

文章编号: 1671-6612 (2020) 02-230-05

严寒和寒冷地区 老旧小区建筑外窗气密性实测分析

马喜斌¹ 闫宇壮¹ 徐从启¹ 方天驰¹ 冯国勇¹ 张兵²

(1. 32181 部队 西安 710032; 2. 北京特种工程设计研究院 北京 100028)

【摘要】 为有效指导老旧小区建筑外窗节能改造, 采用压差法针对严寒和寒冷地区 106 幢外窗进行了气密性实测。结果表明这些外窗的平均冷风渗透量为 $23.04\text{m}^3/(\text{m}^2\cdot\text{h})$, 合格率仅为 16.98%, 大部分外窗达不到气密性要求; 相对于木窗和钢窗, 铝合金窗和塑钢窗能明显提升气密性; 对于塑钢窗, 单层玻璃与双层玻璃的气密性差别较小, 平开塑钢窗的气密性明显优于推拉塑钢窗。

【关键词】 外窗; 气密性; 冷风渗透量; 实测

中图分类号 TU834 文献标识码 A

Filed Test and Analysis for Air Tightness of Exterior Windows in Severe Cold and Cold Zones

Ma Xibin¹ Yan Yuzhuang¹ Xu Congqi¹ Fang Tianchi¹ Feng Guoyong¹ Zhang Bin²

(1. 32181 Unit, Xi'an, 710032; 2. Beijing Special Engineering and Design Institute, Beijing, 100028)

【Abstract】 To guide the energy-saving reconstruction of building exterior windows effectively, filed test and analysis for air tightness of exterior windows in severe cold and cold zones were undertaken. The results show that: the average air infiltration is $23.04\text{m}^3/(\text{m}^2\cdot\text{h})$ and the qualified rate is only 16.98%, Most of the windows can't meet the requirement of air Tightness. The air tightness of aluminum alloy windows and plastic steel windows are better than the wood windows and steel windows evidently; The air tightness difference between the single glass-plastic steel windows and double glass-plastic steel windows is little and the air tightness of casement windows are better than sliding windows obviously.

【Keywords】 Exterior Window; Air Tightness; Air Infiltration; Filed Test

0 引言

严寒和寒冷地区的供暖能耗主要由建筑围护结构传热以及通过建筑外门、外窗缝隙的冷风渗透这两部分能耗构成^[1]。相关研究表明, 空气渗透引起的热损失占建筑热负荷的 25%~50%^[2], 因此, 外窗冷风渗透的控制对于严寒和寒冷地区的能耗有着重要作用。

国外学者对门窗气密性进行了大量实测^[3,4]。国内对于围护结构传热研究较多, 而对于门窗特别是外窗的冷风渗透实测研究则较少。文献^[5]对我国

北方地区(北京和唐山)的居住建筑进行了气密性测试, 其中北京住宅的换气次数为 0.24h^{-1} , 唐山住宅的换气次数为 0.98h^{-1} 。季永明等^[6]采用压差法对大连地区(寒冷地区)9户新建住宅的建筑气密性进行了实测, 并采用红外热像仪进行了空气渗漏点检测; 某公司选取了国内常规的建筑、低能耗建筑和被动房建筑进行房间整体气密性测试和对比分析^[7]; 曹胜民^[8]根据文献以及实地调研的结果汇总了天津地区常用的建筑外窗类型, 然后通过窗户鼓风的方法对这几种建筑外窗的气密性进行了实测;

作者(通讯作者)简介: 马喜斌(1982.07-), 男, 博士, 高工, E-mail: xibinma@163.com

收稿日期: 2019-05-30

丰晓航等^[9]则通过建立居住建筑模型, 利用软件模拟分析了门窗不同气密性等级情况下, 自然通风和机械通风两种模式对建筑能耗的影响, 并考虑气候的差异, 针对不同气候区提出适宜的通风模式和建筑气密性等级。白涛^[10]通过 DeST 能耗模拟软件定量分析了建筑外窗气密性与建筑能耗之间的关系; 王梦伟等^[11]以哈尔滨、北京、成都三个地区为例, 分析了提高办公建筑气密性对采暖和空调能耗的影响, 指出外窗位置的不同, 将对建筑气密性产生直接的影响, 从而影响建筑能耗。

为了解严寒和寒冷地区老旧小区建筑外窗气密性的真实水平, 有效指导老旧小区建筑外窗节能改造, 本文针对严寒和寒冷地区共计 106 幢外窗进行了气密性实测并分析。

1 实测情况

被测的建筑外窗分布在 19 个老旧小区, 门窗类型包括木窗、钢窗、铝合金窗和塑钢窗; 玻璃层数包括单层、双层和三层; 开启方式分为平开和推拉。根据现场的测试条件, 得到有效测量的外窗共计 106 幢, 其信息如表 1 所示。

表 1 106 幢外窗简要信息

Table 1 Brief information of 106 windows

小区代号	城市	所属热工分区	检测外窗数量
1#	山东济南	寒冷 B 区	4
2#	山东潍坊	寒冷 A 区	5
3#	河北邯郸	寒冷 B 区	6
4#	河北石家庄	寒冷 B 区	4
5#	河北石家庄	寒冷 B 区	6
6#	河北石家庄	寒冷 B 区	10
7#	甘肃天水	寒冷 A 区	10

表 2 外窗气密性分级表

Table 2 The ines scale of air tightness for exterior window

分级	1	2	3	4	5	6	7	8
单位面积 分级指标值 q_2	$12 \geq q_2 > 10.5$	$10.5 \geq q_2 > 9.0$	$9.0 \geq q_2 > 7.5$	$7.5 \geq q_2 > 6.0$	$6.0 \geq q_2 > 4.5$	$4.5 \geq q_2 > 3.0$	$3.0 \geq q_2 > 1.5$	$q_2 \leq 1.5$
$\text{m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$								

《严寒和寒冷地区居住建筑节能设计标准》JGJ 26-2010 规定严寒地区外窗的气密性等级不应低于《建筑外门窗气密、水密、抗风压性能分级及

续表 1 106 幢外窗简要信息

小区代号	城市	所属热工分区	检测外窗数量
8#	甘肃兰州	寒冷 A 区	5
9#	新疆乌鲁木齐	严寒 C 区	3
10#	吉林四平	严寒 C 区	4
11#	吉林长春	严寒 C 区	4
12#	吉林长春	严寒 C 区	4
13#	吉林长春	严寒 C 区	3
14#	山东青岛	寒冷 A 区	6
15#	山东莱芜	寒冷 A 区	9
16#	河北石家庄	寒冷 B 区	6
17#	河北秦皇岛	寒冷 A 区	6
18#	河北张家口	寒冷 A 区	6
19#	河北张家口	寒冷 A 区	5

2 检测方案

2.1 检测依据

- (1) JGJ/T 132-2009 《居住建筑节能检测标准》;
- (2) JGJ/T 177-2009 《公共建筑节能检测标准》;
- (3) GB/T 7106-2008 《建筑外门窗气密、水密、抗风压性能分级及检测方法》。

2.2 合格判据

《建筑外门窗气密、水密、抗风压性能分级及检测方法》GB/T 7106-2008 将建筑外门窗的气密性指标分为 8 个等级, 以标准状态下压力差为 10Pa 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, 其中 q_2 指标值如表 2 所示。

检测方法》GB/T 7106-2008 中规定的 6 级; 寒冷地区 1~6 层的外窗的气密性等级不应低于规定的 4 级, 7 层及 7 层以上不应低于 6 级。

《公共建筑节能设计标准》GB 50189-2015 规定外窗气密性分级应符合《建筑外门窗气密、水密、抗风压性能分级及检测方法》GB/T 7106-2008 中第 4.1.2 条规定，并应满足下列要求：10 层及以上建筑外窗的气密性不应低于 7 级；10 层以下建筑外窗的气密性不应低于 6 级。

2.3 检测方法

尽管有研究指出采用单位面积渗透量存在争论^[12]，考虑到现场准确测量各种外窗的缝长比较复杂，参照 JGJ/T 132-2009《居住建筑节能检测标准》，还是采用面积指标衡量。同时为减少误差，便于操作，检测时受检外窗内外的起始压差定为 70Pa，为了得到外窗在 10Pa 压差下的值，则需要通过回归方程来间接计算。

2.4 检测仪器

采用 DG-700 气密性测试系统进行检测，仪器自带软件采集不同压差下的空气渗透量并进行拟合，从而得到 10Pa 压差下的单位面积空气渗透量，如图 1 所示。



图 1 外窗气密性现场实测图

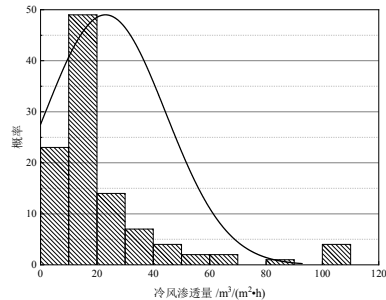
Fig.1 Filed test of the air tightness for exterior window

3 结果分析

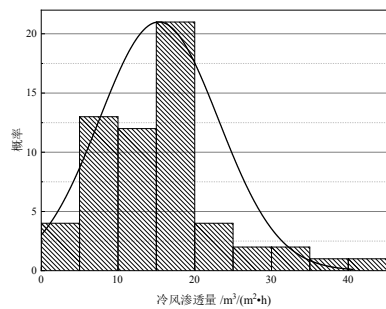
3.1 总体情况

全部外窗（106 樘）的冷风渗透量实测值分布如图 2 (a) 所示，气密性平均值为 $23.04\text{m}^3/(\text{m}^2\cdot\text{h})$ ，合格率仅为 16.98%，最小值为一塑钢单框三玻推拉窗，其冷风渗透量为 $1.64\text{m}^3/(\text{m}^2\cdot\text{h})$ ，达到 7 级水平；一单框单玻平开木窗气密性最大，冷风渗透量达到了 $109.86\text{m}^3/(\text{m}^2\cdot\text{h})$ 。图 2 (a) 中由于含有单框木窗极端值，概率分布不是正态的，图 2 (b) 为塑钢窗（60 樘）的冷风渗透量，基本呈正态分

布，实测结果表明：老旧小区外窗大部分达不到节能要求，外窗冷风渗透量过大。



(a) 全部外窗



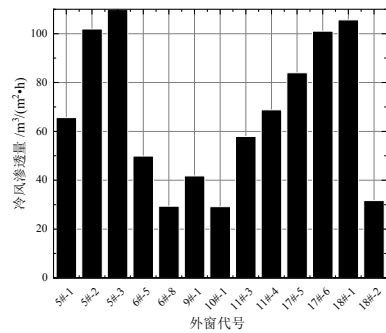
(b) 塑钢窗

图 2 外窗气密性实测值分布

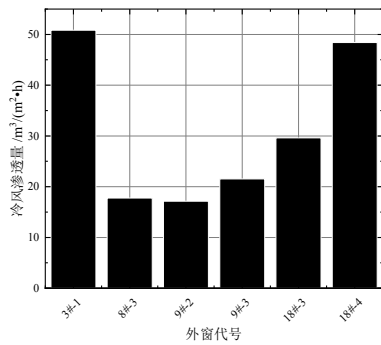
Fig.2 The distribution of air tightness for exterior window

3.2 外窗类型影响分析

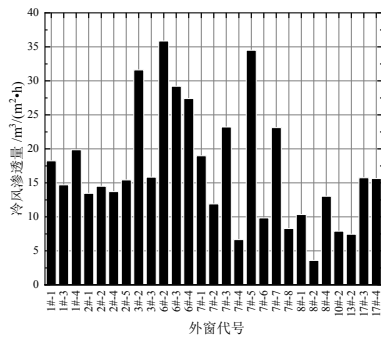
被测外窗包括木窗 13 樘、钢窗 6 樘、铝合金窗 27 樘、塑钢窗 60 樘，不同类型外窗的实测气密性水平如图 3 所示。



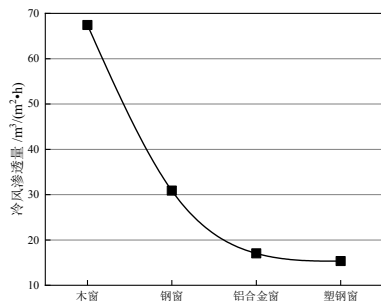
(a) 木窗



(b) 钢窗



(c) 铝合金窗



(d) 平均值

图 3 不同类型外窗冷风渗透量

Fig.3 Air infiltration of different windows

木窗、钢窗、铝合金窗和塑钢窗的平均冷风渗透量分别为 $67.43\text{m}^3/(\text{m}^2\cdot\text{h})$ 、 $30.89\text{m}^3/(\text{m}^2\cdot\text{h})$ 、 $17.04\text{m}^3/(\text{m}^2\cdot\text{h})$ 和 $15.33\text{m}^3/(\text{m}^2\cdot\text{h})$, 总体趋势是外窗类型越先进气密性水平越好, 但是即使是塑钢窗, 其平均冷风渗透量也未达到标准的 1 级水平。其中 12#-1 塑钢窗的冷风渗透量达到了 $41.79\text{m}^3/(\text{m}^2\cdot\text{h})$, 是因为该户业主自行进行更换, 安装质量堪忧, 如图 4(a); 4#-4 塑钢窗冷风渗透量为 $35.32\text{m}^3/(\text{m}^2\cdot\text{h})$, 其窗框与墙体之间存在很大缝隙, 如图 4 (b) 所示。



(a) 12#-1 塑钢窗



(b) 4#-4 塑钢窗

图 4 存在安装质量的外窗

Fig.4 The windows with installation problems

3.3 塑钢窗玻璃层数影响分析

剔除塑钢窗中安装质量导致冷风渗透量较大的 2 幢外窗后, 单框单玻、单框双玻和单框三玻的塑钢窗的平均冷风渗透量分别为 $15.94\text{m}^3/(\text{m}^2\cdot\text{h})$, $14.22\text{m}^3/(\text{m}^2\cdot\text{h})$ 和 $1.64\text{m}^3/(\text{m}^2\cdot\text{h})$, 可见在气密性方面, 塑钢单玻窗与双玻窗的差别不大, 但是三玻的气密性水平提升非常明显。

3.4 塑钢窗开启方式影响分析

分析单玻和双玻塑钢窗的气密性水平, 发现推拉和平开外窗的平均冷风渗透量分别为 $15.13\text{m}^3/(\text{m}^2\cdot\text{h})$ 和 $4.63\text{m}^3/(\text{m}^2\cdot\text{h})$, 其气密性水平差距较大, 说明平开方式能够有效控制冷风渗透。

4 结论

针对严寒和寒冷地区 19 个老旧小区的 106 幢外窗进行了气密性水平实测, 结果表明:

- (1) 平均冷风渗透量为 $23.04\text{m}^3/(\text{m}^2\cdot\text{h})$, 合格率仅为 16.98%, 大部分外窗达不到气密性要求;
- (2) 木窗、钢窗、铝合金窗和塑钢窗的气密性水平逐渐提升, 铝合金和塑钢窗的气密性水平明显优于木窗和钢窗;
- (3) 单玻与双玻塑钢窗的气密性水平差别不大, 但是三玻塑钢窗的气密性水平提升非常明显,

平开塑钢窗的气密性水平要比推拉窗提升明显,有条件时应优先安装平开窗;

(4) 老旧小区外窗的安装应由具备资质的施工单位统一改造。

大规模外窗气密性水平的测试能够定量分析严寒和寒冷地区既有建筑外窗的气密性水平,指导外窗节能改造,同时也能为标准制定机构在今后制定我国外窗气密性标准时提供基础数据参考。由于现场检测条件和时间限制,检测数量还不够多,外窗种类还不够全面,下一步将加大抽检数量并着手分析外窗气密性水平与合理新风量的平衡以及对实际建筑供暖能耗的影响。

参考文献:

- [1] 清华大学建筑节能研究中心.中国建筑节能年度发展研究报告2015[M].北京:中国建筑工业出版社,2015.
- [2] Younes C, Shdid C A, Bitsuamlak G. Air infiltration through building envelopes: A review[J]. *Journal of Building Physics*, 2012,35(3):267-302.
- [3] Ryyanen K. Air tightness of buildings in the Arctic Circle housing fair, Rovaniemi, Finland[J]. *Aerospace/Defense Sensing, Simulation, and Controls*, 2001,4360.
- [4] Pan W. Relationships between air-tightness and its influencing factors of post-2006 new-build dwellings in the UK[J]. *Building and Environment*, 2010,45(11): 2387-2399.
- [5] Chen S, Levine M D, Li H, et al. Measured air tightness performance of residential buildings in North China and its influence on district space heating energy use[J]. *Energy and Buildings*, 2012,51:157-164.
- [6] 季永明,端木琳,王宏彬,等.大连地区新建居住建筑气密性实测[J].*暖通空调*,2015,45(1):13-18.
- [7] 汪静.关于房屋气密性检测的实践与经验分享[J].*建设科技*,2014,(18):74-77.
- [8] 曹胜民.北方寒冷地区建筑外窗气密性研究[D].天津:天津大学,2017.
- [9] 丰晓航,燕达,彭琛,等.建筑气密性对住宅能耗影响的分析[J].*暖通空调*,2014,44(2):5-14.
- [10] 白涛.建筑外窗气密性与能耗关联研究[J].*绿色建筑*,2013,5(5):52-55.
- [11] 刘朝贤.对现行国家建筑外门窗气密性指标不能采用单位面积渗透量表述的论证[J].*制冷与空调*,2014, 28(4):504-507.
- [12] 王梦伟,秦堃,龙恩深,等.围护结构的气密性对办公建筑能耗影响的分析[J].*制冷与空调*,2016,30(3):345-349.