

CN 11-4688/T
ISSN 1671-1815

科学技术与工程

Science Technology and Engineering

科学技术与工程

第十九卷 第八期 (总第四百七十七期)

二〇一九年三月十八日

基于数字高程模型数据绘制立体地貌图方法 (15 页文)

8
2019

中国技术经济学会主办

自动化技术、计算机技术

基于梯度提升回归树的井下定位算法

…………… 郭银景 宋先奇 杨 蕾 吕文红 (138)

基于微分平滑的四旋翼系绳运输系统轨迹规划

…………… 梁 晓 胡欲立 (145)

基于空频域纹理特征的高分辨率遥感图像居民地提取

…………… 潘旭冉 杨 帆 潘国峰 (151)

基于图像插值技术的可逆数据隐藏算法

…………… 童新安 李艳晓 袁可红 (157)

一种数学检索结果排序中的多隶属度评价方法 …… 王海彬

田学东 张凯歌 崔晓娟 史青宣 李新福 (164)

一种结构向量与分数阶相结合的光流模型 …… 詹皇源 (171)

基于 Bregman 联合聚类与加权矩阵分解的融合推荐算法

…………… 郭 蕊

孙福振 王绍卿 张 进 王 帅 方 春 (176)

基于联合后置滤波器与分数阶光流模型相结合的运动分割
算法 …………… 詹皇源 (182)

轻工业、手工业、生活服务业

大豆粮堆力学特性的直剪试验研究

…………… 静 行 杨鹏飞 张 楠 杨启航 (189)

化学工业

催化剂白泥添加造孔剂制备多孔陶瓷材料 …………… 刘国荣

李鸿莉 侯青林 邓 超 刘 博 高青军 (194)

建筑科学

夏热冬冷地区太阳辐射对墙体热湿耦合迁移的影响

…………… 郭兴国 敖宇强 刘 英 罗鸿韬 刘向伟 (199)

被动式超低能耗木结构建筑外围护结构节能设计

…………… 姜 雷 (205)

一种模拟冲击荷载作用下非均匀 Timoshenko 梁弯曲波传播
的数值方法 …… 姜迎春 白义奎 刘铁林 王 毅 (210)

外包钢套加固震损型钢混凝土框架结构 Pushover 分析

…………… 许成祥 台梦瑀 (217)

基于墙后土体滑裂面的朗肯被动土压力的探索

…………… 朱彦鹏 魏鹏云 马孝瑞 李 庚 刘 鑫 (225)

基于人工蜂群算法的岩土边坡稳定性测度分析

…………… 刘莉莎 王 伟 彭 第 (231)

河谷型风电场振冲碎石桩处理效果试验研究

…………… 王雅雯 田世军 胡中波 (237)

玻璃纤维增强聚合物抗浮锚杆的临界锚固长度计算

…………… 匡 政 白晓宇 张明义 (244)

透水混凝土阻滞路面径流污染物的效应

…………… 董星海 康爱红 徐雪玲 卢志萍 寇长江 (250)

低温下纤维增强塑料钢筋混凝土粘结性能试验研究

…………… 李 扬 黄中华 沈子豪 徐惟雄 (256)

基于改进炕洞构造形式的大花洞火炕热舒适度

…………… 张 杰 陈丽珠 薛 芸 (262)

交通运输

基于车载三维激光扫描结果的桥面变形分析

…………… 何松霖 周志祥 楚 奎 向小菊 侯 旭 (268)

公铁两用桥双层结合全焊钢桁梁预压试验研究

…………… 陈 舟 张小青 董丞上 杨国飞 陈思远 (277)

高海拔隧道施工氧含量变化及供氧方法

…………… 杨 枫 郑金龙 蔚艳庆 吴 剑 李玉文 (282)

航空、航天

质心、弯心及压力中心对机翼动力响应的影响

…………… 杨加明 季开云 (289)

航空网络影响力节点识别与鲁棒性分析

…………… 王兴隆 张淑婷 (297)

环境科学、安全科学

2008 年初贵州电线积冰厚度的模拟研究——基于天气研究
和预报 (WRF) 模式耦合电线积冰预报系统

…………… 刘善峰 陆正奇 韩永翔 李 哲 梁 允 (303)

低压环境下 18650 型锂离子电池热失控特性

…………… 贺元骅 王春晓 王耀帅 孙 强 陈现涛 (310)

引用格式: 张 杰,陈丽珠,薛 芸. 基于改进炕洞构造形式的大花洞火炕热舒适度[J]. 科学技术与工程,2019,19(8): 262-267

Zhang Jie, Chen Lizhu, Xue Yun. Thermal comfort of large complexity kang based on improving kang hole structural form[J]. Science Technology and Engineering, 2019, 19(8): 262-267

基于改进炕洞构造形式的大花洞火炕热舒适度

张 杰 陈丽珠 薛 芸

(内蒙古科技大学建筑学院,包头 014010)

摘 要 为了解决普遍存在的炕面温度极不均匀、热舒适度差的问题,将火炕从进烟口到出烟口的整个炕体作为研究对象,利用 VENT 技术对大花洞火炕的烟气流场分布、涡流状况进行模拟分析,对其烟道进行优化设计,得出两种优化设计模型,明显改善现状火炕的烟气流场分布,大幅减少了涡流区面积,使更大范围的烟道炕洞、炕面板能够接触到高温烟气进而吸蓄、存储、释放烟气热量,大幅提升了火炕热舒适度。为火炕的优化设计提供了一种新的技术方法。

关键词 大花洞火炕 热舒适度 技术模拟 构造形式 烟气流场分布

中图分类号 TU832.55; **文献标志码** A

火炕是中国北方农村牧区居住建筑冬季供暖普遍采用的一种类似床的设施,由炉灶、炕体、烟囱组成。火炕的热舒适度主要取决于炕面温度分布的均匀度,而炕面温度的均匀度主要取决于高温烟气流场分布、炕面材料热工性能等。落地火炕的使用在中国已有上千年的历史,目前农村牧区居住建筑火炕的建造仍以民间经验为主,缺乏理论依据和技术支持,普遍存在“炕头热、炕梢冷”、炕面温度不均匀、热舒适度差等问题^[1]。随着人们生活水平的提高和对人居室内居住环境的重视,中国许多学者对火炕的热舒适度及其热工性能评价指标进行了大量的实验和研究^[2-6]。Zhuang 等^[7]对炕的烟气流动与传热性能进行研究,探讨炕的烟气流动规律,对炕的倒烟现象进行了解释;还有学者从理论上研究了以炕为采暖工具的房间里炕对室内热舒适度的影响,以及不同建筑热工特性条件下火炕的运行效果^[11,12];炕面温度分布作为火炕热舒适性的一个重要评判标准,Qian 等^[13]、Lin 等^[14]研究了传统落地火炕的炕面温度分布;李金平等^[15]对落地炕与架空炕的热效率、升温降温特性及对室内热环境影响等方面进行了对比试验研究。但利用建筑通风 VENT 模拟技术对火炕内不同烟道构造形式对烟气流场的影响进行模拟分析、通过优化烟道设计改善烟气流场分布进而提高火炕热舒适度的研究还很少。

VENT 模拟技术是为建筑规划布局 and 建筑空间划分提供风环境优化设计的分析工具,本文利用 VENT 模拟技术指导火炕烟道的优化设计,改善火炕内烟气流场分布,提高火炕的热舒适度。

1 现状调研

通过对内蒙古东部包括通辽、赤峰、兴安盟、呼伦贝尔在内的农村牧区居住建筑火炕使用情况进行大量调研(表1)可知,冬季农牧民都使用包括火炕在内的两种以上方式进行室内供暖,而绝大多数使用大花洞(处于大洞与花洞之间的一种炕洞支柱类型)落地炕。

以内蒙古东部农村牧区较为典型的居室为例,图1为居室立面,平面布局如图2所示。火炕的炉灶和烟囱位置一般是根据居室的平面布局、以符合人们的生活习惯且方便使用而确定,很少有进出烟口中轴对称的布置方式。所以在对大花洞火炕进行优化设计过程中,保持炉灶、烟囱位置等条件不变,利用模拟技术分析不同烟道构造形式对火炕烟气流速、流场分布、流量变化的影响,探索建立热舒适度良好的火炕优化构造模型体系。



图1 居室正立面照片

Fig. 1 Photographs of house front appearance

2018年10月19日收到

国家自然科学基金(51668051)和
内蒙古自然科学基金(2016MS0516)资助

第一作者简介:张 杰(1960—),男,山西翼城人,硕士,教授。研究方向:建筑节能及建筑物理。E-mail: zhangjieav@163.com。

表1 内蒙古东部部分农村牧区热环境参数及火炕使用情况
Table 1 Thermal environment parameters and use of kang in some pastoral areas of eastern Inner Mongolia

旗县区	热工区属	采暖度 日数/(℃·d)	天数/d	计算采暖期		室内供暖 方式	火炕类型
				室外平均 温度/℃	太阳总辐射平均 强度(南向)/(W·m ⁻²)		
通辽市奈曼旗大沁 他拉镇道劳代村	1C	4 319	161	-5.6	109	火炕、火炉	花洞火炕
赤峰市喀喇沁 旗锦山镇梨树沟村	1C	4 293	162	-4.8	123	火炕、土暖气	大花洞火炕
通辽市科尔沁区 莫力庙苏木	1C	4 376	164	-5.7	111	火炕、火炉	大花洞火炕
兴安盟扎赉特旗好力 保乡好力保村	1B	5 023	169	-8.4	94	火炕、火炉	大花洞火炕
呼伦贝尔新巴尔虎左旗新 宝力格苏木莫达木吉嘎查	1A	6 483	201	-11.9	90	火炕、火墙、火炉	大花洞、 直洞火炕
呼伦贝尔扎兰屯	1B	5 642	198	-9.9	81		
兴安盟科右中旗额木庭 高勒苏木兴安嘎查屯	1C	4 495	165	-6.3	112	火炕、火墙	大花洞火炕

注: 1A、1B、1C 代表内蒙古地区居住建筑节能设计热工分区, 严寒地区(1区)以采暖度日数(HDD18)为分区依据 $6\ 000 \leq \text{HDD18}$ 为严寒 A 区(1A) $5\ 000 \leq \text{HDD18} < 6\ 000$ 为严寒 B 区(1B) $\text{HDD18} < 5\ 000$ 为严寒 C 区(1C)。

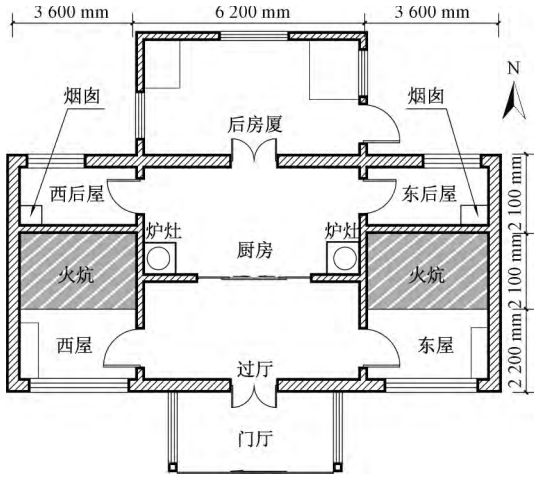


图2 典型居室平面图
Fig. 2 Typical bedroom plans

2 大花洞火炕现状模拟及分析

2.1 火炕模型的建立

内蒙古东部区大花洞火炕采用普通红砖砌筑,长、宽、高分别为 3.60、2.10、0.80 m;炕面板为 0.06 m 厚的混凝土板,炕面板上采用 0.02 m 厚的泥抹平作为蓄热层;炕洞内采用两排 0.24 m×0.24 m 的红砖墩作为炕板支柱;炕内底层为 0.30 m 厚的垫土蓄热层;进烟口宽、高分别为 0.20、0.15 m,距炕里墙内侧 720 mm,距垫土蓄热层上边缘为 0.10 m,出烟口的宽、高分别为 0.20、0.18 m,与炕梢墙体的内边缘距离为 400 mm,距垫土蓄热层上边缘为 0.25 m。实体如图 3 所示,结构如图 4 所示。

2.2 模拟条件

模拟软件: 模拟中使用了建筑通风 VENT 模拟

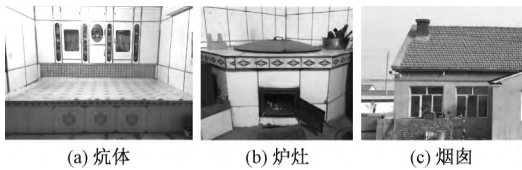


图3 居住建筑落地炕照片
Fig. 3 Photo of landing kang of residential building

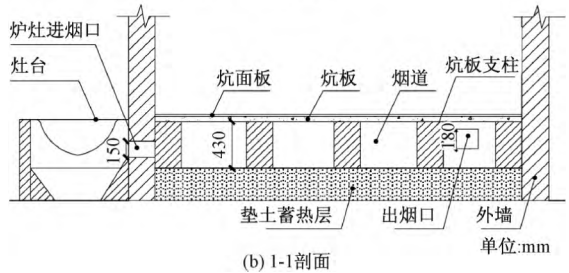
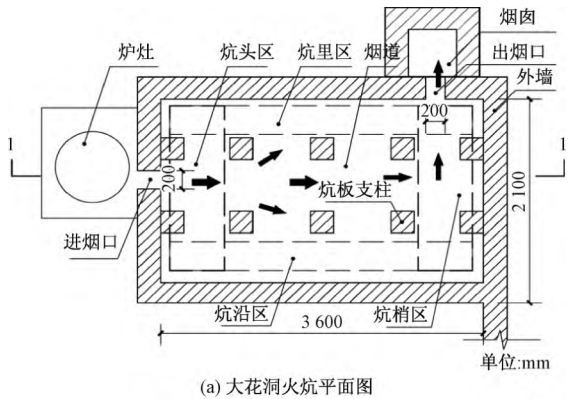


图4 大花洞火炕示意图
Fig. 4 Schematic diagram of large complexity cave kang

软件进行模拟。软件参数如表 2 所示。
为了重点研究大花洞火炕不同烟道构造形式对烟气流速、流场分布、流量变化的影响规律,假定炉

表2 软件模拟参数

Table 2 The software simulation parameters

软件名称	计算分析等级	网格			迭代次数/次
		初始网格大小/m	最小细分级数/个	最大细分级数/个	
建筑通风 VENT	精细	0.1	2	3	1 000

灶燃烧条件、炉灶、烟囱位置、室内外空气压强、空气温度等因素不变。

模拟条件关键之一是烟气进出口处压强的设置。根据专家的研究成果,将火炕进出烟口的压强差设定在 10 Pa 左右^[16,17]。

2.3 视图分析与热舒适度的关系

从现状火炕的模拟结果图 5(a) 可以看出,烟气作为热载体进入炕洞内部,流场过于集中在炕洞的中轴线附近一条狭窄区域内,烟气从进烟口几乎直线流向出烟口而很少向其他区域扩散,烟气在炕洞中流速快、时间短,高温烟气流场极不均匀,必然导致炕面温度的极不均匀而造成火炕热舒适度差,烟气流速 $0.40 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 以上区域只占火炕炕面面积的 20% 左右。

从烟气流速矢量分布图[见图 5(b)]可以看出

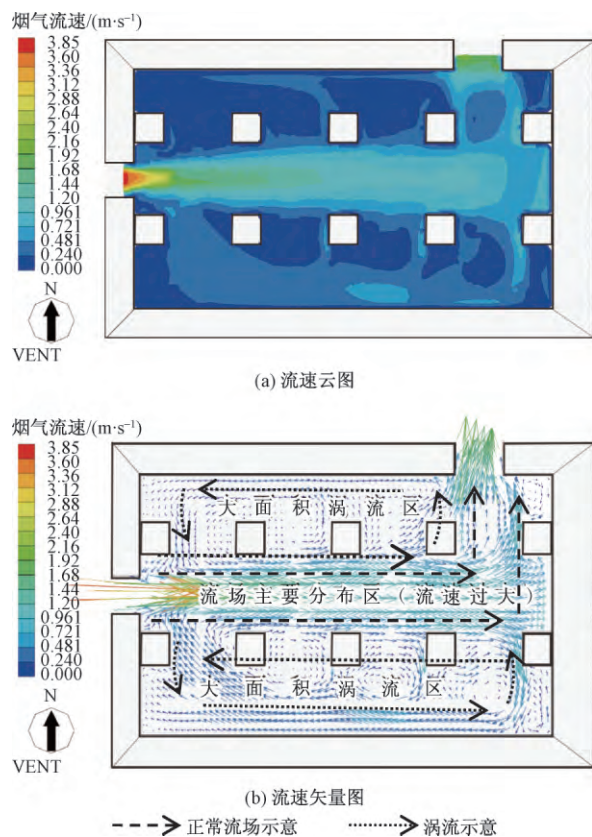


图5 现状火炕内部烟气流场流速分布

Fig. 5 Velocity distribution of internal smoke flow in existing kang

出,由于炕板支柱位置、形状、数量的影响,烟气在横向中轴线区域流速较快,但流场向周围区域扩散较少,在炕洞横向中轴线区域和炕沿、炕里两侧区域之间存在压力差,出现了较大面积的烟气紊流涡流区,涡流区面积占整个炕板的 70% 以上,大面积区域烟气呈涡流状态造成流场均匀性差,在很大程度上影响炕面的热舒适度。

3 火炕烟道构造的优化设计

3.1 优化思路“前引后导”,扩大流场范围,减少涡流区域

火炕内烟道构造的优化设计思路遵循“前引后导”、扩大流场范围、减少涡流区域的原则,调整炕洞内部炕板支柱的形状和布置方式,从而改善流场分布,达到提高热舒适度的目的。火炕内烟道的优化设计,既要实现改善流场的目的,又要避免过于复杂而增大烟气流动阻力,降低实用性和可行性。

利用建筑通风 VENT 模拟软件,以流体力学的相关知识作为理论指导,通过对大量模型的模拟对比分析,最终总结出图 6 中两个火炕效果改善明显。在距进烟口内侧约 900 mm 且略偏上位置用砖砌尖形迎火墙(也是炕板支柱),对进入炕洞的烟气起到引流或分流作用,目的是使烟气的流场能分布于较大区域。在迎火墙后烟气流经路径上设置倾斜式分烟墙和导烟墙,目的是对流动的烟气起到导流作用,使烟气在炕洞内尽可能流过更大区域,滞留更长时间,使烟气更加充分地炕面板进行热量的交换传递。

通过前引后导,不但使烟气流场明显改善,而且尽量减少涡流区面积。

3.2 优化后火炕性能改善模拟分析

利用 VENT 技术对图 6(a) 火炕的模拟结果见图 7。从图 7(a) 中可以看出,烟气进入炕洞后,两个对称三角形迎火墙将高温烟气分为三股气流,且比较均匀分布于炕头区域,在靠近炕沿、炕里区域和中轴线区域都有烟气流过,这样带有热量的烟气不会过于集中在炕头很小的范围,从而大大改善了火炕“炕头热”的弊端。在分烟墙、导烟墙的作用下,使烟气的流场范围不断扩大,流场均匀性也有很大改善,必然使炕面温度均匀性得到很大提升,炕头热、炕稍冷的状况必然会有很大改善。烟气流速在 $0.40 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 以上的面积占火炕炕面面积的 35% ~ 40%,使整个炕体的烟气流动的均匀性有了明显的改善。

从图 7(b) 流速矢量图中可以看出,支柱形状、位置的科学设置使烟气在炕洞内比较均匀流向出烟

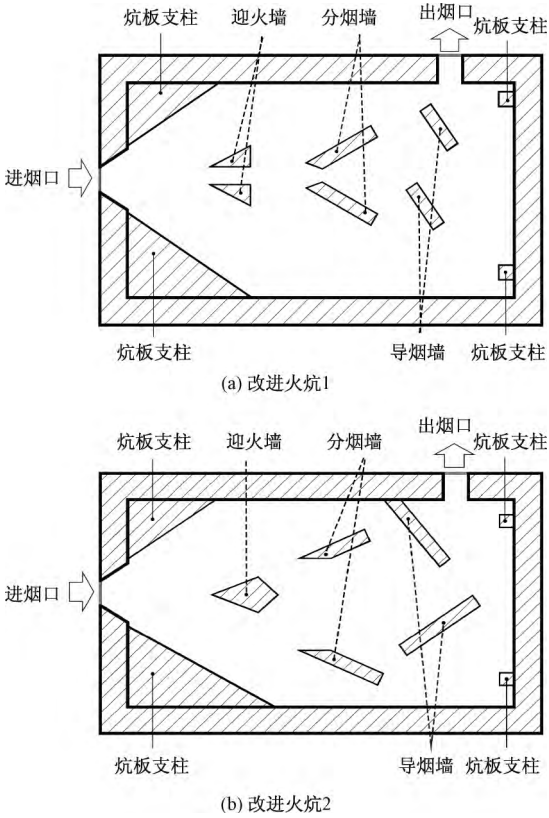


图 6 大花洞火炕优化构造设计模型

Fig. 6 Design model of large complexity cave kang optimized structure

口除了炕头一侧的炕沿和炕里区域两处夹角之外, 涡流区域面积占火炕炕面面积的 15% ~ 20%, 涡流区域面积大幅减小。

对图 6 (b) 火炕模拟结果如图 8 所示, 由图 8 (a) 可以看出, 尖劈形迎火墙将烟气分散为两股气流向后流动, 缓解炕沿和炕里两部分区域流场不均匀的现象。设置分烟墙和后导烟墙改变部分烟气流向, 扩大烟气流场, 使烟气与炕板交换热量的概率大幅提高, 改善“炕梢冷”的弊端。烟气流速在 $0.40 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 以上的面积占火炕炕面面积的 30% 左右, 相比较现状火炕, 更重要的是高温烟气在炕洞内部分成了流经炕里和炕梢的两部分, 明显改善了现

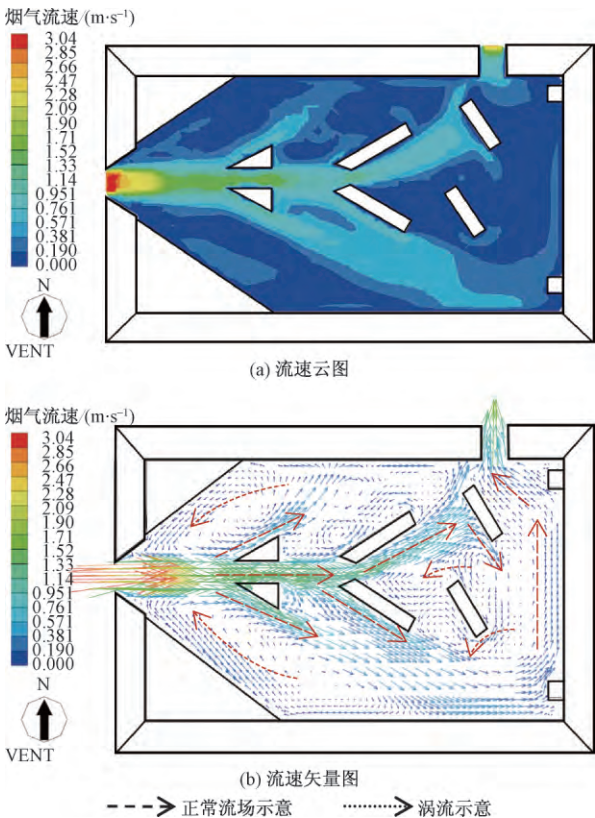


图 7 现状火炕内部烟气流场流速分布

Fig. 7 Velocity distribution of internal smoke flow in existing kang

状火炕烟气过于集中的现象, 从而使炕面流场分布的均匀性得到明显改善。

在图 8 (b) 的流速矢量图中可以看出, 科学合理设置后分烟墙和导烟墙后, 涡流区域面积大幅减小, 只占火炕总体面积的 30% ~ 35%, 相比于现状火炕, 涡流现象同样得到了明显的改善。三种火炕的烟气流场特点对比见表 3。

火炕炕面板用混凝土和泥土材料搭建, 当炕洞内部的烟气流场分布较均匀时, 高温烟气与炕面板的辐射、对流交换热量也会变得更加高效和均匀, 炕面的热舒适度就会得到明显提升。

表 3 3 种火炕烟气流场特点对比

Table 3 Comparison of smoke flow characteristics of three types of kang

研究内容	现状火炕	改进火炕 1	改进火炕 2	性能提升
烟道构造特点	两排简单支柱	三角形迎火墙、分烟墙、后导烟墙	尖劈形迎火墙、分烟墙、后导烟墙	改进炕板支柱的形状和布置方式
涡流区面积	70% 以上	15% ~ 20%	30% ~ 35%	涡流区面积减少、火炕热效率提高
烟气流速在 $0.4 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 以上的流场区域面积	20% 左右	35% ~ 40%	30% 左右	烟气流场范围扩大、火炕蓄热散热性能好
烟气流场均匀度	较低	较高	较高	改善炕面温度的均匀度, 从而提高热舒适度

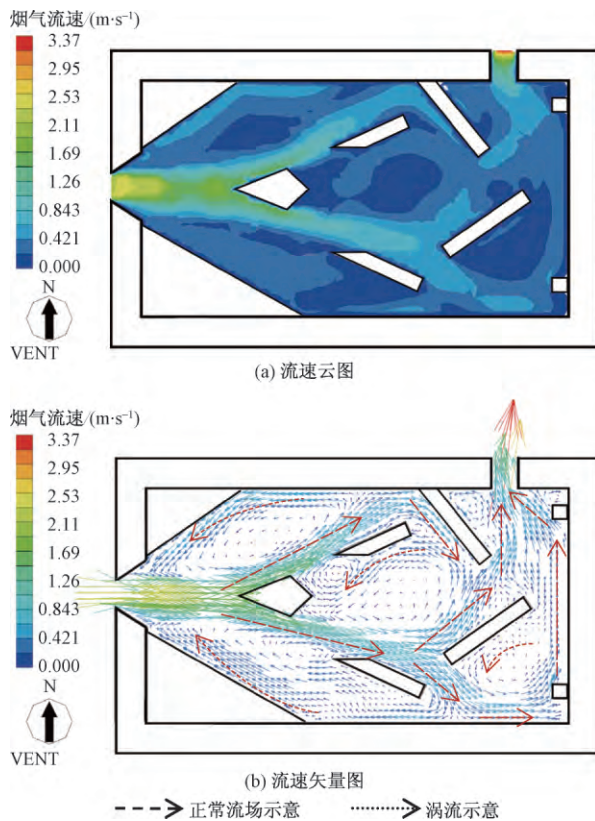


图8 现状火炕内部烟气场流速分布

Fig.8 Velocity distribution of internal smoke flow in existing kang

4 结论

利用 VENT 技术对大花洞火炕内烟气场进行模拟分析研究,得出如下结论。

(1) 内蒙古东部地区大多数农牧民家庭使用的传统大花洞火炕烟气场主要集中于火炕中轴区域,流场范围狭小,必然导致火炕炕面温度极不均匀,热舒适度差。

(2) 通过对火炕烟道进行优化设计,科学合理设置迎火墙、分烟墙和导烟墙,极大地改善了火炕烟气场分布的均匀性,减小了涡流区域面积,也必然会提升火炕的热舒适度。

(3) 在进烟口处设置迎火墙能够更有利于烟气从进烟口处集中向烟道输送热量,与现行《农村火炕系统通用技术规程》JGJ/T 358—2015 行业标准中火炕烟道的布置方式相比,烟气流场的分布能够得到进一步的改善。

(4) VENT 模拟技术为改进火炕的热舒适度研究提供了一种新的模拟方法和技术支持,也为新型火炕砌筑提供了依据。

参考文献

1 庄智. 中国炕的烟气流动与传热性能研究[D]. 大连: 大连理工

大学 2009

Zhuang Zhi. Smoke flow and thermal performance of Chinese Kangs [D]. Dalian: Dalian University of Technology 2009

2 端木琳, 赵洋, 王宗山, 等. 火炕热工性能的研究及其评价方法[J]. 建筑科学 2009, 25(12): 30-38

Duanmu Lin, Zhao Yang, Wang Zongshan, et al. Research and assessment method of thermal performance of Chinese Kang[J]. Building Science, 2009, 25(12): 30-38

3 郝亚芬. 传统火炕与火墙式火炕的热工性能研究及软件开发[D]. 沈阳: 沈阳建筑大学 2014

Hao yafen. The research of thermal performance with traditional Kang and Kang with hot-wall and software development [D]. Shenyang: Shenyang Jianzhu University, 2014

4 王宗山, 端木琳, 苏永海, 等. 典型火炕形式的供暖特性及适应性对比分析[J]. 建筑科学 2012, 28(12): 14-20

Wang Zongshan, Duanmu Lin, Su Yonghai, et al. Comparative analysis of heating characteristics and adaptability of typical kang [J]. Building Science, 2012, 28(12): 14-20

5 王丹, 徐聪智, 李桂文, 等. 改善火炕炕面温度分布技术模拟[J]. 哈尔滨工业大学学报 2012, 44(4): 75-79

Wang Dan, Xu Congzhi, Li Guiwen, et al. Simulation study on the technology for improving the temperature distribution of Kang surface [J]. Journal of Harbin Institute of Technology, 2012, 44(4): 75-79

6 方修睦, 王芳, 李桂文, 等. 火炕热工性能评价指标及检测方法研究[J]. 建筑科学 2014, 30(6): 119-123

Fang Xiumu, Wang Fang, Li Guiwen, et al. Study on evaluation index and test method of thermal performance of Kang [J]. Building Science, 2014, 30(6): 119-123

7 Zhuang Z, Li Y G, Chen B. Smoke flow in Chinese Kangs [J]. Indoor & Built Environment, 2009, 18(3): 219-233

8 Cao G, Juha J, Feng G, et al. Simulation of the heating performance of the kang system in one Chinese detached house using biomass [J]. Energy and Buildings, 2011, 43(1): 189-199

9 Zhai Z J, Yates A P, Lin D, et al. An evaluation and model of the Chinese Kang system to improve indoor thermal comfort in northeast rural China—Part-2: Result analysis [J]. Renewable Energy, 2015, 84(6): 649-657

10 Niu S W, Hu L L, Qian Y J, et al. Effective pathway to improve indoor thermal comfort in rural houses: Analysis of heat efficiency of elevated kang [J]. Journal of Energy Engineering, 2015, 142(4): 1-11

11 Zhuang Z, Li Y G, Chen B, et al. Chinese kang as a domestic heating system in rural northern China: A review [J]. Energy and Buildings, 2009, 41(1): 111-119

12 Yu G L, Zhuang Z, Jia P L. Chinese kangs and building energy consumption [J]. Chinese Science Bulletin, 2009, 54(6): 992-1002

13 Qian H, Li Y, Zhang X, et al. Surface temperature distribution of Chinese kang [J]. International Journal of Green Energy, 2010, 7(3): 347-360

14 Lin D, Yuan P, Wang Z, et al. Heat transfer model of hot-wall Kang based on the non-uniform Kang surface temperature in Chinese rural residences [J]. Building Simulation, 2016, 10(2): 145-163

15 李金平, 李红博, 郑健, 等. 架空炕与传统落地炕热性能对比试验[J]. 农业工程学报 2017, 33(14): 210-216

- Li Jinping , Li Hongbo , Zheng Jian , et al. Contrast test of thermal properties of suspended Kang and traditional landed Kang[J]. Society of Agricultural Engineering , 2017 , 33(14) : 210-216
- 16 许圣华. 烟气物性的直接计算方法[J]. 苏州丝绸工学院学报 , 1999 , 19(3) : 32-36
- Xu Shenghua. Direct calculation of flue GAS properties[J]. Journal of Suzhou Institute of Silk Textile Technology , 1999 , 19(3) : 32-36
- 17 赵 洋. 北方村镇火墙式火炕采暖系统热性能研究[D]. 大连: 大连理工大学 2009
- Zhao Yang. Study on the thermal performance of the heating system of wall in the northern village [D]. Dalian: Dalian University of Technology , 2009

Thermal Comfort of Large Complexity Kang Based on Improving Kang Hole Structural Form

ZHANG Jie , CHEN Li-zhu , XUE Yun

(School of Architecture , Inner Mongolia University of Science and Technology , Baotou 014010 , China)

[Abstract] In order to solve the common problem of uneven temperature and poor thermal comfort on kang surface , regarding the smog entrance , the exit and the kang body as a whole research object , using the VENT technique to simulate the flow field distribution and eddy current situation analysis of large complexity kang cave , to the optimization design of the flue , two optimization design models were obtained , which significantly improve the smoke flow field distribution of present kang , and reduced the eddy zone area , it make a wider range of chimney flue and kang panel can come into contact with high temperature flue gas , in turn , absorbing , storing and releasing of the flue gas heat to improve environment thermal comfort , this will also provide a new technology method to achieve optimal design.

[Key words] large complexity kang cave thermal comfort technique simulation structure form
distribution of smoke flow field