

**【摘要】**简要介绍了三种地铁环控系统的特点，采用能耗分析方法对不同区域地铁环控系统的能耗进行定量比较。对地铁公共区分别进行空调季和非空调季通风能耗计算以及区间隧道能耗计算，通过分析得出屏蔽门系统在寒冷地区、温和地区的节能效果不明显的结论，为以后的地铁车站环控设计提供了参考价值。

**【关键词】**屏蔽门系统；闭式系统；通风空调；能耗分析；节能

### 0 引言

由于具有高速、准时、载客量大的特点，地铁现已成为解决现代城市交通拥挤最有效的手段，世界上已有几十个大中城市广泛使用地铁作为其主要公共交通工具[1]。目前大多数建有地铁的城市多地处温带或位于具有海洋性气候的欧、美、日等发达国家，而我国大部分地区属于大陆性气候[2]，所以地铁车站站台处是否采用屏蔽门系统需要结合我国的基本国情和气候特点因地制宜。

通风空调系统是地铁环控系统中第一能耗大户，有统计表明，通风空调系统能耗约占整个地铁用电负荷的45%~60%[3]，通风空调系统方案的合理与否严重影响地铁运营能耗，因此地铁环控制式的选择必须着重考虑能耗指标，选择合理的环控方案。我国地域辽阔，南北气候差异较大，各地区对通风空调系统的设置需求、运行时间都不相同，尤其对于温度较低的过渡季节和冬季时期，地铁车站设置屏蔽门是否节能是争论的主要问题。

屏蔽门系统由于屏蔽门的阻隔作用，能够大大减少列车活塞风对车站站台乘车环境的影响，同时把列车刹车和机车空调产热屏蔽在车站外，降低了车站空调冷负荷，减少了车站制冷系统的装机容量以及空调季系统运行能耗[4]。然而，在温度较低的过渡季节和冬季，列车刹车和机车空调产热这部分热量可能又是有利于提高站台温度的因素，本文主要针对全国范围内区域，屏蔽门系统能否起到很好的节能效果进行能耗分析讨论。

### 1 环控系统制式简介

目前世界各地地铁环控系统按运行方式基本上可分为以下3种环控制式[5]：

(1) 开式系统：开式系统是三种环控系统中能耗最少的一种方式，其是在地铁沿线车站与车站之间设置多座通风竖井，完全借助列车在隧道内运行所产生的活塞效应或采用机械通风的方法，使地铁内空气与外界空气进行气流交换，利用外界空气冷却车站和区间隧道。我国大多数地区属于大陆性气候，开式系统在我国范围内运营会有较大的局限性，尤其是在地铁环境确定采用空气调节系统的前提下。

(2) 闭式系统：闭式系统是指地铁车站内空气与外界大气不相连通的一种方式，即地铁车站内所有与室外连通的活塞风井及风阀均处于关闭状态，仅通过通风和空调系统向车站内提供所需最小量的新鲜空气，利用列车的活塞效应将车站内的空气携带进入区间隧道，以保证隧道的温度处于正常状态。国内采用该系统形式的有上海轨道交通2号线、广州轨道交通1号线、南京轨道交通1、2号线、北京轨道交通4、5、10号线等轨道交通工程。

(3) 屏蔽门系统：在车站站台边缘安装可滑动的屏蔽门，将站台区域和列车运行区域分隔开来，以隔断隧道的热量与车站的空调冷气之间的热交换。目前国内在建和已建成的大部分轨道交通线路采用该系统，如上海轨道交通除2号线外均设置屏蔽门，广州轨道交通除1号线外均设置屏蔽门，成都轨道交通1号线、天津轨道交通2/3号线、深圳轨道交通一期工程均等设置了屏蔽门。

### 2 能耗分析

本文针对我国不同气候分区的典型城市采用何种环控制式的节能性研究，因此根据各气候分区中城市规模较大、人口较多的典型城市进行比较分析，分别选取沈阳、北京、上海、广州、昆明五座城市。模型是按某地铁线的原始建筑尺寸建立，选取地铁系统中6个区间站，该6个车站均为地下岛式站台车站。以该地铁车站为例，对不同区域采用不同环控系统的全年运营能耗进行比较分析。

#### 2.1 车站公共区能耗分析

地铁环控系统能耗包括车站公共区能耗和区间隧道能耗。车站公共区能耗分为空调季能耗和非空调季通风能耗。空调季能耗分有两种工况，分别为最小新风工况能耗和全新风工况能耗。结合相关资料，经计算，不同区域采用不同系统环控制式的车站公共区全年能耗比较见表1、2。



**表 1 各城市屏蔽门系统车站公共区全年工况能耗比较**

区域 项目	最小新风 空调工况 (KWh)	全新风空调工况 (KWh)	通风工况 (KWh)	总能耗 (KWh)
沈阳	574992	127083	646272	1348347
北京	1117757	—	646272	1764029
上海	1401818	600292	517018	2519128
广州	3460212	199885	323136	3983233
昆明	—	240117	581645	821762

**表 2 各城市闭式系统车站公共区全年工况能耗比较**

区域 项目	最小新风 空调工况 (KWh)	全新风空调工况 (KWh)	通风工况 (KWh)	总能耗 (KWh)
沈阳	1674972	362742	347652	2385366
北京	2904358	—	325442	3229799
上海	3428827	1885935	317774	5632536
广州	8411742	625060	289683	9326485
昆明	—	626276	514739	1141015

由表 1、2 的能耗比较总体可知，各城市车站公共区屏蔽门系统总能耗均小于闭式系统。沈阳地区屏蔽门系统的总能耗约为闭式系统总能耗的 57%，而广州地区这个比值是 43%，说明室外气候越高的地区，屏蔽门系统总能耗与闭式系统的比例越小，说明屏蔽门系统在节能效果方面的优势越明显。对于昆明地区来讲，两种地铁环控系统全年总能耗在五座城市中最低，主要是昆明地区夏季室外气候温度相对较低，使得其空调工况能耗较低，且昆明全年温度变化幅度较小，造成屏蔽门系统车站公共区全年总能耗与闭式系统总能耗的比例为 72%，由此看出屏蔽门系统在昆明地区的节能效果不十分明显。

从表中数据可以得出，各城市两种地铁环控车站公共区夏季能耗均比过渡季和冬季能耗高。对于过渡季和冬季较长的北方地区如沈阳和北京城市，过渡季和冬季能耗可以占全年能耗的 40% 以上，但对于过渡季和冬季较短的南方地区如上海和广州城市，则仅占不到 20%。因此通风能耗在北方城市全年能耗中占有比较重要的位置，通风系统的节能效果将直接影响到整个系统的全年能耗。



闭式系统可充分利用列车引起的活塞风效应为地铁内部起到很好的通风除热除湿作用。对于沈阳地区，闭式系统虽然夏季空调能耗比屏蔽门系统高出 34%，但由于沈阳地区过渡季和冬季的室外温度较低，使得充分利用了活塞风的闭式系统通风能耗远低于屏蔽门系统，约为屏蔽门系统的 54%，可见过渡季和冬季通风能耗的节约也可实现全年能耗大幅度的降低，因此是否充分利用了活塞风也应当是地铁环控系统节能效果的评价指标。

## 2.2 区间隧道能耗分析

### 2.2.1 屏蔽门系统

通过 SES 模拟软件可以得出各城市屏蔽门系统站台下排热风机全年的开启状况。根据模拟计算的分析结果，可以得出不同区域地铁屏蔽门系统的全年区间隧道能耗，如表 3 所示。

**表 3 各城市屏蔽门系统区间全年隧道能耗比较**

	全部关闭排热 风机的月数	打开 1 台排热 风机的月数	全部打开排热风 机的月数	能耗 (KWh)
沈阳	7	4	1	259200
北京	7	3	2	302400
上海	6	2	4	432000
广州	3	4	5	604800
昆明	5	7	0	302400

表 3 的结果表明，广州全年的区间隧道能耗远高于其他分区城市，这主要是由广州地区气候特点所致，因其月平均气温普遍高于其他分区城市，且全年室外气候温度较高，使得其区间隧道排热风机能耗最高；沈阳地区的区间隧道能耗远低于其他分区城市，这主要是因为沈阳地处严寒地区，该区主导气候为冬季且冬季时长远大于其他分区城市，所以沈阳地区可以利用气候寒冷这一特点，从而最大程度的减少站台下轨道排热风机开启的台数，节省排热风机能耗。换言之，随着全年室外气候温度的逐渐增大，区间隧道能耗逐渐增大。

### 2.2.2 闭式系统

地铁闭式环控系统站台下不设置轨底排热风机，区间隧道正常工况下是依靠列车离站时产生的“活塞效应”，将一部分车站内空调冷风带入隧道，从而降低区间隧道内的空气温度。隧道风机仅在事故工况下才开启，正常工况下隧道风机关闭。正常工况下，组合式空调器里的回排风机主要是满足车站公共区实现空调季最小新风、全新风运行和非空调季的通风运行，可以看出地铁闭式环控系统的总能耗仅为车站公共区能耗。

## 2.3 环控系统全年能耗分析

各城市两种地铁环控系统全年总能耗比较如表 4 所示。



表 4 各城市地铁环控系统全年总能耗比较

	屏蔽门系统 (KWh)	闭式系统 (KWh)	屏蔽门与闭式 总能耗之比
沈阳	1607547	2363156	0.68
北京	2066429	3252010	0.64
上海	2951128	5632536	0.52
广州	4588033	9326485	0.49
昆明	1124162	1141015	0.99

由表 4 数值结果可以看出，昆明地区的屏蔽门系统与闭式系统的总能耗之比最大，说明以昆明为典型城市的温和地区，屏蔽门系统在节能效果方面的优势最弱；广州地区的两种地铁环控系统的总能耗之比最小，且屏蔽门系统的全年总能耗与闭式系统的之间差值最大，主要是因广州地区全年室外气候温度均高于其他城市且广州地区夏季时长相对最长，当其采用闭式系统时，列车运行时产生的活塞风及列车制动、启动时的产热量加剧了车站处的温度的升高，这样就需要采用空调方式或采用机械通风方式对地铁车站进行温度控制，造成空调能耗或通风能耗的增加，使得闭式系统的总能耗远大于屏蔽门系统，说明广州地区屏蔽门系统的节能效果有优势。

当车站站台设置屏蔽门，列车排入区间隧道内的热量必须依靠机械通风方式来排除。尤其当列车刹车进站停靠阶段排出大量的热，有可能造成局部区间隧道温度过高，超出规范的要求。这样就需要加大区间隧道通风量，采用夜间通风方式来降低隧道温度，控制日间高峰温度，但其代价使得通风电耗大大上升，从而降低了站台屏蔽门显著的节能效果。

闭式系统可以依靠列车活塞风作用从出入口吸入室外空气用以满足车站乘客的舒适性要求，且由于车站站台与隧道连通，列车进出站台时能够依靠活塞风作用把站台冷空气带入区间隧道中，足以保证区间温度满足设计规范要求，减少了其需用机械通风方式来排除隧道内的余热负荷，降低了地铁通风空调系统的全年能耗，所以是否能够充分利用列车产生的活塞效应也应当是地铁环控系统节能效果的评价指标。

通过对两种地铁环控系统运行模式全年运行能耗的数据分析，可以看出各城市屏蔽门系统的年运行能耗总体上低于闭式系统。但由于屏蔽门系统的一次性初投资较大，所以有必要对地铁环控系统技术经济比较，综合考虑不同区域地铁环控系统的适用性。

根据以上分析，对不同城市地铁环控系统进行经济性分析，得出各城市两种地铁环控方案运行成本费用的比较，如表 5 所示。



表 5 各城市两种地铁环控方案运行成本费用比较

区域	系统名称	运行成本费用 (万元)
沈阳	屏蔽门系统	288
	闭式系统	206
北京	屏蔽门系统	312
	闭式系统	252
上海	屏蔽门系统	359
	闭式系统	383
广州	屏蔽门系统	442
	闭式系统	570
昆明	屏蔽门系统	254
	闭式系统	99

由表 5 总体来看,广州区域两种地铁环控系统的总运行成本投资是五个城市中最多的,而最少的是昆明地区。沈阳、北京地区屏蔽门系统总运行成本费用高于闭式系统,而上海和广州地区屏蔽门系统总运行成本费用低于闭式系统,说明屏蔽门系统在室外气象参数较高的地区节能效果越明显,具有更好的经济适用性。

根据以上数据整理分析可知,各个区域每个城市的夏季、过渡季和冬季的时长各不相同:全国北方地区冬长夏短,南方地区冬短夏长,而中部地区过渡季相对较长,所以地铁环控系统的选取应根据不同城市的实际情况而定。

### 3 结论

(1)当地铁系统采用站台屏蔽门时能够降低站台空调季能耗,节省夏季运行费用,因此单从车站公共区的空调季能耗计算来看,屏蔽门系统在节能方面占了绝对的优势;

(2)过渡季和冬季活塞风可为车站站台提供大量新风,因此在过渡季节和冬季活塞风是节能降耗的有利因素,应当合理有效利用;

(3)屏蔽门系统将列车运行及机车空调产生的热量屏蔽在相对狭小的隧道空间内,使得区间温度不断升高并有可能超过规范要求,故需要采用排热风机控制地铁隧道内的热环境,尤其是在过渡季和冬季,随着室外环境温度低于车站控制温度时,屏蔽门系统依然要开启排热风机才能控制隧道温度,使得区间隧道能耗的增加。因此对于过渡季和冬季较长的寒冷地区和温和地区,地铁屏蔽门系统节能效果并不明显;

(4)对于不同区域地铁站设置屏蔽门是否节能以及节能效果如何与通风空调系统运行工况有很大的关系,需结合各地的气象条件和工程规模等参数作详细规划。

### 参考文献:

- [1]冯炼.地铁网络系统环境控制模拟研究[D].成都:西南交通大学,2001.
- [2]朱颖心,秦绪忠,江亿.站台屏蔽门在地铁热环境控制中的经济行分析[J].都市轨道交通,1996,(4):21-25.
- [3]苏航.地铁车站屏蔽门系统与集成闭式系统运营能耗比较[J].制冷与空调,2008,8(增刊):190-192.
- [4]周伟军,冯炼,罗世辉.过渡季节地铁环控模式比较分析[J].制冷与空调,2008,22(3):101-103.
- [5]武春友,张米尔.技术经济学[M].大连:大连理工大学出版社,1999.

