

关于 FANUC 喷涂机器人清洗程序解析

李明, 向微凡, 钟明强, 邓俊杰, 杨路
(广汽传祺汽车有限公司宜昌分公司, 湖北 宜昌 443007)

摘要: 在汽车涂装喷涂过程中, 涉及喷涂系统管路清洗和计量泵填充。根据涂料颜色的差异, 喷涂系统分为同色、异色和超级清洗程序。本文针对 FANUC 喷涂机器人清洗程序与涂料匹配性进行了试验研究, 并得出了较优的清洗方法。这些方法可以消除清洗不干净所产生的品质问题, 同时也能减少清洗过程中产生和排放的危废。我们希望这些研究成果能够为同行在涂装喷涂机器人清洗调试以及溶剂废液削减方面提供改进思路。

关键词: 活塞泵; 齿轮泵; 清洗程序; 脉冲式清洗

中图分类号: TQ639.2 文献标志码: A 文章编号: 1007-9548(2025)11-0063-05

Analysis of the Cleaning Program for FANUC Spray Painting Robots

LI Ming, XIANG Wei-fan, ZHONG Ming-qiang, DENG Jun-jie, YANG Lu
(Guangzhou Automobile Trumpchi Motor Co., Ltd., Yichang Branch, Yichang 443007, Hubei, China)

Abstract: In the process of automotive painting, it involves the cleaning of spray system pipelines and filling of metering pumps. Depending on the difference in paint colors, the spray system is divided into same-color cleaning, different-color cleaning and super purge procedures. This article focuses on experimental research on the compatibility of FANUC painting robot cleaning procedures with paint, and has come up with optimal cleaning methods. These methods can eliminate quality issues caused by incomplete cleaning, while also reducing the generation and emission of hazardous waste during the cleaning process. We hope that these research findings can provide improvement ideas for peers in terms of painting spray cleaning debugging and reduction of solvent waste.

Key words: piston pump; gear pump; cleaning procedure; pulse-jet cleaning

0 引言

随着汽车喷涂技术愈发成熟, 涂料雾化方式也由空气雾化转变为涂料被旋杯分散后协同雾化。谈及汽车静电喷涂技术, 就绕不开涂料雾化和喷涂设备清洗, 然而不同喷涂设备的清洗模式、方法不尽相同^[1]。李梁针对 FANUC P500 喷涂机器人的换色组件和清洗程序逻辑, 以及换色系统异常产生的溶剂质量问题进行了系统分析并提出对策, 得出换色组件要定期进行检查与维护, 同时清洗程序需根据生产需求进行适应性调整^[2]。翟长龙研究了喷涂机器人换色块结构、换色原

理和清洗原理, 并对喷涂机器人换色和清洗时产生的混色、缩孔、漆点等质量问题进行原因分析和排查措施总结, 还分析了排放管清洗不净造成设备高压故障的原因^[3]。陆雷刚^[4]则研究了纯水作为换色清洗介质, 替代原有溶剂清洗的解决方案, 其中包括纯水供应系统设计(纯水供应压力、温度)、换色系统改造(增加纯水接入换色阀)、纯水清洗时序优化(部分溶剂清洗时段使用纯水替代)。白扬等较为系统地研究了降低喷涂机器人清洗溶剂耗量的途径, 即清洗溶剂的选用、清洗程序的优化和清洗溶剂回收设备导入^[5]。但是, 鲜有研究者针对不同计量方式的喷涂设备清洗程序进行系统性研究。本文针对 FANUC 两种不同喷涂设备清洗程序进行了探索, 使其对喷涂系统管路、计量泵、旋杯和成型罩的清洗均能达成较优效果, 并在清洗过程中减

收稿日期: 2024-05-07

作者简介: 李明(1991—), 男, 硕士, 工程师, 主要从事汽车表面涂装工艺管理等工作。E-mail: m15071021446@163.com。

少清洗溶剂的使用量，从源头上削减水性清洗溶剂废液量。此外，针对 FANUC 活塞泵和齿轮泵两种喷涂系统清洗方法进行系统化梳理与总结，得出了一套较优的清洗程序逻辑，为同行在解决新色导入喷涂后清洗不净、清洗程序与涂料特性匹配不足等问题时提供参考。

1 活塞泵喷涂机器人清洗原理

1.1 硬件结构

FANUC 活塞泵喷涂机器人清洗程序主要涉及活塞泵前、后管路，旋杯内、外表面和成型罩壳清洗，活塞泵换色逻辑如图 1 所示，控制逻辑中各阀体作用如表 1 所列。

活塞泵对涂料计量精准、误差小，适用于水性/油性涂料。但是，在对水性涂料进行静电喷涂前，需对隔离管进行清洗和吹干，以增加涂料管路电阻值。当管路中残留未清洗干净的涂料时，电阻值降低，喷涂会产生过电流，引发喷涂高压故障报警⁶。活塞泵清洗程序分为同色清洗(Refill 程序)、异色清洗(Clean out、Fill 程序)和超级清洗(Super purge)。

活塞泵同色清洗 Refill 程序主要流程：1) 活塞泵排漆、清洗，废液由 pDump 阀排出；2) 活塞泵涂料填充；3) 活塞泵入口管路清洗，废液由 pDump2 阀排出。

异色清洗 Clean out 程序主要流程：1) 活塞泵前、后管路清洗，废液分别由 pDump2 和 pDump 阀排出；2) 活塞泵到开枪阀(pTRIG)管路、旋杯内表面清洗，以及旋杯外表面清洗，由 pBW/BW2 阀控制清洗溶剂和压缩空气。

异色清洗 Fill 程序主要流程：1) 清洗干净的管路、活塞泵进行涂料填充，填充分为快速和慢速填充，填充完成后活塞泵后端进行少量排漆，由旋杯内部排出，确

保缸体中无空气残留；2) 清洗机提供清洗溶剂和压缩空气对旋杯内表面和成型罩壳进行清洗。

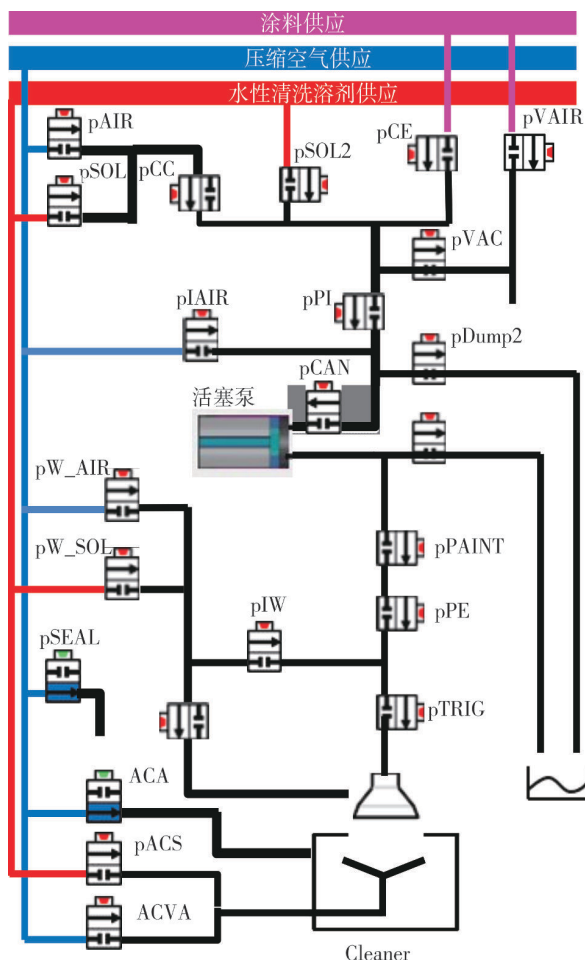


图 1 活塞泵喷涂机器人换色逻辑

超级清洗则是对喷涂系统所有管路的清洗、计量泵的清洗和吹干，对于不同计量方式无明显差异，后文

表 1 换色逻辑中阀名称和功能

阀名称	阀功能/作用	阀名称	阀功能/作用
pTRIG	开枪阀	pSOL2	清洗溶剂 2 控制阀
pCE	颜色阀使能	pPAINT	储漆罐油漆出口控制阀
pPE	喷涂使能控制阀	pW_SOL	杯洗溶剂控制阀
pIW	枪针清洗控制阀	pW_AIR	杯洗空气控制阀
pBW	杯外清洗控制阀	pI AIR	隔离管吹扫空气控制阀
pSOL	清洗溶剂控制阀	pPI	中转模块油漆进入控制阀
pAir	清洗空气控制阀	pVAC	抽真空控制阀
pCC	换色清洗控制阀	pVAIR	抽真空空气
pDump	储漆罐出口排废控制阀	ACA	清洗机密封空气
pCAN	储漆罐油漆进口控制阀	pACS	清洗机清洗溶剂
pSeal	密封空气	ACVA	清洗机清洗空气
pDump2	储漆罐入口排废控制阀		

就不做赘述。

1.2 活塞泵清洗程序

FANUC 活塞泵喷涂机器人主要用于水性涂料加

电喷涂,其清洗程序分为异色和同色清洗,管路处于不同状态时执行清洗程序存在差异,清洗逻辑判断情形如表 2 所列。

表 2 活塞泵清洗程序逻辑判断情形

清洗类型	当前颜色	下一个颜色	管路状态	执行的清洗程序
异色清洗	1	2	已清洗	Fill(填充)
异色清洗	1	2	已填充	Full push to dump(推出涂料至排废管路)+ Clean out(管路清洗)+ Fill
同色清洗	1	1	未知	Full push to dump+ Clean out+ Fill
同色清洗	1	1	已清洗	Fill
同色清洗	1	1	已填充	Refill(再填充)

异色清洗分为两道程序: 第一步是 Clean Out 程序, 即 pCE 阀到 pDump 阀所有管路和活塞泵的清洗和吹干,同时 pIW 阀到 pTRIG 阀管路进行清洗,以及对旋杯内、外表面和成型罩外壳进行清洗、吹干;第二步是 Fill 程序,pCE 阀到 pPAINT 阀管路抽真空,然后对活塞泵和管路进行涂料填充,填充时先快速后慢速,其中慢填充后打开 pSOL2 阀,关闭 pPAINT 阀,用清洗溶剂对管路中的涂料进行驱赶填充,以减少涂料浪费,涂料填充完成后打开 pTRIG 阀排漆泄压,同时关闭 pCAN 阀并打开 pDump2 阀,在喷涂前对 pPI 阀到 pCAN 阀管路进行清洗、吹干。

同色清洗 Refill 程序执行步骤是对活塞泵进行涂料填充(Fill 程序中快、慢填充方法一致),同时短暂开启 pDump 阀泄压,填充完成后对隔离管(pPI 阀到 pCAN 阀管路)进行清洗、吹干,同时开启 pIW 和 pBW/BW2 阀对旋杯内、外表面进行清洗、吹干,最后对成型罩表面进行清洗、吹干。在高压静电喷涂中,隔离管清洗洁净度尤为重要,其清洗是在活塞泵完成涂料填充后,切断涂料供给系统与计量泵之间的联系,以防止在静电喷涂过程中产生过电流,引发火灾等安全风险。活塞泵清洗程序中隔离管清洗主要涉及两段,第一段 pPI 阀到 pCAN 阀段泵前涂料供给管路,第二段是 pW_SOL 阀到 pBW/BW2 阀段旋杯清洗管路。

2 齿轮泵喷涂机器人清洗原理

2.1 硬件结构

FANUC 双齿轮泵喷涂机器人主要用于双组分清漆加电或不加电喷涂,其清洗程序主要涉及齿轮泵泵前、泵后到旋杯管路,主剂与固化剂混合模块,旋杯内、外表面和成型罩壳清洗,换色逻辑如图 2 所示。双组分清漆喷涂机器人清洗程序控制逻辑中各阀体作用如表 3 所列。齿轮泵通过齿轮啮合对涂料进行计量,需定期对齿轮进行校准,适用于水性涂料不加电喷涂,油性涂料加电喷涂。但齿轮泵用于双组分清漆涂料喷涂计量

时,需定期对固化剂进行排漆处理,以保护阀体,避免固化剂在阀体部位堵塞,造成喷涂涂料烘干后漆面失光不良。

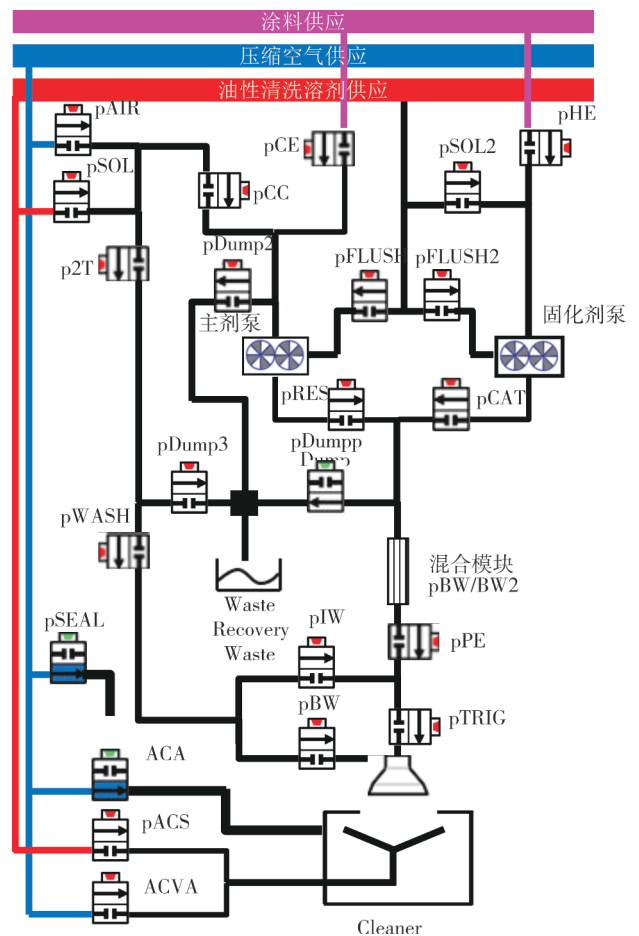


图 2 双齿轮泵喷涂机器人换色逻辑

2.2 双组分清漆齿轮泵清洗程序

双组分清漆齿轮泵清洗程序分为单组分清洗、双组分清洗和同色旋杯清洗 3 种清洗方式,不同清洗方式的清洗程序存在差异,各清洗程序作用如表 4 所列。

表 3 换色逻辑中的阀名称和功能

阀名称	阀功能/作用	阀名称	阀功能/作用
pTRIG	开枪阀	pSOL2	清洗溶剂 2 控制阀
pCE	主剂颜色使能	pPAINT	储漆罐油漆出口控制阀
pHE	固化剂颜色使能	pW_SOL	杯洗溶剂控制阀
pIW	枪针清洗控制阀	pW_AIR	杯洗空气控制阀
pBW	杯外清洗控制阀	pIAIR	隔离管吹扫空气控制阀
pSOL	清洗溶剂控制阀	pPI	中转模块油漆进入控制阀
pAir	清洗空气控制阀	pRES	齿轮泵主剂出口控制阀
pCC	换色清洗控制阀	pCAT	齿轮泵固化剂出口控制阀
pDump	齿轮泵出口排废控制阀	ACA	清洗机密封空气
pFLUSH	齿轮泵主剂进口控制阀	pACS	清洗机清洗溶剂
pFLUSH2	齿轮泵固化剂进口控制阀	pPE	喷涂使能控制阀
pSeal	密封空气	ACVA	清洗机清洗空气
pDump2	储漆罐入口排废控制阀	pDump3	旋杯外侧清洗管路排废控制阀

表 4 双组分清漆齿轮泵清洗程序逻辑判断情形

清洗类型	当前主/固	下一个主/固	管路状态	执行的清洗程序
异色清洗	1/1	2/1	已清洗	1K Fill(主剂填充)+ Pot-life fill(混合模块填充)
异色清洗	1/1	2/1	已填充	Full push to dump(推出涂料至排废管路)+1K Clean out(主剂管路清洗)+1K Fill(主剂填充)+ Pot-life fill
异色清洗	1/1	2/2	已清洗	Fill(主/固填充)+ Pot-life fill
异色清洗	1/1	2/2	已填充	Full push to dump+ Clean out(主/固管路清洗)+ Fill+ Pot-life fill
同色清洗	1/1	1/1	未知	Full push to dump+ Clean out+ Fill+ Pot-life fill
同色清洗	1/1	1/1	已清洗	Fill+ Pot-life fill
同色清洗	1/1	1/1	已填充	Cup clean(旋杯清洗)

相较于色漆或单组分清漆，双组分清漆清洗程序增加了固化剂模块和混合模块清洗，以及喷涂过程中涉及变更双组分清漆中单一组分的清洗方式。异色清洗分为两种情况：一种为主剂和固化剂同时清洗，另一种为只清洗主剂不清洗固化剂。

针对主剂和固化剂均清洗的情况，第一步清洗程序为 Clean out，即打开 pSOL、p2T、pWASH、pIW、pPE 阀对混合模块进行清洗，废液由 pDump 排出；然后关闭 pSOL，打开 pAIR 阀对混合模块进行吹干；接下来是主剂和固化剂齿轮泵、管路清洗和吹干；最后打开 pBW、pTRIG 阀，对旋杯内、外表面进行清洗和吹干。第二步程序为 Fill，即打开 pCE 阀进行主剂填充，对管路进行泄压，然后打开 pHE、pCAT、pRES 阀，分别对固化剂和主剂齿轮泵进行涂料填充。第三步程序为 Pot-life fill，打开 pSOL、p2T、pDump3 阀对排废管路进行清洗，防止混合模块排出废液固化堵塞管路，然后主剂、固化剂填充至混合模块，并打开 pPE、pTRIG 阀进行排漆泄压，最后打开 pACS、ACVA 阀进行成型罩外壳清洗。

针对主剂或固化剂清洗情况，第一步清洗程序 1K clean out，打开 pSOL、p2T、pWASH、pIW、pPE、pCC、pDump2、pFLUSH、pRES 阀，对混合模块、主剂供给管路和齿轮泵进行清洗、吹干。第二步清洗程序 1K fill，打开 pCE、pDump2 阀对主剂供给到齿轮泵管路进行涂料填充。第三步程序为 Pot-life fill，同时打开主剂和固化剂供给管路阀门对混合模块进行涂料填充与充分混合，最后打开 pPE 阀进行涂料泄压，为喷涂做准备，喷涂时打开 pTRIG 阀。

同色清洗 Cup clean 程序执行步骤为主剂齿轮泵，同时短暂开启 pDump2 阀泄压，填充完成后开启 pIW 和 pBW/BW2 阀进行旋杯内、外表面清洗、吹干，最后是成型罩表面清洗、吹干。

3 清洗程序匹配性问题

喷涂机器人清洗程序设计不仅与喷涂设备硬件结构有关，而且与所喷涂涂料特性相关。针对 FANUC 喷涂机器人，活塞泵主要涉及隔离管清洗问题，隔离管第一段是 pPI 阀到 pCAN 阀段泵前涂料供给管路，第二

段是 pW_SOL 阀到 pBW/BW2 阀段旋杯清洗管路,涂料清洗不净或者清洗液残留未吹干,会使得静电喷涂过程产生电流值过大,引发高压报警。齿轮泵主要涉及混合模块清洗问题,由于双组分清漆混合后易固化以及混合模块中有提升混合效果的螺旋管,使得腔体清洗难度增加。上述问题主要体现在涂料清洗难度上。影响喷涂系统中涂料清洗效果主要有以下几个方面^[7]:1)清洗溶剂对涂料中颜料的清洗能力;2)涂料固体分、特殊色浆颜料等清洗溶剂用量的影响;3)清洗程序中隔离管、计量泵和混合模块的清洗方法。

针对以上清洗程序与涂料、设备特性匹配性问题,应对措施如下:1)在上机测试前,涂料流板制作不同静置时间的涂膜,将其浸泡在不同浓度、温度的清洗溶剂中,利用控制变量试验法得出最优清洗溶剂浓度、温度;2)针对色漆涂料特性,对固体分较高(>40%)的涂料清洗时,隔离管、旋杯和成型罩清洗溶剂用量、压缩空气吹扫时间大于一般涂料(固体分 20%~30%)。另一方面,特殊颜料清洗程序中,各步骤使用脉冲式清洗方式耗时更长,通过溶剂-空气间歇式循环冲洗,提升清洗效果。例如,象牙白色漆固体分 48%,杯洗时间为 18 s,远大于皓月灰色漆固体分 21%时的杯洗时间 12 s。3)针对双组分清漆,齿轮泵机型的混合模块清洗方法需根据清漆固体分或是否加有特殊颜料选择合适的脉冲时间片进行溶剂-空气交替清洗。例如双组分清漆 A 采用溶剂清洗 2 s,压缩空气吹扫 3 s 的交替冲洗方式,循环 10 s,脉冲循环次数 2 次(即溶剂脉冲时间片为 2 s,空气脉冲时间片为 3 s)。若混合模块清洗不净,易造成螺旋管堵塞,喷涂时产生出口压力高报警。

4 结语

本文系统阐述了 FANUC 喷涂机器人两种计量泵的清洗逻辑和各清洗程序的作用。活塞泵与齿轮泵清洗程序的主要差异点在于:1)活塞泵涂料填充完成后,

需对泵体前端的隔离管进行清洗,避免喷涂过程中产生过电流,一般适用于加电喷涂的水性漆,而齿轮泵清洗程序中无此时序;2)齿轮泵主剂和固化剂填充完成后,喷涂前涂料会进入混合模块进行混合,因此喷涂完成后会对混合模块进行清洗,避免不同厂家涂料之间相互污染,一般适用于加电喷涂的油性漆或不加电喷涂的水性漆,而活塞泵清洗程序中无此时序。清洗程序在实际喷涂应用中主要考虑清洗程序与清洗溶剂浓度、温度、被清洗涂料特性(如固体分,颜料特性等),以及管路和硬件模块的清洗方法(如脉冲式清洗溶剂时间片、压缩空气时间片与涂料特性的匹配性)。此外,在满足生产节拍的前提下,清洗程序可根据喷涂机器人作业区域不同产生的作业工时差异进行清洗时序差异化设计,在保证机器人清洗效果的同时,最大限度节约清洗溶剂耗量,实现清洗程序与涂料特性、机器人清洗工时的精细化匹配。

参考文献:

- [1] 李鹏,张伦周,邵大球.涂装喷涂机器人清洗技术探讨[J].现代涂料与涂装,2010(7):49-54.
- [2] 李梁.基于 FANUC P500 浅析喷涂机器人换色系统[J].现代涂料与涂装,2015(10):53-55.
- [3] 翟长龙.汽车涂装喷涂机器人的换色及清洗[J].现代涂料与涂装,2014(12):9-11.
- [4] 陆雷刚.纯水作为清洗介质的喷涂机器人换色研究[J].现代涂料与涂装,2022(1):49-52.
- [5] 白扬,翟长龙,朱哲,等.降低涂装喷涂机器人清洗溶剂消耗的途径[J].现代涂料与涂装,2016(10):40-42.
- [6] 王一洲,陈猛,余亚伟,等.浅谈内加电 DURR 机器人高电压问题解决[J].现代涂料与涂装,2022(3):69-71.
- [7] 李明,邓俊杰,郭江华,等.关于削减汽车涂装水基清洗剂耗量的探究[J].涂料工业,2022(10):48-52.

《现代涂料与涂装》征订启事

《现代涂料与涂装》期刊是由中昊北方涂料工业研究设计院有限公司主办的全国性科技期刊,国内外公开发行,国际连续出版物号:ISSN 1007-9548,国内统一连续出版物号:CN 62-1135/TQ;本刊是中国学术期刊综合评价数据库来源期刊;《中国学术期刊(光盘版)》《中国期刊网》《万方数字化期刊群》《维普资讯》全文收录期刊;美国《化学文摘》(CA)收录期刊。突出实用性与理论性相结合的报道理念,侧重于企事业单位的研究成果传播,为实际生产遇到的问题提供参考和解决方案。本刊为月刊,每月 20 日出版,大 16 开本,彩版印刷,每期定价 15.00 元。

请根据您的方便,选择以下方式订阅:

- 1.通过当地邮局订阅,国内邮发代号 54-65,全年 180 元。
- 2.直接向本刊编辑部订阅,纸质版全年 282 元(含快递费),电子版全年 120 元。

汇款信息:

单位名称:中昊北方涂料工业研究设计院有限公司
开户行:中国建设银行股份有限公司兰州拱星墩支行
账号:6200 1360 0190 5150 0638



编辑部订阅二维码