

# 浅析 FANUC 喷涂机器人常见设备故障原理分析

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

**摘要:** 雾化器作为汽车涂装中实现静电喷涂工艺的核心设备, 其结构主要由四大工艺模块控制系统组成, 分别为流量控制、转速控制、成型空气控制和静电高压控制。本文通过对 FANUC 喷涂工艺模块设备故障产生原因进行分析与总结, 梳理归纳出静电喷涂四大工艺模块控制系统中常见设备故障的产生原理, 并制定了相应的问题排查方法及预防措施, 以降低设备故障对生产造成的停线影响, 为同行在设备故障及品质异常排查方面提供参考经验。

**关键词:** 流量控制; 转速控制; 成型空气控制; 高压静电控制

中图分类号: TQ639.2 文献标志码: A 文章编号: 1007-9548(2025)06-0049-04

## A Preliminary Analysis of Common Equipment Faults in FANUC Spraying Robots

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

**Abstract:** The atomizer as the core equipment for achieving electrostatic spraying processes in automotive coating, primarily consists of four major process module control systems: flow control, rotational speed control, shaping air control, and high-voltage electrostatic control. This paper analyzes and summarizes the causes of faults in FANUC spraying process module equipment. It categorizes and elucidates the common fault principles associated with the four key process module control systems in electrostatic spraying. Furthermore, it establishes corresponding troubleshooting methods and preventive measures to mitigate the impact of equipment failures on production downtime. This provides valuable reference experience for peers dealing with equipment malfunctions and quality anomalies.

**Key words:** flow control; speed control; molding air control; high voltage electrostatic control

### 0 引言

随着汽车喷涂自动化程度不断提升, 汽车喷涂也逐步由半自动化转换为全自动喷涂。汽车喷涂是以工业机器人的标准化轨迹运行作为基础, 集成涂料喷涂系统, 通过轨迹运行协同涂料雾化喷涂, 实现整车漆膜的全自动化喷涂。设备自动化水平提升则对设备的维护、保养提出更高要求, 日常点检、维护不到位导致设备故障, 轻则产生批量品质不良, 重则造成生产线停线。汽车喷涂设备由于系统硬件、通信模块交错复杂,

故障排查存在验证难度大, 设备硬件拆、装耗时长等特点。

关于设备常发高压故障问题, 李鹏等研究发现, 聚四氟乙烯 (PTFE) 护罩内残存的溶剂、漆雾污染的雾化器以及阀体所处的特殊位置, 喷涂加高压时与机器人本体形成导电通路, 由于带电的涂料与雾化器附带阀体形成电势差, 造成阀体及其周边长期受高压冲击, 以及雾化器高压栅部位残留溶剂, 使得雾化器更易出现放电和高压击穿现象<sup>[1]</sup>。王飞相对全面地研究了高压电缆弯折, 喷房环境湿度过大, 恒流模式电压反馈阈值、恒压模式电流反馈阈值设定, 高压电极指尖污染和清漆回流管堵塞对高压报警的影响<sup>[2]</sup>。王小详则从设备本身、产品质量和喷涂程序软件 3 方面梳理了 ABB 喷涂机器人常见故障, 并对故障产生原因和对策做了

收稿日期: 2024-01-31

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开发及汽车涂装生产品质管理等工作。E-mail: m15071021446@163.com。

详细分析<sup>[9]</sup>。多数研究学者只针对喷涂系统控制模块中高压和转速两方面故障做以总结,鲜有对喷涂设备常发故障做系统性的研究。因此,本文针对喷涂系统四大工艺控制模块常见故障原因进行全面分析与总结,梳理出一套故障快速应对方法和长久预防措施,为同行提供参考。

## 1 喷涂控制系统介绍

喷涂控制系统包括四大工艺模块,分别为流量控制、转速控制、成型空气控制和静电高压控制。流量控制模块的作用主要是控制喷涂流量大小,其中计量泵有两种计量方式,一种为齿轮泵,即通过齿轮啮合进行定量;另一种为活塞泵,即通过活塞抽移动到特定位置进行定量。转速控制模块主要是控制旋杯转速,其作用是对旋杯中的涂料在高速旋转的离心力下被旋杯边缘锯齿切割成细丝<sup>[1]</sup>。成型空气控制模块的作用主要是对旋杯切割的涂料细丝进行雾化,以及对雾化后的漆雾进行束缚,控制雾化分散面积大小。静电高压控制模块的作用主要是对雾化后的漆雾赋予负电荷,这样在静电力的作用下,带负电的涂料粒子会向带正电的车身(车身接地)运动,提升涂料粒子在车身表面的附着效率<sup>[2]</sup>。

在车身静电喷涂过程中,为了实现涂料高品质的在车身表面涂覆,涂料流量、旋杯转速、成型空气流量和高压静电电压四者之间相辅相成,存在某一特定的平衡系数,因此在喷涂系统参数选择时应权衡考虑。涂料流量的设定主要受涂料工程遮盖能力影响,一般涂料颜色遮盖性差,则喷涂所需涂料流量越大。旋杯转速的设定主要受涂料中颜料属性影响,一般金属、珠光等颜料分散难度大,则喷涂所需旋杯转速越高。成型空气流量的设定主要受涂料固体含量影响,一般固体含量越高,漆雾控制所需成型控制流量越大。静电高压值的设定主要受涂料中溶剂导电性的影响,一般水性涂料由于溶剂导电性强,喷涂设定的静电高压值小于油性涂料。

## 2 喷涂控制系统故障原因分析

### 2.1 流量控制系统

流量控制系统工作原理:涂料经过换色阀,涂料调压器进行稳压调节后进入计量泵,计量泵电机转速信息反馈给编码器主板,计量泵出口到开枪阀管路设有压力传感器对出口涂料压力进行检测,压力传感器信号转换为模拟量输入 EX600 工艺通信模块,然后经以太网模拟量输出给机器人控制柜。流量控制模块连接示意图 1。

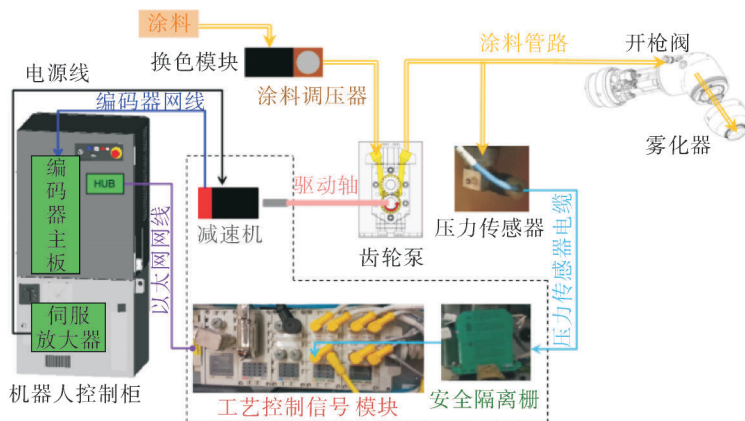


图1 流量控制模块连接示意

流量控制系统常见故障主要为:1)压力传感器检测报警;2)换色阀体损坏,导致喷涂异常;3)通信电缆损坏,导致通信异常报警。压力传感器报警表现形式有两种,一种为出口压力高,其产生原因可能为开枪阀参数设置滞后,或者是漆渣异物卡住枪针、喷涂使能阀或开枪阀,导致管路憋压引发压力传感器检测超上限;另一种为出口压力低,其产生原因可能为:1)涂料系统未开启,供给流量不足;2)涂料调压器故障,导致涂料供给压力不足;3)齿轮泵故障,泵体密封圈老化漏压,导致涂料供给压力不足。

换色阀体损坏一般无法通过报警反馈问题,其主要表现为阀体关不严或者开度变小,在色漆站发生此类故障,则表现为混色或者缺漆,在双组分清漆站则表现为漆膜烘干后失光。

此类设备故障以预防为主,主要措施有:1)制定流量标定频次,对流量标定异常的阀体提前进行更换;2)喷涂系统管路清洗后,查看压力传感器显示值是否为“0”。通信线缆损坏,主要表现为压力传感器的反馈为“0”,该故障原因主要为压力传感器电缆和工艺控制模块与控制柜连接网线损坏。

### 2.2 转速控制系统

机器人转速检测控制原理：涡轮旋转时会让光信号产生变化，这种变化会通过雾化器内的短光纤到手臂 3 轴内 1.5 m 光纤，再到手臂 2 轴内的长光纤，光在玻璃纤维中以全反射的原理进行工作，从光纤一端使用发光二极管或一束激光将光脉冲发送至光纤中，光

纤另一端使用光敏组件检查脉冲信号，脉冲信号通过光电转换器处理后反馈给机器人一个实时数值，经过转化后可以在示教器显示一个实时的转速，当转速变化时，机器人通过控制驱动雾化器涡轮驱动空气比例阀的开度来调节旋转转速。喷涂机器人转速控制模块逻辑见图 2。

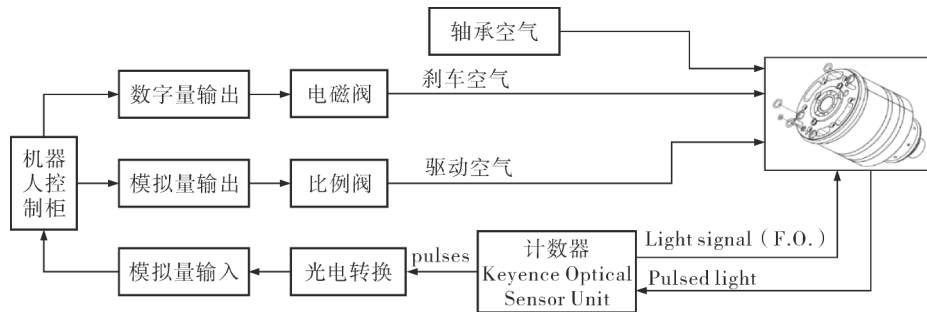


图 2 转速控制模块逻辑

转速控制模块常见故障主要为：1) 光电信号反馈光纤故障，其主要分为光纤线缆损坏和光纤端口探头异常。光纤线缆损坏报警信息为实际转速超出设备极限值报警，光纤断裂的原因可能由于本身比较脆弱，在保养拆装雾化器、内喷极限位置喷涂时的拉扯，导致其长期疲劳断裂。根据 ANSI/TIA/EIA-568B.3 标准定义了光纤最小弯曲半径取决于特定的光纤，在无拉力的情况下光纤弯曲半径一般不应小于光纤外径 (OD) 的 10 倍<sup>[3]</sup>。喷涂机器人在承受负荷的情况下，光缆的弯曲半径是光缆外径的 15 倍，当手臂光纤因拆卸导致折弯太大或者超过使用更换周期时，内部就会出现细小断层或者破损，导致光信号全反射的效率降低，通过光纤反馈的光信号会失真，此时机器人得到错误的光信号反馈会错误地调整比例阀的开度，从而导致转速异常升高直至超过设备转速极限值，发出转速反馈不稳定报警信息。光纤端口探头异常报警信息

为旋杯转速为 0，其可能原因是雾化器内部光纤端口探头被涂料或绝缘油脂污染，光信号无法正常返回至放大器，造成转速反馈为 0 报警。转速监控原理是机器人通过安装在手臂 2 轴内的一套光纤传感器，接入到雾化器空气涡轮马达，对空气涡轮马达背面的黑白盘的遮光，反光变化得到数字量信号，转化为转速数据。2) 比例阀或电磁阀损坏，该类故障表现为涡轮马达转速根据模拟量输出信号的变化无法通过控制阀体进行空气流量的调节，导致旋杯转速失去控制，产生转速反馈不稳定报警。

### 2.3 成型空气控制系统

成型空气控制原理：机器人通过控制柜设定值输出模拟量给到比例阀控制压缩空气的流量，流量计反馈实际流量值，反馈值与设定值差异超出误差范围值 (误差控制在 ±5%) 时，触发成型空气流量异常报警。喷涂机器人成型空气控制模块逻辑见图 3。

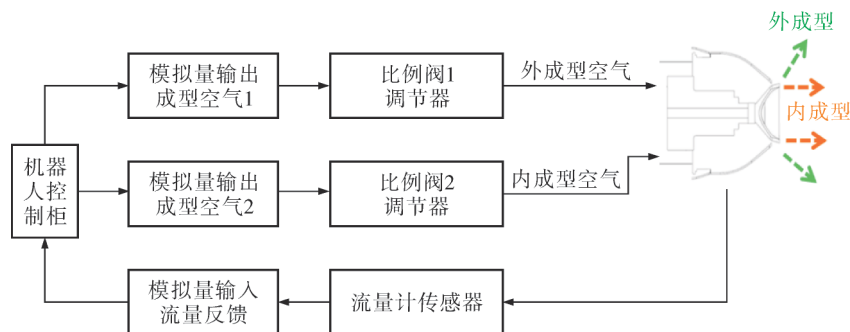


图 3 成型空气控制模块逻辑

成型空气控制常见故障为：1) 通讯线缆损坏，导致信息反馈异常，空气流量超差；2) 流量计、比例阀等硬

件损坏，导致空气流量反馈为“0”；3) 成型空气管路泄漏、接口松脱或气管弯折，导致实际空气流量无法满足

工艺需求,产生成型空气流量低报警。

成型空气故障产生原理:1)通讯线缆损坏一般表现为信息反馈失真,发出错误的信号使得比例阀开度变大,流量计流量反馈值偏大,产生空气流量超差报警;2)流量计、比例阀硬件损坏一般表现为流量传感器损坏,导致空气流量反馈数据异常;3)成型空气流量偏低,一般空气供管存在泄漏点或者接头处密封圈老化,导致漏气。

## 2.4 高压静电控制系统

高压静电控制原理:机器人控制柜通过网线与手臂2轴高压控制器进行连接,接收到高压发生信息,产生负高压通过高压电缆传送到雾化器,对雾化的涂料赋予负电荷,进行静电喷涂。FANUC 静电喷涂机器人外表面喷涂高压值一般设定为 60~80 kV,内表面喷涂高压值一般设定为 30~40 kV,以此来保证较优的上漆率<sup>[7]</sup>。当喷涂系统的电阻值低时,产生的电流值超过某一特定值,机器人产生过电流高压报警,高压静电控制连接示意图如图 4。

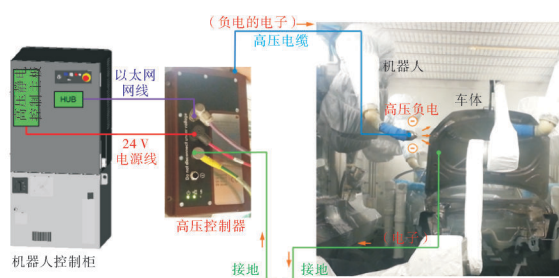


图4 高压静电连接、控制示意

高压静电控制常见故障为:1)高压控制器老化,绝缘性变差,加压时被击穿,产生电火花报警;2)高压线缆损坏,导致高压传递异常,高压值反馈不稳定,产生过电流报警;3)活塞式填充泵活塞老化,导致缸体漏液,加高压喷涂时产生过电流报警;4)喷涂系统管路清洗洁净度不足,喷涂时施加高压产生电流超过阈值,导致高压报警<sup>[8]</sup>。

高压故障产生原理:1)高压控制器老化表现为喷涂工艺参数高压赋值过大,控制器施加电压达到设定值时,产生放电或击穿现象,因此高压控制器可制定高压测试确认,频次1年1次,把握控制器老化情况;2)高压线缆损坏主要表现为设备长期运转姿态变化扭动,导致接口端子断裂、线缆存在老化,绝缘性变差,可能产生电流值过高,因此高压线缆可以根据使用情况进行寿命管理定期更换;3)活塞式填充泵活塞老化主要表现为活塞头变形后密封不严,涂料注入后,活塞冲程在对外做功时,部分涂料渗漏到冲程杆,施加高压

喷涂时,电阻值降低产生过电流报警,其产生原因可能是活塞头材质不耐磨,或喷涂时雾化器端时常发生漆渣、异物卡阀、枪针产生负扭矩过大报警,导致活塞头受冲击,加速形变、老化;4)喷涂系统管路洁净度不足主要表现为隔离管清洗、吹扫洁净度不足,所述隔离管分为3段,分别为:隔离管1,位于换色阀与活塞式填充泵之间,其作用是填充泵完成填充后隔绝换色阀端涂料;隔离管2,位于活塞式填充泵与排废端之间,其作用是隔绝排废端废液;隔离管3,位于溶剂阀与杯外清洗阀之间,其作用是隔绝溶剂,隔离管位置见图5。因此,隔离管清洗可以制定相应拆除、清洗频次,以及进行喷涂过程中电流值监控,若电流值偏高,在不影响生产节拍的前提下,临时通过清洗程序中增加隔离管路空气吹扫时间,提升管路干燥性,起到降低导电性的作用。

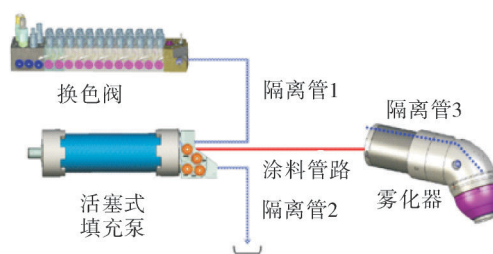


图5 隔离管清洗不净导致高压报警示意

## 3 结语

本文通过对汽车喷涂四大工艺控制系统常发故障产生原因进行梳理与总结分析,得出如下结论:

1)流量控制系统故障主要为流量压力检测和流量控制阀异常,一般通过定期进行换色阀、枪针清洗,特别是已使用过系统重新再投其他涂料,系统中残留少量漆渣易卡阀或枪针,日常管理则通过对喷涂机器人进行流量标定和清洗后管路压力值监测,来预防异常发生;

2)转速控制系统故障主要为转速反馈为“零”和转速反馈不稳定,转速反馈为“零”其可能原因为转速反馈光纤线缆损坏或光纤端口探头异常,转速反馈不稳定可能原因为比例阀和电磁阀损坏,通常预防措施是开班前进行出漆空运转测试和运行过程中转速稳定性监测;

3)成型空气控制系统故障主要为空气流量通讯线缆反馈、电磁阀异常,空气调节的比例阀、流量计损坏,成型空气管路泄漏、弯折、接头老化等,一般通过对硬件单元模块进行生命周期管理,以及生产准备阶段进行空气流量标定测试确认,来提前预防故障;

4)高压静电控制模块故障主要分(下转第56页)