# 汽车车身涂装过程中的色漆针孔缺陷原因探究与解决

陈　波，黎　行，胡耀权
（广汽乘用车有限公司，广州 511434）

**摘要：**主要介绍了汽车涂装过程中水性色漆针孔产生的原因和影响因素，结合对生产线针孔异常案例的分析，从环境、设备、人员、材料等方面分析解决针孔问题，找出产生针孔的根本原因，并进行改善。

**关键词：**汽车涂装；水性色漆；针孔

**中图分类号：**TQ639　　**文献标志码：**B　　**文章编号：**1007-9548(2025)01-0027-03

# Exploration and Solution of the Causes of Pinhole Defects in Color Paint in the Process of Automobile Body Painting

*CHEN Bo, LI Xing, HU Yao-quan*
(Guangzhou Automobile Group Co., Ltd., Guangzhou 511434, China)

**Abstract:** This paper mainly introduces the causes and influencing factors of pinholes in water-based paints in the process of automobile coating, combined with the case analysis of pinhole abnormalities in the production line, analyzes and solves the problem of shrinkage porosity from the aspects of environment, equipment, personnel and materials, finds out the root cause of pinholes, and improves them.

**Key words:** automotive coating; water-based paints; pinhole

## 0　引言

汽车涂装是一项复杂的工艺，它不仅要求涂层具有良好的外观效果，还需要具备一定的耐久性和防腐蚀性能。随着汽车工业的发展，消费者对汽车外观的要求越来越高，所以车身涂装过程中的质量要求也越来越高。在汽车车身涂装过程中，色漆针孔是一种常见的表面缺陷，表现为涂层表面的小孔或气泡。这些小孔或气泡通常呈现为圆形或椭圆形，大小可能从几微米到几百微米不等。它们通常在涂装过程中或刚刚完成涂装后出现，对车身的外观和耐久性产生负面影响。针孔缺陷是汽车涂装较为常见的一种缺陷，本文对涂装车间生产时出现的某次针孔问题进行原因分析，并提出相应的解决方法。

## 1　问题背景

某班组在车身涂装过程中发现银色车和白色车的针孔异常问题。这些针孔主要发生在车身的右侧，具体位置包括右后门、右后翼和右机盖。在打磨掉清漆后，这些针孔仍然可见。异常发生后，检查线作业人员的打磨抛光工作量增加，影响线体开动率，质量技术员排查分析针孔产生的原因。该生产线为 4C3B 工艺，观察中涂涂层，未发现针孔异常，因此可以确定针孔是在面涂过程产生。统计不良发生规律，针孔不良主要发生在早上 7 点至 9 点的 2 h 内，这期间过线的车有两种颜色，银色和白色，均出现针孔异常问题。针孔异常位置不固定分布，主要发生在右侧，左侧无针孔，具体位置包括：右侧后门、右侧后翼和右侧机盖（图 1）。通过干膜外观确认，同时打磨涂层表面，无法消除，可初步确认针孔不良发生在色漆漆膜中，需要补漆处理。针对这一问题，班组进行了深入的研究和分析。

## 2　原因分析与排查

针孔形成机理：车身漆面烘干后，漆膜表层出现针状小孔，这种涂装漆面不良称为针孔。在车身喷涂过程中，湿漆膜中的溶剂挥发和空气逸出，顶破漆膜导致小孔产生，由于这个时候的湿漆膜流平性不足，无法充分

**收稿日期：**2023-12-06

**作者简介：**陈波（1993— ），男，本科，助理工程师，主要从事涂装制造质量的优化与提升等工作。E-mail：chenb@gacmotor.com。

图 1　针孔位置描述

流平，留下了针状小孔。明确了针孔形成的过程后，验证可能导致针孔产生的影响因素。

### 2.1　漆膜厚度

测量车身右侧针孔位置的膜厚约为 140 μm，车身左侧相同位置漆面厚度约 120 μm，两侧膜厚有差异，同时测量相同车型其他颜色的车身上相同位置的漆面厚度，均存在右侧漆面厚度偏高的情况，不过没有出现针孔异常现象，因此，针孔问题与漆面厚度无关。

### 2.2　漆膜脱水率检测

首先对闪干炉温度进行监控，闪干炉设定温度为 95 ℃，根据温控系统记录的实时检测数据，温度在设定值的+5 ℃范围内波动。然后对车身针孔位置脱水率进行检测，利用铝箔纸随车过线检测脱水率。

1）铝箔纸称重：将铝纸裁成比纸框稍小的长方形，在铝纸的背面（光泽低的一面）用油性记号笔作好标记，用分析天平称量铝箔纸的质量，铝箔纸的质量记录为 $W_1$。将铝纸放在纸框下，正面（光泽高的一面）朝上，对齐放平；

2）铝箔纸粘贴：将其贴在报废车上，测试特定位置的脱水率，粘贴位置在待测量处，将对齐放平的纸框和铝箔纸四边用耐高温胶带牢固粘贴在车身上，随报废车上线喷涂色漆；

3）经脱水小烘房后铝箔纸称重：闪干炉后，撕开胶带，将纸框下的铝箔纸取出，将铝箔纸漆膜朝里对折叠起，再将开口的三边折起压紧，然后放在分析天平上称重，此质量记录为 $W_2$；

4）烘烤后铝箔纸称重：将折成长方形的铝箔纸展开，然后漆膜朝里卷成桶状，卷好后放入烘箱，在 140 ℃×30 min 烘烤后，放入干燥箱冷却，取出放在分析天平上称重，此质量记录为 $W_3$。测量 3 次数据计算脱水率，取其平均值：色漆脱水率=$(W_3-W_1)/(W_2-W_1)\times 100\%$，和针孔位置进行脱水率检测，针孔位置脱水率在标准范围内，结果见表 1。

### 2.3　涂料黏度

涂料黏度过高，针孔越容易产生，黏度过高，涂料流平性越差，导致涂膜不均匀，局部位置易产生针孔。通过测量异常发生时的涂料黏度以及追溯近一个月的涂料黏度测量数据，均在标准范围内，满足要求。

表 1　脱水率测试结果

| 部位 | $W_1$ | $W_2$ | $W_3$ | 脱水率/% |
|---|---|---|---|---|
| 左前门 | 0.640 9 | 0.780 4 | 0.760 4 | 85.66 |
| 右前门 | 0.637 4 | 0.746 0 | 0.732 7 | 87.75 |
| 左后门 | 0.631 9 | 0.714 0 | 0.702 6 | 86.11 |
| 右后门 | 0.632 3 | 0.706 5 | 0.696 6 | 86.66 |
| 针孔位置 | 0.631 9 | 0.785 2 | 0.763 6 | 85.91 |

### 2.4　喷房温湿度控制

喷房的施工温度过高、湿度过大，容易产生针孔不良缺陷。湿度过大，增加了漆膜中溶剂或水气的挥发难度。喷漆室的温湿度控制通常采用恒温恒湿系统，该系统通过空气处理单元和加湿除湿单元来调节喷漆室的温湿度。当温湿度传感器检测到室内温湿度偏离设定值时，系统会自动调节进风量、出风量以及加湿量，使喷漆室的温湿度回到设定范围内。空调器由预加热燃烧器、表冷器（冷水盘管）、喷淋和后加热燃烧器组成完整的温/湿度控制系统。

空调器的温湿度控制过程都取决于空气焓湿图，一般喷房温度控制在（24±3）℃，相对湿度控制在（65±5）%。

#### 2.4.1　夏季空调温湿度调控过程（高温低湿）

第一步：降温除湿。此过程消耗电能（冷冻水），当降温未达到露点（相对湿度 100%的温度值）湿空气绝对含湿量不变，温度下降，达到露点后，绝对含湿量减少。

第二步：升温。此过程消耗燃气（后加热），空气经过加热后，湿空气的绝对焓湿量不变，温度上升，相对湿度减少。

#### 2.4.2　冬季空调温湿度调控过程（低温低湿）

第一步：预加热。此过程消耗燃气（预加热），空气经过加热后，湿空气的绝对焓湿量不变，温度上升，相对湿度减少。

第二步：喷淋加湿。此过程消耗水、电能（喷淋），空气经过喷淋加湿后，空气的绝对焓湿量和相对湿度增加，温度降低。

第三步：升温。此过程消耗燃气（后加热），空气经过加热后，湿空气的绝对焓湿量不变，温度上升，相对湿度减少。

以上简要表述了夏季（高温低湿）和冬季（低温低湿）情况下，空调器调控温湿度的过程，还有其他情况如低温高湿、高温高湿也基本遵循这一控制原理。

温湿度控制系统的被控参数是温度和湿度，涂装车间喷房内设有温湿度传感器，该传感器安装于喷房动压室内，传感器检测值可在设备控制柜的触摸屏上实时显示温湿度数据，设备操作员每小时检查温湿度值，并记录在点检表上，检查分时段的控制柜触摸屏的温湿度显示值，并无明显大的波动。

对涂装环境进行仔细分析，虽然温湿度传感器检测的温度和湿度在正常范围内，但由于温湿度传感器安装位置距离车身喷涂位置较远，温湿度可能存在差异。使用手持温湿度检测仪对某天上午喷房的温湿度进行检测，数据显示，使用手持温湿度检测仪检测的温湿度与喷房动压室内传感器检测喷房同一位置，检测值存在较大差异，使用手持温湿度检测仪检测值相对湿度更高（见表 2）。

从表 2 可以看到，动压室温湿度传感器和使用手持温湿度仪测量值差异较大，导致手持温湿度检测仪检测值比喷房动压室内传感器检测值高的原因是喷房动静压室滤棉/滤袋会吸湿，且文丘里水槽中的循环水与外界接触，温湿度容易受外界影响，均会导致喷漆室体动压室与喷房下方过车区域这两个位置的温湿度差异。虽然控制柜上显示温湿度范围在标准范围内，而实际上正常生产过车区域湿度过高，导致针孔不良产生。

表 2　湿度检测数据统计

%

| 点检方式 | 测量时间 | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 9:00 | 9:30 | 10:00 | 10:30 | 11:00 | 11:30 | 12:00 | 12:30 | 13:00 |
| 手持温湿度检测仪 | 71.9 | 70.6 | 67.2 | 68.2 | 68.0 | 67.9 | 67.6 | 66.8 | 66.9 |
| 温湿度传感器 | 63.5 | 62.6 | 61.5 | 63.1 | 63.2 | 63.1 | 63.6 | 63.1 | 63.2 |

## 3　解决方案

1）调整冷冻水温度：为了优化喷房的温湿度，首先调整了空调器冷冻水进水温度，冷冻水温度由 13 ℃降低到 10 ℃。通过降低冷冻水温度，喷房内的湿度得以降低，从而减少了漆膜中溶剂或水气的挥发难度；

2）空调器及冷冻水在生产线开线前 20 min 开启提前到生产线开线前 60 min 开启，以使喷房内温湿度在生产过车前调整到适宜区间，防止开班生产时因环境温湿度波动产生不良问题；

3）改变温湿度点检方式：为了更准确地把握喷房实际过车区域的温湿度，改变温湿度点检方式。之前使用的是读取控制柜示数的方式，这种方式存在一定误差，现在改为使用手持温湿度测量仪进行测量，可以更准确地反映喷房下方过车位置的实际温湿度状况，温湿度调整措施均以手持温湿度测量仪实测值为判断依据。

经过上述解决方案的实施，喷房温湿度实测值稳定在工艺范围内。班组对银色车和白色车的针孔问题进行了重新检查。结果显示，车身表面的针孔问题得到了显著改善。观察 1 个月后，没有再发生批量的针孔不良问题。

## 4　结语

汽车涂装过程中色漆针孔问题，产生因素众多。通过系统分析针孔产生的原因，对设备原理进行深入研究，最终锁定真因，并制定解决方案，改善了生产过程中出现的针孔缺陷。一方面质量技术员更加深入了解了涂装工艺、设备等专业知识，另一方面也充分说明，在攻关复杂课题时要敢于突破传统，只有找到真因才能从根源上解决问题，防止问题再发。结合涂装生产工作经验，本文为涂装生产设备的问题分析与解决提供了借鉴方向，有助于现场品质管理措施的评估与改进。

**参考文献：**

[1] 曾浩基.一种涂装喷房温湿度区域控制方案[C].中国汽车工程学会年会论文集(5)，2020：218-221.

[2] 康志新，胡正涛，宗言峰.汽车水性涂料针孔问题解决方法探讨[J].现代涂料与涂装，2013(11)：69-70.