

夏热冬冷地区热桥对建筑能耗影响的定量分析

董孟能¹, 吕忠¹, 莫天柱¹, 阳江英², 冷艳锋¹, 杨丽莉¹

(1. 重庆市建设技术发展中心, 重庆 400014; 2. 重庆大学材料科学与工程学院, 重庆 400045)

摘要:热桥对建筑能耗的影响是相当大的,在夏热冬冷地区热桥是否需要做保温至今仍是一个值得探讨的话题,该文抛开热桥对结露的影响,通过对夏热冬冷地区具有代表性的三个城市不同建筑形态的实例工程进行模拟定量研究,分析了热桥面积百分比的变化对建筑能耗的影响及热桥部位有无保温层对建筑能耗的影响,表明在夏热冬冷地区建筑节能设计中,需要考虑热桥部位的保温措施。

关键词:夏热冬冷地区;建筑节能;热桥;保温

中图分类号: TU246.1 文献标志码: A 文章编号: 1006-7329(2008)01-0005-04

Quantitative Analysis on the Effect of Thermal Bridges on Energy Consumption of Residential Buildings in Hot Summer and Cold Winter Region

DONG Meng-neng¹, LV Zhong¹, MO Tian-zhu¹, YANG Jiang-ying²,
LENG Yan-feng¹, YANG Li-li¹

(1. Chongqing Municipal Construction Technology Development Center, Chongqing 400014, China; 2. College of Material Science and Engineering, Chongqing University, Chongqing 400045, China)

Abstract: Though there is a great impact of thermal bridge in a building on its energy consumption, whether the building in hot summer and cold winter region needs an insulation against the thermal bridge is still in discussion. Through quantitative simulation study of the projects with different architectural forms in three representative cities from the hot summer and cold winter regions, the effect of the percentage of thermal bridge area and of the existence or not of insulation layer at the location of thermal bridge on the building energy consumption is analyzed. It shows that the energy conservation measures should be considered in building design for the thermal bridge location of the building in hot summer and cold winter regions.

Keywords: hot summer and cold winter region; building energy conservation; thermal bridge; insulation

热桥是我国现行建筑节能设计标准中的一个重要部分,在北方严寒地区和寒冷地区热桥对能耗指标影响较大,对冬季保温起到很大的作用,通常占到总能耗20%左右,在北方必须要对热桥进行保温处理,并起到保证围护结构不产生结露的作用。夏热冬冷地区建筑节能标准体系一直沿用北方建筑节能标准体系,但夏热冬冷地区与北方寒冷地区情况又有所不同,它有着特殊的气候特点,既要冬季保温又要兼顾夏季隔热。从大量的研究测试表明夏热冬冷地区外围护结构结露情况发生较少^[1]。在这种情况下,能否不虑热桥部位的保温措施?这样既可降低施工难度又可缩短施工周期。但夏热冬冷地区热桥对能耗指标影响有多大?花

多大的代价来弥补热桥部位能耗的散失?花这样的代价从经济、技术角度是否可行?通过对夏热冬冷地区典型城市的实例工程进行动态分析得出定量的数据,为夏热冬冷地区热桥节能技术措施的制定提供参考。

1 概述^[2-3]

热桥是指处在外墙和屋面等围护结构中的钢筋混凝土或金属梁、柱、肋等部位。因这些部位传热能力强,热流较密集,内表面温度较低,故称为热桥。随着建筑技术的发展,剪力墙、薄壁柱等框架剪力墙结构的建筑越来越多,热桥部分所占外墙面积的比例也越来越大,这里所指热桥也包含剪力墙、薄壁柱等钢筋混

* 收稿日期:2007-07-20

作者简介:董孟能(1975-),男(白族),高级工程师,工学硕士,主要从事建设科技推广、建筑节能、建筑新能源利用、工程建设标准等相关管理和技术工作,(E-mail)dongmn@sina.com。

土部分^[4]。

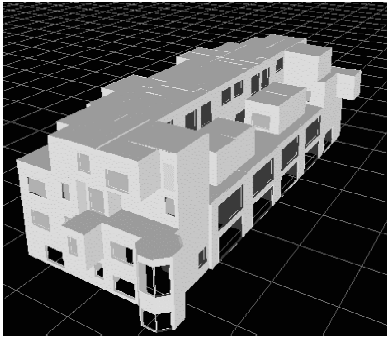


图1 为模拟工程A的立体图

选取了具有代表性的3个夏热冬冷地区城市——重庆、上海、武汉为研究对象。根据三个城市的典型气象年数据,不同的建筑类型(多层建筑、一类高层建筑、二类高层建筑)和热桥面积所占外墙面积不同比例的情况下,以5个实例工程分别模拟计算出各城市建筑的热桥对建筑能耗的影响,并进行对比分析,得出热桥对能耗影响的定量数据。

计算工具采用美国能源部(DOE)和劳伦斯伯克利美国国家实验室研发的doe2内核的建筑能耗计算模型工具进行,此计算内核模型工具是我国现行建筑

节能设计标准技术体系的分析工具之一。

表1 模拟计算分析各工程的基本情况

| 建筑代号 | 建筑朝向 | 体形系数 | 窗墙面积比 | | | | 楼层数 | 建筑类型 |
|------|---------|------|-------|------|------|------|-----|------|
| | | | 东 | 南 | 西 | 北 | | |
| A | 南偏西 17° | 0.41 | 0.08 | 0.48 | 0.09 | 0.40 | 33 | 二类高层 |
| B | 南偏西 17° | 0.41 | 0.13 | 0.19 | 0.11 | 0.16 | 24 | 二类高层 |
| C | 南 | 0.37 | 0.17 | 0.30 | 0.18 | 0.29 | 11 | 一类高层 |
| D | 西偏南 12° | 0.45 | 0.46 | 0.06 | 0.38 | 0.05 | 4 | 多层 |
| E | 南 | 0.53 | 0.05 | 0.39 | 0.05 | 0.40 | 4 | 多层 |

此模拟计算是依照《夏热冬冷地区居住建筑节能设计标准》(JGJ134-2001)和假定除热桥面积比发生变化而其它条件保持不变的情况下进行的,模拟计算得出的能耗值为建筑物制冷、采暖能耗之和。

2 能耗模拟计算分析

2.1 有保温层时热桥面积所占比例变化对建筑能耗的影响

在实例模拟工程中原有的节能措施(热桥部位都做了保温层)不变,只变化热桥所占外墙面积的比例来模拟计算热桥面积的变化对建筑能耗的影响。得到如下数据:

表2 有保温层时不同热桥面积比例的能耗值(重庆、武汉、上海)

| 工程 | 热桥比例 城市 | 0% | | | 20% | | | 40% | | | 60% | | | 消耗增长率% | | | |
|------------|------------|-------------------------------------|--------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|--------|------|------|------|
| | | 重庆 | 武汉 | 上海 | 重庆 | 武汉 | 上海 | 重庆 | 武汉 | 上海 | 重庆 | 武汉 | 上海 | 重庆 | 武汉 | 上海 | |
| | | 单位面积制冷、采暖能耗值/(kWh·m ⁻²) | 外墙传热系数 | 0.64 | 0.64 | 0.64 | 0.64 | 0.64 | 0.64 | 0.64 | 0.64 | 0.64 | 0.64 | 0.64 | 0.64 | 0.64 | 0.64 |
| A | 外墙加权平均传热系数 | 0.64 | 0.64 | 0.64 | 0.66 | 0.67 | 0.7 | 0.68 | 0.68 | 0.73 | 0.7 | 0.7 | 0.74 | 6.05 | 1.83 | 2.32 | |
| | 能耗值 | 46.6 | 56.9 | 48.3 | 46.8 | 57.3 | 48.6 | 46.9 | 57.6 | 48.8 | 47.1 | 58 | 49.4 | | | | |
| | B | 外墙传热系数 | 0.84 | 0.84 | 0.57 | 0.84 | 0.84 | 0.57 | 0.84 | 0.84 | 0.57 | 0.84 | 0.84 | 0.57 | | | |
| | | 外墙加权平均传热系数 | 0.84 | 0.84 | 0.57 | 0.87 | 0.87 | 0.64 | 0.9 | 0.9 | 0.64 | 0.93 | 0.93 | 0.64 | 12.1 | 3.86 | 2.31 |
| | | 能耗值 | 45.4 | 66.3 | 49.7 | 46.1 | 67.7 | 50.1 | 46.3 | 68.1 | 50.5 | 46.7 | 68.9 | 50.9 | | | |
| | C | 外墙传热系数 | 0.95 | 0.95 | 0.95 | 0.95 | 0.95 | 0.95 | 0.95 | 0.95 | 0.95 | 0.95 | 0.95 | 0.95 | | | |
| 外墙加权平均传热系数 | | 0.95 | 0.95 | 0.95 | 1 | 0.98 | 1.11 | 1.06 | 1.06 | 1.23 | 1.12 | 1.12 | 1.24 | 19.7 | 4.44 | 4.92 | |
| 能耗值 | | 44.9 | 57.5 | 51.2 | 45.7 | 58.3 | 52.2 | 46.2 | 59.2 | 52.9 | 46.8 | 60 | 53.7 | | | | |
| D | 外墙传热系数 | 0.54 | 0.54 | 0.54 | 0.54 | 0.54 | 0.54 | 0.54 | 0.54 | 0.54 | 0.54 | 0.54 | 0.54 | | | | |
| | 外墙加权平均传热系数 | 0.54 | 0.54 | 0.54 | 0.56 | 0.56 | 0.63 | 0.58 | 0.58 | 0.64 | 0.6 | 0.6 | 0.63 | 3.65 | 1.27 | 1.58 | |
| | 能耗值 | 45.8 | 59.1 | 46.7 | 46 | 59.4 | 46.9 | 46.2 | 59.7 | 47.2 | 46.3 | 59.9 | 47.4 | | | | |
| E | 外墙传热系数 | 0.59 | 0.59 | 0.59 | 0.59 | 0.59 | 0.59 | 0.59 | 0.59 | 0.59 | 0.59 | 0.59 | 0.59 | | | | |
| | 外墙加权平均传热系数 | 0.59 | 0.59 | 0.59 | 0.61 | 0.61 | 0.69 | 0.63 | 0.63 | 0.7 | 0.65 | 0.66 | 0.7 | 8.27 | 2.35 | 2.61 | |
| | 能耗值 | 43.9 | 53.5 | 46.3 | 44.3 | 54 | 46.8 | 44.5 | 54.4 | 47.2 | 44.8 | 54.8 | 47.5 | | | | |

从表2几组数据可以看出,在只考虑热桥面积变化的因素时,同一建筑在重庆、上海、武汉三个城市建筑能耗都随热桥面积的增加而增加,且大致呈线性增加趋势。由于三个城市气象条件有所不同,因此随热桥面积的增大建筑能耗值增长幅度也有所不同。

2.2 无保温节能措施的热桥对建筑能耗的影响

由于《上海市建设和交通委员会关于进一步加强本市民用建筑节能设计技术管理的通知》(沪建交[2006]765号)文件要求外墙平均传热系数不大于1.5W/(m²·K),因此上海民用建筑大多会对热桥进行保温处理,否则达不到该要求,故在此未分析热桥未做保温层时热桥面积比变化对能耗的影响。

从表3几组数据来看,建筑能耗随热桥面积的增加而增加,同样呈现大致线性变化的趋势,而且在热桥不做保温节能措施的情况下,其增大趋势更为明显,特别是在武汉地区。

3 对比分析及原因

3 对比分析及原因

3.1 热桥部位有无保温节能措施的对比分析

在通过对三个城市不同建筑热桥面积比例的多少对建筑能耗的影响进行模拟计算分析的基础上,再对热桥部位有、无保温层进行对比分析。结合表2、表3可以得出如下图(由于上海民用建筑热桥大多进行了保温处理,这里只对重庆和武汉的数据进行对比),其中A、B、C、D、E表示热桥设置了保温层的各工程,A1、B1、C1、D1、E1表示热桥未设置保温层的各工程。

表 3 无保温层时不同热桥面积比例的能耗值(重庆、武汉)

| 工程 | 热桥比例 城市 | 0% | | 20% | | 40% | | 60% | | 消耗增长率% | |
|--|--------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|
| | | 重庆 | 武汉 | 重庆 | 武汉 | 重庆 | 武汉 | 重庆 | 武汉 | 重庆 | 武汉 |
| 单位 面积 制冷、 采暖 能耗 值/ (kWh · m ⁻²) | A 外墙传热系数 | 0.64 | 0.64 | 0.64 | 0.64 | 0.64 | 0.64 | 0.64 | 0.64 | | |
| | A 外墙加权平均传热系数 | 0.64 | 0.64 | 1.16 | 1.2 | 1.66 | 1.66 | 2.72 | 2.3 | 30.46 | 40.68 |
| | A 能耗值 | 46.58 | 56.93 | 51.22 | 64.5 | 55.4 | 71.36 | 60.77 | 80.09 | | |
| | B 外墙传热系数 | 0.84 | 0.84 | 0.84 | 0.84 | 0.84 | 0.84 | 0.84 | 0.84 | | |
| | B 外墙加权平均传热系数 | 0.84 | 0.84 | 1.34 | 1.31 | 1.8 | 1.79 | 2.3 | 2.25 | 40.26 | 48.45 |
| | B 能耗值 | 45.36 | 66.33 | 53.37 | 79.33 | 56.06 | 85.38 | 63.62 | 98.47 | | |
| | C 外墙传热系数 | 0.95 | 0.95 | 0.95 | 0.95 | 0.95 | 0.95 | 0.95 | 0.95 | | |
| | C 外墙加权平均传热系数 | 0.95 | 0.95 | 1.19 | 1.19 | 1.79 | 1.79 | 2.22 | 2.22 | | |
| | C 能耗值 | 44.86 | 57.45 | 47.62 | 61.06 | 53.42 | 68.6 | 57.93 | 74.57 | | |
| | D 外墙传热系数 | 0.54 | 0.54 | 0.54 | 0.54 | 0.54 | 0.54 | 0.54 | 0.54 | | |
| | D 外墙加权平均传热系数 | 0.54 | 0.54 | 1.04 | 1.04 | 1.54 | 1.54 | 2.08 | 2.08 | 28.36 | 29.51 |
| | D 能耗值 | 45.77 | 59.14 | 50.02 | 64.89 | 54.34 | 70.77 | 58.75 | 76.59 | | |
| | E 外墙传热系数 | 0.59 | 0.59 | 0.59 | 0.59 | 0.59 | 0.59 | 0.59 | 0.59 | | |
| | E 外墙加权平均传热系数 | 0.59 | 0.59 | 1.12 | 1.14 | 1.56 | 1.6 | 2.09 | 2.14 | 42.71 | 46.34 |
| | E 能耗值 | 43.88 | 53.52 | 50.45 | 62.32 | 56.23 | 69.63 | 62.62 | 78.32 | | |

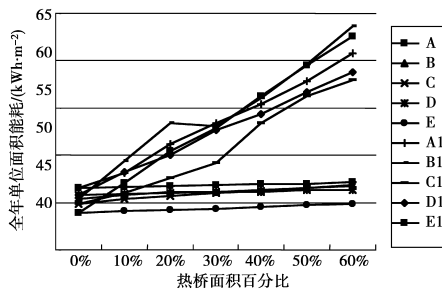


图 2 热桥有无保温层建筑能耗值的对比(重庆)

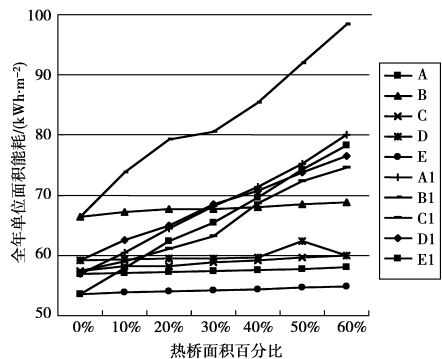


图 3 热桥有无保温层建筑能耗的对比(武汉)

从图 2 和图 3 可以清晰的看出:对武汉、重庆地区

的工程,建筑能耗与热桥面积百分比的关系相似。从以上的图表中可以明显看出 A、B、C、D、E 五个工程的曲线是平缓的,A1、B1、C1、D1、E1 五个工程的曲线是陡峭的,可以得出以下结论:

(1)对同一工程,随着热桥面积比的增大,能耗值越大;

(2)建筑物能耗值与热桥面积比存在着近似的线性关系;当热桥面积比从 0%增加到 60%时,对热桥有保温层的建筑,能耗值增加 1%~5%左右;对于热桥未做保温层的建筑,能耗值增加 25%~50%左右;即对同一工程中热桥有无保温层,二者之间的能耗差随热桥面积的增大而增大。

3.2 在热桥部位无节能措施下外墙的假想状态

为了对比热桥部位有无保温层对能耗的影响,我们在这里不考虑结露的情况下进行模拟,仅以重庆地区为例。在测算中发现当热桥面积比达到 20%左右后,无论把外墙的保温层增加到多厚,建筑能耗都无法达到热桥做了保温的能耗,而且还发现热桥部分仅有一层薄的保温层,即对热桥稍做节能措施其建筑能耗明显小于热桥未做处理的建筑。因此我们仅对热桥面积比为 10%,20%的各工程做了测算,测算结果如下表 4。

表 4 外墙保温层替代热桥保温层所增加厚度

| 测算工程 | 热桥面积百分比 | 热桥设置保温层 | | | 热桥未设置保温层 | | |
|------|---------|-----------------|----------|---------------------------|-----------------|----------|---------------------------|
| | | 墙体保温层厚度(xps)/mm | 墙体传热系数 k | 外墙加权平均传热系数 k _m | 墙体保温层厚度(xps)/mm | 墙体传热系数 k | 外墙加权平均传热系数 k _m |
| A | 10% | 38 | 0.64 | 0.65 | 80 | 0.37 | 0.63 |
| | 20% | 38 | 0.64 | 0.66 | 1 200 | 0.03 | 0.68 |
| B | 10% | 25 | 0.84 | 0.85 | 60 | 0.48 | 0.80 |
| | 20% | 25 | 0.84 | 0.87 | 2 000 | 0.02 | 0.70 |
| C | 10% | 35 | 0.95 | 0.97 | 40 | 0.89 | 0.98 |
| | 20% | 35 | 0.95 | 1.00 | 63 | 0.69 | 0.97 |
| D | 10% | 45 | 0.54 | 0.55 | 120 | 0.26 | 0.58 |
| | 20% | 45 | 0.54 | 0.56 | 800 | 0.04 | 0.64 |
| E | 10% | 40 | 0.59 | 0.60 | 90 | 0.32 | 0.60 |
| | 20% | 40 | 0.59 | 0.61 | 800 | 0.04 | 0.70 |

注:xps——挤塑聚苯板抹灰外墙外保温系统。

从表中我们可以看出,要达到相同的能耗值,热桥部分未进行保温处理时外墙保温材料厚度会增加很多,而且在实际施工中几乎无法实现。

造成上述情况的原因从以下分析中得出:这主要是由于在建筑物其他条件都不变的情况下,建筑物能耗只跟建筑物的外墙加权平均传热系数有关,即建筑物能耗随外墙加权平均传热系数的增大而增加。而建筑物外墙加权平均传热系数主要为墙体的各个部分的传热系数的加权平均。外墙加权平均传热系数的计算公式^[5]如下:

$$K_m = \frac{K_P \cdot F_P + K_{B1} \cdot F_{B1} + K_{B2} \cdot F_{B2} + K_{B3} \cdot F_{B3}}{F_P + F_{B1} + F_{B2} + F_{B3}}$$

其中, K_m ——为外墙的加权平均传热系数,单位为 $W/(m^2 \cdot K)$; K_P ——为主墙体的传热系数,单位为 $W/(m^2 \cdot K)$; F_P ——为主墙体的面积,单位为 m^2 ; K_{B1} 、 K_{B2} 、 K_{B3} ——为外墙周边热桥部位的传热系数,单位为 $W/(m^2 \cdot K)$; F_{B1} 、 F_{B2} 、 F_{B3} ——为外墙周边热桥部位的面积,单位为 m^2 。

由上述公式可知,对同一工程中热桥面积增大,则主墙体面积降低。而且有热桥各部分的传热系数明显大于主墙体的传热系数。当热桥未设置保温层时, K_{B1} 、 K_{B2} 、 K_{B3} 的数值较大,即使 K_P 降到很低(即增加外墙外保温材料来实现), K_m 的变化也较小,因此总的能耗也会较大。

4 结论及建议

从上述的模拟计算分析可得出以下结论:

1) 夏热冬冷地区居住建筑热桥对建筑能耗的影响较大,对同一工程,随着热桥面积比的增大,能耗值大致成线性增长。

2) 夏热冬冷地区建筑节能设计中不但要考虑热桥结露影响,同样需要考热桥部位的节能措施要求,即使在热桥不产生结露的地区,也需要考虑热桥部位冷热量损失带来的制冷、采暖能耗的大幅增加;特别是目前采用框剪和框架等结构类型的建筑越来越多,热桥所占外墙比例较大,更应加强热桥部位的节能措施。

3) 通过对表2、表3与表4中的增长率进行分析,当热桥面积从0%增加到60%时,对热桥有保温层的建筑,能耗值增加1%~5%左右;对于热桥未做保温层的建筑,能耗值增加25%~50%左右,如果单从外墙来弥补热桥部位的冷热损失是不太现实的。

4) 如果热桥部位不考虑节能措施,热桥部位将成为热聚部位,是否会造成热桥部位与轻质填充墙体之间开裂的可能性,值得进一步分析。

参考文献:

- [1] 冯雅. 南方节能围护结构的现状与设计[J]. 建筑节能, 2006, (46): 57-59.
FENG Ya. Situation and design for energy-efficiency building envelope in south of China [J]. Construction Conserves Energy, 2006, (46): 57-59.
- [2] 中国建筑科学研究院. 夏热冬冷地区居住建筑节能设计标准 JGJ134-2001 [S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2001.
- [3] 重庆市建设技术发展中心. 重庆市居住建筑节能设计标准 DB50/5024-2002 [S]. 重庆: 重庆大学出版社, 2002.
- [4] 南艳丽, 冯雅, 谷晋川, 等. 夏热冬冷地区热桥对节能围护结构的影响[J]. 建筑节能, 2007, 35(3): 25~28.
NAN Yan-li, FENG Ya, GU Jin-chuan, WANG Lei. Impacts of thermal bridge on energy-saving envelope in hot summer and cold winter zone [J]. Construction Conserves Energy, NO. 3 in 2007, Total No 193, vol 35: 25-28.
- [5] 中国建筑科学研究院主编, 民用建筑热工设计规范 GB60176-93 [S]. 北京: 中国计划出版社, 2004.
- [6] 吴雪岭. 热桥问题的产生与解决方法[J]. 吉林建筑设计, 2006(01): 25-27.
WU Xun-ling. Thermal bridge problems with the formation of solution [J]. Jilin Architectural Design, NO. 01 in 2006: 25-27
- [7] 李云, 刘宏成. 夏热冬冷地区节能建筑围护结构结露的研究[J]. 中外建筑, 2006(01): 111-112.
LI Yun, LIU Hong-cheng. Research of energy-saving building envelope condensation in hot summer and cold winter [J]. Chinese and overseas Architecture, NO. 01 in 2006(1): 111-112.
- [8] 刘芳地. 建筑节能及外墙保温施工技术[J]. 建筑节能, 2007, 35: 40-43.
LIU Fang-di. Building energy-saving construction and external wall insulation technology [J]. Construction Conserves Energy, NO. 04 in 2007. Total No 194, vol 35: 40-43.

(编辑 王秀玲)