

地铁活塞效应的节能综述研究

李慧星,靳佳路,冯国会

(沈阳建筑大学市政与环境工程学院,辽宁 沈阳 110168)

摘要:随着地铁行业的蓬勃发展,利用活塞风降低车站能耗成为目前研究的热点之一。首先整理与活塞效应相关的国内外文献,研究活塞效应的形成机理和特性,分析活塞效应对地铁环控系统产生的影响,发现两者间潜在的节能关系。其次分别对隧道活塞风与车站活塞风的利用策略进行综述研究,这些策略主要与通风井的相关设计、列车的行驶、站台门的选择以及门帘的安装等有关,合理地采用这些策略可以为车站降低能耗。最后提出了活塞风的利用原则,在活塞风满足乘客需求的情况下应当优先利用活塞通风,应根据风量、温湿度、二氧化碳浓度以及颗粒物浓度等参数评价活塞风是否满足需求。

关键词:活塞效应;地铁环控系统;能耗;利用策略

中图分类号:U231

文献标志码:A

引用格式:李慧星,靳佳路,冯国会.地铁活塞效应的节能综述研究[J].沈阳建筑大学学报(社会科学版),2024,26(1):57-63.

截至2020年底,中国有45个城市拥有轨道交通系统,运营线路共计244条,运营总长度达到7 969.7 km。其中地铁线路长度为6 280.8 km,占轨道交通总长度的78.8%。在“十四五”期间,国家提出要增加城市轨道交通的运营里程3 000 km。随着城市化的发展,地铁更是被誉为“城市发展的生命线”^[1]。

地铁给人们出行带来便利的同时,也伴随着巨大的能源消耗。韩国的一项能源调查发现,4个城市的地铁站每平方米年平均能耗为645 MJ^[2]。Lin L等^[3]对中国3种公共交通建筑(机场航站楼、火车站和地铁站)的能耗问题进行了样本调查,结果显示地铁站平方米的年平均能耗约为124.9 kW·h,在3种交通建筑中能耗水平位居第二。根据相

关统计数据^[4],2020年中国全年的用电量为75 110亿kW·h,其中第三产业用电量占总用电量的16.9%,2020年全国城轨交通的用电量为172.4亿kW·h,2020年全国城轨交通的用电量占全社会用电量的2.3%,占第三产业用电量的14.3%。而在地铁能耗体系中,环境控制系统的能耗尤为显著,约占地铁总能耗的30%~50%^[5]。环控系统具有较大的节能潜力,降低环控系统能耗成为实现地铁节能的关键。

在环控系统节能的研究中,列车运行产生的活塞风引起了许多研究者的关注。活塞风被认为是影响地铁能耗的主要因素之一^[6]。在炎热的夏季进入车站的活塞风会增大车站制冷机组的负荷^[7]。在春秋两季活塞风则是很好的风力资源,增大了车站公

共区域的自然通风。因此有研究提出利用活塞风替代车站新风机组的思路,并在无锡某地铁站进行了研究,结果发现活塞通风可以满足车站乘客的新风需求^[8]。此外有研究探究冬季改善车站热环境的方法,研究发现冬季列车制动散出的热量,在活塞风作用下进入车站可以把车站公共区域温度提高约1℃^[9]。因此,充分利用活塞风是地铁环控系统的节能有效措施。

一、地铁车站中的活塞效应

1. 活塞效应的形成机制

由于隧道壁的空间限制,当列车在隧道中运行时,在列车尾部形成的负压区将引导空气从开口处进入隧道^[10]。这种列车在隧道内推动气流向前流动的现象被称为活塞效应,推动的气流称为活塞风。在一些研究中,活塞风又被称为列车诱导的非定常气流^[11]。

作为特殊的地下建筑,地铁站内的空间结构很复杂。由于站台门、出入口和通风井的存在,车站环境、隧道环境和室外环境是相互联系的(见图1)。由图1可知,当列车进站时,由列车前部的正压推动的隧道气流进入站台,最终从出口流向室外。当列车离站

时,列车尾部的负压将室外空气经出入口通道吸入站厅,继而流向站台,最终吸入隧道。随着列车的进站与出站,站台门与出入口处发生着周期性的气流运动,这对车站的环境维持和能耗有着重要的影响。

2. 活塞效应对环控系统的影响

列车在隧道中运行,隧道环境存在较为复杂的热量交换,包括列车制动散热(Q_{zd})、车厢空调冷凝散热(Q_{ln})、周围土壤和围护结构散热(Q_{tr})以及与室外空气的热量交换(Q_{sw})等(见图2)。周期性的活塞效应将来自隧道和室外的活塞风带入车站,对车站的热环境会造成影响。

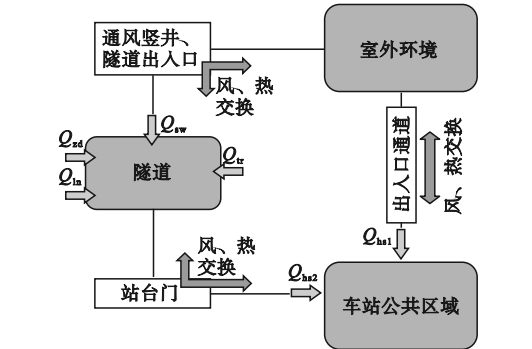


图2 地铁车站风、热交换示意图

根据传热学相关理论,进入车站的活塞风负荷(Q_{hs})的计算可以通过以下公式计算

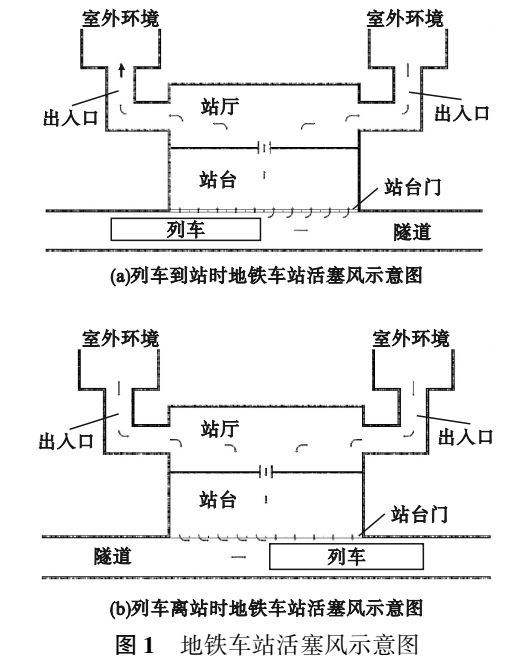
$$Q_{hs} = Q_{hs1} + Q_{hs2} \tag{1}$$

$$Q_{hs1} = \rho c V_{hs1} t_w - \rho c V_{hs1} t_n = \rho c V_{hs1} (t_w - t_n) \tag{2}$$

$$Q_{hs2} = \rho c V_{hs2} t_s - \rho c V_{hs2} t_n = \rho c V_{hs2} (t_s - t_n) \tag{3}$$

式中: Q_{hs} 为活塞风总负荷; Q_{hs1} 为室外活塞风负荷; Q_{hs2} 为隧道活塞风负荷; ρ 和 c 分别为空气密度和比热; V_{hs1} 、 V_{hs2} 分别为出入口活塞风风量、站台活塞风风量; t_w 、 t_s 、 t_n 分别为室外温度、隧道温度和站台温度。

马江燕^[12]对不同车站的出入口活塞风量进行计算对比,其中没有安装站台门车站的活塞风量最大,装有站台安全门的车站活塞风的风量范围在50 000 m³/h~70 000 m³/h,即使是安装屏蔽门的车站,由于活塞渗透风,车站出入口仍存在10 000 m³/h~30 000 m³/h



(a)列车到站时地铁车站活塞风示意图
(b)列车离站时地铁车站活塞风示意图
图1 地铁车站活塞风示意图

的活塞风。如此风量巨大的活塞风对车站环境的扰动是巨大的。

来自室外和隧道的活塞风在不同季节对车站热环境的影响是不同的,具体影响结果如表 1 所示。

表 1 不同季节活塞风的影响

| 季节 | 隧道活塞风 | 室外活塞风 |
|------|-------|-------|
| 夏季 | 利/弊 | 利/弊 |
| 春秋两季 | 利 | 利 |
| 冬季 | 利 | 弊 |

在夏季,活塞效应引起的站台门和出入口进风,将隧道与室外的热量带入车站,这明显增加车站制冷机组负荷。另外,热的活塞风也会给乘客带来不舒适感和健康问题^[13]。而在地铁运营初期,隧道的温度是低的,即使在炎热的夏天,隧道温度仍可保持在 23.5 ~ 27.5 ℃^[14]。根据《地铁设计规范》(GB 50157—2013),地铁站台的夏季设计温度不超过 29 ℃^[15]。因此在某些地区地铁运营初期,来自隧道的活塞风是凉爽的,而不是热的。在春秋两季,车站只进行通风,活塞效应引起的气流交换增大了车站公共区域的自然通风^[16]。冬季的室外温度较低,列车牵引产生的活塞效应使得车站出入口、风井、隧道洞口等位置大量进入外部冷空气,引起地铁内部温度急剧降低,低于地铁设计规范中的要求温度^[17]。冷风渗入被认为是影响冬季车站出入口温度的重要因素。低温还可能引起地铁内部的设备、水管等冻损,影响地铁系统正常运营,安全隐患较大^[18]。与室外低的温度相比,隧道中的温度是温暖的,由于列车制动产生的热量提高了隧道温度,站台门处进入的活塞风将这部分热量带入车站,可以改善车站热环境,提高车站温度。

二、利用活塞风的策略

1. 隧道活塞风的利用策略

通风竖井作为隧道与外界环境的连接通道,研究者主要通过优化通风井的设计,利用活塞风增大隧道通风效率。Kim J Y 等^[19]通过三维数值模拟优化隧道通风井的位置提高自然通风效率,并发现车站附近是通风井

的最佳位置。Xue P 等^[20]通过数值模拟发现,位于车站前的通风竖井比位于车站后的通风竖井作用更大。Wu Y 等^[21]研究了通风井位置和数量对自然通风系统的影响,结果显示,双通风井系统可显著提高空气交换效率。González M L 等^[22]使用 CFD 软件建立了两个典型车站模型,并分析了通风竖井对车站活塞风量的影响,发现活塞效应驱动的瞬时流量可以达到通风系统中产生的总流量的 50%。

也有学者对列车的相关运行进行了研究,Liu M 等^[23]基于三维模拟和实验研究,提出列车运行的最佳列车速度为 30 m/s,列车以最佳速度行驶可以同时满足隧道内二氧化碳浓度和热量释放的最小化。为了增强隧道活塞效应,Cross D 等^[24]提出在列车两侧安装固定角度为 10°的翼型,其研究结果表明在列车运行的不同阶段,通过调节翼型的角度最大可增加 8% 的排风量。

2. 车站活塞风的利用策略

(1) 站台活塞风的利用策略

站台屏蔽门将站台与隧道完全隔开,在夏季最大程度地降低了活塞风对环控系统的影响,减少了空调制冷机组负荷。Hu S C 等^[25]人对中国台北某地铁站使用 SES 进行了模拟研究,发现安装屏蔽门可以降低车站空调机组能耗。同时,屏蔽门的安装提高了站台的空气质量^[26]。但安装屏蔽门的车站无法在春秋两季利用活塞通风,车站的新风负荷量较大,Yin H 等^[27]的一项调查发现车站新风负荷高达 34% ~ 37%,屏蔽门并不是完全密封的,仍存在漏风现象^[28]。

结合屏蔽门与安全门的优势,李国庆^[29]首次提出带有可调节通风口的新型站台门的思路,并且成功研制出新型站台门产品,与传统站台门不同的是,新型站台门系统在固定门的上方和下方装有可调节的百叶风口,通过调节通风口来控制活塞风的进出。新型站台门系统可以实现屏蔽门与安全门的灵活切换,在夏季关闭通风口可以发挥屏蔽门的作用,在春秋两季和冬季打开通风口又可实现

安全门的功能,实现了对活塞风的充分利用。

通风口的开启与关闭通常以室外空气的温度作为判断依据(见表 2),当室外的温度较低($t_w < 12\text{ }^{\circ}\text{C}$)时,活塞风对车站热环境的维持是不利的,此时应当关闭通风口。然而在 Zhang H 等^[30]的研究中认为,通风口开启较小的角度(30°),适量的活塞风进入车站不仅满足了车站新风需求,来自隧道的活塞风又可以将列车制动散出的热量带入车站进而提高车站温度。当室外温度升高($12\text{ }^{\circ}\text{C} \leq t_w < t_1$),车站产生的全部热负荷可以通过活塞通风消除。当活塞通风无法消除全部的热负荷时($t_1 \leq t_w < t_2$),车站风机打开,机械通风与活塞通风共同运行。当室外温度较高($t_2 \leq t_w < t_3$),活塞风会造成车站热负荷的增加,此时关闭通风口。

| 表 2 新型站台门的环控系统运行模式 | | | |
|--------------------|---|-------|---------|
| 通风模式 | 开启条件 | 通风口状态 | 是否利用活塞风 |
| 机械通风 | $t_w < 12\text{ }^{\circ}\text{C}$ | 关闭 | 否 |
| 活塞通风 | | 开启 | 是 |
| 活塞通风 | $12\text{ }^{\circ}\text{C} \leq t_w < t_1$ | 开启 | 是 |
| 机械通风与活塞通风 | | 开启 | 是 |
| 机械通风 | $t_2 \leq t_w < t_3$ | 关闭 | 否 |
| 回风空调 | | 关闭 | 否 |
| 全新风空调 | | 关闭 | 否 |

表格中的 t_1, t_2, t_3 分别为不同通风模式的判别依据,可由下面的公式计算^[30]:

$$t_1 = \frac{\rho c(V_{h1} + V_{h2})t_n - 3\ 600Q_i - \rho cV_{h2}t_i}{\rho cV_{h1}} \quad (4)$$

$$t_2 = \frac{\rho c(V_{h1} + V_{h2})t_n - \rho cV_{h2}t_i}{\rho cV_{h1}} \quad (5)$$

$$t_3 = t_n - \frac{Q_i}{\rho cV_{AUHmax}} \quad (6)$$

式中: V_{AUHmax} 为送风机组风机达到上限时的风量,单位为 m^3/h ; Q_i 为车站的热负荷; h_a 和 h_i 分别为室外空气焓值和空调回风焓值。

Yang Z 等^[31]对新系统进行了数值模拟,研究发现在 5 种运行模式下,不同城市的节能潜力存在差异,非空调季节越长的地区,新系统的节能效果越明显。Zhang H 等^[30]对通风口的位置、开启大小以及角度进行了

数值模拟,研究发现通过调节通风口的开启角度可以满足不同季节的新风和舒适性要求,该系统在温带地区节能效果显著,不同气候区的节能率为 $20.64\% \sim 60.43\%$ 。He D 等^[32]的模拟研究中发现新系统在温带城市节能效果显著,最大节能率为 42.71% ,而在寒冷地区节能率最低,仅为 9.67% ,节能效率存在较大差异的一个可能原因为不同地区的过渡季节长短是不同的,新系统在过渡季节的节能效果最明显。Zhang Y 等^[33]对 PSD 系统,PBD 系统和 PSD-PBD 系统进行了对比分析,能耗结果显示 PSD-PBD 确实可以实现节能,但节能效果仅为 $1\% \sim 8\%$ 。

目前,新型可调节通风口的站台门在中国地铁站的实际应用案例较少,仅在上海的云锦路站使用。Li G 等^[34]对云锦路站的热舒适性和节能效果进行了研究,测量结果显示使用该系统的站内平均温度在 $16.5 \sim 28\text{ }^{\circ}\text{C}$,该系统的节能效果明显。

(2) 出入口活塞风的利用策略

Perna D C 等^[35]在巴塞罗纳的一个地铁站通过现场试验和模拟的方法,利用室内空气速度和压力估算出走廊的空气流量,并通过自动控制系统控制车站的机械通风量达到节能目的。Guan B 等^[36]在制冷季节对两个地铁站进行了现场测量,结果显示车站入口渗入室外空气量大,并进一步发现在不设置机械送风条件下,采用单独回风工况,出入口室外进气量可以满足乘客需求,且 VAC 系统能耗降低 $10\% \sim 20\%$ 。Krasnyuk A M 等^[37]在新西伯利亚地铁某终点站计算了进入车站的室外冷空气的实际体积,研究结果表明,当室外空气温度低于 $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时,暖风幕并不能保证将室外冷空气加热到额定温度。Ma J 等^[38]使用 IDA 地铁仿真软件和现场测试对北方严寒地区的地铁站进行了调查,验证了冬季 64.4% 的热损失由入口活塞效应引起的冷空气侵入造成,采用门帘则可明显降低冷风侵入。

三、结语与展望

从利用活塞效应的形式来看,活塞效应

的利用和控制策略可以分为3个角度:源头、路径和直接利用。列车运行是活塞效应产生的原因^[39],对活塞效应的源头采取一些措施可以增大活塞效应的强度,这些措施包括采取最佳的列车行驶速度(30 m/s)、列车两侧安装固定角度的翼型等。站台门、门帘、通风竖井的使用主要是通过改变活塞气流路径的几何形状(阻力),从而控制公共区域或隧道中活塞风的风量。来自室外的活塞风是可以被直接利用的,在活塞效应作用下,车站的环控系统可以不设置新风机,单独设置回风工况,或者根据活塞风量自动控制机械通风。

通过优化通风竖井的设计,可以有效利用隧道中的活塞风,这些设计包括通风竖井的位置、数量以及尺寸等。这些研究成果应当作为未来地铁隧道设计的重要参考,特别对于正在运营的地铁线路,采用一些措施增大隧道活塞通风也可以达到节能的目的。

对于从隧道进入车站的活塞风,安装站台门是个有效的控制策略。新型可调节通风口的站台门通过开启或关闭站台门上的通风口,调整开启角度和大小,可以实现对活塞风的精确和灵活控制。调节通风口的参考指标往往是室外环境的相关参数,实际上隧道环境的相关参数也应当被考虑,然而现有的研究中忽略了隧道参数的重要性。值得注意的是,对新系统的节能潜力大多数研究是基于模拟的方法计算得到,对新系统运营数据的实测研究较少,这对新系统的推广应用是不利的。尽管相关研究表明气候特性会影响新系统的节能潜力,但新系统在未来仍有很大的发展空间。列车与轨道的摩擦是车站颗粒物的主要来源,活塞效应使得站台颗粒物浓度随列车进站出站发生变化,甚至会大于室外颗粒物浓度。因此,来自隧道的活塞风是否可以被直接利用是值得思考和研究的问题。

通过研究发现,活塞风不仅可以为车站提供可高效利用的通风,在一些情况下,活塞风携带的冷量或热量进入车站,改善了车站的冷热环境。对进入地铁车站公共区域的活

塞风有如下利用原则:当活塞风满足车站乘客需求时,即为相关参数满足规范标准,例如风量、温度、湿度、二氧化碳浓度以及颗粒物浓度等,环控系统应当优先采用活塞通风;当活塞风无法满足需要时,环控系统需要耗能的风机和空调等设备应当作为补充。当环境发生变化,活塞风对车站环境不利时,应当采取一些措施阻止或降低活塞风的侵入,以降低环控系统的负荷。

在未来的地铁建设项目中,地铁活塞风应该是环控系统设计的一项重要参考。目前关于活塞风的控制策略中缺乏针对颗粒物的有效手段,地铁颗粒物也应当是评价活塞风是否满足需求的重要参考指标。新型可调风口的站台门系统已经在中国开始应用,围绕新系统提出全年跨度的环控系统运行方案与相关能耗评价体系,有助于新系统的改进与推广。

参考文献:

- [1] PAN S, FAN L, LIU J, et al. A review of the piston effect in subway stations [J]. *Advances in mechanical engineering*, 2013(5): 950205.
- [2] HONG W, KIM S. A study on the energy consumption unit of subway stations in Korea [J]. *Building and environment*, 2004, 39(12): 1497 - 1503.
- [3] LIN L, LIU X, ZHANG T, et al. Energy consumption index and evaluation method of public traffic buildings in China [J]. *Sustainable cities and society*, 2020, 57: 102132.
- [4] 中国城市轨道交通协会. 城市轨道交通 2020 年度统计和分析报告 [R]. 北京: 北京交通大学出版社, 2021.
- [5] GUAN B, LIU X, ZHANG T, et al. Energy consumption of subway stations in China: data and influencing factors [J]. *Sustainable cities and society*, 2018, 43: 451 - 461.
- [6] 王丽慧. 地铁活塞风与地铁环控节能 [D]. 上海: 同济大学, 2007.
- [7] LI H, TANG B, CHE L, et al. Energy saving potential of air conditioning system of equipment stations in metro systems [J]. *Procedia engineering*, 2017, 205: 3519 - 3524.

- [8] ZHANG Y, LI X. A study of fresh air control in subway stations[J]. Journal of wind engineering and industrial aerodynamics, 2018, 175: 384 – 390.
- [9] ZHANG H, ZHU C, ZHENG W, et al. Experimental and numerical investigation of braking energy on thermal environment of underground subway station in China's northern severe cold regions [J]. Energy, 2016, 116: 880 – 893.
- [10] 董书芸. 北方城市地铁活塞风对地铁环境的影响规律及其有效利用[D]. 天津: 天津大学, 2008.
- [11] ZHANG X, MA J, LI A, et al. Train – induced unsteady airflow effect analysis on a subway station using field experiments and numerical modelling[J]. Energy and buildings, 2018, 174: 228 – 238.
- [12] 马江燕. 北方地区冬季地铁车站热环境及其控制策略[D]. 西安: 西安建筑科技大学, 2020.
- [13] KHAYRULLINA A, BLOCKEN B, JANSSEN W, et al. CFD simulation of train aerodynamics: train-induced wind conditions at an underground railroad passenger platform[J]. Journal of wind engineering and industrial aerodynamics, 2015, 139: 100 – 110.
- [14] 姜波. 地铁运营初期区间隧道气温变化规律研究[J]. 都市轨道交通, 2018, 31(2): 113 – 118.
- [15] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 地铁设计规范: GB50157—2013 [S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2014.
- [16] 李涛. 活塞风对地铁站内环境的影响[D]. 天津: 天津大学, 2005.
- [17] 谷雅秀, 翟彤, 潘嵩, 等. 长春地铁热环境与热舒适实测分析[J]. 都市轨道交通, 2019, 32(5): 25 – 32.
- [18] 韩平. 严寒地区地铁环控系统方案探讨[J]. 铁道工程学报, 2011, 28(6): 81 – 87.
- [19] KIM J Y, KIM K Y. Effects of vent shaft location on the ventilation performance in a subway tunnel[J]. Journal of wind engineering and industrial aerodynamics, 2009, 97(5–6): 174 – 179.
- [20] XUE P, YOU S, CHAO J, et al. Numerical investigation of unsteady airflow in subway influenced by piston effect based on dynamic mesh [J]. Tunnelling and underground space technology, 2014, 40: 174 – 181.
- [21] WU Y, GAO N, WANG L, et al. A numerical analysis of airflows caused by train-motion and performance evaluation of a subway ventilation system[J]. Indoor and built environment, 2014, 23(6): 854 – 863.
- [22] GONZÁLEZ M L, VEGA M G, ORO J M F, et al. Numerical modeling of the piston effect in longitudinal ventilation systems for subway tunnels[J]. Tunnelling and underground space technology, 2014, 40: 22 – 37.
- [23] LIU M, ZHU C, ZHANG H, et al. The environment and energy consumption of a subway tunnel by the influence of piston wind [J]. Applied energy, 2019, 246: 11 – 23.
- [24] CROSS D, HUGHES B, INGHAM D, et al. Enhancing the piston effect in underground railway tunnels[J]. Tunnelling and underground space technology, 2017, 61: 71 – 81.
- [25] HU S C, LEE J H. Influence of platform screen doors on energy consumption of the environment control system of a mass rapid transit system: case study of the Taipei MRT system [J]. Energy conversion and management, 2004, 45(5): 639 – 650.
- [26] KIM K H, HO D X, JEON J S, et al. A noticeable shift in particulate matter levels after platform screen door installation in a Korean subway station [J]. Atmospheric environment, 2012, 49: 219 – 223.
- [27] YIN H, YANG C, YI L, et al. Ventilation and air conditioning system of deep-buried subway station in sub-tropical climates: energy-saving strategies [J]. Applied thermal engineering, 2020, 178: 115555.
- [28] LI X, WANG Y. Simulation study on air leakage of platform screen doors in subway stations [J]. Sustainable cities and society, 2018, 43(11): 350 – 356.
- [29] 李国庆. 用于地铁的可调通风型站台门系统综合技术研究[D]. 天津: 天津大学, 2012.
- [30] ZHANG H, CUI T, LIU M, et al. Energy performance investigation of an innovative

environmental control system in subway station [J]. Building and environment, 2017, 126: 68 – 81.

[31] YANG Z, SU X, MA F, et al. An innovative environmental control system of subway [J]. Journal of wind engineering and industrial aerodynamics, 2015, 147: 120 – 131.

[32] HE D, TENG X, CHEN Y, et al. Piston wind characteristic and energy saving of metro station environmental control system [J]. Journal of building engineering, 2021, 44: 102664.

[33] ZHANG Y, LI X. Research on airflow and energy performance in PBD, PSD and PBD-PSD-combined environment control systems in subway [J]. Sustainable cities and society, 2018, 42: 434 – 443.

[34] LI G, MENG X, ZHANG X, et al. An innovative ventilation system using piston wind for the thermal environment in Shanghai subway station [J]. Journal of building engineering, 2020, 32: 101276.

[35] PERNA D C, CARBONARI A, ANSUINI R, et al. Empirical approach for real-time estimation of air flow rates in a subway station [J]. Tunnelling and underground space technology, 2014, 42: 25 – 39.

[36] GUAN B, ZHANG T, LIU X. Performance investigation of outdoor air supply and indoor environment related to energy consumption in two subway stations [J]. Sustainable cities and society, 2018, 41: 513 – 524.

[37] KRASYUK A M, LUGIN I V, PAVLOV S A. Experimental research into air distribution in a terminal subway station [J]. Tunnelling and underground space technology, 2019, 85: 21 – 28.

[38] MA J, ZHANG X, LI A, et al. Analyses of the improvement of subway station thermal environment in northern severe cold regions [J]. Building and environment, 2018, 143: 579 – 590.

[39] 张德海, 孙绍桐. 基于 BIM 的地铁换乘站工程钢筋有效利用方法; 以沈阳某地铁换乘站工程为例 [J]. 沈阳建筑大学学报 (社会科学版), 2023, 25 (3): 264 – 270.

A Review on Energy Saving of Subway Piston Effect

LI Huixing, JIN Jialu, FENG Guohui

(School of Municipal and Environmental Engineering, Shenyang Jianzhu University, Liaoning, Shenyang, 100168, China)

Abstract: With the thriving development of the subway industry, reducing station energy consumption by utilizing piston wind has become one of the current research hotspots. Firstly, this paper collects and collates relevant domestic and international literature related to the piston effect, studies the formation mechanism and characteristics of the piston effect, analyzes its impact on subway environmental control systems, and discovers the potential energy-saving relationship between the two. Secondly, the utilization strategies of tunnel piston wind and station piston wind are reviewed and studied respectively in this paper. These strategies are mainly related to the design of the ventilation shaft, train operations, platform door selections, and the installation of door curtains. Reasonably adopting these strategies can effectively reduce station energy consumption. Finally, this paper puts forward the utilization principle of piston wind. When the piston wind meets passenger needs, the piston ventilation should be given priority. The evaluation of whether the piston wind meets requirements is mainly based on parameters, such as air volume, temperature and humidity, carbon dioxide concentration, and particle concentration.

Key words: piston effect; subway environmental control system; energy consumption; utilization strategies

(责任编辑:王丽娜 英文审校:贾凡华)