

# 东北严寒地区地铁通风系统方案优化研究

北京城建设计研究总院有限责任公司 祝 岚<sup>☆</sup> 陈克松 王奕然

**摘要** 给出了东北严寒地区地铁通风系统活塞风道、风机及风井配置,运行模式等方面的优化措施;分析了不同季节、不同工况下通风设备的能耗和工程造价;并对优化方案进行了计算机模拟验证。结果表明,采用有针对性的优化措施既可以满足冬季乘客候车舒适度的要求,又可以较大幅度地减少工程初投资和运行费用。

**关键词** 地铁 严寒地区 通风 活塞风道 模拟 双向通风

## Optimization measures for underground railway ventilation system in the severe cold Northeast region

By Zhu Lan<sup>★</sup>, Chen Kesong and Wang Yiran

**Abstract** Presents the optimization measures for the piston air shaft, distribution of air blower and ventilating shaft and operation model, analyses the energy consumption and construction cost in different seasons and different operation conditions, and carries out computer simulation and validation on the optimization schemes. The result shows that adopting the specific optimization measures can keep the passengers' comfort when waiting in winter and substantially reduce the initial investment and operation costs.

**Keywords** underground railway, severe cold region, ventilation, piston air shaft, simulation, two-way ventilation

① <sup>★</sup> Beijing Urban Engineering Design & Research Institute Co., Ltd., Beijing, China



祝 岚

主要设计项目

- 伊朗德黑兰地铁1、2号线
- 北京地铁13号线
- 上海地铁2号线龙东路停车场
- 北京地铁5号线
- 天津地铁3号线
- 北京地铁9号线

温,减少运行能耗。二是对于北方地区仅采用通风模式降温的地铁如何利用地铁自身特点,减少系统建设投资。

最初的通风系统设计方案投资偏高,且机房占地面积较大、风井数量多,其系统规模与南方城市地铁采用的空调系统相近<sup>[1-2]</sup>。

为了解决上述问题,设计阶段对沈阳地铁1号线的区间活塞通风和车站通风系统进行了优化研究,给出了优化措施;对不同季节、不同工况下通风设备的能耗和工程造价进行了分析;并对优化方案进行了计算机模拟验证。

### 1 原系统方案概况

沈阳地铁1号线车站采用设有安全门的开放式

## 0 引言

沈阳地铁1号线全长约28 km,设22座地下车站,工程总投资117亿元。工程于2005年11月18日开工建设,2010年9月27日载客试运营。作为东北地区的第一条地铁线路,它的建设为我国北方严寒地区地铁工程的建设积累了经验。

在沈阳地铁1号线通风系统设计中笔者遇到了两个突出问题:一是如何有效利用该地区冬季寒冷且漫长这一特点,在不影响乘客候车舒适度的情况下,尽可能采用室外天然冷源对车站及隧道降

①<sup>☆</sup> 祝岚,女,1972年11月生,大学,高级工程师  
100037 北京市西城区阜成门北大街5号北京城建设计研究总院有限责任公司第五设计所  
(010) 88336673  
E-mail: zhulan6773@163.com  
收稿日期:2011-03-29

通风系统,原设计方案车站通风与区间隧道事故通风系统集成设置。车站每端设置2台风量相同( $60\text{ m}^3/\text{s}$ )的大型可逆转轴流风机作为送、排风机,同时兼作区间隧道事故通风机,风机采用变频技术控制。车站每端对应上、下行隧道各设一条活塞风道,站台端部设置迂回风道。因此,车站每端共需设置4座风亭。车站站厅公共区设送、排风道;站台设送风道和轨顶、站台板下排风道。通风系统方案原理见图1,车站通风机房布置见图2。

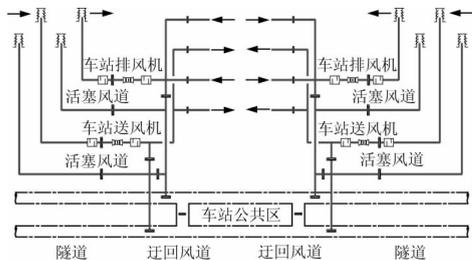


图1 原通风系统方案原理

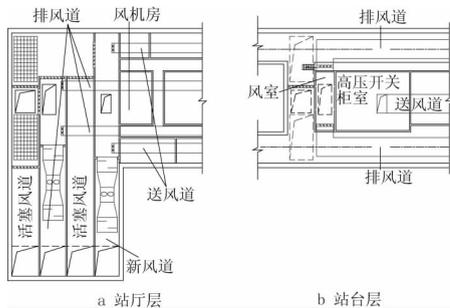


图2 原通风系统方案车站通风机房布置

## 2 系统优化方案

### 2.1 系统构成

优化方案车站仍然采用设有安全门的开式通风系统,车站通风与区间隧道事故通风系统集成设置。车站每端设置2台风量相同( $33\text{ m}^3/\text{s}$ )的可逆转轴流风机作为车站通风机,同时兼作区间隧道事故通风机,风机采用变频技术控制。车站每端设一条活塞风道,对应上、下行隧道分别设置活塞风阀,并联设1台区间隧道事故专用风机(风量 $60\text{ m}^3/\text{s}$ ),和车站通风机共同担负隧道的事事故通风功能。同时,在站台端部设置迂回风道。因此,车站每端只需设置2座风亭。车站站厅公共区设通风风道;站台仅设轨顶和站台板下通风道。通风系统方案原理见图3,车站通风机房布置见图4。

### 2.2 活塞通风

#### 2.2.1 活塞风道

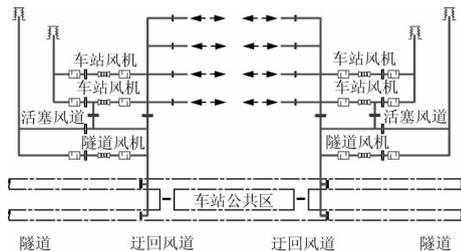


图3 优化后的通风系统原理

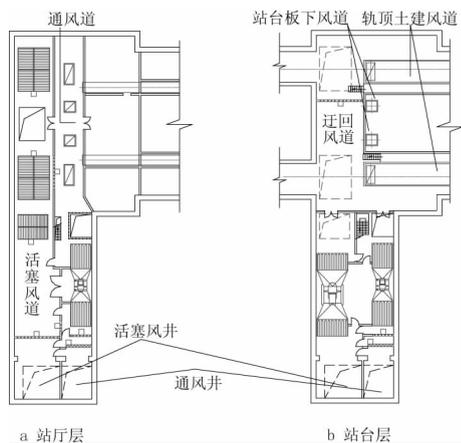


图4 优化后的通风系统机房布置

本工程的活塞风道的作用主要有两个:一是将列车从隧道携带的高温气流排出车站,并引入新风,通过自然通风对车站及隧道进行通风换气,节约能源。二是在车站机械排风时作为进风通道,以减小车站出入口的风速,保证乘客的舒适性。

设置活塞风道需要占用较多地下空间,同时还需要在地面设置风亭,增加地面规划及建筑拆迁的难度,在市中心区经常由于风亭位置确定不下来,而导致车站建筑方案频繁调整。原设计方案车站每端设置2条活塞风道,优化方案车站每端只设置1条活塞风道。全站活塞风道数量由4条减少为2条,风亭数量也相应减少,工程实施成本及难度大大降低。

从使用功能分析,车站出入口通道也是一种活塞风道。当车站活塞风道由4条减少为2条时,活塞风道通风量降低,但出入口的活塞风量会有所增加,车站总活塞风量的减少并不显著。笔者采用STESS3.0一维模拟软件进行定量分析。图5为行车对数为30对/h、开启4条活塞风道时1号线启工街站的气流模拟结果(风机关闭);图6为开启2条活塞风道时启工街站的气流模拟结果(风机关闭)。图5,6中“—”号表示风向与箭头方向相反。

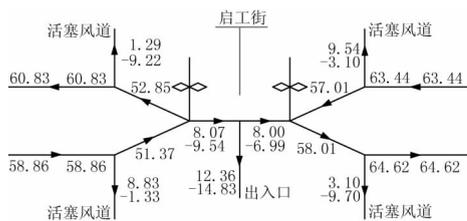


图5 开启4条活塞风道时启工街站的气流模拟结果(单位: $\text{m}^3/\text{s}$ )

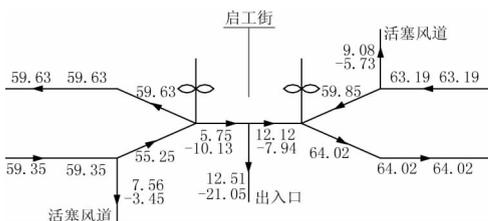


图6 开启2条活塞风道时启工街站的气流模拟结果(单位: $\text{m}^3/\text{s}$ )

从模拟计算结果可以看出:4条活塞风道时的总风量为  $35.08 \text{ m}^3/\text{s}$ ,2条活塞风道时的总风量为  $29.15 \text{ m}^3/\text{s}$ 。两者相差 16.9%,差值为  $5.93 \text{ m}^3/\text{s}$ ,每对列车在 2 min 内引起的活塞风量差值为  $711 \text{ m}^3$ 。1号线远期每天发 243 对车,则全天总活塞风量差值约为  $172\,800 \text{ m}^3$ 。地铁全天运行 18 h,折合每小时风量为  $9\,600 \text{ m}^3/\text{h}$ 。可采用机械通风方式弥补这部分自然通风量。

至于活塞风道在机械排风时的自然进风功能,通过模拟也可以证明,每站设置 2 条活塞风道时,出入口的风速能满足人员舒适要求<sup>①</sup>。

### 2.2.2 活塞通风模式

优化方案虽然在车站每端只设置 1 条活塞风道,但对应上、下行隧道增设了 2 个活塞风阀,根据需开启进站端或出站端的活塞风阀,能够实现自然通风。

夏季及过渡季节,列车进站时,活塞风会携带隧道内部的热空气。此时开启进站端活塞风道,将热风直接排至室外,可以减小对站台的影响。列车出站时,新风从出入口、进站端活塞风道首先进入车站,再进入隧道,有利于车站降温。

冬季,室外气温很低,此时开启出站端活塞风道和出入口空气幕。列车进站时,活塞风会携带隧道内部的热空气,让热空气首先经过车站,然后经过出站端活塞风道排至室外;列车出站时,室外冷风直接从活塞风道进入隧道,不会使车站乘客有吹冷风的感觉。

因此,从功能上讲,通过风阀的转换,每站 2 条活塞风道的方案更有利于根据当地不同季节的气候特点,采取合理的运行模式。

### 2.3 设备配置与气流组织

原设计方案车站每端设置 1 台排风机和 1 台送风机,通风时,机械送风、机械排风。优化方案车站每端设置 2 台车站通风机和 1 台区间事故风机,其中车站通风机既可以对车站排风,也可以反转对车站送风,车站内部只设一套通风管路(送风或排风),区间事故风机则利用活塞风井与室外连通,这样就可以取消一个车站通风竖井及对应的车站内部通风管道。

这样的优化是基于对车站气流组织及运行能耗的分析确定的。在夏季、过渡季,如果采用机械送风、排风,室外新风经风亭、风机、风管进入车站,温度会升高,降低了通风效果。另外,新风经过送风管道时通风阻力较大,风机耗电多。而改为车站排风,出入口、活塞风道自然进风后,没有风机升温,排风机电耗也小于送、排风机电耗之和,有利于通风系统的节能运行。虽然出入口风速有所增大,但可以满足乘客舒适要求。

在冬季客流高峰时段,原设计仍然采用机械送风、机械排风。由于室外温度非常低,如果将冷风直接送入乘客候车区,乘客会感到很不舒适,而且能耗较大。优化方案采用将排风机反转作为送风机,站台板下排风道作为送风道的方式,将室外新风直接送到发热量最大的车辆下部,加热后再流经站台人员候车区、活塞风道或站厅、出入口排至室外。这样的方式还能避免只排风不送风时大量新风从出入口、活塞风道进入,使出入口、活塞风道内温度过低,站内温度不均匀情况发生。

优化方案将车站通风机从 1 台  $60 \text{ m}^3/\text{s}$  风量的大风机改为 2 台  $33 \text{ m}^3/\text{s}$  风量的小风机。这样可以避免变频风机冬季长时间在低频、小风量下运行而导致风机及变频器故障。优化方案中的区间隧道事故风机平时不需运行,因此可不设变频措施。这样可以减少设备数量,降低设备投资。

为了避免冬季室外低温新风直接进入车站,优

① 北京城建设计研究总院. 沈阳地铁 1 号线通风空调系统方案研究. 北京,2004

化方案还设置了活塞风道与新风道之间的混风阀。当室外温度很低时,可以将一部分地铁内部空气与新风混合后再送入车站。

另外,虽然优化方案中车站仅设置排风兼送风机,车站同一端的风机不能同时送、排风,但是仍然具备了车站一端送风、另一端排风的通风手段,可以灵活地满足各种运行模式的要求。

## 2.4 热环境模拟分析

为了验证系统优化方案的应用效果,笔者采用 STESS3.0 一维软件对沈阳地铁 1 号线初期(2013 年)、近期(2020 年)及远期(2035 年)的热环境进行了模拟计算。模拟计算采用的室外气象参数见表 1<sup>①</sup>。

表 1 沈阳室外月平均温度 /℃

月份	1	2	3	4	5	6
温度	-11.80	-6.31	1.49	10.95	17.85	21.80
月份	7	8	9	10	11	12
温度	24.69	24.22	18.24	10.10	-0.49	-6.87

远期冬季典型车站、区间隧道温度模拟结果见图 7,远期夏季典型车站、区间隧道温度模拟结果见图 8。

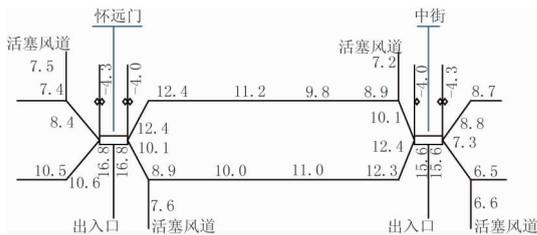


图 7 远期冬季典型车站、区间隧道温度模拟结果(单位:℃)

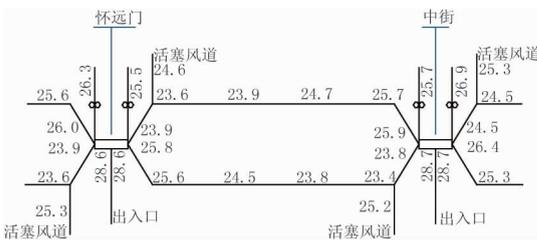


图 8 远期夏季典型车站、区间隧道温度模拟结果(单位:℃)

从模拟结果可以看出,优化通风方案的夏季站台、站厅温度均不超过 30℃,隧道温度不超过 35℃;冬季站台、站厅温度均在 12~16℃之间,隧道温度在 5~12℃之间,符合地铁热环境要求<sup>[1]</sup>。

## 3 经济性分析

### 3.1 初投资比较

在保证通风系统全部功能的前提下,优化方案与原设计方案在通风系统设备配备上有所区别,系

统设备、材料投资方面的比较见表 2。表中电动组合风阀价格按照 0.28 万元/m<sup>2</sup> 计,消声器价格按照 0.3 万元/m<sup>3</sup> 计。

表 2 通风系统设备、材料投资比较

设备名称	设备参数	单价/ 万元	数量	
			优化方案	原方案
可逆转轴流风机	风量 33 m <sup>3</sup> /s, 压头 1 000 Pa, 功率 45 kW	22	4	
可逆转轴流风机	风量 60 m <sup>3</sup> /s, 压头 1 000 Pa, 功率 90 kW	32	2	4
变频器	功率 45 kW	4.5	4	
变频器	功率 90 kW	9		4
电动组合风阀	面积 18 m <sup>2</sup>	5	8	10
电动组合风阀	面积 9 m <sup>2</sup>	2.5	4	8
电动组合风阀	面积 4.5 m <sup>2</sup>	1.2	4	
消声器	2 800 mm×2 400 mm× 2 500 mm	5	8	
消声器	3 600 mm×3 600 mm× 2 000 mm	7.8	4	8
铁皮风管/m	厚度 1.0 mm	0.012	2 000	3 000
投资总计/万元			320	332

从表 2 可以看出,采用优化方案相对原设计方案,每站可节省通风系统设备和材料费用 12 万元左右。

比较典型车站优化方案 and 原方案可知,虽然优化方案减少了活塞风道和车站通风道数量,但增加了风机台数,为方便维修又加大了风机的维修空间,使得两个方案的通风空调机房的占地面积相差不大。而优化方案的车站风亭数量每座车站减少了 4 座,可以极大地减小地面风亭规划的协调难度和减少拆迁费用。根据以往工程经验,每座风亭的土建及拆迁费用在 60 万元左右。

因此,优化方案比原设计方案每站可节省初投资近 252 万元。

### 3.2 运行能耗比较

首先对优化方案的全年运行能耗进行了估算。冬季车站通风机以 20 m<sup>3</sup>/s 的风量通过站台板下风道向车站送风,在此运行方式下,风机的实际运行功率约为 10 kW。由于站台板下风道与车站排风管道特性不同,风机效率有所下降,在计算运行能耗时按 15 kW 考虑。

在初期和近期的夏季以及过渡季的开放式通风运行时段,每台排风机以 22.5 m<sup>3</sup>/s 的风量从车站排风,风机的实际运行功率约为 15 kW。

(下转第 64 页)

① 清华大学. 严寒地区地铁工程通风系统设计方案调研、测试报告. 北京, 2006

(上接第 19 页)

在远期的夏季以及过渡季的开式通风运行时段,每台排风机以  $30 \text{ m}^3/\text{s}$  的风量从车站排风,风机的实际运行功率约为  $34 \text{ kW}$ 。

采用模拟预测时制定的运行模式<sup>①</sup>可以计算出优化方案在运行初期、近期和远期的全年通风耗电量,计算结果见表 3。其中电费按  $0.7 \text{ 元}/(\text{kW} \cdot \text{h})$  计。

表 3 初、近、远期每年通风耗电量和运行费

	耗电量/ $(\text{kW} \cdot \text{h})$			合计	电费合计/ 万元
	1—4 及 11—12 月	5—6 及 9—10 月	7—8 月		
初期	27 000	122 400	50 400	199 800	14.0
近期	32 400	190 000	82 300	304 700	21.3
远期	43 200	277 440	114 240	434 880	30.4

原设计方案的开式通风运行模式为送风和排风,所以要达到优化方案的通风效果,其运行费用较优化方案增加 35% 左右。另外,由于优化方案减少了活塞风道数量,活塞风道和出入口的活塞换气量较原设计方案有所减少,折合运行费用增加

1.38 万元/ $(\text{a} \cdot \text{站})$ 。

综上所述,优化的通风方案和运行模式在初期每年可节约 3.5 万元的运行费用,近期为 6.1 万元,远期为 9.3 万元。

#### 4 结论

东北严寒地区的地铁通风系统设计需特别重视处理好低温带来的特殊问题,通过对风机配置、活塞风道数量、运行模式等采取有针对性的优化措施,既可以满足冬季乘客候车舒适度的要求、提高通风效率,也可以较大幅度地减少工程初投资和运行费用。

#### 参考文献:

- [1] 北京城建设计研究总院. GB 50157—2003 地铁设计规范[S]. 北京:中国计划出版社,2003

<sup>①</sup> 北京城建设计研究总院. 沈阳地铁 1 号线通风空调系统方案研究. 北京,2004