

## 专题研讨

# 建筑气密性对供暖能耗的影响

清华大学 彭琛<sup>☆</sup> 燕达 周欣

**摘要** 以哈尔滨、北京、上海三个地区为例,分析了提高建筑气密性对供暖能耗的影响。研究发现,在严寒和寒冷地区,提高建筑气密性能有效减少渗风带来的供暖能耗,但当建筑气密性过高时,需要采用机械通风保证室内通风设计要求,风机能耗随着通风量增大而增大;在夏热冬冷地区,提高建筑气密性同时需要采用机械通风,增加了风机能耗,总能耗增加。采用机械通风的同时,对排风进行热回收可以减少供暖能耗,在严寒和寒冷地区节能效果明显。

**关键词** 建筑气密性 供暖能耗 机械通风 热回收

## Effect of building air tightness on energy consumption for heating

By Peng Chen, Yan Da and Zhou Xin

**Abstract** Taking Harbin, Beijing and Shanghai as examples, analyses the effect of increasing building air tightness on energy consumption for heating. Finds that raising building air tightness will effectively reduce energy consumption for heating in the severely cold area and cold area, but when building air tightness is too high, mechanical ventilation has to be used to meet the ventilation design requirement, and fan energy consumption increases along with ventilation rate increasing. In the hot summer and cold winter area, mechanical ventilation is needed when raising building air tightness, fan energy consumption increases and total energy consumption also increases. Heat recovery from exhaust air can reduce energy consumption for heating when mechanical ventilation is used, and energy saving effect is obvious in severely cold area and cold area.

**Keywords** building air tightness, energy consumption for heating, mechanical ventilation, heat recovery

Tsinghua University, Beijing, China

### 0 引言

建筑气密性是建筑的一个重要性能参数。在供暖地区,冬季室内外温差大,通过建筑围护结构的冷风渗透造成热量损失,增加了供暖能耗。提高建筑气密性能够减少热量散失,降低供暖能耗,对于建筑节能有重要的意义。夏季室内外温差小,渗风带来的冷负荷占总负荷的比例很小,提高建筑气密性对于减少空调系统能耗作用不大;过渡季可以利用自然通风调节室内环境,高气密性反而不利于通风,采用自然通风更有利于节能。

建筑物的空气渗透主要来自底层大门、外门窗和外围护结构中不严密的孔洞。从我国目前大多数建筑的特点来看,建筑墙体气密性较好,而外窗气密性很差,尤其是普通住宅建筑外窗质量更差,

大量采用钢窗和木窗,空气渗透耗能大大超过了外窗传热耗能。我国东北地区广泛使用的木外窗气密性很差,缝隙宽度达1.5~2.0 mm以上很常见,其渗风量是气密性好的外窗渗风量的数倍甚至数十倍,其耗能量也成倍增加<sup>①</sup>。

提高围护结构气密性,冬季可以减少冷空气渗透到室内,减少热损失,能够有效降低供暖能耗。因此,有人认为提高建筑气密性即可降低能耗,应该大力推广高气密性材料和构造,越来越多的提高

① ☆ 彭琛,男,1987年10月生,在读硕士研究生  
100084 清华大学建筑技术科学系  
(010) 62789761  
E-mail: pengch04@gmail.com  
收稿日期:2010-05-17  
修回日期:2010-08-06

气密性的措施应用到新建建筑中。然而,在提高建筑气密性的同时,室内通风问题逐渐凸显,为维持室内健康环境所需的通风换气量,需要采用机械通风,这种做法将增加风机能耗。在保障室内通风需求的情况下,提高建筑气密性对建筑总能耗产生的影响需要深入讨论。

## 1 相关研究调研

### 1.1 提高建筑气密性节能作用的相关研究

提高建筑气密性可以减小全年供暖总能耗和峰值能耗<sup>[2]</sup>。在风压和热压的作用下,气密性是保证建筑外窗保温性能稳定的重要控制性指标<sup>[3]</sup>;外窗的气密性直接关系到外窗的冷风渗透热损失,气密性等级越高,热损失越小。建筑门窗气密性等级分为1~8级,一般1级窗的窗缝冷风渗透量约为 $4.5 \text{ m}^3/(\text{m} \cdot \text{h})$ <sup>[4]</sup>;若采用3级窗,可减少房间冷风渗透热损失的40%;若采用4级窗,可减少此项能耗的60%~70%;若采用5级窗,则可减少此项能耗的80%之多。若施工时窗框和窗洞之间密封良好,则冷风渗透热损失取决于窗的气密性等级。

在华北地区,典型多层住宅通过门窗缝隙的空气渗透热损失约占供暖热负荷的23%,加强窗的气密性是减少供暖能耗的关键环节<sup>[5]</sup>。文献[6]建议将外门窗的传热系数与空气渗透导致的热损失综合考虑,评价门窗的实际保温效能。

文献[7]分析了宁波地区提高建筑气密性对全年能耗的影响,模型建筑换气次数从 $1 \text{ h}^{-1}$ 减小到 $0.1 \text{ h}^{-1}$ ,即外窗气密性等级从2级增大到5级,全年供冷能耗不变,全年供暖能耗减小77%,全年耗电量减小15%。提高外窗气密性对减少居住建筑全年耗电量效果较显著,因此减少建筑物空气渗透能耗是建筑节能的一个重要方面<sup>[7]</sup>。Emmerich等人研究了美国的办公建筑,提高气密性,使得渗风换气次数从 $0.17 \sim 0.26 \text{ h}^{-1}$ 减小到 $0.02 \sim 0.05 \text{ h}^{-1}$ ,可以节约40%的燃气用量和25%的用电量<sup>[8]</sup>。

### 1.2 提高建筑气密性与相关措施的节能效果研究

近年来,随着建筑技术的发展,住宅的气密性有了较大的提高,单靠自然通风远不能满足人们对室内空气品质的要求,加之装修建材的大量应用,室内空气品质愈发恶劣。采用有组织的通风换气来维持良好的室内空气品质显得越来越有必要<sup>[9]</sup>。

芬兰国家技术研究中心 VTT 建筑技术研究

所进行的一项低能耗建筑物研发项目中,认为气密性好的外围护结构是确保通风系统和热回收装置运行并进行有效控制的必要条件,通过提高建筑的气密性和利用热回收装置,较大幅度地降低了供暖能耗,从而降低了建筑运行的总能耗<sup>[10]</sup>。

Simonson 研究了芬兰居住建筑,分析了采用机械通风与热回收对节能的影响,研究发现节能量与热回收效率有密切关系,当热回收效率为70%,50%和0时,每增加 $0.1 \text{ h}^{-1}$ 的换气次数,能耗将分别增加 $2.7, 4.5$ 和 $9.2 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ ;而 $0.5 \text{ h}^{-1}$ 的换气次数下,每提高10%的热回收效率,可减少 $3.3 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ 的能耗<sup>[11]</sup>。此外,德国学者通过实际工程研究指出,被动房采用热回收技术,冬季可以实现明显的节能效果<sup>[12]</sup>。

综上,当前研究关注的重点主要包括:

- 1) 提高建筑门窗气密性的节能效果;
- 2) 为保证室内换气量而采用机械通风时,进行热回收后的节能效果。

本文将对这两个问题进行深入研究。

## 2 提高建筑气密性的影响及解决措施

### 2.1 提高建筑气密性对室内通风换气的影响

针对目前我国建筑物的特点,提高建筑气密性主要通过加强外门、外窗的气密性。GB/T 7106—2008《建筑外门窗气密、水密、抗风压性能分级及检测》<sup>[13]</sup>将建筑外门、外窗性能分级及检测方法标准合一,将压差为10 Pa时的单位开启缝长空气渗透量 $q_1$ 和单位面积空气渗透量 $q_2$ 作为分级指标值。分级级别越高,建筑外门窗气密性能指标值越低,即气密性能越好,分级指标见表1<sup>[13]</sup>。

表1 建筑外门窗气密性能分级

分级	$q_1/(\text{m}^3/(\text{m} \cdot \text{h}))$	$q_2/(\text{m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h}))$
1	3.5~4.0	10.5~12.0
2	3.0~3.5	9.0~10.5
3	2.5~3.0	7.5~9.0
4	2.0~2.5	6.0~7.5
5	1.5~2.0	4.5~6.0
6	1.0~1.5	3.0~4.5
7	0.5~1.0	1.5~3.0
8	$\leq 0.5$	$\leq 1.5$

分级指标 $q_1$ 和 $q_2$ 分别反映了气密性等级与外门窗开启缝长及面积的关系,不同等级气密性能门窗的空气渗透量可以根据标准规定的指标值进行理论计算。下面选用一个示例对不同气密性能条件下,渗风量大小的差异进行分析。

建筑模型如图1所示。每层有4户居民,每户

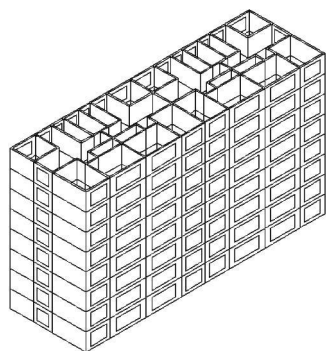


图1 建筑模型

居民外窗窗墙比约为0.3。以户为研究单位,采用分级指标 $q_2$ 对通过外窗的渗风量进行计算,得到其中某户渗风的换气次数与气密性等级的关系,如图2所示。

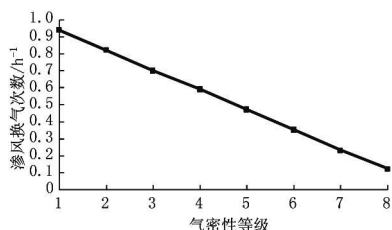


图2 气密性等级与换气次数的关系

图2中各等级标记点为该等级门窗渗风量最大值,即等级1渗风换气次数计算采用 $q_2$ 的值为 $12 \text{ m}^3 / (\text{m}^2 \cdot \text{h})$ 。从图2可以看出,当气密性达到5级时,通过外窗渗风的换气次数已不足 $0.5 \text{ h}^{-1}$ 。提高气密性能,对减小渗风量作用很明显,但也带来一个问题——进入室内的新风不能满足室内通风要求。

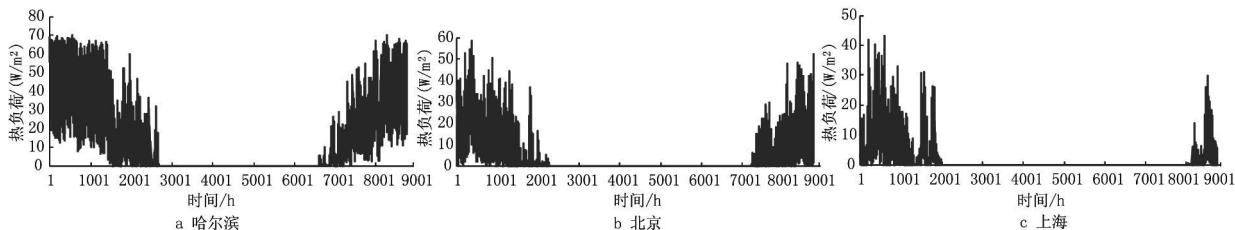


图3 全年供暖负荷分布

随着气密性等级的提高,渗风量逐渐减小,供暖负荷减小。哈尔滨、北京、上海三个地区的居住建筑在不同气密性等级下的供暖能耗如图4所示。

由图4可以看出,提高建筑气密性对节能有非常明显的影响。其中,哈尔滨地区节能量最大,气密性从1级提高到8级,换气次数从 $0.94$

为满足通风要求,各国对建筑的最小通风换气量都有明确的要求。JGJ 134—2001《夏热冬冷地区居住建筑节能设计标准》中要求住宅换气次数至少为 $1 \text{ h}^{-1}$ ,北京地区住宅换气次数为 $0.5 \text{ h}^{-1}$ ,日本对新建住宅的通风换气次数要求达到 $0.5 \text{ h}^{-1}$ 以上,美国ASHRAE 119-1998也有相关的标准。

提高建筑气密性减小了通风换气量,影响室内空气品质,需要采取有效措施,以满足换气次数要求。

## 2.2 机械通风方式

建筑通风从机理上可分为两种:自然通风和机械通风。气密性差的建筑,渗风量大,其自然通风条件相对较好。高气密性建筑在采用机械通风的同时,可以采用热回收装置,对新风进行预冷或预热,但机械通风有风机能耗。

高气密性建筑,渗风负荷较小,对于供暖能耗大的地区,节能效果明显。而为满足通风要求,此类建筑需要采用机械通风,增加了风机能耗。因此,实际能否节能,需要进行具体分析。

## 3 提高建筑气密性对建筑能耗影响分析

下文模拟分析提高建筑气密性对哈尔滨、北京、上海三个地区(分别属于严寒、寒冷和夏热冬冷地区)建筑全年供暖能耗的影响,并进一步研究机械通风和采用热回收后的能耗变化情况。

### 3.1 不考虑新风需求

在气密性等级为1级(见表1)的情况下,各个地区建筑的全年供暖负荷如图3所示。

$\text{h}^{-1}$ 减小到 $0.12 \text{ h}^{-1}$ (见图2),每年每户节能近 $3500 \text{ kWh}$ 。上海地区的节能量也非常明显,节能率超过 $80\%$ 。

### 3.2 采用机械通风保障新风需求

为了保证室内空气品质和满足人员对新风的要求,哈尔滨和北京地区建筑最小换气次数为 $0.5 \text{ h}^{-1}$ ,

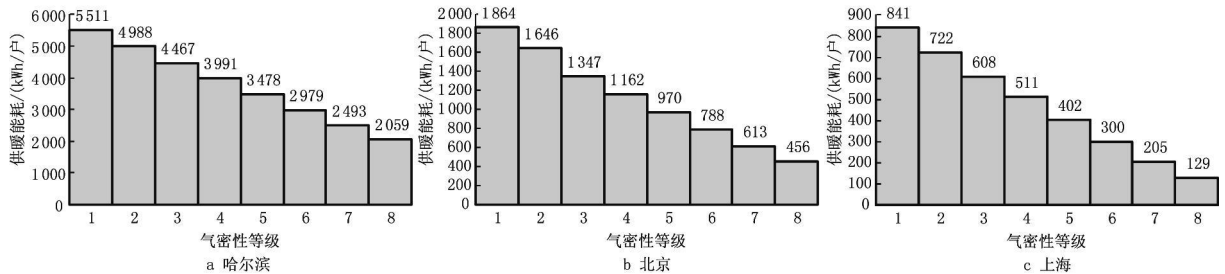


图4 不同气密性等级下的供暖能耗

上海地区为  $1 \text{ h}^{-1}$ 。当通风换气次数低于最小值时,需要采用机械通风,增加了风机能耗。采用机

械通风后,三个地区居住建筑冬季能耗随建筑气密性的变化情况如图5所示。

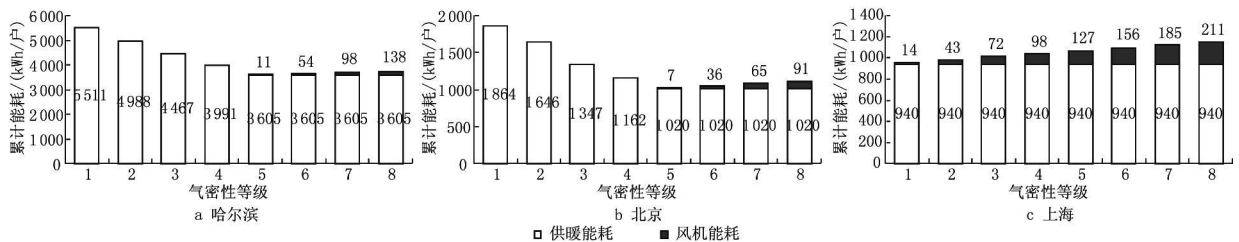


图5 采用机械通风后的冬季能耗

从图5可以看出,对于哈尔滨地区,建筑气密性达到5级时,渗风不能满足室内通风要求,需进行机械通风,此时,系统处理的新风量不再减小,供暖能耗不再随建筑气密性提高而降低,风机能耗随着建筑气密性提高而增加。哈尔滨地区供暖季长,供暖需求大,风机能耗对总能耗影响不大,所占比例最大不过4%。对于北京地区,为了保证  $0.5 \text{ h}^{-1}$  换气次数,在气密性达到5级时,需要采用机械通风,风机能耗占总能耗比例较哈尔滨地区大,最大约为8%。上海地区规定最低换气次数为  $1 \text{ h}^{-1}$ ,门窗气密性为1级时,室内换气次数已低于此值,需要采取机械通风,随着建筑气密性的提高,机械通风量增大,风机能耗增加。

达到一定等级时,需要采取机械通风,增加了风机能耗,在哈尔滨、北京、上海地区,不同程度地影响冬季总能耗。

### 3.3 采用热回收装置

为了降低机械通风造成的能耗增加,在很多工程中都采用了热回收技术。文献[14]分析了不同地区采用热回收装置的节能效果和经济性,指出冬、夏和过渡季节的运行时间直接影响整个系统的节能效果,热回收系统更适用于冬季较长的北方地区。考虑到经济性方面,从整体上看,热回收装置的投资回收期随纬度的增加呈缩短趋势,北方地区较为适用。

假定热回收装置效率为60%,三个地区居住建筑采用热回收装置后总能耗的变化情况如图6所示。

综上所述,为保证最小换气次数,建筑气密性

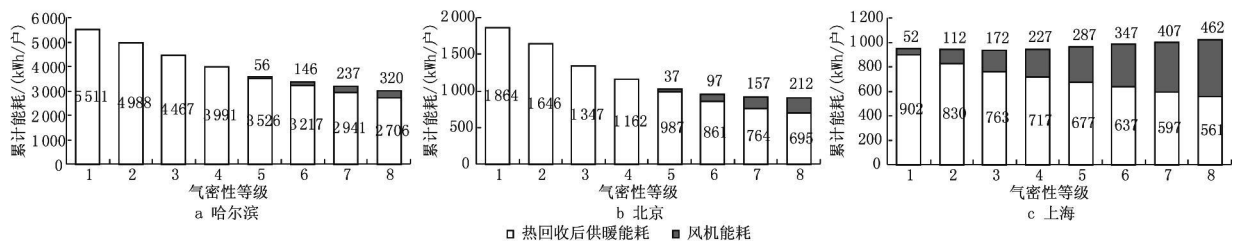


图6 采用热回收装置后的冬季能耗

从图6可以看出,在哈尔滨和北京地区,采用热回收装置可以大幅降低建筑供暖能耗,冬季总能耗明显下降。采用热回收装置会增大风道阻力,增加风机能耗。北京地区风机能耗最大可达212 kWh/户,占总能耗的23%,风机能耗对总能耗影响增大,但较不采用热回收装置,还是有明显的节能效果。采用热回收装置,上海地区建筑供暖能耗有所下降,而风机能耗在总能耗中所占的比例较大,随着气密性等级的增大,风机能耗明显增加;当气密性为4级时,风机能耗增加大于供暖能耗减少量,相对于气密性为3级时,总能耗不降反增。

随着气密性等级的增大,总能耗下降的幅度降低,而设备投资、建筑投资却随着气密性等级的增大而增大。工程运用中,应该根据实际情况进行经济性分析,得出最优的方案,从节能和经济性角度,综合考虑提高建筑气密性的适用性。

#### 4 结论

4.1 满足室内通风换气次数要求情况下,在严寒和寒冷地区的建筑,采用气密性等级较高的围护结构对减少冬季供暖能耗有很好的作用。当建筑气密性过高时,为保证最小换气次数,需要采取机械通风,增加了风机能耗。

4.2 在夏热冬冷地区,为了保证最小换气次数,提高围护结构的气密性等级后需要增大机械通风量,增加了风机能耗,冬季建筑总能耗增加。

4.3 在机械通风情况下采用热回收装置,能使严寒和寒冷地区建筑冬季能耗显著下降,提高气密性有明显的节能效果;在夏热冬冷地区,风机能耗占总能耗最大比例接近50%,供暖能耗随着围护结构气密性等级升高而减小,但风机能耗增大明显,此时提高气密性等级,总能耗不降反增。

#### 参考文献:

- [1] 高甫生,李丽群. 外窗密闭性对寒冷地区建筑能耗的影响[J]. 暖通空调, 1998, 28(4): 11-13
- [2] Wall M. Energy-efficient terrace houses in Sweden: simulations and measurements [J]. Energy and Buildings, 2006, 38(6): 627-634
- [3] 班广生. 大型公共建筑围护结构节能改造的几项关键技术[J]. 建筑技术, 2009, 40(4): 294-300
- [4] 中国建筑科学研究院. GB/T 7107-2002 建筑外窗气密性能分级及检测方法[S]. 北京: 中国标准出版社, 2004
- [5] 张金玲. 北方采暖地区既有居住建筑窗体节能改造措施[J]. 山西建筑, 2009, 35(30): 238-239
- [6] 刘正权, 刘海波, 董人文, 等. 建筑外门窗气密性及空气渗透热损失对实际保温效果的影响[J]. 门窗, 2009(5): 25-28
- [7] 周燕, 闫成文, 姚健, 等. 居住建筑外窗气密性对建筑能耗的影响[J]. 宁波大学学报: 理工版, 2007, 20(2): 248-250
- [8] Emmerich S J, McDowell T P, Amis W. Simulation of the impact of commercial building envelope airtightness on building energy utilization [G]// ASHRAE Trans, 2007, 113(2): 379-399
- [9] 张才才, 李振海. 上海市集合住宅气密性能实测及换气性能分析[J]. 节能, 2005(2): 35-37
- [10] 曹福永. 芬兰低能耗建筑[J]. 太阳能, 2003(1): 18
- [11] Simonson C. Energy consumption and ventilation performance of a naturally ventilated ecological house in a cold climate[J]. Energy and Buildings, 2005, 37(1): 23-35
- [12] Schnieders J, Hermelink A. CEPHEUS results: measurements and occupants' satisfaction provide evidence for passive houses being an option for sustainable building[J]. Energy Policy, 2006, 34(2): 151-171
- [13] 中国建筑科学研究院. GB/T 7106-2008 建筑外门窗气密、水密、抗风压性能分级及检测[S]. 北京: 中国标准出版社, 2009
- [14] 刘宇宁, 李永振. 不同地区采用排风热回收装置的节能效果和经济性探讨[J]. 暖通空调, 2008, 38(9): 15-19

(上接第62页)

- [4] Spatz M, Minor B. HFO-1234yf low GWP refrigerant update[C/OL]. [2008] // Proceedings of the International Refrigeration and Air Conditioning Conference. <http://tinyurl.com/ktsda6>
- [5] IPCC, TEAP. 2005年IPCC/TEAP特别报告, 保护臭氧层和全球气候系统: 有关氢氟烃(HFCs)与全氟烃(PFCs)的一些问题(决策者摘要和技术摘要中文版)[R/OL]. [http://www.ipcc.ch/pdf/special-reports/sroc/sroc\\_spm\\_ts\\_cn.pdf](http://www.ipcc.ch/pdf/special-reports/sroc/sroc_spm_ts_cn.pdf)
- [6] UNEP TEAP. Supplement to the IPCC/TEAP Special Report[R/OL]. [2005]. [http://www.unep.ch/ozone/Assessment\\_Panels/TEAP/Reports/TEAP\\_Reports/teap-supplement-ipcc-teap-report-nov2005.pdf](http://www.unep.ch/ozone/Assessment_Panels/TEAP/Reports/TEAP_Reports/teap-supplement-ipcc-teap-report-nov2005.pdf)
- [7] SAP (NOAA, NASA, UNEP, WMO and UC). Scientific Assessment of Ozone Depletion[R/OL]. [2006]. [http://www.unep.ch/ozone/Assessment\\_Panels/SAP/Scientific\\_Assessment\\_2006/01-Contents\\_Preface.pdf](http://www.unep.ch/ozone/Assessment_Panels/SAP/Scientific_Assessment_2006/01-Contents_Preface.pdf)
- [8] UNEP EEAP. Environmental effects of ozone depletion and its interactions with climate change[R/OL]. [2006]. [http://www.unep.ch/ozone/Assessment\\_Panels/EEAP/EEAP-eeap-report2006.pdf](http://www.unep.ch/ozone/Assessment_Panels/EEAP/EEAP-eeap-report2006.pdf)
- [9] IPCC. 气候变化2007—自然科学基础[R/OL]. <http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/wg1/ar4-wg1-cover-cn.pdf>