

文章编号: 1671-6833(2006)04-0025-04

季节温差作用对超长高层建筑的影响

陈 淮¹, 赵 娟², 李 天¹

(1. 郑州大学土木工程学院, 河南郑州, 450001; 2. 哈尔滨工业大学土木工程学院, 黑龙江哈尔滨, 150090)

摘 要: 选取一座典型超长高层建筑结构为计算实例, 采用有限元方法, 分别考虑季节升温 and 季节降温两种计算工况, 对该超长高层建筑整体结构进行温度效应计算. 通过对比分析两种计算工况下的结构温度变形、各种构件温度内力或应力的计算结果, 找出了该超长高层建筑结构在不同时期遭受季节温差产生温度效应的共性与差异, 给出了季节降温工况对该超长高层建筑结构的不利影响.

关键词: 高层建筑; 有限元方法; 季节温差作用; 温度效应
中图分类号: TU 973⁺.256 **文献标识码:** A

0 引言

曝露于自然环境中的建筑物, 从结构施工到投入正常使用的过程中将受到来自于周围自然环境条件变化带来的影响, 在众多的外界环境因素中, 温度作用对超长建筑造成的不利影响尤为突出. 目前, 在国内外针对建筑结构温度问题进行的研究中普遍将温度变化看作外加荷载作用, 并根据温度荷载的作用时段、不同成因将其分为 3 种类型^[1]: 季节温差荷载; 骤降温差荷载; 日照温差荷载. 在 3 种温度荷载中, 季节温度作用作为一种缓慢递进的长期荷载, 影响范围遍及整个建筑, 相对于另外两种短期温度作用, 季节温度作用引起的结构温度场改变较为平稳且分布均匀. 对于我国大部分内陆性气候地区, 四季温度变化明显, 冬夏两季的温差幅度大, 作者所研究的工程所在地郑州地区夏季室外日平均气温为 35.6℃, 冬季为 -7℃, 冬夏温差接近 43℃. 另外从建筑物结构形式来看, 超长建筑结构通常具有工程庞大, 结构造型复杂, 施工期较长等特点, 因此由结构闭合阶段的施工期温度与使用阶段温度之差构成的季节温差便成为影响此类建筑的主要温度荷载.

1 季节温差作用

郑州第二长途电信枢纽工程主楼平面尺寸为 134 m×24 m, 采用框架-剪力墙、纵向两端设计成圆形筒体结构体系, 结构内大部分构件采用钢

筋混凝土构件, 部分中柱采用钢管混凝土圆柱, 边柱采用普通钢筋混凝土方柱, 由于功能要求该建筑中间不设缝, 结构标准层平面图见图 1.

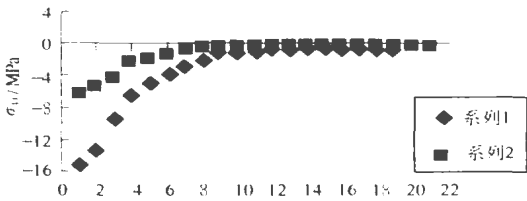


图 1 结构标准层平面图
Fig.1 Structural standard floor plan

分别考虑施工从冬季或夏季开工两种工况. 根据文献[2]关于季节温差作用计算工况的分析, 考虑建筑使用阶段处于较为不利的无室内空气调节(空调和采暖)工作环境, 选定了季节升温 and 降温两种对比计算工况^[2]:

升温工况: 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(无空调); 外围构件: 35.6℃-10℃-5℃=20.6℃; 内部构件: 35.6℃-10℃-5℃=20.6℃.

降温工况: 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(无采暖); 外围构件: 0-25℃-5℃=-30℃; 内部构件: 7℃-25℃-5℃=-23℃.

2 温度效应计算及结果分析

2.1 有限元建模

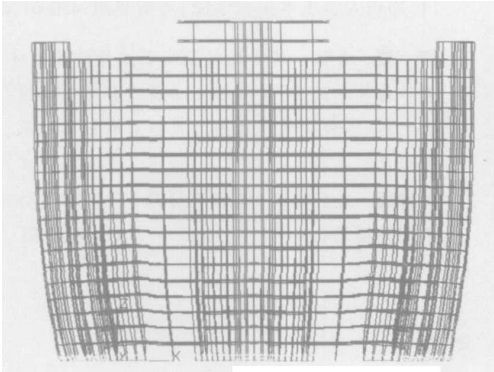
采用有限元软件 SAP, 根据结构中各种承力构件的几何特征和受力特点, 选取不同的有限单元对其进行模拟, 其中梁、柱构件采用三维空间梁单元模拟, 共划分 10 845 个梁单元; 楼板、剪力墙和筒体采用 4 节点矩形薄板模拟, 共划分 10 071 个薄板单元. 将季节温差工况按单元荷载形式输入计算工况形式中进行结构有限元计算.

2.2 温度效应计算结果

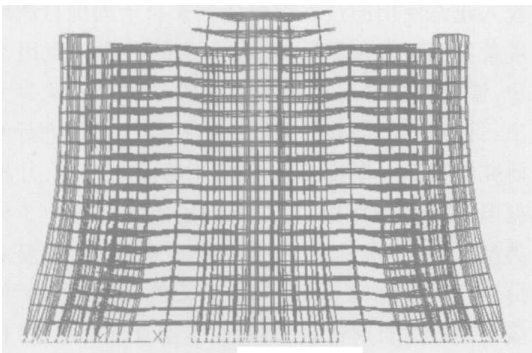
图 2 分别为季节升温工况与降温工况作用下的结构整体变形图, 不论结构在升温作用下产生外胀变形还是降温作用下发生内缩变形, 底部楼层都是变形增长较快的部位, 节点位移变化梯度远大于建筑上部楼层. 以降温工况为例, 底部 3 层层间相对变形率 $((\Delta_{i+1}-\Delta_i)/\Delta_i)$ 平均值为 15%, 主体结构(不包括中部突起的 2 层)顶部 3 层层间相对变形率平均值为 4%, 这种结果是由基础对上部结构的约束作用逐渐衰减所产生. 因此, 虽然建筑下部楼层的绝对变形值不大, 但层间变形的迅速增加同样可能会导致混凝土开裂, 应当引起工程设计人员的重视. 表 1 中列举了两种工况作用下结构整体变形极值数据.

图 3~图 4 为两种季节温差工况作用下, 建筑中各层楼板(包括屋面板)应力极值以及柱网内部均匀板单元应力平均值随楼层变化图. 图中系列 1 代表各层楼板局部坐标下主应力极值, 系列 2 代表各楼层柱网内部大面积均匀规则板单元的

主应力平均值. 表 2 中列出了两种工况作用下楼板、剪力墙以及筒体应力极值(拉应力为正值, 压应力为负值). 底部几层是剪力墙及筒体温度应力集中的位置, 随着与基础距离增加, 应力减小. 表 3 中列出了季节升温、降温两种工况作用下建筑结构梁单元内力极值.



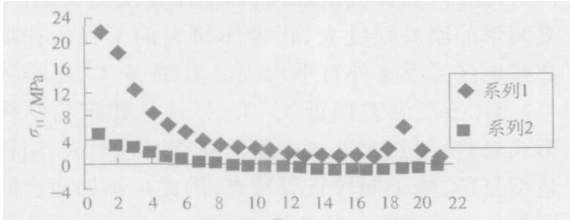
(a) 季节升温



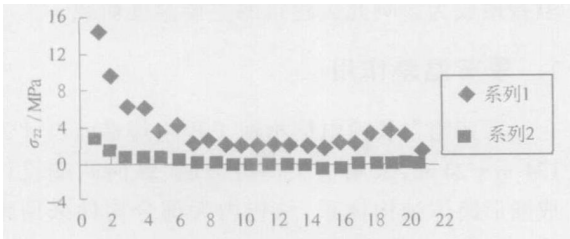
(b) 季节降温

图 2 结构整体变形图

Fig.2 Structural integral deformation diagram



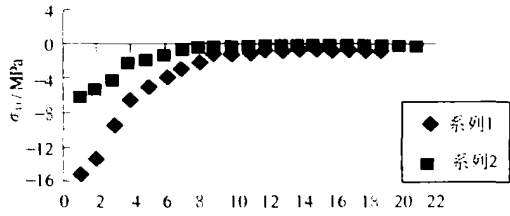
(a) 楼层 σ_{11} 分布图



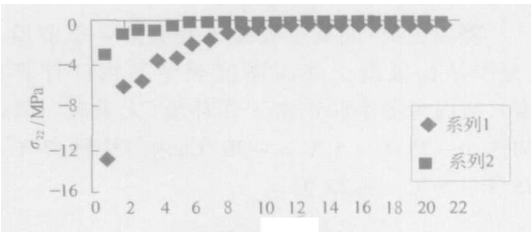
(b) 楼层 σ_{22} 分布图

图 4 季节降温工况楼板应力分布图

Fig.4 Stress distribution charts of floor slabs under the work condition of seasonal drop in temperature



(a) 楼层 σ_{11} 分布图



(b) 楼层 σ_{22} 分布图

图 3 季节升温工况楼板应力分布图

Fig.3 Stress distribution charts of floor slabs under the work condition of seasonal temperature rise

图 5、图 6 为结构在季节降温工况作用下各楼层梁单元内力极值(轴力和垂直弯矩)随楼层位置变化的规律.轴力是梁构件在温度作用下产生的最主要温度效应,从图 5 中平滑的递减曲线可以得出结论:梁单元产生的温度轴力与其受外界约束作用成正比,建筑底部楼层受到基础的约束

作用最大,因而在建筑结构底层纵向连续梁内出现轴力最大值,计算结果符合物理概念。

表 4 为两种季节温差作用下建筑结构中柱内力极值,从图 6 中看出底层柱的温度内力最大.然而在同一平面内,纵向边柱温度内力达到极值.主体结构顶部两层内梁柱端弯矩较大.

表 1 整体结构变形极值

Tab.1 Deformation extrema of the integral structure							mm
工况	位移矢量	X 方向位移分量		Y 方向位移分量		Z 方向位移分量	
	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max
季节升温	23.939	-14.884	14.884	-3.035	8.864	-2.661	21.272
季节降温	31.646	-18.631	18.113	-12.663	3.442	-28.145	3.046

表 2 季节温差工况作用下楼板温度应力极值

Tab.2 Temperature stress extrema of floor slabs under the seasonal difference in temperature											MPa	
工况	楼板						剪力墙及筒体					
	$\sigma_{11\min}$	$\sigma_{11\max}$	$\sigma_{22\min}$	$\sigma_{22\max}$	$\tau_{12\min}$	$\tau_{12\max}$	$\sigma_{11\min}$	$\sigma_{11\max}$	$\sigma_{22\min}$	$\sigma_{22\max}$	$\tau_{12\min}$	$\tau_{12\max}$
季节升温	-15.017	1.612	-12.753	4.116	-5.938	-5.938	-5.079	5.880	-9.070	6.705	-5.735	5.735
季节降温	-3.375	21.712	-6.193	14.359	-7.123	7.135	-6.560	7.114	-8.177	11.843	-6.980	6.958

表 3 季节温差工况作用下梁内力极值

Tab.3 Inner force extrema of beams under the seasonal difference in temperature					
工况	轴力	水平弯矩		垂直弯矩	
	/kN	/(kN·m)		/(kN·m)	
	Max	Min	Max	Min	Max
季节升温	3 542.6(压)	-98.6	98.6	-264.4	263.9
季节降温	4 971.9(拉)	-106.9	106.7	-268.7	292.1

表 4 季节温差工况作用下柱内力极值

Tab.4 Inner force extrema of columns under the seasonal difference in temperature					
工况	轴力	绕 Y 轴的弯矩		绕 X 轴的弯矩	
	/kN	/(kN·m)		/(kN·m)	
	Max	Min	Max	Min	Max
季节升温	5 679.2	-1 056.6	1 056.6	-2 740.3	2 270.8
季节降温	-6 919.7	-1 212.9	1 217.4	-2 497.0	3 141.7

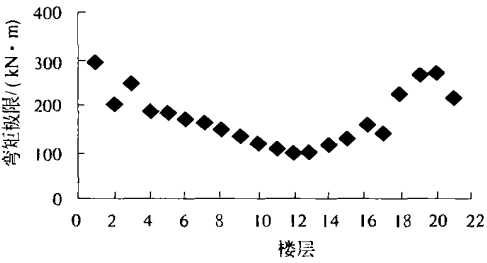


图 6 季节降温工况梁端弯矩极值随楼层变化图
Fig.6 Variational chart of moment extrema of beams with floors under seasonal drop in temperature

3 结论

(1)超长高层建筑在季节性长期温差作用下,结构整体温度变形的规律为:底部变形绝对值较小,相对变化率较大,随着距离地面渐远,变形变化梯度迅速减少,建筑顶层纵向边缘节点的变形位移值达到最大.整体结构变形属于弯曲型变形.

(2)季节温差作用下,结构中各类构件的膨胀或收缩变形受到基础的约束,导致整体结构基本上处于受压或受拉状态.结构中各类构件的温度内力或应力均是底部最大,随着距离基础渐远,内力或应力逐渐变小,图 3~图 6 中随楼层增加而递减的应力极值衰减曲线揭示了这一规律.

(3)结构底部几层是温度效应最突出的部位,是比较容易出现开裂或破损的位置.结构顶部几

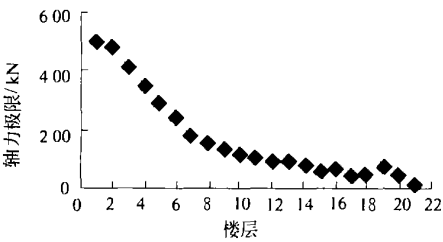


图 5 季节降温工况梁轴力极值随楼层变化图
Fig.5 Variational chart of axial force extrema of beams with floors under the seasonal drop in temperature
中国知网 <https://www.cnki.net>

层(特别是顶层屋面板)具有温度变形大、楼板薄、直接曝露于外界环境等特点,诸多因素均会导致顶部楼层同样是温度应力集中的部位,需要工程技术人员特别重视.

(4)作者所研究的建筑沿其东西方向纵向超长,由此决定了该方向的温度内力大于其横向温度内力值.在每一水平层面内的梁轴力最大值均出现在纵向 OA 轴连续弧梁内,造成这一结果的原因是建筑纵向两端筒体以及 OA 轴上分段剪力墙对梁的强约束作用.楼板温度应力的分布与梁轴力的分布相似,同样遵循上述规律,即纵向的温度应力大于横向的温度应力.然而,在建筑各类构件内力中,梁端弯矩的大小及分布与该梁是纵梁或横梁的关系不大,而是由与其相交的柱、剪力墙、筒体的抗弯刚度所决定,因此,梁柱节点、梁与剪力墙交点处的弯矩较大,主次梁节点弯矩较小.

(5)该建筑立面造型复杂,结构边缘部位布置形式突变较多,必然会引起建筑结构产生显著的应力集中现象.从图 3 中系列 1 与系列 2 的两条曲线之间的差别可以看出,每一楼层楼板应力极值与柱网内规则板单元的应力平均值之间存在较大的差值,这一应力差在温度作用影响突出的底

部楼层最为明显.由此可知,结构中规则的板单元应力一般不大,只是在平立面突变部位才会产生较大的应力集中,因此设计人员在此类超长建筑设计中应尽量使结构形式简洁、规则,这一点对减小温度的负面影响是非常有利的.

(6)季节降温工况对建筑物带来的影响更为不利,这是由混凝土材料本身抗拉强度较低的特点决定的.因此,对于施工期可能经历季节降温过程的超长高层建筑,应通过适当的设计手段或施工措施来减少温度作用带来的不良影响.

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] 赵 娟,陈 淮,李 天.超长高层建筑结构温度作用计算工况探讨[J].郑州大学学报(工学版),2003,24(3):37~40.
[3] 王瑞珉.ALGOR 和 SAP5P 在杆系结构分析中的应用[M].北京:机械工业出版社,2000.
[4] 李润方,王建军.结构分析程序 SAP5 原理及其应用[M].重庆:重庆大学出版社,1992.
[5] 赵 娟.超长高层建筑结构温度问题研究[D].郑州:郑州大学学位论文,2002.

The Effects of Seasonal Difference in Temperature on Super-length Tall Buildings

CHEN Huai¹, ZHAO Juan², LI Tian¹

(1.School of Civil Engineering, Zhengzhou University, Zhengzhou 450001, China; 2.School of Civil Engineering, Harbin Institute of Technology, Harbin 150090, China)

Abstract: A typical super-length tall building is selected as the calculating example, and using the finite element method its temperature effects under seasonal ascending temperature case and seasonal descending temperature are calculated separately. Through contrasting the features and scopes of the structural distortion and the every type component's internal force or stress of the two seasonal temperature cases, the commonness and difference of temperature effects of this super-length building suffering from the seasonal difference of temperature are found, and the adverse effects caused by the seasonal descending temperature case are provided.

Key words: tall building; finite element method; action of the seasonal difference in temperature; the temperature effect