

# 煤机专用水性涂料涂装污废清理及回收

陈 兵<sup>1,2</sup>, 王荣武<sup>1,2</sup>, 彭春涛<sup>1,2</sup>, 刘 成<sup>1,2</sup>

(1.宁夏天地奔牛实业集团有限公司,宁夏 石嘴山 753001; 2.宁夏煤矿综采输送装备重点实验室,宁夏 石嘴山 753001)

**摘要:**以矿用煤机装备水性涂料涂装工艺为研究对象,针对涂装过程中产生的挥发性有机化合物(VOC)废气、工业废水及固体废物开展系统化治理技术研究。通过工艺全流程分析确定污废产生过程,采用“干式过滤+活性炭吸附+催化燃烧脱附”处理原理处理废气,构建 VOC 过滤吸附-催化协同脱附治理体系。通过絮凝气浮系统、混凝沉淀系统、T-MAS 设备系统、污泥处理系统、加药系统处理废水,开发混凝-气浮-生物接触氧化协同处理工艺。使用管道消泡剂、油污絮凝剂、管道臭乳氧化沉淀等方式进行污废处理研究,废水回用提升、危险废物无害化处理,固废综合利用为矿用装备绿色制造提供关键技术支撑。

**关键词:**水性涂料;污废;废气;废水

中图分类号:TQ630.9

文献标志码:A

文章编号:1007-9548(2025)08-0068-05

## Coal Machine Special Water-based Coating Painting Waste Cleaning and Recovery

CHEN Bing<sup>1,2</sup>, WANG Rong-wu<sup>1,2</sup>, PENG Chun-tao<sup>1,2</sup>, LIU Cheng<sup>1,2</sup>

(1.Ningxia Tiandi Benniu Industrial Group Co., Ltd., Shizuishan 753001, Ningxia, China;

2.Ningxia Coal Mine Comprehensive Mining Transportation Equipment Key Laboratory, Shizuishan 753001, Ningxia, China)

**Abstract:** This paper takes the water-based coating process of mining coal machinery equipment as the research object, and conducts systematic management technology research on the waste gas, industrial wastewater and solid waste generated during the coating process. Through the analysis of the entire process, the generation of pollutants is determined. The exhaust gas is treated using the principle of "dry filtration + activated carbon adsorption + catalytic combustion desorption", establishing a VOC filtration adsorption-catalytic synergistic desorption governance system. Wastewater is treated through flocculation flotation systems, coagulation sedimentation systems, T-MAS equipment systems, sludge treatment systems, and chemical dosing systems, developing a coagulation-flotation-biological contact oxidation synergistic treatment process. Research on the treatment of waste water by means of pipeline defoamer, oil sludge flocculant, pipeline emulsified sedimentation, etc., the improvement of wastewater reuse, harmless treatment of hazardous waste, and comprehensive utilization of solid waste provide key technical support for the green manufacturing of mining equipment.

**Key words:** water-based coatings; polluted waste; waste gas; waste water

随着国家环保法规的出台,对环境保护的高度重

视,水性涂料用水代替有机溶剂作为树脂的稀释剂,明显降低 VOC 的排放量,水性涂料的使用越来越受到人们的广泛关注。水性涂料发展迅速,制造技术不断成熟<sup>[1]</sup>。

矿用煤机装备常年运行于矿井,产品表面不断被腐蚀。目前主要以表面喷涂、使用耐腐蚀新型材料为主

收稿日期:2024-03-15

作者简介:陈兵(1994—),男,本科,工程师,主要从事涂装新材料、新技术、新装备及新工艺的研究与应用工作。E-mail:1002542778@qq.com。

要手段解决产品腐蚀问题。在表面喷涂方面,喷涂介质为煤机专用水性涂料,以水作为稀释剂、分散介质,加入防锈颜料、分散助剂、消泡剂等制成色浆,主要由树脂、助剂、颜料、填料、水溶剂构成<sup>[2]</sup>。在煤机装备表面喷涂时,利用高压无气喷涂机器人与人工相辅助形式进行刮板输送设备产品表面喷涂。超低 VOC 挥发,排放采用逐级过滤排放,对环境污染较低,安全低毒,对喷涂人员污染较小<sup>[3]</sup>。

## 1 污废产生过程

在为客户提供高性价比、成熟可靠的矿用煤机产品时,为提高产品外观质量,减少产品腐蚀,需对产品表面喷涂处理,表面喷涂易产生废气、废水与污废。

在煤机产品表面喷涂产生的污废主要有表面喷涂遗落的水性废漆、污水处理管道废物、清洗相关配套喷涂设备清洗废物、产品表面遗留的灰尘抛丸钢渣。

产品表面喷涂采用搭接喷涂,在上端与下端、顶面与底面、异型面、沟槽处,喷涂产生多余飞溅物形成废漆,通过干燥凝固、时间的积累、人工的踩踏形成干渣与固废。

喷涂作业产生的飞溅物掉落至排污系统管道与废水混合产生混合物、沉淀物、污泥浮渣、絮凝物、臭乳化成沉淀物、废水药剂反应物。

喷涂作业结束后,为防止相关配套喷涂设备管道涂料凝固,对喷涂设备、设备管道、涂料储存罐进行3次清洗保养(水清洗、专用清洗剂清洗、水清洗),专用清洗剂清洗产生水性污废。

产品表面在喷涂前进行表面前处理,处理后自身会存在遗留灰尘、抛丸钢渣等废物,在喷涂作业时遗留作业现场、掉入管道内部与废水药剂反应等,形成污废。

## 2 废气处理方案

表面喷涂作业在具备排风、废水处理的密闭空间作业,配备负压通风系统(换气次数 $\geq 12$ 次/h)和废水循环处理装置(回用率 $\geq 85\%$ ),喷涂操作过程易产生VOC、过喷漆雾及固体废物。

喷涂废气采用“干式过滤+活性炭吸附+催化燃烧脱附”处理原理。废气处理采用漆雾预过滤器、活性炭

吸附床、催化燃烧床,构建漆雾梯度捕集-VOC 过滤吸附-吸附浓缩-催化氧化协同脱附治理体系<sup>[4]</sup>。

### 2.1 漆雾预过滤器

采用三级过滤系统,第一、二级采用玻璃纤维过滤棉,过滤效率 $>97\%$ ;第三级采用高效折叠过滤器,过滤效率 $>99\%$ 。一、二级过滤等级不低于G4,第三级过滤等级不低于F9。采用多级梯度漆雾捕集系统(G4初效+F7中效+H13高效过滤),实现粒径 $>10\ \mu\text{m}$ 颗粒物去除效率 $\geq 99\%$ 。

### 2.2 活性炭吸附床

配置蜂窝活性炭吸附床使用耐水型蜂窝活性炭,比表面积 $800\sim 1\ 200\ \text{m}^2/\text{g}$ ,吸附效率 $\geq 250\ \text{mg}/\text{g}$ ,净化率 $\geq 90\%$ 。过滤风速不大于 $1.2\ \text{m}/\text{s}$ ,停留时间不低于 $0.5\ \text{s}$ 。蜂窝活性炭吸附床空速 $0.3\ \text{m}/\text{s}$ ,碘值 $\geq 950\ \text{mg}/\text{g}$ ,对苯系物、酯类等VOC进行动态吸附,饱和吸附容量达 $0.38\ \text{g}/\text{g}$ ;

单个活性炭床采用在线脱附(离线脱附)的方式,处理风量 $\leq 25\ 000\ \text{m}^3/\text{h}$ ,活性炭床脱附温度 $80\sim 100\ ^\circ\text{C}$ 。每个活性炭床均配置1个PT温度检测探头,脱附风管进口配置1个PT温度探头和1个可燃气体探测器,设计惰性吸气灭火系统或喷淋灭火系统。

### 2.3 催化燃烧床

通过催化燃烧床(CO炉温 $(380\pm 10)\ ^\circ\text{C}$ ,贵金属催化剂Pt-Pd/ $\text{Al}_2\text{O}_3$ )将浓缩废气中有机物氧化分解为 $\text{CO}_2$ 和 $\text{H}_2\text{O}$ ,实现VOC总去除率 $\geq 97\%$ ,燃烧室设计工作温度 $250\sim 300\ ^\circ\text{C}$ ,催化燃烧效率 $\geq 95\%$ ;电加热功率 $\geq 84\ \text{kW}$ ,催化剂采用Pt/Pd蜂窝陶瓷式,以氧化铝球为载体,以Pt、Pb等贵金属为主要成分。脱附加热时间 $\leq 1\ \text{h}$ ,脱附时间 $\leq 4\ \text{h}$ ,净化效率 $\geq 95\%$ ,排放浓度稳定低于国标规定的 $50\ \text{mg}/\text{m}^3$ 限值。

## 3 废水处理方案

### 3.1 工艺原理与系统组成

废水处理主要包括:絮凝气浮系统、混凝沉淀系统、T-MAS设备系统、污泥处理系统、加药系统,其处理工艺流程见图1。开发混凝-气浮-生物接触氧化协同处理工艺,使出水 $\text{COD}\leq 80\ \text{mg}/\text{L}$ 、 $\text{SS}\leq 30\ \text{mg}/\text{L}$ 。

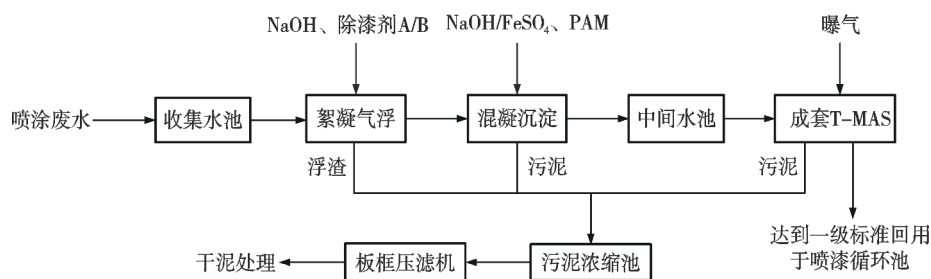


图1 废水处理工艺流程

**絮凝气浮系统:**结合溶气气浮技术(DAF),通过微纳米气泡将密度接近水的絮体携带至液面,在废水中加入药剂进行絮凝反应,使细小漆渣颗粒凝聚成大的颗粒物,再被气浮产生的微气泡携带至水面,通过刮渣连续清除密度较小的颗粒物及浮渣。优化废水处理系统气水比  $0.3\sim 0.5\text{ m}^3/\text{m}^3$ ,回流比  $20\%\sim 30\%$ ,对油脂及胶体物质去除率 $>85\%$ <sup>[5]</sup>。

**混凝沉淀系统:**采用聚合氯化铝(PAC)与聚丙烯酰胺(PAM)作为混凝剂与助凝剂,通过电荷中和及吸附架桥作用促使胶体颗粒脱稳聚集,形成易沉降的矾花。絮凝药剂使废水中残留的颗粒物凝聚成较大的絮凝体。配套斜板沉淀池可提升固液分离效率,降低悬浮物(SS)负荷达  $60\%\sim 75\%$ <sup>[6]</sup>。

**T-MAS 设备系统(生化一体化设备):**采用涡轮微曝气生物膜反应器(Turbine Micro-Aeration System),通过高速涡轮剪切形成微气泡,强化氧传质效率( $>8\text{ mg}/(\text{L}\cdot\text{h})$ )。生物膜载体选用改性聚乙烯填料,挂膜周期缩短至  $7\sim 10\text{ d}$ ,COD 降解速率提升至  $0.45\text{ kg}/(\text{m}^3\cdot\text{d})$ 。通过生化系统培养的微生物分解废水中的有机物,由于 MBR 膜拦截综合作用,保证设备出水稳定达到一级排放标准。主要由 T-MAS 主体设备、设备间、生物填料、潜水搅拌机、MBR 膜、MBR 膜架、MBR 反洗装置、MBR 化学清洗装置、污泥回流泵、排泥泵、曝气装置、曝气风机等组成。

**污泥处理系统:**储存系统产生的污泥,并对污泥进行浓缩,沉淀与气浮单元的污泥经板框压滤机脱水至含水率 $\leq 65\%$ ,泥饼热值 $\geq 1\ 200\text{ kcal}/\text{kg}$ 时可掺入燃煤系统资源化利用。配套污泥回流装置,提升系统抗冲击负荷能力  $5\%\sim 10\%$ 。浓缩后的污泥再进行脱水,降低污泥含水率,减少污泥量。

**加药系统:**向絮凝气浮一体机、混凝沉淀设备定期加药。主要由加碱装置、加除漆剂 A 装置、加除漆剂 B 装置、加硫酸亚铁装置、加聚丙烯酰胺凝胶装置组成。配置 pH/ORP 在线监测与自动投药模块,实现石灰乳(pH 调节)、 $\text{FeCl}_3$ (破乳剂)及碳源(C/N 调控)的精准计量,药剂耗量降低  $15\%\sim 20\%$ 。

**废水处理工艺流程:**喷涂废水循环使用一段时间后,循环废水排入污水站收集;收集池废水进入絮凝气浮一体机,添加辅助药剂调整水溶液的酸碱性强弱程度 pH,添加除漆 A、B 剂,促使水性涂料脱稳,凝集成漆渣,经气浮去除,气浮渣入污泥浓缩池;絮凝气浮一体机出水,经泵提升进入混凝沉淀器,加药进行絮凝反应,进一步去除废水中悬浮杂质;混凝沉淀器出水进入中间水池,物化处理后喷涂废水与生活污水在中间池混合均匀,调整水质营养成分;中间池水经泵定量进入

成套 T-MAS 设备,经厌氧水解,分解大分子有机物,提高废水 B/C 值;再经接触氧化及 MBR 池内微生物的分解,废水中有机物基本去除,清洁水达到《污水综合排放标准》一级要求,涂装废水处理流程见图 2。

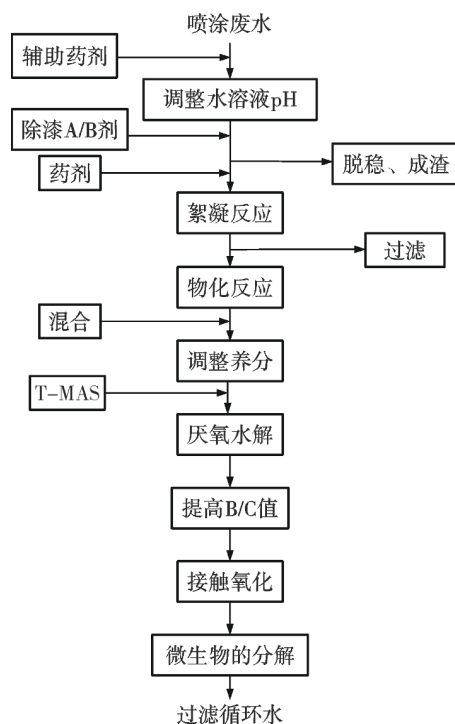


图2 涂装废水处理流程

### 3.2 废水处理工艺协同

**物化-生化协同机制:**混凝阶段优先去除难降解大分子有机物,气浮单元拦截疏水性污染物,生物接触氧化降解剩余可溶性 COD,三级联用使总 COD 去除率 $>92\%$ 。

**抗负荷波动设计:**调节池设置水力停留时间(HRT= $6\sim 8\text{ h}$ ),结合均质搅拌与预曝气功能,缓冲进水水质波动对生化单元的冲击。

**深度净化保障:**砂滤单元(滤速  $8\sim 10\text{ m}/\text{h}$ )与紫外线/臭氧联合消毒(剂量  $30\sim 40\text{ mJ}/\text{cm}^2$ ),确保 SS 与病原微生物达标。

## 4 涂装废物处理措施

### 4.1 煤机专用水性涂料

煤机专用水性涂料主要由树脂、助剂、颜料、填料、溶剂构成。树脂为喷涂作业的成膜物质,也是煤机专用水性涂料的基料,决定了煤机专用水性涂料的性能。助剂主要有流平剂、消泡剂、抗沉淀剂、防闪锈剂等,水性涂料的主要成分参数见表 1,水性涂料的生产工艺流程及控制点见图 3。

表1 水性涂料的主要成分参数

成分	CAS	质量分数/%
水性丙烯酸乳液		30~55
水	7732-18-5	10~20
成膜剂	34590-94-8	3~6
钛白粉及其他颜填料	13463-67-7	25~37
N,N-二甲基乙醇胺	108-01-0	0.5~1
分散润湿剂	76-34-5	0.5~1
防霉杀菌剂	2682-20-4	0.1~0.3
二乙二醇二甲醚	111-96-6	1~3
防闪锈剂	7758-87-4	1~2
增稠剂		1~1.5

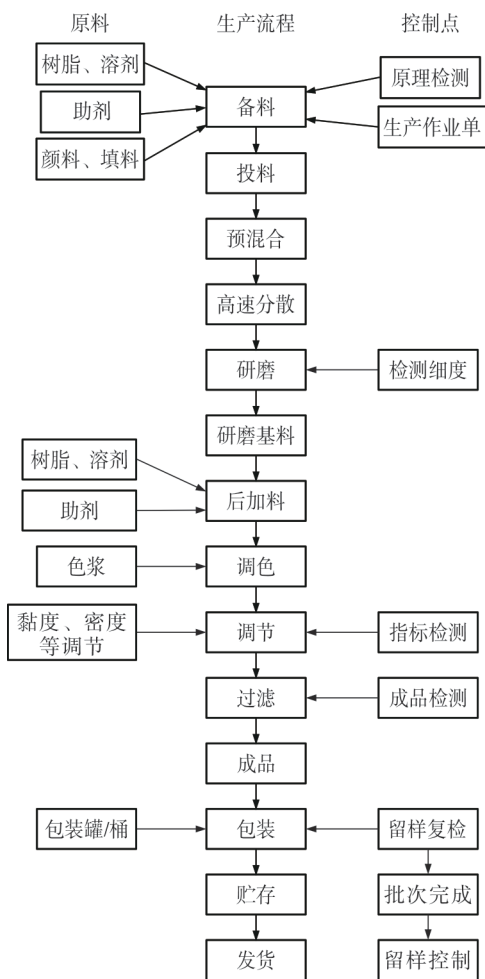


图3 水性涂料生产工艺流程及控制点

#### 4.2 煤机专用水性涂料专用清洗剂

公司的煤机产品为订单式生产，产品喷涂作业为间断式作业喷涂，当天喷涂作业结束后，防止相关配套喷涂设备管道涂料凝固，对喷涂设备、设备管道、涂料储存罐进行清洗保养。煤机专用水性涂料清洗剂能高效地清洗管道的遗留物，保证管道干净顺畅。

煤机专用水性涂料清洗剂为醇醚类化合物，主要由乙醇、乙二醇丁醚、去离子水等构成，按照一定的比例及顺序进行混合生成。专用清洗剂为水性溶剂，易于溶解水性涂料，使管道黏连的水性涂料与管道脱离，利用高压气体将其排出，减少管道堵塞<sup>[7]</sup>。管路清洗保养流程见图4，排污收集后进行科技分解，达到标准后排放。

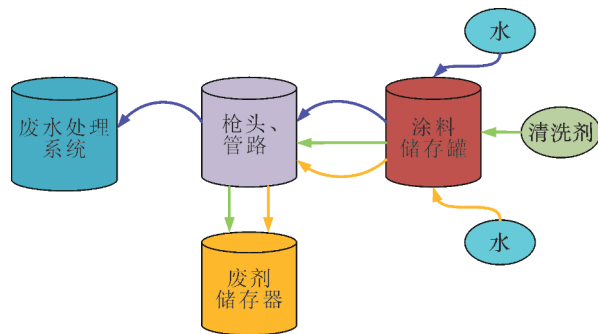


图4 清洗保养流程

### 5 污废处理工艺研究

#### 5.1 管道消泡剂

在污水处理水循环过程中，搅拌设施与水循环过程中易产生泡沫，泡沫影响水路及水位，泡沫过多会溢出现有设备，烧坏水泵电机，导致杂尘漂浮，固废漂浮在上方不易流动，无法排放到污水处理中心进行清理，导致现场卫生的脏乱差，泡沫产生异味，影响人员健康。在管道中添加消泡剂，消除管道泡沫，有助于废水循环。消泡剂主要由活性成分、有机硅、乳化剂、乳化助剂、去离子水等构成<sup>[8]</sup>，消泡剂的主要技术指标参数见表2。消泡的原理是破泡、减小表面张力、分散成小颗粒，消泡剂的主要作用是抑泡、消泡，降低水、溶液、悬浮液等的表面张力，防止泡沫形成，使原有泡沫减少、分散物质<sup>[9-10]</sup>。

表2 消泡剂的主要技术指标参数

项目	参数指标	检测结果	检测仪器/方法
酸碱度(pH)	7~9	7.5	pH检测仪
黏度/(mPa·s)	100~200	120	黏度仪
固含量/%	10~30	25	烘烤箱(105℃, 2h)
抑泡高度(5 min后泡沫高度)/mm	≤15	10	Ross-Miles法(50℃)
消泡速率(T50)/s	≤5	3	高速搅拌机+带刻度量筒
循环持久性(8 h)			循环曝气法
泡沫高度增幅/%	≤10	8	(通空气 0.5 L/min)

#### 5.2 油污絮凝剂

水性涂料及废物进入水处理循环系统中，形成沉

淀物堵塞管道,造成水处理循环系统崩塌,在废水中加入絮凝药剂进行絮凝反应使废水中残留的颗粒物凝聚成较大的絮凝体。在废物处理中心将表面气浮絮凝物打捞并过滤细小颗粒。

油污絮凝剂主要有油污絮凝剂 A、油污絮凝剂 B,油污絮凝剂 A 主要去除废水中水性涂料黏性,减少堵塞与黏连;油污絮凝剂 B 主要将废水杂质颗粒分解降低密度使其上浮易于收集<sup>[10]</sup>。油污絮凝剂的主要技术指标参数见表 3。

表 3 油污絮凝剂主要技术指标参数

成分	参数(pH)	检测结果
聚合物	2~7	3
阳离子	5~7	6

### 5.3 管道臭乳化沉淀

#### 5.3.1 臭乳化沉淀原因

1) 废水处理循环系统中杂质在污水中长期浸泡,与空气中的细菌接触,发生氧化反应,长时间形成管道臭乳化沉淀;

2) 废水处理系统辅助去污剂使用量没有达到管道废水处理要求,使细菌快速繁衍生长,形成臭乳化沉淀;

3) 絮凝反应漂浮物没有及时打捞过滤,长时间造成臭乳化沉淀,废水微生物产生病变形成刺鼻性臭乳异味<sup>[11]</sup>。

#### 5.3.2 处理方法

1) 定期清理沉淀污泥,对喷漆房喷涂杂质及时清理,减少杂质进入废水处理循环系统中;

2) 污水处理循环系统减少停机时长,减少污水泡沫形成,隔绝空气接触;

3) 使用高效去污剂,定时添加并检测水质营养成分浓度,保持微生物的鲜活性,及时打捞过滤絮凝物。

## 6 结语

随着环保政策的实施,水性涂料已提上喷涂日程,

科技、健康、环保无污染的水性涂料越来越受到青睐,通过对煤机专用水性涂料自身成分、喷涂产生的污废等进行分析研究,通过设计废气处理方案、废水处理方案、污废处理方案、涂装废物处理方案以及涂装废溶剂处理回收等方案,合理排放,减少污染。利用化学药剂对污废处理获得可重复利用的液体,减少废水排放。以水为溶剂减少挥发溶剂的使用量,喷涂废水循环使用,循环废水排入污水站收集,对废物絮凝气浮打捞过滤处理,对煤机专用水性涂料涂装污废清理并回收,并进行科技分解处理。

### 参考文献:

- [1] 陈兵,金培武,孙学军.中部槽水性煤机专用漆工艺研究[J].价值工程,2022,41(2):88-90.
- [2] 王丽娟,李华明,雍涛,等.PTA 残渣改性醇酸树脂在涂料中的应用[J].现代涂料与涂装,2021,24(9):7-10.
- [3] 陈兵,彭春涛,王荣武.矿用槽体表面处理工艺研究[J].冶金与材料,2023,43(2):107-112.
- [4] 郝江华,张政斌,段党全.沸石转轮+RTO 技术在喷漆有机废气处理中的应用研究[J].现代涂料与涂装,2025,28(3):55-58.
- [5] 李佩琪,黄廷林,燕军乐,等.高效去除低温低浊地表水中有机物中试研究[J].中国给水排水,2023,39(13):47-53.
- [6] 孙滢.铝灰制备聚合氯化铝的资源化利用及其絮凝特性的研究[D].秦皇岛:燕山大学,2024:1-115.
- [7] 童敏江.不锈钢铸件表面锈蚀原因分析[J].铸造设备与工艺,2020(4):29-32.
- [8] 朱建光.水性塑胶柔感涂料的制备和性能研究[J].现代涂料与涂装,2024,27(8):5-8.
- [9] 肖菲,孙学军,史芳沅,等.水性钢结构底面合一防腐涂料的开发及应用[J].现代涂料与涂装,2024,27(5):26-33.
- [10] 邓俊杰,杨磊,丁家云,等.涂装面涂水性废溶剂回收工艺探索[J].现代涂料与涂装,2022,25(8):37-40.
- [11] 武世焯.K<sub>2</sub>FeO<sub>4</sub> 辅助絮凝沉淀+电化学氧化处理乳化废水的研究[D].太原:太原理工大学,2021:1-88. ◆



欢迎订阅

欢迎投稿

欢迎刊登广告