

# 面向高端汽车厂涂装车间的物料管理系统设计与实践

张程皓, 刘 博, 吕朋辉, 关海涛  
(中国汽车工业工程有限公司, 天津 300113)

**摘要:** 针对高端乘用车涂装线物料种类多、批次切换频繁、数据追溯要求严苛等行业痛点, 本文提出并成功落地了一套“面向涂装车间的智能物料管理系统”。系统以“一桶一码”为核心技术支撑, 构建移动端、PC端、看板端三端协同的操作体系, 实现油漆物料全生命周期数字化闭环管理。文中详细阐述了系统的关键技术路线、核心功能模块, 为同类涂装车间的油漆数字化改造升级提供可复制、可扩展的参考案例。

**关键词:** 物料管理; 涂装车间; 条码追溯; 油漆数字化

中图分类号: TQ639 文献标志码: A 文章编号: 1007-9548(2026)03-0019-04

## Design and Practice of Material Management System for Painting Workshop of High-end Automobile Manufacturers

ZHANG Cheng-hao, LIU Bo, LYU Peng-hui, GUAN Hai-tao  
(Automotive Engineering Corporation, Tianjin 300113, China)

**Abstract:** Addressing the industry pain points of high-end passenger vehicle painting lines, such as a wide variety of materials, frequent batch changes, and strict data traceability requirements, this paper proposes and successfully implements an "Intelligent Material Management System for Painting Workshops". The system is built around the core technology of "one code per bucket", establishing an operational framework that coordinates across mobile, PC and display platforms. It covers the full lifecycle digital management of paint materials, providing a replicable and scalable reference case for the digital transformation of paint processes in similar painting workshops.

**Key words:** material management; painting workshop; barcode traceability; digital painting

### 0 引言

在汽车产业向高端化、智能化转型的背景下, 高端乘用车的外观质量已成为市场竞争的核心要素之一, 而涂装车间作为汽车外观质量的“塑造者”, 其物料管理水平直接决定了喷涂成品的最终品质。消费者对车身涂装的色泽一致性、表面平整度等指标提出了严苛的要求, 这使得物料管理从传统的辅助环节跃升为影响漆膜质量的关键核心环节。

企业基础物料数据管理要标准化、规范化, 同时也

要有相应的管理平台做保障, 才能实现基础物料数据管理的精细化<sup>[1]</sup>。在智能制造快速发展的今天, 数据已成为各驱动类智能应用开发、AI 算法训练的核心资源, 其价值贯穿于汽车制造的全链路。

然而, 当前国内多数高端乘用车涂装车间的物料管理现状却与智能制造的发展需求严重脱节: 质量追溯过程中普遍存在物料数据缺失问题, 油漆物料管理缺乏系统性的数字化建设。这直接导致后续“一车一档”体系不完善, 质量缺陷预测算法因缺乏关键数据支撑而面临“无米下锅”的尴尬局面。因此, 油漆物料作为涂装车间的核心生产资料, 其从入库、存储、领用、加料至报废的全流程数据, 是构建完整质量追溯体系、优化生产工艺、降低成本损耗的重要基础。针对涂装车间调漆间的物料消耗监控、库存动态管理、批次追溯等核心

收稿日期: 2026-02-03

作者简介: 张程皓(1984—), 男, 硕士, 高级工程师, 主要从事汽车行业机器人应用设备的开发和研究工作。E-mail: zhangchenghao@chinaaie.com.cn。

需求,开发一套完整的物料管理系统,在实现标准流程化作业的同时,补全质量追溯中的物料数据环节,已成为高端车企提质增效、实现智能制造升级的迫切需求。

## 1 研究背景与行业现状分析

### 1.1 涂装车间物料管理的应用背景

现代汽车制造工艺主要为冲压、焊装、涂装、总装,车身涂装主要具有防腐蚀、装饰性等功能<sup>[2]</sup>。在实际生产过程中,不少质量问题是由于对油漆的管理不到位,导致油漆的物理化学性能发生变化而产生<sup>[3]</sup>。相较于普通乘用车,高端乘用车品牌在涂装工艺精度、外观质量稳定性等方面有着更高的要求,这也使得其对油漆物料的管理标准更为严苛。

从行业发展阶段来看,目前国内大多数涂装车间的物料管理仍停留在“人工记录+Excel 台账”的人工阶段,依赖人工完成物料信息录入、库存盘点、批次核对等工作,效率低下且易出错。本文提出的物料管理系统,旨在打造针对数智化工厂的油漆管理落地方案。在不更换现有生产设备、不大规模改造现有产线的前提下,通过数字化技术手段,实现“一桶一码”物料追溯与“一车一档”车身数据管理的数字化闭环,为高端车企提供低成本、高效率的物料管理升级路径。

### 1.2 涂装车间物料管理的痛点分析

目前,国内绝大多数涂装车间调漆间的物料管理仍沿用传统的人工台账模式,这种模式在长期实践中暴露出诸多难以解决的短板,严重制约了涂装质量的提升与生产效率的优化,具体体现在以下 4 个方面。

1)数据记录缺乏校验机制:物料的批次信息、有效期、库存量等关键数据完全依靠人工抄录、手动核对,不仅劳动强度大,还极易出现数据录入错误、信息遗漏等问题。一旦基础数据出错,将直接影响后续的生产调度与质量追溯。

2)先进先出(FIFO)规则执行难控:涂装车间物料种类繁多、批次更迭频繁,库房管理需严格遵循先进先出原则。但传统人工管理模式,全凭工人根据油漆桶标签进行物料领用登记,缺乏有效的技术手段进行约束与监控,导致过期物料、可疑物料偶有误加现象,给涂装质量带来极大隐患。

3)质量追溯困难且效率低下:当车身出现色差等涂装缺陷时,需要快速锁定对应的油漆批次、加料时间、操作人员等关键信息,以便精准定位问题根源。但传统人工台账模式下,物料流转信息分散、不连贯,无法形成完整的追溯链条,导致追溯过程耗时费力,往往难以快速锁定责任批次,进而造成返工量倍增,大幅增加生产成本。

4)数据利用率低:传统物料管理模式,关键数据大多以纸质台账或本地电子表格形式存储,未形成系统化的数字化体系,数据处于离线状态。这些数据无法与企业的制造执行系统(MES)等其他核心系统实现数据联动与共享,导致数据价值无法充分发挥,难以支撑生产工艺优化、质量缺陷预测等智能化应用。

## 2 需求与总体方案介绍

### 2.1 业务需求

结合高端乘用车涂装车间的生产特点与管理要求,本文明确了以下核心业务需求。

1)范围覆盖全面:覆盖调漆间、库房共 2 个物理区域,实现物料在各区域流转过程的全流程管控,确保无管理盲区。

2)条码管控完整:支持 $\geq 30$ 种油漆+2种溶剂+循环罐全条码覆盖,实现“一物一码、一罐一码”,确保每一件物料、每一个设备都能被精准识别与追溯。

3)关键环节强校验:物料入库、出库、加料、置换、报废等关键操作环节,必须 100%执行扫码校验操作,通过技术手段强制规范操作流程,杜绝人为失误。

4)系统数据互通:与企业现有的质量管理体系实现“一车一档”数据互通,将物料批次信息、加料记录等与车身制造数据深度绑定,形成完整的质量追溯链条。

### 2.2 系统架构

本系统采用 B/S(Browser/Server)架构设计,现场移动终端通过 Wi-Fi 网络与服务器建立连接,实现扫码、校验、信息录入等实时操作。系统架构自上而下分为显示层、业务层、数据层 3 个核心层级,具体架构如图 1 所示。

#### 2.2.1 显示层

显示层作为系统与用户交互的窗口,主要包括移动端、PC 端和电视看板三类终端。

1)移动端:主要由现场操作工使用,搭载防爆工业平板,具备扫码、信息录入、操作确认等核心功能,适用于物料出入库扫码登记、加料扫码校验等移动作业场景。

2)PC 端:主要供工艺工程师、管理人员使用,提供数据查询、统计分析、报表生成、系统配置等功能。

3)电视看板:安装在调漆间门口等关键位置,采用 55 in 4K 高清显示屏,实时滚动播放调漆间的关键工艺参数(如各缸液位、温度)、物料库存状态、加料记录、设备运行情况等信息,方便现场管理人员及时掌握生产动态。

#### 2.2.2 业务层

业务层是系统的核心处理单元,涵盖数据采集服务、业务单元服务、接口服务、服务监控等多个模块。

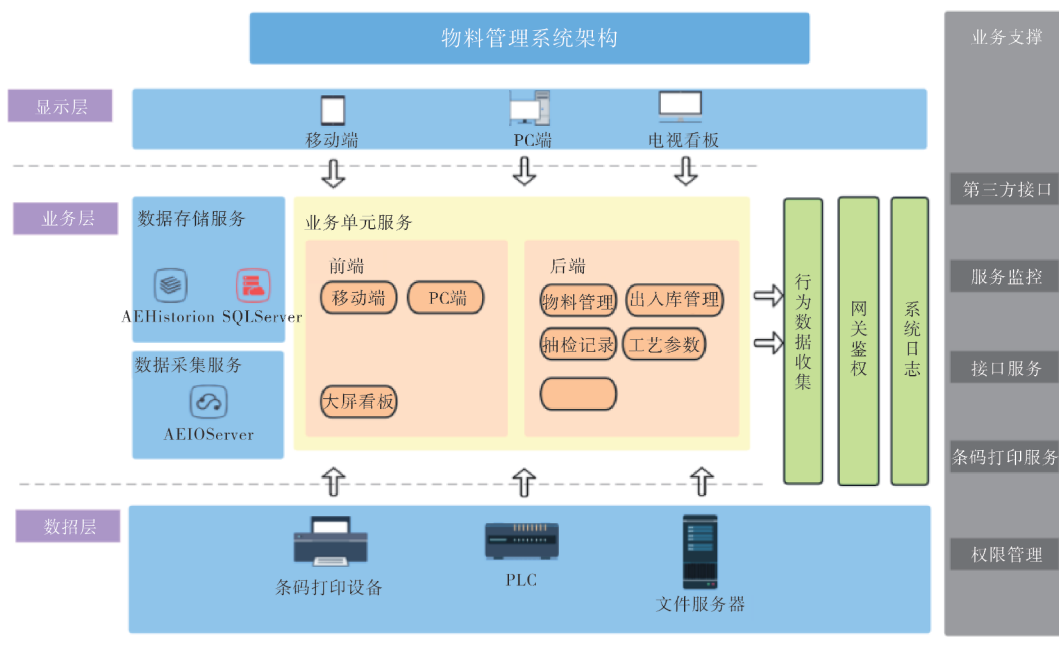


图 1 物料管理系统架构

1)数据采集服务:通过与 PLC、条码打印设备等硬件设备的接口,实时采集物料扫码数据、设备运行参数、液位变化数据等现场数据。

2)业务单元服务:包含出入库管理、物料管理、加料管理、报废管理、库存管理、质量追溯等核心业务模块,实现物料全生命周期的流程化管理与关键环节的校验控制。

3)接口服务:负责与企业第三方系统(如 MES、QMS、WMS 等)进行数据交互,实现系统间的数据共享与联动。

4)服务监控:实时监控系统的运行状态,包括服务器负载、接口连接状态、数据传输情况等,及时发现并预警系统异常。

### 2.2.3 数据层

数据层负责系统数据的存储与管理,采用关系型数据库与文件服务器相结合的存储方案。

1)关系型数据库:用于存储物料基础信息、批次信息、出入库记录、加料记录、质量追溯数据、用户权限信息等结构化数据。

2)文件服务器:用于存储物料图片、操作过程拍照留痕、报表文件等非结构化数据。

### 2.3 硬件配置

为保障系统的稳定运行与功能实现,调漆间内电气设备需采用防爆规格<sup>[4]</sup>,系统配备了专用的硬件设备,具体配置如表 1 所列。

表 1 系统硬件配置

设备类型	数量	主要指标
服务器	1 台	16 核/64 GB/RAID 10
工业平板(防爆)	4 台	10 in 电容屏,防护等级 IP65
看板大屏	1 块	55 in 4K 高清显示屏
条码打印机	1 套	支持物料桶及循环罐条码打印

## 3 关键功能介绍

### 3.1 物料管理

物料管理是系统的核心功能模块,涵盖物料录入、存储、领用、消耗等全流程管理,通过“一桶一码”技术实现物料的精准识别与追溯。

#### 3.1.1 物料录入(扫码入库+人工录入)

条码内容:物料代码+批次号+到期日期+流水号,既满足厂内 MES 规则,又保留供应商原有批次信息,实现“一码到底”。随着条形码技术的不断成熟,其转变了传统数据录入以及数据采集仅能凭借人工进行的局限性,极大地提升了数据的管理水平<sup>[5]</sup>。工人在现场,通过扫描二维码,快速报工,降低手工录入的错误概率,提高信息准确性<sup>[6]</sup>。

当油漆供应商有新物料来料时,需将新的物料标签与新物料桶进行绑定。若油漆供应商本身的条码已符合“一桶一码”的编码规则与追溯要求,可直接复用供应商条码,减少重复贴码工作;若供应商条码不符合要求,则需重新生成并打印标签进行绑定。

系统录入物料信息有两种方式:1)读取物料标签自动加载信息。手持平板扫描标签上的二维码,系统自动识别条码信息并加载对应的物料详细信息,适用于现场快速入库作业。2)在 PC 客户端人工输入物料信息。

### 3.1.2 先进先出算法:多维排序+可疑物料拦截

先进先出(FIFO)是库房管理的核心原则。传统的 FIFO 算法仅依据“入库时间”单一字段进行排序,然而在实际生产过程中,物料可能存在临时退库、抽样检验、异常冻结等特殊操作,仅依靠入库时间排序极易导致排序失真。

为解决这一问题,本系统创新引入多维排序算法,以“到期日+入库时间”排序并增设可疑物料标记位,通过多维度约束确保 FIFO 规则的严格执行。

### 3.1.3 加料防错

加料环节是涂装生产的关键工序,加料错误将直接导致车身缺陷,造成大量的返工与物料浪费,因此加料防错是物料管理系统的核心管控点。

本系统采用“桶码+缸码”双扫码校验机制,具体实现流程如下。

1)加料前准备:工作人员在进行加料操作前,先扫描目标料罐(循环罐)的条码(缸码),系统自动加载料罐的基本信息。

2)物料匹配校验:工作人员再扫描待加料物料桶的条码(桶码),系统自动将物料的型号、批次、状态等信息与料罐的装配要求进行比对。

3)解锁加料泵:只有当物料条码与料罐条码匹配一致,且物料状态为“合格”时,系统才会向 PLC 发送解锁指令,允许加料泵启动;若比对结果不一致(如物料型号错误、批次不符)或物料状态为“可疑”“过期”,则移动端与电视看板将同时发出声光报警,并拦截后续的加料操作。

## 3.2 PC 端

PC 端主要面向工艺工程师、管理人员等用户,提供数据查询、统计分析、质量追溯、库存管理等功能,支持用户对物料管理全流程进行监控与优化,是实现物料精细化管理的重要工具。

### 3.2.1 质量追溯

在涂装工程中,涂料的需求量较大、占用资金大,且涂料属于危险化学品,废旧油漆桶属于危险化学废料,因此与其他物资相比,涂料对追溯管理的要求更高<sup>[7]</sup>。本系统将“加料记录+液位曲线+批次号”写入一车一档数据库。由于油漆物料属于液体,加入不同批次物料的过程属于液体稀释的过程,因此需要结合输送管路物料进行余量滑动计算,估算出每辆车所喷涂的物料批次占比。最终完成物料数据追溯。

### 3.2.2 库存管理

涂装车间调漆间物料管理存在特殊性。作为桶装物料,出库后会在线边做临时存储,分多次加料将线边物料消耗殆尽后才进行下次出库。针对这一特点,系统的库存管理功能实现了物料从入库到消耗殆尽的全生命周期动态监控。

当需要物料出库时,工作人员扫描物料桶二维码,系统自动记录出库信息(出库时间、操作人员、去向料罐等),并将物料状态更新为“线边存储”;每次加料后,系统根据加料量自动扣减该物料桶的剩余库存量;当物料桶内物料消耗殆尽时,系统自动将其状态更新为“已耗尽”,完成该物料的生命周期闭环。

### 3.2.3 物料管理与分析

系统开发了单车物料计算、物料消耗预测、物料更新率计算、物料批次查询等物料分析功能。协助工艺工程师完成油漆物料的追踪、评估、分析等工作。

## 3.3 数据看板

数据看板是实现生产状态可视化监控的核心工具,其显示内容主要包括以下 3 个方面。

1)实时运行数据:展示各料罐的当前液位、温度、物料批次占比等关键数据,管理人员可直观掌握各料罐的运行状态,及时发现液位过低、温度异常等问题。

2)物料变化追踪:显示近 24 h 内的物料变化点,包括加料记录、批次切换、物料置换等关键事件,帮助管理人员了解物料流动动态。

3)库房状态监控:展示调漆间库房及线边存储区域的物料库存状态,包括各类物料的库存量、有效期预警、可疑物料数量等信息,便于管理人员及时调整库存策略,处理过期或可疑物料。

## 4 运行效果

主要 KPI 对比结果如表 2 所列。

表 2 主要 KPI 对比

维度	系统应用前	系统应用后
追溯颗粒度	批次级	单桶级
加料校验	人工核对	双重校验(条码+质量)
数据联动	人工录入,存在数据孤岛	与 MES、WMS、QMS 实时交互
过期预警	人工核对	冻结物料+预警提示
异常拦截	人工核对	自动锁泵+报警升级

由表 2 可以看出,本文提出的系统方案在追溯粒度、数据联动、异常拦截等核心功能上均实现了突破。

## 5 结语

物料管理系统的实现可降低传统物料管理过程中人登记成本的出错率,也便于对复杂的(下转第 40 页)