

文章编号: 1674—8247(2020)04—0049—06  
DOI:10.12098/j.issn.1674-8247.2020.04.010

## 防护门处风速对铁路隧道紧急救援站火灾烟气的影响

蒋尧<sup>1</sup> 周远龙<sup>2</sup> 胡炜<sup>1</sup> 谭信荣<sup>1</sup> 毕海权<sup>2</sup>

(1. 中铁二院工程集团有限责任公司, 成都 610031; 2. 西南交通大学, 成都 610031)

**摘要:**为分析防护门处不同风速条件下紧急救援站火灾烟气的蔓延特性,得出防护门处风速对烟气控制的影响,本文以某双洞单线特长铁路隧道紧急救援站工程为依托,建立了救援站火灾烟气蔓延的三维数值仿真模型,研究不同火源位置、防护门处风速条件下的火灾烟气蔓延特性。结果表明:(1)双洞单线铁路隧道紧急救援站采用半横向通风方式时,增大防护门处风速,对于降低隧道顶部最高烟气温度的作用有限,却加大了对高温烟气的扰动,使特征高度2.0m处的温度升高,能见度下降;防护门处风速不是越大越好,建议采用防止烟气进入横通道的临界风速即可。(2)火灾车厢位于排烟竖井正下方、两横通道之间,对控制烟气蔓延较为有利,位于两排烟竖井之间、横通道正前方,对控制烟气蔓延较为不利;建议增加排烟竖井数量,使火灾车厢尽量位于排烟竖井下方。研究结果可为相关工程设计提供参考。

**关键词:**隧道; 紧急救援站; 火灾烟气; 防护门风速; 半横向通风

中图分类号:U453.5

文献标志码:A

## Influence of Wind Speed at Screen Door on Fire Smoke of Railway Tunnel Emergency Rescue Station

JIANG Yao<sup>1</sup> ZHOU Yuanlong<sup>2</sup> HU Wei<sup>1</sup> TAN Xinrong<sup>1</sup> BI Haiquan<sup>2</sup>

(1. China Railway Eryuan Engineering Group Co., Ltd., Chengdu 610031, China;

2. Southwest Jiaotong University, Chengdu 610031, China)

**Abstract:** In order to analyze the characteristics of fire smoke spread in emergency rescue station under different wind speeds at the screen door and to determine the influence of wind speed at the screen door on smoke control, this paper established a three-dimensional numerical simulation model of fire smoke spread in emergency rescue station based on a double-hole single-track railway tunnel project, to study the characteristics of fire smoke spread under different fire source positions and wind speeds at the screen door. The results show that: (1) When the emergency rescue station of double-hole single-track railway tunnel adopts semi-transverse ventilation mode, increasing the wind speed at the screen door has a limited role on reducing the maximum flue gas temperature at the top of the tunnel, but it increases the disturbance to the high-temperature flue gas, which increases the temperature at the characteristic height of 2.0 m and reduces the visibility; The greater the wind speed at the screen door, the better. It is recommended to use the critical wind speed to prevent the smoke from entering the cross passage. (2) If the fire compartment is located just below the smoke exhaust shaft and between the two cross passages, which is favorable for controlling smoke spread, and is located between the two smoke exhaust shafts and in front of the cross passages, which is unfavorable for controlling smoke spread; It is suggested that the number of smoke exhaust shafts should be increased so that the fire compartment can be

收稿日期:2019-11-05

作者简介:蒋尧(1991-),男,工程师。

引文格式:蒋尧,周远龙,胡炜,等.防护门处风速对铁路隧道紧急救援站火灾烟气的影响[J].高速铁路技术,2020,11(4):49-54.

JIANG Yao, ZHOU Yuanlong, HU Wei, et al. Influence of Wind Speed at Screen Door on Fire Smoke of Railway Tunnel Emergency Rescue Station [J]. High Speed Railway Technology, 2020, 11(4): 49-54.

located below the smoke exhaust shafts as much as possible. The research results can provide a reference for related engineering design.

**Key words:** tunnel; emergency rescue station; fire smoke; wind speed at screen door; semi-transverse ventilation

随着我国铁路技术的不断发展,特长铁路隧道的数量不断增加,截止2018年底,长度超过20 km的隧道,已经运营9座,在建6座,规划33座<sup>[1]</sup>。根据TB 10020-2017《铁路隧道防灾疏散救援工程设计规范》,长度20 km及以上的隧道或隧道群应设置紧急救援站,当列车在隧道内发生火灾事故时,优先选择将列车驶出隧道进行疏散救援,当不能驶出隧道时,应停靠在紧急救援站内进行疏散救援。紧急救援站内设置列车火灾防排烟通风系统,控制烟气流动,保证人员安全疏散时间,减少人员伤亡和财产损失<sup>[2]</sup>。

特长铁路隧道紧急救援站防排烟通风系统可分为纵向通风方式和半横向通风方式。曾满元等人<sup>[3]</sup>对石太客运专线太行山特长隧道紧急救援站防排烟通风方案进行了研究,丁祥等人<sup>[4]</sup>对包兰铁路青天寺特长隧道紧急救援站防排烟通风方案进行了研究,均认为采用纵向通风方式时除非火灾发生在车头、车尾位置,总有部分车厢处于烟流之中,影响这些车厢人员的疏散逃生,只有采用半横向通风方式才能彻底解决这个问题,故建议在救援站范围内采用半横向通风方式;秦宁然等人<sup>[5-7]</sup>对某单洞双线特长隧道紧急救援站采用半横向通风方案时的排烟通风量、排烟口尺寸及间距、横通道内射流风机安装位置等设计参数进行了研究;罗欣宇等人<sup>[8]</sup>对成兰铁路平安特长隧道(双洞单线)紧急救援站采用半横向通风方案时的射流风机布置方式进行了研究,认为应将射流风机布置在正洞内。

综上可知,虽然关于特长隧道紧急救援站防排烟通风的研究较多,但未见关于防护门处风速对火灾烟气蔓延控制以及人员疏散影响的研究。本文通过分析防护门处不同风速下救援站内烟气蔓延的特征,研究防护门处风速对烟气控制的影响,以期优化紧急救援站防排烟通风方案,为类似工程建设提供参考。

## 1 紧急救援站概况

某设计速度200 km/h客货共线铁路的特长隧道,全长28.4 km,采用双线分修方案,线间距30 m。为解决隧道内列车火灾事故的疏散救援问题,采用加密横通道的方式,在隧道中部设置紧急救援站1座,平面布置如图1所示。救援站全长550 m,共设置11条横通道,横通道间距50 m,横通道两端各设置1扇防护门,防护门尺寸3.4 m×2.0 m(宽×高),如图2所示。沿线路方向,在隧道顶部每隔100 m设置1处排烟竖

井,左右线隧道各设置5处,排烟竖井直径为5.0 m,排烟竖井通过纵向联络烟道与排烟斜井相连,如图3所示。

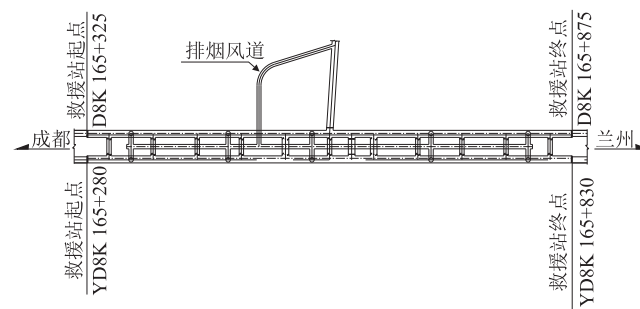


图1 紧急救援站平面图

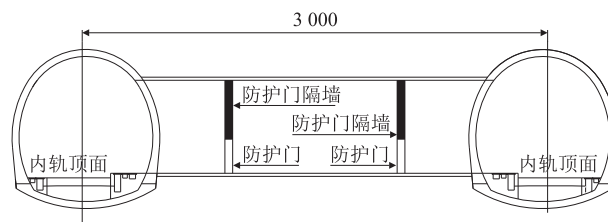


图2 疏散横通道联络图(cm)

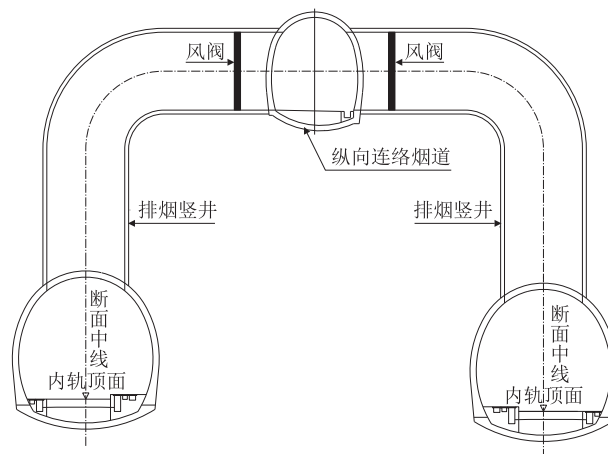


图3 竖井式联络烟道截面图

本紧急救援站采用半横向通风排烟方式,在左、右线隧道两端均安装有1组射流风机,排烟斜井内安装有轴流风机。当着火列车停靠在救援站进行疏散救援时,开启排烟斜井内的轴流风机排烟,同时开启安全隧道内的射流风机向紧急救援站加压送风,使横通道内保持正压,防护门处风速不小于2.0 m/s,防止烟气进入横通道影响人员逃生,如图4所示。

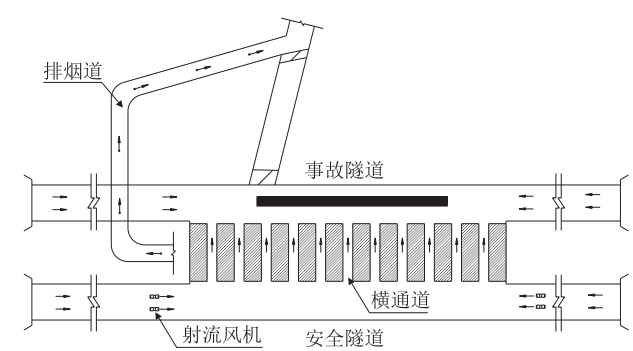


图 4 救援站防通风排烟方案示意图

2 救援站火灾烟气蔓延计算模型

2.1 计算模型

以左线隧道发生列车火灾事故停车疏散救援为例,建立救援站火灾烟气蔓延计算模型。为减少计算量,只建立事故隧道、横通道和排烟竖井模型,平面示意如图 5 所示。计算列车模型采用 CRH2 型动车组,3 车编组,总长 85 m。忽略列车受电弓、风挡、转向架等结构。

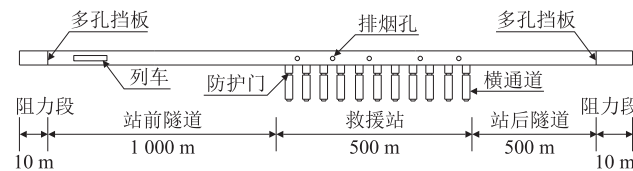


图 5 救援站计算模型平面示意图

2.2 计算工况

(1) 火灾规模

本线路为客货混行,参考 TB 10020 – 2017《铁路隧道防灾疏散救援工程设计规范》,计算时火灾热释放速率取 20 MW。

(2) 火灾车厢位置

根据列车火灾事故预案,当某节车厢内发生火灾并失去控制时,先疏散乘客至相邻车厢,并关闭火灾车厢两端具有一定防护能力的端门,然后将列车行驶至隧道外或紧急救援站进行疏散救援,故研究仅考虑 1 节车厢着火的情况。

火灾车厢处于救援站内位置不同烟气蔓延情况也不同,为研究防护门处风速对火灾烟气蔓延的影响,需考虑火灾车厢与排烟竖井、横通道相对位置的影响。选取 2 种位置进行研究(如图 6 所示),位置 A 在 3 号排烟竖井正下方,5 号与 6 号横通道之间;位置 B 在 3 号与 4 号排烟竖井之间,7 号横通道正前方。

(3) 防护门风速

选取防护门处风速分别为 0.7 m/s、1.2 m/s 和

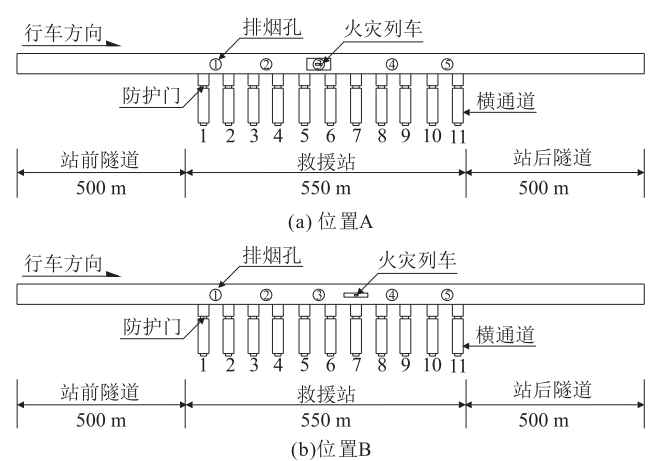


图 6 火灾车厢位置示意图

2.0 m/s 进行研究,计算工况如表 1 所示。

表 1 计算工况汇总表

工况	热释放速率 /MW	火灾车厢 位置	竖井排烟 风速 m/s	防护门 风速 m/s
1	20	位置 A	3.5	0.7
2				1.2
3				2.0
4		位置 B		0.7
5				1.2
6				2.0

2.3 烟气控制标准

隧道内发生列车火灾事故时,影响人员疏散逃生的火灾烟气参数主要有接触温度、热辐射量、CO 浓度和能见度<sup>[9]</sup>。

人员在隧道内逃生时不可避免地会接触到烟气,烟气温度过高会灼伤人体,影响人员疏散,美国标准 NFPA 130 – 2014《Standard for Fixed Guideway Transit and Passenger Rail Systems》规定:建筑物内发生火灾时,在 6 min 的逃生时间内,火源 30 m 外逃生路径上人员接触到的烟气温度不得高于 70 ℃<sup>[10]</sup>。

热辐射是火灾主要的传热方式之一。研究表明,人在几分钟内能忍受的辐射热量极限为 2 ~ 2.5 kw/m<sup>2</sup>。当辐射热量为 2.5 kw/m<sup>2</sup> 时,高 6 m、宽 8 m 的隧道内对应最高烟气温度为 180 ℃。

烟气的消光作用使火灾现场的能见度下降,将对人员的安全疏散造成严重影响。TB 10020 – 2017《铁路隧道防灾疏散救援工程设计规范》规定:隧道内特征高度 2.0 m 处,能见度不小于 10 m。

为确保火灾时高速铁路隧道救援站人员的安全疏散,制定救援站火灾烟气控制标准。在着火列车停靠救援站后的 6 min 内,距火源 30 m 外的区域:

- (1)特征高度 2.0 m 处,烟气温度不超过 70 ℃;
- (2)特征高度 2.0 m 处,烟气能见度不低于 10 m;

(3)最高烟气温度不超过  $180\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

### 3 防护门风速对最高烟气温度的影响

火灾车厢停靠在位置 A 时,防护门处不同风速条件下救援站内最高温度计算结果如图 7 所示。从图 7 可以看出,当着火车厢位于排烟竖井正下方、两横通道之间时,随着防护门处风速的增加,救援站内最高烟气温度变化不大,火源 30 m 外区域的最高烟气温度低于  $180\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,满足控制标准。

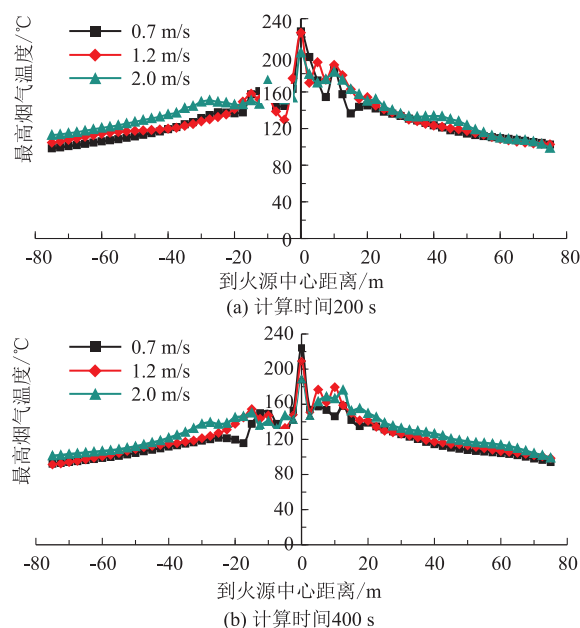


图7 位置 A 时最高烟气温度分布图

火灾车厢停靠在位置 B 时,防护门处不同风速条件下救援站内最高烟气温度计算结果如图 8 所示。从图 8 可以看出,当火灾车厢位于两排烟竖井之间、横通道正前方时,随着防护门处风速的增大,最高烟气温度几乎无变化,但火源 30 m 外部分区域的最高烟气温度超过了  $180\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,不满足控制标准。

对比火灾车厢停靠在位置 A 和位置 B 的计算结果,防护门处相同风速条件下,停靠在位置 B 时救援站内最高烟气温度更高,且火源 30 m 外部分区域的最高烟气温度高于  $180\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,说明火灾车厢停靠在位置 B 对控制最高烟气温度更为不利。

### 4 防护门风速对特征高度处温度的影响

火灾车厢停靠在位置 A 时,防护门处不同风速条件下疏散站台特征高度 2.0 m 处的温度计算结果如图 9 所示。从图 9 可以看出,当火灾车厢位于排烟竖井正下方、两横通道之间时,防护门处不同风速条件

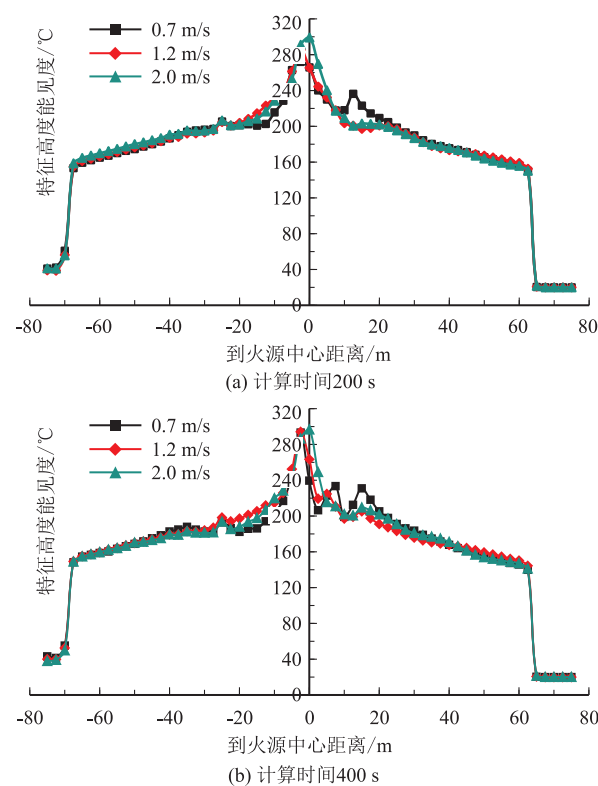


图8 位置 B 时最高烟气温度分布图

下,人员疏散路径 2.0 m 高度处的温度均低于  $70\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,满足控制标准<sup>[11]</sup>。但随着防护门处风速的增大,特征高度 2.0 m 处的温度逐渐升高,这可能是因为防护门处风速的增大,加大了对高温烟气层的扰动,从而使高温烟气下沉导致的。

火灾车厢停靠在位置 B 时,防护门处不同风速条件下特征高度 2.0 m 处的温度计算结果如图 10 所示。从图 10 中可以看出,当停靠在两排烟竖井之间、横通道正前方时,防护门处不同风速条件下,人员疏散路径 2.0 m 高度处的温度均低于  $70\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,满足控制标准。但随着防护门处风速的增大,特征高度 2.0 m 处的温度逐渐升高,这可能是因为防护门处风速的增大,加大了对高温烟气层的扰动,从而使高温烟气下沉导致的。

对比火灾车厢停靠在位置 A 和位置 B 的计算结果,防护门处风速对人员疏散路径上 2.0 m 高度处温度的影响相同。

### 5 防护门风速对特征高度处能见度的影响

火灾车厢停靠在位置 A 和位置 B 时,特征高度 2.0 m 处的能见度计算结果如图 11、图 12 所示。为便于观察,图中仅示出了能见度 0 ~ 50 m 区域的计算结果。

从图 11 可以看出,火灾车厢停靠在排烟竖井正下



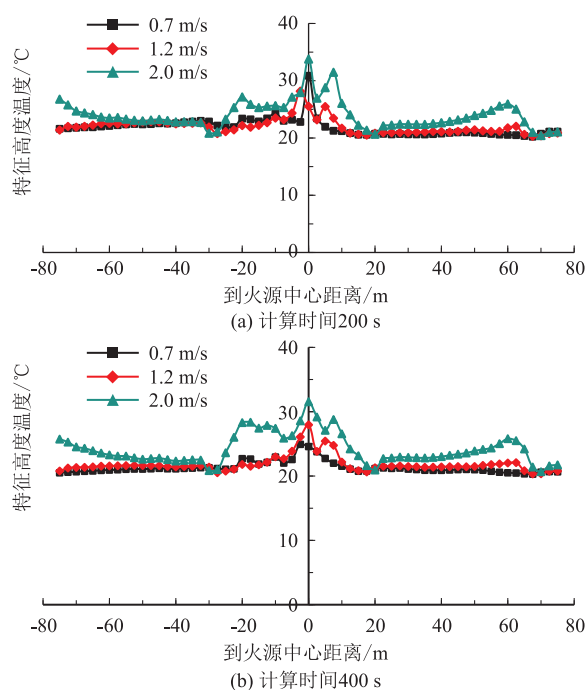


图9 位置A时特征高度2 m处温度分布图

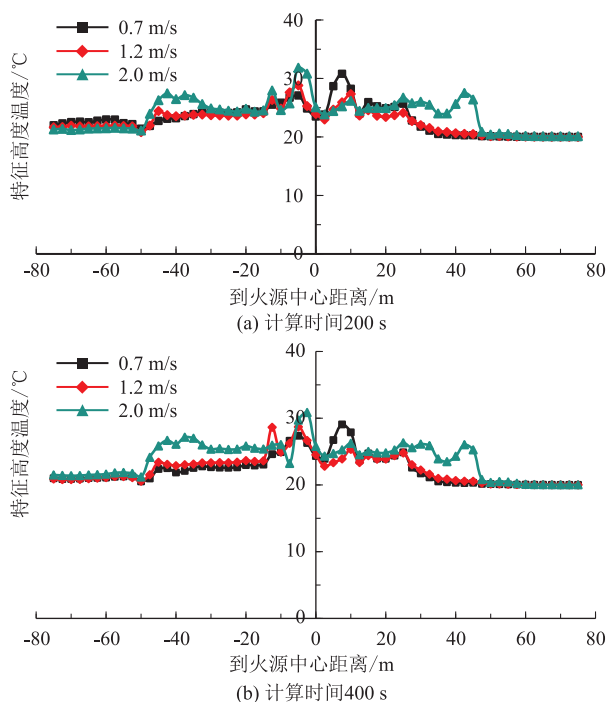


图10 位置B时特征高度2 m处温度分布图

方、两横通道之间时,随着防护门风速的增大,特征高度2.0 m处的能见度逐渐降低;当防护门处风速为2.0 m/s时,特征高度2 m处的能见度小于10 m,不满足控制标准。

从图12可以看出,在火源左侧,随着防护门处风速的增大,特征高度2.0 m处的能见度逐渐降低,当防护门处风速为2.0 m/s时,特征高度2 m处的能见度

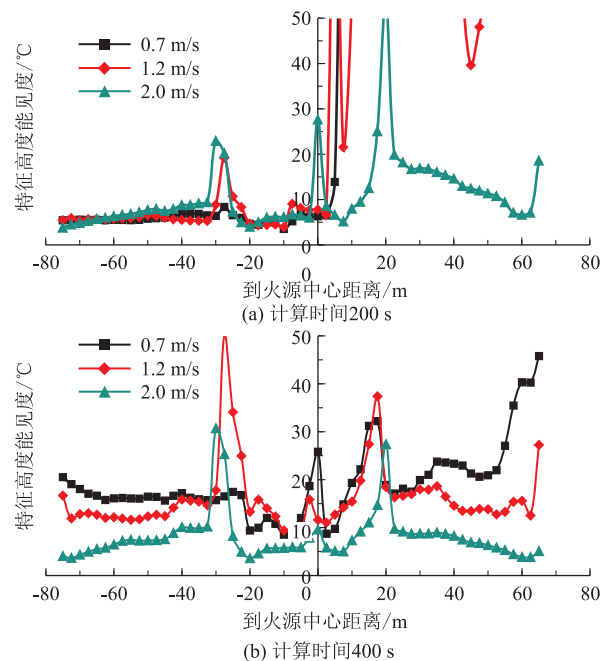


图11 位置A时特征高度2 m处的能见度图

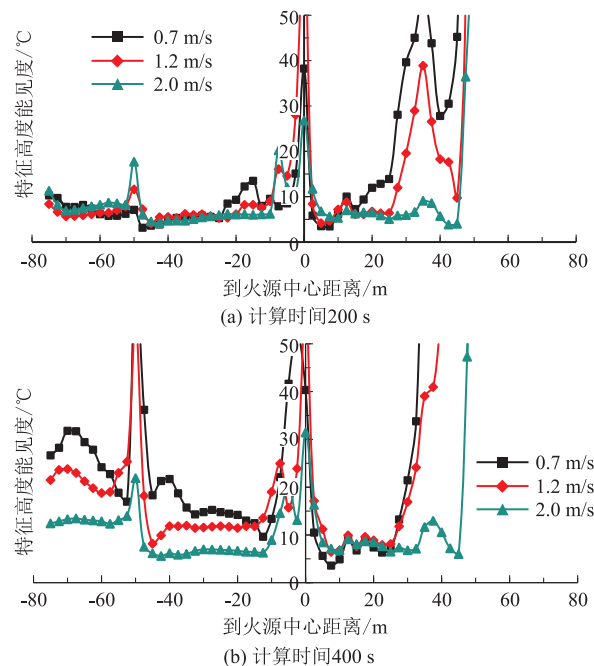


图12 位置B时特征高度2 m处的能见度分布图

小于10 m,不满足控制标准;在火源右侧,不同防护门风速下均有部分区域的能见度低于10 m。

对比火灾车厢停靠在位置A和位置B的计算结果,停靠在位置B时,特征高度2.0 m处的能见度更差,说明火灾车厢停靠在位置B时,能见度更难控制。

## 6 结论

本文通过建立救援站火灾烟气蔓延三维数值仿真模型,研究不同火源位置、防护门处风速条件下的火灾

烟气蔓延特性,得出以下主要结论:

(1)双洞单线特长铁路隧道内紧急救援站采用半横向排烟通风方式时,增大防护门处风速对降低隧道顶部最高烟气温度的作用有限,反而加大了对高温烟气的扰动,使得人员疏散路径上特征高度2.0 m处的温度升高,能见度下降。从烟气控制的角度考虑,防护门处风速不是越大越好,建议采用防止烟气进入横通道的临界风速即可。

(2)火灾车厢与排烟竖井、横通道的相对位置不同,烟气控制的难度也不同。火灾车厢位于排烟竖井正下方、两横通道之间对控制烟气蔓延较为有利;火灾车厢位于两排烟竖井之间、横通道正前方对控制烟气蔓延较为不利。建议增加排烟竖井数量,尽量使火灾车厢位于排烟竖井下方。

## 参考文献:

- [1] ZHAO Yong, TIAN Siming. Statistics of Railway Tunnels in China as of End of 2018[J]. Tunnel Construction, 2019, 39(2): 324-335.
- [2] TB 10020-2017 铁路隧道防灾疏散救援工程设计规范[S]. TB 10020-2017 Code for Design on Rescue Engineering for Disaster Prevention and Evacuation of Railway Tunnel[S].
- [3] 曾满元,赵海东,王明年.太行山特长隧道防灾通风方案探讨[J].现代隧道技术,2009,46(5):6-12.
- ZENG Manyuan, ZHAO Haidong, WANG Mingnian. Discussion on Disaster Prevention Ventilation Scheme of Taihangshan Long Tunnel[J]. Modern Tunnelling Technology, 2009, 46(5): 6-12.
- [4] 丁祥.青天寺特长隧道防灾通风方案研究[J].铁道建筑技术,2012(1):25-30.
- DING Xiang. Study on Disaster Prevention Ventilation Scheme of Qingtiansi Extra-long Tunnel[J]. Railway Construction Technology, 2012(1): 25-30.
- [5] 秦宁然,戴忠,戴淑娟.某铁路隧道紧急救援站排烟量的确定[J].消防科学与技术,2017,36(9):1222-1224.
- QIN Ningran, DAI Zhong, DAI Shujuan. Discussion on the Smoke Exhaust of a Railway Tunnel Emergency Rescue Station[J]. Fire Science and Technology, 2017, 36(9): 1222-1224.
- [6] 秦宁然,戴忠,戴淑娟.某铁路隧道紧急救援站不同排烟口设置的模拟研究[J].消防技术与产品信息,2018(3):9-13.
- QIN Ningran, DAI Zhong, DAI Shujuan. Simulation Study on the Smoke Outlet Distribution in an Emergency Rescue Station of a Railway Tunnel[J]. Fire Technique and Products Information, 2018(3): 9-13.
- [7] 秦宁然,戴忠.某铁路隧道紧急救援站横通道防烟系统研究[J].消防科学与技术,2018,37(7):904-906.
- QIN Ningran, DAI Zhong. Study on Smoke Prevention System of Horizontal Passageway for Emergency Rescue Station of a Railway Tunnel[J]. Fire Science and Technology, 2018, 37(7): 904-906.
- [8] 罗欣宇,于丽,王明年,等.平安隧道紧急救援站射流风机布置方案优化[J].消防科学与技术,2016,35(10):1392-1394.
- LUO Xinyu, YU Li, WANG Mingnian, et al. Layout Scheme Optimization of Jet Fans in Emergency Rescue Station of Ping'an Tunnel[J]. Fire Science and Technology, 2016, 35(10): 1392-1394.
- [9] 袁中原.顶部开孔的地铁隧道火灾烟气扩散特性及控制方法[D].成都:西南交通大学,2012.
- YUAN Zhongyuan. The Smoke Propagation Mechanism and Control Method for Fires in Subway Tunnel with Roof Openings[D]. Chengdu: Southwest Jiaotong University, 2012.
- [10] NFPA130-2014 Standard for Fixed Guideway Transit and Passenger Rail Systems[S].
- [11] 肖昱,张苏.铁路“隧道群”定义与防灾救援设施相互影响分析[J].高速铁路技术,2016,7(6):12-14.
- XIAO Yu, ZHANG Su. Definition of "Tunnel Group" of Railway and Analysis of Mutual Influence of Disaster Prevention and Rescue Facilities[J]. High Speed Railway Technology, 2016, 7(6): 12-14.