

文章编号:1000-582X(2004)06-0114-04

大跨度预应力混凝土住宅结构体系的受力特性*

张琳, 简斌, 黄宗明

(重庆大学土木工程学院, 重庆 400030)

摘要:对一典型单层大跨度预应力混凝土住宅结构体系进行了结构的有限元计算分析, 结果表明: 预应力的施加较好地改善了楼板的受力状态, 明显减小了楼板挠度, 有效控制了裂缝的出现。板上施加预应力对梁、柱产生了有别于一般预应力框架结构的影响, 总体偏于不利。由于板跨较大, 竖向荷载使梁截面承受的扭矩较大。一字形边柱其两主轴方向抗侧刚度相差较大。

关键词:预应力混凝土; 大跨度住宅结构; 受力性能

中图分类号: TU378.5

文献标识码: A

目前, 在多高层住宅中常用的普通钢筋混凝土结构体系有砖混结构、框架结构、底部框架结构、框架剪力墙结构、剪力墙结构及异形柱框架结构等, 但随着跨度的加大都受到种种限制。大跨度预应力高性能混凝土住宅体系较好地解决了大空间住宅建筑中存在的局限和问题。它是在无粘结预应力楼盖、剪力墙、异形柱结构等研究的基础上, 紧密结合了现代多高层住宅建设特点而提出的一种新型的住宅结构体系。其水平结构采用无粘结预应力楼盖, 拓展了住宅单元的进深与开间, 每个用户单元内部不再出现竖向承重构件, 用户可根据不同时期的不同要求来灵活改变单元内的分隔布置, 且户内不出现明梁; 竖向结构体系采用剪力墙、短肢剪力墙、异形柱结构等, 因此户内也不出现明柱, 给室内陈设的摆放带来了极大的方便, 可取得良好的综合经济效益。

这一新型住宅结构体系的雏形在国内一些省市的建筑市场已经出现, 如福建^[1]、广州^[2-3]等地。但由于对这一结构体系缺乏系统的研究, 其优越性得不到充分发挥, 因此它的推广使用也就受到制约。从结构分析方面来说, 国内外针对无粘结预应力楼盖、异形柱、剪力墙等竖向承重结构体系均已做过较为深入系统的研究^[4-6], 问题在于将其组合成一种应用在住宅建设中的新型结构体系, 会遇到什么新的问题, 出现哪些新的受力特性, 都是有待研究的问题, 而目前这方面的系统研究几乎是空白。笔者针对这种结构的受力特点,

对一单层结构进行弹性分析, 初步得出几点相关结论。

1 模型参数

选取大跨度预应力住宅结构体系典型平、立面布置, 如图1所示。混凝土强度等级: 梁板 C40、柱 C30, 混凝土容重 25 kN/m^3 ; 板厚 200 mm , 梁截面取 $b \times h = 250 \text{ mm} \times 400 \text{ mm}$, 层高 4.5 m ; 恒载 9.0 kN/m^2 , 活载 5.0 kN/m^2 。采用 SAP2000 进行结构模型受力分析, 采用 shell 单元模型建模, 如图2所示。采用振型分解反应谱法计算结构在多遇地震作用下的反应, 分析选用《建筑抗震设计规范》7度设防烈度(水平地震影响系数最大值 0.12), 设计地震分组第一组, II类场地, 特征周期 $T_g = 0.35 \text{ s}$, 阻尼比 0.05 , 沿 X轴单向输入地震作用。

2 结构内力计算

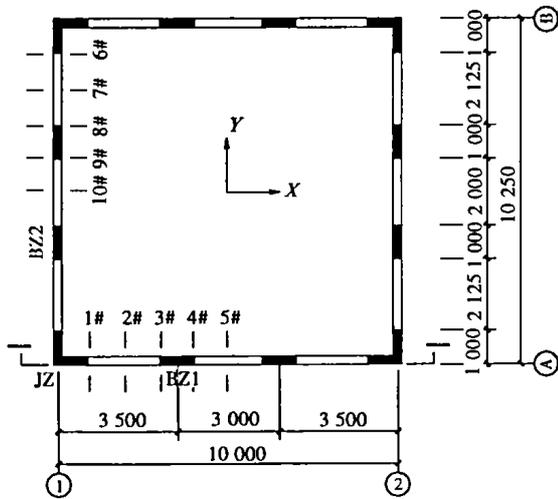
2.1 预应力的施加

沿楼板2个方向均匀布置预应力筋, 经计算采用每米3根 $\phi'15.2$ 预应力钢绞线, 每根面积 139 mm^2 , $f_{\text{ptk}} = 1860 \text{ MPa}$, $\sigma_{\text{con}} = 0.75f_{\text{ptk}} = 0.75 \times 1860 = 1395 \text{ (MPa)}$, 每根预应力筋有效预应力为: $N_p = 0.8 \times 1395 \times 139 = 155.1 \text{ (kN/m)}$ 。预应力筋曲线形状如图3所示, 预应力等效荷载如图4所示。

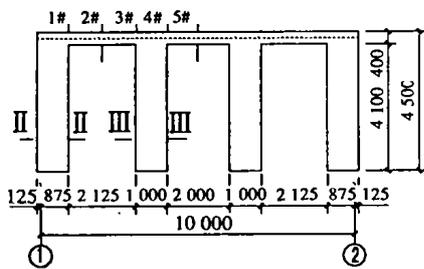
* 收稿日期: 2004-02-13

基金项目: 国家十五攻关课题“高性能钢筋混凝土大跨度预应力住宅结构体系”(200BA806B-4-1B)

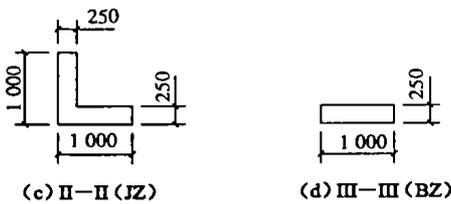
作者简介: 张琳(1978-), 女, 天津人, 重庆大学硕士研究生, 主要从事大跨度预应力混凝土住宅结构体系受力特性研究。



(a) 平面图



(b) I-I (立面图)



(c) II-II (JZ) (d) III-III (BZ)

图1 结构布置图

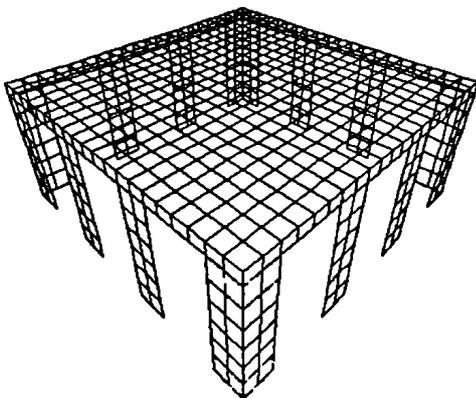


图2 模型示意图

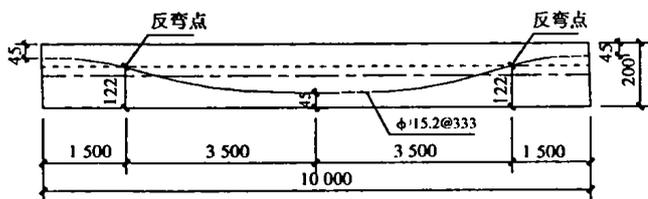


图3 预应力筋曲线布置图

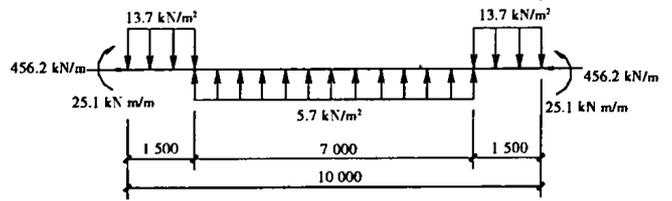


图4 预应力等效荷载图

2.2 各荷载作用下梁受力分析

梁在各荷载作用下的内力详见表1、表2,其中弯矩以使梁底受拉为正,扭矩以与截面法向一致为正。

表1 梁弯矩值 kN·m

梁截面号	竖向荷载作用下	预应力作用下	多遇地震作用下	
			A轴	1轴
1#(6#)	-1.6	8.8	±15.2	±1.0
2#(7#)	12.7	5.7	±1.4	±0.2
3#(8#)	-11.7	-15.3	±12.6	±1.4
4#(9#)	-14.0	1.1	±0.3	±0.6
5#(10#)	14.7	-9.8	0.0	±0.7

表2 梁扭矩值 kN·m

梁扭矩	竖向荷载作用下	预应力作用下	多遇地震作用下	
			A轴	1轴
1#	-47.7	-6.5	±6.1	±3.0
2#	-29.4	7.1	±6.8	±4.0
3#	-20.1	9.7	±6.2	±2.9
4#	-25.0	5.9	±4.2	±1.9
5#	0.0	0.0	±4.7	±0.0

由表1、表2中计算结果可以看出:在竖向荷载作用下,梁截面弯矩分布趋势与普通矩形柱框架结构中框架梁受弯基本相似,只是1#截面在竖向荷载作用下弯矩值较小,主要有以下两方面原因:1)楼板上的荷载部分通过梁柱节点直接传递到柱,而没有通过梁来导荷;2)角柱变形对1#截面弯矩影响较大,若把角柱弹性模量提高一倍,则1#截面弯矩由-1.6增大到-7.962,变化显著。在预应力作用下,除1#截面产生正弯矩,与竖向荷载作用下产生的弯矩方向相反外,在其它截面上均产生负弯矩,这与普通预应力框架梁次弯矩通常为正相反,对梁支座截面受弯不利。在地震作用下,对平行于其输入方向(X轴)的梁截面弯矩影响较大,梁上的弯矩分布趋势同普通框架结构弯矩,但几乎不影响垂直于其输入方向(Y轴)梁的弯矩。

在竖向荷载作用下,梁产生较大扭矩,这是梁与楼

板相互作用、变形协调的结果。楼板在竖向荷载作用下在板端产生负弯矩,该弯矩必然由梁上的扭矩平衡,从而在边梁上出现较大扭矩。由于一字形边柱平面外的抗弯刚度较小,易变形,其对梁扭转的约束作用较弱,所以梁的扭转主要靠角柱来约束,造成梁与角柱相交截面的扭矩数值最大。由于该大跨度预应力结构本身具有板跨较大的特点,在竖向荷载作用下,其板端弯矩及梁的扭转都比常见结构明显。预应力的施加使扭矩控制截面扭矩增大15%左右。单向地震作用下,平行于地震输入方向的梁扭矩变化相对较明显,但数值都较小,产生的不利影响较小。

2.3 各荷载作用下柱受力分析

如图5所示,以JZ为例,柱内力方向与坐标方向一致时为正,图中坐标轴定义与结构整体坐标一致。柱在各荷载作用下内力详见表3。

表3 柱内力值, kN·m

柱内力	V_x/kN	V_y/kN	N/kN	$M_x/\text{kN}\cdot\text{m}$	$M_y/\text{kN}\cdot\text{m}$	
JZ 顶	顶竖向荷载作用下	-22.4	-22.4	-35.0	-57.3	57.3
	预应力作用下	-4.4	-4.4	-25.6	-25.9	25.9
	多遇地震作用下	±20.4	±8.3	±13.4	±3.9	±19.7
JZ 底	底竖向荷载作用下	22.4	22.4	86.3	-37.0	37.0
	预应力作用下	4.4	4.4	25.6	7.9	-7.9
	多遇地震作用下	±20.4	±8.3	±13.4	±30.4	±68.9
BZ1 顶	竖向荷载作用下	-2.6	-32.5	-170.0	-84.4	7.1
	预应力作用下	12.9	2.9	12.8	6.3	-29.0
	多遇地震作用下	±16.6	±0.1	±4.4	±0.2	±29.8
BZ1 底	底竖向荷载作用下	2.6	32.5	195.6	-48.8	3.7
	预应力作用下	-12.9	-2.9	-12.8	5.7	-23.8
	多遇地震作用下	±16.6	±0.1	±4.4	±0.1	±41.3
BZ2 顶	竖向荷载作用下	-32.5	-2.6	-170.0	-7.1	84.4
	预应力作用下	2.9	12.9	12.8	29.0	-6.3
	多遇地震作用下	±0.8	±0.5	±1.1	±1.4	±1.1
BZ2 底	竖向荷载作用下	32.5	2.6	195.6	-3.7	48.8
	预应力作用下	-2.9	-12.9	-12.8	23.8	-5.7
	多遇地震作用下	±0.8	±0.4	±1.1	±0.4	±2.8

从表3中计算结果可以看出:

在竖向荷载作用下,一字形边柱较角柱承担了更大的竖向力,这与各柱的负荷范围的大小是一致的。预应力的施加对竖向承重构件的轴力有一定的影响,计算显示,角柱轴力增加29.6%,边柱减少6.5%,当然这一结果与本文选取的计算模型有一定关系,具有一定的局限性。地震作用对柱的轴力影响较小,影响幅值在10%左右。

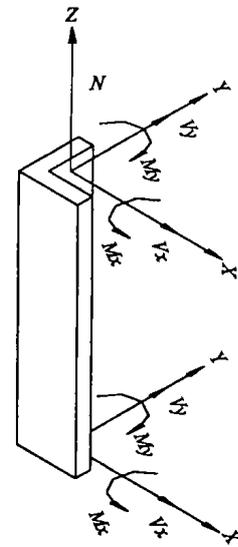


图5 柱内力正方向图

竖向荷载作用下,角柱顶、底截面承受的弯矩都较大,预应力的施加增大了角柱顶面弯矩大约50%,减小了角柱底面弯矩20%左右。地震对角柱柱底截面弯矩影响很大,使其垂直于地震输入方向的弯矩增加了几乎两倍,另一方向弯矩也增加了将近一倍,对角柱顶面影响相对小些,使其弯矩增加约30%。

竖向荷载作用下,一字形边柱沿两轴方向承受的弯矩大小相差悬殊,其平面外弯矩较大,平面内弯矩较小。预应力的施加减小了一字形柱的平面外弯矩,但不到10%。预应力对一字形柱平面内弯矩影响较大,方向与竖向荷载作用下相反。地震作用对平行于其输入方向一字形柱的平面内弯矩影响较大。

2.4 各荷载作用下板受力分析

板在各荷载作用下的内力详见表4(应力以受拉为正)。从表中数据可以看出:预应力对板的受力及变形影响显著。板边最小负弯矩出现在板边与一字形边柱相交节点处,预应力的施加使其弯矩值减小了大约70%,同时也使跨中板底的最大正弯矩数值减小70%左右。楼板中预应力的施加,有效减小了板底拉应力及板边拉应力,预应力的施加有效控制了板的变形,明显减小了板的挠度,将近50%。

表4 板挠度及弯矩计算结果

项目	恒载+活载	预应力作用下	恒载+活载+预应力
板底最大正弯矩/(KN·m·m ⁻¹)	39.9	-26.7	13.2
板底应力/MPa	5.9	-6.4	-0.4
板边最小负弯矩/(KN·m·m ⁻¹)	-48.8	35.8	-13.0
板边应力/MPa	8.2	-7.8	0.4
板挠度/mm	-14.7	7.2	-7.4

3 结论

通过以上的数据分析,初步判断本文所研究的大跨度预应力混凝土住宅结构体系具有以下受力特性:

1) 预应力的施加很好地改善了楼板的受力状态,明显减小了楼板的挠度,减小了楼板中拉应力,能有效防止裂缝的出现。

2) 板上施加预应力对边梁的影响较大,次弯矩在梁中总体呈不利影响。由于板跨较大,在竖向荷载作用下边梁承受较大的扭矩,尤其是梁与角柱相交截面,楼板中预应力的施加使其扭矩增大。地震作用对边梁的弯矩影响较大,对扭矩影响较小。

3) 一字形边柱在竖向荷载作用下,平面外弯矩较大,而其平面外抗弯刚度较小,因此成为结构的薄弱环节。预应力的施加使一字形边柱平面内弯矩明显增加,而对其平面外弯矩的影响很小。一字形柱两主轴方向抗侧刚度相差较大,在水平地震作用下,弯矩明显改变的仅是平行于地震作用方向的一字形边柱的平面内弯矩。

4) 与一般预应力框架结构中预应力的施加对角柱柱顶产生有利影响不同,楼板中预应力的施加对角柱柱顶截面产生不利影响,柱顶预应力次弯矩与竖向荷载作用下产生的弯矩同向,使角柱弯矩增加。水平地震作用下,柱底截面弯矩增大明显。

参考文献:

- [1] 郑锐谋,卢辉,陈茂义,等.大开间住宅体系无粘结预应力混凝土楼板试点工程[J].建筑技术,21(6):339-341.
- [2] 刘伟,梁为祥,李哲峰,等.预应力平板在穗明珠楼多层住宅中的应用[J].广东土木与建筑,2003,9(9):48-50.
- [3] 吴祥威,李慧莹.无粘结预应力梁板的施工实例[J].建筑技术开发,2002,29(5):59-61.
- [4] 房贞政,陈国栋.大开间无粘结预应力混凝土板的模型试验[J].建筑结构,1999,(8):7-9.
- [5] 《规程》编制组.天津市异形柱框轻结构的研究及技术规程编制[J].建筑结构,1999,(1):7-10.
- [6] 容柏生.高层建筑结构中的短肢剪力墙结构体系[J].建筑结构学报,1997,8(6):14-19.

Preliminary Investigation of Stress Performance of Large Span Prestressed Concrete Residence Structure

ZHANG Lin, JIAN Bin, HUANG Zong-ming

(College Civil Engineering, Chongqing University, Chongqing 400030, China)

Abstract: This paper provides finite element analysis of one typical large span prestressed concrete residence monolayer structure. The application of prestressing force favors the stress status of the floor slab, and obviously reduces the deflection of floor slab, and effectively postpones the appearance of crack. Different from the regular prestressed concrete frame, the application of prestressing force in floor slab produces unfavourable effect on the beam and the colume. Due to the large span of the floor slab, the moment torsion of the beam, under the vertical load, is obvious. The two principal axis resistance stiffness to lateral bending of the “一”-shaped colume is apparently different.

Key words: prestressed concrete; large span residence structure; stress performance

(编辑 姚飞)