

节能型屏蔽门系统的 数值模拟分析

中铁第一勘察设计院集团有限公司 邓保顺[☆] 李德辉
西南交通大学 冯 炼 李 鹏

摘要 采用一维和三维相结合的数值模拟方法,分析了屏蔽门上设置可控风口的节能型屏蔽门系统的速度场和温度场,并对车站的换气量进行了校核。分析结果表明,车站站台、站厅的速度和温度都在乘客可以接受的范围内,换气次数能够满足地铁规范要求;采用这种节能型屏蔽门在过渡季能够满足乘客的舒适性要求,具有较好的节能效果,在降低车站能耗方面有实际的运用价值,可供地铁车站环控设计参考。

关键词 节能 屏蔽门 可控风口 数值模拟 地铁

Numerical simulation analysis of platform screen door systems

By Deng Baoshun[★], Li Dehui, Feng Lian and Li Peng

Abstract By means of combined one-dimensional and three-dimensional numerical simulation methods, analyses the air distribution and temperature field and checks the ventilation rate of the screen door system with controllable-vents. The results show that the air velocity and temperature are acceptable for the passengers and the air changes can meet the requirement of underground railway specification; and that this energy saving platform screen door system can meet the comfort requirements of the passengers and has better effects in reducing energy consumption in transitional seasons, providing a reference for the environmental control design of underground railway stations.

Keywords energy saving, platform screen door, controllable-vent, numerical simulation, underground railway

① ★ China Railway First Survey and Design Institute Group Co., Ltd., Xi'an, China



邓保顺

主要设计项目

- 甘肃省新闻出版大厦
- 甘肃省公安厅快速反应指挥中心大楼
- 铁一院西安基地测绘实验楼
- 西安地铁1、2号线
- 重庆地铁6号线

0 引言

随着地铁的快速发展,地铁环境质量与能耗的矛盾也日益尖锐,其能耗主要包括为保证乘客在整个乘车过程中舒适、安全及健康所需要的空气质量和声光环境而采用的通风空调系统和照明系统等的能耗,以及为保证列车的正常运行及其通风空调系统正常工作,隧道必需的通风系统的能耗。近年来,

由于屏蔽门系统能将列车运行及机车空调产生的热量屏蔽在站台外的隧道内,很好地提高了站台、站厅的空气质量并减少了车站空调负荷,在国内得到了快速的发展^[1-4]。但是在过渡季节,屏蔽门系统无法有效利用列车产生的活塞风对车站公共区进行通风换气,当室外环境温度低于车站控制温度时,有时依然需要开启公共区风机进行通风换气,这无疑是对能源的一种浪费。为了提高过渡季屏蔽门系统的节能效果及更有效地利用活塞风,笔者针对一种新型节能型屏蔽门系统进行了分析,这种节能型屏蔽门

①☆ 邓保顺,男,1970年10月生,大学,高级工程师
710043 西安市西影路2号中铁第一勘察设计院城建院
(029) 82365509
E-mail: dbsxjy@126.com
收稿日期:2010-05-21

系统通过在传统的全封闭式屏蔽门上设置可以电动关闭和开启的百叶窗,在空调季关闭百叶窗,整个系统按屏蔽门系统运行,在过渡季开启百叶窗,利用列车运行的活塞作用增加站台通过进出口等和室外的换气量。本文分析了非空调季各种工况下活塞风对采用节能型屏蔽门系统的地铁车站的影响,其研究结果可对实际的地铁环控设计提供参考和理论指导。

1 数值分析方法及建模

1.1 计算方法的选取

以实际在建的西安地铁一地铁站为研究对象,根据站台、站厅和隧道的实际几何尺寸建立一维和三维物理数学模型,主要采用了 SES 与 CFD 软件。通过一维模型计算得到的活塞风的速度、温度以型函数的形式嵌入三维模型中,作为边界条件定义相关工况下隧道断面的活塞风参数。三维模型计算用连续方程、动量方程、能量方程描述站台与隧道内的气流流动状态,使用 N-S 流动控制方程,湍流模型采用 $K-\epsilon$ 两方程模型,并利用有限容积法离散计算区域,近壁区采用壁面函数法定义边界条件,应用 SIMPLE 算法求解^[5-6]。计算过程方框图如图 1 所示。

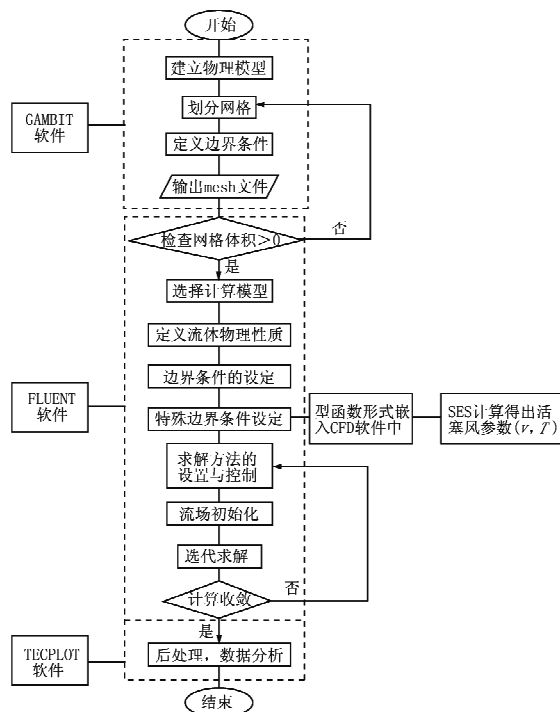


图 1 计算过程方框图

1.2 模型的建立

图 2 为整个车站的模型图。将屏蔽门风口设置在 2.7~3.0 m 高度处。风口均位于固定门及

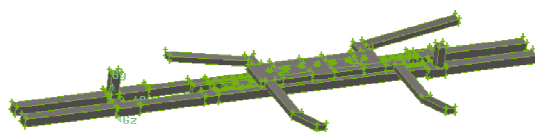


图 2 车站模型

应急门上,尺寸为 300 mm×1 000 mm。网格划分的质量对计算有着重要的影响,本文涉及的计算模型相对比较规则,在对一些细节进行简化后,除对于楼梯口等局部不规则区采用非结构化网格外,尽量采用结构化网格,力求使计算在符合实际的情况下能够快速收敛。

1.3 边界条件的确定

1)在上、下行线隧道两端距离各侧站台端 120 m 的截面位置,均定义为速度入口边界。采用型函数的形式嵌入 CFD 软件中,活塞风的风速、温度变化曲线由 SES 软件计算得出。

2)车站人员出入口、活塞风井顶部均定义为压力出口边界。

3)固体边界选取对速度取无滑移的边界条件。

4)将人员、照明灯具和广告灯箱、指示牌、售票厅等的发热量按照负荷面积指标均匀赋予地面及壁面边界。

2 模拟计算结果及分析

为了准确模拟列车进、出站时的速度场、温度场分布,将列车进、出站情况组合为两列车同时进站、两列车同时出站、一列车进站一列车出站三种工况进行分析,进站工况用字母 J、出站工况用字母 C 表示。选取西安 4 月的室外气象参数作为计算数据。

现以 JC 工况为例进行分析。主要模拟车站上行线列车刹车进站,下行线列车出站,运行时长 20 s 的情况。

2.1 速度场分析

2.1.1 可控风口中心位置站台速度场分析

为了分析 JC 工况对站台速度场带来的影响,截取可控风口中心位置的站台速度场分布图(见图 3)。图 3a 为 $z=-4$ m 侧,即靠近上行线隧道的风速分布图。图中各个时刻的空气流速都出现多个峰值,峰值位置是与可控风口的位置相对应的。在该工况的初始时刻,上行线列车刹车进站,活塞风速不断减小,通过屏蔽门可控风口进入站台的风速也不断减小。而下行线列车出站时,随着出站列车不断驶离站台,又将站台空气通过可控风口

抽走,站台内风速不断增大,站台长度方向上出站端风速较大,约为 3.0 m/s(见图 3b)。

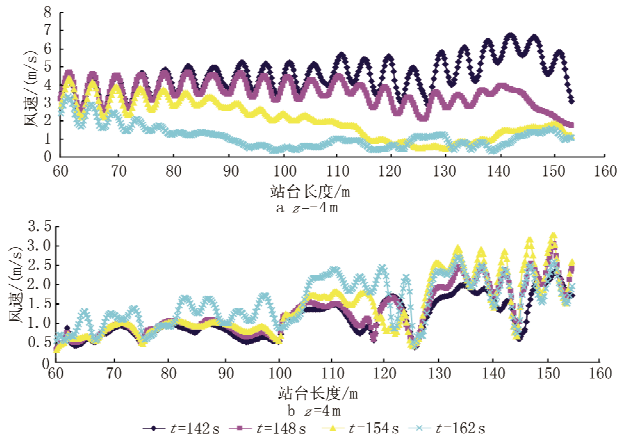


图 3 可控风口中心高度站台处速度曲线

2.1.2 车站楼梯断面速度场分析

楼梯口是唯一连接站台与站厅的狭窄通道,因此活塞风对站厅层气流的影响直接决定了该层的气流组织。图 4 给出了楼梯断面的速度场。在 $t=142$ s,大量的站台活塞风通过楼梯口进入站厅,风

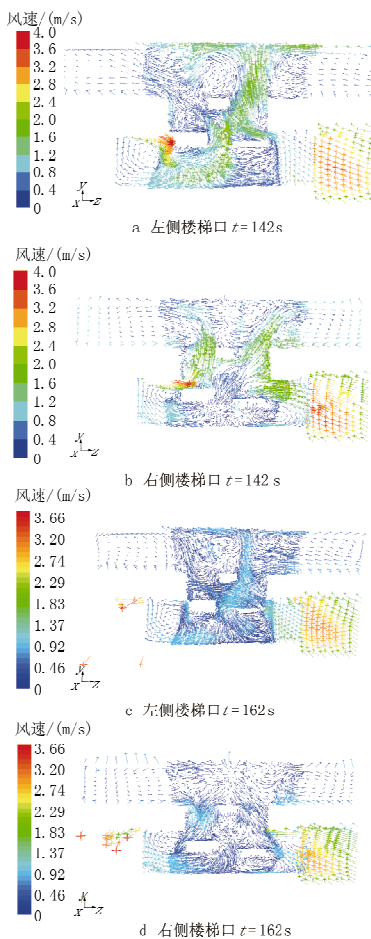


图 4 楼梯断面随时间变化速度场

速达到了 2 m/s。左侧的楼梯口受活塞风影响更强烈。在第 162 s,气流只通过左侧的楼梯口进入站厅,风速减小到 0.95 m/s,而右侧的楼梯口处气流从站厅进入站台,风速较小,为 0.85 m/s。因此,列车刚开始刹车进站时,气流均从站台流向站厅,而随着列车驶出站台,部分站厅气流又被吸入站台。

2.2 温度场分析

图 5 为站厅温度场分布图。由于列车出站导致上行线出站端的人员出入口始终从室外吸入冷空气,因此该侧温度一直较低,大约为 22 ℃。两楼梯口之间贴近墙壁的区域温度最高,约为 27 ℃。整个断面平均温度约为 24 ℃。

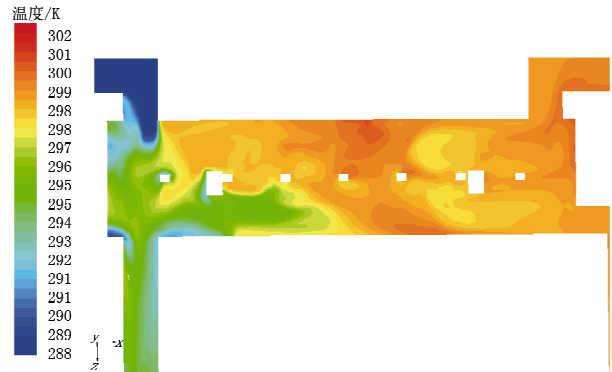


图 5 站厅温度场分布

2.3 车站换气量随时间变化分析

从图 6 可以看到,在 JC 工况下,有大量的活塞风不断进入站台,随着列车速度的降低,从隧道进入站台的气流减少,导致站台的换气量减小,站台进入站厅的气流也不断减少,在第 162 s,受列车出站的影响,从室外吸入站厅的空气量相对增大,部分站厅空气被带入站台,于是站台的换气量又开始增加。按照地铁规范要求的 5 h^{-1} 的换气次数计算得到的理论换气量来校核,由图 6 分析可知站厅始终满足要求,站台在第 156~162 s 时稍低,但考虑到图中所示只是瞬时换气量,因此并不会给站台乘客带来不舒适的感觉,说明该工况是能够满足要求的。

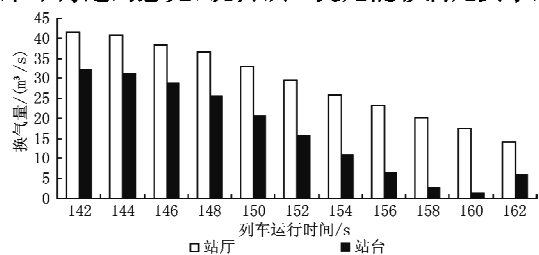


图 6 站台、站厅换气量随时间变化

(下转第 94 页)