

## 建筑外墙节能设计及其数值模拟

杨景乔

北京丽贝亚建筑设计研究院有限公司, 北京 100043

**摘要:** 建筑物中外墙占据了很大的比例, 所以外墙设计是建筑节能设计中最为重要的一个环节。本文首先简单介绍了建筑节能的概念及建筑节能技术, 对外墙外节能技术进行了详细的分析。外墙外保温措施主要从外墙外、外墙内、内外混合三个方面入手。最后, 以具体的实例对外墙外节能设计中的热工参数给出了详细的数值模拟。

**关键词:** 建筑节能; 外墙设计; 热工参数; 数值模拟

**中图分类号:** TU201.5

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1000-2324(2016)03-0432-05

## Energy-saving Design for Exterior Walls of a Building and Numerical Simulation

YANG Jing-qiao

LIBEIYA Architectural Design and Research Institute CO.,LTD, Beijing 100043, China

**Abstract:** The exterior walls occupy a large proportion in a building, so the design for exterior wall is the most important aspect in the energy conservation of building design. This paper introduced the concept of building energy conservation and building energy-efficient technologies firstly and then it was analyzed in detail. The exterior insulation measures contained the outside, inside and the mix of inside and outside. Finally, the thermal parameters of the external wall energy-saving design in the specific example were given the numerical simulation in detail.

**Keywords:** Energy conservation of building; the design of exterior wall; thermal parameters; numerical simulation

随着世界的进步社会的发展, 不可再生的能源(石油、天然气、煤炭等)的总量越来越少, 消耗量在逐渐上升, 人类不得不面对这一严峻的问题。而在当今的各行各业中, 建筑行业属于耗能量较大的产业, 耗能量为总耗能量的三分之一, 实行建筑节能措施, 能够促进社会经济发展, 将大气污染减小, 改善居住的热环境。因此建筑节能成为了当今世界建筑行业中的热点研究项目, 是衡量各国建筑技术的一项指标, 是建筑行业可持续发展战略中的重要组成部分。建筑耗能通常指的是建筑物在运行过程中造成的能源损耗, 包括给水、照明、电器、电梯、取暖、通风等<sup>[1]</sup>。世界上各发达国家在建筑规范中明确了建筑节能的要求, 并且随着建筑行业的不断发展不断地对建筑标准进行修改和完善, 对建筑节能的要求也越来越高。如法国分别在 1978 年、1982 年、1989 年, 将建筑采暖的能耗要求降低了 25%。美国和丹麦在建筑节能上也做出了显著的成效。从 20 世纪 80 年代开始, 我国开始着手于建筑节能, 经过多年的发展, 各省市都制定出了相关的节能准则。我国在《建筑节能‘九五’和 2010 年规划》中将建筑节能划分为三个阶段: 1、基于 1980~1981 年耗能量, 1996 年以前节能 30%; 2、基于第一阶段的耗能量, 2005 年以前节能 30%; 3、基于第二阶段, 2005 年之后节能 30%。

### 1 建筑节能设计简介

#### 1.1 建筑节能概念

建筑节能这一说法出现于 1973 年世界石油危机之后, 按发展时间先后经历了三个不同的阶段: ①建筑节能, 即 Energy saving in buildings; ②建筑中保持能源, 即 Energy conservation in buildings, 意在将建筑中的能源消耗降到最少; ③建筑中能源利用率的提升, 即 Energy efficiency in buildings, 区别与传统的消极节省建筑中的能源, 转而积极地寻求提高能源利用率的方法。我国仍然采用建筑节能这一说法, 但是含义采用的是第三个阶段的含义, 即合理规划利用建筑能源, 持续将建筑能源的利用效率扩大化。

我国对建筑节能范畴的定义经过了两个阶段。最初的阶段中, 国内的说法是建筑耗能从建筑施

收稿日期: 2015-01-12

修回日期: 2015-03-18

作者简介: 杨景乔(1984-), 女, 重庆人, 硕士, 主要研究方向为风景园林规划设计、建筑设计. E-mail:ivy01\_1110@sina.com

数字优先出版:2016-05-29 http://www.cnki.net

工开始算起,一直到建筑物使用报废的阶段,建筑物在这个过程中的总耗能,其中包括了建筑材料制造过程中的耗能,建筑物在运营过程中的耗能。然而这种说法与国际上通用的说法不同。为了与国际上保持一致,我国将建筑节能范畴的定义取与发达国家一致的说法,即第二阶段。建筑节能的范围应当仅仅包含建筑物在为居民使用的过程中所消耗的能源。建筑行业耗能量很大,与工业、交通业、农业同属于民生能源消耗,占总能耗比例很大。所以施行建筑节能措施,对社会、国家、人类发展具有重要意义。

## 1.2 建筑节能设计

建筑节能设计的实现主要从两个方面入手:一是在空调暖气等热源、风热的输送管道等方面上寻找节能的方法,即最近这些年热门的通风、空调、取暖节能研究;二是对建筑物的外围结构进行某些优化设计提高外围与外界环境之间的隔离效果,起到保温效果,即建筑及其热工节能研究。

1.2.1 门窗的节能设计 门窗的能源消耗占建筑物能源消耗的50%,因此,在保证门窗基础的通风、采光的功能下,尽最大可能增强门窗的密闭性,减少门窗洞口的数量与面积,提高保温效果。门窗的节能设计主要从建筑结构和玻璃两方面入手。

1.2.2 屋面保温设计 在地理位置处于夏热冬冷的地区,常常采用屋面保温的设计来达到节约能源的目的。传统建筑中采用的小型架空钢筋混凝土板来进行隔热,钢筋混凝土板有 $2500\text{ kg/m}^3$ 的密度,导致系数达到 $1.74\text{ W/m}\cdot\text{K}$ 。改用新型的EPU复合板,单位平方米能够承受 $0.84\text{ kN}$ 的载荷,导热系数更是降低到 $0.14\text{ W/m}\cdot\text{K}$ ,大大提高了建筑物的防水隔热效果。

1.2.3 外墙保温节能设计 建筑物外围结构的主要表现形式为外墙,因此外墙的隔热保温效果对建筑物的节能设计来讲非常重要。我国传统的建筑业中采用的是实心黏土来实现保温,保温性能达不到目前施行的相关条例的要求。外墙的保温措施通常从外墙内、外墙外、外墙内外结合三个方面入手<sup>[2]</sup>。标准是点状建筑物体形系数小于等于 $0.40$ ,条形建筑物的体形系数要小于等于 $0.35$ ,传热系数在 $1.5\text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ 以内。

## 2 外墙节能设计

外墙节能通常由隔热效果较好的材料来实现,冬天能够保证建筑物内部的温度损耗最少,夏天能保证外部环境的温度对建筑物内部造成最少的影响,减少了能源消耗的同时,将空调等热源设备对空气造成的影响也降到最低,进而完成现代社会对建筑节能的要求。外墙保温技术中,将一些符合材料粘黏在一起以达到隔热作用。目前,外墙保温技术已经实现了保温材料生产的流水线化,接着将材料输送到施工工地,按照不同的设计及施工要求进行施工。施工要求不仅仅包括隔热节能功能,还有其他的如抗裂、美观、防渗等功能要求。

外墙节能保温设计简单来讲,就是将隔热保温材料运用到外墙的不同位置中来完成建筑节能设计中外墙的设计,由前文可知,外墙保温技术由外墙外保温技术,外墙内保温技术以及外墙内外混合保温技术三种类型。

### 2.1 外墙保温技术

2.1.1 外墙外保温技术 外墙外保温技术已经被大范围的应用到建筑业中。在外墙的外层建立保温层,保温层由隔热保温材料组成,这种设计能够在维持建筑物质量和稳定的同时满足隔离保温的节能要求。保温层通常采用各种类的复合材料,常用的材料有玻璃棉、绒面、矿棉,以及由陶粒混凝土与聚苯的复合材料、改性酚醛材料、改性聚氨酯材料组成的保温板来形成保温层,其中,改性聚苯保温板的隔热保温效果很好。外墙外技能技术的提高能够增强外墙的抗裂性能以及温差抗性,从而提高外墙的使用寿命。外墙外保温技术不仅可以用于节能建筑物的施工阶段,还可以用于旧建筑物的维修和性能提高,很大程度上促进了建筑业的发展<sup>[3]</sup>。

2.1.2 外墙内保温技术 外墙内保温技术的保温层嵌在建筑外墙的内侧,与外墙外保温技术的保温层不同的是,外墙内测保温层是通过使保温材料发生化学反应来达到保温效果的。保温材料通常采用加气混凝土块,将脱脂铝粉加入混凝土浆料中,在强碱环境下,混凝土浆料发生化学反应,其中产

生的氢气在混凝土浆料中形成大量气泡并保存在凝固的混凝土中。图 1 位常见的六种加气混凝土砌块的形状与规格。

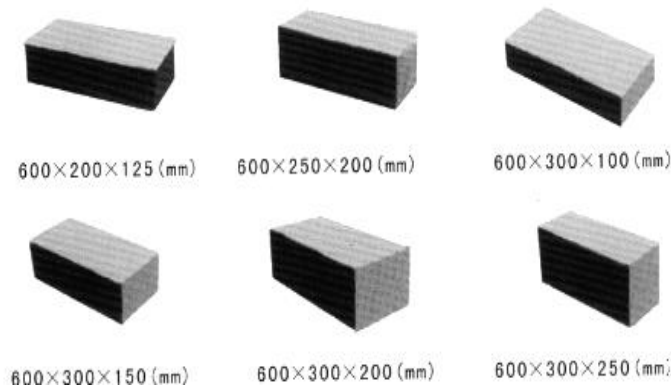


图 1 加气混凝土砌块常见规格

Fig.1 The common sizes of aerated concrete blocks

外墙内侧保温技术中，例如加气混凝土块的材料占据了墙体结构较大的空间，令外墙结构的稳定性、美观性都大大下降，在建筑物内外温差过大的时候，还会出现结露现象，所以外墙内保温技术还需要进行进一步的研究提高。

2.1.3 外墙内外混合保温技术 外墙内外混合保温技术将前两种保温技术融合起来，在建筑物外墙的内外侧都进行保温措施。但是这种技术的应用成本较高，并且需要做大量的施工工作，内外的保温功能重复，若要将保温功能最大化，需要进行复杂的设计计算。对建筑物的使用者来说，建筑物内部的使用空间变小，对生活影响较大。所以这种技术的应用并不是很广泛，跟外墙内侧保温技术一样需要进行进一步的研究提高。

### 2.2 外墙保温技术的质量控制

2.2.1 抹灰时刻质量控制的方法 在施工阶段进行到后期的时候，墙面需要进行抹灰。在抹灰过程中，当没有对墙体外侧的保温层进行质量控制，以及抹灰结束之后的墙面的维护工作没有做到位的时候，强光、外界环境等所带来的墙体内外温差会影响到墙体的功能及稳定，严重的会造成保护层发生开裂破坏，造成墙体的质量问题。

为了避免抹灰时候出现上述问题，有以下两种方法：①在设计阶段的时候，应当将应力的柔性释放、墙体各层的渐变等各种设计理念考虑进去，在抹灰工作顺利进行的同时保温层的混合材料能够分布均匀，能够满足保温层对使用寿命及韧性的要求；②在抹灰的时候，保证保温层中涂料的腻子弹性足够小，涂料弹性足够大，将混凝土浆料完全嵌入保温层中与之切合，这样可以保证抹灰结束之后墙面裂缝的产生。

2.2.2 装饰砖 装饰转常常用在建筑工程后期的装修过程中，功能是装饰与保温。由于装饰砖常常用在聚苯板保温层的外面，因此在使用装饰转的时候，容易出现下面的问题：①从功能性来讲，装饰砖与聚苯板材料接触的时候，会施加一个横向作用的力，导致接触的聚苯板材料发生变形开裂等问题，影响聚苯板材料正常的保温功能；②从载荷承受方面进行分析，装饰砖并不能与聚苯板材料完全贴合，在聚苯板材料外面直接贴装饰砖的话，会导致聚苯板外部所承受的重力过大而发生脱落现象；③从防火安全来看，在将装饰砖与聚苯板材料进行粘贴的时候，由于聚苯板燃点低，容易起火，导致墙外的装饰砖发生脱落而坠下，威胁行人的身体安全，所以首先需要考虑二者的防火措施<sup>[4]</sup>。

### 3 外墙保温的数值模拟计算

在建筑节能设计中，外墙节能设计中多采用保温层，保温层常采用的是聚苯板、改性酚醛材料、改性聚氨酯材料等复合材料。而传统建筑中通常采用空间新、黏土砖、加气混凝土砌块等性质单一的材料。相比于节能复合材料，单一材料的导热系数要大 20 多倍，大大超出了对材料的节能要求。因此，在建筑行业的节能设计中，不断寻找与研究隔热保温材料是众多研究人员的工作重心。我国

的建筑物通常以钢筋混凝土或者砖混作为结构主体，这种结构具有热容量较高、墙体厚重等特点，使用外墙外保温，能够提高建筑物的热稳定性，适用于居民居住。从建筑学上来讲，外墙外保温技术施行方便，成本较低，不占建筑物内部面积，能够减少建筑热桥情况的发生，墙面在环境骤冷的时候结露现象大大减少；能够减小因温度墙体所产生的应力，保护墙的主体结构，增强墙体的使用寿命。在发达国家，外墙外保温已经占据了建筑节能的大部分市场，我国也在大力地推广外墙外技术的应用。

按照最冷月和最热月的平均温度为主要指标，我国的建筑热工设计将全国划分为温和、夏热冬暖、夏热冬冷、寒冷、严寒五个地区。本文以夏热冬冷地区——江苏地区 2010 年新建的某小区住宅中 A3 户型的设计为例，该建筑物施工的时候采用的是黏土砖，保温层材料选择的是聚苯乙烯保温板，如下图 2 所示。以此为例来进行建筑节能设计外墙外保温的数值分析。

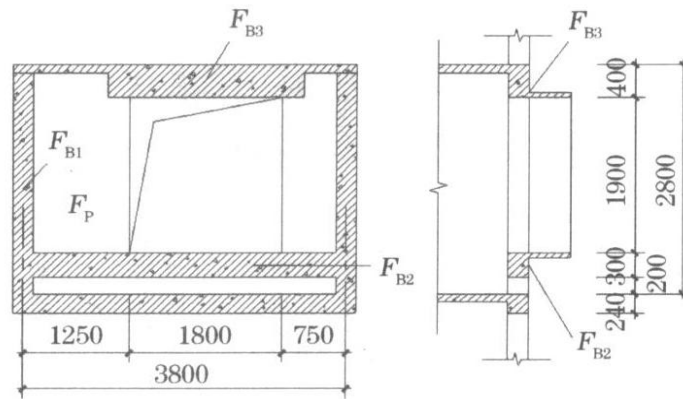


图 2 A3 户型的设计图  
Fig.2 The design for A3 apartment

### 3.1 墙体材料参数计算

在该住宅中用到的材料有钢筋混凝土、抗裂砂浆、黏土砖、内侧的混合砂浆（石灰与水泥混合）、保温层的聚苯乙烯复合板。对这些材料的导热系数分别进行计算，可得到如下结果：

- 钢筋混凝土：导热系数  $K_1=1.74 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ ；
- 抗裂砂浆：导热系数  $K_2=0.93 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ ；
- 黏土砖：导热系数  $K_3=0.81 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ ，厚度为 25 mm；
- 混合砂浆：导热系数  $K_4=0.87 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ ，厚度为 20 mm；
- 聚苯乙烯：导热系数  $K_5=1.1\times 0.059=0.065 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ ，厚度为 30 mm。

### 3.2 建筑参数计算

令外墙的均传热系数为  $\lambda_m$ ，则有：

$$\lambda_m = \frac{F_{B3}\lambda_{B3} + F_{B2}\lambda_{B2} + F_{B1}\lambda_{B1} + F_P\lambda_P}{F_{B3} + F_{B2} + F_{B1} + F_P} \tag{1}$$

令外墙主体部分的面积为  $F_p$ ，传热系数为  $\lambda_p$ ，有：

$$\begin{aligned} F_p &= 2.05 \times 1.13 + 3.56 \times 0.2 + 2.05 + 0.63 = 5.709 \text{ m}^2 \\ \lambda_p &= \frac{1}{R_e + \sum R_p + R_i} \\ &= \frac{1}{0.05 + \frac{0.005}{0.93} + \frac{0.025}{0.065} + \frac{0.015}{0.87} + \frac{0.24}{0.81} + 0.11} \\ &= 1.158 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K} \end{aligned} \tag{2}$$

上式中， $F$  表示传热面积，单位为  $\text{m}^2$ ； $\lambda$  表示传热系数，单位为  $\text{W/m}^2\cdot\text{K}$ ； $R$  表示外墙的主体的

热阻, 单位为  $\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$ 。

外墙部分中出现热桥现象区域的面积  $F_{B1}$ 、 $F_{B2}$ 、 $F_{B3}$  为:

$$F_{B1} = 3.56 \times 0.24 + 2.94 \times 0.24 = 2.66 \text{ m}^2$$

$$F_{B2} = 3.56 \times 0.3 = 1.068 \text{ m}^2$$

$$F_{B3} = 2.3 \times 0.3 + 4.04 \times 0.1 = 1.094 \text{ m}^2$$

热桥现象区域的传热系数  $K_{B1}$ 、 $K_{B2}$ 、 $K_{B3}$  为:

$$\begin{aligned} \lambda_{B1} &= \lambda_{B2} = \lambda_{B3} \\ &= \frac{1}{R_e + \sum R + R_i} \\ &= \frac{1}{0.05 + \frac{0.005}{0.93} + \frac{0.025}{0.065} + \frac{0.015}{0.87} + \frac{0.24}{1.74} + 0.11} \\ &= 1.418 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K} \end{aligned}$$

那么, 由公式 1 可计算出外墙的均传热系数为:

$$\begin{aligned} \lambda_m &= \frac{(1.094 + 1.068 + 2.266) \times 1.418 + 5.709 \times 1.158}{1.094 + 1.068 + 2.266 + 5.709} \\ &= 1.272 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K} \end{aligned}$$

通过建筑工程的实际测量计算, 当条形建筑物体型系数为 0.35 时, 外墙传热系数为  $1.5 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ 。外墙主体黏土砖的厚度为 25 mm 且外墙外的保温层的聚苯乙烯板厚度为 30 mm 的时候, 墙体的传热系数为  $1.272 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ ,  $1.272 < 1.5$ , 故该住宅的建筑墙体能够满足节能规范。

在建筑节能设计外墙设计中, 除了墙体的热工数值, 材料的热惰性能、湿度、温度也是能够影响建筑物的节能效果。材料的热惰性能对建筑物内部的舒适程度以及热稳定性有着直接的影响。温度和湿度则决定了材料的质量, 保存不当材料会因为受潮而引起保温效果大大降低, 严重的会影响建筑物寿命。所以在建筑物的节能设计中, 应当将这些因素同时考虑进去。

#### 4 结 语

建筑节能设计中外墙设计主要从外墙外保温、外墙内保温以及外墙内外混合保温三个方面入手。目前运用最多的技术是外墙外保温, 在外墙外添加隔热材料所构成的保温层。本文以某住宅小区的户型为例, 对外墙外保温的应用进行了数值模拟分析研究。我国的建筑节能设计还处于发展阶段, 应当吸取国外多种类的外墙外保温技术来充实和发展我国的节能设计。

#### 参考文献

- [1] 龙恩深. 建筑能耗基因理论与建筑节能实践[M]. 北京: 科学出版社, 2009: 10
- [2] 李 程. 建筑节能设计中的外墙保温技术分析[J]. 科技展望, 2016(7): 183
- [3] 杨翳绯. 建筑外墙保温在建筑节能中技术运用的分析探讨[J]. 内蒙古科技与经济, 2014(3): 129-131
- [4] 李 刚. 浅析建筑外墙保温节能技术在建筑施工中的应用[J]. 建筑·建材·装饰, 2015(5): 4