

文章编号: 1671-6612 (2024) 04-459-06

屏蔽门漏风 对地铁站台公共区弥散送风效果的影响研究

何磊

(中铁第一勘察设计院集团有限公司 西安 710043)

【摘要】 弥散送风系统 (DASS) 能为地铁站台公共区提供舒适的热环境, 但地铁实际运行中站台存在屏蔽门漏风, 对 DASS 送风气流的影响需要进一步研究。采用数值模拟方法, 对屏蔽门漏风作用下站台公共区 DASS 的送风效果进行研究, 并对 DASS 送风板开启位置进行了优化。结果表明: 不考虑屏蔽门漏风作用时, 一侧射流式 DASS 方案的站台公共区温度分布不均匀, 靠近送风口一侧温度高, 局部区域高于 32°C; 列车进站时, 送风侧吊顶满布弥散送风板的方案使送风出现短路, 部分气流直接从楼扶梯口排出, 站台公共区靠近送风口一侧温度高于 30°C, 温度分布不均匀; 楼扶梯附近的吊顶板封闭时, 避免了气流短路现象, 站台公共区温度在 23~30°C 范围内, 送风效果得到改善; 列车离站时, 将楼扶梯附近的吊顶板封闭, 人员活动区温度在 28°C 以内, 满足热舒适要求。

【关键词】 地铁站台公共区; 屏蔽门漏风; 弥散送风系统; 通风效果; 数值模拟
中图分类号 TU831.1 文献标志码 A

Research on Influences of Platform Screen Doors Air Leakage on the Effectiveness of Diffuse Air Supply in Public Areas of Subway Platforms

He Lei

(China Railway First Survey and Design Institute Group Co., Ltd, Xi'an, 710043)

【Abstract】 The diffuse air supply system (DASS) can provide a comfortable thermal environment in the public area of subway platform. However, there is air leakage from the platform screen doors in the real operation, and there is a need to further investigate the impact on the DASS airflow. This paper uses the numerical simulation method to study the ventilation effect of DASS in the platform public area under the influence of screen door leakage, and optimizes the opening position of diffuse panels of DASS. The results show that without the influence of the air leakage effect of the platform screen doors, the temperature distribution in the platform public area of the one side DASS scheme is uneven, and the temperature near the air supply is high with local areas exceeding 32°C. During the train arrival, for the case with the ceiling on the air supply side fully covered by diffuse panels, the air supply experiences a short circuit and part airflow is directly discharged from the escalator entrance. The temperature near the air supply side in the platform public area is higher than 30°C, and the temperature distribution is uneven. When the ceiling panels near the escalator are closed, air short circuit is avoided. The temperature in the platform public area is within the range of 23-30°C, and the ventilation effect is improved. During the train departure, the temperature of the occupied zone is within 28°C when the ceiling panels near the escalator are closed, meeting the thermal comfort requirements.

【Keywords】 Subway platform public area; Air leakage of platform screen doors; Diffuse air supply system; Ventilation effect;

Numerical simulation

0 引言

截至 2023 年底，我国城市轨道交通运营里程 11232.65km，其中地铁与市域快轨长度占比达到 89.1%^[1]。城市轨道交通占比最大的交通方式是地铁，随着人们生活水平的不断提高，对地铁车站热环境的要求越来越高。地铁站台公共区空调常采用混合通风（Mix Ventilation，简称 MV）系统^[2]，高动量送风射流会导致站台公共区乘车人员有强烈的冷风感，且冷空气输送距离长、风管面积大、吊顶内部空间利用率低。为了在高动量送风条件下提高室内热舒适和空气品质并且降低能耗，弥散送风系统（Diffuse Air Supply System，简称 DASS）在丹麦等欧洲国家逐渐兴起^[3]。DASS 利用多孔吊顶板和两板之间的间隙作为送风口，送风先进入送风板和楼板之间的空间，该空间起到均压均流作用，气流再穿过吊顶板进入室内，对下部空间进行降温，其原理如图 1 所示^[3]。

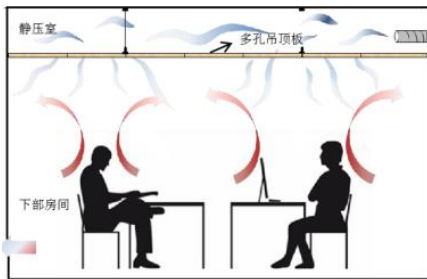


图 1 弥散送风系统示意图^[3]

Fig.1 Schematic diagram of diffuse air supply system^[3]

DASS 送风口面积大，送风气流速度低，使得室内人员无冷风感，特别适用于学校、会议室等

人员集中的场合^[4]。该系统已被引入地铁站台公共区，具有较好的通风效果^[5]。

实际地铁系统中存在屏蔽门漏风，并有大量学者^[6-8]对屏蔽门漏风进行了实测和模拟分析，发现即使在屏蔽门关闭状态下也有较大漏风量，列车进站前，进站口位置风速开始变大，列车离站时，出站端屏蔽门风速迅速增加。当 DASS 用于地铁车站公共区时，屏蔽门漏风的强度可能会比弥散送风的风速要大，会对站台公共区热环境产生影响，但前期对该问题研究较少。

因此，本文以成都某地铁站台公共区采用 DASS 为例，采用数值模拟方法，分析在屏蔽门漏风作用下列车进站和出站过程中站台公共区的热环境，并对站台公共区弥散送风板的开启位置进行优化。论文可为地铁站台公共区弥散送风系统的优化设计提供参考，对地铁节能与舒适具有重要意义。

1 地铁车站概况

本文以成都某典型地铁车站为研究对象，车站为屏蔽门制式，对其站台公共区配置弥散送风系统。弥散送风采用多孔铝板，孔隙率为 19%。该地铁车站站台公共区尺寸为 180m（长）×12m（宽）×4.65m（高），中部有两处上下楼梯和直梯，如图 2 所示。为节省风管，站台公共区吊顶内采用一侧射流式 DASS，送风管布置在站台公共区两端，设有两个送风口，分别布置在站台公共区两端，如图 3 所示。送风口大小为 1.2m×0.8m。

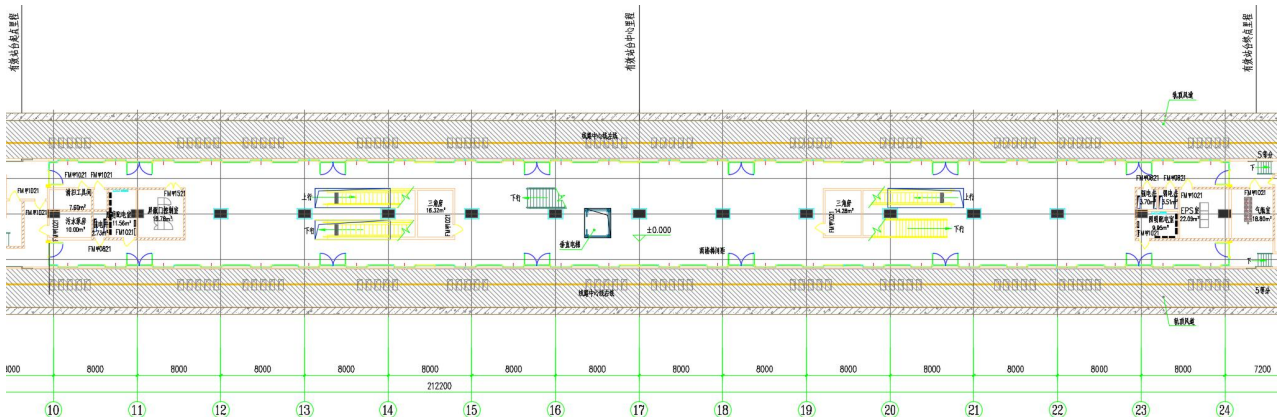


图 2 地铁站台公共区平面图

Fig.2 Plan of Subway Platform Public Area

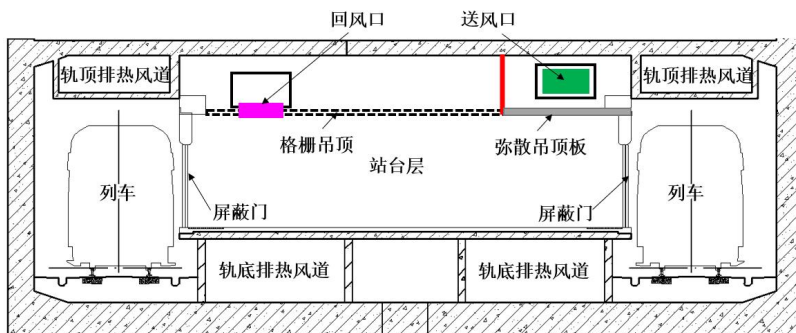


图 3 站台公共区一侧射流式 DASS 剖面图

Fig.3 Cross section view of one side jet DASS in the platform public area

参考该车站空调系统设计参数，远期晚高峰时站台公共区空调系统总冷负荷为 295.2kW，面积指标为 149.8W/m²，具体见表 1。

表 1 站台公共区的负荷

Table 1 Load of half platform public areas

负荷类型	负荷 (kW)
人员	92.4
照明	39.4
广告灯箱	20.4
自动扶梯	6.8
垂直电梯	3.2
通信、导向设备	18.0
屏蔽门	115.0
总冷负荷	295.2

2 数值计算模型

为了研究站台公共区屏蔽门漏风作用下的 DASS 通风效果及其结构优化，建立了相应结构下的数值计算模型。

2.1 一侧射流式 DASS 数值计算模型建立

建立该车站站台公共区 DASS 三维数值计算模型，对车站模型进行简化：

- (1) 由于站台公共区沿长度方向基本对称，为减少计算量，取公共区的一半长度进行建模；
- (2) 将候车人员合并为长方体，并均匀分布在距屏蔽门 0.5m 的位置^[9]；
- (3) 忽略站台公共区与设备管理用房间的传热；
- (4) 由于屏蔽门漏风处不易确定，等效设置单个门缝面积为 2m×0.05m，共 76 个。

建立的站台公共区一侧射流式 DASS 数值计算模型如图 4 所示。

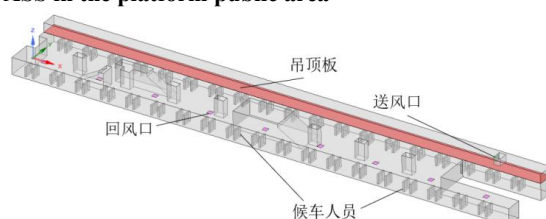


图 4 一侧射流式 DASS 三维数值计算模型

Fig.4 Three dimensional numerical simulation model of one side jet DASS

2.2 边界条件

根据表 1 中的空调系统分项负荷，将人员、照明和灯箱散热量按热流密度平均分布到人体模型和吊顶表面，设备负荷平均布置到柱子上，屏蔽门传热负荷平均布置到屏蔽门上^[9]。本文采用稳态计算，站台公共区设计温度 28℃，DASS 送风温度 19℃，总送风量为 4.8 万 m³/h。送风口采用速度入口、回风口采用压力出口边界条件^[10]。屏蔽门漏风处和楼扶梯为速度入口，根据漏风量确定风速。

考虑站台公共区空气为不可压缩、常物性气体，采用 Boussinesq 密度假设进行浮升力计算，忽略各壁面的辐射换热。弥散吊顶板采用多孔介质模型进行模拟。

2.3 网格划分

模型网格划分采用六面体结构化网格，最大网格尺寸为 0.05m，在送风口、回风口和热源附近对网格进行加密处理，基本网格尺寸如表 2 所示，网格总数为 1730 万。

表 2 网格尺寸表

Table 2 Grid Size Table

X 方向 (mm)		Y 方向 (mm)		Z 方向 (mm)	
靠近墙壁	热源附近	靠近墙壁	热源附近	靠近地面	吊顶板附近
15	10	15	10	50	2

3 结果分析

实际地铁中存在列车运行过程中屏蔽门引起的漏风，漏风引起的气流会对公共区流场和温度场产生影响，本文将分析在无屏蔽门漏风、列车进站和出站过程中屏蔽门漏风作用下站台 DASS 的送风效果。

3.1 无屏蔽门漏风作用下 DASS 送风效果

不考虑屏蔽门漏风，一侧射流式 DASS 作用下站台公共区的纵向截面温度分布如图 5 所示。在人

员所在的 $Y=4.7\text{m}$ 的平面，温度分布不均。由于送风口出风速度高，静压室内送风口附近及后端形成了局部负压，使得下部热羽流穿过弥散送风板进入静压室内，导致送风口后端的静压室内空气温度高于 19°C 。送风射流的温度随送风口距离增大而增大，风口附近几乎没有冷空气进入下部空间，而是从距离风口较远处的送风板进入下部空间，因此离风口较近的下部区域温度高，局部区域高于 30°C ，较远的下部区域温度稍低。

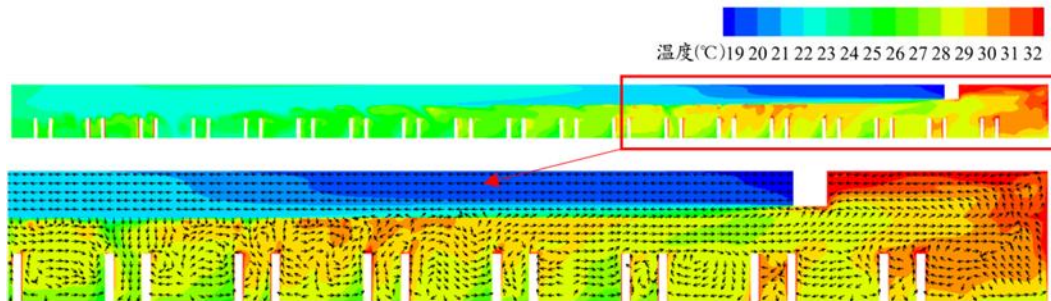


图 5 $Y=4.7\text{m}$ 平面温度云图

Fig.5 Temperature distribution at the plane of $Y=4.7\text{m}$

站台公共区温度值对人员热舒适性的影响很大，取 $Z=1.7\text{m}$ 平面分析乘客头部高度 1.7m 高处的温度值，结果如图 6 所示。由于进入站台公共区的气流不均匀，从而沿行车方向形成了不均匀的温

度场，离送风口较远处区域温度能满足设计要求，但送风口后面的区域送风气流难以到达，部分区域温度高于 32°C 。

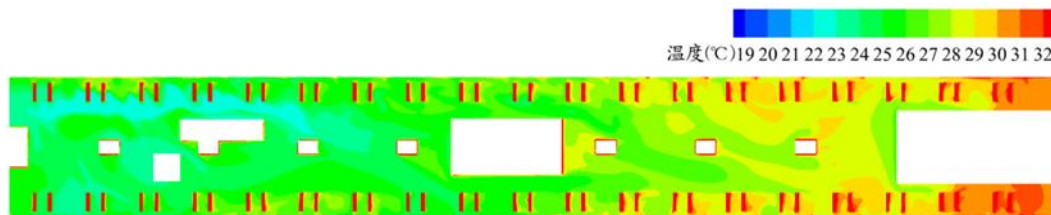


图 6 $Z=1.7\text{m}$ 平面温度云图

Fig.6 Temperature distribution at the plane of $Z=1.7\text{m}$

图 7 所示为一侧射流式 DASS 在 $Z=1.7\text{m}$ 高处的速度分布。由图 7 可知，进入下部空间的气流速度并不均匀，从距离送风口较远处的送风板进入下部空间的气流流量大，而送风口附近的热羽流穿过

弥散送风板进入静压室。回风口与送风口在同侧，导致在站台公共区下部空间内形成从较远处流向送风端的纵向气流流动。

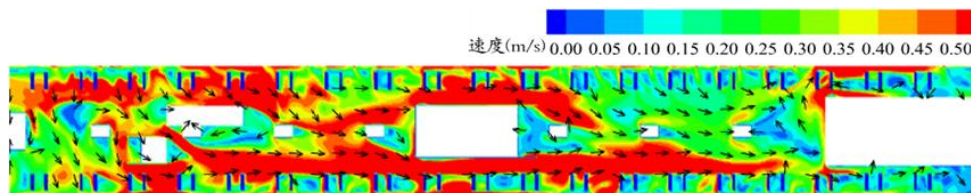


图 7 $Z=1.7\text{m}$ 平面速度云图

Fig.7 Velocity distribution at the plane of $Z=1.7\text{m}$

3.2 列车进站时屏蔽门漏风对弥散送风的影响及优化效果

列车进站过程中，漏风从轨行区隧道通过屏蔽门缝隙流向站台，再流向站厅。送风侧满布弥散送风板送风，仅考虑漏风对流场的影响，因此屏蔽门进风温度按 28℃ 计算。参考文献[11]，屏蔽门漏风量按 6m³/s 计算。

图 8 和图 9 分别给出了列车进站时屏蔽门漏风

作用下站台公共区的纵向和人员头部高度平面的温度分布。除静压室内空气温度和流速与 3.1 节规律类似外，由于送风气流从楼扶梯附近的吊顶板进入站台公共区，送风会直接从楼扶梯排出，导致站台公共区远离送风口一侧温度低，近送风口一侧温度高，温度分布不均匀。离风口较近的下部大部分区域高于 30℃，不满足热舒适性要求，需要对该方案进行优化。

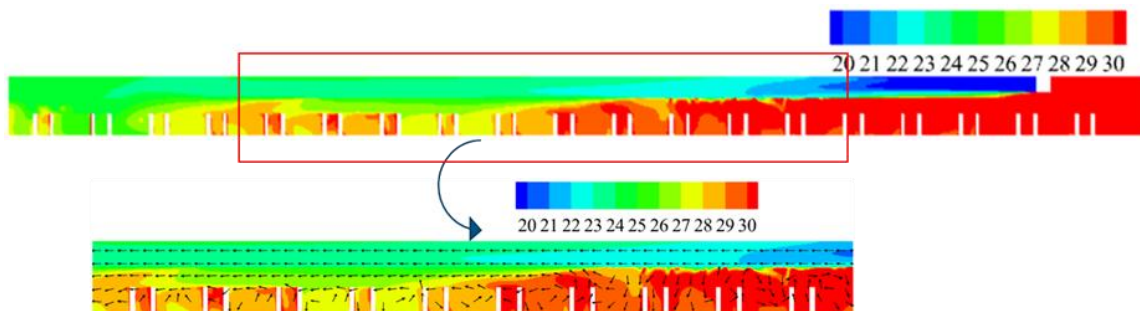


图 8 进站过程 Y=4.5m 平面温度分布图

Fig.8 Temperature distribution at the plane of Y=4.5m during the train arrival



图 9 进站过程 Z=1.7m 平面温度分布图

Fig.9 Temperature distribution at the plane of Z=1.7m during the train arrival

从上述分析可以看出，出现送风端温度高的原因是楼扶梯口气流短路造成，通过改变吊顶板的纵向开口分布，将楼扶梯附近的吊顶板封闭，避免出

现气流短路。优化方案如图 10 所示，其中深灰色部分代表吊顶板开启，其余部分关闭。

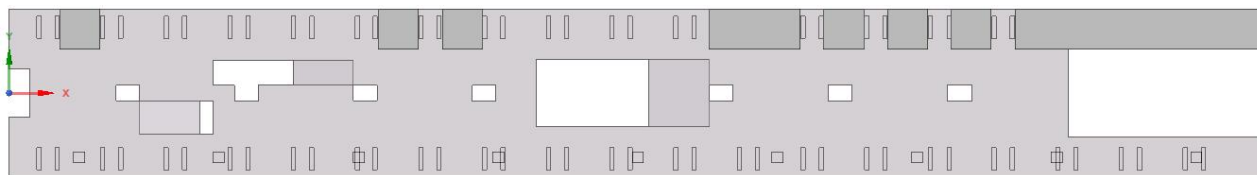


图 10 站台弥散吊顶板优化方案

Fig.10 Optimization scheme for platform diffuse ceiling panels

优化方案的结果如图 11 所示。通过关闭部分靠近楼梯的送风板，可避免送风气流短路，图 11 中站台公共区人员头部平面 (Z=1.7m) 温度分布均匀，站台公共区温度在 23~30℃ 范围之内，在开启

的吊顶板下方空气温度较低。因为屏蔽门漏风的影响，使站台公共区风速分布均匀，满足热舒适性要求。

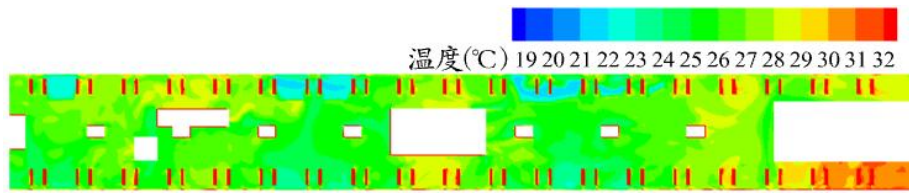


图 11 优化方案 Z=1.7m 平面温度分布图

Fig.11 Temperature distribution at the plane of Z=1.7m for the optimized scheme

3.3 列车离站时弥散送风优化效果

进一步研究列车离站过程站台公共区弥散送风效果,此时屏蔽门出风,气流通过楼梯流向站台公共区、再流向隧道。送风侧弥散送风板按 3.2 节的优化方案布置, DASS 送风参数不变, 楼扶梯口进风为站厅层空气, 温度为 29℃。

离站过程站台不同高度平面的温度分布结果如图 12 和图 13, 人员 1.1m 和 1.7m 高处温度分布较均匀, 且基本都满足 28℃ 的设计要求。两个平面的温度分布相比, 1.1m 高处的温度更低。对于离站过程, 将楼扶梯附近吊顶板关闭, 同样可以满足热舒适性要求。

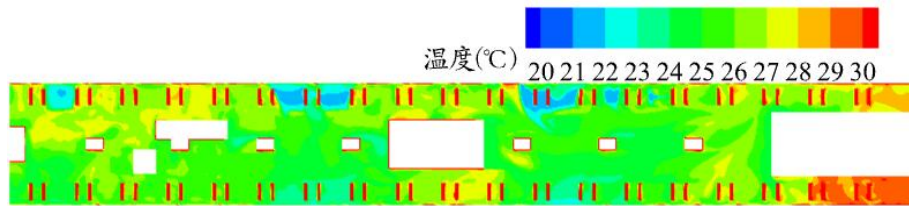


图 12 离站过程 Z=1.7m 平面温度分布图

Fig.12 Temperature distribution at the plane of Z=1.7m during the train departure

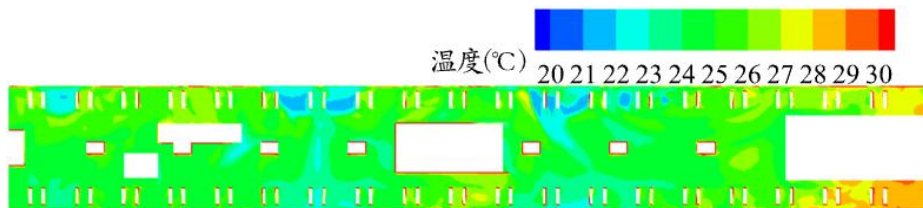


图 13 离站过程 Z=1.1m 平面温度分布图

Fig.13 Temperature distribution at the plane of Z=1.1m during the train departure

4 结论

本文采用数值模拟的方法,对屏蔽门漏风作用下的地铁站台公共区 DASS 送风效果进行研究分析,得到如下结论:

(1) 无屏蔽门漏风影响时,一侧射流式 DASS 站台公共区温度分布不均匀,靠近送风口一侧温度高,局部区域高于 32℃。

(2) 列车进站时,屏蔽门漏风作用会使送风短路,经楼扶梯口流出,离风口较近的大部分区域高于 30℃;关闭楼扶梯口附近的送风板可避免气流短路,站台公共区温度在 23~30℃内,送风效果得到改善。

(3) 列车离站时,采用关闭楼扶梯口附近送

风板的优化方案,站台公共区 1.7m 和 1.1m 高处的温度分布均能满足设计要求。

参考文献:

[1] 中国城市轨道交通协会.2023 年中国内地城轨交通线路概况[R].北京,2024.
 [2] 高彩凤.地铁岛式站台公共区通风空调气流组织方式研究[D].天津:天津大学,2007.
 [3] Yu T, Heiselberg P, Lei B, et al. A novel system solution for cooling and ventilation in office buildings: A review of applied technologies and a case study[J]. Energy and Buildings, 2015,90:142-155.

(下转第 568 页)