前罩电泳漆膜发黄问题浅析

刘宗会

北京汽车研究总院有限公司　北京　101100

摘要：分析了前罩电泳漆膜发黄产生的原因，并提出了解决措施，同时为电泳线的阳极排布提出了建议。

关键词：前罩；发黄；电泳

电泳涂装作为汽车涂装的第一道工序，是涂层的基础。它必须具备下列性能：电泳涂装对经过预处理的工件表面必须有很好的附着力，所形成的底漆涂膜应具有较强的力学性能；底漆本身必须是耐腐蚀的阻化剂，有较强的耐腐蚀性、耐水性和抗化学试剂性；与中涂或免漆层具有良好的配合性；能适应汽车工业流水线生产的特点，具有良好的施工性能。而电泳漆膜的缺陷会对上述性能产生不同的影响，并且增加后序工人劳动强度和生产成本，甚至可能对面漆车身质量产生不利影响。

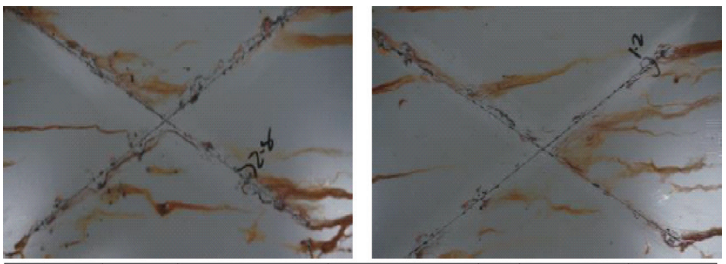
要获得优良的电泳漆膜性能，不仅要求有良好的电泳涂料材料，同时电泳设备、现场工艺参数以及前处理质量都起着举足轻重的作用。本文就某款车型前罩发黄的问题，探讨如何从电泳材料、设备系统、工艺参数以及前处理质量等方面出发寻找问题发生真正原因，提供问题解决的思路，制定相应的纠正和预防措施。

问题描述

问题发生在新车型投产调制阶段，涂装车间电泳打磨班组发现，新车型白车身连续过车时经过电泳及烘炉烘烤后，新车型前罩外板及内板前端电泳漆明显发黄（见图1）。经统计发现，生产电泳车身149台，出现发黄车辆数为108台，不良率高达72%。该新车型产量规划为10万辆/年，打磨率为72%，单人返修工时费为35元/h，返修时间30s，单班参与人数为4人，双班8人，预计约16.8万元/年，返修成本高昂。对发黄部位及周边部位的电泳膜厚进行测量，膜厚无明显区别。如图2所示，发黄区域取样做盐雾实验发现，1000h盐



图1　前罩发黄



中性盐(1000h)		ASTM B117 2011 漆膜不起泡，划线处单侧腐蚀宽度不大于2mm	A1269 Corrosion Testing System 腐蚀试验箱 Liebisch K300 4302 6101		漆膜有多点起泡，最大单边扩蚀宽度2.8mm	NOK
					漆膜有多点起泡，最大单边扩蚀宽度1.2mm	

图2 发黄部位盐雾试验

雾试验后单边锈蚀宽度超过2mm标准，不满足防腐要求，存在锈蚀风险，必须解决发黄问题。

原因分析

该现象有两个很重要的规律：一是在前处理电泳连续过车的状态下，新车型为首台车或者新车型前方空一个车位的状态下，前罩漆膜正常，其余车身在电泳烘烤后出现前罩内外板前段发黄的现象；二是该生产线同时生产的另一款量产车型不存在前罩发黄的问题。

为了解决此问题，从白车身、前处理、电泳、超滤水洗及电泳烘烤等5个方面进行排查。

1.超滤液pH值

电泳漆膜在烘干后有较强的耐酸性和耐碱性，但湿膜状态的电泳漆膜极易在酸性环境中出现“酸溶解”现象，造成漆膜发花。白车身经过电泳出槽体后需经过超滤液水洗，若超滤液pH值偏低，则会造成电泳漆膜返溶。需验证是否由于UF液冲洗造成的返溶，验证如下：pH值监控，UF液在工艺范围；UF后纯水冲洗，前罩内外板发黄。验证结论：前罩发黄与电泳后水洗质量无关，超滤液pH值为非要因。

2.车身干湿状态

进入电泳槽液前，车身表面的干湿状态会导致钢板表面电阻不同，可能造成前罩外板出现花斑。因此有必要对车身干湿状态进行分析（车身常规状态为半干状态发黄率79.34%；入槽前关闭喷淋并吹干可使车身达到全干状态发黄率67.56%；入槽前向前罩内外板喷纯水，全湿状态进入电泳槽发黄率87.5%）。试验结论：车身干湿状态对前罩电泳漆膜发黄问题无显著影响，干湿状态为非要因。

3.烘炉温度

为研究不同烘烤温度对电泳漆膜发黄缺陷率是否有显著影响，根据工艺烘烤温度范围175～230℃，选择180℃、200℃ 、220℃三种温度进行试验，每种温度下分三组试样，试样随车挂板缺陷率分别达65.55%、63.33%、68.89%。试验结论：温度对发黄缺陷率无显著影响，烘烤温度为非要因。

4.钢材类型

新车型与量产车型共线生产，新车型前罩内外板电泳漆膜发黄，而量产车型前罩电泳漆不发黄，新车型前罩内外板钢材为冷轧板，而量产车型前罩钢材为镀锌板。为验证钢材差异，通过挂板试验，对两种钢材电泳烘烤后发黄情况为冷轧板79.34%、镀锌板为0，具体过程分析见表1。冷轧板少量铁变成黄褐色的FeO_3从而导致电泳漆膜发黄，而镀锌板由于有锌层保护，呈白色的氧化锌在电泳漆膜中目视看不出来。经检测镀锌板防腐性能满足要求。试验结论：其他条件不变的情况下，镀锌板可改善发黄问题，钢材类型为要

表1　冷轧板发黄而镀锌板不发黄过程分析

过程	冷轧板	镀锌板
电泳过程一（阳极失电子）	$Fe-2e\rightarrow Fe^{2+}$	$Zn-2e\rightarrow Zn^{2+}$
电泳过程二（与阴离子结合）	$Fe^{2+}+2OH^{-}\rightarrow Fe(OH)_2$（白色）	$Zn^{2+}+2OH^{-}\rightarrow Zn(OH)_2$（白色）
电泳过程三（自然氧化）	$4Fe(OH)_2+2H_2O+O_2\rightarrow 4Fe(OH)_3$（红褐色）	
烘烤过程一（受热分解）	$2Fe(OH)_3\rightarrow Fe_2O_3$（黄褐色）$+3H_2O$	$Zn(OH)_2\rightarrow ZnO$（白色）$+H_2O$

因。

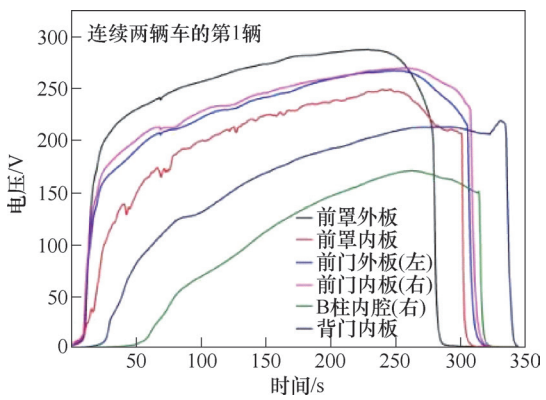
5.电压

生产现场使用的电泳槽位船型槽，连续过车，工件在前处理电泳采用“空中悬链+摆杆吊具”进行输送，出入槽角度为45°、链速为5m/min，一段电压（310V、71s）、二段电压（340V、142s），入槽的铜排没有连电，但是入槽段的阳极连电。采用表面流动电位测定仪测量连续两辆车整个电泳过程中的电压曲线，如图3所示，分析两者差异。

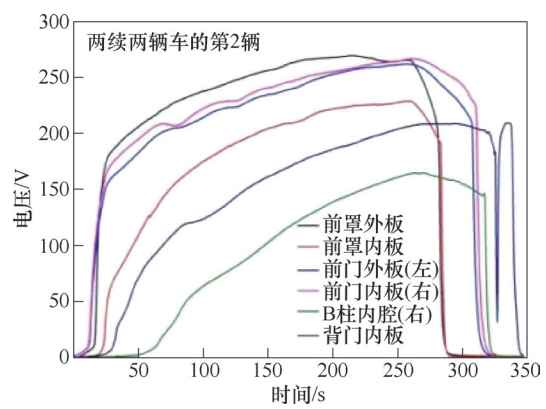
以上现象说明，连续过车时第2辆车不同区域电压与第1辆车相比，前罩外板低20V。另外，第2辆车前罩内外板电压达到10V的时间比第1辆车晚6s。这两方面说明，第1辆车通电后对第2辆车的电场有影响，前端尤为明显。

该现象有两个很重要的规律：一是在前处理电泳连续过车的状态下，新车型为首台车或者新车型前方空一个车位的状态下，前罩漆膜正常，其余车身在电泳烘烤后出现前罩内外板前段发黄的现象。二是该生产线同时生产的另一款量产车型不存在前罩发黄的问题（新投产车型白车身车长为4625mm，已有量产车型最长车型为4200mm）。

后一辆车受前一辆车的影响，前罩前端电压受到抑制，符合电极反转理论的解释：连续过车的两辆车，后一辆车入槽时不带电，前一辆车身入槽全浸后作为阴极带电，因此造成后一辆车短暂变为“阳极”，后一辆车的前罩在前一辆车的电极反转作用下发生磷化膜“溶解”，最终导致冷轧板前罩呈现出电泳膜发黄的现象。



a）前车电压曲线



b）后车电压曲线

图3　连续两辆车整个电泳过程中的电压曲线

为了验证上述分析，特采用隔一进一的方式，以增大节距，减弱前车电场对后车的影响，前罩发黄数量为0。试验结论：采取隔一进一方式的前罩电泳漆膜未出现发黄问题，说明前车的电场确实对后车产生了不良影响，可以确定电压为要因。

但是采用这种方式产量降低一半，且单车能耗增加，这种解决方式不可行，还需要继续寻找解决方

案。为了解决电极反转导致的前罩发黄问题，需要通过调整过车时电压情况的方式解决新车型前罩发黄问题，主要方案见表2。

试验结论：采取将一段阳极管1～15根断电，1～10根的阳极管内阳极液循环关闭，11～15根的阳极管取出的措施，前罩内外板发黄问题解决。

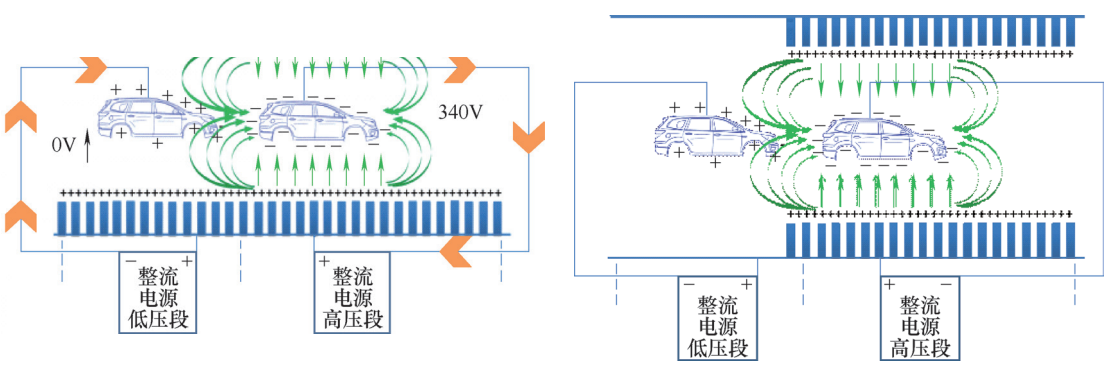
表2　调整过车时电压方案分析

措施	结果	是否可行
将带电入槽段的铜排连电，一段和二段电压各降20V	前罩不发黄，四门外板有轻微出槽斜纹；但由于整流器容量不够，二段电压经常报警（超1500），需要增加一个整流器	✓由于新车型生产为工厂代工，代工厂给出的意见是“量产时不能改为带电入槽”
提升一段电压升压速度：链速由5m/min提升到6.5m/min，一段电压升压时间由18s变为2s	前罩内外板发黄	×
一段电压降为150V，持续40s，随后上升至340V	前罩内外板发黄	×
关闭二段阳极前三对阳极	前罩内外板发黄	×
将一段的部分阳极管（第26根至第30根，一段电压与二段电压的分界区域）断开并取出（参考长城汽车案例）	前罩内外板发黄	×
将一段的部分阳极管（第11根至第15根，经分析为前一辆车全浸通电位置）关闭	前罩内外板发黄	×
将一段的部分阳极管（第11根至第15根，经分析为前一辆车全浸通电位置）断开并取出（参考长城汽车案例），同时第1～10对阳极断电及阳极液循环关闭	前罩内外板不发黄，且内外板膜厚合格	✓

原理分析

电泳槽1～15号阳极管断开前后实车验证对比分析如图4所示。

1）阳极管断开前，后车进入槽体开始通电升压阶段，前车已经处于340V的高压电场中，两者之间存在较大电势差，并通过整个电泳槽体内的阳极管构成回路，前车为阴极，后车为阳极，且越靠近前车，电场强度越大，阳极反应越剧烈，离前车较远后电场较



a）断开前　　b）断开后

图4　电泳槽1～15号阳极管断开前后实车验证

弱，几乎不发生反应。

2）阳极管断开后，尽管前车与后车之间电势差仍然存在，但无法构成回路，所以电化学反应无法进行。经过18s，前车电压达到310V，离开阳极管断开区域，两者之间电势差较小，两车正常进行电泳过程。

前罩电泳漆膜发黄的最佳方案分析

前罩电泳漆膜发黄的解决方案分析见表3。

经最终评估决定实施方案2前罩外板有冷轧板切换为镀锌板和方案4电泳槽入槽端1～15号阳极管断开的措施。通过切换前罩外板钢材类型及关闭部分阳极管，电泳发黄问题得到彻底解决，连续两月发黄不良率均为0%。

前罩外板切换为镀锌板后效果验证：前罩外板由冷轧板切换为镀锌板后，连续跟踪5－6月实车效果，共70台白车身通过电泳线，未发现前罩外板电泳漆膜发黄车辆（前罩内板发黄问题仍然存在）。

电泳槽1-15号阳极管断开前后效果检验：在断开电泳槽前端1～15号阳极管后，统计8－9月85辆车发黄问题数为0，前罩发黄缺陷率由原来的72%降低到0%。

表3　方案分析

序号	方案	成本	变更周期	评估结果	是否采纳
方案1	采取隔一进一方式，增大两车节距	单车增加500元，全年增加5000万元	5天	可以解决发黄问题，但产量降低一半，且单车能耗增加	×
方案2	前罩外板材由冷轧板切换成镀锌板	单车增加15元，全年增加150万元	1个月	前罩外板由冷轧板切换为镀锌板一方面可以解决前罩发黄的问题，另一方面能提升外板件的耐腐蚀性能（公司其他车型前罩外板均为镀锌板）。综合评估建议实施。但是前罩内板发黄问题仍需解决	✓
方案3	入槽方式由不带电入槽改为带电入槽	改造费150万元	3个月	带电入槽虽然能解决发黄问题但会带来电泳漆膜斑马纹问题，另外乙方不同意设备改造	×
方案4	电泳槽入槽端1～15号阳极管断开，切断前车与后车之间形成的回路	无增加	7天	无需改造费用，且实施周期段，可能直接解决发黄问题。但需要考虑通电时间缩短可能带来电泳漆膜厚不达标的风险。建议实施后再进行膜厚达标风险评估	✓

结语

停用电泳槽前端1～15号阳极管这一措施在代工厂投产的其他车型可复制。对轴距较长的车型，进电泳槽液和出电泳槽液两个阶段，相邻两车之间易形成较大的电势差而发生电极反转，从而造成后一辆车机罩前端漆膜发黄或前一辆车尾端漆膜缩孔。因此有必要在设计阶段考虑两车电势差，提前规避。