

青颜色出租车的特殊喷涂工艺

吴园园, 商兆杰, 唐晓玲, 陈 猛
(南京汽车集团有限公司, 南京 210061)

摘要: 分享了一个油漆发花解决的特殊喷涂案例, 通过对常规喷漆工艺“杯+杯”的改进, 模拟“杯+枪”喷漆工艺, 快速解决油漆云雾状发花问题; 通过对机器人仿形轨迹布局优化、轨迹间距加密, 解决了条纹状发花问题, 同时对机器人碰撞干涉问题进行了攻关解决。

关键词: 油漆发花; 喷涂工艺; 机器人程序

中图分类号: TQ639 文献标志码: A 文章编号: 1007-9548(2025)05-0052-05

Painting Process of Cyan Taxi

WU Yuan-yuan, SHANG Zhao-jie, TANG Xiao-ling, CHEN Meng
(Nanjing Automobile Group Co., Ltd., Nanjing 210061, China)

Abstract: A special spraying case of paint blooming was shared. Through the improvement of the conventional spraying process "cup + cup", the "cup + gun" spraying process was simulated to quickly solve the problem of paint cloud blooming. By optimizing the layout of the robot's profiling trajectory and encrypting the trajectory spacing, the problem of stripes is solved, and the problem of robot collision interference is solved.

Key words: paint floating; painting process; robot programming

0 引言

公司接到一紧急订单, 一出租车公司定制某车型做出租车, 订单 1 000 台, 1 个月时间交货, 并指定颜色为“碧玉青色”, 由于本厂没有生产过该青色, 所以没有油漆材料储备, 如果马上启动开发新颜色, 按新颜色开发流程, 需要 6 个月以上时间, 无法满足出租车公司要求的交货时间, 于是紧急从集团公司内的另一工厂运输一批青颜色油漆物料, 投罐喷涂后, 发现整车油漆外观发花严重, 发动机盖、车顶、后盖、四门、翼子板、上侧围区域发花明显, 不符合质量标准, 需紧急攻关解决油漆发花质量问题。

1 油漆发花的定义和类型

发花是由于金属粉或珠光粉排列异常导致的漆膜颜色不均、班印条纹和色相杂乱的现象。

收稿日期: 2024-01-08

作者简介: 吴园园(1984—), 男, 本科, 工程师, 主要从事喷漆机器人的程序调试、油漆外观质量调试等相关工作。E-mail: wuyuanuan@saicmotor.com。

油漆发花分为条纹状发花和云雾状发花两种, 条纹状发花见图 1, 云雾状发花见图 2。本次青色发花既有条纹状发花, 也有云雾状发花。



图 1 条纹状发花

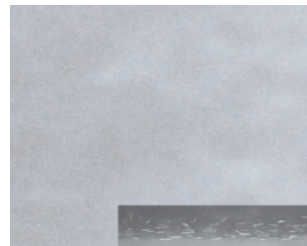


图 2 云雾状发花

2 油漆发花的机理

理想状态下, 色漆喷涂后效应颜料的排列是整齐的, 铝粉均匀排列, 平行的入射光线被平行反射; 但因为涂装不当导致效应颜料排列异常时, 铝粉非定向排列, 平行的入射光线被散射, 就会出现发花问题。

金属珠光漆受到效应颜料(铝粉、珠光粉)的作用, 在光源一定方向照射下, 从不同的方向和角度观察而

亮度不同,正常情况下这种闪光效果是统一而均匀的,见图3。

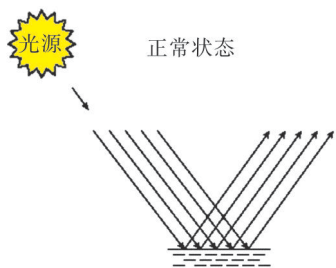


图3 金属漆正常反光

由于涂装过程中色漆内铝粉非定向性排列或遮盖力不均匀,出现斑印、条纹和色相杂乱的现象,因为涂装不当导致效应颜料排列异常时,就会出现发花问题,见图4。

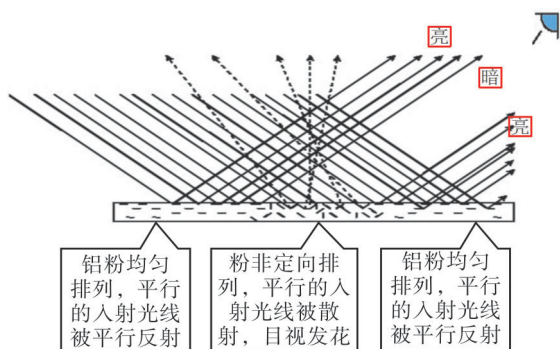


图4 金属漆发花时的反光

条印状发花机理:机器人喷幅不适当,导致重叠率过低时,色漆膜厚均匀一致性差,色漆膜厚的区域与膜厚低的区域,呈条纹状分布,会出现形态类似斑马纹的条印状发花。

云雾状发花机理:油漆喷涂过湿时,整个涂层的铝粉排列变得混乱,会出现云雾状的发花。

3 油漆发花的评审

传统 Audit 灯光和精修线灯光下,目视难以观察到发花问题,不作为发花评价的典型环境,油漆发花的评审,有以下3种方法。

方法一:在涂装车间评审时,一般选在精修线入口处,车身大部分在精修线室外,发动机盖刚进入精修线时,室外外光线暗,室内光线亮,可以评审发花情况。

方法二:总装后,一般在室外阳光充足条件下,进行发花评价;位置可以选在总装下线道口,车身一半在室外,一半在室内,评价前盖、车顶、四门的发花情况。如图5所示,发动机盖半前部在室外,阳光能照到,发动机盖后半部在室内阴影处,此种环境下可以评审发

动机盖的发花情况。



图5 总装后评审发花

方法三:在完全黑暗的环境中,用强光手电筒照射油漆表面,不同的角度照射,观察油漆外观有无露底现象;如果能看到色漆露底,室外评审时一般能看到油漆发花问题,此种方法不常用。

4 油漆发花的影响因素

导致油漆发花的原因众多,从机器设备、物料、工艺方法、环境方面分析归纳,影响因素见表1。

表1 油漆发花的影响因素

项目	影响因素
机	1)喷漆机器人雾化不良
	2)油漆流量计量不准确
	3)喷漆机器人压缩空气湿度不合格
料	1)色漆固体含量偏低,遮盖力差
	2)油漆助剂添加不合适,喷涂偏湿
	3)油漆黏度不合适
	4)油漆温度不合适
法	1)喷漆机器人喷幅不适当,导致重叠率过低时膜厚不均匀
	2)喷漆机器人枪距偏大或偏小,导致膜厚不均匀
	3)喷漆机器人旋杯转速设置偏低,导致油漆雾化不良
	4)油漆膜厚喷涂偏低
	5)油漆喷涂第一道和第二道膜厚配比不合适
环	6)油漆流平时间过短
	7)色漆 BC2 涂层喷涂过薄无法遮盖 BC1 涂层,或 BC2-2 涂层过薄无法遮盖 BC2-1 涂层时,会出现大面积的斑块状发花
	1)喷房温度偏低
	2)喷房湿度偏高
	3)车体温度偏低
	4)喷房送风温度偏低

对于材料因素,本批次碧玉青色漆材料是从集团公司内其他厂紧急转货过来的,和我们工厂一样,喷漆生产线是 B1B2 喷涂工艺,但其原工厂使用的喷漆机器人色漆喷涂工艺是“杯+枪”喷涂工艺,即色漆喷涂第一道是静电旋杯喷涂,第二道是气喷枪喷涂,油漆材料中慢干溶剂比例为 6%~7%;而我们工厂使用的色漆喷涂工艺是“杯+杯”喷涂工艺,即第一道是静电旋杯

喷涂,第二道也是静电旋杯喷涂,油漆材料中慢干溶剂比例为 3%~4%;气喷枪机器人适用的油漆材料“偏湿”,即材料中添加的溶剂闪干较慢,而静电旋杯喷漆机器人适用的油漆材料比气喷枪的要“干”些,即油漆材料中添加的溶剂挥发得较快。

对于设备因素,空气喷枪对金属漆的雾化效果与静电旋杯不同,空气喷枪对金属漆的雾化分散效果好,金属粉可以完全分散开,而静电旋杯机器人喷涂时,由于油漆材料带电荷,金属粉容易聚集、排列异常。

B1B2 工艺色漆站喷涂工艺流程:车身擦净→BC1 预喷涂→BC2 第一道→BC2 第二道→闪干→清漆→烘干。

碧玉青在原厂与本厂的喷涂工艺差异点,主要是 BC2 第二道喷涂与本厂不同,见表 2。

表 2 BC2 喷涂工艺差异

项目	第一道喷漆机器人	第二道喷漆机器人
原工厂	静电旋杯	空气喷枪
本厂	静电旋杯	静电旋杯

5 碧玉青发花优化方案

现场调试从油漆材料和喷涂工艺参数方面进行发花优化,方案见表 3。

表 3 发花优化方案

调整项	调整内容	效果确认
油漆材料	1)油漆黏度 35 s 改为 46 s	无效
	2)补加快干溶剂、触变剂	轻微改善
喷涂工艺	1)喷漆机器人油漆总流量提升 25%	轻微改善
	2)喷漆机器人油漆两道流量比例 1:1 改为 1.2:1	无效
	3)喷漆机器人成型空气加大内环、减小外环	无效
	4)喷漆机器人旋杯转速提高 5 000 r/min	轻微改善
	5)提高喷漆机器人旋杯与车身的距离	无效

以上调整发花的传统方案,均无法解决碧玉青颜色的发花问题。如果较大幅度地改变材料中的助剂添加量,整车厂现场是无法操作的,只能由油漆材料生产厂家重新生产新批次油漆,但重新生产新批次油漆的周期过长,油漆供应商需要先从实验室开发适合我们工厂工艺的配方,然后排生产油漆,这个周期远远超过了 1 个月交货给出租车公司的期限。

鉴于以上原因,急需采取特殊且有效的攻关方案,完成本次青色出租车的喷涂工作。

6 云雾状发花攻关

碧玉青颜色在原工厂是“杯+枪”喷涂工艺,是采

用两道成膜工艺,即第一道是静电旋杯喷涂,第二道是空气喷枪喷涂。

我们工厂也是采用两道成膜工艺,但第一道是静电旋杯,第二道也是静电旋杯;既然都是两道成膜,这就为我们提供了一个大胆的解决思路,即用静电旋杯机器人模拟气喷枪的喷涂,具体方案见表 4。

表 4 模拟气喷枪方案

项目	方案
第一道: 机器人喷涂	机器人:静电旋杯正机器人常喷涂, 油漆流量提高 50%
第二道: 机器人喷涂	机器人:油漆流量关闭,成型空气正常开启, 利用空气吹扫加快油漆中溶剂的挥发
第三道: 人工气喷枪喷涂	在补正工位,采用“手工气喷枪只开空气吹一遍 +手工气喷枪喷漆一遍”的方式, 交替进行,人工喷漆三遍

1)色漆机器人第一道:静电旋杯机器人正常喷涂,色漆流量提高 50%;

2)色漆机器人第二道:机器人油漆流量关闭,机器人整形空气正常开启,仿形轨迹正常运行,利用机器人的压缩空气(200 NL/min),把第一道油漆湿膜吹干些,即加快油漆湿膜中的溶剂挥发速度。

3)色漆机器人第二道静电旋杯油漆流量关闭,会导致膜厚偏低,于是在 BC2 外喷站后面的补漆站,启用人工空气喷枪喷涂,模拟原工厂“杯+枪”的喷涂工艺。

4)人工空气喷枪喷涂手法:采取“喷枪空气吹一遍+喷漆一遍”的方式,交替进行,手工喷漆三遍;喷枪空气吹一遍的目的是加快湿膜中溶剂的挥发速度。

5)手工喷涂时,要控制枪距 45~50 cm,这样喷出的漆雾偏干些,金属粉的定向排列与“杯+枪”喷涂工艺效果接近,不易引起油漆发花。

通过以上方案,可以有效改善油漆喷涂过湿的情况,防止整个涂层的铝粉排列混乱而出现云雾状的发花。

7 条纹状发花攻关

7.1 攻关方案

喷漆机器人仿形轨迹间距 Path pitch 由 150 mm 改为 100 mm;Path pitch 定义:相邻仿形轨迹之间的距离;Path pitch 计算公式为:Path pitch= 喷幅宽度/叠加次数,叠加次数=喷幅/喷涂轨迹距离,叠加次数=1/(1-叠加率)。

DURR 喷漆机器人扇幅宽度为 450 mm;Path pitch 150 mm 时的叠加率为 66.7%,100 mm 时的叠加率为 77.8%。此方案可以明显提高仿形轨迹叠加率,改善漆膜厚的均匀一致性。

7.1.1 水平面仿形轨迹优化情况

原仿形轨迹:车顶半侧 4 条轨迹,前盖半侧 5 条轨迹,叠加率 66.7%,见图 6。

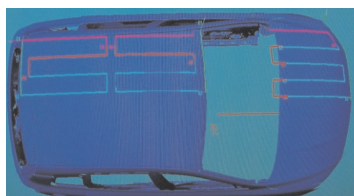


图 6 车顶原仿形轨迹

优化后仿形轨迹:车顶前端半侧 6 条轨迹,前盖半侧 7 条轨迹,叠加率 77.8%,见图 7。

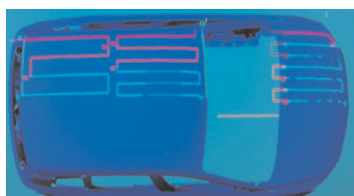


图 7 车顶优化后仿形轨迹

7.1.2 立面仿形轨迹优化情况

原仿形轨迹:前翼子板 3 条仿形轨迹,前、后门 7 条仿形轨迹,后翼子板 6 条仿形轨迹,叠加率 66.7%,见图 8。

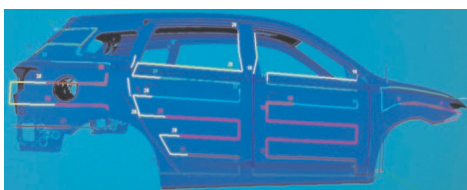


图 8 立面原仿形轨迹

优化后仿形轨迹:前翼子板 5 条仿形轨迹,前、后门 9 条仿形轨迹,后翼子板 8 条仿形轨迹,叠加率 77.8%,见图 9。



图 9 立面优化后仿形轨迹

仿形轨迹间距由 150 mm 改为 100 mm 后,可以提高喷涂重叠率,进而提高色漆油漆膜厚均匀一致性,防止色漆膜厚高的区域与膜厚低的区域呈条纹状分布,消除类似斑马纹的条印状发花。

7.2 方案难点

原仿形轨迹喷涂顺序,是按车身从上向下的顺序喷涂,如果直接把原程序轨迹加密,BC2 外喷站,侧喷机器人在喷裙边时,机器人三轴手臂会碰到车身上侧围。

7.3 原因分析

BC2 外喷站为 Tracking 方式,车身在输送链上向前走的同时,机器人同步进行喷涂,喷裙边时,机器人手臂需向下探,机器人三轴手臂与车身距离过近,导致碰撞干涉,见图 10。

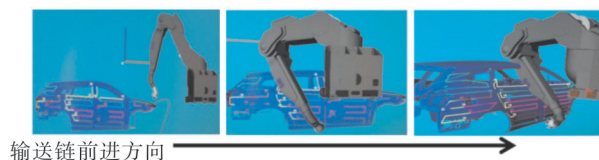


图 10 碰撞干涉仿真

仿形轨迹加密前,在输送链跟踪距离 conveyor position 为 4 351.5 mm;仿形轨迹加密后,在输送链跟踪距离 conveyor position 为 4 835.3 mm。仿形轨迹与加密前相比,车身向前多前进 483.5 mm,机器人向前追车身,手臂活动空间有限,导致机器人三轴与车身上侧围碰撞干涉。

7.4 难点攻关

优化仿形轨迹布局,防止碰撞干涉,由原从上向下的顺序喷涂,改为从下向上的顺序喷涂,原仿形程序需全部重新做;喷涂顺序示意图 11。

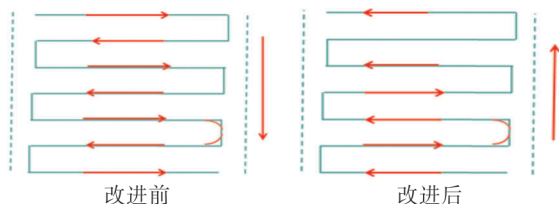


图 11 仿形喷涂顺序

优化后的仿形轨迹无碰撞干涉,喷车身裙边时,机器人三轴手臂与车身距离较远,无碰撞干涉风险。优化后,仿形轨迹虽然加长了,但节拍时间仍满足节拍需求,节拍时间见表 5。

表 5 节拍时间统计

机器人	节拍上限/s	优化前/s	优化后/s
水平面机器人	57.6	52.6	55.1
立面机器人	57.6	50.0	57.1

8 车身上侧围圆弧面发花攻关

通过上述方案,发动机盖、车顶、后盖、四门、A 柱、翼子板区域区域的发花都顺利解决,唯上侧围圆弧面

的发花改善效果不如前盖效果好。

8.1 原因分析

上侧围造型是圆弧曲面,宽度较窄,且只有一条喷涂仿形轨迹,容易膜厚不均匀,提高流量、优化成型空气等措施,能在一定程度上改善发花,但不如其它平面位置效果好;

优化仿形喷涂角度时,发现机器人2轴已接近极限位置,可调整空间有限;

外喷站是 Tracking 方式,机器人喷完车顶后再喷上侧围,此时车身位置正处于机器人正前方,导致机器人2轴需向后仰角度较大(106.27°),接近极限位109°;仿形没有优化空间,见图12。

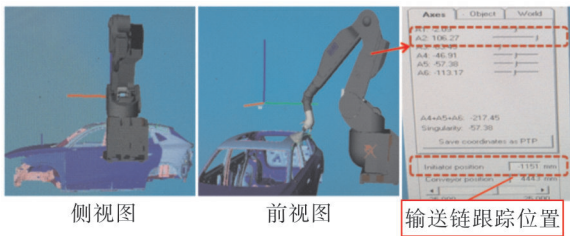


图12 上侧围机器人喷涂原始姿态

8.2 优化方案

改变喷涂顺序:先喷车身上侧围,后喷车顶。机器人程序优化见表6。

表6 机器人程序优化

喷漆机器人程序:优化前	喷漆机器人程序:优化后
TRACKING(On)	TRACKING(On)
CALL fh() (前盖喷涂)	CALL fh() (前盖喷涂)
WAIT_PAINTPOSITION(1100)	WAIT_PAINTPOSITION(1100)
CALL ap() (A柱喷涂)	CALL ap() (A柱喷涂)
IF GET_VARIANT (BigSunRoof)	WAIT_PAINTPOSITION(1900)
THEN	CALL reel() (上侧围喷涂)
SET(Collision1,High)	IF GET_VARIANT (BigSunRoof)
RECEIVE(Collision1,High)	THEN
WAIT_PAINTPOSITION(1500)	SET(Collision1,High)
CALLsunroof_1()(车顶前半部喷涂)	RECEIVE(Collision1,High)
WAIT_PAINTPOSITION(2000)	WAIT_PAINTPOSITION(2200)
CALLsunroof_2()(车顶后半部喷涂)	CALLsunroof_1()(车顶前半部喷涂)
WAIT_PAINTPOSITION(2500)	WAIT_PAINTPOSITION(2500)
CALL reel() (上侧围喷涂)	CALLsunroof_2()(车顶后半部喷涂)
SET(Collision2,High)	SET(Collision2,High)
RECEIVE(Collision2,High)	RECEIVE(Collision2,High)
WAIT_PAINTPOSITION(3000)	WAIT_PAINTPOSITION(3000)
CALL_sunroof_3()	CALL_sunroof_3()

喷漆机器人程序优化后:喷涂上侧围时,2轴后仰最大79.11°,前后可调整空间大,可以通过优化喷涂角

度,提高圆弧曲面的色漆膜厚均匀度,改善发花状态,见图13。

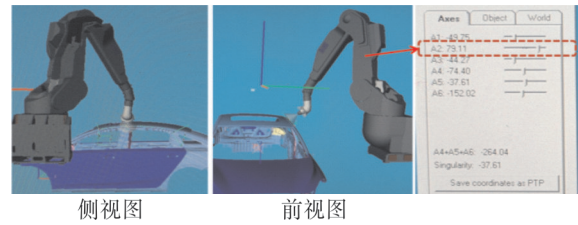


图13 上侧围机器人喷涂优化后姿态

喷漆机器人程序优化后,喷涂车顶时,2轴后仰最大75.43°,前后可调整空间大,优化后的喷涂顺序,对车顶喷涂没有不利影响。

9 结语

经过上述喷涂工艺的改进,用静电旋杯机器人模拟“杯+枪”喷漆工艺,快速解决油漆云雾状发花问题;通过对机器人仿形轨迹布局优化、轨迹间距加密、圆弧面喷漆角度优化,解决了条纹状发花问题;碧玉青颜色的发花问题顺利解决,同时解决了因仿形轨迹改变而引起的碰撞干涉问题,1 000台出租车顺利交付。◆

(上接第46页)与脱脂游离碱度和总碱度高、表调老化及预磷化膜破损有关,从而导致电镀锌预磷化膜的腐蚀程度加重,使划痕区域附着的表面颗粒与残留预磷化膜存在厚度差,进而导致电泳条纹。根据生产线实际情况,采取以下措施:1)低碱度管理,游离碱度管控指标稳定至6~8 mL,总碱度管控指标稳定至13~18 mL;2)增加表调日常更新频次,每班次更新2~5 t,表调电导率监控范围为≤2 000 μS/cm;3)减少白车身预磷化膜的损伤;可有效解决电镀锌预磷化板材的电泳条纹质量缺陷问题。

参考文献:

- [1] 杨起英.镀锌板磷化膜在电泳过程中的变化及影响[J].汽车工艺与材料,2006(3):37-40.
- [2] 刘元劭.车身镀锌板与冷轧板材质共用情况下涂装前处理电泳适应性研究[J].时代汽车,2020(18):133-134.
- [3] 张丽盆.浅谈钢铁磷化前处理对磷化膜性能的影响[J].中国新技术新产品,2019(2):100-101.
- [4] 陆野,白扬.预磷化板材电泳后出现印痕的问题及其解决方法[J].电镀与涂饰,2019(22):1226-1229.
- [5] 王毅,邹三千,管兵,等.表调对涂装防腐影响研究[J].现代涂料与涂装,2020,23(3):24-26.