚需要在源头减污、过程控制、末端治理等方面着力,不断提升有色金属冶炼行业的废水污染防治水平,助力生态环境的改善。

关键词:有色金属;冶炼;废水污染;防治;对策

中图分类号:X52

文献标志码:A

文章编号:1007-7545(2023)05-0145-06

Current Situation and Countermeasures of Wastewater Pollution Prevention in Nonferrous Metals Smelting Industry in China

WANG Yan

(China Association of Environmental Protection Industry, Beijing 100045, China)

Abstract: China is one of the main producers of nonferrous metals. The industrial wastewater produced in the smelting process of nonferrous metals has brought great harm to the environment. In order to continuously strengthen the supervision of water pollution in nonferrous metal smelting industry, China has issued a series of regulations and policies. At the technical level, most nonferrous metal smelting enterprises treat wastewater by chemical, physical or biological methods, basically achieved the goal of wastewater discharge up to standard. However, the environmental pollution problem of smelting industry is still prominent, and pollution accidents often occur. In the future, efforts need to be made in source pollution reduction, process control, end treatment and other aspects to continuously improve the level of wastewater pollution prevention and control in the non-ferrous metal smelting industry and help improve the ecological environment.

Key words: nonferrous metal; metallurgy; wastewater pollution; prevention and treatment; countermeasure

我国经济的快速发展对有色金属的需求量逐步增加,促使以铜、铝、铅、锌为代表的有色金属产量逐年增加。2022年,我国十种有色金属产量达6 774.3万吨,同比增长4.3%,其中,精炼铜、原铝、铅、锌产量分别为1 106.3万吨、4 021.4万吨、

781.1万吨、680.2万吨^[1]。以采矿、选矿及冶炼为主的有色金属工业一方面促进了经济社会的发展,另一方面也带来了日益严重的环境问题。当前,有色金属工业已成为我国工业废水排放及重金属污染的主要来源,尤其是作为有色金属矿产资源开发利

收稿日期:2023-03-14

作者简介:王妍(1984-),女,硕士,高级工程师

用重要环节的冶炼过程当中排放的废水,具有污染物质种类多、组分复杂、重金属浓度高、水量大等特点,如处理不当、甚至随意排放,将会造成严重的环境污染,进而对生态系统及人类健康产生重大危害。因此,有必要采取措施对有色金属冶炼行业废水排放造成的污染进行防治^[2]。本文对我国有色金属冶炼行业废水的来源、危害现状、水污染防治制度体系、废水处理技术等进行综述,并在此基础上梳理行业废水处理存在的问题,提出相应的建议。

1 有色金属冶炼废水的来源及危害

1.1 有色金属冶炼废水的来源

有色金属冶炼通过火法冶炼、湿法浸出、电解提纯等工艺从矿石中提取铜、铝、铅、锌、镉、金、银等有色金属,同时使绝大部分有害元素以废气、废水、废渣的形式排出^[3-6]。排出的废水主要包括设备冷却水、污酸废水、冲洗废水、脱硫废水、冲渣废水等。其中,设备冷却水温度较高,但所含重金属污染离子较少,通过冷却塔冷却后可循环使用;污酸废水含多种重金属离子,且重金属浓度高,酸度高,腐蚀性强,有色金属冶炼通过废水排放的污染物绝大部分集中在污酸废水中,是废水污染控制的重点及难点;冲洗废水和脱硫废水也含有大量的重金属和酸;冲渣废水含有炉渣微粒及少量重金属离子。

总体而言,有色金属冶炼过程中产生的废水来源广、排放量大、污染物种类多、重金属含量较高,处理难度大,危害性极强。

1.2 有色金属冶炼废水污染的危害

1) 废水污染对水环境的危害^[7-9]

重金属及酸性物质在水环境中蓄积到一定程度会破坏动植物及微生物正常的生长代谢功能,抑制其发育,甚至导致其死亡。

2) 废水污染对土壤环境的危害

排放到土壤中的废水,其中的重金属会降低土壤中的微生物量,减少土壤系统的生物多样性,酸性物质则会改变土壤的酸碱平衡,从而影响土壤结构和功能的稳定。

3) 废水污染对人体的危害

重金属具有不可降解性和生物累积性,可以通过食物链在人体中富集,从而危害人体健康。

4) 废水污染对设备及建筑的危害

含酸废水若未经妥善处理就进行排放,将会腐蚀设备、管道,并对桥梁、堤坝的安全性与稳定性产生影响。

2 有色金属冶炼行业水污染防治制度体系

随着环境形势的日益严峻,国家逐渐加大对有色金属冶炼行业水污染的监管力度。近年来,与有色金属冶炼行业水污染防治相关的法律法规、政策、标准等的制度建设取得了重大进展,日益健全、完善的法律法规、政策和标准体系促使有色金属冶炼行业水污染防治工作更加规范有序^[2]。

2.1 实施排污许可,对有色金属冶炼行业排污行为加强监管

2015年,《水污染防治行动计划》(国发[2015]17号)提出制定有色金属等十大重点行业专项治理方案,实施清洁化改造。此后,国务院印发《控制污染物排放许可制实施方案》(国办发[2016]81号),提出2017年完成《水污染防治行动计划》重点行业及产能过剩行业企业排污许可证核发,2020年在全国基本完成排污许可证核发。

2018年,生态环境部制定了《排污许可管理办法(试行)》,并于2019年发布《固定污染源排污许可分类管理名录(2019年版)》,规定了纳入排污许可管理的固定污染源行业范围和管理类别,将铜、铅、锌冶炼企业纳入该名录的重点管理排污单位。当前,以《排污许可证申请与核发技术规范 有色金属—铜冶炼》(HJ 863.3—2017)、《排污许可证申请与核发技术规范 有色金属工业—铅锌冶炼》(HJ 863.1—2017)为核心,以《污染源核算技术指南 有色金属冶炼》(HJ 983—2018)为配套,涉铜、铅、锌管理的有色金属冶炼行业重点领域排污许可制度体系基本成型,对于加强有色金属冶炼行业排污行为监管,包括对废水排放的监管具有重大意义。

2.2 开征环境税,促进有色金属冶炼行业加强污染防治

2018年1月1日起施行的《中华人民共和国环境保护税法》(以下简称《环保税法》)是我国第一部为保护和改善环境,减少污染物排放,推进生态文明建设而专门制定的单行税法。按照环境保护税法的规定,应税水污染物按照污染物排放量折合的污染当量数确定计税依据,纳税人排放应税水污染物的浓度值低于排放标准30%的,减按75%征收环境保护税;低于排放标准50%的,减按50%征收环境保护税。《环保税法》通过税收调控的方法促进了有色金属冶炼企业积极采取措施开展技术创新、落实国家污染排放标准、加强水污染防治,大大促进了产业

的绿色循环发展。

2.3 建立污染防治技术政策体系,提升行业污染防治水平

我国建立了以污染防治技术政策、污染防治最佳可行技术指南、环境工程技术规划等为主要内容,并覆盖多个工业行业的技术管理体系,为包括污水处理在内的各类污染防治提供强有力的技术支持。为促进有色金属冶炼行业生产工艺和污染治理技术的进步,从2012年起,生态环境部先后发布了《铅锌冶炼工业污染防治技术政策》《砷污染防治技术政策》《汞污染防治技术政策》《铅冶炼污染防治最佳可行技术指南(试行)》(HJ-BAT-7)、《铜冶炼污染防治可行技术指南(试行)》《钴冶炼污染防治可行技术指南(试行)》《镍冶炼污染防治可行技术指南(试行)》(环境保护部公告2015年第24号)及《铅冶炼废水治理工程技术规范》(HJ 2057—2018)、《铜冶炼废水治理工程技术规范》(HJ 2059—2018),推动有色金属冶炼行业从业单位水污染防治措施升级改造和技术进步,规范废水治理工程的建设与运行管理,提升行业污染防治水平。

3 有色金属冶炼行业废水处理的主要技术

目前,全国大多数有色金属冶炼企业均通过化学、物理或生物的方法去除废水中的污染物,使处理后的水满足相关工业污染物排放标准。

3.1 化学处理法

化学处理法是通过化学反应将废水中溶解态的重金属等污染物质转变成不溶的化合物或元素,通过沉淀或过滤等方法将污染物从废水中去除的方法^[10-13],主要包括化学沉淀法、电化学法等。

3.1.1 化学沉淀法

化学沉淀法主要有中和沉淀法、硫化物沉淀法、碳酸盐沉淀法、钡盐沉淀法、铁氧化沉淀法等。目前,我国有色金属冶炼企业应用最普遍的是中和沉淀法和硫化物沉淀法。中和沉淀法是向废水中加入沉淀剂,如氢氧化钠或石灰等,使其与重金属离子反应形成不溶于水的化合物,从而去除水中重金属离子,并有效中和废水酸度的方法。该方法工艺成熟稳定、操作简单,可同时去除多种重金属离子,且原料来源广泛、易制备,处理费用低,但该方法会产生大量含水率高的泥渣,渣中重金属品位低,难以回收利用,易造成二次污染;硫化法是通过加入硫化剂,

使废水中的重金属离子生成难溶于水的硫化物,从而沉淀去除的方法,该方法重金属去除率高、沉渣量少,便于回收有价金属,缺陷是一些试剂的价格较高,成本相对大,反应过程中会产生硫化氢气体,易对人体造成伤害。

3.1.2 电化学法

利用电解的基本原理,使废水中的重金属离子在阴阳两极上分别进行氧化还原反应,并去除沉淀在电极表面或反应器底部的重金属,主要包括电絮凝法、微电解法和电还原法等。该方法具有去除率高、无二次污染、所沉淀的重金属可回收利用等优点,但也存在电极易结垢、能耗大、处理成本高等缺点。

3.2 物理处理法

物理处理法是利用吸附和溶解等物理方式去除有色金属冶炼废水中重金属等污染物质的方法^[14-16],主要包括吸附法、膜分离法、离子交换法、气浮法等。

3.2.1 吸附法

吸附法是利用一些具有高比表面积结构的吸附材料对废水中的重金属及其他污染物有较强亲和力的特性,通过吸附作用去除废水中污染物质的方法。该方法可用于重金属的回收和废水的深度处理回用。传统吸附剂主要有活性炭、沸石和黏土矿物等,随着科学技术的不断进步,纳米材料等一些新的吸附材料也不断涌现。

3.2.2 膜分离法

膜分离法是利用膜的选择特性,再借助外加力作用,使重金属离子等污染物质从废水中分离、浓缩并去除的方法。常见的膜分离技术有微滤、超滤、纳滤、反渗透、电渗析等。该方法操作简单、能耗小、处理效果较好,但处理过程需消耗大量的膜材料,因此运营成本较高。

3.2.3 离子交换法

利用离子间浓度差和交换剂上的功能基对离子的亲和能力,使离子交换剂上的离子与废水中的离子进行交换,从而去除污染物。废水处理中常用离子交换树脂(阳离子交换树脂、阴离子交换树脂、螯合树脂等)作为离子交换剂。离子交换法主要适用于处理含重金属的废水,也是软化、脱盐的主要方法之一,该方法的优点为处理装置简单、处理量大,且具有回收金属、废水可循环利用的长处,但离子交换剂普遍存在强度低、易氧化失效、再生频繁等问题,因此运营成本较高,不适合处理高浓度、水质变化大的重金属废水。

3.2.4 气浮法

气浮法是向废水中通入气体产生气泡,使废水中的污染物黏附在气泡表面,形成悬浮状态的絮体或浮渣层,然后用刮渣机刮除泡沫,从而去除废水中污染物质的方法。气浮法常用于处理含有溶解性油类、浊度 <100 NTU、低温条件下污染物不易沉淀的污水,如用气浮法可处理因铅、锌、铜的浮选中添加的起泡剂等油类物质污染产生的废水。

3.3 生物处理法

生物处理法是利用生物体(主要是微生物或植物)的吸收和富集等作用去除有色金属冶炼废水中重金属等污染物质的方法^[17-19]。

3.3.1 微生物治理法

微生物处理有色金属冶炼废水中重金属的机理包括吸附作用以及沉淀作用。其中,微生物吸附法是利用微生物表面的电荷,通过静电和共价的相互作用将废水中重金属离子吸附到微生物表面,从而有效去除废水中的重金属,该方法对重金属废水的处理效率高,对温度和 pH 的要求低,但因高浓度重金属可能对微生物产生毒性效应,因此该方法不适用于处理高浓度重金属废水;微生物沉淀法是利用微生物(细菌、霉菌和酵母菌等)或微生物衍生物对重金属离子进行絮凝沉淀,从而去除废水中重金属的方法,该方法不易产生二次污染,但也存在部分微生物活体难以储存且制备成本较高、易受废水中有毒物质干扰的缺点。

3.3.2 植物治理法

利用高等植物对废水中的重金属离子进行吸收、富集等作用,实现废水中重金属离子的去除。该方法投资少、节能环保,主要适用于大范围的水污染处理,可以较好的改善水体的自净能力,但处理周期长,受废水浓度、气候影响大,还存在重金属等污染物通过食物链进入人体和自然界的隐患。

总之,以上方法各有优缺点,实际应用中需根据自身的实际情况,选择一种或几种方法联合使用,达到最佳的处理效果。

4 有色金属冶炼行业废水处理存在的问题及建议

4.1 有色金属冶炼行业废水处理存在的问题

目前,我国绝大部分有色金属冶炼企业都实现了废水达标排放的目标,但冶炼行业环境污染问题仍然突出,污染事故也时常发生。一些较大的有色金属冶炼企业基本上开展了清洁生产,从源头削减

废水产生量,提高用水循环率,尽量做到清污分流,减少废水的排放。但从整体上看,部分冶炼企业还存在以下问题^[20-22]:

1)生产工艺落后,资源回收利用率低、多种重金属离子排放到废水中,加重了末端水处理负荷,导致污染控制成本较高;

2)废水排放量大,出水回用率较低,水资源严重浪费;

3)排污管道设施不完善,废水排放没有实现清污分流,各种工业废水混杂,混排现象严重;

4)废水处理技术装备水平较低,处理能力不足,导致废水排放不能稳定达标,净化水质不能满足生产回用及环境保护要求;

5)冶炼废水处理产生的中和渣、硫化渣等大量堆积,尚未得到有效的处理处置等。

4.2 有色金属冶炼行业废水污染防治的建议

2022年3月,生态环境部发布的《关于进一步加强重金属污染防治的意见》(环固体〔2022〕17号)(以下简称《意见》),要求到2025年,有色金属冶金业等6大全国重点行业的重点重金属污染物排放量比2020年下降5%,进一步增强重金属环境管理能力。可以看出,随着环保要求的日益提高,仅仅达标排放已无法满足当前废水污染控制及生态环境保护要求。为进一步提高有色金属冶炼行业的废水污染防治水平,针对行业废水污染防治当前存在的问题,提出以下建议^[23-27]:

1)源头减污

推动产业结构调整,淘汰落后、高能耗、高污染冶炼工艺,采用先进、低污染、绿色、节水型冶炼工艺技术装备,实现设备智能化、大型化、高度自动化,提高企业精细化管理水平,从源头上提高用水效率,控制和减少废水及废水污染物的产生。

2)过程控制

一方面,要优化系统用水循环,提高系统水循环利用率。构筑“废水分级处理—分质回用”模式,即冶炼废水应实现分类收集、分质处理,实现清污分流、雨污分流,废水处理应优先回用,开发废水智能化调配技术,最大程度提高废水复用率,减少废水污染物排放量;另一方面,要提高资源利用效率。针对废水中重金属等污染物质、冶炼废渣,攻关有价资源的回收和利用技术,通过提高稀贵金属及铜、铅、锌等资源的利用率,间接减轻末端水处理负荷。

3)末端治理

一方面,进一步研发先进废水处理工艺,如重金

属废水深度处理回用技术等,根据废水性质合理选择优势技术,降低吨水处理运行成本及能耗,最大程度实现有色金属、酸的资源利用,降低冶炼废渣的产生量,减少有价金属的损失;另一方面,对前期形成的废水处理单项关键技术向“工艺节水一分质回用—末端治理技术集成”方向进行升级,成熟后面向所有有色金属冶炼企业进行推广。

5 结语

“绿水青山就是金山银山”,在发展有色金属冶炼工业的同时,加强行业的废水污染防治,是实现可持续发展的题中之义。经过多年的探索,我国有色金属冶炼行业废水污染防治工作取得了一定的成效,但是也应当看到,防治形势仍然十分严峻。“十四五”期间,如何在“十三五”经验的基础之上,严格落实水污染防治相关政策法规,促进技术创新,在进一步加强废水排放末端处理的同时,不断改进生产工艺,利用清洁生产方式进行生产,实现源头及过程减污,从而促进产业绿色循环发展,将是有色金属冶炼行业水污染防治工作的重点。

参考文献

- [1] 国家统计局. 有色行业 2022 年 1-12 月运行情况[EB/OL]. [2023-02-12]. <https://www.chinania.org.cn/html/hangyetongji/chanyeshuju/2023/0227/52689.html>. National Bureau of Statistics. Operation of non-ferrous industry from January to December 2022 [EB/OL]. [2023-02-12]. <https://www.chinania.org.cn/html/hangyetongji/chanyeshuju/2023/0227/52689.html>.
- [2] 王妍. 我国有色金属工业土壤重金属污染防治的现状与对策[J]. 有色金属(冶炼部分), 2021(3):1-9. WANG Y. Status and countermeasures on soil heavy metals pollution control in nonferrous metals industry in China[J]. Nonferrous Metals (Extractive Metallurgy), 2021(3):1-9.
- [3] 李天国,徐晓军,聂蕊,等. 有色金属采选废水的来源、特征、危害及净化技术研究进展[J]. 化工进展, 2015(10): 3769-3778. LI T G, XU X J, NIE R, et al. Progress of the source, characteristic, damage and purification technique of non-ferrous metals mining and beneficiation wastewater[J]. Chemical Industry and Engineering Progress, 2015(10): 3769-3778.
- [4] 颜瑜光. 有色金属冶炼废水的相关问题分析[J]. 化工管理, 2016(17):273-275. YAN Y G. Analysis of relevant problems of nonferrous metal smelting wastewater[J]. Chemical Management, 2016(17):273-275.
- [5] 张小红. 坚决打好有色金属行业生态污染防治攻坚战[J]. 中国有色金属, 2019(19):50-51. ZHANG X H. Resolutely fighting against ecological pollution in the nonferrous metal industry[J]. China Nonferrous Metals, 2019(19):50-51.
- [6] 莫国荣,吴忠何. 有色金属冶炼废水处理的研究现状和发展趋势[J]. 世界有色金属, 2019(3):21,23. MO G R, WU Z H. Research status and development trend of nonferrous metal smelting wastewater treatment[J]. World Nonferrous Metals, 2019(3): 21,23.
- [7] 赵宇. 重金属废水污染的危害[J]. 江西化工, 2016(3): 145-146. ZHAO Y. The hazard of heavy metal wastewater[J]. Jiangxi Chemical Industry, 2016(3):145-146.
- [8] 赵晓磊,季晓楠,齐雪萌. 中国主要废水排放行业的污水特征污染物研究[C]//中国环境科学学会环境工程分会. 中国环境科学学会 2022 年科学技术年会:环境工程技术创新与应用分会场论文集(三). 北京:《工业建筑》杂志社有限公司, 2022:7. ZHAO X L, JI X N, QI X M. Study on characteristic pollutants of wastewater in major wastewater discharge industries in China [C]//Environmental Engineering Branch of Chinese Society for Environmental Sciences. Proceedings of the 2022 Annual Conference of Chinese Society for Environmental Sciences on Science and Technology: Environmental Engineering Technology Innovation and Application Branch (Ⅲ). Beijing: Industrial Construction Magazine Co., Ltd., 2022:7.
- [9] 郑晓明,张守伟. 中国有色金属工业废水污染特征分析[J]. 中国锰业, 2017,35(3):142-144. ZHENG X M, ZHANG S W. Pollution characteristics of wastewater from nonferrous metals industry in China[J]. China Manganese Industry, 2017, 35(3): 142-144.
- [10] 王庆伟,邵立南,阮久莉,等. 有色金属行业水污染治理成套集成技术[M]. 北京:化学工业出版社, 2022: 9-21. WANG Q W, SHAO L N, RUAN J L, et al. Complete set of integrated technology for water pollution control in non-ferrous metal industry [M]. Beijing: Chemical Industry Press Co., Ltd., 2022:9-21.
- [11] 曹雷斌. 关于有色金属冶炼中废水的净化处理技术探究[J]. 化工管理, 2017(5):182. CAO L B. Research on purification technology of wastewater from nonferrous metal smelting[J]. Chemical

- Management, 2017(5):182.
- [12] 张力萍, 易玉龙, 毛春奎. 有色金属工业废水的有效处理方法[J]. 世界有色金属, 2017(15):2-3.
ZHANG L P, YI Y L, MAO C K. Effective treatment method of wastewater from non-ferrous metal industry[J]. World Nonferrous Metals, 2017(15):2-3.
- [13] 王从未. 关于重金属废水处理技术的研究[J]. 皮革制作与环保科技, 2021(21):81-82.
WANG C W. Study on treatment technology of heavy metal wastewater[J]. Leather Manufacture and Environmental Technology, 2021(21):81-82.
- [14] 邵德毅. 吸附法处理重金属废水污染的研究进展[J]. 山东化工, 2019(7):57-59.
SHAO D Y. Research progress on adsorption of heavy metal wastewater by adsorption[J]. Shandong Chemical Industry, 2019(7):57-59.
- [15] 王秀婷, 付永德. 冶金行业重金属污染水体的处理技术研究进展[J]. 冶金管理, 2018(14):84-85.
WANG X T, FU Y D. Research progress in treatment technology of heavy metal polluted water in metallurgical industry[J]. China Steel Focus, 2018(14):84-85.
- [16] 高利亚. 重金属水污染处理方法的研究进展[J]. 化学工程师, 2022(4):56-60.
GAO L Y. Research progress of heavy metal water pollution treatment methods[J]. Chemical Engineer, 2022(4):56-60.
- [17] 李平. 生物质处理废水中重金属研究进展[J]. 再生资源与循环经济, 2021(8):40-42.
LI P. Research progress of heavy metals in biomass treatment wastewater[J]. Recyclable Resources and Circular Economy, 2021(8):40-42.
- [18] 张珊, 邓运全. 基于生态修复理念的重金属水污染现状分析及治理措施[J]. 世界有色金属, 2021(2):202-203.
ZHANG S, DENG Y Q. Analysis of the status quo of heavy metal water pollution and treatment measures based on the concept of ecological restoration[J]. World Nonferrous Metals, 2021(2):202-203.
- [19] 刘霞. 国内外重金属废水处理新技术的研究进展[J]. 信息记录材料, 2020(1):13-14.
LIU X. Research progress of new technologies for heavy metal wastewater treatment at home and abroad[J]. Information Recording Materials, 2020(1):13-14.
- [20] 郭玲. 重金属废水处理问题和对策研究[J]. 环境与发展, 2018(1):71, 73.
GUO L. Study on the treatment of heavy metal wastewater and countermeasures[J]. Environment and Development, 2018(1):71, 73.
- [21] 吴学信, 冯志诚. 重金属废水处理技术和资源化问题研究[J]. 环境与发展, 2018(2):127-128.
WU X X, FENG Z C. Study on heavy metal wastewater treatment technology and resource reuse [J]. Environment and Development, 2018(2):127-128.
- [22] 夏毅. 有色金属冶炼废水处理现状及发展趋势研究[J]. 中国金属通报, 2022(3):198-200.
XIA Y. Research on current situation and development trend of non-ferrous metal smelting wastewater treatment[J]. China Metal Bulletin, 2022(3):198-200.
- [23] 王庆伟, 邵立南, 阮久莉. 有色金属冶炼行业水污染全过程控制技术发展蓝皮书[M]. 北京: 冶金工业出版社, 2021:45-47.
WANG Q W, SHAO L N, RUAN J L. Blue book on the development of the whole process control technology of water pollution in the nonferrous metal smelting industry[M]. Beijing: Metallurgical Industry Press, 2021:45-47.
- [24] 贾杰林, 卢然, 王兆苏, 等. “十三五”时期我国重金属污染防治思路与任务[J]. 环境保护科学, 2018(2):1-5.
JIA J L, LU R, WANG Z S, et al. Study of the ideas and tasks of prevention and control of heavy metal pollution during “the 13th Five-year Plan Period”[J]. Environmental Protection Science, 2018(2):1-5.
- [25] 王龙运, 黄建明, 尤振平. “十四五”有色金属工业需要转型发展[J]. 中国投资(中英文), 2020(专辑8):28-29.
WANG L Y, HUANG J M, YOU Z P. Non-ferrous metal industry needs transformation and development during “the 14th Five-Year Plan”[J]. China Investment (Chinese and English), 2020(Z8):28-29.
- [26] 翟继武, 陈宏宇, 王良, 等. 有色金属冶炼废水处理现状和发展趋势[J]. 有色金属设计, 2021(4):31-33.
ZHAI J W, CHEN H Y, WANG L, et al. Current situation and development trend of wastewater treatment of nonferrous metal smelting[J]. Nonferrous Metals Design, 2021(4):31-33.
- [27] 刘勇. 重金属废水处理技术现状与发展趋势的研究[J]. 皮革制作与环保科技, 2020(16):66-71.
LIU Y. Research on the status and development trend of heavy metal wastewater treatment technology[J]. Leather Manufacture and Environmental Technology, 2020(16):66-71.