

DOI: 10.11835/j.issn.2096-6717.2022.036



开放科学(资源服务)标识码 OSID:



地下地铁车站屏蔽门渗入风量计算模型

高志宏, 刘猛, 李子桥, 向世曦, 胡梦强

(重庆大学土木工程学院; 国家级低碳绿色建筑国际联合研究中心; 绿色建筑与人居环境营造国际合作联合实验室; 风工程及风资源利用重庆市重点实验室, 重庆 400045)

摘要: 屏蔽门渗透风量是影响地铁车站冷负荷的重要因素。提出一种屏蔽门渗透风量计算模型, 基于测试风速分析, 对屏蔽门单周期渗透风量进行量化, 分不同位置 and 不同阶段研究屏蔽门渗透风的特征, 通过对列车运行因素进行分析, 建立一种屏蔽门渗透总风量的计算方法, 以期对地铁车站的设计计算及运营等工作提供借鉴。结果表明: 不同位置屏蔽门的渗透风速不同, 沿着列车的运行方向, 屏蔽门单周期渗透风速和风量都随门位置的变化而减小, 出站侧的屏蔽门单周期渗入风量约为进站侧的 65%; 不同阶段屏蔽门渗透风量也存在差异, 列车停靠阶段单周期渗透风量最大, 为进站阶段的 10 倍左右; 确定了屏蔽门单周期渗透风量的范围, 并提出相应的计算模型, 据此计算得到地铁车站屏蔽门全天的渗透风量。

关键词: 地铁车站; 屏蔽门; 渗透风量; 计算模型

中图分类号: TU831.2 **文献标志码:** A **文章编号:** 2096-6717(2023)03-0126-08

A calculation model of infiltration air volume of platform screen doors in subway station

GAO Zhihong, LIU Meng, LI Ziqiao, XIANG Shixi, HU Mengqiang

(School of Civil Engineering; National Center for International Research of Low-carbon and Green Building; Joint International Research Laboratory of Green Building and Built Environment; Chongqing Key Laboratory of Wind Engineering and Wind Energy Utilization, Chongqing University, Chongqing 400045, P. R. China)

Abstract: The infiltration air volume of platform screen doors (PSD) is an important factor affecting the cooling load of subway station. This paper proposes a calculation model of infiltration air volume of PSD. Based on the analysis of test wind speed, the single cycle PSD infiltration air volume is quantified, and the characteristics of infiltration air volume of PSD are studied in different positions and stages. Then, through the analysis of train operation factors, a calculation method of total infiltration air volume of PSD is established, in order to provide

收稿日期: 2022-02-09

基金项目: 重庆市高校创新研究群体(CXQT21004); 重庆市建设科技项目(城科字 2021 第 3-10)

作者简介: 高志宏(1997-), 男, 主要从事地铁站环控系统节能研究, E-mail: 928550381@qq.com。

刘猛(通信作者), 男, 教授, 博士生导师, E-mail: liumeng2033@126.com。

Received: 2022-02-09

Foundation items: University Innovation Research Group of Chongqing (No. CXQT21004); Construction Science and Technology Projects of Chongqing (No. 2021-3-10)

Author brief: GAO Zhihong (1997-), main research interest: energy efficiency of environment control system in subway, E-mail: 928550381@qq.com.

LIU Meng (corresponding author), professor, doctoral supervisor, E-mail: liumeng2033@126.com.

reference for the design and operation of subway station. The results show that: (1) the infiltration wind speed of PSD at different positions is different. Along the running direction of the train, the infiltration wind speed and air volume of PSD in a single cycle decrease with the change of door position. The single cycle infiltration air volume of PSD at the exit side is about 65% of that at the entrance side. (2) There are also differences in the infiltration air volume of PSD in different stages. The total infiltration air volume in a single cycle in the train stopping stage is the largest, which is about 10 times that in the train arrival stage. (3) The range of infiltration air volume of single cycle PSD is given, which provides a basis for the calculation of total infiltration air volume, and the corresponding calculation model is proposed, which can calculate the whole day air volume of PSD penetration of subway station.

Keywords: subway station; platform screen doors; infiltration air volume; calculation model

轨道交通已经成为人们出行的主要方式之一,越来越多的城市开始重视城市轨道交通建设。在城市轨道交通地下站场中,全高封闭式屏蔽门得到广泛应用^[1],活塞风引起的屏蔽门渗入风是影响车站冷负荷及地下站场空气质量的一个主要因素^[2-3]。

近年来,获取屏蔽门渗入风量的方法主要有3种:工程经验、模拟和实测。工程经验方面,屏蔽门渗入风量主要选用5~10 m³/s的经验值进行计算^[4]。模拟方法方面,Ke等^[5]、项毅^[6]利用SES软件的运算结果作为CFD模拟的边界条件,计算列车停靠站台后隧道与站台的空气交换量。Hu等^[7]利用SES仿真软件模拟了不同列车到达特征下的无组织渗入风量,并探究了列车到达特征对于无组织渗入风的影响规律。Yang等^[8]通过模拟得出了不同类型活塞风井的隧道通风效果。Li等^[8]利用STESS网格模拟了屏蔽门的漏风量,并对列车发车频率、双侧列车到达间隔、隧道长度及缝隙尺寸的影响进行了研究,提出了屏蔽门漏风量计算公式。对于现行屏蔽门渗入风量的实测手段,学者们多采用间接测量方法,即针对出入口的渗入风量及空调机组的送回风量,通过风量平衡间接得到屏蔽门渗入风量^[9-10]。蓝杰等^[9]通过对车站站台扶梯口的进出风量及送排风管内风量进行测试,得到了间接测试的车站屏蔽门渗入风量,经过分析发现,车站屏蔽门渗入风量主要泄露位置为屏蔽门四周的缝隙。

隋学敏等^[11]指出,模拟计算的不足之处在于现阶段可以模拟计算屏蔽门渗入风量的软件很多,不同软件的计算结果差异较大,与实测数据之间也存在一定差异。对于实测手段,间接测试得到的出入口风速数据与实际屏蔽门渗入风速之间存在一定的延迟^[12],很难让人直观地把握屏蔽门渗入风速及风量。此外,王春旺等^[13]通过测量扶梯口断面风速

获得了总的屏蔽门渗入风量,但这类间接测量方式忽略了每个屏蔽门渗入风量的差异^[11]。

为了更加直观地得到屏蔽门渗入风的相关数据,提出一套针对屏蔽门渗入风速的直接测试方法,定量地将测试数据转化为风量数据,并通过运行因素分析,提出屏蔽门风量计算模型,最终得到屏蔽门全天总的渗入风量。

1 测试介绍

选取重庆市4个轨道交通地下站点进行测试,埋深范围为14.2~46.0 m,站台形式为常见的岛式站台^[14],车站基本使用8节编组列车,每个车站的屏蔽门数量均为48个,为了减少人员活动的干扰,选择客流量相对较少的时段进行测试。

提出两种假设与前提:1)忽略人员活动的影响;2)忽略屏蔽门开启与关闭过程对屏蔽门渗透风的影响。

结合已有研究^[15-17]和车站实际情况制订相关测试方案,沿着列车运行方向,每个测试站点选择站台一侧的进站侧、中间及出站侧3个屏蔽门进行测试,测试时长涵盖一个完整进出站周期。采用手持风速仪的方式对每个门每个测点的渗入风速逐次进行记录,同时仪器上绑上飘带,以辨别风向。列车进出站时屏蔽门四周测点主要分布如图1所示,列车停靠时屏蔽门四周测点主要分布如图2所示。表1所示为测试仪器的基本情况,图3所示为测试现场。

此外,列车进出站时引起屏蔽门渗入风的主要位置是屏蔽门四周的缝隙,经测量,全高屏蔽门滑动门门扇与门楣、门槛面之间的间隙为10 mm,滑动门与滑动门立柱之间的间隙为6 mm,这也满足相关研究及规范对渗入缝隙尺寸的限定^[9,18]。屏蔽门大小尺寸为2 m×2 m。

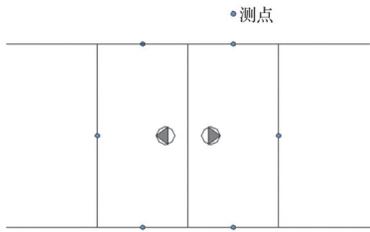


图 1 列车进出站时屏蔽门渗透风速测点分布

Fig. 1 Distribution of measuring points of penetration wind speed of PSD when the train enters or leaves the station

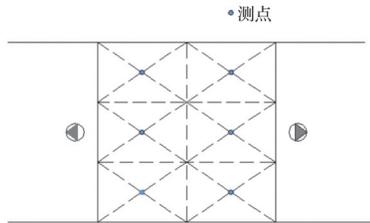


图 2 列车停靠时屏蔽门渗透风速测点分布

Fig. 2 Distribution of measuring points of penetration wind speed of PSD when the train stops



图 3 测试现场图

Fig. 3 Picture of test site

表 1 主要测试仪器及参数

Table 1 Main testing instruments and parameters

名称	测试 量程/ 参数 (m·s ⁻¹)	精度	记录方式	图片
WFWZY-1	0.05~	5%±	自动记	
万向	风速	0.05	录,每 2 s	
风速仪	30	m/s	记录一次	

2 屏蔽门渗透风速

2.1 屏蔽门渗透风的渗透过程

图 4 为屏蔽门渗入风流动示意图,图 5 为出站侧屏蔽门下方靠近出站侧缝隙方向测点一个测量周期内的风速变化,以此作为屏蔽门逐时渗透风速变化示意。如图 4、图 5 所示,按照时间段,屏蔽门透

透风渗入的每个周期划分为 3 个阶段:列车进站、列车停靠及列车出站。列车进站时,由于车头的正压,伴随着列车的运动,隧道内大量空气透过屏蔽门系统缝隙进入车站,风速为正值;列车停靠后,站台屏蔽门开启,由于惯性,列车附近的空气会继续运动,此时渗透风主要通过敞开的屏蔽门进入站台,风速依然为正值;当列车出站时,由于车头的负压作用,车站内的空气会通过缝隙进入隧道,风速为负值。对测试列车进站、停靠及出站的时间进行统计,结果见表 2。结合图 5,将缝隙处风速数据开始增大到屏蔽门开启前的时段视作列车进站阶段(t_1-t_2),屏蔽门开启的时段视为列车停靠阶段(t_2-t_3),屏蔽门关闭到风速减小到很小或者为零的时段视为列车出站阶段(t_3-t_4)。

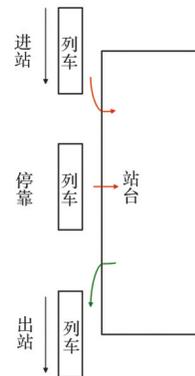


图 4 屏蔽门渗透风流动示意图

Fig. 4 Schematic diagram of infiltration air flow of PSD

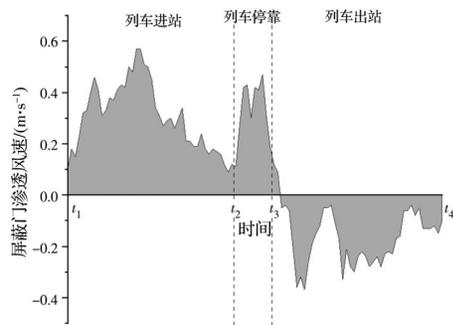


图 5 屏蔽门逐时渗透风速变化示意图

Fig. 5 Schematic diagram of hourly infiltration wind speed change of PSD

2.2 单个屏蔽门渗入风速计算

由于屏蔽门四周缝隙渗入面积不一样,因此,对各测点屏蔽门平均渗入风速取渗入面积的加权平均,可以得到各阶段、各位置单个屏蔽门各阶段渗入风速,处理过程为

表2 8节编组列车车站各阶段时长统计

Table 2 Time length statistics of each stage of eight car marshalling train station

阶段	时间/s
列车进站	99~111
列车停靠	19~21
列车出站	82~94

$$\bar{v}_{i,k} = \frac{\sum_{j=1}^4 v_{i,j,k} S_j}{\sum_{j=1}^4 S_j} \quad (1)$$

式中： $\bar{v}_{i,k}$ 为不同位置屏蔽门不同阶段的平均渗入风速，m/s； i 为屏蔽门不同的位置， $i=1,2,3$ ，分别代表进站侧、中间及出站侧3个位置； k 为屏蔽门渗入风的不同阶段， $k=in, arrival, out$ ，分别表示列车进站、停靠及出站阶段； $v_{i,j,k}$ 为不同位置屏蔽门不同缝隙不同阶段的平均渗入风速，m/s； j 为屏蔽门不同缝隙的位置， $j=1,2,3,4$ ，分别表示上侧缝隙、下侧缝隙、进站侧缝隙及出站侧缝隙； S_j 为不同缝隙的渗入面积， m^2 ， $S_1=S_2=0.02\text{ m}^2$ ， $S_3=S_4=0.012\text{ m}^2$ 。

对于式(1)中的 $v_{i,j,k}$ ，可以进一步利用积分求平均值。

$$v_{i,j,k} = \frac{\int v_{i,j,k,n} dt}{t_k} \approx \frac{\Delta t \sum_{n=1}^{t_k} v_{i,j,k,n}}{t_k} \quad (2)$$

式中： $v_{i,j,k,n}$ 为不同位置屏蔽门不同缝隙不同阶段的逐时渗入风速，m/s； t_k 为各阶段的时长，s，根据表2取值； Δt 为区时间隔，s(理论上与仪器的记数间隔相等)。

2.3 单个屏蔽门渗入风速分析

对屏蔽门渗入风速进行计算整理，得到各位置屏蔽门的平均渗入风速值范围，如表3所示。由表3可见，沿着列车进站的方向，随着屏蔽门位置的变化，屏蔽门平均渗入风速在绝对值上逐渐变小。如图6所示，列车进站时，中间及出站侧屏蔽门分别约为进站侧的76%、67%；列车停靠时，中间侧及出站侧屏蔽门分别约为进站侧的68%、62%；列车出站时，中间侧及出站侧屏蔽门分别约为进站侧的92%、64%。列车出站刚启动时，车尾位置为负压，车头位置为正压，大量空气从进站侧屏蔽门处涌入隧道，伴随着列车运行，出站侧屏蔽门逐渐变为负压，进站侧至出站侧方向屏蔽门两侧压差逐渐减

小，风速数值也逐渐减小。由此可见，在计算屏蔽门渗入总风量时要考虑屏蔽门位置的差异性。

表3 不同位置屏蔽门的平均渗入风速值范围

Table 3 Range of average infiltration wind speed of PSD at different positions

阶段	进站侧/(m·s ⁻¹)	中间侧/(m·s ⁻¹)	出站侧/(m·s ⁻¹)
列车进站	0.67~0.77	0.51~0.58	0.44~0.49
列车停靠	0.47~0.54	0.32~0.37	0.31~0.36
列车出站	-0.63~-0.54	-0.57~-0.50	-0.41~-0.36

注：该风速已经按照射流方式修正为缝隙风速。

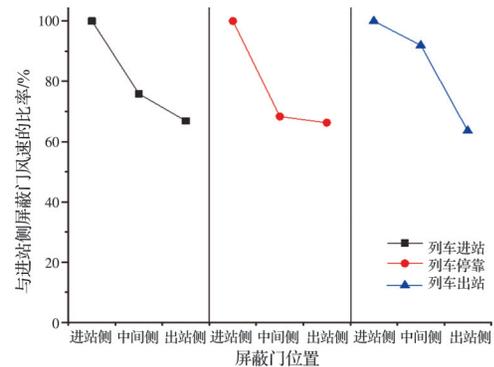


图6 屏蔽门渗入风速随屏蔽门位置的变化

Fig. 6 Variation of infiltration wind speed of PSD with PSD position

3 屏蔽门渗入风量

3.1 屏蔽门渗入风量计算

3.2.1 单个屏蔽门单周期渗入风量计算 基于单个屏蔽门渗透风速的计算分析可以得到各屏蔽门单周期渗入风量。

$$G_i = g_{i,in} t_{in} + g_{i,arrival} t_{arrival} \quad (3)$$

$$G_{i,净} = g_{i,in} t_{in} + g_{i,arrival} t_{arrival} - g_{i,out} t_{out} \quad (4)$$

式中： G_i 为不同位置屏蔽门单周期总渗入风量， m^3 ； $G_{i,净}$ 为不同位置屏蔽门单周期渗入风量净值， m^3 ； $g_{i,in}$ 、 $g_{i,arrival}$ 、 $g_{i,out}$ 分别为不同位置屏蔽门进站、停靠及出站时单位时间内的渗入风量， m^3/s 。

对于式(3)、式(4)中的 g ，可以进一步表示为

$$\begin{cases} g_{i,in} = \bar{v}_{i,in} A_{crack} \\ g_{i,arrival} = \bar{v}_{i,arrival} A_{door} \\ g_{i,out} = \bar{v}_{i,out} A_{crack} \end{cases} \quad (5)$$

式中： A_{crack} 、 A_{door} 分别为屏蔽门四周缝隙的总面积以及屏蔽门面积， m^2 。

3.2.2 单周期屏蔽门渗入风量计算 通过单个屏蔽门单周期渗入风量的计算，可以进一步得到各阶

段屏蔽门单周期渗入风量。

$$G_k = \frac{N}{3} \sum_{i=1}^3 G_{i,k} \quad (6)$$

式中： G_k 为不同阶段屏蔽门单周期渗入风总量， m^3 ； $G_{i,k}$ 为不同阶段不同位置屏蔽门的渗入风量， m^3 ； N 为屏蔽门个数。

通过式(6)求得不同阶段屏蔽门单周期渗入总风量后，便可得到总的屏蔽门单周期渗入风量。

$$G = G_{in} + G_{arrival} \quad (7)$$

$$G_{净} = G_{in} + G_{arrival} - G_{out} \quad (8)$$

$$g = \frac{G}{t_{in} + t_{arrival}} \quad (9)$$

$$g_{净} = \frac{G_{净}}{t_{in} + t_{arrival} + t_{out}} \quad (10)$$

式中： G 为屏蔽门单周期渗入风量总值， m^3 ； $G_{净}$ 为屏蔽门单周期渗入风量净值， m^3 ； g 为单位时间屏蔽门渗入风量， m^3/s ； $g_{净}$ 为单位时间屏蔽门渗入风量净值， m^3/s 。

3.2 单个屏蔽门渗入风量分析

基于上述计算过程，结合表 3 对不同位置屏蔽门各阶段单周期渗入风量进行计算，得到风量范围，如图 7 所示。不同阶段屏蔽门单周期渗入风量随着列车运行方向逐渐减小，这与风速变化规律相符。在列车进出站阶段，每个运行周期不同位置屏蔽门的渗入风量都较小，列车停靠阶段屏蔽门渗入风量较大，这是因为列车停靠时屏蔽门打开，渗入面积是整个屏蔽门而非缝隙，因此，渗入的风量较大，并且风量范围也较大，列车停靠后屏蔽门的单周期渗入风量是列车进站时的 10 倍左右。

图 8 为不同屏蔽门位置屏蔽门单周期渗入风量

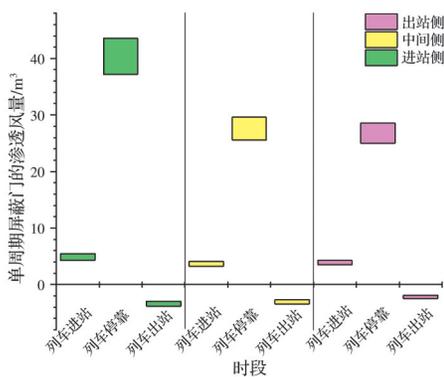


图 7 不同阶段各屏蔽门单周期的渗入风量

Fig. 7 Single cycle infiltration air volume of each PSD in different stages

总量及净量。沿着列车的运行方向，屏蔽门单周期的渗入风量和净量都随着屏蔽门位置的变化而减小，且出站侧屏蔽门单周期渗入风量总量与净量均是进站侧的 65% 左右。

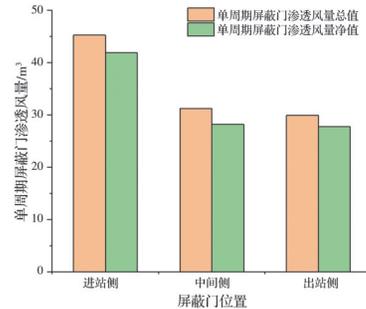


图 8 不同位置屏蔽门单周期的渗入风量

Fig. 8 Single cycle infiltration air volume of PSD at different positions

3.3 屏蔽门单周期渗入风量分析

计算得到不同阶段屏蔽门单周期总渗入风量及各阶段单位时间屏蔽门总渗入风量，并对结果进行简化，得到范围值，见表 4。由表 4 可知，列车停靠时，单位时间内屏蔽门总渗入风量是列车进站时的 42 倍左右，而列车停靠时屏蔽门单周期总渗入风量是进站时的 10 倍左右，这是因为列车停靠阶段渗入面积大，持续时间短。

表 4 不同阶段屏蔽门单周期渗入风量的范围

Table 4 Single cycle infiltration air volume range of PSD in different stages

阶段	单周期屏蔽门总渗入风量/ m^3	单位时间屏蔽门总渗入风量/ $(m \cdot s^{-1})$
列车进站	160~200	1.7~1.9
列车停靠	1 400~1 650	70.8~81.4
列车出站	~150~~120	~1.6~~1.4

结合表 4 及式(7)~式(10)可计算得到单周期、单位时间屏蔽门渗入风量总量及净量，见表 5。屏蔽门单周期总渗入风量净值约为总量的 90%，单位时间内屏蔽门渗入风量净值约为总量的 50%，这种差异主要是由于总量和净值包含的时间区间不同。

4 屏蔽门单日渗入风量计算模型

4.1 两侧列车同时到站的影响

将上、下行侧的列车到站情况分为两种：1) 分别到站。指一侧列车离开后，另一侧列车才驶入站

表5 单周期及单位时间屏蔽门渗入风量的范围
Table 5 Infiltration air volume range of PSD in single cycle and unit time

渗入风量	屏蔽门单周期总渗入风量/m ³	单位时间屏蔽门总渗入风量/(m ³ ·s ⁻¹)
总量	1 560~1 830	12.9~15.3
净量	1 450~1 680	6.4~8.4

台;2)同时到站。指一侧列车还停在站台时,另一侧列车也停靠在站台。

分析两种情况对岛式站台渗透风速的影响,如图9所示。由图可知,两侧列车同时到站时的平均风速比两侧列车分开到站时大,进站侧屏蔽门这种差别更明显。图10列举了几次列车同时到站与分别到站时渗入风量的对比,由图可知,两侧列车同时到站时的渗入风量较大,经计算,两侧列车同时到站时的渗入风量平均是分别到站时的1.1~1.4倍。此外,在测试到的所有周期中,10%~30%的周期是两侧列车同时到站。

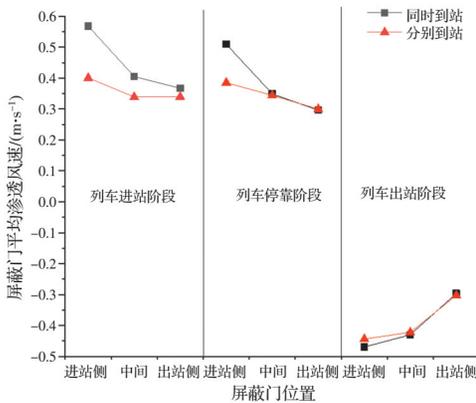


图9 两侧列车同时到站对屏蔽门渗入风速的影响

Fig. 9 Influence of simultaneous arrival between trains on both sides on infiltration wind speed of PSD

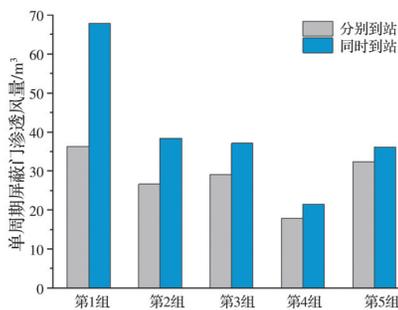


图10 两侧列车同时到站对屏蔽门渗入风量的影响

Fig. 10 Influence of simultaneous arrival between trains on both sides on infiltration air volume of PSD

4.2 计算模型

基于实测情况,并考虑对两侧列车同时到站的影响进行修正,将屏蔽门渗入风量的确定方法总结成计算式

$$G_{total} = [\alpha\lambda + (1 - \alpha)]G \left(\frac{T_p}{\Delta t_p} + \frac{T_u}{\Delta t_u} \right) \quad (11)$$

$$g_{total} = \frac{G_{total}}{T} \quad (12)$$

式中: G_{total} 为单日内屏蔽门总渗入风量, m^3 ; g_{total} 为单日内单位时间屏蔽门渗入风量, m^3/s ; T 、 T_p 、 T_u 分别为单日运行总时长、单日内运行高峰总时长及运行平峰总时长, s ; Δt_p 、 Δt_u 分别为运行高峰及运行平峰的发车间隔, s ; α 为出现两侧列车同时到站的概率, α 可取10%~30%; λ 为考虑两侧列车到站间隔的系数,对于岛式站台, λ 可取1.1~1.4; G 为单次运行周期下车站屏蔽门渗入风量, m^3 ,可参照表5取值。

不同测试仪器给模型带来的误差不同,本研究采用的仪器带来的误差约为10%。

5 应用

可根据表5的风量范围对屏蔽门单周期总风量进行取值,结合式(11)、式(12)车站屏蔽门总渗入风量进行计算。将得到的计算模型用于某4个地铁车站屏蔽门风量计算中,依据现有研究^[7]及车站运行实际数据,相关参数取值如表6所示。

表6 相关参数取值

Table 6 Value of relevant parameters

参数	T_p/s	$\Delta t_p/s$	T_u/s	$\Delta t_u/s$	T/s	λ	$\alpha/\%$
车站1	25 200	180	32 400	300			30
车站2	25 200	180	32 400	300	57 600	1.1~1.4	10
车站3	10 800	120	46 800	240			10
车站4	21 600	360	36 000	600			10

计算时, G 取1 600 m^3 , λ 取1.3,计算结果如图11、图12所示。经计算,4个车站中屏蔽门单日总渗入风量分别为432 512、408 704、497 040、209 280 m^3 ,单日单位时间屏蔽门总渗入风量为27 032、25 544、31 065、13 080 m^3/h 。此外,4个车站高峰时刻单位时间总渗入风量约为平峰时刻的1.7~2.0倍,4个车站高峰时刻占比约为20%~45%。

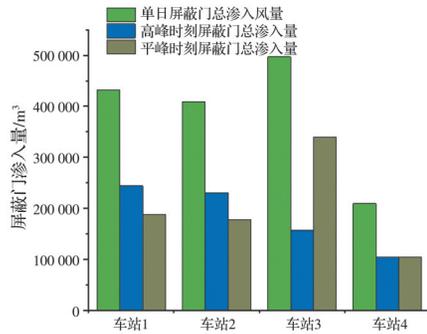


图11 应用案例屏蔽门渗入风量

Fig. 11 Application case screen door infiltration air volume

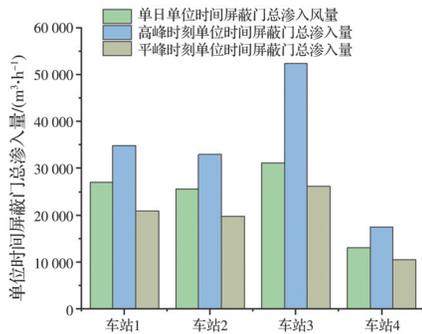


图12 应用案例单位时间屏蔽门渗入风量

Fig. 12 Application case infiltration air volume of PSD per unit time

6 结论

通过直接测量的方式更加直观地获取了屏蔽门渗透风速,对屏蔽门单周期渗入风量分位置、分阶段进行分析,得到屏蔽门单周期总渗入风量,基于对运行因素的分析,提出屏蔽门全天渗入风量的计算模型。得到以下结论:

1)对于不同位置的屏蔽门,沿着列车的运行方向,屏蔽门单周期渗透风速和风量都随屏蔽门位置的变化而减小,出站侧屏蔽门单周期渗入风量总量与净量均约为进站侧的65%。

2)对于不同阶段的屏蔽门,在列车进站及出站阶段,每个运行周期不同位置的屏蔽门渗入风量都较小,列车停靠站阶段,屏蔽门渗入风量较大,列车停靠时屏蔽门单周期总渗入风量是进站时的10倍左右。

3)屏蔽门单周期渗入风量总量为1530~1820 m³,净渗入量为1400~1720 m³;单位时间屏蔽门渗入风量总量为11.5~15.0 m³/s,净渗入量为6.0~8.5 m³/s。

4)基于两侧列车同时到站的因素分析,提出屏

蔽门渗入总风量的计算式。分析发现,两侧列车同时到站时的渗入风量较大,经计算,该渗入风量平均是分别到站时的1.1~1.4倍,基于此,提出屏蔽门渗入总风量的计算模型。

参考文献

- [1] WANG Y, LI X F. Unorganized ventilation in subway stations with platform screen doors [J]. Building and Environment, 2017, 125: 556-564.
- [2] 周伟. 广州全封闭式屏蔽门地铁站自然通风潜力研究[D]. 广州: 广州大学, 2020.
ZHOU W. Study on natural ventilation potential of Guangzhou metro station with fully enclosed platform screen doors [D]. Guangzhou: Guangzhou University, 2020. (in Chinese)
- [3] YANG B, YAO H C, WANG F M. A review of ventilation and environmental control of underground spaces [J]. Energies, 2022, 15(2): 409.
- [4] 张涛, 刘晓华, 关博文. 地铁站通风空调系统设计、运行现状及研究展望[J]. 暖通空调, 2018, 48(3): 8-14.
ZHANG T, LIU X H, GUAN B W. Design, operating status and research prospects of ventilation and air conditioning systems in underground railway stations [J]. Heating Ventilating & Air Conditioning, 2018, 48(3): 8-14. (in Chinese)
- [5] KE M T, CHENG T C, WANG W P. Numerical simulation for optimizing the design of subway environmental control system [J]. Building and Environment, 2002, 37(11): 1139-1152.
- [6] 项毅. 站台屏蔽门渗漏风量的模拟分析[D]. 成都: 西南交通大学, 2007.
XIANG Y. The numerical simulation analysis of the infiltration and exfiltration pattern of airflow via platform screen doors [D]. Chengdu: Southwest Jiaotong University, 2007. (in Chinese)
- [7] HU M Q, LIU M, YOU D, et al. Influence of train arrival characteristics on unorganized ventilation in underground subway station with platform screen doors [J]. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 2020, 198: 104089.
- [8] LI X F, WANG Y. Simulation study on air leakage of platform screen doors in subway stations [J]. Sustainable Cities and Society, 2018, 43: 350-356.
- [9] 蓝杰, 杨礼楨. 地铁站台屏蔽门漏风原因分析及建议[J]. 暖通空调, 2019, 49(10): 1-5, 64.
LAN J, YANG L Z. Cause analysis and suggestion on screen door air leakage of underground railway platform [J]. Heating Ventilating & Air Conditioning, 2019, 49(10): 1-5, 64. (in Chinese)
- [10] 王春旺, 李亮, 李晓锋, 等. 地铁站屏蔽门漏风代替大

- 系统新风可行性研究[J]. 建筑节能, 2019, 47(11): 58-64.
- WANG C W, LI L, LI X F, et al. Feasibility of the air leakage of the PSDs of the subway station instead of the fresh air of air-conditioning system [J]. Building Energy Efficiency, 2019, 47(11): 58-64. (in Chinese)
- [11] 隋学敏, 王靖宜, 郭磊, 等. 屏蔽门系统地铁车站空调负荷研究现状及展望[J]. 铁道标准设计, 2019, 63(12): 141-149.
- SUI X M, WANG J Y, GUO L, et al. Research status and prospect on air-conditioning load of metro station with platform screen doors [J]. Railway Standard Design, 2019, 63(12): 141-149. (in Chinese)
- [12] 陈希. 重庆市屏蔽门地铁车站活塞效应对通风性能影响及利用策略[D]. 重庆: 重庆大学, 2019.
- CHEN X. Influence of piston effect on ventilation performance and utilization strategy in subway station with platform screen door in Chongqing [D]. Chongqing: Chongqing University, 2019. (in Chinese)
- [13] 王春旺, 洪迎迎. 屏蔽门系统漏风量测试与数值模拟分析[J]. 建筑热能通风空调, 2019, 38(1): 39-43, 38.
- WANG C W, HONG Y Y. Numerical simulation and test for air leakage quantity of platform screen doors [J]. Building Energy & Environment, 2019, 38(1): 39-43, 38. (in Chinese)
- [14] 游迪. 屏蔽门制式地下车站出入口渗入新风特性及有效利用研究[D]. 重庆: 重庆大学, 2020.
- YOU D. Study on characteristics and effective utilization of fresh air infiltrating into entrances and exits of underground stations with screen doors [D]. Chongqing: Chongqing University, 2020. (in Chinese)
- [15] 张文榕. 地铁屏蔽门漏风对车站热环境的影响及气流组织优化研究[D]. 西安: 西安建筑科技大学, 2019.
- ZHANG W R. Study on the influence of air leakage from platform screen doors (PSDs) on thermal environment and optimization of air distribution in subway station [D]. Xi'an: Xi'an University of Architecture and Technology, 2019. (in Chinese)
- [16] 龚莫杰. 地铁区间隧道温度特性及其对站台环境的影响[D]. 重庆: 重庆大学, 2014.
- GONG M J. Subway tunnel temperature characteristics and its impact on the site environment [D]. Chongqing: Chongqing University, 2014. (in Chinese)
- [17] 彭治霖. 全封闭屏蔽门系统岛式站台热环境研究及优化[D]. 成都: 西南交通大学, 2011.
- PENG Z L. Enclosed screened door system island platform thermal environment optimization research [D]. Chengdu: Southwest Jiaotong University, 2011. (in Chinese)
- [18] 城市轨道交通站台屏蔽门系统技术规范: CJJ 183—2012 [S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2012.
- Technical code for platform screen door system of urban railway transit: CJJ 183—2012 [S]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2012. (in Chinese)

(编辑 王秀玲)