

文章编号: 1671-6612 (2023) 04-573-08

地铁车站暂缓开通 条件下隧道通风系统应对方案研究

史美琦¹ 刘 焱^{2,3} 孙梦原⁴ 刘 超⁵ 王怀良⁶ 张良焯⁶

1. 首都医科大学附属北京朝阳医院 北京 100020;
2. 中国交建轨道交通技术研发中心 北京 101399;
3. 中交铁道设计研究总院有限公司 北京 101399;
4. 北京城建信捷轨道交通工程咨询有限公司 北京 100045;
5. 北京市轨道交通建设管理有限公司 北京 100068;
6. 北京城建设计发展集团股份有限公司 北京 100037)

【摘要】 以北京地铁某工程中若干处于暂缓开通条件下的车站为例, 通过归纳分析相关原因与关联影响, 编制针对车站暂缓开通条件下的隧道通风系统应对方案及主要处置原则, 提出“设备(硬件)”与“模式(软件)”两个维度的隧道通风方案评价体系, 制定合理有效的实施方案, 以实现区间事故工况风速检测结果满足规范要求, 为其他类似情况地铁工程提供参考与借鉴。

【关键词】 地铁; 车站暂缓开通; 隧道通风; 应对方案; 评价体系

中图分类号 U231.5 文献标识码 A

Study on the Temporary Schemes of Tunnel Ventilation System for the Suspended Subway Stations

Shi Meiqi¹ Liu Yao^{2,3} Sun Mengyuan⁴ Liu Chao⁵ Wang Huailiang⁶ Zhang Lianghan¹

1. Beijing Chao-yang Hospital, Capital Medical University, Beijing, 100020;
2. CCCC Rail Transit Technology R&D Center, Beijing, 101399;
3. CCCC Railway Consultants Group Co., Beijing, 101399;
4. Beijing Urban Construction Xinjie Engineering Consulting Co., Beijing, 100045;
5. Beijing MTR Construction Administration Co., Beijing, 100068;
6. Beijing Urban Construction Design & Development Group Co., Beijing, 100037)

【Abstract】 It is a case study of some suspended subway stations in Beijing. Based on the analysis of related causes and effects, it is worked out that the response plan and main disposal principles of tunnel ventilation system under the condition of delayed opening of these subway stations. A tunnel ventilation scheme evaluation scoring system with two dimensions of "equipment (hardware)" and "mode (software)" is put forward and also the reasonable and effective implementation schemes are worked out. It is realized that the wind speed under interval accident conditions can meet the requirements of the specification. The research results can provide references for the other similar subway projects.

【Keywords】 Subway; Suspended Station; Tunnel Ventilation System; Temporary Scheme; Evaluation System

作者简介: 史美琦 (1989.04-), 女, 硕士研究生, 高级工程师, E-mail: 784478941@qq.com。

通讯作者: 张良焯 (1974.04-), 男, 本科, 高级工程师, 主要从事地铁通风空调设计工作, E-mail: 35227583@qq.com

收稿日期: 2023-02-15

0 引言

地铁工程所处外部环境错综复杂,建设过程中受交通、改建、占地等诸多外界因素制约影响较大,同时地铁工程建设涉及多专业、多部门的相互协作,工期时常受影响,因此会出现某地铁工程全线通车时,存在一些车站暂缓开通(即甩站)的情况。据不完全统计,截至 2022 年 12 月,在全国 46 座城市已开通地铁线路中仍有多达 133 座车站因各种原因尚未投入运营。由此可见,车站暂缓开通的情况较为普遍,也会对地铁相关专业的的设计、施工、运营等多方面工作产生影响,需要进行相应的处置应对^[1-5]。其中,隧道通风系统是保证地铁工程安全运营的重要组成部分之一,个别车站的暂缓开通势必会对车站及区间通风的运营模式产生影响,因此在个别车站暂缓开通条件下,研究临时通风方案与措施是十分必要的。

1 工程概况与系统构成

1.1 依托工程

北京地铁某工程线路全长 47.7km,其中地下线长 42.625km,全线共设车站 36 座,平均站间距 1.336km,标准盾构隧道断面积按 22.5m²计,列车为 A 型车 6 节编组,全线采用集成闭式通风空调系统即非封闭站台门通风空调系统。

该工程不同于其他工程,受制约因素较多,全线车站先后分四段(期)开通,首段(期)、中段(期)和东段(期)等前三段(期)开通时都存在个别车站暂缓开通的情况。

1.2 隧道通风系统构成

典型车站隧道通风系统布置方式为车站两端对应于左、右线区间隧道分别设置一条送风道和一条排风道,并且均兼做区间事故风道。每条风道内设一台区间事故风机(与通风机兼用,工频风量 60m³/s,风压 1000Pa),每站共 4 台,每条风道与左、右线隧道都通过风阀连通,共同组成区间隧道事故通风系统。典型车站隧道通风系统原理图如图 1 所示。

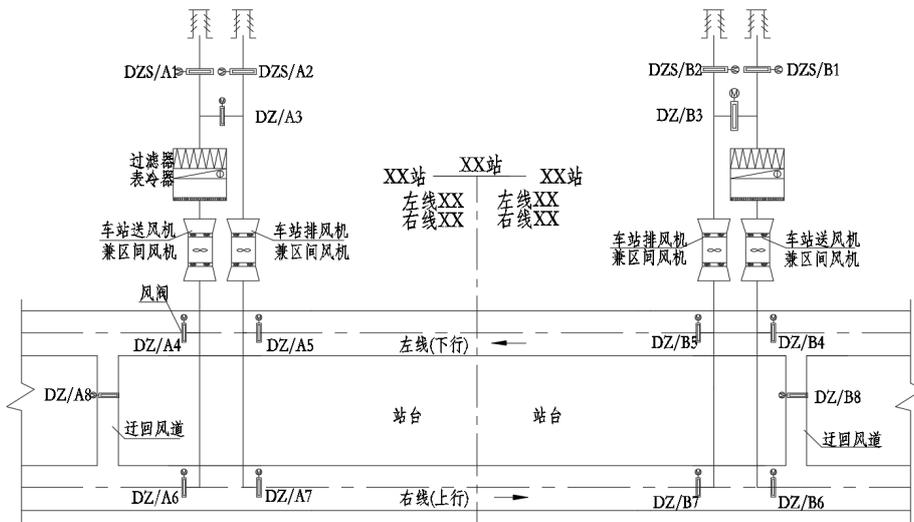


图 1 典型车站隧道通风系统原理图

Fig.1 Schematic diagram of tunnel ventilation system in typical station

2 暂缓开通原因及关联影响

2.1 主要原因分析

车站的外部接口环境错综复杂,建设过程中规划拆迁、征地占地、下穿既有构筑物、市政管线迁改、周边配套合建等诸多环节均与外部因素相关联,在工程建设过程中因外部实施条件的制约而影响车站不能随全线如期开通的情况时有发生。现将

常见的外部影响因素按其发生主因进行归纳,如图 2 所示。

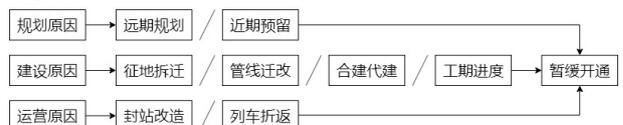


图 2 车站暂缓开通的主要原因分析

Fig.2 Analysis of the main reasons for station suspension

2.2 关联影响分析

针对暂缓开通的车站,以通风空调专业及隧道通风系统作为研究对象,将本专业与上、下序专业之间的相互关联影响进行简要梳理,如图 3 所示,主要包括以下几方面:

(1) 通常情况下,车站暂缓开通原因首先传导至上序专业(以建筑、结构、行车等为主),上序专业据此向通风空调专业提供在车站暂缓开通条件下的受限实施条件,主要包括:土建专业可实施完成的车站主体范围(站厅、站台、设备区等)、附属范围(风道、机房、风井、出入口等)、跨站运行的行车组织等上序设计输入资料。此外,土建专业针对车站暂缓开通情况,结合相关专业的反馈,也会设置其临时措施,并直接传导至其他下序专业。

(2) 通风空调专业本身在应对车站暂缓开通条件的方案制定时,将根据上、下序相关专业的要求与条件,按照正常方案(即按原设计方案进行设备安装)、临时方案(使用原设计方案部分设备或增设部分临时设备)或变更方案(车站及前后区间隧道的设计属性发生变化并调整通风空调系统整体方案)等进行详细策划,在将相应实施情况向下序相关专业(以配电、控制、造价等为主)进行传导的同时,也需要将本专业必要的实施条件,向上序专业进行需求反馈,以保证车站暂缓开通条件下通风空调专业所采用方案的可实施性。

(3) 下序专业为通风空调专业在车站暂缓开通条件下的方案实施提供有力支撑。例如,动力配电专业对需要投入使用的隧道通风设备(含增设的临时用电设备),进行正常动力布线安装,保障电源具备正常及事故工况下的切换功能。综合监控、FAS、BAS 等专业对需要参与区间通风模式设备点位进行接线,对尚未安装或暂不参与模式的通风设备做好点位与接线预留,并对原有模式表进行正常编制,或屏蔽无关设备以编制临时模式表。此外,在车站由暂缓开通状态转入正常运营状态时,相关控制专业需要对该车站所涉及的前后区间相关模式表进行统一倒接,以纳入正常运营条件下的全线通风模式表。造价专业对涉及的相关设备调整、模式调整、后期开通及拆改恢复等工作,配合进行经济方面的调整工作。

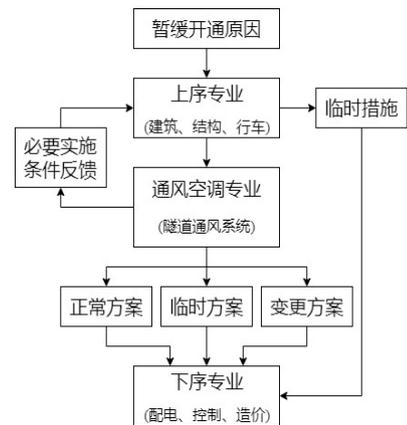


图 3 上、下序专业影响图

Fig.3 The influence diagram of upper order major and lower order major

3 隧道通风系统应对方案编制与评价

3.1 方案制定

按照车站暂缓开通的原因,结合上序专业提供的实施条件,隧道通风系统进行方案制定与调整的主要路线与原则,如图 4 所示,主要包括:

(1) 正常开通或短期内暂缓开通的车站,通风空调专业应按照原设计方案进行设备安装,并尽可能与全线工程同期全部实施。视车站实际开通情况及运营需求,将模式编制需求提供给下序专业。

(2) 对于暂缓开通持续时间较长或不确定的车站,依据车站土建整体实施情况,以及其他相关专业配套的实施条件,通风空调专业将面临完全不进行设备安装或仅安装部分必要设备的实施抉择,但本专业的整体设计方案不发生变化。通风空调专业依据该站是否完全退出初期模式或部分投入的临时模式,向下序专业提资。

(3) 某些暂缓开通的车站,在整体方案不变的前提下,因相关因素限制,使得通风空调专业无法按照原设计方案进行设备安装时,应考虑制定专用临时方案。通常情况下需要增设临时用电设备,并编制专用临时运行模式至下序专业。

(4) 对于外部变动条件影响较大,造成车站无法按照原有规模实施或需要对前后区间配线进行重大调整的情况下,通风空调专业需同步进行方案变更设计。此种情况下为永久变更,并应按照对应的变更模式进行编制与提资。

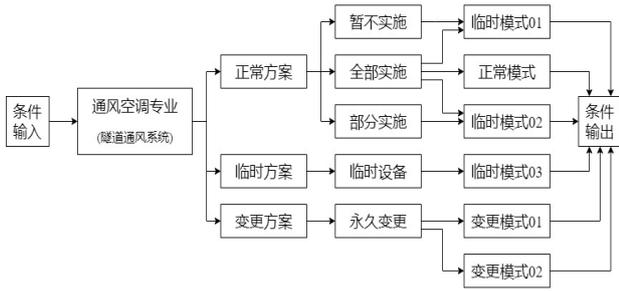


图 4 车站通风空调系统应对方案

Fig.4 Temporary schemes of tunnel ventilation system in station

3.2 评价打分

在车站暂缓开通条件下，隧道通风系统按照前述分析，需制定不同应对方案，并采取必要的临时措施，对设备安装、模式编排、工程投资等方面将产生影响。为合理而有效地对上述应对方案进行归纳与评判，拟结合工程需要，从系统工程角度入手，选择“设备（硬件）”与“模式（软件）”两个维度，根据车站暂缓开通情况与实际条件，对隧道通风系统应对方案进行分类打分及评价。

在评分体系方面，采用二维坐标系，X 轴定义为“设备（硬件）”维度复杂性影响，Y 轴定义为“模式（软件）”维度复杂性影响。X 与 Y 轴的坐标取值范围均为[-1, +1]，表征两个考察维度复杂性影响由简至繁、由减至增。打分取值说明情况如下：

(1) “±0”表示按正常方案实施，设备安装与模式编制等工作正常推进，车站如期开通，不存在显著差异或额外工作量。

(2) “+1”表示与原方案相比，需增加车站暂缓开通条件下额外的设备安装（包含永久改动或临时增设等），需增加临时模式编制，并在后期车站

开通时，还需进行模式倒接等调试工作。

(3) “-1”表示与原方案相比，取消全部通风系统设备安装，取消该站隧道通风系统模式编制，且该站的退出不增加全线隧道通风模式的编制，显著减少设备安装与软件编制调试工作量。

(4) 在(-1,0)、(0,+1)区间的数，按照工程实施的相对工作量进行取值，初步可取±0.25、±0.5、±0.75 等数据值点，并对应“设备（硬件）”或“模式（软件）”维度所增加或减少的复杂性影响及相应工作量体现。

不同车站的临时方案、变更方案之间，在设备安装实施范围、模式调整、临时措施或设备增设等方面存在较为明显的差异性，因此对不同方案类别的评分有相应的建议取值范围，如表 1 所示。结合各车站暂缓开通条件下的具体方案执行需求予以评分，如表 2 及图 5 所示。主要评分原则及结果可初步归纳如下：

(1) 暂缓开通车站，当其在全线隧道通风系统中所处节点可以取消，其设备完全不参与区间模式且不影响其他车站和区间的隧道通风模式编制时，按无影响处理。

(2) 暂缓开通车站，其在全线隧道通风系统中所处节点不能取消，必须承担一定的通风与排烟功能时，应至少保证车站其中一端风道及相关设备可投入运行，并对车站设置其他必要的临时措施。

(3) 当暂缓开通车站，因自身土建条件受限，在两端风道及相关设备均不具备实施条件时，必须采取设置临时安装的隧道通风设备及临时风道等相关措施，以保证等同于中间风井的隧道通风系统功效。

表 1 车站暂缓开通条件下隧道通风系统应对方案情况表

Table 1 Table of temporary schemes of tunnel ventilation system in suspended stations

类别编号	土建 实施 情况	机房 安装 情况	风道 安装 情况	区间 模式 调整	隧道 分隔 措施	隧道 设备 增设	设备影响评分 (硬件维度 X 轴) 建议范围	模式影响评分 (软件维度 Y 轴) 建议范围
常 00	√	√	√	×	×	×	±0	±0
临 01	×	×	×	√	√	×	[-1, -0.5]	[-1, -0.5]
临 02	1√	×	1√	√	√	×	[+0.25, +0.5]	[+0.25, +0.5]
临 03	1√	×	1√	√	√	√	[+0.5, +1]	[+0.5, +1]
变 01	2√	2√	2√	√	×	×	[-0.75, -0.5]	[-0.75, -0.5]
变 02	√	√	√	√	√	3√	[+0.5, +1]	[+0.5, +1]

注：(1) 指车站局部实施（通常按车站一端的风道、风井等进行实施，另一端不实施）。

(2) 指按照中间风井变更方案进行相应安装工作。

(3) 指按照区间配线变更方案进行相应隧道射流风机等设备的增设。

表 2 隧道通风系统若干典型临时方案的两个维度评分表

Table 2 Two-dimensional rating table for several typical temporary schemes of tunnel ventilation system

车站编号	类别编号	设备维度评分 (X 轴)	模式维度评分 (Y 轴)	拟采取的主要应对方案
0#站	常 00	0	0	常规车站, 正常开通
1#站	临 01	-1	-1	车站远期规划实施, 土建工程暂不实施, 设备均不需安装, 车站模式初期直接取消
2#站	变 01	-0.75	-0.5	车站取消, 变更为中间风井; 设备安装总量减少, 模式简化
3#站	常 00/临 02	+0.25	0	车站不投入载客运营, 参与区间模式
4#~7#站	临 02	+0.25	+0.5	车站暂缓开通, 保证单端风道可投入使用; 站台层公共区与区间隧道设防火分隔措施
8#站	常 00/临 02	+0.25	+0.75	车站暂缓开通, 全站设备不投入使用; 站台层公共区与区间隧道设防火分隔措施; 区间通风排烟模式需跨站设置
9#站	临 03	+0.75	+0.5	车站暂缓开通, 保证单端风道可投入使用; 站台层公共区与区间隧道设防火分隔措施; 隧道事故风机按临时方案安装于站台层
10#站	变 02	+1	+1	车站不投入载客运营, 增设站前折返线, 增设区间射流风机, 区间模式增加 (该方案最终未实施)

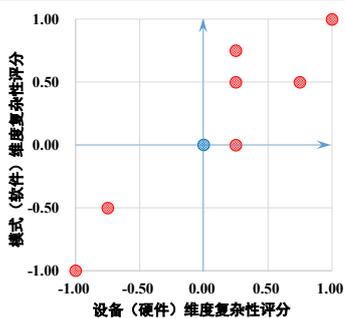


图 5 隧道通风系统临时方案二维评分象限图

Fig.5 Two-dimensional rating quadrant diagram of temporary schemes for tunnel ventilation system

4 方案实施与工程验证

4.1 若干典型方案具体布置

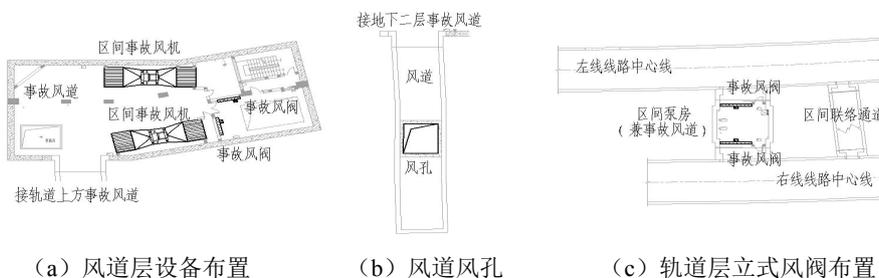


图 6 2#站具体实施方案图 (车站变更为中间风井)

Fig.6 Implementation plan of the No.2 station (changed into an intermediate air shaft)

(3) 9#站受制于车站周边条件, 作为预留车站, 初期可部分实施车站主体范围的土建工程, 与

依托工程的多座车站先后按照车站暂缓开通情况进行处置, 按照前述分析及表 2 所列, 几种典型方案的具体实施情况如下:

(1) 根据规划、行车、征迁、工期、运营等相关条件进行评估后, 完全不需投入、或仅为延缓安装及调试的若干车站, 其总体布置方案未变, 视车站暂缓开通的实际需求执行原有设计方案及对应布置, 本文不再赘述相关内容。这些暂缓开通的车站主要为 1#、3#~8#站等。

(2) 在施工图阶段, 受规划调整及其他因素影响, 2#站不能按常规地下车站实施。根据全线隧道通风系统模式校验, 必须保留中间风井的相关功能, 因此将原车站设计方案变更为中间风井设计方案, 其主要设备布置情况如图 6 所示。

其他暂缓开通的车站有所不同, 9#站两端的附属风道均不具备完整实施的条件, 因此需在该站的站台

层临时布置隧道事故风机，并保留车站其中一端临时风道出地面条件，使该站能参与运营初期的全线隧道通风系统相关模式的执行。待 9#站正式开通

运营后，再进行临时增设的大型 TVF 风机设备拆改工作，其主要设备布置情况如图 7 所示。

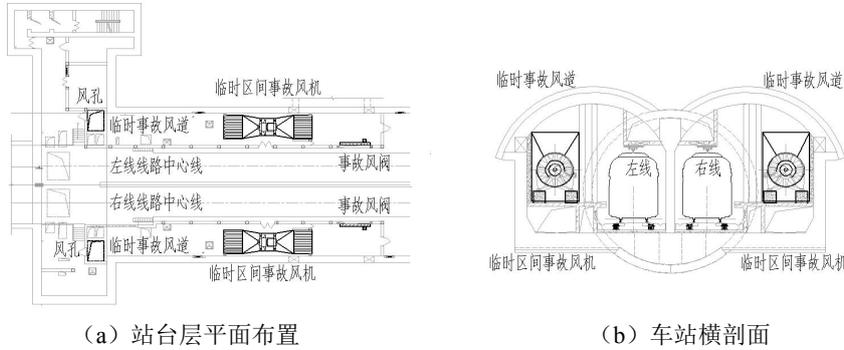


图 7 9#站具体实施方案图（车站增设临时通风设备）

Fig.7 Implementation plan of the No.9 station(installed temporary ventilation equipments)

(4) 需要指出的是，10#站按照前期方案制定以及参照评分情况下，尽管车站不投入载客运营，但按运营折返需求增设站前折返线，且需增设区间射流风机，并使区间模式复杂化，影响方面较多较广，最终根据上述评估情况未予以实施。

4.2 区间事故通风模式验证

按照车站暂缓开通条件下的隧道通风系统方案布置，在工程验收阶段对相应的典型区间事故通风模式进行实测验证。部分典型暂缓开通车站参与的区间事故通风模式与相关检测情况等，分别如表 3、表 4、表 5、图 8 与图 9 所示。

表 3 2#站暂缓开通条件下隧道通风系统典型事故工况风速检验模式表

Table 3 Typical program table of wind speed test for tunnel ventilation system in suspended No.2 station

参与车站	模式说明 ^①	A 端隧道风机		B 端隧道风机	
		ZSF/A	ZPF/A	ZSF/B	ZPF/B
测试 A 站	全站排风	反转	正转	反转	正转
测试 B 站 (2#站) (已变更为风井)	全站排风	(变更取消)	L02-P (执行临时模式号) ^② 正转	(变更取消)	正转
测试 C 站	全站送风	正转	反转	正转	反转
测试 D 站	全站送风	正转	反转	正转	反转

注：①模式表仅列出大型 TVF 风机的动作，各相关组合风阀按设计文件执行，实现事故工况下对上行或下行区间隧道进行并联送风或排风。后续各表此项相同，不在备注。

②在该检验工况下，2#站按临时模式号 L02-P 执行 2 台 TVF 风机并联排风。

表 4 4#站暂缓开通条件下隧道通风系统典型事故工况风速检验模式表

Table 4 Typical program table of wind speed test for tunnel ventilation system in suspended No.4 station

参与车站	模式说明	A 端隧道风机		B 端隧道风机	
		ZSF/A	ZPF/A	ZSF/B	ZPF/B
测试 A 站	全站送风	正转	反转	正转	反转
测试 B 站 (4#站) (仅单端投运)	全站送风	(暂未投运)	L04-S (执行临时模式号) ^① (暂未投运)	正转	反转
测试 C 站	全站排风	反转	正转	反转	正转
测试 D 站 (风井)	全站排风	——	正转	——	正转

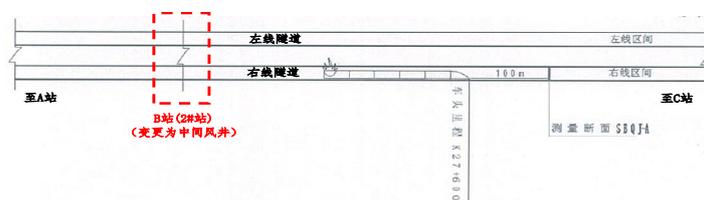
注：①在该检验工况下，4#站按临时模式号 L04-S 执行 B 端的 2 台 TVF 风机并联送风。

表 5 9#站暂缓开通条件下隧道通风系统典型事故工况风速检验模式表

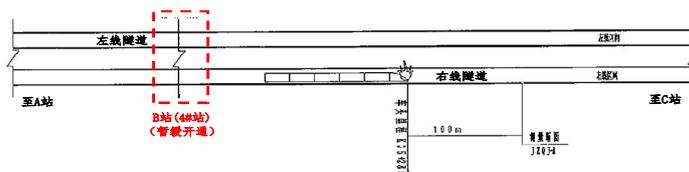
Table 5 Typical program table of wind speed test for tunnel ventilation system in suspended No.9 station

参与车站	模式说明	A 端隧道风机		B 端隧道风机	
		ZSF/A	ZPF/A	ZSF/B	ZPF/B
测试 A 站	全站送风	正转	反转	正转	反转
测试 B 站	全站送风	正转	反转	正转	反转
测试 C 站 (9#站)	全站排风	L09-P (执行临时模式号) ①			
(增设临时设备)		反转	正转	(暂未投运)	(暂未投运)
测试 D 站	全站排风	反转	正转	反转	正转

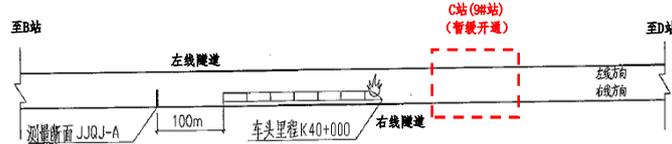
注: ①在该检验工况下, 9#站按临时模式号 L09-P 执行增设的 2 台 TVF 风机并联排风。



(a) 风速检测位置 (2#站相关)



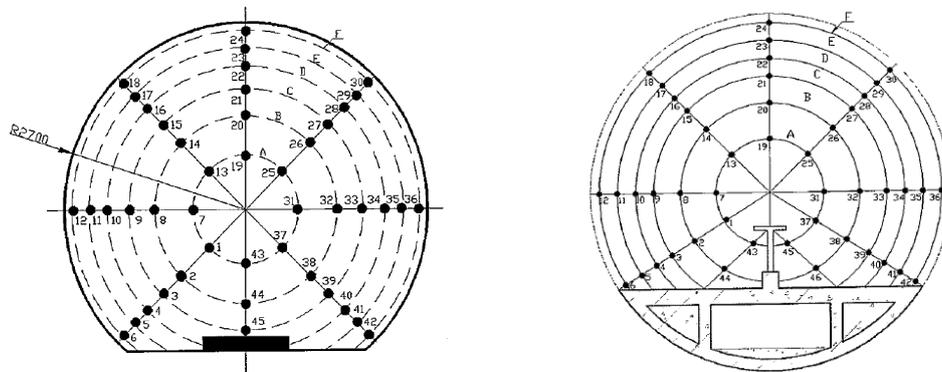
(b) 风速检测位置 (4#站相关)



(c) 风速检测位置 (9#站相关)

图 8 若干典型暂缓开通车站参与区间事故工况风速检测位置平面示意图

Fig.8 Plane layout of wind speed test for tunnel accident condition in several typical temporary schemes



(a) 断面风速测点 (2#站、4#站相关)

(b) 断面风速测点 (9#站相关)

图 9 若干典型暂缓开通车站参与区间事故工况风速测点断面图

Fig.9 Cross section layout of wind speed test for tunnel accident condition in several typical temporary schemes

根据依托工程若干典型的区间事故通风检测报告相关结论, 尽管部分车站由于相关影响因素处于暂缓开通状态, 部分设备均为临时运行模式, 由这些车站(2#站、4#站、9#站)参与的相应区间事故工况的隧道断面风速在 2.5~3.6m/s, 其余测试工

况对应的隧道断面风速在 2.2~3.5m/s。上述各工况的风速实测结果均大于 2.0m/s, 符合《地铁设计防火标准》(GB51298-2018)第 8.3.1 条第 1 款规定, 具体实测数据详见表 6 所示。

表 6 典型暂缓开通车站参与的区间事故工况与常规区间相应工况的实测风速结果表

Table 6 Table of wind speed test results for tunnel ventilation system in suspended stations

涉及车站	应对方案与实际测试工况	实测区间事故工况 隧道断面风速 (m/s)
2#站	已变更为风井, 对应表 3 所列工况	均值 2.5 (共计 45 点位)
4#站	仅单端投入运行, 对应表 4 所列工况	均值 3.2 (共计 45 点位)
9#站	增设临时设备, 对应表 5 所列工况	均值 3.6 (共计 46 点位)
常规车站及区间	按选定区间事故工况执行测试方案 (即正常开通运营的区间事故工况)	均值 2.2 (共计 45 点位)
		均值 2.6 (共计 45 点位)
		均值 3.5 (共计 45 点位)

5 结论

本文以北京地铁某条线作为依托项目, 针对该工程部分典型车站在暂缓开通条件下的隧道通风系统应对方案的分析、制定、评价与实施等相关方面开展研究工作, 得到如下主要结论:

(1) 暂缓开通车站, 其隧道通风系统的应对措施, 应视其在全线隧道通风系统中所处节点的作用而定, 当其完全不参与区间模式且不影响其他车站和区间的隧道通风模式编制时, 可按无影响处理; 当其在全线隧道通风系统中所处节点不能取消, 必须承担一定的通风与排烟功能时, 应至少保证车站其中一端风道及相关设备可投入运行, 并对车站设置其他必要的临时措施, 实质上是保证暂缓开通的车站等同于中间风井的隧道通风系统功效。

(2) 针对车站暂缓开通条件下隧道通风系统应对方案在“设备”维度与“模式”维度两个方面引起的工程复杂性的主观评价打分, 可以看到, 大部分待实施的车站, 其应对方案评价点落在第一象限(右上), 少部分可取消或变更为中间风井的车站, 其应对方案评价点落在第三象限(左下)。上述两维度评价图表, 可作为具体工程实践中, 车

站暂缓开通条件下隧道通风系统比选实施的研判依据。

(3) 暂缓开通的车站, 通过采用合理的临时通风模式编排, 参与到全线区间隧道事故通风模式组织中。若干典型的区间事故通风工况的第三方风速检测结果在 2.2~3.6m/s 范围, 均大于 2.0m/s, 符合规范要求。上述研究结论可为后续工程提供一定的参考与借鉴。

参考文献:

[1] 武丽华,刘垚,张良焊.北京地铁区间事故通风临时过站条件下模拟与实测研究[J].暖通空调,2018,48(S1):114-116.

[2] 常涛.西安地铁田王站甩站一体化方案研究[J].铁道建筑技术,2019,(S2):57-61.

[3] 黄玉涛,朱宝全,李广颖.地铁单个中间站甩站运营模式研究[J].建筑工程技术与设计,2019,(5):958.

[4] 黄继龙.城市轨道交通甩站开通运营的信号系统实施方案[J].铁道通信信号,2020,56(4):85-87.

[5] 李业兴.城市轨道交通信号系统甩站技术方案探讨[J].科技创新与应用,2019,(27):141-142.