

文章编号: 1671-6612 (2023) 02-312-08

双碳背景下地铁通风 空调风系统设计优化思路再探讨

吴 炜 刘伊江 渠永通

(中铁二院工程集团有限责任公司 成都 610031)

【摘 要】 从既有运营线路地铁车站的“痛点”分析出发,结合传统地铁通风空调风系统设计方案带来的弊端情况,反思当前被广泛采用的方案的合理性和优化空间,回归暖通专业本原,提出地铁车站大系统“4单4脱离”、小系统“区域内平衡单系统”、出入口通道和消防专用通道兼作新风道等优化思路,大大简化地铁通风空调风系统管线、减少地面风亭数量和体量,从而简化车站综合管线布置、提高运营维保效率,减少投资,为双碳目标背景下新建城市地铁和城际及市域线路车站通风空调设计提供新的优化方向和思路。

【关键词】 地铁车站; 痛点; 风系统; 设计方案; 优化思路; 双碳目标
中图分类号 TU831.4 文献标识码 B

Further Discussion on the Design Optimization of Ventilation and Air Conditioning System in Metro under Double Carbon Background

Wu Wei Liu Yijiang Qu Yongtong

(China Railway Eryuan Engineering Group Co., Chengdu, 610031)

【Abstract】 Based on the analysis of the "pain points" of the existing operating subway stations, combined with the malpractice of the traditional subway ventilation and air conditioning system design schemes, the rationality and optimization space of the current widely adopted scheme are reconsidered. This paper returns to the HVAC professional principles, and puts forward the subway station "4 singles 4 separations" public area air conditioning system, "regional balance single system" equipment area air conditioning system, entrance channel and fire special channel as a new air duct optimization idea, etc. It greatly simplifies the subway ventilation and air conditioning system pipelines, and reduces the number and volume of ground air kiosks, thereby simplifying the station comprehensive pipeline layout, improving operation and maintenance efficiency, reducing investment, and providing new optimization direction and ideas for ventilation and air conditioning design of new urban subway and intercity and city line station under the background of double carbon target.

【Keywords】 Subway station; Pain point; Ventilation system; Design Scheme; Optimization; Double carbon target

0 引言

0.1 传统设计

目前,大部分城市地铁车站的通风空调系统根据其服务区域的不同,被分为大系统(服务于车站

公共区)、小系统(服务于车站两端设备管理用房区域)。

图1给出了典型地铁车站大系统原理图,也是采用广泛的系统形式。

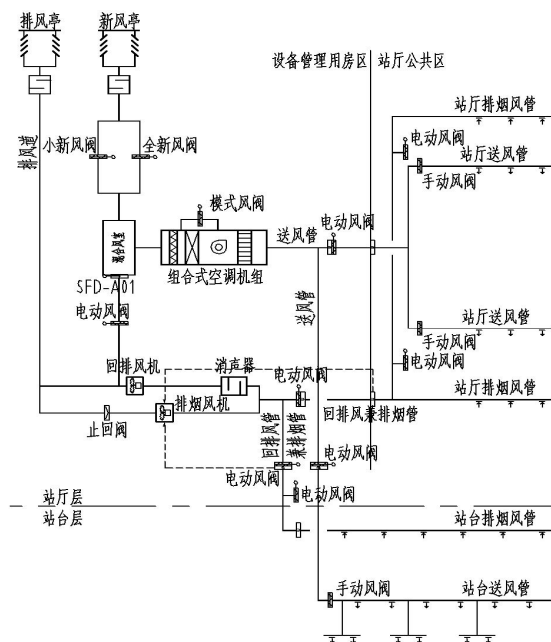


图1 典型地铁车站大系统设备组成原理图

Fig.1 Schematic diagram of a typical subway station

Hvac system for public zone

从原理图中可知,大系统传统设计方案采用三风机(新风机、回排风机、组空离心风机)一次回风、双端送风全空气系统,相关设备设置在车站两

表1 传统设计方案汇总表

Design Scheme	Key Features	Advantages	Disadvantages
1. Single-Stage Design	Simple, direct, and easy to implement.	Low cost, quick to develop.	Limited flexibility, poor adaptability to changes.
2. Two-Stage Design	More complex, but offers better control and flexibility.	Improved performance, better adaptability.	Higher cost, more complex to implement.
3. Multi-Stage Design	Highly complex, but offers the most flexibility and control.	Excellent performance, highly adaptable.	Very high cost, extremely complex to implement.

系统划分	系统分类	送风型式	设备配置	适用场所
大系统	三（双）风机一次回风全空气	双端风：站厅 2 送 2 回/端，站台 1 送 1 回/端	2 台组空、2 台回排风机、2 台小新风机	公共区
	双风机一次回风全空气	房间内一送、一回	按系统配置 1 台柜式空调、1 台回排风机	27℃空调管理设备用房、36℃冷风降温设备用房
小系统	独立新风+风机盘管系统	新风机组将新风处理至室内等含湿量点；房间内盘管自循环	按房间配置风机盘管	非 24h 使用管理用房
	机械通风系统	房间内一送、一排	排风机、排烟风机、送风/补风机、正压送风机等	电缆井、机房、内走道、备用间等

表1将目前地铁车站通风空调风系统设计形式做了一个归纳和总结,基本各个城市线路地铁通风空调风系统设计均按此标准设计,一般典型车站系统数量统计:公共区2套空调系统(互为备用);设备及管理用房区域:车控室一端小系统数量约为7~8个,非车控室一端设备区小系统数量约在3~4个。

0.2 痛点分析

根据实际综合管线布线设计和既有车站运营

端环控机房内。

图2给出了典型地铁站小系统原理图, 针对设备用房采用的也大多是一次回风空调系统, 设置双风机系统 (柜式风机盘管机组、回排风机和部分控制风阀等), 房间内管路布置均为典型的一送一回布置形式。

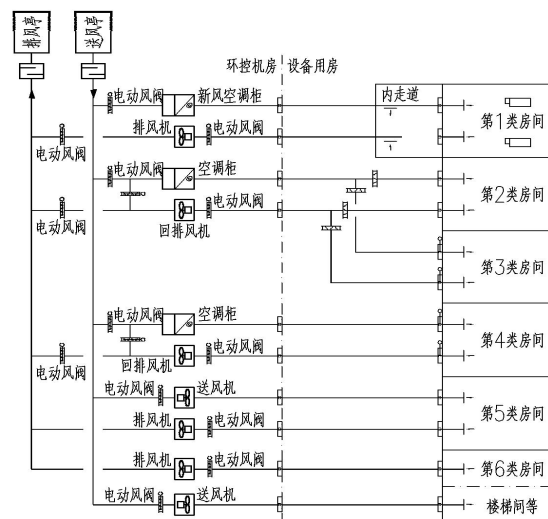


图2 典型地铁车站小系统设备组成原理图

Fig.2 Schematic diagram of a typical subway station

Hvac system for Equipment management zone

部门反馈的弊端，目前面临的痛点集中在以下方面：

(1) 管线密集, 运维不便

传统设计方案思路下,由环控机房内引出的管线大部分穿越设备区房间、走道,充满整个空间,尤其是设备大端,大、小系统管线、各类水管、各类桥架等上下重叠布置,导致很多阀体、吊装设备安装上去后无法接线或无法检修^[1,2],虽然引入BIM手段建模梳理,但无奈于管线众多,仍存在此类问

题,尤其在有车站控制室一端的设备区,此类问题尤为明显。

(2) 输配“折返跑”, 能耗高

传统设计方案思路下,地铁车站“天生”狭长的空间特点决定了空气输配能耗所占比例高,车控室一端设置的大系统空调送风,管路空跑长度通常约80m~110m,车站有配线,空跑距离更长^[3,4]。图3给出一典型车站输配距离示意,可以看出,在车控室一端环控机房设置的系统要单边空跑105m才能服务44m的公共区部分,输配能耗浪费严重,与国家“双碳”战略要求相悖。

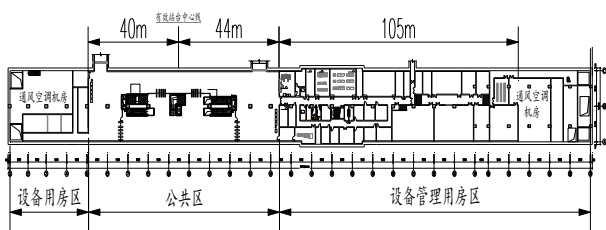


图3 典型地铁车站风系统输配距离示意图

Fig.3 Diagram of Distribution Distance of Wind System for public zone in Typical Subway Station

因此,尽量降低输配能耗也应该成为地铁暖通节能的重点方向。

而随着地铁建设快速发展,通车线路越来越多、运营时间越来越长、设备旧化改造需要运营维保的需求越来越得到重视,传统设计思路下的地铁站内的管线密集导致无法检修和更换、以及地铁站通风空调系统能耗居高不下的痛点也越来越凸出,设计回访中反馈的关于检修的问题需要得到设计的高度重视,而从设计层面的思考则是解决此类问题的关键一步。

1 设计反思

随着不同城市已通车运营线路公里数不断增加,上述痛点引发的矛盾不断涌现,各地运营反馈也越来越多,有必要对传统设计方案反思:

(1) 国家“双碳”背景下,如何降低占整个地铁车站能耗50%以上^[5]的通风空调系统能耗?

(2) 公共区全空气系统为何一定要按双端送风模式?

(3) 公共区全空气系统为何一定要按采用三风机系统设计?管路为何一定要一送一回?

(4) 设备管理用房区全空气系统为何必须采

用双风机系统?进入房间的管道必须一送一回?

2 优化思路

沿以上思路,借鉴民建广阔的设计方案,跳出地铁通风空调设计固定套路,回归暖通专业的本源。

《民用建筑供暖通风与空气调节设计规范》(GB 50736-2012)其条文7.3.5、7.3.22、7.4.12详细说明了在空调系统设计时,宜优先采用单风管系统,当阻力不大、密闭性不好时,可不设置回风机、采用集中回风等多种形式,为地铁通风空调系统设计给出了多种优化思路。

大量调研和理论分析表明,地铁车站公共区密闭性不好,即便只有2个出入口,自然压出的阻力不会超过5Pa。回风系统阻力是“人为制造”且“主动选择”的^[6,7]。针对地铁通风空调风系统的优化改进提出如下新思路:

(1) 地铁车站大系统“4单、4脱离”

(2) 小系统“区域内平衡、单系统”

(3) 新风优化处理方案

以下详细就所提出的优化改进思路介绍如下:

2.1 大系统“4单4脱离”

表2 大系统风系统优化思路

Table 2 Optimization Schematic Diagram of Typical Metro Station for public zone

方案	4单	4脱离
①	单端送风	大系统与车控室一端完全脱离关系
②	单独送新风	空气处理末端可以与新风道(井)脱离关系
③	单风机系统	空调系统与排烟系统脱离关系
④	单(分)层设系统	站台层与站厅层脱离关系

①单端送风、一端脱离

方案要点:鉴于车控室一端环控机房距离服务的公共区较远,本优化思路提出将传统车控室一端环控机房内的大系统设备(组合式空调机组、回排风机、新风机各一台)全部脱离该端,统一集中设置到输送距离更近的车站小端(非车控室一端)环控机房内,采用单端送风方案。

需注意以下几点:

采用单端送风方案,需注意管路压力值按组合

式空调机组 W_s 值不超过节能限制反算的机外余压值,确保机组节能评价达标;

注意两台组合式空调机组并联后,混风室的断面面积需满足在通风季节不出现机组相互干扰的影响,保证断面风速不大于 5m/s ;

注意校核站台层层高是否在采用本方案后满足装修方案吊顶所需的高度,可通过采用优化管路布置为同标高平铺的方式,降低对吊顶标高产生的影响;管路应进行均匀送风校核计算,确保末端风口风量达到设计要求。

②单送新风、末端脱离

方案要点:保留双端送风型式,针对车控室一端设备区考虑在靠近公共区设备区设置独立的环控小室,内部设置空气处理设备,减少输送半径,自循环方式、集中回风,脱离大环控机房内新风道设置,而该处的新风可以依靠靠近该端一侧的车站出入口吊顶内设置新风处理设备完成对新风的引入,或者统一由车站小端(距离公共区近的)设置单独新风处理机组承担整个车站新风引入。

注意事项:

需与土建专业落实环控小室必须紧贴公共区隔墙设置,并注意噪音处理;

出入通道引入新风需考虑通道吊顶上部的高度需满足新风处理设备的安装。

③自循环式、管路脱离

方案要点:单风机系统主要包括几个方面的内容,一是利用连续性调节风阀取代空调小新风机,改为设一大(通断型)、一小(调节型)两个新风阀;二是校核管道阻力,取消小端一侧(非车控室一端)大系统公共区回排风机,仅设置集中回风管和风口,不再采用回排风管兼排烟的型式。

注意事项:

注意连续量调节型风阀需在设备招标时明确,避免后续招标问题;

取消回排风机,需校核组合式空调机组满足节能规范相关限制要求,机外余压(管道阻力)需进一步控制。

④分设系统、厅台脱离

方案要点:站厅层、站台层公共区空调系统分开配置,各自服务局部区域。防排烟系统站厅和站台公共区也分开设置,站台公共区排烟直接利用车站隧道通风系统兼顾设置,提高排烟效率,减少管

路布置。

注意事项:

本方案尤其适用于暗挖车站,走管不方便时采用,应和土建专业配合好环控小室的设置位置,必要时也可考虑在公共区两端设置土建夹层设置空气处理设备;

站厅公共区排烟独立设置排烟系统,站台层公共区的排烟直接利用轨道排热系统兼顾,但需要注意排烟风口覆盖范围问题,距最远点不超过 30m ,层高较高时可如图4处理方式。

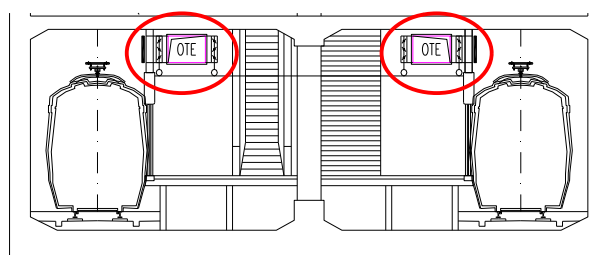


图4 站台公共区和轨行区排烟合用系统示意图

Fig.4 Schematic diagram of smoke exhaust system in public area of platform and rail area

小结:上述“4单4脱离”创新思路,在实际使用时,可依托具体站点建筑方案布局(车站长度、内部层高、地面条件、两端设备区房间布置、出入口设置等)灵活选用和组合,达到因地制宜、物尽其用、节能低碳的效果。

图5给出了某城市地铁线路一地铁车站采用优化方案①、③、④组合给出的大系统原理图。

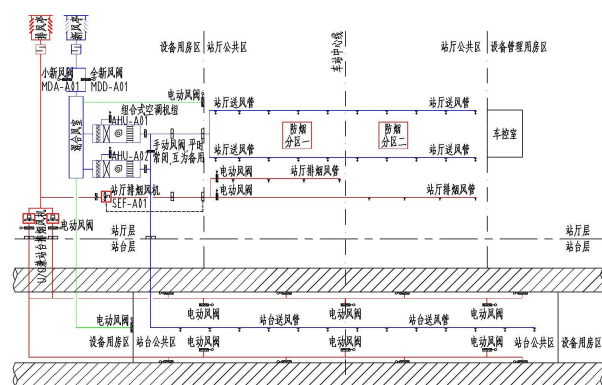


图5 典型地铁车站大系统优化原理图

Fig.5 Optimization Schematic Diagram of Typical Metro Station for public zone

为了进一步增进对上述优化方案节能潜力的认识,下面以方案②为例,对其可能创造的节能量

进行数量级上相对准确的定性分析。以深圳地铁在建线路某标准地下车站为例,其大系统大端组合式空调机组的选型参数为: $Q=64000\text{m}^3/\text{h}$,机外余压 525Pa , $N=30\text{kW}$,回排风机的选型参数为: $Q=53200\text{m}^3/\text{h}$, $HP=450\text{Pa}$, $N=22\text{kW}$ 。根据相关统计结论,深圳地铁车站公共区运行空调模式的空调季长8个月^[8],非空调季4个月,电机平均综合负载率均以50%计^[9]。

采用方案②仅针对车控室一端在靠近公共区处设置空调系统,自循环集中回风。该模式下,组合式空调机组保守可减少 125Pa 的机外余压,回排风机取消。可以计算得到包括空调季及非空调季在内,大系统18h运行时间内的全年节能量如下:

$$\begin{aligned} W &= W_{\text{空调季}} + W_{\text{非空调季}} \\ &= 125\text{Pa}/525\text{Pa} \times 50\% \times 30\text{kW} \times 18\text{h} \times 240\text{d} \\ &\quad + 50\% \times 22\text{kW} \times 18\text{h} \times 120\text{d} \\ &= 39189\text{ kWh} \end{aligned}$$

即在落实方案②的条件下,纵使不考虑设备大端管路较少为土建规模进一步压减所创造的投资核减,仅单个标准地下车站通风空调初步衡量的节能量就达 10^5kWh 的数量级,节能潜力不容小觑。而以截止至2022年底深圳全市近400座车站计^[10],在国家积极推进“双碳”战略,加快优化地铁建筑用能结构的背景下^[11],大力发展低碳技术、推广节能创新方案的意义深远。

2.2 小系统“区域内平衡单风机系统”

针对错综复杂的设备区小系统布置,我们提出在设计时,从传统思维各子系统内送、回(排)风量平衡(简称“系统内平衡”)到“区域内平衡”的思维大转变,即通过区域内平衡+内走道集中回风,全面实现单风机、单管路系统,优化整个设备区管路布置,减少管路交叉,提高运维条件。

具体思路如下:

①管理用房:整体采用风机盘管+新风模式,隔墙上统一设置超压排风防火阀(嵌墙式),送入的新风统一通过隔墙嵌入式防火阀自然泄入内走道。

②设备用房(27°C 空调或 36°C 冷风降温):采用只送、超压自然排除至内走道,通过内走道集中回风形式,隔墙上设置嵌墙式防火阀(气体保护用房设置全电动防烟防火阀),考虑设置排风机承担灾后通风的废气排除,房间内的送风管兼事故排风

管。传统的回排风机变为事故排风机用,如图6所示。

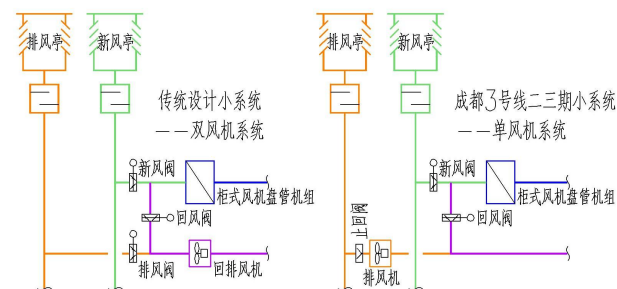


图6 设备区全空气系统优化示意图

Fig.6 Schematic diagram of equipment area all-air system optimization

③通风用房:全部采用机械排风,自然补入形式,即在房间内仅设置排风支管,补风依靠在房间与内走道隔墙上的嵌入式防火阀通过走道补入。

在采用区域内平衡单风机系统技术时,内走道不必考虑单独设置平时通风系统,不同性质类房间的进风、排风需考虑统一核算,确保整个区域内风量平衡,实现预设功能。

图7给出了按照区域内平衡方案思路下的小系统原理图,管路大大简化。

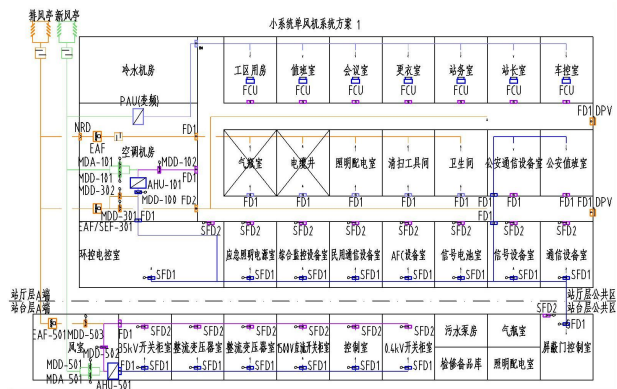


图7 典型地铁车站小系统优化示意图

Fig.7 Schematic diagram of small system optimization of typical subway station

通过上述方案优化,可在现有小系统设备及管路设置基础上,减少风机4~5台(其中大端3台)、减少回/排风管路4套(其中大端3套),极大程度上降低车站设备大端综合管线的布置难度,同时可进一步降低设备区通风空调的系统能耗。

2.3 新风井优化思路

新风井的优化是源于对新风品质的质疑,根据

对多个城市不同地铁线路的实际调研和回访,我们发现新风道内的空气品质往往由于风道表面粗糙度过高,容易积尘、滋生细菌,室外新风进入风道后,被“二次污染”的几率很高,进新风道再进入空调柜后的空气品质会下降很多,即便运营维保人员加大风道清洗和滤网清洗,也于事无补。经过调查,大部分车站的出入口和直出地面的消防专用通道的室外新风空气品质都高于通过新风道进入空气处理设备的空气质量。图8、图9是某地铁站新风道内过滤网及风阀实地照片。

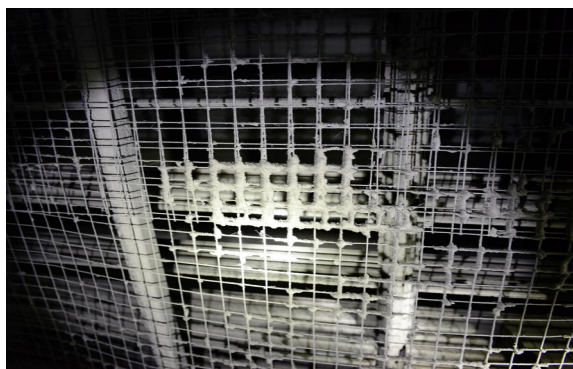


图8 典型地铁车站过滤网现场照片

Fig.8 Typical Metro Station Filter Screen Photos



图9 典型地铁车站风阀现场照片

Fig.9 Typical Metro Station Air Valve Site Photos

通过前述大系统4单4脱离创新方案思路,结合相关方案思路,提出优化新风井设置的方案:

①公共区空调系统采用自循环方式,新风利用公共区出入口通道设置新风处理机组引入,减少车站两端新风井的面积;图10给出了该方案示意系统原理图,即在传统送风距离较远的车控室一端,将承担半个车站公共区负荷的空调柜拆分设在靠近公共区的环控小室内,自循环降温除湿,新风依靠车站出入口设置的新风处理机进行担负,如图11所示。

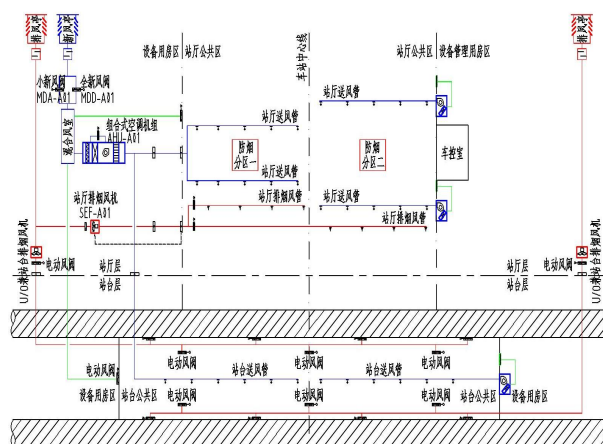


图10 大系统优化方案原理图

Fig.10 Schematic diagram of large system optimization scheme

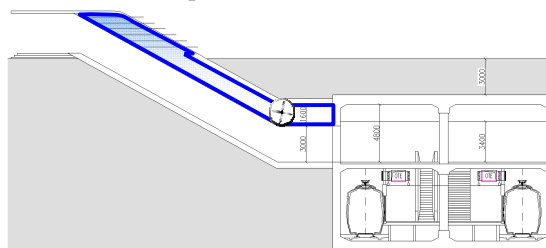


图11 出入口新风示意图

Fig.11 Fresh air schematic diagram from entrance and exit

②车控室一端的消防专用通道往往与新风道或空调机房相邻，而消防专用通道平时基本不用，完全有条件利用该通道作为新风道，可将标准车站减少1座新风井。如图12（原方案）、图13（优化方案）所示。

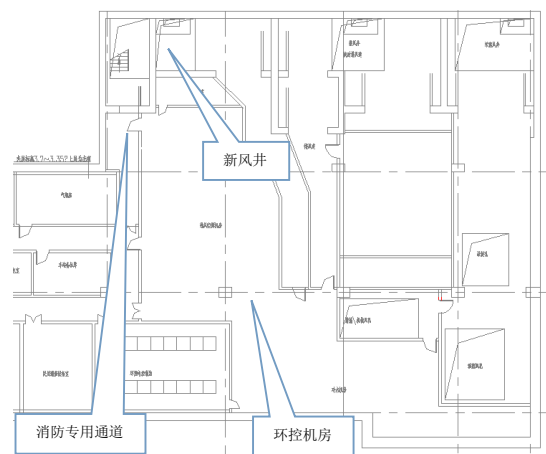


图12 新风与专用通道独立设置示意图

Fig.12 New air and dedicated channel independent setting schematic diagram

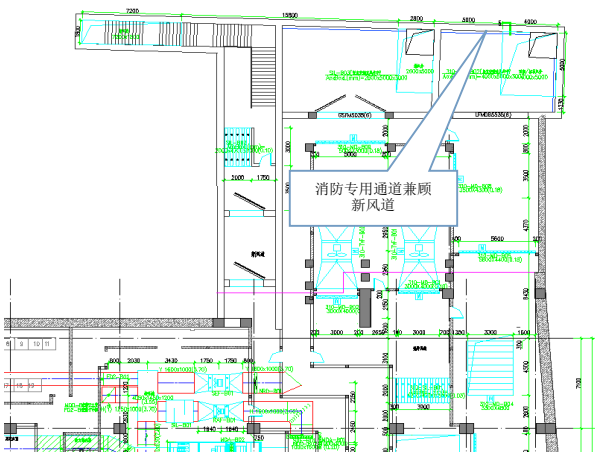


图13 新风与专用通道兼用设置示意图

Fig.13 Schematic diagram of setting up both fresh air and special channel

通过上述方案的设置,以某一城市既有通车线路车站计算反馈的话,落实方案①后,同样以上述深圳地铁某一在建线路某车站为例,其大系统单端风量为 $64000\text{m}^3/\text{h}$,按 5m/s 的断面推荐风速计^[12-14],A6标准车站新风井面积两端共可减少约 7m^2 ,利用紧急疏散通道兼做新风井,车站原先取消一座风井再减少约 6m^2 ,虽然总量不大,但其对地铁车站尤其是越来越多的大深埋车站的土建规模核减大有裨益,同时对于地铁车站通风空调传统设计具有革命性和开创性的指导意义。

成都3号线衣冠庙、磨子桥、新南门、市二医院、红星桥等车站试点采用消防专用通道兼作新风井方案。图14、图15是磨子桥站消防专用通道兼做新风井现场实拍图片。

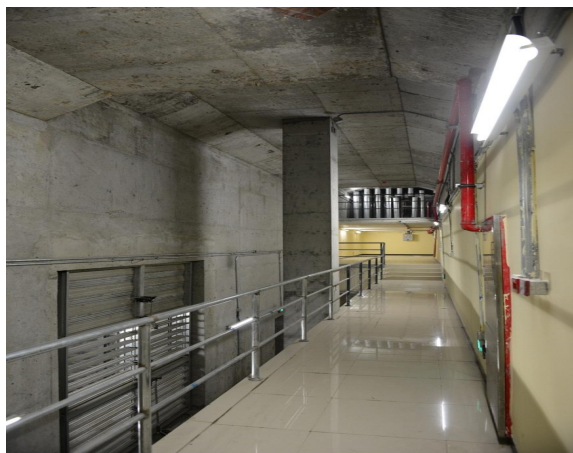


图14 磨子桥站消防专用通道兼做新风井地下实拍图

Fig.14 Underground Photo of Moziqiao Station Fire Protection Channel and New Air Shaft



图15 磨子桥站消防专用通道兼做新风井地下实拍图

Fig.15 Ground Photo of Moziqiao Station Fire Protection Channel and New Air Shaft

3 分析结论

在国家双碳背景的要求下^[15],传统设计使地铁通风空调系统在整个车站耗能系统中的占比居高不下,尤其风系统的能耗占比较重,也必须引起设计的高度反思,不能继续再一成不变地固守传统的系统设计方案。

通过对地铁通风空调风系统传统设计的分析,跳出固定套路,回归暖通专业的本源,提出的大系统“4单4脱离”、小系统“区域内平衡单系统”、“新风井设置优化思路”为我们打开了设计新思路、因地制宜的根据实际车站建筑布局来采用优化方案,实践证明从设计源头上进行变革性的开创设计,要远比后续在各类让人眼花缭乱的节能控制策略上的变化带来的效果要有效的多。

综合采用上述优化方案,对于标准车站通风空调风系统设计将会大大优化:

①大系统减少风机5台,风阀若干,标准站全年至少节约电约 $4 \times 10^4\text{kWh}$;

②小系统减少风机4~5台,减少风管50%;

③减少新风井至少1座。

最终使得设备区域管线减少,释放空间、维保充足,整个系统控制简单,运行能耗降低,较大幅度地减少地铁车站通风空调系统碳排放。

参考文献:

- [1] 李浩.BIM技术在地铁车站综合管线中的应用研究[D].徐州:中国矿业大学,2021.
- [2] 王玮.非标准地铁车站机电综合管线设计探讨[J].智能城,2017,3(9):32-34.
- [3] 刘伊江.对城市轨道交通通风空调系统设计若干习惯

- 做法的质疑[J].暖通空调,2015,45(7):9-13.
- [4] 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, 2014:70-76.
- [5] 余光华.地铁通风空调系统节能研究[J].制冷与空调,2008,(2):14-17.
- [6] 曾臻,肖益民,渠永通,等.地铁车站自然通风模型实验研究[J].都市快轨交通,2022,35(3):123-128.
- [7] 张玉洁.重庆市全封闭式屏蔽门地铁车站自然通风特性研究[D].重庆:重庆大学,2017.
- [8] 刘英杰.变频技术在深圳地铁一期工程环控通风系统中的应用[C].全国暖通空调制冷 2004 年学术年会资料摘要集(1),2004:73.
- [9] 王丽慧,马长江,张嫻,等.地铁车站负荷随运营年限演化特性研究[J].暖通空调,2022,52(S2):111-117.
- [10] 戴晓蓉,顾瑾.深圳城轨交通运营里程突破 500 公里[N].深圳特区报,2022-11-29(A04).
- [11] 包叙定.践行“双碳”战略,建设绿色城轨谱写城轨交通高质量发展新篇章《中国城市轨道交通绿色城轨发展行动方案》解读[J].城市轨道交通,2022,(8):36-40.
- [12] GB 50157-2013,地铁设计规范(附条文说明)[S].北京:中国建筑工业出版社,2014.
- [13] GB 50736-2012,民用建筑供暖通风与空气调节设计规范(附条文说明)[S].北京:中国建筑工业出版社,2012.
- [14] GB 50189-2015,公共建筑节能设计标准(附条文说明)[S].北京:中国建筑工业出版社,2015.
- [15] 生态环境部、发展改革委、工业和信息化部、住房城乡建设部、交通运输部、农业农村部、能源局关于印发《减污降碳协同增效实施方案》的通知[J].中华人民共和国国务院公报,2022,(24):42-49.

(上接第 255 页)

- [12] Yang Hui, Jia Li, Yang Lixin. Numerical analysis of tunnel thermal plume control using longitudinal ventilation[J]. Fire safety journal, 2009,44(8):1067-1077.
- [13] Z Harun, M S B Sahari, T I Mohamad. Smoke simulation in an underground train station using computational fluid dynamic[J]. Appl. Mech. Mater., 2014,663:366-372.
- [14] TB10020-2017,铁路隧道防灾疏散救援工程设计规范[S].北京:中国铁道出版社,2018.
- [15] 陈银,蒋勇,潘龙苇,等.基于 EDC 模型的含 HCN 火灾烟气数值模拟及毒性评价[J].安全与环境工程,2015, 22(2):117-123.