

# K5B 型计算机连锁软件换装施工方法技术研究

赵伍洋

(中铁二十三局集团电务工程有限公司, 天津 300110)

**摘要** 针对 K5B 型计算机连锁软件版本碎片化、天窗紧张及数据一致性风险, 本文提出“预调试—现场切换—后验证”三阶段换装施工方法。该方法通过差异校验与增量迁移将数据错误率压至  $1 \times 10^{-4}$  以下, 采用断点控制与灰度回退将现场切换窗口压缩至 120 min 并预留 20 min 回退裕量, 经接口—逻辑—性能三维验证实现响应时间  $\leq 150$  ms、状态抖动  $\leq 20$  ms。现场测试显示, 施工时长较传统流程缩短约 30%, 系统稳定性零越界, 以期为铁路信号软件在线升级提供可参考的工程范式。

**关键词** K5B 型计算机连锁; 软件换装; 差异校验; 断点控制; 兼容性验证

**中图分类号**: TP31; U28

**文献标志码**: A

**DOI**: 10.3969/j.issn.2097-3365.2026.08.005

## 0 引言

铁路干线普遍部署的 K5B 型计算机连锁系统长期承担进路锁闭与信号控制任务, 随着操作系统停服、驱动停更及接口协议迭代, 版本碎片化带来的维护难度呈指数级放大<sup>[1]</sup>。传统“整包替换”模式依赖超长天窗, 回退失败易中断行车, 难以适配密集运输需求。本研究立足于现场运维难点重构换装流程, 将风险前移到场外预调试, 细化数据迁移至条目级, 在各工艺环节嵌入兼容性验证, 形成可复制、可量化、可回退的技术路线, 为同类系统升级提供参考。

## 1 K5B 型计算机连锁软件换装施工的需求分析

K5B 型计算机连锁系统广泛应用于干线车站及编组站, 承担进路锁闭、信号机控制及现场设备状态监测等核心功能, 作为保障铁路运输安全高效的关键设备, 系统采用双机热备架构以提升运行可靠性, 控制循环周期约 50 ~ 100 ms, 可实现长期  $7 \times 24$  h 连续稳定运行<sup>[2]</sup>。早期版本因操作系统停服、驱动停更、板卡迭代致接口不兼容、协议栈差异及安全补丁难统一等问题日益突出, 版本碎片化现象加剧, 不仅增加了日常维护的人力与时间成本, 还显著提升了故障定位与排除的难度。软件换装需满足以下要求: 在短天窗或不停机条件下平稳完成版本替换与配置迁移, 最大程度减少对铁路运输生产的干扰; 换装时长严格控制在 120 分钟内, 并预留 20 ~ 30 分钟的应急回退时间以应对突发状况; 保障连锁逻辑与设备配置数据的高度一致性, 通过提前编制差异清单、执行双向校核流程及校验码比对等方式核查数据完整性; 采用灰度切换、主

备轮转等策略降低系统冲击, 同时兼顾相关周边设备的接口兼容性, 确保符合 EN 50129 界定的 SIL4 安全完整性等级标准。

## 2 K5B 型计算机连锁软件换装施工的关键方法设计

### 2.1 换装施工流程的优化设计

针对现行换装流程步骤叠加、跨工种交接不畅及天窗压缩导致的切换节奏紊乱问题, 将全流程拆解为预调试、现场切换、后验证三阶段。核心思路为前移关键风险、将现场动作压缩至可控窗口, 具体路径见图 1。预调试阶段开展全要素仿真, 构建与现场设备参数一致的模拟环境, 覆盖相关设备及 CTC 侧协议回放; 生成连锁数据库差异清单, 冻结配置基线并完成灰度包签名校验, 组织多专业联演, 固化步骤与回退点为可执行清单。现场切换阶段依托双机热备环境, 采用主备轮转及断点控制策略, 备机加载新版本并空载自检后, 小步递进接入单侧区段, 实时监测运行状态, 告警连发 3 次或关键测点超时超 200 ms 时触发回退, 全程控制在 120 分钟天窗内, 预留 20 ~ 30 分钟回退窗口。后验证阶段覆盖各相关层级, 开展功能、接口及性能检查, 通过自动化脚本生成记录, 归档指纹信息、形成可追溯工单, 更新运维相关文件, 实现换装闭环管理。

### 2.2 核心数据迁移方案的制定

在 K5B 型计算机连锁换装场景中, 核心数据具有高耦合与强时序特性, 连锁逻辑数据指向进路、道岔与信号之间的约束规则集合, 设备配置数据涵盖 I 或 O 映射、地址编码与阈值参数等工程化条目<sup>[3]</sup>。针对旧版本差异累积、现场窗口紧张问题, 采用差异校验 +

**作者简介**: 赵伍洋 (1991-), 男, 本科, 工程师, 研究方向: 铁道信号。

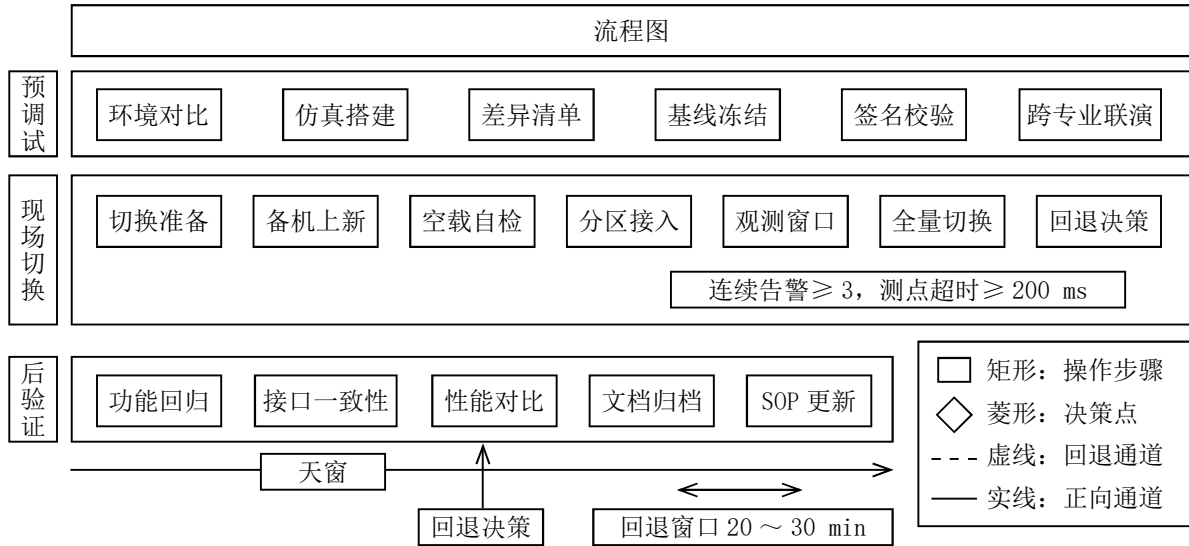


图1 K5B型计算机连锁软件换装优化流程图

增量迁移策略：固化旧库基线与新库目标模型，生成增量包并按依赖拓扑迁移，优先处理进路段以降低风险。迁移各环节嵌入质量约束，抽取阶段校核模式一致性，转换阶段采用语义规则哈希比对，加载阶段实施循环冗余校验码与双向回读校核，提前定位可恢复缺陷；将地址引用、设备资产编号与I/O通道绑定关系设为强约束字段，越界自动阻断导入。构建可复用工具链，通过自定义脚本执行提取转换加载，运行时生成差异清单、可回放日志，配合幂等开关实现无副作用重复执行。迁移前后生成版本指纹与数据包签名，工单固化校核口径、触发阈值及处置动作，表1所列校验项覆盖结构、语义等关键维度，以制度化工具与流程化执行，保障迁移一致性与完整性。

### 2.3 换装后系统兼容性验证方法

针对换装后K5B系统与存量现场设备以及调度侧应用之间的耦合关系，验证方法从接口、逻辑、一致性与性能四个维度展开<sup>[4]</sup>。接口测试以道岔、电务I/O板卡等为对象，模拟现场实际运行中的电压波动与负载变化场景，采用真实电源与等效负载组合，核查电平、

极性等相关参数及信号往返时延；逻辑测试围绕进路建立、信号机状态转换、锁闭解锁逻辑等核心功能细节，对照旧版本金标准进行场景重放，关注触发条件与执行结果的等价关系；上层应用测试面向CTC与ATS，验证报文编码格式与传输规则，监视会话重建过程与断点续传功能，确保数据交互的完整性与实时性；用例遵循边界优先与路径覆盖原则，纳入道岔异常转换、区段突发占用等极端场景，必测关键道岔节点与长距离闭塞区段；指标含响应时间、信号抖动、报文丢失率等，标准明确：单次响应≤150ms、抖动≤20ms、报文丢失率≤1e-4；采用离线仿真预核、在线影子跟随、窗口期现场观察三段法分步实施，每阶段结束后进行阶段性评估与风险排查，依据阈值合规与事件无越界判定结果，保留回退条件、日志签名与工单闭环，控制兼容性风险。

## 3 K5B型计算机连锁软件换装施工方法的应用验证

### 3.1 现场测试方案的实施

在含12道到发场、28组道岔、36段轨道电路的中等规模车站，开展K5B型计算机连锁换装现场测试，

表1 K5B系统核心数据迁移校验结果对比表

校验项	比对对象	判定口径	结果字段	处置策略
结构一致性	模型定义与数据库结构	合法字段集合完全匹配	一致 不一致	中止并修正映射模板
语义一致性	进路逻辑与互锁条件	核心规则哈希相同	一致 不一致	回滚并标注差异清单
关联完整性	设备地址与I或O映射参照	外键引用无悬挂	通过 未通过	补录数据或修正绑定关系
值域与阈值	轨道电路参数与道岔阈值	落入工程红线范围	合规 越界	拒绝导入并触发会签流程
签名与版本	数据包签名与版本指纹	签名可验证且指纹匹配	可信 不可信	阻断加载并生成告警记录

含环境搭建、用例执行及异常处置。环境搭建采用测试与运营物理隔离，双机热备联锁服务器接入双交换机环网，VLAN 划分生产与测试平面，I/O 回路混接等效负载与现场继电器，CTC 及 ATS 由仿真终端注入业务报文，通过 PTP 或 NTP 统一对时，Syslog 集中采集日志。用例执行围绕列车运行工况，按上行到发、交叉通过、折返序列注入轨道占用与道岔位置反馈，观测进路及防护逻辑状态迁移，覆盖主备倒换等边界情形；计量指标为响应时间、状态抖动等，阈值明确为单次响应 ≤ 150 ms、抖动 ≤ 20 ms、错误率 ≤ 1e-4。异常处置时，若出现持续越界或互锁矩阵不闭合，立即切换旧版本备机，冻结变更并保全抓包与系统快照，工单标注触发条件及处置链路。测试采用用例、设备资产、版本指纹三元绑定，归档至测试台账，用于复核复测的因果追踪与差异定位<sup>[5]</sup>。

### 3.2 应用效果的评估与分析

施工时长统计取准备解锁至功能回归有效时长，剔除干扰后用中位数抗干扰，关注节拍控制与回退效率。数据迁移准确率以联锁逻辑、I/O 映射、阈值参数为必核项，通过差异清单与双向回读生成误差清单，输出条目级错误率及缺漏分布。系统稳定性结合影子跟随与在线监测，记录状态抖动、故障计数，参考关键区段负荷轨迹判断负载承压能力。评估结合趋势与关联关系，审视施工时长缩短比例与脚本化覆盖率，结合校核口径一致性解释数据错误率下降，采用阈值合规与事件无越界双轨判定降低偏差，指标边缘状态纳入灰度回退与补充验收。该方法存在跨专业数据口径差异、现场告警编码不统一问题，后续将推进指标统计接口标准化，细化异常模式库。关键指标与判定口径见表 2，明确基线来源、目标区间及处置动作映射，方便复测复用。

表 2 K5B 型计算机连锁软件换装施工方法应用效果评估表

评估维度	指标定义	统计口径	基线参考	目标区间	判定规则	处置动作
施工时长	有效时长与天窗匹配度	中位数与四分位距	历史 3 次同规模换装平均值	不高于 120 min 且回退预留 20 ~ 30 min	达标 临界 未达标	节点压缩 灰度回退 二次验收
数据迁移准确率	条目级错误率与缺漏分布	错误条目数除以总条目数	基线库对照与旧版回放轨迹	条目级错误率不高于 1e-4 无未知字段	合规 警戒 不合规	拒绝上线 重做迁移 增强校核
系统稳定性	状态抖动与故障计数	抖动峰值与告警计数	影子跟随期间的历史曲线	抖动不高于 20 ms 告警无聚集 会话重建不高于每 2 h 1 次	合格 临界 不合格	负载降档 扩展观测 缺陷闭环
综合结论	趋势与阈值双轨汇总	维度加权与事件校验	基线阈值与工艺 SOP	各维度均不越界且关键路径无异常	通过 待改进 未通过	制定整改项 安排复测 更新 SOP

## 4 结束语

本文提出的三阶段换装方法，实现了风险识别、数据治理与现场执行的解耦，通过差异校验与灰度回退机制，在运输压力较大的到发场完成了零越界升级，验证了其对复杂场景的适配能力。后续应将接口标准化与异常模式库建设纳入持续改进循环，探索区域集中监测平台的远程协同能力，构建覆盖全生命周期的软件升级治理框架。

## 参考文献：

[1] 赵奇伟,刘星辰,康晋菊,等.基于编程组态软件的二总线图形建模及调试研究[J].电子技术应用,2024,50(12):92-97.

[2] 张广吉,万争,刘峻松,等.多功能以太网列车网络控制系统维护软件的设计与实现[J].智慧轨道交通,2024,61(06):15-20,31.

[3] 倪子威,马游春,郭鑫,等.基于 CH579 的高速串口服务器[J].仪表技术与传感器,2024(02):23-27.

[4] 伍丹琪,谢先当,付海清,等.基于国产 BIM 平台的铁路工程设计软件研究[J/OL].铁道标准设计.1-12.[2025-03-10][2026-01-29].https://kns.cnki.net/kcms2/article/abstract?v=A-1EuXenf\_ok3aqRdxW74yXnKkJ\_KTPknhZNE-c7moAC3Zu9ZEved1yRjNf1ilp1ieyvXpmMe6wo5Vf8Wr2-oPY\_y2JaIIHFEMMxXOeNjvfGo5u9GN TBFsjVBzoU-nueHbW6ywy6tT7JjVW3G\_xcrByhZtkKDMKSTAP52LAGpDK2XUzy9KPNkQ==&uniplatform=NZKPT&language=CHS.

[5] 宋星宇,王深造.计算机实验室管理系统的研究与设计[J].信息记录材料,2025,26(07):65-68.