

节能空心墙体传热引起的 夏季空调负荷的数值计算^{*}

中原工学院 王晓璐[☆] 孙昆峰

河南省建设厅墙体材料改革办公室 郭士干

摘要 介绍了夏季空调室外气象参数和太阳辐射照度的计算及气象参数的数值离散,采用有限容积法,计算了夏季标准设计日多种空心墙体由传热引起的空调冷负荷及冷负荷温度,并与标准Ⅱ~Ⅳ型墙体的相应数值进行了比较。

关键词 空心墙体 空调冷负荷 冷负荷温度 数值计算

Numerical simulation of summer air conditioning load caused by heat transfer through energy saving hollow walls

By Wang Xiaolu[★], Sun Kunfeng and Guo Shigan

Abstract Presents the calculation of outdoor meteorological parameters for summer air conditioning and solar irradiance and the numerical discretization of the meteorological parameters. Based on the finite volume method, calculates the air conditioning cooling load caused by heat transfer through the hollow walls and the cooling load temperature for several kinds of hollow walls for the summer standard design day, and compares them with those of normal walls of Ⅱ, Ⅲ and Ⅳ types.

Keywords hollow wall, air conditioning cooling load, cooling load temperature, numerical calculation

[★] Zhongyuan University of Technology, Zhengzhou, China

^①

0 引言

随着国家建筑节能标准的贯彻实施,大量工业厂房、公共建筑、医院建筑、商厦、星级饭店普遍采用各种新型多孔砖、空心砖墙体(以下称为空心墙体)作为外围护结构,且常根据需要在其中填充混凝土、钢筋等。新型墙体的采用较好地改善了墙体的隔热性能,减少了建筑能耗。但是我国现有的空调负荷计算设计手册是在 20 世纪 80 年代制订的,并未包括近年来各地新开发的种类繁多的新型多孔砖、空心砖,由于节能空心墙体内部分布着一系列孔洞,对此也无法用传统的计算多层均质墙体时所用的传递函数法和谐波法来进行空调负荷计算。所以在建筑上采用这些新材料后,暖通工程师无法

从现有手册中查出由墙壁传入热量引起的夏季空调设计日的逐时冷负荷值,只有套用设计手册上相近的原来老墙体的数据来计算,因此系统末端的空调设备和制冷机的设计负荷并未减少,使得设备选用与投资仍然过大。另外因新型多孔砖、空心砖的造价高,在无明确的节能效益分析时,业主和设计单位的使用积极性受到影响,这也使新型空心墙体的推广放缓。

目前国内在空心墙体方面的研究虽有一定进

^{①☆} 王晓璐,女,1959 年 9 月生,大学,副教授
451191 河南省郑州市新郑双湖经济开发区淮河路 1 号中原
工学院能环学院基础教学系
(0371) 67698176 65537456
E-mail: wxl@zzti.edu.cn
收稿日期:2006-12-25
修回日期:2007-01-10

^{*} 河南省科技攻关项目(编号:0424450020)

展,但只局限于测量其平均导热系数与热阻,进而得出总传热系数,由此也只能计算出冬季稳态时的热负荷^[1]。由于空心墙体的精确热工计算过程较复杂,在冬、夏季非稳态条件下,多孔砖、空心砖内的温度场及产生的逐时热、冷负荷的研究仍是空白。近年来,笔者对新型空心墙体内传热过程进行了数值计算,得出了夏季空调设计日的逐时空调冷负荷。此项研究可从根本上解决新型多孔砖、空心砖产品开发、空调工程设计中的盲目性,对采用这类新型墙体在冬、夏季时的节能性能可作出准确的计算,提供了其全面完整的动态热工特性,有力配合了已有多孔砖、空心砖产品的使用推广,为空调节能工作依托高科技加快发展提供了可靠的技术支持。

1 边界条件的确定

1.1 气象参数的确定

建筑围护结构的外表面除与室外空气进行换热外,还受太阳辐射的作用,将两者的共同作用综合成空调室外计算逐时综合温度^[2]。此综合温度是计算通过围护结构传热量时的基本参数,在现有的暖通空调设计手册中,只列出了北京等 40 个大中城市的综合温度,对大量中小城市的综合温度并未列出。对此可根据《采暖通风与空气调节设计规范》(GB 50019—2003)来计算。

夏季空调室外计算逐时综合温度 t_{zs} 为

$$t_{zs} = t_{sh} + \frac{\rho I}{\alpha_w} \quad (1)$$

式中 t_{sh} 为夏季空调室外计算逐时温度, $t_{sh} =$

$$e = -0.000\ 278\ 640\ 9 + 0.122\ 771\ 5 \cos(\omega + 1.498\ 311) - 0.165\ 457\ 5 \cos(2\omega - 1.261\ 546) - 0.005\ 353\ 83 \cos(3\omega - 1.157\ 1) \quad (3)$$

$$\omega = \frac{2n\pi}{360} \quad (4)$$

式中 n 为日期序号,取 7 月 21 日对应的值。

各城市实际纬度 φ 下的辐射照度是纬度和当地太阳时的二元函数,即

$$I = F(\varphi, \tau)$$

因《采暖通风与空气调节设计规范》(GB 50019—2003)中已列出 7 个整数纬度、各整点太阳时(间隔为 1 h)的太阳辐射照度,故需要按当地纬

$t_{wp} + \beta \Delta t_r$, 其中 t_{wp} 为夏季空调室外计算日平均温度, β 为室外温度逐时变化系数, Δt_r 为夏季室外计算平均日较差^[3]; ρ 为围护结构对太阳辐射热的吸收比,考虑到城市高层建筑外表面材质的多样化,分别取 0.65, 0.75, 0.9 三种数值; I 为围护结构所在朝向的太阳辐射总照度, W/m^2 ; α_w 为围护结构外表面的表面传热系数, $W/(m^2 \cdot K)$ 。

由于全国各地的纬度、经度、大气透明度等相差很大,对数量众多的中小城市来说,围护结构所在朝向的太阳辐射总照度在现有规范和设计手册中并未列出,必须根据各地的纬度、经度进行相应的计算,此项参数计算工作量很大。

1.2 太阳辐射照度的确定

在《采暖通风与空气调节设计规范》(GB 50019—2003)中列出 7 个纬度、6 种大气透明度下太阳辐射照度值,概括了全国情况,但由于各个城市所在纬度多数不是表中所列的整数纬度值,且由于各个城市所在经度值不同,同一北京标准时间对应的地方太阳时均不相同,规范中按地方太阳时列出的各朝向的太阳辐射总照度也需进行相应的换算才能在式(1)中使用。

首先按当地经度由北京标准时间换算出对应的太阳时 τ :

$$\tau = \tau_s \pm \frac{L - L_s}{15} + \frac{e}{60} \quad (2)$$

式中 τ_s 为北京标准时间整点时刻; L, L_s 分别为当地经度和北京地区的经度; e 为时差, h, 按式(3)计算。

度和太阳时进行二维函数三次样条插值。利用 Matlab 程序进行计算。

2 气象参数的数值离散

为给出空心墙体数值仿真计算时墙体外表面的第三类边界条件,根据 24 个整点北京时间下的综合温度,用三次样条函数法插值出间隔为规定时间步长的一系列综合温度数值点。一元函数三次样条公式为

$$y(x) = M_{i-1} \frac{(x_i - x)^3}{6h_i} + M_i \frac{(x - x_{i-1})^3}{6h_i} + \left(y_{i-1} - \frac{h_i^2}{6} M_{i-1} \right) \frac{x_i - x}{h_i} + \left(y_i - \frac{h_i^2}{6} M_i \right) \frac{x - x_{i-1}}{h_i} \quad (5)$$

$$x \in [x_{i-1}, x_i], i = 1, 2, \dots, n$$

其中 $h_i = x_i - x_{i-1}$

式中 M_i, M_{i-1} 分别为在 x_i 和 x_{i-1} 处函数的二阶导数值; y_i, y_{i-1} 分别为 x_i 和 x_{i-1} 对应的函数值。 M_i 由下式求解:

$$\mu_i M_{i-1} + 2M_i + \lambda_i M_{i+1} = d_i \quad i = 1, 2, \dots, n-1 \quad (6)$$

其中

$$\mu_i = \frac{h_i}{h_i + h_{i+1}}, \lambda_i = \frac{h_{i+1}}{h_i + h_{i+1}},$$

$$d_i = \frac{6}{h_i + h_{i+1}} \left(\frac{y_{i+1} - y_i}{h_{i+1}} - \frac{y_i - y_{i-1}}{h_i} \right)$$

用 BASIC 语言编制程序计算各个城市夏季空调设计日 8 个朝向各自 1 440 个离散综合温度数值。

3 墙体传热研究

空心墙体的数值模拟计算使用有限容积法, 墙体外表面是第三类边界条件, 外表面接触的空气质量即为空调室外计算综合温度, 室内空气温度为 26 °C, 墙体内部属于二维非稳态传热的情况, 计算中时间步长取 60 s。采用隐式差分格式, 划分的计算网格为非结构化四边形平面网格。初始条件的确定方法是先计算两个周期, 使周期性温度变化达到充分发展, 然后用得到的温度场和流场作为初始温度场和流场分布^[4]。计算完成后输出空调标准设计日墙体内、外表面的温度数据文件和热流数据文件。其中 4 种空心砖、多孔砖砌筑的墙体构造如图 1~4 所示。

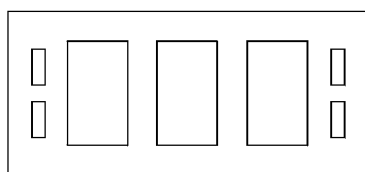


图 1 KF₁ 型空心砖墙体构造

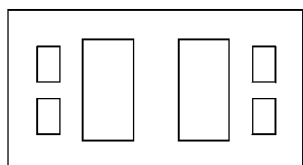


图 2 KF₂ 型空心砖墙体构造

4 冷负荷及冷负荷温度

4.1 冷负荷的确定及冷负荷温度的计算

工程控制论是分析计算空调负荷的有力工具,

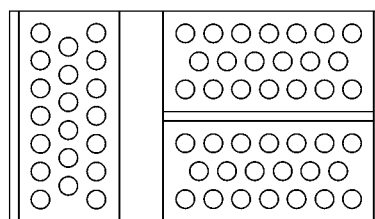


图 3 Kp1-1 型多孔砖墙体构造

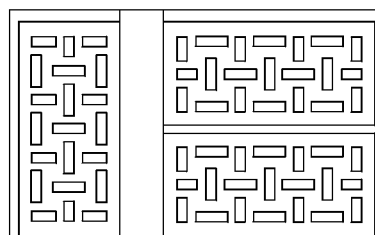


图 4 Kp1-2 型多孔砖墙体构造

在研究由墙体向房间传热引起的冷负荷时, 可将房间各个内表面及其包围的空气、家具等当作一个系统, 把墙体输出热量作为该房间系统的输入, 房间系统内空气保持恒温所需取走的热量 (即冷负荷) 就是系统的输出量。对空调负荷计算中所遇到的围护结构传热问题和室内冷负荷的计算问题, 通常可将房间系统作为线性定常系统看待。

用 $G(S)$ 表示系统的传递函数, 则空调房间的冷负荷 $CL(S)$ 为

$$CL(S) = Q(S)G(S) \quad (7)$$

式中 $Q(S)$ 为由墙体传入房间系统的热量。

再对上式进行 Z 变换, 则有

$$CL(Z) = Q(Z)G(Z) \quad (8)$$

将输入量、输出量进行 Z 变换, 空调房间的传递函数用 Z 的高次多项式表示, 经相应的数学变换和简化, 得 n 时刻的空调冷负荷 CL_n 为

$$CL_n = V_0 Q_n + V_1 Q_{n-1} - WCL_{n-1} \quad (9)$$

式中 V_0, V_1, W 为传递函数系数; Q_n, Q_{n-1} 为 n 和 $n-1$ 时刻由墙体传入房间系统的热量; CL_{n-1} 为 $n-1$ 时刻的空调冷负荷。

根据已有的大量实验数据整理的结果, 同时考虑到目前我国空调建筑实际情况, 取房间的传递函数系数 $V_0=0.68, V_1=0.5, W=0.87$ 。

用 FORTRAN 语言编制程序, 读取墙壁内表面的热流数据文件, 计算出空调设计日空心墙体传热引起的房间冷负荷值和冷负荷温度。部分计算结果见表 1。

表 1 河南省安阳市 8 个朝向 KF₁ 型空心砖墙体(表面吸收比为 0.9 时)的冷负荷温度 /℃

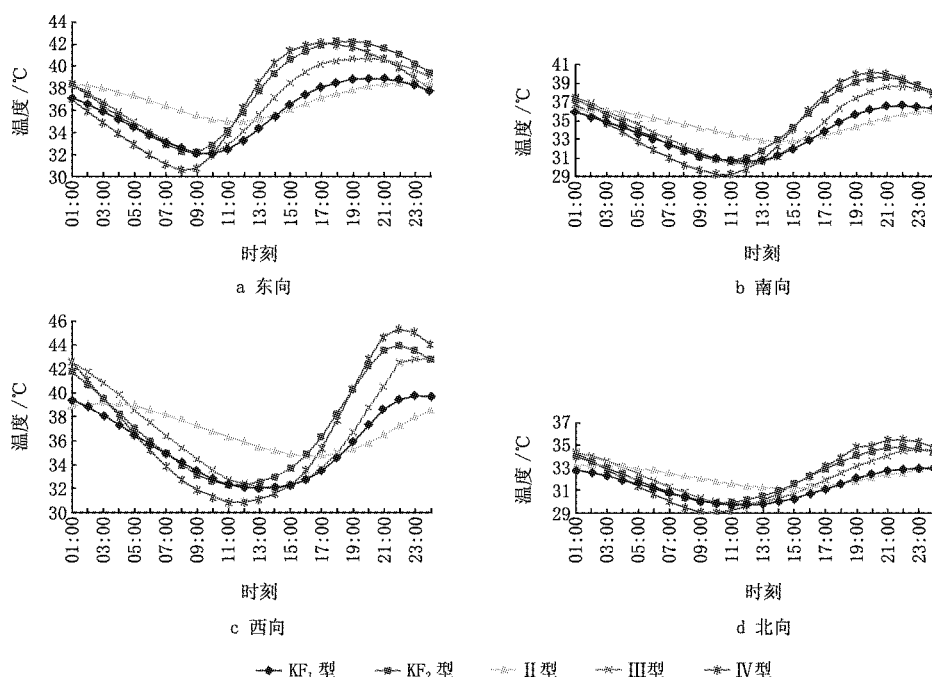
时刻	南向	西南向	西向	西北向	北向	东北向	东向	东南向
1:00	35.86	39.14	39.33	37.13	32.82	35.76	37.21	35.85
2:00	35.38	38.54	38.76	36.69	32.58	35.25	36.57	35.37
3:00	34.84	37.84	38.07	36.15	32.28	34.70	35.89	34.83
4:00	34.27	37.08	37.31	35.53	31.94	34.12	35.20	34.26
5:00	33.69	36.29	36.51	34.88	31.57	33.54	34.51	33.68
6:00	33.10	35.49	35.70	34.22	31.18	32.95	33.82	33.09
7:00	32.52	34.71	34.91	33.55	30.78	32.36	33.15	32.51
8:00	31.96	33.95	34.14	32.91	30.40	31.84	32.55	31.95
9:00	31.45	33.26	33.43	32.32	30.08	31.49	32.13	31.44
10:00	31.02	32.68	32.83	31.83	29.84	31.44	32.07	31.01
11:00	30.74	32.24	32.38	31.47	29.71	31.74	32.45	30.73
12:00	30.65	31.96	32.09	31.27	29.68	32.35	33.27	30.65
13:00	30.82	31.86	31.99	31.25	29.77	33.12	34.37	30.81
14:00	31.26	31.94	32.06	31.39	29.97	33.90	35.54	31.26
15:00	31.97	32.23	32.31	31.69	30.28	34.60	36.59	31.96
16:00	32.87	32.82	32.78	32.12	30.67	35.20	37.43	32.87
17:00	33.85	33.73	33.52	32.68	31.11	35.71	38.05	33.85
18:00	34.79	34.95	34.58	33.43	31.56	36.14	38.49	34.79
19:00	35.59	36.34	35.90	34.37	32.00	36.48	38.77	35.59
20:00	36.17	37.69	37.31	35.42	32.40	36.72	38.89	36.17
21:00	36.52	38.79	38.56	36.40	32.72	36.81	38.86	36.51
22:00	36.63	39.46	39.39	37.08	32.93	36.76	38.66	36.63
23:00	36.53	39.69	39.74	37.39	33.02	36.55	38.29	36.53
24:00	36.26	39.55	39.69	37.39	32.98	36.19	37.80	36.26

4.2 冷负荷温度的分析

在安阳市 KF₁ 和 KF₂ 型空心砖墙体的冷负荷温度与标准的 II ~ IV 型墙体冷负荷温度^[5]的对比见图 5。II 型墙体为外水泥砂浆、内白灰粉刷、厚度 370 mm 的红砖墙,总传热系数 1.50 W/(m² · K); III 型墙体为外水泥砂浆、内白灰粉刷、厚度 240

mm 的红砖墙,总传热系数 1.97 W/(m² · K); IV 型墙体为外水泥砂浆、内白灰粉刷、厚度 200 mm 的轻混凝土板墙,总传热系数 2.09 W/(m² · K)。

在安阳市 Kp1-1 和 Kp1-2 型多孔砖墙体的冷负荷温度与标准的 I, II 型墙体冷负荷温度的对比见图 6。

图 5 KF₁ 和 KF₂ 型空心砖墙体与标准 II ~ IV 型墙体冷负荷温度的对比

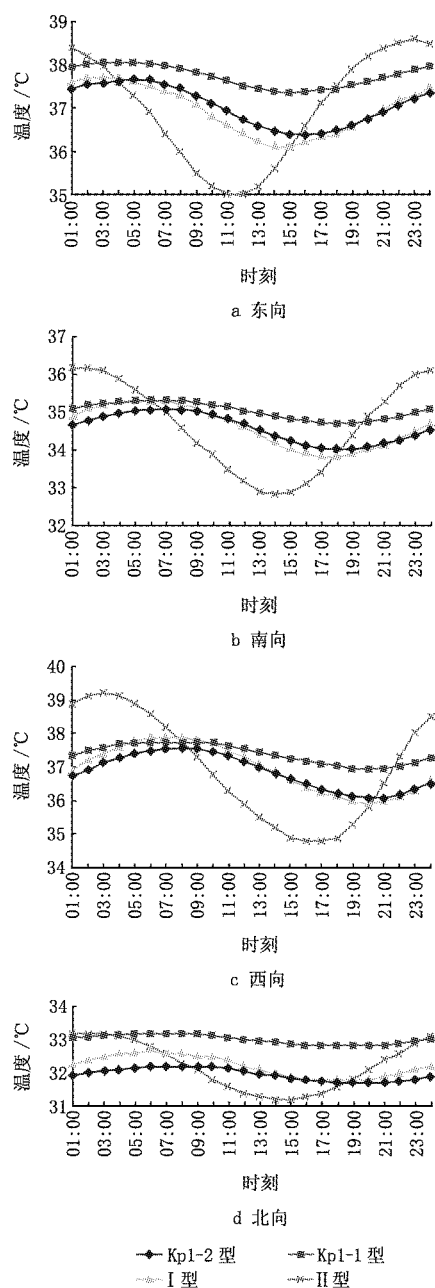


图6 Kp1-1和Kp1-2型多孔砖墙体与标准I和II型墙体冷负荷温度的对比

从图5可以看出, KF_1 型空心砖墙体的冷负荷温度接近III型墙体的值, KF_2 型空心砖墙体的冷负荷温度接近于IV类墙体的值。两者性能有较大差异, 除两者宽度尺寸相差40 mm的原因外, 主要原因是 KF_1 型空心砖墙体在热量传递方向多出一个空气腔, 增加了热量传递中的热阻^[6]。

从图6可以看出, Kp1-2型多孔砖墙体的冷负荷温度接近I类墙体的值; Kp1-1型多孔砖墙体的冷负荷温度基本上高于I型墙体, 与II型墙体相

比, Kp1-1型多孔砖墙体的冷负荷温度波动幅度较小, 冷负荷温度的最大值也明显降低。Kp1-1型多孔砖和Kp1-2型多孔砖的孔洞率分别是26.4%与25.5%, 沿热量传递方向两者的孔排数也基本相同, 但Kp1-1型多孔砖墙体的冷负荷温度却较高, 原因可能是其内部孔洞未交错排列, 砖体中存在热量传递中的短路通道。在两种墙体砌筑方式完全相同的情况下, Kp1-1型多孔砖墙体的冷负荷温度较高, 与用电热模拟方法得到的结果一致^[7]。

KF_1 和 KF_2 型空心砖墙体传热形成的冷负荷与标准的II~IV型墙体冷负荷的对比见图7。由

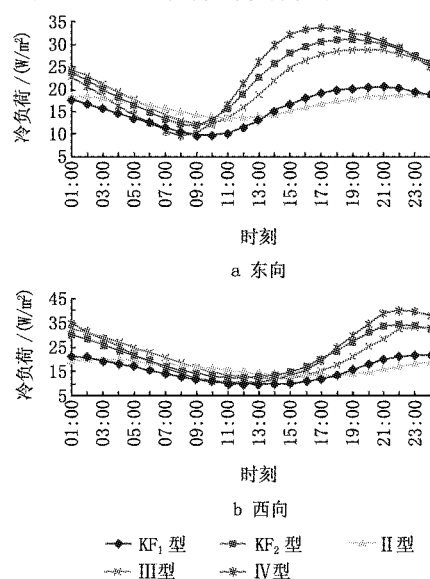


图7 KF_1 和 KF_2 型空心砖墙体与标准II~IV型墙体传热形成冷负荷的对比

图中可以看出, 虽然 KF_1 型空心砖墙体的冷负荷温度接近III型墙体的值, 但墙体传热形成的冷负荷却小于III型墙体, 例如西向 KF_1 型空心砖墙体的平均冷负荷和最大冷负荷分别为 15.2 W/m^2 和 21.85 W/m^2 , III型墙体的平均冷负荷和最大冷负荷分别为 21.67 W/m^2 和 33.29 W/m^2 ; 东向 KF_1 型空心砖墙体的平均冷负荷和最大冷负荷分别为 15.7 W/m^2 和 20.5 W/m^2 , III型墙体的平均冷负荷和最大冷负荷分别为 21.6 W/m^2 和 28.96 W/m^2 。虽然 KF_2 型空心砖墙体的冷负荷温度接近IV型墙体的值, 但墙体传热形成的冷负荷平均值和最大值仍小于IV型墙体的值, 例如西向 KF_2 型空心砖墙体的最大冷负荷为 34.3 W/m^2 , IV型墙体的最大冷负荷为 40.3 W/m^2 ; 东向 KF_2 型空心砖墙体的最大冷负荷为 31.1 W/m^2 , IV型墙体的最大

冷负荷为 33.7 W/m^2 。

5 结论

5.1 用数值计算的方法能有效地解决复杂空心墙体传热引起的夏季空调冷负荷计算问题,能准确快捷地得出墙体传热和冷负荷的相关数据。本文得出的多种空心墙体夏季空调冷负荷温度可直接用于计算各种工业、民用建筑的夏季空调冷负荷。

5.2 我国南北气候差异较大,计算空心墙体传热引起的夏季空调冷负荷温度时必须先计算出当地室外夏季空调气象参数,本文提供了准确可行的计算方法。

5.3 复杂空心墙体传热引起的夏季空调负荷的影响因素较多,墙体尺寸、孔洞形式、孔洞排列方式等都对传热有影响,会使墙体夏季空调冷负荷参数有一定的差异。

5.4 计算结果表明,空心墙体在太阳辐射较强的朝向(东、西等)降低空调冷负荷的作用更加明显,

但空心墙体的造价也相应较高,故应对此进行更深入的经济性分析。

参考文献

- [1] Zhao C Y, Tao W Q. Natural convections in conjugated single and double enclosures[J]. Heat and Mass Transfer, 1995, 30(3):175-182
- [2] 中国有色工程设计研究总院. GB 50019—2003 采暖通风与空气调节设计规范[S]. 北京:中国计划出版社, 2003
- [3] 电子工业部第十设计研究院. 空气调节设计手册[M]. 北京:中国建筑工业出版社, 2004
- [4] 陶文铨. 数值传热学[M]. 2 版. 西安:西安交通大学出版社, 2001
- [5] 单寄平. 空调负荷实用算法[M]. 北京:中国建筑工业出版社, 1989
- [6] 王继唐. 空心砖与空心砖节能建筑[J]. 墙材革新建筑节能, 2000(1):13-17
- [7] 刘学武, 严定法. 用电模拟法研究空心砖的最佳孔型[J]. 墙体革新与建筑节能, 1998(4):36-37

· 简讯 ·

建设部等 5 部门联合发布 《关于加强大型公共建筑工程 建设管理的若干意见》

近日,建设部、国家发展和改革委员会、财政部、监察部、审计署 5 个部门联合发布了《关于加强大型公共建筑工程建设管理的若干意见》(建质[2007]1 号)(以下简称《意见》)。《意见》中指出:大型公共建筑一般指建筑面积 $20\,000 \text{ m}^2$ 以上的办公建筑、商业建筑、旅游建筑、科教文卫建筑、通信建筑以及交通运输用房。随着我国经济和社会快速发展,大型公共建筑日益增多,既促进了经济社会发展,又增强了为城市居民生产生活服务的功能。国家对大型公共建筑建设管理不断加强,逐步走上法制化轨道。但当前一些大型公共建筑工程,特别是政府投资为主的工程建设中还存在一些亟待解决的问题,主要是一些地方不顾国情和财力,热衷于搞不切实际的“政绩工程”、“形象工程”;不注重节约资源能源,占用土地过多;一些建筑片面追求外形,忽视使用功能、内在品质与经济合理等内涵要求,忽视城市地方特色和历史文化,忽视与自然环境的协调,甚至存在安全隐患。这些问题必须采取有效措施加以解决。

为把《意见》的各项要求落到实处,切实提高我国大型公共建筑工程建设管理水平,《意见》中提出了 20 项保障措施,其中与暖通专业密切相关的内容有:新建大型公共建筑要严格执行工程建设节能强制性标准。贯彻落实《国务院关于加强节能工作的决定》,把能耗标准作为建设大型公共建筑项目核准和备案的强制性门槛,遏制高耗能建筑的建设。新建大型公共建筑必须严格执行《公共建筑节能设计标准》和有关的建筑节能强制性标准,建设单位要按照相应的建筑节能标准委托工程项目的规划设计,项目建成后应经建筑能效专项测评,凡达不到工程建设节能强制性标准

的,有关部门不得办理竣工验收备案手续。加强对既有大型公共建筑和政府办公建筑的节能管理。建设主管部门要建立并逐步完善既有大型公共建筑运行节能监管体系,研究制定公共建筑用能设备运行标准及采暖、空调、热水供应、照明能耗统计制度。要对政府办公建筑和大型公共建筑进行能效测评,并将测评结果予以公示,接受社会监督,对其中能耗高的要逐步实施节能改造。要研究制定公共建筑能耗定额和超定额加价制度。各地应结合实际,研究制定大型公共建筑单位能耗限额。

(本刊)

· 书讯 ·

《上海制冷节会刊》

该书为 2006 年第二届上海制冷节的会刊,其主题为“制冷与健康”,由组委会组织有关专家编写,主要由制冷历史名人,发展低温冷冻、提高生活品质,健康的空气品质和空调清洗,应用自然工质和节约能源、维护健康环境,发展冷链确保食品安全和百姓健康,先进的制冷设备技术为健康保驾,百姓关心的话题,知识竞赛等部分组成。该书为 16 开,共 134 页,胶版纸印刷。

《上海制冷节(科普读物)》

该书由上海市制冷学会科普委员会组编写,将家用冰箱、空调和冷冻医疗三方面的科普知识汇编成册,以问答的形式介绍了这三方面的基本知识,以便大众了解、掌握并在所需之时随手翻阅,有助于提高百姓的健康质量。该书为 32 开,共 48 页。

两本书总定价 20 元,邮费 5 元。

邮购地址:上海市江宁路 1112 弄 1 号楼 3C,张剑萍

邮编:200060

电话:(021)62662174

(张剑萍)