

文章编号: 1671-6612 (2023) 02-287-05

# 上部开闭式站台门系统在青岛地铁的应用研究

杨子啸

(中铁二院工程集团有限责任公司 成都 610031)

**【摘 要】** 根据青岛空调季较短、通风季较长的这一气候特点,因地制宜的在青岛地铁 2 号线一期工程部分车站(麦岛站、海游路站、华楼山路站)实施了创新节能的上部开闭式站台门系统。该系统在空调季和非空调季采用不同的环控策略,兼取屏蔽门系统和闭式系统这两种模式的技术优势,对大部分处于过渡地带的城市地铁具有广泛的适应性。经过 SES 模拟和现场实测,该系统能很好的适应青岛地铁站实际气候特点,同时很大程度降低了车站耗电量,节能率最高可达到 36.77%。

**【关键词】** 地铁车站;上部开闭式系统;过渡地带

中图分类号 U231.1 文献标识码 A

## Research on the Application of Upper Open and Close Platform Door System in Qingdao Metro

Yang Zixiao

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

**【Abstract】** According to the climate characteristics of short air conditioning season and long ventilation season in Qingdao, an innovative energy-saving upper open and close platform door system was implemented in some stations (Maidao Station, Haiyou Road Station, Hualoushan Road Station) of Qingdao Metro Line 2 Phase I Project according to local conditions. The system adopts different environmental control strategies in air-conditioning and non-air-conditioning seasons, taking the technical advantages of both platform screen doors system and closed system, and has wide adaptability to most railway stations in transition zones. Through SES simulation and field measurement, the system is well adapted to the actual climatic characteristics of Qingdao metro station and reduces the power consumption of the station to a large extent with the highest energy saving rate of 36.77%.

**【Keywords】** underground railway station; upper open close type system; transition zone

## 0 前言

对于地铁通风空调系统,以地铁站台与隧道之间有无站台门隔离而分为“屏蔽门系统”和“闭式系统”,在国内地铁通风空调系统的实际应用中,其地域特征非常明显,“南屏北闭”的系统模式,成为国内地铁界实际应用的典型代表。对于众多处于过渡地带的地区城市,既无典型的地域气象特征,也无代表性的系统模式。在闭式系统中,站台与隧道没有实质性分隔,在夏季空调季依靠列车行驶的活塞风将车站冷量带入区间,从而使得空调设备容量、机房面积、风亭规模、相配套的电气设备

容量增大,在乘客舒适度、噪声和空气品质等方面较屏蔽门系统差,闭式系统多用于当地最热月平均温度大于 25℃,高峰时间每小时列车运行对数和每列车车辆数乘积高于 180 的地铁系统<sup>[1]</sup>。应用工程有青岛地铁 3 号线<sup>[2]</sup>、北京地铁四、五、九、十号线<sup>[3]</sup>等;而屏蔽门系统的站台与隧道有全封闭站台门作为实质性分隔,使车站与区间成为相对独立的区域,在非空调季不能利用隧道列车的运动活塞效应将外界冷空气引入站台和隧道,应用工程包括成都地铁一号线<sup>[4]</sup>、广州地铁八号线<sup>[5]</sup>等。因此在地铁方案设计中,通过全面的技术经济比较是实际

工程中亟待解决的问题。青岛地处山东半岛东南部,南临黄海,具有空调季较短、通风季较长的气候特点。针对青岛的固有地域气候特性,考虑了闭式系统和屏蔽门系统的技术优势,本文对青岛地区的麦岛站、海游路站、华楼山路站实施了创新节能的上部开闭式站台门系统,该方案对大部分处于过渡地带的城市地铁具有广泛的适应性。

地铁环控系统需要大量的用电负荷,据统计,地铁空调的用电量一般相当于整个地铁运营系统用电量的 40%–50%<sup>[6]</sup>。在地铁站能耗分析的相关研究中,研究方法一般包括现场实测<sup>[7,8]</sup>和仿真分析<sup>[9,10]</sup>。边志美<sup>[11]</sup>以上海地铁为例,通过调研得到地铁运行线路车站环境控制系统的负荷特性和能耗状况,对开式系统、闭式系统和屏蔽门系统的高峰负荷、逐时负荷特性以及环控能耗进行了定量比较。付强<sup>[12]</sup>等人对重庆地铁 6 号线车站建立能耗模型,采用 Energyplus 软件模拟定风量与变风量空调系统的全年能耗情况。在地铁站空调系统的能耗问题的研究背景下,本研究分别从仿真和现场测试两个角度分析上部开闭式站台门系统的节能效果。

## 1 系统概述

上部开闭式站台门系统(后文简称为复合式系统)是将车站站台门上方约 500mm 与隧道相通的断面做成可以启闭的通风窗,其形式如图 1 所示。复合式系统的配置与屏蔽门系统完全一致,包括:隧道通风系统、车站公共区通风空调系统、车站设备及管理用房通风空调系统、空调水系统。在夏季空调运行期,通过控制固定门上的风阀,关闭通风窗,使隧道与站台空间相互分离,采用屏蔽门系统模式,实现夏季空调的节能。而在其他非空调季节开启通风窗,充分利用隧道列车运动活塞效应将室外冷空气引入站台和隧道,强化通风节能效果,实现非空调季节闭式系统的优势。

复合式系统兼具屏蔽门系统和闭式系统的优点,设备配置及土建规模按屏蔽门系统的小负荷方式进行设计,在空调季节按屏蔽门系统节能运行方式运行、非空调季节按闭式系统节能运行方式运行。相对于闭式系统,车站空调冷负荷仅为闭式系统的 1/2~1/3,相应的空调设备容量、空调机房面积、给通风空调配用的电气设备容量显著减小,减少土建及设备初投资约 120 万元/站,在公共区环

境噪声、空气品质和乘客舒适度等方面均显著优于闭式系统。相对于屏蔽门系统,由于该系统对土建的要求及设备配置同屏蔽门系统一致,因而其土建及设备初投资同屏蔽门系统一样,优势在于在非空调季节运行时更加节能。



图 1 海游路上部开闭式站台门系统

Fig.1 Upper open and close platform door system of Haiyou Road Station

## 2 模型建立

本文选取青岛地铁 2 号线相邻三个标准站台建立 SES 模型,假设三个站台的人流密度、发车对数、区间隧道长度完全一样。图 2、图 3 和图 4 分别为闭式系统、屏蔽门系统和复合式系统的 SES 网络节点图。

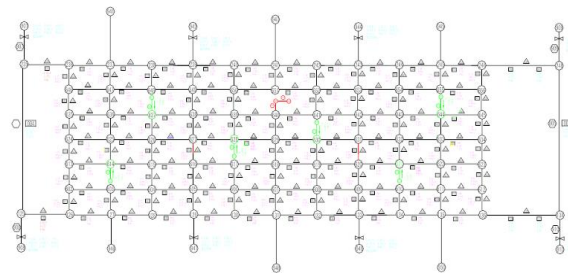


图 2 闭式系统 SES 平面节点图

Fig.2 SES plan node diagram of closed system

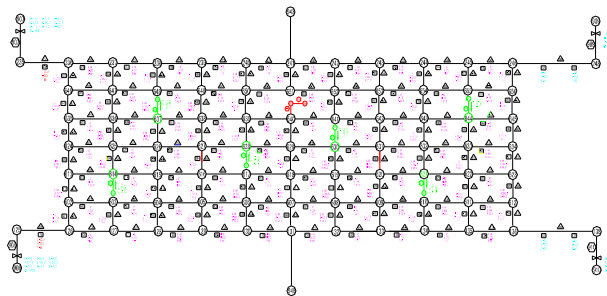


图 3 屏蔽门系统 SES 平面节点图

Fig.3 SES plan node diagram of platform screen doors system

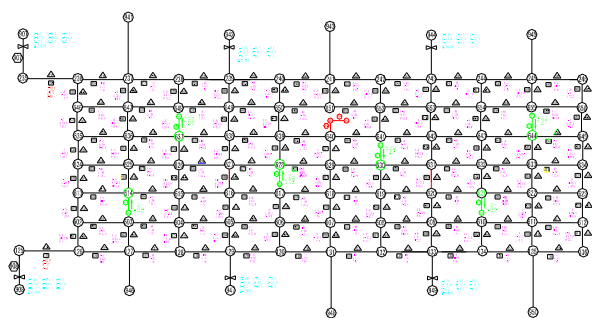


图 4 复合式系统 SES 平面节点图

Fig.4 SES plan node diagram of composite system

## 2.1 阻力系数的确定

由于 SES 一维模型计算时首先需要输入各类阻力系数, SES 虽然给出了阻力系数确定的方法, 为验证阻力系数合理性, 采用 FLUENT 软件对三个标准站台(含 2 个区间)闭式系统进行了数值模拟, 几何模型如图 5 所示。其中闭式模型车站长宽高分别为 120m、19m、3.5m, 闭式系统模型安全门高度 1.5m。闭式系统的网格总数约为 1133302。闭式系统的边界条件设置如下:

(a) 边界性质: 速度进口、压力出口、排气扇。

(b) 列车运动过程: 减速、停车及加速。加、减速过程通过动网格模型和导入的 UDF 程序实现。

(c) 动网格采用光滑和自动重画两种模型。

(d) 热量分布: 根据列车的运动规律, 车底部散热量按加速、减速分布, 空调冷凝器热量在车顶部均匀散发。

(e) 时间步长: 0.001。

室外气象参数采用标准年 7 月 28 日的逐时参数, 采用 PISO 算法, 采用二阶迎风格式迭代。

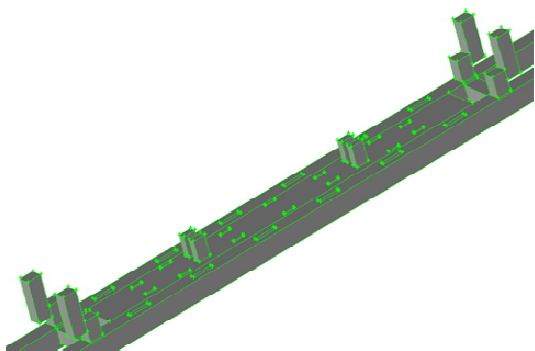


图 5 系统三维模型

Fig.5 System 3D model

采用两种方式确定阻力系数: (1) 单一的三维局部阻力的模型, 对流体不同流速下的流场进行三维模拟。(2) 站台和隧道的三维模型, 根据流量比相等的原则来确定各阻力系数。得到活塞风井的阻力系数如图 6 所示。

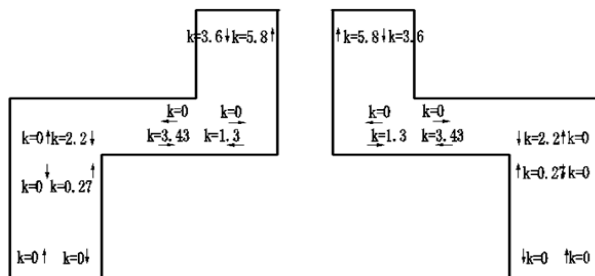


图 6 活塞风井的阻力系数

Fig.6 Resistance coefficient of piston air shaft

## 2.2 屏蔽门漏风量

屏蔽门空调系统的负荷主要是由人员和灯光设备的负荷构成, 由于列车停站后, 屏蔽门开启, 站台和隧道的空气状态不同, 隧道气流会经过屏蔽门进出站台, 影响站台的空调负荷。因此, 通过三维模拟获得列车停站后屏蔽门开启和关闭期间隧道和站台间的漏风量。根据 FLUENT 模拟结果, 隧道空气进入站台的流量单侧为  $2.31\text{m}^3/\text{s}$ , 车站进入站台的空气流量单侧为  $8.47\text{m}^3/\text{s}$ 。每侧列车进站屏蔽门的平均漏风量约为  $6.16\text{m}^3/\text{s}$ 。

## 2.3 空调系统得热量

(1) 客流预测分为早高峰、晚高峰和平均客流预测。青岛 2 号线有多个站台, 各个站台的客流数量不等, 通过简化模型, 引入标准车站的概念, 对 2 号线沿线各车站进行平均标准车站的人数预测, 结果如下:

晚高峰车站人数: 5739 人/h;

早高峰车站人数: 6182 人/h;

人体显热:  $52\text{W}/\text{人}$ ;

人体潜热:  $129\text{W}/\text{人}$ 。

(2) 照明及其他机械设备散热

照明:  $20\text{W}/\text{m}^2$ ;

进/出闸机:  $550\text{W}/\text{台} \times 20$  台; 自动售票机:  $700\text{W}/\text{台} \times 8$  台;

验票机:  $300\text{W}/\text{台} \times 2$  台; 票房售票机:  $400\text{W}/\text{台} \times 4$  台;

电梯: 电机及变频器散热率为  $5\text{kW}$ ;

通信设备: 站厅、站台总散热量各为  $2.5\text{kW}$ 。

3 结果与讨论

3.1 空调期和通风期确定

地铁站通风空调系统设备运行持续时间越长,用电量越大,其年度空调期的确定是影响设计方案能耗的核心要素。相对于空调期的概念,通风空调系统的全年非空调时段皆视为通风期,利用 SES 模拟计算结果,确定青岛地铁不同通风空调制式的空调期和通风期。

空调期模拟参数选择如下:

(1) 空调季站台设计温度 28℃,相对湿度 65%;

(2) 壁温: 28℃;

(3) 空调季送风状态点干球温度 19℃,湿球温度 18℃。

以复合式为例,其通风空调设置等同于屏蔽门系统,送风参数以送风量 30m<sup>3</sup>/s,回风量 18m<sup>3</sup>/s,排热风量 90m<sup>3</sup>/s 为基准,采用全新风运行,当车

站内平均温度高于通风设计温度 30℃时,则该温度对应的时间即为空调开、关的日期。因此空调期为 7 月 19 日~8 月 28 日,共计 41 天。当车站设计温度为 26℃,室外气象参数为 20.0℃时,车站内的平均温度值为 25.9℃。根据标准年青岛晚高峰(17 点)室外气温为 20.0℃的日期为 5 月 19 日和 10 月 10 日。则送、回、排热风机开启的时间段为 5 月 19 日~7 月 18 日及 8 月 29 日~10 月 10 日(7 月 19 日~8 月 28 日为空调期),共 104 天。当车站设计温度为 18℃,室外气象参数为 8.9℃时,经模拟车站内的平均温度值为 18℃。根据标准年青岛晚高峰(17 点)室外气温为 8.9℃的日期为 3 月 28 日和 11 月 25 日。送风机关闭、排热风机开启的时间段为 3 月 28 日~5 月 18 日及 10 月 11 日~11 月 25 日,共 98 天。其余时间为不开启风机的时间,共 122 天。表 1,表 2,表 3 分别给出了闭式系统、屏蔽门系统和复合式系统的空调期和通风期。

表 1 闭式系统空调期、通风期

Table 1 Air-conditioning period and ventilation period of closed system

| 通风期      |          |           | 空调期       |           | 通风期        |            |
|----------|----------|-----------|-----------|-----------|------------|------------|
| 无风机运行    | 排风机开     | 送、回排风机开启  | 开启空调系统    | 送、回排风机开启  | 排风机开       | 无风机运行      |
| 1 月 1 日  | 4 月 2 日  | 6 月 2 日   | 7 月 25 日  | 8 月 24 日  | 9 月 30 日   | 11 月 15 日  |
| ~4 月 1 日 | ~6 月 1 日 | ~7 月 24 日 | ~8 月 23 日 | ~9 月 29 日 | ~11 月 14 日 | ~12 月 31 日 |

表 2 屏蔽门系统空调期、通风期

Table 2 Air-conditioning period and ventilation period of platform screen doors system

| 通风期              |                   | 空调期              |                  | 通风期                |  |
|------------------|-------------------|------------------|------------------|--------------------|--|
| 排热、回风风机开         | 送、回、排热风机开启        | 开启空调系统           | 送、回、排热风机开启       | 排热、回风风机开           |  |
| 1 月 1 日~5 月 27 日 | 5 月 28 日~6 月 28 日 | 6 月 29 日~9 月 2 日 | 9 月 3 日~9 月 30 日 | 10 月 1 日~12 月 31 日 |  |

表 3 复合式系统空调期、通风期

Table 3 Air-conditioning period and ventilation period of composite system

| 通风期       |           |           | 空调期       |            | 通风期        |            |
|-----------|-----------|-----------|-----------|------------|------------|------------|
| 无风机运行     | 排热风机开     | 送、回排热风机开启 | 开启空调系统    | 送、回排热风机开启  | 排热风机开      | 无风机运行      |
| 1 月 1 日   | 3 月 28 日  | 5 月 19 日  | 7 月 19 日  | 8 月 29 日   | 10 月 11 日  | 11 月 26 日  |
| ~3 月 27 日 | ~5 月 18 日 | ~7 月 18 日 | ~8 月 28 日 | ~10 月 10 日 | ~11 月 25 日 | ~12 月 31 日 |

3.2 系统能耗分析

根据 SES 模拟结果,不同系统的逐日能耗由图 7 给出。容易看出,对于不同模式而言,空调期的单日能耗闭式系统最高,复合式系统与屏蔽门系统相同。复合式系统与屏蔽门系统相比,由于复合

式系统设备配置与其完全相同,夏季空调期部分重合;不同的是,复合式系统有条件开启通风窗,利用隧道列车运动的活塞通风效果,从而缩短了空调期。

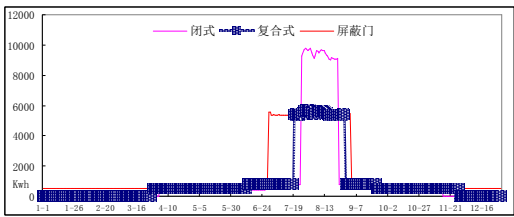


图 7 不同系统模式逐日能耗

Fig.7 Daily energy consumption of different system modes

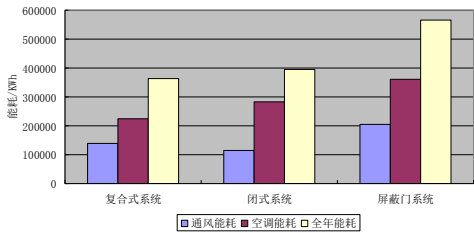


图 8 不同系统模式全年能耗

Fig.8 Annual energy consumption in different system modes

闭式系统、屏蔽门系统和复合式空调系统通风能耗、空调能耗及总能耗对比图如图 8 所示，复合式系统全年运行能耗为最低，为 364134kWh，分别比闭式系统和屏蔽门系统能耗低 8%和 35.5%。就空调能耗而言，复合式系统全年能耗最低，为 225102kWh。闭式系统的通风能耗最低，为 113652kWh。

3.3 现场实测结果

在 2020 年 4-5 月和 10-11 月份通风季下，对麦岛站、海游路站及华楼山站三个采用上部开闭式站台门通风空调系统的车站采用不同的控制策略。4 月、5 月运行策略为关闭站内站台门通风窗，采用大系统通风设备，10 月、11 月开启站内站台门通风窗，关闭大系统通风设备。如表 4 所示，10 月、11 月份这三个站在关闭大系统设备后，其车站通风空调用电量均有减少，最低节能率约为 30%，麦岛站节能率最高，可达 36.77%，三个站在 10 月和 11 月的总节约电能 52207kW/h。

表 4 实测耗电量对比

| Table 4 Comparison of measured power consumption |                |                  |           |         |
|--------------------------------------------------|----------------|------------------|-----------|---------|
| 站点                                               | 4、5 月均值 (kW/h) | 10、11 月均值 (kW/h) | 差值 (kW/h) | 节能率 (%) |
| 麦岛站                                              | 71659          | 45309            | 26350     | 36.77   |
| 海游路站                                             | 35350          | 25019            | 10331     | 29.23   |
| 华楼山路站                                            | 52011          | 36485            | 15526     | 29.85   |

4 结论

(1) 复合式系统是针对青岛地区空调季节短、非空调季节长的气候特点而“量身打造”，是在完全安全可靠的基础上，结合闭式系统、屏蔽门系统的优点所作出的新型节能技术方案，为国内大量处于南北过渡地带的地区提供了一个经济实用的地铁通风空调系统方案。

(2) 研究通过 SES 软件确定青岛地铁 2 号线相邻三个标准车站通风空调系统的空调期和通风期，进而比较了闭式系统、屏蔽门系统和复合式系统的逐日能耗和全年能耗。得出空调期的单日能耗复合式系统与屏蔽门系统低于闭式系统，且复合式系统空调期更短。就全年而言，复合式系统运行能耗最低，为 364134kWh。

(3) 现场实测结果表明，采用复合式系统的 3 个车站（麦岛站、海游路站、华楼山路站）在通风季实施采用开启站台门上部通风窗，同时关闭大

系统通风设备策略节约电能共计 52207kW/h，节能率最高可达 36.77%。

参考文献：

[1] 董志周,吴喜平.地铁车站热环境分析[J].上海节能, 2003,(5):5.

[2] 王治喜.地铁屏蔽门,闭式及新环控系统的能耗研究及应用[D].绵阳:西南科技大学,2012.

[3] 苏子怡,李晓锋.夏热冬冷地区集成闭式系统地铁站空调系统用能分析[J].暖通空调,2022,52(9):73-77.

[4] 袁嘉骏.成都地铁 1 号线机电系统项目安全风险控制研究[D].成都:西南交通大学,2011.

[5] 高小波.广州地铁屏蔽门系统项目管理实践[J].设备监理,2016,(6):32-37.

[6] 张浩.地铁车站通风空调大系统节能控制的设计与实践[D].北京:华北电力大学,2015.

(下转第 336 页)