

城市轨道交通长大区间应急通风运行模式研究

史柯峰¹ 刘 焱¹ 李晓锋²

(1. 中交铁道设计研究总院有限公司, 100088, 北京; 2. 清华大学建筑学院, 100084, 北京//第一作者, 高级工程师)

摘 要 以某城市轨道交通典型长大区间为例, 通过对长大区间的火灾和阻塞两类事故工况, 以及 1 列列车运行和 2 列列车追踪行驶的若干工况下应急通风运行模式的设计方案进行分析与比选, 针对各工况不同特点制定了多种应急通风运行模式的设计方案。并对应急通风方案的结果进行了模拟校验。可为设计及运营人员制定出更为合理的应急通风运行模式提供参考与借鉴。

关键词 城市轨道交通; 长大区间; 应急通风模式

中图分类号 U231.5

DOI:10.16037/j.1007-869x.2019.03.013

Research on the Emergency Ventilation Mode for Large Interval Tunnels in Urban Rail Transit

SHI Kefeng, LIU Yao, LI Xiaofeng

Abstract By taking the typical large interval tunnels of urban rail transit in a city as example, the conditions of fire and blocking in large interval tunnels, the design of an emergency ventilation mode in different working conditions like one train running and two trains tracking are compared and analyzed. On this basis, multiple emergency ventilation modes are designed according to different working conditions, the result of emergency ventilation is verified through simulation. This research will provide a reference for the design and operation personnel to formulate more reasonable emergency ventilation modes.

Key words urban rail transit; large interval tunnel; emergency ventilation mode

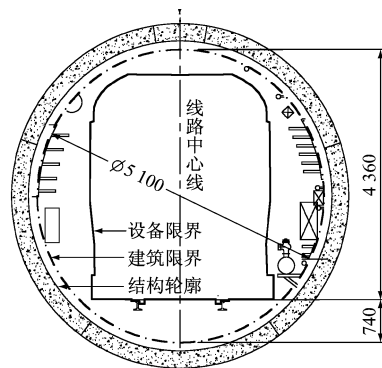
First-author's address CCCC Railway Consultants Group Co., Ltd., 100088, Beijing, China

在城市轨道交通较长的地下区间, 会出现两座车站间同侧同向隧道内在同一时刻有 2 列或 2 列以上列车追踪行驶的可能性。当长大区间内发生事故时, 如何综合考虑各种可能出现的工况, 在满足防灾疏散、通风排烟的前提下, 实现应急通风运行模式的合理设计与有效优化, 是城市轨道交通重点研究的问题之一。本文以某城市轨道交通工程闭

式通风系统长大区间为例, 针对各种不同工况的特点, 制定了多种应急通风运行模式的设计方案。

1 长大区间定义

城市轨道交通工程中长度处于 1.5 km 以上的地下隧道可看作是长大区间。本文选择某典型长大区间(长度约 1.81 km)为研究对象。根据该区间行车专业资料, 正常运营时, 存在 2 列列车追踪行驶的情况。该区间为圆形盾构标准单洞, 有效过风断面面积约为 20 m², 如图 1 所示。



单位: mm

图 1 长大区间标准盾构断面图

2 长大区间通风系统

2.1 隧道通风系统设计

该区间隧道通风按闭式系统设计, 前后车站均为非封闭全高站台门制式。正常运行时, 利用列车活塞风作用携带车站气流冷却隧道, 同时补充隧道内新风。每座车站两端分别设置 2 台区间隧道事故通风机, 该风机由车站送、排风机兼作, 负责相邻区间隧道事故情况下的通风。当区间发生火灾或阻塞情况时, 由事故区间相邻的前、后车站(或中间风井)的事故风机联合运行对事故隧道进行纵向排烟或通风, 使隧道内的风速及温度达到相应要求。

2.2 中间风井设置

在运营高峰期间,当前车因事故不能继续前行时,后车会立即停止行驶,此时便形成同一区间内2列列车滞留的情况。根据列车事故位置的不同,存在两车人员分别向前、后车站疏散的情况。因此,从应急通风气流组织的基本要求上分析,长大区间需要在隧道中部设置中间风井,这样才能通过与前、后车站隧道风机的联合运行,形成满足人员防

灾疏散的气流组织要求。GB 50157—2013《地铁设计规范》规定:当需要设置区间通风道时,通风道应设于区间隧道长度的1/2处;在困难情况下,其距车站站台端部的距离可移至不小于该区间隧道长度的1/3处,但不宜小于400 m^[1]。

典型长大区间的中间风井与相邻车站位置关系、区间左右线定义及通风系统配置如图2所示。

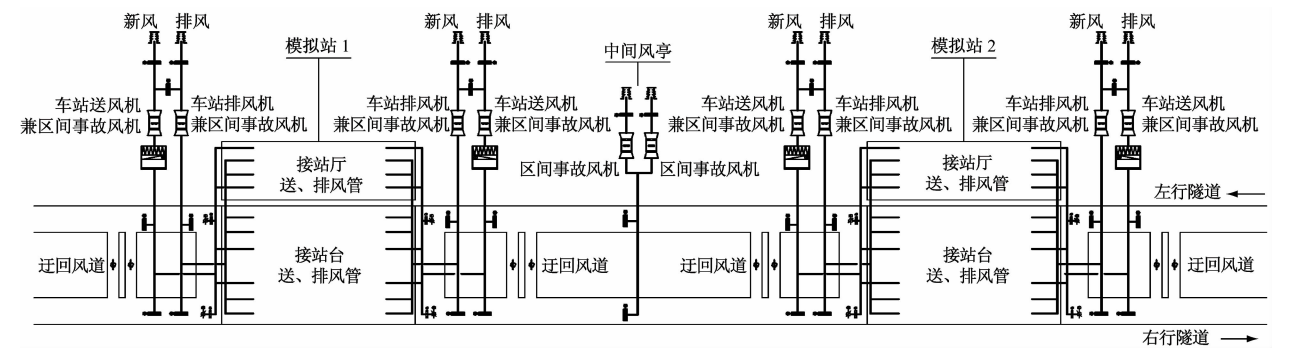


图2 长大区间隧道通风系统图

2.3 隧道风机配置

长大区间隧道通风设备配置情况如表1所示。

表1 区间隧道通风设备配置表				
车站	事故风量/ (m ³ /s)	风压/ Pa	功率/ kW	通风设备/ 台
模拟站1	60	1 000	90	4
模拟站2	60	1 000	90	4
中间风井	60	1 000	90	2

3 区间事故工况定义与应急通风要求

地下区间事故通常包括阻塞和火灾两种工况。
阻塞工况是指列车因故停滞在区间且超过4 min。此工况下,隧道通风系统的主要作用是保证区间断面风速≥2.0 m/s、列车周围空气平均温度≤40 ℃、顶部最不利点温度≤45 ℃,从而保障车辆设备(如空调冷凝器等)正常运行,车内环境满足人员的基本要求。根据相关研究,当标准盾构区间来流风速为2 m/s时,列车周围及最不利点温度可以满足规范要求,能够保证空调器的正常工作^[2]。此外,当阻塞事故无法在短时间内被排除时,应考虑疏散车上人员。所以,在应急通风运行模式中还应考虑为疏散人员提供辅助引导气流的方案。

火灾工况是指列车行驶在区间时发生火灾,且列车无法继续行驶而停滞在区间内。此工况下,隧道通风系统的主要作用是保证区间断面风速≥2.0

m/s(且同时要高于计算临界风速),且最高风速不高于11 m/s^[3]。通过隧道通风系统对事故区段内的气流进行合理组织,达到控制烟气流向、快速有效排除烟气,并辅助引导区间乘客疏散的目的。

4 区间应急通风设计原则

4.1 基本设计原则

地下车站站厅、站台和区间隧道按同一时间发生1次火灾进行设计。当列车在区间隧道内着火时,应尽可能将列车驾驶到车站,然后进行乘客疏散,此时按照车站站台层轨行区火灾工况处理。当列车无法运行至车站时,按照区间隧道火灾工况处理。

当区间隧道内发生火灾时,标准区间需开启事故区间前后共4座车站(非封闭全高站台门制式)的全部隧道风机参与事故通风;对设置有中间风井的区间,则开启事故区间前后共2座车站及中间风井的全部隧道风机参与事故通风。区间阻塞模式可参照区间火灾模式执行。

4.2 气流组织设计

区间隧道应急通风系统在满足事故通风设计标准的同时,还应考虑人员疏散要求。由于阻塞工况不涉及火灾排烟问题,通风系统较容易实现为隧道内提供有组织的纵向通风,并为乘客提供引导疏散(必要情况下)的迎面气流。而火灾工况由于涉

及到排烟、疏散等问题,考虑到火灾发生位置的不同,区间应急通风系统需针对性设置不同的运行模式,具体如下:

(1)隧道内列车首、尾端着火时,列车着火端对应车站的隧道风机均并联排风,非着火端对应车站的隧道风机均并联送风,乘客迎风向送风车站撤离。

(2)隧道内列车中部着火时,距列车较近的车站隧道风机并联送风,距列车较远的车站(或中间风井)隧道风机并联排风。乘客向较近的车站(或中间风井)撤离,部分乘客也可通过就近的联络通道迅速进入对侧相对安全的隧道撤离。

5 长大区间事故工况下应急通风运行模式分析

5.1 阻塞工况下的通风模式

长大区间阻塞工况下的应急通风运行分为 1 列车阻塞和 2 列车阻塞 2 种情况(多于 2 列车阻塞的工况可参照执行)。

5.1.1 1 列车阻塞工况

5.1.1.1 应急通风运行模式

结合中间风井情况,应急通风系统拟定设计方案有两类。A 类方案,仅列车停滞区段临近车站的隧道风机和中间风井参与运行;B 类方案,长大区间相邻的共 2 座车站的隧道风机及中间风井均投入运

行。各类工况运行模式见表 2、表 3。

表 2 阻塞列车位于模拟站 1 与中间风井之间应急通风模式

工况	方案类别	应急通风模式		
		模拟站 1	中间风井	模拟站 2
左线阻塞	A	左线送风	左线排风	
	B	左线送风	左线排风	左线排风
右线阻塞	A	右线送风	右线排风	
	B	右线送风	右线排风	右线排风

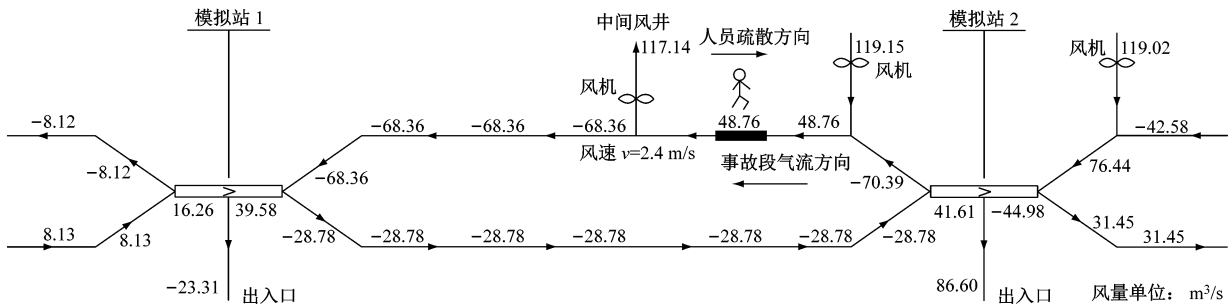
表 3 阻塞列车位于中间风井与模拟站 2 之间应急通风模式

工况	方案类别	应急通风模式		
		模拟站 1	中间风井	模拟站 2
左线阻塞	A		左线排风	左线送风
	B	左线排风	左线排风	左线送风
右线阻塞	A		右线排风	右线排风
	B	右线排风	右线排风	右线送风

5.1.1.2 模拟验证与分析

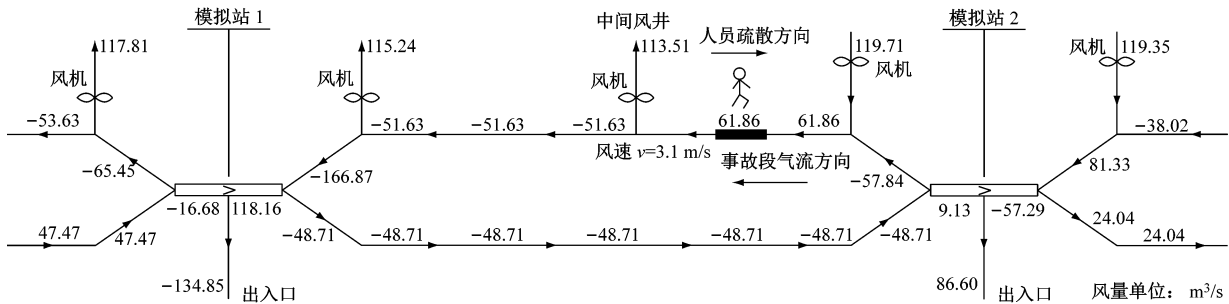
以列车阻塞在左线区间的中间风井与模拟站 2 之间的工况为模拟验证示例,其他工况同理可证。该阻塞工况的应急通风方案(A 类与 B 类)模拟结果如图 3、图 4 所示。

模拟结果显示,1 列车发生阻塞事故时,A 类方案可以满足区间阻塞通风的设计标准要求;B 类方案在增加了 1 座车站隧道风机参与运行后,区间断面风速获得进一步提高,通风效果有所提升。两者均为可行方案。



注:“-”号表示气流与行车方向相反;风机箭头表示风机送排风方向

图 3 阻塞列车位于模拟站 1 至模拟站 2 区间 A 类应急通风方案模拟结果



注:“-”号表示气流与行车方向相反;风机箭头表示风机送排风方向

图 4 阻塞列车位于模拟站 1 至模拟站 2 区间 B 类应急通风方案模拟结果

在实际设计中,考虑以保障较好通风效果为第一控制目标,且B类方案可与长大区间1列列车火灾工况的某些应急通风运行模式相同,便于FAS/BAS(火灾报警系统/环境与设备监控系统)控制模式的统一编排。因此推荐B类方案为1列列车阻塞工况下的应急通风运行模式。

5.1.1.2 2列列车阻塞事故工况

5.1.1.2.1 应急通风运行模式

由于此工况下2列列车分别停滞在中间风井两侧(由行车专业确定列车位置),因此两侧区间需共用中间风井对事故区间进行气流组织,阻塞通风模

式可设计为中间风井排风、两端车站隧道风机送风。各类工况运行模式见表4。

表4 2列阻塞列车分别位于中间风井两侧应急通风模式

工况	应急通风模式		
	模拟站1	中间风井	模拟站2
左线阻塞	左线送风	左线排风	左线送风
右线阻塞	右线送风	右线排风	右线送风

5.1.2.2 模拟验证与分析

以2列列车阻塞在左线区间为模拟验证示例,右线区间同理可证。该阻塞工况的应急通风方案模拟结果如图5所示。

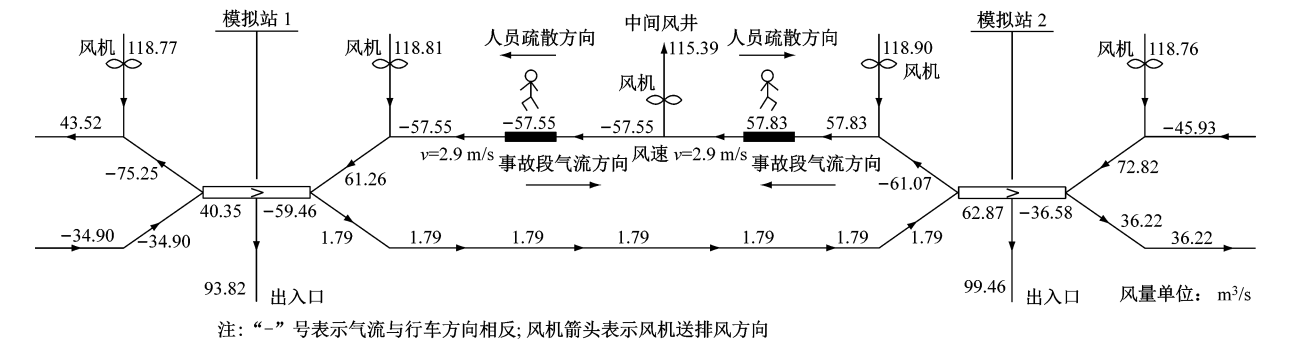


图5 2列阻塞列车位于模拟站1至模拟站2区间的应急通风模拟结果

模拟结果显示,2列列车发生阻塞事故时,两端车站均送风、中间风井排风的模式可以很好地对阻塞区间进行气流组织,两段阻塞区间的隧道断面风速均大于2 m/s,满足区间阻塞应急通风的设计标准要求,设计方案合理可行。

5.2 火灾工况下的通风模式

长大区间火灾工况下应急通风运行同样分为1列列车与2列列车2种情况(多于2列列车的工况可参照执行),在此基础上还需根据火灾发生点位于列车头部、中部、尾部来选择不同的应急通风运行模式。

5.2.1 1列列车火灾工况

5.2.1.1 应急通风运行模式

结合中间风井情况,火灾工况下的应急通风系统拟定设计方案有A、B两类,其设置原则与阻塞工况所使用的A、B两类方案相同。按照已定义的区间事故通风系统基本原则设计火灾工况下的通风运行模式,见表5、表6。

5.2.1.2 模拟验证与分析

1列列车发生火灾时,列车停滞位置、着火部位决定了参与事故通风运行隧道风机的送、排风状

态。选取列车停滞在左线区间的中间风井与模拟站2之间、车头着火的工况作为模拟验证示例,其他工况同理可证。该火灾工况下应急通风方案(A类和B类)的模拟结果如图6、图7所示。

表5 着火列车位于模拟站1与中间风井之间应急通风模式

工况	方案类别	应急通风模式		
		模拟站1	中间风井	模拟站2
左线火灾,列车头部或中部着火,列车靠近中间风井	A	左线排风	左线送风	
	B	左线排风	左线送风	左线送风
左线火灾,列车尾部或中部着火,列车靠近模拟站1	A	左线送风	左线排风	
	B	左线送风	左线排风	左线排风
右线火灾,列车头部或中部着火,列车靠近模拟站1	A	右线送风	右线排风	
	B	右线送风	右线排风	右线排风
右线火灾,列车尾部或中部着火,列车靠近中间风井	A	右线排风	右线送风	
	B	右线排风	右线送风	右线送风

模拟结果显示,1列列车发生火灾时,A和B两类火灾应急通风方案均可满足要求,B类方案的火灾区间应急通风排烟风速更高且烟气理论上在中间风井处全部排除。考虑到隧道排烟系统的安全性和可靠性,推荐B类方案为1列列车火灾工况下应急通风运行模式。

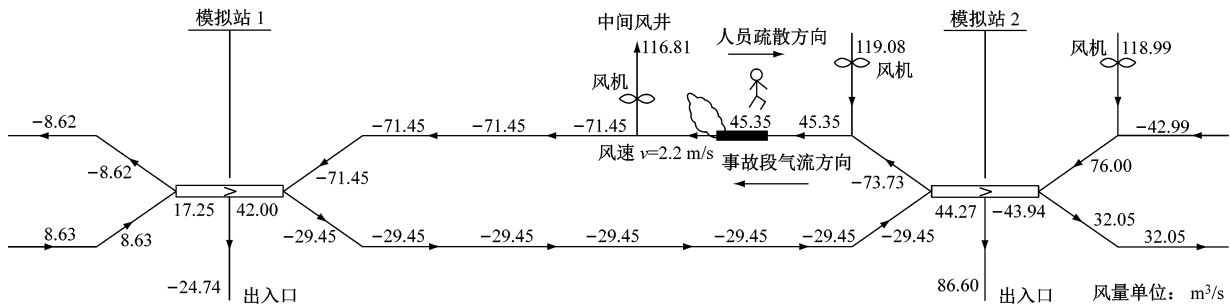


图 6 着火列车位于模拟站 1 至模拟站 2 区间 A 类应急通风方案模拟结果

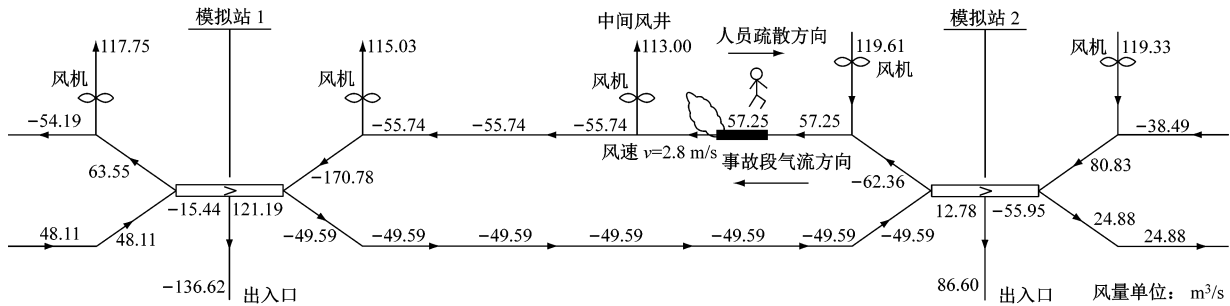


图 7 着火列车位于模拟站 1 至模拟站 2 区间 B 类应急通风方案模拟结果

表 6 着火列车位于中间风井与模拟站 2 之间应急通风模式

工况	方案类别	应急通风模式		
		模拟站 1	中间风井	模拟站 2
左线火灾,列车头部或中部着火,列车靠近模拟站 2	A		左线排风	左线送风
	B	左线排风	左线排风	左线送风
左线火灾,列车尾部或中部着火,列车靠近中间风井	A		左线送风	左线排风
	B	左线送风	左线送风	左线排风
右线火灾,列车头部或中部着火,列车靠近中间风井	A		右线送风	右线排风
	B	右线送风	右线送风	右线排风
右线火灾,列车尾部或中部着火,列车靠近模拟站 2	A		右线排风	右线送风
	B	右线排风	右线排风	右线送风

5.2.2 1 列车火灾工况及 1 列车阻塞工况

5.2.2.1 应急通风运行模式

因 2 列车追踪运行而发生的 1 列车火灾、1 列车阻塞的事故工况是长大区间应急通风系统设计中较复杂的情况。需要对前列列车不同着火位置、两列列车人员疏散方向等进行综合考虑,对多种不同工况分别进行设计。

当前列列车车头着火、后列列车阻塞时,应急通风运行模式应设计为车头端的车站隧道风机对区间进行排风,车尾端的中间风井或车站隧道风机对区间送风,同时两列列车乘客均向送风车站进行疏散。

当前列列车车尾着火、后列列车阻塞时,着火

列车人员向车头端车站疏散,应急通风系统引导烟气向车尾方向排烟;但由于车尾端方向的中间风井至上游车站区间隧道内停滞有第 2 列阻塞列车,该车人员也需疏散,因此应急通风系统应保障烟气不蔓延至阻塞区段,在中间风井处即应将烟气全部有效排出。结合以上要求,应急通风运行模式设计为长大区间前后 2 座车站均向事故隧道内送风,中间风井进行排烟。

当前列列车中部着火、后列列车阻塞时,根据应急通风基本设计原则,需要判断发生火灾的前列列车与车站(或中间风井)的距离远近,据此判断选择应急通风方向。当着火列车靠近前方车站时,车上人员向车头端车站疏散,应急通风系统参照车尾着火的火灾事故工况运行;当着火列车靠近中间风井时,车上人员向车尾端车站疏散,应急通风系统参照车头着火的火灾事故工况运行。

区间内 2 列车(2 列车分别位于区间中间风井两侧)同时分别发生火灾和阻塞事故的应急通风运行模式见表 7。

5.2.2.2 模拟验证与分析

以左线区间前列列车车头着火、后列列车阻塞的事故工况,以及左线区间前列列车车尾着火、后列列车阻塞的事故工况作为模拟验证示例,其他工况同理可证。上述工况下应急通风方案模拟结果

表7 区间内2列列车同时分别发生火灾和阻塞事故的应急通风运行模式

工况	应急通风模式		
	模拟站1	中间风井	模拟站2
左线,前列列车头部或中部着火,位置靠近中间风井	左线排风	左线送风	左线送风
左线,前列列车尾部或中部着火,位置靠近模拟站1	左线送风	左线排风	左线送风
右线,前列列车头部或中部着火,位置靠近中间风井	右线送风	右线送风	右线排风
右线,前列列车尾部或中部着火,位置靠近模拟站2	右线送风	右线排风	右线送风

如图8、图9所示。

模拟结果显示,针对同时有2列列车停在长大区间,且前列列车火灾、后列列车阻塞的事故工况,采用的应急通风运行模式能满足火灾区段的排烟与通风设计标准要求,排烟气流组织方向正确,可有效控制烟气不蔓延至非事故区段,从而保障火灾列车上人员安全疏散至相应的较近车站或中间风井。因此,该工况下的应急通风运行模式是合理可行的。

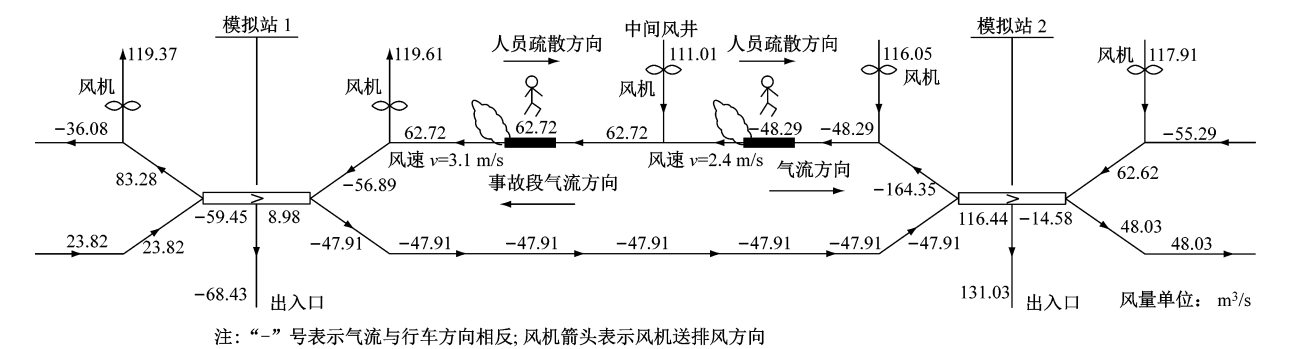


图8 区间内前列列车车头着火、后列列车阻塞事故工况下的应急通风模拟结果

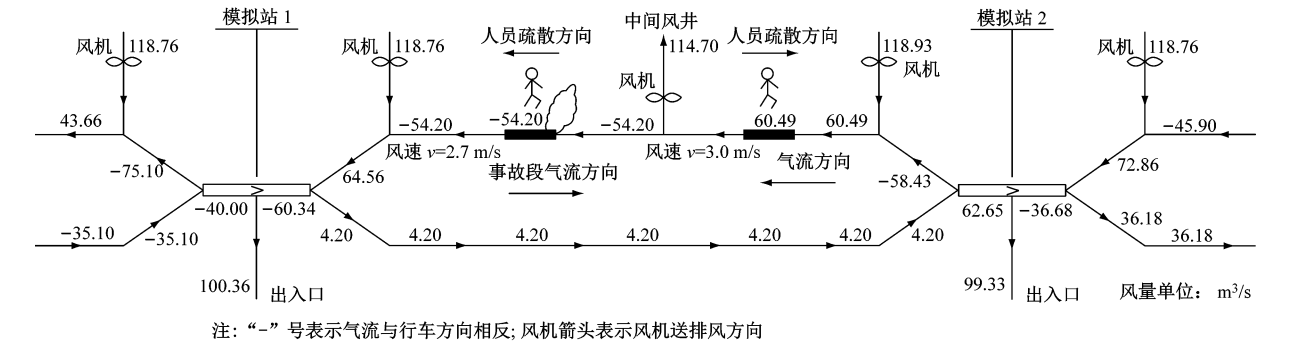


图9 区间内前列列车车尾着火、后列列车阻塞事故工况下的应急通风模拟结果

6 结语

综上所述,通过对城市轨道交通工程封闭式通风系统长大区间的火灾和阻塞两类事故工况,以及1列列车运行和2列列车列车追踪行驶的若干工况下应急通风运行模式的设计方案进行分析与比选,针对各工况不同特点制定了多种应急通风运行模式的设计方案。在系统方案设计过程中,通过分析梳理各事故工况对应急通风的需求,将各类应急通风方案进行优化与整合,并利用一维数值模拟软件Stess V3.0对典型方案、重点方案的应急通风结果进行模拟,校验并提出相应的应急通风运行优化模式库。

此外,通过对典型长大区间应急通风运行模式

进行研究,可知中间风井在城市轨道交通地下长大区间应急通风中所起到的关键作用,因此,在进行前期规划、防灾方案设计时,应确保中间风井设置的准确性、必要性及合理性,以充分发挥其作用。

参考文献

[1] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 地铁设计规范: GB 50157—2013[S]. 北京:中国建筑工业出版社,2013:121.
[2] 欧阳沁,江泳,朱颖心,等. 关于地铁隧道区间段阻塞工况临界通风速度的研究[J]. 地铁与轻轨,2002(2):34.
[3] 北京市规划委员会,北京市质量技术监督局. 城市轨道交通工程设计规范:DB 11/995—2013[S]. 北京:北京市城乡规划标准化办公室,2013:210.

(收稿日期:2017-05-28)