

佛山市建筑围护结构对空调冷负荷的影响分析*

义乌工商学院 舒怀珠*

广州市绿建节能环保科技有限公司 潘亚宏

摘要 根据佛山地区的气候和建筑特点,通过计算机模拟,分析了围护结构的各种热工参数及窗墙比对空调冷负荷的影响,认为减小窗墙比和加强外窗性能应是佛山市建筑节能的重点,而加强外窗性能的关键在于提高外窗的遮阳系数,且一般建筑应以南北朝向为宜。与采用目前普通围护结构材料相比,窗墙比 0.5 的公共建筑,如果按节能标准限值设计,其围护结构冷负荷可以减少 50% 左右。

关键词 围护结构 空调冷负荷 建筑节能

Analysis of the effect of building envelope on air conditioning cooling load in Foshan

By Shu Huai Zhu* and Pan Yehong

Abstract According to the characteristics of weather and buildings in Foshan area, through computer simulation, analyses the effects of the thermal parameters of envelopes and window-wall ratio on air conditioning cooling load. Considers that reducing the window-wall ratio and enforcing the performance of exterior window should be taken as the keystones to energy conservation of buildings in Foshan, and the key to enforcing the performance of exterior window is to improve the shading coefficient. The building orientation should be facing the south/north. The envelope cooling load of public buildings with a window-wall ratio of 0.5, designed according to the energy efficient standard, can be reduced by 50% compared with that constructed with ordinary envelope materials.

Keywords building envelope, air conditioning cooling load, building energy saving

★ Yiwu Industrial and Commercial College, Yiwu, Zhejiang Province, China

①

0 引言

佛山市地处夏热冬暖地区的南区,纬度较低,对该市典型气象年的日平均干球温度和日平均相对湿度数据的分析显示,佛山市无冬季,春季与上年秋季相连,夏季气温高,持续时间长,自 4 月下旬至 10 月下旬,约为 6 个月。7 月最热,最高气温 35~36℃,平均气温 26~30℃;1 月平均气温大于 10℃。相对湿度最热月为 80%~90%,春夏之交高达 95% 以上,年平均相对湿度为 79%。炎热的气候条件使佛山市的空调使用期特别长,有的大楼甚至长达 10 个月(即 3~12 月)。但目前佛山市民用建筑常用的外围护结构节能效果较差,不利于空调节能。

对建筑能耗按照气候条件进行修正是建筑能耗评估的基础,也是提高建筑能耗评估精度的关键^[1]。本文根据佛山市的气候和建筑特点,主要针对围护结构中的各种因素对空调冷负荷影响进行计算机模拟分析研究,为降低佛山市建筑的空调能耗提供参考,也为佛山市制定建筑节能中长期规划提供一定的科学依据。

1 建筑蓄热对空调冷负荷的影响

建筑蓄热对不同空调方式的影响不一样。对于白天空

✉ 舒怀珠,男,1968 年 9 月生,硕士,高级工程师
322000 浙江省义乌工商学院土木系
(0) 13375892925
E-mail: shuhz001@163.com

收稿日期:2007-03-15

修回日期:2007-06-05

* 佛山市建设局科技项目(编号:FS/06007)

调来说,冷负荷会比得热量小很多,但对于全天空调来说,冷负荷的总量等于得热量,因此,本文对两种典型类型建筑的空调方式进行讨论:

1) 办公建筑 空调时间一般为 8:00~18:00,每天 10 h;

2) 酒店 空调时间一般为全天 24 h。

另一方面,对空调的使用时间作了如下定义:

1) 全年空调,使用时间为 3~12 月;

2) 夏季空调,使用时间为 4 月 21 日到 10 月 20 日;

3) 过渡季节空调,使用时间为全年空调时间减去夏季空调时间。

本文在冷负荷计算中,采用文献[2]中的传递函数法,室内设计干球温度为 25℃,相对湿度为 55%。

2 建筑外墙对冷负荷的影响因素分析

2.1 常用普通外墙与保温外墙全年动态冷负荷

目前,佛山地区的普通外墙大多使用 180 mm 厚黏土实心砖(传热系数 $K=2.32 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$) 和 180 mm 厚的黏土空心砖(传热系数 $K=1.85 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$)。现取与两者相近的适中墙体 1,即 240 mm 厚砖墙,两面抹灰(传热系数 $K=1.98 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$,表面吸收率 $\rho=0.75$)进行全年动态负荷分析,外墙日平均冷负荷结果见表 1;同理,对采用保温的外墙,即 370 mm 厚砖墙+50 mm 厚空气层+50 mm 厚石膏板,两面抹灰(传热系数 $K=1.03 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$,表面吸收率 $\rho=0.75$) (墙体 2)进行比较分析,其外墙日平均冷负荷的结果见表 2。

表 1 墙体 1 日平均冷负荷 W/m^2									
办公建筑					酒店				
东向	西向	南向	北向	平均	东向	西向	南向	北向	平均
全年空调	9.1	6.5	6.9	3.0	6.4	10.1	10.1	9.2	4.4
夏季空调	16.5	13.7	11.4	10.4	13.0	17.3	17.3	13.2	11.9
过渡季节空调	-1.8	-4.1	0.2	-8.1	-3.5	-0.7	-0.6	3.4	-6.7

表 2 墙体 2 日平均冷负荷 W/m^2									
办公建筑					酒店				
东向	西向	南向	北向	平均	东向	西向	南向	北向	平均
全年空调	3.3	3.6	3.0	0.6	2.6	3.7	3.7	3.3	0.8
夏季空调	7.1	7.4	5.1	4.6	6.1	7.5	7.5	5.3	4.7
过渡季节空调	-2.3	-2.0	-0.2	-5.2	-2.4	-2.0	-1.9	0.2	-5.1

从表 1 可以看出,在夏季,外墙平均冷负荷为 10.4~17.3 W/m^2 ;在过渡季节,室外温度比较低,这时外墙平均冷负荷的计算结果是负值,这说明外墙已成了阻碍室内散热的因素。对于办公建筑,东向外墙冷负荷最大;对于酒店,东、西向外墙冷负荷一样,南向次之,北向最小。这表明南北朝向建筑的外墙冷负荷相对小一些。此外,酒店的外墙平均冷负荷要比办公建筑大,这主要是由外墙的热惰性引起的。

墙体 2 的各项冷负荷约为墙体 1 的 45%,整个夏季,办公建筑外墙日平均冷负荷减少 6.9 W/m^2 ,酒店减少 7.6 W/m^2 。从传热学角度看,如果两种墙体的其他物性一样,不同的仅有传热系数,则墙体冷负荷与传热系数成正比。

但如果是通过加厚材料减小墙体传热系数,其热惰性指标 D 也会随之增大^[3]。因此,墙体 2 比墙体 1 冷负荷少了 55%,略大于传热系数的减小幅度(48%)。

2.2 太阳辐射吸收系数对外墙冷负荷的影响

太阳辐射吸收率 ρ 表征墙体对太阳辐射的吸收程度, ρ 值越小,由太阳辐射引起的冷负荷越小,两者呈正比关系。夏季 $\rho=0.75$ 时,太阳辐射冷负荷占外墙冷负荷的比例分析结果见表 3。

表 3 夏季 $\rho=0.75$ 时,太阳辐射冷负荷占外墙冷负荷的比例 %

办公建筑					酒店				
东向	西向	南向	北向	平均	东向	西向	南向	北向	平均
58.8	58.7	45.8	40.2	52.2	61.5	53.6	44.1	39.2	51.2

表 3 显示,夏季 $\rho=0.75$ 时,太阳辐射冷负荷约占外墙冷负荷的 1/2。进一步的模拟计算数据表明,如果使 ρ 值减小 0.1,则可使夏季外墙冷负荷减小 7%左右。

3 屋顶冷负荷的影响因素分析

3.1 普通屋顶与保温屋顶全年动态冷负荷

目前,佛山地区屋顶所用材料种类很多,保温性能不一。分别取一种普通材料的屋顶,即防水层+50 mm 厚加气混凝土+35 mm 厚钢筋混凝土屋面(传热系数 $K=1.78 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$,表面吸收率 $\rho=0.75$)及保温屋顶,即采用 25.4 mm 厚木板+127 mm 厚隔热材料(传热系数 $K=0.30 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$,表面吸收率 $\rho=0.75$),进行全年动态负荷分析。屋顶日平均冷负荷见表 4。

表 4 屋顶日平均冷负荷 W/m^2				
办公建筑		酒店		
普通屋顶	保温屋顶	普通屋顶	保温屋顶	
全年空调	16.4	2.9	13.8	2.3
夏季空调	24.0	4.2	21.3	3.5
过渡季节空调	4.9	1.0	2.8	0.5

表 4 数据显示,使用普通材料的屋顶,夏季屋顶冷负荷为 21.3~24.0 W/m^2 ;过渡季节屋顶冷负荷很小,基本不构成空调冷负荷。由于白天屋顶都是处于太阳辐射下的,屋顶冷负荷峰值一般出现在 17:00 左右,所以办公建筑的屋顶日平均冷负荷要比酒店大。

使用保温材料的屋顶各项冷负荷约为普通材料屋顶的 1/6,整个夏季,办公建筑屋顶日平均冷负荷减少 19.8 W/m^2 ,酒店减少 17.8 W/m^2 。以上两种屋顶结构的热惰性指标 D 差不多,所以两者的屋顶冷负荷是与传热系数成正比的^[3]。

3.2 太阳辐射吸收系数对屋顶冷负荷的影响

与太阳辐射吸收系数对外墙冷负荷的影响类似,对太阳辐射吸收系数对屋顶冷负荷的影响数据进行了统计分析,结果显示,夏季 $\rho=0.75$ 时,太阳辐射冷负荷占屋顶冷负荷的 4/5 左右,如果使 ρ 值减小 0.1,则可以使夏季屋顶冷负荷减少 10%以上。

4 外窗冷负荷的影响因素分析

4.1 常用普通窗体全年动态冷负荷

目前,佛山市大多使用 5 mm 厚普通玻璃窗或铝窗,传热系数 $K=6.0 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$,遮阳系数 $S_c=0.93$,其全年日平均外窗冷负荷分析结果见表 5。

表 5 外窗日平均冷负荷 W/m^2

	办公建筑					酒店				
	东向	西向	南向	北向	平均	东向	西向	南向	北向	平均
全年空调	150.4	116.4	117.2	48.6	108.2	95.8	96.2	80.7	32.4	76.3
夏季空调	180.3	144.3	96.8	78.4	125.0	123.3	123.2	71.9	58.9	94.6
过渡季节空调	105.8	74.8	117.6	34.4	83.2	54.5	56.0	93.8	-8.6	48.9

表 5 显示,外窗冷负荷比墙体和屋顶冷负荷大得多,对于办公建筑,单位面积外窗平均冷负荷是外墙的 9.6 倍;对于酒店,单位面积外窗平均冷负荷是外墙的 6.9 倍。可见提高外窗性能应是建筑节能的重点。

在夏季,对于办公建筑,东向外窗冷负荷最大,西向次之,南向再次之,北向最小;对于酒店,东、西向外窗冷负荷是一样的,南向次之,北向最小;东、西向外窗冷负荷均是南、北向外窗冷负荷的 2 倍。这也表明建筑的朝向对空调冷负荷是有较大影响的,一般建筑应以南北朝向为宜。

4.2 窗体温差传热冷负荷

5 mm 厚普通玻璃窗或铝窗($K=6.0 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$)的温差传热冷负荷分析结果见表 6。

表 6 外窗日平均温差传热冷负荷 W/m^2

	办公建筑					酒店				
	东向	西向	南向	北向	平均	东向	西向	南向	北向	平均
全年空调	2.5	0.8	1.3	-2.3	0.6	-2.3	-2.2	-2.7	-5.2	-3.1
夏季空调	23.1	21.3	19.4	18.4	20.6	18.1	18.1	15.9	15.3	16.9
过渡季节空调	-28.1	-29.6	-25.7	-33.2	-29.2	-32.6	-32.5	-30.4	-35.7	-32.8

外窗温差传热冷负荷的朝向差异很小,与室外温度变化一致。夏季,外窗温差传热冷负荷占整个外窗冷负荷的比例并不大,约为 1/6,不构成外窗冷负荷的主导因素;过渡季节,室外温度较低,外窗保温会成为阻碍房间散热的因素;全年空调时间外窗保温正负作用是基本持平的,从这个层面上说,加强外窗保温性能的实际意义不是太大。

此外,进一步的分析表明,外窗传热系数和外窗温差传热冷负荷成正比,外窗传热系数每减小 $1 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$,办公建筑夏季外窗平均冷负荷可减小 $3.4 \text{ W}/\text{m}^2$,酒店则可减小 $2.8 \text{ W}/\text{m}^2$ 。

4.3 遮阳系数对窗体冷负荷的影响

5 mm 厚普通玻璃窗或铝窗($S_c=0.93$)的太阳辐射传热冷负荷分析结果见表 7。

表 7 外窗日平均太阳辐射冷负荷 W/m^2

	办公建筑					酒店				
	东向	西向	南向	北向	平均	东向	西向	南向	北向	平均
全年空调	147.9	115.5	115.9	51.0	107.6	97.9	98.4	83.4	37.6	79.3
夏季空调	157.2	122.9	77.3	60.0	104.4	105.2	105.1	55.9	44.6	77.7
过渡季节空调	134.0	104.4	173.3	37.6	112.3	87.1	88.5	124.2	27.1	81.7

表 7 显示,夏季外窗太阳辐射冷负荷约占整个外窗冷负荷的 5/6,是外窗冷负荷的主要来源,因此,加强外窗的遮阳性能是建筑围护结构节能的最关键因素。从遮阳系数

的定义得知,外窗太阳辐射冷负荷与遮阳系数成正比,外窗遮阳系数每减小 0.1,办公建筑的夏季外窗平均冷负荷可减小 $11.2 \text{ W}/\text{m}^2$,酒店则可减小 $8.4 \text{ W}/\text{m}^2$ 。

5 窗墙比对围护结构冷负荷的影响

如 4.1 节所分析,外窗冷负荷比墙体和屋顶冷负荷大得多,对于办公建筑,单位面积外窗平均冷负荷是外墙的 9.6 倍,可见大面积外窗会使空调冷负荷增加很多。窗墙比越大,围护结构冷负荷也越大。在使用普通外窗和普通外墙的情况下,窗墙比 0.3 的比窗墙比 0.5 的围护结构的夏季日平均冷负荷少 30% 左右,两者的具体比较见表 8。

表 8 不同窗墙比围护结构日平均冷负荷 W/m^2

	办公建筑					酒店				
	东向	西向	南向	北向	平均	东向	西向	南向	北向	平均
窗墙比 0.3	65.6	52.9	37.0	30.8	46.6	49.1	49.1	30.8	26.3	38.8
窗墙比 0.5	98.4	79.0	54.1	44.4	68.0	70.3	70.3	42.5	35.9	54.8

6 提高围护结构性能,减小冷负荷

《公共建筑节能设计标准》(GB 50189—2005)对夏热冬暖地区新建建筑的围护结构作了明确规定,其限值与目前的普通围护结构的性能对比见表 9。

表 9 目前围护结构参数与节能标准的比较(窗墙比 0.5)

	屋面	外墙	外窗	遮阳系数 S_c
	传热系数 $K/(\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}))$	传热系数 $K/(\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}))$	传热系数 $K/(\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}))$	(东、南、西、北向)
目前参数	1.78	1.98	6.0	0.93/0.93
标准限值	≤ 0.90	≤ 1.5	≤ 3.0	$\leq 0.40/0.50$

以 1 栋建筑面积 6 000 m^2 ,体型系数 0.2,南北朝向,窗墙比 0.5 的公共建筑为例,按标准限值计算的建筑围护结构冷负荷比采用目前普通围护结构材料的建筑减少 50% 左右,节能效果明显。

7 结论

7.1 在夏季,单位面积外窗平均冷负荷是外墙的 6.9~9.6 倍,因此,减小窗墙比和提高外窗性能应是建筑节能的重点。

7.2 在夏季,外窗太阳辐射冷负荷约占整个外窗冷负荷的 5/6,是外窗冷负荷的主要来源,因此,加强外窗性能的关键在于提高外窗的遮阳系数。

7.3 在夏季,东、西向外窗冷负荷均是南、北向外窗冷负荷的 2 倍,东、西向外墙冷负荷也较南、北向外墙冷负荷大,因此,一般建筑应以南北朝向为宜。

7.4 与采用目前普通围护结构材料相比,窗墙比 0.5 的公共建筑,如果按节能标准限值设计,其围护结构冷负荷可以减少 50% 左右。

参考文献:

- [1] 钱必华. 建筑能耗评估中对气象参数的处理[J]. 制冷技术, 2003(2): 34-35
- [2] 美国供暖制冷空调工程师学会. 美国 ASHRAE 标准[S]. 全国制冷标准化技术委员会, 中国制冷学会, 译. 北京: 中国制冷学会, 1994
- [3] 赖晓峰, 麦粤带, 刘金平. 佛山市建筑空调能耗构成分析及相应节能措施[J]. 制冷, 2006, 25(2): 83-86