

DOI:10.16799/j.cnki.csdqyfh.2023.08.071

# 城市主干路隧道段智慧化系统研究应用

徐永祥

(绍兴市柯桥区轨道交通集团有限公司, 浙江 绍兴 201812)

**摘要:** 伴随着我国经济的迅速发展、城市人口的急剧增长以及城市主干路隧道建设的逐年推进和道路运力需求的快速增加,国家相关部门提出重点推进智慧交通基础设施建设。其中逐步实现我国公路隧道智能化、信息化、集成化、绿色节能化是智慧交通发展的关键。以实际案例进行城市主干路隧道段智慧化研究分析,通过智慧运营管理平台、数据交互、共享信息等一系列技术手段,在设备控制、事件预警、流程管理、应急处理等方面提升隧道运营管理的业务能力。

**关键词:** 道路工程;智慧隧道;管控系统;数字孪生平台

**中图分类号:** U495

**文献标志码:** B

**文章编号:** 1009-7716(2023)08-0284-05

## 0 引言

随着经济的持续发展、综合国力的不断提升及高新技术的不断应用,我国隧道工程得到了前所未有的迅速发展。

我国正处于社会主义经济发展的重要时期,而基础设施建设在国民经济中一直占有举足轻重的地位。近年来,由于我国经济的迅速发展,为解决人口流动与就业点相对集中给交通、环境等带来的压力,满足国家环境和局势变化需求,修建各种各样的隧道及地下工程(如城市地铁、公路隧道、城市主干路隧道等)成为必然趋势,这给隧道及地下工程的发展建设带来了机遇。

智慧高速是当前社会关注的热点,隧道亦然。目前,针对智慧高速,国内外均集中于车联网、路联网、无人驾驶汽车技术等的研发与应用。针对公路隧道的信息化、智能化,国内外均集中于信息化施工和智能监控等方面。而智慧公路隧道除上述技术外,关注的还有通风智慧、照明智慧、智慧安全防灾系统等。对于智慧隧道,人们往往没有重视隧道与路段的差异。与路段相比,隧道是半封闭体,侧向净宽小,这使其具有 5 个不同于高速公路路段的显著特征:通行能力低于路段;运营风险高于路段;设施种类多于路段;事故灾害重于路段;管理难度大于路段。

现以群贤路西延萧山南秀路二期工程为例,通过应用智慧化手段解决城市主干路隧道碰到的交

通、安全、运维、施工等方面可能存在的问题和需求。

## 1 工程概况

### 1.1 总体方案

工程定位为交通性城市主干路,东起绍兴市柯桥区 104 国道南复线,西至跨越杭甬运河进入萧山界止,路线全长约 5.97 km,设计车速 60 km/h。全线共设置 2 座隧道、3 座桥梁,其余为地面道路。路线以隧道形式穿越礼陀山、美女山,采用双洞矿山法断面,长度约 3.13 km、0.43 km。在远瞻路与杭甬高铁交叉节点处,设置下穿杭甬高铁桩板桥。桥梁上跨杭甬运河,见图 1。

两条隧道整体集约设置设备用房,全线共设置 1 处监控中心(暂定与一期管理中心合建),1 处地面变电所(与消防泵房合建),1 处风井及风机房,2 处地下设备用房,1 处应急救援点。

礼陀山隧道及美女山隧道均采用人字坡,隧道内不设置雨废水泵房。

### 1.2 总隧道工程

本工程路线以路基形式到达礼陀山,而后分左右两幅以隧道形式分南北线双洞穿越礼陀山,其中,礼陀山北线隧道起点里程桩号 NK0+335,终点里程桩号 NK3+424,长约 3.09 km;礼陀山南线隧道起点里程桩号 SK0+334,终点里程桩号 SK3+466,长约 3.13 km;出礼陀山隧道后以一段桥梁+路基形式到达美女山,而后以隧道形式穿越美女山,其中美女山北线隧道起点里程桩号 NK3+665,终点里程桩号 NK4+112,长约 0.48 km;美女山南线隧道起点里程桩

收稿日期: 2023-04-25

作者简介: 徐永祥(1970—),男,学士,高级工程师,从事工程管理工作。

号 SK3+735, 终点里程桩号 SK4+152, 长约 0.42 km。

本工程沿线避让基本农田、地块设施等控制物, 向西延伸入礼陀山。路线设隧道进入礼陀山后, 通过向南回转, 避让基本农田、宗教建筑, 其峒口位置从美女山出来, 避让山体西北侧基本农田, 同时确保整体线位距离高铁隧道均大于 200 m 以上, 全线均可采用钻爆法进行施工, 对高铁影响较小, 见图 2~图 5。

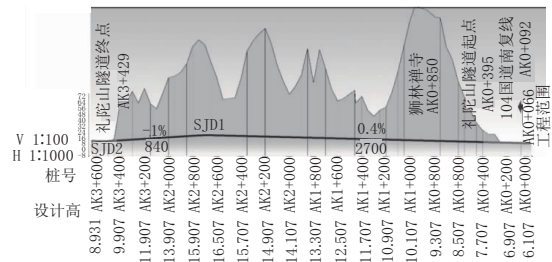


图 3 礼陀山节点纵断面图

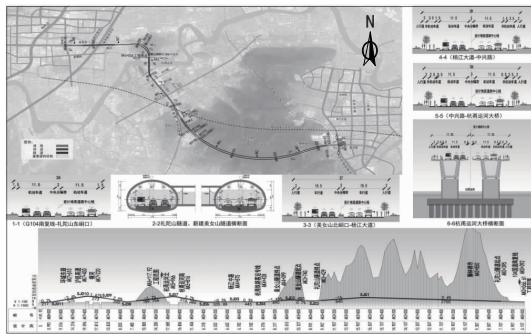


图 1 总平面图

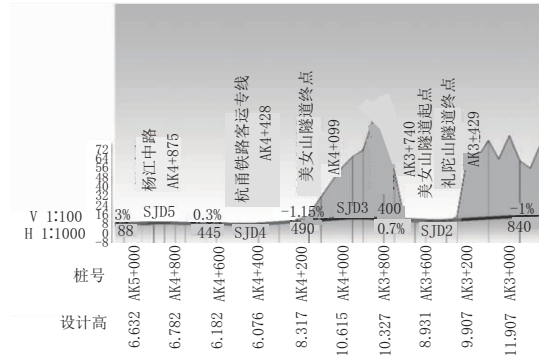


图 4 美女山节点纵断面图

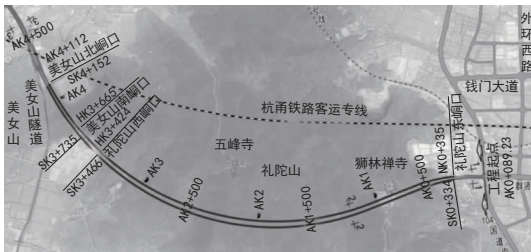


图 2 群贤路西延二期隧道工程范围图

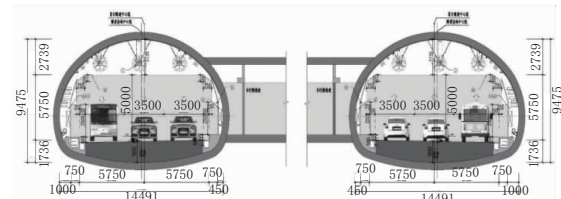


图 5 礼陀山、美女山横断面图(单位:mm)

段的环境相比具有内外亮度差异大、空间小、纵深较大、出入口数量少、封闭性强等特点, 再加上近年来车辆迅速增加, 日益恶化的交通拥挤, 各种交通事故频繁发生, 隧道的安全问题越来越为隧道建设者和运营管理者所关注, 见图 6。

## 2 需求分析

### 2.1 地下道路需求分析

隧道作为路段的一种特殊组成部分, 与普通路

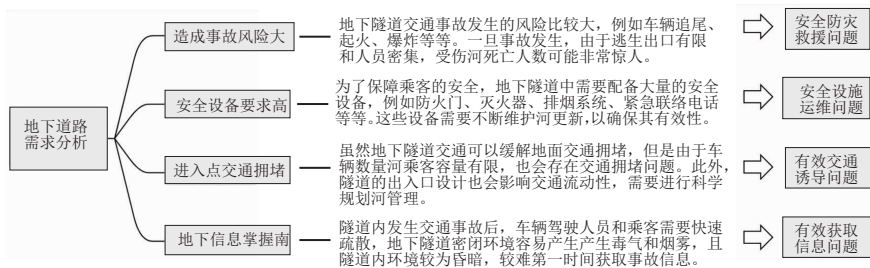


图 6 地下道路需求分析

### 2.2 不同主体的需求分析

#### (1) 道路使用者

地下道路的主要使用者包括公众私人车主、物流公司等。他们对地下道路有不同的需求, 例如公众私人车主需要便捷快速、舒适安全的交通方式, 而物流公司则需要高效率的物流运输通道。

#### (2) 运营单位

地下道路的运营单位包括交通管理部门、物流企业等。他们需要满足使用者的需求, 并且在经济效益方面具有可持续性。同时还需要保证设备和技术

水平的保护和更新, 以确保运营的顺畅性和安全性。

#### (3) 政府部门

政府部门需要地下道路来缓解城市交通压力, 促进城市发展, 保障基础设施建设。在设计建造过程中, 政府部门也需要考虑到紧急疏散、防灾减灾等因素, 确保地下道路的安全性和可靠性。

## 3 智慧化系统研究设计

基于礼陀山隧道、美女山隧道在交通、安全、运维等方面可能存在的问题和需求, 为达到“安全、节

能、高效”等运行管理目标,既兼顾传统道路监控功能,又要在传统道路监控功能的基础上做提升。

智慧地下道路主要包括交通全息感知与运行管控、隧道位置服务、隧道洞口联动管控、隧道积水监测与管控、轨道巡检机器人、智慧安全防灾、智慧设施管养等功能场景,见图7。为集成上述系统功能,实现数据交互,共享信息,需配置一套完整的智慧隧道数字孪生平台。



图7 建设内容图

### 3.1 交通全息感知与运行管控系统

#### (1) 系统概述

智慧交通运行管控系统通过在隧道内、隧道出入口、隧道分合流处部署智能监测设备,全面感知监测隧道交通运行,实现实时监控交通运行态势,旨在提高交通运行管控能力,降低隧道交通安全隐患。本系统能够通过地图查看各个隧道路段的实时监控画面,及时掌握隧道通行状况,保障交通畅通有序,提高工作效率和管控效能。并对交通运行中积累的交通流、交通违法、交通事故等数据,进行交通大数据分析,发掘数据内部关系,并以GIS及可视化图表方式直观展现,为交通管理决策层在交通组织、警力部署、设备布设等方面的优化配置方案形成提供决策依据。

#### (2) 功能设计

##### 功能1:车流拥堵预判及疏导

在隧道出入口、分合流处设置交通流量检测器,实时采集隧道内外各关键节点处交通流各项指标参数;

支持实时评估关键节点拥堵指数;

实时自动发布预警、诱导信息和控制指令,对交通流速及交通流量进行有效调控及诱导。

##### 功能2:交通事件检测及报警

实时采集隧道内驾驶车辆交通行为,例如抛洒、违停等行为;

实时自动报警,第一时间准确感知隧道内交通隐患并及时消除。

##### 功能3:隧道入洞口智能化控制

实时监测超高车辆或隧道内发生火灾等突发事件;

出现紧急情况自动报警提示,有效避免车辆进入隧道,造成二次事故。

##### 功能4:交通大数据分析及决策支持

实时交通数据信息汇总和处理;

自动识别交通风险,自动制定交通控制策略。

### 3.2 隧道位置服务系统

#### (1) 系统概述

通过室内精准定位技术,实现在隧道内部的定位导航功能,提升交通监控和引导的效果,见图8。



图8 隧道运维定位

#### (2) 功能设计

使用射频矩阵基站技术,该系统能够利用射频信号来提供位置服务,从而达到定位精度高、响应速度快的效果。支持大众普通手机。在大型空间内,安装多个阵列基站可覆盖更大范围、提供更高精度的位置信息。

本系统为隧道内外一体化定位,适用于长大隧道等场景,提供地上地下无缝衔接的定位导航服务。配套的管理平台,需实现下列功能:

实时监测和展示隧道内部信息、车辆定位与追踪功能、紧急救援功能、安全警报功能:该系统通过对隧道内潜在的安全风险进行预警和警告,及时向用户发送安全警报,从而提高隧道的安全性。

数据记录和分析:该系统可以对隧道内的各种数据进行记录和分析等,故隧道定位服务系统是一种智能化管理系统,其目的是为了提升隧道交通效率、安全性和可靠性,方便用户顺利出行。

### 3.3 隧道洞口联动管控系统

#### (1) 系统概述

隧道洞口联动管控系统是一种采用先进科技手段,旨在为隧道出入口车辆提供智能化管理和安全保障的设备。该系统通过实时监测、预警、远程管理等方式,对隧道内的交通情况进行精细化管控,以保障车辆出行的顺畅与安全。

该系统主要包括以下几个方面的功能:

**告警装置:**隧道洞口联动管控系统通过设置告警装置,实时监听隧道内的车辆行驶状态,有效检测超限、逆行等异常情况,并及时通过报警信息将问题通报给管理人员。

**监控设备:**该系统配备了高清晰度视频监控摄像头,在隧道入口实时监测车辆进出情况、速度等参数,从而为管理人员提供准确可靠的交通数据,便于做出及时有效的决策。

**交通信号灯:**设置交通信号灯可以有效引导车辆进出隧道,并降低事故发生率。

**道路减速带和标线:**在隧道入口设置道路减速带和标线,使车辆按照规定的速度行驶,避免发生意外。

**管理平台:**通过建立运营管理平台,隧道洞口联动管控系统可以对出入口进行远程的数据采集和监控,从而实现更加细致化、精准化的管理和操作。

## (2)系统功能

a. 突发事件警报:隧道洞口联动管控系统应该能够监测隧道各个区域,及时发现突发事件并向外界发送警报信息。

b. 智能管控:该系统应该能够实时监测交通情况,智能分配和调节车流量,确保隧道内的交通运行安全和顺畅。

c. 实时监测视频:隧道洞口联动管控系统应该安装摄像头在隧道内部进行实时监测。

d. 紧急救援:隧道洞口联动管控系统应该与消防、医疗等单位保持联系,协助管理人员对紧急事故进行救援。

e. 防止灾害:隧道洞口联动管控系统应该对隧道内的气象、环境变化进行预测,并提前采取相应预防措施,以避免灾害的发生。

f. 电力管控:隧道洞口联动管控系统应该能够监测和控制隧道内的照明、通风、排水、信号等设备的使用情况,确保电力系统的正常运行。

## 3.4 隧道积水监测与管控系统

### (1)系统概述

本系统通过监控隧道内关键点位的积水情况,对积水点进行实时的水位、现场图像等要素进行监测,实现自动化监测;建立监测、预警、警告、管控四位一体的防汛管控体系及相应的应急管控系统。

### (2)系统构成

本系统主要包含一体化水位计、监控摄像头、信

号灯、信息发布屏、声光报警器、定向声广播等设备。

### (3)系统功能

a. 日常情况下,可实现全区域范围内隧道的集中监控、设施管理、数据分析等;

b. 突发情况下,平台及时获取现场的监测数据、事态进展及设备联动状态等信息,并根据突发事件等级启动应急预案,实现周边应急资源的调度,自动推送相关信息给相关人员及上级应急管理平台。

## 3.5 轨道巡检机器人

本系统以智能巡检机器人为核心,结合综合管理平台、高速网络通讯系统、安全高效的电源系统以及一系列先进技术,可实现对隧道环境与设备的不间断监测及灾害预警、处置。本系统具备巡检、视频监控、红外测量、环境监测、应急管控等作用。

轨道机器人采用悬挂式吊轨形式,充分考虑隧道的净空、管线等限制条件,安装在隧道顶部,见图9。

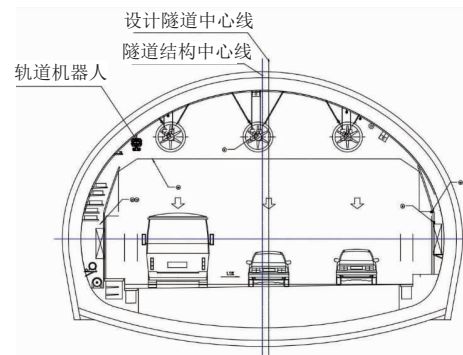


图9 轨道式巡检机器人断面图

## 3.6 智慧安全防灾系统

### (1)系统概述

智慧防灾系统在不新建设施设备的条件下,利用现场已有的机电系统、火灾报警联动控制系统、通风监控系统等系统,通过系统联动,实现消防系统性能实时监测评估、智能通风排烟、动态疏散救援等功能。

### (2)功能设计

#### 功能1:消防系统性能评估

通过建立防灾安全评价指标体系和评价流程,配合智能消防监测系统的使用,在隧道日常运营过程中通过动态风险评估,实现火灾风险要素的实时监测、数据传输。

#### 功能2:隧道运行环境评估

建立地下道路温度/风速/环境等参数实时获取、运营环境状态动态分析等多参数融合的智能火灾预警、预测及疏散救援决策体系,搭建基于多传感器信息融合技术的火灾探测系统,采集多个不同的

火灾特征参数,通过无线传感器网络进行数据的传输,利用智能算法进行处理和判断,将信息融合,对火灾的发生进行及时准确的探测和报警。

### 功能3:环境异常及火灾预警

根据火灾过程中温度场分布特征及变化情况,将分散点的数据信息通过处理,确定火源点位置;实现火场温度分布及变化等信息的动态化、可视化呈现。

### (3)建设方案

隧道智慧防灾系统建设内容主要包括3方面内容。

a. 隧道设备实时数据接入。依托群贤路西延南秀路隧道已有的硬件系统,主要包括(隧道火灾报警系统,消防系统,高清视频监控系统,通风系统等设备),以获得实时准确的多源异构数据,涵盖(隧道交通流量数据,视频图像数据,光纤光栅温度数据,风速数据,CO数据,烟尘数据等)。将既有设备实时监测数据按照基准的采样频率接入隧道智慧防灾系统。

b. 隧道智慧防灾核心算法模型建设。依托实时准确的多源异构数据,采用人工智能深度学习方法建立隧道火灾立体感知监测方法,隧道火灾场重构方法,隧道系统火灾运行风险动态评估与态势研判技术,智能通风排烟策略、智能防控决策和动态救援疏散技术等核心模型方法。

c. 根据隧道智慧防灾核心算法模型计算结果,依托隧道真实场景结构特点,将防灾关键信息可视化呈现,为中控管理人员提供实时、准确的决策支持。包括隧道火灾场景重构展示,隧道人员逃生疏散指导和安全节能运营决策支持等。

### 3.7 智慧隧道数字孪生平台

智慧隧道数据孪生平台,基于数字孪生的三维技术为基础,将人工智能、物联网(IOT)、大数据分析等新一代信息技术进行整合,分为隧道运行监测、应急指挥、事故分析模块、安全风险判别、设备可视化管控等模块,能实现智能管控、仿真模拟、资产管理、大数据收集及分析等功能。

### 3.8 数字孪生结合BIM技术

数字孪生技术是一种基于物理对象、过程和系统进行数据化建模、仿真和优化的技术。隧道工程作为一个复杂的物理系统,在建设过程中涉及到设计、施工、监理、检测等多个环节,同时还会受到地质、地形、气候等多种因素的影响。因此,将数字孪生技术

与BIM技术相结合,可以实现对隧道工程从建设规划到运营管理全生命周期的数字化管理与智能化决策支持,见图10。

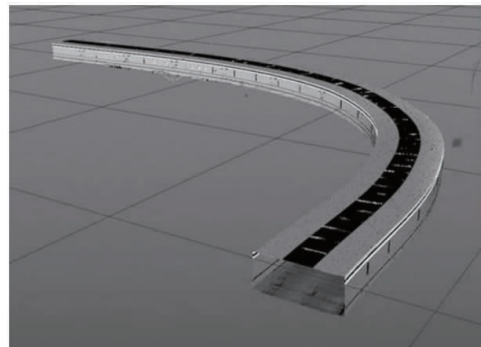


图10 数字孪生平台示意图

首先,在隧道工程设计阶段,基于数字孪生技术,可以采集并整合隧道工程相关的各类数据,包括地质地形数据、环境气象数据、材料性能数据、施工工艺流程数据等信息,并进行数字化建模。结合BIM技术,可以实现对隧道工程设计方案的可视化和协同设计,大大降低设计误差和沟通成本,提高设计效率和精度。

其次,在隧道工程施工过程中,数字孪生技术结合BIM技术可以实现对施工进度、质量、安全等方面的实时监测和管理。例如,可以利用智能传感器采集施工过程中的相关数据并与数字模型进行对比,及时发现问题并进行修复;利用虚拟现实技术实现施工过程的可视化,定位施工过程中的风险点。

最后,在隧道工程运营管理阶段,数字孪生技术结合BIM技术可以实现隧道运营数据的实时采集和分析,并基于数据模型进行预测和优化。

## 4 结语

综上所述,智慧隧道是借助于先进的智能化设备收集、整理人员与施工设备的工作数据,对即将发生的安全事故进行及时高效的预警,进而从源头上降低安全事故发生的风险,保障人员的生命安全。

### 参考文献:

- [1] 胡瑕,张明正,施永泉,等.基于大数据的公路隧道养护决策[J].土木工程信息技术,2016(1):48-52.
- [2] 胡振中,彭阳,田佩龙.基于BIM的运维管理研究与应用综述[J].2015(5):802-810.
- [3] 戴剑军,彭巍,傅达,等.ETC门架智慧运维关键技术及应用[J].湖南交通科技,2020,46(2):124-128.
- [4] 曾磊,王少飞,何旭春,等.智慧型公路隧道的概念、架构及其关键技术[J].现代隧道技术,2016,53(4):1.
- [5] GB 50116—2013,火灾自动报警系统设计规范[S].
- [6] 交通运输部.高速公路监控技术要求[M].北京:人民交通出版社,2012.