# 工艺条件对汽车电泳涂装的影响及缺陷分析

闫超杰

闽西职业技术学院　福建龙岩　364021

**摘要**：介绍了汽车电泳涂装的基本原理，通过试验方法分析了工艺条件参数对电泳涂装质量的影响及常见缺陷产生原因。

**关键词**：汽车；电泳；涂装；溶液

近年来，随着人们生活水平的不断提高，汽车作为提高生活质量的交通工具，逐渐吸引了公众的注意[1]。汽车喷漆工艺是冲压、焊接、喷漆和总装四大工艺之一，是汽车生产工艺的重要组成部分[2]。涂层质量直接影响车辆的整体使用，尤其是耐候性、耐腐蚀性、抗紫外线、耐刮擦性及耐颜色性等。电泳涂装工艺是将工件和相应的电极（导电材料，如钢或铝）置于电泳溶液中，将它们连接到交流或直流电源，并在电场的作用下将涂层沉积在工件表面上，以形成均匀的涂层膜。电泳涂装按电源分为直流电泳和交流电泳；根据涂层的沉积特性，可分为阳极电泳和阴极电泳；按工艺方法可分为恒压法和恒流法。目前，广泛使用的方法是使用恒压直流电源的阳极电泳[3]。

## 电泳涂装原理

电泳涂层是电泳原理在胶体化学中的应用，带电的胶体颗粒在连续电场的作用下沿与其带电电荷相反的方向移动，并在沉积时去除电极上的电荷以形成涂膜。这种胶体颗粒运动的现象被称为电泳现象、电泳涂层或电泳涂装。

目前，阳极电泳涂装中广泛使用的电泳涂料是水溶性树脂，它是一种高酸价的羧酸盐。通常，树脂制成后，用胺中和，生成高分子羧酸氨（胺）盐。当溶解在水中时，它会离解成带负电的胶体颗粒和氨（胺）的阳离子。

$RCOONH_4$（高分子羧酸氨盐）= $RCOO^-$（带负电荷）+$NH^+_4$（阳离子的胶体粒子）

基金项目：福建省中青年教师教育科研项目（科技类）2020年度立项课题（JAT201291）

当通过阳极电泳进行涂覆时，在电泳池中施加直流电，其中涂层材料用作阳极，另一金属片或池体本身用作阴极。根据电泳原理，在直流电场中，离子发生定向运动，带负电荷的胶体颗粒$RCOO^-$朝向阳极移动，从涂层物体中去除负电荷，沉积在不溶性涂层膜中；阳极电泳涂层的基本原理是阳离子向阴极移动，在阴极上获得电子并还原为氨（胺）。

事实上，电泳过程非常复杂，包括以下四个同时发生的物理和化学过程（以阳极电泳为例）。

### 1.电泳

用于电泳的一般水溶性涂层是一种胶体分散体，其中树脂分子在水中电离并分解为带电颗粒。在直流电场的作用下，分散在极性介质水中的带电树脂颗粒，以及吸附在其表面的颜料和带电颗粒，向与携带电荷的电极相反的方向移动。这种现象被称为电泳。

### 2.电沉积

水溶性树脂颗粒携带负电荷，在直流电场的作用下向阳极移动，电子被释放并沉积在阳极上，形成不溶于水的涂层，这个过程被称为电沉积。放电颗粒首先沉积在电力线密度特别高（即电阻最小）的位置，例如待喷涂物体的边缘、尖角等；在对这些区域施加一定程度的绝缘涂层后，沉积点逐渐移动，直到它们完全均匀地涂覆成膜。

### 3.电渗

电渗是液相在电场作用下的运动。当涂层的树脂颗粒朝向阳极移动并沉积时，该沉积物在电场力的作用下不能移动，而吸附在阳极上的分散树脂颗粒（主要是水）在内部渗透力的作用下沿与颗粒位移相反的方向移动时，通过涂层膜沉积在阳极附近的电泳溶液中，这种现象被称为电渗。电渗的作用是使沉积的涂膜脱水。

### 4.电解

当电流流过电解质和水时，水经历电解反应，在阴极释放氢，在阳极释放氧。同时，溶解也发生在阳极本身。对于电泳涂料，电解反应不利，但难以避免。因为阳极释放的氧可以被沉积的涂层吸收，影响涂层的质量并降低渗透性。为了减少电解对电泳涂层的干扰，在操作过程中应尽可能降低电压，并缩短电泳时间，以减少电解释放的气体对涂膜质量的影响。

## 工艺条件对电泳涂层的影响

影响电泳质量的因素有很多，包括电源整流器、电泳材料、槽液参数、电泳时间和温度等[4]。

### 1.电压

在恒压电泳涂装中，电压对涂膜的质量有很大影响。电压的选择不仅取决于所用涂层的类型，还取决于被涂装工件的材料、表面形状、尺寸和电泳阴极距离。一般来说，电压越高，涂膜越厚，表面越粗糙，干燥后更容易产生橘皮，这可能导致涂膜中出现针孔和气泡；当电压低时，涂层薄且致密，但效率低。因此，电压的选择必须根据电泳条件和涂层的种类来确定。

一般使用直流电源。整流设备可以使用硅整流器或晶闸管，当然也可以使用直流发电机。整流器的电流密度通常为2～4mA/cm$^2$。设备的容量取决于电压和电流，电流的大小与涂层的性质、温度、工件的表面积和通电方式等因素有关，通常在30～50A/m$^2$。

### 2.电泳时间

电泳时间不应太长，应根据所需涂膜的厚度确定。在保证涂膜质量的条件下，电泳时间越短越好。由于当涂层达到一定厚度时电阻增加，即使电泳时间进一步延长，涂层厚度也不能增加，但会加重副反应[5]。一般来说，小工件电泳需要2min，大工件电泳需要3～4min。

在实验室中使用不同的电泳时间和电泳电压进行试验，其他电泳工艺参数相同：固体含量15.0%，pH值6.85，温度28℃。电泳时间和电压对电泳膜厚度的影响见表1。

### 3. pH值

pH值低，涂层溶液的稳定性差，已溶解的树脂会沉淀。如果pH值过高，新沉积的薄膜将再次溶解，影响薄膜厚度。pH值通常应在6～8，在电泳过程中，pH值会增加，可以使用超滤或更换阴极盖内的蒸馏水来

表1　不同电泳电压和电泳时间对应的电泳膜厚　（单位：μm）

| 电泳电压/V | 电泳时间/min | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 1 | 2 | 3 | 5 | 8 | 15 | 30 |
| 50 | 2 | 3 | 4 | 6 | 11 | 12 | 12 |
| 100 | 7 | 12 | 14 | 15 | 17 | 17 | 18 |
| 150 | 10 | 14 | 15 | 16 | 16 | 19 | 26 |
| 200 | 14 | 17 | 20 | 23 | 24 | 29 | 39 |
| 250 | 16 | 19 | 23 | 26 | 31 | 41 | 58 |
| 300 | 17 | 19 | 22 | 25 | 31 | 48 | 56 |
| 350 | 20 | 24 | 30 | 34 | 48 | 60 | 86 |

降低pH值。如果pH值较低，可以加入乙醇胺进行调节。

### 4.电泳溶液温度

当电泳溶液的温度高时，涂膜形成得很快，涂层很厚，但涂层的外观很粗糙。长期高温也会导致电泳溶液变质。电泳溶液的温度低，电泳能力差，成膜缓慢，但涂层外观精细致密。一般情况下，电泳溶液的温度应在15～30℃。

表2显示了在实验室中相同实验参数（电泳槽溶液固含量15.5%，pH值6.75，电泳时间3min）下，在两种不同电泳电压条件下，仅改变涂液温度的电泳样品的涂膜层厚统计。从实验结果可以看出，温度对涂膜厚度和电泳表面质量有显著影响：当涂液温度低于30℃时，涂膜厚度小于20μm；当涂液温度为34℃时，电泳漆膜上有轻微的针孔。因此，电泳槽溶液的温度应根据现场电泳涂液的最合适控制温度来选择。

### 5.电泳液的固体含量

一般固体含量为8%～18%。不同类型涂料的稀释度也不同，如铁红色底漆的稀释度为10%～15%，灰色面漆的稀释度则为8%～15%。为了降低电泳溶液在槽中的实际存储容量，电泳溶液的固体含量相对较低，这更经济，因此可以减少工件带出对电泳溶液的消耗。但是当固体含量过低时，薄膜的覆盖力就不好。当固体含量过高时，涂层的外观是粗糙的。

### 6.溶剂含量

一般溶剂含量为5%～6%。当过多时，它会导致电泳过程中使用的电压降低，降低渗透性，并导致重新溶解的针孔再次形成。

表2　不同槽液温度对应的电泳漆膜厚度　（单位：μm）

| 电泳电压/V | 槽液温度/℃ | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | 26 | 28 | 30 | 32 | 34 |
| 80 | 13 | 15 | 21 | 22 | 25 |
| 260 | 14 | 18 | 22 | 23 | 27 |

（下转第43页）

## 结语

综上所述，长玻纤增强材料在汽车内外饰中的应用非常广泛，包括在前端模块、发动机装饰罩、车门内衬板模块、蓄电池托架、尾门及仪表板骨架等方面的应用。上述部位应用长玻纤增强材料装饰的优点在于改善零部件综合指标性能，在保证汽车安全性的前提下降低汽车各部构件的质量，实现汽车整车的轻量化。

**参考文献：**

[1] 方瑞，李兰军.长玻纤增强阻燃材料在蓄电池隔板中的应用[J].江苏科技信息，2023（24）：51-55.

[2] 周琴平，张云青，杨良玻，等.长玻纤增强聚丙烯材料特性及其在汽车前端框架应用的设计方法[J].汽车实用技术，2021（14）：78-83.

[3] 李彬，谢静雅，付丹.长玻纤增强PP材料在汽车上的应用[J].时代汽车，2017（24）：78-79.

[4] 蒋艳云，蓝先，李坚，等.长玻纤增强PP材料在发动机装饰罩盖上的应用研究[J].汽车零部件，2017（1）：30-33.

[5] 邵萌，王燕文.长玻纤增强材料在汽车塑料尾门中的应用[J].汽车零部件，2016（5）：86-89.

[6] 盛治华，安康.长玻纤增强型材料在汽车前端模块中的应用[J].上海汽车，2013（9）：55-57.

（上接第39页）

## 电泳涂装的常见缺陷和原因

通过电泳测试分析，发现电泳涂层有几个常见的缺点和原因。

（1）涂层外观不好，有花脸、橘皮、流挂等现象　造成这种情况的主要原因是：表面处理不好，除油、除锈不彻底，或者磷化膜不均匀；电泳后清洗不彻底；pH值过高；电泳液中泡沫过多；电泳溶液的固体含量过高；电极之间的距离或涂层工件之间的距离太小；电压过高；电泳溶液的温度过高。

（2）工件表面亮度不一致　造成这种情况的主要原因是：电泳溶液中颜料与基料的比例不当，颜料密度过大，分散性差；电泳溶液搅拌不充分；固体含量低；阴极面积过小或被屏蔽；工件位置不正确或工件之间距离过近；工件的形状过于复杂；pH值低；电压过低，导致涂层变薄。

（3）薄膜太薄　造成这种情况的主要原因是：电压低；pH值过高；固体含量低；电泳时间太短；工件磷化；关电后工件在槽内停留时间过长；悬挂工具接触不良；电泳溶液温度过低；搅拌速度太快。

（4）针孔　其主要原因是：固体含量低，水解强烈；电压过高，电解反应很快，气泡增加；电泳溶液中杂质离子过多；通电时，入槽速度较慢，或槽液搅拌缓慢，特别是工件表面潮湿时，容易产生阶梯状针孔；槽液混入油液，或工件表面未脱脂、清洁；电泳膜形成后和水洗之间的间隔太长，容易产生重新溶解的针孔。

（5）粗颗粒　造成这种情况的主要原因是：电泳溶液中混入灰尘等异物；电泳涂料溶解性差；颜料分散性差；杂质太多。

（6）水印　造成这种情况的主要原因是：涂层疏松，电渗透性差；电泳溶液中的助溶剂太多。

（7）电泳后水洗过程中涂层脱落　造成这种情况的主要原因是：表面处理不干净；pH值过高，涂膜再次溶解；电压过低；杂质离子太多，洗涤时间太长。

## 结语

综上所述，电泳涂料涂膜均匀，附着力强，质量好。对于通过一般涂层方法难以涂覆或涂覆不良的区域（如内层、法兰、焊缝等），可以获得均匀、平坦、光滑的理想涂膜。由于电泳过程中的化学反应，各种参数之间也存在相关性，如pH值和电导率。因此，需要对电泳槽的参数进行有效监测，以确保稳定生产。电泳工艺参数复杂，影响因素多，需要更精细化的管理，确保产品质量稳定可控。

**参考文献**

[1] 罗文钦. 汽车工程中的信息技术的应用研究[J]. 时代汽车，2018（12）：13-14.

[2] 倪征. 浅析汽车涂装中前处理和电泳工艺的质量控制[J]. 现代涂料，2019，22（11）：45-48.

[3] 肖永清 . 低碳环保性能电泳涂料的发展[J]. 上海染料，2021，49（1）：20-25.

[4] 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，2021，24（1）：30-32，36.

[5] 冯德进，薛涛，蒙钱东. 浅谈汽车涂装电泳 [J]. 现代涂料与涂装，2013，16（11）：61-63.