

客车面漆喷涂机器人系统的应用与改造

谢作成, 曹祖军, 孙颖, 王飞, 张晶蔚

(中车时代电动汽车股份有限公司, 湖南 株洲 412007)

摘要: 客车面漆喷涂机器人系统在实际应用时, 存在清洗损耗大、管内流速低等问题。通过引入线边供漆系统极大地缩短了面漆输送管路长度, 解决了以上问题, 并且可与原集中供漆系统切换使用。

关键词: 客车; 喷涂机器人; 集中输调漆; 线边供漆

中图分类号: U466

文献标志码: A

DOI: 10.15917/j.cnki.1006-3331.2025.01.010

Application and Upgrading of the Bus Topcoat Spaying Robot System

XIE Zuocheng, CAO Zujun, SUN Ying, WANG Fei, ZHANG Jingwei

(CRRC Electric Vehicle Co., Ltd., Zhuzhou 412007, China)

Abstract: In the application of the bus topcoat spraying robot system, there are some problems such as high cleaning loss and low flow rate in the pipe. By introducing the side line paint supply system, the length of the delivery pipelines is greatly shortened, which solves the above problems and can switch use with the concentrated paint supply system.

Key words: bus; spraying robot; concentrated paint supply; side line paint supply

客车的防腐及装饰性通过底、中、面三涂层体系来实现, 其中底漆为采用整车阴极电泳技术的高防腐电泳漆; 中涂漆和面漆为聚氨酯体系涂层, 具有高的耐候性和外观质量^[1]。客车的中涂漆和面漆以人工喷涂为主, 作业环境恶劣、工作量大, 易患职业病, 因此喷涂机器人的应用是目前客车制造需要首先解决的问题。喷涂机器人的应用不只是单纯的人工替代, 更是提升生产效率与柔性的重要手段^[2-3]。本文对客车面漆喷涂机器人的应用与改造进行介绍。

1 面漆喷涂机器人系统

目前客车行业面漆喷涂机器人系统的应用不多, 一般是借鉴乘用车行业的经验。但乘用车在面漆组分、生产模式方面与客车存在根本性的不同, 两者在应用面漆喷涂机器人系统时也存在一些差异, 具体如下:

1) 面漆组分。乘用车行业主要采用单组分高温面漆, 客车行业多采用双组分低温面漆。双组分低温面漆由主剂和固化剂按一定比例混合而成, 需要多配

置一条固化剂的输送管路, 导致在集中输调漆配置上有所不同。面漆集中输调漆系统, 利用压力泵将面漆从调漆间通过密封管道压送到喷漆室各喷涂工位^[4]。其循环方式有主管循环、两线循环和三线循环等^[5], 常用的为主管循环和两线循环, 如图1和图2所示。乘用车采用两线循环将面漆压送至各工位, 而客车多数情况是面漆主剂采用两线循环, 面漆固化剂采用主管循环, 通过机器人三轴上的静态混合器混合后, 再喷涂至车身表面。乘用车基本不会更换色罐, 而客车需要频繁地换色洗罐, 因此硬管过长的两线循环管路并不适合客车。

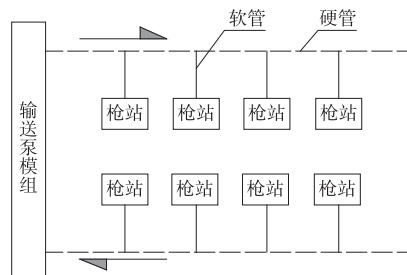


图1 主管循环示意图

收稿日期: 2024-10-12。

第一作者: 谢作成(1990—), 男, 主要从事涂装工艺、粘接工艺研究工作。E-mail: jixges40@163.com。

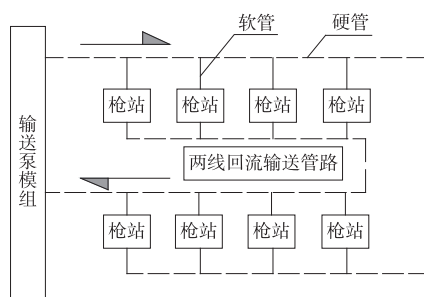


图2 两线循环示意图

2) 生产模式。乘用车为流水线式生产, 而客车为间歇式生产, 导致两者在机器人配置上会有所不同。乘用车常配置6~8台机器人, 机器人不滑动, 通过车身在爬行链上移动来实现整车喷涂。而客车则配置2台机器人和2套外部轴, 分列于客车车身左右两侧, 其中外部轴为单向往复移动的轨道, 机器人整体安装在外部轴上, 可来回移动。机器人本身有6根轴, 加上用于机器人本体来回移动的1根轴, 形成“七轴一体”, 大大延伸了机器人的喷涂范围^[6]。客车车身不动, 依靠机器人和外部轴的协同运动即可实现6~12 m长的整车喷涂, 远超乘用车4~5 m的整车长度。客车外部轴设计为15 m长, 使得喷涂机器人系统的主剂软管总长度可达20 m, 远超乘用车6 m的软管长度。客车面漆机器人喷涂车间如图3所示。



图3 客车面漆机器人喷涂车间

本文客车面漆喷涂机器人系统采用瑞士ABB品牌, 由2台IRB 5500六轴壁挂式机器人、T33 Trolley and Elevated Rail外部轴、IRC 5P喷涂控制系统、RB1000i高压静电旋杯和面漆集中输调漆系统等组成。面漆集中输调漆系统配备6条面漆主剂、2条面漆固化剂、1条面漆清洗剂的输送管路(见图4)。面漆主剂采用两线循环输送, 面漆固化剂采用由主管循环变型的盲端管路输送^[7](见图5), 并通氮气保

护^[8]。清洗剂采用主管循环输送。输送管路压力波动控制在 ± 0.05 MPa。主剂通过固瑞克3:1气动柱塞泵循环至机器人三轴上换色阀, 最大程度降低主剂沉降。面漆主剂罐体容量为100 L, 一次可满足10~15辆车的生产需求, 适用于批量订单。



图4 面漆集中输调漆及其管路

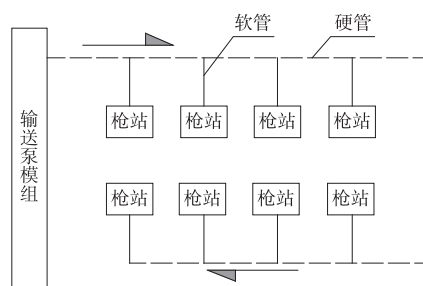


图5 盲端管路

2 存在问题

面漆主剂硬管和软管过长, 会带来换色成本高、生产风险高的问题。

客车制造具有“以销定产”的特点, 颜色丰富多样且多配以各种定制化的图案和文字^[9]。因此, 定制化生产时需要频繁地清洗色罐, 导致换色成本增加, 具体如下:

1) 材料成本。面漆集中输调漆系统主剂输送管路长约140 m, 循环所需最小主剂量为40 kg。在更换其他颜色主剂时, 即使使用压缩空气吹扫, 也只能回收20 kg, 至少损耗20 kg主剂。另外, 每次换主剂时, 罐体和管路要用清洗剂冲洗3次, 一次要消耗40 kg清洗剂, 共消耗120 kg清洗剂。

2) 时间成本。输送管路中的管壁、弯头、拐角等部位易残存主剂, 需要多次长时间地循环冲刷。为

此,规定每次更换不同主剂时,要清洗 3 次,每次循环清洗 8 h 以上,清洗加循环需 2 天。而且即使清洗 3 次,仍无法完全清洗干净,只能换用色调相近的主剂。

面漆主剂软管过长,还会导致流动阻力激增,极大地增加生产风险,具体如下:

1) 运行风险。客车喷涂机器人系统的主剂软管总长度为 20 m,而 ABB 配置的软管内径为 8 mm,为了满足生产时主剂的供给和管内主剂流速大于 0.3 m/s 的要求,不得不将柱塞泵压力提高至 1 MPa 以上,而一般为 0.6 MPa 左右。同时,在喷涂过程中,外部轴和机器人本体要不停地运动,软管还存在扭曲变形,增加了爆管的风险。

2) 色差问题。为了降低上述爆管风险,通常在生产时间将管路压力降低至 0.6 MPa。这样做的结果是管内流速也相应降低,主剂易沉降,将导致机器人生产时的喷涂与修补时人工喷涂的色差异明显,增加了面漆的修补难度。

3 技术改造

经过外部调研和咨询 ABB 公司,确定引入线边供漆系统,以降低管路长度。线边供漆系统集成在机器人的外部轴上,随机器人一起移动,不像集中输调漆系统需安装在调漆间,可同时缩短输送管路和软管的长度,其原理如图 6 所示。

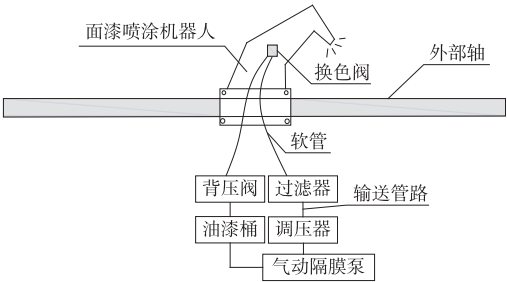


图 6 线边供漆系统原理

3.1 设计思路

结合本文的客车喷涂机器人系统,确定了以下改造设计原则:

1) 改造后的输送管路应尽可能短,在生产大批量订单时可立刻切换为集中输调漆系统。因为大批量生产时,集中输调漆系统具有加漆便利安全、油漆

压力更稳定、喷涂一致性更好的优势,足以弥补其缺点。

2) 在现有条件下进行改造,结构简单改造周期短,可借用能共用的设备,减小改造量。

3) 结构安全性高,换漆操作方便。

设计原则确定后的集中输调漆系统与线边供漆系统的主要区别见表 1。

表 1 集中输调漆系统与线边供漆系统差异点

项目	集中输调漆系统	线边供漆系统
硬管长度/m	120	2
软管长度/m	20	4
配置数量/套	1	2
主剂罐体容量/L	100	20
主剂循环方式	两线循环	主线循环
输送泵	柱塞泵	隔膜泵
固化剂	共用	共用
清洗剂	共用	共用
移动方式	固定在喷房外	随机器人移动

3.2 硬件安装

2 套线边供漆系统分别安装在左右侧机器人本体上,具体如下:

1) 线边供漆系统集成至 L 型料架上,油漆桶容量为 20 L,供应商安装调试合格后发至生产现场,缩短了安装时间。

2) L 型料架安装至 T33 导轨上,随机器人本体一同滑动,将输送管路缩短至 6 m。同时,机器人本体是接地的,保证了线边供漆系统的安全性。

3) 气源从机器人本体空气控制单元(ACU)分支,ACU 气管内径为 12 mm,可保证气压不受影响,同时减小了改造量。

4) ABB 换色阀顶端单独有一个溶剂阀,往下一左一右为一个空气阀和一个空阀,再往下左右对称分布 6 个换色阀,将空阀设置为线边供漆系统的换色阀。

5) 固化剂借用集中输调漆的固化剂。

3.3 软件配置

采用 RobotStudio 软件对线边供漆系统进行配置,实现集中输调漆系统主剂与线边供漆系统主剂的

自由切换,如下所述:

1) 空阀定义为线边供漆系统的换色阀,编号为7号换色阀,如图7所示。

```

ACTUATOR:
-name "A1Servo1" -use_output "Can2/Mac54/iDrive"
-name "A1Servo2" -use_output "Can2/Mac55/iDrive"

-name "A1Col" -use_output "Spi1/Vcbi2/Doport(1-7)"
-name "A1Cat" -use_output "Spi1/Vcbi1/Doport(15-16)"

PARAMETER:
-path "Spi1/Vcbi2/Doport(1-7)/InterLock" -value 1
-path "Spi1/Vcbi1/Doport(15-16)/InterLock" -value 1
  
```

图7 7号换色阀定义

2) 配对7号换色阀和1号固化剂,编号为7号颜色,如图8所示。

1,1	1,1
2,2	2,1
3,3	3,1
4,4	4,1
5,5	5,1
6,6	6,1
7,7	7,1

图8 7号颜色定义

3.4 调试应用

线边供漆系统主剂调漆参数与集中输调漆系统一致,调节调压阀和背压阀控制输送管路压力在 (0.4 ± 0.1) MPa 范围内,其他喷涂参数不变,整车喷涂外观和固化程度均满足要求。

批量生产时,因一次投料只能满足3~5辆车的生产需求,需要在生产间隙进行补料。在主剂更换时需要停线进行输送管路清洗。

线边供漆系统的应用效果:

1) 实现了小批量、多品种订单模式下的快速换色需求。相比集中输调漆系统,线边供漆系统每次换色节约成本2 000多元,时间可控制在30 min内,实现了降本增效。

2) 线边供漆系统输送管路短,主剂循环流速更快,管路压力更低,所以色差更小,易产生色差的颜色也可进行机器人喷涂,即解决了机器人喷涂与手工喷涂的色差问题。

3) 线边供漆系统因调压设备少,清洗更干净、更彻底,清漆和色漆可共用线边供漆系统喷涂。

4) 在外部轴加减速时,主剂会摇晃溢出。机器人本体与外部轴是联动的,可合理分配机器人本体移动距离和外部轴移动距离,来降低外部轴的加速度,但这对机器人仿型有一定限制。

5) 线边供漆系统安装在喷房内,会受到漆雾污染,增加了保洁工作量。

4 结束语

客车面漆喷涂机器人代替人工喷涂是大势所趋,但在实际应用推广过程中受到换色的限制。联合采用集中输调漆系统和线边供漆系统,取长补短,实现客车行业复杂订单模式下的灵活生产,提高了机器人设备的利用率和生产效率,保障了机器人喷涂的涂层质量。

参考文献:

- [1] 李宝水. 客车防腐技术简介[J]. 电镀与精饰, 2010, 32(5): 38-40.
- [2] 黄熠, 刘学渊, 李鑫. 喷涂机器人在客车生产中的应用[J]. 客车技术与研究, 2021, 43(5): 42-45.
- [3] 罗磊, 曹祖军, 孙颖, 等. 客车车身机器人喷涂水性中涂漆应用研究[J]. 汽车工艺与材料, 2022(3): 16-19.
- [4] 赵意华, 姚铭. 涂装线集中输、调漆系统的结构和循环方式[J]. 汽车工艺与材料, 2011(2): 57-62.
- [5] 叶显松, 张龙, 谢国菊. 汽车涂装集中输调漆系统的发展现状[J]. 电镀与涂饰, 2021, 40(10): 759-764.
- [6] 韩守习, 王玉, 李翠娜, 等. 轨道机器人自动喷涂技术在客车涂装生产线中的应用[J]. 现代涂料与涂装, 2018, 21(9): 48-50.
- [7] 蔡永财, 杨双龙, 杨瀛涛. 浅析汽车涂装双组分清漆改造方案设计[J]. 现代涂料与涂装, 2015, 18(10): 22-23.
- [8] 王明, 申标, 韩华全, 等. 双组分清漆涂装线改造设计方案的探讨[J]. 上海涂料, 2023, 61(5): 51-53.
- [9] 许文彬, 杨行甲, 任全凯, 等. 简述客车涂料研究和应用的新进展[J]. 上海涂料, 2023, 61(3): 80-83.