

The Application Technology of Thermal Pressure Jet-Induced Natural Ventilation

Xingwang Tian, Xing Gao, Li Zhang, Dianguang Zhang, Lian Duan

Dalian Ocean University, Dalian, China, 116023

Email: txw-1203@126.com,

Address: No.52 Heishijiao, Dalian

Abstract: Thermal pressure ventilation design is an effective mean of the natural ventilation technology. Firstly, the article analyzes the problems of using conventional thermal pressure natural ventilation in the multi-storey buildings. On this basis, a new thermal pressure Jet-induced natural ventilation mode is proposed for the multi-storey buildings, and the principle and characteristics of this ventilation mode are discussed initially, and showing its theoretical feasibility and energy-saving, then pointing out that several problems should be concerned when the model practically applied, the results provide some ideas for further promotion of this new technology of thermal pressure natural ventilation.

Keywords: Natural ventilation; Thermal pressure effect; Jet-induced suction; energy-saving and economy

热压引射自然通风的应用技术

田兴旺, 高兴, 张丽, 张殿光, 段炼

大连海洋大学, 大连, 中国, 116023

邮箱: txw-1203@126.com

地址: 辽宁省大连市沙河口区黑石礁街 52 号

摘要: 热压通风设计是一种有效的自然通风技术手段。文章首先分析多层建筑在利用常规热压自然通风技术时存在的些许问题。在此基础上, 针对多层建筑提出了一种新的热压引射自然通风技术, 并探讨了该通风技术的工作原理、设计特点, 说明了其节能以及理论设计上的可行性, 同时指出在实际应用该技术时需要注意的几方面问题, 为进一步的推广热压自然通风新技术的应用提供了一定的思路。

关键词: 自然通风; 热压作用; 引射效应; 节能经济

1 引言

降低建筑能耗、提高居住品质已成为现代建筑设计的重要守则^[1]。2010年上海世博会拉开了“低碳节能”、“生态绿色”等一系列概念的大序幕, 现代建筑设计努力的目标应该是实现建筑和环境和谐共存的新型建筑模式, 使之在建造和使用过程中, 不但有效利用自然资源和高新技术成果, 而且让建筑物的资源消耗对环境的污染降到最低限度。

现代建筑自然通风手段利用自然资源改善居住质量, 减少对常规能源(煤、电、石油等)的消耗, 是人们乐于接受的通风方式。因此, 建筑自然通风设计, 作为一种古老但有效的建筑节能技术措施, 近年来重新成为人们关注的一大热点。

但如今人们对自然通风的利用不同于以前简单的开启门窗, 而是通过有效的建筑设计手段, 即充分利用室内外条件, 如建筑周围环境、建筑构造(如中庭、双层幕墙、风塔、门窗、屋顶等构件设计)、太阳辐射、室内热源、机械辅助通风等来组织、控制和诱导自然通风换气。在建筑内部, 尤其进深较大的部位, 由于人体、灯光、设备、太阳辐射作用等产生较多的热量使得室内空气温度高于室外温度时, 热压通风设计以其有效性、可控制性广受人们的青睐^[2-3]。

文章在分析了多层建筑利用常规热压作用自然通风技术存在若干问题的基础上, 提出了一种节能经济的全新的热压引射自然通风技术模式, 并初步探讨了该通风技术的原理、特点、实现方法和应用前景, 最

后结合建筑竖向集中排气管道，说明了应用该通风技术需注意的几点问题，为今后进一步研究和应用热压自然通风新技术提供一定的参考。

2 常规热压作用自然通风技术

热压通风是利用建筑内部的空气热压差来实现自然通风的。设计师常利用这一点，充分挖掘热压通风的潜力，在建筑内灵活设置中庭、拔风井、楼梯间等，结合内部贯通空间，形成自然通风系统。传统的如蒙古包“天窗”拔风，现代建筑包括欧洲最高的德国法兰克福商业银行大楼、英国卡斯廷的BRE办公建筑^[4]、诺丁汉英国国内税务中心、柏林国会大厦改建工程等都是应用“烟囱效应”的优秀范例。

图1为多层建筑在常规热压作用下的自然通风示意图，设建筑室内外温度、密度分别为 t_i, ρ_i, t_o, ρ_o ，上下孔口中心高差为 H ，上下孔口处的压力差分别为 $\Delta p_1, \Delta p_2$ ，上下孔口分别与中和面的高度差为 h_1, h_2 。那么，任意水平高度上室内外的通风压力差为：

$$\Delta p = hg(\rho_i - \rho_o), -h_1 \leq h \leq h_2$$

仔细研究会发现以下几个问题：第一，中和面以上的住户不能有效的引入室外新风，且从下层住户排出的潮热污浊气体会进入上层住户，越往上层污染越严重；第二，实际的自然通风模式多为热压和风压叠加作用情况，风向不定会使得风压对热压有削弱的一面；第三，通常设置的上下连通的中庭、梯井等空间会占用较多的建筑面积，且形成的热压上升气流不易控制。为此，笔者换位思考，尝试找寻一种适合于多层建筑的简单又特殊的竖井，利用的仍然是“烟囱效应”，但可以克服常规热压作用自然通风模式的缺点，而且力求简便易行、节能环保又可降低建筑造价。

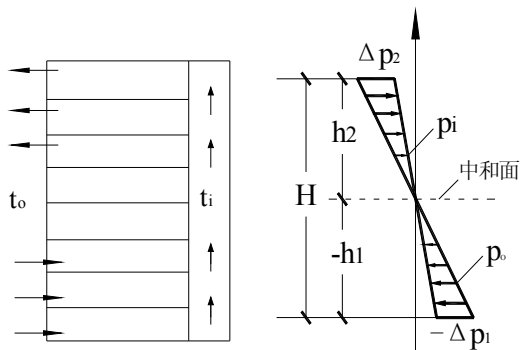


Figure1. Schematic diagram: conventional thermal pressure ventilation in the multi-storey buildings

图1 多层建筑常规热压作用通风模式示意图

3 热压引射自然通风技术

3.1 工作原理

思路来自于在建筑中部设天井或上下贯通的中庭所形成的“烟囱效应”以及住宅建筑厨房中广泛使用的竖向排烟道^[5]。这种新的自然通风模式通过在建筑内部的非承重墙体中布置若干根上下贯通的排气管道连接各层房间，利用“文丘里管”渐缩断面设计策略，改变排气管道的截面面积，形成气流的“引射”现象，在靠近天花板的各层墙壁吸入口处产生负压抽吸力，引导室内污浊潮热空气排入管道，促进了热压作用自然通风，最后由安装在屋顶的排气集管排至室外。室内一旦处于负压区状态，室外新鲜空气便可通过门窗开启或墙体缝隙自然流进室内，实现自然通风换气。热压引射自然通风模式的工作原理实质上是利用了常规热压的“烟囱效应”和空气动力学中气流的“引射效应”。其通风模式示意图见图2所示，其中， Δp_t 为多层建筑的总热压。

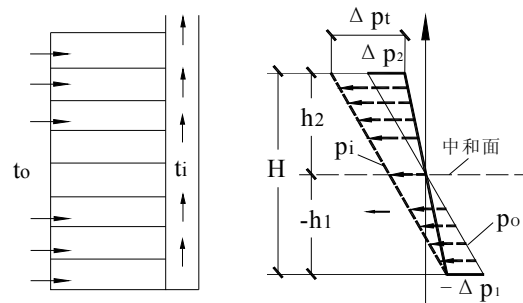


Figure2. Schematic diagram: thermal pressure Jet-induced ventilation in the multi-storey buildings

图2 多层建筑热压引射通风模式示意图

3.2 可行性分析

应用这种新的自然通风模式时，要想有效的引射室内气流进入排气管道，必须使得在墙体开孔洞处的管内静压低于室内静压，根据气流伯努利方程^[6]可知，静压的降低是由动压的增大转换来的，即在理论上可以通过管道截面收缩来实现气流的“引射效应”。

该热压通风模式充分利用了流体动力学性质，即便在最不利条件下（即室外无风的情况），也能产生一种如图2所示的自然通风情况。当室外有风时，风压作用还会促进热压作用，加强自然通风效果。所以理论上其可行性是毋庸置疑的。

3.3 设计使用特点

3.3.1 几点假设

1) 不考虑各层住户在竖向上存在温度差, 排气管道内空气温度均匀; 2) 各层房间布局结构相同, 室内热源情况一致, 各层所通风换气量一样; 3) 当室外风速小时, 忽略风压的影响, 按最不利情况考虑。

3.3.2 风速和风量要求

如图 3 所示给出可能的两种形式。理论上设计时每层吸气孔口所需的静压差都是给定的, 但是要使各层均能有效的引入新风, 从底层往上所要求的抽吸气流形成的负压却越来越大。这是因为中和面之下, 气流速度的增大 (即静压的减小) 必须弥补进气动力正压差的不足部分; 而中和面之上, 气流速度的增大必须首先克服排气动力负压差, 然后再提供引入室外空气的动力正压差。又由于从低层往高层, 排气管道是贯通的, 管内风量逐渐加倍, 而且排气管道摩擦阻力的客观存在, 使得换气量有时不能满足舒适性要求。这种情况, 可通过设计计算, 安装联动控制装置自行调整射流喷口的角度 α 即可满足所需的抽风流速。

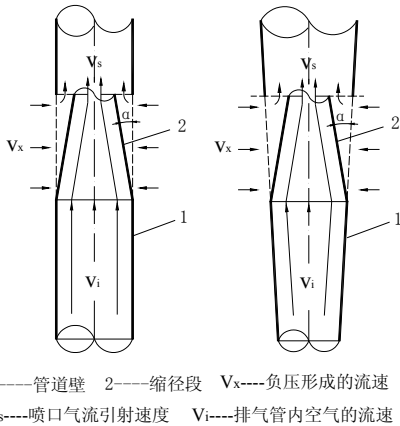


Figure3. Form: negative pressure suction ventilation pipe

图 3 负压抽吸射流通风管的形式

3.3.3 风口布置形式

设计时一般根据最不利条件对各功能房间近天花板处布置若干个吸风口, 根据不同季节时段的换气量不同, 可灵活的开启一个或几个孔口。另外由于管道是暗装在非承重墙体内部, 不会占用建筑使用空间, 如图 4 所示。平时不用时, 用装饰盖板把口封住防止鼠虫进入, 所以吸气孔口不会影响墙面的外观装饰。

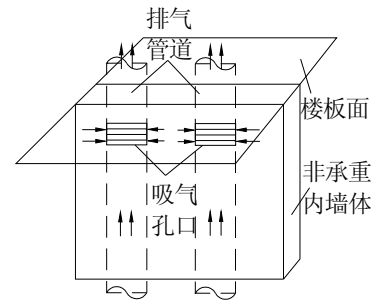


Figure4. Schematic diagram: position of exhaust pipes and intake pore

图 4 排气管道和吸气孔口位置示意图

3.4 应用时注意的问题

由前述分析, 热压引射自然通风技术可以应用到多层住宅竖向集中排气系统中。虽然其工作原理简单, 但由于实际的建筑周围微气候和建筑内部情况都是一个动态变化过程, 在实际应用时要考虑诸多的问题。

3.4.1 增大热压差和减小阻力

热压作用自然通风效果与进排风口间的高度差以及室内外空气温度差存在着密切的关系: 高度差愈大, 温度差愈大, 通风效果愈好。在应用中, 一方面通过对拔风竖井、屋顶等建筑构件的合理设计, 人为的提高通风开口间的有效高度差; 另一方面最大限度的利用风能、太阳能来强化自然通风效果, 通常的做法是将太阳能烟囱和建筑结构结合起来, 比如与建筑一体化安装的屋面太阳能空气集热器^[7]等 (如图 5 所示), 利用太阳辐射能增大排气管道内外温差。此外, 为了解决集中排气管道受到外界风力带来的倒灌不利影响, 可在排气管出口安装有导向叶片的风帽等风压通风设备, 不但能加大引射排风能力形成射流接力, 同时具有防雨, 防雪的功能。

在增强热压抽吸力的同时, 要尽可能的减小系统的排气阻力。关键是对吸气孔口及排气管道断面结构进行合理的优化设计, 使其尽量符合流体动力学性质。在允许的情况下, 可适当的放大排气管道截面以降低流动阻力。阻力越小越有利于系统阻力平衡, 越利于降低气流在吸气口处的噪声。

3.4.2 控制策略

自然通风受到室外气候、建筑周围环境及建筑内部布局等因素的影响, 故其设计和控制很复杂^[8]。如

何在动态变化过程中保证建筑的换气量与热舒适性，控制系统起到关键作用。一方面要注重将空气动力学与建筑设计结合起来的策略，比如通过控制建筑总体朝向、布局和建筑内部各功能房间的细部设计(如家具的摆放位置、门窗的形式及开口尺寸、相对位置等)，确保浊热空气在房间顶部顺畅可以排出去，又能把凉爽的新鲜空气从底部引进来，这样空间内的热量分层也能给室内空气流动提供一定的动力。

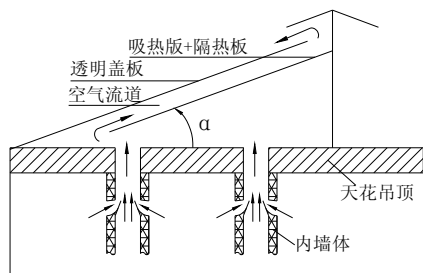


Figure5. Form: solar air collector roofing

图 5 太阳能空气集热屋面的形式

另一方面，要注重夏季夜间强化自然通风的策略^[9]，该策略实质上是一种间歇式的通风方式，即在炎热的白天限制通风，减少热湿空气直接进入室内；夜间强化热压自然通风进行散热散湿，并利用室外冷空气冷却建筑构件及室内家具，使其蓄冷又成为第二天白天冷源。

3.4.3 管道安装技术

集中排气管道在使用时尽量选用经久耐用又经济易加工的材料。安装过程关键是要和土建结构配合好，不能影响和破坏建筑物的主体结构，这就要求严格的控制排气管道的安装施工质量。为了降低排气管道的阻力和施工安装难度，可以使用预制管道，根据设计要求可制作成多种形式，这种情况下要在墙体上先预留孔洞再进行管道的安装。安装时要保证排气管道竖直且稳固，管道内表面光滑，吸气口和竖向管道连接紧密且呈流线型。在风管系统安装完毕后，应按要求进行气密性检验。需注意的是，严禁在承重墙体中使用这种结构以及伸出屋顶的一段竖直风管道要求保温良好。

总之，排气管道的构造形式和安装施工质量是影响排气管道排气效果的重要因素。因此，要求住宅建筑设计单位应充分了解各种排气管道的结构特点、适用条件，正确设计选用排气管道的构造形式；要求住

宅建筑建设单位要从排气管道产品制作、安装等各个环节严格把关，认真考核筛选排气管道施工单位，确保住宅建筑热压引射竖向集中排气管道的排气效果能够达到设计要求。

4 结论

1)热压作用引射自然通风技术在理论上和设计上都是可行的，即可以通过合理的设计改变管道的截面积，控制气流速度大小，从而形成必要的负压抽吸力，达到从底层到顶层用户都能有效的引入室外新风的目的。

2)热压引射自然通风是一种节能经济的新型自然通风技术，不消耗任何常规能源，对环境友好，在多层建筑特别是多层短内廊式住宅建筑中会有着广阔的应用前景。

3)热压引射自然通风技术应用在竖向集中排气系统时，还缺乏足够多的理论指导，也有诸多的问题要注意和解决。文章仅为这种新通风技术手段的应用提供了一个思路和参考。

References (参考文献)

- [1] Zhao Xiaoying, Research on the Natural Ventilation Design of the Residence in Nanjin, Nanjin: Dissertation Submitted to Southeast University, 2005.
赵晓颖, 南京地区住宅自然通风设计研究, 南京: 东南大学硕士学位论文, 2005.
- [2] Ziskind G, Dubovsky V, Letan R. Ventilation by natural convection a one-story building [J]. Energy and Buildings, 2002(34):91~102.
- [3] Gladstone C, Woods AW. On buoyancy-driven natural ventilation of roomwith a heated floor [J]. Journal of Fluid Mechanics, 2001(441): 293~314.
- [4] Wei Feng, Application of Natural Ventilation in Design, Journal of Henan University of Science and Technology[J], 2004, 25(5), P54-57 (Ch).
韦峰, 建筑自然通风在设计中的应用, 河南科技大学学报[J], 2004, 25 (5) P54-57.
- [5] Zhang Weiguo, Guan Hong, Lu Yongjun, The reason analysis to down draft and tainting by odor in exhaust duct system, Builders' Monthly[J], 2008(05), P40-43 (Ch).
张卫国, 关宏, 路永军, 住宅排烟道烟气倒灌与串味的原因分析, 建筑工人[J], 2008(05), P40-43.
- [6] Luo Ti Gan, Fluid Mechanics [M], Beijing, China Machine Press, 2008.
罗惕乾. 流体力学[M], 北京, 机械工业出版社, 2008.
- [7] Zhai Xiaoqiang, Wang Ruzhu, Theoretical analysis of natural ventilation enhanced by solar energy and its application in bioclimatic buildings, Journal of engineering thermophysics [J], 2004, 25(4), P568-570 (Ch).
瞿晓强, 王如竹, 太阳能强化自然通风理论分析及其在生态建筑中的应用, 工程热物理学报[J], 2004, 25(4), P568-570.
- [8] Duan Shuangping, Zhang Guoqiang, Peng Jianguo and Zhou Junli, Development in research of natural ventilation,

HV&AC[J], 2004, 34(3), P22-28 (Ch).

段双平,张国强,彭建国,周军莉, 自然通风技术研究进展, 暖通空调[J], 2004.34(3) P22-28.

- [9] Chen Zhaohui, Wang Wanjiang, Fan hui, Analysis of thermal tnvirment of residential buildings under natural ventilation

mode in summer. House Science, 2007(01), P27-30 (Ch)

陈兆辉,王万江,樊辉, 住宅建筑夏季自然通风方式下热环境分析, 住宅科技, 2007(01), P27-30.