

不同气候分区超高层建筑空调 负荷高度修正系数的研究

北京市建筑设计研究院有限公司 陈 亮[☆]

摘要 超高层建筑的高层风速和温降都会影响空调负荷,其影响程度与建筑所处气候分区有关。选取分属 5 个气候分区的哈尔滨、沈阳、北京、上海、广州,研究了因高层风速和温降的影响对外墙、屋顶和天窗的空调夏季冷负荷和冬季热负荷的高度修正系数。结果表明,高层风速对夏季冷负荷的影响很小,因高层风速和温降综合作用减小的冷负荷可考虑作为空调冷负荷的安全余量,在计算中不予考虑;冬季热负荷受高层风速和温降的影响较大,南方地区的影响大于北方,哈尔滨、沈阳、北京、上海、广州 500 m 高建筑的外墙高度修正系数分别为 8%, 9%, 12%, 15%, 22%。

关键词 超高层建筑 空调负荷 高度修正系数 气候分区 风速 温降

Height correction factor for air conditioning load of super high-rise buildings in different climatic zones

By Chen Liang[★]

Abstract The wind velocity increase and temperature decrease affect the air conditioning load of super high-rise buildings, and the influence degree depends on the climatic zone where the building is located. Studies the height correction factors of summer cooling load and winter heating load through the exterior wall, roof and skylight in Harbin, Shenyang, Beijing, Shanghai and Guangzhou, which are selected from five climatic zones. The results show that the summer cooling load is little affected by wind velocity increase, and the cooling load decrease due to wind velocity increase and temperature decrease might be considered as the safety margin of summer cooling load, so the height correction factor of summer cooling load could be ignored in the calculation. The winter heating load is greatly affected by wind velocity increase, especially by temperature decrease, and the height correction factor of southern region is larger than that of northern region. The height correction factors for the exterior wall of tall building with the height of 500 m in Harbin, Shenyang, Beijing, Shanghai and Guangzhou are respectively 8%, 9%, 12%, 15% and 22%.

Keywords super high-rise building, air conditioning load, height correction factor, climatic zone, wind velocity, temperature decrease

★ Beijing Institute of Architectural Design, Beijing, China

①

0 引言

目前超高层建筑暖通空调系统的研究,更多的注意力被放在空调水系统的竖向分区^[1-3],对空调负荷计算的关注相对较少。

刘天川分析了建筑高度增大后对空调负荷的影响,认为主要影响因素有:1) 大气透明度提高,又由于其他屋面的反射作用,太阳辐射可能会加大,但因影响较复杂,在计算中很难准确界定;2) 风速增大,导致墙和窗的传热系数增大,从而引起

负荷增大;3) 高度增大 100 m,大气温度下降 1℃,即气温直减率为 1℃/100 m,这对冬季热负荷的影响不可忽略;4) 由于空调系统为正压系统,热

①☆ 陈亮,男,1983 年 9 月生,硕士,工程师
100045 北京市南礼士路 62 号北京市建筑设计研究院有限公司第二建筑设计院
(010) 88042601
E-mail: chen01@foxmail.com
收稿日期: 2014-01-14
一次修回: 2014-03-14
二次修回: 2014-04-02

压、风压引起的空气渗透在空调负荷计算时可不考虑^[4]。因此,超高层建筑空调负荷计算应重点考虑风速引起的围护结构传热系数 K 的调整和温降引起的室外计算参数调整。

李颀等人在设计主塔体高 454 m 的广州塔时对冬季和夏季的室外设计温度、大气压和风速进行了相应修正^[5],但风速对围护结构传热系数(K 值)影响的修正未提及。丁瑞星等人设计了 597 m 高的深圳平安国际金融中心,认为高度变化对建筑物的冷热负荷影响较小,在该项目中忽略不计^[6]。其他文献对这部分内容鲜有涉及。

中国地域辽阔,不同气候区的气候差异极大,各气候区的围护结构参数节能要求迥异。室外气象参数和围护结构参数不同时,风速和温降对空调负荷的影响也是不同的。目前超高层建筑在全国各气候区兴建得越来越多,有必要详细分析随建筑高度增大,各不同气候分区夏季和冬季空调负荷的变化。

1 理论分析

1.1 规范规定

GB 50736—2012《民用建筑供暖通风与空气调节设计规范》^[7](下文简称《暖规》)有 3 处相关内容。《暖规》第 4.1.1 条表述室外空气计算参数时,其条文说明中写到:“超高层建筑上部风速、温度等参数与地面相比有较大变化,应根据实际高度,对室外空气参数进行修正”;第 5.1.8 条规定外墙和屋顶的围护结构外表面传热系数为 $23 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$;第 5.2.6 条计算热负荷时规定“在城镇中明显高出周围其他建筑物的建筑物,其垂直外围护结构宜附加 5%~10%(在基本耗热量基础上)”,条文说明指出“风力附加率是指在供暖耗热量计算中,基于较大的室外风速会引起围护结构外表面传热系数增大,即大于 $23 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ 而设的附加系数。”由上述内容可知:1)《暖规》规定超高层建筑在设计时应对外部空气参数进行修正,并重点考虑修正风速和温降的影响;2)围护结构外表面传热系数在设计时采用固定值 $23 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$,在计算冬季热负荷时,考虑风速引起外围护结构传热系数的增大,在基本耗热量基础上,直接对热负荷进行附加。《暖规》未明确风速对夏季冷负荷影响的修正。

需要指出,《暖规》提到的室外空气计算参数的取值方法与气象学中提到的风速、温降、气温直减

率并不一致。例如,冬季空调室外计算温度指历年平均不保证 1 天的日平均温度,气象学中气温直减率可以是某月的月平均气温的直减率,二者并不直接对应。本文并未详细考察《暖规》计算参数与气象学参数取值方法不同可能造成的误差,这有待进一步的理论分析或设计实践的验证。

1.2 高层风速的影响

《暖规》考虑风速对空调负荷的影响,是在计算围护结构 K 值时外表面传热系数统一取 $23 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ (即室外风速统一取 3 m/s)进行负荷计算,再对计算结果进行相应的修正。这种规定与目前设计流程是相符的。

作为热工设计的基础性规范,GB 50176—93《民用建筑热工设计规范》附录二规定建筑热工计算时外表面传热系数取 $23 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$,后续的包括建筑节能设计标准在内的规范均沿用了这种方式。GB/T 8484—2008《建筑外门窗保温性能分级及检测方法》第 5.8 条规定“冷侧表面……的平均风速为 $3.0 \text{ m/s} \pm 0.2 \text{ m/s}$ ”。外墙性能检测也通常采用“冷箱空气流速宜控制距离试件表面 50 mm 处的平均风速为 3.0 m/s ”^[8]。因此,从图纸节能审查到围护结构产品保温性能检测,外表面传热系数均取定值 $23 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ 。

根据《暖规》第 5.1.8 条:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_n} + \sum \frac{\delta}{\alpha_{\lambda}} + R_k + \frac{1}{\alpha_w}} \quad (1)$$

式中 K 为围护结构的传热系数, $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$; α_n 为围护结构内表面传热系数, $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$; δ 为围护结构各层材料厚度, m; α_{λ} 为材料导热系数的修正因数; λ 为围护结构各层材料导热系数, $\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$; R_k 为封闭空气间层的热阻, $\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$; α_w 为围护结构外表面传热系数,取 $23 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ 。

定义 α'_w 为超高层建筑围护结构考虑风速修正的外表面传热系数, K' 为考虑风速修正的围护结构传热系数。

$$K' = \frac{1}{\frac{1}{K} - \frac{1}{23} + \frac{1}{\alpha'_w}} \quad (2)$$

参考文献[4], α'_w 包括表面传热系数 α'_{wd} 和辐射换热系数 α'_{wr} , 其中 α'_{wd} 与室外风速 v 的关系满足:

当 $v \leq 5 \text{ m/s}$ 时

$$\alpha'_{wd} = 5.82 + 3.95v \quad (3)$$

当 $v > 5 \text{ m/s}$ 时,对于超高层建筑大量采用的玻璃幕墙结构

$$\alpha'_{\text{wd}} = 7.12v^{0.78} \quad (4)$$

同时,高度与风速的关系可按以下经验公式计算:

$$v = v_0 \left(\frac{h}{h_0} \right)^n \quad (5)$$

式(3)~(5)中 v 为高度为 h 处的风速, m/s ; v_0 为高度为 h_0 处的风速, m/s ; h_0 为基准高度,一般为 10 m ; n 为指数,城市地表工况取 0.2 。

辐射换热系数 α'_{wf} 很难具体计算,工程计算中可取 $4 \sim 5.8 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$,为满足 $v = 3 \text{ m/s}$ 时 $\alpha'_{\text{wf}} = 23 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$,后续计算取 $\alpha'_{\text{wf}} = 5.33 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ 。

由式(2)推导可得

$$\frac{K' - K}{K} = \frac{1}{1 - K \left(\frac{1}{23} - \frac{1}{\alpha'_{\text{wf}}} \right)} - 1 \quad (6)$$

式(6)等号左侧为 K' 变化率,由等号右侧可知,对于给定的 α'_{wf} 值, K 值越大, K' 变化率越大。在物理意义上, K 值越大,围护结构的热阻越小,外表面传热热阻占围护结构总热阻的比例越大,故外表面传热系数调整对围护结构传热系数的影响也越大。现有的建筑节能相关规范中,北方建筑以冬季热负荷为主,故对 K 值要求较严,南方建筑以夏季冷负荷为主,故对窗户遮阳系数 S_c 值要求较严,而对 K 值要求较松,由此可推知,从 K 值修正的角度,南方超高层建筑的空调负荷受建筑高度的影响更大。

1.3 高层温降的影响

文献[4,6]采用的气温直减率分别为 $1 \text{ }^\circ\text{C}/100 \text{ m}$ 和 $0.6 \text{ }^\circ\text{C}/100 \text{ m}$,文献[5]为 $0.65 \text{ }^\circ\text{C}/100 \text{ m}$ 。上述数据有些是理论研究值,有些是不分地区的全球平均值,并且未区分冬季和夏季的不同情形。文献[9]采用中国国内的气象站实测数据,给出了不同季节、不同地区的气温直减率,结果表明我国大部分地区的气温直减率夏季为 $0.5 \sim 0.65 \text{ }^\circ\text{C}/100 \text{ m}$,冬季为 $0.25 \sim 0.5 \text{ }^\circ\text{C}/100 \text{ m}$ 。对空调负荷而言,夏季温度下降是有利因素,冬季则为不利因素,考虑到空调保证率,气温直减率夏季取下限 $0.5 \text{ }^\circ\text{C}/100 \text{ m}$,冬季取上限 $0.5 \text{ }^\circ\text{C}/100 \text{ m}$ 。这一取值涵盖了国内绝大部分城市。

根据《暖规》第 5.2.4 条规定的冬季围护结构基本耗热量的计算公式,综合第 7.2.13 条的规定,有如下公式:

$$Q = \alpha FK(t_{\text{nl}} - t_{\text{wn}}) \quad (7)$$

式中 Q 为围护结构的基本耗热量, W ; α 为围护结构温差修正系数; F 为围护结构传热面积, m^2 ; t_{nl} 为冬季空调室内设计温度, $^\circ\text{C}$; t_{wn} 为冬季空调室外计算温度, $^\circ\text{C}$ 。

《暖规》第 7.2.7 条规定采用简化计算方法时,夏季围护结构非稳态传热形成的逐时冷负荷满足:

$$CL_{\text{w}} = KF(t_{\text{w}} - t_{\text{n2}}) \quad (8)$$

式中 CL_{w} 为围护结构形成的逐时冷负荷, W ; t_{w} 为围护结构的逐时冷负荷计算温度, $^\circ\text{C}$; t_{n2} 为夏季空调室内设计温度, $^\circ\text{C}$ 。

假设超高层引起的冬季温降和夏季逐时温降分别为 Δt_1 和 Δt_2 ,则冬季和夏季的围护结构热负荷分别满足:

$$Q = \alpha FK(t_{\text{nl}} - t_{\text{wn}} + \Delta t_1) \quad (9)$$

$$CL_{\text{w}} = FK(t_{\text{w}} - t_{\text{n2}} - \Delta t_2) \quad (10)$$

需要注意的是,在某些时刻,由于逆温现象的存在, Δt_1 和 Δt_2 均可能为负值,这在冬季是有利因素,在夏季则成为不利因素。但考虑到夏季设计工况关注的是不保证若干时刻的较炎热的室外气象参数,而分析逆温现象可知,逆温的出现往往意味着地表存在冷空气,可以认为这在设计日不会出现。另外,本文后续计算中 Δt_2 采用了相同的逐时计算值,这一方面囿于目前未发现相关的提供逐时气温直减率的文献,另一方面认为所取的夏季气温直减率 $0.5 \text{ }^\circ\text{C}/100 \text{ m}$ 对于设计工况已为保守值。这种简化尚有待进一步的研究验证。

考察式(9),不同地区的 t_{nl} , t_{n2} 和 Δt_1 , Δt_2 值是基本相同的,但冬季由北往南 t_{wn} 迅速下降,南方室内外温差($t_{\text{nl}} - t_{\text{wn}}$)要明显小于北方,同时,南方的节能规范规定的 K 值又大于北方,因此, Δt_1 (或 Δt_2) 对南方建筑围护结构热负荷的影响明显大于北方,南方的超高层建筑尤其需要重视冬季热负荷修正。考察式(10),我国南北方夏季的设计温度差异不大, ($t_{\text{w}} - t_{\text{n2}} - \Delta t_2$) 在不同气候区的差异不大,考虑到南方的 K 值大于北方,因此 Δt_2 对南方夏季围护结构冷负荷的影响要大于北方。

同时考察式(9)和式(10),冬季室内外温差($t_{\text{nl}} - t_{\text{wn}}$)大于夏季($t_{\text{w}} - t_{\text{n2}}$),温降对夏季围护结构

空调负荷的影响更大。但夏季空调负荷中,玻璃窗进入的太阳辐射得热冷负荷和人体、照明、设备等冷负荷占了空调夏季冷负荷的绝大部分,室内外温差形成的围护结构冷负荷只占全部冷负荷的小部分。综合而言,温降对冬季空调负荷影响更大。温降对于冬季热负荷是不利因素,对于夏季冷负荷却是有利因素,如果把夏季的有利因素视作空调负荷的安全余量,相对而言,超高层建筑更应重视冬季空调负荷的高度修正。

2 详细计算

2.1 计算说明

为了分析不同气候分区的超高层建筑的空调负荷高度修正系数,本文以 GB 50189—2005《公共建筑节能设计标准》(下文简称《节规》)的气候分区为基础,从严寒地区 A 区、严寒地区 B 区、寒冷地区、夏热冬冷地区和夏热冬暖地区分别选取哈尔滨、沈阳、北京、上海、广州这 5 个典型城市的超高层办公建筑进行详细考察。围护结构传热系数均取《节规》所规定的限值,部分地区的地方公共建筑节能设计标准可能会有不同于《节规》的限值,考虑到所选城市只是所属气候分区的一个代表,本文未考虑地方标准。目前超高层建筑多采用全玻璃幕

墙设计,为简化计算,窗墙面积比取 0.7。

计算冬季热负荷时需对不同朝向的计算结果进行修正,《暖规》第 5.2.6 条规定朝向修正率按其占基本耗热量的百分比确定,尽管不同朝向的朝向修正率不同,但高度修正系数却是相同的。夏季冷负荷中通过外窗进入的太阳辐射热形成的冷负荷所占比例较大,西侧、东侧、南侧所占比例更大,北侧(广州南北侧基本相当)所占比例较小。北侧房间的围护结构冷负荷占房间总冷负荷的比例较高,从而冷负荷的高度修正系数较大,本文冬季和夏季冷负荷计算均取北侧房间。另外,虽然规范对某些地区北向外窗的 S_c 值限值的要求低于其他朝向,但实际做法中北侧也往往采用相同的玻璃,因此本文外窗的 S_c 值采用其他朝向的较严格的 S_c 值。

超高层建筑空调设计时,因建筑进深较大,一般以距外墙 4 m 左右为界划分内外区,并分别进行设计。本文只考察外区,取开间 9 m 的房间为计算单元,则房间面积为 36 m²。层高取 4 m。分别计算外墙、屋顶(本文屋顶指不含天窗的屋顶部分)和天窗的高度修正系数。计算可知实际超高层建筑的体形系数一般小于 0.3,室外设计参数及围护结构传热系数见表 1。

表 1 不同气候分区的室外设计参数及围护结构传热系数

	$t_{wn}/^{\circ}\text{C}$	外墙 $K/(\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}))$	外窗 $K/(\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}))$	外窗 S_c	屋顶 $K/(\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}))$	天窗 $K/(\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}))$	天窗 S_c
哈尔滨	-27.1	0.45	1.7	1.00	0.35	2.5	1.00
沈阳	-20.7	0.05	1.8	1.00	0.45	2.6	1.00
北京	-9.9	0.60	2.0	0.50	0.55	2.7	0.50
上海	-2.2	1.00	2.5	0.40	0.70	3.0	0.40
广州	5.2	1.50	3.0	0.35	0.90	3.5	0.35

取 10 m 为基准高度,分别计算 100,200,300,400,500,600,700,800 m 处相对 10 m 处空调负荷的高度修正系数。不同地区的 10 m 处室外风速有所不同,本文统一取 3 m/s。

2.2 计算结果及分析

根据上述假定,哈尔滨、沈阳、北京、上海、广州 5 个城市超高层建筑空调负荷高度修正系数的计算结果如图 1,2 所示。

由图 1,2 可知:

1) 随高度增加(风速增大),各气候区冬夏季空调负荷均有所增加,越靠南的地区负荷增幅越大,相同地区冬季热负荷的增幅大于夏季冷负荷。这与前文的分析是一致的。

同时可以看出,对于建筑高度达到 800 m 的

广州地区超高层建筑的冬季空调热负荷,由风速引起的增幅为 5.1%。即便将 10 m 处基准风速设为 5 m/s 的不利工况,计算后得到 800 m 高的广州地区超高层建筑的冬季空调热负荷增幅为 7.4%。因此,《暖规》第 5.2.6 条规定的“在城镇中明显高出周围其他建筑物的建筑物,其垂直外围护结构宜附加 5%~10%”可以涵盖超高层建筑因风速引起的负荷修正。《暖规》编制组解释该条文可直接用于超高层建筑。

详细考察风速的变化对 K 值的影响,以广州为例,结果见表 2。

当楼高达 800 m 时,风速已增加了 140%,达 7.2 m/s,但外表面传热系数的增幅为 68%,而计算所得的广州的墙体(不含窗) K 值增幅为 2.7%,

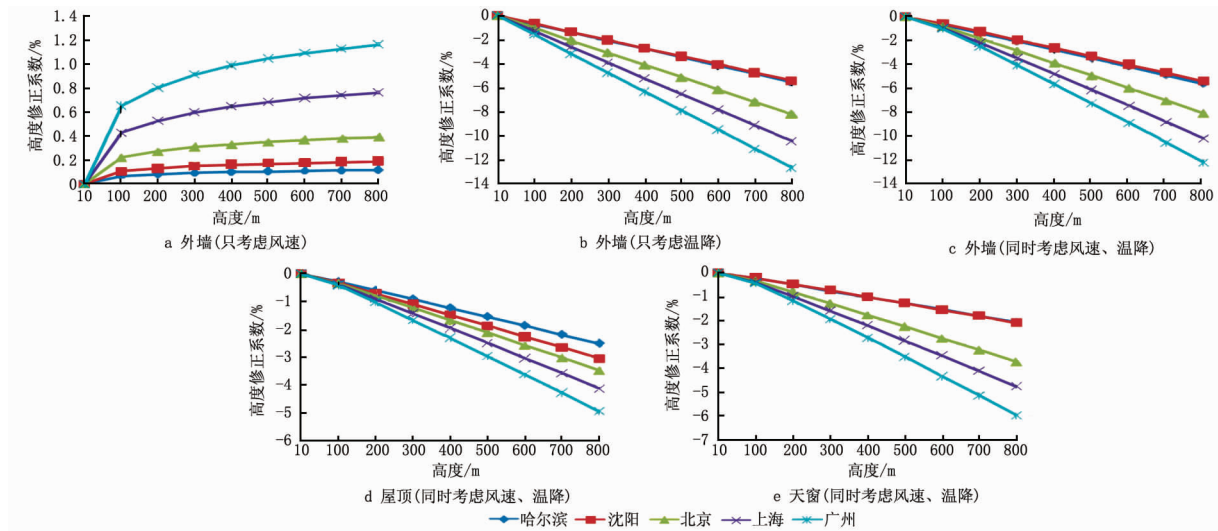


图 1 不同气候分区超高层建筑空调夏季冷负荷的高度修正系数

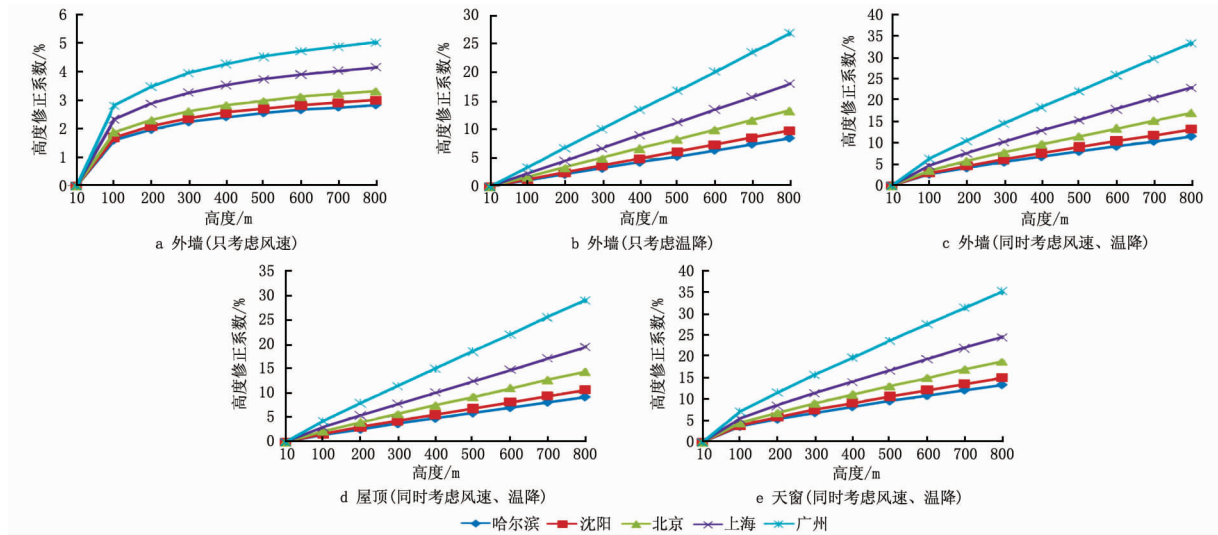


图 2 不同气候分区超高层建筑空调冬季热负荷的高度修正系数

表 2 风速对广州 K 值增幅的影响

楼高/ m	风速增 幅/%	外表面传热系数 增幅/%	墙体(不含窗) K 值增幅/%	外窗 K 值 增幅/%
10	0	0	0	0
100	58	30	1.5	3.1
200	82	40	1.9	3.8
300	97	47	2.1	4.4
400	109	53	2.3	4.7
500	119	57	2.4	5.0
600	127	61	2.5	5.2
700	134	65	2.6	5.4
800	140	68	2.7	5.6

外窗 K 值增幅为 5.6%，综合引起冬季热负荷的增幅仅为 5.1%。

对于建筑高度达到 800 m 的广州地区建筑的夏季空调冷负荷，风速引起的增幅也不足 1.2%，《暖规》没有规定风速对夏季冷负荷影响的修正是

比较合理的。

2) 随着温度的下降，夏季空调冷负荷有所下降，越靠南的地区冷负荷降幅越大，冬季空调热负荷有所上升，越靠南的地区增幅越大；相同地区冬季热负荷增幅大于夏季冷负荷降幅(绝对值)，这与前文分析的趋势也是一致的。对比考察高层风速和温降对负荷的影响，可以发现在 100 m 处二者的影响基本相当，随着高度继续增大，温降的影响就越来越明显地超过风速。这是由于温降对负荷的影响是线性变化的，而风速则随高度增加影响越来越小。因此，建筑高度越大，相对风速修正，越需要重视温降的修正。

3) 综合高层风速和温降的影响后，建筑高度越

大,夏季冷负荷越小,冬季热负荷越大,并且越靠南的地区,这种趋势越明显。风速和温降对夏季冷负荷的减小作用可考虑作为冷负荷安全余量,在计算中不予修正。冬季热负荷则有所不同,绝大多数情况下(尤其是高度大于 200 m 时),热负荷的修正系数大于 5%,对于 500 m 的建筑,哈尔滨、沈阳、北京、上海、广州的外墙的高度修正系数分别达 8%,9%,12%,15%和 22%。广州地区 800 m 高的建筑甚至高达 33%左右。若采用文献[6]的例子,深圳地区高度为 600 m 的大楼的冬季热负荷可增加 26%(采用广州地区的数据),文献[6]认为高度变化对热负荷影响较小并不予考虑的观点可能并不妥当。

4) 夏季冷负荷的屋顶和天窗的高度修正系数比较接近,这是由于天窗虽因 K 值较大易受温降影响,但天窗的辐射冷负荷很大,从而房间基础冷负荷较大。还可看出,多数情况二者的高度修正系数小于 5%,因此夏季屋顶和天窗部分的高度修正系数也可不予考虑。冬季热负荷的屋顶和天窗的高度修正系数也比较接近,天窗比屋顶大约高 5%,原因在于天窗和屋顶受温降影响的热负荷增幅是成正比的,但天窗因 K 值较大受风速的影响更大。建筑高度在 200 m 以上时,大部分屋顶和天窗的热负荷修正系数大于 5%,应予以修正,广州地区在 800 m 建筑高度时修正系数可分别达到 29%和 35%,影响非常大。

3 结论

3.1 超高层建筑空调负荷计算中,高层风速对夏季冷负荷的影响很小,可以忽略;《暖规》第 5.2.6

条规定的风速对冬季热负荷“宜附加 5%~10%”修正系数适用于超高层建筑的热负荷修正。

3.2 温降对超高层建筑空调负荷的影响大于风速,越靠南的地区温降的影响越大,相同地区温降对冬季热负荷的影响大于夏季冷负荷。

3.3 外墙、屋顶、天窗的夏季冷负荷受高层风速和温降综合影响后有所下降,可考虑作为空调冷负荷的安全余量,在计算中不予考虑。

3.4 外墙、屋顶、天窗的冬季热负荷受高层风速和温降综合影响后有明显增大,在计算中应引起重视,对于建筑高度为 500 m 的建筑,哈尔滨、沈阳、北京、上海、广州外墙冬季热负荷的高度修正系数分别为 8%,9%,12%,15%和 22%。

参考文献:

- [1] 廖坚卫. 超高层建筑空调水系统划分的若干问题[J]. 制冷,1994(1):51-54
- [2] 王钰. 超高层建筑空调水系统的分区技术[J]. 中国建设信息供热制冷,2007(4):51-55
- [3] 曹莉,王红朝,潘彦钢. 超高层建筑空调水系统设计探讨[J]. 深圳土木与建筑,2010,7(2):160-163
- [4] 刘天川. 超高层建筑空调设计[M]. 北京:中国建筑工业出版社,2004
- [5] 李觐,黄伟. 广州塔通风空调设计[J]. 暖通空调,2012,42(6):14-19
- [6] 丁瑞星,刘红. 平安国际金融中心空调设计[J]. 暖通空调,2012,42(12):60-63
- [7] 中国建筑科学研究院. GB 50736—2012 民用建筑供暖通风与空气调节设计规范[S]. 北京:中国建筑工业出版社,2012
- [8] 黄远洋,庄梓豪. 建筑墙体传热系数实验室检测技术探讨[J]. 建筑节能,2011,39(7):40-43
- [9] 方精云. 我国气温直减率分布规律的研究[J]. 科学通报,1992(9):817-820