

# 景区旅游轨道交通隧道设计特点分析

贺晓铭<sup>1</sup>,张振龙<sup>2</sup>,闫正冶<sup>1</sup>,周重阳<sup>1</sup>,王刘振<sup>1</sup>

(1.河南省交通规划设计研究院股份有限公司,河南 郑州 400045;

2.贝卡尔特应用材料科技(上海)有限公司,上海 200000)

**摘要:**受景点衔接情况、景区地形特点的制约,景区旅游轨道交通隧道工程设计呈现差异化特点。依托某景区旅游轨道交通项目,通过对轨道交通系统制式多指标分析,明确大纵坡隧道轨道制式选型。采用有限元软件对隧道洞口进行落石模拟计算,对落石轨迹、分布范围、冲击能力进行分析,探讨了隧道运输组织方案、洞口防护设计和洞口景观设计的思路。

**关键词:**景区旅游轨道交通;景区地形特点;景点衔接情况;轨道制式;运输组织方案;落石防护;洞口防护;洞口景观设计

中图分类号:U239.8

文献标识码:A

doi:10.13681/j.cnki.cn41-1282/tv.2023.04.007

## 0 引言

近年来景区与景区、景区与城市旅游客运站点之间的交通拥堵和客运服务供需问题日显突出<sup>[1]</sup>。比较缆车、公路、轨道交通这 3 种客运方式<sup>[2]</sup>,旅游轨道交通系统具有运客量大、占地少、能耗低、环境友好等优势。因此,一些学者对旅游轨道交通进行研究。李强从空间结构、功能结构、旅游扶贫 3 个方面着手,对太行山大峡谷旅游轨道交通进行规划<sup>[3]</sup>。韩亚品等通过分析旅游交通出行链,结合客流特征和工程实施条件,提出 4 种轨道交通规划形式<sup>[4]</sup>。沈增涛以普陀山智轨为例,从景区规划、客流需求、交通资源利用等方面论述了智轨系统<sup>[5]</sup>。沈健对齿轨制式设备关键技术进行分析,就我国山地齿轨旅游交通系统的研究方向提出一些建议<sup>[6]</sup>。目前,对景区旅游轨道交通的研究主要集中于路网规划、路线选线、轨道交通制式等方面,对旅游轨道交通沿线隧道工程

设计方面研究较少。笔者试依托某景区旅游轨道交通项目,从大纵坡轨道制式选型、隧道运输施工组织设计、洞口防护设计、隧道洞口景观设计 4 个方面对景区轨道交通隧道工程进行设计,以期供类似工程参考。

## 1 隧道工程概况

### 1.1 工程线路

项目线路自七星山下高鹰寺(海拔 340 m)引出,经高鹰寺水塘西北侧沿沟谷而上,展线以隧道穿越陡壁后,以明线沿沟谷迂回爬升,后以隧道穿越龙阳台山折向东南至五道梯站,车站设于桥上,东倚长帽山垭口,西望波落峪沟谷,出站后,线路展线经长帽山于七星山东部崖壁下穿越望乡台,至螃蟹溪上游约 700 m 设七星山站(海拔 1 370 m)。线路正线长 8.705 km,正线运营里程 7.97 km,隧道 4.221 km/7 座(具体如表 1 所示),隧线比接近 53%。考虑到本

表 1 隧道一览表

Tab.1 List of tunnels

隧道名称	起讫桩号	长度/m	最大纵坡/%
高鹰寺隧道	DK2+236~DK2+904	668	24.0
龙阳台一号隧道	DK3+699~DK3+816	117	10.0
龙阳台二号隧道	DK3+895~DK4+279	384	17.0
五道梯一号隧道	DK4+510~DK5+597	1 087	11.9
五道梯二号隧道	DK5+676~DK6+292	616	17.5
茅碧何隧道	DK6+441~DK6+904	463	16.0
望乡台隧道	DK7+029~DK7+915	886	25.0

收稿日期:2023-05-06

作者简介:贺晓铭(1993—),男,河南禹州人,工程师,硕士,主要从事隧道工程设计工作。

项目的旅游属性和桥站施工难度,五道梯观景车站设置在五道梯一号隧道内(DK5+320~DK5+445段落),距外面崖壁约30~60 m,特增设3个横通道,分别位于DK5+340、DK5+380、DK5+420处,观景车站范围隧道单侧进行加宽,增设站台,人员通过横通道进入悬崖峭壁外的栈道。

## 1.2 地形地貌

线路行走于武陵山脉的构造侵蚀溶蚀中低山区,地形起伏较大,地面高程在540~1386 m之间,相对高差为400~850 m。山上植被茂密,多以乔木为主,山坡上陡崖密布,交通不便。

## 1.3 工程地质特征

### 1.3.1 地层岩性

隧址沿线地层主要为第四系全新统粉质黏土、细角砾土、块石土,基岩为寒武系下统清虚洞组灰岩夹页岩、中统敖溪组白云岩夹页岩夹灰岩、中统花桥组灰岩、上统车夫组灰岩夹白云岩等。

(1)第四系全新统。粉质黏土( $Q_4^{al}$ )主要分布于斜坡地带表层,厚约0~3 m,呈淡黄色、棕黄色,土质不均,夹有碎石、角砾等,硬塑-坚硬,属Ⅱ级普通土, $\sigma_0=120\sim 150$  kPa。细角砾土( $Q_4^{dl6}$ )分布在斜坡地带,厚约0~4 m,杂色为主,碎石成分以页岩、灰岩为主,中密,潮湿,属Ⅱ级普通土, $\sigma_0=350$  kPa。块石土( $Q_4^{dl8}$ )一般分布于陡崖下方,厚约0~3 m,呈灰白色、灰褐色,成分以灰岩、沙岩为主,中密,潮湿-饱和,属Ⅳ级软石, $\sigma_0=600$  kPa。

(2)寒武系下统( $\epsilon_1$ )。清虚洞组灰岩夹页岩( $\epsilon_{1q}^{Ls+Sh}$ )呈深灰-灰绿色,钙质、泥质胶结,薄层状构造。强风化层厚2~4 m,属Ⅳ级软石,以Ⅴ级围岩为主, $\sigma_0=500$  kPa。弱风化层属Ⅴ级次坚石,以Ⅲ、Ⅳ级围岩为主, $\sigma_0=800$  kPa。

(3)寒武系中统( $\epsilon_2$ )。敖溪组白云岩夹页岩夹灰岩( $\epsilon_{2a}^{Dms+Ls+Sh}$ )呈青灰-深灰色,结晶粒状结构、泥质结构,薄层状构造,下部为深灰至黑色薄层白云质页岩及泥灰岩,岩体较破碎。强风化层厚2~4 m,属Ⅳ级软石,以Ⅴ级围岩为主, $\sigma_0=400$  kPa。弱风化层属Ⅴ级次坚石,以Ⅲ、Ⅳ级围岩为主, $\sigma_0=800$  kPa。岩溶弱-中等发育。花桥组灰岩( $\epsilon_{2b}^{Ls}$ )呈深灰色,由薄层致密灰岩及泥质微层灰岩、白云质灰岩组成,结晶粒状结构,薄层状构造,岩体较破碎。强风化层厚2~3 m,属Ⅳ级软石,以Ⅴ级围岩为主, $\sigma_0=400$  kPa。弱风化层,属Ⅴ级次坚石,以Ⅲ、Ⅳ级围岩为主, $\sigma_0=800$  kPa。岩溶中等-强烈发育。

(4)寒武系上统( $\epsilon_3$ )。车夫组灰岩夹白云岩( $\epsilon_{3c}^{Ls+Dm}$ )呈深灰色,由薄层致密灰岩、具微层理的薄

层灰岩、泥质条带灰岩组成,夹少量微层白云岩,致密块状、结晶粒状结构,厚层状构造,岩体较破碎-较完整,强风化层厚2~3 m,属Ⅳ级软石,以Ⅳ级围岩为主, $\sigma_0=500$  kPa。弱风化层属Ⅴ级次坚石,以Ⅲ级围岩为主, $\sigma_0=1200$  kPa。岩溶中等-强烈发育。

### 1.3.2 地质构造

线路所经区域构造体系主要隶属华夏和新华夏构造体系。在大地构造单元上隶属扬子地台。线路经过区域位于天门山-黄洞向斜北西翼上。区域断裂构造不发育。

## 1.4 水文地质特征

沿线地表水主要为常年流水,受大气降水、基岩裂隙水及暗河水补给。地下水类型以第四系松散层孔隙水、碳酸盐岩溶水等为主,补给来源依靠大气降水及地表下渗。

## 1.5 不良地质

沿线峡谷、孤峰陡壁地段,坡陡谷深、构造复杂、X型构造节理发育,以垂直节理为主,由切割破碎的灰岩、白云岩组成的峡谷河段或陡峻山坡地带分布有危岩体,在降雨后或受到强烈震动时,极易发生崩塌、落石,并在坡脚及缓坡地带形成岩堆。

## 2 隧道设计特点分析

与城市轨道交通相比,旅游轨道交通在功能定位、系统制式、规划选线等方面均有所不同<sup>[7]</sup>。虽然我国在轨道交通建设方面积累了丰富的经验,但由于旅游线路通常经过景色奇特、山岭陡峻地区,故旅游轨道交通的隧道工程在轨道制式、运输施工组织方式、洞口防护设计、洞口景观设计等方面呈现迥然不同的风貌,形成差异化的特点。

### 2.1 轨道制式

国内外常用的轨道制式有悬挂式空轨、轻轨、缆索铁路、齿轨铁路等,不同制式轨道交通的路线线性、爬坡能力、建设成本、运行速度、运载能力均有不同,应因地制宜选择轨道制式。常用轨道交通的特点如表2和表3所示<sup>[8]</sup>。

由表2、表3可知,齿轨铁路和缆索铁路可适应大坡度地形,其最大适应坡度分别是常规轮轨坡度的16倍、9倍,能很好地适应山区线性的需要。从路线指标分析,缆索铁路攀斜能力优于齿轨铁路,但齿轨铁路路线指标适应力更强。从车辆运输能力分析,齿轨铁路至少是缆索铁路的4.3倍。结合本项目旅游景区路线指标、客流规划、工程造价等因素,采用齿轨铁路作为大纵坡隧道轨道交通运输制式。

### 2.2 隧道运输组织方案

望乡台隧道最大纵坡为25%,且隧道高程相对

表 2 各种轨道交通基本参数

Tab.2 Basic parameters of various rail transit

牵引方式	最大坡度/%	最大速度/(km/h)	质量/t	车长/m	最小半径/m
齿轨铁路	48	11	48	20	120
缆索铁路	27	10	-	-	100
轻轨	3	100	56	20	350
跨座式单轨	6	80	-	16	50
中低速磁悬浮	7	120	28	14	70
悬挂式空轨	10	50	14	9.2	50

注:质量、车长为单节列车指标。

表 3 各种轨道交通指标

Tab.3 Indicators of various rail transit

牵引方式	运载能力/(万人/h)	造价/(亿元/km)
齿轨铁路	0.6~1.5	0.7~1.5
缆索铁路	0.14	0.4~0.9
轻轨	0.6~1.5	0.8~1.5
跨座式单轨	1~3	2.5~3
中低速磁悬浮	0.4~1.1	0.8~1.5
悬挂式空轨	0.6~1.5	1~2

较高,常规自卸车难以满足隧道施工运输需求,施工物料和出渣运输问题突出。水利工程大体积混凝土运输常采用溜槽系统,如江垭大坝采用自卸汽车+深槽皮带+负压溜槽系统,浩口水电站重力坝采用负压溜槽系统+自卸车。货运架空索道是一种为满足复杂地形运输施工而架设的简易物料运输系统,常应用在输电线路工程中,如向家坝—上海±800kV 直流输电线路鄂湘标段、康崇线 500kV 输电线路工程等。溜槽具有造价简单、结实耐用的优点,货运索道具有临时性、简易性、便于拆装的优点。经过工程类比分析,望乡台隧道采用高洞口反坡溜槽+货运索道+自卸车运输组织方案。

### 2.3 隧道洞口防护设计

景区自然景观独特,山峰耸立,易存在“U”形、“V”形巨型沟壑,危岩落石严重影响桥隧相接段的

安全。茅碧何隧道出口和望乡台隧道进口洞门上方分别高达 158 m、290 m,中间设置为景观桥梁,桥梁长 130 m。为了确保洞口安全,运用 RocFall 软件对茅碧何隧道(6 号隧道)出口、望乡台隧道(7 号隧道)进口进行落石模拟计算分析<sup>[9]</sup>。假定落石体积为 0.3 m<sup>3</sup>,质量为 690 kg,落石的水平方向初速度为 0.1 m/s (落石模拟参数见表 4)。6 号隧道出口落石轨迹、落石位置分布、落石冲击能量曲线见图 1~图 3,7 号隧道进口落石轨迹、落石位置分布、落石冲击能量曲线如图 4~图 6 所示。

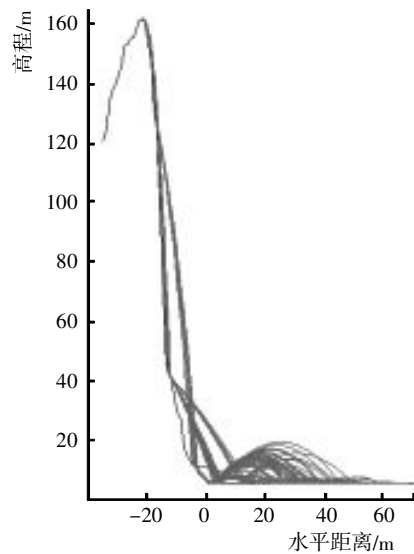


图 1 6 号隧道出口落石轨迹

Fig.1 Rockfall trajectory of No.6 tunnel exit

表 4 落石模拟参数

Tab.4 Simulation parameters of rockfall

法向回弹系数 $R_n$		切向回弹系数 $R_t$		摩擦系数 $P_{fi}$		边坡粗糙度(标准差)
平均值	标准差	平均值	标准差	平均值	标准差	
0.35	0.04	0.85	0.04	30	2	0

由图 1 和图 4 可知,落石的运动主要有滑动、滚动、坠落以及弹跳 4 种形式,而其运动过程往往是多种运动形式的组合。6 号隧道出口因山壁直立,落石空中轨迹似“自由落体运动”,7 号隧道进口因山顶

平台碰撞,落石空中轨迹似“抛物线运动”,这说明山体形态严重影响落石运动轨迹。落石坠落地面后,不仅与地面发生碰撞,还在弹跳中相互碰撞,最终因势能消耗、自重作用导致其随机分布在沟壑之间。

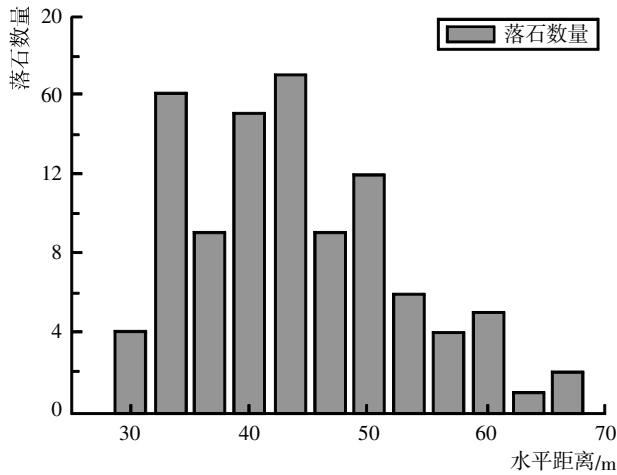


图2 6号隧道出口落石位置分布

Fig.2 Rockfall location distribution of No.6 tunnel exit

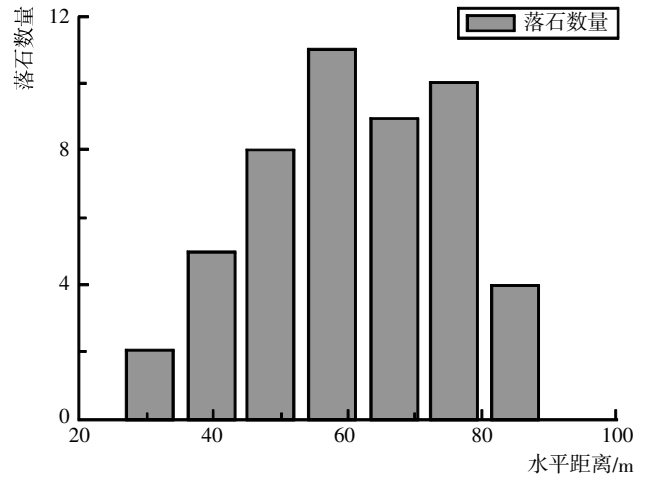


图5 7号隧道进口落石位置分布

Fig.5 Rockfall location distribution of No.7 tunnel entrance

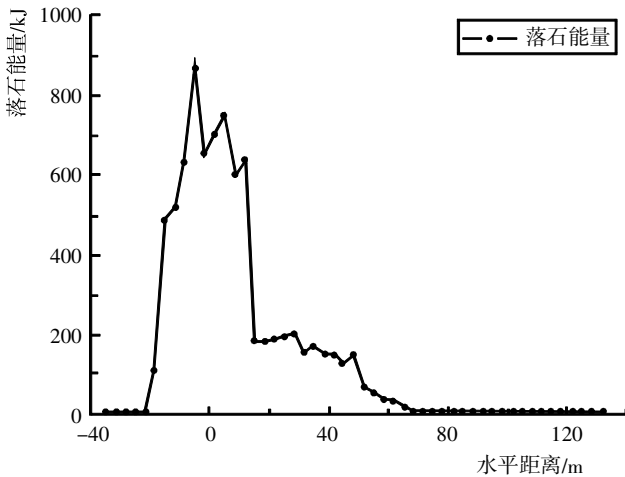


图3 6号隧道出口落石冲击能量曲线

Fig.3 Rockfall impact energy curves of No.6 tunnel exit

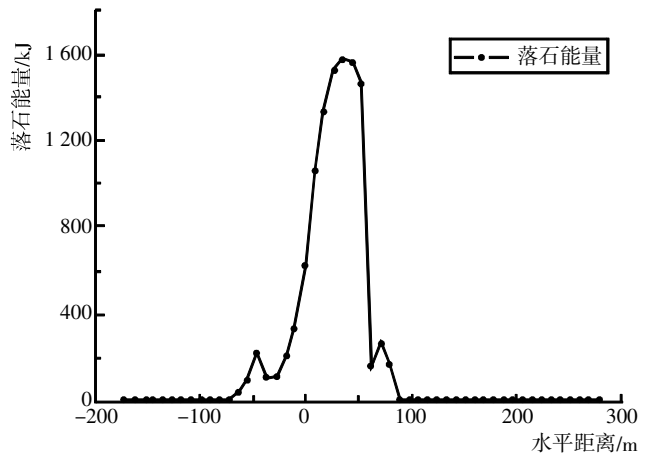


图6 7号隧道进口落石冲击能量曲线

Fig.6 Rockfall impact energy curves of No.7 tunnel entrance

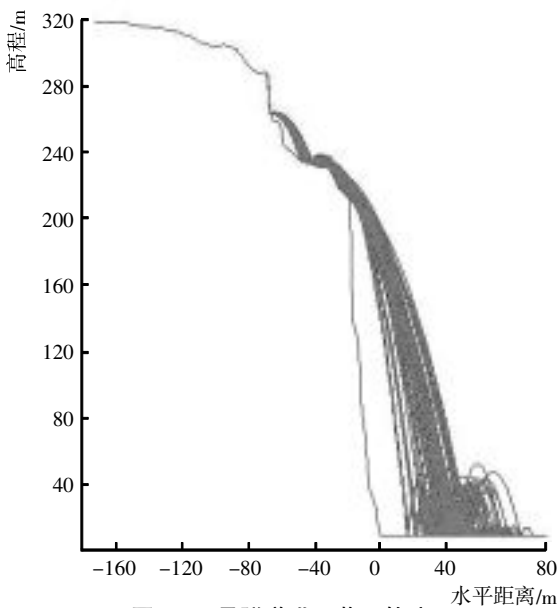


图4 7号隧道进口落石轨迹

Fig.4 Rockfall trajectory of No.7 tunnel entrance

由图2和图5可知,落石分布位置会随山体高度的增加呈现集聚位置远、范围大的规律。6号隧道出口落石位置分布范围为洞外30~70m,纵向长度为40m;7号隧道进口落石位置分布范围为洞外30~100m,纵向长度为70m。依据落石数量分布位置,桥梁中部靠小里程部位桥面承受落石破坏最严重。

由图3和图6可得,落石能量呈“几”形分布特征,随距落石冲击点水平距离的增加而降低。在崩塌落石工况下,景观桥全线会遭受落石冲击荷载的破坏,从而威胁景区轨道交通运营安全。

依据落石轨迹模拟分析,本项目隧道洞口危岩落石防护设计采用主、被动防护网相结合的方案,景观桥梁的建设采用柔性钢棚洞方案,从源头加固岩体,减少危岩崩塌,缓冲落石冲击力。

#### 2.4 隧道洞口景观设计

隧道洞口景观设计是集园林艺术、建筑艺术、防

护技术及工程建设为一体的综合性建筑工程艺术,它主要由自然景观设计、人文景观设计及工程结构物景观设计3部分组成。景区轨道交通的隧道与公路、铁路隧道相比,具有得天独厚的自然景观和人文景观,所以应有效提升隧道洞口景观的文化品位,同时应突出隧道洞口的人文景观设计,加强游客在观光过程中的心理印象,以达到宣传景区旅游文化品牌的目的。

本项目隧道洞口景观设计按照层次要素法设计,即“点”的要素、“面”的要素、“线”的要素。“点”的要素指隧道洞门的设计,“面”的要素指周围环境设计,“线”的要素指全线的风格设计。总结隧道洞口主要的景观要素指标,可将其分为直接景观要素、间接景观要素和相关景观要素,具体如图7所示。

本项目隧道洞口景观设计遵循安全性原则、生态

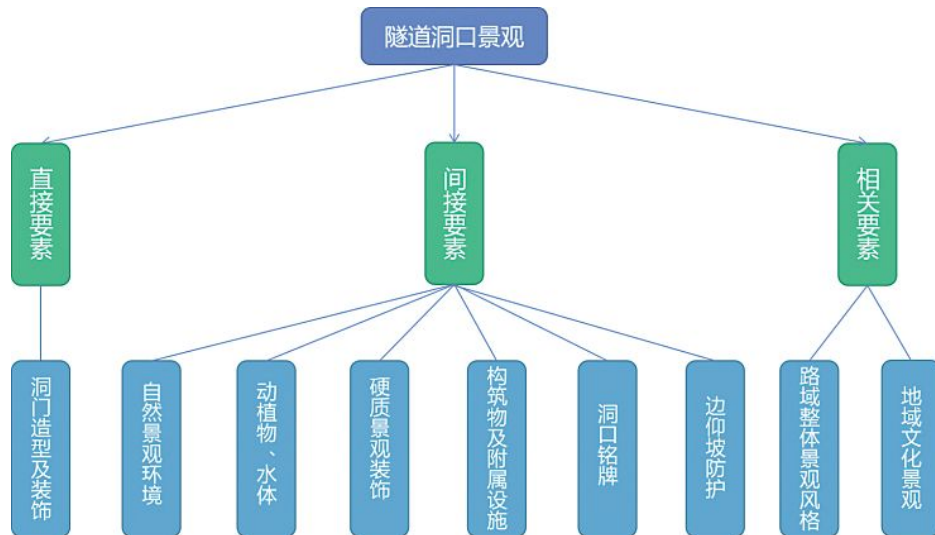


图7 隧道洞口景观要素分类

Fig.7 Classification of tunnel portal landscape elements

设计原则、整体协调性原则、地域性原则、经济性原则。安全性原则强调保障景区轨道交通安全是首要任务。生态设计原则注重洞口景观设计不但要与美学结合,还要求充分考虑生态设计,尽可能保护旅游景区的自然生态环境,确保工程建设与自然环境和諧相处。整体协调性原则要求隧道洞口景观与轨道交通全线景观相统一,与旅游景区自然景观相协调、人文景观相结合。地域性原则要求使隧道洞口景观与地方特色、地域文化等相融合,依据每座隧道洞口自身特点,进行合理布局,实现“生境、画境和意境”的有机结合。经济性原则不仅意味隧道洞口景观建设应兼顾实用性和经济性,还需降低造价和后期绿化管养费用。

### 3 结语

综上所述,大纵坡隧道轨道交通制式宜采用齿轨铁路,既能满足路线爬坡要求,也能满足大客流运量的需求。景区轨道交通隧道工程坡度大、洞口位置场地受局限,常规自卸车方式不能到达隧道洞口位置,宜采用溜槽+货索+自卸车方式。结合隧道洞口落石分析,主体工程“两隧夹一桥”应加强落石防护设计,洞口注重主、被动防护网,桥面采用棚洞防护。景区轨道交通项目所在地具有得天独厚的自然景观资源,隧道工程应进行专项洞口景观设计,使其既是

隧道结构美学的体现,也是对景区地域文化和自然景观宣传的途径。

### 参考文献:

- [1] 王冠.浅析旅游轨道交通发展的现实需求[J].铁道勘察,2017(6):114-118.
- [2] 李曼.旅游景区交通工具最佳配置量计算模型及实证研究[D].南京:南京大学,2014.
- [3] 李强.长治市太行山大峡谷旅游轨道交通布局规划研究[J].铁道运输与经济,2019,41(3):80-84.
- [4] 韩亚品,卢祝清,李三兵.基于旅游交通出行链的旅游轨道交通规划分析[J].铁道标准设计,2019,63(10):27-32.
- [5] 沈增涛.地面轨道交通方式在旅游景区的适用性分析[J].铁道标准设计,2020,64(9):33-37.
- [6] 沈健.山地齿轨旅游交通系统技术及应用研究[J].机械工程与自动化,2020(4):222-224.
- [7] 李艳,徐银光,鄢红英,等.山地旅游轨道交通列车工程设计的特殊性[J].交通世界,2020(21):154-155.
- [8] 崔艳鹭.长治大峡谷旅游轨道交通系统制式选型研究[J].铁道建筑技术,2021(5):55-58.
- [9] 李风增.基于GEO-Slope/W的土质高边坡稳定性分析[J].华北水利水电大学学报(自然科学版),2015,36(5):67-70.

[责任编辑 杨明庆]

## Analysis on Tunnel Design Characteristic of Tourism Rail Transit in Scenic Area

HE Xiaoming<sup>1</sup>, ZHANG Zhenlong<sup>2</sup>, YAN Zhengye<sup>1</sup>, ZHOU Chongyang<sup>1</sup>, WANG Liuzhen<sup>1</sup>

(1.Henan Communications Planning & Design Institute Co.,Ltd., Zhengzhou 450045, Henan, China;

2.Bekaert Applied Materials Technology (Shanghai) Co.,Ltd., Shanghai 200000, China)

**Abstract:** Restricted by the connection and the terrain characteristics of scenic area, the tunnel design of tourist rail transit in scenic area presents different characteristics. Based on a tourist rail transit project in a scenic area, the selection of rail transit system for large longitudinal slope tunnel is clarified through the multi-index analysis of rail transit system. The rockfall at the tunnel portal is simulated by finite element software, the rockfall trajectory, distribution range and impact capacity are analyzed, and the tunnel transportation organization scheme, the tunnel portal protection design and the landscape design are discussed.

**Key Words:** Tourism rail transit in scenic area; terrain characteristics of scenic area; connection of scenic spot; rail system; transportation organization scheme; rockfall protection; tunnel portal protection; tunnel portal landscape design

---

(上接第 10 页)

中的应用[J].浙江水利水电学院学报,2021,33(3):22-30.

[12] 牛亚男.MIKE 11-NAM 耦合模型在小流域洪水模拟

[责任编辑 杨明庆]

## Research and Application of Design Flood Calculation Methods for Small Watersheds

LI Yu

(Shaoguan Hydropower Survey and Design Consulting Co., Ltd, Shaoguan 512000, Guangdong, China)

**Abstract:** It systematically analyzes four commonly used calculation methods of small watershed design flood, such as reasoning formula method, instantaneous unit line method, hydrologic analogy method and regional experience formula method. In the Beijiang river basin of Guangdong province, four methods were used to calculate the design flood of each small basin, the rationality of the results was analyzed, and the differences and applicable conditions of the four methods were compared.

**Key Words:** Small watershed; design flood; reasoning formula method; instantaneous unit line method; regional experience formula method; hydrologic analogy method