

文章编号:1673-2049(2010)04-0078-08

基于温度变化的超高层混合结构 构件变形及受力分析

郑毅敏¹, 张盼盼², 赵 昕¹

(1. 同济大学建筑设计研究院(集团)有限公司, 上海 200092; 2. 同济大学 建筑工程系, 上海 200092)

摘要:考虑太阳总辐射、温室气体中 CO₂ 对气候的影响,通过研究全球变暖与辐射强迫之间的定量关系,建立一个线性关系模型,并以此为基础对未来近 100 年的上海地区极端最高温度和极端最低温度变化进行预测,分析结构在温度作用下的最不利工况,得出结构的最不利正温差和最不利负温差;基于变化温度方法和一般温度方法,采用 MIDAS 软件对超高层建筑在温差作用下施工阶段和正常使用阶段巨柱和核心筒的温度变形及两者之间的差异变形进行分析;考虑气温变化对结构典型构件轴力及伸臂的影响。研究表明:上海地区极端最高温度和极端最低温度呈上升趋势,到 2110 年,上海地区极端最高温度将上升 3 ℃;2 种方法计算的巨柱和核心筒的竖向变形、差异变形及底部楼层和中部楼层轴力相差很大;伸臂层轴力发生突变,温差作用引起的伸臂内力高达最不利荷载组合的 63%。

关键词:温度预测;极端温度;超高层混合结构;竖向变形;伸臂内力

中图分类号:TU375.3 **文献标志码:**A

Analysis of Member Shortening and Forces of Super Tall Composite Building Based on Temperature Change

ZHENG Yi-min¹, ZHANG Pan-pan², ZHAO Xin¹

(1. Architectural Design & Research Institute of Tongji University (Group) Co., Ltd., Shanghai 200092, China;

2. Department of Building Engineering, Tongji University, Shanghai 200092, China)

Abstract: The effect of solar irradiance and greenhouse gas on the climate was considered. A linear relation model was established by examining the quantitative relations between global warming and radiative forcing. Based on it, the predictions of the extreme highest temperature and extreme lowest temperature in Shanghai were carried out in the next one hundred years. The most adverse cases of positive and negative temperature difference were obtained by analyzing all kinds of the most adverse temperature effect. Based on the temperature change method and normal method, MIDAS software was adopted to analyze the vertical shortening and differential shortening of typical members of super tall composite building caused by temperature differences under the construction stage and the serviceability stage, as well as the effect to the out-trigger and the axial force of typically vertical members was studied. Study results show that the extreme highest temperature and extreme lowest temperature in Shanghai rise frequently, and the extreme highest temperature in Shanghai will rise by 3 ℃ in 2110. There will be considerably differences

收稿日期:2010-09-06

基金项目:上海市科技攻关计划项目(09dz1207704)

作者简介:郑毅敏(1957-),男,浙江镇海人,教授级高级工程师,工学硕士,E-mail:22zym@tjadri.com。

in the vertical shortening and the differential shortening between the huge column and the core-wall, and the axial force of the bottom and the middle floors under the two different temperature methods. Sharp change occurs in the out-trigger floors. The out-trigger internal force caused by temperature difference achieves 63% of the most adverse load combination.

Key words: temperature prediction; extreme temperature; super tall composite building; vertical shortening; out-trigger internal force

0 引言

温差作用作为非荷载效应的一种,对超高层混合结构有很大的影响。对于高层建筑,一方面不可能在竖向设置几道伸缩缝以减小或补偿温度作用对结构的不利影响;另一方面由于累积效应,竖向构件间的温差变形相当可观。有关资料表明^[1]:内外柱的温差使整体结构发生侧移,顶部位移甚至可达到风作用位移的20%;同时由温度作用引起的二阶效应对高层建筑具有较为明显的影响,这种影响导致结构安全性降低。

刘兴法^[2]认为,由周围环境气温以及太阳辐射等产生的温度变形和温差应力会引起混凝土工程结构开裂,有的甚至发生严重裂损,影响结构的正常使用。傅学怡^[3]给出了高层建筑竖向温差变位及约束内力的简化计算方法,并据此提出了高层建筑竖向必须考虑温差影响的临界条件和有关对策。赵海东等^[4]运用SAP84结构分析软件计算5层超长钢筋混凝土结构在季节温差下的总体温度内力分布及日照温差对超长结构的影响,总结此类结构在温度荷载下的受力特点,讨论温度内力对不同结构形式的影响,并提出减小超长结构建筑温度内力的措施。侯晓英^[5]采用国际通用的大型结构分析程序SuperSAP93研究超长结构在各种温度工况作用下的温度效应,对超长高层建筑结构进行整体温度效应分析。樊小卿^[6]就建筑结构在温度作用下热传导过程中环境温度的取值、多层材料中截面温度的确定、杆件截面内的温度分布,以及杆件温度变形受约束时杆端的约束内力、结构的温度内力计算、杆件的截面设计等一系列问题提出了计算方法和设计建议。以往研究中的温度作用仅以某一固定温度范围作为研究对象,但全球变暖已成为一个不争的事实,联合国“政府间气候变化专门委员会”(Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC)预测,从现在开始到2100年,全球平均气温“最可能的升温幅度”为 $1.8\text{ }^{\circ}\text{C}\sim 4\text{ }^{\circ}\text{C}$ ^[7]。

由于超高层混合结构的建筑规模大,造成施工

期长,甚至跨越数个季节时,结构中混凝土将受到施工期温度与使用阶段温度之间的温差作用,即季节温差作用。季节性温度变化是一个长期过程,对建筑物的危害较大。如果工程中仅简单地以某一温度范围作为作用于结构的温度作用,将不能满足需要。

本文中笔者考虑太阳总辐射、温室气体中的CO₂对气候的影响,通过研究全球变暖与辐射强迫之间的定量关系,建立了一个线性关系模型,并以此对未来近100年上海地区极端最高温度变化进行了预测。采用MIDAS软件对超高层建筑有伸臂时在系统温差作用下施工阶段和使用阶段典型构件巨柱和核心筒的温度变形及两者之间的差异变形进行分析;考虑气温变化对结构典型构件轴力及伸臂的影响,为准确了解结构在气温变化趋势下的整体性能和实际工程设计提供参考。

1 温度预测

根据“中国气象科学数据共享服务网”提供的“中国地面气候资料月值数据集”和“中国地面气候资料年值数据集”,对1951~2008年上海地区月极端最高温度和月极端最低温度数据由最小二乘法进行线性拟合,得到上海地区1~12月月极端最高温度变化趋势和月极端最低温度变化趋势的拟合曲线,如图1所示。图2为年极端温度曲线。从图2可以看出,1951~2008年年极端最低温度为 $-10.1\text{ }^{\circ}\text{C}$,表明由于受全球变暖影响,年极端最低温度呈增大趋势。为保守起见,施工阶段和正常使用阶段的年极端最低温度取 $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。对于年极端最高温度需要根据影响气候的因素进行推导。

引起全球气候变化的主要因素包括太阳辐射、温室气体、地球反射率变化、燃料燃烧、气溶胶以及地球自身的长波辐射等。研究表明^[8]:气温变化与辐射强迫有关,本文中主要研究气温变化与太阳辐射和温室气体中的CO₂的关系。

由美国国家航空航天局NASA(National Aeronautics and Space Administration)提供的数据资料^[9-12],可得1880~2000年的太阳辐射强迫、CO₂

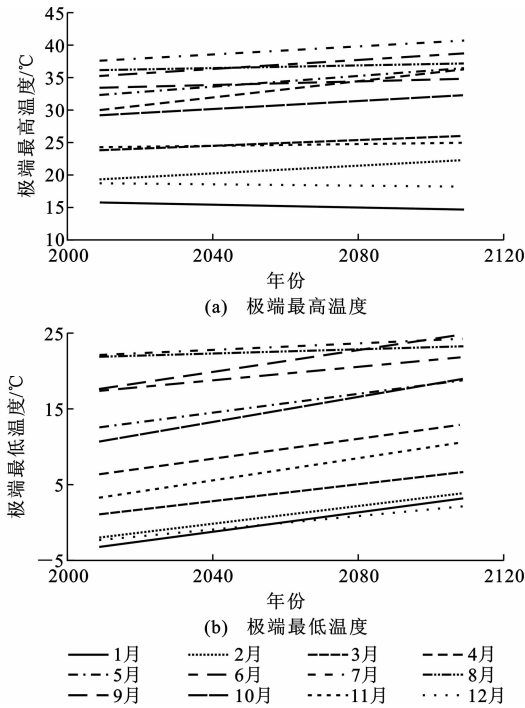


图 1 月极端温度曲线

Fig. 1 Monthly Extreme Temperature Curves

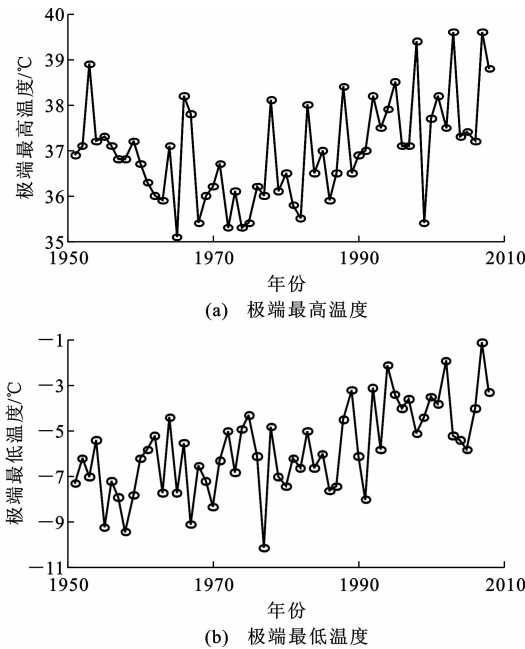


图 2 年极端温度曲线

Fig. 2 Yearly Extreme Temperature Curves

质量分数、CO₂ 辐射强迫变化曲线和 1950~2000 年的净辐射强迫变化曲线,如图 3 曲线的实线部分,其中 $\omega(\text{CO}_2)$ 为 CO₂ 的质量分数, ΔF_{CO_2} 为 CO₂ 的辐射强迫。

从图 3(a)可以看出,太阳辐射强迫(相对于 1880 年)随时间做周期性变化,每个周期约为 11 年,从 1880~1950 年太阳辐射强迫总体呈增强趋

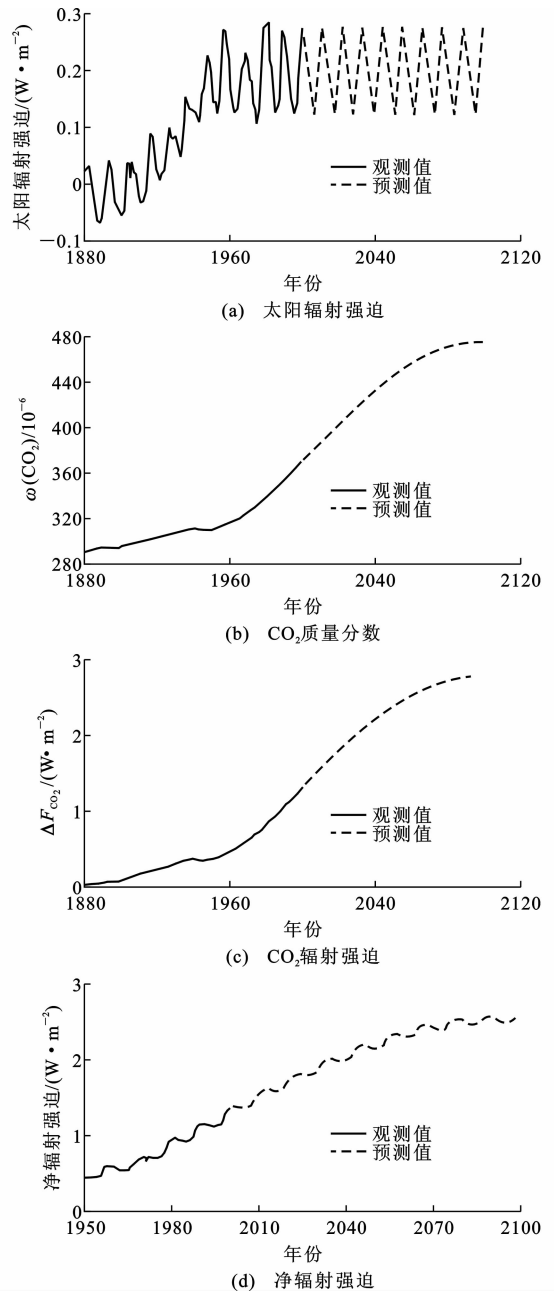


图 3 影响全球气候变化的因素

Fig. 3 Factors of Influencing Global Climate Change

势,之后基本趋于稳定。本研究中以 1990~2000 年太阳辐射强迫的平均周期变化规律作为未来 100 年太阳辐射强迫的变化规律。

从图 3(b)可以看出,自 1880 年以来 CO₂ 的质量分数基本呈增长趋势,1950 年以后增长速度加快。IPCC 在 2001 年提供的 CO₂ 辐射强迫计算公式为

$$\Delta F_{\text{CO}_2} = \alpha [g(C) - g(C_0)]$$

$$g(C) = \ln(1 + 1.2C + 0.005C^2 + 1.4 \times 10^{-6} C^3) \quad \left. \vphantom{g(C)} \right\} (1)$$

式中: C 为 CO_2 平均质量分数; α 为常数, $\alpha=3.35$; C_0 为常量。

由式(1)得 CO_2 辐射强迫变化(相对于1880年),见图3(c)。净辐射强迫为上述两辐射强迫的叠加,上海地区有数据温度为1951年的,故净辐射强迫取1951年以后的,见图3(d)。

将年极端最高温度、年极端最低温度与净辐射强迫进行线性拟合,得年极端最高温度 $y=1.2617x+35.6777$,年极端最低温度 $y=3.1438x-9.0992$,见图4。由预测的净辐射强迫可得未来100年的年极端最高温度。

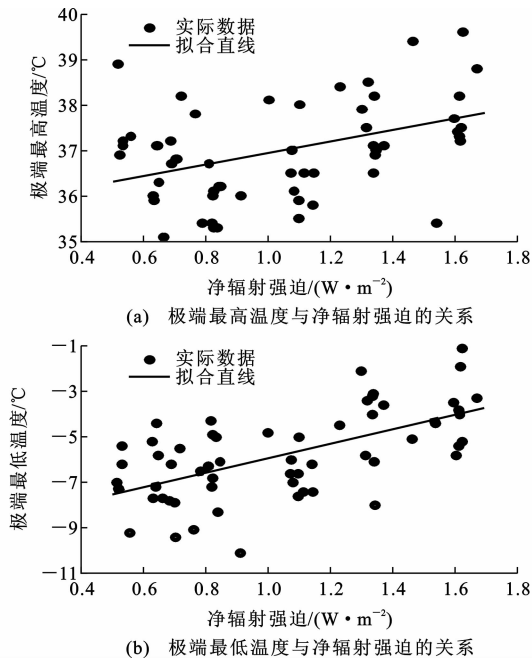


图4 年极端温度与净辐射强迫的关系

Fig. 4 Relations of Yearly Extreme Temperatures and Net Irradiative Forcing

假定置信水平为95%,温度数据服从正态分布,则双侧分位数 $u_{0.025}=1.96$,置信水平为95%的置信区间为 $\mu\pm 1.96\sigma$, μ 、 σ 分别为均值和方差,由此可预测长期数据。最不利工况为极端最高温度和极端最低温度,故取12、1、2、3、4、5月(冬季和春季)数据 $\mu-1.96\sigma$ 和6~11月(夏季和秋季)数据 $\mu+1.96\sigma$ 进行研究,10年预测数据见图5(a)。结构处于正常使用阶段后,当空调设备出现故障时,冬季保持最低温度 $-10\text{ }^\circ\text{C}$,夏季与室外温度一致,故只研究极端最高温度。

未来100年的极端最高温度见图5(b)。从图5(b)可以看出,2010~2110年上海地区气温将升高 $3\text{ }^\circ\text{C}$,这期间上海地区极端最高温度预测值总体上

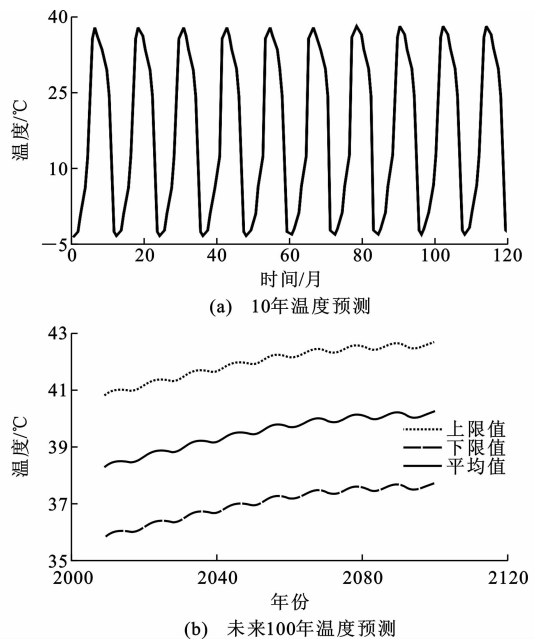


图5 温度预测

Fig. 5 Temperature Prediction

将不断升高,但升高的趋势逐渐放缓。上海地区极端最高温度预测值的变化与太阳活动周期一致,呈现以11年为周期的变化规律,这是由于太阳辐射强迫呈周期性变化, CO_2 辐射强迫大致呈线性增长。

2 工程实例

2.1 工程简介

某工程为伸臂巨型框架核心筒体系,抗侧力体系包括钢筋混凝土核心筒和巨柱,巨柱和核心筒由外伸臂桁架有效地连接在一起,结构模型典型平面如图6所示。

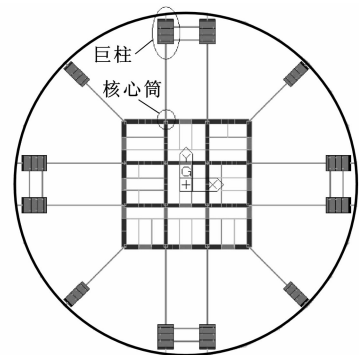


图6 结构模型典型平面

Fig. 6 Typical Plane of Structural Model

本文中选用结构设计软件MIDAS 7.4对超高层建筑的施工过程和正常使用阶段进行了模拟分析,研究结构在施工阶段和正常使用阶段的竖向变形及性能。选用板单元模拟柱,墙单元模拟剪力墙,

膜单元模拟楼板,杆单元模拟梁。

2.2 最不利工况分析

该工程施工阶段较长,各个区域的初凝温度不同,为简化计算,假定全结构温度变化一致,变化规律由“中国气象网”提供的1951~2008年的气象温度推演得到。由“中国气象科学数据共享服务网”上海龙华台站得到1951~2008年的极端最高气温,其中,1999~2006年数据缺失,由上海台站数据补充。

2.2.1 温度参数

(1)结构混凝土终凝温度取值(浇注混凝土时结构的温度取值):冬季的混凝土终凝温度 $T_0^w = 10\text{ }^\circ\text{C}$;夏季的混凝土终凝温度 $T_0^s = 25\text{ }^\circ\text{C}$ 。

(2)正常工作温度(有空调):夏季为 $28\text{ }^\circ\text{C}$,冬季为 $18\text{ }^\circ\text{C}$ 。《采暖通风与空气调节设计规范》(GB 50019—2003)中指出:舒适性空气调节室内计算参数,冬季为 $18\text{ }^\circ\text{C}\sim 24\text{ }^\circ\text{C}$,夏季为 $22\text{ }^\circ\text{C}\sim 28\text{ }^\circ\text{C}$ 。非正常工作温度(无空调):夏季为室外气温,冬季为 $-10\text{ }^\circ\text{C}$ 。

2.2.2 温度工况

结构为超高层建筑,施工时间较长,浇注每一区混凝土的时间不相同,沿结构高度的混凝土终凝温度不同。结构开始施工日期属于随机因素,故对于结构中的某一区,结构的终凝温度也不同。对每一区均取最不利情况,即取温度包络。温度作用按正温差、负温差2种情况考虑,即结构安装时的温度和全年极端最高、最低温度的差值。

(1)施工阶段

最不利正温差:冬季结构主体混凝土施工完毕的温度至夏季结构的温度(主体结构处于裸露状态)。经计算得

$$\Delta T_{\text{cons}}^p = T_{\text{cons}}^p - T_0^p = 30\text{ }^\circ\text{C}$$

最不利负温差:夏季结构主体混凝土施工完毕的温度至冬季结构构件的温度(主体结构处于裸露状态)。经计算得

$$\Delta T_{\text{cons}}^n = T_{\text{cons}}^n - T_0^n = -35\text{ }^\circ\text{C}$$

式中: T_{cons}^p 、 T_{cons}^n 分别为施工阶段最不利正温差和最不利负温差。

(2)正常使用阶段

50年最不利正温差:冬季结构主体混凝土施工完毕的温度至夏季结构的温度(夏季空调非正常工作)。经计算得

$$\Delta T_{\text{ser50}}^p = T_{\text{ser50}}^p - T_0^p = 31\text{ }^\circ\text{C}$$

50年最不利负温差:夏季结构主体混凝土施工完毕的温度至冬季结构构件的温度(冬季空调非正

常工作)。经计算得

$$\Delta T_{\text{ser50}}^n = T_{\text{ser50}}^n - T_0^n = -35\text{ }^\circ\text{C}$$

式中: T_{ser50}^p 、 T_{ser50}^n 分别为正常使用阶段50年最不利正温差和最不利负温差。

100年最不利正温差:冬季结构主体混凝土施工完毕的温度至夏季结构的温度(夏季空调非正常工作)。经计算得

$$\Delta T_{\text{ser100}}^p = T_{\text{ser100}}^p - T_0^p = 33\text{ }^\circ\text{C}$$

100年最不利负温差:夏季结构主体混凝土施工完毕的温度至冬季结构构件的温度(冬季空调非正常工作)。经计算得

$$\Delta T_{\text{ser100}}^n = T_{\text{ser100}}^n - T_0^n = -35\text{ }^\circ\text{C}$$

式中: T_{ser100}^p 、 T_{ser100}^n 分别为正常使用阶段100年最不利正温差和最不利负温差。

2.3 竖向变形分析

2.3.1 竖向变形

温差作用下巨柱、核心筒竖向变形与楼层呈线性关系,随楼层升高,变形逐渐增大,且温差绝对值越大,竖向变形越大,见图7、8,其中 T 为温差。巨柱在 $30\text{ }^\circ\text{C}$ 、 $31\text{ }^\circ\text{C}$ 、 $33\text{ }^\circ\text{C}$ 、 $-25\text{ }^\circ\text{C}$ 、 $-30\text{ }^\circ\text{C}$ 、 $-35\text{ }^\circ\text{C}$ 时的最大竖向变形分别为198、204、218、-165、-198、-231 mm,发生在顶层;核心筒在 $30\text{ }^\circ\text{C}$ 、 $31\text{ }^\circ\text{C}$ 、 $33\text{ }^\circ\text{C}$ 、 $-25\text{ }^\circ\text{C}$ 、 $-30\text{ }^\circ\text{C}$ 、 $-35\text{ }^\circ\text{C}$ 时的最大竖向变形分别为199、206、219、-166、-199、-232 mm,发生在顶层。

2.3.2 竖向差异变形

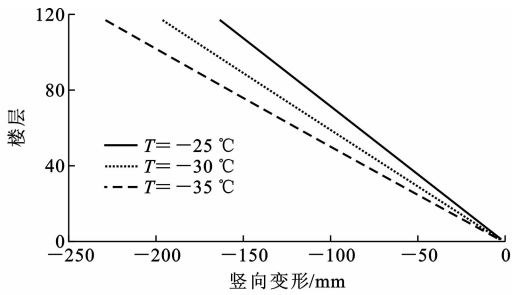
有伸臂时,核心筒竖向变形绝对值稍大于巨柱,由于伸臂的存在,差异在伸臂层处出现波动,最大差异变形出现在50层左右, $30\text{ }^\circ\text{C}$ 、 $31\text{ }^\circ\text{C}$ 、 $33\text{ }^\circ\text{C}$ 、 $-25\text{ }^\circ\text{C}$ 、 $-30\text{ }^\circ\text{C}$ 、 $-35\text{ }^\circ\text{C}$ 时的最大差异变形分别为3.0、3.1、3.3、-2.5、-3.0、-3.5 mm,见图9。

2.4 轴力分析

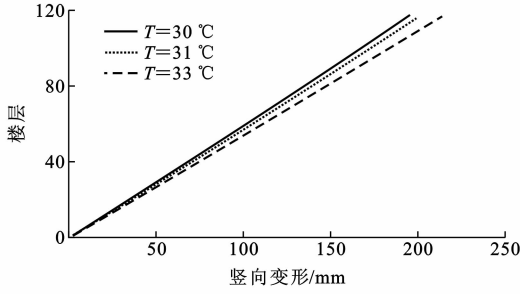
对于上海地区的实际工程,一般取 $\pm 30\text{ }^\circ\text{C}$ 考虑温差作用,但随着气温变暖这一趋势的日益明显,对于超高层混合结构,进行温度的具体详细分析非常必要。为进一步了解最不利温差作用对结构的影响,笔者进行了最不利温差作用对典型竖向构件轴力的研究。

钢筋混凝土水平和斜向构件由于受均匀温差的作用而产生轴向变形,而这一变形趋势受到框架竖向构件抗侧移刚度的约束,使得水平和斜向构件不能自由变形,从而在水平、斜向和竖向构件中产生约束内力。

巨柱在最不利正温差作用下,底部楼层由于约



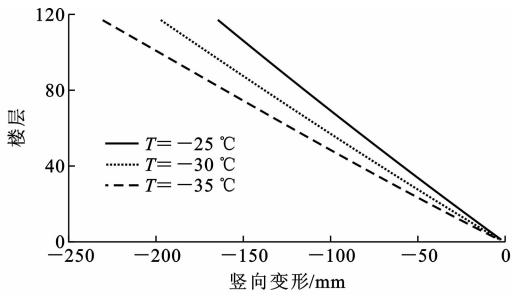
(a) 变形1



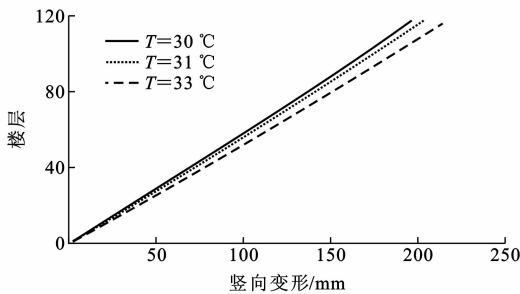
(b) 变形2

图 7 巨柱在温差作用下的竖向变形

Fig. 7 Vertical Shortening of Huge Column Under Temperature Difference Effect



(a) 变形1



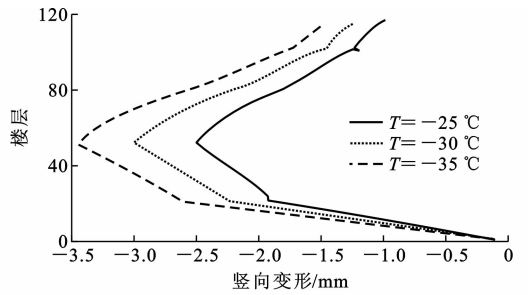
(b) 变形2

图 8 核心筒在温差作用下的竖向变形

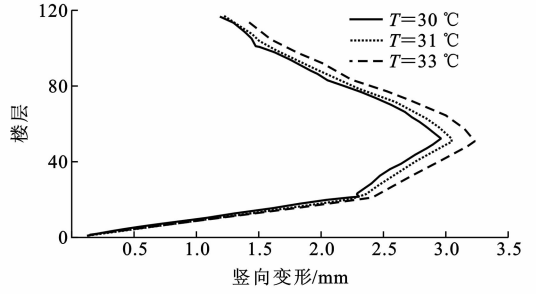
Fig. 8 Vertical Shortening of Core-wall Under Temperature Difference Effect

束作用较强,受到很大的轴力,随着楼层升高,约束作用逐渐减弱,轴力作用减小,到 50 层轴力变为数值很大的拉力,然后轴力逐渐减小,见图 10;最不利负温差作用下,轴力变化趋势与最不利正温差作用相似,只不过轴力符号相反,见图 11。

核心筒在最不利正温差作用下,底部楼层受到



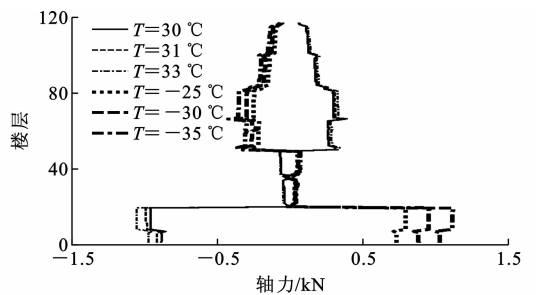
(a) 变形1



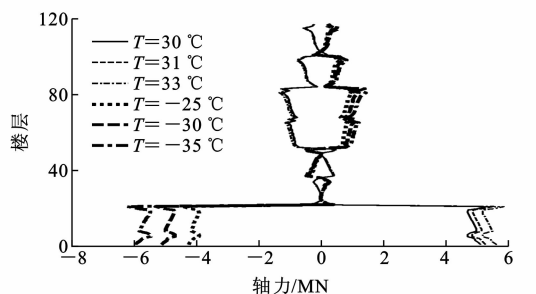
(b) 变形2

图 9 温差作用下的差异变形

Fig. 9 Differential Shortening Under Temperature Difference Effect



(a) 巨柱



(b) 核心筒

图 10 温差作用下的轴力

Fig. 10 Axial Forces Under Temperature Difference Effect

很大的轴力,随着楼层升高,依次出现轴力减小、轴力符号相反且值增大、轴力逐渐减小等趋势;最不利负温差规律类似,只不过轴力符号相反。

同一温差作用下,由于竖向构件的协同作用和水平、斜向构件的约束作用,巨柱和核心筒轴力符号相反,但绝对值并不完全一致。

图 12 为有伸臂时巨柱和核心筒在最不利温差

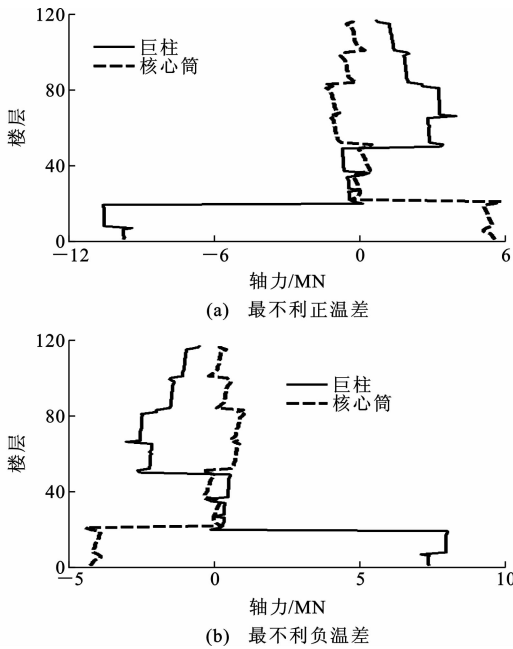


图 11 最不利温差作用下的轴力

Fig. 11 Axial Forces Under the Most Adverse Temperature Difference Effect

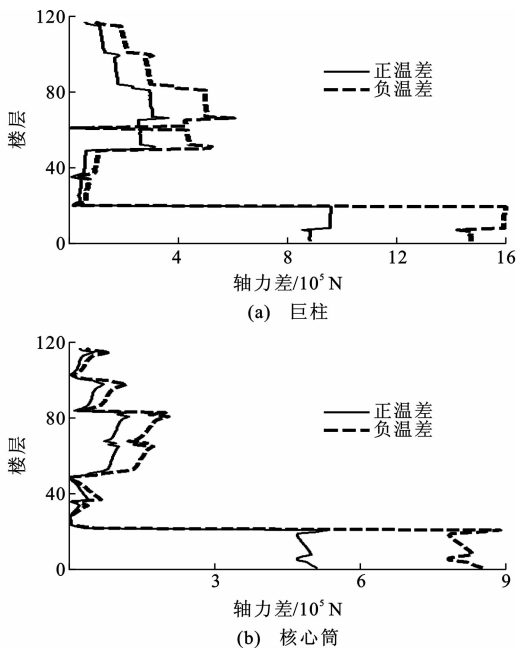


图 12 最不利温差作用下的轴力差

Fig. 12 Axial Forces Difference Under the Most Adverse Temperature Difference Effect

作用下的轴力差,即考虑气温变化的典型构件轴力与±30℃作用下的轴力之差。从图12可以看出,无论最不利正温差还是最不利负温差,底部楼层和中部楼层的轴力差都很大,巨柱在最不利正温差作用和最不利负温差作用下,底部楼层轴力差分别达980、1 600 kN,中部楼层分别达380、600 kN;核心

筒在最不利正温差作用和最不利负温差作用下,底部楼层轴力差分别达500、900 kN,中部楼层分别达100、200 kN。在伸臂层由于约束较强,轴力发生突变。

2.5 温差作用下的伸臂内力

考虑温差作用的荷载组合S有以下5种形式^[13-14],即

$$S = \begin{cases} 1.35D + 1.4 \times 0.7(D+T) \\ 1.2D + 0.7 \times 1.4L + 1.4T \\ 1.2D + 1.4L + 0.7 \times 1.4T \\ 0.75(1.4D + 1.7L + 1.4T) \\ 1.4(D+L) \end{cases} \quad (2)$$

式中:D、L分别为恒荷载和活荷载。

从图13可以看出,温差作用对伸臂有很大影响,负温差作用下伸臂内力可达恒载作用下内力的24%,正温差作用下伸臂内力达恒载作用下内力的63%,因此本文中进行的气温变化趋势对超高层混合结构的影响研究对实际工程设计与分析有重要意义。负温差作用下的内力为100年温度作用下产生的伸臂内力与-30℃作用下产生的伸臂内力之差,正温差作用下的内力为100年温度作用下产生的伸臂内力与30℃作用下产生的伸臂内力之差。

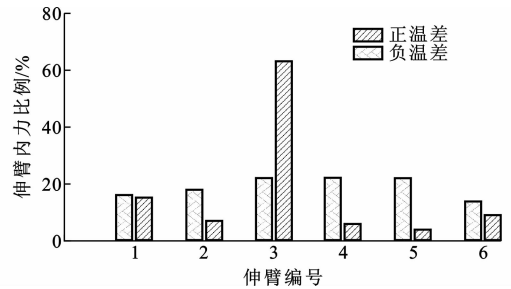


图 13 温差作用下的伸臂内力比例

Fig. 13 Proportion of Out-trigger Internal Force Under Temperature Difference Effect

3 结语

(1)根据 NASA 提供的太阳辐射强迫和 CO₂ 质量分数得到全球年均净辐射强迫,由 1951~2008 年上海地区极端最高温度与净辐射强迫进行线性回归,得到极端最高温度的线性关系模型,从而预测 2010~2110 年的上海地区极端最高温度,得出从 2010~2110 年上海极端最高温度将上升 3℃。

(2)分析结构在温差作用下的最不利工况,得出结构的最不利正温差和最不利负温差。施工阶段和 50、100 年的最不利正温差分别为 30℃、31℃、33℃,最不利负温差分别为-35℃、-35℃、-35℃,这

与一般温差作用取 $\pm 30\text{ }^{\circ}\text{C}$ 有一定差别。

(3)气温变化下的温差作用对超高层混合结构有很大的影响,考虑气温变化与一般温度方法有很大差异:巨柱在最不利正温差作用下的竖向变形相差 20 mm ,在最不利负温差作用下的竖向变形相差 33 mm ;巨柱和核心筒有伸臂时最不利正温差作用下的竖向变形相差 0.3 mm ,最不利负温差作用下的竖向变形相差 0.5 mm 。

(4)底部楼层和中部楼层轴力在2种计算方法中相差很大,巨柱在最不利正温差作用和最不利负温差作用下,底部楼层轴力差分别达 980 、 $1\ 600\text{ kN}$,中部楼层分别达 380 、 600 kN ;核心筒在最不利正温差作用和最不利负温差作用下,底部楼层轴力差分别达 500 、 900 kN ,中部楼层分别达 100 、 200 kN 。在伸臂层,轴力发生突变,温差作用对伸臂产生影响,引起的伸臂内力高达恒载作用下内力的 63% ,故研究气温变化下的温差作用对于要求较高的超高层混合结构有重要意义。

参考文献:

References:

- [1] SMITH B S, COULL A. Tall Building Structures: Analysis and Design[M]. New York: John Wiley & Sons, 1991.
- [2] 刘兴法. 混凝土结构的温度应力分析[M]. 北京: 人民交通出版社, 1991.
LIU Xing-fa. Temperature Stress Analysis of Concrete Structures[M]. Beijing: China Communications Press, 1991.
- [3] 傅学怡. 高层建筑竖向温差内力简化计算[J]. 建筑结构学报, 1993, 14(1): 35-43.
FU Xue-yi. Simplified Calculation of Restraint Force Caused by Vertical Temperature Variation in High-rise Building Structures [J]. Journal of Building Structures, 1993, 14(1): 35-43.
- [4] 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, 26(4): 7-10.
ZHAO Hai-dong, ZHAO Ming, SHEN Shui-ming. Temperature Response of Super-length Concrete Structure[J]. Building Science Research of Sichuan, 2000, 26(4): 7-10.
- [5] 侯晓英. 超长高层钢管混凝土结构温度作用分析[D]. 郑州: 郑州大学, 2002.
- HOU Xiao-ying. Temperature Analysis of Super-length High-rise Concrete-filled Steel Tube Structure [D]. Zhengzhou: Zhengzhou University, 2002.
- [6] 樊小卿. 温度作用与结构设计[J]. 建筑结构学报, 1999, 20(2): 43-50.
FAN Xiao-qing. Temperature Action and Structural Design[J]. Journal of Building Structures, 1999, 20(2): 43-50.
- [7] IPCC. Climate Change 2001: the Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change[M]. Cambridge: Cambridge University Press, 2001.
- [8] 李华斌. 全球变暖定量分析及未来全球平均气温变化预测[D]. 杭州: 浙江大学, 2007.
LI Hua-bin. Quantitative Analysis of Global Warming and Prediction of Global Mean Temperature Change in the Future [D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2007.
- [9] HANSEN J, SATO M, RUEDY R, et al. Global Warming in the Twenty-first Century: an Alternative Scenario[J]. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 2000, 97(19): 9875-9880.
- [10] HANSEN J, SATO M. Trends of Measured Climate Forcing Agents [J]. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 2001, 98(26): 14778-14783.
- [11] HANSEN J, SATO M. Greenhouse Gas Growth Rates [J]. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 2004, 101(46): 16109-16114.
- [12] HANSEN J, SATO M, LACIS A, et al. Climate Forcings in the Industrial Era[J]. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 1998, 95(22): 12753-12758.
- [13] GB 50009—2001, 建筑结构荷载规范[S].
GB 50009—2001, Load Code for Design of Building Structures[S].
- [14] ACI 318-02, Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318-02) and Commentary[S].