

地铁车站屏蔽门漏风量模拟计算分析

张发勇 巩云 杨巨澜

铁道第二勘察设计院

地铁车站屏蔽门漏风量模拟计算分析

The Simulation Analysis on air leakage of Platform Screen Door in Subway Station

张发勇 巩云 杨巨澜
(铁道第二勘察设计院)

摘要: 本文应用通用流体分析软件 STAR-CD 对地铁车站屏蔽门漏风量进行模拟计算,得出列车停站期间屏蔽门开启后站台内空气通过屏蔽门渗入到隧道的空气量,为确定车站空调负荷提供依据,并为今后更为准确的计算奠定基础。

关键词: 地铁车站 屏蔽门漏风量 STAR-CD 空调负荷

Abstract: Applying the famous Computational Fluid Dynamics software: STAR-CD, the paper had analysed the air leakage of platform screen door in subway station. After obtaining the leakage of the platform air through the platform screen door to tunnel during the train stopped in subway station, the load of air-condition in subway station can be determined according to this analysis. The results of the analysis can be the foundation of further research.

Key words: subway station, the air leakage of platform screen door, STAR-CD, the load of air-condition

1 概述

随着我国国民经济的发展与城市化水平的不断提高,越来越多的城市开始建设并拥有地铁。屏蔽门(Platform Screen Door, PSD)系统于 20 世纪 80 年代出现,由于其节能、安全、美观等特点,在地铁中的应用越来越广泛。目前上海、广州、深圳、成都等城市的地铁都采用了屏蔽门系统。屏蔽门系统的应用使隧道与车站分隔开来,大大减小了车站公共区空调负荷,对减小车站空调设备容量起到了十分重要的作用。

地铁车站在运营期间,屏蔽门开启后,由于屏蔽门两侧隧道与车站热压与风压的共同作用,会造成屏蔽门两侧空气的对流现象,这种现象会带来车站空调负荷的变化。目前地铁隧道通风系统设计中普遍使用美国交通部开发的地铁环境模拟软件 SES(Subway Environment Simulation),但由于其计算原理的限制,故不能计算列车停站期间屏蔽门的漏风量。国内

地铁车站空调设计过程中使用的屏蔽门漏风量所造成的空调负荷占车站空调负荷的 15%左右,由此可以看出漏风量的大小对车站空调负荷的影响比较显著。因此,地铁车站屏蔽门漏风量大小对确定地铁车站空调负荷具有重要作用,同时可以为空调设备容量的确定提供依据,避免由于负荷估算过大造成浪费,在国家提倡建立节约型社会的今天具有现实意义。

伴随着计算机技术的日益发展,计算流体力学(Computational Fluid Dynamics, CFD)技术也得到了长足进步,已成为地铁通风空调设计的重要手段。CFD 技术是现代模拟仿真技术的一种,是近年来发展迅速的一种计算机辅助设计技术,其作用是对各种工况下气流组织的温度、速度场等进行模拟计算。通常而言,地铁通风空调系统设计有多种可选方案,而运营后的气流场与温度场等参数无法在设计阶段得到,因此利用计算机模拟技术对各种方案进行模拟计算,可以对设计中的地铁通风空调系统效果进行预测。采用 CFD 方法,可以对地铁车站及隧道的温度场、速度场、污染物浓度分布及排放、人体舒适性,以及火灾情况下的通风模式、烟气流动状况及此情况下的温度场和速度场进行三维可视化仿真模拟。通过一次完整的模拟计算,就可以得到任意一个断面的任意方向上的温度、速度、压力、平均空气年龄、以及 PPD(预期不满意百分率)与 PMV(预期平均评价)等随时间的连续变化值,并且模拟所得出的计算数据经处理后的可视化结果十分直观。因此,利用计算流体力学模拟技术完全可以对地铁屏蔽门漏风量进行定量分析,进而指导车站空调设计。

2 模型的建立

本算例以我院参与设计的上海某地铁线路的某车站为计算对象,利用著名的商用流体分析软件 STAR-CD 对屏蔽门漏风量进行模拟计算。

2.1 模型简介

模拟计算车站为地下三层岛式车站,地下一层为站厅,地下二层为设备层,地下三层为站台层。站厅有四个出入口通道与大气相通。站厅与站台通过两座封闭楼梯连接,因此设备层除楼梯部分外,其他部分没有必要纳入计算模型。屏蔽门沿站台边缘设置,以有效站台中心线为基准向两边对称布置。每侧屏蔽门的活动门 30 个(宽*高=2000mm*2000mm)。列车进站停稳后,该侧活动门打开,乘客上下后,活动门关闭,列车出站。车站隧道设有 UPE/OTE 排热系统,上、下行线隧道各设一台排热风机。车站前后每条隧道两端设有两座活塞风井,共四座。根据地铁运行模式,两侧屏蔽门同时打开上下客的情况非常少,所以采用一侧屏蔽门打开,一侧屏蔽门关闭的几何模型进行计算具有合理性。

首先利用三维 CAD 软件建立整个车站主体、风道、活塞风井的几何模型,由于 STAR-CD 生成的是贴体网格,具有良好的适应性,因此建立的几何模型可与实体结构基本一致。空气在建筑物内部流动的过程中,局部阻力往往是影响空气流动的主要因素,因此地铁车站公共

区与隧道通风机房的几何结构对计算结果影响较大,完整的几何模型可以更准确地反映空气的实际流动情况。建立好三维 CAD 几何模型后,再利用 STAR-CD 中自身强大的自动网格生成器 PROAM 软件划分网格。网格类型选用非结构化的六面体网格。在利用 PRO-AM 的过程中,应当注意参数的选择,过大的网格可能导致计算结果失真,或者根本无法计算,过小的网格会导致网格数量偏大而增加计算时间。最后对流动复杂的区域进行局部加密,所得网格总数约为 110 万个。计算几何模型与网格划分情况如图 1 所示。

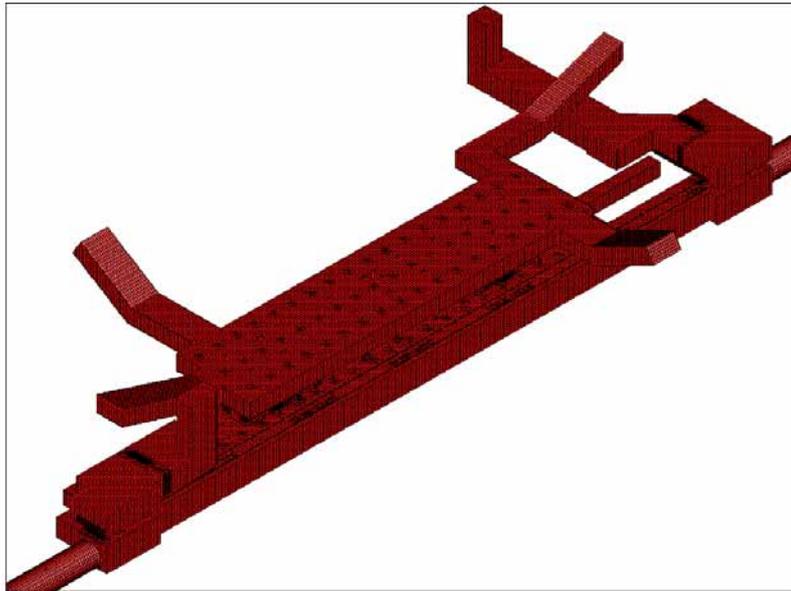


图 1 计算模型示意图

2.2 模拟计算方法与边界条件设定

地铁车站的空气流动属常温常压、非定常、低 Reynolds 数流动,计算时采用近年来室内流场数值模拟中使用比较广泛的 RNG $k-\varepsilon$ 双方程湍流模型,速度-压力耦合采用 SIMPLE 算法,STAR-CD 软件自身采用有限体积法 (Finite Volume Method, FVM) 推导离散方程。

以满足工程要求为前提,对实际情况进行假设可以达到节省运算成本、缩短计算周期的目的,计算边界条件的设定如下:

将空调房间的内墙、车站出入口通道侧墙、立柱壁面、风管壁面、回风室壁面和隧道壁面等设为等温墙体边界。地铁列车发热部位同样设置为墙体边界,并按设计要求设定相应发热量;

车站出入口通道、活塞/机械通风井与大气交界处设为压力边界;

假设送风入口处流体参数均匀,车站公共区空调送、排风口分别设定为进口型边界和出口型边界,均设置为在距地面 3m 的吊顶位置;

隧道车行区顶部与站台板底部的排风口一直处于开启状态,各风口的排风量均匀,单台排热风机总排风量为 $50\text{m}^3/\text{s}$ 。

3 计算结果

通过对实际地铁车站建立物理数学模型,进行计算后可以得到整个车站及其相邻隧道的温度场、速度场、压力场等参数,这样就可以得到计算区域内任意时间的任意一点的各个参数值。由模拟计算结果可知,地铁车站出入口与活塞/机械风口均进风,分别通过车站公共区与隧道通风机房进入车站轨行区,并通过车行区排热系统(O TE/UPE)排至室外。图2为车站横断面速度分布图。车站站台通过各个屏蔽门与隧道所交换的风量有差异,靠近两个自动扶梯的屏蔽门交换的风量大,处于车站中间位置的屏蔽门均较小,如图3所示。

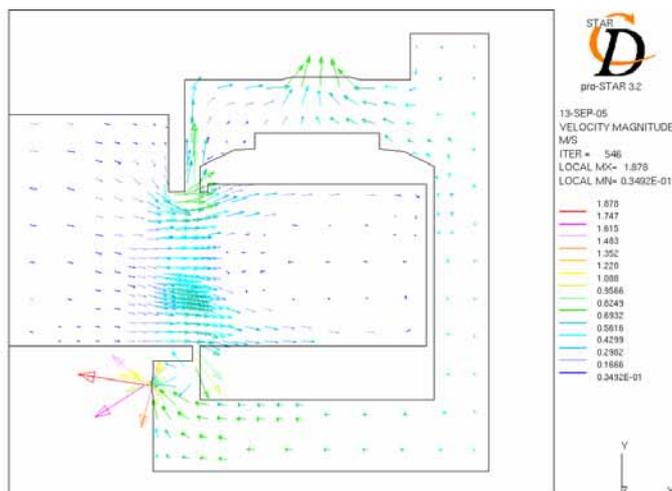


图2 车站横断面速度分布示意图

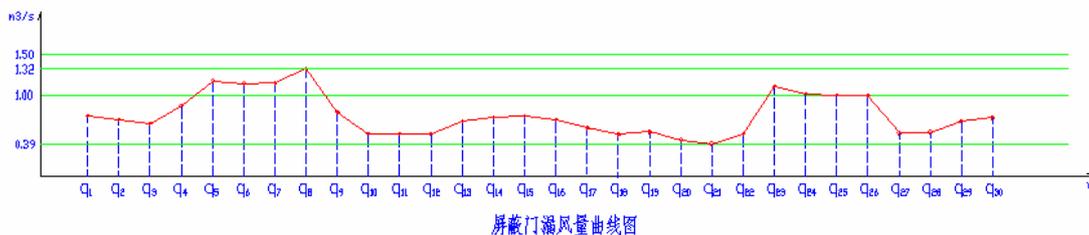


图3 屏蔽门漏风量计算结果曲线图

4 结论及建议

利用先进的计算流体力学软件,通过对地铁车站的三维几何模型的建立、数据化网格的划分、差分格式的确定,以及边界条件的设置,可以达到对地铁车站空调系统的屏蔽门漏风量进行研究的的目的,其结果可以为车站空调通风设计起到积极地指导作用。

模拟计算表明,OTE/UPE排热风量设计为 $50\text{m}^3/\text{s}$ 时,目前国内地铁车站设计时选取的屏蔽门漏风量而造成的空调负荷普遍偏小。城市地铁在运营过程中,车站客流量将随着地铁年限的增加而增加,相应地列车行车对数将会加大,到远期运营时空调负荷将达到最大。车站

空调设备容量是按远期高峰时段空调负荷最大时选择的,如果屏蔽门漏风量值选取偏小,则有可能出现车站温度较设计值偏大的情形。

地铁车站屏蔽门漏风量的大小主要反映为室外空气通过活塞风井和隧道通风机房到达 OTE/UPE 时的通风阻力与室外空气由车站出入口和车站公共区并通过屏蔽门到达 OTE/UPE 的通风阻力比值的大小关系。因此,在车站公共区建筑方案一定的前提下,建议增大活塞风道净过风面积并尽量缩短活塞风道长度来减小屏蔽门漏风量的大小。

车站内部的冷空气通过屏蔽门所造成的冷负荷的主要原因是车站 OTE/UPE 系统的作用,其系统形式对屏蔽门漏风量影响最大。因此,可以对车站排热方式进行优化,这样不仅可以减小由于屏蔽门漏风所造成的空调负荷,减小运营成本,同时也达到对列车发热进行更好控制的目的。

5 参考文献

- [1] H.K.Versteeg and W.Malalasekera. An Introduction to Computational Fluid Dynamics. 世界图书出版公司北京公司,2000.
- [2] 上海市隧道工程轨道交通设计研究院. 城市轨道交通设计规范 DGJ08-109-2004.
- [3] 北京城建设计研究总院. 地铁设计规范 GB 50157-2003. 中国计划出版社,2003.
- [4] User Guide of Computational Fluid Dynamics Software STAR-CD VERSION 3.2
- [5] Methodology of Computational Fluid Dynamics Software STAR-CD VERSION 3.2
- [6] 徐丽,翁培奋. 分层空调房间内气流组织的数值分析. 上海大学学报,2002,8(5):447-451.
- [7] 谭洪卫,村田敏夫. 空调设计中的 CFD 应用. 殷平主编,现代空调,中国建筑工业出版社,北京,1999.6.
- [8] 龚光彩. CFD 技术在暖通空调制冷工程中的应用. 暖通空调,1999,29(6):25-27.
- [9] 陶文铨. 数值传热学. 第 2 版. 西安交通大学出版社,2001.5.