

# 部分框支剪力墙结构设计探讨

杨桦

深圳市华阳国际工程设计股份有限公司广州分公司, 广东 广州 510000

**摘要：** 为了满足市场对建筑功能的多样化需求, 立足建筑设计角度考量, 高层建筑上部楼层住宅、宾馆需要更多的房间分割, 因此采用较多的墙体, 而结构下部楼层的商场等公共场所则需要更宽的空间, 因此需加大轴网的间距, 减少布置钢筋混凝土墙体。眼下时新的 TOD 项目更是如此。如何使转换层设计更为合理, 一直是结构设计师们探讨的重点。

**关键词：** 高层建筑; 梁式转换; 部分框支剪力墙; 结构设计

**中图分类号：** TU973

**文献标识码：** A

**文章编号：** 2023080110

## Discussion on the Structural Design of Some Frame-supported Shear Walls

Yang Hua

Shenzhen Huayang International Engineering Design Co., Ltd. Guangzhou Branch, Guangzhou Guangdong 510000

**Abstract：** In order to meet the demand of diversified building function, considering on the basis of the architectural design angle, high-rise building upper floor residential, hotel need more room segmentation, so using more walls, and the lower floor of the structure of shopping malls and other public places need more wide space, so need to increase the network spacing, reduce the layout of reinforced concrete wall. This is even more true of the new TOD project right now. How to make the design of the conversion layer more reasonable has always been the focus of the structural designers.

**Key words：** high-rise building; beam conversion; partial frame-supported shear wall; structural design

梁式转换层结构作为最常用的垂直转换结构形式, 因具有设计简单、施工方便、构造简单和受力明确等特点, 在转换结构中应用最为广泛。据相关统计资料可知一般 30 层以下的建筑转换层的造价占整个建筑的 6% 以上, 有的甚至高达 20%, 合理地转换层的设计, 不仅可以避免浪费, 还可以防止安全隐患的产生<sup>[1]</sup>。部分框支剪力墙的结构合理布置需遵循以下原则:

### 一、平面布置应简单、规则

《高规》<sup>[2]</sup>要求, 复杂高层建筑结构, 其平面布置应简单、规则, 减少偏心, 避免结构出现规则性超限工程。《超限高层建筑工程抗震设防专项审查技术要点》<sup>[3]</sup>列出了平面及竖向不规则的类型, 对于普通的 A 类结构, 只要违反其中三项就属于超限项目。

### 二、竖向体型宜规则、均匀

高层建筑的竖向体型宜规则、均匀, 结构的侧向刚度宜下大上小, 逐渐均匀变化。转换结构属于竖向构件不连续(一项不规则), 要避免竖向不规则就是要防止刚度突变, 防止受剪承载力突变, 其中刚度突变是重中之重, 转换层刚度对于设计质量有决定性影响。当转换层上、下结构的侧向刚度相差较大时, 在风荷载及水平地震作用下, 转换层上、下结构构件的内力突变, 形成薄弱层并可能导致部分构件提前破坏; 强调转换层上、下两个计

算模型的侧向刚度相近, 正是为减小这种突变<sup>[4]</sup>。转换层上下结构的侧向刚度需满足以下规定:

(1) 当转换层设置在 1、2 层时, 可近似采用转换层与其相邻上层结构的等效剪切刚度比  $\gamma_{e1}$  表示转换层上、下层结构刚度的变化,  $\gamma_{e1}$  宜接近 1。

$$\gamma_{e1} = \frac{G_1 A_1}{G_2 A_2} \times \frac{h_2}{h_1} = \frac{G_1 A_1 / h_1}{G_2 A_2 / h_2} \geq 0.5$$

$$A_i = A_{w,i} + \sum_j C_{i,j} A_{c,i,j} (i=1,2)$$

$$C_{ij} = 2.5 \left( \frac{h_{c,i,j}}{h_i} \right)^2 \leq 1 (i=1,2)$$

当转换层上部为纯剪力墙时, 上式可以变为:

$$\gamma_{e1} = \frac{G_1 A_1}{G_2 A_2} \times \frac{h_2}{h_1} = \frac{A_{w,i} + 2.5 \times \frac{\sum_j h_{c,i,j}^2 A_{c,i,j}}{h_1^2}}{G_2 A_2 / h_2}$$

$$\frac{A_{w,1} + 2.5 \times \sum_j h_{c1,j}^2 A_{c1,j}}{h_1^3} = \frac{G_2 A_2}{h_2^3}$$

式中符号的含义详《高规》附件 E。

(2) 当转换层设置在3层及以上时，通过侧向刚度  $\gamma_1$  及等效侧向刚度比  $\gamma_{e2}$  进行衡量，需同时满足：

$$\gamma_1 \geq 0.6$$

$$\gamma_{e2} = \frac{\Delta_2 H_1}{\Delta_1 H_2} = \left( \frac{1/\Delta_1 + H_1}{1/\Delta_2 + H_2} \right) \geq 0.8$$

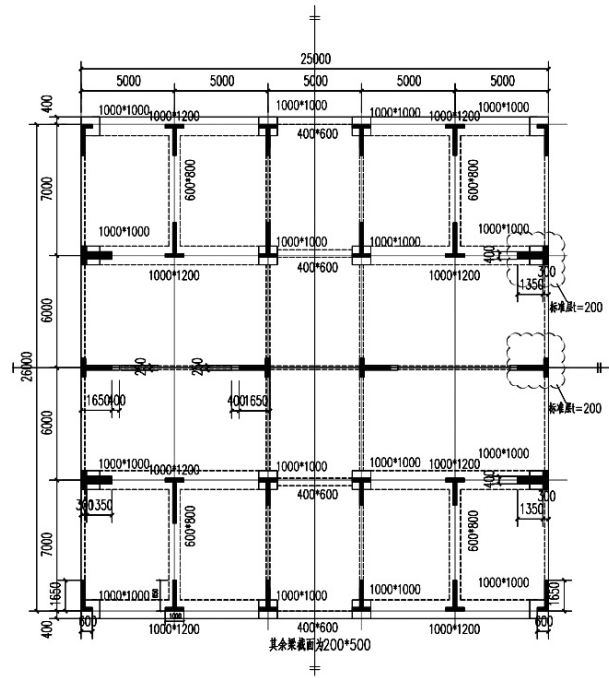
$\gamma_1$  计算公式详《高规》3.5.2-1； $\gamma_{e2}$  式中各参数含义详《高规》附件 E。

(3) 等效剪切刚度的影响因素及调整。

从等效剪切刚度计算公式可以得出以下几点：(1) 当转换层设置在1、2层时，设置在每一层对等效剪切刚度比无影响（在案例中通过了验证）；(2) 可以通过改变混凝土等级来调整等效剪切刚度比；(3) 当转换层上层为纯剪力墙结构时，仅改变转换层上层高度，等效剪切刚度比的变化为线性的；(4) 在平面布置及混凝土等级不变的情况下，转换层仅柱的折算剪切刚度受到层高的影响，等效剪切刚度比随层高增加而非线性减小，当落地剪力墙越多时，墙柱比越高，层高的影响越接近线性；墙柱比低时，层高的影响较显著，当无落地剪力墙时，等效剪切刚度与转换层高度的三次方成反比。

通过案例来看一下层高等效剪切刚度的影响：假如有这样一个转换层结构，转换层的布置与转换上层及标准层的布置如图1所示，转换率为33.5%。基本情况：7度区1组，II类场地，基本风压0.5，标准层层高3m，标准层17层（不含转换层上层）；转换层位于首层，计算转换层高度为4m、4.5m、5m、5.5m时的各个指标，如表1所示；计算转换层上层的层高为3m、3.3m、3.6m时的各个指标，如表2所示。

由表1可知，周期伴随转换层层高递增而小幅增加（增幅与



>图1 转换层、转换层上层及标准层平面布置图

建筑物总高度变化增幅接近），周期比变化幅度很小（0.3%以内），说明结构整体抗扭性能受到转换层层高改变影响微弱。最大层间位移角变化幅度也很小（0.3%以内）。刚度比与层高关系紧密，随层高增大而急剧减小，从4m层高变增大为4.5m时，高度增大为1.125倍（反比0.889），等效剪切刚度比  $\gamma_{e1}$  X、Y方向减小为原来的0.818、0.829，侧向刚度比  $\gamma_1$  X、Y方向减小为原来的0.771、0.828。由该案例可知，各项指标中主导因素为等效剪切刚度比。当转换层层高为4.5m时，等效剪切刚度比可满足规范要求，为转换层层高的上限；层高为5m、5.5m时，楼层侧向刚度比均超出限值，需对转换层或标准层的竖向构件布置进行调整。

表1 转换层层高变化各项指标统计（上层层高3m）

转换层层高 (m)	周期及扭平周期比			最大层间位移角及所在楼层				等效剪切刚度比 $\gamma_{e1}$		楼层侧向刚度比 $\gamma_1$ (转换层)	
	$T_1$	$T_i$	$T_i/T_1$	$\theta_x$	楼层	$\theta_y$	楼层	$\gamma_{ex}$	$\gamma_{ey}$	$\gamma_{1x}$	$\gamma_{1y}$
4	1.8070	1.5756	0.872	1/1901	6	1/1859	7	0.6164	0.6855	3.8710	2.5469
4.5	1.8221	1.5833	0.869	1/1898	6	1/1853	7	0.5040	0.5686	2.9860	2.1088
5	1.8369	1.5913	0.866	1/1895	6	1/1849	7	0.4253	0.4856	2.3868	1.7991
5.5	1.8532	1.6006	0.864	1/1894	6	1/1849	7	0.3677	0.4238	1.9224	1.5367

表2 转换层上一层层高变化各项指标统计（转换层层高4.5）

转换层上一层层高 (m)	周期及扭平周期比			最大层间位移角及所在楼层				等效剪切刚度比 $\gamma_{e1}$		楼层侧向刚度比 $\gamma_1$ (转换层)	
	$T_1$	$T_i$	$T_i/T_1$	$\theta_x$	楼层	$\theta_y$	楼层	$\gamma_{ex}$	$\gamma_{ey}$	$\gamma_{1x}$	$\gamma_{1y}$
3	1.8221	1.5833	0.869	1/1898	6	1/1853	7	0.5040	0.5686	2.9860	2.1088
3.3	1.8373	1.5956	0.868	1/1895	6	1/1850	7	0.5544	0.6255	3.4864	2.4049
3.6	1.8517	1.6075	0.868	1/1893	6	1/1847	7	0.6048	0.6824	3.9931	2.6951

注： $\gamma_1$  为本层塔侧移刚度与上一层相应塔侧移刚度70%的比值或上三层平均侧移刚度80%的比值中之较小者。



表3 调整柱、剪力墙截面时各项刚度指标（转换层高5m）

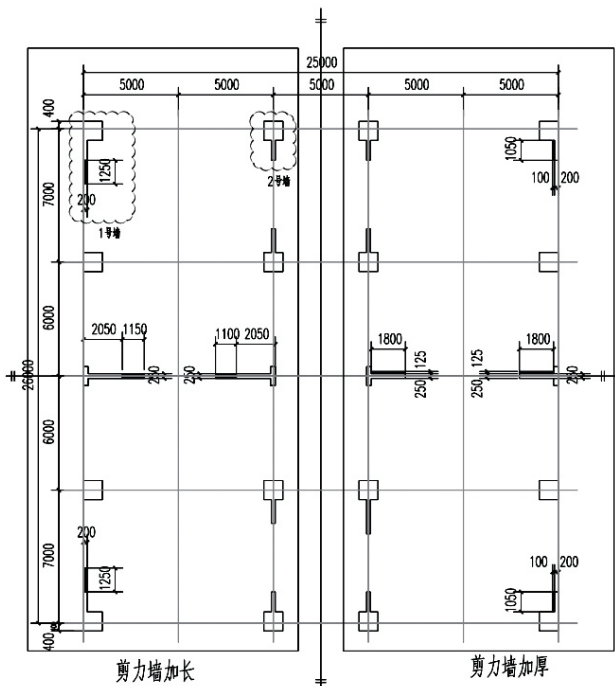
调整方式	周期及扭平周期比			等效剪切刚度比 $\gamma_{e1}$		楼层侧向刚度比 $\gamma_1$ (转换层)		楼层侧向刚度比 $\gamma_2$ (转换层)	
	$T_1$	$T_i$	$T_i/T_1$	$\gamma_{ex}$	$\gamma_{ey}$	$\gamma_{1x}$	$\gamma_{1y}$	$\gamma_{2x}$	$\gamma_{2y}$
调整前	1.8369	1.5913	0.866	0.4253	0.4856	2.3868	1.7991	1.8564	1.3993
调整柱	1.8206	1.5832	0.870	0.5013	0.5560	2.7721	1.9555	2.1561	1.5209
调整剪力墙墙长	1.8175	1.5769	0.868	0.5025	0.5553	2.8145	2.2007	2.1891	1.7117
调整剪力墙墙厚	1.8323	1.5871	0.866	0.5025	0.5547	2.4603	1.8879	1.9136	1.4683

注： $\gamma_2$  为本层塔侧移刚度与上一层相应塔侧移刚度90%、110%或者150%比值。

由表2可见，当转换层上部为纯剪力墙时，等效剪切刚度比  $\gamma_{e1}$  与层高的增加成正比，从3m层高变增大为3.3m（1.1倍）、3.6（1.2倍）时，等效剪切刚度比增大为原来的1.1、1.2倍；侧向刚度比  $\gamma_1$  X方向增大为原来的1.168、1.337，Y方向增大为原来的1.140、1.278倍。

（4）为进一步探讨当侧向刚度不满足时，调整框架柱还是剪力墙更经济（考虑刚度指标满足且接近），拿出转换层层高为5m时的模型进行调整。当调整框架柱时，原1000×1000的柱子需全部调整为1130×1130，此时等效剪切刚度比满足规范要求，如表3所示，增加混凝土截面4.43 m<sup>3</sup>；调整剪力墙墙长（如图2所示）使等效剪切刚度比满足要求，增加混凝土截面2.125 m<sup>3</sup>，仅为增大柱截面混凝土用量的49.4%；调整剪力墙墙厚（如图2所示）使其满足要求，增加混凝土截面1.32 m<sup>3</sup>，仅为增大柱截面混凝土用量的29.8%，为加大剪力墙墙长混凝土用量的62.1%。由此可见，在其他条件相同的情况下，加厚剪力墙为调整等效剪切刚度的最有效的方式。这与楼层侧向刚度计算的结果不一致（剪力墙刚度为剪力墙墙长的三次方）。因此，调整转换层上下层刚度时，应兼顾等效剪切刚度及抗侧刚度。

同时，在调整墙长或墙厚时，只与调整的长度与厚度有关，如图2，调整1号墙与2号墙是一样的。



>图2 调整剪力墙墙长、墙厚

### 三、降低转换率，合理布置落地剪力墙，有利于提高结构抗震性能

当仅有个别结构构件进行转换，如框支剪力墙的转换面积不高于剪力墙总面积的10%，可不划归带转换层结构。《高规》要求框支框架承担的地震倾覆力矩应小于结构总倾覆力矩的50%，其目的就是防止落地剪力墙过少。落地剪力墙作为部分框支剪力墙结构中从上到下贯通的竖向构件，对整个结构的安全有着极大的影响。《高规》对落地剪力墙间距、落地剪力墙与框支柱间的距离有明确的规定，目的是确保剪力墙成为主要抗侧力构件，让转换层上部的剪力更有效地传递给落地剪力墙，框支柱仅承受较小的剪力。同时，布置均匀、截面尺寸较大的落地剪力墙是保证转换层具备较大抗侧刚度进而形成“下强上弱”结构体系，避免其成为薄弱环节。

### 四、避免高位转换

转换层位于三层及三层以上时，为高位转换，高位转换对结构抗震不利。转换层设置得越高，结构的自振周期会越大，楼层位移也会越大，结构扭转效应会越发明显，层间位移角、楼层剪力在转换层附近的突变也越厉害<sup>[5]</sup>，从而形成薄弱层。《高规》规定“转换层的位置，8度时不宜超过3层，7度时不宜超过5层，6度时可适当提高”，虽措辞为宜，但是一旦超过就属于特别不规则的结构，需进行超限审查。

### 五、结论

本文阐述了转换层的水平和竖向布置原则，着重对等效剪切刚度的影响因素进行了分析，对于实际工程中等效剪切刚度调整有一定的指导作用。

### 参考文献：

- [1] 陆秋风. 高层建筑转换层设计的探讨 [J].
- [2] JGJ3-2010《高层建筑混凝土结构技术规程》[S].
- [3]《超限高层建筑工程抗震设防专项审查技术要点》[S].
- [4] 朱炳寅.《高层建筑混凝土结构技术规程应用与分析》[M].
- [5] 姬利霞. 等效刚度比对梁式转换层结构抗震性能影响研究 [D]