

# 带梁式转换层的超限高层建筑设计

韩小雷, 杨坤, 郑宜, 季静

(华南理工大学 建筑学院高层建筑结构研究所, 广州 510640)

**摘要:** 介绍了广州某带主次梁式转换层的超限高层建筑设计, 详细介绍了其结构转换层的方案选择、结构布置、结构分析与构造处理, 并结合此工程总结了带梁式转换层的高层建筑设计关键问题。

**关键词:** 超限高层建筑; 结构转换层; 结构设计

**中图分类号:** TU973 **文献标识码:** A **文章编号:** 1007-855X(2004)06-0084-04

## Structural Design of Tall Building beyond the Code Limits with Girder Transfer Floor

HAN Xiao-lei, YANG Kun, ZHENG Yi, JI Jing

(Tall Building Structure Research Institute, South China University of Technology, Guangzhou 510640, China)

**Abstract:** The structural design of one tall building beyond the code limits with girder transfer floor in Guangzhou is introduced. The choice of the structure transfer floor, structural arrangement and analysis, and structural disposing are detailed. Based on the study of this project, the key problems of the structural design of the tall buildings with the girder transfer floor the paper are put forward.

**Key words:** tall building beyond the code limits; structure transfer floor; structural design

### 0 引言

本工程位于广州市滨江东路海印桥西侧, 用地沿珠江南岸长条形布置, 占地面积 $5751\text{ m}^2$ , 总建筑面积 $48974\text{ m}^2$ , 其中地上面积 $42694\text{ m}^2$ , 地下面积 $6280\text{ m}^2$ , 具有一线江景的优越地理位置。

根据广州市规划局和开发商的要求, 本工程以商住楼为主, 同时建设一定面积的办公楼。为了充分发挥该地块临珠江的优越地理位置, 使住宅和办公楼尽可能多的房间面对珠江, 建筑师通过多轮方案比较, 最终确定住宅采用“蝶形”平面布置, 使住宅的厅、房均面对珠江。

### 1 结构选型与结构布置

本工程为单栋建筑, 地下五层, 地上三十一层。地下室为车库和设备用房, 首层为商场, 二、三层为办公楼, 四层为会所兼作转换层, 要求有较大的柱网, 采用框架剪力墙结构; 五至三十一层为住宅, 采用剪力墙结构。四层以上墙体除楼、电梯间墙体落地以外, 其余墙体均未落地, 其内力需经转换构件来传递。由于厚板转换传力路线不清晰, 受力复杂, 会引起转换层附近构件应力集中现象严重, 故采用主次梁转换(见图1、图2、图3)。

梁式转换层受力明确, 施工相对简单, 同时, 在转换梁受力较小部位可以开设合适的洞口, 容易满足建筑功能和设备管线布置的要求。因此, 本工程采用梁式转换层, 转换层的层高 $5.7\text{ m}$ , 转换主梁最大截面为 $1400\text{ mm} \times 2500\text{ mm}$ , 典型转换主梁截面为 $900\text{ mm} \times 2500\text{ mm}$ , 典型转换次梁截面为 $600\text{ mm} \times 2200\text{ mm}$ 和

收稿日期: 2004-07-13. 基金项目: 广东省自然科学基金资助课题(项目编号: 031410)。

第一作者简介: 韩小雷(1964~), 男, 博士, 教授, 一级注册结构工程师、英联邦结构工程师协会特许注册结构工程师。

主要研究方向: 高层建筑结构. E-mail: 13802945532@vip.163.com.

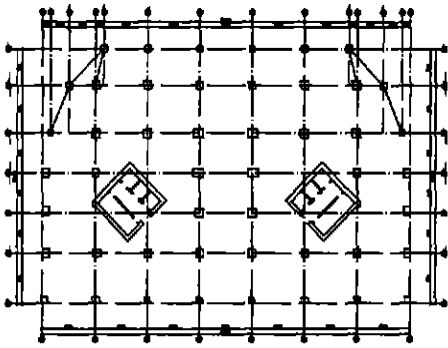


图 1 裙房竖向构件布置图

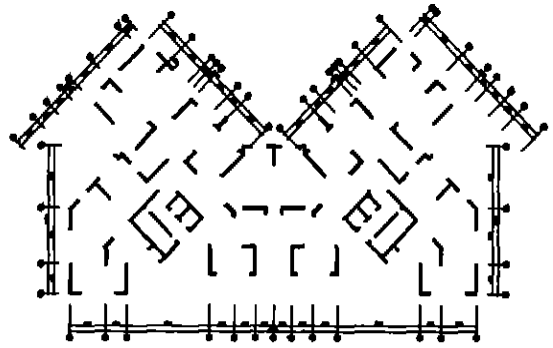


图 2 住宅标准层竖向构件布置图

Fig.1 Vertical members plan of the annex

Fig.2 Vertical members plan of the standard storey

800 mm × 2 200 mm. 转换层板厚取为 200 mm, 转换梁托上部剪力墙, 转换层结构混凝土强度等级为 C45.

### 2 结构分析

本工程属丙类建筑, 抗震设防烈度为 7 度, 设计基本地震加速度值为 0.1g, 设计地震分组为第一组, 100 年重现期的基本风压值  $\omega_0 = 0.6 \text{ kN/m}^2$ , 地面粗糙度 C 类, 建筑体形系数  $\mu_s = 1.4$ . 采用中国建筑科学研究院 PKPM CAD 工程部开发的 SATWE(空间杆—墙板元模型) 和 TAT(空间杆—薄壁杆系模型) 程序进行结构计算, 并采用 PMSAP 分析楼板应力, 其结构自振周期、剪重比、基底剪力、位移及倾覆弯距计算结果列于表 1、表 2、表 3、表 4.

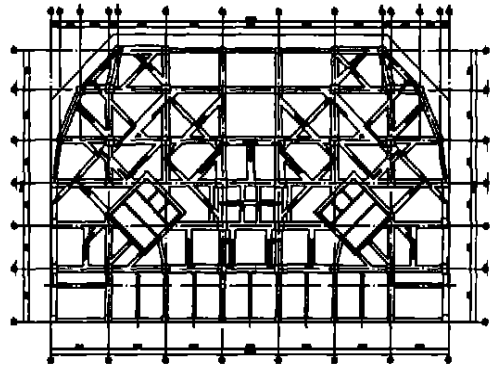


图 3 转换层结构平面布置图

Fig.3 Structural plan of the transfer storey

表 1 采用 SATWE 计算的结构自振周期

Tab 1 Natural vibration periods by SATWE

周期(s)	振型特征	平动系数 (X+Y)	扭转系数
$T_1$	Y 向平动	0.00+ 1.00	0
$T_2$	X 向平动	0.99+ 0.00	0.01
$T_3$	扭转	0.01+ 0.00	0.99

表 2 采用 TAT 计算的结构自振周期

Tab.2 Natural vibration period by TAT

周期(s)	振型特征	方向角	平动比例	转动比例
$T_1$	Y 向平动	92.46	1	0
$T_2$	X 向平动	2.46	0.97	0.03
$T_3$	扭转	9.37	0.03	0.97

正常设计的高层建筑下部楼层侧向刚度宜大于上部楼层侧向刚度, 否则变形会集中于刚度小的下部楼层而形成薄弱层, 为了防止这种薄弱层的出现, 《高规》<sup>[1]</sup> 要求楼层侧向刚度不宜小于上部相邻楼层的 70% 或其上相邻三层侧向刚度平均值的 80%. 在本工程中转换层上一层剪力墙厚度为 200~ 350 mm, 混凝土强度等级为 C45, 转换层及以下结构的剪力墙厚度加大为 550~ 700 mm, 柱子截面尺寸取 1 100 mm × 1 100 mm、1 200 mm × 1 200 mm 等, 混凝土强度等级为 C45, 得到转换层同其上一层的侧向刚度比为 X 向 0.74、Y 向 0.68.

《高规》<sup>[1]</sup> 附录 E 规定, 底部大空间层数大于 1 层时, 其转换层上部与下部结构的等效侧向刚度比  $\gamma_e$  宜接近 1, 非抗震设计时  $\gamma_e$  不应大于 2, 抗震设计时  $\gamma_e$  不应大于 1.3, 本工程转换层上、下层结构的等效侧向刚度比  $\gamma_e$  为 X 向 0.299 7、Y 向为 0.298 6.

新《高规》<sup>[1]</sup>、《抗规》<sup>[2]</sup> 出来以后, 更加强调概念设计, 但其中一些量化指标不够合理, 为此广州市建委联合了四家设计院对规范中的一些条文进行了细化, 提出了侧向刚度规则性由层间位移角比值控制<sup>[3]</sup>, 即该层的层间位移角  $\theta_i = (\Delta_i - \Delta_{i-1}) / h_i$  大于相邻上一层 1.3 倍或大于其上相邻三个楼层层间位移角平均值的 1.2 倍时为侧向刚度不规则, 其中  $\Delta_i$ 、 $\Delta_{i-1}$  为第  $i$  层、 $i-1$  层水平弹性位移,  $h_i$  为第  $i$  层层高. 本工程转换层的层间位移角同其上一层的层间位移角比为 X 向 0.928、Y 向 1.053.

结构平面布置应减少扭转的影响,本工程的扭转规则性分析见表5。

从表6可见,转换层剪力墙在常遇地震作用下剪应力水平( $V/f_c b h_0$ )为0.011,转换层上一层剪力墙剪应力水平也为0.011,在工程界,最近又提出了另一水平地震作用增大系数法<sup>[4]</sup>来设计转换结构,该方法的思路是:假设结构在罕遇地震作用下仍处于弹性状态,根据规范给出的多遇地震和罕遇地震的水平地震影响系数最大值 $\alpha_{max}$ 的比值来放大多遇地震作用下的水平地震作用,而此不考虑规范规定的荷载分项系数和材料分项系数。比如,7度0.10g地区, $\beta = \frac{\text{罕遇地震 } \alpha_{max}}{\text{多遇地震 } \alpha_{max}} = \frac{0.50}{0.08} = 6.25$ ,则设计转换结构时的内力组合为 $G + \beta E = G + 6.25E$ ,其中 $G$ 为重力荷载作用标准值, $E$ 为多遇地震作用下的水平地震作用标准值;而与此内力组合对应的转换结构设计采用材料的标准值而不是设计值。采用这种方法可以得出在罕遇地震作用下,不考虑转换层框支柱的贡献,落地剪力墙的最大剪应力水平仅为0.110,可以保证在规范规定罕遇地震作用下剪力墙不发生剪切破坏。

转换层楼板应力分析:由PMSAP结果分析可见:在常遇地震作用下,楼板最大主拉应力为 $0.69 \text{ MPa} < f_t = 1.80 \text{ MPa}$ ;楼板最大剪应力为 $0.35 \text{ MPa} < 0.7f_t = 1.26 \text{ MPa}$ ;采用增加系数法<sup>[4]</sup>可得出罕遇地震作用下,楼板最大主拉应力平均值为 $2.16 \text{ MPa} < f_{tk} = 2.51 \text{ MPa}$ ;楼板平均最大剪应力为 $0.75 \text{ MPa} < 0.7f_{tk} = 1.76 \text{ MPa}$ 。

标准层楼板应力分析结果同上,满足材料强度要求,这里不再赘述。

### 3 带转换层的高层建筑设计关键问题

根据建设部建质[2003]46号文件“关于印发《超限高层建筑工程抗震设防专项审查技术要点》的通知”<sup>[5]</sup>,本工程属于超限高层建筑,结合本工程的设计总结了以下带梁式转换层的高层建筑设计的主要抗震措施。

(1) 保证大空间层有足够的刚度,防止沿竖向刚度变化过于悬殊,严格控制转换层上下结构侧向刚度比。抗震设计时,转换层结构侧向刚度不小于其上一层结构侧向刚度的70%。根据《高规》<sup>[1]</sup>附录E控制转换层上下结构等效侧向刚度比宜大于1.0,不应大于1.3。为此应保证一定比例的剪力墙落地,加大落地剪力墙的厚度,提高落地剪力墙混凝土强度等级,减小洞口尺寸,使纵横墙尽量连接形成筒体。

(2) 加强转换层楼板平面内的整体性和刚度,采用现浇混凝土楼板,板厚取为200mm,同时加强转换

表3 地震作用下结构主要计算结果

计算程序	SATWE		TAT		
	X向	Y向	X向	Y向	
顶点位移	$\Delta/\text{mm}$	37.06	40.9	35.23	35.74
	$\Delta/H$	1/2 771	1/2 511	1/2 915	1/2 873
最大层间位移	$\delta/\text{mm}$	1.44	1.6	1.49	1.49
	$\delta/h$	1/2 082	1/1 879	1/2 011	1/2 014
所在楼层	17		17		
转换层层间位移	$\delta/\text{mm}$	0.87	0.94	0.64	0.75
	$\delta/h$	1/6 530	1/6 084	1/8 959	1/7 642
基底剪力 $Q_0/\text{kN}$	11 129	11 591	10 904	11 044	
倾覆弯距 $/\text{kN}\cdot\text{m}$	500 648	498 757	489 726	497 003	
剪重比/%	1.78	1.85	1.76	1.79	

表4 风荷载作用下结构主要计算结果

计算程序	SATWE		TAT		
	X向	Y向	X向	Y向	
顶点位移	$\Delta/\text{mm}$	22.86	39.94	20.96	35.28
	$\Delta/H$	1/4 492	1/2 571	1/4 899	1/2 910
最大层间位移	$\delta/\text{mm}$	0.93	1.63	0.88	1.45
	$\delta/h$	1/3 238	1/1 842	1/3 400	1/2 173
所在楼层	17		17		
基底剪力 $Q_0/\text{kN}$	5 014	8 258.3	5 018	8 262	
倾覆弯距 $/\text{kN}\cdot\text{m}$	309 569	513 821	309 639	513 880	

表5 采用SATWE计算的扭转规则性分析

扭转第一周期 $T_i$		1.9846		
平动第一周期 $T_1$		2.398		
$T_i/T_1$		0.83		
扭转规则性		X向	Y向	
平面扭转	双向地震	所在楼层	1	2
		平均层间位移角 $\delta_1$	1/11 842	1/7 017
		最大层间位移角 $\delta_2$	1/10 227	1/6 586
	$\delta_2/\delta_1$	1.17	1.07	
最大楼层	单向地震 + 偶然偏心	所在楼层	1	1
		平均层间位移角 $\delta_1$	1/11 482	1/11 482
		最大层间位移角 $\delta_2$	1/9 285	1/9 301
	$\delta_2/\delta_1$	1.26	1.28	

层下一层楼板平面内刚度, 板厚取为150mm; 结构布置尽量左右对称, 加强薄弱部位楼板的厚度及配筋; 在结构整体分析中, 考虑薄弱部位楼板平面内变形对结构受力的影响; 通过调整剪力墙的布置方式, 使结构质心和刚心接近, 避免扭转; 平面尽量布置规则。

(3) 按《工程场地地震安全性评价报告》提供的人工合成地震波加速度和选择两条典型的地震波加速度记录, 进行结构弹性时程分析; 采用两个不同力学模型的结构空间分析程序进行计算, 一个采用空间杆—薄壁杆系模型, 另一个采用空间杆—墙板元模型; 计算中考虑双向地震作用下的扭转影响; 除计算正交的  $X$ 、 $Y$  向外, 还计算可能受力不利的  $45^\circ$  和  $135^\circ$  方向。

(4) 控制风荷载和地震作用下结构层间位移角, 地震作用要满足规范对地震基底剪力与重力荷载代表值的比值限制; 控制结构底部加强区剪力墙及其他部分剪力墙、框支柱及非框支柱轴压比。

(5) 适当加强框支剪力墙转换层以下竖向构件的配筋率。按《高规》<sup>[1]</sup> 验算结构抗倾覆和整体稳定; 采用现浇钢筋混凝土楼板, 增强结构整体性; 核心筒内部楼板厚采用 150mm, 双层双向配筋; 围护材料选用新型轻质材料, 有利于减轻建筑自重, 减小地震反应。

#### 参考文献:

- [1] 中华人民共和国行业标准. JGJ3—2002 高层建筑混凝土结构技术规程[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2002.
- [2] 中华人民共和国国家标准. GB50011—2001 建筑抗震设计规范[S]. 中国建筑工业出版社, 2001.
- [3] 广州市超限高层建筑工程抗震设防审查专家委员会. 超限高层建筑工程抗震设防审查细则(送审稿)[Z]. 广州市超限高层建筑工程抗震设防审查专家委员会, 2004.
- [4] 李少云. 广州东晖花园第四组团结构初步设计研究[Z]. 瀚华建筑设计有限公司, 2002.
- [5] 建设部. 建质[2003]46号: 超限高层建筑工程抗震设防专项审查技术要点[Z], 2003.

(上接第83页)

### 3 结论

利用 Fourier 变换进行频谱分析是目前电磁兼容性 EMI 测量分析的基本理论和方法, 广泛应用于电磁兼容测试和电磁兼容预测分析。但由于电磁骚扰信号是一种频带很宽的信号, 并且信号的构成非常复杂, 属于非平稳随机信号, 因而 Fourier 分析在数学上的一些局限性使它在进行电磁兼容预测测试诊断、瞬变信号、突变信号的提取上遇到很大的困难。小波分析作为时频分析工具, 通过小波窗口的变化和平移, 可以对信号进行时间和频率的同时分析, 可以给出频率的时间特性, 而这些时间特性在 EMI 分析中有着重要的作用。因此, 本文提出了用小波分析理论方法分析 EMI 信号, 在理论上具有重要的意义, 仿真实例研究表明这种方法是可行的。

#### 参考文献:

- [1] 杨福生. 小波变换的工程分析与应用[M]. 北京: 科学出版社, 2000. 5~10, 42~64.
- [2] 高攸刚. 展望 21 世纪的环境电磁学及电磁兼容技术[C]. 北京: 99EMC 学术委员会, 第五届全国电磁兼容学术会议论文集, 1999, 1~15.
- [3] Masao Masugi, Kazuo Murawa, et al. Measurement and Analysis of Electromagnetic Pulse Caused by Electrostatic Discharge [J]. IEEE International Symposium on Electromagnetic Compatibility, 1992, 361~365.
- [4] 周力行, 李卫国. 小波分析用于局部放电信号特征分析[J]. 高电压技术, 1999, 25(2): 15~17.

表6 转换层上、下剪力墙剪应力水平  $V/fbh_0$

Tab. 6 The coefficient of  $V/fbh_0$  of Transfer storey and the upper one

		多遇地震		罕遇地震	
		X 向	Y 向	X 向	Y 向
转换层上一层		0.011	0.010	0.063	0.061
转换层	考虑柱共同承受剪力	0.011	0.010	0.066	0.061
	不考虑柱共同承受剪力	0.017	0.018	0.106	0.110