

文章编号:1671-6833(2003)03-0037-04

超长高层建筑结构温度作用计算工况探讨

赵娟¹, 陈淮², 李天²

(1. 哈尔滨工业大学土木工程学院, 黑龙江 哈尔滨 150090; 2. 郑州大学土木工程学院, 河南 郑州 450002)

摘要:通过分析高层建筑物从施工到投入正常使用全过程中可能受到的温度荷载的类型, 利用线性分布法计算作用在建筑物上温度荷载, 完善温度作用和温差取值的计算, 总结出确定温度作用计算工况的方法, 给出了计算超长高层建筑结构水平温差的表达式, 制定了超长高层建筑结构温度作用计算工况, 以郑州第二长途电信枢纽工程主体结构为例, 具体给出了各种温度作用工况的温度计算参数. 实际计算表明, 采用本文给出的超长高层建筑结构温度作用计算工况, 可以满足实际超长高层建筑物温度问题计算需要.

关键词: 超长高层建筑; 温度作用; 温度工况

中图分类号: TU 973⁺.256 **文献标识码:** A

0 引言

热胀冷缩是建筑物的普遍特性. 一座建筑物, 尤其是高层建筑和超长高层建筑, 从施工到投入使用, 结构所承受的温度作用在各阶段是不同的, 相应的温度作用效应也会随之发生改变, 只有充分分析建筑物在各个阶段所承受的温度荷载类型, 采用合适的温度荷载计算方法, 确定温度作用计算工况, 才能为进行结构温度作用效应计算作好准备. 目前关于结构温度作用的研究已经开展了很多, 但都未对温度作用和温度参数取值以及温度工况的确定方法进行系统探讨. 本文正是在此背景下, 结合郑州第二长途电信枢纽工程主体结构工程实例对高层建筑温度作用计算工况的确定方法进行探讨.

1 温度荷载类型和常用计算方法

置于自然环境中的建筑物, 从结构施工到正式投入使用都将经受各种自然环境条件温度变化的影响, 就混凝土结构而言, 由于自然环境条件温度变化而产生的温度荷载, 一般可分为以下 3 种类型: 季节温差: 指结构闭合阶段的施工期温度与使用阶段温度之差, 它是由极缓慢的季节气温变化所致; 骤降温差: 主要是强冷空气的侵袭作用和

日落后夜间形成的内高外低温差; 日照温差: 指同一天太阳照射在结构的不同部位引起的温差. 常用的几种温度荷载计算方法为^[1]: ①Fourier 一维热传导方程的理论解法. ②等效稳态传热: 用一个等效的稳态外界温度来代替外表面温度. ③指数曲线法, 即半经验半理论求解法, 采用 $t = (t_1, t_2) e^{-\alpha x}$ 指数形式表示温度的分布, 它是从一维半无限体在周期热作用下热传导方程简化而来. ④线性分布法: 当计算整体温度内力时, 取整体温差为

$$\Delta = (T_{\text{外}} - T_{\text{内}}) / 2 \quad (1)$$

式中: $T_{\text{外}}, T_{\text{内}}$ 分别为室外、室内平均气温.

在对整体建筑结构进行温度效应计算时, 若对每个具体构件都进行温度场的数值计算, 则工作量太大, 也很难实现, 因此前 3 种计算方法不适用于整体结构分析. 线性分布法虽然是一种近似方法, 但人们所关心的是建筑在长期的温度荷载作用下的温度效应, 即使是短期的骤降温差也只考虑温度场趋于稳定后的温度作用情况. 因此, 采用线性分布法近似计算结构的温度荷载不仅可以大大减少计算工作量, 计算结果也能满足工程精度的要求.

2 温度荷载的确定

本文以郑州第二长途电信枢纽工程主体结构

收稿日期: 2003-03-25; 修订日期: 2003-06-20

基金项目: 河南省自然科学基金资助项目(0211060700)

作者简介: 赵娟(1977-), 女, 河南省开封市人, 哈尔滨工业大学博士研究生, 主要从事混凝土性能研究.

温度作用计算为例,说明建筑物温度荷载的计算方法.

2.1 温度参数的确定

根据中华人民共和国标准:采暖通风与空气调节设计规范[GBJ 19-87]^[3]规定,郑州地区温度计算基本参数取值:夏季室外日平均气温为 35.6℃;冬季室外日平均气温为 -7℃.室内温度计算取值:正常工作情况(有空调)夏季为 28℃;冬季为 18℃;非正常工作情况(无空调)夏季为 35.6℃;冬季为 7℃.结构混凝土终凝温度取值(浇注后浇带时结构的温度取值) 10℃~25℃,根据该工程实际情况可取:冬季的混凝土终凝温度为 $T_{凝}=10℃$;夏季的混凝土终凝温度为 $T_{凝}=25℃$.

2.2 温度荷载(温差)的确定

2.2.1 混凝土收缩转化为等效温差取值^[3]

现浇混凝土由于硬化干缩和水化热降温冷缩发生收缩现象,而混凝土收缩的形成和发展与混凝土龄期密切相关,考虑各种影响因素的混凝土收缩应变值可表征为

$$\epsilon_y(t) = \epsilon_y^0 \cdot M_1 \cdot M_2 \cdots M_n (1 - e^{-0.04t}) \quad (2)$$

式中: $\epsilon_y(t)$ 为龄期 t 天混凝土收缩应变; ϵ_y^0 为标准状态下的混凝土极限收缩值, $\epsilon_y^0 = 3.24 \times 10^{-4}$; M_1, M_2, \dots, M_n 为考虑各种非标准条件的修正系数.

混凝土温差自由应变为

$$\xi = \alpha \Delta T_t \quad (3)$$

式中: $\alpha = 10^{-5}$ 为混凝土线膨胀系数, $℃^{-1}$.

因此,混凝土收缩当量温差为

$$\Delta T = \xi / \alpha \quad (4)$$

结合该工程实际情况,考虑结构设置后浇带(在 90 天以上),混凝土收缩的当量温差温度^[4]为 $\Delta T = -5℃$.

2.2.2 季节温差

季节性温度变化是一个长期过程,温度变化呈现缓慢而匀速的发展态势.季节温差由结构正常使用时结构构件中面计算温度 $T_{中}$ 与混凝土终凝温度 $T_{凝}$ 之差来计算:

$$\Delta T = T_{中} - T_{凝} \quad (5)$$

考虑施工过程中的结构混凝土自身收缩作用,只需将混凝土收缩等效温差与季节温差进行叠加,一并计算即可.

2.2.3 骤降温差

骤降温差有以下两种类型:

(1) 强冷空气的侵袭(包括超高温的影响).每一地区的室外温度存在一个极端变化的限值,由文献[2]中可知,郑州地区(1951~1980 年,共 30 年)冬季极端最低温度平均值为 -12.5℃,夏季极端最高温度平均值为 39.7℃.则骤降温差等于极端气温与平均气温之差

$$\begin{aligned} \Delta T &= T_{极中} - T_{平中} = \frac{T_{极上} + T_{下}}{2} - \frac{T_{平上} + T_{下}}{2} \\ &= \frac{T_{极上} - T_{平上}}{2} \end{aligned} \quad (6)$$

(2) 日落后夜间形成的内高外低温差.昼夜更替引起建筑物外表面温度发生周期性变化,当建筑物投入正常使用后,由于工作环境的需要,室内温度通过空调保持恒温,日落后气温下降,造成建筑内外之间内高外低的温差,从而导致结构内部构件与外围构件之间产生不协调的温度应变,应变受构件之间的约束不能自由发展,从而引起温度应力.对日照温度改变我们只关心在一个昼夜周期内气温变化的最大值.依据文献[2],夏季空气调节室外逐时温度的计算公式为

$$t_{sh} = t_{wp} + \beta \Delta_r \quad (7)$$

式中: t_{sh} 为室外计算逐时温度, $℃$; t_{wp} 为夏季空气调节室外计算日平均温度, $℃$; β 为室外温度逐时变化系数; Δ_r 为夏季室外计算平均日照差,可按式(8)计算:

$$\Delta_r = \frac{t_{wg} - t_{wp}}{0.52} \quad (8)$$

式中: t_{wg} 为夏季空气调节室外计算干球温度, $℃$.

在一天 24h 中,凌晨 5 时室外气温达到最低值,而在下午 14 时达到一天中的气温峰值,这两点对应的温度差即是昼夜温差.对于郑州地区,昼夜温差计算如下:

$$\begin{aligned} t_{sh}(5) - t_{sh}(14) &= t_{wp} + \beta(5) \Delta_r - (t_{wp} + \beta(14) \Delta_r) \\ &= (\beta(5) - \beta(14)) \Delta_r \\ &= (-0.47 - 0.52) \frac{t_{wg} - t_{wp}}{0.52} \\ &= -9.52℃ \approx -10℃ \end{aligned}$$

2.2.4 日照温差^[3]

对于本文所讨论的建筑物,根据文献[5]给出的日照温度计算方法,求得正晒面结构外表面温度 $t_1 = 59℃$,背晒面结构外表面温度 $t_2 = 28℃$.

实际工程中,任何结构构件都具有一定的厚度,外界环境的温度变化通过构件表面向构件内部传递需要一段“时间”过程,因此,当外界气温波动时,结构内部温度也必然发生波动变化,但二者之间并非同步,而存在一定的“时间差”.对于本文

所讨论的建筑,屋面板内外表面的温度差,必然引起沿板厚从外向内的热流动及温度的坡降过程.根据文献[5~7]的计算方法,采用平壁传导热的稳定理论计算温度,其计算公式如下:

$$t_n=T_Y-\frac{T_Y-T_K}{R_Z}\sum_{i=1}^nR_i \tag{9}$$

式中 t_n 为计算处的受热温度; T_Y 为表面受热辐射温度; T_K 为室内温度; R_Z 为隔热层总热阻.

对于本文所讨论的建筑,其所采用的屋盖为中南标图集屋面作法中的88J1-屋5,厚度为112 mm,查取相应参数,用上述方法计算得出屋面板太阳辐射温度59℃衰减至结构层温度为34℃,墙面太阳辐射温度衰减至52℃.

3 温度工况

3.1 构件计算温度参数

正常使用阶段构件的计算温度依据线性分布法确定.线性分布法假定:构件温度场呈线性化分布,结构的内部构件,由于不受气温变化的直接影响,构件处于均匀温度变化场之中,构件各部分温度相同;外围构件(屋盖及外墙),其中面温度 $T_{中}$ 等于构件内外表面温度的平均值,可用下式求得.

$$T_{中}=\frac{T_{外}+T_{内}}{2} \tag{10}$$

(1) 夏季正常工作环境,室内空调保持恒温,有隔热.

外围构件: $T_{中}=(35.6℃+28℃)/2=31.8℃$;内部构件: $T_{中}=28℃$.

(2) 夏季非正常工作环境,室内无空调,有隔热.

外围构件: $T_{中}=35.6℃$;内部构件: $T_{中}=35.6℃$.

(3) 冬季正常工作环境,室内空调保持恒温,有保温.

外围构件: $T_{中}=(-7℃+18℃)/2=5.5℃$;内部构件: $T_{中}=7℃$.

(4) 冬季非正常工作环境,室内无空调,有保温

外围构件: $T_{中}=(-7℃+7℃)/2=0℃$;内部构件: $T_{中}=7℃$.

3.2 温度工况

工况1:混凝土收缩等效温差+季节温差(冬季结构混凝土终凝温度至夏季构件计算温度),室内为夏季正常工作环境,外围构件: $31.8℃-10℃-5℃=16.8℃$;内部构件: $28℃-10℃-$

$5℃=13℃$.

工况2:混凝土收缩等效温差+季节温差(冬季结构混凝土终凝温度至夏季构件计算温度),室内为夏季非正常工作环境;外围构件: $35.6℃-10℃-5℃=20.6℃$;内部构件: $35.6℃-10℃-5℃=20.6℃$.

工况3:混凝土收缩等效温差+季节温差(夏季结构混凝土终凝温度至冬季构件计算温度),室内为冬季正常工作环境;外围构件: $5.5℃-25℃-5℃=-24.5℃$;内部构件: $18℃-25℃-5℃=-12℃$.

工况4:混凝土收缩等效温差+季节温差(夏季结构混凝土终凝温度至冬季构件计算温度),室内为冬季非正常工作环境;外围构件: $0℃-25℃-5℃=-30℃$;内部构件: $7℃-25℃-5℃=-23℃$.

工况5:冬季遭遇极低温天气,外围构件外表面温度降低: $-12.5℃-(-7℃)=-5.5℃$,外围构件计算温度较平均温度降低: $(-5.5℃+0℃)/2=-2.75℃$;内部构件温度不变.

工况6:夏季昼夜更替引起的气温周期性变化,外围构件外表面温度下降10℃,外围构件计算温度较平均温度降低: $(-10℃+0℃)/2=-5℃$;内部构件温度不变.

工况7:夏季日照温差引起向阳面外围构件外表面温度升高16.4℃,由于屋面保温层的存在,假定屋面结构层温度不变,向阳面的外围构件计算温度较平均温度升高: $(16.4℃+0℃)/2=8.2℃$;背阳面的外围构件计算温度不变;内部构件温度保持不变.

4 计算实例

本文以郑州第二长途电信枢纽工程为研究实例^[9].该建筑位于郑州市北环中路,工程主楼地下1层,地上主体19层,19层之上局部突起2层.柱网9.6 m×12 m,主体结构东西长134 m,中间不设缝,南北长24 m,高100.8 m,采用框架-剪力墙,两侧筒体结构体系,选用大型通用有限元软件Super SAP 93程序进行结构温度问题计算,结构的梁、柱构件采用3维空间梁单元模拟,楼板、剪力墙构件选用4节点矩形薄板单元模拟,筒体部分采用薄板单元来近似模拟.选用本文工况1作为温度计算工况,限于篇幅,本文只给出在季节升温作用下,楼板(包括屋面板)的变形计算结果,其位移极值计算结果列于表1.

表 1 楼板变形极值

Tab.1 Ultimate deformation of floor mm							
位移矢量		X 方向位移		Y 方向位移		Z 方向位移	
最小	最大	最小	最大	最小	最大	最小	最大
0.132	15.501	-9.972	9.998	-1.983	8.372	-2.430	11.401

楼板的温度变形位移矢量最大值出现在建筑第 20 层左右 2 侧筒体部分的屋盖外端点处,此处的位移矢量值为 $DS=15.501\text{ mm}$,此位移矢量在 X,Y,Z 三个方向的位移分量分别为 $|DX|=9.972\text{ mm}$, $|DY|=4.261\text{ mm}$, $|DZ|=11.062\text{ mm}$.由于结构筒体部分在第 19 层至 20 层间是局部独立突起,与第 20 层的主体结构相分离,这里的楼板受主体结构约束最小,筒体部分的楼板位于整体结构楼板的纵向端部,因此此处变形位移最大.建筑 20 层以下各层楼板温度变形遵循下述规律:①楼板纵向端部部分(筒体部分)的位移矢量在 X 方向的分量达到各层楼板变形的极值.②楼板横向边缘悬挑板的角点处是出现 Y 方向楼板变形位移分量极值的位置.③ Z 方向位移分量的分布具有一定的特点.除了竖向构件传递上来的累积竖向位移外,本层的楼板自身 Z 方向的位移分量在柱子所在的位置较小,而在柱网内部楼板有下凹现象,这是柱子以及框架梁对楼板产生的约束弯矩造成的.④结构横向对称轴附近的变形很小,楼板与剪力墙交接部位的变形也较小.

文献[9]利用本文设定温度工况,计算给出了该建筑各种受力构件(梁、楼板、柱子及剪力墙)的温度变形以及温度内力或应力特点及数值范围,

总结出温度效应在整个结构中的变化规律,所得结果可为超长高层建筑结构设计中考虑温度作用提供了参考.

5 结束语

本文讨论了高层建筑物温度作用计算工况的确定方法,考虑了可能影响建筑物温度效应的各种因素,并通过具体工程实例进行了计算,实际计算表明,采用本文设计出的超长高层建筑结构温度作用计算工况,可以满足实际超长高层建筑物温度问题计算需要,该方法具有一定工程适用性和可操作性,为今后工程技术人员考虑温度作用设计温度计算工况提供参考.

参考文献:

[1] 赵海东,赵 鸣,沈水明. 超长钢筋混凝土结构的温度响应[J]. 四川建筑科学研究, 2000,24(4):7~10.

[2] GBJ 19-87,采暖通风与空气调节设计规范[S].

[3] 王铁梦. 建筑物的裂缝控制[M]. 上海:上海科学技术出版社,1993.150~157.

[4] 傅学恰. 双筒高层建筑水平温差收缩应力计算[J]. 建筑结构学报,1995,16(6):53~65.

[5] 李鸿猷. 高层建筑结构日照影响的探讨[J]. 建筑结构学报,1989,10(3):20~22.

[6] 彦 鹏. 特种结构[M]. 武汉:武汉工业大学出版社,2000.

[7] JBJ 24-86,民用建筑热工设计规程[S].

[8] 赵 娟. 超长高层建筑结构温度问题研究[D]. 郑州:郑州大学,2002.

On the Calculation of Temperature Effect on Super-length Highrises

ZHAO Juan¹, CHEN Huai², LI Tian²

(1.College of Civil Engineering, Harbin Institute of Technology, Harbin 150090,China; 2.College of Civil Engineering, Zhengzhou University, Zhengzhou 450002,China)

Abstract: This paper discusses the temperature cases of super-length tall buildings. On the basis of analyzing the possibility of temperature effect during the complete process from constructing to normal using, the linearity distributing method is taken to calculate the temperature effect on buildings. The calculating method of temperature distribution and the temperature difference is improved and the temperature effect cases are summarized. In this paper, the super-length tall building of the second long-distance telecom hinge in Zhengzhou is taken as an example, and calculation parameters of all kinds of the temperature effect cases are given. The calculating results indicate that the temperature cases suggested can satisfy the demand of practical super-length tall buildings.

Key words: super-length tall buildings; temperature effect; temperature case