

基于 CAE 仿真分析的车身防锈式样优化

史述龙, 廖敏, 王少华, 李学魁, 钟胜

(东风本田汽车有限公司新车型中心, 武汉 430056)

摘要: 日益激烈的行业竞争促使汽车厂商不断加快新产品的开发速度, 这对新车型同步工程的检证效率和精度都提出了更高要求。车身电泳膜厚是同步工程最重要的防锈品质检证项目之一, 因其影响因素多、原理复杂, 以往根据经验难以准确判断, 所以需要实施 D1 车全解剖检证。但这种方式耗时长、成本高, 且对策的验证周期长, 已经难以满足如今新车型快速开发的需求。借助 CAE 分析方法精度高、分析时间短的优势, 可以很好地解决上述问题。本文主要介绍了一个使用 CAE 仿真分析法优化车身防锈式样的案例。

关键词: 新车型; 同步工程; 防锈; CAE 分析

中图分类号: TQ639 文献标志码: B 文章编号: 1007-9548(2024)09-0049-04

Optimization of Vehicle Body Rust Prevention Style Based on CAE Simulation Analysis

SHI Shu-long, LIAO Min, WANG Shao-hua, LI Xue-kui, ZHONG Sheng

(Dongfeng Honda Motor Co., Ltd., New Model Center, Wuhan 430056, China)

Abstract: The increasingly fierce competition in the industry encourages the automobile manufacturers to speed up the development of new products, which puts forward higher requirements for the verification efficiency and accuracy of the synchronous engineering of new models. Body electrophoresis film thickness is one of the most important anti-rust quality verification projects in synchronous engineering. Due to its many influencing factors and complex principles, it is difficult to accurately judge according to previous experience, so it is necessary to implement D1 car autopsy verification. But this method is time-consuming, high cost, and the verification cycle of countermeasures is long, which is difficult to meet the needs of the rapid development of new models today. With the advantages of CAE analysis method with high precision and short analysis time, the above problems can be solved well. This paper mainly introduces a case of using CAE simulation analysis method to optimize the anti-rust style of car body.

Key words: new vehicle models; synchronous engineering; rust-proof; CAE analysis.

0 引言

近年来, 在宏观政策和市场双重作用下, 新能源汽车品牌快速入行破局, 总体销量逐年攀升呈现“井喷”态势, 短短几年内, 新能源汽车的渗透率已经从最初不足 5% 提升至 30% 以上 (中汽协 2022 年汽车产销数

据), 与之对应的是传统燃油车的销量、市场占有率不断下滑。各品牌间竞争不断加剧, 汽车行业已逐步进入“洗牌”阶段。

为了应对激烈的竞争形势, 加快新车型的投放速度已经上升为众多汽车厂商的共同战略性举措, 以期以更快的速度响应消费群体不断变化的需求, 从而保证自身销量、在行业内占据一席之地。但加快新车型投放速度意味着需要缩短开发周期, 如何提高新车型的开发效率逐渐成为汽车研发和同步工程技术人员面临的共同课题。得益于各类 CAE 仿真分析技术的不断进

收稿日期: 2023-05-29

作者简介: 史述龙(1988—), 男, 本科, 工程师, 主要从事新车型导入前期的产品图纸检证、工艺工程设计、工装设备设计等工作。E-mail: shishulong@wdhac.com.cn。

步和逐渐成熟,借助 CAE 仿真技术在分析精度和效率方面的突出优势,使汽车研发相关人员摆脱对先行验证车(以下简称 D1 车)的依赖,不断缩短开发周期逐渐变成现实,电泳漆膜厚度 CAE 仿真分析便是其中典型的案例之一。

电泳膜厚是车身防锈能力的重要评价依据,是新车涂装同步工程极为重要的品质验证项目之一。但由于电泳膜的形成过程非常复杂,最终膜厚受车身结构(如有无屏蔽结构)、电泳设备(如阳极管的安装位置、尺寸)、涂料参数(如电导率、泳透力)、工艺参数(如电压、通电时间)等众多因素的综合影响^[1]。在以往新车型的开发阶段,结合车身 2D/3D 图纸,技术人员往往只能根据经验定性预判哪些部位可能出现膜厚不足问题,对于问题严重程度的定量分析,只能等到 D1 车全解剖后,根据实车的测量结果来实施。

另外,针对膜厚不足问题的改善对策,由于无法提前进行定量分析,其有效性也难以保证,所以通常需要用实车进行多次解剖、验证。因此,传统的“经验验证+D1 实车解剖”的电泳膜厚验证方法不仅过程繁琐,而且验证成本高、验证周期长,不利于新车型的开发成本和周期控制。电泳膜厚 CAE 仿真分析技术应用后,这个问题得到了极大改善。

1 电泳膜厚 CAE 分析方法简介

行业内有多款针对电泳膜厚仿真分析的软件,其在使用方法、结果显示等细节上略有差异,本质上都是结合车身的 3D 数模和现场的工艺条件数据(将实际参数按软件要求进行对等转化),通过颜色和数值等方式对车身表面的电泳膜厚进行模拟输出,从而实现数字化层面的定量分析。

1.1 分析原理

以 ECoatMaster 软件为例,该软件利用有限元方法,通过电化学反应逻辑运算来模拟电泳成膜过程,借助计算机强大的计算和数据处理能力进行求解计算,最后输出车身电泳膜厚分析结果。

其理论基础如下:表面电阻 $R_s = R_s(d)$, 电流密度 $J = J(R_s)$, 电沉积率 $s = s(J)$, 电泳膜厚度 $d = \int s dt$ 。

具体计算过程如下:

- 1) 根据初始时刻的设定参数,利用有限元分析法计算出电泳液中的电场分布情况,从而得到车身表面的电流密度;
- 2) 根据得到的电流密度计算出设定的单位时间步长内的电泳涂料沉积量,得到该时间内生成的电泳膜的厚度;
- 3) 根据此时的电泳膜厚计算出对应的电阻;
- 4) 一个时间步长内的计算结束^[2]。

以上一个时间步长结束时的膜厚电阻作为下一个时间步长计算的初始条件,如此循环,直到时间步长的累计时间到达设定值时结束计算(图 1)。此时的膜厚数据即为最终的仿真计算结果。

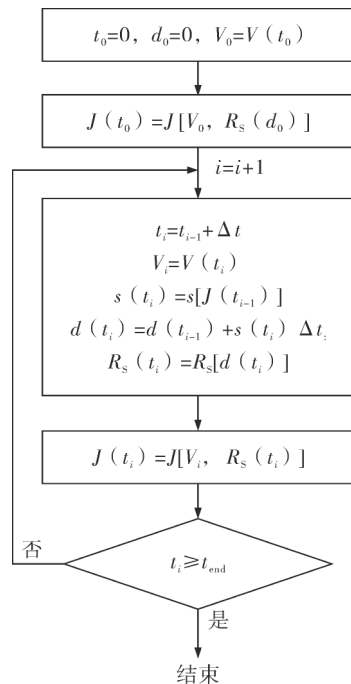


图 1 分析计算逻辑

1.2 软件功能、特点

利用该软件进行仿真分析,主要步骤依次为车身数模处理、划网格、整车分析、整车结果确认、局部分析及结果确认、对策制定、对策效果分析及确认等,其主要功能和特点如下:

一是支持的车身数模格式多。针对 CATIA 软件绘制的车身数模,常见的 PART、CGR、3DXML 等格式文件均可用该软件进行分析。

二是分析精度较高。我公司目前已完成多个车型的仿真分析和实车拆解对比验证,车身内腔电泳膜厚的仿真分析结果中,90%以上的测量点与实车测量结果的偏差可保持在 2 μm 以内,在此精度下进行新车型的膜厚仿真分析验证具有较强的现实意义。

三是软件自带有虚拟开孔、堵孔功能,对策验证更便捷。针对第一轮分析膜厚不达标的区域,软件自带虚拟开孔、堵孔功能,可以在不修改车身数模原始文件的情况下,进行开(堵)孔等膜厚提升方案的效果分析,有利于提高对策的有效性。同时,也可以避免为验证不同方案对车身数模的多次修改,大大提高对应效率。

基于以上的功能和特点,使用 CAE 仿真分析法在新车型企划、开发阶段借助车身的 3D 数模开展电泳

膜厚检证,具有可显著减少试制阶段内腔膜厚不足问题数量、降低解决问题的费用、缩短试制阶段品质成熟周期等优势。

2 分析应用案例

2.1 问题说明

在某新车型开发过程中,工艺技术人员在进行塞子安装性检证时发现裙边某处的塞子安装预留孔与旁边支架的距离设置仅有 4 mm,而塞子安装后与车身贴合面的覆盖宽度为 6 mm,因此塞子会与支架的焊接底座干涉(见图 2),由于支架底座厚度的影响,塞子在支架底座处会与侧围外板存在 1.5 mm 的楔形空隙,无法保证密封性。因此,向设计部门提案移动支架的焊接位置以消除干涉,设计人员仔细检讨后反馈,因支架在该处的焊点位置设置受限制,支架只能沿 T 向(车身后方)移动,且最大移动距离为 20 mm。

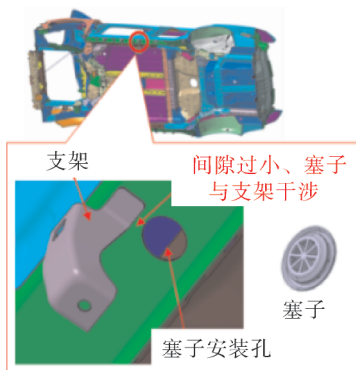


图 2 塞子与支架干涉

工艺人员再次对研发反馈的信息进行确认,发现支架的移动距离只有达到最大(20 mm)时才能解决塞子边沿与支架干涉问题,但是此时支架的 L 型翻折面会与塞子安装孔在 T 方向刚好重合,其与裙边底面的间距仅有 40 mm(见图 3),作业员从下往上安装塞子时的作业空间不足,不便于安装时用力按压,且手容易与支架刚蹭,存在作业安全隐患。

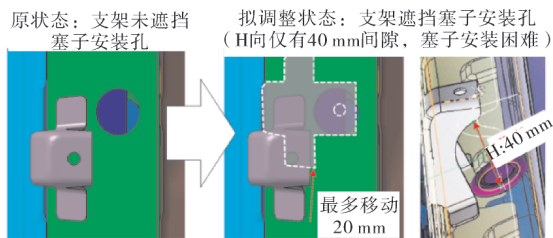


图 3 塞子安装作业空间不足

所以,仅仅依靠调整支架的位置无法彻底解决问题,必须考虑其他解决方案。

2.2 解决方案检讨

工艺人员经过与过往车型对比、分析,发现过往量产车型中裙边塞子安装孔最少的仅有 9 个孔,而该车型设置有 13 个孔,经电泳膜厚 CAE 仿真分析,发现干涉孔附近内腔的电泳膜厚为 15.22 μm ,相比于膜厚基准,尚有 3.22 μm 富余量,因此可以考虑通过取消干涉部位的塞子孔来解决塞子与支架干涉问题。

同时,考虑到裙边设置塞子孔的主要目的之一是防止内腔出现电场屏蔽结构,保证内腔的电泳膜厚,因此还要一并检讨调整前、后孔的位置,以缩短前后孔的间距,尽量减小孔取消后对孔周围内腔电泳上膜的不利影响。

经工艺人员进行对策方向性提案,设计人员对强度及其他关联影响综合分析后,最终计划将裙边的塞子数量由 13 个削减至 11 个,并对部分塞子的位置进行重新布置。经确认,该对策实施后原有的塞子干涉及作业空间不足、安装不便等问题均可消除(见图 4)。

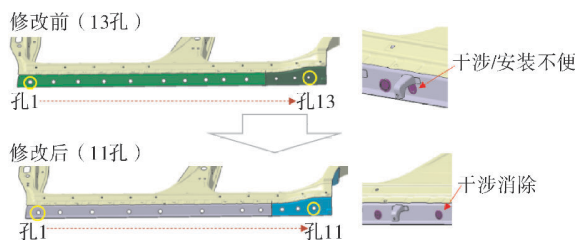


图 4 对策方案

2.3 电泳膜厚影响仿真分析

裙边内腔是整车重点防锈区域,也是电泳膜厚重点管理区域,取消两个孔后,车身电泳时电场穿过孔向内腔辐射的能力减弱,在规定的工艺时间内电泳涂料的沉积量会减少,可能造成膜厚低于品质标准。因此,必须提前确认上述取消两个孔的方案对裙边内腔电泳膜厚的影响,防止出现电泳膜厚不足的品质问题。

工艺人员借助仿真软件,对取消两个孔的方案进行了电泳膜厚仿真分析,并在整个裙边底面上选取了 19 个测量点,对取消孔前、后两种方案的内腔膜厚变化进行对比确认,结果见图 5。

由仿真分析云图和膜厚数据可以看出:对策前后内腔的膜厚整体上变化不大,由于调整后裙边后部的孔更集中,膜厚有 1.2 μm 左右上升;前部膜厚轻微下降,与对策前基本持平;中间区域的变化没有明显规律,但有一处膜厚数据为 11.75 μm ,位于基准线以下,不符合品质要求。

2.4 对策方案调整

工艺人员对膜厚不满足要求的区域附近的钣金式

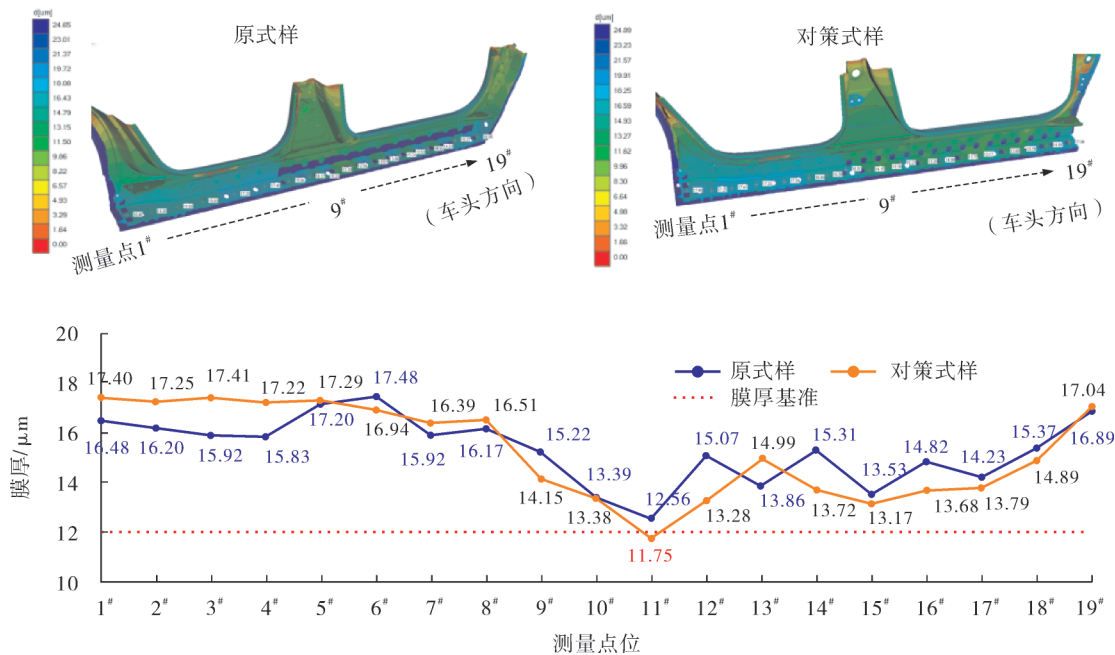


图5 对策前后内腔膜厚对比分析

样进行仔细确认，发现有两个孔的位置调整后存在被内腔的加强板遮挡的问题(见图6)。虽然加强板与外板设置有间隙，可保证塞子顺利安装，但是该孔孔径24 mm，被遮挡的宽度达到17.8 mm，造成该孔对内腔的有效辐射面积降低了75%左右，导致两个孔中间区域的膜厚低于标准。

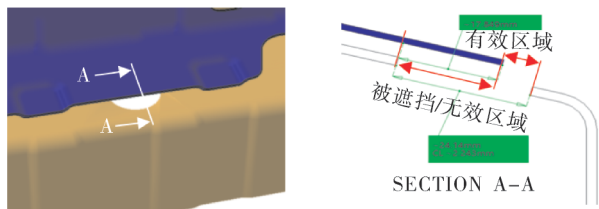


图6 孔被遮蔽

工艺人员随即利用软件的虚拟开孔功能，在内腔的加强板上虚拟开了一个与外板孔位置重合、大小相同的孔(将外板上的孔变成贯穿孔，见图7)，经仿真分析，贯穿后两孔间的最低膜厚由11.75 μm提升至12.66 μm，满足膜厚基准要求，随后研发人员参照工艺人员的提案修改了加强板式样(见图8)。

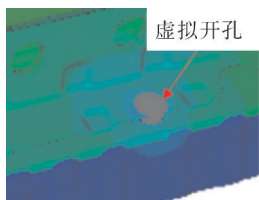


图7 虚拟开孔

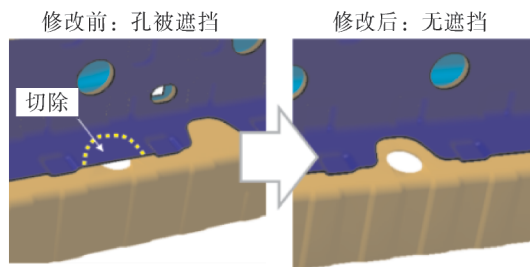


图8 加强板式样变更

2.5 实车验证

经实车全解剖电泳膜厚测量确认，上述部位的实测膜厚为13.26 μm，满足品质标准。裙边内腔整体膜厚分布为13.26~19.10 μm，CAE分析值与实测值偏差在2 μm以内的测量点数为18点，分析精度达94.7%。

3 结语

本次借助电泳膜厚CAE仿真分析方法，通过对塞子孔的位置调整及加强板式样优化变更，不仅解决了裙边塞子与支架干涉问题，而且在保证车身防锈品质的基础上，单台共削减了4个塞子，对该新车型的单台辅成本和作业工时削减都有重要意义。

参考文献：

[1] 王锡春.汽车涂装工艺技术[M].北京:化学工业出版社,2005:24-25.
 [2] 史述龙,杨春伟,潘伟.电泳膜厚CAE仿真分析及其应用[J].汽车科技,2018(7):70-72.