

# 浅谈涂装薄膜前处理工艺设计及应用

赵凤鹏

(长城汽车股份有限公司,河北省汽车技术创新中心,河北 保定 071000)

**摘要:** 主要介绍了汽车涂装薄膜前处理与传统磷化工艺的差异,以及薄膜前处理工艺应用的过程控制方法。

**关键词:** 薄膜前处理; 工艺差异; 过程控制

中图分类号:TQ639

文献标志码:B

文章编号:1007-9548(2025)01-0058-03

## Discussion on Pre-treatment Process Design and Application of Coating Film

ZHAO Feng-peng

(Great Wall Automobile Co., Ltd., Hebei Automotive Technology Innovation Center, Baoding 071000, Hebei, China)

**Abstract:** This paper introduced the differences between the pre-treatment process of automobile coating film and the traditional phosphating process, and the process control method of the application of the pre-treatment process of film coating.

**Key words:** film pretreatment; process differences; process control

### 0 引言

近年来,基于国内环保要求,薄膜前处理工艺以不含磷、锰、镍等重金属离子、无需升温、减少沉渣 90% 等环保降本的特点为诸多主机厂青睐并应用。薄膜前处理常见的工艺分为硅烷、锆化两种形式,其中硅烷薄膜以上海凯密特尔公司为代表,锆系薄膜以汉高、帕卡等前处理药剂公司为代表。薄膜工艺的应用对涂装工艺技术人员提出了更高的挑战,由于薄膜膜厚是磷化膜厚的 1/50,不仅会对引发漆膜不良的诸多污染物覆盖能力变弱,而且对车身防腐能力来说更是面临巨大的考验。本文以硅烷薄膜为例,对薄膜前处理工艺在工艺设计、成本对比、过程控制、漆膜耐腐蚀性等方面与传统锌系磷化的不同点进行探讨。

### 1 薄膜前处理与传统锌系磷化工艺流程及成本对比

#### 1.1 薄膜前处理与传统磷化线工艺流程对比

与传统锌系磷化工艺相比,薄膜前处理工艺减少 1 个药剂槽,表调药剂槽更改为纯水槽,磷化槽更改为

薄膜处理槽,磷化处理后 2 个喷淋 2 个浸洗槽,薄膜处理工艺减少为 2 个喷淋 1 个浸洗槽,减少 1 个浸洗槽,磷化槽后工业水洗全部更改为纯水洗。

薄膜处理对车身板材包容性高于磷化处理槽,不同于磷化工艺对铝材的限制,薄膜处理尤其适合铝板,也可同时处理冷轧和镀锌板材,镍含量高的冷轧板材更适合薄膜工艺。

薄膜槽一般设计循环次数设计为 2~4 次/h,根据车身不同板材的使用比例可选择性地采用全通量板框压滤机或袋式过滤器过滤副产物——硅烷渣。

薄膜槽施工温度常规为 25~40 °C,可根据主机厂所在地域设计安装换热或制冷设备;常见层流管路设计为 1 层,长度>槽体长度的 1/3 为宜;薄膜处理同磷化处理槽液相似,不涉及更换,每年可根据槽液含渣量(常规控制槽液含渣量 $\leq 1.0 \times 10^{-4}$ )进行 1~2 次倒槽处理。

由于薄膜膜厚极薄且平坦,容易引起缩孔成分聚集,在干湿边缘容易出现缩孔、返锈(冷轧板)问题,所以需要尽量缩短前处理至电泳时间,确保钢板水膜状态均一,车身状态保持全干或者全湿,全干实现比较困难,一般工厂均按照全湿设计,薄膜湿膜在空气中暴露超出 2 min 便会出现变干迹象,需要设计安装纯水雾

收稿日期:2023-11-08

作者简介:赵凤鹏(1983—),男,本科,高级工程师,主要从事汽车涂装工艺研究工作。E-mail:gwzfp@gwm.cn。

化加湿喷淋对薄膜进行保护,最常见的是从前处理最后一道纯水洗至电泳入槽间均设计多环雾化加湿喷淋对湿膜车身进行保护。

因薄膜皮膜阻抗远小于磷化膜皮膜阻抗,在电泳过程中具有上膜快、电流大、阻抗低、熔融热低、熔融阻抗形成慢、氢气产生量大的特点,会导致电泳漆膜外观及泳透力下降。为获得合格的电泳膜厚和泳透力,薄膜前处理线体需要匹配具备低溶剂量、低中和率、低灰分等特点的高泳透力电泳漆,并需要在工艺调试过程中重点对电压做相应的调整,例如:降低第一段电压、提高高压段电压等。为了实现优良的泳透力,需要严格控制薄膜膜重在工艺要求范围内,每班使用 XRF 衍射仪对薄膜膜重进行测量、监控。

## 1.2 薄膜前处理与传统磷化线成本对比

### 1.2.1 新工厂建设一次性投入成本对比

因为薄膜后水洗槽的减少,按照年产量 16 万台的工厂计算,薄膜线体设计相较于传统磷化线至少缩短 12.5 m。

薄膜槽常用工艺温度为 20~40 °C,一般地区主机厂可通过室内环境温度及循环泵循环可实现槽液升温,无需安装加热装置,对于南方夏季温度较高的地区,可安装简易制冷装置(例如重庆、湖北等夏季高温地区,使用频次低于 15 d/a),日常能耗费用明显低于磷化槽。

因薄膜槽产渣量低(冷轧板:0.4 g/m<sup>2</sup>,热镀锌板:0.1~0.2 g/m<sup>2</sup>,铝板:0.1 g/m<sup>2</sup>),日常槽液含渣量控制 $\leq 1.0 \times 10^{-4}$ ,远小于磷化槽 $\leq 3.0 \times 10^{-4}$ 磷化渣的含量,全通量板框的设计能力可以比传统锌系磷化小 1/3。

薄膜渣主要成分为 Fe(OH)<sub>3</sub>,质地细腻、柔软,黏附在槽壁和管路上,非常容易被高压水或水洗循环冲洗掉,无需设计磷化线体必须配备的酸洗系统。

整合以上成本对比,薄膜前处理线体相较于传统锌系磷化线体可一次性降低投入成本约 95 万元。

### 1.2.2 薄膜前处理与传统线日常生产运行成本对比

薄膜材料成本各主机厂因商务因素均存在不同的差异,此处不做分析和对比。

薄膜前处理在水洗 2 后各水洗槽全部为纯水配槽及日常补水使用要求;且由于氯离子会导致薄膜防腐能力恶化,薄膜线体工业水中 Cl<sup>-</sup>含量常规要求 $\leq 2.5 \times 10^{-5}$ ,在水质较差的区域,水洗 2 工序也需要采用纯水配槽、补水;上述纯水的使用会造成薄膜前处理线相较于传统锌系磷化线纯水使用量增加约 2.5 元/台。

其他日常的工业水消耗、固废处理、污水处理、电能消耗等费用,薄膜前处理线相较于传统锌系磷化前处理线减少约 6 元/台。

## 2 硅烷膜与磷化膜差异对比

### 2.1 反应生成膜差异对比

磷化膜目视为连续、致密、均匀的灰色膜,磷化成膜反应时间一般为 3 min,生成磷化膜膜厚一般在 2~3 μm;冷轧板/镀锌板膜重为 2~4 g/m<sup>2</sup>,铝板膜重为 2~5 g/m<sup>2</sup>;镀锌板、冷轧板结晶细度为 2~8 μm,铝板结晶细度为 2~15 μm。

薄膜处理反应时间常规设计为 2~4 min,一般设定为 2.5 min,膜厚一般为 0.04~0.06 μm(磷化膜的 1/50);镀锌板的膜重一般控制在 60~180 mg/m<sup>2</sup>,冷轧板/铝板的膜重控制在 20~100 mg/m<sup>2</sup>;硅烷膜目视不明显,不同板材的硅烷膜在光线下可观察到不同颜色。

### 2.2 抗腐蚀能力对比

磷化膜因自身膜厚优势在干膜、湿膜状态下不会快速发生锈蚀问题,具有一定的抗腐蚀能力;但薄膜由于其偏薄的膜厚,自身不具备抗腐蚀能力。

日常电泳漆膜抗腐蚀能力的检测手段为冷轧板随线制板通过耐中性盐雾试验检测,试验结果满足“中性盐雾试验 1 000 h,划线部位单边扩蚀 $\leq 2$  mm”的要求,即可认为前处理电泳漆膜满足车身抗腐蚀能力要求。

选取尺寸为 150 mm×70 mm 的冷轧试板,分别在薄膜前处理电泳线、传统锌系磷化线随车过线制板,选取 2 块电泳膜厚相同(均为 20 μm)的试板,放入到中性盐雾试验箱做 1 000 h 腐蚀试验,磷化膜+电泳层的试板单边扩蚀为 0.367 mm,薄膜+电泳层的试板单边扩蚀为 1.61 mm。

通过以上对比可以看出,薄膜前处理电泳膜抗腐蚀能力虽然满足常规标准要求,但弱于传统锌系磷化电泳漆膜,需要在日常工艺控制过程中加强过程控制,减少电泳漆膜的打磨破坏。

## 3 过程控制,减少打磨量

### 3.1 白车身质量控制

因硅烷膜膜厚远低于磷化膜,相较于磷化膜遮盖能力差,对白车身品质要求偏高,经过现场持续验证,通过以下方式对白车身质量进行控制,可明显降低电泳漆膜打磨量。

#### 3.1.1 白车身铁粉含量要求

因薄膜不具备遮盖能力,必须对白车身铁粉含量进行严格控制,测试方法及标准为:使用粘尘布对车身内外板擦拭,内腔、内板等擦拭不到的部位采用吸尘器吸附,上述两种方式累加吸附的铁粉测量结果要求 $\leq 2.5$  g/台;每班次抽取 1 台,发现超出标准的车辆通知前序擦拭、吸附处理。焊装车间可在进涂装前设计安装车身吸尘装置对每台进入涂装车间的车进行有效吸附,并设置专人对白车身内外板进行擦拭。

### 3.1.2 白车身外观要求

白车身无锈蚀、明显油污、灰尘、铁屑、划痕、油性笔印等,外表面无残留胶渣、飞溅焊渣等,板件搭接缝无明显溢胶、拉丝等。

#### 3.1.3 白车身镀锌板打磨露铁要求

白车身外板如果采用镀锌板材,冲焊工序为修复板材高点、凹坑等缺陷,会对镀锌板材进行打磨露铁处理。白车身露铁部位硅烷处理后硅烷薄,遮盖力差,出现明显的“牛眼”色差问题,此问题电泳处理后目视存在明显的阶差。此阶差面涂覆盖困难,需要对电泳层问题部位做打磨处理,电泳层破坏后降低电泳车身的抗腐蚀能力。所以如果车身外板采用热镀锌板,涂装前处理采用薄膜处理工艺,必须严格控制冲压、焊装过程,保证打磨露铁数量为0。

#### 3.1.4 白车身打磨砂纸型号要求

硅烷膜膜厚薄,遮盖力差,为保减少电泳漆膜的打磨量,需要对冲压、焊焊前序的白车身打磨材料做工艺要求,经过现场验证,冲压、焊装车间打磨材料型号及作业方式要求为:修复钣金缺陷使用的打磨砂纸型号要求 $\geq 400\#$ ,打磨修复网纱型号要求 $\geq 600\#$ ,此要求远高于磷化线对白车身的打磨要求。如钣金表面缺陷严重,可使用低于上述型号砂纸打磨(如 $180\#$ 、 $240\#$ 、 $320\#$ 等),则需要在打磨修复缺陷后使用百洁布旋转打磨遮盖处理;经过现场验证证明,工业百洁布能够很好地遮盖打磨痕迹。

#### 3.1.5 检验打磨油石型号要求

为减少检验打磨形成的打磨痕迹,涂装采用薄膜前处理的工厂,冲压、焊装车间检验钣金缺陷使用的打磨油石需要采用型号应 $\geq 800\#$ ,禁止使用低型号的油石。

#### 3.1.6 白车身及 E 类件涂布油品的要求

因薄膜槽液 pH 常规控制在 4.0~4.5 之间,对板材的刻蚀较弱,所以对白车身脱脂后的效果有很高要求。脱脂后车身水膜要求均匀一致、水膜连续,无挂水珠问题。如车身脱脂效果不良,会将油污物质带入到薄膜槽及后序电泳槽中,进而在电泳漆膜上形成缩孔,严重影响电泳漆膜的外观及防腐性能。

在脱脂槽脱脂能力最佳状态的前提下,通过控制白车身及 E 类件的涂油型号及涂油量可有效避免缩孔问题的产生。在一款新车型进入时,首先要对白车身内外板件和 E 类件使用的油品(含面品检验油、防锈油等)进行采样,与前处理脱脂槽液做脱脂效率试验,与电泳槽液做混入或突沸试验验证,对脱脂效率低、电泳兼容性不合格的油品进行筛除,禁止使用,进而从源头上避免不合格油品的带入。

### 3.1.7 白车身上电泳不容易进入的部位控制要求

当车身上钣金搭接部位或开闭件包边部位间隙在 100~300  $\mu\text{m}$  之间,此间隙涂装前处理磷化或薄膜、电泳后 UF 等酸性槽液均可进入,但电泳漆因其黏度及表面张力等原因不能进入,就会产生电泳烘烤前过程锈蚀问题。此问题薄膜工艺尤为突出,磷化线因磷化液进入可生成均匀的磷化膜,具备一定的防锈能力,在生成磷化膜的部位不会很快产生过程锈蚀问题;而薄膜进入后生成的薄膜不具备任何的防锈能力,薄膜及后序酸洗水、电泳后 UF 液进入均会很快产生过程锈蚀问题。为了规避以上问题,需要在车身钣金搭接部位或开闭件包边部位提前涂布焊装胶密封,如果焊装胶密封不严,存在漏涂或者断涂的现象,酸性槽液便可进入到包边或夹缝内,但电泳槽液不能完全进入,存在无电泳漆膜或漆膜不完整的部位,就会产生过程锈蚀问题。

## 3.2 前处理电泳过程控制

### 3.2.1 脱脂除渣系统要求

因薄膜不具备遮盖能力,且薄膜槽液酸度比磷化较低,对细小铁粉无溶解和遮盖能力,所以薄膜处理线除了严格控制白车身铁粉含量外,还需要提高涂装自身的除渣能力。

热水洗、预脱脂、脱脂三槽是铁粉等杂质主要的除渣工序,3 个工位均需配置袋式过滤器、纸袋滤机、悬液分离器、磁性过滤器,对各种粒径的渣滓、铁粉等异物进行过滤,正常生产时保证 24 h 开启、运行。过滤袋每天清洗 2~3 次,不能只依赖压差超标后清洗。因循环泵运行时滤袋中磁棒架晃动频繁,单丝尼龙过滤袋容易破损,在清洗过程中要逐个检查,发现破损要及时更换。

前处理全线包括薄膜处理及后水洗槽辅槽均需加装磁棒,日常保证每班清洗 1 次;全线袋式过滤器中均需加装磁棒架及磁棒,每袋加装 3 根,日常按照工艺要求定期清洗。

### 3.2.2 水洗工序要求

前处理电泳各水洗工序为保证漆膜质量的重要工序,不同于磷化工艺的水洗槽,薄膜处理的各水洗槽因薄膜的特殊性需要补加防锈剂,防止产生工序间锈蚀问题,同时因硅烷槽有机物的添加,需要对硅烷槽及后纯水槽定期做细菌检测并做杀菌处理。

## 4 结语

综上所述,随着环保和汽车产业的发展,涂装薄膜前处理工艺已经日趋成熟,为确保薄膜前处理电泳漆膜的外观及防腐性能媲美并超越传统锌系磷化,需要涂装工程师从前期工厂规划、设备选型、工艺调试、工艺维护等方面持续进行研究。◆