

玄武饭店二期工程弹塑性时程分析

吴健¹ 张蒙²

1. 江苏省建筑设计研究院有限公司; 2. 北京天地都市建筑设计有限公司江苏分公司

摘要: 玄武饭店二期工程采用钢筋混凝土框架-核心筒结构体系。设计过程中采用了基于性能的设计方法, 并采用MIADS-BUILDING软件对结构进行了罕遇地震作用下的弹塑性时程分析。结构在罕遇地震作用输入下的弹塑性反应及破坏机制, 符合结构抗震的概念设计要求, 能达到预期的抗震性能目标。

关键词: 弹塑性时程分析; 框架-核心筒结构; 抗震性能化设计

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2020.11.090

一、工程概况

玄武饭店二期工程地下5层, 地上48层, 上部塔楼结构高219.1m, 长47m, 宽40m。结构安全等级为二级, 抗震设防类别为丙类, 设防烈度为7度(0.10g), 设计地震分组为第一组, 建筑场地类别为III类, 场地特征周期为0.45s。

二、弹塑性时程分析模型

(一) 模型信息

本工程选用MIDAS BUILDING软件进行罕遇地震作用下动力弹塑性时程分析, 按实际建立三维整体分析计算模型(见图1)。模型简化时, 进行了如下假定:

- 1) 采用单点地面输入地震波, 未考虑多点激励和行波效应。
- 2) 在保证构造措施的前提下, 不考虑钢筋的滑移, 钢筋和混凝土之间完好粘接且变形协调。

(二) 材料本构关系

混凝土本构关系采用《混凝土结构设计规范》附录C中的单轴受压应力-应变模型, 计算中不考虑混凝土的受拉承载力。

钢筋采用双折线动力硬化本构模型, 屈服前后的刚度不同, 屈服后的刚度使用折减后的刚度, 无论屈服与否, 卸载和重新加载时使用弹性刚度。

弹塑性分析时, 剪力墙及剪力墙开洞形成的连梁采用纤维模型单元, 其他连梁和普通框架梁均采用集中塑性铰模型。

(三) 地震波选取

动力弹塑性分析的地震波选取以规范7度0.50s特征周期的反应谱地震影响系数曲线为基准(大震下的连梁刚度折减系数取0.5), 三条地震波(天然波TH046TG045、天然波TH049TG045、人工波USER71)经计算满足规范要求的结构主要振型的周期点上相差不大于20%。表1给出了大震弹性时程分析法计算出的底部剪力与振型反应谱分析法(罕遇地震作用下)计算出的底部剪力。结果表明: 每条时程曲线计算所得的结构底部剪力均不小于振型反应谱分析法计算出的底部剪力65%, 3条时程曲线计算所得的结构底部剪力的平均值大于振型反应谱分析法求得的底部剪力的80%, 地震波的选取满足规范要求。

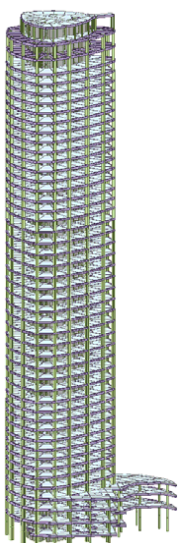


图1 结构分析模型

表1 大震弹性时程分析基底剪力结果比较

地震波	时程分析	比值 时程分析/CQC
TH046TG045	X向	1.09
	Y向	1.20
TH049TG045	X向	1.00
	Y向	1.12
USER71	X向	1.17
	Y向	1.09
平均值	X向	1.09
	Y向	1.14
CQC	X向	----
	Y向	----

三、罕遇地震弹塑性时程分析结果

(一) 楼层剪力分布

罕遇地震作用下楼层剪力分布较为均匀, 变化趋势较为接近, 无明显突变。由于连梁的损伤耗能, 使结构的刚度削弱, 地震作用减少, 基底剪力约为大震弹性的70%, 结构两个方向在大震下进入非线性的程度相当。

结构在罕遇地震作用下的X向和Y向最大基底剪力约为多遇地震下的3.6~4.6倍, 比值在合理范围以内。

(二) 层间位移角

罕遇地震作用下弹塑性层间位移角分布如图2所示, 三组地震波作用下的结构弹塑性层间位移角均小于1/100的限值, 在人工波USER71的Y向地震作用下位移角最大为1/145。

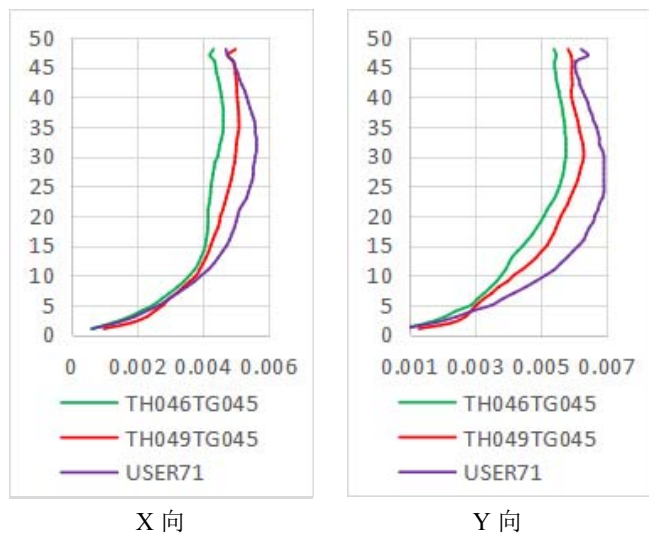


图2 罕遇地震作用下的层间位移角分布

四、罕遇地震作用下结构性能分析

由于三条地震波的结果相近, 下文重点对天然波TH049TG045的弹塑性结果进行重点分析。

(一) 框架梁塑性铰

在1s、10s、15s和30s四个时刻, 发生屈服的框架梁比例分别为0.2%、4.2%、30.9%和35.9%。10s~15s是框架梁进入屈

服较多的阶段。图3给出了框架梁在罕遇地震（Y为主方向）作用下在30s时刻的屈服状态。

(二) 筒体之间的连梁

在1s、10s、15s和30s四个时刻，发生屈服的连梁比例分别为0.2%、46.8%、81.3%和83.0%，筒体之间的连梁在罕遇地震作用下大体量发生屈服，达到了耗能的设计目的。在前15s连梁基本达到屈服状态，能够及时通过耗能，保证筒体剪力墙发挥第一道抗震防线的作用。图4给出在Y向地震作用下的连梁在30s时刻的损伤情况。

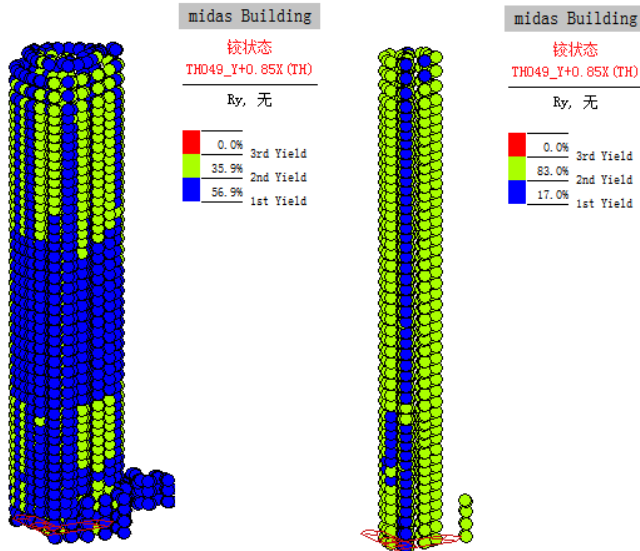


图3 框架梁屈服状态

图4 连梁屈服状态

(三) 框架柱塑性铰

仅裙房范围的框架柱以及顶部9层框架柱开裂的比例逐渐增大，并且未进入了屈服状态。这说明在整个罕遇地震作用期间，结构框架柱基本保持弹性工作状态，保证了结构在大震作用下不倒。

(四) 剪力墙混凝土纤维受压应变

图5给出了在X和Y向罕遇地震作用下剪力墙混凝土轴向应变在30s的延性系数云图。可见在罕遇地震的整个持续作用时间内大体量混凝土受压未屈服，剪力墙混凝土纤维始终处于弹性工作状态。局部洞口边缘混凝土出现受压屈服，对该部位加强配筋，以避免受压屈服。

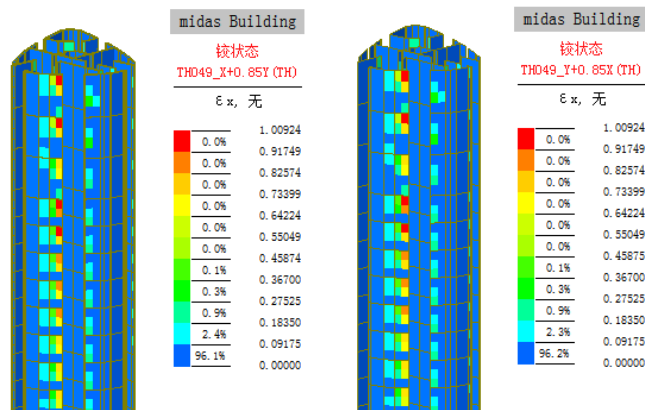


图5 剪力墙混凝土纤维受压应变等级图

(五) 剪力墙钢筋拉压应变

图6给出了罕遇地震作用下30s时刻的剪力墙钢筋纤维应变等级图。在30s时刻，约97%钢筋的应变在0.7倍屈服应变以

下，约1.5%钢筋的应变在0.7~1倍屈服应变之间，可见剪力墙钢筋基本始终处于弹性状态。局部洞口边缘的钢筋进入屈服阶段，对此部位采取配筋加强措施。

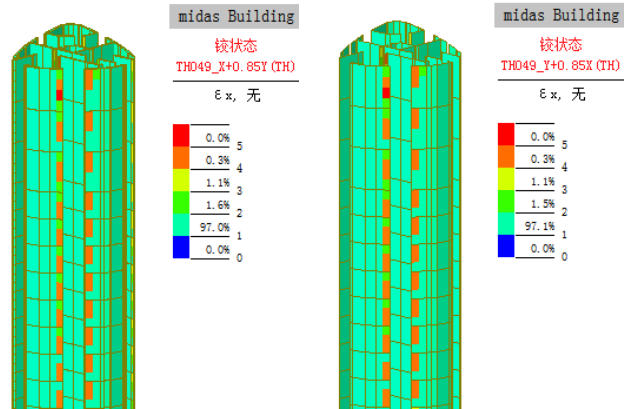


图6 剪力墙钢筋应变等级图

(六) 剪力墙的剪切损伤

图7为剪力墙底部加强区在大震下的损伤分布图，出现剪切损伤的墙体为核心筒内部墙体，而非筒体外圈剪力墙，墙肢基本处于抗剪不屈服状态，核心筒能够达到大震不倒的设计意图。

结论

通过对结构进行罕遇地震作用动力弹性分析，可得到以下结论：

- 1) 连梁普遍先于框架梁进入屈服状态，梁弯曲塑性铰的分布沿结构分布较为广泛均匀，总体上先于框架梁耗能，结构的耗能较好形成多道耗能体系。
- 2) 作为主要抗侧力构件的剪力墙混凝土纤维受压及钢筋纤维拉压大部分处于弹性工作状态。

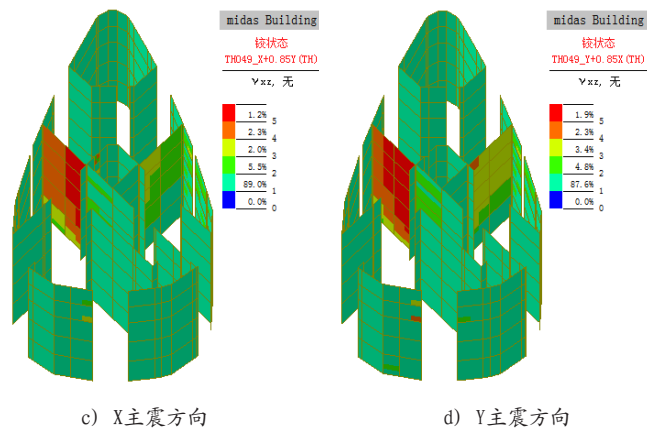


图7 剪力墙剪切损伤分布

3) 剪力墙剪切向大部分处于弹性工作状态，部分墙肢的局部纤维进入屈服状态，需采取措施对相关部位进行加强。

4) 整体来看，结构在罕遇地震输入下的弹塑性反应及破坏机制，符合结构抗震工程的概念设计要求，能达到预期的抗震性能目标。

参考文献

[1] 钱国桢, 孙宗光, 倪一清. 超限高层建筑抗震设计应用技术[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2015.
 [2] 吕西林, 李学平. 超限高层建筑工程抗震设计中的若干问题[J]. 建筑结构学报, 2002年02期.
 [3] 徐培福, 王亚勇, 戴国堂. 关于超限高层建筑抗震设防审查的若干讨论[J]. 土木工程学报, 2004年01期.