

# 半地下枢纽型车站公共区通风空调系统设计策略

龚 波

(中铁二院工程集团有限责任公司, 610036, 成都//高级工程师)

**摘 要** 以成都地铁三线(3号线、10号线、17号线)换乘半地下枢纽型车站双流西站工程为例,针对其不同列车编组(6B、6A、8A)的换乘形式,地面厅拱顶幕墙“通透式”的装修风格、仅单端有条件设置空调机房的功能布局,对公共区通风空调系统形式、系统布置方式的难点及解决策略进行了分析。其中,空气-水系统、就地装配式通风单元在枢纽型大型地面厅车站的应用,能在实现通风空调功能的前提下满足其特殊的建筑形式和装修风格。同时,阐述了大型地面厅防排烟设计应结合消防性能化评估验证其合理性。

**关键词** 半地下地铁站; 枢纽地铁站; 地面厅

**中图分类号** U291

**DOI:**10.16037/j.1007-869x.2021.05.011

## Design Strategy of Ventilation and Air Conditioning System in Public Area of Semi-underground Hub Metro Station

GONG Bo

**Abstract** Taking Shuangliu West Station, the interchange semi-underground hub metro station of three lines (Line 3, Line 10, Line 17) of Chengdu Metro, as an example, targeting the transfer format of three different train formation (6B, 6A, 8A), the large-scale ground hall with vault curtain wall, air-conditioning room at one end only, the difficulties and solutions of public area ventilation and air conditioning system form and system layout in public area are analyzed. The application of air-water system and on-site assembled ventilation unit in hub type large-scale ground hall station can adapt to its special architectural form and decoration style on the basis of realizing the function of ventilation and air conditioning. At the same time, to verify the rationality of smoke control design of large ground hall by fire prevention performance is elaborated.

**Key words** semi-underground metro station; hub metro station; ground hall

**Author's address** China Railway Eryuan Engineering Group Co., Ltd., 610036, Chengdu, China

近年来,具有地铁与国铁换乘功能的半地下枢纽型地铁站逐渐增多,其共性为地面厅建筑造型独

特,通常作为全线地标站<sup>[1]</sup>。同时为实现枢纽功能,地面需设置厅前广场,规划用地条件苛刻。此类车站若沿用地铁通风空调设计的思维定式,往往在方案阶段就会面临地面厅管路敷设同独具匠心的装修风格冲突,以及出地面风亭与站前广场规划冲突等系列问题。鉴于此,本文以成都地铁三线换乘枢纽站双流西站为实例,阐述在通风空调设计过程中所遇到的难点,以及针对其特殊的建筑形式和装修风格采取的解决策略,为类似车站设计提供一定的参考实践。

## 1 工程概况

双流西站是3号线(6B编组,80 km/h,2018年12月通车运行)、10号线(6A编组,100 km/h,同期实施,2019年12月通车运行)、17号线(8A编组,140 km/h,远期实施)三线三岛平行布置具有地面厅和地下一层的半地下式车站,总建筑面积44 040 m<sup>2</sup>,其中,地面厅面积7 739 m<sup>2</sup>。地面与城际铁路站房通过地面广场进行换乘接驳,地下一层东接三线停车场出入段线,3号线、17号线西端设单渡线,10号线西端设折返线。受规划限制,东端地面广场不允许设置功能用房及风亭,因此地下区间并行同步开挖的3号线、10号线、17号线通风空调机房只能在西端地面设备区范围内布置,且通过立面侧墙风孔与外界进行气流交换。作为成都地铁首座地标枢纽车站,三线共用的地面厅采用高大空间拱顶幕墙钢结构,并于3号线试运营期间全部投入使用。图1为车站整体效果图。

## 2 公共区通风空调系统设计

### 2.1 设计难点

双流西站地面厅钢结构弧形拱顶层高约10~22 m,站厅纵向跨度为120 m,横向跨度60 m。纵轴10~23(南北端)和横轴A~G(东端)采用幕墙形式。建筑纵剖示意图如图2所示。



图1 双流西站整体效果图

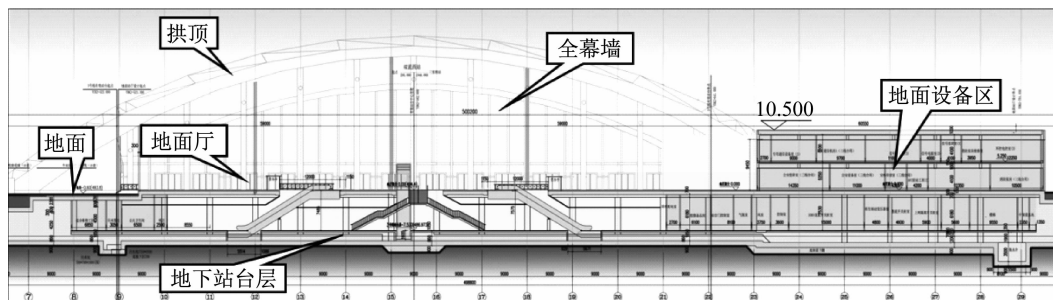


图2 纵剖示意图

采用经典的全空气一次回风系统同时服务于站厅和站台公共区,尽管系统原理简单且便于末端设备集中管理,但针对地面厅的建筑特点,此方案将面临三个难点:

1) 地面厅要求“无风管”。地面厅内部不设置任何建筑小品,并且整个空间不允许出现风管,实现视觉效果“通透性”。

2) 仅单端有条件设置空调机房。受规划限制,通风空调机房仅能设置于西端地面设备区,东端无设备区和风亭。服务于地面厅的风管若采用沿纵向敷设单端送风,大面积幕墙将被风管遮挡,同时钢桁架结构导致顶部风管无处隐藏。可见,全空气系统单端送风方案有悖于地面厅视觉效果“无风管”“通透性”要求。同时,地面厅纵向跨度为120 m,采用单端送风方案难以保证末端气流组织。

3) 西端地面设备区容纳三线隧道通风系统和三线主要设备管理用房,导致地面设备区空间紧凑。由于服务于站台公共区的排烟风机和新风机组只能设置于西端地面设备区机房,多根大管径风管需穿越西端设备区,分别到达三线站台公共区。经过同建筑、强电、弱电专业多次方案研讨,西端设备区无条件开设三组送、排风孔,分别服务于三线互不相通的站台公共区。

## 2.2 解决策略

地面厅采用广泛适用于高大空间的分层空调

设计方案,结合建筑特点及所需达到的装修效果,地面厅、站台公共区分别采用空气-水系统形式<sup>[2]</sup>,末端设备采用半集中式布置。地面厅采用融合幕墙形式的电动排烟窗自然排烟,站台公共区采用机械排烟。

### 2.2.1 地面厅通风空调系统布置方式

西端地面设备区机房设置新风机组和组合式空调机组,新风机组提供地面厅一半新风,组合式空调机组处理站厅西端区域回风,并沿横轴方向布置球形喷口侧送。通过射流计算,确定球形喷口中心距站厅装修完成面为5.5 m。

东端由于无设备区,因此不具备放置空调机组的条件。如何实现东端区域的空调安装,是方案设计的一大难点。经过多方协调,利用钢结构网架搭建钢悬臂放置多台一体式射流机组<sup>[3]</sup>,构建“空中机房”。一体式射流机组喷口中心高度同西端保持一致,部分作为新风机组承担地面厅一半的新风,其余承担东端区域回风。新风机组的新风口隐藏于出入口门厅上部,冷冻水管和冷凝水管均沿站台顶板敷设,接至“空中机房”的立管隐藏于钢结构柱外包装修内。图3为“空中机房”搭建及外观实景图。

由于地面厅纵向跨度达120 m,两端球形喷口经过计算及选型,服务半径只能分别覆盖约30 m,无法满足其余约60 m范围的中部区域。不同于国



图3 “空中机房”搭建及外观实景图

铁候车厅或机场航站楼可利用部分建筑小品设置夹层隐藏风管<sup>[4-5]</sup>,为了在提供中部区域空调的同时不影响视觉通透性,设计方案采用结合地面厅垂直电梯设置仅处理中部回风的就地装配式通风单元,如图4所示。为保证通风单元的结构稳定性,采用钢结构框架,柜式风机盘管机组置于框架内,冷冻水管仍沿站台顶板敷设通过开孔接至机组。通风单元通过鼓型喷口分别向两端侧送风,由此覆盖中部区域。

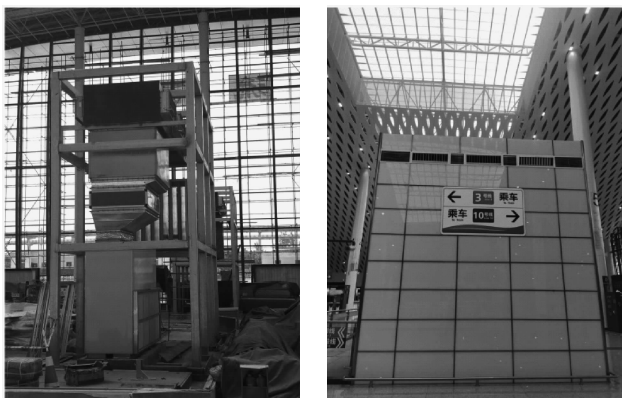


图4 就地装配式通风单元现场图

### 2.2.2 站台通风空调系统布置方式

结合站台三线平行互不相通的建筑形式,在西端地面设备区机房内设置新风机组和排烟风机,分别实现三线站台公共区的新风和排烟。站台层则利用靠近公共区的设备用房设置夹层放置柜式风机盘管机组实现回风处理。

为了满足站台层通风工况或紧急公共卫生事件下的应急通风,新风机组采用变频,通风工况选型风量取排除站台余热和换气次数的最大值,空调工况变频运行满足人员新风量,通风及应急工况则工频全风量运行。

由于站台公共区排烟风机和新风机组只能设置于西端机房,风管道径势必大于常规双端设置机房的系统,这给已经容纳了三线隧道通风系统、三

线主要设备管理用房的设备区综合管线敷设带来困难。鉴于此,利用新风管承担整个站台通风管径余量大的特点,通过站台排烟量和正常通风量风速和管径匹配计算,确定合理的管径,将排烟风管与送风管在穿越地面设备区的部分共用,敷设至站台公共区后再分设送风和排烟支路,并通过电动风阀进行风路切换,由此有效缓解地面设备区管线敷设问题。

排烟工况瞬时切断送风通路,确保烟气不流经送风口。由于分设送风和排烟支路,站台公共区排烟支管风速和排烟口风量不受共用管路影响,同时可抬高标高,满足侧开排烟口底边位于储烟仓内,有效保证控烟能力。图5为站台公共区通风空调系统原理图。

### 2.2.3 通风空调设计解决策略的特点

#### 1) 高大空间厅、台空气-水系统。

地面厅高大空间采用空气-水系统的分层空调形式。新风独立处理并承担部分室内负荷,采用分布式空调单元处理回风。西端空调机组设置于设备区机房集中管理,东端采用钢悬臂构建“空中机房”放置一体式射流机组,有效解决东端无设备区的难题,同时满足地面厅“通透性”装修效果。

站台层公共区设置变频新风机组,满足空调运行亦可实现紧急公共卫生事件应急通风。利用站台设备区房间夹层设置空调单元处理回风,可有效减少西端地面设备区孔洞和综合管线协调问题。

#### 2) 就地装配式通风单元。

由于空气质量比热容远小于水的质量比热容,输送相同能量采用水系统所需的输配能耗远小于采用风系统。鉴于此,采用“舍风取水”的设计理念,将空调末端设置于站厅中部现场制作的就地装配式通风单元,而冷冻水管由冷水机房沿站台顶板敷设至通风单元处预留孔洞,以此降低系统能耗。就地装配式通风单元采用全回风工况,可实现局部

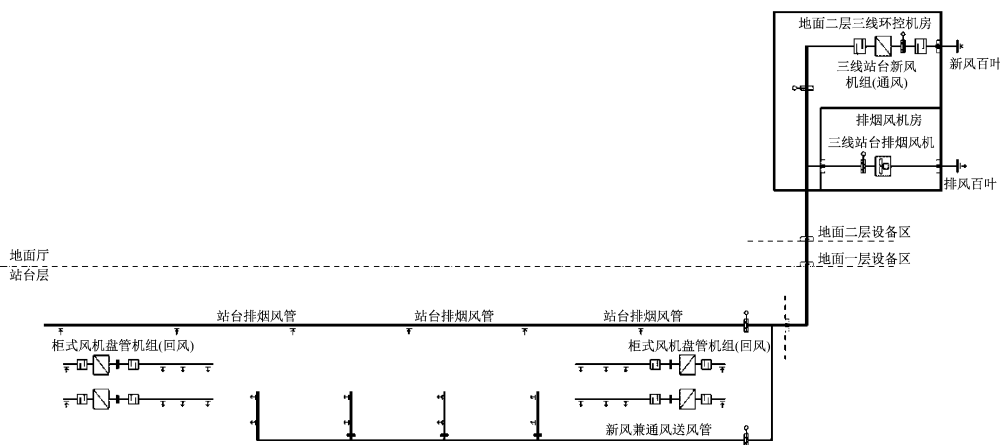


图5 站台公共区通风空调系统原理图

环境控制,在减轻集中系统负担的同时解决站厅两端喷口送风射流覆盖范围不足的问题。

### 3 地面厅防排烟设计

#### 3.1 设计难点

由于地面厅面积超 5 000 m<sup>2</sup>,无防火分隔,采用结合幕墙设置电动排烟窗的自然排烟方式尽管能融合装修风格,但现行规范<sup>[6-8]</sup>均未明确自然排烟下地铁车站地面厅防火分区的最大面积,故需进行消防性能化设计来确定防排烟设计方案的合理性。

#### 3.2 解决策略

##### 3.2.1 电动排烟窗设置

根据地面厅拱顶幕墙钢结构形式及考虑避免漏雨因素,在纵轴 9~23(南端、北端)和横轴 A~G

(东端)幕墙侧上方沿弧形拱顶设置电动排烟窗作为排烟口,有效面积约占地面厅楼地面面积的 5.07%,并沿火灾烟气的气流方向开启。

排烟口底部距站厅层地面高度为最小清晰高度。其中,最小清晰高度  $H_q$  按如下公式<sup>[9]</sup>计算:

$$H_q = 1.6 + 0.1H' \quad (1)$$

式中:

$H'$ ——净高,m。

10~23 轴  $H'$  采用桁架净高,由式(1)计算  $H_q$  为 2.6~3.8 m。A~G 轴  $H'$  采用出入口吊顶下净高,由式(1)计算  $H_q$  为 2 m。

电动排烟窗与最小清晰高度关系如图 6 和图 7 所示。

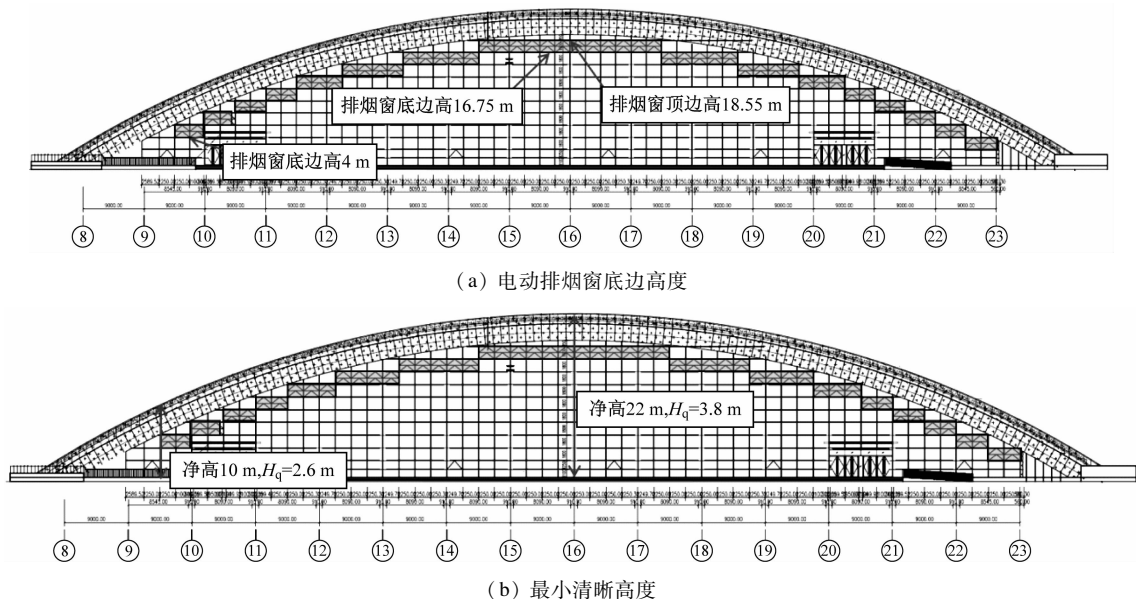


图6 纵轴 10~23(南、北端)电动排烟窗与最小清晰高度关系

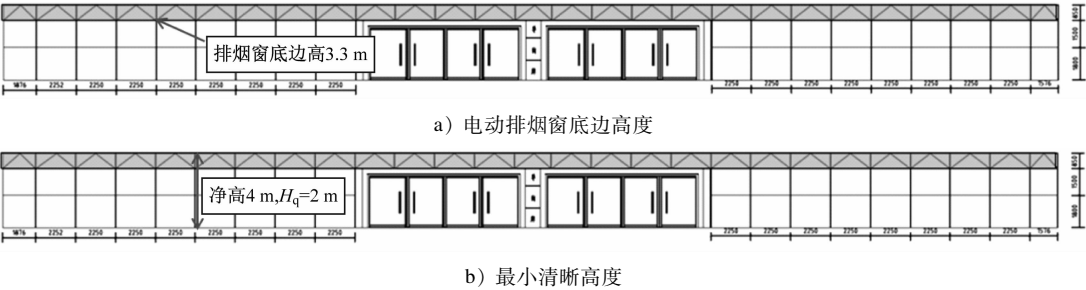


图7 横轴 A~G(东端)电动排烟窗与最小清晰高度关系

3.2.2 火灾场景模拟及测试

由于成都年平均风速约为 1.0 m/s,考虑室外风环境对自然排烟效果的影响<sup>[10]</sup>,采用 FDS 软件及基于 STEPS 疏散模型对火灾场景设定室外风速为 5 m/s。表 1 为火灾场景要素表。

表1 FDS 火灾场景要素表

要素	具体情况
火源位置	地面厅票务室(结合建筑平面及客流流线分析)
火灾增长速率/(kW/s <sup>2</sup> )	0.046 9(t2 型快速火)
火灾规模/MW	2
排烟系统特征	电动排烟窗全开启,室外风速 5 m/s
疏散场景特征	所有疏散口均可用,一台扶梯故障
疏散总时间 RSET/s	298(基于 STEPS 疏散模型对该项目进行整体疏散模拟)
模拟时间/s	1 800

图 8 为模拟时间内灰密度分布图,图 9 为模拟时间内能见度分布图。图中可见:在模拟时间内,受室外风速影响,地面厅顶部无法聚集烟气,多数烟气能从背风侧电动排烟窗排除,站厅内未形成烟气弥漫;热烟层距地面高度小于 2 m 位置,能见度不小于 10 m。消防性能化模拟结果表明<sup>[11]</sup>,地面

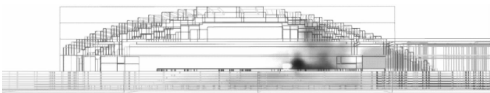


图8 模拟时间内(1 800 s)灰密度分布图

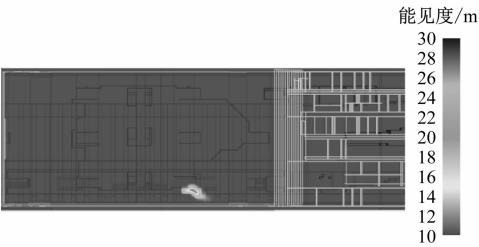


图9 模拟时间内(1 800 s)能见度分布图

厅自然排烟方案排烟效果满足规范要求。

冷烟测试放烟点选取自动售票机附近(局部层高较低,人员密集,易燃物较多),结果显示:在最高处即使部分烟气会遇冷下降,但其排烟窗设置高度远大于该位置计算所得的最小清晰高度,烟层下缘至地面的高度远高于最小清晰高度,在疏散时间内烟气下降高度在最小清晰高度以上;同时其高大空间具有较强蓄烟功能,为人员的疏散赢得时间,满足人员安全疏散及消防救援。图 10 为地面厅冷烟测试现场图。



图10 地面厅冷烟测试现场图

3.2.3 三线防排烟联动接口

根据通风空调设计界面划分原则,除了隧道通风系统三线独立控制外,防排烟及大小系统模式均未按三线独立划分,导致在遵循“同一时间发生一处火灾”原则下,防排烟模式存在较复杂联动接口。

鉴于此,在通风空调工艺设计中,整合了 3 号线、10 号线及远期 17 号线(预留)通风空调工艺模式,对三线联动工况模式进行梳理,并分别向动照专业和综合监控系统提供三线工艺联动模式接口表(见表 2),旨在方便三线综合监控系统在接口互提、互联、互通中能根据接口表清晰的核对模式,指导调试。

表 2 三线工艺联动模式接口索引表

系统	工况	3 号线模式			10 号线模式			17 号线模式		
		大系统	小系统	隧道通风	大系统	小系统	隧道通风	大系统	小系统	隧道通风
大系统 火灾	地面厅	自然排烟(FAS)	关闭	夜间模式	关闭	关闭	夜间模式	关闭	关闭	夜间模式
	3 号线 站台公共区	执行模式	关闭	辅助排烟	关闭	关闭	夜间模式	关闭	关闭	夜间模式
	10 号线 站台公共区	关闭	关闭	夜间模式	执行模式	关闭	辅助排烟	关闭	关闭	夜间模式
	17 号线 站台公共区	关闭	关闭	夜间模式	关闭	关闭	夜间模式	执行模式	关闭	辅助排烟
小系统 火灾	3 号线 小系统	关闭	执行模式	夜间模式	关闭	关闭	夜间模式	关闭	关闭	夜间模式
	10 号线 小系统	关闭	FAS 联动 加压送风	夜间模式	关闭	执行模式	夜间模式	关闭	关闭	夜间模式
	17 号线 小系统	关闭	FAS 联动 加压送风	夜间模式	关闭	关闭	夜间模式	关闭	执行模式	夜间模式
应急 通风	全站大 系统	电动排烟窗开启,地面厅新风机组通风运行			站台新风机组工频通风运行			站台新风机组工频通风运行		
		电动排烟窗开启,站台排烟风机运行			排烟风机运行			排烟风机运行		

4 结论

针对双流西站地面厅拱顶幕墙“通透式”的装修风格,仅单端有条件设置空调机房的功能布局,通风空调突破了地铁暖通设计思维定式,采用针对性的策略实现了功能性、节能性、装修个性化的全方位需求。结合该站从方案设计到开通运营的全过程,对通风空调设计作如下总结:

1) 针对厅、台公共区建筑特点及装修要求,选用组合式空调机组、一体式射流机组、柜式风机盘管等多种末端设备,巧妙利用钢结构悬臂、就地装配式通风单元、站台设备房夹层灵活布置末端,实现全站公共区空气-水系统,降低风系统输配能耗,同时满足高大空间地面厅“无风管”和“通透性”的要求。

2) 对大型地面厅采用融合装修风格设置电动排烟窗的自然排烟方式,需结合消防性能化评估论证其可靠性。

3) 对大型换乘枢纽站,设计界面存在交叉导致防排烟模式联动接口复杂,因此在通风空调工艺设计中应对防排烟联动模式进行梳理,并重视同综合监控、动照专业的接口配合。

参考文献

[1] 徐东. 北京地铁 14 号线技术创新综述[J]. 都市快轨交通,

2019(2):19.  
[2] 刘伊江. 城市轨道交通车站通风空调系统采用空气-水系统的可行性分析[C]//2014 铁路暖通年会论文集. 北京:中国铁道学会,2014:65.  
[3] 巩云,刘强,卢军. 成都东客站候车厅一体化空调射流机组噪声影响分析[J]. 暖通空调,2010(9):29.  
[4] 黄保民,朱建章. 铁路客站候车大厅空调机房设置方式探讨[J]. 铁道标准设计,2010(增刊2):8.  
[5] 郑文国. 深圳北站空调通风系统设计[J]. 暖通空调,2010(3):50.  
[6] 中华人民共和国住房和城乡建设部,中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. 地铁设计规范:GB 50157—2013[S]. 北京:中国建筑工业出版社,2014:260.  
[7] 中华人民共和国住房和城乡建设部,中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. 城市轨道交通技术规范:GB 50490—2009[S]. 北京:中国建筑工业出版社,2009:17.  
[8] 中华人民共和国住房和城乡建设部,国家市场监督管理总局. 地铁防火设计标准:GB 51298—2018[S]. 北京:中国计划出版社,2018:8.  
[9] 中华人民共和国住房和城乡建设部,中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. 建筑防烟排烟系统技术标准:GB 51251—2017[S]. 北京:中国计划出版社,2017:26.  
[10] 张一天,王梓蘅,李思成. 室外风和机械排烟对机械排烟效果的影响[J]. 消防科学与技术,2019(3):326.  
[11] 四川法斯特消防安全性能评估有限公司. 成都地铁双流西站消防安全评估报告[R]. 成都:四川法斯特消防安全性能评估有限公司,2018.

(收稿日期:2020-06-29)