

生化絮凝技术在汽车涂装循环水处理的应用与实践

陈道飞¹, 李文鹏², 崔普伟¹, 郭术川¹, 齐有升², 王勉², 张龙², 曹克²

(1.振宜汽车有限公司,安徽 安庆 246000; 2.零跑科技股份有限公司,浙江 金华 321000)

摘要: 本文聚焦汽车涂装湿式循环水漆雾捕集处理系统,着重对生化絮凝废水净化除渣技术展开了深入阐述。此技术依托特定工作原理,巧妙融合生化与絮凝作用实现高效净化除渣。试验环节,采用科学严谨的方法,运用 DOE 设计优化加药参数,并加强相关设备的日常管理。实践表明,运用该技术可延长循环水的使用周期,降低 COD 含量,减少了异味与漆渣量,有效地解决排淤水质差、漆渣含水率高的难题,降低危废处理成本,达成经济与环保双赢。

关键词: 生化絮凝; COD; 电导率; 含水率

中图分类号:TQ639

文献标志码:A

文章编号:1007-9548(2025)11-0053-04

Application and Practice of Biochemical Flocculation Technology in the Treatment of Automotive Painting Circulating Water

CHEN Dao-fei¹, LI Wen-peng², CUI Pu-wei¹, GUO Shu-chuan¹, QI You-sheng², WANG Mian²,
ZHANG Long², CAO Ke²

(1.Zhenyi Automobile Co., Ltd., Anqing 246000, Anhui, China; 2.Leapmotor Technology Co., Ltd., Jinhua 321000, Zhejiang, China)

Abstract: This article focuses on the wet cycle water paint mist capture and treatment system for automotive painting, and elaborates in depth on the biochemical flocculation wastewater purification and sludge removal technology. This technology, based on specific working principles, ingeniously combines biochemical and flocculation effects to achieve efficient purification and sludge removal. In the experimental phase, scientific and rigorous methods were adopted, and the DOE design was used to optimize the dosing parameters, while strengthening the daily management of related equipment. Practice has shown that the application of this technology can extend the service life of the cycle water, reduce the COD content, decrease the amount of odor and paint sludge, effectively solve the problems of poor effluent quality and high water content in paint sludge, reduce the cost of hazardous waste treatment, and achieve a win-win situation in terms of economy and environmental protection.

Key words: biochemical flocculation; COD; electrical conductivity; moisture content

收稿日期: 2024-04-09

作者简介: 陈道飞(1980—),男,本科,高级工程师,主要从事汽车涂装工艺研究及涂装新工厂规划建设、整车色差管理、过程一致性管理、现场问题技术分析解决、新车型投产、售后涂装问题调查处理、新产线工艺调试等相关工作。Email:chendaofei@anqingzhenyi.com。

0 引言

涂装湿式循环水漆雾捕集处理系统自 20 世纪应用以来,存在诸多弊端。该系统运行时需添加大量化学药剂,导致循环水 COD 居高不下、水质差,只能定期排淤换水,不仅造成水资源浪费,而且产生的危废漆渣含水率高达 40%~50%,大幅增加了危废处理成本。

与传统絮凝技术不同,生化絮凝废水净化除渣技

术带来了质的飞跃,实现了水资源零排放,有效降低了运维成本。本文聚焦这一技术,详细介绍了将原传统化学絮凝处理技术直接切换为生化絮凝处理技术的全过程。内容涵盖在实验室的验证方法、精准的加药参数 DOE 设计,以及该技术在现场的应用情况,并对应用后的各项结果,如循环水水质改善、漆渣产生量变化等进行深入分析,为行业提供可借鉴的技术转型经验。

1 工艺原理

生化物质废水净化除渣技术是通过生物化学法对喷涂循环废水中的油漆进行解黏,利用微生物的新陈代谢和酶来分解和转化油漆中的多种有机分子,有效破坏漆渣的黏性,减少漆渣量,同时使漆渣的内部结构变成具有自然沥水的沙孔状的残渣,降低漆渣的含水率。

2 现场试用验证方案确定

取 400 mL 自来水溶液,在溶液中加入适量的红色水性色漆(便于目视上更直观)与同等数量的水性溶剂,搅拌均匀后测试电导率,使溶液电导率达到 1 000 $\mu\text{S}/\text{cm}$,用滴定管分别加入两种不同的生化解黏剂并搅拌均匀,两种药剂添加间隔时间为 1 min,搅拌均匀后放置 1 min,加入生化促进剂并进行搅拌,然后静置试验溶液,观察油漆的解黏和絮凝状态。2 min 后,目视可见油漆呈脱黏上浮,解黏与絮凝状态效果非常好,漆渣状态密集,水质很清澈。将漆渣送至实验室检测含水率,为 59.2%,漆渣放置一周后含水率为 23.5%,比传统化学絮凝漆渣含水率约低 20%,见表 1。

表 1 测试项目及结果

样品	pH	漆渣黏性/级	含水率/%
生化絮凝色漆渣	7.0~9.0	≥ 4	23.50
生化絮凝清漆渣	7.0~9.0	≥ 4	21.80
原药剂漆渣	7.0~9.0	0	42.00

对现场的色漆、清漆循环水槽进行取样,并送化验室检测 COD 含量、电导率等指标。在化验室按照上述方案对槽液样品的化学药剂和微生物加药比例、加药量进行确认。结合现场收集的生产单车油漆用量、使用量与过喷量、槽液循环流速、循环次数等现场工艺参数,在现场取清漆、色漆槽液,按照化验室试验方案添加化学絮凝药剂,统计核算添加比例,见表 2。

3 现场药剂添加实施方案

针对水性色漆循环水槽准备生化油漆解黏剂 5500(A 剂)、生化油漆解黏剂 850(B 剂)及生化油漆促进剂 510 三种生化药剂,针对 2K 溶剂型清漆准备生化油漆解黏剂 5500(A 剂)、生化油漆解黏剂 850(B

剂),各生化药剂稀释比:A 剂与工业水稀释比为 1:1, B 剂与工业水稀释比为 1:200,生化促进剂与工业水稀释比为 1:2,将各生化药剂按照稀释比进行稀释后加入加药罐,开启加药罐搅拌器搅拌均匀后开始往槽液中进行滴加,药剂滴加位置点对漆渣絮凝的效果有一定影响,需结合现场实际应用正确选择滴加位置点,水性色漆及溶剂型清漆生化药剂加药比例,按相应要求执行,见表 3~4。

表 2 现场槽液化验室试验加药比例

药剂名称	加药比例/%	
	水性色漆	溶剂型清漆
生化油漆促进剂 510BSL	2.5	
生化油漆解黏剂 5500	0.5	1.8
生化油漆絮凝剂 WRF 850	0.5	0.3
涂漆解黏 pH 上调剂	0.5	

表 3 色漆槽(水性漆槽)生化药剂添加比例

药剂名称	化验室比例/%	实际比例/%
生化油漆促进剂 510BSL	2.50	1.67
生化油漆解黏剂 5500	0.50	0.92
生化油漆絮凝剂 WRF 850	0.50	0.26
涂漆解黏 pH 上调剂	0.50	

表 4 清漆槽(溶剂型漆槽)生化药剂添加比例

药剂名称	化验室比例/%	实际比例/%
生化油漆解黏剂 5500	1.80	18.12
生化油漆絮凝剂 WRF 850	0.30	0.22

4 生化药剂絮凝应用过程

因生产计划原因,此次应用验证没有将已使用的传统化学药剂槽进行排出并重新配槽,直接在现有槽液基础上进行应用,开展生化絮凝药剂添加前,对水性色漆槽及 2K 清漆槽电导率、COD 含量进行检测,水性色漆与 2K 清漆槽应用前电导率分别为 672 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 、4 190 $\mu\text{S}/\text{cm}$,生化絮凝药剂应用 5 d 后电导率为 715 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 、3 970 $\mu\text{S}/\text{cm}$,应用第 11 天时电导率为 738 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 、3 910 $\mu\text{S}/\text{cm}$,水性色漆槽液电导率呈缓慢上升趋势,传统使用化学絮凝药剂水性色漆槽液上升速度非常快,应用一周电导率就达到 1 500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 左右;2K 清漆槽液电导率呈缓慢下降维持状态,生化絮凝药剂对传统溶剂型油漆的絮凝效果更佳;现场应用 9 d 后生化絮凝药剂添加情况见表 5。

表5 实际药剂添加记录

日期	产量/台	色漆和中涂(5.2 kg/台, 30%过喷)用量/kg			清漆(2 kg/台,30%过喷)用量/kg	
		5500	510BSL	850	5500	850
8月3日	126	10	1	0.2	15	0.10
8月4日	126	2	4	0.6	16	0.20
8月5日	126	2	4	0.7	15	0.20
8月6日	126	2	4	0.6	16	0.20
8月7日	160	3	6	0.9	22	0.25
8月8日	320	2	4.5	0.6	17	0.20
8月9日	160	2	5	0.8	23	0.25
8月9日	160	1.5	4	0.5	15	0.20
8月10日	160	1	5	0.9	21	0.30
8月11日	160	0	5	0.8	19	0.25
8月11日	160	0	4	0.6	15	0.20
合计	1 784	25.5	46.5	7.2	194	2.35

每天对水性色漆槽及2K清漆槽的水质、漆渣状态及含水率进行跟踪,水性与溶剂型槽液水质呈清澈状态,而传统化学药剂使用槽液的目视浑浊,呈乳白色状态;通过对漆渣进行手触及压缩,漆渣呈干燥状态,较化学絮凝药剂使用后漆渣呈漆泥状态得到了明显改善;现场槽液基本上没有异味,与传统化学药剂使用后

的刺鼻异味差异巨大,此次生化絮凝药剂试用效果明显,应用较理想,水质状态、漆渣含水率及状态、现场异味等方面改善巨大。

5 化学絮凝与生化絮凝的对比

传统的化学絮凝技术在处理涂装循环水时,主要依靠化学药剂使循环水中的油漆发生凝聚反应,实现脱附解黏并上浮。随后,通过循环管道将含漆渣的水输送至刮渣系统,由刮渣系统把漆渣从槽液中分离出来。然而,该技术存在明显缺陷:对于溶剂型中涂、色漆和2K清漆,处理后的槽液异味浓烈,对操作人员身体健康危害较大。在水性B1B2应用方面,短板同样突出,无法有效对循环水中的漆渣进行脱附解黏,致使漆渣沉底难以以上浮,导槽周期大幅缩短。槽底积累的漆泥只能依靠人工清理,不仅清理难度大,而且清理出的漆泥含水量极高。

与之相比,生化絮凝技术实现了创新突破。它巧妙结合化学解黏与微生物技术,微生物能够发挥解黏油漆的独特功能,从源头上减少漆渣的产生量。在此基础上,再结合传统化学絮凝技术,进一步对槽液中的油漆进行凝聚和脱附解黏处理。通过这种综合处理方式,生化技术处理后的漆渣含水率显著降低,槽液异味明显减轻,水质变得清澈透明,有效解决了传统化学絮凝技术的诸多难题。化学絮凝与生化絮凝的对比见表6。

表6 化学絮凝与生化絮凝的对比

项目	组分	工艺效果	环境/安全	成本/时间
化学絮凝技术	化学成分	循环水质不稳定	可能含甲醛或杀菌剂等毒害成分	成本较高,包括:需要杀菌剂;系统保养、排水、清槽的频率高;人工成本较高;循环水使用寿命短;水处理费用高;漆渣产生量大,废渣处理成本大;停产时间长
		COD上升速度快	自然产生恶臭	
		漆渣解黏效果为单纯化学解黏	VOC排放较多	
		漆渣含水率较高	可持续低	
		漆渣上浮率较低		
		清槽、换水频率较高		
生化絮凝技术	化学成分+微生物	循环水质稳定	无恶臭	成本较低,包括:不需要杀菌剂;系统保养、排水、清槽的频率低,人工成本较低;循环水使用寿命长,水处理费用低;漆渣产生量少,废渣处理成本少;停产时间短
		COD上升速度慢	不含甲醛或杀菌剂	
		除化学解黏外,微生物产生的酶也可解黏油漆,减少漆渣量	微生物可分解有机物及溶剂,进一步降低VOC排放	
		漆渣含水率低	可持续高	
		漆渣上浮率较高		
		清槽、换水频率较低		

6 生化絮凝技术的管理

6.1 槽液稳定性的必要性

生化絮凝技术在投入实际应用前,在初期实验室阶段,会依据油漆的过喷量、槽液溶剂含量等一系列相关指标,精心设计所需药剂。这一前期工作为后续

处理奠定了理论基础与参数框架。然而,要确保生化絮凝技术持续稳定且高效地发挥作用,后期的管理至关重要,其中稳定机器人清洗程序和槽液溶剂含量是核心要点。

在汽车涂装生产过程中,喷漆设备可能会因生产

需求而进行改造,例如增加机器人数量。这一改变看似平常,实则会对循环水槽内的溶剂含量产生显著影响。随着机器人数量增多,喷涂作业量相应增大,循环水槽内溶剂含量会急剧上升。而生化絮凝技术中的微生物漆雾絮凝新技术,其加药比例是基于前期特定条件设定的,溶剂含量的大幅变化,会直接造成加药比例失调。

一旦加药比例失衡,槽液中的微生物生态环境将被破坏,进而引发微生物乳化现象。微生物无法正常发挥对油漆的分解和转化作用,导致漆渣脱黏和絮凝成渣过程受阻。原本应该形成易于分离的漆渣,却因微生物乳化而难以凝聚,大量细小漆渣分散在槽液中,使得水质迅速恶化,不仅影响后续的涂装质量,还会增加处理成本和难度。因此,维持槽液稳定性是保障生化絮凝技术正常运行、实现高效漆渣处理和水质净化的关键前提。

6.2 设备运行的完好性

为确保生化絮凝技术达到最佳处理效果,设备的完好运行不可或缺。槽液的自动补加系统作为整个处理流程的重要环节,必须保持完好状态。该系统能够精准控制槽液的成分和量,确保絮凝的漆雾可以及时有效地输送到除渣槽内。若自动补加系统出现故障,会导致槽液成分失衡,影响漆雾的絮凝效果,进而降低除渣效率。

同时,刮渣机作为去除漆渣的关键设备,其水量阀门和气浮阀门的调节至关重要。水量阀门应开到最大,以保证充足的水流将漆渣顺利带至除渣区域;气浮阀门同样开到最大位置,使 850 药剂能够充分与水和油漆反应,增强漆渣的絮凝效果,便于刮渣机高效工作。

此外,送往除渣槽的管路网状过滤器承担着过滤杂质、防止堵塞的重要任务。在日常运行中,过滤器会不断积累各种杂质,若不定期清理,杂质会逐渐堵塞过滤器,导致水流不畅,降低除渣效率。因此,定期对管路网状过滤器进行清理,是维持设备正常运行、保障生化絮凝技术处理效果的重要措施。

6.3 停产的管理

鉴于生化絮凝独特的反应机理,在长时间(>5 d)停产期间,必须高度重视槽液氧气含量的维持,以确保槽液中微生物的正常繁殖和活性。一般可采用两种方法来实现这一目标。

第一种方法是向槽液通入压缩空气进行曝气。通过曝气装置,将压缩空气均匀地通入槽液中,增加槽液与空气的接触面积,从而提高槽液的氧含量。这种方法能够为微生物提供充足的氧气,维持其正常的

新陈代谢和繁殖,防止微生物因缺氧而死亡或活性降低。

第二种方法是开启系统槽至除渣槽的循环水泵。通过循环水泵的作用,使槽液在水循环系统中流动,促进空气与槽液的混合,增加氧气的溶解量。一般情况下,每 3 d 开启循环水泵 3~4 h 即可满足微生物对氧气的需求。

这两种方法可根据实际情况选择使用或结合运用,以确保停产期间槽液质量的稳定,为后续恢复生产做好准备。

7 结语

当下,汽车主机厂在新产线规划中,已逐步采用干式喷房捕漆方式与结构,展现出对新技术、新工艺的积极探索。然而,文丘里式湿式喷房结构凭借其成熟的技术和广泛的应用基础,在行业内依旧占据着重要地位,应用十分广泛。不过,湿式喷房后处理存在诸多应用难点问题,如何有效解决这些难题,一直是涂装专家们不懈追求的目标。目前,生化絮凝技术虽已崭露头角,但尚未得到全面有效地推广与应用。其具体的应用经验仍有待进一步验证、实施与优化,在实际应用中或许还会暴露出一些尚未被发现的问题。

但随着环保法规的日益严格,以及从业者对环保、绿色排放和良好工作环境的追求不断升级,生化絮凝技术的推广与应用无疑迎来了新的契机。可以预见,该技术必将得到进一步的完善与创新。在工艺应用方面,它仍存在着较大的优化和改进空间,这需要涂装专家们紧密结合行业前沿技术,不断思考、探索、攻坚克难,推动涂装行业向更加环保、高效的方向发展。

参考文献:

- [1] 崔普伟,苏洲,孙承羲,等.新型电絮凝喷涂废水净化除渣技术的应用[J].现代涂料与涂装,2019(9):67-70.
- [2] 熊学文,张宏伟.浅谈污水处理中微生物絮凝剂的应用[J].江西建材,2014(19):62.
- [3] 张宝成.新型生物絮凝剂在水处理中的应用研究[D].苏州:苏州科技大学,2021.
- [4] 张超,陈文兵,武道吉.微生物絮凝剂在废水处理中的应用[J].化工技术与开发,2013(9):49-52.
- [5] 李艳.工业微生物在污水处理中的应用与优化研究[J].工业微生物,2024(6):10-12.
- [6] 曲翊.微生物在污水处理中的应用[J].环境与生活,2024(198):81-83.
- [7] 王加领,邓宏宝.微生物技术在污水处理的应用现状和前景[J].工业微生物,2023(6):92-94.