

# 邓生沟长大纵坡齿轨隧道防灾疏散救援工程设计技术

张朋宽 熊聪聪 潘朋 徐文蕴

中铁二院工程集团有限责任公司 四川 成都 610031

**摘要:** 针对都江堰至四姑娘山山地轨道交通项目长大纵坡齿轨隧道特点,参考相关规范要求,结合齿轨列车特点,确定了防灾疏散救援模式及相关设施。重点介绍紧急救援站设置间距、排烟风道布置、人员逃生及通风排烟方案,为类似工程提供设计思路。

**关键词:** 长大纵坡;齿轨隧道;防灾疏散救援;通风排烟

引言:为提升山地区域综合交通服务供给能力,推动旅游资源开发,促进区域经济快速发展,四川省发展改革委、省文化和旅游厅于2020年联合印发《四川省山地轨道交通规划(2020—2035年)》,规划山地轨道交通总里程数2350km,建设总投资约2100亿元。山地轨道交通原则上采用“米轨+齿轨”制式,具有占地小、运量大、坡度大、舒适便捷等特点。都江堰至四姑娘山山地轨道交通项目是四川省重点打造的“交通+扶贫+旅游+生态”示范项目,是我国首条山地(齿轨)轨道交通。邓生沟隧道作为该项目唯一一座长大纵坡齿轨隧道,建成后将成为国内外最长的齿轨隧道,其防灾疏散救援工程设计成了该隧道设计的重难点之一。

目前,《铁路隧道防灾疏散救援工程设计规范》(TB 10020-2017)适用于时速 $\geq 80\text{km/h}$ 的高速铁路、城际铁路以及客货共线铁路隧道防灾疏散救援工程设计。邓生沟隧道长达8km,为双洞双线高海拔齿轨隧道,具有纵坡陡、列车运行速度慢、行车密度大、人员洞内行走困难等特点,其火灾工况下的防灾救援模式与传统铁路工程完全不同,国内外缺乏齿轨隧道防灾疏散救援相关研究。

## 1 工程概况

邓生沟隧道左线长7938m,右线长7865m,为双线分修隧道,采用洞口段矿山法+洞身TBM法施工。隧道左线纵坡为67‰/488.7m、120‰/7139.3m及0‰/310m,隧道右线纵坡为67‰/392.86m、120‰/7277.5m及0‰/248.3m。隧道进口接邓生沟2号桥(海拔2800m),出口接巴朗山车站(海拔3700m),最大埋深545m,全隧位于卧龙国家级自然保护区。

## 2 主要技术标准及车辆参数

### 2.1 主要技术标准

项目制式为山地轨道交通,轨距1000mm,最大坡度齿轨120‰,采用第三轨供电,基于无线通信的虚拟移动

闭塞ATC系统控制模式。

### 2.2 车辆参数

车辆编组为4节动车组,共设有5个轮轨转向架+3个齿轨转向架,牵引传动系统控制采用架控方式;列车长度78.144m;车辆最高运行速度(齿轨路段坡度110‰~120‰):上坡30km/h、下坡20km/h;车辆在齿轨路段损失1/3动力时,在120‰坡道上最大可达到的速度为20km/h;车辆着火后,列车继续运行时间15min。

### 2.3 行车密度及间隔

区间最小行车间隔10min。左线隧道为下行方向,为上坡,限速30km/h,隧道内最多存在2列车,列车间距为4631m~4815m;右线隧道为上行方向,为下坡,限速20km/h,隧道内最多存在3列车,列车间距为3278m~3461m。

## 3 设计原则

参考相关规范要求及国内外调研资料、数值计算分析,确定邓生沟隧道防灾疏散救援工程的设计原则:

遵循以人为本、应急有备、方便自救、安全疏散的原则<sup>[1]</sup>。

列车在隧道内发生火灾时,应控制列车驶出隧道进行疏散;当列车不能驶出隧道,应控制列车停靠在紧急救援站进行疏散、救援;隧道设计火灾规模应按同一隧道或隧道群同一时间段内只有一节旅客列车车厢发生火灾确定;并行的两座隧道之间的横通道间距不宜大于500m<sup>[2]</sup>。

### 3.1 紧急救援站距离确定

《铁路隧道防灾疏散救援工程设计规范》规定:长度20km及以上的隧道或隧道群应设置紧急救援站,紧急救援站之间的距离不应大于20km;保守的事故列车的运行速度约为80km/h,时间约为15min,列车发生火灾事故后的残余运行能力为20km。

参考此规范要求,结合车辆参数,列车发生火灾后,齿轨路段动力损失1/3,着火列车在120‰坡道上最大速度

20km/h、残余运行时间15min，着火列车残余运行距离为5km。故长度大于5km的齿轨隧道应设置紧急救援站。

### 3.2 紧急救援站长度

参考规范要求，紧急救援站的长度应为旅客列车编组长度78.144m加一定余量，即90m。

### 3.3 紧急救援站站台设置

单线隧道单侧设置，站台宽度2.4m，站台面高于轨面0.95m。

### 3.4 紧急救援站内横通道

结合救援站必须安全疏散时间、可用安全疏散时间理论计算及仿真模拟，救援站内横通道间距40m，断面净空尺寸4.5m×4.0m（宽×高）。

### 3.5 紧急救援站外横通道

救援站范围以外的横通道间距不大于500m，结合设备洞室布置，横通道断面净空尺寸4.5m×4.0m（宽×高）。

### 3.6 隧道内疏散通道

隧道内设置贯通的疏散通道，疏散通道走行面高于轨面0.95m，靠边墙侧设置安全扶手，扶手距走行面高度为1.0m。

## 4 防灾疏散救援模式

### 4.1 非火灾工况救援模式

当列车发生非火灾事故时，列车立即停车，人员通过两隧道之间设置的横通道疏散至对向隧道，等待救援。

### 4.2 火灾工况救援模式

根据设计原则，当列车在邓生沟隧道内发生火灾时，应控制列车驶出隧道进行疏散；当列车不能驶出隧道，应控制列车停靠在紧急救援站进行疏散和救援。列车司机通过隧道内紧急救援站距离、距前方洞口距离提醒标志精准判断列车驶出隧道或停靠紧急救援站，详见图1。

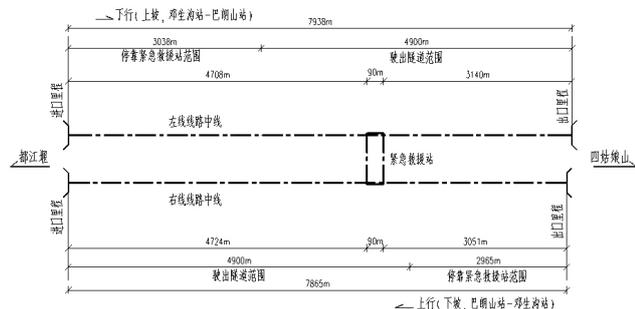


图1 停靠紧急救援站与驶出隧道位置示意图

具体洞内防灾疏散救援模式为：当着火列车停靠在紧急救援站内时，人员由火灾隧道通过紧急救援站内横通道疏散至对向安全隧道等待救援。

## 5 防灾救援疏散

### 5.1 紧急救援站

### 5.1.1 紧急救援站位置

邓生沟隧道长度超过5km，根据本隧防灾疏散救援设计原则，结合列车间隔及着火列车残余运行能力，于靠近隧道出口端设置1座洞身紧急救援站，距离左线进、出口分别为4708m、3140m，距离右线进出口分别为4724m、3051m（见图1）。

### 5.1.2 人员疏散设施

为方便着火列车停靠救援站后人员逃生疏散，于救援站左、右线隧道之间按间距40m设置3处横通道，横通道与正洞相交处设防护门。

### 5.1.3 通风排烟设施。

为改善紧急救援站内的人员疏散环境，实现“人烟分离”，于救援站端部设置长度18m的风机房，救援站范围隧道衬砌拱部设置贯通至风机房的轨顶排烟风道，风道面积7.6m<sup>2</sup>。救援站范围排烟风道底板设置8组排烟风孔（4.5m×1.0m）；风机房范围排烟风道底板设置2组风孔（9.0m×1.0m）。

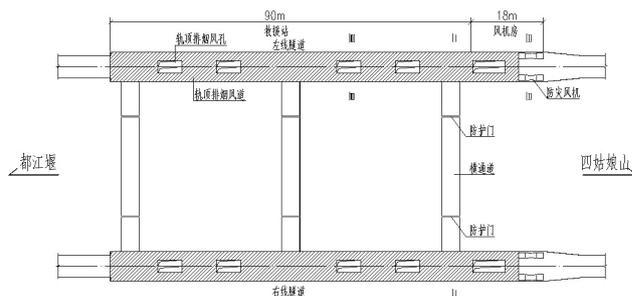


图2 紧急救援站轨顶排烟风道平面布置示意图（单位：m）

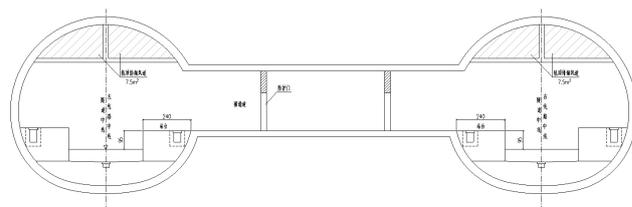


图3 紧急救援站轨顶风道剖面布置示意图（单位：cm）

## 5.2 全隧横通道及疏散通道

为满足列车故障情况下人员疏散，于洞身紧急救援站外左、右线隧道间设置横通道，横通道间距不大于500m，共设置16座横通道。于左、右线隧道内相邻侧设置贯通疏散通道。

## 6 救援站通风排烟方案

### 6.1 排烟通道及排烟方式研究

铁路工程中长大隧道多利用竖井、横洞、斜井、平导等作为洞身紧急救援站排烟通道。因邓生沟隧道位于卧龙国家级自然保护区，且洞身位于生态红线内，不具备设置洞身竖井、横洞等条件，经综合比选，本隧紧急

救援站不设置辅助坑道作为独立排烟通道。

近年来,随着铁路、公路隧道建设的增多,长大隧道大量涌现,调研发现对有长大坡度及洞口高差特点的隧道工程,当发生火灾时,隧道内烟气扩散易形成烟囱效应<sup>[3]</sup>。

邓生沟隧道纵坡达12%,进出口高差900m,根据计算模拟,有很强的往上坡方向蔓延趋势,结合洞口段防灾风机,可利用高洞口端为排烟通道排烟。同时,借鉴地铁大断面区间隧道排烟方式设置轨顶排烟风道做法<sup>[5]</sup>,于救援站范围隧道衬砌拱部设置轨顶排烟风道,轨顶排烟风道贯通至风机房,实现救援站半横向排烟;通过风机房设置的轴流风机将火灾烟气压入高洞口端隧道,利用高洞口端隧道作为排烟道将火灾烟气排出隧道,实现高洞口端隧道纵向排烟<sup>[4]</sup>。

### 6.2 通风排烟方案

当着火列车停靠在紧急救援站时,为改善人员疏散环境,增强逃生疏散安全性,本隧紧急救援站采用半横向式+纵向式排烟、通风方案,以实现“人烟分离”,满足救援站内横通道和待避区无烟气扩散要求。

以左线隧道为例,紧急救援站通风排烟方案见图4。

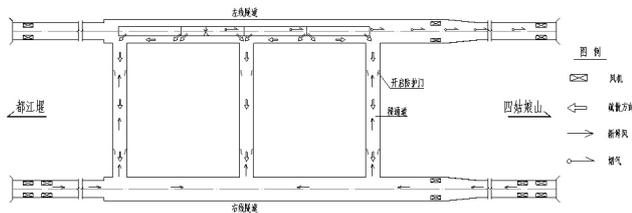


图4 紧急救援站通风及排烟方案示意图

当列车在左线隧道发生火灾停靠紧急救援站时,人员由车厢内疏散至左线隧道紧急救援站站台,通过救援站内横通道进入右线安全隧道等待救援。其通风、排烟方案如下:

6.2.1 列车于左线隧道发生火灾,着火列车行驶至紧急救援站过程中,左线隧道进、出口防灾风机暂不开启。

6.2.2 当着火列车停靠左线隧道紧急救援站时,应立即开启右线隧道进、出口防灾风机(风机启动方向应为两端往救援站供风)及救援站内横通道内防护门隔墙上电动风阀,新鲜风经右线隧道进入左线救援站,确保在

打开横通道防护门之前,横通道内已有新鲜风流动,防止烟气蔓延至救援站横通道。

6.2.3 同时开启左线隧道救援站端部风机房内轴流风机及高洞口端(出口)防灾风机,隧道内火灾烟气经救援站范围轨顶排烟风道、风机房排至高洞口端,并由高洞口端排出隧道。

6.2.4 列车内人员通过左线隧道救援站内疏散站台迎着新鲜风,进入救援站横通道向右线安全隧道逃生,根据指挥进入右线隧道救援站疏散站台待避,等待救援列车到达。

6.2.5 人员全部疏散至右线安全隧道后,保持右线隧道进、出口风机运行,两端往救援站内加压控烟,防止火灾烟气进入(抵近)救援区。

### 7 结束语

山地轨道交通长大纵坡齿轨隧道火灾工况下的防灾救援模式明显区别于传统铁路工程,是山地轨道交通工程的重难点之一,类似工程设计应重点考虑以下内容:

7.1 长大纵坡齿轨隧道应根据隧道长度及合修、分修类型确定防灾疏散救援模式,有条件尽量结合辅助坑道设置紧急出口、避难所、紧急救援站。

7.2 长大纵坡齿轨隧道紧急救援站设置间距不应大于齿轨列车残余运行能力。

7.3 长大纵坡齿轨隧道紧急救援站为实现“人烟分离”,除考虑人员逃生设施外,还应综合考虑通风排烟设施。

### 参考文献

- [1]山地(齿轨)轨道交通技术规范[S].DB51/T 2542-2018.
- [2]铁路隧道防灾疏散救援工程设计规范[S].TB 10020-2017.
- [3]吴德兴,汪波,郑国平.苍岭隧道烟囱效应分析及火灾时排烟对策[J].公路交通科技,2008,025(006):92-98.
- [4]洪丽娟,刘传聚.隧道火灾研究现状综述[J].地下空间与工程学报,2005,1(1):7.
- [5]黄泽茂.地铁大断面区间隧道排烟方式分析与探讨[J].铁道标准设计,2013,000(007):91-93,110.