

铁路车辆段检修调度系统的设计与实现

杨根辉

中国铁路青藏集团有限公司 青海 西宁 810000

【摘要】：针对铁路车辆段传统调度模式下跨专业信息割裂、底层数据交互时滞严重以及跨岗位越权干预等现实局限，对基于云网协同的新一代铁路车辆段检修调度系统设计与实现进行了研究。结合自营铁路的复杂检修工况，阐述了通过引入微服务理念 and 分布式消息中间件，打通 KMIS 系统及车站 CTC 专网等既有业务平台的设计思路。介绍了利用细粒度角色访问控制模型规范多工种协同、固化岗位操作边界的实施策略。研究结果表明，该系统通过对车辆扣检、动态排程、无纸化流程及线上签收等全链路业务流程的数字化再造，彻底破除了车务与车辆专业间的信息壁垒，实质性消除了生产环境下的非计划性调车乱象，在保障核心调度指令高安全性合规流转的同时，大幅压减了车辆停站与库内待检周期，实现了车辆段检修指控效率与装备资源调度规范性的显著跃升。

【关键词】：铁路车辆段；检修调度；信息化管控；流程再造；系统集成

DOI:10.12417/2811-0528.26.17.087

引言

全面推进数字化转型是落实《交通强国建设纲要》的关键环节。作为装备运维的基石，车辆段检修组织的精细化水平直接决定着路网的综合运能。然而，传统调度长期受制于车务与车辆部门间的信息壁垒，跨岗位生产协同高度依赖人工单据流转，难以契合现代高密度行车的精益化管控需求。因此，打破专网数据孤岛，以信息工程手段重构多工种联合作业的底层逻辑，已成为当前突破铁路运输效能瓶颈、实现车辆装备精准调度的必然选择。

1 铁路车辆段检修调度系统现状及需求

1.1 当前作业痛点分析

铁路车辆段检修调度主要工作是负责组织安排铁路客车检修，编制检修计划，控制检修进度，协调检修过程。然而目前传统的检修调度工作仍采用手工作业方式，信息化管理水平较低，手工书写调车作业通知单，人工摘、挂牌模拟显示调度过程以及现场实况，这种方式的缺陷是工作量大、实时性差且易出错，自动化程度较低^[1]。这种交互的不畅，使得调度人员无法实时掌握车辆运用状态与段内存车分布，极大地制约了车辆资源的优化调配。同时，车站接发车与库内列检作业相互独立的弊端日益凸显。由于缺乏全局性的动态排程机制，股道占用、台位流转与突发临修需求往往难以精准匹配，生产组织高度依赖调度员的个人经验。这种条块分割的粗放式管理，不仅增加了无效调车环节，拉低了班组协同效率，更难以契合现代

铁路对装备资源精准调度与精细化运营的迫切需求。

1.2 业务需求总结

新一代检修调度系统亟需跨越传统经验驱动的局限，向数据驱动的精细化管控转型。首要业务需求是重构现场生产组织流程，彻底贯通车务与车辆专业的信息链路，打造一体化的调度指控中枢。在核心功能层面，系统需全面覆盖检修计划编制、车底状态追踪及台位动态分配，以适应复杂多变的库内工况。同时，为根治底层生产数据滞后的顽疾，必须推动各类车统报告及关键业务单据的无纸化流转与线上即时签收。此外，系统还需具备强大的兼容性，横向集成 KMIS 与车号识别等既有业务平台，实时汇聚股道占用与在站、在途车辆的分布态势。通过上述数字化与自动化的流程再造，最终满足铁路对车辆装备资源精准调度及规范化管理的现实诉求。

2 铁路车辆段检修调度系统设计思路

现代信息技术对车辆段检修调度管理模式产生重要影响，数据库技术能够实现车辆基本参数、检修信息的合成；语言编程技术能够实现车辆检修调度的多方案比选；互联网技术能够实现数据远程传输和实时监控。研究车辆段检修调度系统对加强车辆动态集成管理，提高车辆周转效率，增强铁路运力具有重要意义。

2.1 软件架构设计

系统软件架构采用基于 SOA 理念的 B/S 分布式结构，重点解决车辆段复杂业务下的并发与耦合问题。表现层引入 Vue

【作者简介】姓名：杨根辉，出生年月：1992年1月26日，性别：男，民族：土族，籍贯：青海省海东市平安区，学历：本科，职称：助理工程师，工作领域：铁道客车辆。

框架构建前端,实现检修看板与终端数据的动态响应。业务逻辑层依托 SpringBoot 组件解耦,将检修排程、台位分配等核心模块独立封装,有效降低内部模块依赖。数据层通过持久化框架对接底层数据库,支撑海量修程记录的并发读写。该前后端分离的分层设计,理顺了跨专业的数据流转路径,并为后续功能迭代预留了标准接口。

2.2 硬件与网络架构设计

系统硬件集中部署于数据中心,依托云平台虚拟化集群架构,将应用、接口与存储等服务器资源池化。该设计可根据并发负载动态调配算力,有效避免单点物理故障。网络层面实行严格的安全分区边界隔离策略。核心业务独立运行于铁路生产专网,与办公网及 KMIS 等外部系统的数据交互,均通过物理网闸与前置接口服务器进行鉴权中转,严防跨网段越权入侵。同时,现场移动终端通过专用加密信道接入,在车辆段复杂的电磁环境下,维持了调度指令与底层生产数据双向交互的安全与稳定。

2.3 数据交互与业务流设计

系统数据交互采用 RabbitMQ 消息中间件与 RESTful 接口结合的方式。该机制横向对接 HMIS 与车流等外部系统,实现列车编组及各类车统单据的实时跨网同步与双向签收。业务流设计紧扣现场真实工况,将检修排程、台位分配与班组派工深度融合,构建出标准化的生产闭环。车辆入段触发初始流程后,系统依托修程规则自动驱动后续检修节点流转。这种多源数据驱动的交互模式彻底替代了传统人工单据递送,使调度指令与反馈信息精准直达底层终端。

2.4 用户权限设计

系统针对多层级作业场景,构建基于角色访问控制的权限架构。权限设计严格映射现实岗位的权责边界,将用户划分为机辆调度、车站值班员、车号员及车检调度等离散角色。系统通过精细化鉴权赋予各角色独立的操作域,将计划审批、车辆变更提报及车统单据签收等核心业务与特定岗位深度绑定。这种垂直隔离的鉴权机制彻底阻断了非授权访问路径,不仅理顺了跨专业的协同交互逻辑,也避免了生产指令的越权下达与核心运行数据的违规篡改。

3 铁路车辆段检修调度系统实现策略

3.1 基于前后端分离架构的检修计划与动态排程落地

检修动态排程的落地关键在于解耦前端交互与底层复杂的调度运算。系统依托微服务架构独立封装排程引擎,专注处理修程规则解析、台位资源推演及班组负荷计算。前端组件纯粹承载状态渲染,异步拉取排程序列以生成动态的股道占用拓

扑图。此设计使得算法迭代完全独立于业务展示,极大地释放了后台环境的并发运算潜能,推动传统调度指令从静态的人工经验指派,向数据驱动的柔性自适应派工彻底转变。

以车辆段应对突发临修与常规日检冲突的典型工况为例,当系统截获外部推送的在途车辆轮对擦伤预警报文时,后台排程引擎即刻触发重算机制。引擎自动扫描段内当前股道驻留态势及后续时段的台位流转计划,察觉原定接车的 2 号修车线因前序作业拖延无法按时腾空。系统随之依据临修优先的内置约束条件,将故障车辆的接入目标径直变更为备用的 6 号线,同时精准锁定数控落轮机下午 14 时至 16 时的可用作业窗口。随即,后端引擎将变更后的派工序列及对应的物料领用清单,直接推送至轮轴班组的防爆移动终端。主控前端界面的股道监控图上,6 号线同步由空闲状态无缝渲染为预占用的警示色。整套冲突响应逻辑全盘交由底层静默推演,调度员仅需在终端确认执行,现场班组即可按新指令重新集结。这种软硬资源的协同动态重排,从根本上消除了突发装备故障引发的库内非计划性调车梗阻现象。

3.2 依托云网安全架构的现场终端贯通与无纸化作业

将数字化触角延伸至生产一线,必须构筑坚实的底层网络防线。依托云平台统一调度的计算资源池,系统可平稳承载高并发的现场数据交互请求。业务指令下行与采集数据上行均须穿透严格的网关隔离与多重加密链路,彻底屏蔽库内复杂工况下的越权访问风险。这一架构在保障核心生产机密的同时,重塑了端到端的信息链路,使调度中枢的管控意志能够零延迟穿透至单兵设备,真正确立了无纸化作业的底层安全逻辑。

聚焦库内接发车与列检作业的真实流转轨迹,单兵终端的介入彻底颠覆了传统的纸质工单分发模式。系统捕获入库车辆动态后,不再印发纸质单据,而是经由安全专网将作业明细定向推送至列检员的防爆手持终端。在列车进站前 20 分钟与 10 分钟,终端准时弹窗下达出务通知,强制作业人员触屏响应。进入底盘探伤与制动闸片更换环节,班组人员依托外勤 APP 现场摄录部件状态并实时上传,系统即刻将多媒体记录与车号绑定封装存档^[2]。检修终了,作业人员在终端一键提交修竣反馈,该指令直接跨越物理网闸,触发车站值班室内行车日志的状态更新。值班员在线调阅电子单据并完成数字签收,电子回执瞬间原路折返至列检终端,标志着对应股道具备发车条件。这种以实时数据流替代人工递送的作业重构,完全剥离了电话与对讲机确认的冗余环节。所有检修节点的确切动作均自动生成附带时间戳的电子凭证,大幅压缩了车辆停站与库内待检周期,也为后期追溯提供了不可篡改的数据支撑。

3.3 融合消息中间件的跨专业信息集成与业务流驱动

打破车务与车辆专网长期割裂的生产壁垒,系统深度植入分布式消息中间件,将离散的列车确报、定检参数及各类车统报文转化为标准化的高并发消息队列。这种总线式集成架构摒弃了脆弱的点对点直连,有效保障核心生产数据在跨域网段间的高效穿透与异步削峰,赋予调度中枢全局视域。底层业务流彻底摆脱了人工电话催办,直接由实时解析的数据帧驱动各类检修节点状态翻转,实质性确立了跨专业协同的数据主导权。

以跨网签发“扣车通知单(车统-23)”的实战业务链为例,过往这一流程极度依赖专人跨区递交纸质单据,存在严重的时滞。现今,车检调度员在前端生成扣车指令的瞬间,底层数据即刻被封装为标准格式推入消息队列。中间件依据内置路由规则,让报文无损穿透物理安全网闸,精准投递至外部的 KMIS 系统及车站值班终端。车站值班员在监控大屏同步接收预警,在线核对编组序列并点击签收,生成的电子回执随即以反向消息流的形式瞬间折返至车辆段调度中枢,跨网交互耗时仅在毫秒级别。侦测到回执报文后,内部业务流引擎自动接管后续控制权。引擎直接联动站场股道管控模块,将目标车辆强制标记为“禁行待修”状态,自动剥离其在原列车计划中的编组关系。紧随其后,备品库房的物料派发流程与特定维修台位的占用倒计时被系统静默激活。这种基于消息订阅的事件驱动机制,将原本散落于车务、列检与库房等多个独立部门的业务碎块,顺滑拼合为一条高度自动化的无形流水线,从根源上消除了信息倒挂引发的盲目调车乱象。

3.4 基于角色控制模型的跨岗位协同与操作边界固化

车辆段多工种协同的核心在于权责体系的数字化精准映射,系统全面引入细粒度角色访问控制模型,将复杂交错的作业链切割为独立且耦合的权限域^[1]。各岗位的操作边界被底层逻辑强制固化,彻底消除跨级下达指令及核心参数违规篡改的

隐患。这种业务隔离以严密的系统鉴权替代松散的人工交接,工序流转均须通过标准化防呆逻辑的强制校验,为跨部门联合作业构筑了安全底座。

以 25T 型客车突发故障时的扣检流转为例,该场景贯穿车检中心调度、集团机辆调与车站值班员三个核心节点。车检中心调度员作为源头,仅具有故障提报与扣车计划草拟权限。其在终端录入缺陷特征后, workflow 瞬间将报文推送至机辆调的专属审批面板。机辆调专员凭借独家审核权,综合评估运力后批复计划。若该专员企图越权代办车站接发车确认,鉴权网关会立即拦截。指令核准下发后,车站值班员控制台弹出预警。值班员权限被严格限定于签收和回执扣车通知单(车统 23)。其完成线上签收,回执经由中间件瞬时折返至车辆段。直至该跨部门动作落闸,后续物料分发与股道占用才会被静默激活。各岗位在其被严格封锁的数字边界内单向发力,这种权限约束使任何违规干预均无法生效,从机制上排除了人为越位引发的调度风险。

4 结语

总而言之,新一代铁路车辆段检修调度系统的落地,标志着铁路装备运维管理由传统人工经验驱动向数据驱动的精益化管控实现了历史性跨越。系统从底层逻辑出发重构了多工种联合作业体系,彻底打破了车务与车辆专业间的专网信息壁垒,通过全链路业务流的数字化再造,不仅实质性消除了非计划性调车乱象,更实现了装备资源调度的规范性与指控效率的显著跃升。未来可通过深度融合人工智能与大数据分析技术,将现有的状态响应式排程升级为基于设备寿命预测的自主预防性检修调度。同时,借助数字孪生技术构建全息映射的智慧车辆段,将进一步挖掘海量生产数据的潜在价值,为实现铁路网超高密度行车与运输效能的高质量飞跃提供更加坚实的技术底座。

参考文献:

- [1] 葛晓.基于 BIM 正向设计的地铁车辆段全生命周期数字化管理研究[J].人民公交,2025(16).
- [2] 曹晓明,吴泽霖,刘海艳.铁路客车制动阀信息化检修系统的研制[J].铁道车辆,2023,61(5):121-123.
- [3] 权绍春,闫巍.铁路客车轮轴智能检修系统研究[J].铁路技术创新,2025,(1):48-54.