

屈曲分析确定跨层柱计算长度方法的应用

郑 竹^{1,2}, 尧国皇², 黄用军²

(1. 深圳华森建筑与工程设计顾问有限公司, 广东深圳 518054;

2. 中建国际深圳设计顾问有限公司, 广东深圳 518026)

【摘 要】长跨层柱计算长度确定在工程设计中经常遇到,利用屈曲分析是跨层柱长度计算确定的一种重要方法。文章结合深圳卓越皇岗世纪中心工程跨层柱的计算长度确定过程,阐述了长跨层柱计算长度的实用分析方法。

【关键词】屈曲分析; 计算长度; 跨层柱

【中图分类号】 TU323.1

【文献标识码】 A

利用屈曲分析确定受压构件计算长度是一种传统分析方法。文献 [1] 对跨层柱的计算长度确定方法进行了总结,主要分为整体模型法、独立构件模型法和局部实体有限元模型分析法,这是与现阶段结构分析软件的发展水平相关的。

本文结合屈曲分析在深圳卓越皇岗世纪中心工程设计中的具体应用,讨论了文献 [1] 所述确定跨层柱计算长度方法的实现过程与应用范围。

1 长跨层柱计算长度实用分析过程

1.1 分析模型

分析模型的建立主要与两个因素有关:一是构件采用的分析方法,二是构件或结构周边的约束状况。

对独立模型法,分析模型主要考虑所计算构件长度范围内的所有方向的约束刚度,只要确定了这些约束刚度,就可在任何一款有限元软件中进行屈曲分析。这里有一条假定:即不考虑各约束之间的耦联关系。在此基础上,可以在整体模型中对所要分析的构件施加沿各约束方向的单位外力,从而得到相应的位移,这样即可得到相应的约束刚度。

对局部有限元模型法,原则上宜将其周边约束构件放入分析模型中,约束构件可取至铰接于该构件的另一端。当然也可通过独立模型法对约束构件另一端的弹性约束刚度确定后输入有限元模型中;如果软件兼容,可以将构件配筋、配钢等信息反映到模型中。

对整体模型法,则无需建立单独分析模型即可进行屈曲分析。

以上各方法建模应注意构件材料、截面的准确模拟,此外还须考虑所选用的分析软件及其分析能力。

1.2 分析工况

建议的分析工况为恒载与活载的标准组合。

1.3 计算

利用屈曲分析确定跨层柱计算长度的实用方法最后一步是:将获得的屈曲分析结果,连同构件的截面属性、材料属性等代入欧拉公式,从而得到构件的计算长度,并乘以修正

系数作为最后设计的依据。

2 在深圳卓越皇岗世纪中心工程的应用

2.1 项目概况

卓越皇岗世纪中心位于深圳市深南路中段的商务中心区,项目总建筑用地 30 667.7 m²,总建筑面积 424 008 m²。

项目主要由四座超高层塔楼及裙房、地下室组成。其中 1 号楼 65 层 280 m, 2 号楼 60 层 260 m, 4 号楼 42 层 185 m, 3 号楼 34 层 150 m。由于建筑功能使用的特殊性,在各塔楼底部、中部等部分楼层存在跨层柱的情况,设计团队和专家组在设计中均对跨层柱的计算分析给予了高度的重视。考虑到各塔楼,特别是 1~3 号塔楼平面和空间布局的相似性,因此重点针对 2 号塔楼的跨层柱进行了分析,其他各塔楼的跨层柱酌情引用 2 号楼分析结果。

2.2 跨层柱计算长度的确定

为获得比较可靠的分析结果,本工程项目利用前述跨层柱计算长度的三种确定方法,分别建立跨层柱的计算长度屈曲分析模型,对各跨层柱进行屈曲分析,通过对各模型的结果进行分析对照,从而得到相应的跨层柱计算长度。

模型分析结果显示,利用独立分析法得到的柱计算长度比另外两种方法得到的计算长度偏长,其原因是独立柱模型中忽略了各约束之间的耦合作用。对于柱中节点约束数较多的柱,结果的差异性尤为明显。本工程项目的各种柱可分为两类:除两端约束外,中间有 1 至 5 处节点约束的为第一类跨层柱;中间有 5 处以上节点约束的为第二类跨层柱。

对于第一类跨层柱几种分析方法结果差异小,可以取计算结果偏大者为计算长度基数,再乘以一个计算结果安全修正系数 1.2。而对于第二类跨层柱则通过对几种分析方法得到的结果进行对比分析,斟酌取用适宜的计算长度 μL ,同时乘以一个计算结果修正系数 1.2 以保证足够的安全储备。

[收稿日期] 2008 - 03 - 11

[作者简介] 郑竹 (1974 ~), 男, 贵州瓮安人, 工学硕士, 国家一级注册结构工程师。

2号楼跨层柱除高区 51.7 m 长跨层柱为第二类跨层柱外,其他各跨层柱中均只有 1~3 处节点约束,为第一类跨层柱。除第二类跨层柱的各分析方法计算结果差异较大外,其他柱分析结果均较接近。两类柱均直接取用计算长度较大者并乘以安全系数即可。

对上述两类跨层柱,均分别选取一根典型柱建立三种独

立分析模型进行屈曲分析,其余第一类跨层柱则只采用独立柱分析模型及结果作为其计算长度的确定依据。

2.2.1 独立构件分析法

该方法首先确定拟分析的柱子及其约束节点的约束刚度。从而在 SAP2000 中建立单柱分析模型,进行屈曲模态分析。分析结果汇总见表 1。

表 1 独立构件分析法结果

项次	跨层长度 (m)	柱型编号	柱尺寸 $B \times H$ (mm)	P_{cr} (kN)	μL (m)	$1.2\mu L$ (m) / 取值	μ
底层柱 C1	20.5	CFT 叠合柱 C1	1300 \times 1300 \times 1060 \times 40 Q345 - C70	722000	12.608	15.129/15.5	0.615
L24, L26 层	8.8	CFT 叠合柱 C2	1200 \times 1200 \times 960 \times 30 Q345 - C60	987000	8.849	10.619/10.5	1.006
L39, L41 / L55 层	7.8	钢筋混凝土 C3/C4	1200 \times 1200 - C50 800 \times 800 - C40	811800/221000	8.513/7.038	10.216/10.5/8.5	1.09/0.90
高区长跨层柱 C5	51.7	CFT 叠合柱	1200 \times 1200 \times 960 \times 30 Q345 - C60	89000	29.458	35.350/35.5	0.570

注: 1. 叠合柱柱尺寸: 外围尺寸为矩形, 内包钢管混凝土柱为外围尺寸减 $2 \times 120 = 240$ mm。

2. 表示 L39, L41 层跨双层柱, 计算长度取 10.5 m; 表示 L55 层跨层柱, 计算长度取 8.5 m。

3. L41 - L43 层之跨三层柱 $L = 12.7$ m, $\mu L = 9.513$ m, $1.2\mu L = 11.416$ m, 计算长度取 11.5 m。

各柱屈曲分析模型及第一模态图见图 1。

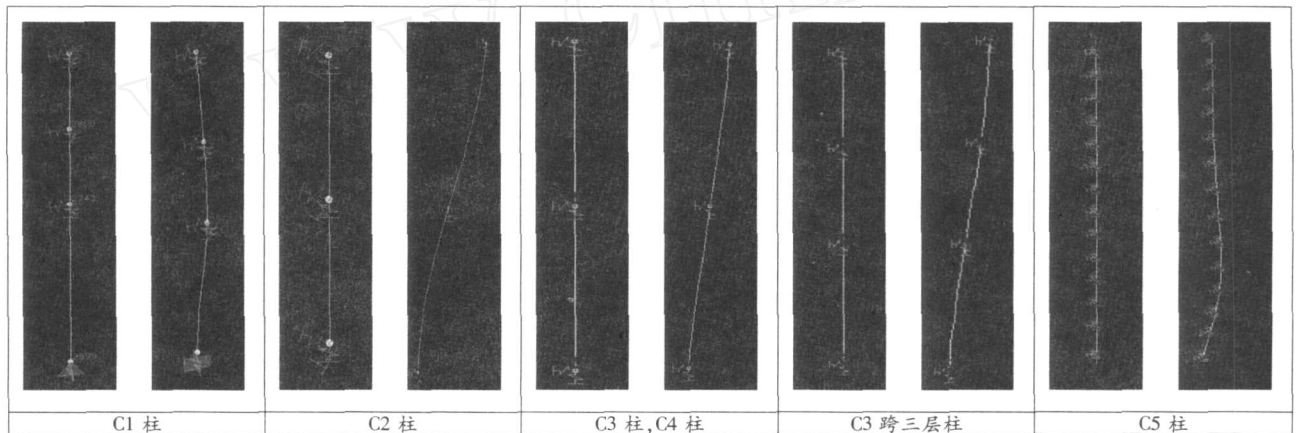


图 1 柱屈曲分析模型及第一模态图

2.2.2 整体分析法

利用整体分析法分析的两根构件为独立构件模型中计

算的 C1 与 C5 柱。

整体模型法分析的结果见表 2。

表 2 整体模型法分析结果

项次	跨层长度 (m)	柱型编号	柱尺寸 $B \times H$ (mm)	P_{cr} (kN)	μL (m)	$1.2\mu L$ (m) / 取值	μ
底层柱 C1	20.5	CFT 叠合柱 C1	1300 \times 1300 \times 1060 \times 40 Q345 - C70	1362000	9.179	11.015/15.5	0.448
高区长跨层柱 C5	51.7	CFT 叠合柱 C5	1200 \times 1200 \times 960 \times 30 Q345 - C60	855000	9.509	11.500/12.0	0.223

表 3 实体单元模型分析结果

项次	跨层长度 (m)	柱型编号	柱尺寸 $B \times H$ (mm)	P_{cr} (kN)	μL (m)	$1.2\mu L$ (m) / 取值	μ
底层柱 C1	20.5	CFT 叠合柱 C1	1300 \times 1300 \times 1060 \times 40 Q345 - C70	798400	11.989	14.387/15.5	0.585
高区长跨层柱 C5	51.7	CFT 叠合柱 C5	1200 \times 1200 \times 960 \times 30 Q345 - C60	562667	11.722	14.066/15.0	0.273

2.2.3 实体有限元分析法

实体单元模型分析的结果见表 3。

C1 及 C5 柱第一屈曲模态图见图 2。

2.2.4 小 结

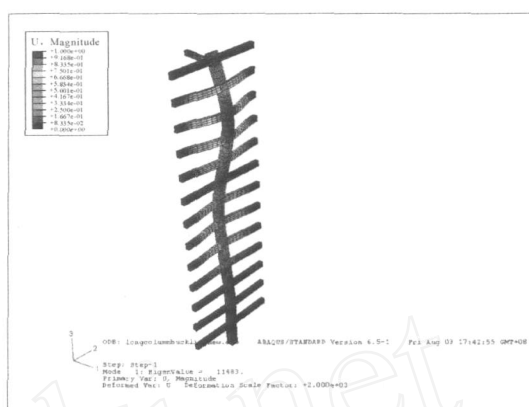
通过屈曲分析,可以得知对于多层跨层柱,由于柱中部存在某方向框架梁的约束作用(梁的约束刚度较高时),其平面外计算长度并非跨层柱上下两个完整楼板的距离,而要

比该距离小很多。而对于跨两层的跨层柱,由于中间层的梁的约束刚度有限以及跨层柱第一模态为近似 S 型(如 C2 柱),因此其计算长度不仅没有减少,相反还比所跨层总高要略高一些。考虑分析精度和工程应用中的实际施工影响,结合一般框架柱进行屈曲模态分析得到的计算长度与规范规定计算长度之间的对比计算,取 1.2 倍安全储备系数。

针对上述分析,各柱最终计算长度取值见表 4。



C1 柱屈曲第一模态,模态系数: 798400,单位模态力: 1kN



C5 柱屈曲第一模态,模态系数: 11483,模态力: 49kN

图 2 柱 C1、C5 第一屈曲模态图(实体有限元分析法)

表 4 各柱最终计算长度取值

柱型编号	位 置	跨层长度 (m)	柱型面尺寸 $B \times H$ (mm)	μL (m)	μL 实际取值
CFT 叠合柱 C1	底层柱 C1	20.5	1300 \times 1300 \times 1060 \times 40 Q345 - C70	12.608	15.5
CFT 叠合柱 C2	L24, L26 层	8.8	1200 \times 1200 \times 960 \times 30 Q345 - C60	8.849	10.5
钢筋混凝土柱 C3	L39, L41 层	7.8	1200 \times 1200 - C50	8.513	10.5
钢筋混凝土柱 C4	L55 层	7.8	800 \times 800 - C40	7.038	8.5
CFT 叠合柱 C5	高区长跨层柱 C5	51.7	1200 \times 1200 \times 960 \times 30 Q345 - C60	29.458	35.5

长跨层叠合柱 C5 按照独立构件分析得到的结果与实体有限元模型和整体模型法得到的结果相差较大,且计算长度取值也较大,这是由于独立构件模型未考虑各约束之间的耦合作用所致。但考虑到该柱所在位置的特殊性以及柱各约束节点所相连的构件均按弹性取,而在整体变形中与这些约束相连的其他构件有可能首先出现屈曲从而改变约束性质,实体模型中的两侧梁构件的约束情况决定了它也不能对这种情况准确预测。因此设计上偏于安全地取用独立模型法分析的结果,而此时对该长跨层柱其配筋主要取决于构件所用的钢管混凝土承载力,因此不会导致过高的配筋结果。

3 结 论

分析表明,对于底部跨两层的跨层柱,由于其中部单向框架梁的存在,其计算长度 μL 比一端固结一端铰接柱的计算长度偏小,在工程应用中根据工程师的经验和判断,

可适当考虑一定安全储备系数;对中部楼层跨两层的跨层柱,由于其两端并非纯粹固结或铰接,虽然其中段单向框架梁具有一定约束作用,其计算长度几乎与跨层柱实际长度相当,也有别于有关规范所确定的取值;而对于跨多层的跨层柱,由于柱自身长度较长及中部单向框架梁约束数量可观,其计算长度仍然大大小于实际长度,为中段具有较多约束的超长跨层柱的计算长度确定提供了有益的尝试。

总之,通过屈曲分析确定跨层柱的计算长度的方法在深圳卓越皇岗世纪中心工程中的应用,可以看出该方法对跨层柱的计算长度确定是有效的、适用的。为设计师在解决类似问题时提供了一定的实用参考。

参 考 文 献

- [1] 中建国际(深圳)设计顾问有限公司. 卓越·皇岗世纪中心结构可行性论证报告[R]. 深圳, 2007.
- [2] GB 50010 - 2002 混凝土结构设计规范[S].