

太阳辐射同时发生的近极端空调设计气象参数的合理选择方法^{*}

湖南大学 陈友明[☆]

香港理工大学 陈庭耀 易伟雄

摘要 提出了一个合理选择同时发生的太阳辐射、干球温度和湿球温度的统计方法。该方法基于热传递的基本原理,将三个气象参数与建筑特征组成一个单一的被称为等效温度的影响因子,确保三个同时发生的气象参数的联合概率能满足所要求的空调系统的容量可靠性水平。将该方法应用于香港的气象数据得出同时发生的设计气象参数,与传统方法得到的气象参数进行了对比,结果表明,传统方法得到的参数在许多情况下可能被显著地高估,新方法可以直接确定峰值冷负荷,简化设计冷负荷的计算。

关键词 空调设计 气象参数 峰值冷负荷 系统容量可靠性

Rational selection method for near-extreme coincident air conditioning design weather parameters with solar irradiation

By Chen Youming[★], Chen Tingyao and Francis W. H. Yik

Abstract Presents a statistic method for rationally selecting coincident solar irradiation, dry bulb and wet bulb temperatures. The method combines the three weather parameters and building characteristics into a single impact factor—equivalent temperature—based on the principle of heat transfer, ensuring that the joint probability of occurrence of the three parameters can match the capacity reliability level of air conditioning systems. Applies the method to weather data of Hong Kong to generate the coincident design weather parameters and compares them with those data obtained by conventional method. The results indicate that the latter data may be significantly overestimated in some conditions, and that the new method can calculate peak cooling load directly and simplifies design cooling load calculation.

Keywords air conditioning design, weather parameter, peak cooling load, system capacity reliability

[★] Hunan University, Changsha, China

①

0 引言

近极端气象数据包括干球温度、含湿量和太阳辐射照度,是建筑空调系统设计必要和基本的参数^[1-2]。它们同时作用于建筑物,是导致围护结构传热和通过渗透和通风直接进行质交换的驱动力。在空调系统中近极端同时发生的设计气象条

件是确定空调系统峰值冷负荷所必需的条件^[1-2]。不适当的设计气象数据将造成 HVAC 系统的容量过大或过小,导致不必要的额外初投资和较低

☆ 陈友明,男,1966 年 6 月生,博士,教授,博士生导师
410082 湖南省长沙市麓山南路湖南大学土木工程学院
(0) 13549687225

E-mail: ymchen@hnu.cn

收稿日期:2006-11-23

修回日期:2007-01-22

^{*} 香港特别行政区研究资助委员会(RGC)资助项目(编号:B-Q795)

的部分负荷效率,或者经常不能提供充足的制冷量。设计温度和太阳辐射的细小差别将有显著的经济涵义。因此,同时发生的太阳辐射、干球温度和湿球温度应当合理选择。

工程设计是求得最大系统可靠性与最小成本之间的一种平衡^[3]。设备不能满足所需负荷的概率可表示为设备容量不能满足所需负荷的时间与设备运行总时间之比,称之为风险因子,它是对系统可靠性的补充,等于 1 减去系统可靠性。这种基于风险因子的设计方法和相应的设计数据非常有助于优化这种平衡。

许多研究人员在过去 10 年对气象设计条件的发展做出了贡献。ASHRAE 发起了一系列的研究计划,如 ASHRAE RP-754^[4], RP-828^[5], RP-890^[6]和 RP-1171^[7]等研究项目。这些 ASHRAE 研究项目的研究目的就是为 HVAC 系统设计提供、改进并合理化基本的气象数据。但这些有关气象参数选择方法的研究仅考虑了干球温度和湿球温度。

通常,太阳辐射对建筑冷负荷有显著的贡献,特别是被动的或主动的太阳能供冷建筑更是如此^[8]。然而,对上述文献回顾发现,相关研究较少关注设计太阳辐射。在目前的空调系统设计中,设计太阳辐射数据和同时发生的干湿球温度没有

同时给出和使用。因此,本文首要目的是开发一种能合理选择同时发生的太阳辐射、干球温度和湿球温度的方法。第二个目的是将这一新方法应用于在香港观测的历史逐时气象数据,得出同时发生的设计气象条件。这些选定的设计气象数据能应用于热时间常数小于 1 h 的建筑,来设计与所期望的可靠性匹配的空调系统。

1 理论模型

目前 ASHRAE 和 CIBSE 的设计气象数据的选择不仅独立确定设计太阳辐射,而且与建筑特征无关。这是这些设计气象数据不能让工程师们安全地设计出满足客户所要求的系统容量可靠性的空调系统的原因之一^[9]。这些设计气象数据也导致了冗长烦琐的冷负荷计算,因为设计者必须计算出一年中每个月的设计日 24 h 的冷负荷。下面提出的新方法能克服这两个缺点。基于目前的冷负荷计算方法建立一个新的理论模型,将三个气象参数和建筑特征融合成一个称为等效温度的影响因子,从而实现上述目标。

虽然这种方法只能适用于热时间常数小于 1 h 的建筑,但它为将来进一步开发适用于任何类型建筑的设计气象数据提供了一个必要的理论基础。对热时间常数小于 1 h 的建筑或房间,它的逐时冷负荷 $Q(k)$ 可以表示为^[1]

$$Q(k) = \sum_{j=1}^n (UA)_j [t_e(k) - t_{rc}] + m_o c_{pa} [t_{db}(k) - t_{rc}] + m_o h_1 [W_o(k) - W_{rc}] + A_{wd} IAC [SHGC(\theta(k)) E_D(k) + \langle SHGC \rangle_D E_{dt}(k)] \quad (1)$$

式中 k 为计算时刻; n 为建筑或房间外围护结构的总数量; U 为墙壁、屋顶和窗户的总传热系数, $W/(m^2 \cdot ^\circ C)$; A 为建筑或房间外围护结构的面积, m^2 ; $t_e(k)$ 为 k 时刻的室外空气综合温度, $^\circ C$, 用式(2)计算^[1]; t_{rc} 为假定的恒定室内空气温度, $^\circ C$; m_o 为引入室内的室外空气质量流量, kg/s ; c_{pa} 为空气的比定压热容, $1010 J/(kg \cdot ^\circ C)$; $t_{db}(k)$ 为 k 时刻的室外空气干球温度, $^\circ C$; h_1 为空气潜热, $2430 kJ/kg$; $W_o(k)$ 为 k 时刻的室外空气含湿量, kg/kg ; W_{rc} 为假定的恒定室内空气含湿量, kg/kg ; A_{wd} 为窗户面积, m^2 ; IAC 为内遮阳衰减系数; $SHGC(\theta(k))$ 为入射角为 $\theta(k)$ 时的太阳直接得热系数; $E_D(k)$ 为 k 时刻的直接辐射, W/m^2 ; $\langle SHGC \rangle_D$ 为太阳散射得热系数; $E_{dt}(k)$ 为 k 时刻的散射辐射, W/m^2 。

$$t_e(k) = t_{db}(k) + \frac{\alpha E_t(k)}{h_o} - \frac{\epsilon \Delta R}{h_o} \quad (2)$$

式中 α 和 ϵ 分别为建筑物不透明围护结构外表面的吸收比和发射比; $E_t(k)$ 为 k 时刻总的太阳辐射照度, W/m^2 ; h_o 为建筑外表面长波辐射和对流换热的换热系数, $17 W/(m^2 \cdot ^\circ C)$; ΔR 为在室外空气温度下由天空和周围环境入射到墙体表面上的长波辐射与黑体发射的辐射的差值, W/m^2 , 对于水平表面, $\epsilon \Delta R/h_o = 4 ^\circ C$, 对于竖直表面, $\epsilon \Delta R/h_o = 0 ^\circ C$ 。

在近极端气候情况的小范围内,室外空气含湿量可以近似表示为

$$W_o(k) = w_1 t_{wb}(k) + w_0 \quad (3)$$

式中 w_1 和 w_0 为常量; $t_{wb}(k)$ 为 k 时刻的室外空气湿球温度, $^\circ C$ 。

图 1 给出了 ASHRAE 手册^[1]中所列出的玻璃窗的太阳散射得热系数 $\langle SHGC \rangle_D$ 与其对应的垂直入射的 $SHGC(0)$ 的关系。从图 1 可以看出

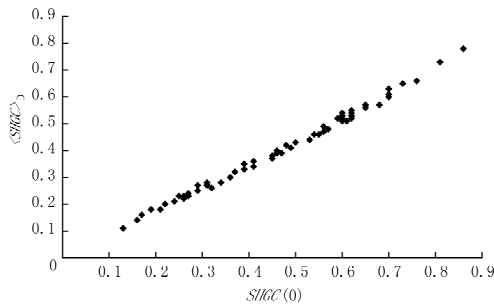


图 1 玻璃窗的 $\langle SHGC \rangle_D$ 与 $SHGC(0)$ 之间的关系

$\langle SHGC \rangle_D$ 近似等于 $SHGC(0)$, 它们之间的关系可表示为

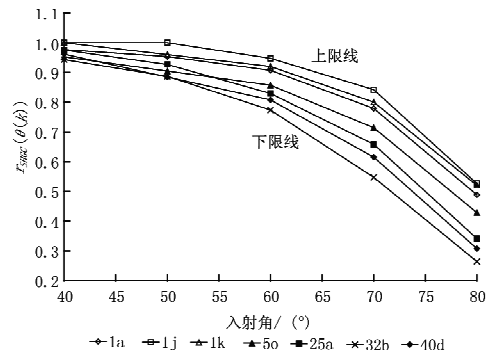
$$\langle SHGC \rangle_D = SHGC(0) - 0.063 \approx SHGC(0) \quad (4)$$

为了减少建筑物特性参数的数量, 定义 $SHGC$ 比 $r_{SHGC}(\theta(k))$ 为

$$r_{SHGC}(\theta(k)) = \frac{SHGC(\theta(k))}{SHGC(0)} \quad (5)$$

$r_{SHGC}(\theta(k))$ 是任意入射角的 $SHGC(\theta(k))$ 与垂直入射的 $SHGC(0)$ 的比值。分析 ASHRAE 手册^[1]中所列的玻璃窗发现, 大多数玻璃窗的 $r_{SHGC}(\theta(k))$ 的变化类似于图 2 中的上下限曲线。因此, 基于 $r_{SHGC}(\theta(k))$, 可将列于 ASHRAE 手册^[1]中所有的玻璃窗分为 I, II, III 三类。每一类

玻璃窗的 $r_{SHGC}(\theta(k))$ 在表 1 所列的小范围内变化, 其对应的小范围的平均值见表 2。



1a, 1j, 1k, 5o, 25a, 32b, 40d 分别为 ASHRAE 手册^[1]中所列玻璃窗的代号。

图 2 部分玻璃窗的 $r_{SHGC}(\theta(k))$ 值随太阳辐射入射角的变化情况

表 1 用 $r_{SHGC}(\theta(k))$ 对玻璃窗的分类

玻璃窗类别	40	50	60	70	80
I	>0.97	>0.92	>0.89	>0.75	>0.45
II	0.94~0.97	0.88~0.92	0.82~0.89	0.65~0.75	0.35~0.45
III	<0.94	<0.88	<0.82	<0.65	<0.35

表 2 不同太阳直射入射角的 $r_{SHGC}(\theta(k))$ 值

玻璃窗类别	垂直	40°	50°	60°	70°	80°
I	1.0	0.980	0.940	0.920	0.80	0.50
II	1.0	0.955	0.900	0.855	0.70	0.40
III	1.0	0.920	0.860	0.785	0.60	0.30

将式(2)~(5)代入式(1), 整理得

$$Q(k) = \left[\sum_{j=1}^n (UA)_j + m_o c_{pa} \right] t_{db}(k) + m_o h_1 w_1 t_{wb}(k) + \frac{\alpha}{h_o} \sum_{j=1}^{n_w} (UA)_j E_t(k) + A_{wd} IAC SHGC(0) [r_{SHGC}(\theta(k)) E_D(k) + E_{dt}(k)] + C_0 \quad (6)$$

其中

$$C_0 = m_o h_1 w_o - \left[\sum_{j=1}^n (UA)_j + m_o c_{pa} \right] t_{rc} - m_o h_1 W_{rc} - \sum_{j=1}^{n_f} (UA)_j \frac{\epsilon \Delta R}{h_o} \quad (7)$$

式(7), (8)中 n_w 为建筑物不透明围护结构的数量; n_f 为屋顶的数量。

当建筑设计和室内空气条件已知时, C_0 为常量, 它不影响设计气象数据的选择。因此, 在气象

$$T_e(k) = t_{db}(k) + at_{wb}(k) + bE_t(k) + c[r_{SHGC}(\theta(k)) E_D(k) + E_{dt}(k)] \quad (8)$$

其中

$$a = \frac{m_o h_1 w_1}{\sum_{j=1}^n (UA)_j + m_o c_{pa}} \quad (9)$$

$$b = \frac{\alpha}{h_o} \frac{\sum_{j=1}^{n_w} (UA)_j}{\sum_{j=1}^n (UA)_j + m_o c_{pa}} \quad (10)$$

数据的统计分析中不予考虑, 只对那些与太阳辐射、干湿球温度相关的项进行分析, 它们可以组合成被称为等效温度 $T_e(k)$ 的单一指标。忽略常量项, 整理式(6)得

$$c = \frac{A_{\text{wd}} \text{IAC SHGC}(0)}{\sum_{j=1}^n (UA)_j + m_o c_{pa}} \quad (11)$$

对某一给定的建筑或房间,式(8)中的系数 a , b 和 c 是常量。由式(9)~(11)很容易观察到,这些系数仅取决于建筑设计参数和一些常量。因此,它们反映了建筑物的热特性,也分别描述了湿球温度、入射到不透明和透明围护结构上的总太阳辐射对冷负荷的影响。除了这三个气象参数外,式(8)中 $r_{\text{SHGC}}(\theta(k))$ 也随时间而变化。然而,在某一给定朝向有一个外围护结构的一栋建筑或一个房间,其 $r_{\text{SHGC}}(\theta(k))$ 的年分布是固定不变的,因此,同时发生的气象条件的选择仅取决于建筑特性参数 a, b, c , 以及玻璃窗类型与所要求的容量可靠性。

2 同时发生的设计气象数据选择

空调系统的设计必须力求系统可靠性和成本费用的最优化,选取的同时发生气象参数应该让工程师能够设计满足目标系统可靠性或风险的空调系统。也就是说,空调系统的容量应等于相应风险因子所确定的气象参数下的建筑空调负荷。观察式(8)可以看出,冷负荷的变化与等效温度成正比。这就将设备容量对空调负荷的不保证率(风险因子)转换为等效温度的不保证率。由记录的所有年份的逐时气象数据计算出逐时等效温度,那么,相应风险因子下的等效温度所对应的同时发生的太阳辐射、干球温度和湿球温度就是该风险因子下建筑的设计气象参数。

香港天文台在北纬 $22^{\circ}18'$, 东经 $114^{\circ}10'$ 的地点观测了逐时干球温度、水平总太阳辐射及其他的气象参数^[10]。这些从 1979 年 1 月至 2003 年 12 月的 25 年逐时气象数据用于统计分析不同建筑的峰值冷负荷。首先用 Lam 和 Li 给出的公式将逐时水平总辐射分解为直接和散射辐射^[11]。用 ASHRAE 手册^[1]中给出的方法将水平辐射转换为北(N)、东北(NE)、东(E)、东南(SE)、南(S)、西南(SW)、西(W)和西北(NW)八个方位的竖直面的辐射。

建筑特性对设计气象数据的选择有极大的影响,它可以由建筑特性参数 a, b, c 及玻璃窗的种类来完整地描述。分析 a, b, c 的可能取值使之涵盖建筑设计范围,可分别取值为 $a=0.2, 0.6, 1.0$,

2.0 ; $b=0.01, 0.03, 0.06 \text{ m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}/\text{W}$; $c=0.2, 0.6, 1.0, 1.4 \text{ m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}/\text{W}$ 。除这三个参数外,还要考虑三种玻璃窗类型。但此处并不考虑屋顶上有窗户的情况。

将上面提到的逐时气象数据和建筑特性参数代入式(8)可算出逐时等效温度 $T_e(k)$, 三个气象参数通过所考虑的建筑的三个特性参数组合成这个单一的指标。在给定建筑的三个特性参数的情况下,很容易对这个单一指标进行统计分析,并得出同时发生的太阳辐射、干球温度和湿球温度的联合概率分布。ASHRAE 手册^[1]中使用干球温度和相关的同时发生的平均湿球温度的风险因子为 0.4%, 1.0% 和 2.0% 来设计空调系统。

表 3 给出了 $a=0.6, b=0.03 \text{ m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}/\text{W}$, $c=1.0 \text{ m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}/\text{W}$, 玻璃窗类型为 II 类的建筑物同时发生设计气象数据的结果。不同的同时发生气象条件的组合可能导致相同的冷负荷^[9]。换句话说,可能有许多相等的冷负荷发生在不同的气象条件、不同的月份、不同的日期和时刻。表 3 给出的设计条件代表了它们的统计中心,这意味着大多数相等的冷负荷发生在表 3 给出的设计条件周围。值得注意的是,ASHRAE 手册^[1]中的方法是把每个月的 21 日作为设计日来计算最大冷负荷。

从表 3 可以观察到,对于一给定的建筑,设计太阳辐射随着系统容量风险因子的增加逐渐减小。而同时发生的干球温度、湿球温度与太阳辐射没有强烈的相关性。但是,三个建筑的南向的湿球温度随太阳辐射照度和系统可靠性的降低而升高。表 3 也表明香港的太阳辐射是很不均匀的。因此,窗户面积和建筑朝向的合理设计能够大幅度减小峰值冷负荷。

3 传统的和新的设计气象参数的比较

用新的方法给出了一组合理的气象参数,与传统的方法给出的气象参数进行比较。其建筑的特征参数 a, b, c 分别为 $1.0, 0.03 \text{ m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}/\text{W}$ 和 $1.0 \text{ m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}/\text{W}$, 玻璃窗类型为 III 类。表 4 为系统风险因子分别为 0.4%, 1.0% 和 2.0% 时,由两种方法分别得到的同时发生的水平设计太阳辐射和干湿球温度。从表中可以看出,新方法得到的水平设计太阳辐射随着风险因子的增加而减小。然而,传统的设计太阳辐射风险因子和其他的气象参数无关,所以对所有的风险因子,设计太阳辐射

表 3 新方法产生的香港同时发生的设计气象数据

风险因子为 0.4%									
朝向	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	水平面
等效温度/℃	306	418	526	598	654	755	759	620	85
干球温度/℃	28.8	28.4	28.5	20.4	21.1	22.9	29.3	30.4	31.5
湿球温度/℃	25.9	24.7	25.1	15.5	15.8	17.8	24.7	26.0	26.5
直射辐射/(W/m ²)	101	209	289	366	427	519	516	414	895 ¹⁾
散射辐射/(W/m ²)	187	174	192	206	206	195	189	161	
发生的月份	7	5	7	1	11	11	8	6	7
发生的时刻	18:00	10:00	10:00	11:00	13:00	15:00	17:00	17:00	13:00
风险因子为 1.0%									
朝向	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	水平面
等效温度/℃	228	347	465	551	611	696	691	526	82
干球温度/℃	30.3	28.9	25.8	20.5	21.1	22.8	27.9	30.3	31.1
湿球温度/℃	26.2	25.3	21.4	15.5	15.7	17.9	23.1	25.7	26.3
直射辐射/(W/m ²)	52	156	247	327	390	465	458	329	836 ¹⁾
散射辐射/(W/m ²)	143	170	184	201	204	195	183	162	
发生的月份	6	7	10	12	12	10	7	8	7
发生的时刻	11:00	11:00	10:00	12:00	13:00	14:00	16:00	16:00	12:00
风险因子为 2.0%									
朝向	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	水平面
等效温度/℃	212	283	411	492	559	631	613	425	79
干球温度/℃	29.9	28.7	26.3	23.2	21.7	23.0	26.6	29.4	30.6
湿球温度/℃	26.0	25.1	22.0	18.6	16.2	18.0	21.9	25.0	26.0
直射辐射/(W/m ²)	46	98	205	269	341	405	394	245	759 ¹⁾
散射辐射/(W/m ²)	134	152	183	193	199	192	179	148	
发生的月份	7	8	9	11	11	12	10	5	8
发生的时刻	10:00	11:00	11:00	11:00	11:00	15:00	16:00	15:00	14:00

1) 水平面总的太阳辐射。

表 4 香港水平面新的和传统的设计气象数据的比较

	风险因子 0.4%			风险因子 1.0%			风险因子 2.0%		
	干球温度/℃	湿球温度/℃	太阳辐射/(W/m ²)	干球温度/℃	湿球温度/℃	太阳辐射/(W/m ²)	干球温度/℃	湿球温度/℃	太阳辐射/(W/m ²)
传统方法	32.3	26.6	907	31.8	26.6	907	31.3	26.4	907
新方法	31.3	26.4	896	30.9	26.1	837	30.1	25.3	782

都保持常数。根据表 4, 当风险因子为 0.4% 时, 两种方法得到的设计太阳辐射的差别很小, 可以忽略; 但当风险因子为 2.0% 时, 它们之间的差别却达到 16%。类似的是, 当风险因子为 0.4% 时, 设计湿球温度差别很小, 可以忽略; 当风险因子为 2.0% 时, 湿球温度差别达到 1.1℃。

表 5 是由两种方法产生的同时发生设计干湿球温度, 用它们来计算不同朝向竖直外围护结构的峰值冷负荷。观察表 5 可以发现, 与用新方法获得的设计干湿球温度相比, 传统方法的设计干湿球温度都被高估了。在东、东南、南、西南和西五个朝向上, 其外墙设计温度差别都很大, 而在东北、北和西北三个朝向上则相差很小。设计湿球温度差最大达到了 6℃, 这将给峰值潜热冷负荷

带来很大的影响。

4 用等效温度和新的设计气象参数计算冷负荷

对于用新方法获得的一组同时发生设计太阳辐射和干湿球温度, 可以用两种方法对其进行预处理。就像表 3 一样, 用不同的风险因子或年百分比、建筑特征参数和窗户玻璃类型对设计气象参数制表。但是, 较好的方法是用新的设计气象参数得出拟合公式, 拟合公式是上述变量的函数。这是因为拟合公式比较简洁紧凑, 容易与冷负荷计算程序和表格联合使用。

等效温度可以根据建筑特征参数的 a , b , c 值, 玻璃窗类型及空调系统容量可靠性, 用设计气象数据表来确定, 也可以直接用拟合公式计算求得。在确定了等效温度和设计气象参数之后, 最

表 5 新方法与传统方法产生的香港设计干湿球温度的比较

朝向	峰值负荷 发生的月份	风险因子 0.4%				风险因子 2.0%			
		传统方法		新方法		传统方法		新方法	
		干球温度/℃	湿球温度/℃	干球温度/℃	湿球温度/℃	干球温度/℃	湿球温度/℃	干球温度/℃	湿球温度/℃
N	8	32.9	26.4	28.7	25.9	7	32.2	26.7	30.0
NE	5	31.4	25.9	28.5	25.0	8	32.2	26.8	28.3
E	7	33.0	27.1	27.9	24.2	9	31.5	25.7	25.9
SE	11	27.7	22.4	20.7	15.7	11	26.5	21.5	23.1
S	12	24.7	21.1	20.6	15.4	12	23.2	20.6	21.7
SW	11	27.7	22.4	22.5	17.6	10	29.4	24.0	23.2
W	7	33.0	27.1	29.3	24.6	10	29.4	24.0	26.1
NW	6	32.5	26.7	30.3	25.9	7	32.3	26.7	29.6

注: $a=0.60$, $b=0.03 \text{ m}^2 \cdot \text{℃}/\text{W}$, $c=1.00 \text{ m}^2 \cdot \text{℃}/\text{W}$, 玻璃窗类型为Ⅲ类。

大冷负荷可由下式求得:

$$Q = T_e(a, b, c) \left[\sum_{j=1}^n (UA)_j + m_o c_{pa} \right] + C_o \quad (12)$$

其中, 常量 C_o 可由式(7)求得。

设计的建筑或房间的特征参数值不可能与制作设计气象参数表格所用的值完全相同, 其朝向也可能与表格中的八个朝向不同。此外, 一栋建

筑物或一个房间也可能不止一个朝向。下面将讨论用新的设计气象参数计算一栋建筑或一个房间冷负荷的一些方法。

4.1 任意建筑特征和朝向

根据建筑设计, 首先由式(9)~(11)求得建筑或房间的特征参数 a, b, c 的值, 如果与表中的值不相等, 则可以用式(13)的多变量插值方法计算等效温度。

$$T_e(a, b, c) = T_e(a_i, b_j, c_k) + \frac{T_e(a_{i+1}, b_j, c_k) - T_e(a_i, b_j, c_k)}{a_{i+1} - a_i} (a - a_i) + \frac{T_e(a_i, b_{j+1}, c_k) - T_e(a_i, b_j, c_k)}{b_{j+1} - b_j} (b - b_j) + \frac{T_e(a_i, b_j, c_{k+1}) - T_e(a_i, b_j, c_k)}{c_{k+1} - c_k} (c - c_k) \quad (13)$$

式中 a_i, b_j, c_k 为设计气象参数表中的不连续值, 所设计的建筑或房间的特征参数 a, b, c 分别处在 $a_i < a < a_{i+1}, b_j < b < b_{j+1}, c_k < c < c_{k+1}$ 的范围内。

另一种方法是, 由建筑特征参数 a, b, c , 用线性多变量插值确定同时发生设计气象参数, 然后用式(8)计算出等效温度 $T_e(a, b, c)$ 。

在设计气象参数表中, 建筑有八个朝向, 这八个朝向用 $D_i (i=1, 2, \dots, 7, 8)$ 表示。如果房间或建筑物的外围护结构的朝向与这八个朝向不同, 则可以用下面的插值方法求得等效温度:

$$T_{e,D} = T_{e,D_j} + \frac{D - D_j}{D_{j+1} - D_j} (T_{e,D_{j+1}} - T_{e,D_j}) \quad (14)$$

其中, $D_j < D < D_{j+1} (j=1, 2, \dots, 7)$ 。

图 3 为等效温度随朝向的变化情况, 可以用来证实应用线性插值方法的正确性。图中 0° 对应北向, 45° 对应东北向, 其他类推。

4.2 建筑外围护结构有多个朝向的情况

虽然给出的设计气象参数表只涉及到有一个朝向的外围护结构, 但是这些气象表也可以用来

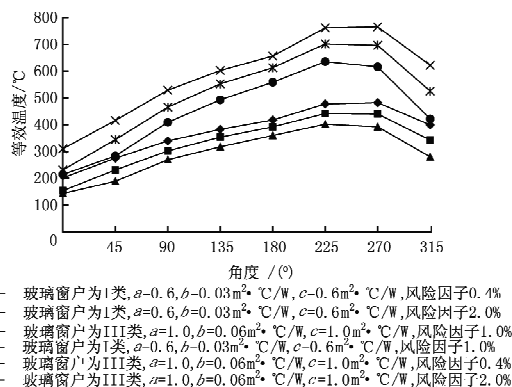


图 3 等效温度随朝向的变化情况

计算有多个朝向外围护结构的建筑或房间的峰值冷负荷。

假设一个房间有两面外墙 1 和 2, D_1 和 D_2 分别表示它们的朝向。显然, 由两面外墙形成的峰值冷负荷发生在当太阳方位角位于这两个朝向之间的某一时刻。为了计算方便, 可以用一个位于 D_1 和 D_2 之间的假想墙壁 D 来代替这两面墙, 如图 4 所示。 D 可以由下式得到:

$$D = D_1 \frac{Q_{s1}}{Q_{s1} + Q_{s2}} + D_2 \frac{Q_{s2}}{Q_{s1} + Q_{s2}} \quad (15)$$

式中 Q_{s1} 和 Q_{s2} 分别为由太阳辐射通过墙 1 和墙 2 引起的冷负荷,可由式(6)中与辐射有关的项来计算。

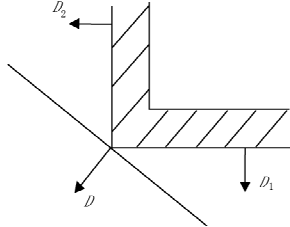


图4 与两个朝向的两个墙体等效的假想墙体

显然,假想墙壁形成的冷负荷应等于两个朝向的真实墙面形成的总冷负荷。由于干湿球温度与朝向无关,可以将由干湿球温度通过两真实墙面引起的冷负荷直接相加。而由照射到两墙面的太阳辐射引起的冷负荷则不能相加,需将其等价地转换为假想墙壁形成的冷负荷。

由两墙体的辐射形成的冷负荷由两部分组成,一部分是由入射到不透明围护结构上的太阳辐射引起的,另一部分是由透过窗户或被窗户吸收的太阳辐射引起的。使两面真实墙壁形成的总冷负荷与假想墙壁形成的冷负荷相等,则可以得到假想墙壁的对应第一部分的等价系数 c_{be} 为

$$c_{be} = \frac{\left[\sum_{j=1}^{n_w} (UA)_j \right]_1 F(\theta_{D1}(k)) + \left[\sum_{j=1}^{n_w} (UA)_j \right]_2 F(\theta_{D2}(k))}{F(\theta_D(k))} \quad (16)$$

其中

$$F(\theta_x(k)) = \cos(\theta_x(k)) + \left\{ CY(\theta_x(k)) + [C + \sin(\beta(k))] \rho_g \frac{1 - \cos \Sigma}{2} \right\} \quad (17)$$

式中 下标 x 表示朝向; C 为某给定月份的量纲一常数比; ρ_g 为地面反射比; Σ 为表面与水平面之间的倾斜角,°; $\beta(k)$ 为 k 时刻太阳高度角,°;若

$\cos(\theta(k)) > -0.2$, 则 $Y(\theta(k)) = 0.55 + 0.437 \cos(\theta(k)) + 0.313 \cos^2(\theta(k))$, 否则 $Y(\theta(k)) = 0.45$ 。

同样可以得到第二部分的等价系数 c_{ce} 为

$$c_{ce} = \frac{[A_{wd} IAC SHGC(0)]_1 G(\theta_{D1}(k)) + [A_{wd} IAC SHGC(0)]_2 G(\theta_{D2}(k))}{G(\theta_D(k))} \quad (18)$$

其中

$$G(\theta_x(k)) = r_{SHGC}(\theta_x(k)) \cos(\theta_x(k)) + \left\{ CY(\theta_x(k)) + [C + \sin(\beta(k))] \rho_g \frac{1 - \cos \Sigma}{2} \right\} \quad (19)$$

如果已知时间、日期、月份及两个朝向,则两面墙壁的函数 $F(\theta_x(k))$ 和 $G(\theta_x(k))$ 可唯一确定。与式(15)一样,可以用加权因子法计算出时间和

月份。正如前面所提到的,每个月的第 21 日可作为设计日。

因而可以推导出假想墙壁形成的等价冷负荷为

$$Q_D(k) = \left\{ \sum_{i=1}^2 \left[\sum_{j=1}^n (UA)_j + m_o c_{pa} \right]_i \right\} t_{db}(k) + \left[\sum_{i=1}^2 (m_o h_1 w_1)_i \right] t_{wb}(k) + \frac{\alpha_{be}}{h_o} E_t(k) + c_{ce} [r_{SHGC}(\theta_D(k)) E_D(k) + E_{dt}(k)] + (C_{01} + C_{02}) \quad (20)$$

其中, C_{01} 和 C_{02} 可由式(7)计算。

那么,假想墙壁的等效温度可表示为

$$T_{ef}(k) = t_{db}(k) + a_f t_{wb}(k) + b_f E_t(k) + c_f [r_{SHGC}(\theta_f(k)) E_D(k) + E_{dt}(k)] \quad (21)$$

其中

$$a_f = \frac{\sum_{i=1}^2 (m_o h_1 w_1)_i}{d_f} \quad (22)$$

$$b_f = \frac{\alpha_{be}}{h_o d_f} \quad (23)$$

$$c_f = \frac{c_{ce}}{d_f} \quad (24)$$

$$d_f = \sum_{i=1}^2 \left[\sum_{j=1}^n (UA)_j + m_o c_{pa} \right]_i \quad (25)$$

有了假想墙壁的特性参数 a_f , b_f 和 c_f , 就可以按照前面描述的方法计算假想壁面的等效温度和峰值冷负荷了。如果假想墙壁的朝向 D 不是表 3 中八个朝向的任何一个,则可以用插值公式确定其等效温度。如果建筑或房间的朝向不止两个,则可以重复上述过程来确定总的等效温度。

5 结论

太阳辐射和干球温度、湿球温度同时作用于建筑,并影响建筑冷负荷。然而,目前国内外的设计手册,如 ASHRAE 和 CIBSE,却将太阳辐射照度和同时发生的干湿球温度分开来计算。这将使计算出的冷负荷偏高,并且不能让工程师在设计空调系统时使目标系统的可靠性满足客户要求。本文提出了一种合理选择同时发生的太阳辐射和干湿球温度的新方法。从统计角度来看,同时发生的设计气象数据年百分数等于用对应的设计气象条件设计出的空调系统的容量风险系数因子。新方法还能确定峰值冷负荷发生时间,因此,HVAC 工程师可以避免计算每个月的设计日 24 h 逐时冷负荷,大大减少了冷负荷的计算量。

用新方法合理地生成了香港的同时发生设计太阳辐射和干湿球温度。对传统的和新的设计气象参数的比较表明,传统设计气象数据值比新的设计气象数据值高,而且大多数情况下它们之间的差值很大。比如说,传统方法的设计太阳辐射比新方法的值高 15%,设计湿球温度比新方法的高 6℃。

新方法和设计气象数据能够直接确定一个和多个方向上的热迟滞时间小于 1 h 的建筑物或房间的峰值冷负荷。这种方法也为热迟滞时间大于 1 h 的建筑物的设计气象参数的产生提供了一个基础依据。目前,正在开发用于热迟滞时间大于 1 h 情况下冷负荷计算的同时发生的设计太阳辐射和干湿球温度的序列。

参考文献:

- [1] ASHRAE. ASHRAE handbook—2005 fundamentals [M]. Atlanta: American Society of Heating,

Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers Inc, 2005

- [2] CIBSE. Environmental design, CIBSE Guide A [M]. London: The Chartered Institution of Building Services Engineers, 1999
- [3] Haldar A, Mahadevan S. Probability, reliability and statistical methods in engineering design [M]. USA: John Wiley & Sons Inc, 2000
- [4] Colliver D G, Zhang H, Gates R S, et al. Determination of the 1%, 2.5%, and 5% occurrences of extreme dew-point temperatures and mean coincident dry-bulb temperatures [G] // ASHRAE Trans, 1995, 101 (2): 265–286
- [5] Colliver D G, Gates R S, Zhang H, et al. Sequences of extreme temperature and humidity for design calculation [G] // ASHRAE Trans, 1998, 104 (1): 133–144
- [6] Colliver D G, Gates R S, Burks T F, et al. Development of the design climatic data for the 1997 ASHRAE handbook—fundamentals [G] // ASHRAE Trans, 2000, 106 (1): 3–14
- [7] Hubbard K G, Kunkel K E K, De Gaetano A T, et al. Sources of uncertainty in the calculation of design weather conditions [G] // ASHRAE Trans, 2005, 111 (2): 317–326
- [8] Duffie J A, Beckman W A. Solar engineering of thermal processes [M]. 2nd ed. New York: Wiley Interscience, 1980
- [9] Chen T Y, Yik F, Burnett J. A rational method for selection of coincident climate design conditions for required system capacity reliability [J]. Energy and Buildings, 2005, 37: 555–562
- [10] ROHK. Surface observations in Hong Kong [M]. Hong Kong: Royal Observatory Hong Kong, 1987
- [11] Lam J C, Li D H W. Correlation between global solar radiation and its direct and diffuse components [J]. Building and Environment, 1996, 31: 527–535

(上接第 52 页)

不愿意为新技术多花功夫。到下一个大项目到来时,还是只能充当外国人的下手、干熟练工的活。

国内有不少大型设计研究院建立起自己的建筑节能或绿色建筑技术中心,已经在建筑节能技术集成、建筑能耗分析等领域开展了广泛的工作,取得了一批高水平的成果,这是一个良好的开端。但要使建筑节能设计的理念、方法、手段普及到所有设计人员,把“两张皮”变成一个团队,还有很多工作要做,其中特别需要体制、机制的保障。

参考文献:

- [1] Crawley D B. EnergyPlus: DOE's next generation simulation program [R/OL]. U S Department of Energy <http://www.energycodes.gov/>
- [2] California Commissioning Collaborative. California commissioning guide: new buildings[S/OL], 2006, <http://www.cacx.org/>
- [3] 龙惟定. 建筑节能的行政手段与市场机制[J]. 建设科技, 2008(1)
- [4] 龙惟定. 建筑节能管理的重要环节——区域建筑节能规划[J], 暖通空调, 2008, 38(3)