

设置可调通风型站台门的地铁通风空调系统方案研究

北京城建设计研究总院有限责任公司 王奕然[☆] 李国庆 袁凤东 刘 垚

摘要 以屏蔽门式、闭式及开式系统为基础,建立了设置可调通风型站台门的地铁通风空调系统,并对其应用于严寒、寒冷和夏热冬冷地区的运行模式和节能效果进行了模拟分析。结果表明,新的通风空调系统能够满足规范要求,并能降低能耗、改善乘车环境。

关键词 地铁 可调通风型站台门 通风空调系统 方案 模拟 经济分析

Research on underground railway ventilation and air conditioning system scheme with adjustable ventilated platform doors

By Wang Yiran[★], Li Guoqing, Yuan Fengdong and Liu Yao

Abstract Based on the screen door, closed and open systems, establishes the new underground railway ventilation and air conditioning system with adjustable ventilated platform doors. Simulates and analyses the operation modes and energy saving effect of this system applied in the extremely cold, cold, hot summer and cold winter regions. The results show that this system can meet the specification requirements, reduce energy consumption and improve the environment around passengers.

Keywords underground railway, adjustable ventilated platform door, ventilation and air conditioning system, scheme, simulation, economic analysis

① ★ Beijing Urban Engineering Design & Research Institute Co., Ltd., Beijing, China



王奕然

主要设计项目

- 伊朗德黑兰地铁1, 2号线
- 北京地铁13号线
- 北京地铁5号线
- 深圳地铁4号线
- 沈阳地铁1, 2号线
- 上海地铁13号线
- 北京地铁10号线 (二期)

0 引言

地铁通风空调系统能耗的高低不仅与自身系统完善度有关,还与站台门的型式关系密切。对于设置空调系统的地铁车站,采用屏蔽门的通风空调系统空调季节系统负荷小,与设置安全门的闭式通风空调系统相比具有节能的优势。但在非空调季

节,由于设置屏蔽门后无法利用列车活塞风对车站进行自然通风,使得其通风能耗高于设置安全门的车站。可调通风型站台门是屏蔽门与安全门的结合体,空调季节关闭门体上的开口作为屏蔽门使用,非空调季节开启门体上的开口作为安全门使用,从而达到全年节能的目的^{[1-2]①②}。对于仅设置通风系统的严寒地区,车站一般采用安全门,在冬季会面临车站出入口活塞效应强烈,导致站内温度偏低、乘客舒适度差的问题。若采用可调通风型站台门,冬季关闭门体上的开口作为屏蔽门使用,可以起到抑制活塞风的作用^[1]。

①☆ 王奕然,男,1973年5月生,大学,高级工程师,副总工程师
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
(010) 88336601
E-mail: wangyr@buedri.com
收稿日期:2011-03-29
修回日期:2011-04-25

① 北京城建设计研究总院. 城市轨道交通新型节能环保系统综合技术研究报告,2010

② 北京城建设计研究总院. 北京城市轨道交通节能降耗技术需求分析与技术选择研究报告,2008

结合可调通风型站台门的技术特点,本文将分别介绍与夏热冬冷地区、寒冷地区及严寒地区城市相适应的地铁通风空调系统新方案及运行模式,并对传统方案和新方案进行气流及热环境对比模拟分析和综合经济性分析,以量化传统方案和新方案在功能和经济性上的差异。

1 夏热冬冷地区方案研究

我国夏热冬冷地区包括上海、杭州、武汉、重庆、合肥等多个城市。这些城市的地铁均设有空调系统,主流设计方案为屏蔽门通风空调系统。下面以合肥为例,对设置可调通风型站台门的通风空调系统与屏蔽门通风空调系统进行对比分析。

1.1 系统构成及运行模式

1.1.1 系统构成

屏蔽门基本隔断了车站公共区与区间隧道之间的空气流通,将列车大部分的发热隔绝在区间内,因此车站公共区与区间隧道的通风空调系统是完全分开设置的。车站公共区空调系统只需要负担车站照明、广告牌、电梯扶梯、人员以及出入口换热等热负荷。区间隧道采用通风的方式排除列车、列车空调和照明散热。车站公共区通风空调系统需要设置空调进排风道,配置组合式空调机组和回排风机。区间通风系统需要设置事故风道,配置区间事故风机,同时还需要设置活塞风道;车站轨行区需要设置车站轨行区排热系统,设置排热风道和排热风机。

车站设置可调通风型站台门,在空调季节通风空调系统需要满足屏蔽门工况的系统配置与功能要求,因此在系统构成方面可以与屏蔽门通风空调系统保持一致。系统原理图见图 1。

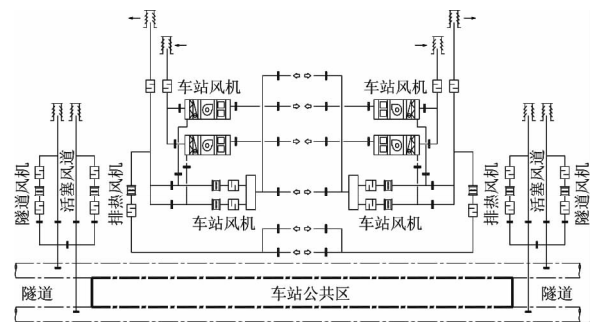


图 1 设置可调通风型站台门的通风空调系统原理图(夏热冬冷地区)

1.1.2 运行模式

地铁通风空调系统运行模式包括正常和事故

运行模式两部分。正常运行模式按全年划分为夏季、过渡季及冬季三种;事故运行模式分为站厅火灾、站台火灾、隧道火灾及隧道阻塞四种。屏蔽门通风空调系统各运行模式见图 2;可调通风型站台门通风空调系统运行模式见图 3。

工况	车站风机	排热风机	隧道风机	屏蔽门	活塞风道
夏季	开	开	关		开
过渡季	开	开	关		开
冬季	开/关	开/关	关		开
站厅火灾	开	关	关		关
站台火灾	开	开	关	开	关
隧道火灾	关	关	开		关
隧道阻塞		关	开		关

图 2 屏蔽门通风空调系统运行模式(夏热冬冷地区)

工况	车站风机	排热风机	隧道风机	站台门上部开口	站台门下部开口	活塞风道
夏季	开	开	关	关	关	开
过渡季	开	关	关	开	开	开
冬季	开/关	关	关	开	开	开
站厅火灾	开	关	关	关	关	关
站台火灾	开	开	关	开	关	关
隧道火灾	关	关	开	关	关	关
隧道阻塞		关	开	关	关	关

可调通风型站台门
全年运行
夏季关
冬季开

图 3 可调通风型站台门通风空调系统运行模式(夏热冬冷地区)

从图 2,3 可以看出,可调通风型站台门的通风空调系统在过渡季及冬季风机运行时间明显少于屏蔽门系统;在站台火灾工况也不需开启屏蔽门,而只需开启站台门的上部开口,避免了乘客跌落轨行区的风险。

1.2 模拟计算及功能分析

1.2.1 模拟计算

1) 气流模拟

屏蔽门与可调通风型站台门对地铁内部活塞通风的影响主要体现在非空调季节,因此首先采用 STESS 3.0 软件对两者在非空调季节(可调通风型站台门开口开启状态下)的气流情况进行了计算机模拟。模拟结果见图 4~6。

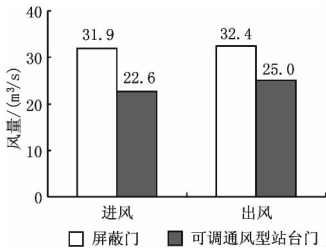


图 4 两种系统形式的活塞风井平均总进出风量对比

从图 4 和图 5 可以看出,在自然活塞通风工况下可调通风型站台门车站的活塞风井进出风

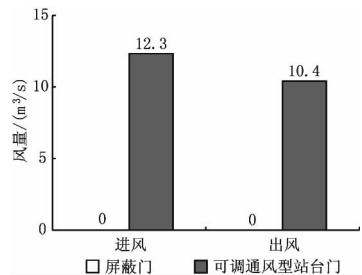


图 5 两种系统形式的车站出入口平均总进出风量对比

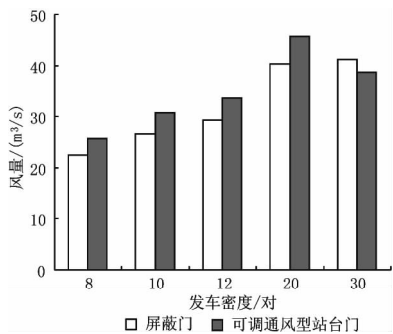


图 6 各种发车密度情况下两种系统形式的车站总进风量平均值

量有所下降,但车站出入口进出风量增加。从图 6 可以看出,可调通风型站台门车站总进风量较屏蔽门车站提高 10%左右,有利于自然通风与节能运行。

2) 热环境模拟

根据合肥的气象参数,对模拟线路在过渡季分别采用屏蔽门与可调通风型站台门的运行工况进行对比模拟计算,获得远期(运营 25 a)车站与隧道的温度结果(见表 1)。

表 1 合肥模拟线路远期过渡季典型月车站与隧道日平均温度对比

	屏蔽门	可调通风型站台门
区间隧道温度	17.8~20.1	20.9~21.2
活塞风井温度	17.1~17.8	20.6~21.2
轨行区温度	18.9~19.6	21.0
车站公共区温度	22.9	21.0
出入口温度	22.9	20.7~21.4

从表 1 可以看出,可调通风型站台门系统形式的车站日平均温度低于屏蔽门系统形式的车站,而区间隧道日平均温度却高于屏蔽门系统,但都在可接受的范围内。根据上述对比结果可以判定,可调通风型站台门系统形式的车站温度控制效果在过渡季时段内优于屏蔽门系统形式。

1.2.2 功能分析

地铁通风空调系统的功能可分解为车站公共

区通风空调及火灾排烟、区间隧道正常通风、阻塞通风及火灾排烟功能。除了满足上述功能要求外,与屏蔽门系统相比,可调通风型站台门在车站公共区火灾排烟方面具有一定的优势。以往为了满足“车站站台发生火灾时,应保证站厅到站台的楼梯和扶梯口处具有不小于 1.5 m/s 的向下气流”的规范要求^[3],需要打开车站屏蔽门为车站轨行区的排热系统参与排烟提供进风条件。在火灾情况下,打开车站屏蔽门无疑给乘客安全疏散带来巨大的隐患。而可调通风型站台门只需打开门体上的开口即可为排热系统参与站台排烟提供条件,大大降低了工程风险。

1.3 综合经济分析

对于夏热冬冷地区的屏蔽门与可调通风型站台门系统,从通风空调等设备投资、机房土建费用、运行费用、维护费用等多方面进行综合经济比较,结果见表 2。通过比较可以看出,可调通风型站台门通风空调系统每站每年可节省电费 17 万元,经济性具有明显优势。

表 2 综合经济比较(夏热冬冷地区)

	屏蔽门	可调通风型站台门
通风空调设备投资/(万元/站)	925	925
其他设备投资/(万元/站)	600	640
设备投资合计/(万元/站)	1 525	1 565
机房土建投资/(万元/站)	1 809	1 809
初投资合计/(万元/站)	3 334	3 374
设备年费(按 20 年折算)/(万元/站)	132	135
土建年费(按 100 年折算)/(万元/站)	108	108
初投资折合年费用/(万元/站)	240	243
年耗电费用/(万元/站)	123	106
年维护费用/(万元/站)	28	28
年运营费合计/(万元/站)	151	134
年综合费用/(万元/站)	391	377
年综合费用差值(以屏蔽门为 0)/(万元/站)	0	-14
年综合费用比例(以屏蔽门为 1)	1	0.96

2 寒冷地区方案研究

我国寒冷地区包括北京、天津、青岛、石家庄等多个城市。这些城市的地铁一般也有空调系统,主流设计方案为设置安全门的闭式通风空调系统。下面以北京为例对设置可调通风型站台门的通风空调系统进行分析。

2.1 系统构成及运行模式

2.1.1 系统构成

北京地铁新线路大多采用设置安全门(2.5 m

高)的集成闭式通风空调系统。车站公共区与隧道之间相通,公共区与区间隧道采用一套通风空调系统,不需设置活塞风道,系统形式较屏蔽门系统简单。进站列车将热空气带入车站,出站列车将车站冷空气带入隧道。因此车站空调除负担车站本身负荷外,还要负担区间隧道的部分负荷,夏季冷负荷较大。但过渡季及冬季可利用出入口活塞风作用冷却车站,节能效果较好。所谓集成系统即车站公共区通风空调系统和区间通风系统实现部分设备及风道的共用,区间事故风道兼作车站送排风道;在送风道内设置电动开启式表冷器、过滤器等代替组合式空调机组;利用配置变频器的事故风机,在正常工况时低速运行对车站送排风^[4]。集成闭式通风空调系统原理图见图7。

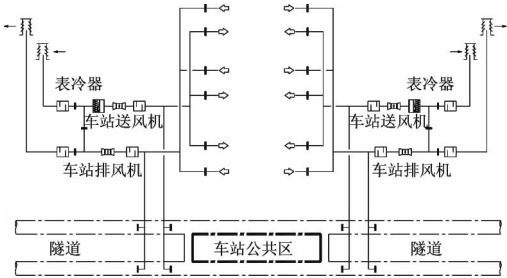


图7 设置安全门的集成闭式通风空调系统原理图(寒冷地区)

若车站设置可调通风型站台门,在空调季节通风空调系统需要满足屏蔽门工况的系统配置与功能要求,因此在系统构成方面应按屏蔽门通风空调系统考虑。同理,可以应用系统集成概念,将车站公共区通风空调系统和区间事故通风系统的风道及风机等设备共用。车站不需设置组合式空调机组,而是利用风道内设置的表冷器及车站通风机组成空气处理系统,为车站提供通风空调。车站通风机、排热风机同时兼作区间事故风机。集成系统还可以采用单活塞风道方式,在车站每端设置一条活塞风道,通过活塞风阀同时连通上、下行线两条隧道。设置可调通风型站台门的集成通风空调系统原理图见图8。

2.1.2 运行模式

与夏热冬冷地区相同,寒冷地区的可调通风型站台门运行模式也应遵循夏季为屏蔽门模式、非空调季节为安全门模式的原则。集成闭式通风空调系统各运行模式见图9;可调通风型站台门集成通风空调系统运行模式见图10。

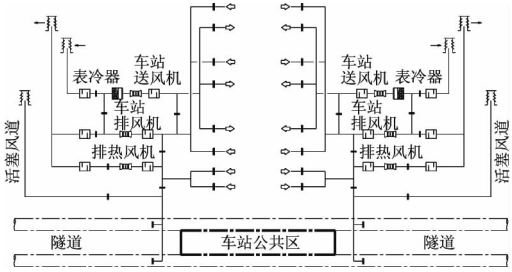


图8 设置可调通风型站台门的集成通风空调系统原理图(寒冷地区)

工况	车站送风机 (兼隧道风机)	车站排风机 (兼隧道风机)
夏季	开	开
过渡季	开/关	开/关
冬季	开/关	开/关
站厅火灾	关	开
站台火灾	开	开
隧道火灾	开	开
隧道阻塞	开	开

图9 设置安全门的集成通风空调系统运行模式(寒冷地区)

工况	车站风机 (隧道风机)	排热风机 (隧道风机)	站台门 上部开口	站台门 下部开口	活塞 风道
夏季	开	开	关	关	开
过渡季	开	关	开	开	开
冬季	开/关	关	开	开	开/关
站厅火灾	开	关	关	关	关
站台火灾	开	开	关	关	关
隧道火灾	开	开	关	关	关
隧道阻塞	开	开	关	关	关

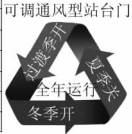


图10 可调通风型站台门集成通风空调系统运行模式(寒冷地区)

从图9,10可以看出,由于系统相对复杂,设置可调通风型站台门后的通风空调系统控制对象有所增加。

2.2 模拟计算及功能分析

2.2.1 模拟计算

根据北京的气象参数,对模拟线路在过渡季分别采用屏蔽门系统、安全门及可调通风型站台门系统的运行工况进行对比模拟计算,获得远期车站与隧道的温度结果(见表3)。

表3 北京模拟线路远期过渡季典型月车站与隧道日平均温度对比

	温度/℃	
	屏蔽门	安全门及可调通风型站台门
区间隧道温度	16.0~18.3	18.3~18.9
活塞风井温度	17.3~17.9	18.8~19.6
轨行区温度	17.1~17.8	19.0
车站公共区温度	21.5	19.0
出入口温度	21.5	18.5~19.1

从表3可以看出,与夏热冬冷地区的模拟结果相似,安全门及可调通风型站台门系统形式的车站日平均温度低于屏蔽门系统形式的车站,而区间隧道日平均温度却高于屏蔽门系统形式,但都在可接

受的范围內。

2.2.2 功能分析

除了满足一般功能要求外,与安全门系统相比,可调通风型站台门在区间隧道事故通风方面具有一定的优势。由于安全门不能将隧道与车站公共区彻底分隔,区间隧道事故通风时会有一部分气流从车站短路,致使区间隧道内通风排烟风速难以满足规范要求。为此,通常采取增加火灾事故时联动风机的车站数量的方法来提高隧道风速,但势必增加系统控制的复杂性。而采用可调通风型站台门时,可以通过关闭门体上的开口而阻断车站的短路气流,提高隧道通风效率,减少联动风机的车站数量,增加系统可靠性。

2.3 综合经济分析

寒冷地区的安全门与可调通风型站台门系统的综合经济比较见表 4。可以看出,可调通风型站台门通风空调系统每站每年可节省电费 12 万元,且综合经济性具有明显优势。

表 4 综合经济比较(寒冷地区)

	安全门	可调通风型站台门
通风空调设备投资/(万元/站)	1 150	880
其他设备投资/(万元/站)	615	640
设备投资合计/(万元/站)	1 765	1 520
机房土建投资/(万元/站)	1 362	1 588
初投资合计/(万元/站)	3 127	3 108
设备年费(按 20 年折算)/(万元/站)	153	132
土建年费(按 100 年折算)/(万元/站)	82	95
初投资折合年费用/(万元/站)	235	227
年耗电费用/(万元/站)	87	75
年维护费用/(万元/站)	35	26
年运营费合计/(万元/站)	122	101
年综合费用/(万元/站)	357	328
年综合费用差值(以安全门为 0)/(万元/站)	0	-29
年综合费用比例(以安全门为 1)	1	0.92

3 严寒地区方案研究

严寒地区包括沈阳、长春、哈尔滨等城市。这些城市的地铁一般仅设通风系统,站台设置安全门。下面以沈阳为例,对设置可调通风型站台门的通风系统进行分析。

3.1 系统构成及运行模式

3.1.1 系统构成

沈阳地铁站台设置安全门(2.5 m 高)。车站公共区与区间隧道通风系统集成设置,采用机械通风结合活塞风道和出入口自然通风方式。在车站

的每端均设置一条车站通风道,内设两台变频车站通风机(这两台风机为可逆风机,同时兼作车站公共区排烟风机和区间隧道事故风机)。车站每端均设置一条活塞风道,与活塞风道并联设置一台区间事故风机,当区间发生阻塞或火灾事故时,与车站通风机同时对事故区间送风或排风。为减小冬季活塞风对出入口的影响,在出入口设置电热风幕。设置安全门的通风系统原理图见图 11。

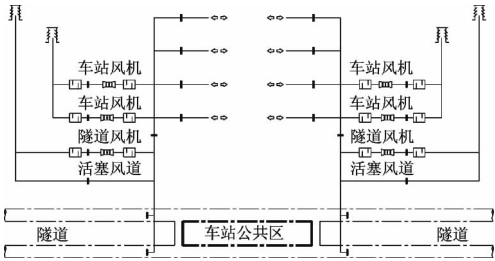


图 11 设置安全门的通风系统原理图(严寒地区)

若车站设置可调通风型站台门,在冬季按屏蔽门模式运作,可切断出入口的活塞风,但同时也切断了车站和区间隧道的新风渠道,故需要在此期间为车站和区间隧道增加新风系统,以满足人员最小新风量要求。车站和区间隧道的新风井与设备及管理用房新风井合并设置。设置可调通风型站台门的通风系统原理图见图 12。

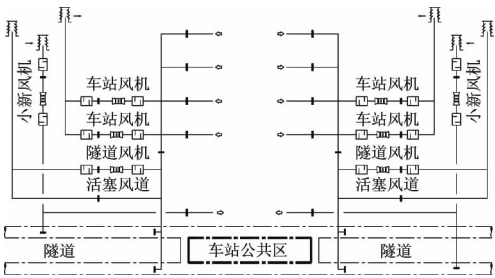


图 12 设置可调通风型站台门的通风系统原理图(严寒地区)

3.1.2 运行模式

与夏热冬冷及寒冷地区相反,严寒地区的可调通风型站台门的运行应遵循冬季为屏蔽门模式、其他季节为安全门模式的原则。设置安全门的通风系统各运行模式见图 13;设置可调通风型站台门的通风系统运行模式见图 14。

3.2 模拟计算及功能分析

3.2.1 模拟计算

可调通风型站台门应用到严寒地区主要解决冬季问题,因此根据沈阳的气象参数,对模拟线路

工况	车站 风机	隧道 风机	电热 风幕	活塞 风道
夏季	关	关	关	开
过渡季	开/关	关	关	开
冬季	开/关	关	开	开/关
站厅火灾	关	关	关	关
站台火灾	关	开		关
隧道火灾	关	开	关	关
隧道阻塞	开	开		关

图 13 设置安全门的通风系统运行模式(严寒地区)

工况	车站 风机	隧道 风机	小新风 机	站台门 上部 开口	站台门 下部 开口	活塞 风道
夏季	开	关	关	开	开	开
过渡季	开/关	关	关	开	开	开
冬季	开/关	关	开	关	关	开/关
站厅火灾	开	关	关	关	关	关
站台火灾	开	开	关	开	关	关
隧道火灾	开	开	关	关	关	关
隧道阻塞	开	开	关	关	关	关

可调通风型站台门
全年运行
冬季关

图 14 设置可调通风型站台门的通风系统运行模式(严寒地区)

在冬季分别采用安全门系统形式与可调通风型站台门系统形式的运行工况进行对比模拟计算,获得远期车站与隧道的温度结果(见表 5)。

表 5 沈阳模拟线路远期冬季典型月车站与隧道平均温度对比℃

	安全门	可调通风型站台门
区间隧道温度	12.2~14.5	8.0~13.0
轨行区温度	16.4	11.5~12.7
车站公共区温度	10.5	15.2
出入口温度	4.4~11.1	15.0

从表 5 可以看出,在沈阳远期冬季采用安全门系统形式的模拟工况下,车站通过出入口与室外连通,闭式运行时由于列车活塞风效应的影响,室外严寒空气对车站出入口及公共区有一定的影响,将出现较低温度的情况,如出现出入口温度低于 5℃的情况,不仅对上述位置安装的管线(水管)的冬季保温有较高要求,同时对进出站的乘客及站内工作人员的热舒适感觉也有较大影响。

而采用可调通风型站台门系统,在沈阳冬季运行时,将站台门门体上的开口关闭,转化为屏蔽门系统形式,将车站公共区与区间隧道分隔开。在此工况下,隧道温度与车站温度均可控制在适宜的范围

3.2.2 功能分析

沈阳地铁 1 号线 2010 年建成通车,是国内严寒地区的第一条地铁运营线路。进入严冬季节后,个别车站公共区温度偏低,特别是未设置出入口地面厅的车站,出入口局部甚至降至 0℃左右。可

见,安全门系统在这方面还存在一定的不足。

因此,除了满足一般功能要求,且在区间隧道事故通风方面具有提高通风效率、减少联动风机的车站数量、增加系统可靠性的优势外,与安全门系统相比,可调通风型站台门在严寒地区应用的最大功能优势是能解决冬季车站出入口及站内热舒适性的问题。

3.3 综合经济分析

严寒地区的安全门与可调通风型站台门系统的综合经济比较见表 6。可以看出,可调通风型站台门通风系统车站初投资增加 120 万元,每年电费增加 2 万元,经济性方面略显不足。但是,随着可调通风型站台门进入大批量生产阶段,产品价格逐步下降,可以弥补这一不足。

表 6 综合经济比较(严寒地区)

	安全门	可调通风型站台门
通风空调设备投资/(万元/站)	550	580
其他设备投资/(万元/站)	580	640
设备投资合计/(万元/站)	1 130	1 220
机房土建投资/(万元/站)	1 420	1 450
初投资合计/(万元/站)	2 550	2 670
设备年费(按 20 年折算)/(万元/站)	98	105
土建年费(按 100 年折算)/(万元/站)	85	87
初投资折合年费用/(万元/站)	183	192
年耗电费用/(万元/站)	12	14
年维护费用/(万元/站)	17	17
年运营费合计/(万元/站)	29	31
年综合费用/(万元/站)	212	223
年综合费用差值(以安全门为 0)/(万元/站)	0	11
年综合费用比例(以安全门为 1)	1	1.05

4 结论

综上所述,设置适用于不同气候条件的可调通风型站台门的地铁通风空调系统新方案能够很好地满足地铁各种正常及事故工况下通风空调系统的全部功能需求,在夏热冬冷及寒冷地区节能效果显著,综合经济性能好;同时还可以有效解决严寒地区冬季站内温度偏低的技术难题。

参考文献:

[1] 李国庆. 城市轨道交通发展中的屏蔽门创新[J]. 都市快轨交通,2007,20(5):81-84

[2] 邓保顺. 节能型屏蔽门系统的数值模拟分析[J]. 暖通空调,2010,40(7):5-7

[3] 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

[4] 王奕然. 新型通风空调集成系统在北京地铁中的应用[J]. 都市快轨交通,2010,23(6):85-89