高速公路长江大桥机电与信息化系统协同运维模式研究

程江海
安徽省交通控股集团有限公司高界高速公路管理中心　安徽 安庆　246000

摘　要　高速公路长江大桥作为国家综合交通运输体系中的关键节点工程，其运行安全与服务能力直接关系到区域交通组织效率与重大通道畅通水平。与普通路段相比，此类桥梁在结构尺度、交通荷载、环境条件及安全风险等方面均呈现显著复杂性，相应配套的机电系统与信息化系统种类繁多、技术链条长、运行连续性要求高。本文围绕高速公路长江大桥运行管理需求，系统分析机电与信息化系统的构成特征及其运行耦合关系，在此基础上构建机电与信息化系统协同运维模式。从组织机制、数据融合、运维流程和全寿命周期管理等方面提出协同运维实施方案，并结合运行数据对实施效果进行分析。研究表明，该模式能够有效提升桥梁运行稳定性和运维管理效率，为特大型桥梁智能化运维提供参考。

关键词　高速公路；信息化系统；运维模式

Research on the Collaborative Operation and Maintenance Model for Electromechanical and Information Systems of Expressway Yangtze River Bridges

Cheng Jiang-hai
Gaojie Expressway Management Center, Anhui Transportation Holding Group Co., Ltd., Anqing 246000, Anhui Province, China

Abstract　As critical node projects in the national comprehensive transportation system, the operational safety and service capacity of expressway Yangtze River bridges directly impact the efficiency of regional traffic organization and the smooth flow of major transportation corridors. Compared with ordinary road sections, such bridges exhibit significant complexity in structural scale, traffic load, environmental conditions, and safety risks. The corresponding electromechanical and information systems are diverse, involve long technological chains, and require high operational continuity. Focusing on the operational management requirements of expressway Yangtze River bridges, this paper systematically analyzes the composition characteristics and operational coupling relationships of electromechanical and information systems. Based on this analysis, a collaborative operation and maintenance model for these systems is constructed. An implementation plan for collaborative O&M is proposed from the aspects of organizational mechanisms, data fusion, O&M processes, and life-cycle management, and the implementation effects are analyzed using operational data. The research indicates that this model can effectively enhance the operational stability of the bridge and the efficiency of O&M management, providing a reference for the intelligent O&M of extra-large bridges.

Key words　Expressway; Information Systems; Operation and Maintenance Model

在国家综合立体交通网加快建设和跨江通道持续加密的背景下，高速公路长江大桥已成为区域交通体系中不可替代的关键基础设施。这类桥梁通常具有跨径大、结构复杂、交通流量集中等显著特征，其运行安全性和通行服务能力直接关系到区域经济运行效率和社会公众出行体验。为保障桥梁长期安全稳定运行，配套建设了规模庞大、技术复杂的机电系统与信息化系统，涵盖供配电、照明、通信、视频监控、运行监测及综合管理平台等多个子系统[1]。在信息技术快速发展和智慧交通理念不断深化的背景下，将机电系统的实体运行管理与信息化系统的数据感知和分析能力进行深度融合，构建协同运维模式，已成为提升桥梁运维管理水平的重要方向。

1　高速公路长江大桥机电与信息化系统特征

高速公路长江大桥作为典型的超大跨径交通基础设施，其机电与信息化系统在结构规模、技术复杂度和运行要求上均显著高于普通高速公路路段，桥梁处于跨江强风、高湿、强腐蚀等复杂环境中，供配电、照明、监控、通信等机电系统需长期保持高可靠、连续运行状态；高速公路长江大桥机电与信息化系统构成如表1所示。

表1 高速公路长江大桥机电与信息化系统特征

系统类别	子系统构成	典型规模或参数
机电系统	供配电系统	主变电所2座，桥面箱变12台，双回路供电
	照明系统	LED灯具约1 800套，平均功率120 W
	监控执行设备	情报板18块、限速标志24套
	视频监控系统	高清摄像机96路，视频码率4～6 Mbps
信息化系统	通信与传输	光纤主干环网1套，传输带宽≥10 Gbps
	运行管理平台	业务子模块6类，日均数据量约120 GB

高速公路长江大桥机电与信息化系统在规模上呈现“高密度集成”，在功能上体现“多系统并行运行”，在运行层面则表现为明显的系统关联性。单一系统的性能波动往往会通过供电、通信或数据链路迅速传导至其他系统，进而影响桥梁整体运行状态。而运维管理若仍然采取分割成子系统、子系统的陈旧管理模式，则很难识别出各个系统之间的隐患以及潜伏病灶，对系统特性量化分析达成一致是日后开展机电与信息系统的集成化运维、精准定位的基础[2]。

2 高速公路长江大桥机电与信息化系统协同运维模式构建

2.1 以统一运行目标为导向的协同运维组织模式构建

联合运维首先要从管理上突破长期以来机电运维与信息化运维之间的条块化壁垒，以“保障桥梁整体运行安全与服务能力”为主要目标进行一体化协调。实际操作层面可以通过设置桥梁综合运维单元，把以前分散在两三个部门下的机电运维、信息平台运维以及巡查等力量整合到一个单位内，统一调派、考核。如某长江大桥，采用联合运维方式以后运维班组由过去的3个专业化班组变为一个综合性班组，班组人数从28人减少到22人，但是其设备可用度却由96.1%提高到98.4%。这种组织架构的变化并不是简单的裁撤冗员，而是在岗位调整的基础上促使运维人员在专业化分工的基础上建立合作模式，为日后开展的技术融合及工作流协同打下基础。

2.2 面向协同运维的数据融合与感知体系构建

协同运维的关键是建立一体化的数据感知融合平台，对机电设备的状态数据以及信息化系统的运行数据进行融合汇总，并进行相关性研究。供配电、照明、视频监控、通信传输等各种系统的运行参数通过制定标准统一采集，能够组成一个“设备—系统—业务”多层次的数据仓库。研究表明，将桥梁的机电及信息化系统的相关数据汇集到同一个系统中后，每天所产生的数据量可以从以前各个独立系统下的大约45 GB增长到超过120 GB，从而为深入挖掘研究提供支撑。针对协同运维的数据集成感知架构如图1所示。

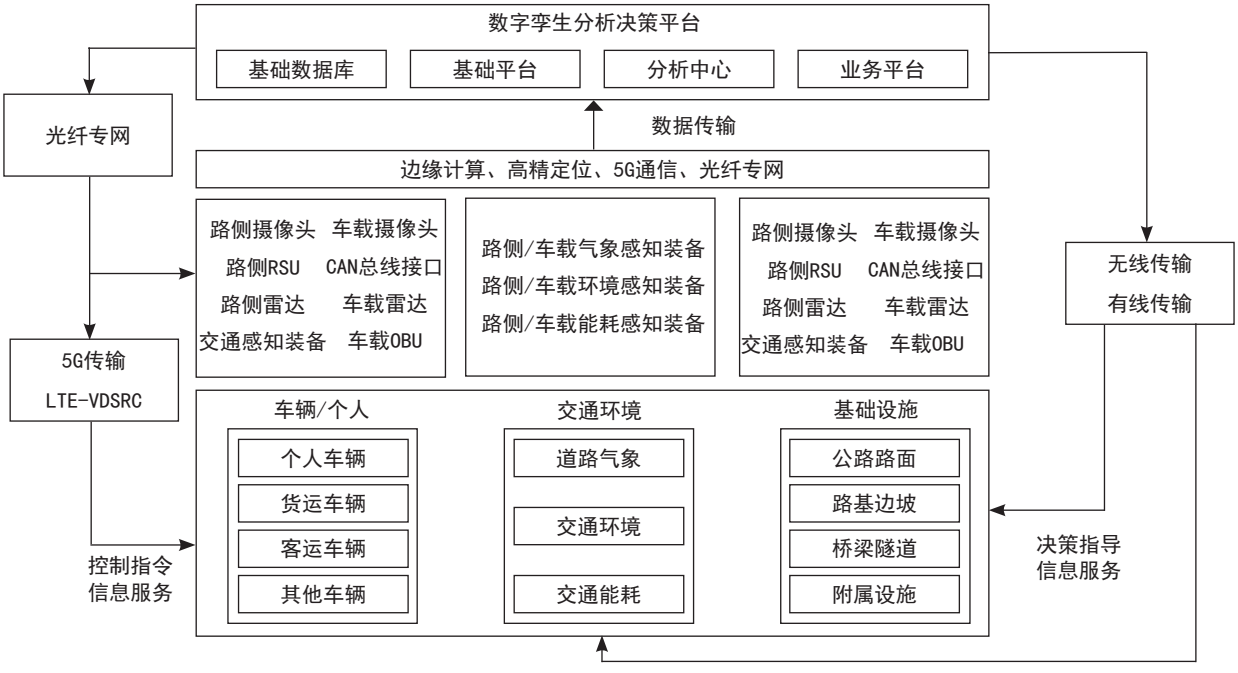

图1 面向协同运维的数据融合与感知体系

2.3 基于业务场景的协同运维流程重构

传统的运维流程大多是以“设施申报故障—专项处理”的方式为主，面对复杂的运行场景下跨系统的联动作业显得捉襟见肘。协同运维的理念就是基于桥梁运行场景为驱动对运维流程加以重组，比如，针对上下班高峰期通行运营、极端气象以及大型活动保障这样的场景，同时将机电系统运转状况及信息

系统的监测成果纳入分析环节中来，从而触发告警联动、分级响应等。数据显示，在协同运维流程应用以后，某一长江大桥跨系统的故障平均解决时间从过去的95 min降低到了62 min，减少了高达34.7%。流程重塑的本质就是在平行分析和联合处理的基础上减少重复告知和无谓等待，使得运维反应更加符合真实的业务要求。

2.4 面向全寿命周期的智能协同运维机制构建

运行时间方面，联动运维机制需要从单纯的反应式维修转变为涵盖设施设备整个生命周期的智能化管理模式。基于历史故障信息以及运行指标及环境参数的趋势变化进行长时间积累及挖掘，由此形成对设备运维的前瞻性模型推演。比如，在桥面照明、供电等设备运行数据中通过分析可以得到：若一段时期内，负载率连续大于85%，而同期相对湿度高于80%，设备发生故障的概率会增加到近1.6倍。针对类似的模型结果提前开展有针对性的巡检和调试，以此减少不必要的突然停止使用。据统计协同运维机制施行2年之后，预防性保养占比由原先的52%提高到了现在的71%，意外停机数量降低了近30%，从而保障了作为高速公路咽喉要道的过江通道长期可靠运行[3–4]。

3 高速公路长江大桥机电与信息化系统协同运维模式的实施效果

高速公路长江大桥采用机电及信息系统的协同运维机制以来，桥梁运营管理也从过去各子系统的被动修理向以整个系统运行为中心的主动管控转变，在协同组织体系、整合数据平台、联动业务流程下运维工作在反应时效、处理精度及投入产出上均有优化的表现。尤其是在面对大流量和恶劣天气双重考验的运营条件下，协同运维可以预警防范风险点，降低系统式缺陷带来的桥面运行安全隐患和车辆通行能力下降，使运维管理更可靠更有把握，具体情况见表2。

表2 实施效果

指标类别	实施前水平	实施后水平	变化幅度（%）
设备综合完好率（%）	96.1	98.45	2.35
跨系统故障平均处置时间（min）	95	62	−34.74
年均非计划停机次数（次）	27	19	−29.63
运维人均管理设备数量（套）	68	87	27.94
计划性维护占比（%）	52	71	19
运维能耗相关费用（万元/年）	480	420	−12.50%

协同运维模式在保障运行安全的同时，也显著提升了管理效率与资源配置水平。设备综合完好率的提升表明机电与信息化系统运行稳定性得到增强，而故障处置时间和非计划停机次数的下降，则反映出跨系统联动机制在实际运行中的有效性。与此同时，运维人均管理设备数量和计划性维护比例的提高，说明运维工作逐步由经验驱动转向数据驱动，运维资源配置更加合理。综合来看，协同运维模式不仅改善了高速公路长江大桥的运行绩效，也为同类型特大型桥梁的智能化运维提供了可复制的实践路径[5–6]。

4 结束语

总体来看，高速公路长江大桥机电与信息化系统协同运维模式的构建，本质上是对传统基础设施运维逻辑的一次系统性重塑。随着桥梁结构规模扩大、系统类型高度集成以及运行环境不确定性显著增强，单一系统、单一专业主导的运维方式已难以支撑桥梁运行安全与服务能力的长期稳定。本文所探讨的协同运维模式，以整体运行状态为核心，以数据融合和业务协同为纽带，将机电系统的物理运行特性与信息化系统的感知、分析与决策能力有机结合，推动运维管理由“分散响应”向“系统治理”转变。

参考文献

[1]林亚军,刘峥郅.智慧城市视角下市政信息化建设研究[J].新城建科技,2025,34(11):37-39.

[2]张智新.城市桥梁加固维修改造工程管理问题与应对策略[J].交通企业管理,2025,40(6):92-94.

[3]马廷博.桥梁模板智能化设计与施工技术研究[J].城市建设理论研究(电子版),2025(32):118-120.

[4]姜峰.大跨径连续梁桥施工技术在桥梁工程中的应用[J].汽车周刊,2025(12):118-120.

[5]施雨捷.公路桥梁隧道施工安全风险评估与管控措施研究[J].汽车周刊,2025(12):157-159.

[6]张俊,朱宝广,何连海,等.装配式混凝土桥梁施工质量管理系统开发与应用研究[J].现代交通技术,2025,22(5):30-34.

（本文编辑 杜宇琪）

