

铁路隧道防灾疏散救援工程设计规范

UDC

中华人民共和国行业标准

TB

TB 10020 — 2017
J 1455 — 2017

P

铁路隧道防灾疏散救援工程设计规范

Code for Design on Rescue Engineering for Disaster Prevention
and Evacuation of Railway Tunnel

2017-02-20 发布

2017-05-01 实施



151135032

定价: 15.00 元

国 家 铁 路 局 发 布

中华人民共和国行业标准

铁路隧道防灾疏散救援工程设计规范

Code for Design on Rescue Engineering for Disaster Prevention
and Evacuation of Railway Tunnel

TB 10020—2017

J 1455—2017

主编单位：中国铁路经济规划研究院

批准部门：国家铁路局

施行日期：2017年5月1日

中国铁道出版社

2017年·北京

中华人民共和国行业标准
铁路隧道防灾疏散救援工程设计规范

TB 10020—2017

J 1455—2017

*

中国铁道出版社出版发行

(100054,北京市西城区右安门西街8号)

出版社网址:<http://www.tdpress.com>

中国铁道出版社印刷厂印

开本:850 mm×1 168 mm 1/32 印张:2.375 字数:57千

2017年6月第1版 2017年6月第1次印刷

书号:15113·5032 定价:15.00元

版权所有 侵权必究

凡购买铁道版图书,如有印制质量问题,请与本社发行部联系调换。

发行部电话:路(021)73174,市(010)51873174

国家铁路局关于发布铁道行业标准的公告

(工程建设标准 2017 年第 4 批)

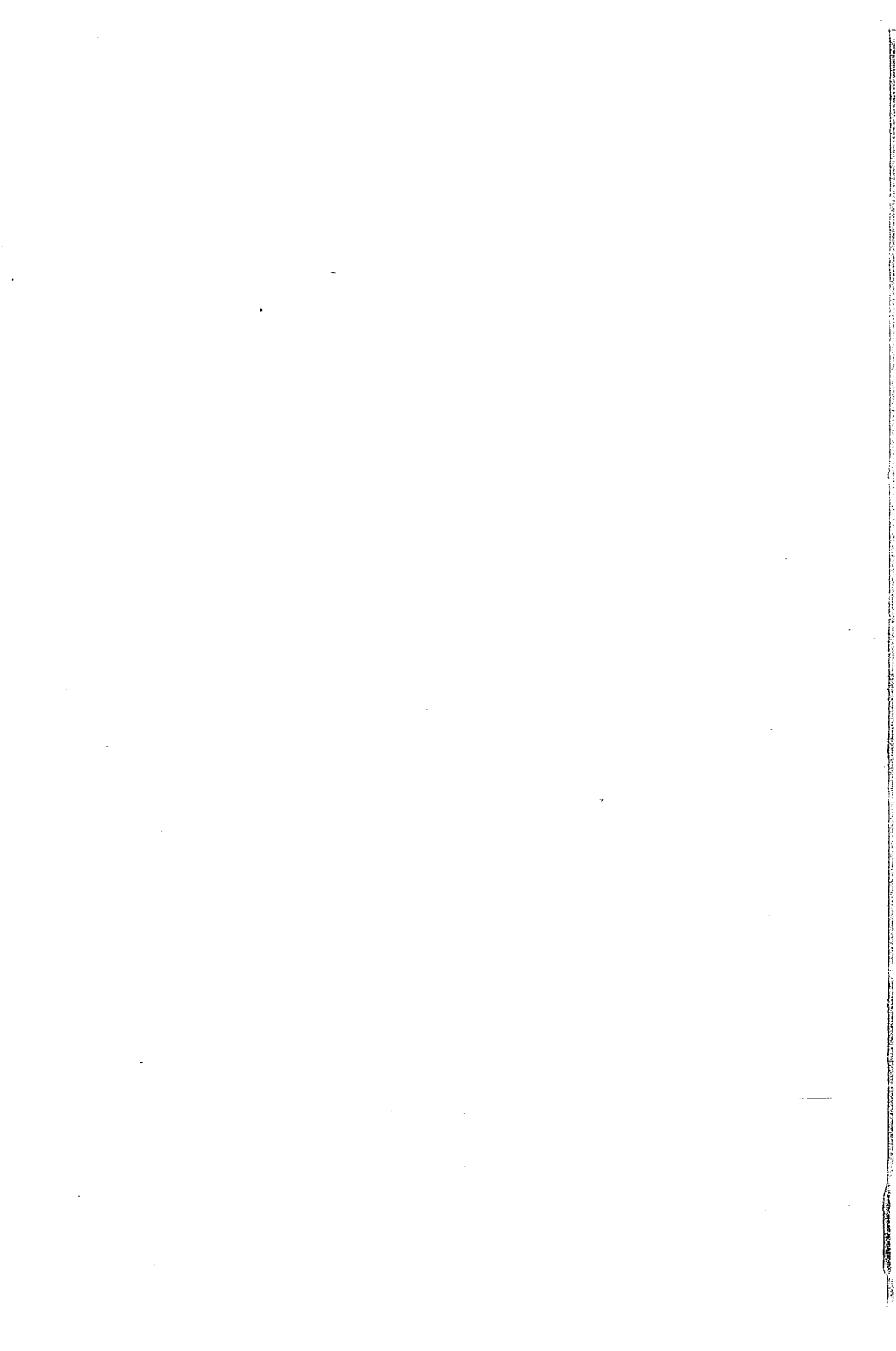
国铁科法〔2017〕14 号

现公布《铁路隧道防灾疏散救援工程设计规范》(TB 10020—2017)行业标准,自 2017 年 5 月 1 日起实施。《铁路隧道防灾救援疏散工程设计规范》(TB 10020—2012)同时废止。

本标准由中国铁道出版社出版发行。

国家铁路局

2017 年 2 月 20 日



前 言

本规范是根据国家铁路局构建铁路工程建设标准体系的要求,为满足铁路隧道防灾疏散救援工程建设和发展需要,统一铁路隧道防灾疏散救援工程设计标准,提高铁路隧道防灾疏散救援工程设计水平,保障铁路隧道运营安全,在《铁路隧道防灾救援疏散工程设计规范》TB 10020—2012基础上,总结了近年来我国高速、城际、客货共线铁路隧道防灾疏散救援工程建设的实践经验,充分借鉴了国内外铁路隧道防灾疏散救援研究成果和有关标准的规定,经广泛征求意见全面修订而成。

本规范全面贯彻了国家安全生产和铁路运输安全相关法律法规,强化了安全疏散、节约资源等技术要求,注重总体设计,并结合我国国情、经济社会发展水平等因素,合理确定了铁路隧道防灾疏散救援工程主要设计标准,进一步提升了规范的科学性、安全性和经济性。

本规范共分7章,包括:总则、术语、基本规定、土建工程设计、通风设计、人员疏散设计、机电设施及其他,另有2个附录。本次修订的主要内容如下:

1. 调整了规范适用范围,修订了铁路隧道防灾疏散救援工程设计原则,明确了着火列车疏散救援指导思想。
2. 修改了“隧道群”的定义,增加了“隧道口紧急救援站”、“疏散通道”、“必需安全疏散时间”和“可用安全疏散时间”等术语。
3. 明确了防灾疏散的原则,增加了火灾规模、人员安全疏散时间标准等相关要求。
4. 修改完善了紧急救援站、紧急出口、避难所、疏散通道、横通

道、防护门等疏散救援工程设施的设计标准及相关设备配套要求；补充了适用于城际和水下隧道防灾疏散救援工程设计相关规定。

5. 明确了通风设计条件、通风方式和通风标准，规定应急通信、设备监控、应急照明、防灾救援设备等辅助设施的设置要求。

6. 增加了人员疏散模式、人员疏散安全判定标准以及安全疏散时间计算方法等内容。

7. 完善了应急供电、机电设施及其他等相关要求，增加了导向标志的设置要求。

8. 增加了通风计算、停车导向标志附录。

本规范执行过程中，希望各单位结合工程实践，认真总结经验，积累资料。如发现需要修改和补充之处，请及时将意见及有关资料寄交中国铁路经济规划研究院（北京市海淀区北蜂窝路乙 29 号，邮政编码：100038），并抄送国家铁路局规划与标准研究院（北京市西城区广莲路 1 号，邮政编码：100055），供今后修订时参考。

本规范由国家铁路局科技与法制司负责解释。

主编单位：中国铁路经济规划研究院

参编单位：西南交通大学、中铁第一勘察设计院集团有限公司、中铁二院工程集团有限责任公司、铁道第三勘察设计院集团有限公司、中铁第四勘察设计院集团有限公司

主要起草人：赵 勇、王明年、陈绍华、马志富、于 丽、倪光斌、李国良、喻 渝、肖明清、林传年、鲜 国、王 峰、魏佳良、朱 勇、焦齐柱、安玉红、方钱宝、刘丽华、代仲宇、蹇 峡、景德炎、唐国荣、田四明、李传富、李 琦、那艳玲、李 博、任建旭、王 颢、赵 伟、茹 旭、霍建勋、郭 辉、蒋 超、秦小光。

主要审查人：史玉新、张 剑、刘 珣、刘 燕、薛吉岗、王哲浩、付 锋、肖广智、赵武元、柳墩利、王学林、马静波、杨国柱、杨柏林、胡定成、马慧金、贺建斌、刘艳青、孙建明、吕 刚、陈 梅、潘继军、谭忠盛、吴大鹏、苏新民、邓焯飞。

目 次

1 总 则	1
2 术 语	2
3 基本规定	4
4 土建工程设计	6
4.1 一般规定	6
4.2 隧道内紧急救援站	6
4.3 隧道口紧急救援站	7
4.4 紧急出口及避难所	8
4.5 横 通 道	9
4.6 疏散通道	9
4.7 防 护 门	9
4.8 其 他	10
5 通风设计	12
5.1 一般规定	12
5.2 通风方式	12
5.3 通风标准	12
5.4 通风计算	13
5.5 设备选型与布置	13
5.6 通风机房、风道及通风井	14
6 人员疏散设计	15
6.1 一般规定	15
6.2 疏散模式及标准	15

6.3	安全疏散时间计算	15
7	机电设施及其他	17
7.1	一般规定	17
7.2	应急照明	17
7.3	应急通信	18
7.4	设备监控	18
7.5	应急供电	18
7.6	导向标志	19
7.7	其他	19
附录 A	通风计算	20
附录 B	停车导向标志	23
	本规范用词说明	27
	《铁路隧道防灾疏散救援工程设计规范》条文说明	28

1 总 则

1.0.1 为贯彻国家安全生产和铁路运输安全相关法律法规,保障旅客列车在隧道内发生火灾等事故后人员的安全疏散与救援,统一铁路隧道防灾疏散救援工程设计技术标准,使铁路隧道防灾疏散救援工程安全可靠、技术先进、经济合理,制定本规范。

1.0.2 本规范适用于新建高速铁路、城际铁路以及客货共线铁路隧道防灾疏散救援工程设计。

1.0.3 铁路隧道防灾疏散救援工程设计应遵循以人为本、安全疏散、自救为主、方便救援的原则。

1.0.4 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和救援。

1.0.5 铁路隧道防灾疏散救援工程应加强总体方案设计,统筹接口设计,确保使用功能。

1.0.6 铁路隧道防灾疏散救援工程设计除执行本规范外,尚应符合国家现行有关标准的规定。

2 术 语

2.0.1 隧道群 tunnel group

相邻隧道洞口间距小于一列旅客列车长度的一组隧道。

2.0.2 隧道内紧急救援站 emergency rescue station in tunnel

设置在隧道内,满足着火列车停靠、人员疏散及救援的站点。

2.0.3 隧道口紧急救援站 emergency rescue station between continuous tunnel portals

设置在隧道群明线及洞口段,满足着火列车停靠、人员疏散及救援的站点。

2.0.4 紧急出口 emergency exit

设置在隧道内,供事故列车内人员直接疏散到隧道外的坑道。

2.0.5 避难所 refuge

设置在隧道内,供事故列车内人员临时避难,并能疏散到隧道外的坑道。

2.0.6 疏散通道 evacuation walkway

隧道内纵向贯通设置,供人员应急疏散的通道。

2.0.7 横通道 passage-way

连接两座并行隧道或隧道与平行导坑,供人员应急疏散的通道。

2.0.8 防灾通风 ventilation for disaster prevention

为满足着火列车人员安全疏散及救援所进行的供风、排烟。

2.0.9 必需安全疏散时间 required safety egress time

从着火列车停车开始到列车中所有人员疏散至安全区域所需的时间。

2.0.10 可用安全疏散时间 available safety egress time

从着火列车停车开始至火灾发展到对人员安全构成危险所需的时间。

3 基本规定

- 3.0.1** 防灾疏散救援工程应综合考虑线路技术标准、工程分布、工程特征、环境条件、运营管理模式等因素进行总体方案设计。
- 3.0.2** 隧道防灾疏散应以洞外疏散为主,疏散路径和设施应结合隧道线路运输性质、环境条件、辅助坑道条件等设置,并制定相应的疏散预案。
- 3.0.3** 紧急救援站应满足着火列车停车后人员疏散要求;紧急出口、避难所及横通道应满足事故列车人员疏散要求。
- 3.0.4** 隧道内应设置贯通的疏散通道,单线隧道单侧设置,多线隧道双侧设置。
- 3.0.5** 长度 20 km 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 20 km。
- 3.0.6** 长度 10 km 及以上的单洞隧道,应在洞身段设置不少于 1 处紧急出口或避难所。
- 3.0.7** 长度大于等于 5 km 且小于 10 km 的单洞隧道,宜结合施工辅助坑道,在隧道洞身段设置 1 处紧急出口或避难所。
- 3.0.8** 互为疏散救援的两条并行隧道,应设置相互联络的横通道。
- 3.0.9** 设置紧急救援站的隧道,其紧急出口、避难所、横通道等疏散设施的设置应符合本规范第 3.0.6~3.0.8 条的规定。
- 3.0.10** 疏散救援土建工程设施应按永久工程进行结构及防排水设计。用于疏散的通道,其地面应平整、稳固,无积水。
- 3.0.11** 隧道口紧急救援站、紧急出口洞口处宜设置临时待避场地,并具有接受外部救援的条件。
- 3.0.12** 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。火灾规模应按线路运行的列车类型确定,动车组可采用 15 MW,普通旅客列车可采用 20 MW。

3.0.13 隧道防灾通风设计应遵循人烟分离的原则。

3.0.14 人员安全疏散时间应符合下列规定:

- 1 可用安全疏散时间大于必需安全疏散时间。
- 2 隧道内紧急救援站的必需安全疏散时间不宜超过 6 min。

3.0.15 防灾疏散救援工程设计应包括以下主要内容:

- 1 总体方案设计:防灾疏散救援工程设置形式、规模和数量。
- 2 土建工程技术参数确定:疏散通道尺寸;横通道的间距、断面净空尺寸;紧急救援站、紧急出口、避难所、防护门等相关技术参数。

3 相关设施配套:通风、应急照明、供电、应急通信、设备监控、消防等设备系统。

- 4 疏散救援设施及设备的接口设计。

3.0.16 防灾疏散救援配套设施及控制系统应纳入运营单位的应急管理系统。

4 土建工程设计

4.1 一般规定

- 4.1.1 防灾疏散救援土建工程应统筹隧道、通风、电力、牵引供电、通信、信号、房建、给排水、机械等相关专业进行系统设计。
- 4.1.2 紧急救援站应结合隧道及隧道群特点采用隧道内紧急救援站或隧道口紧急救援站。
- 4.1.3 隧道及隧道群内设有车站时,防灾疏散救援工程应结合车站设施统筹设计。
- 4.1.4 防灾疏散救援工程的机电设备安装处应采用一级防水标准,其他地段不应低于三级防水标准。

4.2 隧道内紧急救援站

- 4.2.1 隧道内紧急救援站宜设置在地质条件较好、便于利用辅助坑道地段,不宜设置在含有毒有害气体的地段。
- 4.2.2 隧道内紧急救援站设计应包括以下内容:
- 1 紧急救援站的位置、型式及规模。
 - 2 紧急救援站站台长度、宽度、高度等。
 - 3 横通道间距、尺寸。
 - 4 横通道防护门的类型,通行净宽、净高。
 - 5 待避区位置及尺寸。
 - 6 防灾通风、供电、灭火、应急照明、应急通信、监控及标志等消防设施。
- 4.2.3 隧道内紧急救援站可采用以下型式:
- 1 加密横通道型,适用于双洞单线隧道。

- 2 两侧平导型,适用于单洞双线隧道。
 - 3 单侧平导型,适用于单洞单线隧道。
- 4.2.4 紧急救援站的长度应为旅客列车编组长度加一定余量,可按以下长度选取:
- 1 高速铁路可取 450 m。
 - 2 客货共线铁路可取 550 m。
 - 3 城际铁路采用 8 辆编组时可取 230 m。
- 4.2.5 紧急救援站站台设计应符合下列规定:
- 1 单线隧道单侧设置,双线隧道双侧设置,站台宽度不宜小于 2.3 m。
 - 2 站台面高于轨面的尺寸不宜小于 0.3 m。
 - 3 站台边缘距线路中线的距离可取 1.8 m。
- 4.2.6 紧急救援站内的横通道间距不宜大于 60 m。
- 4.2.7 紧急救援站内横通道断面净空尺寸不宜小于 4.5 m×4.0 m(宽×高)。
- 4.2.8 紧急救援站内横通道纵向坡度不宜大于 12%,防护门开启范围应为平坡。
- 4.2.9 紧急救援站的平行导坑断面净空尺寸应综合疏散、通风、施工等因素确定,并不宜小于 4.5 m×5.0 m(宽×高)。
- 4.2.10 紧急救援站内待避区面积不宜小于 0.5 m²/人。

4.3 隧道口紧急救援站

- 4.3.1 隧道口紧急救援站宜设置在疏散条件较好、明线段较长的地段。
- 4.3.2 隧道口紧急救援站设计应包括以下内容:
- 1 紧急救援站的位置、型式及规模。
 - 2 疏散设施的设计参数。
 - 3 待避区位置及面积。

4 防灾通风、供电、灭火、应急照明、应急通信、监控及标志等消防设施。

4.3.3 隧道口紧急救援站可采用以下型式：

- 1 洞口疏散型：适用于明线段长度大于 250 m 的隧道群。
- 2 洞口辅助坑道型：适用于单、双洞隧道群。
- 3 洞口横通道加密型：适用于双洞隧道群。

4.3.4 隧道口紧急救援站的明线段长度小于 250 m 时，宜设置防灾通风系统；大于等于 250 m 时，可不设置防灾通风系统。

4.3.5 隧道口紧急救援站的长度应包括明线段与两端洞口段长度之和，且明线段与任意一端隧道洞口段长度之和不小于列车长度。

4.3.6 隧道口紧急救援站横通道、辅助坑道、防护门、待避区面积等应符合本规范第 4.2 节相关规定。

4.3.7 隧道口紧急救援站的站台可不予加宽，洞内外站台应顺接，站台与待避区之间应设连接通道。

4.4 紧急出口及避难所

4.4.1 紧急出口设计应符合下列规定：

- 1 优先选择平行导坑或横洞。
- 2 当选择斜井作为紧急出口时，其坡度不宜大于 12%，水平长度不宜大于 500 m。

3 当选择竖井作为紧急出口时，其垂直高度不宜大于 30 m，楼梯总宽度不应小于 1.8 m。

4 斜井、横洞式紧急出口断面净空尺寸不宜小于 3.0 m×2.2 m(宽×高)；平行导坑断面净空尺寸不宜小于 4.0 m×5.0 m(宽×高)，竖井式紧急出口尺寸按照楼梯布置确定。

4.4.2 避难所设计应符合下列规定：

- 1 设置避难所的辅助坑道断面净空尺寸不宜小于 4.0 m×5.0 m(宽×高)。

2 避难所内应设置待避区，待避面积不宜小于 0.5 m²/人。

4.4.3 紧急出口及避难所内应设置通风、应急照明、应急通信、监控等设施。

4.5 横 通 道

4.5.1 并行的两座隧道或隧道与平行导坑之间的横通道间距不宜大于 500 m, 困难条件下不应大于 1 000 m。

4.5.2 横通道设计应符合下列规定:

- 1 通行净空不宜小于 $2.0\text{ m} \times 2.2\text{ m}$ (宽 \times 高)。
- 2 横通道应设防护门。

4.5.3 横通道内应设置应急照明、应急通信等设施。

4.6 疏 散 通 道

4.6.1 疏散通道宜利用隧道的水沟和电缆槽盖板面设置。

4.6.2 疏散通道走行面高度不应低于轨顶面, 其宽度不应小于 0.75 m, 高度不应小于 2.2 m。

4.7 防 护 门

4.7.1 紧急救援站的横通道与隧道连接处应设防护门, 防护门净空尺寸不应小于 $1.7\text{ m} \times 2.0\text{ m}$ (宽 \times 高)。

4.7.2 紧急救援站以外的横通道应设防护门, 防护门净空尺寸不应小于 $1.5\text{ m} \times 2.0\text{ m}$ (宽 \times 高)。

4.7.3 紧急出口、避难所与隧道连接处应设防护门, 防护门净空尺寸不应小于 $1.5\text{ m} \times 2.0\text{ m}$ (宽 \times 高)。

4.7.4 防护门宜采用轻质结构, 且不应设置门槛。

4.7.5 防护门应满足以下技术要求:

- 1 耐火性能满足甲级防火门要求。
- 2 高速铁路、城际铁路隧道防护门抗爆荷载不应小于 0.05 MPa, 客货共线铁路隧道防护门抗爆荷载不应小于 0.1 MPa。

- 3 防护门手动开启力不应大于 80 N。
- 4 防护门可采用平推门或横向滑移门,其正常工作状态为常闭状态。
- 5 防护门应能长期承受列车活塞风及瞬变压力的作用。
- 6 防护门门框墙宜采用钢筋混凝土结构。

4.8 其 他

4.8.1 盾构隧道利用下部空间作为疏散廊道时,应符合下列规定:

1 疏散廊道两端应采用竖井、斜井等辅助坑道或通过地下车站与隧道外连通。

2 隧道行车空间与疏散廊道之间应设置竖向通道,竖向通道可采用封闭楼梯间、滑道等连接。竖向通道沿隧道长度方向的间距不宜大于 200 m,竖向通道的疏散方向应朝向隧道与地面连接的最近出口或通道。

3 疏散廊道通行净空不应小于 $0.75\text{ m}\times 2.0\text{ m}$ (宽 \times 高),楼梯处可适当减小。

4 楼梯通行净空不应小于 $0.75\text{ m}\times 2.0\text{ m}$ (宽 \times 高),坡度不应大于 45° 。

5 楼梯与疏散廊道之间应设置防护门,防护门净空尺寸不应小于 $0.75\text{ m}\times 2.0\text{ m}$ (宽 \times 高)。

6 竖向通道上部开孔口应高出道床面 20 cm,并设置当心跌落警示标志或栏杆。

7 疏散廊道应设置通风、应急照明、应急通信及标志等设施。

4.8.2 双线及多线隧道设置中隔墙时,联络门洞应符合下列规定:

1 联络门洞处应安装防护门,间距不宜大于 200 m,防护门的设置应满足本规范 4.7.5 条的要求。

2 门洞的通行净宽度不应小于 1.2 m,净高度不应小于 2.0 m,门洞地面应与隧道内疏散通道面齐平。

4.8.3 隧道内紧急救援站范围内站台一侧的隧道边墙宜设置安全扶手。安全扶手距离疏散通道地面高度宜为 0.75 m~1.0 m。安全扶手不得侵入疏散通道的空间。

4.8.4 隧道外设置的疏散台阶或通道宜设置安全扶手,安全扶手设置要求应符合国家现行相关标准规定。

5 通风设计

5.1 一般规定

- 5.1.1 紧急救援站应按火灾工况进行防灾通风设计,紧急出口、避难所应按列车故障工况进行通风设计。
- 5.1.2 紧急救援站防灾通风方案设计应综合考虑位置、类型、人员疏散路径及疏散方向等因素。
- 5.1.3 隧道火灾防排烟通风设计应根据隧道长度、断面大小、纵坡、洞内外环境条件、行车方式、人员疏散条件和火灾规模等因素计算确定。
- 5.1.4 隧道内紧急救援站防灾通风应满足横通道和待避区无烟气扩散的要求。

5.2 通风方式

- 5.2.1 隧道内紧急救援站可采用半横向式排烟通风、集中排烟通风等方式。
- 5.2.2 隧道口紧急救援站应采用自然排烟或与机械加压防烟相结合的防灾通风方式。明线长度小于 250 m 的隧道口紧急救援站,两端隧道洞口段宜采用机械加压防烟方式。
- 5.2.3 紧急出口、避难所及底部疏散廊道可采用纵向通风方式。

5.3 通风标准

- 5.3.1 紧急救援站通风应符合下列规定:
- 1 横通道防护门处风速不应小于 2 m/s。
 - 2 待避区的新风量不应小于 $10 \text{ m}^3/(\text{人} \cdot \text{h})$ 。

3 当设置机械排烟系统时,应同时设置补风系统。当设置机械补风系统时,其补风量不宜小于排烟量的 50%。

5.3.2 隧道口紧急救援站两端隧道内通风风速不应小于 1.5 m/s~2 m/s,风向由洞内吹向明线段。

5.3.3 紧急出口、避难所应设置机械通风,防护门处通风风速不应小于 1.5 m/s,避难所的新风量不应小于 $10 \text{ m}^3/(\text{人} \cdot \text{h})$ 。

5.3.4 人员疏散路径上的风速不宜大于 8 m/s。

5.3.5 排烟道内的设计风速不宜大于 18 m/s。

5.4 通风计算

5.4.1 隧道通风计算中单通道可采用简算法,多通道可采用网络法,局部流场计算可采用数值模拟法,并符合附录 A 的规定。

5.4.2 隧道通风系统中的风机功率、风道面积及风速等参数应根据通风计算确定。

5.4.3 隧道内紧急救援站排烟量应取火灾烟气生成量和火灾区域进风量两者中的大值。

5.4.4 紧急救援站防灾通风力应计算自然风压力、沿程阻力、局部阻力、风机压力、火风压等。

5.4.5 紧急出口和避难所通风力应计算自然风压力、沿程阻力、局部阻力、风机压力等。

5.5 设备选型与布置

5.5.1 隧道防灾通风的设备、管道及配件应采用不燃材料。

5.5.2 排烟风机的排烟量应考虑 10%~20%的漏风量。

5.5.3 火灾排烟轴流风机的绝缘等级不应低于 F 级,其他轴流风机的绝缘等级不应低于 H 级,轴流风机的防护等级不应低于 IP54。

5.5.4 射流风机的纵向布置及设置间距应综合考虑风机效率、事故对策、经济性等因素。

5.5.5 射流风机安装应满足以下要求:

1 射流风机应设置于建筑限界以外,并与隧道轴线平行,且不得占用疏散通道。

2 隧道正洞内射流风机应采用堆放式或壁龛式,紧急出口、避难所射流风机宜安装在距离地面 2.5 m 高的墙上或拱部。

3 射流风机安装应保证风机运转和列车风作用下的安全。

4 射流风机安装段应设置安全防护网。

5 防护网和射流风机支架等钢结构应接地。

5.6 通风机房、风道及通风井

5.6.1 风机房空间应满足轴流风机、电气设备、控制设备和其他辅助机电设备的布置要求,并应考虑设备安装、搬运及维修需要。

5.6.2 洞外风机房位置应根据洞口或通风井周围地形条件合理确定。

5.6.3 风道周壁应平顺,风道折角处宜圆顺连接。

5.6.4 风机房与风道的连接不应漏风。

5.6.5 排烟井设置应考虑对周围环境的影响,并应设置在扩散效果良好的地带。

5.6.6 通风井的设置宜利用辅助坑道。

6 人员疏散设计

6.1 一般规定

- 6.1.1 隧道人员疏散设计应遵循方便自救、安全疏散的原则。
- 6.1.2 隧道内的疏散路径上应设置醒目的导向标志。
- 6.1.3 可用安全疏散时间和必需安全疏散时间应根据防灾疏散救援工程设计和通风排烟方案计算确定。
- 6.1.4 紧急救援站设计应满足着火列车人员在可用安全疏散时间内疏散到安全区域的要求。
- 6.1.5 紧急救援站人员疏散设计应制定应急疏散预案。

6.2 疏散模式及标准

- 6.2.1 疏散模式应包括火灾工况下紧急救援站停车疏散模式和列车故障工况下隧道内停车疏散模式。
- 6.2.2 火灾工况下停车疏散应采用隧道内紧急救援站停车疏散或隧道口紧急救援站停车疏散。
- 6.2.3 列车故障工况下停车疏散可通过洞口、紧急救援站、紧急出口、避难所、横通道等进行疏散。
- 6.2.4 紧急救援站停车疏散路径不宜直接跨线、穿越火源。
- 6.2.5 可用安全疏散时间的确定,应符合下列规定:
 - 1 隧道内特征高度 2.0 m 处,烟气温度不超过 60℃。
 - 2 隧道内特征高度 2.0 m 处,可视度不小于 10 m。

6.3 安全疏散时间计算

- 6.3.1 必需安全疏散时间计算应考虑以下因素:

- 1 列车类型、列车参数、最大人员荷载。
- 2 人员组成比例、人员疏散速度、人员疏散路径。
- 3 紧急救援站长度、站台宽度及高度、横通道间距及断面、防护门通行尺寸等。

6.3.2 可用安全疏散时间计算应考虑以下因素：

- 1 列车类型、列车参数。
- 2 火灾规模及火源位置。
- 3 紧急救援站结构形式及参数。
- 4 通风排烟系统等。

6.3.3 隧道紧急救援站必需安全疏散时间可采用理论计算或仿真模拟。理论计算可按下式进行：

$$T = \frac{Q_1}{80v_1} + \frac{Q_2}{0.9AB} \quad (6.3.3)$$

式中 T ——紧急救援站必需安全疏散时间(min)；

Q_1 ——定员数量最多车厢内的人员数量(人)；

Q_2 ——一列车的乘客数(人)；

v_1 ——人员下车速度(人/s)；

A ——横通道通过能力[人/(min·m)]；

B ——横通道防护门处总宽度(m)。

6.3.4 紧急救援站可用安全疏散时间宜采用数值计算方法。

6.3.5 可用安全疏散时间及必需安全疏散时间均应自列车停车开门后开始计时。必需安全疏散时间的结束时间应为列车上最后一个人进入安全区域的时间。

6.3.6 列车人员数量应按定员超员 20% 计算。

7 机电设施及其他

7.1 一般规定

7.1.1 疏散救援工程机电设施应包括应急照明、应急通信、设备监控、应急供电等,并按照安全可靠、方便实用的原则配备。

7.1.2 疏散救援工程机电设施可采用远程遥控、现场手动控制或两者相结合的方式。

7.1.3 疏散救援工程机电设施应适应隧道现场环境要求,符合防腐、防潮、抗风压等相关技术标准。

7.1.4 通信、设备监控等系统应按统一指挥的原则设计。

7.1.5 紧急救援站应设置列车停车导向标志。

7.2 应急照明

7.2.1 长度为 5 km 及以上或设有紧急救援站、紧急出口、避难所的隧道内应设置应急照明。

7.2.2 应急照明设置应满足以下要求:

1 疏散通道、紧急救援站和其他疏散路径上,均应设置疏散照明。

2 所有疏散路径上,均应设置指示标志指示疏散方向。每隔 100 m 左右的指示标志应加标两个方向分别距洞口或紧急救援站、紧急出口、避难所等的距离。

3 应急照明在正常供电电源中断后,应能在 5 s 内完成应急电源转换并恢复到规定的照度。

7.3 应急通信

7.3.1 长度 5 km 及以上隧道应设置隧道应急通信设施。隧道应急通信设施应能实现救援指挥人员与事故现场人员、抢险人员之间的语音、图像通信等功能。

7.3.2 隧道应急通信应包括有线应急电话、视频监控等系统,同时应充分利用铁路专用移动通信、公众移动通信等无线通信设施。

7.3.3 有线应急电话终端宜按照 500 m 间隔设置,单线隧道应单侧设置,双线及多线隧道应双侧设置,并统筹考虑紧急救援站、紧急出口、避难所、横通道、洞室、隧道洞口等情况设置。

7.3.4 隧道口、紧急救援站、紧急出口和避难所应设置视频采集点。

7.3.5 隧道内的应急通信电线、电缆、光缆及其防护材料应采用阻燃型或采取阻燃防护措施。

7.4 设备监控

7.4.1 隧道内的防灾救援设备应设监控系统,并具备远程监控功能。

7.4.2 防灾救援设备监控系统可由监控主站、主控制器、就地控制器、集中监控盘等全部或部分设备组成,并能对隧道内通风、照明、消防泵、排水泵等设备进行监控。

7.4.3 监控主站应结合防灾救援管理模式设置。主控制器与监控主站之间的通信通道宜为一主一备。

7.4.4 紧急救援站应设置集中监控盘,盘面以火灾工况操作为主,操作程序应简便直接。

7.5 应急供电

7.5.1 紧急救援站防灾救援设备的供电应采用一级负荷供电标准,其他采用二级负荷供电标准。

7.5.2 用电设备处的电源切换时间不应大于用电设备允许间断的供电时间,并满足供电持续时间要求。不允许瞬时停电的设备,应在靠近用电设备处设置不间断电源装置。

7.5.3 有应急照明、防灾救援设备的隧道内电线、电缆及其防护材料应符合《铁路工程设计防火规范》TB 10063 的有关规定。

7.6 导向标志

7.6.1 导向标志应简洁明了、可视性好。

7.6.2 设有紧急救援站的隧道内应设紧急停车导向标志,导向标志的设置应符合下列规定:

1 导向标志设在列车行车方向左侧。

2 导向标志设置的起点距紧急救援站入口不应小于所运行列车的紧急制动距离。

3 隧道口紧急救援站导向标志的设置应满足着火车厢停靠在明线位置的要求。

7.6.3 导向标志设计应符合附录 B 的规定。

7.7 其 他

7.7.1 紧急救援站应设置水消防系统。隧道内紧急救援站宜采用细水雾消火栓灭火系统;隧道口紧急救援站宜采用高位水池或独立加压的消火栓灭火系统。

7.7.2 紧急救援站消火栓箱内应设置配套的防烟面具。

7.7.3 紧急救援站范围的接触网应具有独立停电功能。

7.7.4 监控主站、应急通信设备等应配置设备用房。

附录 A 通风计算

A. 0. 1 单通道简算法计算应包括以下内容:

- 1 需风量计算。
- 2 自然风力、通风阻力计算。
- 3 射流风机应提供的通风压力计算。
- 4 射流风机选型、射流风机台数计算。
- 5 射流风机压力应按下式计算:

$$P_j = P_n + P_\lambda + P_\zeta \quad (\text{A. 0. 1})$$

式中 P_j ——射流风机压力(Pa);

P_n ——两洞口间自然风压力(Pa);

P_λ ——沿程阻力(Pa);

P_ζ ——局部阻力(Pa)。

A. 0. 2 多通道网络通风计算应包括以下内容:

- 1 绘制通风网络图。
- 2 生成基本关联矩阵并计算独立回路矩阵。
- 3 根据风量平衡定律、风压平衡定律、阻力定律建立隧道通风网络的基本数学模型。
- 4 求解隧道通风网络的基本数学模型,得到各分支风量、风压。

A. 0. 3 烟气生成量计算应符合下列规定:

- 1 羽流质量流率可按下式计算:

$$\begin{aligned} Z > Z_1, m_p &= 0.071Q_c^{1/3} Z^{5/3} + 0.0018Q_c \\ Z \leq Z_1, m_p &= 0.032Q_c^{3/5} Z \\ Z_1 &= 0.166Q_c^{2/5} \end{aligned} \quad (\text{A. 0. 3—1})$$

式中 m_p ——羽流质量流率(kg/s);
 Z_1 ——火焰极限高度(m);
 Z ——燃料面到烟层底部的高度(m);
 Q_c ——火源的对流热释放速率(kW), $Q_c \approx 0.7Q$ (Q 为火源功率)。

2 羽流的平均温度应按下式计算:

$$T = T_0 + \frac{Q_c}{m_p c_p} \quad (\text{A. 0. 3—2})$$

式中 c_p ——空气的定压比热容,取 1.012 kJ/(kg·K);
 T_0 ——环境的绝对温度(K);
 T ——羽流的平均温度(K)。

3 烟气生成量应按下式计算:

$$V = \frac{m_p T}{\rho_0 T_0} \quad (\text{A. 0. 3—3})$$

式中 ρ_0 ——环境温度下气体的密度(kg/m³);
 V ——烟气生成量(m³/s)。

A. 0. 4 隧道内紧急救援站半横向式通风中排烟机所需全压应按下式计算:

$$\begin{aligned} P_F &= 1.1(P_\zeta + P_\lambda) \\ &= 1.1 \left(\sum_{i=1}^m \zeta_i \frac{\rho}{2} v_i^2 + \sum_{i=1}^n \lambda_i \frac{L_i}{d_i} \frac{\rho}{2} v_i^2 \right) \end{aligned} \quad (\text{A. 0. 4})$$

式中 P_F ——排烟机所需全压(Pa);
 ζ_i ——第 i 个形状损失系数;
 ρ ——通风计算点的空气密度(kg/m³);
 λ_i ——第 i 段的沿程摩阻损失系数;
 v_i ——第 i 段的风速(m/s);
 L_i ——第 i 段的长度(m);
 d_i ——第 i 段的当量直径(m), $d_i = \frac{4A_i}{U_i}$;

A_i ——第 i 段的断面面积(m^2);

U_i ——第 i 段的断面周长(m);

m ——风道形状变化个数;

n ——连接风道段数。

A. 0.5 火风压可按下列式计算:

$$\Delta P_f = \rho g \Delta H_f \frac{\Delta T_x}{T^*} \quad (\text{A. 0.5—1})$$

$$\Delta T_x = \Delta T_0 e^{-\frac{G}{C_r} x} \quad (\text{A. 0.5—2})$$

式中 ΔP_f ——火风压值(N/m^2);

g ——重力加速度, $9.8 \text{ m}/\text{s}^2$;

ΔH_f ——高温气体流经隧道的高程差(m);

T^* ——高温气体流经隧道内火灾后空气的平均绝对温度(K);

x ——沿烟流方向计算烟流升温点到火源点的距离(m);

ΔT_x ——沿烟流方向距火源点距离为 x (m) 处的气温增量(K);

ΔT_0 ——发生火灾前后火源点的气温增量(K);

G ——沿烟流方向 x (m) 处的火烟的质量流量(kg/s);

c ——系数, $c = \frac{k C_r}{3600 c_p}$;

C_r ——隧道断面周长(m);

k ——岩石导热系数, $k = 2 + k' \sqrt{v_1}$, k' 值为 $5 \sim 10$, v_1 为烟流速度(m/s)。

A. 0.6 自然风压力、沿程阻力、局部阻力、风机压力应按照现行《铁路隧道运营通风设计规范》TB 10068 的规定计算。

附录 B 停车导向标志

B.0.1 紧急救援站停车导向标志牌宜按以下间距设置:

1 标志牌至救援站入口的距离大于 2 000 m 时,设置间距采用 1 000 m。

2 标志牌至救援站入口的距离为 500 m~2 000 m 时,设置间距采用 500 m。

3 标志牌至救援站入口的距离小于 500 m 时,设置位置分别为 200 m、100 m、救援站入口、救援站中心、救援站停车位。

B.0.2 导向标志牌上的文字内容应能清晰表达引导控车停车的目的,宜为“距救援站××km、救援站入口、救援站中心、救援站停车位”等字样。

B.0.3 标志牌表面应涂反光膜,底色为蓝色,字体为白色。字体可采用 35 cm~40 cm 高的黑体字。

B.0.4 普通旅客列车和动车组混运的线路,应分别针对普通旅客列车、8 辆编组动车组、16 辆编组动车组,设置不同的停车标志。

B.0.5 隧道内紧急救援站停车导向标志应符合下列规定:

1 标志牌文字区域的尺寸可采用 700 mm×2 300 mm(宽×高),如图 B.0.5—1、图 B.0.5—2 所示。

2 标志牌底边距离疏散站台面不应小于 2 m。

3 标志牌安装后不得侵入隧道建筑限界,必要时应对隧道进行加宽。

4 标志牌应与隧道壁牢固连接,满足在高速活塞风作用下安全、稳定的要求,标志牌的迎风面与风流方向(线路中线)的夹角不宜大于 30°,以满足诱导活塞风的要求。

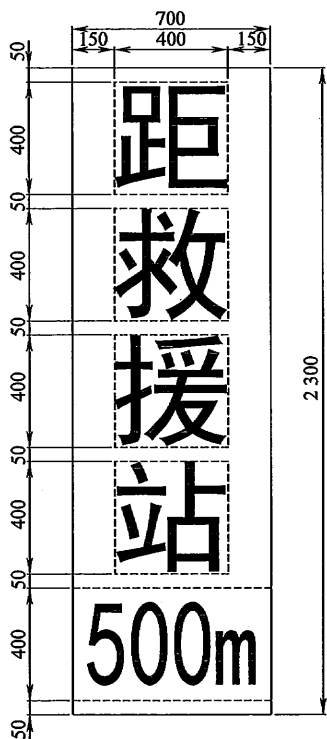


图 B.0.5—1 导向标志牌文字
布置(一)(单位:mm)

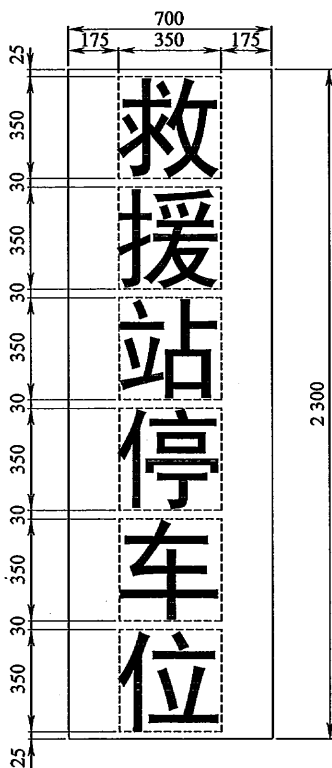


图 B.0.5—2 导向标志牌文字
布置(二)(单位:mm)

5 着火列车均应以列车司机到达“救援站停车位”标志牌位置为准控制停车。

B.0.6 隧道口紧急救援站停车导向标志应符合下列规定：

1 根据隧道群的明线长度，设置固定的停车位置和多处停车标志，满足不同着火车厢停靠的需要。

2 标志内容应根据线路运行的列车类型制定，当普通旅客列车与动车组混运时，旅客列车的停车标志牌内容以“普”字开头，动车组的停车标志牌内容以“动”字开头，停车标志牌内容可为“动 1

节着火停车位、动 1~2 节着火停车位、普 10 节着火停车位、普 11~12 节着火停车位”等,如图 B.0.6 所示。

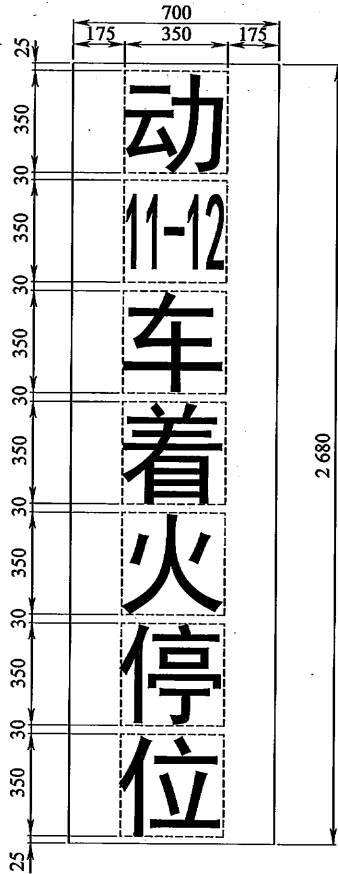


图 B.0.6 隧道口导向标志牌文字布置(单位:mm)

3 设置在隧道外的标志牌应安装牢固,满足在风荷载作用下安全、稳定的要求,标志牌表面与线路中线的夹角不宜大于 30° ,并不得侵入铁路建筑限界。

4 着火列车均应以列车司机到达“**车着火停位”标志牌位置为准控制停车。

5 在疏散路径上设置的标志牌底边距离疏散站台面不应小于2 m。

6 普通旅客列车停车标志牌与动车组停车标志牌宜错开布设。

本规范用词说明

执行本规范条文时,对于要求严格程度的用词说明如下,以便在执行中区别对待。

(1)表示很严格,非这样做不可的用词:

正面词采用“必须”,反面词采用“严禁”。

(2)表示严格,在正常情况下均应这样做的用词:

正面词采用“应”,反面词采用“不应”或“不得”。

(3)表示允许稍有选择,在条件许可时首先应这样做的用词:

正面词采用“宜”,反面词采用“不宜”。

(4)表示允许有选择,在一定条件下可以这样做的,采用“可”。

《铁路隧道防灾疏散救援工程设计规范》

条文说明

本条文说明系对重点条文的编制依据、存在的问题以及在执行中应注意的事项等予以说明。为了减少篇幅,只列条文号,不再抄录原文。本条文说明不具备与标准正文同等的法律效力,仅供使用者作为理解和把握标准规定的参考。

1.0.1 随着我国铁路大发展,铁路长大隧道、隧道群急剧增加,为了保障列车在隧道内发生火灾后人员安全疏散和有效救援,指导防灾疏散救援工程设计,特制定《铁路隧道防灾疏散救援工程设计规范》。

我国铁路运输具有跨区域、跨铁路局(公司)、客运距离长等特点,为了保证防灾疏散、救援工程经济适用、科学有效,追求疏散与救援的标准化和应急管理的普适性,制定统一的标准和原则十分必要。

1.0.2 本规范主要针对是旅客列车疏散救援,因此将适用范围界定在新建高速铁路、城际铁路以及客货共线铁路隧道防灾疏散救援工程设计。

1.0.3 《铁路隧道防灾救援疏散工程设计规范》TB 10020—2012(以下简称“原规范”)为体现以人为本的理念,定位于隧道内发生列车火灾事故后,以采取何种措施达到安全疏散为重点,首次提出了以人为本、应急有备、方便自救、安全疏散的防灾救援疏散工程设计原则。

本次修订着眼于实现旅客列车在隧道内发生火灾事故后人员

的安全疏散与快速救援,重点是疏散和救援,由于疏散是发生火灾后的一种短时间内的行为,在应急处理的前期,很难有救援力量到达事故现场,是一个自救疏散的过程。因此,确定了以人为本、自救为主、安全疏散、方便救援的原则。

1.0.5 为了实现安全疏散,不仅需要设计必要的土建工程设施,还需要设置必要的配套设备及应急预案进行保障。任何一个环节的遗漏错失,都可能导致疏散的失败,造成较大的人员伤害和财产损失。因此,防灾疏散救援工程设计是一项系统工程,既要有总体方案设计,还需要有机电设施及其他的配套设计。

1.0.6 铁路工程设计的内容涉及面广,需要遵循的标准很多,本规范仅根据铁路隧道防灾疏散救援工程建设需要列入与其相关的设计要求,有一定的局限性。因此,进行铁路隧道防灾疏散救援工程设计除要符合本规范规定外,还要按照国家现行有关标准、规定进行设计,做到相辅相成、协调统一。

2.0.1 当隧道间洞口间距过小、不具备事故列车停靠后安全疏散要求时,需要按一个长隧道进行防灾疏散救援工程设计。

日本为了预防长大隧道内的列车火灾事故,在修建新干线过程中,将明线小于 400 m 的相邻隧道设定为 1 个火灾对策分区,统一设置相应的火灾对策措施。欧盟委员会条例 NO1303/2014《关于欧盟铁路系统“铁路隧道安全”相关的互通性技术规范》认为两个或者更多的连续隧道应被视为一个隧道除非满足以下条件:

(1)隧道间露天区域长度 $>$ 列车长度最大值+100 m。

(2)隧道间露天区域面积和轨道情况能够满足乘客从列车疏散到安全区域,这个安全区域能容纳满载列车的所有乘客。

综合考虑我国国情,研究认为,隧道群明线长度的划分标准是否容纳一列旅客列车停靠,保证人员能够进行有序的疏散,而不受火灾的影响。故确定洞口间距小于一列客车长度的相邻隧道,称为隧道群。

我国铁路旅客列车编组的最大长度为 SS9 单机牵引 20 辆车,

$L=26.6 \times 20 + 22 = 554$ (m)。对于仅运行动车组的线路,其编组的最大长度为 CRH1E/CRH1B(1E 头型):428.9 m。

3.0.1 防灾疏散救援工程是一项系统工程,需要系统规划疏散和救援技术方案和需要的设施设备,以便分工协作共同完成安全疏散和救援,因此进行总体设计是十分必要的。

3.0.2 洞外疏散相比洞内疏散具有更好的疏散条件和排烟环境,列车在隧道内任何地点着火后还有残余运行能力,可以控制列车到达设定的位置进行疏散,通过设置疏散工程或控制烟雾扩散,能够保证安全疏散。

3.0.3 按照“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”的指导思想。紧急救援站设置需满足火灾工况下旅客疏散需要,但隧道内还可能会发生列车故障(如脱轨、追尾等非火灾事故),导致隧道内任意位置紧急停车,此时仍然需要进行应急疏散,为此,本规范规定了用于列车故障工况下疏散设施,如紧急出口、避难所、横通道等。

3.0.5 隧道内是否设置紧急救援站,主要取决于列车发生火灾事故能否驶离隧道。也就是说,列车发生火灾事故后在残余的运行时间内能否驶离隧道。

我国铁路机车车辆发生火灾后的残余运行能力并没有一个明确的成果,一般认为,如果控制总管没有被破坏,则可以持续运行。

(1) 列车发生火灾事故后的残余运行速度

根据《铁路隧道防灾救援有关技术标准的研究》的成果,火灾事故发生后残余能力受控车型为动车组。

我国近期生产及运营的动车组型号为 CRH1、CRH2 和 CRH5,其动力配置为 $2(2M+1T) + (1M+1T)$ 、 $4M+4T$ 或 $(3M+1T) + (2M+2T)$ 。

根据动车组的故障运行能力,发生火灾后丧失动力比例最大的动车组为 $4M+4T$,在牵引传动系统采用车控的情况下,当动力

损失 1/4 时, 剩余的运行能力相当于 $3M+5T$, 当动力损失 1/2 时, 剩余的运行能力相当于 $2M+6T$ 。

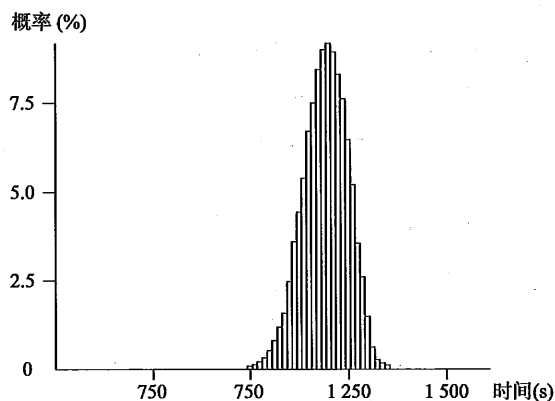
对于最高运行时速 200 km 的 $4M+4T$ 动车组而言, 在动力损失 1/4 的情况下, 在 20% 的直线坡道上的均衡速度为 127.4 km/h, 在动力损失 1/2 的情况下, 在 12% 的直线坡道上的均衡速度为 128.2 km/h。

根据上述资料分析, 即使 $4M+4T$ 动车组丧失了 1/2 的动力, 在 12% 的直线坡道上仍能够维持一定的运行能力, 并且动车组在两处动力车内同时发生火灾的几率非常小, 防灾疏散研究只按照在同一段时间内, 同一列列车只有 1 处动力车发生火灾, 也就是动车组丧失 1/4 的动力。

根据《高速铁路设计规范》TB 10621—2014, 区间正线的最大坡度不宜大于 20%, 因此在动车组丧失 1/4 的动力后, 列车仍然能够维持 100 km/h 以上的速度。

(2) 列车发生火灾事故后的残余运行时间

全长 57 km, 位于瑞士中南部格劳宾登州的圣哥达隧道, 对着火列车的残余运行能力进行了模拟分析, 结果如说明图 3.0.5 所示。



说明图 3.0.5 瑞士圣哥达隧道(57 km)列车火灾后残余的运行时间

从说明图 3.0.5 中可以看出,模拟分析的列车火灾后残余运行时间绝大多数在 1 000 s~1 400 s 之间,保守考虑则在 15 min~20 min 之间。即:绝大多数情况下,列车着火后可以运行 15 min~20 min。

(3)列车发生火灾事故后的残余运行能力

根据(1)、(2)分析,保守的事故列车的运行速度约为 80 km/h,时间约为 15 min。由此,列车发生火灾事故后的残余运行能力为 20 km。

(4)安全评估

圣哥达隧道对列车不能到达“紧急救援站”的几率进行了分析,见说明表 3.0.5。

说明表 3.0.5 圣哥达隧道列车不能到达“紧急救援站”的几率

紧急救援站数量 (座)	紧急救援站间距 (km)	事故客车不能到达紧急救援站 或者出口的可能性
1	30	30%
2	20	0.01%
4	12	0.002 5%

(5)国外有关长隧道设置紧急救援站情况

瑞士圣哥达隧道(57 km,两条单线隧道)紧急救援站间距大致为 20 km,日本青函海底隧道(53.85 km,单洞双线+局部服务隧道)紧急救援站距离为 23 km。

3.0.6~3.0.8 目前对逃生距离有明确的数值规定的是《Safety in Railway Tunnels》UIC-Codex779-9/R 和《Concerning the Technical Specification for Interoperability Relating to ‘Safety in Railway Tunnels’ of the Rail System of the European Union》,其条文支持长度大于 1 km 的隧道内设置紧急出口,并建议紧急出口的距离不大于 1 km(人员平均自救时间按 500 m 考虑)。

以德国为代表的欧洲铁路新建隧道,基本上采用了《Safety in Railway Tunnels》UIC-Codex779-9/R 和《Concerning the Technical Specification for Interoperability Relating to 'Safety in Railway Tunnels' of the Rail System of the European Union》的建议。

亚洲各国(地区)双线隧道的紧急出口设置情况见说明表 3.0.6—1。

说明表 3.0.6—1 亚洲各国(地区)双线隧道紧急出口设置情况

隧道名称	长度(m)	线别	修建年代	施工辅助坑道(后改为紧急出口)	紧急出口(含隧道洞口)之间的最大距离(m)	国家(地区)
黄鹤隧道	9 975	单洞双线	1996~2001	斜井 1 座	4 917	韩国
日直隧道	10 200	单洞双线	1996~2002	斜井 3 座	3 086	韩国
金井隧道	20 333	单洞双线	2002~2009	斜井 2 座, 竖井 3 座	5 450	韩国
八卦山隧道	7 364	单洞双线	2001~2004	横洞 2 处	2 792	中国台湾
湖口隧道	4 275	单洞双线	2001~2004	横洞 2 处	2 260	中国台湾
林口隧道	6 482.5	单洞双线	2001~2004	竖井 2 处	2 781	中国台湾
青函隧道本洲侧(陆地隧道段)	13 550	单洞双线	1964~1988	斜井 2 座, 横洞 1 座	5 710	日本
青函隧道北海道侧(陆地隧道段)	17 000	单洞双线	1964~1988	斜井 2 座	8 060	日本
岩手一户隧道	25 810	单洞双线	1998~2005	斜井 3 座	7 700	日本

我国双线铁路隧道紧急出口设置情况见说明表 3.0.6—2。

说明表 3.0.6—2 我国双线铁路隧道紧急出口设置情况

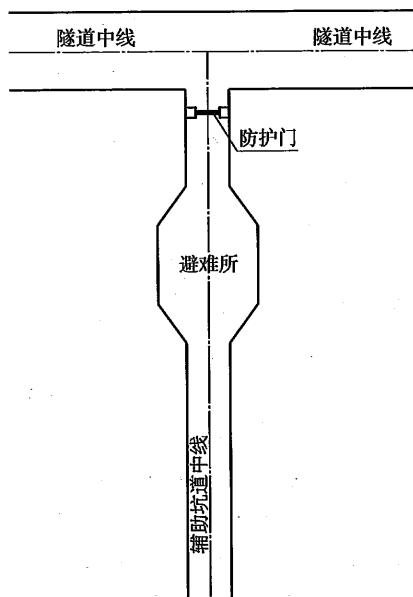
隧道名称	长度 (m)	线别	修建年代	紧急出口	紧急出口(含隧道洞口)之间的最大距离(m)	线路名称
南梁隧道	11 256	单洞双线	2005~2009	斜井 1 座	4 695	石太客专
石板山隧道	7 505	单洞双线	2005~2009	斜井 1 座	5 320	石太客专
函谷关隧道	7 851	单洞双线	2005~2009	斜井 1 座	5 480	郑西客专
张茅隧道	8 483	单洞双线	2005~2009	斜井 1 座	4 570	郑西客专
秦东隧道	7 684	单洞双线	2005~2009	斜井 1 座	5 718	郑西客专
大别山隧道	13 256	单洞双线	2005~2009	斜井 2 座	5 760	合武铁路
金寨隧道	10 766	单洞双线	2005~2009	斜井 1 座	6 345	合武铁路
长岭关隧道	5 488	单洞双线	2005~2009	斜井 1 座	3 686	合武铁路

注:石太、郑西隧道的紧急出口选择了多座施工辅助坑道的其中之一,合武铁路的紧急出口使用了全部施工辅助坑道。

《Safety in Railway Tunnels》UIC-Codex779-9/R 和《Concerning the Technical Specification for Interoperability Relating to ‘Safety in Railway Tunnels’ of the Rail System of the European Union》对紧急出口间距的建议标准均是针对火灾工况下列车在紧急出口停靠时人员疏散的。根据前述圣哥达隧道的研究结论:紧急救援站的距离为 20 km 时,列车没有到达救援站的概率约为 0.01%;与紧急救援站设置距离相关的敏感性结果表明,当紧急救援站间的距离超过 20 km 时,列车在隧道中任一位置出现故障的概率与距离增长不成比例。

基于以上分析,本着因地制宜、适量设置的原则,对紧急出口及避难所设置进行了规定。常用避难所布置形式如说明图 3.0.6 所示。

3.0.10 疏散救援工程设施服务于隧道的运营安全,属于永久工程。由于工作状态和维护条件不同于隧道主体工程,需要视工程部位、围岩状况进行结构设计,采用复合式衬砌、喷锚衬砌等结构



说明图 3.0.6 避难所设计示意图

类型。同时要考虑工程所处的地表环境、水文环境结合结构设计进行防排水设计,保证在疏散的路径上或待避区域内地面无积水。兰新、京广、合福、石太等高速铁路隧道的紧急出口、避难所基本采用了喷锚衬砌与复合式衬砌相结合的结构类型。

3.0.12 本条是根据《青藏铁路关角隧道防灾救援国际咨询成果》和《新建铁路成都至兰州线成都至川主寺段补充初步设计隧道防灾救援疏散工程设计技术国际咨询成果》的研究成果制定的。

该咨询成果吸纳了国际先进经验,在调研了欧洲、美国对火灾规模的有关研究成果和规定的基础上,根据公安部天津消防研究所关于旅客携带行李的燃烧发展速度曲线的研究,对比 FDS 数值计算和现场试验,结合我国旅客列车的所用材料及乘车人的特征,确定普通旅客列车发生火灾时的火灾规模采用 20 MW,动车组发生火灾时的火灾规模采用 15 MW。

3.0.14 根据中国铁路总公司重大课题《长大及大规模隧道群的防灾救援技术》(2013T001)的研究成果:隧道发生火灾后,人员能否安全疏散主要取决于两个特征时间,一是火灾发展到对人员构成危险所需的时间,即可用安全疏散时间;另一个是全部人员疏散到安全区域的时间,即必需安全疏散时间。如果人员能在火灾达到危险状态之前全部疏散到安全区域,便认为该隧道的防火安全设计对于火灾中的人员疏散是安全的。

根据原铁道部重大课题《特长隧道防灾救援、安全疏散及通风技术研究》(2005G016-C)成果,火灾事故列车停在“紧急救援站”后的疏散时间为 6 min。《地铁设计规范》GB 50157—2013 第 28.2.11 条:车站站台公共区的楼梯、自动扶梯、出入口通道应满足发生火灾时,能在 6 min 内将一列进站列车所载的乘客及站台上的候车人员全部撤离站台到安全区。美国的 NFPA130《Standard for Fixed Guideway Transit and Passenger Rail Systems》第 5.5.6.2 条要求从车站的最远处到达安全区域的最长疏散时间为 6 min。

3.0.15 疏散救援设施及设备的接口设计一般包括待避场地和外界道路等接口设计。

3.0.16 防灾疏散救援工程只有纳入运营单位的应急管理系统后,才能真正服务于运营安全,制定本条的目的是强调纳入运营单位的应急管理系统的重要性。

4.1.3 本条系根据《新建铁路成都至兰州线成都至川主寺段补充初步设计隧道防灾救援疏散工程设计技术国际咨询成果》的研究成果制定的。车站在防灾救援、疏散方面具备以下功能:

(1)车站具备完善的信号系统,具备良好的控制行车的条件,可以保证列车在车站停靠。

(2)车站具有值班人员,着火列车可以通过站台上的接车员指挥使列车准确停靠在远离隧道洞口的明线段。

(3)车站设有与地面联系的人行通道,并具备与外界联络的交

通条件。

(4)配备了照明条件。

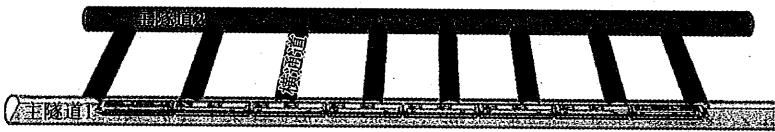
(5)具备紧急疏散时接触网的断电功能。

综上所述,两隧道间设置的车站能满足隧道口紧急救援站的功能。

4.1.4 为保证防灾救援工程设施设备的正常使用,方便施工过程控制和工程验收,参考《地下工程防水技术规范》GB 50108—2008制定了本条。

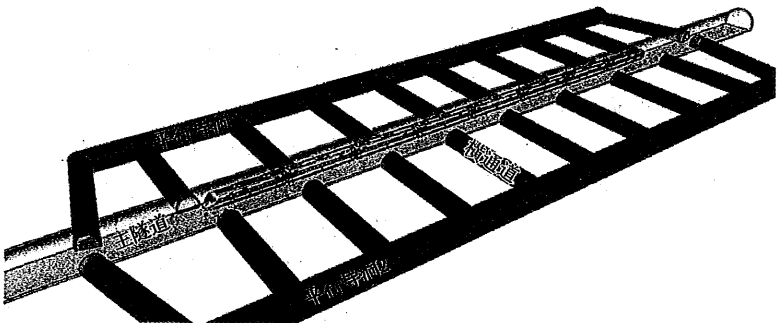
4.2.1 可产生有毒、有害气体的隧道,在轮廓突变或密闭处,易发生有毒、有害气体聚集造成次生灾害。

4.2.3 加密横通道型适用于双洞单线隧道,如说明图 4.2.3—1 所示。



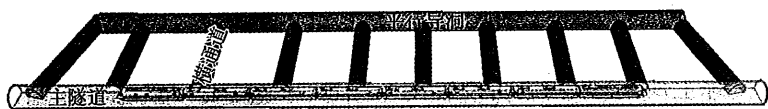
说明图 4.2.3—1 加密横通道型

两侧平导型适用于单洞双线隧道,如说明图 4.2.3—2 所示。



说明图 4.2.3—2 两侧平导型

单侧平导型适用于单洞单线隧道,如说明图 4.2.3—3 所示。



说明图 4.2.3—3 单侧平导型

除这三种类型之外,还有在双洞单线隧道中间设置平行导坑作为避难空间,并加密横通道使其互连的类型。

4.2.4 瑞士圣哥达隧道的紧急救援站长度为 516 m;日本青函隧道“定点”长度约 480 m;我国乌鞘岭隧道的紧急救援站长度为 500 m,太行山隧道紧急救援站的长度为 550 m。紧急救援站长度一般根据列车长度或动车组长度以及停车偏差考虑。

对于高速铁路,根据《高速铁路设计规范》TB 10621—2014,站台长度按 450 m 考虑。对于客货共线铁路,SS9 单机牵引 $L=26.6 \times 20 + 22 = 554$ (m) 为我国铁路旅客列车编组的最大长度,故站台长度按 550 m 设置。对于城际铁路,根据《城际铁路设计规范》TB 10623—2014,8 辆编组时站台长度按 220 m 设置,考虑一定富余量,一般取 230 m。

4.2.5 根据《铁路隧道防灾救援有关技术标准的研究》成果确定的站台宽度,具体如下:

紧急救援站的站台宽度,依据的标准是人员从列车疏散到站台,同时纵向能够疏散。

《建筑防火工程》(李引擎编,化学工业出版社,2005)中建议,一个人所占据面积为 $450 \text{ mm} \times 610 \text{ mm}$ (体厚 \times 体宽)。

《建筑防火工程》(李引擎编,化学工业出版社,2005)中根据人数计算通道宽度的方式,其中 1 个通过单位为 0.6 m。

设横通道间距为 60 m,按照一节车的长度为 26 m 计算,则两横通道间的人数最多为 5 个车门下降的人数,相当于 2.5 节车的人数 300 人(按 1 节车 120 人考虑),同一方向的最大人员通量为 3

个车门下降的人数,为 180 人。

据此计算的通道为 $180/100+1=2.8$ 个通过单位。

通道宽度为 $W=2.8 \times 0.6=1.68$ m,取 1.70 m。

考虑人员下车占用空间 0.6 m。

则站台宽度为 $1.7+0.6=2.3$ m。

4.2.6 横通道的间距确定考虑了以下因素:

(1)横通道间距初定

人在火场内的危险来临时间是决定横通道间距的关键。

根据《建筑防火工程》(李引擎编,化学工业出版社,2005),人在火场内的危险来临时间见式(说明 4.2.6):

$$T_{\text{crit}} = \min\{t_1, t_2, t_3, t_4, t_5\} \quad (\text{说明 4.2.6})$$

式中 t_1 ——人员不能承受辐射热情况的来临时间(s);

t_2 ——火场空气温度忍受极限时间(s);

t_3 ——烟中有害气体浓度达到威胁人员安全的来临时间(s);

t_4 ——能见度影响到人员步行速度的来临时间(s);

t_5 ——物体破碎等危及人身安全的来临时间(s)。

上述因素相互之间互有关联,完全进行参数化确定是有困难的,因此,研究认为,对其中的非控制参数进行排除法,取其中的控制因素进行疏散设计。

热辐射取值非常困难,因为列车条件各不相同,燃烧情况也很难预测,从理论上讲,发生火灾的可能是某个车厢内,隧道内受车厢向外的热辐射程度可能较低,因此按不控制因素考虑。

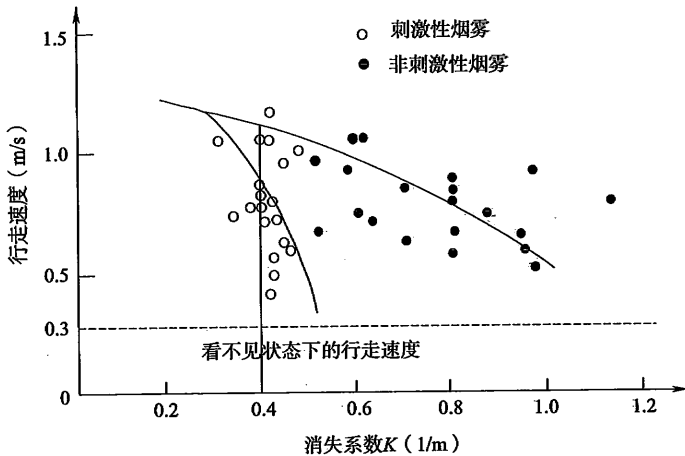
火场气温与热辐射关联,同时也受到烟囱效应及通风的影响,因为列车长度较长,在列车上疏散后,人员离火场有一定的距离,因此也按不控制因素考虑。

有害气体对人员危害极大,其中的一氧化碳、二氧化碳以及其他有害气体达到一定的浓度,在短时间内可能致人死亡,但隧道有一定净空高度,同时也受烟囱效应的影响,有害气体的浓度很不固

定,因此也按不控制因素考虑。

因此,隧道内发生火灾后人在火场内的危险来临时间按照能见度影响人的步行速度确定。

由于烟气的减光作用,人员在有烟场合下的能见度必然有所下降,而这对火灾中的人员安全造成严重影响。随着减光度的增大,人的行走速度减慢,在刺激性烟气的环境下,行走速度明显减慢。当减光度大于 $0.5 \text{ m}^{-1} \sim 1 \text{ m}^{-1}$ 时,人的行走速度降至约 0.3 m/s ,相当于蒙上眼睛的行走速度。世界道路协会(PIARC)根据实际观测数据,给出了人员在有刺激性和无刺激性烟雾中的行走速度,如说明图 4.2.6 所示。



说明图 4.2.6 人员在刺激性和非刺激性烟雾下的行走速度

从设置紧急救援站的距离来看,一般在 20 km 左右,列车行走的时间在 15 min 左右,在此期间,发生火灾的车厢将被隔断,空调系统切断,也就是说,在紧急救援站停车时,烟雾不会弥漫到使人不能睁开眼睛的地步。因此,实际疏散速度大于 0.3 m/s 。

《建筑防火工程》(李引擎编,化学工业出版社,2005)“用于疏散预测计算的步行速度的典型数值表”,其中人员密度大、人员不

固定的剧场内向上疏散的步行速度为 0.45 m/s。

研究考虑在疏散段内人员的疏散速度约为 0.4 m/s。

按 6 min 计算停车后的疏散时间(或危险来临时间),考虑人员全部从车内疏散到隧道内时间为 4 min,则最后一个人离开发生火灾现场到达横通道内的时间则只有 2 min。

则最长的疏散距离为 $L=2 \times 60 \times 0.4=48(\text{m})$,则横通道的距离为 96 m。

(2)通行速度的反推与横通道间距确定

人员通行流量见式(说明 4.2.6):

$$F=vDW \quad (\text{说明 } 4.2.6)$$

式中 v ——人员行走速度(m/s);

D ——人流密度,按全列车人全部在通道内计算,则按 2.65 人/ m^2 计算;

W ——通道宽度,按 1.7 m 计算。

人员通行量按 3 个车门下降人员同时到达紧急出口确定, $F=180/120=1.5(\text{人/s})$ 。

则人的疏散速度 $v=1.5/(2.65 \times 1.7)=0.33(\text{m/s})$ 。

最长的疏散距离为 $L=2 \times 60 \times 0.33=39.6(\text{m})$ 。

横通道间距为 79.2 m。

根据以上计算,综合考虑隧道内发生火灾后的错综复杂的环境因素,确定横通道的间距为不大于 60 m。

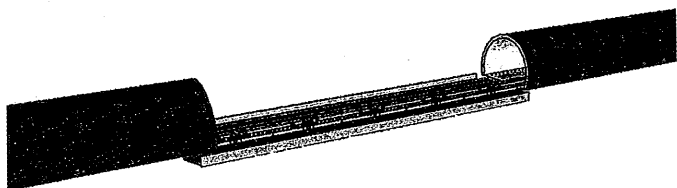
4.2.7 紧急救援站横通道断面净空尺寸是结合了防护门的尺寸后确定的内轮廓尺寸。

4.2.10 《人民防空地下室设计规范》GB 50038—2005 规定,人员掩蔽工程的面积为 1 人/ m^2 ,《建筑防火工程》(李引擎编,化学工业出版社,2005)中对超高层建筑避难层的基本要求为 5 人/ m^2 。

聚集疏散者的密度决定水平运动的速度,当人员密度为 1.5 人/ $\text{m}^2 \sim 2$ 人/ m^2 时,人员的行动受约束,但可以被疏散人员所接受,而一旦达到 5 人/ m^2 时,疏散速度可能降为 0。因此,研究认为,紧急救援站内人员等待的空间按照 0.5 m^2 /人考虑。

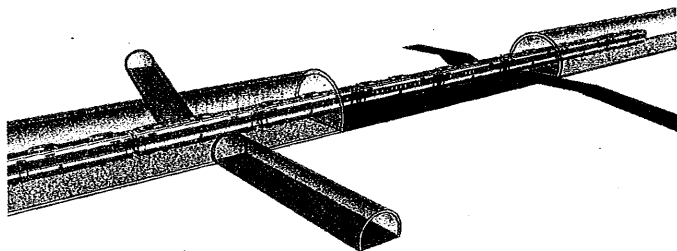
4.3.3

1 洞口疏散型(说明图 4.3.3—1):适用于明线段长度大于 250 m 的隧道群。



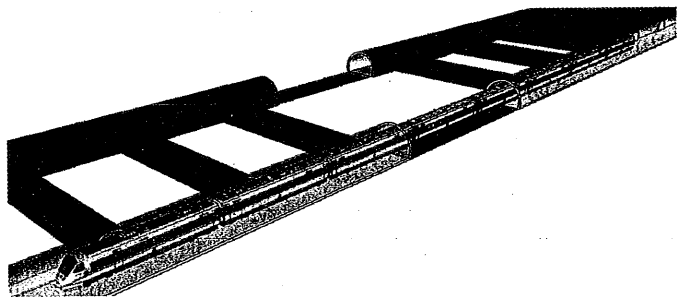
说明图 4.3.3—1 洞口疏散型

2 洞口辅助坑道型适用于单、双洞隧道群。其中辅助坑道包括平导、横洞、斜井等,洞口辅助坑道(横洞)型如说明图 4.3.3—2 所示。



说明图 4.3.3—2 洞口辅助坑道(横洞)型

3 洞口横通道加密型(说明图 4.3.3—3):适用于双洞隧道群。



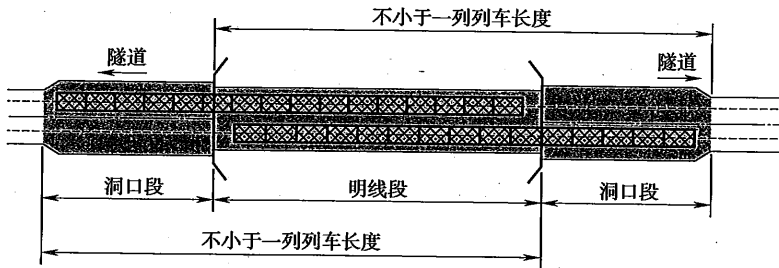
说明图 4.3.3—3 洞口横通道加密型

4.3.4 根据《长大及大规模隧道群的防灾救援技术》和《新建铁路成都至兰州线成都至川主寺段补充初步设计隧道防灾救援疏散工程设计技术国际咨询成果》的研究成果,着火列车停在明线段后烟气的影响范围主要考虑了以下三个因素:

- (1)事故列车紧急停车的安全距离,取 60 m。
- (2)火灾烟流对隧道洞口间距的影响长度,取 $55\text{ m} \times 2 = 110\text{ m}$ 。
- (3)火灾车厢对相邻两车厢的影响长度,取 80 m。

综合以上 3 项影响因素,可以确定当隧道洞口明线段长度大于 250 m 时,烟气对隧道内的环境基本无影响。

4.3.5 隧道口紧急救援站长度包括明线段长度(洞口间距)及两侧洞口段长度,其中,明线段长度加上任意一端洞口段长度等于旅客列车编组长度加一定富余量。其长度设计示意图如说明图 4.3.5 所示。



说明图 4.3.5 隧道口紧急救援站长度示意图

4.4.1 关于紧急出口:

1 平行导坑和横洞作为紧急出口相比斜井和竖井更有利于人员疏散,故在有条件的情况下优先选择平行导坑或横洞。

2 斜井式紧急出口长度、坡度标准采用了《铁路隧道防灾救援有关技术标准的研究》成果。

3 竖井式紧急出口高度采用了《国际铁路联盟(UIC)规程

779-9/R《铁路隧道安全》(2003版)建议的标准,即30 m。楼梯宽度则采用了《地铁设计规范》GB 50157—2013规定乘客使用的人行楼梯单向通行不小于1.8 m。

4 紧急出口断面净空尺寸采用了《铁路隧道防灾救援有关技术标准的研究》成果。即有效净空宽度不小于3.0 m,高度不小于2.2 m。

4.4.2 关于避难所:

1 宽度按照《公路工程技术标准》JTG B01—2014最小车道宽度3.0 m+人行道宽度0.75 m+单侧侧向宽度0.25,总计4.0 m。考虑到可能设置通风管道和施工等因素,高度与紧急救援站内平行导坑保持一致。

2 待避区面积同紧急救援站待避区面积要求。

4.5.1 《Safety in Railway Tunnels》UIC-Codex 779-9/R 和《Concerning the Technical Specification for Interoperability Relating to 'Safety in Railway Tunnels' of the Rail System of the European Union》均建议横通道之间的距离约为500 m。

考虑到紧急救援站之外的横通道一般作为列车故障情况下人员疏散用,综合成本、功能和效率等因素,确定横通道间距一般情况下不大于500 m,困难条件下如水下隧道水压力较大时一般不大于1 000 m。

4.6.2 我国对疏散通道(救援通道)宽度要求没有统一,见说明表4.6.2—1:

说明表 4.6.2—1 国内标准对铁路隧道救援通道宽度的要求

标准名称	救援通道宽度
《高速铁路设计规范》TB 10621—2014	不宜小于1.5 m 在装设专业设施处可适当减少
《新建时速200公里客货共线铁路设计暂行规定》 (铁建设函〔2005〕285号)	不得小于1.25 m

续说明表 4.6.2—1

标准名称	救援通道宽度
《铁路隧道设计规范》TB 10003—2005	设置救援通道时,宽度不应小于 1.25 m
《城际铁路设计规范》TB 10623—2014	不宜小于 1.0 m

《地铁设计规范》GB 50157—2013 第 5.2.2 条第 6 款关于疏散平台的规定:设置于单侧的疏散平台宽度一般情况下不小于 0.7 m,困难情况下不小于 0.55 m。

目前国际铁路联盟(UIC)、欧盟、美国、欧洲等对疏散通道宽度的规定见说明表 4.6.2—2。

从表 4.2.6—2 可以看出:国外大部分国家对救援通道走行面宽度要求在 0.61 m~1.20 m 之间,其考虑的主要因素也是能够满足行人通过和洞外救援力量进入。

考虑到疏散通道主要为停车时人员从侧面通行,故将人行通道宽度 0.75 m 作为疏散通道的最小宽度。

4.7.1 紧急救援站内的防护门尺寸是根据《新建铁路成都至兰州线成都至川主寺段补充初步设计隧道防灾救援疏散工程设计技术国际咨询成果》和《关角隧道通风、防灾救援及其他相关安全方面的国际设计审查及咨询服务》的研究成果确定的。

全长为 32.690 km 的关角隧道(双洞单线)在紧急救援站的横通道内设置了两道共四扇防护门,均向疏散方向开启。瑞士的圣哥达隧道(双洞单线)亦在横通道两端设置了防护门,采用横向滑移的开启方式。

4.7.2~4.7.3 防护门通行净宽度按照不小于 2 倍人行道宽度确定,即 $2 \times 0.75 \text{ m} = 1.5 \text{ m}$ 。通行净高与《地铁设计规范》GB 50157—2013、《Safety in Railway Tunnels》UIC-Codex779-9/R 和《Concerning the Technical Specification for Interoperability Relating to 'Safety in Railway Tunnels' of the Rail System of the European Union》规定的安全门的最小高度 2.0 m 保持一致。

说明表 4.6.2—2 国外标准对铁路隧道疏散通道宽度的要求

国家或机构	规范名称	条文	宽度
国际铁路联盟	UIC-Codex 779-9/R 《Safety in Railway Tunnels》	I-40 Escape routes: Minimum width for new tunnels: >70 cm, optimally 1.20 m	大于 0.7 m 最优 1.2 m
欧盟	COMMISSION REGULATION (EU) No 1303/2014	4.2.1.6 Escape walkways: The width of the walkway shall be at least 0.8 m	最小 0.8 m
美国	NFPA130	6.2.1.9 (1)610 mm (24 in.) at the walking surface to (2)760 mm (30 in.) at 1 420 mm (56 in.) above the walking surface and to (3)610 mm (24 in.) at 2 025 mm (80 in.) above the walking surface	走行面 0.61 m; 1.42 m 高 度处为 0.76 m; 2.025 m 高度处为 0.61 m
意大利	Linee guida per il miglioramento della sicurezza nelle gallerie ferroviarie	Min. width 0.85 m, optimal width 1.20 m (new tunnels)	最小 0.85 m 最优 1.2 m
瑞士	Regelwerk SBB I-20036	Mindestbreite Fluchtweg: 1.00 m	最小 1.0 m
德国	Fire and Disaster protection in railway tunnels	Escape routes must be at least 1.20 m wide. It is permissible for the escape route to be limited to a width of 80 cm in the area of the stationary vehicle	最小 1.2 m 在有固定设备处 限制为 0.8 m
法国	Instruction technique interministérielle relative à la sécurité dans les tunnels ferroviaires IT N 98-300	Width must be 0.5 m at the base and 0.7m at shoulder level	走行面最小 0.5 m 人肩特征高度处 0.7 m

续说明表 4.6.2—2

国家或机构	规范名称	条文	宽度
英国	《Railway Safety Principles and Guidance, Part 2, Section A, Guidance on the infrastructure》	At least 850 mm wide with 2 000 mm headroom above the centreline of the walkway	最小 0.85 m
日本	—	—	未设置救援通道

注：日本新干线考虑隧道发生火灾时贯彻“继续运行，脱出隧道，停在最适合乘客避难位置是有效的”的基本方针，仅对长大隧道设置避难站，采取定点疏散，隧道内并未设置疏散通道。

4.7.5 关于防护门:

1 《地铁设计规范》GB 50157—2013 规定联络通道内设甲级防火门。

2 《人民防空地下室设计规范》GB 50038—2005 规定防护门具有 0.10 MPa 的抗爆能力。考虑客运专线隧道内活塞风的影响,确定防护门具有 0.05 MPa 的抗爆能力。

3 《防火门》GB 12955—2008 规定防火门门扇开启力不应大于 80 N。

关角隧道采用的防护门技术参数见说明表 4.7.5。

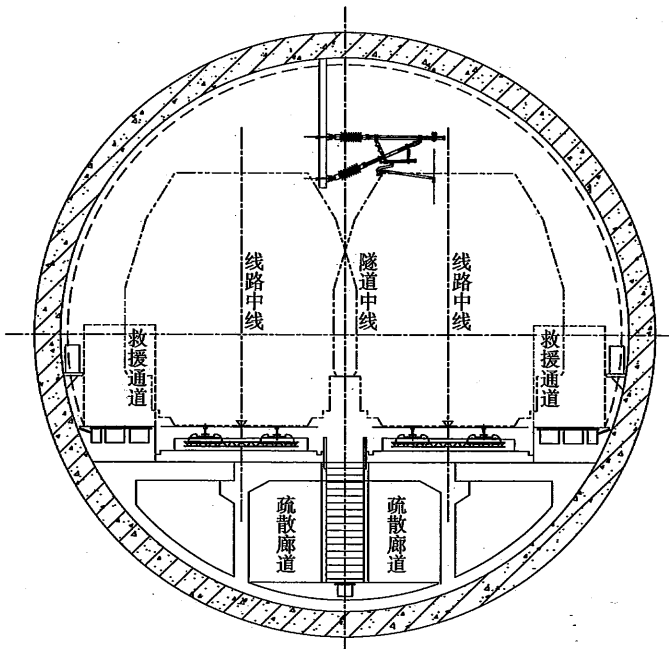
说明表 4.7.5 关角隧道防护门技术参数

耐火完整性	抗爆荷载 (客货)	使用寿命或抗活塞风压 疲劳强度	耐火隔热性	尺寸(宽×高)
3.0 h	0.1 MPa	20 kPa 压力/吸力, 500 000 个周期	1.5 h	1.7 m×2 m(逃生门)

防护门作为一个整体,包括门轴、门栓、门锁等能够抵抗列车活塞风压、火风压,满足铁路隧道空气动力学要求。

4.8.1 采用盾构法施工的单洞双线隧道,由于隧道底部存在富余空间,多加以利用作为紧急情况下的疏散救援通道,如说明图 4.8.1 所示。具体疏散路径为:车上人员→下车至行车道层救援通道→沿救援通道绕过事故列车→跨过轨道进入隧道中线→沿楼梯道进入底部疏散廊道→沿廊道进入两端工作井→沿工作井出地面。采用该种疏散方式的隧道有广深港高铁益田路隧道、北京地下直径线前三门隧道、天津地下直径线海河隧道等。

5.1.1 紧急出口、避难所处人员疏散的必需安全疏散时间大于可用安全疏散时间,不能满足着火列车人员疏散的要求,故紧急出口、避难所按列车故障工况进行通风设计。



说明图 4.8.1 铁路盾构法隧道底部廊道疏散方式

(1) 停车模式

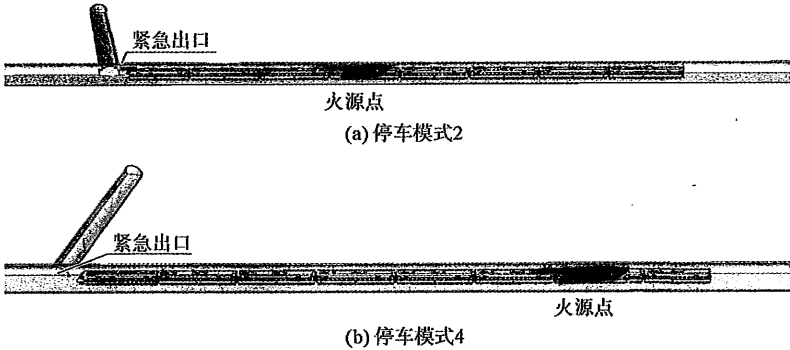
根据火源位置、紧急出口与列车相对位置以及列车上人员分布密度等因素确定得到紧急出口、避难所处着火列车的基本停车模式为 4 种,见说明表 5.1.1。

说明表 5.1.1 停车模式

停车模式	火源点位置			紧急出口处列车部位	
	前部	中部附近	后部	头部	尾部
1	●				●
2		▶		●	
3		◀			●
4			●	●	

注: ▶表示着火列车人员分布密度前部大后部小;◀表示人员分布密度后部大前部小。

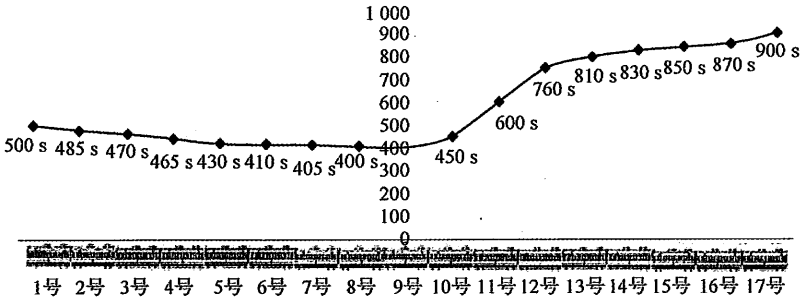
通过比选,选择停车模式 2 和 4 进行研究,具体停车情况如说明图 5.1.1—1 所示。



说明图 5.1.1—1 停车模式示意图

(2) 可用安全疏散时间

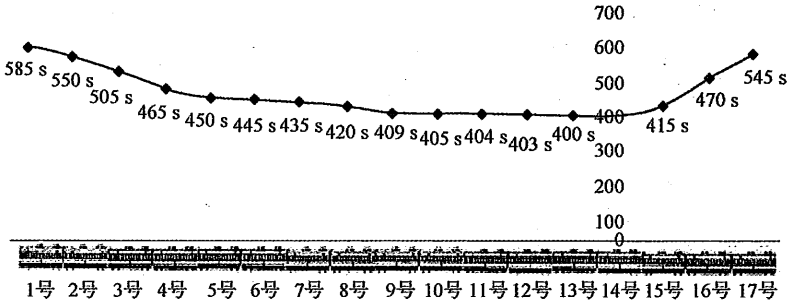
停车模式 2 情况下,火灾环境中的每节车厢处的可用安全疏散时间计算结果如说明图 5.1.1—2 所示。



说明图 5.1.1—2 停车模式 2 情况下可用安全疏散时间图

由说明图 5.1.1—2 可知,火源附近的可用安全疏散时间大约为 400 s,紧急出口处的可用安全疏散时间大约为 500 s,车尾处的可用安全疏散时间大约为 900 s。

停车模式 4 情况下,火灾环境中的每节车厢位置处的可用安全疏散时间如说明图 5.1.1—3 所示。

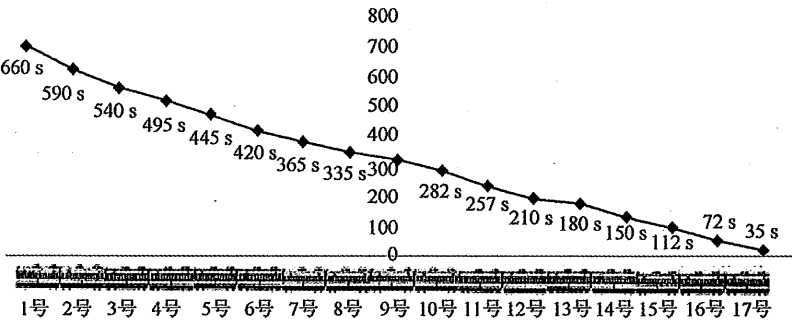


说明图 5.1.1—3 停车模式 4 情况下可用安全疏散时间图

由说明图 5.1.1—3 可知,火源附近的可用安全疏散时间大约为 400 s,紧急出口处的可用安全疏散时间大约为 600 s,车尾处的可用安全疏散时间大约为 580 s。

(3) 必需安全疏散时间

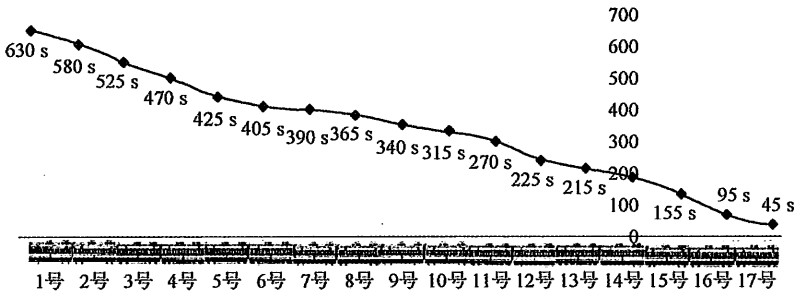
停车模式 2 情况下,火灾环境中的每节车厢位置处的必需安全疏散时间如说明图 5.1.1—4 所示。



说明图 5.1.1—4 停车模式 2 情况下必需安全疏散时间图

由说明图 5. 1. 1—4 可知,火源附近的必需安全疏散时间大约为 300 s,紧急出口处的必需安全疏散时间大约为 660 s,车尾处的必需安全疏散时间大约为 35 s。

停车模式 4 情况下,火灾环境中的每节车厢位置处的必需安全疏散时间如说明图 5. 1. 1—5 所示。



说明图 5. 1. 1—5 停车模式 4 情况下必需安全疏散时间图

由说明图 5. 1. 1—5 可知,火源附近的必需安全疏散时间大约为 200 s,紧急出口处的必需安全疏散时间大约为 630 s,车尾处的必需安全疏散时间大约为 45 s。

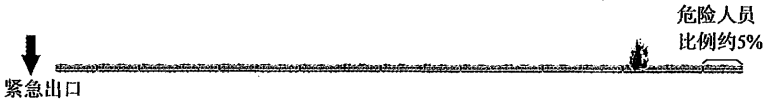
(4) 人员危险时间

根据人员安全疏散判定标准(可用安全疏散时间大于必需安全疏散时间)可知,在停车模式 2 情况下,当人员疏散至距紧急出口六节车厢时,人员的可用安全疏散时间为 410 s,必需安全疏散时间为 420 s,可用安全疏散时间小于必需安全疏散时间,人员开始处于危险环境,危险人员比例大约为 15%,如说明图 5. 1. 1—6 所示。



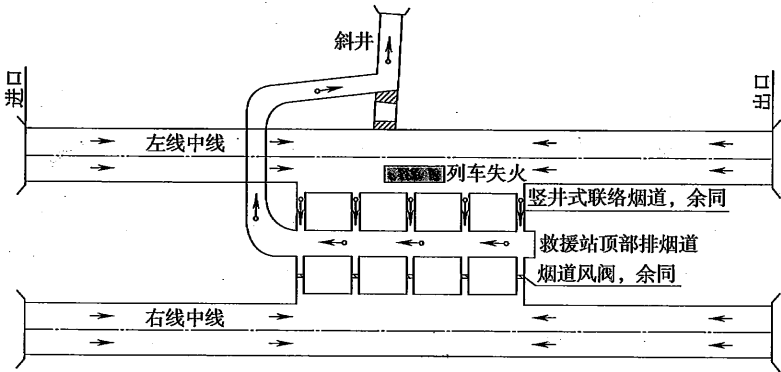
说明图 5. 1. 1—6 停车模式 2 危险范围示意图

在停车模式 4 情况下,当人员疏散至距紧急出口四节车厢时,人员的可用安全疏散时间为 465 s,必需安全疏散时间为 470 s,可用安全疏散时间小于必需安全疏散时间,人员开始处于危险环境,危险人员比例大约为 5%,如说明图 5.1.1—7 所示。

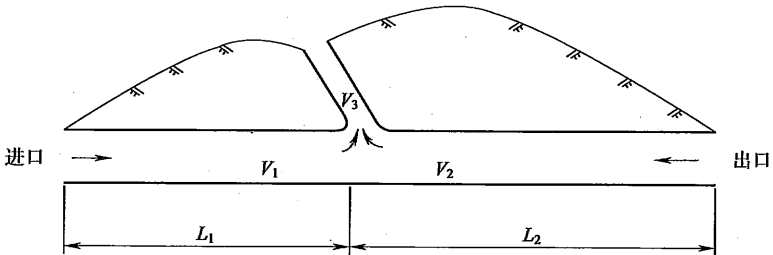


说明图 5.1.1—7 停车模式 4 危险范围示意图

5.2.1 半横向式排烟通风方式、集中排烟通风方式示意图如说明图 5.2.1—1 和说明图 5.2.1—2 所示。



说明图 5.2.1—1 半横向式排烟通风方式示意图



说明图 5.2.1—2 集中排烟通风方式示意图

5.3.1 关于隧道紧急救援站通风:

1 紧急救援站模型试验结果表明:当横通道附近发生火灾时,为确保火灾时的安全,横通道内的乘客疏散方向的迎面风速需在 1.5 m/s 以上。本规范规定考虑了一定的安全储备,对紧急救援站横通道防护门处最小风速按照 2 m/s 控制,风向从非火灾区吹向火灾区域。

2 新风量是参考《人民防空地下室设计规范》GB 50038—2005,人员掩蔽室通风量按照 $6 \text{ m}^3/(\text{人} \cdot \text{h}) \sim 7 \text{ m}^3/(\text{人} \cdot \text{h})$,考虑紧急救援站待避区为事故发生后的避难场所,设计标准有所提高,按照 $10 \text{ m}^3/(\text{人} \cdot \text{h})$ 核算。

5.3.4~5.3.5 《铁路隧道运营通风设计规范》TB 10068—2010 规定:由人体感觉、适应能力、安全性等因素确定隧道内最大风速不大于 8 m/s 。根据对通风道经济断面及经济风速的综合技术比较,通风道内经济风速为 $13 \text{ m/s} \sim 18 \text{ m/s}$ 。

5.5.5 考虑到隧道内行车安全,《铁路隧道运营通风设计规范》TB 10068—2010 规定:射流风机采用洞口堆放式或洞内壁龛式。当射流风机布置在紧急出口、避难所时,风机出口段风速对人员通行有一定的影响,此时一般将风机设置在距离地面 2.5 m 以上的高度或拱顶,降低此影响。

6.2.5 可用安全疏散时间的主要影响因素有:辐射热、对流热、可视度、毒性等。综合分析辐射热、对流热对人体耐受时间的影响,可视度对人员确定逃生路径和反应时间的影响,毒性(以 CO 的体积分数为主要定量判定指标)对人体的影响,并参考美国消防协会标准《Standard for Fixed Guideway Transit and Passenger Rail Systems》、世界道路协会标准《Fire and Smoke Control in Road Tunnels》以及《中国消防手册(第三卷)——消防规划·公共消防设施·建筑防火设计》(郭铁男主编,上海科学技术出版社,2006)等规范或文献的规定,确定可用安全疏散时间的判定标准为:

1 隧道内特征高度 2 m 处,烟气温度不超过 60°C 。

2 隧道内特征高度 2 m 处, 可视度不小于 10 m。

满足以上任意一项, 即可作为隧道火灾的可用安全疏散时间。人眼特征高度一般取 1.6 m~1.7 m, 这里取为 2 m 是参考了欧洲防灾工程设计经验, 考虑一定的安全储备。

6.3.3 由于必需安全疏散时间的确定涉及到大量人员在危险状况下的反应及具体疏散场景的条件, 故一般采用仿真模拟进行分析, 采用理论公式进行校核, 并取二者较大值作为必需安全疏散时间。目前国内外开发了多种不同的人员疏散安全评价软件, 其中, 比较典型的有 Building EXODUS、STEPS、EVACNET 4、SIMULEX、Pathfinder 等。

以 Building EXODUS 为例简要说明某隧道内紧急救援站人员必需安全疏散时间的计算步骤, 并与理论值进行比较。

(1) 紧急救援站概况

某双洞单线隧道长 28.426 km, 在隧道中部设置隧道内紧急救援站, 长 550 m, 救援站左、右线间每隔 50 m 设一处横通道, 共计 11 条横通道, 采用半横向式排烟, 拱部上方设置排烟道与斜井相连, 并于左、右线隧道拱顶按间距 100 m 设置竖井式联络烟道与排烟道相接, 左、右各设置 5 处竖井式联络烟道。

(2) 人员数量及组成

隧道通行普通旅客列车和动车组, 其中普通旅客列车 20 辆编组, 定员 1 370 人, 考虑超载 20% 后为 1 644 人; 动车组 16 辆编组定员 1 229 人, 考虑超载及乘务人员后为 1 495 人。人员组成比例见说明表 6.3.3—1。

说明表 6.3.3—1 人员组成比例

性别	男 性				女 性			
	<16	16~30	30~50	>50	<16	16~30	30~50	>50
比例	6%	21%	24%	4%	4%	21%	17%	3%

(3) 人员疏散速度

数值模拟中的人员疏散速度取值见说明表 6.3.3—2。

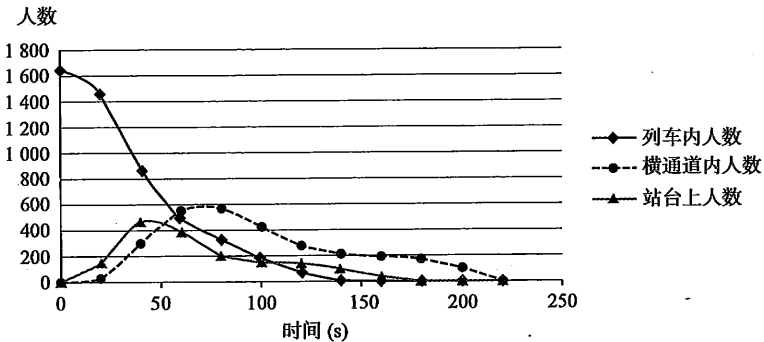
说明表 6.3.3—2 模拟计算中不同人员类型的疏散速度取值

人员类型	儿童	成年男性	成年女性	老年人
平坦地面无烟行走速度(m/s)	0.8	1.2	1	0.72
平坦地面有烟行走速度(m/s)	0.78	1.17	0.97	0.7
不平地面有烟行走速度(m/s)	0.67	1	0.8	0.6

(4) 建立模型、设置边界条件

(5) 计算结果

数值计算结果如说明图 6.3.3 所示。



说明图 6.3.3 人员从事故客车通过横通道疏散至安全区域的仿真模拟结果

从说明图 6.3.3 可以看出,该火灾工况下仿真模拟人员必需安全疏散时间为 194 s。

(6) 理论计算

v_1 取 0.8 人/s, A 取 83.3 人/(min·m), B 取 $1.7 \text{ m} \times 11 = 18.7 \text{ m}$, 则人员疏散时间的计算见式(说明 6.3.3):

$$T = \frac{Q_1}{80v_1} + \frac{Q_2}{0.9AB} = \frac{141}{80 \times 0.8} + \frac{1644}{0.9 \times 83.3 \times 18.7} = 203(\text{s})$$

(说明 6.3.3)

通过以上计算可以得到,该工况下理论计算人员必需安全疏散时间为 203 s。

6.3.4 数值模拟法可以考虑各种工况及多种因素,得出各参量的瞬态结果和稳态结果。但是,当计算规模较大时周期较长,因此,一般用于局部流场内的风流速度、温度分布、有害物质浓度等计算。

数值模拟法采用的计算模型主要有单区域、多区域和场模型等,一般应用较多的为场模型。场模型即计算流体动力学(Computational Fluid Dynamics, CFD)模式,是利用计算机求解各参量的空间分布及其随时间的变化,是一种物理模拟。场模型的理论基础是自然界普遍成立的质量守恒、动量守恒、能量守恒以及化学反应定律等。

CFD数值模拟主要分为直接数值模拟法、雷诺平均法、大涡模拟法三种,一般采用雷诺平均法。一般通用商业软件有FLUENT、STAR-CD、PHOENICS、CFX、SOFIE、FDS和JASMINE等。

以FDS为例简要说明隧道内紧急救援站人员可用安全疏散时间的计算步骤。

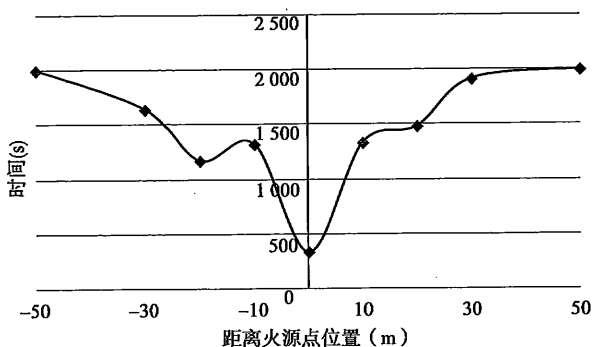
- (1)紧急救援站概况同本条文说明第6.3.3条。
- (2)建立计算模型,火灾规模设定为20 MW。
- (3)根据可视度和温度确定可用安全疏散时间。

距火源不同距离的人员可用安全疏散时间曲线如说明图6.3.4所示。

从说明图6.3.4可以看出,可用安全疏散时间随着远离火源而明显增多。火源附近可用安全疏散时间约为303 s,高于必需安全疏散时间203 s。即满足可用安全疏散时间 $>$ 必需安全疏散时间,并且必需安全疏散时间小于6 min。

7.2.1 应急照明的设置范围是依据《铁路工程设计防火规范》TB 10063—2016 制定的。

7.3.1 应急通信设施的设置是依据《铁路工程设计防火规范》TB 10063—2016 制定的。



说明图 6.3.4 距火源不同距离可用安全疏散时间

7.4.2 监控主站:铁路隧道防灾救援设备监控系统中对各防灾救援设备进行远距离控制、监视、测量的计算机系统。

7.5.1 紧急救援站考虑火灾模式,故仅将紧急救援站与防灾救援密切相关的用电设备定义为一级负荷。

7.7.1 紧急救援站水消防系统标准主要包括《消防给水及消火栓系统技术规范》GB 50974—2014、《细水雾灭火系统技术规范》GB 50898—2013、《铁路工程设计防火规范》TB 10063—2016 等。

7.7.3 出于尽量缩短事故及维修范围考虑,结合长大隧道防灾救援需要,目前《高速铁路设计规范》TB 10621—2014 中明确了 250 km/h~350 km/h 高速铁路接触网供电分段的设置要求:“接触网供电分段应符合维修天窗的检修条件,同时应符合双向行车及事故抢修的需要。在车站两端、正线区间每隔 10 km~15 km 处、AT 供电方式下靠近 AT 所附近、长度大于 1 km 隧道的出入口、长度大于 5 km 隧道内宜设置绝缘锚段关节及电动隔离开关,并纳入远动。”

200 km/h~250 km/h 铁路、160 km/h 及以下普速铁路车站两端接触网均设有绝缘锚段关节(或一端设有电分相装置)及电动隔离开关。并且,目前新建、改建项目中该位置处的电动隔离开关均具备远动操作的功能。

综合以上,目前接触网专业设计现状均能保证在灾害情况下紧急救援站范围的接触网能及时停电。

A. 0.1 简算法是根据隧道的需风量及压力平衡方程确定通风机功率的计算方法,计算简便,适用于单通道隧道的通风计算。

以紧急出口通风计算为例简要说明其计算流程及步骤。

(1)已知资料:某单洞隧道长 12 km,断面积为 87 m²,断面当量直径为 9.21 m,在其洞身中部利用辅助坑道(横洞)设置一处紧急出口,其基本参数见说明表 A. 0.1。

说明表 A. 0.1 某隧道横洞式紧急出口计算参数

计算参数	数 值
紧急出口长度	1 500 m
断面积 F	39.4 m ²
洞内沿程阻力系数 λ	0.02
断面当量直径 d	6.8 m
洞内自然风速 v_n	1.5 m/s
空气密度 ρ	1.225 kg/m ³
防护门尺寸(宽×高)	1.5 m×2 m

(2)需风量计算见式(说明 A. 0.1—1):

$$Q = 1.5 \times 1.5 \times 2 = 4.5 (\text{m}^3/\text{s}) \quad (\text{说明 A. 0.1—1})$$

需要风速见式(说明 A. 0.1—2):

$$v_e = \frac{Q}{F} = \frac{4.5}{39.4} = 0.114 (\text{m/s}) \quad (\text{说明 A. 0.1—2})$$

(3)自然风压与阻力计算:

自然风压力见式(说明 A. 0.1—3):

$$P_n = \left(\sum \xi + \lambda \frac{L_T}{d} \right) \frac{\rho}{2} v_n^2$$

$$= \left(1.5 + \frac{0.02 \times 1\,500}{6.8} \right) \times \frac{1.225}{2} \times 1.5^2 = 8.147 (\text{Pa})$$

(说明 A. 0.1—3)

沿程阻力和局部阻力见式(说明 A. 0. 1—4):

$$P_{\lambda} + P_{\xi} = \lambda \frac{L_T \rho}{d} v_e^2 + \xi \frac{\rho}{2} v_e^2 = 0.02 \times \frac{1.500}{6.8} \times \frac{1.225}{2} \times 0.114^2 + 1.5 \times \frac{1.225}{2} \times 0.114^2 = 0.047(\text{Pa})$$

(说明 A. 0. 1—4)

对于主洞中的沿程阻力及局部阻力,因为紧急出口位于洞身中部,则主洞两侧风量均为 $4.5 \div 2 = 2.25(\text{m}^3/\text{s})$,风速为 $2.25 \div 87 = 0.026(\text{m}/\text{s})$ 。由于风速很小,对风机配置台数没有影响,故忽略主洞中的阻力。

(4) 风机计算。

拟选用 $\phi 630$ 型射流风机,出口风速 v_j 为 34.7 m/s ,风机功率 15 kW ,出口面积 f 为 0.312 m^2 ,断面风速 v_e 为 0.114 m/s ,安装损失系数 K_j 为 1.162 。

单台风机压力见式(说明 A. 0. 1—5):

$$p_j = \rho v_j^2 \frac{f}{F} \left(1 - \frac{v_e}{v_j}\right) \frac{1}{K_j} = 1.225 \times 34.7^2 \times \frac{0.312}{39.4} \times \left(1 - \frac{0.114}{34.7}\right) \times \frac{1}{1.162} = 10.02(\text{Pa})$$

(说明 A. 0. 1—5)

需要风机台数见式(说明 A. 0. 1—6):

$$n = \frac{P_n + P_{\lambda} + P_{\xi}}{p_j} = \frac{8.147 + 0.047}{10.02} = 0.82$$

(说明 A. 0. 1—6)

需用 1 台射流风机,功率 15 kW 。

A. 0. 2 隧道内发生火灾,在隧道紧急救援站实施救援时,横通道防护门开启,火灾隧道与安全隧道或辅助坑道连通形成复杂的通风网络,此时,简算法已不适用,需要通过网络法进行防灾通风计算。

(1)将主隧道与辅助坑道(横通道、斜井、竖井等)所形成的多进口、多出口的复杂通风体系,抽象成为由节点和分支构成的通风网络,赋予每个分支相应的通风阻力和通风动力。

(2)通风网络的关联矩阵 B_k 是描述通风网络节点之间连接情况的矩阵,基本关联矩阵可以唯一确定网络的连接关系。独立回路矩阵 C_k 是反应通风网络中的独立回路结构的矩阵。在得到隧道通风网络的最小树和余树弦以后,将通风网络各分支按余树弦在前、树枝在后的次序排列,调整基本关联矩阵的顺序,则基本关联矩阵 B_k 可变为式(说明 A. 0. 2—1):

$$B_k = (B_{11}, B_{12}) \quad (\text{说明 A. 0. 2—1})$$

其中, B_{11} 是隧道通风网络中余树弦分支所对应的基本关联矩阵中的项, B_{12} 是最小树所对应的基本关联矩阵中的项。由基本关联矩阵 B_k , 可以算出独立回路矩阵 C_k , 即式(说明 A. 0. 2—2):

$$C = (I - B_{11}^T (B_{12}^{-1})^T) = (IC_k) \quad (\text{说明 A. 0. 2—2})$$

(3)由风量平衡定律可知,流进某节点的风量等于流出该节点的风量,即: $\sum Q_j = 0$ 。用基本关联矩阵来表示为式(说明 A. 0. 2—3):

$$\sum_{i=1}^n B_{ij} Q_j = 0 \quad (\text{说明 A. 0. 2—3})$$

式中 B_{ij} ——关联矩阵中第 i 行第 j 列的元素值;

Q_j ——第 j 分支通过的风量(m^3/s)。

由风压平衡定律可知,风网中任一回路或网孔的风压代数和等于零,即: $\sum \Delta p_j = 0$ 。用回路矩阵来表示为式(说明 A. 0. 2—4):

$$\sum_{j=1}^n C_{ij} h_j = \sum_{j=1}^n C_{ij} p_j \quad (\text{说明 A. 0. 2—4})$$

式中 C_{ij} ——回路矩阵中第 i 行第 j 列的元素值;

h_j ——第 j 分支的通风阻力(Pa);

p_j ——第 j 分支的压力,包括自然风压、风机风压、火风压等(Pa)。

由风量平衡定律和风压平衡定律以及风量与风压的阻力定律组成了隧道通风网络非线性方程组,见式(说明 A. 0. 2—5):

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^n B_{ij} Q_j = 0 \\ \sum_{j=1}^n C_{ij} h_j = \sum_{j=1}^n C_{ij} p_j \\ h_j = R_j Q_j^2 \end{cases} \quad (\text{说明 A. 0. 2—5})$$

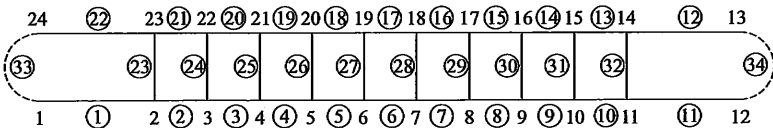
式中 h_j ——隧道风路上的通风阻力(Pa);
 R_j ——隧道风路上的风阻系数(kg/m⁷);
 Q_j ——通过隧道风路的风量(m³/s)。

(4)利用回路风量法进行非线性方程组求解,最终获得隧道通风网络的各分支风量和风压结果。由于通风网络较复杂可采用电算法进行求解或使用 SES、IDA 等专业软件进行网络通风计算。下面举例简要说明其计算流程及步骤。

(5)已知资料:

某隧道长 20 km,断面面积 56.7 m²,周长 29.7 m,为双洞单线隧道,线间距 60 m,火灾规模 20 MW,隧道内 10 km 处设置紧急救援站,紧急救援站每隔 50 m 设置一个横通道,着火车厢位于左线隧道中间位置,横通道净空 6 m×4.35 m,共设置 11 个,防护门规格 1.7 m×2 m。

①绘制通风网络图。根据已知条件绘制的通风网络图如说明图 A. 0. 2 所示。



说明图 A. 0. 2 隧道内紧急救援站通风网络图

②将各段隧道风阻、自然风压、火风压、断面面积、周长、长度、

坡度等参数赋予对应网络分支,建立通风网络模型。

③试算不同风机布置直到满足防灾通风控制标准。

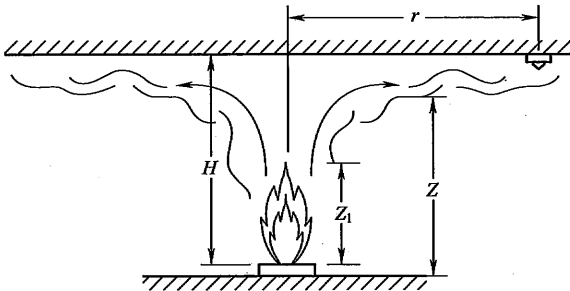
拟选用 $\phi 100$ 型射流风机,出口风速为 34.2 m/s ,出口风量 $26.9 \text{ m}^3/\text{s}$,风机功率 30 kW 。经试算,当安全隧道洞口各设置 4 台射流风机时,计算结果见说明表 A. 0. 2。

说明表 A. 0. 2 网络通风计算结果(m^3/s)

分支号	1	2	3	4	5	6	7	8
风量	-67.5	-44.1	-28.5	-16.3	-7.4	0.2	7.8	16.5
分支号	9	10	11	12	13	14	15	16
风量	28.5	44.1	67.5	67.6	44.1	28.6	16.5	7.8
分支号	17	18	19	20	21	22	23	24
风量	0.2	-7.4	-16.3	-28.5	-44.1	-67.5	23.5	15.6
分支号	25	26	27	28	29	30	31	32
风量	12.2	8.9	7.6	7.6	8.7	12.0	15.5	23.5

23 号至 32 号分支表示隧道内紧急救援站横通道,其风量最小为 $7.6 \text{ m}^3/\text{s}$,最大为 $23.5 \text{ m}^3/\text{s}$,防护门面积为 3.4 m^2 ,因此防护门处风速均不小于 2 m/s 且不大于 8 m/s ,满足防灾通风要求。

A. 0. 3 ~ A. 0. 4 参考《Handbook of Fire Protection Engineering》,轴对称型烟缕如说明图 A. 0. 3 所示。



说明图 A. 0. 3 轴对称型烟缕示意图

隧道内紧急救援站半横向式通风中排烟机风机设计仅考虑克服风道内阻力,不考虑主隧道内阻力,排烟风机功率计算举例如下。

(1) 已知资料

某隧道火灾规模 20 MW,列车高度 4 m,隧道净高 8.5 m,断面面积 56.7 m²,隧道内紧急救援站每隔 50 m 设置一个横通道,共设置 11 个,防护门规格 1.7 m×2 m,拱顶处每隔 100 m 设置一个联络通道,共设置 5 个,联络烟道内径 4 m,长度 25 m,排烟道长度 450 m,断面净空尺寸为 4 m×4.5 m,排烟斜井 2 000 m,断面面积 50 m²,周长 25 m。

(2) 烟气生成量计算

最小清晰高度为 2 m,假设燃料面为列车内人员行走面,行走面至隧道底部距离为 1.3 m,当所产生的烟气全部被排出时,烟气层底部即为排烟联络通道底部,此时 Z 即为列车内人员行走面到排烟联络通道的高度 7.2 m。

当隧道火灾规模为 20 MW 时,火焰高度 Z₁ 的计算见式(说明 A. 0. 3—1):

$$Z_1 = 0.166Q_c^{2/5} = 0.166 \times (20\,000 \times 0.7)^{2/5} = 7.56(\text{m}) > 7.2(\text{m})$$

(说明 A. 0. 3—1)

所以羽流质量流率见式(说明 A. 0. 3—2):

$$m_p = 0.032Q_c^{3/5} Z = 0.032 \times (20\,000 \times 0.7)^{3/5} \times 7.2 = 70.82(\text{kg/s})$$

(说明 A. 0. 3—2)

烟气的绝对温度见式(说明 A. 0. 3—3):

$$T = T_0 + \frac{Q_c}{m_p c_p} = 293 + \frac{20\,000 \times 0.7}{70.82 \times 1.012} = 488.34(\text{K})$$

(说明 A. 0. 3—3)

烟气生成量见式(说明 A. 0. 3—4):

$$V = \frac{m_p T}{\rho_0 T_0} = \frac{70.82 \times 488.34}{1.225 \times 293} = 96.36(\text{m}^3/\text{s})$$

(说明 A. 0. 3—4)

(3) 进气量计算

当 11 个横通道的门均开启后,由防护门流入火灾隧道的空气量见式(说明 A. 0. 3—5):

$$11 \times 1.7 \times 2 \times 2 = 74.8 (\text{m}^3/\text{s}) \quad (\text{说明 A. 0. 3—5})$$

确保烟气不会扩散至两端的隧道内,假设限制烟气蔓延的临界风速为 1.2 m/s,则两端隧道进风量见式(说明 A. 0. 3—6):

$$56.7 \times 2 \times 1.2 = 136.1 (\text{m}^3/\text{s}) \quad (\text{说明 A. 0. 3—6})$$

火灾区域进风量见式(说明 A. 0. 3—7):

$$74.8 + 136.1 = 210.9 (\text{m}^3/\text{s}) \quad (\text{说明 A. 0. 3—7})$$

因为 $210.9 \text{ m}^3/\text{s} > 96.36 \text{ m}^3/\text{s}$,考虑轴流风机 20%漏风量,所以隧道内排烟量为 $Q_p = 210.9 \times 1.2 = 253 (\text{m}^3/\text{s})$ 。

(4) 风机压力计算

排烟道风速及沿程阻力见式(说明 A. 0. 3—8)和式(说明 A. 0. 3—10):

$$v_p = \frac{Q_p}{A_p} = \frac{253}{4 \times 4.5} = 14 (\text{m/s}) \quad (\text{说明 A. 0. 3—8})$$

$$d_p = \frac{4A_p}{U_p} = \frac{4 \times 4 \times 4.5}{(4 + 4.5) \times 2} = 4.24 (\text{m})$$

(说明 A. 0. 3—9)

$$P_{xp} = \lambda \frac{L_p \rho v_p^2}{d_p} = 0.02 \times \frac{450}{4.24} \times \frac{1.225 \times 14^2}{2} = 254.8 (\text{Pa})$$

(说明 A. 0. 3—10)

每个联络风道通风量为排烟道的 1/5,即: $Q_L = 253/5 = 50.6 \text{ m}^3/\text{s}$,此时,速度的计算见式(说明 A. 0. 3—11):

$$v_L = \frac{Q_L}{A_L} = \frac{50.6}{3.14 \times 2 \times 2} = 4 (\text{m/s})$$

(说明 A. 0. 3—11)

联络风道沿程阻力见式(说明 A. 0. 3—12):

$$P_{\lambda} = \lambda \frac{L_L \rho v_L^2}{d_L} = 0.02 \times \frac{25}{4} \times \frac{1.225 \times 4^2}{2} = 1.225 (\text{Pa})$$

(说明 A. 0. 3—12)

联络风道局部阻力见式(说明 A. 0. 3—13):

$$P_{\zeta} = \zeta \frac{\rho v_L^2}{2} = (0.5+1) \times \frac{1.225 \times 4^2}{2} = 14.7 (\text{Pa})$$

(说明 A. 0. 3—13)

排烟斜井沿程阻力见式(说明 A. 0. 3—14)和式(说明 A. 0. 3—16):

$$v_x = \frac{Q_x}{A_x} = \frac{253}{50} = 5 (\text{m/s}) \quad (\text{说明 A. 0. 3—14})$$

$$d_x = \frac{4A_x}{U_x} = \frac{4 \times 50}{25} = 8 (\text{m/s}) \quad (\text{说明 A. 0. 3—15})$$

$$P_{\lambda x} = \lambda \frac{L_x \rho v_x^2}{d_x} = 0.02 \times \frac{2000}{8} \times \frac{1.225 \times 5^2}{2} = 76.56 (\text{Pa})$$

(说明 A. 0. 3—16)

排烟斜井局部阻力见式(说明 A. 0. 3—17):

$$P_{\zeta x} = \zeta \frac{\rho v_x^2}{2} = (0.4+1) \times \frac{1.225 \times 5^2}{2} = 21.44 (\text{Pa})$$

(说明 A. 0. 3—17)

风机压力见式(说明 A. 0. 3—18):

$$\begin{aligned} P_F &= 1.1 \times (\sum P_{\zeta} + \sum P_{\lambda}) \\ &= 1.1 \times [254.8 + 5 \times (14.7 + 1.225) + 76.56 + 21.44] \\ &= 475.67 (\text{Pa}) \end{aligned} \quad (\text{说明 A. 0. 3—18})$$

(5) 风机功率计算

假设 $t_0 = t_1$, $P_1 = P_0$, $\eta = 0.8$, 风机轴功率见式(说明 A. 0. 3—19):

$$N_g = \frac{Q_F P_F}{1000 \eta} \left(\frac{273+t_0}{273+t_1} \right) \frac{P_1}{P_0} = \frac{253 \times 475.67}{1000 \times 0.8} = 150.43 (\text{kW})$$

(说明 A. 0. 3—19)

轴流风机的电机功率见式(说明 A. 0. 3—20):

$$N_{ed} = \frac{N_g}{\eta_m} K_D = \frac{150.43}{0.9} \times 1.15 = 192.22(\text{kW})$$

(说明 A. 0. 3—20)

附录 B 旅客列车在隧道内发生火灾后,根据应急疏散的原则和指导思想,控制列车继续行驶,使列车停靠在隧道外或紧急救援站,现行的列控系统不支持引导隧道内发生火灾的列车停靠在设定的位置,因此,设置列车引导标志是一种经济、可靠的列车停车诱导办法。

