

雅康高速二郎山隧道多功能交通转换带设计与分析

郑建国¹, 黄兵², 林国进¹, 陈行^{1*}, 周仁强¹

(1. 四川省公路规划勘察设计研究院有限公司, 四川 成都 610041; 2. 四川雅康高速公路有限责任公司)

摘要:超过 10 km 以上的特长公路隧道及隧道群越来越多,运营防灾救援及隧道内长时间行车安全及舒适度问题日益突出。为解决超特长隧道的运营安全及救援问题,四川省雅(安)一康(定)高速二郎山隧道提出设置多功能交通转换带,研究多功能交通转换带在运营隧道中的交通流线组织模式,给出扩大断面多功能交通转换带的内轮廓设计参数,提高隧道防灾救援能力;提出景观带与交通转换带相结合的多功能交通转换带结构形式,洞内景观带使用隧道智能动态视觉景观系统,有效缓解司乘人员的视觉疲劳和心理压抑感,实现“长隧短运”,有效提高行车舒适度和安全性。

关键词:公路隧道;多功能交通转换带;设计分析;二郎山隧道;LED 动态视觉系统

随着中国公路建设的快速发展,公路隧道建设在中国交通领域发挥着日益重要的作用。由于中国西部地区地势起伏明显,地形高差较大,建设过程中出现了大量的特长隧道、隧道群。特长隧道内缺少自然光,驾驶人员长时间在单一环境的洞内行驶容易造成视觉疲劳和紧张恐惧等情绪,从而威胁行车安全。同时,由于隧道长度大,当隧道加固维修时的疏导通行成为了超长公路隧道设计的控制性因素。

目前针对特长公路隧道运营过程中加固维修时的交通运营及疏导问题,相关学者做了大量的研究。王维嘉在 13.8 km 的米仓山隧道内每隔约 3.5 km 设置了 3 处交通转换带,缓解了隧道实际运营过程中加固维修时的交通通行压力;刘克响等对宝鼎 2 号隧道的交通转换带设置情况进行了分析,提出了保证隧道运营通行时交通转换带间距的设计建议;安永林等针对雪峰山特长公路隧道横通道间距和车行间距进行了分析,得到了横通道的经济间距;张楠等对公路隧道横通道与主洞交接部分提出了横通道与主洞间交叉处设计建议;曹校勇等得到了超高海拔地区特长公路隧道交通运营时满足疏导的横通道间距。

由以上分析可知:目前在特长公路隧道内交通疏导方面的研究主要集中在设置车人行横通道和交通转换带方面,但未充分将隧道内景观带和交通转换带相

结合,未对交通转换带的交通流线组织模式进行详细的分析。该文以雅康高速二郎山隧道为工程实例,提出隧道景观带与交通转换带相结合的多功能交通转换带结构布设形式,分析多功能交通转换带在二郎山隧道工程维修状态下的实际交通流线组织模式,给出扩大断面多功能交通转换带的内轮廓设计参数,为特长隧道的多功能交通转换带设计及施工提供参考。

1 工程概况

雅康高速二郎山隧道长 13.4 km,是雅康高速公路控制性工程之一,被誉为“川藏第一隧”。二郎山是青衣江与大渡河的分水岭,隧道最大埋深超过 1 500 m,为深切高山峡谷区;二郎山两端气候差异非常明显,是著名的“川西雨屏”。

隧道位于龙门山断裂、鲜水河断裂和川滇断裂 3 条活动性断裂组成的“Y”字形构造体系交汇部位,隧道穿越 12 条断裂、11 套地层、12 种岩性,为“高地震烈度、高地应力、高压涌突水”隧道。隧道下穿世界自然遗产——大熊猫栖息地保护区南缘,环保要求高。

二郎山隧道轴线充分考虑隧址区工程地质与水文地质条件、两端接线及工程造价等因素,二郎山隧道洞身左右测量线间距为 40 m 左右,纵坡设置为人字坡,

收稿日期:2021-04-25(修改稿)

基金项目:国家自然科学基金区域创新发展联合基金资助项目(编号:E0905)

作者简介:郑建国,男,硕士,高级工程师.E-mail:65224545@qq.com

* 通信作者:陈行,男,硕士,工程师.E-mail:chenhangssd@163.com

坡度为+2%/-0.5%。洞身平面设置大半径S曲线,曲线半径分别为8 020、7 980 m。

二郎山隧道通风采用三区段送排式通风,通风分段长度为3 680+5 320+4 406 m;雅安端为无轨运输斜井,采用地面风机房,斜井内设置中隔板,送排风共用

一个斜井,右线斜井为2 246 m/+12.96%,左线斜井为2 305 m/+12.49%;康定端为无轨运输斜井,采用地下风机房,左右线送风及排风各一个风井,送风斜井为1 716 m/+10.56%,排风斜井为1 734 m/+11.09%。

二郎山隧道整体平纵布置图见图1。

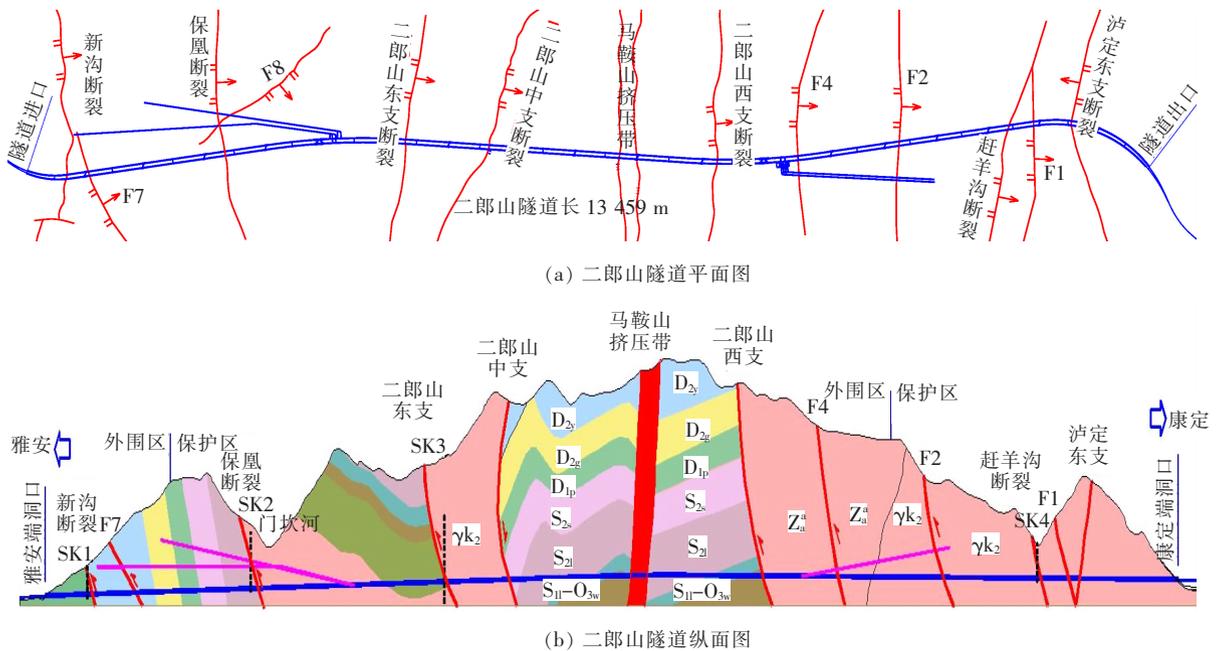


图1 二郎山隧道整体平纵布置图

2 隧道多功能交通转换带布设形式

隧道多功能交通转换带纵向长120 m,包括左右洞之间的联络道和主洞隧道,平面布置见图2(a)。

雅康高速二郎山隧道为中国第一条建成的含多功能交通转换带的公路隧道。为提高左右洞交通转换能力,实现左右洞之间无障碍“互转”、“互通”,多功能交通转换带布设为“八”字形。考虑12 m长载重汽车和消防车交通转换,根据JTG H30—2015《公路养护安全作业规程》和JTG D20—2017《公路路线设计规范》,左右洞联络道按四级公路标准,设计速度为20 km/h,车道宽度3.0 m,圆曲线最小半径30 m,联络道路面需加宽2.0 m。根据行车轨迹线,主洞和联络道之间夹角设置为55°,联络道断面采用两车道断面(与主洞正常段断面一致),可保证12 m长汽车顺畅通行,且对对向正常行驶车辆影响较小,联络道建筑限界为10.25 m×5.0 m,内轮廓尺寸见图2(b)。

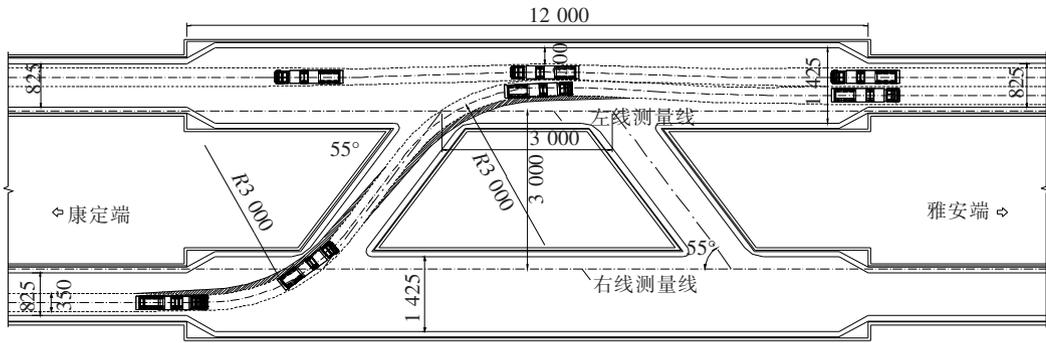
利用主洞隧道打造洞内景观系统,考虑景观效果及车辆转向需要,该段主洞设置为四车道大断面隧道,

即在正常主洞断面的基础上左、右侧各加宽3.5 m,建筑限界为16.0 m×5.0 m,内轮廓尺寸见图2(c),外侧加宽带可兼作紧急停车带,长度为120 m。

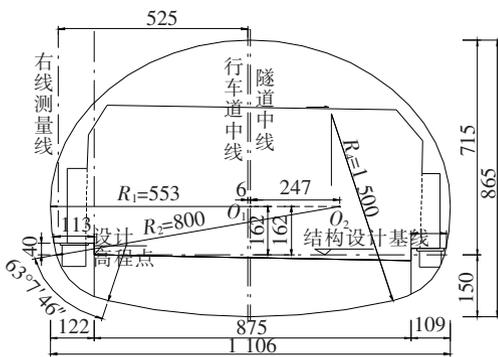
3 洞内景观带

针对隧道洞内景观带设置,JTG D70/2—2014《公路隧道设计规范》中提出“应积极而慎重地采用”,JTG/T D70/2—01—2014《公路隧道照明设计细则》中提出“应积极而稳妥地采用”。隧道洞内景观带的适当设置,可有效减小司乘人员长时间在洞内单一环境条件行驶情况下形成的紧张情绪及视觉疲劳。雅康高速二郎山隧道洞内景观带利用交通转换带进行布设,参考公路景观设计中景观带长度设置参考的“555”原则,将其布设在交通转换带主洞结构顶部,将整座隧道分为3大段,3段长度为(3 486+5 250+4 670) m。

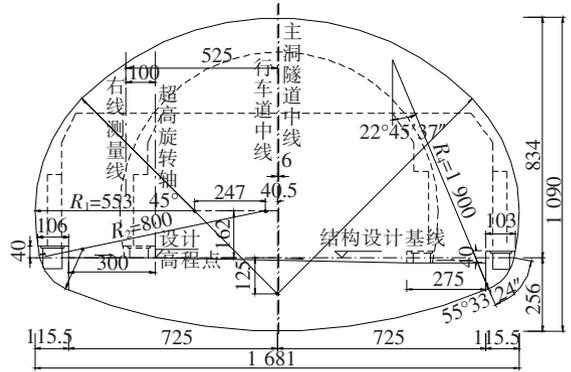
利用多功能交通转换带四车道大断面主洞结构,设置洞内景观带。洞内景观带首次采用LED动态视觉新系统打造洞内景观。LED灯带采用1 W的RGB全彩LED点光源,DMX512控制接口,接线简单方



(a) 多功能交通转换带平面布置图



(b) 联络道内轮廓



(c) 主洞景观带内轮廓

图 2 多功能交通转换带结构布置图(单位:cm)

便,光线柔和,变化丰富。控制系统采用多个同步变化,既可实现单色变化也可实现同步全彩变化效果。用多个点光源组成点阵屏,能变化出各种图画、文字和动画演示效果,光源显色性达到 90% 以上,可通过手机 APP 软件、路网监控中心、单隧道控制器等远程监控控制系统将需要显示的图案清晰完美地呈现在隧道洞顶,且呈“动态”视觉效果。

根据泸定红色文化及二郎山自然风景,结合全路段景观打造需要,隧道洞内景观图案确定为“五星红旗”、“蓝天白云”、“枫叶”等图案,体现当地的人文和自然。为确保景观图案生动逼真及动态的视觉效果,景观带共布设了 4.3 万个 LED 点光源,从而形成“飘扬的五星红旗”、“飘逸的蓝天白云”、“摇曳的枫叶”等动态图案,图案可根据需要调整。

景观带长 120 m,按照行车速度 80 km/h 计算,行驶车辆通过景观带时间约为 5.4 s,能有效缓解司乘人

员在隧道内的视觉疲劳和心理压抑感,提高行车舒适度和安全性。

4 多功能交通转换带布设间距分析

雅康高速二郎山隧道多功能交通转换带为创新型设计应用,多功能交通转换带布设间距在最新的公路隧道设计规范及相关规范中并没有详细的规定,在特长公路隧道中的布设间距尚在进一步的研究中。目前设计中关于多功能交通转换带布设间距主要考虑车行横通道布设间距和特殊情况下的交通疏散等方面进行综合比较选取。考虑隧道分段的需要,在特长隧道设计中,通常将多功能交通转换带的布置以 3~5 km 分段划分,同时再根据实际隧道地形地质条件进行局部调整。目前已建成公路隧道工程交通转换带布置个数及间距统计结果见表 1。

表 1 已建成公路隧道交通转换带统计

隧道名称	隧道长度/m	设计速度/($\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$)	交通转换带间距/m	建成时间/(年·月)
雅康高速二郎山隧道	13 406	80	3 486+5 250+4 670	2017.09
汶马高速鹫鹑山隧道	8 766	80	4 650+4 116	2018.02

续表 1

隧道名称	隧道长度/m	设计速度/($\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$)	交通转换带间距/m	建成时间/(年·月)
桃巴高速公路米仓山隧道	13 792	80	3 326+3 460+3 380+3 626	2018.08
攀大高速宝鼎 2 号隧道	8 775	80	2 处,均分成 3 段	2019.12
汶马高速新狮子坪隧道	13 988	80	4 173+5 369+4 446	2020.12

桃巴高速公路米仓山隧道左洞长 13 845 m,右洞长 13 857 m,为特长隧道,设计速度为 80 km/h,为双向四车道隧道,左右行分离双洞布设。隧道内设置 3 处多功能交通转换带,多功能交通转换带间距约 3.5 km,将隧道分成 4 段。多功能交通转换带长 120 m,行车道左侧和右侧各加宽 3.5 m。

攀大高速公路宝鼎 2 号隧道左洞长 8 775 m,右洞长 8 762 m,为特长隧道,设计速度为 80 km/h,双向四车道隧道。分别在距洞口 1/3 处设置多功能交通转换带,共设置 2 处,间距约为 3 km。

丁光明研究了司乘人员在公路长隧道和特长隧道进口段、中间行驶段和出口段的相关生理和心理参数指标的变化以及操纵行为特征。其试验数据表明司乘人员在昏暗、单一环境的隧道内行驶时间约 3 min 时,司乘人员的平均注视时间和反应时间增加,长时间保持此状态容易造成疲劳驾驶。根据上述研究结果,特长隧道内多功能交通转换带间距宜设置为 3~5 km。

雅康高速二郎山隧道设置 2 处四车道大断面洞内景观带及交通转换通道,将整座隧道分为 3 大段,3 段长度为 3 486+5 250+4 670 m(左右线合计 6 段),从而提高隧道防灾救援能力。

5 多功能交通转换带的应用

当洞内某段进行维修或发生交通事故后,洞内正常交通和应急救援交通通过车行横通道进行交通转换,由于车行横通道断面较小(一个车道),交通通行能力小。为提高交通转换通行能力,雅康高速二郎山隧道设置 2 个扩大断面的多功能交通转换带,多功能交通转换带把特长隧道划分为相对较短的隧道,方便特殊情况下隧道内的交通疏导。

图 3 为雅康高速二郎山隧道设置的多功能交通转换带在维修状态下的交通流线组织示意图,以右线为例。图 3(a)为右洞 A 段维修时,右行车辆在 A 段行驶占用左洞隧道,左行和右行车辆在 A 段内左洞双向

行驶。右行车辆通过 1 号多功能交通转换带的 2 号联络通道,进入右洞 B 段后改为正常行驶。左行车辆在左洞 B 段及 C 段内均正常行驶。图 3(b)为右洞 B 段维修时,右行车辆在 A 段正常行驶,经过 1 号多功能交通转换带的 1 号联络通道后进入左洞隧道。左行和右行车辆在左洞 B 段内双向通行。其后,右行车辆经过 2 号多功能交通转换带的 4 号联络通道进入右洞,恢复正常行驶。左行车辆在左洞 A 段及 C 段内均正常行驶。图 3(c)为右洞 C 段维修时,右行车辆在 A 段和 B 段内均正常行驶,经过 2 号多功能交通转换带的 3 号联络通道后进入左洞隧道。左行和右行车辆在左洞 C 段内双向通行。左行车辆在左洞 A 段及 B 段内均正常行驶。图 3(d)为右洞全段封闭维修时,左行和右行车辆在左洞隧道内均按双向行驶,在封闭维修右洞的同时能够保证左行和右行车辆的通行。

综上所述:当雅康高速二郎山隧道右洞的 A 段、B 段及 C 段的任一处实行保养或封闭维修时,右行车辆通过 1 号和 2 号多功能交通转换带的联络通道形成了顺畅的交通流线组织,能够有效保证该隧道在保养或封闭维修时的左行及右行车辆的通行能力。

6 结论

隧道景观带与多功能交通转换带是公路隧道中的新型辅助结构,雅康高速二郎山隧道为首个建成的含有多功能交通转换带结构的公路隧道。以雅康高速二郎山隧道工程为背景,分析了二郎山隧道景观带与多功能交通转换带的布设形式、布设间距及交通流线组织,得到以下主要结论:

(1) 特长隧道内设置多功能交通转换带的间距宜为 3~5 km,在实际工程中可根据隧道的实际长度、地质情况、通风需求等情况进行灵活布设。

(2) 多功能交通转换带能有效缩短隧道封闭段距离,同时在多功能交通转换带右侧加宽车道能兼做停车带,不仅能满足紧急情况下的停车需要,而且能极大

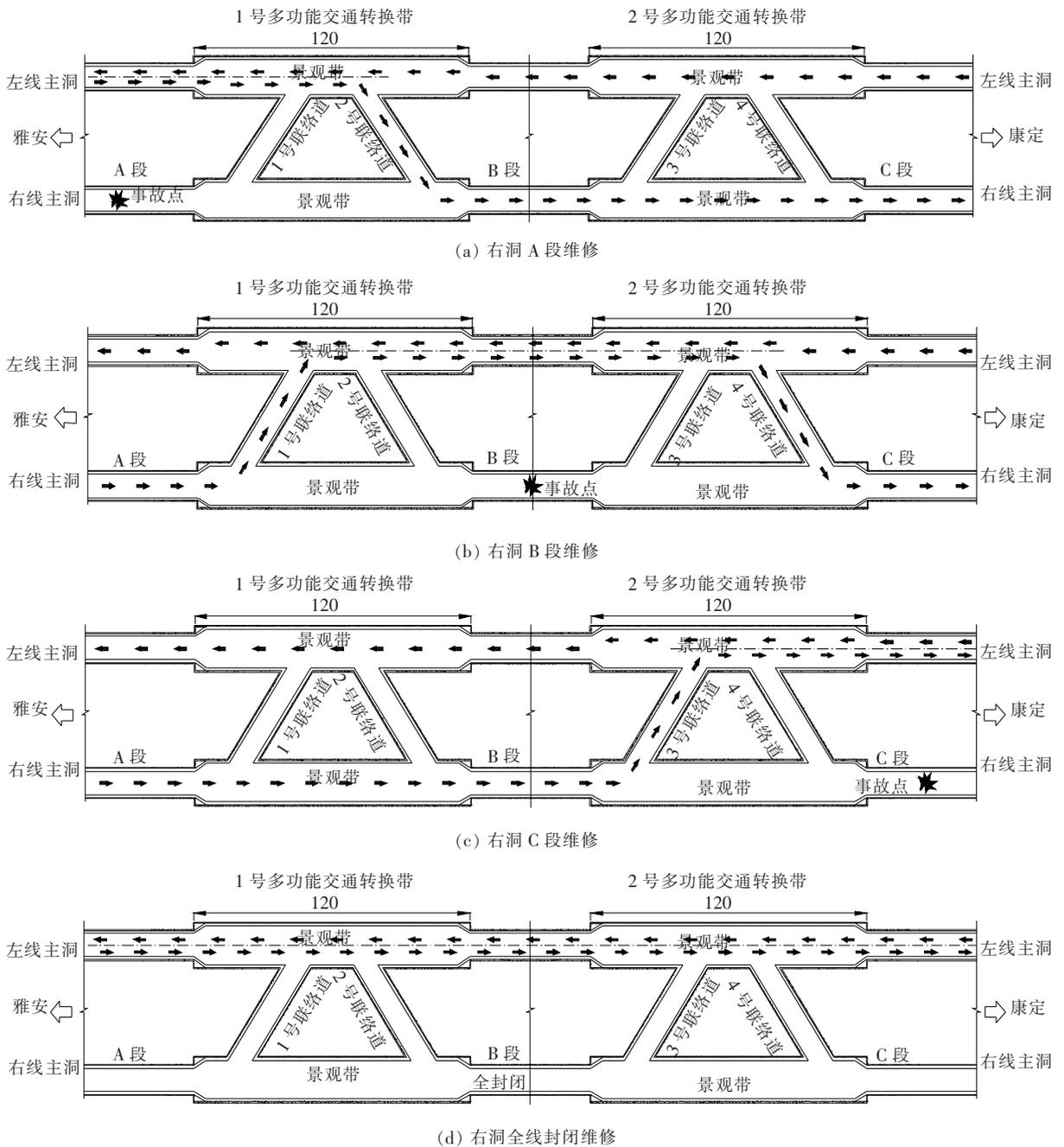


图3 多功能交通转换带交通流线组织示意图(单位:m)

地缓解超长隧道在维修养护期间的交通组织压力,便于维修和运营管理。

(3) 隧道内将景观带与多功能交通带相结合,实现“长隧短运”,可有效缓解司乘人员的视觉疲劳和心理压抑感,提高行车舒适度和安全性。

参考文献:

- [1] 朱长安,王明年,李玉文,等.复杂艰险山区公路隧道运营安全风险归类及特征分析[J].公路,2021(1).
- [2] 王维嘉.特长隧道多功能服务带交叉口结构安全分析

[J].西南公路,2014(2).

- [3] 刘克响,林晨,陈浩,等.特长隧道景观带与交通转换带联合设计与研究[J].公路,2019(6).
- [4] 安永林,彭立敏,杨高尚.特长公路隧道内的横通道间距和车行间距研究[J].灾害学,2007(2).
- [5] 张楠,严松宏,刘子阳.高烈度区公路隧道横通道地震响应分析[J].世界地震工程,2019(3).
- [6] 曹校勇,叶欣欣.超高海拔特长公路隧道横通道间距设置研究[J].公路,2019(10).
- [7] JTG H30—2015 公路养护安全作业规程[S].
- [8] JTG D20—2017 公路路线设计规范[S].