

浅谈涂装节能减排运用

王宗田, 吴贵根, 陈良印

(奇瑞汽车股份有限公司, 安徽 芜湖 241000)

摘要: 汽车涂装在前处理生产过程中需要消耗大量的水和蒸气, 在漆面烘干过程中需要消耗大量的天然气、电等动能, 生产过程中会产生大量的二氧化碳、二氧化氮等废气不符合国家碳中和、碳达峰等减排要求, 需要节能减排。结合多年现场实践经验, 介绍本公司在涂装节能减排运用技术案例, 主要从涂装工艺、涂装设备等方面介绍汽车涂装节能减排的运用, 重点介绍 PVC 免烘烤工艺、保险杠与车身低温一体化喷涂工艺、薄膜处理工艺、低温电泳漆烘烤技术、水性 LASD、套色 2K 黑清漆喷涂工艺及自动换色走珠设备等技术。

关键词: PVC 免烘烤工艺; 低温一体化喷涂工艺; 走珠系统

中图分类号: TQ639 文献标志码: A 文章编号: 1007-9548(2025)06-0053-04

Discussion on the Application of Energy-saving and Emission Reduction in Painting

WANG Zong-tian, WU Gui-gen, CHEN Liang-yin

(Chery Automobile Co., Ltd., Wuhu 241000, Anhui, China)

Abstract: Automobile painting requires a large amount of water and steam in the pre-treatment production process, and consumes a large amount of kinetic energy such as natural gas and electricity in the paint drying process. The production process produces a large amount of exhaust gases such as carbon dioxide and nitrogen dioxide, which do not meet the national requirements for carbon neutrality and peak carbon emissions reduction, and require energy conservation and emission reduction. Now, based on years of on-site practical experience, the author introduces a case study of our company's energy-saving and emission reduction application technology in painting. The main focus is on the application of energy-saving and emission reduction in automotive painting from the aspects of painting process and painting equipment. The emphasis is on PVC non baking process, low-temperature integrated spraying process between bumper and body, film treatment process, low-temperature electrophoretic paint baking technology, water-based LASD, 2K black varnish coating process, and automatic color changing and bead rolling equipment.

Key words: PVC non baking process; low-temperature integrated spraying process; bead system

0 引言

随着中国汽车井喷式发展, 汽车在制造过程中需要消耗大量的电、天然气、水蒸气等动能, 生产过程中会产生大量的二氧化碳、二氧化氮等废气, 不符合国家减排环保要求。在整个汽车制造过程中, 涂装车间所需

能耗占整车四大工艺总能耗的 70% 以上, 涂装能耗主要来源于油漆的喷涂和烘烤过程, 越来越多的厂商开始运用环保节能型的涂装工艺和设备。

涂装前处理、喷漆、油漆烘干等过程是产生废水、废漆渣、废气最多的环节之一。“碳足迹、碳达峰, 碳中和、碳管理”减排环保是社会经济发展的“永动机”, 涂装是整个汽车制造能耗和危废制造大户, 因此节能减排已成为涂装技术人员急需解决的课题。

笔者就 PVC 取消烘干工艺、保险杠与车身低温一

收稿日期: 2024-02-20

作者简介: 王宗田(1978—), 男, 本科, 工程师, 主要从事车用涂装材料应用研究工作。E-mail: shusheng1688@126.com。

体化喷涂工艺、低温电泳漆烘烤技术、水性 LASD、套色 2K 黑清漆喷涂工艺及自动换色走珠设备等相关内容进行介绍。

1 涂装新工艺

1.1 PVC 免烘干工艺

PVC 免烘烤工艺是在底漆、中漆和面漆三涂层涂装体系运用目前国内最节能环保的 PVC 胶与中涂“湿碰湿”涂装生产工艺,即车身在涂完 PVC 湿膜状态下直接进入中涂工位进行喷涂,PVC 湿胶利用中涂烘房一起进行烘烤,取消了 PVC 密封胶预烘干工序^[1],此工序不仅可节省 PVC 烘干设备的投资和厂房占地面积,而且简化了涂装生产工序,减少涂装生产中对 PVC 密封胶预烘干的能源消耗,达到了降低汽车涂装生产成本的目的。成本分析:PVC 烘干炉动能单耗 15 元/台,行业上 PVC 密封胶免烘烤工艺成熟可以取消 PVC 烘干炉,PVC 密封胶可与中涂一起在中涂烘干炉中烘干,可以减少动能、设备维修保养、人工成本、过滤等辅材消耗等费用。

PVC 密封胶免烘烤主要痛点为:电泳打磨工位取消后钣金缺陷及电泳漆颗粒、针孔、缩孔等漆膜缺陷需要在 PVC 密封之前进行处理,裙边胶等打胶部位到鸵鸟毛擦净工位需关闭,只保留离子风吹净工位,这样会导致中涂颗粒、脏点等缺陷增多,中涂打磨点增加,PVC 细密封胶湿膜在内表面手工喷涂过程中需要避免碰伤密封胶。

1.2 水性 LASD 取代沥青板工艺

阻尼材料是一类可以将机械振动能量转变成热能或其他可以损耗的能量,从而达到减振目的的高分子聚合材料。

车身阻尼材料一般有阻尼沥青板、丁基阻尼贴片、LASD 喷涂阻尼材料等。阻尼沥青板具有价格便宜、耐寒性好、使用寿命较长、不容易老化等优点;缺点是质量较重、运输施工过程中沥青板易碎,烘烤中沥青板易起泡、脱落及整车车体内会产生异味,不环保等。丁基阻尼贴片价格高、阻尼性能较高;而 LASD 具有轻质、阻尼性能高、易自动化施工、无异味的优点,现在越来越得到主机厂广泛的运用和推广,其主要特点如下:1)LASD 相较传统沥青板 VOC 排放量更低,可以显著提升车内空气质量,改善气味满足环保要求;2)材料密度低,单车可减重 30%~50%,轻量化明显;3)LASD 材料阻尼系数较高且可调控,能满足不同车型施工需求,可应用在结构复杂的前围和顶盖等区域施工;4)液态化管路输送提升涂装车间清洁度;5)施工剪性强,像喷底部 PVC 胶一样多车型可灵活切换喷涂程序,一致性好;6)耐久可靠性稳定,在低温环境和长期使用后无开

裂脱落。

LASD 是一种以高分子树脂聚合物为基体,辅以分散剂、填料和助剂等制备的减振降噪阻尼材料,具有优异的阻尼性能,且质轻、施工一致性好,不受钣金形面及材料成型等因素限制^[2]。按基体成分可分为 PVC 基 LASD、环氧基 LASD、橡胶基 LASD、水性丙烯酸基 LASD,其中水性 LASD 相当环保,在行业内应用广泛。产品对比如表 1 所列。

表 1 LASD 与沥青板产品对比

项目	水性 LASD	沥青板
成分	丙烯酸乳液+填料+分散剂	沥青+无机填料
密度/(g·cm ⁻³)	1.4~1.6(湿膜); 0.9~1.1(干膜)	1.6~1.8(热熔); 2.4~2.6(磁性)
固含量/%	70~80	>99
发泡率/%	0~80	
阻尼因子(20℃)	0.25	0.13
单车用量/kg	2~3	5~6
禁限用物质	不含多环芳烃	含多环芳烃

LASD 应用现状及趋势:欧洲 LASD 用于取代阻尼垫,整体趋向于水性 LASD;北美 LASD 应用超过 20 年,全部采用水性 LASD;国内奇瑞超级工厂、Volvo、奔驰、奥迪、宝马、捷豹路虎、吉利、长城及造车新势力等已采用 LASD,现在更多的新建涂装生产线基本上都运用水性 LASD 工艺。

1.3 保险杠与车身低温一体化喷涂工艺

保险杠与车身低温一体化喷涂工艺即车身与保险杠共线涂装,这样会明显减少外饰件与车身之间的色差。该工艺具有以下技术优点:1)车身与前后保一体化喷涂,前后保与车身目视无明星色差;2)零部件与车身共线生产,减少单独建前后保外饰喷涂线体额外的设备投入;3)零部件与车身一体化施工工艺,水性漆静电喷涂上漆率高、质量稳定。一体化喷涂技术方案如下所述。

车身准备:前处理→电泳→电泳烘烤→电泳打磨→车身打胶→密封胶高温烘干(140~150℃、15~25 min);

保险杠准备:预处理→干燥→火焰处理→下工装并转运保险杠。

面漆线:车身与保险杠组装→擦净→整体 2K 底漆喷涂→车身 1K 水性低温色漆内表面喷涂→整体 1K 水性低温色漆喷涂→热闪干→车身清漆内表面喷涂→整体清漆外表面喷涂→整体烘烤。

方案说明:保险杠经过前处理、火焰处理后在电泳

打磨工位和电泳车通过固定夹具和对接夹具自动链接组合到一起,经过擦净后进行鸵鸟毛擦净、去离子风处理,一起喷 2K 水性低温底漆。

车身内部喷色漆,保险杠和车身一起喷涂色漆,然后进行热闪干(80 °C× 8 min),再进行低温 2K 清漆一体化喷涂,然后进行整体烘烤(80~100 °C、30~40 min),冷却后进行修饰、检验处理,合格的车身输入总装进行装配,不合格的保险杠进行点修补,合格的保险杠转运到总装保险杠分装线进行分装。

1.4 薄膜处理工艺

前处理剂一般由氧化锆及各种添加剂组成,反应机理主要是利用氟锆酸盐的水解反应在板材表面形成一种化学性质稳定的无定型氧化物,通过加入氧化剂和螯合剂,促进此水解反应的进行,从而获得性能良好的金属表面覆盖膜^[9]。薄膜处理工艺具有纳米级膜厚,低能耗、低污染,具有更环保、更节能、适用范围广特点。

传统磷化工艺:脱脂→水洗→表调→磷化→纯水洗。优点为防腐性能好、工艺稳定等特点;缺点为:1)不经济,生产工序长,占地面积大,附属设备投资多,换热设备、除渣设备多;2)不节能,槽液循环次数多,3次/h需实时加热到 45~50 °C,在生产过程中产生大量磷化渣及污水,除渣设备复杂,磷化管路需要经常酸洗除去管路内的磷化渣,磷化渣等固废处理费用高;3)不环保,磷化液含有亚硝酸盐等致癌物质,含锌、镍等重金属元素且含有 P、F 等污染源物质,难处理,排入江湖水体中会造成水富营养化等一系列环境问题。

薄膜处理工艺:脱脂→水洗→薄膜处理→纯水洗。该工艺具有设备投资少,出渣低,能耗、耗水量低等特点,适用于铝合金、热镀锌、冷镀锌、冷轧板、热成型钢板等;缺点是防腐性能相对于传统磷化差,特别是镀锌板容易产生针孔、花斑,过腐蚀容易导致薄膜层与板材结合不牢、附着力不佳等缺陷。

笔者曾经遇到过某一涂装车间每次停产维护后,复产前 1~2 天 T1X 车型 B 柱出现电泳针孔异常问题。分析:1)针孔主要出现在 B 柱特定位置,其他区域基本无异常,轻打磨白车身镀锌层,异常消失。由此推测,针孔异常与 B 柱区域的镀锌层存在关联;2)提升电泳槽液温度和电泳溶剂含量等措施可以缓解针孔。

为了解决该问题分别做以下验证试验。1)前处理交叉试验:取 TX 车型 B 柱在某一涂装车间薄膜处理后到涂装三车间进行电泳处理,结果也是有针孔现象,前期 TX 在涂装三车间生产没出现过针孔现象且两个车间电泳漆是一家供应商提供,交叉试验排除是电泳导致,初步原因锁定为薄膜前处理或该板材导致;2)异常样件分析:取 T1X 车型的 B 柱切割板(已冲压,未经

焊装打磨),采用基恩士光学显微镜,对样品进行分析,结果如表 2 所列。

表 2 显微镜分析结果

样件名称	分析结果
B 柱白钢板	100 倍放大,白钢板上可见零星黑点
B 柱薄膜板	B 柱薄膜板上存在密集“黑点”异物
B 柱电泳板(针孔断面)	断面分析,镀锌层上存在“黑点”异物,导致电泳层出现针孔异常

由上述结果推断,白钢板镀锌层上的“黑点”缺陷经过前处理后被放大,电泳层无法覆盖导致出现针孔。结合现场试验及针孔断面分析:T1X 车型 B 柱区域镀锌层有断裂现象,前处理段会将镀锌层异常放大,电泳层无法覆盖导致出现针孔。

1.5 低温电泳技术应用

电泳发展趋势为绿色环保、低成本、高防腐、高泳透力等性能^[9]。环保主要指标为:漆膜低温固化(140 °C×20 min),无锡化(不含铅、锡等有害物质),低加热减量(加热减量≤8%);高性能:外观粗糙度 $Ra \leq 0.25 \mu\text{m}$,电泳泳透力 $\geq 60\%$,良好的锐边效应。传统电泳一般要经 180 °C×40 min 烘干,现在立邦等电泳厂家已经推出 130~140 °C×10~20 min 低温固化电泳产品,该产品铅笔硬度、耐溶剂擦拭、耐盐雾等性能均满足标准要求。能耗相对于传统电泳可以节约 20%以上,加热减量减少 2.5%,适应硅烷、锆系等薄膜处理工艺。但是瓶颈为:现有的车身焊装用胶、折边胶、带点焊密封胶和点焊胶带、膨胀型减震胶和膨胀胶带、补强胶片、高膨胀填充物(发泡剂)需要在 180 °C以上才能反应,如果改用低温电泳漆,传统的胶黏剂需要重新开发,成本比现有的胶黏剂增加很多,从现有的成本方面考虑不经济。

1.6 套色 2K 黑清漆喷涂工艺

传统套黑双色车生产工艺:喷涂色漆→喷清漆→烘干→粘贴分色胶带遮蔽→套色车顶打磨→套色车顶擦净→套色车顶喷黑色漆→套色车顶喷清漆→烘干→拆膜。该工艺双色区域分色及定位较差,一致性不能保证,成本比较高,效率较低。随着技术发展,现 BASF 和 PPG 油漆供应商推荐最新套色黑清漆喷涂工艺已在本公司涂装二车间正式进行量产。

工艺流程如下:电泳车身→涂胶→烘干→车顶喷 2K 黑清漆→烘烤→打磨遮蔽边缘缺陷→遮蔽黑顶→

喷其他部位色漆→喷清漆→烘干→拆遮蔽。2K黑清漆喷涂工艺是直接电泳顶盖上喷黑清漆,省去了喷中涂、色漆、清漆等工艺,节能降本高效。

耐候性能测试: Florida/Arizona 2年暴晒合格,实验室氙灯老化 4 000 h 合格;外观评审:橘皮、外观鲜映性评审合格,单车材料成本和动能等较传统有较大的降低。

2 输调漆软管走珠技术应用

输调漆软管走珠快速换色系统:走珠式快速换色系统是基于同一管路,通过特殊珠子在较短时间内完成涂料的回收、系统的清洗、颜色的填充的输送系统^[1],具体如图 1 所示。



图 1 软管走珠式快速换色系统

走珠系统的技术优势:1)系统清洗换色时间短,可对管路和泵模组进行快速清洗,系统清洗时间只需要 15~45 min,而传统裙边换色系统清洗需要最少 2 h;2)油漆浪费少,系统可以对管路内的油漆进行回收再用,减少油漆浪费。而裙边换色系统最少需要 144 kg

油漆喷涂;3)占用空间小,单套模组最小占用空间为 1.2 m×1.0 m×1.8 m,单套系统可以用于多个颜色的供漆,节省多个输调漆模组的空间;4)清洗系统溶剂消耗少,只需要传统输调漆系统清洗方式所用溶剂的 30%,不仅节省清洗费用,还减少了废溶剂的处理费用;5)运行成本低,系统不需要全天运行,可以降低运行成本。

走珠系统的技术劣势:1)走珠系统为主管循环,因为主管路不循环,铝粉容易沉淀在管路末端,造成色差;2)走珠系统 4 h 未生产时,需要退料重新装载涂料。

3 结语

目前,国家号召共建环境友好型社会,绿色涂装、节能降耗减排是各汽车企业发展的主旋律,技术和管理双管齐下,是降本增效的重要手段。从涂装材料、设备、施工工艺的角度挖掘降本技术的潜力,将有利于涂装动能成本的有效控制,在涂装过程中需要我们多分析、多进行技术总结,在实践中积累经验,才能达到降本增效的目的。

参考文献:

- [1] 李鹏,张安扩.汽车涂装 PVC 免烘烤工艺应用实例[J].现代涂料与涂装,2013,16(20):64-66.
- [2] 何彬,肖其弘,李旋,等.新型水性阻尼材料在汽车涂装中的应用[J].涂料工业,2014,44(6):61-64.
- [3] 赵凤鹏.浅谈涂装薄膜前处理工艺设计及应用[J].现代涂料与涂装,2025,28(1):58-60.
- [4] 黄小勇,梁卫南.超低温无锡环保环氧阴极电泳涂料[J].现代涂料与涂装,2017,20(12):7-9.
- [5] 高驰.杜尔创新涂料供应系统有何优势?听听杜尔技术专家的全面解答[J].汽车与配件,2024(17):64-65. ◆

(上接第 52 页)为硬件异常和清洗洁净度不足两类,硬件异常主要有高压控制器绝缘性下降,施加电压过高,产生电火花,以及高压线缆损坏和管路清洗不净产生过电流。一般预防措施是对高压控制器、高压线缆和隔离管进行生命周期管理,隔离管清洗洁净度与涂料特性进行匹配性优化。

参考文献:

- [1] 李鹏,晏飞,褚明,等.浅谈喷涂机器人一则特殊高压故障的解决[J].现代涂料与涂装,2022(1):63-65.
- [2] 王飞.油漆车间面漆线喷涂设备高压问题解决与探讨[J].现代涂料与涂装,2023(10):23-25.

- [3] 王小祥.简述 ABBIRB5500 喷涂机器人常见故障及处理方法[J].现代涂料与涂装,2021(4):49-51.
- [4] 张福顺,张大卫.高速旋杯式静电喷涂时涂料在旋杯内的运动分析[J].现代涂料与涂装,2004(3):9-15.
- [5] 杨孝德,崔普伟,褚明,等.高压静电喷涂金属漆静电痕的分析与控制[J].汽车工艺与材料,2019(11):61-64.
- [6] 狄绍文.解析 EIA/TIA 六类数据缆新标准[C].中国通信学会 2002 年光缆电缆学术年会,成都,2002:419-423.
- [7] 黄远发.FANUC P700i 机器人内表面喷涂应用[J].现代涂料与涂装,2022(3):43-45.
- [8] 李明,钟明强,邓俊杰,等.浅析汽车喷涂漆膜点状缺陷解决方法[J].现代涂料与涂装,2025(3):48-51. ◆