

高速公路机电工程通信系统技术探讨

彭科强

广西交通投资集团梧州高速公路运营有限公司, 广西 贵港 537200

[摘要] 伴随着我国高速公路网络的日益健全以及智能交通系统的迅速发展, 通信系统成为高速公路机电工程的基础设施, 在很大程度上影响着高速公路的通车质量和车行安全性。文章首先介绍了高速公路机电工程通信的基本组成结构, 对目前的发展状况及其面临的突出问题进行了研究。发现现阶段高速公路由传统机电向智慧高速转换的过程中出现“硬件快、软件慢”典型的阶段性特征; 同时存在着“分散独立、协作不够”的缺陷。对于通信覆盖面不足的问题, 设备相互间兼容度低、维护保养不到位等现象, 文章从技术运用方面入手, 在基站布设、无线网络覆盖、维护保养、集中运维、信息化改造、一体化设计以及隧道内监控和智能化建设上进行全方位的解决措施, 以期对提高整个高速公路通信系统的综合技术水平有所帮助。

[关键词] 高速公路; 机电工程; 通信系统; 智能交通; 集中管理; 隧道监控

DOI: 10.33142/sca.v9i2.19111

中图分类号: U495

文献标识码: A

Exploration on Communication System Technology for Highway Mechanical and Electrical Engineering

PENG Keqiang

Guangxi Communications Investment Group Wuzhou highway Operation Co., Ltd., Wuzhou, Guangxi, 537200, China

Abstract: With the increasingly sound highway network and rapid development of intelligent transportation systems in China, communication systems have become the infrastructure of highway electromechanical engineering, which greatly affects the quality and safety of highway operation. The article first introduces the basic composition structure of communication in highway electromechanical engineering, and studies the current development status and prominent problems faced. The typical stage characteristics of "fast hardware and slow software" have been observed in the current transition of highways from traditional electromechanical to smart highways; At the same time, there are defects such as "decentralization, independence, and insufficient collaboration". For the problem of insufficient communication coverage, low compatibility between devices, and inadequate maintenance, this article starts from the perspective of technical application, and takes comprehensive solutions in base station layout, wireless network coverage, maintenance, centralized operation and maintenance, information technology transformation, integrated design, and tunnel monitoring and intelligent construction, in order to help improve the comprehensive technical level of the entire highway communication system.

Keywords: highway; mechanical and electrical engineering; communication system; intelligent transportation; centralized management; tunnel monitoring

引言

高速公路机电工程是保证高速公路安全顺畅的一个重要部分, 通信系统就是机电工程中的神经系统, 它负责传送监控信息、收费数据、语音通话、图像视频等信息的传递, 系统的性能好坏和稳定性高低关系到高速公路的管理质量。高速公路机电工程有监控、收费、通信三个子系统组成, 通信系统是基础设施的一种, 主要由光缆数字传输系统、程控数字交换系统、通信电源系统、数据图像传输系统等组成。近年来, 智慧交通思想和技术的发展使得高速公路机电工程系统逐步实现了从各自为战到一体化、智能化协同发展的新进程。文章将会以系统的构成为切入点, 考察其发展现状及存在的问题, 研究提高通信系统技术手段的方法。

1 高速公路机电工程通信系统的构成

高速公路机电工程通信系统是一种融合了语音、数据

以及图像传送等多种功能的信息传输系统, 主要由光纤数字传输系统、语音交换系统、移动通信系统及数据网络系统四大部分组成, 其中光纤数字传输系统作为高速公路通信的基础网络, 完成了绝大部分业务数据的传送工作, 同时对监控、收费信息进行传输通道的支持。光纤系统的优点有很多, 比如传输速度快、抗干扰性能好、信号衰减慢等特点都能很好的支持监控视频、收费数据、办公网路等各种业务所需要的带宽。语音交换系统是由程控交换机和VoIP设备构成的, 用于高速公路运营管理中的行政电话、调度电话以及紧急电话业务。移动通信系统主要是为了解决公路沿线和隧道区域内的无线信号覆盖, 既要能支持司乘人员的公网通信也要能为养路管理、应急调度等功能性通信服务, 数据通讯系统是以IP为基础的计算机通信网, 链接了收费车道、收费站、收费分中心再到省联网中心,

要保障通行费数据的及时可靠传送。

2 高速公路机电系统的发展现状及问题

近年来,我国高速公路机电工程建设成果斐然,通信设备更新换代,覆盖范围逐步扩展。技术层面,OTN光传送网,工业以太网,4G/5G无线宽带这些技术已经广泛应用到新工程中去,视频监控也向着高清化、智能化的方向发展。但是伴随着快速的发展,在此过程中也会出现一些问题^[1],目前高速公路由传统机电向智慧高速转变的过程中呈现出“重硬件、轻软件”“独立建制,相互协作”等的现象。

表 1 高速公路机电系统通信主要问题分析

问题维度	具体表现形式	导致的后果
通信覆盖不均衡	偏远路段信号弱;隧道内存在通信盲区;山区基站覆盖不足	应急通话无法保障;车辆定位数据中断;监控视频回传卡顿
设备兼容性差	不同的厂商设备协议不开放;旧系统不能与新系统兼容;接口不一致。	形成“信息孤岛”;数据无法共享;系统扩展困难
维护更新滞后	设备老化得不到及时更换;备品备件停产;缺乏预防性维护机制	故障频发影响通行;维修成本居高不下;系统可靠性下降
网络带宽瓶颈	高清视频传输占用带宽大;高峰时段数据传输拥堵	监控画质压缩;数据延迟增加;无法支撑智能化应用
网络安全风险	系统防护能力不足;数据加密不完善;接入设备缺乏认证	易受网络攻击;收费数据安全隐患;系统运行不稳定

通信覆盖不平衡问题是现阶段面临的主要问题之一,我国公路网络纵横相接,很多路段都在山体、隧道中穿行,无线信号覆盖很难。对于大桥跨越较大、常规天线很难做到桥面全区域全覆盖,容易造成桥头或者桥中区域信号减弱的现象,可以使用自主研发透镜天线,“宽波束,小偏置角”覆盖近端,“高增益波束,大偏置角”覆盖远端,把天线主波瓣的能量准确集中到桥面道路上来。兼容性差也是阻碍整个系统互联互通的根本原因,不同的路段可能会用到不同的厂家的设备,各个厂家设备协议封闭、接口无标准,导致系统之间互相无法联通。保养更新滞后严重影响着系统的可靠运行,设备老化性能下降不可避免,在使用的过程中,但是很多企业并没有进行定期的维护保养措施。

3 高速公路机电工程通信系统的应用策略

3.1 采用各种通信新技术

新技术的应用才是促进高速公路通信系统的更新升级的最核心的驱动力,在现在可以大力推广使用5G通信、光传送网(OTN)、边缘计算、网络功能虚拟化等新技术来提高我们的系统技术含量及承载业务的能力。通信系统采取OTN技术,骨干节点分别接入到全省通信系统中,使本路段内的监控系统、收费系统以及通信系统的建设同

相邻路段的有机结合,达到全省联网的目的,OTN技术拥有大带宽、低延迟、高可靠性的优点能为高清视频和海量数据提供充足的传输通路。以ETC为基础的车路协同体系是目前科技发展的主要趋势。要充分利用通信、监控、收费等相关系统以及配套设施,结合人工智能、大数据、云计算、边缘计算及相关技术和资源,打造车路信息感知交互网,利用路侧设备与车辆之间进行及时的信息互动来完成对突发事件的警报通知,道路施工公告告知,红绿灯变化提示等功能,为未来的无人驾驶作铺垫,在无线接入上积极采用自主开发的透镜天线等新产品,针对桥梁、隧道等一些特定环境进行专项的设计,保障信号持续不断传输。

3.2 提高网络建设的技术水平

网络建设技术水平直接影响到整个通信网的质量与寿命,在建设时必须严格按照相关的技术规范及标准来进行施工,使用已经过验证的成熟技术和产品保证系统的稳定工作。监控点必须达到A级要求,把特大桥隧、连续下坡、互通立交桥等关键位置设为监控的重点,设置必要的高清摄像头、毫米波相机以及气象站等多种传感器来实时的对其进行监控。在联合作业中,业主要根据质量控制的规定,在设计图纸技术交底、现场勘探完毕之后,召集设计、施工、监理单位开展联合作业,要求施工单位严格遵照施工图纸设计文件、审核通过后的联合作业图纸以及施工工程技术标准施工。联合作业可以及早发现隐患,完善方案,防止施工现场进行大幅度调整^[3]。也要关注到网络架构的设计,重点区域要有冗余设计,主干路要预留备用路径,保障一点出问题不影响整个网络运行。在通车之前的联调联试验收的重要阶段中,可以利用混合动力汽车的逆变放电、小型发电机供电以及4G/5G临时组网等措施,在环境较为封闭的情况下连通系统的联调环节,高质量落实各个项目的建设内容。

3.3 科学应用无线网络技术

无线通讯技术应用于高速公路场景具备显著的优势可以很好弥补了有线网络覆盖存在的缺陷。从空间覆盖角度来说可以根据桥梁的不同类型进行精确匹配,上部公路采用高增益方向性天线,下部内部嵌入小孔径天线采用波束赋形解决钢桁架信号阻挡问题,在专无线通信方面可以布设专用网络以保障养护维修、应急调度等工作开展需要。电力供给也创新地使用市政电源加储能电池供电的方式,主航道基站的储能装置能保证设备正常运转,还能根据实际需要调整功率大小来兼顾通信稳定性和省电的效果。

3.4 做好保养及维修等基础工作

养护维修是保障机电系统长期正常运转的前提条件,必须建立健全以预防为主的保养维修机制,明确具体的保养维修方案以及操作流程,在运维方式采取“驻点维修”的办法,对全线各个收费站进行驻扎式的机电巡检维修队伍,做到发现问题第一时间解决,及时响应,与此同时配

备机电技术人员指导监督，实施“现场驻点、技术支持”的双层保护措施，极大缩短了故障发现及处理时间；通过信息化系统打造“报修-派工-处理-验收”的全链条线上闭环流程，使任务一键推送、自动指派、全程留痕，促进管理迈向智慧精细时代。

3.5 采用集中管理模式

集约化运维模式能够提高运维效能、减小运维成本。打造省级或者区域级机电运维中心，对所属路段的机电设备实施集中检测、统一指挥、统一维护，做到资源共享与事故处理迅速及时，武汉交投高速公路机电运维一体化平台以“系统展示、智能应用、数据支持、服务器集群”四个方面为基础，依托“智能应用场景、数据支持平台、计算存储资源池、网络安全体系、附属设施及配套工程”五大板块来推进项目建设，努力构建“智慧高速核心运营中心”。

表2 分散管理与集中管理模式效果对比

对比维度	传统分散管理模式	集中管理模式	优势分析
运维效率	各路段独立运维，人员分散；故障响应需层层上报	省级/区域级集中监控；统一调度运维资源	响应快：故障发现及时，平均修复时间大幅缩短
资源配置	备品备件各站重复储备；技术人员分散利用率低	统一备件库按需调配；专家远程会诊支持	成本低：库存成本降低，人力利用率提升
数据利用	数据各自存储无法共享；难以进行全局分析	数据统一汇聚；跨路段关联分析	决策准：可进行全网流量预测，数据价值充分释放
应急联动	跨路段协调困难；应急指挥各自为战	跨区域统一调度；信息实时共享	协同强：应急处置效率大幅提升

集中管理的主要做法是以建设统一的运维平台以及数据中心为主干，平台依托各分中心作为支撑点进行部署，打造集数据高度融合、业务快速协作、态势清晰明了于一体的智慧运营中心；形成由“智慧应用场景+数据底座+融合通信”三层构成的能力框架群，在此基础上达成公路路网整体“可视、可控、可测、可服务”的全方位运营水平提升目的^[3]。通过对集中管理平台的运用，管理者可以通过指挥中心对整个路网实时巡检，出现故障及时调度最近的维护人员前去处理。

3.6 加强数字化网络建设

数字网络是智慧高速的基础保障，要加快构建全路段覆盖的高速公路宽带网络，对传输网、数据网、接入网进行整体改造，筑牢智慧公路各应用场景的基础。在数字网络建设中要做到“云网边端”的统筹布局，在云上搭建大数据平台统一整合路网全域数据；在网上传输打造大带宽低延时传输网络；在网络边缘部署边缘计算节点对实时业务就近处理；在网络终端部署各种感知识别装置实现实时数据采集。

3.7 采用公路机电系统集成设计方案

系统集成是达到机电系统最佳效果的核心所在，在设计初期就要考虑到各个子系统的相互协作，运用系统集成思想把监控及控制系统，通讯系统，收费系统，供电系统，照明系统等作为一体来统一安排。而现今高速公路的设计创新主要集中在软件层面以及数据、智能算法以及不同系统间的整合方面，这些都是属于系统价值的重要组成部分。在系统集成过程中要强调规范化接口的开发，保证与其他路段、上级管理系统间对接顺利。在系统集成时做好设备布局、线路铺设、接口规范，防止各自为战、重复投资。

3.8 完善高速公路隧道监控系统

隧道是高速公路管理系统中最复杂最难的部分之一。健全隧道管理系统就要建立“云-边-端”的智能隧道系统，做到对其通风、照明、消防、交通指挥、紧急报警等设施设备进行统一管理和联动作业。对于隧道群事故发生难、紧急救援慢、维护费用高等问题，可以基于强大的AI、大数据、机器学习等新技术，打造一个从“监测-报警-管理-结合”的全覆盖式超长隧道群智能运营管理方案，实时响应交通状况，识别精度超过97%。对于应急保障方面来说，可以尝试使用“毫米波雷达加长焦距摄像头”的感知组合，利用多种通讯手段搭建全时互联网络，超高精度三维模型创建数字孪生管理模式，形成一个集全息感知、精准判断、实时联动、孪生呈现于一体的综合管理系统，在此平台下使交通管理发生由“事后应对”向“事前智能管理”的转变^[4]。借助先进的信息技术应用让隧道能够做到第一时间发现险情，平均应急反应速度降低至1min之内，突发事故处理速率提高一成左右。

3.9 提高系统建设的智能化程度

智慧化是高速公路机电系统发展之路。应该充分利用人工智能、大数据、数字孪生等新技术来促进机电系统由自动化转向智慧化，在监控智慧化上可以搭建以视频AI算法为基础的公路交通运行监测平台，极大提高路网运行状况感知能力和重点车辆把控能力，当检测到存在高温现象的货车时就会在情报板上即时发出警报：“货车存在高温现象，请前方收费站驶离高速公路”，同时利用沿线摄像头持续关注该车辆情况直到危险消除为止。对于隧道机电设施来说，在其建设方面可以考虑整合应用智慧隧道一体化管理平台，把交通安全监管、火灾预警、空气质量检测、报警电话等相关系统融为一体，极大提高隧道应急联动协调能力和日常运营管理能力水平。

4 结语

高速公路机电工程通信系统是保证公路安全、高效通行基础设施，该系统的科技含量以及运行水平直接影响着民众的出行感受与整个公路网的经济效益。近年来，

在新技术如火如荼的发展下,在智能化交通领域也取得重大进展,高速公路通信系统迎来了更新迭代的良好契机。本文基于系统组成进行阐述了目前的发展情况及存在问题,同时针对技术应用、网络构建、无线覆盖范围、运维管理、统一调控、信息化发展、综合设置、隧道监测以及智慧化建设等方面给予系统化的解决方案。研究发现,在运用通信新科技、形成“云网边端”融合的数智化网络、实施一体化管理维护以及健全隧道等重要区域的监视系统的方式下可以提高高速公路通信系统的信息化程度与服务能力。在未来,借助人工智能、大数据及数字孪生等相关技术的应用之下高速公路通信系统会向智能化、便捷化、稳定化的方向迈进并且在迈向建设交通强国的新时代当中扮演着越来越大的角色。

[参考文献]

- [1]唐洲.高速公路机电工程通信系统技术研究[J].汽车周刊,2026(3):33-35.
 - [2]周逢潮.高速公路机电工程通信系统技术及应用[J].信息与电脑,2025,37(5):98-100.
 - [3]王锐.高速公路机电工程通信系统及应用[J].工程机械与维修,2023(5):92-94.
 - [4]程江海.高速公路机电通信系统新技术的应用[J].中国科技论文在线精品论文,2024,17(4):522-526.
- 作者简介:彭科强(1997.3—),男,汉,籍贯:广西北流市,本科,主要负责广西交通投资集团梧州高速公路运营有限公司管辖范围内的收费三大系统日常维护和机电专项工程的开展,研究方向为电力系统自动化与智能控制。