

既有高速公路机电系统升级改造中的兼容性问题研究

郭杰

江西方兴科技股份有限公司, 中国·江西 南昌 331000

摘要: 在我国现代社会高速公路网络建设日益完善的背景下, 高速公路机电系统运营时间较长, 其无法满足智慧交通、车路协同、高效运营需求, 必须进行改造, 才能契合当前高速公路发展需求。本文分析既有高速公路机电系统升级改造中兼容性问题, 采取优化措施, 解决数据传输接口协议、硬件适配、软件架构方面的缺陷, 从而满足高速公路机电系统升级改造要求。以此作为基础, 深入探讨中间件技术的协议转换策略, 构建标准化数据中台, 采用微服务架构, 重构软件系统。

关键词: 高速公路; 机电系统; 升级改造; 兼容性; 协议转换; 数据中台; 微服务

Research on compatibility issues in the upgrading and renovation of existing highway electromechanical systems

Guo Jie

Jiangxi Fangxing Technology Co., Ltd., China Jiangxi Nanchang 331000

Abstract: Against the backdrop of the increasingly perfect construction of China's modern highway network, the operation time of the highway electromechanical system is relatively long, and it cannot meet the needs of intelligent transportation, vehicle road coordination, and efficient operation. Therefore, it must be renovated to meet the current development needs of highways. This article analyzes the compatibility issues in the upgrading and renovation of existing highway electromechanical systems, and takes optimization measures to solve the deficiencies in data transmission interface protocols, hardware adaptation, and software architecture, in order to meet the requirements of highway electromechanical system upgrading and renovation. Based on this, we will delve into the protocol conversion strategy of middleware technology, construct a standardized data center, adopt microservice architecture, and reconstruct the software system.

Keywords: Expressway; Mechanical and electrical systems; Upgrading and renovation; Compatibility; Protocol conversion; Data center; Microservices

0 引言

近二十年间, 我国高速公路建设数量逐步增多, 并且已经在全社会内形成庞大的高速公路网络体系。随着高速公路网络逐步建成运行, 收费系统、监控系统、通信系统、供电系统等机电设施不断部署和应用。然而早期建设的高速公路机电系统, 受到当时技术水平、建设标准、投资模式限制, 造成其功能无法满足现代社会发展需求, 需不断进行更新和迭代。随着《交通强国建设纲要》的发布实施, 各地高速公路建设阶段, 对机电系统的优化升级方面关注度较高。

1 既有高速公路机电系统兼容性现状与挑战

1.1 硬件设备的异构性与生命周期错位

既有高速公路机电系统经过多次局部修补与扩容, 其设备呈现出高度异构性。第一, 机电系统设备品牌与型号繁杂。有些高速公路中不同路段甚至是同一个站点, 其使

用海康、大华、华为、中兴等数十个设备品牌, 并且设备跨越多个代际。而不同设备生产厂家在硬件接口方面有很大差异, 导致新设备无法实现统一接入。第二, 生命周期严重错位。高速公路机电系统中, 有些关键性的服务器、交换机等设备, 使用时间已经接近或超过设计年限, 很多厂家已经停止生产备件。而新系统以最新的硬件标准设计, 对老接口的物理支持性较差, 这种新老设备连接时, 其物理兼容与电气兼容是需要解决的首要问题。

1.2 通信协议的私有化与标准缺失

既有高速公路机电系统升级改造中, 通信协议的不兼容, 极大影响设备正常运行。一方面, 私有协议泛滥。在早期的高速公路机电系统中, 很多设备厂商为绑定客户, 其生产过程中采用封闭的私有通信方式。例如, 某些老旧的车道控制器、费额显示器或气象检测器, 其数据报文

格式、校验方式、指令级均未公开，新系统无法解析，也就无法实现新老设备连接。另一方面，标准执行不一致。虽然国家发布《公路工程技术标准》以及各项设计规范，但在不同时期落地执行，而不同省份执行方面也有偏差，造成高速公路机电系统通讯协议兼容性不足。

1.3 数据格式的碎片化与质量低下

在现代智慧交通理念应用下，智慧高速已经成为交通领域发展的重要内容，然而既有数据利用现状却未能达到目标。目前高速公路机电系统所获取的数据中，非标准化情况比较常见。既有高速公路机电系统数据库设计较为随意，字段定义比较模糊，这就无法形成统一的元数据管理体系。高速公路运行过程中，即使同一类数据，在不同系统内定义、命名有所差异，这导致数据分析和使用中不能建设关联关系。同时，高速公路既有机电系统获取的数据中，其数据质量层次不齐，因为传感器老化、传输链路不稳定等因素影响，导致历史数据缺失、异常噪声等情况常见。新的高速公路机电系统所采用的大数据模型中，对于数据质量方面要求极高，直接接入低质量旧数据算法失效或得出错误结论。

1.4 软件架构的耦合性与扩展性限制

既有软件系统主要采用单体架构，这使既有高速公路机电系统各模块存在高度耦合情况，一旦某个部分发生改变，将会给整个高速公路机电系统产生影响，其扩展难度极高。在高速公路机电系统单体架构上，如果需要增加新功能，一般需要修改核心代码，并且将其重新编译后部署在整个系统内，这导致机电系统升级改造风险高、周期长。目前高速公路机电系统技术栈较为陈旧，很多系统都是基于过时的操作系统和编程语言开发。这些系统存在较多安全漏洞，并且和新的机电系统不兼容。

2 解决兼容性问题的关键技术策略

2.1 构建基于中间件的协议转换网关

针对硬件异构和协议私有化问题，部署智能协议转换网关是行之有效的方案。多协议适配。在边缘侧或汇聚层

部署高性能网关设备，内置多种主流及私有协议驱动库。网关负责向下屏蔽底层设备的差异，将不同厂商、不同协议的原始数据统一转换为标准的 MQTT、HTTP/RESTful 或 GB/T28181 等通用协议。双向翻译机制。网关不仅负责数据采集，还需具备指令下发功能。将新系统的标准控制指令“翻译”为旧设备可识别的私有指令，实现对老旧设备的反向控制。通过这种方式，无需更换前端海量设备，即可实现新旧系统的逻辑互通。

2.2 打造标准化数据中台，打破数据孤岛

为解决数据格式碎片化问题，应构建统一的数据中台作为新旧系统的数据枢纽。数据治理与清洗。建立统一的数据标准体系（包括数据字典、编码规则、接口规范），在数据接入层进行实时的清洗、转换和补全。利用 ETL 工具将异构数据映射为标准模型，确保进入核心业务系统的数据一致性。数据资产化管理。将清洗后的数据封装为标准 API 服务，向上层应用提供统一的数据访问接口。无论底层是旧数据库还是新大数据平台，上层应用只需调用标准 API，无需关心数据来源和存储形式，从而实现业务逻辑与数据存储的解耦。为了量化评估不同兼容性解决方案的实施效果，以表 1 对比了传统“整体替换”模式与本文提出的“兼容改造”模式在关键指标上的差异。

2.3 采用微服务架构重构软件系统

针对目前高速公路机电系统软件架构耦合度高、扩展性差的问题，在机电系统升级改造中，实现系统向微服务架构方面转型。在服务拆分以及解耦的环节，需要将原有的庞大单体系统拆解为用户中心、计费中心、监控中心、设备管理，并将其作为独立的微服务单元在机电系统内进行改造。在这种情况下，需确保每一个服务只专注于单一的业务功能，再采用轻量级通讯机制完成数据交互。同时，对高速公路机电系统升级改造采取容器化部署方式。该理念下运用 Docker、Kubernetes 等进行服务器容器化转变，屏蔽底层操作系统和环境差异，从而使新旧机电系统安装在不同容器内，使其在升级和改造中不会存在相互影响。

表1 不同升级改造模式的兼容性及经济效益对比分析

评估维度	传统整体替换模式 (推倒重来)	兼容改造模式 (中间件 + 微服务)	优势分析
利旧率	< 10% (仅保留基础线缆)	> 85% (保留前端感知、控制设备)	大幅降低硬件采购成本，减少电子垃圾
施工周期	长 (需全线封闭或长时间占道)	短 (边运行边改造，夜间施工)	最小化对高速公路正常运营的干扰
业务中断风险	高 (割接期间需人工收费或封道)	极低 (双轨运行，无缝切换)	保障通行费征收连续性及交通安全
数据连续性	差 (历史数据迁移困难，易丢失)	优 (通过中台无缝融合历史与实时数据)	利于长周期交通大数据分析与管理决策
初期投资成本	高 (全额新购设备与软件)	中 (主要为软件开发与网关设备)	投资回报率 (ROI) 显著提升
后期扩展性	一般 (仍可能形成新孤岛)	强 (微服务架构，灵活插拔)	适应未来新技术的快速迭代与接入

2.4 实施分阶段灰度迁移与双轨运行策略

为降低高速公路机电系统升级改造风险, 保证高速公路运行业务达到连续性, 需采取科学化的实施策略。第一, 仿真测试环境。在高速公路机电系统升级改造中, 正式割接前需搭建和实际运行环境相同的仿真测试床, 主要测试新旧机电系统兼容性, 提前发现潜在问题并采取解决措施。第二, 灰度发布与双轨运行。高速公路机电系统升级改造不能进行“一刀切”式的整体切换, 而是结合不同路段、站点以及业务模块分段升级。在升级改造过程中, 需要设置过渡期, 确保新旧系统并轨运行, 再逐步实现功能的转变和系统融合。

3 结语

既有高速公路机电系统升级改造属于系统性问题, 其具备较高复杂性, 兼容性也是改造的重要难题。针对高速

公路机电系统的实际情况分析, 需采取科学合理措施, 解决硬件异构协议、私有数据碎片、架构陈旧的问题, 使高速公路机电系统升级改造达到要求。在今后人工智能、数字孪生等先进技术应用下, 高速公路机电系统升级改造兼容性问题迎刃而解, 实现整个系统灵活性、开放性、可持续性发展。

参考文献:

- [1] 卢茜. 高速公路收费站机电系统升级改造系统设计[J]. 交通世界, 2017(16): 166-167.
- [2] 王辰晨, 林森, 陈劲宇等. 运营高速公路隧道机电系统现状及提质升级研究[J]. 科技创新与应用, 2024, 14(14): 124-127+132.
- [3] 蒋锦泉. 高速公路机电系统智能化升级研究[J]. 通讯世界, 2025, 32(04): 109-111.