

工业厂房复合通风系统临界排风速度实验研究

王 怡¹, 邢 骁¹, 孟晓静^{1,2}, 刘铁宁¹, 任晓芬³

(1. 西安建筑科技大学环境与市政工程学院, 陕西 西安 710055; 2. 西安建筑科技大学材料与矿资学院, 陕西 西安 710055;
3. 河北工程大学城市建设学院, 河北 邯郸 056038)

摘要: 针对具有集中热源和集中污染源的工业厂房, 热压通风与机械排风共同作用下复合通风系统的机械排风速度规律特性研究, 搭建了具有集中热源、集中污染源和顶面机械排风装置的实验模型。在自然进、排风口面积相同的情况下, 通过改变机械排风速度和热源强度, 分析了复合通风系统室内垂直温度分布、温度效率和排污效率的变化规律。结果表明: 随着机械排风速度的增大室内工作区温度先降低后升高, 而温度效率和排污效率先升高后降低。随着热源强度的增大最佳增益温度效率和最佳增益排污效率均降低。

关键词: 复合通风; 工业厂房; 临界排风速度; 温度效率; 排污效率

中图分类号: TU834.1

文献标志码: A

文章编号: 1006-7930(2016)05-0745-06

Experimental study on the critical exhaust velocity of hybrid ventilation system in industrial workplace

WANG Yi¹, XING Xiao¹, MENG Xiaojing^{1,2}, LIU Tiening¹, REN Xiaofen³

(1. School of Environmental and Municipal Engineering, Xi'an University of Architecture & Technology, Xi'an 710055, China;
2. College of Materials & Mineral Resources, Xi'an University of Architecture & Technology, Xi'an 710055, China;
3. College of Urban Construction, Hebei University of Engineering, Handan 056038, China)

Abstract: Aimed at the ventilation efficiency, regular features of hybrid ventilation system combined with thermal natural ventilation and mechanical exhaust in the industrial workshop with concentrated heat source and concentrated pollution source a study is carried out. The experimental model with the same area of natural inlet and outlet, concentrated heat source, concentrated pollution source and mechanical exhaust device at the top is set up. The changing rule of indoor vertical temperature distribution, temperature efficiency and contaminant removing efficiency in the hybrid ventilation system are studied by changing the mechanical exhaust velocity and residual heat. The results show that as the mechanical exhaust speed increased, the temperature of indoor workspace first dropped and then rose, while ventilation efficiency first increased and then decreased. The maximum ventilation efficiency dropped as residual heat increased.

Key words: hybrid ventilation; industrial workplace; critical exhaust velocity; temperature efficiency; contaminant removing efficiency

对于具有强热源的工业厂房, 热压通风是排除室内余热和污染物的有效方式。但在实际厂房中, 经常不能保证足够的进排风口面积, 或室内热源强度较高导致热压通风不能满足排除室内余热所需的换气量要求。通常人们在厂房屋顶加设机械排风装置以期获得更大的通风量, 从而形成热压通风与机械排风相结合的复合通风方式。关于复合通风的研究始于1998年国际能源组织开展的Annex35课题^[1]。国内外有大量学者对复合通风进行了研究, 但多集中于民用建筑。如Li YuGuo等^[2]对单区建筑的复合通风进行了理论分析。Niachou等^[3]在某公寓进行了实验, 比较了自然通风、机械通风和复合通风的通风量大小。Turner等^[4-5]对某住宅具有换热功能的复合通风系统进行了实验和数值模拟。王松华^[6]对某办公房间利用数值模拟研究了不同复合通风模式下的室内热环境。闵剑青等^[7]研究了不同送风

形式下复合通风系统房间的温度场和CO₂浓度场。段双平^[8]对大开口建筑的复合通风进行了理论分析。郭娟等^[9]研究了结合太阳能烟囱的复合通风系统房间内气流参数分布。

目前关于复合通风的研究尚处于起步阶段^[8], 相关设计规范还不完善^[10]。对于具有强热源的工业厂房, 经常存在屋顶加设机械排风装置并开有下侧窗和高侧窗的建筑形式, 但机械排风对室内热环境以及通风效率的影响规律目前尚不清楚。因此, 本文搭建了具有集中热源、集中污染源、屋顶设机械排风装置和不同侧面设有面积相同的自然进、排风口的复合通风模型。旨在研究机械排风对室内热环境以及通风效率的影响规律, 并分析机械排风量对热源强度的匹配关系, 以使机械排风对通风效率起到最佳增益效果。

1 实验方案

1.1 实验模型简介

实验模型几何尺寸,长×宽×高为1 500 mm×900 mm×1 650 mm,如图1所示.

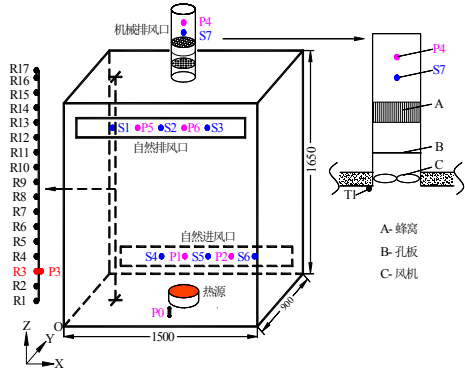


图1 实验模型及测点布置
Fig.1 Experimental model and arrangement of measuring points

模型围护结构由金属夹芯板制成,夹心材料为厚度 50 mm 的离心玻璃棉,导热系数为 0.05 W/(m·℃).模型底面垫50 mm挤塑板,导热系数为 0.028 W/(m·℃).为减少实验台外壁面与实验室内墙壁及周围物体的辐射换热,在模型外表面粘贴铝箔(发射率仅有0.04~0.06).在Y=0面上,设长×宽为1 250 mm×150 mm的自然排风口,风口上边缘距屋面100 mm.在Y=900 mm面上,设长×宽为1 250 mm×150 mm的自然进风口,风口下边缘距地面150 mm.模型底面中央放置一个可调节功率的电热炉,作为集中热源.顶面中央安装直径为150 mm的轴流排风机,为提高出流速度的稳定性,在风口处安装孔板加蜂窝器.总电路接有JJW-3K型高精度稳压器,输出电压为220±1 V,热源外接功率计量插座,风机外接无极调速器.

1.2 测试仪器与测点设置

在X=200 mm, Y=450 mm处垂直方向上设置17个温度测点(R1~R17),如图1所示.各测点均用铝箔防护,以减少热辐射影响.测点R1和R17分别位于底面和顶面.各测点间距为100 mm.所有热电偶探头分别连接K型四通道温度记录仪,连续记录室内垂直温度,时间间隔设为1 min.

自然排风口布置三个万向微风速仪SWA03(S1~S3),自然进风口布置三个万向微风速仪SWA03(S4~S6),风速仪均连接Swema3000多用途测试仪表,用来连续记录自然通风口处的风速和风温.在机械排风口S7处安装热线风速仪SWA31,风速仪连接Swema3000多用途测试仪表,用来连续记录机械排风速度.风机下侧T1点处安装TR-72Ui型温度自记仪,用来连续记录机械排风温度.连续

记录时间间隔均设为1 min.

利用INNOVA 1303多点采样及释放仪和INNOVA 1412红外光声谱气体监测仪,并利用转子流量计控制示踪气体SF₆的释放速率.在距热源中心25 cm的P0点处设置SF₆扩散源,采用恒定释放法,释放速率为400 mL/min.自然进风口处设置P1、P2两个采样点,X=200 mm,Y=450 mm,Z=200 mm处设P3采样点,机械排风口处设置P4采样点,自然排风口处设置P5、P6两个采样点.

1.3 蜂窝器对机械排风速度稳定性的影响

蜂窝器能够降低气流的湍流度^[11].本实验为获得稳定的机械排风速度,在机械排风口处安装蜂窝器.选取S7测点处采样间隔为10 s,60 min内加蜂窝器和未加蜂窝器的实测速度值做对比,如图2所示.

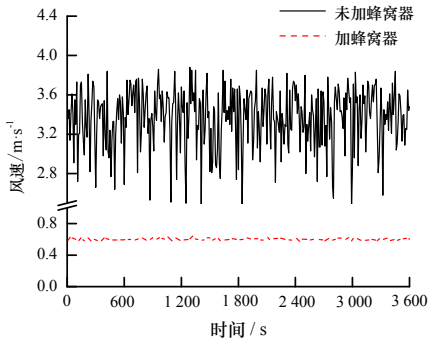


图2 机械排风速度曲线
Fig.2 Velocity curve of the mechanical exhaust

由图2可知,蜂窝器能降低出风速度的脉动,对提高机械排风速度的稳定性效果非常显著.未加蜂窝器的排风速度为3.365±0.308 m/s(平均值±标准差),加蜂窝器的排风速度为0.6±0.014 m/s.

1.4 实验工况

实验工况中热源强度Q取200 W、500 W和800 W;机械排风速度v_p通过蜂窝器从0.2 m/s增加到2.2 m/s,为了更好的分析机械排风对室内环境的影响,通过移除蜂窝器增大排风速度到最大值v_{max}.与机械排风速度相对应的机械排风量G_p如表1所示.

表1 实验工况中机械排风速度、机械排风量与热源强度的变化

Tab.1 The change of the mechanical exhaust, mechanical exhaust flow rate and residual heat velocity in experimental condition			
热源强度 Q/W	200	500	800
机械排风速度 $v_p/m\cdot s^{-1}$	0, 0.2, 0.6, 1.0, 1.4, 1.8, 2.2, v_{max}	0, 0.2, 0.6, 1.0, 1.4, 1.8, 2.2, v_{max}	0, 0.2, 0.6, 1.0, 1.4, 1.8, 2.2, v_{max}
	0, 12.7, 38.2, 63.7, 89.2, 114.7, 140.2, 300	0, 12.7, 38.2, 63.7, 89.2, 114.7, 140.2, 300	0, 12.7, 38.2, 63.7, 89.2, 114.7, 140.2, 300

为了比较复合通风与热压通风的运行效果,通过关闭机械排风口来实现热压通风,即上表中 $v_p=0$ m/s, $G_p=0$ m³/h的情况;机械排风速度 $v_p=v_{\max}$ 代表移除蜂窝器后,用调速器将风机转速调至最大时的机械排风速度,此时机械排风量为风机的额定风量300 m³/h.实验中每个工况连续测试时间为150 min,选取其中稳定状态下60 min内的数据,并取算术平均值.

2 实验结果及分析

2.1 室内垂直温度分布

选取热源强度为200 W和800 W,排风速度为0.6 m/s、1.0 m/s和2.2 m/s的复合通风与热压通风的室内垂直温度分布,如图3和图4所示.图3和图4是以无量纲高度 h/H 为纵坐标,以无量纲温度 $(t-t_0)/(t_p-t_0)$ 为横坐标.无量纲温度即热分布系数,其大小能直观反映垂直方向上的温度结构.其中 h 为垂直方向上各测点高度, H 为模型净高度, t 为垂直方向上各测点温度, t_0 为进风口温度(取图1中S4~S6测点温度的算术平均值), t_p 为排风口温度(热压通风时取图1中S1~S3测点温度的算术平均值,复合通风时取T1测点温度值,其中T1位于风机下侧,见图1).

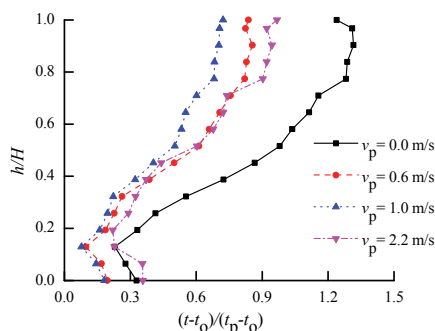


图3 热源强度为200 W时室内垂直温度分布

Fig.3 The vertical distribution of indoor temperature with residual heat at 200 W

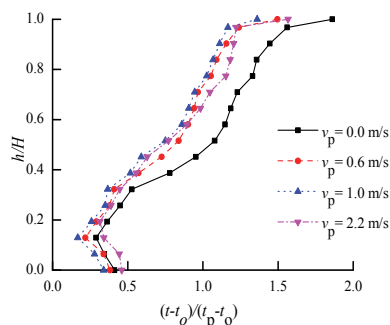


图4 热源强度为800 W时室内垂直温度分布

Fig.4 The vertical distribution of indoor temperature with residual heat at 800 W

由图3和图4可知,热源强度越大,模型顶面附近温度梯度越大.这是由于热源对顶面的辐射传热,使顶面成为次生热源,随着热源强度增大,热源表面温度亦增大,此时次生热源辐射强度也明显增强.同时,底面温度高于其上方附近空气温度,这是由于顶面对底面辐射传热引起的^[12].由于受自然进风口冷空气影响,R3高度(即 $h/H=0.13$)处温度最低.另外从图中可看出,当 v_p 从0 m/s增大到1.0 m/s时,垂直方向同一测点的温度逐渐减小.但增大到2.2 m/s时,无量纲温度变化出现了逆转,即无量纲温度不再降低,反而比 $v_p=1.0$ m/s时大.与热压通风相比,复合通风在一定程度上通过增加机械排风速度,会对室内热环境有所改善,但并非越大越好,而是存在某个速度临界值.当机械排风速度大于该临界值时,不仅增加了更多能耗反而使室内热环境变差.这一现象可以通过分析自然进、排风口风速和工作区温度随机械排风速度的变化规律来进一步解释.

自然进、排风口风速随机械排风速度的变化规律如图5所示.从图中可以看出随着机械排风速度的增大自然排风口风速先减小后增大,而自然进风口风速先增大后趋于稳定.即当 v_p 从0 m/s增大到1.0 m/s时,自然排风口风速从0.36 m/s减小到0.125 m/s,而当 v_p 从1.0 m/s增大到最大值 v_{\max} 时,自然排风口风速从0.125 m/s逐渐增大到0.18 m/s.由于实验中测试自然通风口风速的万向微风速探头不具有测定风向的功能,因此笔者根据自然排风口风速大小的变化来推测当 v_p 大于1.0 m/s时,自然排风口处由正压变为负压,由排风变为进风,即自然排风口被短路.

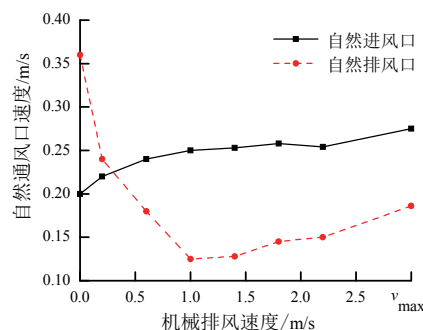


图5 热源强度为200 W自然进、排风口风速随机械排风速度的变化规律

Fig.5 The change of velocities of natural openings with mechanical exhaust velocity with residual heat at 200 W

工作区温度随机械排风速度的变化规律如图6所示,其中 t_n 为工作区温度(取图1中R3测点的温度值).由图可知,随着机械排风速度增大,不同

热源强度下工作区温度变化规律相似,即当机械排风速度从0 m/s增大到1.0 m/s时,工作区温度均逐渐降低。这是由于机械排风装置能够将积聚在上部空间的热空气有效地排出。当机械排风速度从1.0 m/s增大到1.8 m/s时,自然排风口出现短路现象,则自然排风口有部分室外空气进入从机械排风口排出,使得上部空间积聚的热空气排出量减少,因此工作区温度略有上升。当机械排风速度从1.8 m/s增大到2.2 m/s时,自然排风口短路现象加剧,此时积聚在上部空间的热空气回流到工作区使温度急剧上升。当机械排风速度从2.2 m/s增大到 v_{\max} 时,由于排风量增大,短路气流和上部空间热气流的排出量均增加,因此工作区温度有所下降。由以上分析可知,临界排风速度为1.0 m/s,此时临界排风量为63.7 m³/h。

比较不同热源强度作用下的工作区温度曲线,从图6可看出随着热源强度增大工作区温度亦增大。这是因为当热源强度增大时,羽流流量也增大,此时热压增大引起自然进风口风速增大,将会冲击热羽流使其提前解体。再者热源表面温度亦随着热源强度增大而增大,通过辐射方式传递到周围壁面的热量增多,壁面通过对流换热使大量热空气不能及时排出,回流到工作区的热空气增多,因此工作区温度增大。

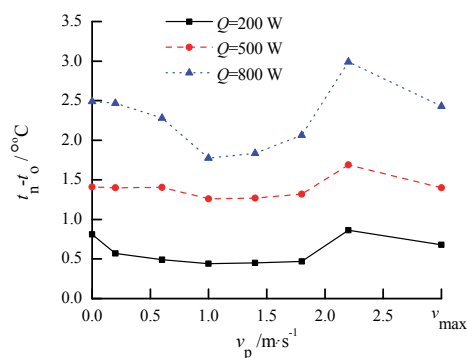


图6 工作区温度随机械排风速度的变化规律

Fig.6 The change of temperature in workplace with the mechanical exhaust velocity

2.2 温度效率

通风效率是指通风系统排除通风空间内部产生的热量或污染物的能力^[13]。即通风效率高关系室内热环境和空气品质的优劣,因此将其作为评价复合通风系统运行效果的重要指标。

就排除余热而言通风效率又称为温度效率^[14],它既是室内热环境设计过程中预设、比较的重要依据,亦是运行管理时检验与评估的重要指标^[15]。本

文采用工作区温度效率 E_T :

$$E_T = \frac{t_p - t_o}{t_n - t_o} \quad (1)$$

利用公式(1)计算出实验中24组工况的温度效率 E_T ,温度效率随机械排风速度和热源强度的变化规律如图7所示。

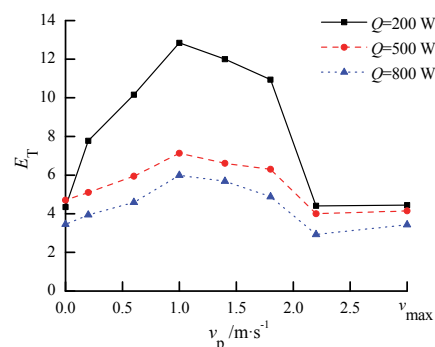


图7 温度效率随机械排风速度和热源强度的变化规律

Fig.7 The changing of temperature efficiency with the mechanical exhaust velocity and residual heat

由图7可知,随着机械排风速度增大,不同热源强度下的温度效率变化规律相似,即随着机械排风速度的增大,温度效率先增大后减小。当机械排风速度小于临界排风速度时,增加排风速度对温度效率起增益效果。当机械排风速度大于临界排风速度时,增加排风速度对温度效率起抑制作用。当机械排风速度等于临界排风速度时,温度效率为最佳增益温度效率。其中,热源强度为200 W时临界排风速度对应下的最佳增益温度效率为12.84;热源强度为500 W时的最佳增益温度效率为7.13;热源强度为800 W时的最佳增益温度效率为5.99。

比较不同热源强度作用下的温度效率曲线,可知随着热源强度的增大温度效率降低,其中热源强度为200 W时温度效率最高,热源强度为800 W时温度效率最低。这是因为热源强度为200 W时,热源表面温度较低,热源与周围环境的换热主要通过对流的方式进行,此时引入机械排风可以弥补热压通风动力的不足,因此当机械排风速度小于临界排风速度时,机械排风对改善室内热环境作用非常明显。热源强度为800 W时,热源表面温度明显升高,此时热源与周围环境的总换热量中,由热源辐射到模型壁面的热量占了很大比重,机械通风对通风效率的作用不是很明显。因此相同机械排风速度下的温度效率随热源强度增大而降低。

2.3 排污效率

就排除污染物而言通风效率又称为排污效率

^[14],它能够准确地表达出污染源状况已知时通风系统的排污能力^[16]。本文采用工作区排污效率 E_C :

$$E_C = \frac{c_p - c_o}{c_n - c_o} \quad (2)$$

式中: c_p 为排风口处污染物浓度(热压通风时取图1中P5、P6测点处SF₆浓度算术平均值,复合通风时取P4测点的浓度值); c_o 为进风口处污染物浓度(取图1中P1、P2测点处浓度算术平均值); c_n 为工作区污染物浓度(取图1中P3测点浓度值)。

利用公式(2)计算出实验中24组工况的SF₆示踪气体排污效率 E_C ,排污效率随机械排风速度和热源强度的变化规律如图8所示。

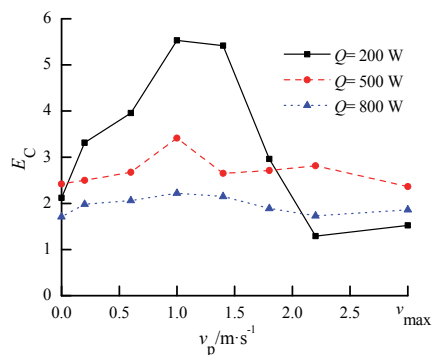


图8 排污效率随机械排风速度和热源强度的变化规律

Fig.8 The changing of contaminant removing efficiency with the mechanical exhaust velocity and residual heat

由图8可知,随着 v_p 增大,不同热源强度下的 E_C 变化曲线与图7中 E_T 变化曲线基本一致,即随 v_p 增大, E_T 先增大后减小。同样地,临界排风速度等于1.0 m/s,此时排污效率最大,即为最佳增益排污效率。当 v_p 小于临界排风速度时,增加 v_p 对排污效率起增益效果;当 v_p 大于临界排风速度时,增加 v_p 对 E_T 起抑制作用。其中,热源强度为200 W时临界排风速度对应下的最佳增益排污效率为5.53;热源强度为500 W时的最佳增益排污效率为3.41;热源强度为800 W时的最佳增益排污效率为2.22。比较不同热源强度作用下的排污效率曲线,可知随着热源强度的增大临界排污效率降低。对比图7与图8可知排污效率整体上比温度效率小,这是由于本试验所使用的示踪气体SF₆的分子量为空气的5倍,则需要更多的通风动力才能将SF₆有效排出。

3 结论

本文搭建了室内具有集中热源、集中污染源、屋顶设机械排风装置和不同侧面设有面积相同的自然进、排风口的复合通风模型。研究了该模型内

垂直温度分布、温度效率和排污效率随机械排风速度和热源强度的变化规律,这对改善工业热厂房中室内热环境及节能具有一定的理论意义和参考价值。主要得到如下结论:

(1) 随着机械排风速度的增大,工作区温度先降低后升高。

(2) 热压通风与机械排风共同作用的复合通风系统存在临界排风速度。当机械排风速度小于临界排风速度时,增加排风速度对温度效率和排污效率起增益效果。当机械排风速度大于临界排风速度时,增加排风速度对温度效率和排污效率起抑制作用。当机械排风速度等于临界排风速度时,温度效率为最佳增益温度效率,排污效率为最佳增益排污效率。

(3) 在实验研究范围内,随着热源强度增大,最佳增益温度效率和最佳增益排污效率均降低。

参考文献 References

- [1] HEISELBERG P K. Hybrid Ventilation—Results of the International Research Project IEA-ECBCS Annex 35[C]//Proceedings of Sb05-the 2005 World Sustainable Building Conference, Tokyo, 27-29 September, 2005.
- [2] LI Yuguo. Analytical of natural ventilation—a summary of existing analytical solutions[R]. IEA-ECBCS ANNEX 35 technical report.
- [3] NIACHOU K, HASSID S, SANTAMOURIS M, et al. Experimental performance investigation of natural, mechanical and hybrid ventilation in urban environment[J]. Building and Environment, 2008, 43(8): 1373-1382.
- [4] TURNER W J N, AWBI H B. Experimental investigation into the thermal performance of a residential hybrid ventilation system[J]. Applied Thermal Engineering, 2015, 77: 142-152.
- [5] TURNER W J N, AWBI H B. Residential hybrid ventilation: airflow and heat transfer optimization of a convector using computational fluid dynamics[J]. Build. Simul., 2015(8): 65-72.
- [6] 王松华. 热压自然通风与机械通风相互增益的多元通风模式研究[D]. 西安: 西安建筑科技大学, 2004.
WANG Songhua. Studies on hybrid ventilation combined with thermal and mechanical ventilation[D]. Xi'an: Xi'an Univ. of Arch. &Tech, 2004.
- [7] 闵剑青, 徐梓斌. 多元通风的室内温度场和空气品质的数值分析[J]. 流体机械, 2006, 34(12): 29-32.
MIN Jianqing, XU Zibin. Numerical Analysis of Indoor Air Temperature and Quality on Hybrid Ventilation[J]. FLUID MACHINERY, 2006, 34(12): 29-32.
- [8] 段双平. 热压自然通风与机械通风共存的大开口建筑多元通风[C]//全国暖通空调制冷2010年学术年会论文集. 杭州, 2010.
DUAN Shuangping. Studies on hybrid ventilation combined with thermal and mechanical ventilation of buildings with large openings[C]//The national HVAC refrigeration 2010 academic essays, Hangzhou, 2010.
- [9] 郭娟, 王汉青. 基于Fluent的多元通风系统数值模拟分

- 析[J]. 流体机械, 2013, 41(5): 29-33.
GUO Juan, WANG Hanqing. Numerical analysis of indoor air temperature and quality on hybrid ventilation[J]. Fluid Machinery, 2013, 41(5): 29-33.
- [10] 中国建筑科学研究院. 民用建筑供暖通风与空气调节设计规范: GB 50736-2012[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2012.
China Academy of Building Research. Design code for heating ventilation and air conditioning of civil buildings: GB 50736-2012[S]. Beijing: China Construction Industry Press, 2012.
- [11] 王怡, 马骏驰, 周宇, 等. 蜂窝器对送风口特性影响的数值模拟研究[J]. 暖通空调, 2014, 44(8): 85-89.
WANG Yi, MA Junchi, ZHOU Yu, et al. Numerical study on influence of honeycomb on air supply outlet characteristics[J]. Journal of HV&AC, 2014, 44(8): 85-89.
- [12] 赵鸿佐. 室内热对流与通风[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2010: 80-105.
ZHAO Hongzuo. Indoor Heat Convection and Ventilation[M]. Beijing: China Construction Industry Press, 2010: 80-105.
- [13] AWBI H B. 建筑通风[M]. 李先庭, 译. 北京: 机械工业出版社, 2011: 72-73.
AWBI H B. Ventilation of buildings[M]. LI Xianting, translated. Beijing: China Machine Press, 2011: 72-73.
- [14] 马仁民. 通风的有效性与室内空气品质[J]. 暖通空调, 2000, 30(5): 20-23.
MA Renmin. Ventilation effectiveness and IAQ[J]. Journal of HV&AC, 2000, 30(5): 20-23.
- [15] 赵鸿佐. 通风效率的规律性问题[J]. 暖通空调, 2005, 35(8): 48-53.
ZHAO Hongzuo. Problems related to regularity of ventilation efficiency[J]. Journal of HV&AC, 2005, 35(8): 48-53.
- [16] 罗志文, 赵加宁. 改进的通风性能评价指标: 实际新风换气次数[J]. 哈尔滨工业大学学报, 2007, 39(6): 912-915.
LUO Zhiwen, ZHAO Jianing. Revised index for ventilation performance evaluation: number of real outdoor air exchanges[J]. Journal of Harbin Institute of Technology, 2007, 39(6): 912-915.

(编辑 桂智刚)

(上接第730页)

内容, 为三号高炉工业遗产的保护与再利用提供行之有效的支持, 为大型、复杂的工业遗产研究起到了示范性作用。

参考文献 References

- [1] 刘伯英, 冯钟平. 城市工业用地更新与工业遗产保护[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2009.
LIU Boying, FENG Zhongping. Renewal of urban industrial land and industrial heritage conservation [M]. Beijing: China Architecture and Building Press, 2009.
- [2] 张松. 城市文化遗产保护国际宪章与国内法规选编[M]. 上海: 同济大学出版社, 2007.
ZHANG Song. International chapter of urban cultural heritage conservation and domestic selection of laws and regulations[M]. Shanghai: Tongji University Press. 2007.
- [3] 刘伯英, 李匡. 工业遗产的构成与价值评价方法[J]. 建筑创作, 2006(9): 24-30.
LIU Boying, LI Kuang. Formation of industrial heritage and method of value evaluation[J]. Architectural Creation. 2006(9): 24-30.
- [4] 刘伯英, 李匡. 首钢工业区工业遗产资源保护与再利用研究[J]. 建筑创作, 2006(9): 36-51.
LIU Boying, LI Kuang. Study on preservation and re-usage of industrial heritage resource in capital steel industrial district[J]. Architectural Creation, 2006(9): 36-51.
- [5] 刘伯英, 李匡. 首钢工业遗产保护规划与改造设计[J]. 建筑学报, 2012(1): 30-35.
LIU Boying, LI Kuang. Planning of conservation and design for remodeling of capital iron and steel works industrial heritage[J]. Architectural Journal, 2012(1): 30-35.
- [6] 刘伯英. 工业建筑遗产保护发展综述[J]. 建筑学报, 2012(1): 12-17.
LIU Boying. Introduction of development of industrial building heritage conservation[J]. Architectural Journal. 2012(1): 12-17.
- [7] 刘伯英, 李匡. 北京工业遗产评价方法初探[J]. 建筑学报, 2008(12): 10-13.
LIU Boying, LI Kuang. Primary exploration of evaluation system of beijing industry heritage[J]. Architectural Journal. 2008(12): 10-13.
- [8] 寇怀云, 章思初. 工业遗产的核心价值及其保护思路研究[J]. 东南文化, 2010(5): 24-29.
KOU Huaiyun, ZHANG Sichu. On the key value of industrial heritage and its protection concept[J]. Southeast Culture. 2010(5): 24-29.
- [9] 阙维民. 国际工业遗产的保护与管理[J]. 北京大学学报(自然科学版), 2007, 43(4): 523-534.
QUE Weimin. On international protection and research of industrial property[J]. Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinensis. 2007, 43(4): 523-534.
- [10] 单霁翔. 关注新型文化遗产—工业遗产的保护[J]. 北京: 中国文化遗产, 2006(6): 10-4.
SHAN Jixiang. Focus on protection of industrial heritage, a new form of cultural heritage[J]. China Cultural Heritage. 2006(6): 10-4.

(编辑 沈波)