

Applied Technology for Seismic Design
of Tall Buildings Beyond the Scope of Design Codes

超限高层建筑 抗震设计应用技术

钱国桢 孙宗光 倪一清

中国建筑工业出版社

Applied Technology for Seismic Design
of Tall Buildings Beyond the Scope of Design Codes

超限高层建筑抗震设计应用技术

钱国桢 孙宗光 倪一清

中国建筑工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

超限高层建筑抗震设计应用技术/钱国桢等. —北京: 中国建筑工业出版社, 2015. 6
ISBN 978-7-112-17933-6

I. ①超… II. ①钱… III. ①高层建筑-防震设计 IV. ①TU973

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 053697 号

本书包括七个方面内容: (1) 介绍了超限高层建筑的范围和管理规章, 并且强调了加强管理的必要性; (2) 按照现行规范内容, 依次论述了各类超限高层建筑的问题判别与处理建议; (3) 与常规设计方法对比, 阐述了性能设计的内容、种类、参数、标准、性能目标的细化综合及具体操作建议; (4) 在介绍有关基本知识的基础上, 分别对静力、动力弹塑性分析方法做了简介, 包括: 假定、原理、分析模型、计算方法、操作建议、适用范围、地震波选择、结果分析评估等; (5) 对各种结构控制方法与适用性做了介绍, 并且给出有关实例; (6) 较系统地介绍了有关结构健康监测的知识和广州电视塔的结构健康监测实例; (7) 给出了六个有关静力、动力弹塑性分析的算例与设计实例, 供建筑结构工程师设计参考。

本书出版期间, 住房和城乡建设部最新发布了: 关于印发《超限高层建筑工程抗震设防专项审查技术要点》的通知建质 [2015] 67 号文, 原建质 [2010] 109 号文件同时废止。故本书中已将新文件编入附录三, 书中相关内容或有矛盾之处请以附录三为准。

责任编辑: 赵梦梅 李东禧

责任设计: 张 虹

责任校对: 张 颖 赵 颖

超限高层建筑抗震设计应用技术

钱国桢 孙宗光 倪一清

*

中国建筑工业出版社出版、发行(北京西郊百万庄)

各地新华书店、建筑书店经销

北京红光制版公司制版

北京云浩印刷有限责任公司印刷

*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 26 字数: 633 千字

2015 年 7 月第一版 2015 年 7 月第一次印刷

定价: 59.00 元

ISBN 978-7-112-17933-6
(27186)

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题, 可寄本社退换

(邮政编码 100037)

序 一

超限高层建筑工程，是指超出国家现行规范、规程所规定的适用高度和适用结构类型的高层建筑工程，体型特别不规则的高层建筑工程，以及有关规范、规程规定需要进行抗震专项审查的高层建筑工程。随着经济的发展和现代建筑技术的日渐成熟，我国涌现出许多超高或体型复杂的新型建筑，其中多数都属于超限高层建筑工程。为了加强超限高层建筑工程的抗震设防管理，提高超限高层建筑工程抗震设计的可靠性和安全性，保证超限高层建筑工程抗震设防的质量，我国规定应根据 2002 年颁布的《超限高层建筑工程抗震设防管理规定》（建设部令第 111 号）和现行的《超限高层建筑工程抗震设防专项审查技术要点》，对超限高层建筑工程进行抗震设防专项审查。

我国高层建筑的抗震设计都是基于规范中的分析方法和构造措施。而规范是对较成熟工程实践经验的总结，各种方法如反应谱法与时程分析法等，均采用了一系列的假定。如果规则性方面超出规范限值太多时，无法满足这些假定条件，若仍完全按照规范的方法进行设计，将影响计算结果的可靠性。其次，我们选用的结构类型都有一定的适用范围，超过了这个范围，我们采取的构造措施可能会因为缺乏实践的经验而造成经济和技术的不合理。如何进行超限高层建筑结构抗震设计，确保工程的安全可靠，是结构工程师所必须面对的问题。

本书针对以上问题，强调了对超限高层建筑结构设计强化管理的必要性，突出了概念设计的重要性；较全面地阐述了各种超限类型的判别方法及相应设计措施；通过与常规设计方法的比较阐述了基于性能设计的要点和方法、性能目标的细化；介绍了静力弹塑性分析和动力弹塑性分析的基本知识、分析原理和操作步骤；此外还涉及振动控制和健康监测等新技术，深入浅出地介绍了超限高层建筑结构设计的有关内容，同时还列举了部分工程实例，可作为结构工程师从事超限高层建筑结构设计时的参考。

钱国桢教授级高工曾长期从事和负责杭州市抗震办的技术管理工作，具有扎实的抗震理论知识和丰富的工程实践经验。虽然他现已退休，并 75 岁高龄，仍保持着孜孜不倦的学习热情。此次他与两位曾在杭州市城建设计院共事过的同事，香港理工大学的倪一清教授和大连海事大学的孙宗光教授合作，为普及推广超限高层建筑结构抗震设计的应用技术而编著此书，其精神难能可贵。这本书内容丰富，具有通俗性、系统性、针对性、实用性和启发性等特点，可以开阔结构工程师的思路，相信不管是初学者还是具有一定经验的结构工程师，都将会从该书获益。

中国工程设计大师 益德清

2014 年 11 月 26 日

序 二

本书主要作者钱国桢教授多次邀我为本书写序，却之不恭，勉力为之。通读本书后，把我对本书的一些体会写在下面，供读者参考。

本书是一本专门介绍超限高层建筑抗震设计的著作，是当前抗震设计界很需要的内容，概括来说本书有以下三个特点：

第一，内容全面。它涉及了有关超限高层建筑设计各个方面：从超限高层建筑结构的定义、有关政府管理规章到为什么要对它严加管理的理由；从有关规范的规定，到对这些规定的理解与设计经验介绍；从对抗震性能设计概念的介绍、与以往设计方法的对比到如何进行性能设计目标的细化；从静力动力弹塑性分析的方法、各种相关概念知识的论述到具体软件应用实例；考虑到一般工程师对于弹塑性抗震结构知识的渴求，它还详细介绍了有关弹塑性分析的相关基本知识，包括结构分析模型、非线性杆件模型、剪力墙模型、塑性铰问题、恢复力模型、计算方法、地震波选择、一些软件的应用体会等；书中还介绍了结构控制与结构健康监测的知识与实例。

第二，作者从多方面论述了从严控制超限高层结构的必要性。世界上多数发达国家对此都是从严控制，像美日等国都有相应的审查制度。我国在北京建了像鸟巢、中央电视台大楼等超限高层后，全国各地大有猛增之势。其中原因之一是有些业主和设计师们对此还缺乏充分的，对于结构可行性与经济性方面的认识，有的认为现在的软件可以解决任何不规则结构的设计计算，其实问题没有这样简单。书中对反应谱方法（CQC法）、时程分析法以及有关结构控制的方法，都提出了适用性范围问题。对抗震设计来说，首先必须考虑的是要符合概念设计的要求，这应该值得大家重视。另外超限高层必然涉及增加造价问题，在我们这样的发展中国家，如果超限高层建筑建造太多必然会增加经济投入，特别是国家投资的工程，应该引起有关方面负责人的注意。

第三，书中包括了不少作者多年来的研究成果。例如对索网与膜结构的自振频率控制问题，作者通过坐标变换，推导了应用贝塞尔函数零点的自振频率简化求解公式，方便设计人员在方案阶段，就可通过合理地施加预应力来控制索网与膜结构的自振频率；作者还提出了设置转换层的新思路，一般转换层都设置在大跨度层的上一层，但是根据作者以往的工作，比较了对转换层设置的最优位置问题，给建筑和结构的合理布局开阔了思路；作者还对高层建筑抗震设计研究主要问题之一的扭转问题给予了很多关注；作者还根据自己的经验，提出了对穿层柱、斜柱稳定的计算机输入注意点与抗震问题的要害之处和一些可供今后规范修订参考的问题。书中还详细介绍了作者倪一清教授与孙宗光教授在结构健康监测方面的工作，倪一清教授是我国开展结构健康监测最早的专家，开始大多应用在桥梁方面，现在已经在一些高层建筑上应用，广州电视塔就是他们亲自主持的一个结构健康监测的样板案例。

如上所述，本书是一本可供读者较全面了解、学习和掌握超限高层建筑设计相关

知识的有益读物，由于作者是长期亲身从事结构和抗震设计实践的工程师，他们对结构工程师的实际需求有更深切的了解，因此本书行文表述深入浅出，通俗易懂，使读者读来更感亲切。

本书对国内从事结构设计研究的工程师们有较好的参考价值。

魏 琰

2014 年 11 月 30 日

前 言

38年前我在当时的建设部东北建筑设计院工作期间，亲身感受了海城和唐山两次大地震。虽然海城地震是有预报的，但是由于城市建筑没有抗震设防，还是造成1328人死亡，4292人受伤，111.35万间房屋倒塌（约为唐山地震倒塌房数量的1/3）。而现在大地震前虽然都未预报，但是地震的伤亡人数和房屋倒塌数已经大大减少，这主要是依靠我国在工程抗震设防方面所做的工作。特别是建设部抗震办与中国建筑科学研究院抗震所，以及全国各地的工程抗震科研、设计、施工和管理人员的工作。单就抗震设计规范，从1974年的《工业与民用建筑抗震设计规范》TJ 11—74薄薄的几十页，到现行的近500页的《建筑抗震设计规范》GB 50011—2010，已经先后修订了五次，而且现在几乎每种构筑物都有了抗震设计规范。事实证明减少地震灾害最有效的办法，就是建筑物、构筑物的抗震设防。可以说现在一般完全按照抗震规范建造的房屋，基本上不会在设防烈度的地震作用下倒塌。但是，现在还有三类工程属于抗震的薄弱环节。第一类是农村没有按抗震规范建造的农居。可以说绝大多数农村建筑都是农民自己建造的，而且大多没有抗震设防，所以每次地震的重灾区都在农村。现在国家在农村的抗震救灾方面投入很多，但是对农房建造的抗震设防管理仍然无能为力，可能要靠城镇化来解决；第二类是一些存在次生安全隐患的构筑物，如核电站、石化公司等类似的构筑物，这类构筑物有的还没有抗震规范，如制氧机厂的空分塔等。有的规范落后于工艺的发展，如核电站，所以是一个抗震薄弱环节；第三类是超出规范限定标准的高层建筑。这类建筑因为不符合抗震概念设计要求，而且超出抗震规范的限定标准，因此也存在隐患。住房和城乡建设部对此十分重视，近几年连续颁布了多个规章、文件和细则，强化了管理程序与组织。但是有关超限高层建筑的技术因素较复杂，涉及的面较广，理论有一定深度，技术操作有一定难度。而且现在百花齐放，缺少一种大家公认的、统一的、规范的方法与程序，因此一般设计工程师较难找到一个入门的台阶。另外，现在我国高层建筑设计中，还很少应用结构控制与健康监测这样的新技术，事实证明这些新技术对超限高层建筑的安全保障与经济效益等方面是有益的；同时，还可以获得已建工程的实际应用中技术数据的反馈信息，这有利于我国高层建筑设计技术的提高。鉴于上述原因，我们希望能够在这个方面也做一点工作。因此，决定与孙宗光、倪一清二位教授合作，写一本有关超限高层建筑设计应用技术方面的书，供设计工程师们阅读和参考。

孙宗光、倪一清二位教授是我以前在杭州市城建设计院的同事，我们一直在学术上保持着联系，本书的大纲内容与目录是我们共同商定的。全书共8章，其中第1至5章主要由钱国桢执笔，第6章由钱国桢、孙宗光、王金昌执笔，第7、8两章由孙宗光、倪一清执笔，第9章由钱国桢组稿。全书由孙宗光负责统稿，倪一清负责最终稿全面校核。第1章主要介绍了超限高层建筑的范围和有关的管理规章；第2章从计算方法和结构类型的适用性、设计的合理性与经济性、震害教训等方面，来说明对超限高层建筑从严审查的必要

性,并介绍了有关超限高层上报审查的范围与内容;第3章按规范内容依次介绍了常见问题与处理办法,其中特别强调了产生扭转问题的原因与影响,并且建议采用五种参数来控制扭转效应,即:位移比、周期比、前几个振型转动因子与平动因子的数值、底部最大地震作用剪力产生在第几振型和它的收敛规律与速度等。还建议限制三种周期比来控制扭转不规则,另外还介绍了其他多方面的若干设计经验体会;第4章从抗震性能设计方法与常规设计方法的对比着手,介绍了性能设计方法的内容、种类、参数的确定、性能目标的细化综合以及性能设计的操作步骤与建议,使初学者较易理解和应用;第5章主要介绍了以Pushover方法为基础的能力谱方法的假定、原理、有关公式的由来、操作步骤、适用范围,以及应用静力弹塑性分析结果,对结构进行抗震性能设计评估的要点。还简介了我国学术界、工程界对此方法的研究与应用概况;第6章在介绍了有关动力弹塑性分析基本知识的基础上,简单介绍了各种分析模型、计算方法、适用范围、地震波选择、结果分析评估以及有关软件的应用问题;第7章对各种结构控制方法与适用性作了介绍,并且给出了用被动控制方法实施房屋加层,以及风振控制的例题;第8章较系统地介绍了有关结构健康监测的知识,还较详细地介绍了倪一清负责的广州电视塔结构健康监测系统的设计与实施概况。第9章介绍了6个有关静力、动力弹塑性分析的算例与设计实例,以供工程师们参考。

本书第9章的算例与实例,分别由杭州天元建筑设计研究院高涛高工、中建西北建筑设计研究院王伟峰高工、杭州城建设计研究院金天德总工、杭州汉嘉建筑设计研究院楼东浩总工、上海中建建筑设计院刘紫棣高工提供。池毓蔚博士、段元锋副教授分别参与了第7章被动控制加层与风振控制课题的计算分析,王金昌副教授负责了第6章6.2.6节的编写工作,谨此致谢。本书写作有幸得到魏珪老师和益德清大师指教与关心并为之作序。还得到中建西北建筑设计研究院顾问总工沈励操、中建西南建筑设计研究院顾问总工陈正祥、杭州天元建筑设计研究院总工屠忠尧、杭州城建设计研究院总工金天德的关心和帮助。此外,许刚教授级高工、金咸清总工、李智伟高工、滕国明硕士、顾建飞硕士、许哲硕士等为本书写作提供了诸多帮助,在此表示衷心的感谢。

超限高层建筑结构的抗震设计,涉及很多基础理论和应用技术问题,考虑到我们理论知识有限,实践经验不多,书中一定存在不少问题与错漏,真诚地欢迎有关专家、学者、工程师们对本书提出宝贵意见。

作者之一 钱国桢

2014年12月

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 何谓超限高层建筑	1
1.2 对超限高层建筑工程抗震设防专项审查的规定	1
1.3 超限高层建筑的具体标准	2
参考文献	4
第 2 章 超限高层建筑工程的审查	5
2.1 对超限高层建筑工程严格审查的理由	5
2.1.1 考虑结构抗震计算方法假定的适用性	5
2.1.2 考虑结构类型与一般力学分析方法的适用性	7
2.1.3 考虑设计的合理性与经济性	7
2.1.4 吸取地震灾害的教训	7
2.2 超限高层建筑工程的有关专项审查规定	8
2.2.1 建议报住建部组织专家审查的超限高层建筑	8
2.2.2 建议报省建设厅组织专家审查的超限高层建筑	8
2.2.3 不应采用的超限高层建筑	8
2.2.4 有关专项申报与审查的事项介绍	8
第 3 章 超限高层建筑结构抗震设计中的常见问题与处理	10
3.1 高度超限问题	10
3.1.1 高度超限标准的有关修正	10
3.1.2 高度超限问题的一般处理办法	10
3.1.3 高度超限结构抗震设计应注意的问题	11
3.2 扭转效应的控制与处理	14
3.2.1 高层建筑产生扭转效应的原因与影响	14
3.2.2 扭转效应的控制指标	14
3.2.3 减少扭转效应的措施	15
3.2.4 结构设计计算方面的要求	16
3.3 竖向不规则的控制与处理	16
3.3.1 竖向不规则的种类与影响	16
3.3.2 侧向刚度不规则的控制	17
3.3.3 楼层抗剪承载力突变控制	18
3.3.4 竖向抗侧力构件不连续的问题	18
3.3.5 具体设计计算规定与措施	18
3.4 平面不规则的控制与处理	20

3.4.1	平面不规则的种类与影响	20
3.4.2	楼面局部不连续的判别与处理	20
3.4.3	凹凸不规则的判别与处理	21
3.4.4	扭转不规则的控制与处理	22
3.5	带转换层的高层结构问题与设计处理方法	23
3.5.1	带转换层的高层结构的一般设计问题	23
3.5.2	转换层结构的几种形式与适用性	24
3.5.3	转换层结构的设置位置	24
3.5.4	转换层结构的一般设计计算规定	25
3.5.5	有关转换层结构的强制性条文	29
3.6	加强层结构问题与设计处理方法	30
3.6.1	加强层结构的一般设计问题	30
3.6.2	加强层结构的设计要求与措施	31
3.6.3	加强层结构的有关强制性条文	33
3.7	错层结构问题与设计处理方法	34
3.7.1	错层结构的一般设计问题	34
3.7.2	错层结构的设计计算要求与措施	34
3.7.3	错层结构的有关强制性条文	35
3.8	连体结构问题与设计处理方法	35
3.8.1	连体结构的分类与适用条件	35
3.8.2	连体结构的计算问题	36
3.8.3	连体结构的设计构造措施	37
3.8.4	连体结构的有关强制性条文	37
3.9	多塔结构问题与设计处理方法	38
3.9.1	多塔结构的一般设计计算规定与建议	38
3.9.2	多塔结构的设计要求与措施	39
3.10	悬挑结构问题与设计处理方法	39
3.10.1	悬挑结构的一般设计计算问题	39
3.10.2	悬挑结构的一般设计措施建议	40
3.11	超限大跨空间结构问题与设计处理方法	40
3.11.1	超限大跨空间结构设计中的抗震问题	40
3.11.2	超限大跨空间结构的抗震设计计算与措施	41
3.12	超限高层结构设计的计算要求	45
3.12.1	规范相应的设计计算规定	45
3.12.2	使用软件和设计时需要注意的若干问题	48
	参考文献	53
第4章	抗震性能化设计介绍	55
4.1	何谓抗震性能化设计	55
4.2	抗震性能化设计与常规设计对比	55

4.2.1 我国抗震规范对性能化设计的考虑	55
4.2.2 基于性能的抗震设计方法要点	57
4.2.3 性能设计与常规设计方法的比较	58
4.3 性能设计的各类方法简介	59
4.3.1 概述	59
4.3.2 基于承载力的设计方法	59
4.3.3 基于可靠度的设计方法	59
4.3.4 基于能量的设计方法	61
4.3.5 基于损伤性能的设计方法	63
4.3.6 基于位移的设计方法	64
4.4 结构抗震性能控制目标制定	66
4.4.1 结构抗震性能化设计的目的	66
4.4.2 地震动水准的确定	66
4.4.3 结构抗震性能的控制目标	67
4.4.4 判别五种结构抗震水平的准则	71
4.5 各种抗震性能水平的结构设计定量控制指标	73
4.5.1 五种抗震性能水平的结构设计承载力计算	73
4.5.2 不同抗震性能水平位移控制指标	75
4.5.3 美国有关规范的抗震性能水平定量控制指标	77
4.6 抗震性能设计的实施与结构弹塑性分析问题	78
4.6.1 抗震性能设计实施步骤与操作建议	78
4.6.2 抗震性能设计目标的细化和综合	80
4.6.3 规范对结构弹塑性分析的有关规定	83
4.6.4 中震弹性和中震不屈服设计的概念与参数	84
4.6.5 结构弹塑性分析的要求与目的	85
参考文献	86
第5章 静力弹塑性分析方法简介	88
5.1 Pushover 分析方法的基本原理和实现步骤	88
5.1.1 基本原理和假定	88
5.1.2 多自由度体系转换为等效单自由度体系	89
5.1.3 推复具体实现步骤	90
5.1.4 水平加载模式	91
5.1.5 基于 Pushover 分析的各种抗震评估方法简介	95
5.2 能力谱方法介绍	100
5.2.1 能力谱方法的原理和实现步骤	100
5.2.2 拟反应谱以及谱位移和谱加速度的关系	101
5.2.3 能力谱曲线的求得	103
5.2.4 结构等效阻尼比的计算	104
5.2.5 构造需求谱的方法简介	105

5.2.6 能力谱的性能分析方法	109
5.3 静力弹塑性分析结果的评估与说明	110
5.3.1 对静力弹塑性分析结果的评估	110
5.3.2 有关说明	111
参考文献	112
第6章 动力弹塑性分析方法简介	114
6.1 概述	114
6.2 动力弹塑性分析模型	117
6.2.1 结构动力分析模型	117
6.2.2 非线性杆系模型	122
6.2.3 剪力墙模型	127
6.2.4 恢复力模型问题	133
6.2.5 塑性铰模型问题	137
6.2.6 ABAQUS 与纤维模型简介	143
6.3 结构动力分析的数值方法简介	158
6.3.1 中心差分法 (Central of difference method)	159
6.3.2 纽马克法 (Newmark method)	160
6.3.3 威尔逊- θ 法 (Wilson- θ method)	162
6.4 地震波的选用	164
6.4.1 选波的一般原则	164
6.4.2 实用选波方法介绍	166
6.5 结构动力分析的结果与安全性评估	167
6.5.1 一般软件输出的基本数据资料	167
6.5.2 结构性能的判别与安全性评估	168
参考文献	169
第7章 建筑结构振动控制简介	172
7.1 概述	172
7.2 被动控制	173
7.2.1 基础隔振	173
7.2.2 耗能吸能减振	176
7.3 主动控制	181
7.3.1 主动施力控制	182
7.3.2 结构性能可变控制	183
7.3.3 结构智能控制	184
7.3.4 主动控制的优点与问题	184
7.4 混合控制	185
7.5 加层结构的被动控制	187
7.5.1 地震波激励下加层结构被动控制	187
7.5.2 谐波激励下加层结构被动控制试验研究	190

7.6 带鞭梢效应的塔式结构 TMD 抗风设计	194
7.6.1 面向性能的 TMD 设计	194
7.6.2 案例研究	196
参考文献	208
第 8 章 建筑结构的健康监测	211
8.1 结构健康监测系统	211
8.1.1 结构健康监测系统及其发展	211
8.1.2 健康监测系统的功能与目的	212
8.1.3 结构健康监测的内容	213
8.1.4 系统的组成与结构	215
8.1.5 系统设计原则与方法	219
8.2 监测信号处理	221
8.2.1 信号采样	221
8.2.2 信噪比与滤波	222
8.2.3 信号的变换	223
8.2.4 非平稳信号	224
8.2.5 Hilbert-Huang 变换	227
8.3 结构识别与评价	231
8.3.1 结构损伤概述	231
8.3.2 模型修正法	232
8.3.3 动力指纹法	237
8.3.4 神经网络法	240
8.4 混凝土耐久性监测技术	245
8.4.1 腐蚀原理	245
8.4.2 耐久性监测技术	246
8.5 实例：广州电视塔结构健康监测	249
8.5.1 工程概况	249
8.5.2 监测系统总体设计	249
8.5.3 施工监控与运营监测一体化	253
8.5.4 振动控制与健康监测整合	254
8.5.5 可视化信息查询	254
8.5.6 部分监测结果与分析：台风	255
8.5.7 部分监测结果与分析：地震	263
参考文献	267
第 9 章 静力动力弹塑性分析例题	269
9.1 静力和动力弹塑性分析算例：某虚拟工程	269
9.1.1 工程概况与有关参数	269
9.1.2 性能目标与荷载组合	269
9.1.3 静力弹塑性分析结果	271

9.1.4 动力弹塑性分析结果 278

9.1.5 总结 285

9.2 动力弹塑性分析实例一：西安绿地中心 285

9.2.1 工程概况 285

9.2.2 结构基本设计参数 286

9.2.3 地震作用与风荷载 287

9.2.4 工程设计性能指标 294

9.2.5 基础设计 295

9.2.6 结构体系说明 296

9.2.7 超限情况与设计存在的问题 298

9.2.8 超限与设计问题的应对措施 299

9.2.9 性能设计 302

9.2.10 弹性分析结果 302

9.2.11 罕遇地震动力弹塑性时程分析 306

9.2.12 总结 307

9.3 动力静力弹塑性分析实例二：珠海横琴国贸大厦 308

9.3.1 工程概况 308

9.3.2 风荷载与地震作用 308

9.3.3 地基与基础 311

9.3.4 结构体系与控制参数 313

9.3.5 超限情况与应对措施 315

9.3.6 结构弹性分析 317

9.3.7 静力弹塑性分析 324

9.3.8 动力弹塑性分析 327

9.3.9 转换桁架节点分析 331

9.3.10 总结 334

9.4 静力弹塑性分析实例三：杭州市 [2012] 5 号地块项目 334

9.4.1 工程概况 334

9.4.2 设计资料参数 335

9.4.3 抗侧移结构体系与楼面布置 338

9.4.4 超限情况及抗震性能目标 339

9.4.5 静力弹性分析参数与结果 341

9.4.6 静力弹塑性分析 347

9.4.7 设计超限应对措施 348

9.4.8 总结 349

9.5 静力弹塑性分析实例四：香格国际广场二期 350

9.5.1 工程概况 350

9.5.2 结构体系说明 350

9.5.3 超限的类型和程度 353

9.5.4	性能设计与超限应对措施	354
9.5.5	弹性计算结果及分析	356
9.5.6	弹性时程分析	361
9.5.7	重要构件验算	364
9.5.8	静力弹塑性分析结果	364
9.5.9	总结	369
9.6	静力弹塑性分析实例五：上海恒大府邸、恒大大厦住宅 1 号楼	370
9.6.1	工程概况	370
9.6.2	超限情况	370
9.6.3	性能设计目标	373
9.6.4	静力弹塑性分析结果	373
附录一	超限高层建筑工程抗震设防管理规定 中华人民共和国建设部令 第 111 号 ...	378
附录二	房屋建筑工程抗震设防管理规定 中华人民共和国建设部令第 148 号	381
附录三	关于印发《超限高层建筑工程抗震设防专项审查技术要点》的通知 建质 [2015] 67 号	384

第 1 章 绪 论

1.1 何谓超限高层建筑

所谓超限高层建筑是有专门界定标准的，它和超高层建筑的含义不同，后者仅仅指高度超高的高层建筑，而且还缺少明确的规范定义；而超限高层建筑是有法定的含义的，它一般是指建筑结构的技术指标超出现行技术规范规程所规定的若干技术限制性条件的高层建筑。根据《行政许可法》和《超限高层建筑工程抗震设防管理规定》（建设部令第 111 号）（附录一），建设部建质 [2015] 67 号文所颁布的《超限高层建筑工程抗震设防专项审查技术要点》（附录三）中明确规定了超限高层建筑的定义，它一般指以下三类高层建筑：

一、房屋高度超过规定，包括超过《建筑抗震设计规范》GB 50011—2010^[1]（以下简称《抗规》）第 6 章钢筋混凝土结构和第 8 章钢结构最大适用高度、超过《高层建筑混凝土结构技术规程》JGJ 3—2010^[2]（以下简称《高规》）第 7 章中有较多短肢墙的剪力墙结构、第 10 章中错层结构和第 11 章混合结构最大适用高度的高层建筑工程，即高度超限的高层建筑（详见表 1.3.1）。

二、房屋高度不超过规定，但建筑结构布置属于《抗规》、《高规》规定的特别不规则的高层建筑工程，即规则性超限的高层建筑（详见表 1.3.2，表 1.3.3）。

三、特殊类型高层建筑，以及超限大跨屋盖结构（详见表 1.3.4）。

凡是属于以上三类的高层建筑，都应该归类于超限高层建筑。

1.2 对超限高层建筑工程抗震设防专项审查的规定

在改革开放前，全国高层建筑屈指可数。但是在改革开放以后全国各地的高层建筑如雨后春笋般地迅速发展，特别到 21 世纪，各地高层建筑大量涌现，同时也出现了不少超过规范限值规定的高层建筑。为了规范建筑设计，保障公众安全，建设部及时地颁布了 111 号建设部令《超限高层建筑工程抗震设防管理规定》（详见附录一），后又颁布了 148 号建设部令（详见附录二），以及建质 [2003] 46 号文、建质 [2006] 220 号文、建质 [2010] 109 号文和《超限高层建筑工程抗震设防专项审查技术要点》，一再强调超限高层建筑工程的抗震设防管理工作，后又再次颁布了建质 [2015] 67 号文和新的《超限高层建筑工程抗震设防专项审查技术要点》（详见附录三），其中详细规定了超限高层建筑工程（包括大跨度空间结构）抗震设防专项审查的程序、标准、内容、要求、控制条件、审查意见的内容等等，以及专项审查申报书的基本内容、论证报告的基本格式、正文的内容要求、图纸计算书要求等等。以此进一步加强对高层建筑设计、施工建造的管理。其中明确了在各省、自治区、直辖市对此类工程的管理机构、办法与职责。规定凡是建造超限高层建筑，应由建设单位，向相应的省级建设行政主管部门提出专项报告，由省级建设行政主

管部门组织相应的专家进行审查，并且根据情况报送建设部组织有关专家进行审查。据悉，国外像日本和美国等国家也有类似审查规定，可见各国政府对此工作的重视程度。但是很多设计人员，特别是不少建筑师们对此方面的规定还不十分熟悉，为此我们专门就此进行阐述，以强调其重要性，并将在书中较详细地介绍，涉及有关超限高层建筑设计的多方面应用技术问题。这些问题大多是我们的学习心得，因为它涉及到各方面的基础理论问题，和不断更新发展的应用技术，由于我们知识水平有限，实践经验不多，所以书中难免存在错误，欢迎各位学者和工程师提出宝贵意见。

1.3 超限高层建筑的具体标准

在建设部发布的《超限高层建筑工程抗震设防专项审查技术要点》附录中，由五个表来确定超限高层建筑的范围。

房屋高度 (m) 超过下列规定的高层建筑工程 表 1.3.1

结构类型		6 度 (0.05g)	7 度 (0.10g)	7 度 (0.15g)	8 度 (0.20g)	8 度 (0.30g)	9 度 (0.40g)
混凝土结构	框架	60	50	50	40	35	24
	框架-抗震墙	130	120	120	100	80	50
	抗震墙	140	120	120	100	80	60
	部分框支抗震墙	120	100	100	80	50	不应采用
	框架-核心筒	150	130	130	100	90	70
	筒中筒	180	150	150	120	100	80
	板柱-抗震墙	80	70	70	55	40	不应采用
	较多短肢墙	140	100	100	80	60	不应采用
	错层的抗震墙	140	80	80	60	60	不应采用
	错层框架-抗震墙	130	80	80	60	60	不应采用
混合结构	钢框架-钢筋混凝土筒	200	160	160	120	100	70
	型钢(钢管)混凝土框架-钢筋混凝土筒	220	190	190	150	130	70
	钢外筒-钢筋混凝土内筒	260	210	210	160	140	80
	型钢(钢管)混凝土外筒-钢筋混凝土内筒	280	230	230	170	150	90
钢结构	框架	110	110	110	90	70	50
	框架-中心支撑	220	220	200	180	150	120
	框架-偏心支撑(延性墙板)	240	240	220	200	180	160
	各类筒体和巨型结构	300	300	280	260	240	180

注：当平面和竖向均不规则（部分框支结构指框支层以上的楼层不规则）时，其高度应比表内数值降低至少 10%。

同时具有下列三项及三项以上不规则的高层建筑工程
(不论高度是否大于表 1.3.1 规定) 表 1.3.2

序号	不规则类型	简 要 涵 义	备注
1a	扭转不规则	考虑偶然偏心的扭转位移比大于 1.2	GB 50011—2010, 3.4.3
1b	偏心布置	偏心率大于 0.15 或相邻层质心相差大于相应边长 15%	JGJ 99—3.2.2