

低温空气源热泵热风机分散采暖分析

山东建筑大学热能工程学院 韩 韬 刘 芳 王 强

【摘 要】近年来,低温空气源热泵热风机(以下简称“热风机”)在北方清洁分散供暖中得到广泛应用。针对北方农村典型房屋冬季采用热风机采暖工况进行了数值模拟及实验研究,通过室内的温度场、速度场探讨了热风机对室内环境的影响。研究表明,采用数值模拟方法及实验研究方法得热风机室内温度均达 16℃以上,室内整体风速人体感觉较为舒适,热风机适合在北方寒冷的分散式供热农村地区推广应用。

【关键词】空气源热泵;热风机;数值模拟;实验研究

科技计划项目:山东省重点研发计划(2019GGX103046)

DOI 编码:10.16641/j.cnki.cn 11-3241/tk.2019.06.010

Study on distributed heating of low temperature air source heat pump hot air blower

Department of thermal engineering Shandong Jianzhu University

Han Tao, Liu Fang, Wang Qiang

Abstract: The CFD numerical simulation and actual data analysis were used to analyze the air temperature field, velocity field of the low temperature air source heat pump hot air blower (hereinafter referred to as “hot air blower”) in the winter working condition of a type of houses in the north of China. The research results show that the indoor temperature of the hot air blower is more than 16℃ by numerical simulation method and experimental research method. The human body feels more comfortable and the overall wind speed in the room. The hot air blower is suitable for popularization and application in the cold distributed rural heating area in the north.

Keywords: air source heat pump; air heater; numerical simulation; experimental study

0 引言

农村地区冬季清洁取暖问题越来越受到人们重视。农村地区人少地广,集中式供热系

统不适用,更多采用分散式采暖系统。但传统的燃煤采暖炉附加散热器的方式存在燃料热转化效率低,煤烟排放量大,环境污染严重。

随着国家“煤改电”政策的推进和实施,采用散煤取暖的模式正逐步被利用清洁能源的低温热泵热水机与热风机所替代。

马荣江等研究了热风机热泵在北京冬季室外气温条件下运行情况,营造了适宜的房间温度。结果表明热风机运行能耗低,出热快,非常适合在寒冷地区特别是北京农村地区推广,替代现有的高污染散煤采暖^[1]。狄育慧等利用 CFD 模拟软件 Airpak 对某办公室室内气流组织速度场、温度场进行模拟计算,并用实测数据与模拟结果进行对比,得到实测数据与模拟结果不符合的结果^[2]。刘鑫等利用 Airpak 对某办公室三种空调送风方式的温度场、PMV-PPD 值进行模拟分析,研究结果说明位于中间顶部顶送侧回的空调系统的气流组织效果最佳,从而为改善空调房间的热环境设计提供了方法和理论依据^[3]。

本文选取济南某典型的农村住宅作为研究对象,采用 CFD 方法及实验研究方法,对室内的温度场分布和气流组织进行了分析,得出热风机基本可承担北方农村地区房间热负荷;数值模拟方法与实验研究方法所得温度、风速趋势一致;为热风机在北方农村农户中的适用性推广应用提供必要的理论基础。

1 物理模型与数学模型的建立

1.1 物理模型的建立

计算选用的物理模型取自冬季的济南市农村某户型房间,物理模型如图 1 所示。

坐标参考:起始点坐标(0,0,0),终止点坐标(5.6,3,2.7),分别对应图 1 中房间的左上、右下角点。

1.2 数学模型的建立

本文采用陈清焰教授在 1998 年提出的零方程模型(Zero Equation model)^[4]。此方程不需要求解微分方程,相对双方程 k-ε 湍流模型,其处理室内问题更容易收敛且节约计算资源^[5]。为简化计算做如下假设:

1) 室内空气为稳态紊流,且符合 Bossinesq 假设^[6];

2) 室内空气为辐射透明介质;

3) 不考虑外窗、房间门等漏风影响。

根据假设,基本的控制方程通用形式:

$$\frac{\partial(\rho\phi)}{\partial t} + \text{div}(\rho U\phi) = \text{div}(\Gamma \text{grad}\phi) + S_\phi \quad (1)$$

1.3 边界及初始条件的设定

1) 室外计算参数(初始条件):干球温度 -7.7℃;室内计算参数:温度 10℃,相对湿度 50%;室内模拟计算的边界条件如表 1 所示。

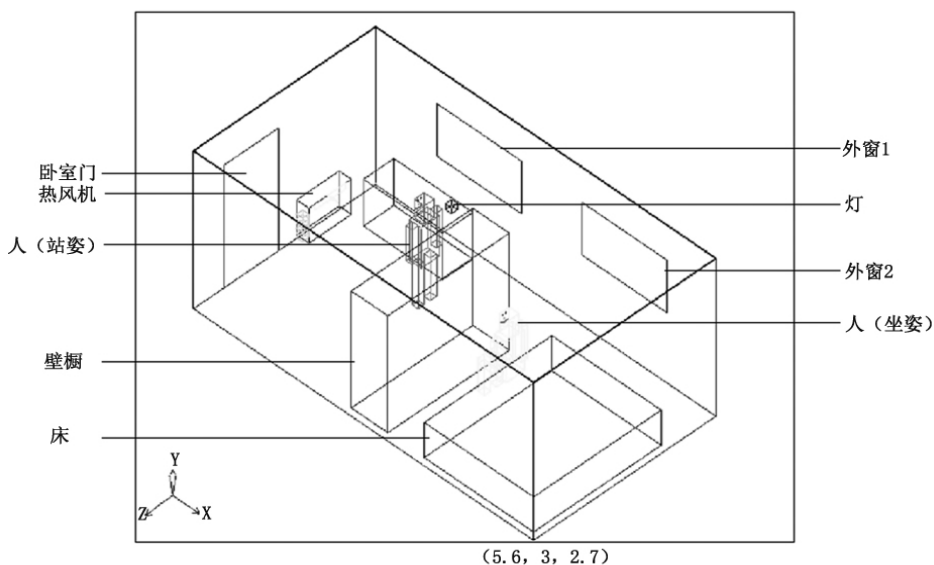


图 1 房间简化的 Air-pak 模型

表 1 模拟计算边界条件

模型名称	尺寸/m	数量	模型类型	边界条件	取值
房间	5.6×3×2.7	1	room	/	初始温度 10℃
北向外窗	1.4×0.9	2	wall	定热流量	-173.8W/m ²
房间门	0.9×2.1	1	wall	绝热	/
热风机室内机	0.6×0.2×0.7	1	blocks	绝热	/
人	0.3×0.2×1.73	2	persons	定热流量	75W/人
灯	0.1×0.1×0.1	1	blocks	定热流量	35W
床	1.8×2.1×0.6	1	blocks	绝热	/
壁橱	0.6×2×2	1	blocks	绝热	/
桌子	1.3×0.5×0.8	1	blocks	绝热	/
北墙	5.6×2.7	1	wall	定热流量	-20.55W/m ²
南墙	5.6×2.7	1	wall	定热流量	/
东墙	3×2.7	1	wall	绝热	/
西墙	3×2.7	1	wall	绝热	/
送风口	0.5×0.1	1	opening	定送风参数	风速 2.5m/s; 温度 28℃
回风口	0.1×0.4	1	vents	自由出流	/

2)入口边界条件:送风速度 2.5m/s,送风温度 28℃。

3)墙面边界条件:北外墙与大气直接接触,为简化计算,认定为定热流边界;其他墙壁与相邻房间相连,认定为绝热壁面^[7]。

2 数值求解方法

2.1 模型模拟求解设置

本模型采用 airpak3.0 软件,采用有限体积法对模型进行离散求解,房间内气流流态为紊流。收敛条件是:流动方程相对误差为 0.001,能量方程相对误差为 1×10⁻⁶。该房间只有北墙为外墙,为简化计算,将外墙传热定为定热流边界条件,按照该地区冬季取暖规定室温 18℃,用天正暖通软件计算得出热流密度。

2.2 网格划分

本文所建三维模型的网格利用 airpak 软件设置为四边形网格并且用边界层网格加密出风口、回风口等温度梯度较大的区域网格。网格的质量直接影响着计算的精度。划分方式采用 Normal 方式,设置 Max X size=0.3, Max Y size=0.3,Max Z size=0.3,便于跟踪观察室内气流组织状况。对热风机送风口与排风口等温度梯度大的地方进行网格局部加密细化,例如如图 2 中对热风机出风口温度梯度大的地方进行网格局部加密细化。

在出风口初始流速为 2.5m/s 的条件下分别验证网格数为 310207、495241、643273 的网格划分方案,考察室内物体表面温差变化

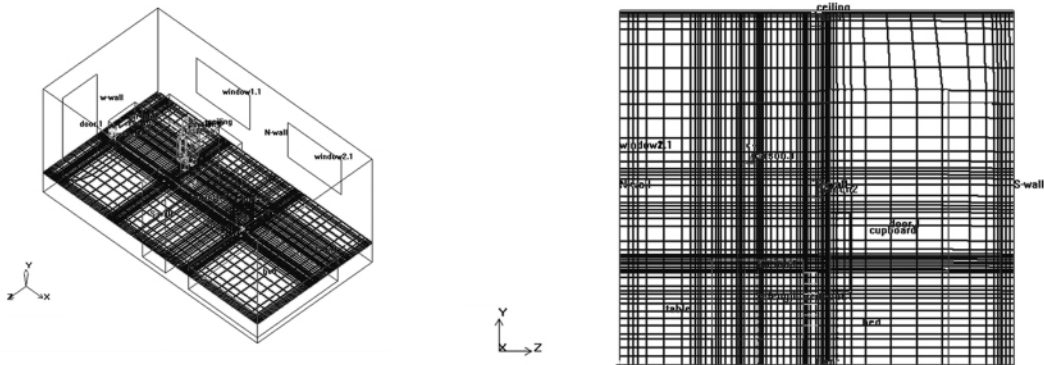


图 2 Airpak 模型的网格划分及局部加密

情况,计算结果显示,在上述三种网格划分方案中,网格数为 310207 即满足偏差不足 0.15%,所以本次模拟择优选取网格数为 310207。

3 结果分析与讨论

测点选取:测试点选取垂直方向上距地面高度分别为 1.1m、1.6m 分别对应人体的坐姿头部、站姿头部位置^[8]。

3.1 热风机对室温影响分析

分别选取 $Y=1.1\text{m}$ 、 1.6m 处水平面对温度场进行分析,结果如图 3 至图 4 所示。在图 3 中可看出明显的室内温度分层,即人员(站姿)处室内温度高于人员(坐姿)处温度。这是由于室内壁橱的摆放位置阻断了热风机出风口的气流方向,导致入射气流受到壁橱影响后形成涡旋,并且在房间左下角形成通风死角。

将图 3、图 4 进行对比分析,可以看到两个图中均有由于受到人体散热影响,人体周

边一小块区域温度高于室内温度。由两图可以看出整体房间温度均高于 16°C ,基本可承担北方农村地区室内热负荷。

3.2 热风机对流动的影响分析

图 5、图 6 为风速云图。对比两张图可以看到由于受到入射风的直接影响,图 6 中人员(站姿)处风速在 0.75m/s 范围内,人体有吹风感;在人员(坐姿)处出现两个小型涡旋区域,风速在 0.375m/s 范围内,人体风感基本舒适,由于壁橱阻断了射流,导致该区域风速流动较小。图 6 中由于受到气流涡旋的带动而产生多个小涡旋,因此风速较图 5 中截面处低。

4 实验研究

4.1 实验目的

本次试验目的为对热风机在北方农村地区的实际运行状况测试分析,得出实测温度数据及速度数据,从而与数值模拟结果进行对比分析。

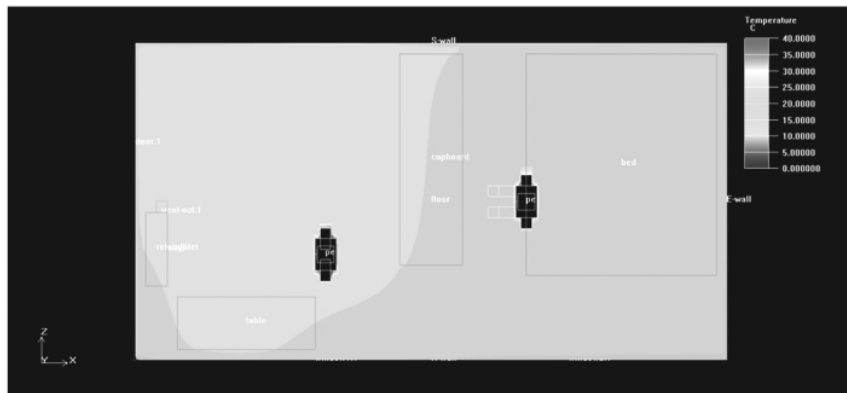


图 3 $Y=1.1\text{m}$ 处的温度云图

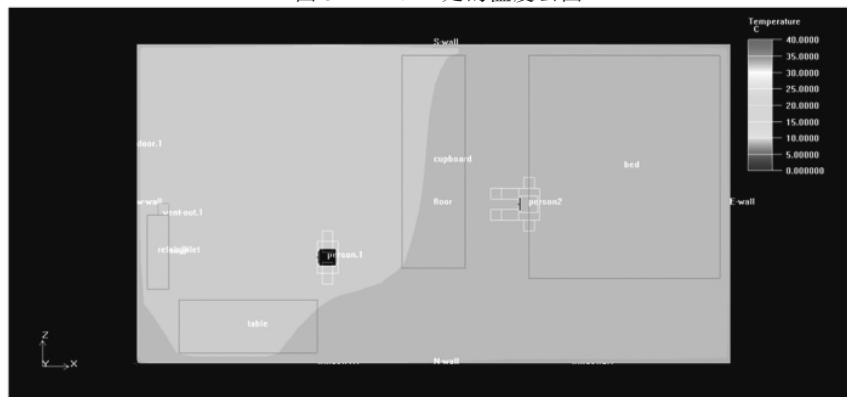


图 4 $Y=1.6\text{m}$ 处的温度云图

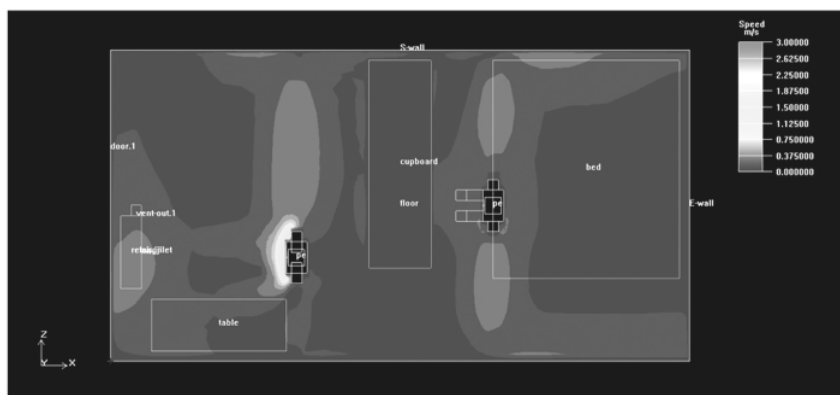


图5 Y=1.1m 处的速度云图

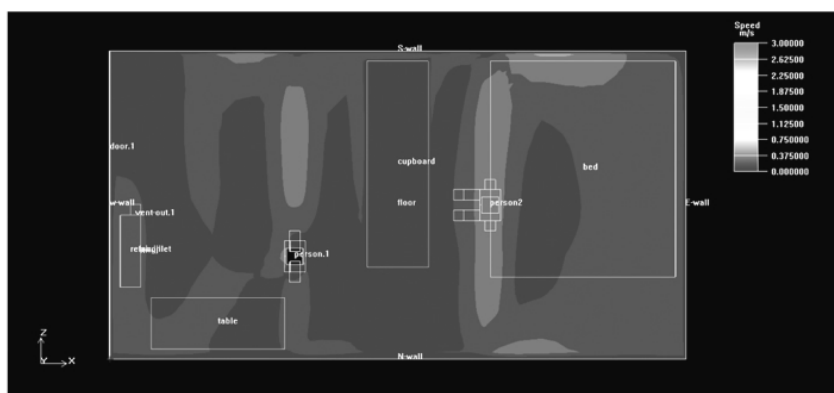


图6 Y=1.6m 处的速度云图

4.2 实验概况

时间为2019年1月1日至2019年1月30,6:30–11:30 开启,13:00–22:00 开启,运行时间为14小时,模式为连续运行。设备开启时分别记录室外温度及室内温度。设定热风机温度为30℃,实验监测点分布在人员位置如图7,对距地面高度分别为1.1m,1.6m处的4个测点进行记录测量,计量设备如图8、图9,记录内容为室外温度、室内测点温度与风速数据。

4.3 实验结果分析

(1)图8、图9为测试30天内室外温度与室内测点的温度记录情况。由图8、图9可知30天中室外平均温度基本维持在0℃以下,明显看出室内1号测点温度维持在18℃以上,最高温度达22℃;室内2号测点温度维持在16℃以上,最高温度达20℃。1号测点温度

明显高于2号测点温度,与数值模拟趋势基本保持一致。

(2)图10、图11为测点风速记录情况。由图10与图11可知,1号测点风速有吹风感,其值明显大于2号测点风速。这是由于壁橱的摆放位置阻断了热风机出风口的气流方向,导致入射气流受到壁橱影响后形成涡旋,并且在房间左下角形成通风死角。实验数据与数值模拟风速趋势基本保持一致。

5 结论

通过利用airpak软件模拟计算与实验研究数据得到该房间冬季工况下热风机运行情况的室内温度及风速分布情况,通过分析与研究得到以下结论:

1)热风机基本能承担北方农村地区房间热负荷,使室内基本温度可达16℃以上,并维持室内温度稳定。说明热风机适合在北方寒

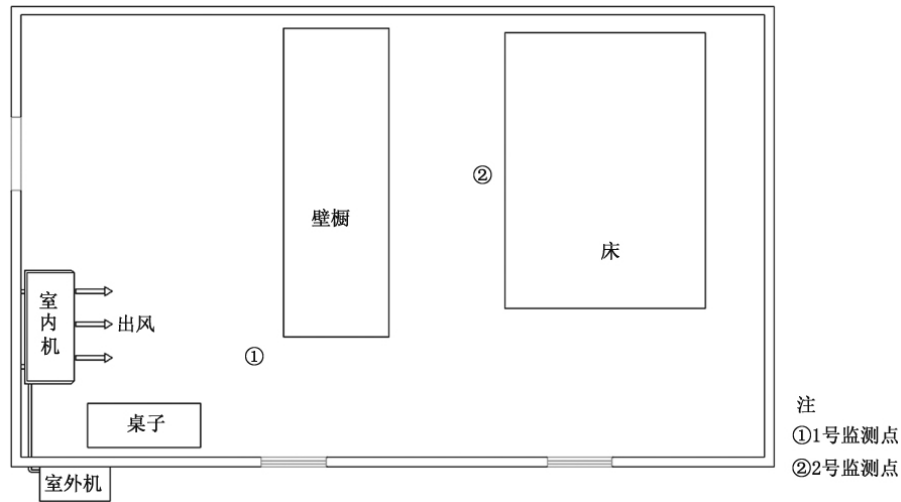


图7 实验测点布置图

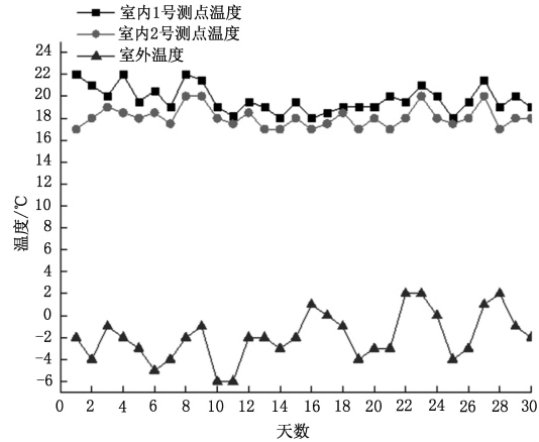


图8 Y=1.1m 处温度数据

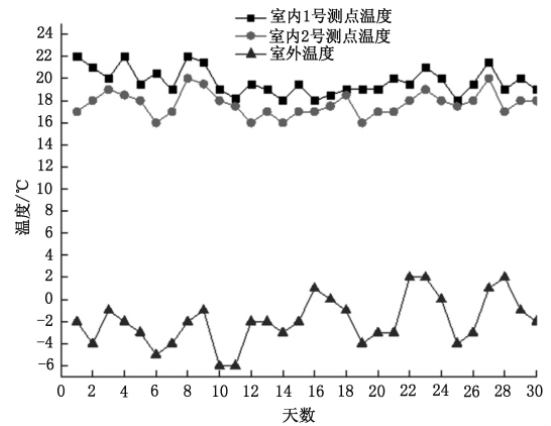


图9 Y=1.6m 处温度数据

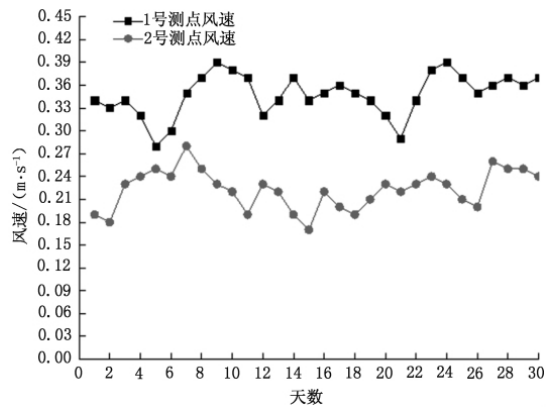


图10 Y=1.1m 处速度数据

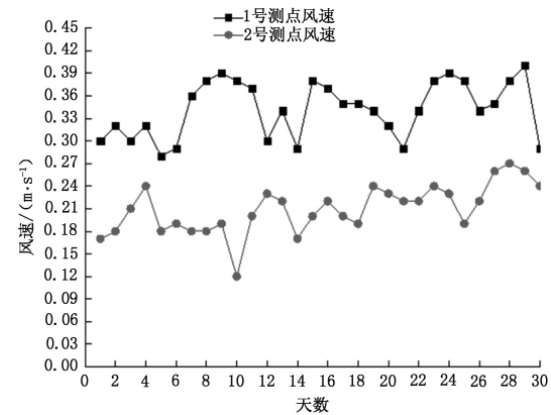


图11 Y=1.6m 处速度数据

(下转第 82 页)

(2)衬砌底部发生较大的沉降量,如果控制不好土压,隧道沉降会对热力隧道的安全性构成威胁,并且沉降差会沿隧道方向,随着顶管的下穿施工的推进而逐渐增大。在顶管推进过程中,隧道顶部土体与底部土体的水平位移方向并不相同,说明顶管施工使得隧道在地层中发生了一定的扭转,这对结构的安全非常不利。

(3)亚林西的下穿工程,制定了详细的控制措施,从监测的结果看,这些措施很好地控制了既有热力隧道的位移沉降,隧道内所有监测数据均符合沉降控制标准的要求,隧道的结构没有出现裂缝和其它明显的变形。通过连续两个采暖季的持续监测,位移变形逐渐趋缓,说明周边土体的重新达到了平衡状态。另外,从管网的运营情况来看,在连续的两个供暖季内,没有因为隧道结构的变形而发生事故,管网运行平稳。

参考文献

[1]冉春雨.供热工程[M].化学工业出版社出版.北京:

(上接第 64 页)

冷的分散式供热农村地区推广应用。

2) 由于室内设施结构布局存在不合理性,致使室内出现温度分层现象,壁橱的摆放位置需要进行调整优化。

3) 本文针对房间内测点温度及风速等指标进行数值模拟与实验研究分析,从模拟与实验数据的两个角度分析,模拟与实测结果趋势基本保持一致,室内温度基本维持在16℃以上,室内整体风速人体感觉较为舒适,靠近热风机区域人体风感较明显。

参考文献

[1]马荣江,毛春柳,单明,等.低环境温度空气源热泵热风机在北京农村地区的采暖应用研究[J].区域供热,2018(1):24-31.

[2]狄育慧,王善聪.利用 Airpak 模拟室内气流组织的

2019.

[2]刘军,张豫湘,韦立明,等.暗挖车站下穿热力管网施工风险控制方法[J].施工技术,2017(20):87-91.

[3]王丙仲.暗挖地铁大断面下穿热力管沟技术[J].建设科技,2016(7):170-171.

[4]孙峰,张顶立,王臣,等.劈裂注浆抬升既有管道效果分析及工程应用[J].岩土力学,2010(31):932-938

[5]黄旭.北京城区内国网 220kV 送电工程新旧电力沟道接口施工技术研究[J].低碳世界,2017(2):99-101.

[6]方克军.浅埋暗挖法隧道全断面注浆施工技术[C]//2013 中国城市轨道交通关键技术论坛文集,2013.

[7]刘军,南志领,金鑫,等.地铁工程穿越施工中热力管线变形及控制研究[J].施工技术,2017(s2).

[8]李广信,高等土力学[M].北京:清华大学出版社,2009.

[9]尤田,刘军,王芳,等.热力隧道上穿既有地铁 6 号线隧道方案比选 [J]. 北京建筑工程学院学报,2015,31(3):39-44.

[10]尤田.新建工程穿越热力管网风险评估与风险控制技术研究[D].北京:北京建筑大学,2016.

误差分析[J].西安建筑科技大学学报:自然科学版.2013,45(1):73-78.

[3]刘鑫,张欣,韩非,等.基于 Airpak 的空调送风方式对室内热环境影响分析[J].安徽建筑大学学报,2019,27(1):70-75.

[4]JELENA S,CHEN QY.Validation of Zero Equation turbulence Model for Complex Indoor Airflow Simulation[J].ASHRAE Trans,1999(105):414-427.

[5]陶文铨.数值传热学[M].2 版.西安:西安交通大学出版社,2001:15+290[D3].

[6]陈晓春,朱颖心,王元.零方程模型用于空调通风房间气流组织数值模拟的研究 [J]. 暖通空调,2006,36(8):19-24.

[7]杨丽,钱锋,宋德莹.建筑室内空间环境舒适性的数值模拟研究[J].建筑科学,2017,33(8):129-134.

[8]马荣江,石文星,杨旭东.《低环境温度空气源热泵热风机》行业标准解读[J].制冷与空调,2018,18(11):57-63.