

# 地基刚度对 L 形带裙房高层建筑结构 - 基础 - 地基共同作用的影响

许翊<sup>1</sup>, 张庆文<sup>2</sup>, 刘德稳<sup>2</sup>, 陈虎<sup>3</sup>, 赖正聪<sup>4</sup>, 苏何先<sup>4</sup>

(1. 内江职业技术学院 建筑工程系, 四川 内江 641100; 2. 西南林业大学 土木工程学院, 云南 昆明 650000; 3. 西南交通大学 土木工程学院, 四川 成都 610000; 4. 昆明理工大学 土木工程学院, 云南 昆明 650000)

**摘要:**建立了某实际工程 L 形带裙房高层建筑三维分析模型, 采用分层地基模型模拟地基土, 引入缝连接单元, 对不设缝带裙房高层建筑进行了上部结构 - 桩筏基础 - 地基共同作用分析, 主要讨论地基刚度的变化对上部结构和桩筏基础的影响, 研究表明: 竖向荷载作用下, 当地基刚度增大时, 上部结构中心区和翼缘区的边柱和角柱轴力减小, 而中柱的轴力增大, 趋向于非共同作用; 主楼与裙房基础的平均沉降随着地基刚度的增加而减小, 但当地基刚度增大到一定程度时影响减弱; 主楼与裙房各自的沉降差也随地基刚度的增加而减小, 减小幅度趋于平缓; 随着地基刚度的增加, 其桩顶反力曲线趋缓, 也即桩顶反力逐渐变得均匀。

**关键词:** L 形带裙房的高层建筑; 结构 - 基础 - 地基共同作用; 分层地基; 地基刚度

中图分类号: TU973+.23 文献标志码: A 文章编号: 1672-9102(2014)02-0062-04

## Concurrent functional influence research of L - shaped podiums high - rise structure with different ground stiffness

Xu Yi<sup>1</sup>, Zhang Qing - wen<sup>2</sup>, Liu De - wen<sup>2</sup>, Chen Hu<sup>3</sup>, Lai Zheng - cong<sup>4</sup>, Su He - xian<sup>4</sup>

(1. Department of Architectural Engineering, Neijiang Vocational & Technical College, Neijiang 641100, China;

2. College of Civil Engineering, Southwest Forestry University, Kunming 650000, China;

3. College of Civil Engineering, Southwest Jiaotong University, Chengdu 610000, China;

4. College of Civil Engineering, Kunming University of Science and Technology, Kunming 650000, China)

**Abstract:** The three - dimensional analytical model was built on L - shaped high - rise buildings with podium, adopts layered ground model to simulate subsoil, joint connection unit was introduced, a combined action analysis of upper - structure - piled raft foundation - ground was made on high - rise buildings that do not set up joint, the influence was discussed which of change of ground stiffness on upper structure and piled raft foundation. It is indicated in the research that axial force of side and corner pillars, that are separately located in flange and central area of upper structure, decreases, while axial force of central pillar increases and tends to be uncombined action under vertical load when ground stiffness increases. Average settlement of main building and podium foundation decreases with the increase of ground stiffness. But this influence declines when ground stiffness increases to a certain degree. Settlement difference of main building and podiums decreases slowly with the increase of ground stiffness. With the increase of ground stiffness, reaction curve of top of pillar tends to be slowly, meaning that reaction of top of pillar is gradually well - distributed.

**Key words:** L - shaped high - rise buildings with a podium; combined action; layered foundation; ground stiffness

收稿日期: 2013 - 06 - 06

基金项目: 云南省科技厅应用基础研究项目(2011FZ143); 云南省省级森林工程特色专业基金(501035); 云南省省级结构工程实验教学示范中心建设基金(501042)

通信作者: 张庆文(1968 - ), 男, 云南昆明人, 博士, 教授, 主要从事结构工程研究. E - mail: zhangqingwen123@126.com

在一般房屋结构的总体布置中,考虑到沉降、温度收缩和体型复杂对房屋结构的不利影响,常常用沉降缝、伸缩缝或防震缝将房屋分成若干独立的部分.常常由于建筑使用要求和立面效果考虑,以及采暖通风、电气管线设置不便、防水处理困难等,希望少设或不设缝.而对于不设缝的高层建筑主楼与裙房之间对差异沉降的控制,是目前高层建筑设计过程中的一个棘手问题.

高层建筑基础分析与设计方法大体经历几个发展阶段:不考虑共同作用的阶段、简单考虑共同作用阶段、考虑地基与基础共同作用阶段、考虑上部结构与地基和基础共同作用阶段<sup>[1]</sup>.近年来,考虑结构-基础-地基共同作用的研究逐步增多<sup>[2-3]</sup>.对于带裙房高层建筑,一般采取措施分批处理,常见的有子结构法和波前法<sup>[4-5]</sup>.波前法效率高,但程序处理复杂,不便于耦合不同结构体系间的共同作用.子结构法则有许多优越之处,因此高层结构与地基基础共同作用分析时经常采用子结构法<sup>[6-7]</sup>.通过建立上部结构-地基-基础共同作用的基本方程,可以对基础沉降和结构内力进行分析<sup>[8-9]</sup>.目前对于带裙房的不设缝高层建筑的结构-基础-地基共同作用研究仍处于初步阶段,其中较多的是工程设计施工方面的经验介绍,而缺乏系统的理论分析.因此,亟须对此类建筑物进行共同作用分析,探讨其规律性,以为设计和施工提供更合理的依据.本文通过对一建筑上常见的L形带裙房高层建筑的实例的结构-桩筏基础-地基共同作用分析,探讨地基刚度变化对上部结构和桩筏基础的影响.

## 1 实例分析

### 1.1 实例模型介绍

某实际工程模型如图1~图3所示.带裙房框架剪力墙结构,主体上部结构为14层(其中第1层为地下室),裙房3层,裙房底板与主楼地下室筏板错层,高差3.5 m.柱采用C40混凝土,梁和桩采用C35混凝土.主体结构地面一层层高均为4.5 m,地面二层层高均为4.0 m,其他各层3.3 m,裙房一层6.0 m,二层层高4.0 m.楼板厚度0.12 m,主体筏板厚0.3 m,裙房底板0.12 m.地下室层高5.0 m,地下室外墙厚0.3 m.筏板的厚度为0.4 m;桩筏基础,桩的布置一柱一桩,桩为钻孔桩,主楼桩长30 m,桩径1 m,0.8 m;裙房桩长13 m,桩径0.8 m.

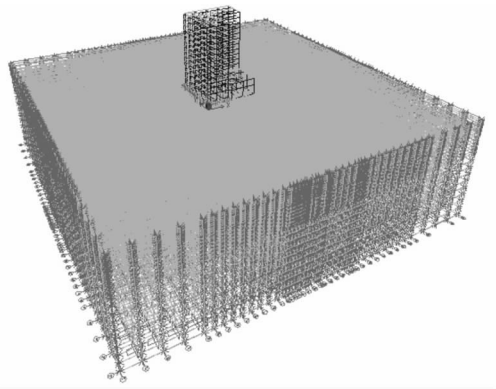


图1 结构-基础-地基共同作用三维模型

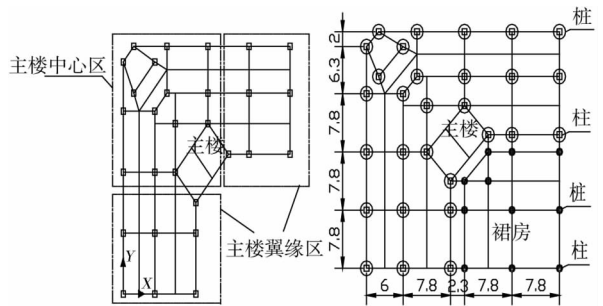


图2 分区示意图及尺寸图

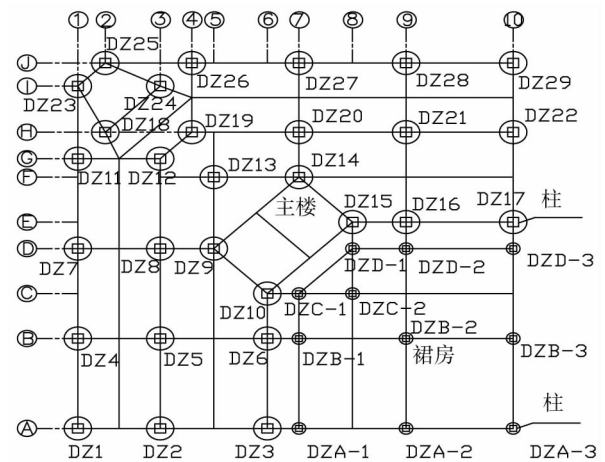


图3 轴线编号及桩位编号

### 1.2 计算假定及计算参数

计算模型的基本假定:1)上部结构钢筋混凝土梁、柱、板、墙和筏板基础、桩均为线性;2)桩与周围土体始终接触紧密,即在变形过程中,它们之间不产生相对滑动或脱离;3)地基土采用分层地基模型,土体材料为连续弹性体;4)地下室侧墙、筏板底与土体接触面法向只承受压力,切向考虑全摩擦,为完全接触.计算模型考虑荷载工况:竖向荷载工况包括结构自重及每层楼面恒荷 $1.5 \text{ kN/m}^2$ ,活荷 $2.0 \text{ kN/m}^2$ ,梁上均布恒荷 $4.5 \text{ kN/m}$ .模型计算参数见表1.

表1 模型计算参数

	弹性模量/MPa	泊松比	土重度/(kN/m <sup>3</sup> )	单元类型	备注
柱	32 500.0	0.20	24.5	杆单元	
梁	31 500.0	0.20	24.5	杆单元	
楼板、地下室外墙	31 500.0	0.20	24.5	壳单元	
筏板	31 500.0	0.20	24.5	厚板单元	
桩	31 500.0	0.20	24.5	杆单元	
土层1(粉质粘土)	7.5	0.35	19.0	8节点实体单元	1 m一小层,总厚3.5 m
土层2(粘土)	13.5	0.35	20.8		2 m一小层,总厚9.5 m
土层3(稍密卵石)	33.0	0.35	22.0		3~5 m一小层
接触面				GAP(缝单元)	

### 1.3 模型单元类型的选取

1) 上部结构选取:梁柱采用杆单元,楼板、墙采用壳单元;2) 筏板单元选取厚板单元;3) 桩采用杆单元;4) 地下室外墙及筏板与土接触面采用缝(只压)连接单元.缝单元行为描述如下:

$$f = \begin{cases} k(d + \text{open}) & d + \text{open} < 0; \\ 0 & d + \text{open} \geq 0. \end{cases}$$

式中, $k$ 为弹簧刚度, $\text{open}$ 为初始缝宽度,将非线性连接刚度 $k$ 设为一个较大的值使连接单元本身的刚度很大来模拟地下室外墙及筏板与土接触面,其自身产生的变形 $d$ 可以忽略;5) 非线性间隙单元的作用是,强制计算模型中的表面只传递压力,而且当表面没有接触时不能够产生拉力.这可以通过连接2个表面的同一空间节点、垂直于表面的间隙单元来实现.间隙单元的轴向刚度必须选择为足够大,以便通过间隙单元内的最小变形(相对于表面上的节点刚度而言)来传递压力.然而,如果间隙单元的刚度太大,就会在求解时产生数值问题;6) 地基土的模拟:采用分层地基模型模拟地基土,地基土的计算范围取5~8倍基底宽度.

## 2 地基刚度对共同作用的影响分析

分别取地基刚度 $E_s$ 为10 MPa,20 MPa,30 MPa,40 MPa时的整体结构,分析在不同地基刚度时上部结构柱轴力、桩筏基础的沉降特性、梁筏板弯矩、桩顶反力的分布的变化特征.

### 2.1 地基刚度对上部结构的影响

共同作用的整体结构,改变其地基刚度,计算出的上部结构柱轴力的变化.

由图4可以看出,1)当地基刚度增大时主楼翼缘和裙房的边跨的轴力减小,即边柱和角柱轴力也减小;2)对于翼缘中跨的轴力变化可知,主楼和裙房中柱轴力增加,而边柱的轴力减小,而且主楼柱轴力曲线的变化从马鞍形向下凸形转变;3)对于主楼中心区和翼缘区的比较,中柱的轴力都有

所增大,翼缘边柱的轴力随地基刚度的增加而减小,而且它们的变化趋势都趋于变缓.

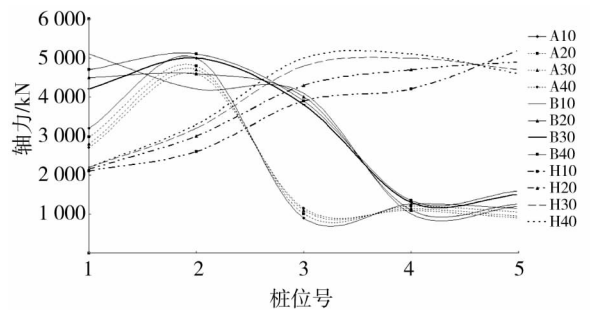


图4 不同地基刚度下A,B,H轴柱轴压力

### 2.2 地基刚度对桩筏基础的影响

计算模型仅地基刚度变化,其他参数不变.下面主要分析选取A,B,H轴线上的桩顶沉降及桩顶反力,以考察主楼与裙房边跨、中跨以及主楼中心区与翼缘区的沉降在地基模量改变时的变化特征;并通过比较,选取F,C轴线上的梁筏板的总弯矩来考虑地基模量改变时对结构的梁筏板的内力影响;最后还比较分析了结构的整体平均沉降、差异沉降、倾斜等参数的变化特点.

由图5可知:1)主楼与裙房的沉降量曲线几乎平行减小,而且相邻2条曲线之间的间距也在减小,说明随着地基刚度的增加,主楼与裙房的沉降量减小,而且减小幅度趋缓;2)主楼与裙房交界处的局部沉降差,随着地基刚度的增加,沉降差减小.

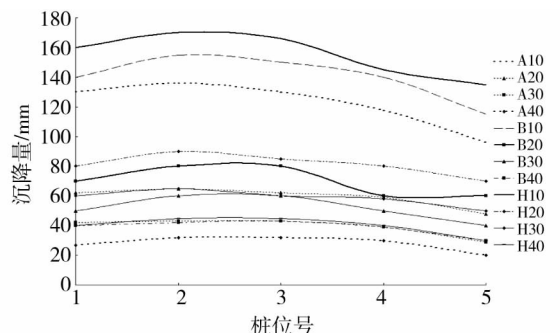


图5 不同地基刚度下A,B,H轴线沉降量

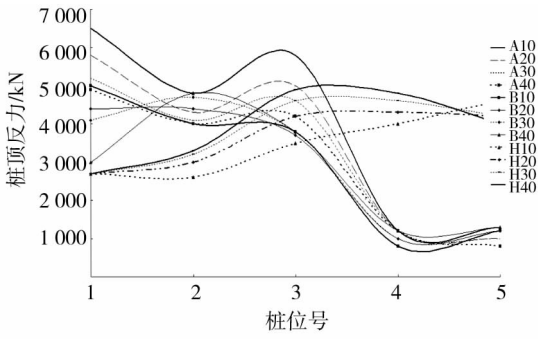


图6 不同地基刚度下 A,B,H 轴线桩顶反力

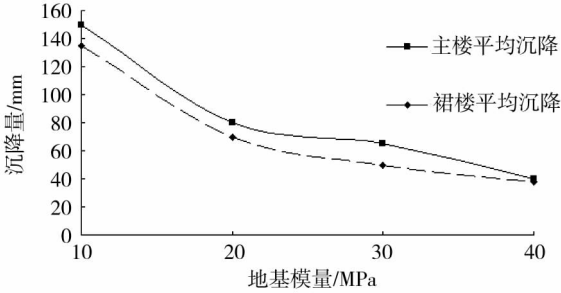


图7 不同地基刚度下主楼与裙房平均沉降量

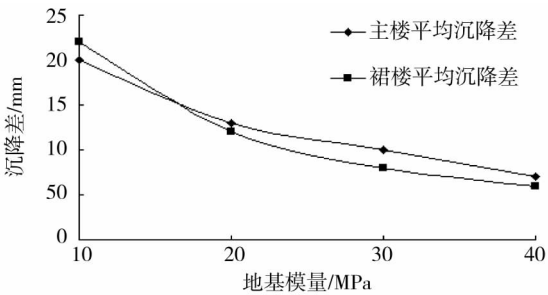


图8 不同地基刚度下主楼裙房沉降差

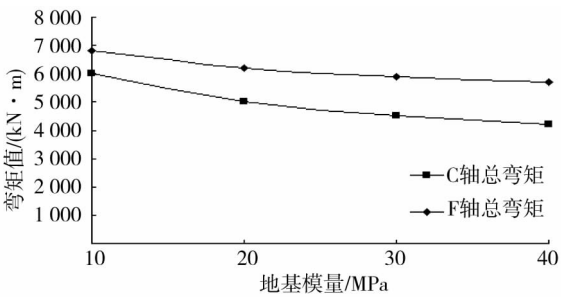


图9 不同地基刚度下 F,C 轴的总弯矩

由图6可知,1)当地基刚度增大时主楼翼缘和裙房的边跨的桩顶反力减小,主楼桩顶反力呈马鞍形,角桩相对于中桩减小要快,而且还可发现随着地基刚度的增加,其桩顶反力曲线趋缓,也即桩顶反力逐渐变得均匀;2)对于翼缘中跨的桩顶反力变化可知,主楼和裙房中桩反力增加,而边桩、角桩的轴力减小。

由图7可知,随着地基刚度的增加,主楼与裙房的平均沉降量减小,而且减小趋势也逐渐趋缓,

同时还可发现两条曲线的间距逐渐减小,从而说明主楼与裙房之间的差异沉降也在减小。

由图8可知,主楼与裙房各自的沉降差也随地基刚度的增加而减小,而且减小幅度也是趋于平缓。

由图9可知,随着地基刚度的增加,基础底的弯矩呈递减变化趋势,而且C轴线上的总弯矩减小的要更快些。

### 3 结论

1)地基刚度的变化对上部结构的影响:当地基刚度增大时,中心区和翼缘区的边柱和角柱轴力减小,而中柱的轴力增大,趋向于非共同作用。

2)地基刚度的变化对桩筏基础的影响:主楼与裙房基础的平均沉降随着地基刚度的增加而减小,但当地基刚度增大到一定情况时影响减弱;主楼与裙房各自的沉降差也随地基刚度的增加而减小,而且减小幅度也是趋于平缓;随着地基刚度的增加,其桩顶反力曲线趋缓,也即桩顶反力逐渐变得均匀。

3)桩筏基础应尽量落在刚度较大的土层上。这在实际工程中已有应用,例如在筏下铺一层碎石经过碾压密实,可以显著提高桩筏基础的共同作用效果,取得了很好的经济效益。

### 参考文献:

[1] 任秀文. 竖向荷载作用下预制管桩桩土共同作用的数值分析[J]. 重庆交通大学学报, 2011, 30(21): 550-554.

[2] 张向东. 考虑桩土共同作用的钻孔灌注桩承载性状分析[J]. 力学与实践, 2012, 34(5): 41-47.

[3] 周万清. 软土地基超长PHC管桩的荷载传递机理分析[J]. 科学技术与工程, 2010, 10(19): 4839-4842.

[4] 张乾青. 桩-土共同作用研究[J]. 岩土工程技术, 2008, 22(4): 169-172.

[5] 朱红波. 叠加原理在L形高层建筑整体筏板基础沉降计算中的应用[J]. 建筑科学, 2008, 24(5): 13-16.

[6] 熊仲明. 高层建筑上部结构-桩-土共同作用特性的分析与研究[J]. 工业建筑, 2002, 32(12): 1-4.

[7] Gong J F, Huang X L, Di D H. Settlement calculation of large-area thick raft foundation under irregular high-rise buildings[M]. Taipei: World Scientific, 2006.

[8] 聂庆科. 3栋相邻高层建筑上部结构-基础-地基相互作用研究[J]. 建筑结构学报, 2012, 33(9): 87-95.

[9] 钱力航. 高层建筑箱形与筏形基础的设计计算[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2003.