

某 290m 超高层建筑结构受力分析中的若干重点问题研究

林小丹 胡珏 陈欢

重庆市设计院有限公司 重庆 400015

【摘要】：本文以某高度为 290m 的超高层建筑为例，研究了结构受力分析中的若干重点问题，包括风洞试验、风荷载的取值、地震作用、关键构件的受力分析方法等。结果表明，在超高层建筑结构设计中，风荷载的取值需要对比风洞试验数据及规范计算结果确定最终的取值，对于罕遇地震作用下关键构件采用等效弹性分析和弹塑性动力时程分析相结合的方法验算其性能目标。

【关键词】：超高层结构；受力分析；风荷载取值；地震作用

1 工程概况

某项目位于重庆市江北嘴，为大型城市综合体。项目共包含 4 栋超高层塔楼，本文针对其中一栋塔楼进行介绍，其建筑功能为商业、办公和住宅。

该超高层建筑地上 72 层，地下 5 层，建筑高度 299.00m，结构高度 290.00m，独栋建筑面积约 10 万 m^2 。1~4 层为商业及办公大堂，层高 5.0m；11、24、34、47、60 层为避难层兼做设备层，层高 5.4m；5~34 层（避难层除外）为办公标准层，层高 4.2m；35~70 层（避难层除外）为住宅标准层，层高 3.60m。

结构设计使用年限为 50 年，抗震设防分类为重点设防类（乙类）^[1]，设计地震分组为第一组，场地土类别为 II 类，场地特征周期 0.35s，阻尼比 0.04。

2 结构方案

该超高层建筑采用钢筋混凝土框架—核心筒结构体系，为减小剪力墙和柱的截面尺寸，下部楼层剪力墙和柱中设置了型钢。结构平面尺寸约为 40.0m×40.0m，核心筒外围尺寸 21.0m×19m。塔楼高宽比 7.25，核心筒高宽比 15.3。

标准层结构平面如图 1 和图 2 所示。

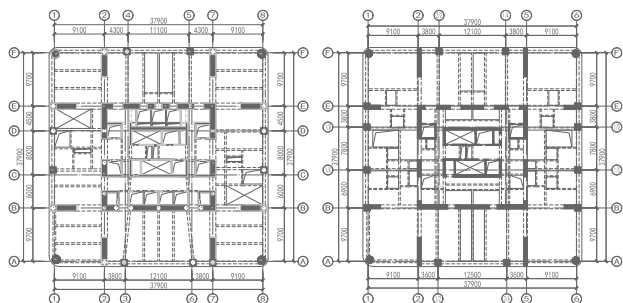


图 1 低区结构平面图

图 2 高区结构平面图

3 风荷载取值

3.1 按荷载规范风荷载取值

3.1.1 规范风压

本工程位于重庆市江北区，本工程所处地重庆市江北嘴为城市市区，建筑物较多，因此，计算风荷载作用时地面粗糙度类别为 C 类。风压取值见表 1。

表 1 风压取值

计算情况	计算风压
承载力计算	0.44kN/m ² (1.1w ₀)
变形验算	0.40kN/m ² (50 年一遇)
舒适度验算	0.25kN/m ² (10 年一遇)

3.1.2 地形修正

按《建筑结构荷载规范》GB50009-2012 第 8.2.2 条规定^[2]，本工程风压高度变化系数起算点取为枯水期水位高程 158m（黄海高程），本项目地面绝对高程 246.00m。由环境坡地影响的计算结果可知，基底剪力增量 1327.7kN，倾覆力矩增量为 12639.9kN·m。规范风荷载产生的基底剪力和倾覆弯矩分别为 14923kN 和 2727878kN·m。爬坡效应引起的荷载效应增量分别为 8.9%（基底剪力）和 4.65%（倾覆力矩）。

3.1.3 群体效应的影响

本工程有 4 栋超高层，高层建筑相互间距较近，按规范要求应考虑群体效应，体形系数的增大系数取 1.05。

3.1.4 考虑放大系数后的风压取值

根据前 3 条，按照规范要求最终风压取值为 $0.4 \times 1.1 \times 1.089 \times 1.05 = 0.503kN/m^2$ 。

3.2 风洞试验

本项目委托风洞顾问公司进行了方案阶段的风洞试验研究，并提供了风洞试验报告。

风洞试验各风向下的设计风速如图3所示。根据结合实际场地的分析，本工程场地在各风向下主要处于C类或C/D类之间，见表2所示。

表2 地面粗糙度类别

上风向地貌	风向
城区/城郊（介于C类和D类之间-低层和高层建筑结合的地形	10°, 40° to 360°
开阔/市郊（近C类）有一些水域，有许多低矮建筑物的郊区地形	20°, 30°

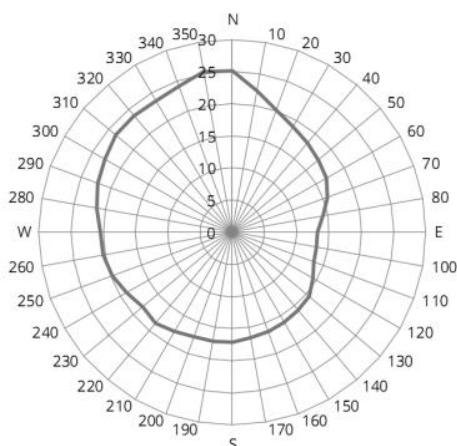


图3 各风向下的设计风速

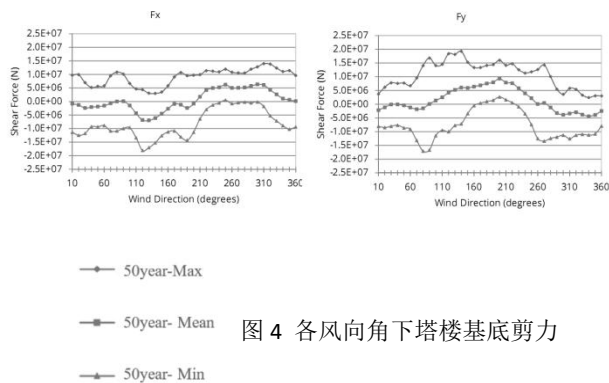


图4 各风向角下塔楼基底剪力

3.3 最终风压取值

本工程50年重现期，规范和风洞试验结果如表3所示。

表3 重现期50年的风荷载结果

荷载工况	My(N·m)	Mx(N·m)	Mz(N·m)	Fx(N)	Fy(N)
50年重现期风洞结果	2.53E+09	2.53E+09	5.13E+07	1.31E+07	1.34E+07
规范风荷载	2.83E+09	2.86E+09	—	1.61E+07	1.62E+07
规范结果/风洞结果	1.12	1.13	—	1.23	1.21

从上表可知，根据规范方法计算得到的风荷载作用大于风洞试验的结果，故本项目采用规范所规定的风荷载值进行设计。

4 分析软件

根据本工程特点和现行软件情况，结构分析采用的软件如下表4：

表4 结构分析软件

结构分析情况	分析软件	
	软件	版本号
整体结构的动力特性、静力分析	YJK	2.0.3 版
	ETABS	V18 版
弹性时程分析	YJK	2.0.3 版
弹塑性时程分析	SAUSAGE	2020 版
构件性能目标验证	SAUSAGE	2020 版
	ETABS	V18 版
节点分析	ANSYS	R18.2

5 分析方法

(1) 通过多软件静力弹性分析对比，验证各软件分析结果的有效性和可靠性。

(2) 选取7条地震波(5+2)，对结构进行多遇地震下的弹性时程分析，与静力分析结果对比，并作为静力分析的补充。

(3) 采用等效弹性的计算方法，得到结构在设防地震及罕遇震作用下的构件内力，用以验证关键构件的性能目标。等效弹性的计算参数见表5。

表5 等效弹性计算参数

地震烈度	6度(0.05g)
------	-----------

水平地震影响系数最大值	0.12 (设防地震)、0.28 (罕遇地震)
地震最大加速度	50cm/s ² (设防地震)、125cm/s ² (罕遇地震)
特征周期	0.35s (设防地震)、0.40s (罕遇地震)
阻尼比	0.04 (设防地震)、0.05 (罕遇地震)
连梁刚度折减	0.7 (设防地震)、0.3 (罕遇地震)

(4) 选取 3 条地震波 (2+1)，对结构进行设防地震、罕遇地震下的弹塑性动力时程分析，考察结构在相应地震作用下的损伤情况，找出罕遇地震作用下损坏严重的部位，采取有效的加强措施，使结构在大震极限情况下能满足抗震设防目标的要求。

(5) 对于受力较大且受力模式复杂的关键节点，采用 ANSYS 软件对节点及节点相关构件的受力和构造进行模拟分析，确保节点有效性，使节点不会先于与之相连的构件失效。

6 结论

本项目为超高层建筑，结构高度较大，风荷载效应明显，因此风荷载的取值尤为重要。本项目位于重庆市江北嘴江边坡地，周围地形环境较为复杂，且周边高楼密集，群集的高层建筑对风力的干扰明显，故在计算风荷载的时候，需要考虑地形修正系数和群体效应的干扰系数，按规范的方法求得设计风压值。同时进行风洞试验，最后将规范方法计算得到的风压值与风洞试验的数据进行对比，最终确定风荷载的取值。

对结构关键构件进行地震作用下受力分析时，采用了等效弹性分析与弹塑性时程分析相结合的方法。用等效弹性方法计算得到的构件内力，复核其在设防地震和罕遇地震下是否满足承载力要求。再输入地震波进行弹塑性时程分析，对结构在设防地震和罕遇地震作用下的破坏情况进行模拟，找出薄弱部位进行有针对性的加强。通过以上分析，确保了结构安全可靠，能满足抗震性能目标要求。

参考文献:

- [1] 建筑工程抗震设防分类标准:GB50223-2008[S].北京:中国建筑工业出版社,2008.
- [2] 建筑结构荷载规范:GB50009-2012[S].北京:中国建筑工业出版社,2012.
- [3] 高层混凝土结构技术规程:JGJ3-2010[S].北京:中国建筑工业出版社,2011.

作者简介:

林小丹 (1983—)，男，高级工程师，硕士，主要从事结构设计方面的工作。