

南昌某商业综合体办公楼超限结构抗震性能设计探讨

朱奕鹏

江西省建筑设计研究总院集团有限公司

摘要：本文针对南昌某商业综合体办公楼超限情况，结合抗震性能设计理论和方法，根据《高层建筑混凝土结构技术规程》的要求合理确定结构的抗震性能目标及构件在各设防烈度下的性能水准，对结构进行了弹性反应谱分析、弹性时程分析和动力弹塑性时程分析，根据超限分析报告采取有效抗震加强措施，为保证结构在各设防烈度下满足预期的抗震性能目标。

关键词：办公楼超限；抗震性能设计；弹性时程分析；抗震性能目标

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2021.24.132

随着时代的发展，科技的进步，城市建设快速发展，可开发土地资源不断减少，我国建筑高度越来越高、建筑体型、平立面布置日趋复杂性、多样性趋势，高楼大厦一栋栋屹立在城市中心区，超限高层建筑也越来越普遍。2007年建设部开会研讨超限高层建筑，并颁发了《超限高层建筑工程抗震设防专项审查技术要点》。一是要清醒的认识当前我国的抗震工作的严峻趋势，二是要认真把握我国高层建筑的发展趋势，三是要严格把好超限高层抗震设防审查关，四是加大超限审查工作宣传，五是进一步加强超限审查的监管。超限高层建筑抗震性的问题已受业主、设计院的高度重视。

本文针对南昌某商业综合体办公楼超限情况，结合抗震性能的抗震设计理论和方法，根据规范的要求，合理确定结构的抗震性能目标及构件在各设防烈度下的性能水准，并对超限结构进行了弹性反应谱分析、弹性时程分析和动力弹塑性时程分析，根据超限分析报告采取有效的抗震加强措施，为保证结构在各设防烈度下满足预期的抗震性能目标。

一、工程概况

项目位于南昌市艾溪湖北路闵家路附近。用地性质为以商业为主的一流城市综合体。本文仅探讨超限高层为3#楼办公楼抗震设计，总建筑面积72918.08平方米，主楼地上43层，地下3层，建筑高度186.15米，结构高宽比5.18。地下室顶板作为嵌固端；1~2层为办公大堂，3~43层为办公区，办公区层高为4.2米，主楼采用框架-核心筒结构体系。

建筑使用年限为50年，建筑结构安全等级为二级，根据《建筑工程抗震设防分类标准》(GB50223-2008)判定抗震设防类别为丙类。根据《建筑抗震设计规范》的规定本工程抗震设防烈度为6度，设计基本加速度0.1g，设计地震分组为第一组，建筑场地类别为II类，场地特征周期为0.35s，框架、核心筒抗震等级均为二

级；基本风压 0.45kN/m^2 ，地面粗糙度为C类，基础采用机械钻孔灌注桩，桩端持力层为中风化粉砂质泥岩。

二、结构超限判定

根据《超限高层建筑工程抗震设防专项审查技术要点》，本工程为超限高层建筑，超限内容为：

(1) 结构高度超限：根据《高层建筑混凝土结构技术规程》第3.3.1条本工程结构高度为186.15米， $150 < 186.15\text{米} < 210\text{米}$ ，属于B级高度。

(2) 扭转不规则：在规定水平力作用下，楼层的最大弹性水平位移或(层间位移)，大于该楼层两端弹性水平位移(或层间位移)平均值的1.2倍。

(3) 局部不规则：局部存在穿层柱。

(4) 楼板不连续：楼板开大洞。

综上所述，本工程属于高度超限的一般不规则的高层建筑。

三、抗震性能目标和抗震性能水准

根据工程的超限情况，依据《建筑抗震设计规范》中对结构提出的“小震不坏，中震可修，大震不倒”的抗震设防目标，结构抗震性能目标按照《高规》3.11.1条要求确定为C级，针对不同构件制定不同的性能水准。

四、结构计算分析

(一) 弹性反应谱分析

多遇地震作用下的结构抗震设计采用中国建筑科学研究院的PKPM以及北京迈达斯技术有限公司开发研制的Midas Building两种软件进行计算分析，由PKPM及Midas Building软件按振型分解反应谱法计算得到的最大层间位移角、最大层间位移比、周期比、有效质量系数、刚重比均满足规范的要求，底部楼层剪重比小于《抗规》最小剪力系数的限制，需按《抗规》5.2.5条进行调整。通过计算结构构件均处于弹性状态，说明本工程结构可以满足“小震不坏”的设防目标。

(二) 弹性时程分析

本工程采用5条天然波和2条人工波进行多遇地震作用下的弹性时程分析。《抗规》第5.1.2条要求时程法的计算结果在结构主方向的平均底部剪力一般不会小于振型分解反应谱法计算结果的80%，每条地震波输入的计算结果不会小于65%。本工程所选的七条波的平均地震影响系数曲线与振型分解反应谱法所用的地震影响系数曲线相比，在对应于结构主要振型的周期点上不相差20%，选用的地震波满足规范要求。

根据层位移角曲线及层位移曲线可知，时程反应平均值小于反应谱结果，时程波计算的最大层间位移角满足规范限值 $1/656$ 的要求。大部分楼层时程反应平均值

与反应谱结果接近，顶部局部楼层时程分析剪力平均值大于反应谱结果，在施工图阶段，对相应楼层地震剪力进行放大，确保结构计算的准确性和安全可靠。

（三）设防地震作用下结构抗震性能分析

根据设防烈度地震作用下的抗震性能目标的要求，依据《高规》第3.11节规定，采用PKPM程序对各类构件中震作用下的承载力进行复核，验证构件是否满足中震下的抗震性能目标。结构抗震性能水准是预期的震后结构性状的宏观表现，依据《高规》，采用中震等效弹性算法验算相应构件的正截面和斜截面承载力，从而较为直观地把握设防烈度（中震）结构构件的安全度。

本工程设防烈度下设定为第3性能水准。采用弹性分析对构件进行中震作用下的承载力校核，考虑到结构部分构件实际已经进入弹塑性，计算时阻尼比增加0.005，连梁刚度折减系数取0.5，采用等效弹性计算方法所得的中震作用下的底部剪力和最大层间位移如表5所示。计算结果表明中震作用下的底部剪力约为小震的2.58（X）、2.55（Y）倍（Y）倍，地震作用量级合理。

分析结果表明：在设防烈度地震作用下，结构基底剪力达到小震基底剪力的2.58（X）、2.55（Y）倍，地震作用量级合理；剪力墙及框架柱均可满足抗弯不屈服、抗剪弹性的性能目标；框架梁满足抗弯部分屈服（数量小于30%）、抗剪不屈服的性能目标；普通连梁满足部分屈服（数量小于30%）、抗剪不屈服的性能目标。

设防烈度地震作用下各项设计控制指标满足性能水准3的抗震性能目标。

（四）罕遇地震作用下结构动力弹塑性时程分析

按照抗震规范要求，罕遇地震弹塑性时程分析所选用的单条地震波需满足以下频谱特性：

- （1）特征周期与场地特征周期接近；
- （2）最大峰值符合规范要求（6度为125Gal）；
- （3）持续时间不宜小于建筑结构自振周期的5倍和15s；

（4）时程波对应的加速度反应谱在结构主要周期点上与规范反应谱相差不超过20%。

PKPM软件与SAUSAGE的质量与周期对比误差小，模型科学满足工程要求。

考虑重力二阶效应及大变形、基于材料非线性，选择满足规范要求的三组地震波对多塔结构进行双向罕遇地震弹塑性时程分析。结构大震弹塑性基底剪力为大震弹性的1.10~1.61倍之间，剪重比在2.85%~3.3%之间（小震剪重比0.6%），表明地震激励输入强度足够，结构进入了一定的塑性。塔楼在弹塑性整体分析中的X向、Y向最大位移角分别为1/341、1/209，均小于高规的限值1/100的要求，结构墙体大部分处于无损伤状态，框架柱基本处于完好状态，满足“大震不倒”的总体设防要求。

（五）针对超限抗震加强措施

1. 针对超限情况的计算分析

（1）设计时分别采用两个不同的力学模型的空间分析程序PKPM和MIDAS-BUILDING进行整体计算，考虑扭转耦联地震荷载作用，结果表明两个软件吻合较好，计算结果真实可靠。

（2）采用SAUSAGE软件进行罕遇地震下的弹塑性分析验算，以确保结构能满足大震下的抗震性能目标要求，并对关键及重要构件采取相应加强措施。

（3）采用等效弹性算法，进行中震弹性、中震不屈服与大震不屈服验算，分析其抗震性能，并采取相应加强措施。

（4）选用五组天然波和两组人工波，对结构作非线性时程分析，并将结果的平均值与规范反应谱分析结果相比较，取其包络值进行设计。

2. 针对超限抗震加强措施

（1）严控竖向构件的轴压比：剪力墙为0.5；框架柱为0.85，底部框架柱采用型钢钢筋混凝土柱，提高框架柱的抗震承载力和延性；底部加强区剪力墙水平和竖向钢筋配筋率按0.6%；

（2）作为楼面梁支座的连梁采取用“防脱落钢筋”措施防止该连梁脱落，提高该连梁性能指标；

（3）跃层柱按底部柱底内力及欧拉公式复合其承载力；

（4）二层楼板针对其大开洞板措施厚为120mm，双层双向配筋，配筋率0.25%；三层楼板为裙房顶为有效传递水平力楼板板厚取值120mm，双层双向配筋，配筋率0.25%。

五、结论

通过对南昌某商业综合体办公楼超高层结构进行小震、中震及大震的抗震分析，可知各个构件均能满足预期的性能水准，基本能达到预期的抗震性能目标C级，通过分析对关键和重要构件采取加强措施，满足“小震不坏、中震可修、大震不倒”的抗震要求。

参考文献

- [1]徐培福,戴国莹.超限高层建筑结构基于性能抗震设计的研究[J].土木工程学报,2005,38(1):1-10.
- [2]韩小雷,李静.基于性能的超限高层建筑结构抗震设计——理论研究与工程应用[M].北京:中国建筑工业出版社,2013.
- [3]中华人民共和国国家标准编写委员会.JGJ3-2010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,2011.
- [4]中华人民共和国国家标准编写委员会.GB50011-2010(2016年版)建筑抗震设计规范[S].北京:中国建筑工业出版社,2016.
- [5]建质[2015]67号,超限高层建筑工程抗震设防专项审查技术要点[S].北京:中华人民共和国住房和城乡建设部,2015.