

不同气候条件下建筑保温对 冷热负荷影响作用的研究

同济大学 潘冬梅[☆] 林忠平[△]

摘要 引入冷热负荷增益比、全年累计冷热总负荷相对变化率及冷热负荷加权比作为衡量和比较建筑保温的节能性能的指标,并以一栋办公楼为例研究了不同朝向、不同厚度保温材料在北京、上海及广州三地气候下全年冷热负荷的变化。结果表明,北京地区所有朝向与上海地区除南向外的外墙保温材料厚度的增加具有较大的节能空间,而对于广州地区所有朝向及上海的南向区,使用保温基本不具备节能的空间。考虑冷热负荷加权比的变化影响,北京地区保温的节能作用具有普遍性,上海地区则需要结合朝向和冷热负荷加权比来考虑,广州地区则在冷热负荷加权比在较大范围内变化时节能空间较小,基本不具备节能的可能性。

关键词 保温层厚度 负荷增益比 全年累计冷热总负荷相对变化率 冷热负荷加权比

Effect of building insulation on cooling and heating load in different climate areas

By Pan Dongmei[★] and Lin Zhongping

Abstract Presents the three indexes—the cooling load to heating load gain ratio, the annual cooling and heating load variation ratio, and the cooling and heating weighted factor to assess the energy efficient performance of building insulation. Four zones with different orientations in one office building are used as an example to demonstrate the applications of these indexes in evaluating energy efficiency with different exterior wall insulation thicknesses in Beijing, Shanghai and Guangzhou. The results reveal that there are significant space for improvement in energy efficiency for zones facing all orientations in Beijing and with orientations excluding south in Shanghai, while for the south facing zones in Shanghai and all zones in Guangzhou there is little probability to reduce their total heating and cooling load. Considering variety of the cooling and heating weighted factor, increased exterior wall insulation thickness helps to reduce annual cooling and heating load in Beijing, but it quite depends on the orientation and cooling and heating load weighted factor in Shanghai and it would have no energy saving effect to increase exterior wall insulation thickness in Guangzhou.

Keywords insulation thickness, load gain ratio, annual cooling and heating load variation ratio, cooling and heating weighted factor

★ Tongji University, Shanghai, China

①

1 概述

随着建筑节能日益为行业所接受,各种不同的节能技术也得到了越来越多的应用和讨论。在这些节能技术中,保温材料的应用显得尤为普

①☆ 潘冬梅,女,1982年10月生,在读硕士研究生

△ 200092 上海市四平路1239号同济大学机械工程学院暖通空调及燃气研究所

(021) 65984228

E-mail: zplin99@tongji.edu.cn

收稿日期:2008-06-20

遍。近年来,许多学者对保温材料对负荷的影响进行了研究,文梓芸等人通过在广州地区建立具有保温结构的实验房间,研究了保温材料对于广州地区冬季气候条件下制热所需的能耗的影响,得出了采用外墙外保温不仅能够改善室内的热舒适环境,还可比不保温房间节能 35%~45% 的结论^[1];朱光俊等人利用 DeST 软件分析了广州、上海和北京 3 个地区采用内保温和外保温及不同保温层厚度下居住建筑的能耗,得出了保温材料应用于这 3 个地区时均可实现节能的结论^[2];吴玲红等人分析了保温材料对于办公建筑的适用性,得出在上海地区采用保温材料尽管可以减少热负荷,但是不可避免地带来了冷负荷的增加^[3]。同时,国外学者也就保温材料在墙体中的位置和厚度等进行了大量的研究,Ozel 等人利用有限差分法求解周期性边界的多层墙体模型,以滞后时间和热流波衰减大小作为衡量保温材料节能性能的依据^[4];Kemal 等人则通过建立稳态传热模型和寿命周期费用模型来确定保温材料的厚度,并得出了建立在寿命周期费用最小基础上的最优保温材料厚度^[5]。

然而,之前的模拟研究都只是针对建筑整体的负荷进行的,并没有针对不同朝向的房间进行研究,同时,基于多层墙体模型和稳态传热模型的研究方法无法考虑透明围护结构和非透明围护结构同时存在的复杂关系,因此就有必要利用比较准确的负荷模拟方法和更加详细的分区模型进行深入的研究。本文以某办公建筑标准层为研究对象,对不同的气候区域和不同的朝向分别研究保温对冷热负荷的影响。

2 保温材料影响作用分析方法

2.1 模拟方法

保温的节能效果一般是通过建筑的整体能耗变化来评价的,按照这种评价方法建立的能耗模型往往会忽略保温在同一栋建筑中的适用范围,同时还有可能遗漏一些可能影响保温节能效果的因素,如太阳辐射、围护结构的蓄热特性和通风等。为了研究保温在建筑中不同朝向房间的节能效果,所建立模型必须按照朝向分成不同的区域,通过比较这些房间的全年累计冷热负荷变化趋势来分析建筑朝向对保温节能特性的影响。同时按照朝向分区的模型还能够通过其外区房间的逐时

负荷变化来分析太阳辐射对于保温墙体的保温性能的影响。

2.2 保温性能比较参数

2.2.1 负荷增益比

为了比较保温材料在不同地区对冷热负荷的综合影响,有必要引入一个比较各地保温材料厚度变化影响大小的指标。本文采用量纲一的量 a ,称为负荷增益比,它定义为在保温材料增加单位厚度时,全年累计冷负荷的变化量与全年累计热负荷的变化量之比,见式(1)。

$$a = \frac{\frac{\partial C}{\partial \delta}}{\frac{\partial H}{\partial \delta}} \quad (1)$$

式中 C 为全年累计冷负荷, kWh; H 为全年累计热负荷, kWh; δ 为保温材料厚度, mm。

通常情况下,保温材料厚度增加必然带来全年累计热负荷的减小,即 $\frac{\partial H}{\partial \delta} < 0$,这一点从文献[1-8]的结论中都可以得到证实。然而保温材料厚度对冷负荷的作用则没有一个确定的结论,各研究者得出的结论也相差较大^[1-8]。因此这里分 3 种不同的情况讨论负荷增益比的意义。

1) 当保温材料厚度增加、冷负荷减小时,即 $\frac{\partial C}{\partial \delta} < 0$, 则 $a > 0$, 在这种情况下,保温材料厚度增加不仅减小了冬季热负荷,而且还减小了全年累计冷负荷,这无疑是最有利的情况;

2) 当 $\left| \frac{\partial C}{\partial \delta} \right| < \left| \frac{\partial H}{\partial \delta} \right|$, 且 $\frac{\partial C}{\partial \delta} > 0$ 时,则此时 $-1 < a < 0$, 说明全年累计冷负荷的增加量小于全年累计热负荷的减少量,仍然具有节能的可能性;

3) 当 $\left| \frac{\partial C}{\partial \delta} \right| > \left| \frac{\partial H}{\partial \delta} \right|$, 且 $\frac{\partial C}{\partial \delta} > 0$ 时,则此时 $a < -1$, 说明减小的全年累计热负荷少于增加的全年累计冷负荷,已不具备任何节能的可能性。

可以看出,负荷增益比不仅可以反映保温材料厚度变化对全年累计冷热负荷的不同影响,而且还可以初步反映节能的可能性。

2.2.2 全年累计冷热总负荷相对变化率

负荷增益比反映了全年累计冷热负荷之间的相对关系,但是还无法反映朝向对全年累计冷热总负荷的影响,因此就有必要引入一个能够反映

总负荷变化情况的参数,这里采用全年累计冷总负荷相对变化率 b ,其定义式如下:

$$b = \frac{(C + \eta H)_{\delta=l}}{(C + \eta H)_{\delta=\delta_0}} \quad (2)$$

式中 η 为冷热负荷加权比,它是制冷效率和制热效率的比值,即处理 1 kW 冷负荷所需要的能耗与处理 1 kW 热负荷所需要的能耗的比值; δ_0 为参考厚度,取 1 mm。

全年累计冷热总负荷相对变化率 b 能够反映随着保温厚度的增加全年累计冷热总负荷的变化趋势,同时通过选取合适的 η, b 值还能够反映全年能耗的变化趋势。当 $b > 1$ 时,表明随着保温层厚度的增加,全年累计冷热总负荷相对于参考厚度是增加的,增加保温层厚度并不节能;反之,当 $b < 1$ 时,表明随着保温层厚度的增加,全年累计冷热总负荷相对于参考厚度是减小的,增加保温层厚度是节能的。

3 不同气候条件保温节能的作用

3.1 建筑模型及相关参数

为了研究不同朝向外区的全年冷热负荷,以某办公建筑典型层为研究对象,通过 EnergyPlus 软件建立该办公建筑的模型,在该层各个朝向上以外墙以内 4.5 m 为外区,其余为内区,4 个朝向的窗墙比均为 40%。由于保温材料只对外区的冷热负荷有影响,因此本文只研究 4 个外区的全年累计冷热负荷。该办公建筑空调分区见图 1。

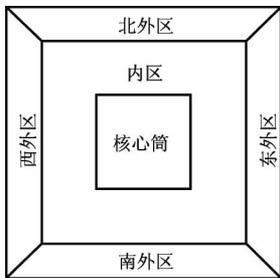


图1 标准层空调分区图

该模型外窗传热系数为 $3.16 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$, $SHGC$ (solar heat gain coefficient)为 0.45。外墙为 150 mm 厚钢筋混凝土墙,保温材料为 XPS,导热系数为 $0.034 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$,密度为 $35 \text{ kg}/\text{m}^3$,比热容为 $1400 \text{ J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$ 。XPS 是目前广泛应用于外墙的保温材料,相对于 EPS,其密度和强度(包括抗压、抗拉和剪切)均有提高,而导热系数降

低。该建筑各部分的内热源设置如下:人员密度为 $4 \text{ m}^2/\text{人}$,照明负荷为 $11 \text{ W}/\text{m}^2$,设备负荷为 $20 \text{ W}/\text{m}^2$,新风量为 $30 \text{ m}^3/(\text{人} \cdot \text{h})$,工作时间设定为 8:00~18:00。

在进行模拟计算时,广州、上海和北京三地所采用的气象参数均为 IWEC 文件。

3.2 结果分析

3.2.1 朝向对全年累计冷热负荷的影响

房间的朝向不同,太阳辐射和主导风向对各个房间的影响必然也不一样。北京和上海的纬度较高,其东、西和北侧房间所接受的太阳辐射相差不大,且都较南向小得多,而在广州地区由于其纬度低于北回归线,因此在夏季太阳处于北回归线附近时,北面也会受到太阳辐射很大的影响。因此在广州地区不同朝向在冬季会有影响,而在夏季作用并不明显。

图 2,3 表明,在北京和上海地区,东、西和北 3 个朝向的负荷增益比的取值和变化都较为接近,保温层厚度从 1 mm 变化到 100 mm 时,两地上述 3 个朝向的负荷增益比基本都在 -0.2 和 -0.6 之间,根据 2.2.1 节的分析,这时全年累计冷负荷增加,全年累计热负荷则一直在减小,节能可能性较大。北京地区南向负荷增益比大于 -1,仍具有节能的可能性;但是在上海地区,保温层厚度达到 26 mm 时,南向房间的负荷增益比基本等于 -1,此后就不再有节能的可能性了。

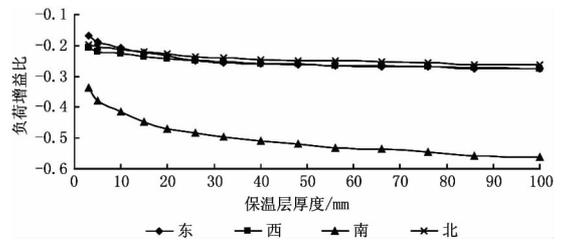


图2 北京地区不同朝向负荷增益比随保温层厚度的变化

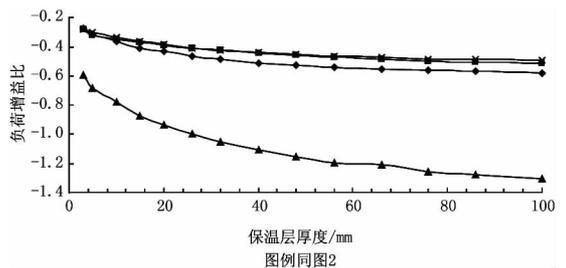


图3 上海地区不同朝向负荷增益比随保温层厚度的变化

在此分析过程中,假定冷热负荷加权比为 1,下文会单独讨论冷热负荷加权比对全年累计冷热总负荷相对变化率的影响。图 4,5 分别给出了北京和上海两地全年累计冷热总负荷相对变化率 b 随保温层厚度变化的关系,变化趋势再一次证明了上文负荷增益比的分析。同时,由图 5 可以看出,保温层厚度小于 26 mm 时,南向房间的 b 值是减小的并逐渐趋于平缓,而大于 26 mm 之后, b 则开始变大,即随着保温层厚度增加,全年累计冷热总负荷已经开始增加。

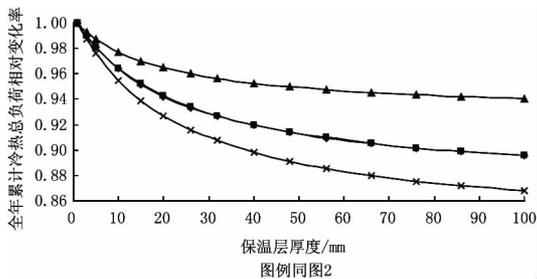


图 4 北京地区不同朝向全年累计冷热总负荷相对变化率随保温层厚度的变化

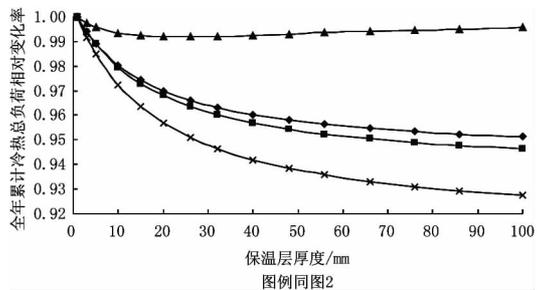


图 5 上海地区不同朝向全年累计冷热总负荷相对变化率随保温层厚度的变化

另一方面,图 4,5 还给出了无法从负荷增益比变化中得到的信息,也就是保温层厚度增加后,北向房间的全年累计冷热总负荷相对变化率递减梯度最大,东向和西向次之,且两者比较接近,南向的递减梯度则最小。引起这种变化趋势的主要原因是加保温层后,尽管北向负荷增益比与东、西向比较接近,但是北向全年累计热负荷占全年累计冷热总负荷的比例较大,这可以从式(1)和(2)推导出来。

图 6 反映了广州地区不同朝向负荷增益比随保温层厚度变化的情况,从图 6 可以看出,4 个朝向的负荷增益比变化相近,这也说明了广州地区朝向对保温的影响并不是很大。由于在广州

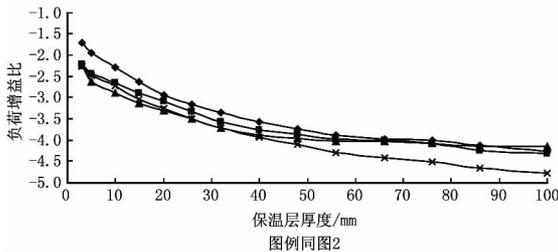


图 6 广州地区不同朝向负荷增益比随保温层厚度的变化

地区 4 个朝向的负荷增益比均小于 -1,因此,在广州地区采用保温材料基本不具备节能的潜力。文献[1]虽然指出采用外墙保温后冬季空调耗能减少 35%~45%,它只局限于供热季,这与本文热负荷随保温层厚度增加而减小的结论是一致的,但它并没有考虑外墙保温对供冷季冷负荷的影响。

从图 7 可以看出,广州地区由于保温层的使用北向房间全年累计冷热总负荷相对变化率增加梯度较大,这可能是由于保温层厚度的增加,减少了北向过渡季可以散发出去的热量,从而引起冷负荷大幅增加。

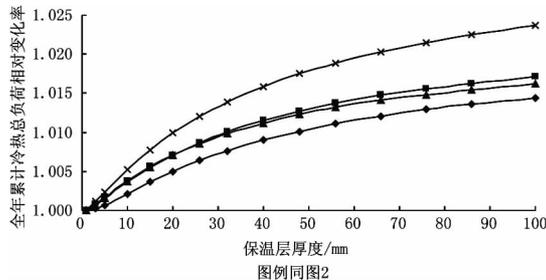


图 7 广州地区不同朝向全年累计冷热总负荷相对变化率随保温层厚度变化

3.2.2 冷热负荷加权比对全年累计冷热总负荷相对变化率的影响

在实际应用中,对于不同的系统,冷热负荷加权比 η 有可能大于 1,也有可能小于 1。为了说明 η 对全年累计冷热总负荷的影响,下面以三地东外区为例分别讨论冷热负荷加权比从 0.5 变化到 2.0 时的变化关系。

由图 8~10 可以看出,全年累计冷热总负荷相对变化率 b 随着 η 的增大而减小,也就是说 η 越小,保温层厚度增加所带来的节能效果越不明显。对于广州地区,当 η 增加到 2.0,保温层厚度小于 32 mm 时, $b < 1$,说明在这个范围内,增加保温层厚度有节能的作用,并且有一个最佳保温层厚度

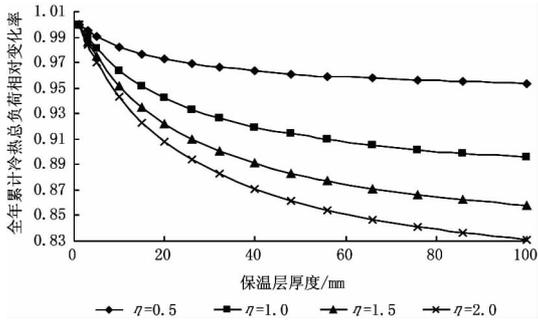


图8 北京东外区不同 η 时全年累计冷热总负荷相对变化率随保温层厚度变化

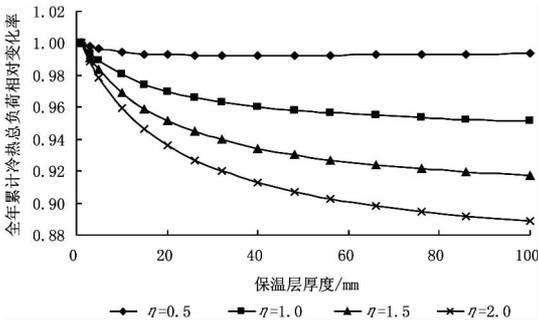


图9 上海东外区不同 η 时全年累计冷热总负荷相对变化率随保温层厚度变化

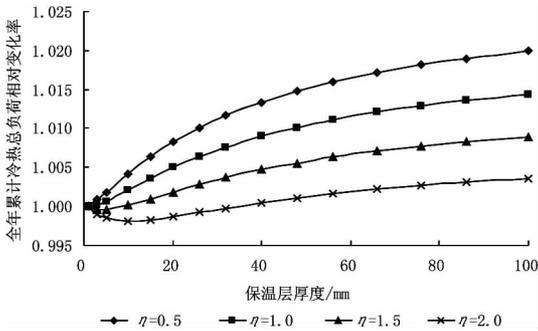


图10 广州东外区不同 η 时全年累计冷热总负荷相对变化率随保温层厚度变化

(即 b 值最小时)。而对于北京和上海地区,随着保温层厚度增加, b 值是不断减小的,刚开始变化比较快,但到一定保温层厚度时,变化开始趋于平缓,因此在北京和上海两地增加建筑保温层厚度可以减少建筑全年供暖和空调能耗。

比较图8和图10可以看出, η 从0.5增加到2.0时,北京地区全年累计冷热总负荷相对变化率变化的范围要远大于广州地区。由3.2.1节的模拟结果可知,北京地区冷热负荷增益比符合2.2.1节中的情况2)且冷热负荷增益比的绝对值较小,即随着保温层厚度增加,冷负荷的增加量远小于

热负荷的减少量,同时,根据冷热负荷加权比的定义可知, η 增大则表示在制热效率一定的条件下,制冷效率提高,即处理1 kW冷负荷所需要的能耗减小,因此北京地区热负荷减小所带来的供暖总能耗的减小量要远大于冷负荷增加所带来的制冷能耗增加量,从而导致随着保温层厚度增加北京地区全年累计冷热总负荷相对变化率变化范围较大。

从图9中可以看出,当 η 减小到0.5时,上海地区全年累计冷热总负荷相对变化率随着保温层厚度增加已经呈现出增加的趋势。这一现象在广州地区的结果中则更为明显,如图10所示。这一结果表明尽管在北京等夏热冬冷地区增加保温层厚度基本都可以减少全年供暖空调总能耗,但是对于上海和广州地区,则必须结合冷热负荷加权比综合考虑,以确定最佳保温层厚度。

4 结论

4.1 北京和上海地区随着保温层厚度增加,东、西和北向房间的负荷增益比变化比较接近,且都大于-1,具有很大的节能空间,北京地区南向房间仍然可能实现节能,而在上海,当保温层厚度增加到约26 mm时,南向房间不仅负荷增益比小于-1,其全年累计冷热总负荷相对变化率也大于1,因此不具备节能的可能。

4.2 北京和上海地区使用保温后,北向房间相对于其他朝向的房间能够大幅减小全年累计冷热总负荷,这主要是由于北向房间热负荷占全年累计冷热总负荷比较大。

4.3 广州地区保温层厚度对4个朝向的负荷增益比影响相近,这主要与当地的纬度和日照时间有关。

4.4 冷热负荷加权比在一定范围内变化时,北京地区全年累计冷热总负荷相对变化率随着保温层厚度增大而减小,因此在北京地区保温材料节能性具有普遍性;上海地区则在冷热总负荷相对加权比较大时能够实现全年累计冷热总负荷相对变化率减小,在该值接近0.5或小于0.5时,存在一个最佳保温层厚度,即上海地区保温层厚度增加能否节能取决于系统冷热负荷加权比的大小;在广州地区,取不同的冷热负荷加权比时,保温层厚度增加基本都会使全年累计冷热负荷率增加,因此基本不具备节能的可能性。

4.5 本文提出的 3 个衡量保温材料节能性能的参数:负荷增益比、全年累计冷热总负荷相对变化率及冷热负荷加权比,能够贴切反映保温材料厚度的变化对建筑物的冷热负荷变化的影响。

参考文献:

[1] 文梓芸,吴清仁,何琼宇,等. 外墙外保温系统在广州地区冬季气候条件下应用的研究[J]. 建筑技术, 2003, 34(10):735-736

[2] 朱光俊,张晓亮. 外墙保温技术对空调负荷的影响[J]. 节能技术, 2005, 23(1):30-33

[3] 吴玲红,叶大法,周钟,等. 办公建筑围护结构的保温性能和空调能耗[J]. 建筑节能, 2007,35(2):18-21

[4] Ozel M, Pihtili K. Optimum location and distribution of insulation layers on building walls with various orientations [J]. Building and Environment,2007, 42(8):3051-3059

[5] Kemal Comaklı, Bedri Yuksel. Optimum insulation thickness of external walls for energy saving [J]. Applied Thermal Engineering, 2003, 23(4): 473-479

[6] 左政,华卉,陈友明. 内、外保温对空调房间墙体得热的影响研究[J]. 建筑热能通风空调, 2004, 23(3):33-35

[7] Bojic M, Yik F, Sat P. Influence of thermal insulation position in building envelope on the space cooling of high rise residential buildings in Hong Kong [J]. Energy and Buildings, 2001, 33(6): 569-581

[8] Ramzi Ourghi, Adnan Al-Anzi, Moncef Krarti. A simplified analysis method to predict the impact of shape on annual energy use for office buildings [J]. Energy Conversion and Management, 2007, 48(1): 300-305

· 征订 ·

《全国勘察设计注册公用设备工程师暖通空调专业考试模拟题》 (2008 年版)

为配合全国勘察设计注册公用设备工程师暖通空调专业考试,帮助广大考生复习备考,《暖通空调》杂志社特邀国内知名专家、教授,根据《全国勘察设计注册公用设备工程师(暖通空调专业)考试复习教材》(第 2 版)、2008 年复习大纲和相关规范(包括新增加的标准规范),编写了 2008 版模拟题,并搭建了网上模拟考试系统。

2008 年版模拟题出题专家

北京市建筑设计研究院	张锡虎	教授级高工
中国有色工程设计研究总院	赵继豪	教授级高工
总装备部工程设计研究总院	李兆坚	研究员
重庆大学	刘宪英	教授
	孙纯武	教授
	黄忠	副教授
仲恺农业工程学院	丁力行	教授
	邓玉艳	高工

中国电子工程设计院	郑纯友	教授级高工
青岛理工大学	胡松涛	教授
北京工业大学	李红旗	博士
北京建筑工程学院	李德英	教授
	闫全英	副教授
	许淑惠	副教授
	冯圣红	副教授

2005 和 2006 年,《暖通空调》杂志社均出版过注册考试的模拟题,考生反映效果非常好,很多考生在考试结束后致电编辑部,反映我们出版的模拟题水平高,对于考试有很好的针对性和启发性。

本模拟题定价 150 元/册(含在线考试系统会员卡),在线考试系统会员卡可以单独购买 60 元/张。欲购者请与《暖通空调》杂志社发行部金庆平联系,电话:(010)68362755,地址:北京市西直门外车公庄大街 19 号,邮编:100044。