

交通信息与控制工程在智慧隧道建设中的关键技术研究

袁晨善 陈理浩

云南省交通科学研究院有限公司 云南 昆明 650041

摘要：随着智慧交通发展，交通信息与控制工程在智慧隧道建设中作用关键。本文深入剖析交通信息与控制工程适配智慧隧道建设的核心基础，涵盖其核心技术体系、智慧隧道建设需求及两者融合要点。探讨交通信息采集与处理、交通控制、交通管控系统集成等关键技术，包括参数采集、信息传输、交通流协同控制、子系统兼容等，为智慧隧道建设提供全面技术支持，推动隧道交通向智能化、高效化、安全化迈进。

关键词：交通信息与控制工程；智慧隧道建设；关键技术；交通管控；系统集成

引言：在城市交通网络中，隧道作为关键节点，其建设与管理水平直接影响交通运行效率与安全。传统隧道管理模式在应对复杂交通状况时，逐渐暴露出信息滞后、控制不精准等问题。交通信息与控制工程凭借先进的信息采集、处理与控制技术，为智慧隧道建设带来新契机。通过融合交通信息与控制工程，智慧隧道可实现实时感知、精准决策与高效控制，提升隧道运行的安全性、流畅性与节能性，满足现代交通发展对隧道建设的高要求。

1 交通信息与控制工程适配智慧隧道建设的核心基础

1.1 交通信息与控制工程核心技术体系

交通信息与控制工程拥有一套完备且先进的核心技术体系。交通信息采集技术涵盖多种手段，如利用高精度传感器、智能摄像头等设备，精准获取隧道内车辆的位置、速度、流量以及交通环境状态等数据^[1]。交通信息处理技术则借助大数据分析、人工智能算法等，对海量采集数据进行深度挖掘与处理，提取有价值的信息，为交通管控提供科学依据。交通控制技术包含对隧道内照明、通风、信号灯等设备的智能调控，依据实时交通状况动态调整设备运行参数，保障隧道内交通的顺畅与安全。通信技术确保各类交通信息在不同系统与设备间高效、稳定传输，实现信息的实时共享与交互。

1.2 智慧隧道建设核心技术需求

智慧隧道建设对核心技术有着明确且严格的需求。在安全保障方面，需要实时监测隧道内的火灾、交通事故等异常情况，并迅速做出应急响应，这就要求具备高灵敏度的监测技术与快速有效的应急控制技术。在通行效率提升上，要精准掌握隧道内交通流量变化，合理疏导交通，避免拥堵，这依赖于精准的交通信息采集与智能的交通流调控技术。在节能环保层面，需根据隧道内实际交通状况和环境条件，智能调节照明亮度与通风强

度，降低能源消耗，这需要先进的设备控制技术与环境感知技术。

1.3 两者融合的技术衔接要点

交通信息与控制工程与智慧隧道建设实现深度融合，关键在于技术衔接。数据接口的标准化是基础，确保交通信息采集设备与控制系统的信息能够无缝对接与传输，避免因数据格式不兼容导致的信息丢失或错误。功能模块的协同化也至关重要，交通信息处理模块与交通控制模块需紧密配合，依据处理后的信息及时调整控制策略，实现交通管控的智能化与精准化。系统架构的兼容性同样不可忽视，交通信息与控制工程系统要与智慧隧道整体架构相匹配，能够灵活嵌入并与其他子系统协同工作，共同推动智慧隧道建设目标的实现。

2 智慧隧道交通信息采集与处理关键技术

2.1 隧道内交通参数采集技术

隧道内交通参数采集是智慧隧道建设的基础环节，涵盖多种技术手段。毫米波雷达凭借高精度与强抗干扰能力，成为检测车辆速度、位置及车型的关键设备^[2]。通过发射特定频段电磁波并接收反射信号，可精准计算车辆与雷达间距离及相对速度，进而获取车流密度、平均速度等参数。激光检测器利用激光束扫描隧道断面，依据反射时间差确定车辆位置与尺寸，能快速捕捉交通流量变化，尤其在车流量较大时表现出色。AI摄像机搭载先进图像识别算法，可实时识别车辆牌照、颜色及行为状态，如违规变道、超速等，为交通管理提供丰富细节信息。地感线圈虽安装维护成本较高，但在检测车辆存在与通过方面具有高可靠性，常与其他技术配合使用，提升参数采集全面性与准确性。

2.2 交通信息实时传输技术

实现交通信息实时传输对智慧隧道高效运行至关重要。有线传输以光纤环网与工业以太网为主，光纤环网

凭借高速率、大容量及强抗电磁干扰能力,确保大量交通数据稳定传输,工业以太网则提供灵活组网方式,满足隧道内不同区域设备连接需求。无线传输技术中,5G专网凭借低时延、高带宽特性,支持高清视频、雷达数据等大流量信息快速传输,为远程监控与实时决策提供保障。LoRa技术适用于低功耗、远距离场景,可连接隧道内分散布置的传感器,实现数据低成本传输。无线Mesh网络通过节点间自动组网,增强网络覆盖范围与可靠性,确保隧道内无通信盲区。

2.3 交通信息降噪与标准化处理技术

隧道环境复杂,采集的交通信息易受噪声干扰,影响数据质量。降噪技术通过滤波算法去除高频噪声与异常值,如卡尔曼滤波算法依据系统动态模型与观测数据,递推估计真实交通参数,有效抑制随机噪声。标准化处理旨在统一数据格式与量纲,消除不同设备采集数据间差异。制定统一数据标准,明确参数定义、编码规则及传输协议,确保数据在采集、传输与处理环节一致性,为后续分析与应用奠定基础。

2.4 交通信息数据库构建技术

构建交通信息数据库是存储、管理与利用交通数据的关键。选用适合大规模数据存储与高效查询的数据库管理系统,如关系型数据库与非关系型数据库相结合的方式。关系型数据库用于存储结构化的交通信息,如车辆基本信息、交通流量统计数据等,保证数据的完整性与一致性。非关系型数据库则处理半结构化或非结构化的交通数据,如视频图像、传感器原始数据等,提高数据存储与处理的灵活性^[3]。通过合理设计数据库表结构,建立数据索引,优化查询算法,提升数据库的读写性能与响应速度,满足智慧隧道交通管控对数据的快速访问与深度分析需求。

3 智慧隧道交通控制关键技术

3.1 隧道交通流协同控制技术

智慧隧道交通流协同控制聚焦于实现隧道内交通各要素的有机联动与高效配合。借助先进的交通信息采集设备,如高精度雷达、智能摄像头等,实时获取隧道内车辆的速度、位置、密度等关键参数。基于这些实时数据,运用复杂的交通流模型与智能算法,对隧道内交通流状态进行精准评估与预测。通过动态调整可变情报板的显示内容,为驾驶员提供及时、准确的交通信息,引导其合理选择车道与行驶速度,避免因信息不畅导致的局部拥堵。同时,结合车道指示器的状态变化,在车流量较大的时段,灵活开放应急车道或调整车道通行方向,增加道路资源的有效供给。此外,将交通流控制与

隧道内的通风、照明系统进行深度融合,依据车流量变化自动调节通风强度与照明亮度,在保障行车安全与舒适的同时,实现能源的合理利用与优化配置,提升隧道整体运行效率。

3.2 隧道出入口交通疏导控制技术

隧道出入口作为交通流转换的关键节点,其交通疏导控制至关重要。利用交通传感器对出入口的交通流量、车速、排队长度等参数进行实时监测。当检测到出入口车流量接近或达到饱和状态时,通过可变情报板提前向驾驶员发布预警信息,提示前方隧道出入口的拥堵情况,引导驾驶员提前规划行驶路线或调整行驶速度。在隧道入口处,设置潮汐车道或可变车道,根据实时交通需求灵活改变车道通行方向,增加入口的通行能力,缓解入口处的交通压力。对于隧道出口,优化信号灯配时方案,根据不同方向的车流量合理分配通行时间,减少车辆等待时间,避免出口处车辆积压对隧道内交通造成影响,确保隧道出入口交通的顺畅有序。

3.3 隧道内异常工况应急控制技术

隧道内可能出现的异常工况涵盖火灾、交通事故、设备故障等多种情形,应急控制技术需具备快速响应与有效处置的能力。当火灾发生时,火灾探测系统迅速定位火源位置,启动应急通风模式,形成有利于人员疏散与灭火的气流组织,同时关闭着火区域附近的车道指示器,引导车辆远离危险区域,并开启应急照明系统,为人员疏散提供充足照明。在交通事故发生时,通过视频监控快速确定事故位置与影响范围,调整可变情报板与车道指示器,提示后续车辆注意避让,并及时通知救援力量赶赴现场。对于设备故障,系统自动切换至备用设备,确保隧道基本功能正常运行,并发出故障报警信息,以便维修人员及时进行检修与维护。

3.4 多隧道联动控制技术

在区域交通网络中,多隧道相互关联、相互影响,多隧道联动控制技术能够实现区域交通资源的优化配置与整体协同运行。构建统一的多隧道管理平台,集成各隧道的交通信息采集、传输与处理系统,实现数据的集中管理与共享。依据区域交通流量的整体变化趋势,对相邻隧道的入口流量进行协同调控,当某一隧道出现拥堵时,通过可变情报板引导部分车辆分流至其他隧道,均衡区域交通压力。同时,多隧道间的应急资源实现共享与统一调配,如消防力量、救援设备等,在发生重大事故时,能够快速整合资源,提高应急处置效率,保障区域交通网络的安全稳定运行。

4 智慧隧道交通管控系统集成关键技术

4.1 交通信息与控制子系统兼容技术

智慧隧道交通管控系统涉及众多交通信息与控制子系统,如交通信息采集子系统、通风控制子系统、照明控制子系统等^[4]。这些子系统往往由不同厂商开发,采用的技术标准和通信协议存在差异,实现兼容是系统集成的首要任务。在硬件层面,需统一接口标准,设计适配多种设备连接的接口转换模块,确保不同类型传感器、控制器等设备能够顺利接入系统。对于通信协议,采用协议转换网关,将不同协议的数据进行格式转换,实现数据在各子系统间的无缝传输。在软件层面,构建统一的软件架构,制定数据交互规范,明确各子系统输入输出数据的格式与内容。通过中间件技术,为各子系统提供统一的访问接口,屏蔽底层硬件和通信协议的差异,使上层应用能够方便地调用各子系统功能,实现交通信息与控制子系统的高效兼容。

4.2 管控系统模块化集成技术

模块化集成技术是提升智慧隧道交通管控系统灵活性与可维护性的关键。将整个管控系统划分为多个功能模块,如交通信息处理模块、控制决策模块、人机交互模块等。每个模块具有独立的功能和接口,通过标准化的接口与其他模块进行交互。在系统设计阶段,依据功能需求对模块进行合理划分,确保模块内功能高度内聚,模块间耦合度低。开发过程中,采用面向对象的编程方法,为每个模块定义清晰的类和方法,提高代码的可重用性和可扩展性。集成时,按照模块间的依赖关系,逐步将各模块集成到系统中,通过接口测试和功能测试,确保模块间协同工作正常。模块化设计还便于系统的升级与维护,当某个模块功能需要更新或出现故障时,只需对该模块进行修改或替换,无需对整个系统进行大规模调整,降低系统维护成本。

4.3 系统运行稳定性保障技术

智慧隧道交通管控系统需长时间稳定运行,以保障隧道交通安全与畅通。在硬件方面,选用高可靠性的设

备,如工业级服务器、抗干扰能力强的传感器等,并进行冗余设计,关键设备采用双机热备或集群部署方式,当主设备出现故障时,备用设备能够迅速接管工作,确保系统不间断运行。软件层面,采用容错设计技术,对可能出现的错误进行预测和处理,如数据校验、异常捕获等机制,防止因数据错误或程序异常导致系统崩溃^[5]。建立完善的系统监控机制,实时监测系统运行状态,包括设备状态、网络流量、数据处理速度等参数。通过设置阈值,当参数超出正常范围时及时发出预警信息,通知运维人员进行处理。同时,定期对系统进行维护与优化,清理无用数据、更新软件版本,确保系统始终处于最佳运行状态,为智慧隧道交通管控提供可靠保障。

结束语

交通信息与控制工程在智慧隧道建设中的关键技术研究,为隧道交通管理带来了变革性影响。从交通信息精准采集与高效传输,到交通流的协同控制与异常工况的应急处理,再到多隧道联动与系统集成,各项关键技术相互配合,构建起智慧隧道高效运行的技术体系。这些技术的应用,有效提升了隧道交通的安全性、流畅性与节能性,为城市交通的稳定运行提供了坚实保障,助力智慧城市建设迈向新高度。

参考文献

- [1]段嘉仪,徐梦瑶.城市轨道交通信息化建设与安全管理的综合研究[J].建材世界,2025,46(2):121-124.
- [2]张琦.智慧城市理念对城市交通规划的影响[J].交通科技与管理,2024,5(16):10-12.
- [3]白铎.虚拟现实技术在城市智慧交通中的应用研究[J].运输经理世界,2024,(23):82-84.
- [4]李晓栋,冉兵兵.车联网在智慧城市交通管理中的应用研究[J].汽车与驾驶维修(维修版),2024,(07):21-23.
- [5]李祥.信息大数据助力智慧交通建设的有效措施探析[J].黑龙江交通科技,2022,45(12):199-201.