

浅谈隧道工程智能信息管理系统的发展和应用

马 健 任彦东

新疆乌鲁木齐21信箱 新疆 巴音郭楞蒙古自治州 841700

摘要: 随着城市化进程的加快和交通基础设施的不断发展,隧道工程作为现代交通网络的重要组成部分,其建设与管理水平直接关系到交通运输的安全与效率。隧道工程智能信息管理系统的出现,为隧道工程的设计、施工、运营及维护提供了全新的解决方案。本文旨在探讨隧道工程智能信息管理系统的发展历程、关键技术、系统架构及应用前景,以期能为隧道工程智能化管理提供理论支撑和实践指导。

关键词: 隧道工程;智能信息管理系统;发展;关键技术;应用

引言

隧道工程智能信息管理系统是基于现代信息技术和智能化技术的综合性管理系统,通过集成传感技术、通信技术、数据处理与分析技术、人工智能等手段,实现对隧道全生命周期的数据采集、处理、分析及决策支持。

1 隧道工程智能信息管理系统的发展历程

上世纪70年代初,美国率先建立了世界上首个桥梁信息系统——国家桥梁档案数据库,这一系统集成数据存储、记录以及统计更新等多种数据信息处理功能,为桥梁隧道的维护与管理提供了重要的参考依据,极大地推动了桥梁隧道智能化管理的进程。此后,欧美纷纷研发各自的桥隧信息管理系统,为后续智能信息管理系统的发展奠定了坚实的基础。

我国自80年代中期,开始了桥梁管理系统的研究工作,逐步建立了较为完善的桥梁隧道数据库,并开发出一系列具有自主知识产权的智能信息管理系统^[1]。我国的桥梁隧道数据系统功能相对单一,缺乏跨项目、跨区域的数据整合和共享能力,难以实现数据的全面、高效利用。

2 隧道工程智能信息管理系统的关键技术

2.1 传感探测技术

传感探测技术是实现隧道智能监测的基石。在隧道工程智能信息管理系统中,各类传感器、探测器、监控探头部署在隧道内部,包括但不限于MEMS应力传感器、变形传感器、环境传感器(如温度、湿度、气体浓度传感器)、雷达探测器(如测速度、测距、测限位的激光探测器)、电磁波超前探测等。这些器件能够实时监测隧道结构的应力分布、变形情况以及隧道内部的环境变化,如温度波动、湿度变化、有害气体浓度等,也可应用于安防监控、灾难预防、辅助驾驶等领域。通过高精度、高可靠性的传感技术,系统能够获取到准确、全面的隧道状态数据,拓展人类感知边界,为后续的智

能决策提供坚实的数据支持。

施工中可使用先进测量仪器,如全站仪、激光扫描设备对隧道施工相关参数进行精准测量、3D立体成像,并在信息系统中显示。隧道超前地质预报是隧道信息系统的重要组成部分,使用隧道超前地质预报仪器可及时发现断层、破碎带、高地应力、裂隙水等不良地质体,如TSP(Tunnel Seismic Prediction,隧道地震波超期探测技术)、TGP(Tunnel Geology Prediction,隧道地质超前预报系统),结合超前钻探探测进行综合预报和对比分析,确定安全可靠的施工方案,有效指导隧道施工。

2.2 通信技术

通信技术是确保隧道工程智能信息管理系统中数据传输的关键。系统采用先进的有线通信和无线通信技术,实现传感器、控制设备与数据中心之间需要大量的数据交换。随着5G通信技术的普及,隧道工程智能信息管理系统将能够实现更高效、更稳定的数据传输,显著提升系统的实时响应能力,不仅有助于及时发现隧道中的异常情况,还能为隧道的维护和管理提供更加及时、准确的信息支持。

蓝牙AOA(Angle Of Arrival到达角度法)高精度无线定位系统,采用基于蓝牙5.1定位技术,可以满足智能制造场景下对人员、重要物资、设备的高精度定位需求。UWB(Ultra Wide Band超宽带)高精度人员定位系统,通过无线脉冲专利技术,在定位区域内布设定位微基站,精确定位人员、车辆、资产上的标签位置,实时地将人、车、物的位置信息显示在GIS地图上,可进行安全区域管控、人员在岗监控、车辆实时轨迹监控等。当遇到突发事故,可迅速找到被困人员的位置信息,提高应急抢险效率。

2.3 数据处理与分析技术

在隧道工程智能信息管理系统中,数据处理与分析

技术是实现数据价值的关键环节。系统通过大数据、云计算等技术手段,能够快速地对采集到的海量数据进行高效的处理与分析,提取出有价值的信息和规律^[2],如揭示隧道结构状态的变化趋势、运营状况的异常情况,为隧道工程的维护、优化及决策提供科学依据。

2.4 人工智能技术

人工智能技术是提升隧道工程智能信息管理系统智能化水平的关键。系统可借助AI识别软硬件,通过对历史数据的分析和学习,建立预测模型,模拟隧道结构状态、施工状况的变化规律,实现对未来状态的智能预测与预警,也可对重要工点部位进行AI识别,如自动识别隧道中的潜在风险和问题,识别并上传施工违章信息至管理平台,及时发出预警信号,为隧道的维护和管理提供智能化的决策支持,有助于提高隧道的安全性和稳定性,并降低维护成本和提高运营效率。

3 隧道工程智能信息管理系统架构与应用

3.1 系统架构

隧道工程智能信息管理系统是一个复杂而综合的系统,它通常由数据采集层、数据传输层、数据处理与分析层、决策支持层以及应用层五个主要部分组成。这五个层次相互协作,共同构成了一个完整、高效的智能信息管理系统。

3.1.1 数据采集层

数据采集层是隧道工程智能信息管理系统的最前端,负责采集隧道内部的各种实时数据,为系统提高精确、实时和全面的服务提供必要的数据基础。包括隧道结构状态(如应力、变形等)、人员车辆位置状态、环境条件(如温度、湿度、气体浓度等)以及设备运行状态(如通风设备、照明设备)等。数据采集层通常采用高精度传感器、检测设备、监控探头、定位装置等智能设备及各种数据接口构成的分布式系统,构建温度、压力、流量、物位等多维感知能力,覆盖整个工程感知网络的建设,并将采集到的数据进行初步的处理和整理。

数据采集重点是隧道作业面附近的岩体应力状态和有害气体。①岩体应力状态的变化可能导致岩层破裂和塌方等灾害,通过传感器监测岩体压力、应变和位移等指标,安装监控监测施工过程,使用振动监测及时发现岩层破裂、塌方等问题,研究相应参数安全范围并自动报警;②地下工程作业机械尾气和爆破烟尘排放有害气体多,加之地形环境复杂、空气流动性较差,对作业人员身心健康和设备安全可靠运行均会造成较大影响,实时采集洞内氧气含量、洞内空气中有害物质含量(如CO、CH₄、NO₂、N₂、SO₂、H₂S、粉尘等)、洞内风

速、洞内温度和洞内噪声等数值,研究参数安全范围与报警阈值,实现有害气体监测自动报警或自动联动通风系统。

在建设过程中将服务对象模块化,可对管理对象和提供的服务进行持续的扩展和升级,扩展业务管理对象如隧道防坍塌预警系统、智能仓储系统、办公OA系统、视频会议系统、人员装备管理系统、水电智能管理系统等。

3.1.2 数据传输层

数据传输层是连接数据采集层和数据中心的重要桥梁。它负责将采集到的数据通过有线或无线方式,安全、稳定地传输至数据中心。为了确保数据的安全性、实时性和完整性,数据传输层通常采用高速、稳定的通信技术,如光纤传输、无线通信等。同时,数据传输层还需要安装一定级别、数量的加密设备,具备数据压缩、加密等功能,以提高数据传输的效率和安全性。

系统采取标准的网络数据传输协议以支持其能够在复杂的网络环境中得到应用。主要包括:工程建设专网,施工现场无线网络(LTE/WIFI),或其他内部网,根据需要联接外部互联网。

3.1.3 数据处理与分析层

数据处理与分析层是隧道工程智能信息管理系统核心部分,可通过数据中心实现。数据中心承载着业务信息统一存储、统一管理、统一服务、资源动态调度的功能,对业务数据进行收集、存储、分析、处理,促进业务工作,为各类业务的分析评估、效能评估和数据共享提供基础支撑。数据中心负责对接收到的数据进行处理与分析,提取有价值的信息和规律,通过大数据、云计算等技术手段,数据处理与分析层能够快速地对数据进行清洗、整合、挖掘等操作,为决策支持层提供准确、可靠的数据基础。数据处理与分析层还需要具备数据可视化功能,以使用户能够直观地了解隧道的状态和趋势。

3.1.4 决策支持层

决策支持层是隧道工程智能信息管理系统的关键部分。它基于数据处理与分析层提供的数据分析结果,为隧道工程的维护、优化及决策提供支持。通过建立预测模型、风险评估等方法,决策支持层能够为用户提供科学的决策建议,帮助用户及时发现潜在风险和问题,并采取相应的措施进行解决。同时,决策支持层还需要具备灵活性和可扩展性,以适应不同用户的需求和场景。

3.1.5 应用层

应用层是隧道工程智能信息管理系统最终输出部分,主要以监控中心或指控中心体现。它面向用户提供

各类应用服务，如实时监控、预警报警、报表生成等。通过应用层，用户能够方便地了解隧道的状态和趋势，及时获取预警信息和报警提示，以便采取相应的措施进行应对。同时，应用层还需要具备良好的用户体验和易用性，以使用户能够轻松上手并快速掌握系统的使用方法。

3.2 应用领域

3.2.1 设计与施工阶段

在隧道工程的设计与施工阶段，智能信息管理系统发挥着举足轻重的作用。通过引入BIM技术，系统能够实现隧道工程设计的三维可视化，使设计师能够更直观地理解隧道结构，从而提高设计精度。智能信息管理系统集成了CAD、CAE等工具，为设计师提供了一个高效、协同的工作环境，设计师可以在平台上进行隧道结构的详细设计、分析与优化，确保隧道设计满足安全、经济、可行的要求^[3]。在施工阶段，智能信息管理系统能够实时采集施工现场的数据，如施工进度、材料消耗、设备状态等，为施工管理提供决策支持，并通过集成施工监控、进度管理、质量管理等功能，实现施工过程的数字化、智能化管理，确保施工安全与质量。

3.2.2 运营与维护阶段

在隧道工程的运营与维护阶段，通过部署在隧道内部的各种传感器，实时采集隧道结构的状态数据以及环境参数，准确反映隧道结构的健康状况以及环境条件的变化趋势，能够对隧道结构状态及环境变化实时监测；监测数据经过数据中心处理与分析后，通过对比历史数据、建立预测模型等方式，能够揭示隧道结构状态的变化规律以及潜在的安全隐患，有效防止事故的发生。此外，智能信息管理系统通过对监测数据的分析，可以评估隧道的使用状况，为运营决策提供科学依据，如根据交通流量的变化，可以调整隧道的通风、照明等设备的运行状态，以提高运营效率并节约能源。

4 应用前景与挑战

4.1 应用前景

随着城市化进程的持续加速和交通基础设施的不断完善，隧道工程作为城市交通体系的重要组成部分，其重要性日益凸显。隧道工程智能信息管理系统，作为提升隧道管理效率、保障隧道安全、延长使用寿命的关键技术，将迎来前所未有的应用前景。在各类隧道工程，包括城市地铁隧道、公路隧道、铁路隧道中，通过实时监测、数据分析、智能预警等功能，系统能够确保隧道

的安全运行，及时发现并处理潜在风险，为城市交通的顺畅和公众的安全提供有力保障。此外，随着物联网、大数据、人工智能等技术的不断发展，隧道工程智能信息管理系统将实现更高水平的智能化和自动化，能够更准确地预测隧道结构状态的变化趋势，为隧道的维护和管理提供更加科学、精准的决策支持，进一步提升隧道的管理效率和运营效益。

4.2 面临的挑战

高成本是制约系统推广应用的主要因素之一，由于系统需要部署大量的传感器、通信设备以及数据中心等基础设施，加之技术研发和后期维护的成本，使得系统的整体投资较大。技术难题也是系统推广应用需要克服的障碍，隧道工程智能信息管理系统涉及多学科交叉，如传感器技术、通信技术、数据处理与分析技术、人工智能技术等，需要不断攻克技术难关，提高系统的稳定性和可靠性。此外，标准化与规范化建设的不足也是制约系统推广应用的重要因素，不同系统之间的数据互通和共享存在困难，影响了系统的整体效果^[4]。未来，为了推动隧道工程智能信息管理系统的广泛应用与深入发展，需要政府、企业、科研机构等多方共同努力，加强技术研发，降低系统成本，制定和完善相关标准和规范，才能充分发挥隧道工程智能信息管理系统的优势，为城市交通的可持续发展提供有力支撑。

结语

隧道工程智能信息管理系统是现代隧道工程建设的重要趋势，通过集成传感技术、通信技术、数据处理与分析技术、人工智能等手段，该系统能够实现对隧道全生命周期的数据采集、处理、分析及决策支持，显著提高隧道工程的管理效率与安全性。

参考文献

- [1]张俊儒,燕波,龚彦峰,等.隧道工程智能监测及信息管理系统的研究现状与展望[J].地下空间与工程学报,2021,17(02):567-579.
- [2]陈兆志,翟佳,金鑫.高速公路隧道智能管理系统应用进展[J].市政技术,2022,40(06):227-235.
- [3]杨世强.隧道施工与安全智能管理系统应用研究[J].运输经理世界,2020,(17):104-105.
- [4]易凌云.桥梁隧道健康检测与智能管理系统研究[J].砖瓦,2021,(01):74-75.