

文章编号: 1674—8247(2019)02—0010—04

DOI:10.12098/j.issn.1674-8247.2019.02.003

铁路隧道施工废水的混凝处理试验研究

娄掌印

(中铁隧道局集团有限公司, 广州 511458)

摘要:隧道施工废水的污染物主要以悬浮物为主,直接排放将对周边环境造成影响。本文以天目山隧道施工过程中产生的废水为研究对象,结合当地特殊的施工环境,选取4种絮凝剂(聚合硫酸铁、硫酸亚铁、硫酸铝和聚合铝-阳离子有机高分子絮凝剂)对隧道施工中产生的废水进行絮凝沉淀处理。结果表明,呈酸性的“聚合铝-阳离子有机高分子”絮凝剂较适合于偏碱性的隧道施工废水处理。该絮凝剂的脱稳和絮凝效果较好,投放量达到30 mg/L时,施工废水中的含油量和SS的去除率分别为12%和95%。该絮凝剂去除废水中悬浮物的同时,也有效的去除了石油类物质,投量少、性价比高,适合隧道施工中产生的废水处理。

关键词:隧道; 施工废水; 悬浮物; 絮凝剂

中图分类号:X703

文献标志码:A

Experimental Study on Coagulation Treatment of Wastewater from Railway Tunnel Construction

LOU Zhangyin

(China Railway Tunnel Group Co., Ltd., Guangzhou 511458, China)

Abstract: The suspended substances are the main pollutants in railway tunnel construction wastewater, and the direct discharge of the wastewater will affect the surrounding environment. The four flocculants (polyferric sulfate, ferrous sulfate, aluminium sulfate and polyaluminium-cationic organic macromolecule flocculant) were selected to treat the wastewater produced during the construction of Tianmushan Tunnel according to local special construction environment. The results show that the acidic flocculant of polyaluminium-cationic organic polymer is more suitable for the treatment of alkaline tunnel construction wastewater. The destabilization and flocculation effect of the flocculant are better. When the dosage reaches 30 mg/L, the oil content and SS removal rate in the construction wastewater reach 12% and 95% respectively. The flocculant not only removes suspended substances in the wastewater, but also effectively removes petroleum substances. It is suitable for wastewater treatment in tunnel construction because of its low dosage and high cost performance.

Key words: tunnel; construction wastewater; suspended substances; flocculant

随着铁路建设项目的快速发展,隧道在山岭或重丘地带公路、铁路中所占的比例也日益提高^[1]。隧道

建设促进了国家经济的发展,但人们也逐步关注其施工造成的环境污染与生态破坏^[2-3],尤其是施工中产

收稿日期:2019-01-22

作者简介:娄掌印(1973-),男,高级工程师。

引文格式:娄掌印. 铁路隧道施工废水的混凝处理试验研究[J]. 高速铁路技术,2019,10(2):10-13.

LOU Zhangyin. Experimental Study on Coagulation Treatment of Wastewater from Railway Tunnel Construction [J]. High Speed Railway Technology, 2019,10(2):10-13.

生的废水对周边河流、土壤以及植被的影响。隧道施工废水主要来源于开挖阶段^[4-5],施工设备产生的废水,注浆过程产生的废水,穿越不良地质时的涌水,爆破后的降尘水,基岩裂隙渗水等^[6-7]。铁路隧道施工废水中主要污染物为 SS^[8]。研究表明,在高浓度 SS 下,鱼类存活时间只有 12~120 min 不等,SS 浓度影响水生生物存活时间^[9]。对铁路隧道施工产生的废水进行处理对环境保护、社会生活和铁路交通建设等都具有重要的意义。

目前对于隧道施工废水主要采用混凝、沉淀、气浮及过滤等物理化学方法进行处理。部分施工废水由于受到场地的限制,只能简单引入沉淀池进行自然沉淀处理后排放,该方法虽然简单易行,但对施工中产生的含油废水等不能有效去除^[10],对废水的处理效果不够理想。随着各类有机絮凝剂、无机絮凝剂以及生物絮凝剂等产品的开发,絮凝剂在悬浮物含量较高的废水中的应用越来越多,用于隧道施工废水处理的絮凝剂就达到几百种^[11],对于适合隧道施工废水处理絮凝剂的选择及处理效果研究具有重要的意义。隋淑梅等人^[12]对比分析了不同絮凝剂对铁尾矿的絮凝效果试验研究,絮凝剂可以有效浓缩铁尾矿浆,取得了较好的絮凝沉淀效果。杨斌等人^[13]对不同施工阶段的污水进行检测分析表明,隧道涌(用)水、初期废水、中期废水、末期废水的 PH 均呈碱性(PH 在 8 以上),初期和中期废水中的悬浮物含量最高,其值超过 1 000 mg/L,为隧道施工废水中的主要污染物,而 NH₃-N、总磷可以达到 GB 8978-1996《污水综合排放标准》一级排放标准的要求,COD_{cr}以及油类污染物仅在施工初期无法满足排放标准的要求,经絮凝剂处理沉淀后废水可以达标排放。絮凝剂处理高浓度悬浮物,由于其可操作性强,性价比高等优点,其在隧道施工废水中的应用也越来越多^[14]。

目前针对天目山隧道施工产生废水的特性和特殊的施工环境,采用化学混凝沉淀的方法对其产生的施工废水进行处理,将高含量的悬浮物以及油类物质去除。在前期水质分析测试的基础上,针对施工废水呈碱性的特征,结合施工现场特殊的地理环境以及施工条件,同时参考国内外类似性质隧道废水的处理方法,在综合考虑和对比分析后,对天目山隧道施工废水拟考虑采用物理化学的方式进行废水处理。本研究拟选取絮凝剂沉淀的方法处理施工产生的废水,通过对比分析,选择在天目山特殊环境下最适合的施工隧道废水处理工艺,将隧道施工产生的废水对环境危害程度降到最低。

1 工程概况

天目山隧道地处于中低山区,位于天目山脉的西南,起始于浙江省淳安县的临岐镇徐家庄村,终止于安徽省的歙县三阳乡黄坞村,测区内最高的山峰海拔标高为 1 140 m,最低的沟谷海拔标高为 375 m,最大相对高差为 850 m。起讫里程 DK 201+823~DK 213+836,隧道全长 12.013 km,正洞隧道设计为单洞双线隧道。该地区的地形陡峻,沟谷深切,地质构造复杂。

隧道施工穿越不良的地质地段时产生的涌水、施工机械废水、爆破降尘废水、喷射混凝土和注浆作业废水及基岩的裂隙水汇聚成隧道施工废水,如果废水直接排入到新安江上游河流,将会造成水体的环境污染与周边生态植被的破坏,因此隧道施工废水的处理至关重要。

2 试验材料与方法

2.1 试验仪器及试剂

(1)试验仪器:PH 测定仪,絮凝试验仪,电子天平,COD 分析仪,22pc-分光光度计,恒温磁力搅拌器等。

(2)试验试剂:实验选取 4 种不同类型的絮凝剂,试验所用试剂均为分析纯,如表 1 所示。

表 1 试验所用絮凝剂种类及分子式

编号	名称	分子式	略记号
1	聚合硫酸铁	$[\text{Fe}_2(\text{OH})_n(\text{SO}_4)_{3-n/2}]_m$	PFS
2	硫酸亚铁	FeSO_4	MC
3	硫酸铝	$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$	AS
4	聚合铝-阳离子有机高分子絮凝剂	-	PAC-OP

2.2 分析及测试方法

SS:重量法,参照 GB 11901-1989;PH:PHS-3c 型酸度计测定;含油量:红外分光光度法,参照 GB/T16488-1996;COD:HACH-COD 测定仪(用重铬酸钾标准法 GB 11914J 进行校正)。

2.3 试验方案

测试水样取自杭黄铁路站前 I 标天目山隧道出口施工现场的废水,将取来的废水水样混合后搅拌 5 min,依次装入测试烧杯中。在恒温 23℃的条件下,将待测试样放置在混凝仪中,设置好搅拌时间以及转速等。加入不同量的絮凝剂,设定好沉淀的时间后,开始计时,记录实验中形成矾花初始的时间和质量,实验结束后,记录 10 min、30 min 以及 50 min 的沉淀情况。并测定沉淀后上清液的悬浮物、PH 值、COD 含量以及

含油量等。

3 试验结果

3.1 施工废水水质特征分析

由表 2 可知,取样点采集的施工废水进行检测分析表明,施工隧道排水中 SS 超标严重,为 1 类标准值的 4.7 倍,PH 为 10.06,为强碱性,NH₃-N、COD、总磷以及含油量浓度达标。本实验主要选取废水中的 SS、COD 和含油量 3 个主要污染物指标进行分析。

表 2 施工废水水质

编号	项目	水质变化范围	平均值	标准 1
1	pH	9.23 - 10.88	10.06	6 - 9
2	COD _{cr} /(mg/L)	71.51 - 116.97	94.24	100
3	氨氮/(mg/L)	1.76 - 4.53	3.15	15
4	总磷/(mg/L)	0.17 - 0.38	0.28	0.5
5	SS/(mg/L)	1 190 - 1 370	1 280	70
6	含油量/(mg/L)	6.12 - 11.35	8.74	10

注:标准 1 为 GB 8978 - 1996《污水综合排放标准》中的一级标准

3.2 隧道施工废水中 SS 污染物去除效果

絮凝剂投加量与处理后水中的 SS 去除效果的关系,如图 1 所示。在隧道施工废水中添加 4 种不同类型的絮凝剂后均产生了明显的沉淀效果,SS 值均显著降低。随着絮凝剂投加量的逐渐增加,废水中 SS 的含量呈现降低的趋势。当絮凝剂投加量为 30 mg/L 时,对 SS 的去除效果依次为 PAC-OP>PFS>FS>AS,其对 SS 的去除率分别为 95%,77%,75% 和 74%。

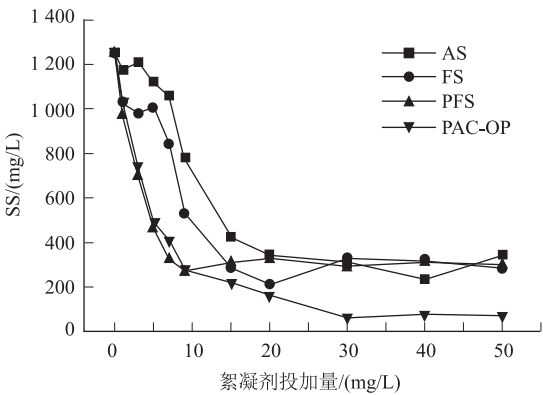


图 1 絮凝剂投加量与处理后水中 SS 去除效果关系图

硫酸铝主要通过吸附脱稳以及卷扫沉淀等作用方式对水体中悬浮物颗粒起到凝聚作用,这些水解的 Al³⁺、各种形态的水解聚合产物和最终的 Al(OH)₃ 胶体产物连接胶体颗粒物并形成较大絮体,形成共同沉淀的混凝作用,但处理效果并不理想。硫酸亚铁 (FS) 的絮凝机理主要是水解出能生成简单单核络合物的二价铁离子,该单核络合物凝聚的速度缓慢,受 PH 值的

影响较大,对废水的絮凝效果不如铝盐和氯化铁。聚合硫酸铁 (PFS) 的絮凝机理主要是水处理过程中形成具有较高的表面积 (200 ~ 1 000 m²/g) 的聚合物,强烈吸附废水中的浮游生物、重金属离子以及胶体杂质等。混凝处理的过程中,PFS 可提供对水中胶体颗粒起到多种混凝作用的多种组分核羟基络合物。负电性胶粒和悬浮物吸引分子量小的高价络离子进入紧密层,起到压缩胶粒双电层,从而降低毛电位的作用,促使胶粒迅速脱稳而聚沉,进而提高了 PFS 混凝效果。而当聚合铝-阳离子有机高分子絮凝剂的投药量为 30 mg/L 时,SS 达到了最小值 62 mg/L。说明聚合铝-阳离子有机高分子絮凝剂絮凝增强作用靠有机高分子较长分子链在脱稳到一定程度颗粒物间架桥而形成较大的絮体,通过卷扫作用而将水中的颗粒物彻底的去除^[15]。处理后废水中的 PH 值随着投加药量的增加,由碱性逐渐向酸性过渡。静置过程中废水中出现了清晰的分界面,随着静置时间的增加,分界面逐渐下降。这主要是由于上清液中悬浮物的含量小于 70 mg/L,废水中的悬浮物质被去除达到了理想的处理效果,因此处理后的上清液较清晰。

3.3 隧道施工废水中 COD 污染物去除效果

絮凝剂投加量与处理后水中的 COD 关系,如图 2 所示。硫酸铝 (AS)、硫酸亚铁 (FS) 以及聚合硫酸铁 (PFS) 三类絮凝剂加入废水后,废水中的污染物 COD 含量逐渐降低,30 mg/L 后,COD 去除率的趋势变得平缓。当絮凝剂投加量为 30 mg/L 时,对 COD 的去除效果依次为 PFS>FS>AS,其对 COD 的去除率分别为 63%,26% 和 25%,说明无机类絮凝剂对废水中 COD 的去除效果不理想。而聚合铝-阳离子有机高分子絮凝剂 (PAC-OP) 随着其投加量的增加,处理后废水中的 PH 值逐渐向酸性过渡,COD 的去除率先降低后增加,当其投加量为 30 mg/L 时,PH 值为 6.35,COD 含量为 98.25 mg/L。这主要是投加的聚合铝-阳离子有机高分子絮凝剂为含有机物质有机高分子絮凝剂,

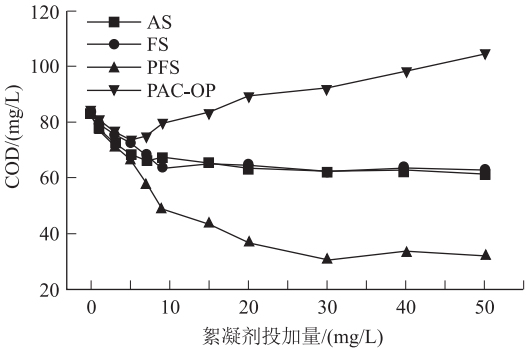


图 2 絮凝剂投加量与处理后水中 COD 去除效果关系图

投加量过多时造成水中 COD 含量略有增加。

3.4 隧道施工废水中含油污染物去除效果

处理时,向废水中加入混凝剂,消除或降低水中胶体颗粒间的相互排斥力,使水中胶体颗粒易于相互碰撞和附聚搭接而形成较大颗粒或絮凝体,进而从水中分离出来。然后与沉淀、过滤等结合使用,去除水中悬浮物和胶体物质^[16]。有机高分子絮凝剂之所以被人们重视,是因为可以弥补无机絮凝剂的不足,具有效果理想、用量少、渣量少、受外界条件影响小、且便于处理等优点。是通过架桥方式将两个或更多的微粒物连接在一起,从而絮凝,即分子链一端会吸附在颗粒表面上,而长链的另一端同时也可以吸附在另一个粒子表面^[17]。

絮凝剂投加量与处理后水中含油污染物去除效果的关系,如图3所示。在隧道施工废水中添加4种不同类型的絮凝剂后均对含油污染物的去除效果一般。随着絮凝剂投加量的逐渐增加,废水中含油污染物的去除效果降低后逐渐平缓。当絮凝剂投加量为30 mg/L时,对含油污染物的去除效果依次为PFS>AS>FS>PAC-OP,其对含油污染物的去除率分别为22%,20%,16%和12%。

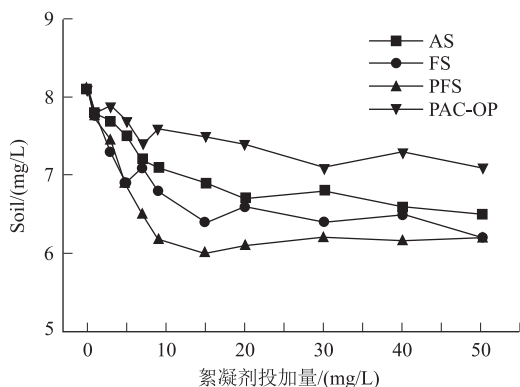


图3 絮凝剂投加量与处理后水中含油量去除效果关系图

4 结论

通过4种絮凝剂对隧道施工废水的处理效果的试验研究发现,“聚合铝-阳离子有机高分子”絮凝剂的脱稳效果较好,该絮凝剂本身具有酸性,对于施工过程中产生的碱性隧道施工废水具有酸碱中和的改善作用。该絮凝剂具有形成絮体快、沉淀速度快等优点,在去除废水中悬浮物质的同时,也可有效去除石油类物质等,且投加量少,综合性价比高,适合于特殊环境下隧道施工废水的处理。当“聚合铝-阳离子有机高分子”絮凝剂的投放量为30 mg/L时,废水中含SS和含油污染物

的去除率分别达到95%和12%,处理后的废水可以满足GB 8979-1996《污水综合排放标准》中的I级排放标准的要求。

参考文献:

- [1] 薛正. 隧道施工废水处理过程中混凝剂的应用研究[J]. 铁路节能环保与安全卫生, 2018, 8(5): 232-236.
XUE Zheng. Application of Coagulant in Tunnel Construction Wastewater Treatment [J]. Railway Energy Saving & Environmental Protection & Occupational Safety and Health, 2018, 8(5): 232-236.
- [2] 张慧, 刘文剑, 吴湘滨. 雪峰山隧道施工中的水环境研究[J]. 西部交通科技, 2007, 2(2): 76-78.
ZHANG Hui, LIU Wenjian, WU Xiangbin. Study on the Aquatic Environment Impacted by the Construction of Xuefeng Mountain Tunnel [J]. Western China Communications Science & Technology, 2007, 2(2): 76-78.
- [3] 朱旻航, 陈玉成, 蒋红梅. 山区隧道施工废水的水泥混凝处理研究[J]. 环境科学与技术, 2011, 34(7): 90-93.
ZHU Minhang, CHEN Yucheng, JIANG Hongmei. Treatment of Effluents from Tunnel Construction by Coagulation of Cement [J]. Environmental Science & Technology, 2011, 34(7): 90-93.
- [4] Colelman, S. A., Baker, C. J., High Sided Road Vehieles in Cross Wind [J]. J. of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 1990, 33: 429-438.
- [5] 单士军, 李耐霞. 歌乐山隧道施工过程环境影响分析及建议[J]. 工业安全与环保. 2004, 30(11): 21-22.
SHAN Shijun, LI Naixia. The Analysis and Suggestion of Environmental Impact on Geleshan Tunnel Construction [J]. Industrial Safety and Environmental Protection, 2004, 30(11): 21-22.
- [6] 杨斌, 蒋红梅, 吴东国, 等. 公路隧道施工废水处理工艺探讨[J]. 公路交通技术, 2008, 24(6): 162-164.
YANG Bin, JIANG Hongmei, WU Dongguo, et al. Discussion on Waste Water Disposal Technology in Highway Tunnel Construction [J]. Technology of Highway and Transport, 2008, 24(6): 162-164.
- [7] 袁勇. 歌乐山隧道施工与环境保护[J]. 现代隧道技术, 2004, 41(1): 68-72.
YUAN Yong. Construction and Environmental Protection of Geleshan Tunnel [J]. Modern Tunnelling Technology, 2004, 41(1): 68-72.
- [8] 郑新定, 丁远见. 隧道施工废水对水环境的影响分析及应对措施[J]. 现代隧道技术, 2007, 44(6): 82-84.
ZHENG Xinding, DING Yuanjian. Analysis of the Influence of Tunnel Construction Wastewater on Water Environment and Countermeasures [J]. Modern Tunnelling Technology, 2007, 44(6): 82-84.

(下转第26页)

参考文献:

- [1] 任尊松,孙守光,李强. 高速动车组轴箱弹簧载荷动态特性[J]. 机械工程学报, 2010, 46(10): 109-115.
REN Zunsong, SUN Shouguang, LI Qiang. Axle Spring Load Test and Dynamic Characteristics Analysis of High Speed EMU [J]. Journal of Mechanical Engineering, 2010, 46(10): 109-115.
- [2] 宁晓丹,孙保卫,商跃进,等. CRH2 动车组轴箱弹簧疲劳试验方案研究[J]. 长江大学学报(自然科学版), 2008, 5(3): 258-259.
NING Xiaodan, SUN Baowei, SHANG Yuejin, et al. Research on Fatigue Test Scheme of Axle Box Springs for CRH2 EMU [J]. Journal of Yangtze University (Natural Science Edition), 2008, 5(3): 258-259.
- [3] 刘林阴,杨涛,高殿斌. 复合材料热压机结构与控制设计[J]. 玻璃钢/复合材料, 2010, 37(6): 59-62.
LIU Linyin, YANG Tao, GAO Dianbin. Structure and Control Design of Composite Hot Press [J]. Fiber Reinforced Plastics/Composites, 2010, 37(6): 59-62.
- [4] 苏贵荣.《橡胶 实心模压和压出制品尺寸公差》国家标准介绍[J]. 中国石油和化工标准与质量, 1984, 4(1): 7-10.
SU Guirong. Introduction of "Rubber—Dimensional Tolerances of Solid Moulded and Extruded Products" [J]. China Petroleum and Chemical Standard and Quality, 1984, 4(1): 7-10.
- [5] Ren Z. Axle Spring Load Test and Dynamic Characteristics Analysis of High Speed EMU [J]. Journal of Mechanical Engineering, 2010, 46(10).
- [6] 韩红权,王永利,许学杰. 动车组转向架轴箱弹簧: 中国, 20082002854. X[P]. 2009-04-15.
HAN Hongquan, WANG Yongli, XU Xuejie. Bogie Axle Box Spring of the EMU: China, 20082002854. X[P]. 2009-04-15.
- [7] 姚凯. 高速动车轴箱弹簧强度性能研究及稳健设计[D]. 兰州: 兰州交通大学, 2013.
YAO Kai. Strength Performance Research and Robust Design of Axle Box Spring for High Speed EMU [D]. Lanzhou: Lanzhou Jiaotong University, 2013.
- [8] 章宜明,张长青. CRH380A 型动车组轴箱弹簧检修工艺优化[J]. 高速铁路技术, 2016, 7(5): 53-55.
ZHANG Yiming, ZHANG Changqing. Optimization of Maintenance Technology for Axle Box Spring of CRH380A EMU [J]. High Speed Railway Technology, 2016, 7(5): 53-55.
- (编辑:赵立红 张红英)
-
- 26 (上接第13页)
- [9] 杨长健. 隧道施工水体污染的集对分析及生物测试验证[J]. 现代交通技术, 2008, 5(5): 85-88.
YANG Changjian. SPA on Water Pollution during Tunnel Construction and Biological Test Verification [J]. Modern Transportation Technology, 2008, 5(5): 85-88.
- [10] 陈培帅,季铁军. 絮凝剂在隧道施工废水处理中的应用研究[J]. 公路交通技术, 2012, 28(2): 130-140.
CHEN Peishuai, JI Tiejun. Research on Application of Flocculants In Treatment of Waste Water Form Construction of Tunnels [J]. Technology of Highway and Transport, 2012, 28(2): 130-140.
- [11] JTG D20-2006 公路路线设计规范[S].
JTG D20-2006 Specification for Highway Route Design [S].
- [12] 隋淑梅,苏荣华,海龙,等. 不同絮凝剂对铁尾矿的絮凝效果试验研究[J]. 应用基础与工程科学学报, 2017, 25(4): 835-844.
SUI Shumei, SU Ronghua, HAI Long, et al. Experimental Study on Effect of Different Flocculations to Iron Tailings [J]. Journal of Basic Science and Engineering, 2017, 25(4): 835-844.
- [13] 杨斌,莫苹,吴东国. 隧道施工废水水质特征分析[J]. 公路交通技术, 2009, 6(3): 133-137.
YANG Bin, MO Ping, WU Dongguo. Analysis of Characters of Quality of Waste Water from Tunnel Construction [J]. Technology of Highway and Transport, 2009, 6(3): 133-137.
- [14] 魏贤坤. 秦岭终南山特长隧道施工环境保护对策[J]. 现代隧道技术, 2003, 40(6): 31-33.
WEI Xiankun. Countermeasures against Environmental Impact in the Construction of Zhongnanshan Extra-long Tunnel [J]. Modern Tunnelling Technology, 2003, 40(6): 31-33.
- [15] 石宝友,汤鸿霄. 聚合铝与有机高分子复合絮凝剂的絮凝性能及其吸附特性[J]. 环境科学, 2000, 21(1): 18-22.
SHI Baoyou, TANG Hongxiao. The Coagulating Behaviors and Adsorption Properties of Polyaluminum Organic Polymer Composites [J]. Environmental Science, 2000, 21(1): 18-22.
- [16] 贾维婧. 絮凝动力学应用于石化废水深度处理工艺的研究[D]. 北京: 北京交通大学, 2011.
JIA Weijing. Study on Flocculation Kinetics Applied in Advanced Treatment Process of Petrochemical Wastewater [D]. Beijing: Beijing Jiaotong University, 2011.
- [17] 潘莲莲. 磁性破乳-絮凝剂的制备及在细乳含油废水中的应用[D]. 舟山: 浙江海洋大学, 2017.
PAN Lianlian. Preparation of Magnetic Demulsifier-Flocculants and Its Application in Fine Emulsion Wastewater with Oil [D]. Zhoushan: Zhejiang Ocean University, 2017.
- (编辑:苏玲梅 张红英)