

doi: 10.3969/j.issn.1672-6073.2021.01.020

基于行车模拟牵引计算的 地铁区间风井设置

强士盎^{1,2}

(1. 中铁第一勘察设计院集团有限公司, 西安 710043;
2. 陕西省铁道及地下交通工程重点实验室(中铁一院), 西安 710043)

摘要: 什么条件下地铁地下区间中部需设置区间风井, 在相关设计规范及设计标准中均没有明确规定, 争议较多。提供一种基于行车模拟牵引计算、在一定研究前提条件下确定较长地下区间是否设置中间风井的理论研究方法, 提出是否设置区间风井的判定标准及具体的研究实操步骤, 并通过实例结果分析, 明确设置区间风井的最小站间距临界值, 为相关领域内的研究者、决策者及地铁建设、运营单位提供参考。

关键词: 牵引计算; 地铁; 区间风井

中图分类号: U231

文献标志码: A

文章编号: 1672-6073(2021)01-0122-05

The Setting of Wind Wells in Subway Areas Based on Simulated Traction Calculation

QIANG Shiang^{1,2}

(1. China Railway First Survey and Design Institute Group Co. Ltd., Xi'an 710043;
2. Shaanxi Railway and Underground Traffic Engineering Key Laboratory (FSDI), Xi'an 710043)

Abstract: Currently, the relevant design norms and design standards concerning building wind wells in the underground zones of subway stations are not clearly defined, leading to disputes. This paper provides a theoretical research method based on driving simulation traction calculations, under certain research premises, to determine whether wind wells need to be built for long underground intervals. The study proposes the determining criteria to judge whether the wind well should be built, and the specific practical research steps. Through analysis of the example results, we clearly and effectively set the minimum critical spacing value for setting wind wells in the underground space, providing a reference for researchers, decision-makers, and subway construction and operators in related fields.

Keywords: traction calculation; subway; zone wind well

1 研究背景

地铁通常由若干个车站以及与车站相连的区间构成, 上、下行区间通过车站、区间之间的联络通道或区间配线互相连通, 构成一个复杂的气流流通网络^[1]。地铁系统的通风, 目前通常的设计是在车站(区间)的

两端设置隧道风机系统, 为区间隧道事故或正常通风时服务。

为了满足隧道通风要求和便于运营管理, 隧道通风机房一般都布置在车站的两端。由于地下区间隧道较长, 所以有可能需要在区间中部设置区间风井。在

收稿日期: 2019-10-30 修回日期: 2019-11-15

作者简介: 强士盎, 女, 高级工程师, 大学本科, 工学学士, 主要从事轨道交通行车组织与运营管理工作, 531620758@qq.com

引用格式: 强士盎. 基于行车模拟牵引计算的地铁区间风井设置[J]. 都市轨道交通, 2021, 34(1): 122-126.

QIANG Shiang. The setting of wind wells in subway areas based on simulated traction calculation[J]. Urban rapid rail transit, 2021, 34(1): 122-126.

什么情况下需要设置区间风井,目前相关的地铁设计规范及设计标准均没有明确的规定。

《地铁设计规范》第13.2.10条规定:“当需要设置区间风道时,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。”第28.4.7条第1款规定:“当区间隧道发生火灾时,应背着乘客主要疏散方向排烟,迎着乘客疏散方向送新风。”^[2]

《地铁设计防火标准》第8.3.4条规定:“两座车站之间正常同时存在两列或两列以上列车同向运行的地下区间,排烟时应能使非着火列车处于无烟区。”^[3]

《地铁设计规范》在第13.2.10条的条文解释中提出:“是否设置区间通风道,应根据每条线路的具体情况决定”^[2]。有些设计者认为,当两个车站之间距离(区间长度)超过2 km或2.4 km时,需考虑设置区间风井;有些人认为,区间两端(靠近车站端部)的活塞风孔之间的列车走行时间大于2 min时,需设置区间风井;还有些人认为,相邻的两个车站之间(站中心至站中心)列车走行时间大于2 min时,需设置区间风井。可见,关于区间风井的设置与否争议较多。

本研究提供一种基于行车模拟牵引计算、在一定研究前提条件下确定较长地下区间是否设置中间风井的理论研究方法,并明确设置区间风井的最小站间距临界值,为相关领域内的设计者、决策者及地铁运营单位提供参考。

2 研究重点确定

地铁内发生火灾,通常认为列车在区间隧道内着火比在车站着火要危险得多^[4]。区间火灾发生后,疏散方式分为两种:继续运行疏散和停车疏散。根据高速铁路隧道防灾的基本原则、地铁设计规范等要求,凡是能继续运行的,应尽量将着火列车驶入前方站台(或者驶出隧道)进行人员疏散。只有在列车由于动力系统失效或其他原因不得不停车时,才需要停车疏散。因此,在单侧区间隧道内有两列车运行且有一列车起火停车疏散时为不利情况,属于研究重点^[5-9]。按照火灾发生的位置,分为前车车尾着火、前车车头着火、后车车尾着火、后车车头着火等情况,如图1所示。

后车着火疏散时,对前车影响较小,前车尽快远离后车即可;前车着火疏散时,尤其是前车车尾着火停车疏散时,后车距离着火列车最近,为最不利情况。

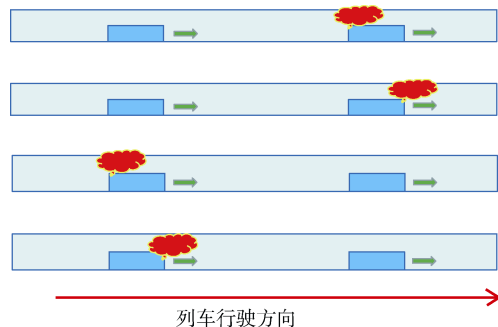


图1 火灾发生位置示意

Fig. 1 Location of the fire

本研究利用行车模拟牵引计算软件,在给定一些前提的条件下,通过分析最不利情况下(即前车车尾着火)单侧隧道内两列车的相对位置关系,以确定该区间是否需要设置区间风井。

3 风井设置研究

3.1 研究的前提条件

1) 车辆选型及列车编组:钢轮钢轨B型车,初、近、远期均为6辆编组,动力配置为4动2拖,列车长度120 m。

2) 列车运行速度:最大速度按80 km/h考虑,列车正常速度按75 km/h考虑^[10]。

3) 最小行车间隔:按2 min考虑。

4) 列车信息系统更新间隔时间:3~5 s,本次按3 s系统刷新时间核算,即3 s后后车才能收到前车故障信息。

5) 车辆启制动参数:平均加速度(0~80 km/h)约0.6 m/s²,平均加速度(0~40 km/h)约1.0 m/s²,常用制动平均减速度(80~0 km/h)为1.0 m/s²。

根据《地铁设计规范》(GB50157—2013)中第3.3.6条:“正常情况下,计算启动加速度、制动减速度不宜大于最大加速度、常用减速度的90%,且计算列车启、制动加速度均不大于0.9 m/s²”^[2],本次模拟牵引计算列车参数取值:平均加速度(0~80 km/h)约0.6 m/s²,平均加速度(0~40 km/h)约0.9 m/s²,常用制动平均减速度(80~0 km/h)为0.9 m/s²。

6) 区间两端(站端)活塞风孔位置:站端活塞风孔位置按B型车6辆编组标准站考虑,一般小端距离站中心60~70 m,大端距离站中心90~100 m。本次研究设定区间两端均为大端,风孔中心距离站中心均为100 m,设定风孔大小为边长4 m的正方形。

7) 线路平纵条件:线路平面,设定线路平面条件

较好、无限速小半径曲线；线路纵断面，设定站坪坡为 2‰，出站为 20‰的 300 m 下坡，进站为 20‰的 300 m

上坡，中间为 10‰的上、下坡，长度均分。站间距设定为 2.5 km，活塞风孔位置及线路纵断面如图 2 所示。

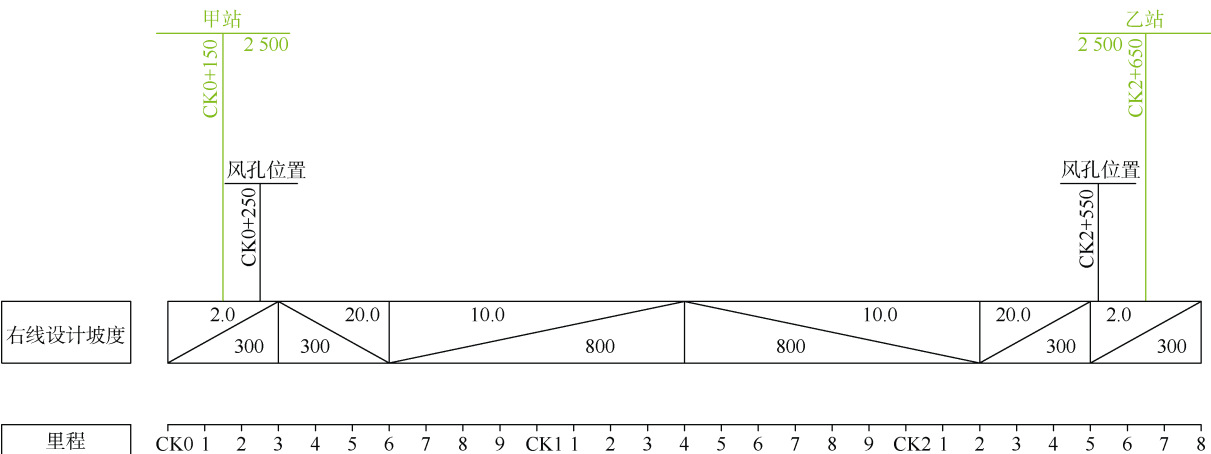


图 2 活塞风孔位置及线路纵断面
Fig. 2 Piston wind hole position and line profile

3.2 区间风井设置

3.2.1 是否设置区间风井的判定标准

当列车因火灾失去动力停在地下区间时，需利用隧道通风系统对火灾区间送风和排烟。通风系统要确保烟气排除方向与多数乘客的疏散方向相反。车尾着火的前车在区间停车疏散时，乘客向列车运行方向疏散，需利用前车运行前方的站端风孔迎着乘客疏散方向送风，即向后车所在区间方向送风，同时利用后车车头前方邻近的车站活塞风风孔排烟；若后车车头侵入或越过后车车头前方邻近的车站活塞风风孔，则后车将处于有烟区，会给后车乘客带来危险。车尾着火的前车刚好尾部越过站端风孔停车疏散时，为该种送风排烟模式的最极端情况，也是最不利情况。

本研究采用的模拟牵引计算软件为北京交通大学研发的城市列车运行计算系统，在给定的研究前提条件及站间距条件下，依托牵引计算软件及 CAD 画图软件，按照车尾着火的前车刚好尾部越过站端风孔停车疏散时的最不利条件，检算后车车头位置，若后车车头侵入或越过后车车头前方邻近的车站活塞风风孔，则认为需要设置区间风井。

3.2.2 区间风井设置的研究方法及结果

按照既定的研究前提条件，利用城市列车运行计算系统进行两次模拟牵引计算，一次为两站间列车正常运行，一次为前车故障运营，将两次模拟计算输出的速度-距离-时间曲线叠加在同一个 CAD 图中（见图 3）。

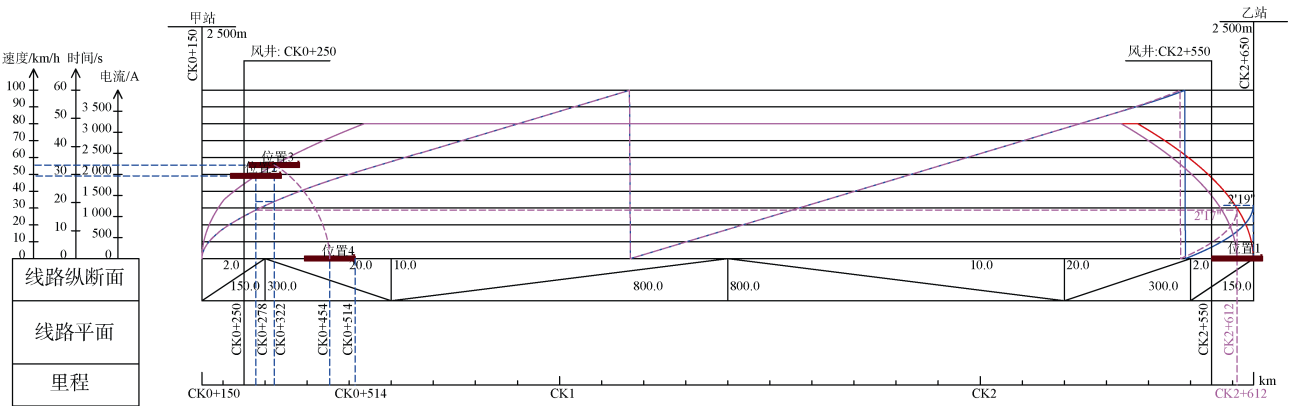


图 3 火灾状态下列车与风孔的相对位置关系(最高限速 80 km/h)
Fig. 3 The relative position of trains and wind holes in the fire situation (maximum speed of 80km/h)

在 CAD 图中, 首先利用时间曲线, 找出前车故障停车后后车的位置(位置 2), 然后再找出 3 s 后后车的位置(位置 3)及速度, 此位置及速度为后车接收到前车故障信息后开始制动停车的位置及速度, 最后根据既定的相关制动参数, 计算出后车的停车位置(位置 4)。根据后车停车位置进行区间风井设置与否的分析。

以给定站间距 2.5 km 为例, 分析如下: 若前行列车发生火灾后, 列车尾部运行至乙站风孔(CK2+050)位置 1 停车, 此时后行列车中心在位置 2(CK0+278), 速度为 49.00 km/h。根据信号专业提供的列车信息, 系统更新间隔时间为 3~5 s, 本次按 3 s 系统刷新时间核算(即 3 s 后才能收到前车故障信息), 3 s 后后行列车中心运行至位置 3(CK0+322), 速度为 55.51 km/h, 在该处后行列车检测到隧道区间阻塞后制动停车, 实施常用制动停车后, 后车中心停在位置 4(CK0+454), 位置 4 列车位于两个风孔之间, 列车头部(CK0+514)已越过甲站风孔(CK0+250)约 264 m, 两站活塞风孔之间存在两列车, 甲、乙两站间需设置区间风井。

3.2.3 设置区间风井的站间距临界值

按照上述方法, 计算不同站间距、不同最高限速条件下列车与风孔的相对位置关系, 结果如表 1 所示。

表 1 火灾状态下列车与风孔的相对位置关系

Tab. 1 Relative position relationship between trains and wind holes in the state of fire

最高限速/ (km/h)	站间距/ km	后车车头 位置(位置 4)	后车车头是否 越过甲站风孔	是否设置 区间风井
80	2.5	CK0+514	是	是
	2.4	CK0+403	是	是
	2.3	CK0+321	是	是
	2.2	CK0+252	是	是
	2.1	CK0+210	否	否
	2.0	CK0+210	否	否
	1.9	CK0+210	否	否
	1.8	CK0+210	否	否
75	2.5	CK0+664	是	是
	2.4	CK0+531	是	是
	2.3	CK0+394	是	是
	2.2	CK0+323	是	是
	2.1	CK0+248	否	否
	2.0	CK0+210	否	否
	1.9	CK0+210	否	否

由表 1 可见, 在给定的研究前提条件下, 最高限速为 80 km/h、站间距为 2.2 km, 车尾着火的前车刚好尾部越过乙站站端风孔停车疏散时, 后车已启动, 且后车车头刚好越过甲站站端风孔, 需设置区间风井; 最高限速为 75 km/h、站间距为 2.1 km, 车尾着火的前车刚好尾部越过乙站站端风孔停车疏散时, 后车已启动, 但后车车头刚好未侵入甲站站端风孔, 无需设置区间风井。

2.2、2.1 km 站间距为设置区间风井的最小站间距临界值, 速度越低, 设置区间风井对应的站间距的临界值就越小。

4 有关问题探讨

目前, 相当一部分地铁设计者认为, 当一个区间两端风孔之间的列车走行时间大于 2 min 时, 需考虑设置区间风井, 根据本研究区间风井设置的理论及方法, 在本次给定的研究前提条件下, 不同站间距对应的区间(站中心至站中心)走行时间及区间两端风孔间走行时间如表 2 所示。

表 2 区间走行时分及站端风孔间走行时分

Tab. 2 Traveling time of the train between two sections of the line and that of the train going through the wind holes at the ends of the station

最高限速/ (km/h)	站间距/ km	是否设置 区间风井	区间走行 时分/s	风孔间走行 时分/s
80	2.5	是	139	109
	2.4	是	135	105
	2.3	是	130	100
	2.2	是	126	96
	2.1	否	121	91
	2.0	否	117	87
	1.9	否	112	82
75	2.5	是	145	115
	2.4	是	140	110
	2.3	是	136	106
	2.2	是	131	101
	2.1	否	126	96
	2.0	否	121	91
	1.9	否	116	86

由表 2 可见, 在给定的研究前提条件及需设置区间风井的判定标准下, 当最高限速为 80 km/h、站间距大于等于 2.2 km 时, 需考虑设置区间风井, 但 2.2~2.5 km 站间距条件下, 区间两端风孔间列车走行时间均未大于 120 s; 最高限速为 75 km/h、站间距大于 2.1 km 时, 需考虑设置区间风井, 但 2.1~2.5 km 站间距条件下区间两端风孔间列车走行时间也均未大于 120 s。故笔者认为, “当一个区间两端的风孔之间的列车走行时间大于 2 min 时需设置区间风井”的观点不尽合理。这种观点将列车看成了一个质点, 忽略了列车长度, 忽略了火灾状态下区间追踪列车之间的动态关系, 放大了设置区间风井的最小站间距临界值。

还有一部分地铁设计者认为,当一个区间两端车站站中心间的列车走行时分大于2 min时,需考虑设置区间风井。根据表2,笔者认为此说法相对可靠,比“风孔论”误差要小,但忽略了站端风孔位置与站中心的相对位置关系,有可能缩小了设置区间风井的最小站间距临界值。

5 结语

1) 本研究提出一种新的方法,利用行车模拟牵引计算的输出结果,对地铁隧道区间风井的设置进行理论计算与分析,但地铁线路地下区间中间风井的设置与否,与列车参数、火灾救援处理方式、区间列车最高运行速度以及运行时间、最小行车间隔、区间线路平纵断面条件、区间两端(站端)风孔位置、列车信息系统更新间隔时间等因素密切相关,尤其是列车信息系统更新间隔时间对研究结论影响较大,本次暂定为3 s,可能偏小,后续将持续追踪确认该参数的合理取值范围。

2) 本研究考虑的最不利工况,即前车尾部着火,后行列车采用制动后停车,未考虑后车停车后的后退,原因如下:前行列车司机通过监控器或火灾探测器发现火灾后上报行调,行调确认火灾后向车站及后车发出指令,若后车要倒退则需转换列车驾驶模式^[11],且司机需要从列车前端司机室通过车厢走到后端司机室来进行换端作业,待排好进路后司机人工驾驶列车后退,且后车的后退速度不会太高。在此过程中,后车司机接到指令后,需制动停车,转换列车驾驶模式,并需从前端司机室步行至后端司机室,穿过整个车厢;若处于高峰期时,车厢内较为拥挤,耗时较长,办理进路、换端作业仍需一定的时间。因此,即使后车可以后退,也耗时较长,前行列车尾部烟气将给后车乘客造成危险。故本研究不考虑前车尾部着火后车后退的火灾处理方式,以保证后车的绝对安全。

3) 在实际运营中,行车调度员、司机等人为安全作业可靠度影响因素较多^[12],尤其在火灾状况下,相关人员的行为方式更难预测。因此,应针对地下区间尤其是地下长区间建立健全火灾应急预案,对司机及工作人员进行理论培训和实训,确保火灾发生时能够迅速启动应急预案,组织人员有序疏散。

参考文献

- [1] 刘林林. 西安地铁三号线鱼化寨站~丈八北路站区间风井布置位置的探讨[J]. 铁道建筑技术, 2012(S2): 75-76.
- [2] 地铁设计规范: GB 50157—2013[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2014.
- [3] Code for design of metro: GB 50157—2013[S]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2014.
- [4] 地铁设计防火标准: GB51298—2018[S]. 北京: 中国计划出版社, 2018.
- [5] 杨英霞, 陈超, 屈璐, 等. 关于地铁列车火灾人员疏散问题的几点讨论[J]. 中国安全科学学报, 2006, 16(9): 45-50. YANG Yingxia, CHEN Chao, QU Lu, et al. Discussion on some problems of evacuation from metro train fire[J]. China safety science journal, 2006, 16(9): 45-50.
- [6] 杨延萍, 郑志敏, 周孝清, 等. 地铁区间隧道火灾疏散模式研究[J]. 暖通空调, 2006, 36(3): 90-92. YANG Yanping, ZHENG Zhimin, ZHOU Xiaoqing, et al. Study on the escape mode of underground railway tunnel in fire[J]. Heating ventilating & air conditionin, 2006, 36(3): 90-92.
- [7] 王锋. 国内地铁区间隧道安全疏散隐患及对策[J]. 都市轨道交通, 2010, 23(2): 31-33. WANG Feng. Safety evacuation risks in domestic subway transit tunnels and counter measures[J]. Urban rapid rail transit, 2010, 23(2): 31-33.
- [8] 吴凤山, 袁焯, 牟宏霖. 地铁隧道火灾人员疏散模拟分析及结构优化措施研究[J]. 现代交通技术, 2017(5): 77-81. WU Fengshan, YUAN Ye, MU Honglin. Simulation analysis for pedestrian evacuation in subway tunnel fires and structure optimization[J]. Modern transportation technology, 2017(5): 77-81.
- [9] 汪志雷, 华敏, 潘旭海. 地铁隧道火灾人员疏散方案对比研究[J]. 消防科学与技术, 2015, 34(2): 181-184. WANG Zhilei, HUA Min, PAN Xuhai. Comparative study of evacuation planning in subway tunnel fire[J]. Fire science and technology, 2015, 34(2): 181-184.
- [10] 翟可. 上海地铁七号线过江区间中间风井位置方案探讨[J]. 隧道建设, 2005, 25(3): 7-8.
- [11] 彭长胜. 地铁超深中间风井关键技术设计和研究[J]. 铁道标准设计, 2016(4): 91-95. PENG Changsheng. Design and analysis of key technologies for metro super-depth intermediate ventilation shaft[J]. Railway standard design, 2016(4): 91-95.
- [12] 崔亦博, 焦怡博, 孙旺, 等. 城市轨道交通列车驾驶模式切换研究[J]. 铁道运输与经济, 2017, 39(4): 74-78. CUI Yibo, JIAO Yibo, SUN Wang, et al. Study on driving mode switching of urban rail transit train[J]. Railway transport and economy, 2017, 39(4): 74-78.
- [13] 张光远, 胡晋, 杜静霜, 等. 城市轨道交通调度员安全作业行为可靠度研究[J]. 铁道运输与经济, 2019, 41(8): 91-96. ZHANG Guangyuan, HU Jin, DU Jingshuang, et al. A research on reliability of safe operation behavior of urban rail transit dispatchers[J]. Railway transport and economy, 2019, 41(8): 91-96.

(编辑: 王艳菊)