

# 高层结构设计中局部刚度突变的探讨\*

陈 其 春

(华侨大学建筑设计院, 泉州 362011)

**摘要** 结合结构设计实例对高层结构设计中如何处理局部刚度突变的问题进行探讨, 并从设计的角度提出了可行的处理方法和构造措施.

**关键词** 结构设计, 钢筋混凝土围护墙, 刚度削弱, 构造措施

**分类号** TU 972.3

某些高层建筑由于使用功能的要求, 局部楼层刚度很大. 例如, 高层银行大楼往往在第2层或第3层设有金库和保险库, 工艺要求它们的四周由较厚(250 mm以上)的钢筋混凝土墙做围护墙. 这些墙与框架梁、柱及剪力墙一起形成刚度非常大的楼层. 有些情况可以利用这个技术层做为水平加强层(或刚性转换层), 以减少高层结构的侧移. 本文认为在以下几种情况下, 不宜用技术层作为水平加强层: (1) 技术层所在部位过高或过低; (2) 适当布置剪力墙后, 建筑总侧移小于规范允许值; (3) 工艺上不允许整个技术层均匀地加强刚度. 这时, 如果结构计算中将技术层的刚度加入总体刚度中进行结构分析, 将引起总的地震作用加大, 水平力作用下局部应力集中较突出, 使结构体系的技术经济效果不佳. 如果结构计算中不考虑这部分刚度, 设计中又没有采取相应的措施, 这也不符合实际. 因为这个强大的刚度始终是存在的. 一方面, 在地震作用下, 它将产生强大的效应(尤其是楼层内刚度不均匀时); 另一方面, 与它连接的构件(如连梁)没有足够的刚度来传递这些效应. 这些连接构件就会成为整个结构体系的薄弱环节<sup>[1]</sup>. 因此, 如何处理这个技术层的刚度是一个设计技术性问题. 本文结合实例探讨这个问题, 并提出可行的解决办法.

## 1 结合结构设计实例探讨问题

### 1.1 工程实例

1.1.1 工程概况 福建兴业银行石狮分理大楼位于石狮市东环路, 建筑总面积为 14 500 m<sup>2</sup>. 地面以下为地下室, 地面以上共 22 层, 建筑总高度为 77.75 m. 第7层以下大致为矩形平面(图1); 第8层以上为 Y 形平面(图2); 第3层设有金库和保险库, 四周为钢筋混凝土围护墙, 即图1阴影部分; 每一层上、下板为 200 mm 厚的混凝土板. 基础采用人工挖孔灌注桩, 持力层为中风化花岗岩. 地下室底板埋深为 5.5 m.

\* 本文 1996-06-18 收到

1.1.2 结构方案 为满足底部营业厅大开间及其上部多功能写字楼的使用要求,采用大柱网.结合电梯间、楼梯间、管道井及卫生间等在Y形平面中部及三个端部布置剪力墙,构成框

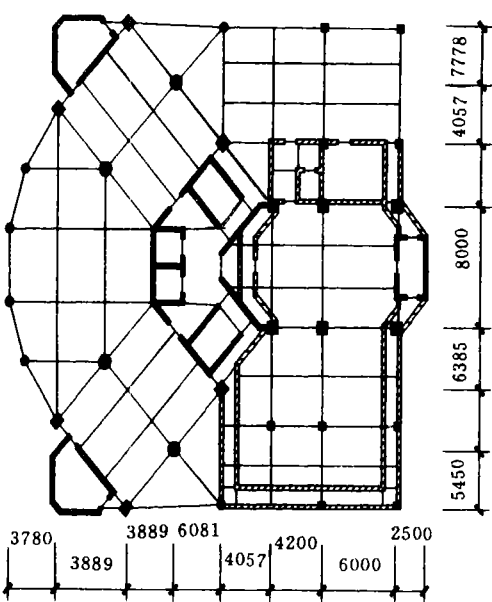


图1 第1~7层结构平面图(阴影部分仅第3层有)

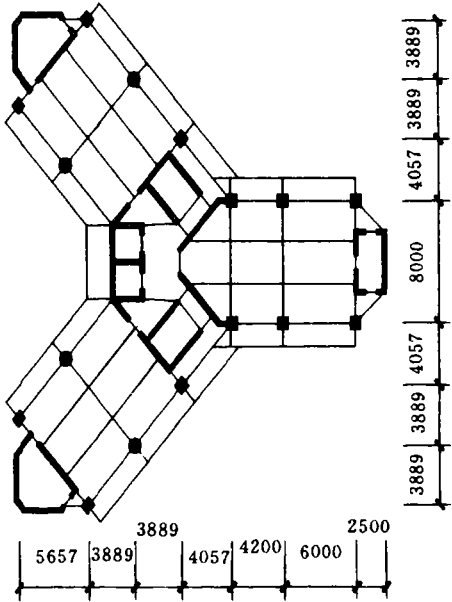


图2 第8~22层结构平面图

架-剪力墙体系.

1.1.3 计算方法 该工程按七度抗震设防,Ⅰ类场地,框架、剪力墙抗震等级为二级.场地土卓越周期:南北向 $T_y=0.37\text{ s}$ ,东西向 $T_x=0.36\text{ s}$ ,基本风压 $0.75\text{ kN}\cdot\text{m}^{-2}$ .结构计算采用中国建筑科学研究院结构所编写的高层建筑结构三维分析(TAT)程序.该程序考虑了结构空间效应,采用空间杆-薄壁单元,并引入结构板平面内刚度无限大,平面外刚度为零的假定,对结构进行三维空间分析.由于地下室外墙在梁底开出600mm高的采光窗洞,使地下室外墙刚度大大削弱,不能做为箱基考虑.所以,计算时按第1层的结构布置延伸至地下室共23层(地下室也当作1层)计算.

1.2 处理局部刚度突变的方法

计算时不考虑第3层金库和保险库钢筋混凝土墙的刚度,设计时对混凝土围护墙进行削弱.削弱的办法是在第3层框架梁上、第4层框架梁下各设100 mm宽的水平缝;在每片墙两侧柱边设置100 mm宽的竖缝;水平缝在每隔1 m处设200 mm宽的支点,这些支点用来承受自重,基本上不能传递水平力.在缝中填充弹性材料,使它能承受较大的变形(图3).

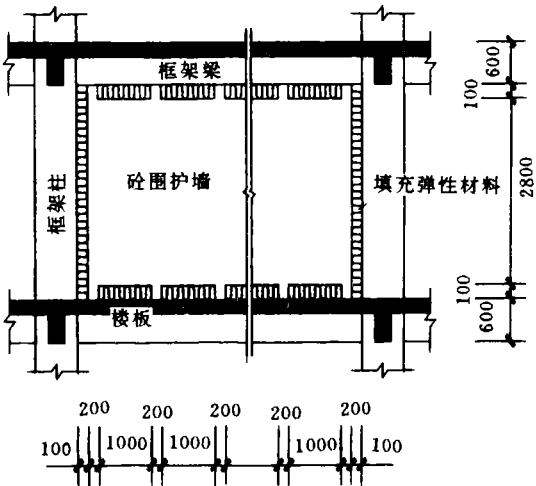


图3 砼围护墙构造详图

1.3 计算结果及其分析

现将第 3 层混凝土围护墙的刚度不削弱(以下简称削弱前)和做削弱处理(以下简称削弱后)的这两种计算结果,进行分析讨论。

1.3.1 结构动力特性 结构在地震作用下, $x,y$  方向各 9 个振型的周期见表 1。从国内高层建筑结构设计的经验来看,框-剪结构的合理周期为  $T_1=(0.06\sim0.12)N$ ,  $N$  为结构层数。表 1 反映了削弱处理前主振型的周期偏小,结构刚度偏大。削弱处理后的主振型的周期  $x$  方向在上式范围内, $y$  方向也很接近。两个方向的主振型周期都偏离场地土卓越周期较远,说明对第 3 层混凝土围护墙的刚度进行削弱处理是正确的。削弱处理后,结构刚度适中,结构体系较合理。振型曲线符合正常情况(取前 3 个振型为例),如图 4,5 所示。

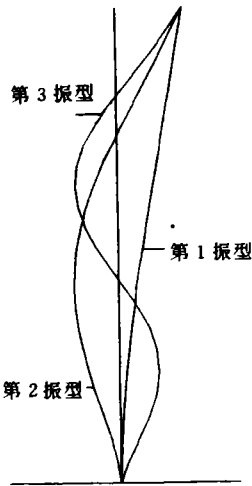


图 4  $x$  方向振型曲线

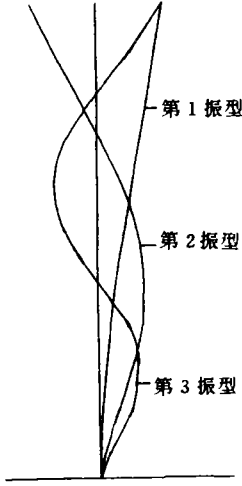


图 5  $y$  方向振型曲线

表 1 结构自振周期(s)

情况	方向	$T_1$	$T_2$	$T_3$	$T_4$	$T_5$	$T_6$	$T_7$	$T_8$	$T_9$
削弱前	$x$ 方向	1.282 9	0.346 5	0.171 0	0.104 2	0.076 6	0.060 5	0.050 1	0.040 1	0.032 0
	$y$ 方向	1.076 6	0.303 0	0.155 2	0.095 1	0.070 6	0.058 5	0.047 8	0.036 4	0.029 7
削弱后	$x$ 方向	1.416 0	0.368 4	0.177 5	0.107 9	0.077 7	0.059 7	0.047 2	0.040 8	0.034 1
	$y$ 方向	1.190 7	0.321 4	0.161 2	0.099 0	0.073 5	0.056 9	0.044 4	0.040 5	0.032 5

1.3.2 地震作用 地震力的大小取决于房屋的重量及结构的刚度。本工程按Ⅰ类场地进行计算,得到的结构基底剪力  $Q_0$  如表 2 所示。

表 2 结构基底剪力

情况	方向	$Q_0/\text{kN}$	总重量 $W/\text{kN}$	$Q_0/W$	倾覆弯矩 $M_0/\text{kM}\cdot\text{m}$
削弱前	$x$ 方向	5 565	228 853	0.024 3	150 260
	$y$ 方向	6 356	228 853	0.027 8	175 680
削弱后	$x$ 方向	4 696	228 853	0.020 5	135 907
	$y$ 方向	5 415	228 853	0.023 7	158 977

从表 2 可见该结构所受地震基底剪力均在经验公式  $Q_0=0.015\sim0.030 W$  的范围内,建筑每  $\text{m}^2$  层重量约为  $15.80 \text{ kN}$ ,在经验值  $13\sim16 \text{ kN}\cdot\text{m}^{-2}$  的范围内。同时可以看到后者的基底剪力  $Q_0$  比较小,用这个基底剪力设计构件截面和配筋是比较合理的。

1.3.3 水平位移 该工程高宽比为 2.46,长宽比为 1.03。标准层剪力墙长度为  $0.158 \text{ m}^{-2}$  以地震作用下  $x$  方向楼层位移为例,计算到的部分楼层层间位移  $\delta$ ,总位移  $\Delta$ ,如表 3 所示。

表 3 地震作用下  $x$  方向楼层位移(mm)

楼层号	1	2	3	4	5	6	...	21	22	23	总位移	$\Delta/H$
削弱前	0.14	0.22	0.12	0.39	0.48	0.54	...	0.84	0.83	0.81	15.30	1/5 084
削弱后	0.20	0.36	0.46	0.53	0.58	0.64	...	0.88	0.86	0.84	16.80	1/4 624

从表3可见,削弱前第3层的层间位移与第2,4层相比小很多,变形曲线在第3层处有折点,位移曲线不光滑,竖向刚度变化不均匀,在第3层处有突变.在较大地震作用下,很容易在第2层柱上端或第4层柱下端出现塑性铰,这样的结构对抗震是很不利的.削弱处理后,层间位移变化较均匀,变形曲线连续光滑,无突然凹凸变化和折点,变形曲线属剪弯型,并接近于一条直线.说明结构的竖向刚度变化是均匀的,合理的.处理后总位移在规范允许范围内<sup>[2]</sup>.

1.3.4 最大轴压比 该工程在第3层刚度削弱前,中柱最大轴压比为0.79,角柱为0.72,削弱处理后,中柱最大轴压比为0.74,角柱为0.68.由此可见,对局部刚度突变进行削弱处理,使整个结构刚度变化较均匀,对减小构件截面尺寸有一定的作用.

1.3.5 梁柱内力 在第3层刚度削弱处理前的计算结果中,与第3层混凝土围护墙相连的第2,4层柱有超筋现象,第2至4层很多连梁出现超筋超限的现象.削弱处理后除了个别连梁有超筋现象处,其他均符合规范要求<sup>[3]</sup>.

1.3.6 实际沉降 该工程在开始施工时,设观测点观测沉降,到工程竣工验收时,历经两年的时间,最大沉降量为15 mm,最大沉降差为10 mm.两项指标均在规范允许范围内.

## 2 结束语

根据以上结合实例的探讨,我们认为高层结构设计中,对于建筑功能(或工艺)要求的钢筋混凝土墙,如果与相邻楼层的剪力墙不对齐无法兼做剪力墙使用,又不能做为刚性转换层时,结构计算中不应将这部分墙的刚度加入结构整体刚度中分析.结构设计时应采取有效的措施对这部分墙的刚度进行削弱处理,这样才能得到一个经济合理的结构体系.

## 参 考 文 献

- 1 吴学敏.高层建筑剪力墙中连梁设计的探讨.建筑结构学报,1995,16(1):77~78
- 2 中国建筑科学研究院. JGJ 3-91 钢筋混凝土高层建筑结构设计与施工规程.北京:中国建筑工业出版社,1991
- 3 中华人民共和国原城乡建设环境保护部. GBJ 11-89 建筑抗震设计规范.北京:中国建筑工业出版社,1989

## Abrupt Change of Local Rigidity in the Structural Design of a Tall Building

Chen Qichun

(Design. Inst. of Arch., Huaqiao Univ., 362011, Quanzhou)

**Abstract** Combining with practical examples of structural design, a study is made on how to handle the abrupt change of local rigidity in the structural design of a tall bank building. Feasible handling method and construction measure are advanced from the angle of designing.

**Keywords** structural design, reinforced concrete wall pannel, weakening of rigidity, tall building