

# 新车型设计时涂装电泳过程的排气漏液研究

郑诗颖, 谢志雄, 陈学成

(江铃汽车股份有限公司, 南昌 330001)

**摘要:** 新车型设计时, 为保证车身耐腐蚀性能, 需要对车身的电泳质量进行研究。本文针对摆杆式的前处理电泳生产线, 根据设计规范要求, 采用专业的仿真软件, 模拟出整车在电泳过程中的排气和漏液情况。对于模拟过程中出现的气室和积液问题, 细致分析问题产生的部位及原因, 并采取相应的解决对策。同时, 经过多轮仿真模拟, 验证方案的可行性和最优性, 最终确定出最佳的车身结构方案, 为产品前期设计提供有利的依据, 提升产品的耐腐蚀性能和质量。

**关键词:** 新车型设计; 涂装; 电泳; 摆杆式; 耐腐蚀性能

**中图分类号:** TQ639      **文献标志码:** A      **文章编号:** 1007-9548(2025)09-0031-04

## Void & Drain Study of Electrodeposition Process During the Design of New Models

ZHENG Shi-ying, XIE Zhi-xiong, CHEN Xue-cheng

(Jiangling Motors Co., Ltd., Nanchang 330001, China)

**Abstract:** When designing new models, in order to ensure the anti-corrosion performance of the body, it is necessary to study the electrodeposition quality of the body. This article focuses on the pendulum pre-treatment and electrodeposition line, according to the design specifications, professional simulation software is used to simulate the void & drain conditions during the electrodeposition process. For the air chamber and liquid accumulation problems that occur during the simulation process, a detailed analysis of the location and causes of the problem is conducted, and corresponding solutions are taken. At the same time, after multiple rounds of simulation, the feasibility and optimality of the solution were verified, and determine the optimal body structure, this provides favorable basis for product's preliminary design, and improve the anti-corrosion performance and quality of the product.

**Key words:** new model design; paint; electrodeposition process; pendulum; corrosion performance

### 0 引言

电泳是一种涂装技术, 利用外加电场使悬浮于电泳液中的颜料和树脂等微粒定向迁移到车身基材表面, 形成均匀涂层。电泳涂层能有效防止车身生锈, 提高车身的耐腐蚀性能。电泳涂层的形成除了与电泳槽的结构和参数、电泳漆的性能密切相关外, 也与被涂工件的结构紧密相连。因此新车型设计时, 涂装同步工程需要分析白车身的结构是否合理, 包括前处理及电泳过程中的排气漏液问题, 来判断电泳涂层状态是否完

整, 进一步判断车身的耐腐蚀性能是否满足要求。本文通过本公司三款新车型涂装同步工程设计时的排气漏液分析, 得出最优车身设计方案, 从而提升产品耐腐蚀性能和质量。

### 1 电泳排气漏液模拟仿真的准备及分析

涂装同步工程主要工作有几个方面, 包含涂装通过性分析、涂装密封性分析、涂装防腐性分析和涂装人机工程分析。涂装防腐性能分析包括车身边缘防腐性能分析、空腔防腐性能分析等。排气漏液分析作为空腔防腐性能的主要内容, 它主要通过仿真分析软件 Simcenter STAR-CCM+ 对车身的排气漏液进行仿真模拟, Simcenter STAR-CCM+ 是一款充分运用多物理场计算流体力学软件, 可以快速可靠实现对白车身电泳

收稿日期: 2024-04-18

作者简介: 郑诗颖(1994—), 女, 硕士, 工程师, 主要从事汽车涂装工艺及设备开发工作。E-mail: szheng2@jmc.com.cn。

过程的仿真模拟。此分析是一个动态的过程,在仿真模拟之前,需要准备前处理、电泳生产线参数及车身的数模支持模拟仿真,如输送形式、链速、入槽角度;还包括车型数模和门盖的开启角度。

### 1.1 生产线数据收集

本公司有两条涂装生产线,前处理电泳生产线均为摆杆式生产线,其参数信息见表1。

表1 前处理电泳生产线参数

项目	PT-ED line1	PT-ED line2
入槽角度/(°)	45	45
出槽角度/(°)	45	45
生产线链速/(ft·min <sup>-1</sup> )	16.81	15.88
水平浸没静止时间/s	150	180
沥水时间/s	69	60

### 1.2 白车身数模的准备

白车身的数模包括所有进涂装电泳的车身部件,含白车身钣金数模、门盖数模、焊装胶数模、空腔隔断数模等。引擎盖、侧门和尾门需考虑开启的角度。

### 1.3 排气漏液的模拟仿真

排气漏液模拟仿真分析可以针对整个白车身进行,也可以单独针对某个车身分总成进行模拟分析。模拟仿真分析是一个经过多轮数据分析和调整的过程,白车身数据的变更会直接影响涂装电泳的成膜。在车型开发过程中,车身因各模块调整的需要,其结构也一直在变化,故在设计阶段,需要反复多次进行白车身的电泳排气漏液模拟仿真。

以本公司的3款新车型A、B、C为例,其中,车型A和B为皮卡车型,在1号线生产;车型C为轻客车型,在2号线生产。A、B、C车型分别进行了18轮、33轮、50轮排气漏液动态模拟分析。仿真软件模拟某车型出入槽过程中排气的状态和沥水的状态,其中标记为蓝色区域的为气室,标记为红色区域的为积液。针对排气漏液的问题会及时反馈给项目开发团队,由开发团队根据模拟结果修改钣金结构,修改后的钣金结构再次进行模拟验证是否满足要求,如果模拟完成后合格,这个问题就可以关闭。一般需在项目开发阶段的数据冻结节点前完成以上工作,从而避免后续投产阶段再次进行车身结构调整所带来的成本增加。

## 2 各车型电泳排气漏液问题

经过以上的多轮模拟和仿真,下面就以常见的几类问题进行说明,如排气不良的气室区域多集中在引擎盖、顶盖等上车体区域,而漏液不良的积液问题多集中在下车体等区域。

## 2.1 气室问题

### 2.1.1 引擎盖气室问题

引擎盖气室问题和引擎盖的开启角度密切相关,角度开启的不同分析的结果也相差很大,不同车型不同生产线针对引擎盖开启角度都有不同的应用特点,以A车型为例,在引擎盖开启2°条件下进行电泳排气模拟,模拟结果见图1,蓝色区域集中在引擎盖后端上部,显示A车型引擎盖后端上部排气不良,形成气室。

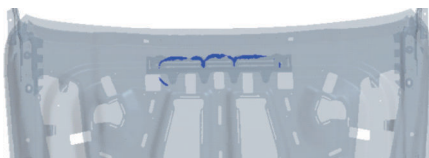


图1 开启2°条件下的A车型引擎盖排气模拟结果

### 2.1.2 顶盖气室问题

排气问题常常出现在车体中,特别是顶盖问题一般较多,因顶盖结构本身呈弧面,另外顶盖支撑横梁较多,且横梁中间一般有焊装胶,在模拟过程中常出现的问题也比较多,以B车型为例,顶盖排气模拟结果见图2,蓝色区域集中在顶盖的后端,显示B车型顶盖后端排气不良,形成气室。

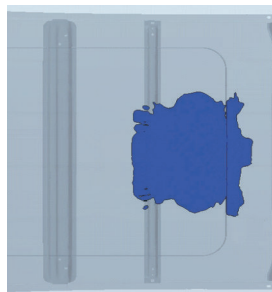


图2 B车型顶盖排气模拟结果

## 2.2 积液问题

### 2.2.1 侧拉门积液问题

积液问题一般在下车体,包括地板、车门下部、侧围裙边等,以C车型侧拉门为例,漏液模拟结果见图3,红色区域集中在侧拉门底部,显示C车型侧拉门底部漏液不良,造成积液。

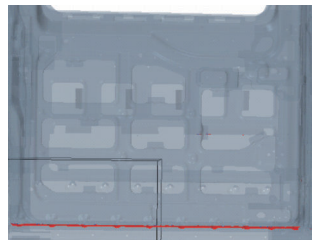


图3 C车型侧拉门漏液模拟结果

### 2.2.2 侧围裙边积液问题

C 车型侧围裙边漏液模拟结果见图 4, 红色区域集中在侧围前部裙边底部, 显示 C 车型侧围前部裙边底部漏液不良, 造成积液。

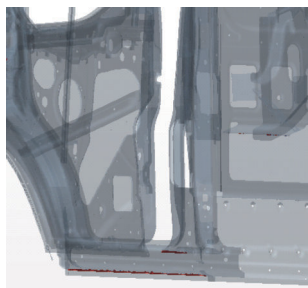


图 4 C 车型侧围裙边漏液模拟结果

## 3 各车型排气漏液问题的解决方案

电泳过程中, 排气不良, 会造成气室。气室一般是在封闭结构的上端形成, 气体无法及时排出, 汽车钣金表面有气体阻隔电泳液浸润, 导致无法形成合格的电泳涂层, 电泳膜厚不达标, 进而影响整车的耐腐蚀性能。漏液不良, 会造成积液, 附着在钣金上的电泳层表面粗糙, 导致电泳质量不达标; 积液一般是在封闭结构的下端形成, 电泳液无法及时沥干, 导致无法形成膜厚均匀的电泳涂层, 从而会影响汽车的耐腐蚀性能。

### 3.1 气室和积液常见的解决方案

#### 3.1.1 气室问题的解决

一般对策为在封闭结构的上端进行开排气孔或者开排气槽, 让气体及时排出, 形成膜厚均匀的电泳涂层。对于一些无法开孔或者开槽的结构, 可以通过调整工艺过程, 如调整引擎盖开度来实现引擎盖内气体排出, 避免形成气室。针对顶盖区域的气室, 此区域气室问题较多, 其次顶盖出现气室后选择合适的方案是问题的关键。顶盖气室可选择开孔方案, 顶盖内板开孔可以避免用孔塞封堵的情况, 这个肯定是最优方案, 但是实际应用过程中, 内板开孔有时无法满足要求。另外对顶盖外板进行开孔, 顶盖外板开孔需用孔塞进行封堵, 会增加孔塞成本, 另外孔塞因各种异常情况会出现封堵处漏水; 若能借用内外饰或功能件的安装孔同时也兼顾到气室的排气孔也是不错的解决方案。对不同的车型, 顶盖气室处理方式有所差异, 在整车造型外观不改变的情况下, 也采用过在顶盖外板连通导气槽的情况, 这样也有助于排气, 帮助问题顺利解决也无需增加孔塞成本。

#### 3.1.2 积液问题的解决

一般对策为在封闭结构的最底端进行开漏液孔或者开导流槽, 让电泳液及时沥出, 形成膜厚均匀的电泳

涂层。

开漏液孔方案: 首先漏液孔的开孔位置一般选取漏液的低点; 其次开孔的尺寸、数量、功能根据需求来定。首先要明确这个孔的功能, 仅仅是作为涂装的漏液孔还是有其他的功能, 例如焊接夹具的定位孔或者其他的功能如作为安装孔或者减重孔等。开孔后这些孔是否还需要用孔塞封堵, 若考虑孔塞封堵, 需考虑人机工程。在地板开漏液孔时, 需评估地板加强筋对开孔位置和数量的影响。一般从增加结构强度的角度, 地板上增加加强筋, 这个加强筋会直接影响到漏液孔的位置。孔塞的选择也应结合已有孔塞的规格进行选择, 尽可能减少孔塞的种类, 最终降低员工操作的复杂度。

开导流槽也是解决漏液问题的常见方法, 但是也面临着导流槽是否需要用密封胶封堵, 例如轮毂区域, 经常出现开导流槽后需要再次密封的情况。导流槽的高度一般为 2~4 mm, 对需要密封胶密封的高度尽可能低, 不需要密封胶的话可以加高; 导流槽的数量根据需要进行增加。

另外, 对于一些无法开孔或者开槽的结构, 也可以充分评估该结构位置的密封性和干燥性, 并结合相关的腐蚀试验结果, 确保整车耐腐蚀性能达标。以下为这三款车型典型的排气漏液问题及对应的解决方案。

### 3.2 A 车型引擎盖气室问题的解决方案

经分析评估, 因引擎盖后端封闭从而导致聚集在引擎盖后端的气体未能及时排出, 形成气室, 需增加气体排出通道。若在引擎盖上部开孔, 外观设计不可行, 故考虑从涂装工艺角度, 改变引擎盖开启角度, 从 2° 增大到 5°, 排气模拟结果见图 5, 无蓝色区域, 引擎盖气室问题解决, 满足工艺规范要求。



图 5 开启 5° 条件下的 A 车型引擎盖排气模拟结果

### 3.3 B 车型顶盖气室问题的解决方案

经分析评估, 顶盖后端封闭, 导致积攒在顶盖的气体未能及时排出, 形成气室, 需增加气体排出通道。针对 B 车型顶盖, 在顶盖后端加开 1 个 17 mm×20 mm 的排气孔。开孔后, 顶盖排气良好, 模拟结果未显示蓝色区域, 故无顶盖气室问题, 满足工艺规范要求。

### 3.4 C 车型侧拉门积液问题的解决方案

经分析评估, 侧拉门底部封闭, 无液体流淌通道, 导致进入侧拉门的电泳液未能及时排出, 形成积液, 需

增加电泳液流淌通道。针对 C 车型侧拉门,在其底部加开 4 个 18 mm×8 mm 的漏液孔。加开漏液孔后的侧拉门漏液结果见图 6 (红框中为加开的 4 个漏液孔),侧拉门积液问题已解决,满足工艺规范要求。



图 6 C 车型加开漏液孔后的侧拉门漏液模拟结果

### 3.5 C 车型侧围裙边积液问题的解决方案

经分析评估,侧围前部裙边封闭,无液体流淌通道,导致进入裙边的电泳液未能及时排出,形成积液,需增加电泳液流淌通道。针对 C 车型侧围,在侧围前部裙边加开 3 个厚 3.5 mm 的漏液槽。加开漏液槽后的侧围裙边排气漏液结果见图 7,侧围裙边底部积液问题已解决,满足工艺规范要求。

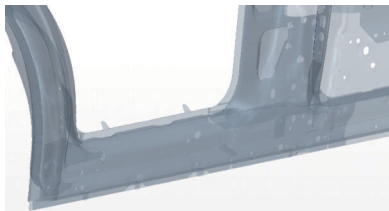


图 7 C 车型加开漏液槽后的侧围裙边漏液模拟结果

## 4 电泳质量实车验证

新车型开发数据冻结后,在实际装车阶段,还需要通过车身拆解来验证与前期动态模拟仿真的结果是否一致。因为实际生产过程有许多因素会影响车身的电泳质量,电泳排气漏液动态模拟分析得出的结果是理论状态,并不能完全反映实际生产过程中实车的电泳质量状态。车身拆解时,应对拆解下来的各部位做好标识,测量电泳膜厚,整理好后记录在表格中,因车身底材可能有镀锌或非镀锌的差异,记录膜厚时要考虑镀锌层的影响。根据各公司的膜厚控制标准来进行判断,一般区分内表面和外表面的电泳膜厚。

车身拆解分析是一个系统性的工程,视情况也要分阶段进行。若第一轮拆解分析不合格,还需要针对不合格情况进行整改,如增加开孔等多种措施,后续需再次进行拆解车身验证。另外,针对整车腐蚀试验的车身,也需要拆解车身进行最终性能确认,这个是最能判断车身耐腐蚀性能好坏的一个证据,而且也是判断车

身到顾客那里会否出现锈蚀问题的一个重要依据。

通过对以上 A 车型、B 车型、C 车型三款车身进行的电泳撕裂试验,并记录各车型的钣金内外表面电泳膜厚数值,结果均显示达标,与模拟结果一致。以 B 车型顶盖为例,图 8 为 B 车型顶盖撕裂后测得的实际电泳膜厚(红框中为加开的排气孔),无气室问题,电泳膜厚 $>15\ \mu\text{m}$ ,膜厚达标。

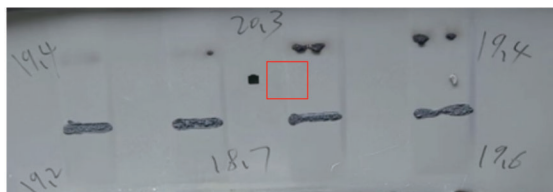


图 8 B 车型顶盖的实际电泳膜厚

## 5 结语

电泳排气漏液动态模拟仿真研究对新车型设计有很好的指导作用,经过实车验证的电泳质量结果和排气漏液仿真模拟结果基本一致,说明仿真模拟的可靠性很高。拆解完成后说明实际电泳状态是可接受的,针对不同的企业,有的还需要进行整车腐蚀试验,如海南试验场进行的国标试验,通过整车试验还要再次进行电泳防腐性能验证。在新车型研发前期发现问题并解决问题,可以避免实际装车后发现问题所带来的成本增加,为企业节省投资、提高效率做出积极的贡献。要想提高车身的整体防腐性能,仅仅依靠上面提到的排气和漏液还不够,还需要其他的措施,包括车身板材采用镀锌板、空腔注蜡或灌蜡等。这些措施的实施也与各车型的定位密切相关,因涉及到整车成本的影响,需企业根据自身的情况进行确定。

### 参考文献:

- [1] 蒋庆涛,王雪,唐飞,等.涂装车间电泳槽内流体流动数值模拟分析[J].中国设备工程,2020(S2):172-175.
- [2] 杨静.汽车涂装电泳漆膜厚影响因素分析及解决对策[J].中国设备工程,2023(6):269-271.
- [3] 代诗环,王鹏,郭常臻,等.汽车涂装前处理电泳的工艺参数分析[J].现代涂料与涂装,2021(1):30-32.
- [4] 朱付勇,刘桦莹.汽车钣金件电泳涂装优化路径探析[J].专用汽车,2024(12):128-130.
- [5] 尚昊川.汽车钣金件电泳涂装优化路径探析[J].汽车维修技师,2025(6):121-122.
- [6] 刘晶,陈云鹏.电泳漆老化问题分析与对策[J].现代涂料与涂装,2024(12):51-53.
- [7] 王玮,周巧煜,徐春.数值模拟在汽车电泳涂装中的应用[J].现代涂料与涂装,2015(10):56-59.