

内燃机实验室通风系统模拟

王敬欢¹, 黄 虎¹, 马娟娟², 张忠斌¹, 陈泽民³

(1. 南京师范大学 能源与机械工程学院 江苏 南京 210042)

(2. 武汉纺织大学 环境工程学院 湖北 武汉 430073)

(3. 江苏丹阳苏科空气能研究中心有限公司 江苏 丹阳 212300)

[摘要] 在内燃机实验室建立三维数值模拟, 运用流体动力学软件对实验室有无通风两种情况进行模拟, 通过比较有送风和无送风两种情况下室内的温度、风速和污染物浓度的分布情况与变化关系, 得出此类实验室中合理设计通风系统的必要性, 可以有效降低室内温度, 除去有害物质, 以保证室内环境, 研究结果为类似试验室的工程设计应用提供参考依据。

[关键词] 模拟, 内燃机, 温度场, 污染物

[中图分类号] TU834 **[文献标志码]** A **[文章编号]** 1672-1292(2011) 03-0031-05

Numerical Simulation of Ventilation System for IC Engine Laboratory

Wang Jinghuan¹, Huang Hu¹, Ma Juanjuan², Zhang Zhongbin¹, Chen Zemin³

(1. School of Energy and Mechanical Engineering, Nanjing Normal University, Nanjing 210042, China)

(2. Environmental Engineering Department, Wuhan Textile University, Wuhan 430073, China)

(3. Jiangsu Danyang Suke Air Source Energy Research Center Co., Ltd., Danyang 212300, China)

Abstract: Based on the CFD method, 3D numerical calculation was used to simulate the ventilation system of the internal combustion engine experimental in two different situations. By comparing the diversification and distribution of the indoor air temperature, wind speed and pollutant concentration with and without air supply, we can find out reasonable ventilation design to reduce the indoor temperature, remove pollutant and thus ensure the indoor environment. The result provides a reference for designing and arranging a similar internal combustion engine in engineering applications.

Key words: simulation, internal combustion engine, temperature field, pollutant

伴随我国国民经济和人民生活水平需求的快速提升, 动力机械的需求量不断增大, 内燃机作为动力机械的核心部件, 随着市场需求其产量不断攀升, 因而保证其质量和性能尤为重要, 迫切需要在试验室进行相关的测试实验, 验证其是否满足相关的标准规定。但由于内燃机内部的燃料燃烧排放出来的余热量大, 排放到密封的实验室内部会迅速使室内温度升高; 内燃机排放出来的废气包括: 一氧化碳、碳氢化合物、氮氧化合物、二氧化硫、烟尘微粒等多种有害污染物, 这些余热和污染物严重影响了实验室的环境品质, 对实验人员身心健康造成了严重的威胁。为了保证试验人员健康地工作, 需设计合理的空调系统满足实验室对环境温度、湿度、空气洁净度等要求^[1-2], 从而创造安全舒适的工作环境。本文应用流体动力学模拟软件对内燃机实验室工作工况进行模拟, 通过对比有送风和无送风两种情况下室内的温度场、速度场和污染物浓度等因素, 分析内燃机在试验过程中对实验室的影响。

1 余热和废气计算方法

具体的计算如下:

余热的计算公式 $Q = q_0 \cdot N_y \cdot H_u \cdot \eta$

大气污染物排放浓度计算公式 $C_i = (G_0 / L_y) \times 10^6$,

收稿日期: 2011-03-28.

通讯联系人: 黄 虎, 教授, 硕士生导师, 研究方向: 制冷、热泵系统性能分析与改造. E-mail: hulqf@163.com

其中, Q 向室内散发的热量; q_0 燃料消耗率, 直接喷射式按 $0.215 \text{ kg}/(\text{kW} \cdot \text{h})$ 计算, 预热式按 $0.25 \text{ kg}/(\text{kW} \cdot \text{h})$ 计算; 涡流式(小型高速机)按 $0.25 \text{ kg}/(\text{kW} \cdot \text{h})$ 计算; N_y 发动机标定功率/ kW ; H_u 燃料的热值, 轻柴油按 42500 kJ/kg 计算, 重柴油按 41900 kJ/kg ; η 散热效率按 15% 计算; G_0 柴油机排出的某种污染物的质量排量/ (kg/h) ; C_i 某种污染物排放浓度/ (mg/m^3) ; L_y 柴油机排出的烟气体积流量/ (m^3/h) .

G_0 计算公式 $G_0 = N_y \cdot g_i \cdot \Phi(1 - \varepsilon)$, 其中 g_i 柴油机的该种污染物的比排放量, 按国家标准取定/ $(\text{g}/\text{kW} \cdot \text{h})$; ε 泄漏率, 对研究性质可取 $0.5\% \sim 1.5\%$, 对批量生产出厂试验, 可取 $2\% \sim 4\%$.

L_y 可按式计算: $L_y = 0.024 \cdot n \cdot V_h$,

其中, V_h 发动机排量($\text{缸径} \times \pi \times \text{行程} \times \text{缸数} \div 4$); n 发动机标定转速/ (r/min) . 上式对于二冲程柴油机应乘以 2.

2 物理模型及边界条件

参考某内燃机实验室, 在其设计基础上进行一定的简化并建立物理模型. 通过对试验室和发动机各参数的计算、处理后, 得到设计模拟参数: 模型尺寸为 $8 \text{ m} \times 6 \text{ m} \times 7 \text{ m}$; 发动机尺寸为 $1.4 \text{ m} \times 0.9 \text{ m} \times 1 \text{ m}$, 放置在试验台架上, 距离地面为 0.4 m , 发动机的进气口和排气口直径均为 12 mm ; 发动机散发到室内空间的热量为 150 kW , 废气排量为 8 L , 废气的出口温度为 1000 K ; 由于内燃机燃烧的尾气污染物主要包括一氧化碳、碳氢化合物、氮氧化物、二氧化硫、烟尘微粒等太多污染物, 为了计算方便, 取排放废气中量最多 CO 来代替尾气污染物进行计算; 室内设计温度为 $10^\circ\text{C} \sim 40^\circ\text{C}$, 取送风温差为 15°C , 送风温度为 17°C ; 为减少送排风对对内燃机吸排气过程的影响, 采用孔板送排风, 可以有效的减小送排风在室内的风速, 送风口为 $4 \text{ m} \times 1 \text{ m}$, 送风风速为 1.65 m/s , 排风口为 $4 \text{ m} \times 1.5 \text{ m}$, 排风口在模型中定义为压力出口. 试验室模拟物理模型如图 1.

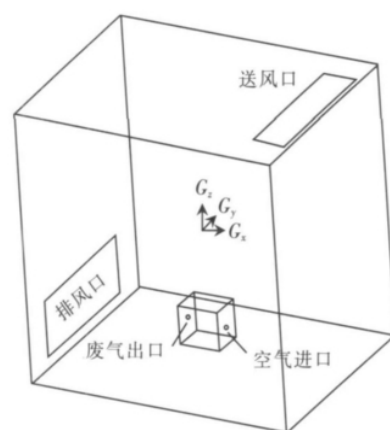


图1 简化模型图

Fig.1 Simplified model

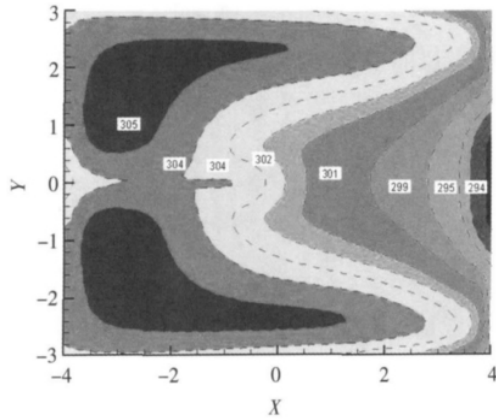
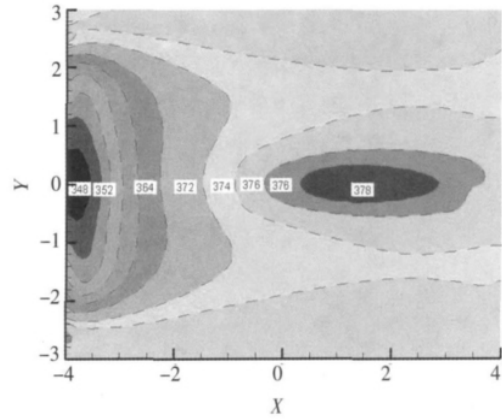
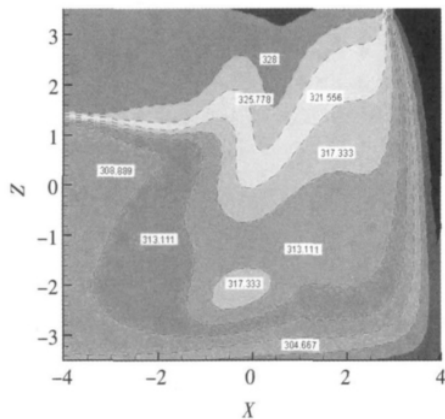
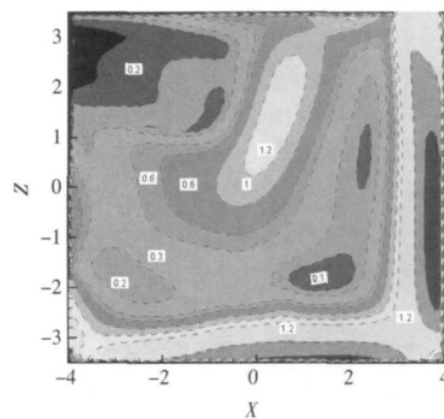
3 模拟结果及分析

运用软件对有新风和无新风两种情况进行模拟比较, 可以清楚地看出通风在除热、除污方面的效果. 为了能够直观地分析室内温度、风速以及污染物的浓度等计算结果, 根据需要选取不同的截面对两种情况进行对比分析.

3.1 温度场和速度场分析

从图 2 可以明显地看出在送风口工作一段时间对室内温度变化产生的影响. 从送风口端至排风口端, 受风压和热压的作用, 使得冷流体不断向左流动与热流体进行混合, 从而达到降温效果, 并形成从右至左温度逐渐减低; 从图 3 可知, 由于没有送风的影响, 热量自由扩散, 在热压的作用下, 热流体通过排风口排到室外, 形成温度分布为从热源处向排风口处逐渐减小, 同时由于排风口设置在左端, 右端的热量没有能够散发出去, 形成热量堆积, 而使得右端的温度明显高于左端. 通过图 2、图 3 发现温度分布较均匀, 且上下对称, 这是由于风口设备各部件都设置在中央位置. 但由于热源在中间位置, 所以温度是由中心逐层扩散开. 通过计算数据可知送风情况下的平均温度比没有送风要低 50 K . 可见, 有效通风可以有效地除去余热, 降低室内温度, 保证室内温度达到设计要求.

通过图 4 可知, 由于冷流体密度大, 下沉; 热流体密度小, 上浮. 热流体从热源上浮至天花板处, 使得该处温度逐渐升高, 在部分天花板面温度最高. 在分布图中间情况出现一处温度为 317.3 K 的, 由于该位置离热源比较近, 热源的辐射使得此处温度相比周围要高. 结合图 5 的速度分布图可以发现, 送风口和排风口的送排风形成的风压以及热流在热压下使得温度分布相对较均匀, 但速度分布却不均匀, 由于冷流体的下沉和热流体的上浮, 在室内上空中位置形成涡区域, 最高速度高于 1.2 m/s . 另外, 在排风口上方角落的风速比较低, 此处空气不断堆积, 没有与周围气流进行交换, 使得此处温度较高, 且难以扩散.

图2 $Z=-3.2$ m 处截面温度场分布(有送风)Fig.2 Temperature fields of ventilation and $Z=-3.2$ m section图3 $Z=-3.2$ m 处截面温度场分布(无送风)Fig.3 Temperature fields of no ventilation and $Z=-3.2$ m section图4 $Y=0.8$ m 处截面温度分布(有送风)Fig.4 Temperature fields of ventilation and $Y=0.8$ m section图5 $Y=0.8$ m 处截面速度分布(有送风)Fig.5 Velocity fields of ventilation and $Y=0.8$ m section

3.2 污染物浓度分析

图6中,由于送风口与排风口存在压差,室内热流体和冷流体的不断对流使得在室内形成了上下对应的两个涡,涡区域内部与周围的气流的交换较少,导致区域的污染物积聚比周围要多,浓度也相对要高.同时受到送风流动的影响,污染物也不断地向排风口流动,通过排风口排放到室外,所以向排风口方向浓度逐渐降低.图7中,污染物通过热压作用自由扩散,逐渐向周围散开,浓度逐渐向四周减小.比较图6、图7中浓度分布数据,无送风的平均污染物浓度是有送风的10倍.可见,通风可以有效地除去室内污染物,降低污染物浓度,从而保证试验室的洁净度,提供一个安全的工作环境.

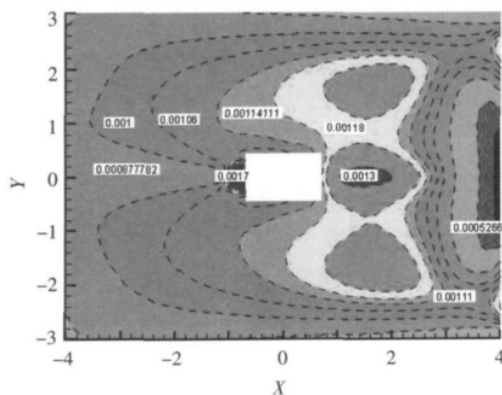
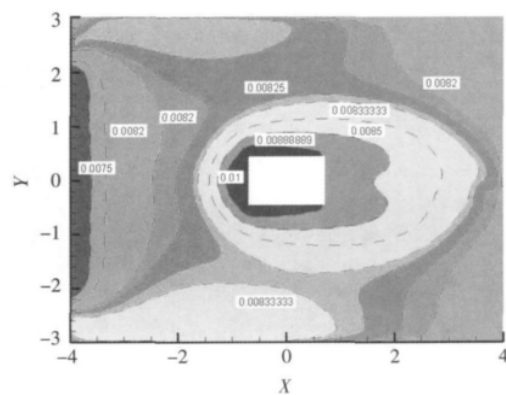
图6 $Z=-2.5$ m 截面 CO 质量分数分布(有送风)Fig.6 Mass fraction of CO in ventilation and $Z=-2.5$ m section图7 $Z=-2.5$ m 截面 CO 质量分数分布(无送风)Fig.7 Mass fraction of CO in no ventilation and $Z=-3.2$ m section

图 8、图 9 显示, 污染物从内燃机出口出来的温度比较高, 以及受到热空气的流动影响, 污染物也不断上浮, 形成从地面至屋顶浓度不断增加. 在有送风的情况下, 受送风的影响, 底层污染物被排到室外, 使得地面附近的污染物浓度要低很多. 从图 4、图 8 可知, 由于排风口上方的屋顶面角落的风速比较小, 且没有向周围流动, 形成热量和污染物堆积的死角, 将会降低室内环境质量, 这也是实际工程设计中不允许的, 应该避免.

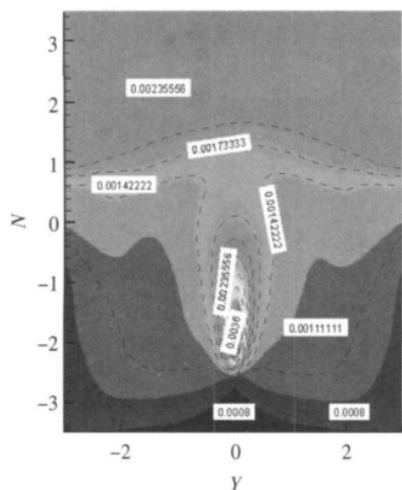


图 8 $X=-1.0$ m 截面 CO 质量分数分布(有送风)

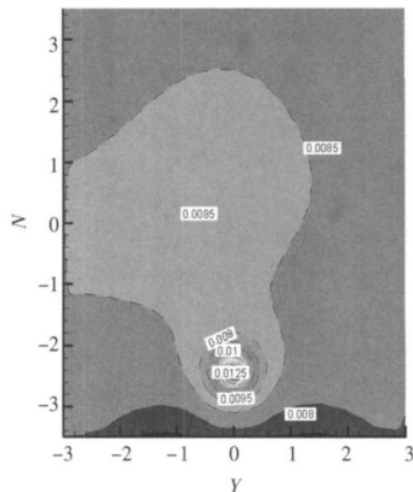


图 9 $X=-1.0$ m 截面 CO 质量分数分布(无送风)

Fig.8 Mass fraction of CO in ventilation and $X=-1.0$ m section Fig.9 Mass fraction of CO in no ventilation and $Z=-1.0$ m section

4 结论

本文利用流体动力学模拟软件对比内燃机试验室有送风和无送风两种情况下, 内燃机产生余热和废气对实验室环境产生的影响进行模拟计算, 通过比较、分析模拟结果的温度场、速度场和污染物浓度, 得出有效通风可以保证实验室的环境改善.

(1) 结合模拟结果对比分析两种情况下的温度场, 可知通风可以使室内平均温度降低 50 K, 有效地降低室内温度, 以满足室内环境的温度设计要求.

(2) 结合模拟结果对比分析两种情况下的污染物浓度发现, 通风可以有效地除去室内污染物, 使室内的污染物浓度降至 10% 左右, 从而保证室内环境的洁净度, 为工作人员营造一个安全的环境.

(3) 在上送下回的设计中, 由于高温热流体上浮, 会在排风口一侧的屋顶角落形成局部的热量和污染物聚积, 且难以散去, 影响室内环境品质. 因此, 在实际工程设计中可以考虑在顶部安装一个排风口, 在热压的作用下, 堆积的余热和污染物可以排放到室外.

(4) 通过模拟软件对实际工程项目的模拟, 可以发现实际工程设计中出现的一些问题, 针对问题采取可行的方法进行处理, 以满足设计要求, 保证工程质量.

因此, 有效通风可以保证试验室的温度、风速、洁净度等设计要求, 在实际工程中需合理设计, 从而满足实验人员对环境的要求, 保证工作人员的身心健康.

[参考文献] (References)

- [1] 李阳春. 实验室空调通风系统优化设计[J]. 实验技术与管理 2004 21(6): 106-108.
Li Yangchun. Optimization designing of air-conditioning and ventilation system in laboratory [J]. Experimental Technology and Management 2004 21(6): 106-108. (in Chinese)
- [2] 刘琳. 实验室空调通风系统设计的关键环节[J]. 洁净与空调技术 2001(3): 36-41.
Liu Lin. The key link designing of air-conditioning and ventilation system for laboratory [J]. Contamination Control and Air-Conditioning Technology 2001(3): 36-41. (in Chinese)
- [3] 梁结实. 柴油机试验排烟系统设计[J]. 工程建设与设计 2000 159(1): 37-39.
Liang Jieshi. Smoke exhausting system design for diesel engine laboratory [J]. Construction and Design for Project 2000 159

- (1): 37-39. (in Chinese)
- [4] 康健. 汽车发动机实验室的空调设计[J]. 制冷技术 2004(3): 23-25.
Kang Jian. Air conditioning design for motor-test LAB[J]. Refrigeration Technology 2004(3): 23-25. (in Chinese)
- [5] 徐蓉. 内燃机实验室空调通风系统设计[J]. 小型内燃机与摩托车 2007 36(6): 63-66.
Xu Rong. Design of air condition and ventilation system of engine laboratory [J]. Small Internal Combustion Engine and Motorcycle 2007 36(6): 63-66. (in Chinese)
- [6] 徐云 李朝晖. 内燃机电涡流测功机实验室的设计与建设[J]. 实验技术与管理 2006 23(11): 143-146.
Xu Yun Li Zhaohui. Design and construction on eddy current dynamometer laboratory of engine [J]. Experimental Technology and Management 2006 23(11): 143-146. (in Chinese)
- [7] 倪计民 汪静 戴利生. 内燃机实验室通风系统优化设计[J]. 内燃机工程 1996 17(4): 34-38.
Ni Jimin Wang Jing Dai Lisheng. Optimum project of ventilation for IC engine laboratory [J]. Chinese Internal Combustion Engine Engineering 1996 17(4): 34-38. (in Chinese)
- [8] GB 16297-1996. 大气污染物综合排放标准[S]. 北京: 中国环境科学出版社 2000.
GB 16297-1996 Integrated emission standard of air pollutants[S]. Beijin: China Environmental Science Press 2000. (in Chinese)
- [9] 胡定科 荣先成 罗勇. 大空间建筑室内气流组织数值模拟与舒适性分析[J]. 暖通空调 2006 36(5): 12-16.
Hu Dingke Rong Xiancheng Luo Yong. Numerical simulation and thermal comfort analysis of indoor air distribution in large space buildings [J]. Heating Ventilating and Air Conditioning 2006 36(5): 12-16. (in Chinese)
- [10] 杜立春 裴峰. 空调房间内气流组织的数值模拟[J]. 制冷与空调 2004(1): 8-11.
Du Lichun Pei Feng. Numerical simulation of the airflow in air conditioning room [J]. Refrigeration and Air-condition 2004 (1): 8-11. (in Chinese)
- [11] 韩占忠 王敬 兰小平. FLUENT 流体工程仿真计算实例与应用[M]. 北京: 北京理工大学出版社 2004.
Han Zhanzhong Wang Jing Lan Xiaoping. FLUENT—Cases and Applications for the Simulation and Application of Fluid Engineering[M]. Beijing: Beijing Institute of Technology Press 2004. (in Chinese)

[责任编辑: 刘 健]