

复杂超限高层建筑 抗震设计指南 及工程实例

杨学林 编著

中国建筑工业出版社

复杂超限高层建筑抗震设计指南 及工程实例

杨学林 编著

中国建筑工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

复杂超限高层建筑抗震设计指南及工程实例/杨学林编著.

北京: 中国建筑工业出版社, 2014. 7

ISBN 978-7-112-16762-3

I. ①复… II. ①杨… III. ①高层建筑-抗震结构-结构设计 IV. ①TU973

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 079310 号

本书主要内容包括复杂超限高层建筑结构设计指南和超限工程实例两部分。设计指南部分主要包括常见超限结构类型、超限判别界限及建议、具有不同超限类型结构的针对性设计措施、超限结构抗震性能目标选用建议、性能设计指标试算要求和调整原则、复杂超限结构计算分析中的相关问题、超限结构可行性论证报告的编制内容和参考格式等; 超限工程实例部分, 共精选了 10 个典型工程案例, 内容涉及高度超限、多塔、加强层、高位连体、混凝土核心筒高位外扩转换、大悬挑、巨型结构、新型钢屋盖大跨度空间结构等复杂超限类型。本书体现了作者多年从事复杂超限高层结构抗震设计研究与工程实践的成果和经验总结, 适合于从事建筑结构抗震设计的工程技术人员参考使用。

责任编辑: 刘瑞霞 武晓涛

责任设计: 张 虹

责任校对: 张 颖 刘梦然

复杂超限高层建筑抗震设计指南及工程实例

杨学林 编著

*

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

北京楠竹文化发展有限公司制版

北京建筑工业出版社印刷

*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 26 字数: 648 千字

2014 年 8 月第一版 2014 年 8 月第一次印刷

定价: 60.00 元

ISBN 978-7-112-16762-3

(25556)

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

地震具有高度不确定性和突发性,人类依据现有的知识和资料还远远不足以进行准确的地震动区划。回顾国内外发生的重大破坏性地震,很多地震区划中的低烈度地区却发生了较大地震或特大地震,建筑结构遭受到了比规范设定的“罕遇地震”更高的地震作用。在竖向荷载、风荷载作用下,规范要求对结构进行弹性分析,并按弹性内力进行承载力验算;但对地震作用而言,若要求结构在各种强度地震动作用下仍然保持弹性状态,既不经济、也难以做到,因此结构的抗震设计与结构抗御其他普通荷载的设计是完全不同的。众所周知,抗震概念设计是决定结构抗震性能的重要因素,汶川地震及其他国内外历次大地震的震害经验表明,结构布置规则、符合概念设计的房屋具有较好的抗震性能。但近年来随着经济和技术的发展,某些项目为了实现建筑造型和满足特殊的建筑功能需求,在结构体型和不规则程度等方面突破了现行规范限值,从而出现了越来越多的复杂超限高层建筑。复杂超限高层建筑大多属于不规则结构,甚至是特别不规则结构,其刚度和承载力分布不均匀,在强烈地震作用下易形成薄弱部位、出现变形集中而可能遭受较严重的破坏。因此,如何确保此类复杂超限结构在各种地震水准下的抗震安全,是从事结构抗震研究和抗震设计人员面临的共同课题。

《复杂超限高层建筑抗震设计指南及工程实例》一书,介绍了作者多年来从事复杂超限高层建筑抗震研究与工程设计实践所取得的经验和成果,主要体现在:(1)总结了超限高层结构的常见超限类型,对不规则指标验算和超限判别界限提出了相关建议;分别针对结构高度超限、平面规则性超限、竖向规则性超限(转换、多塔、加强层、连体、体型收进突变、大悬挑等)、结构类型超限以及超限大跨空间结构,提出了针对性的设计建议措施。(2)总结了超限高层结构选取抗震性能目标应考虑的因素,提出了超限结构抗震性能目标的选用建议、性能设计指标的试算要求和调整原则;准确预测结构在中震和大震下的弹塑性响应是实现性能化设计的关键,针对静力弹塑性分析方法受侧向力加载模式影响较大、而动力弹塑性时程分析方法计算结果存在离散性大、计算耗时多等困难,书中介绍了一种基于等效线性化模型计算构件等效刚度和等效阻尼的迭代算法,该方法每一步迭代均等效为线性模型并利用振型分解反应谱法求解,可利用现有计算软件实现迭代计算,具有操作简便、计算结果稳定等特点,易为广大设计人员掌握和接受;(3)复杂超限高层结构的分析计算与普通高层结构相比具有很多不同的特点,如对于具有高位转换及连体、设置加强层、大悬挑等复杂超限结构,不同的施工方法和施工工序以及混凝土的后期收缩和徐变效应,均会对结构的实际内力和变形产生显著影响;现行规范对普通高层结构提出的许多计算限值指标(如结构刚重比、扭转位移比、扭转周期比、相邻楼层侧向刚度比和受剪承载力比、基底地震剪力系数等),对于体型复杂、结构布置不规则的超限高层结构来说并不一定都适用。书中提出的针对高位连体、体型收进、多塔、顶部大悬挑等复杂体型高层建筑结构的整体稳定验算方法和考虑钢筋混凝土和组合结构中竖向构件含钢率对混凝土

收缩、徐变效应影响的分析计算方法等内容,是当前复杂超限高层结构分析计算方面的重要成果。

该书结合大量复杂超限工程的分析计算和设计实践经验,精选了多项有代表性的工程案例,系统总结和介绍了针对具有不同超限类型的复杂结构在分析计算、设计措施等方面的关键内容,内容涉及高度超限、多塔、加强层、高位连体、混凝土核心筒高位外扩转换、大悬挑、巨型结构、新型钢屋盖大跨度空间结构等复杂超限类型。上述典型工程案例的介绍,对同类复杂超限结构的分析计算和抗震设计具有很好的借鉴和指导作用。

该书条理清晰,内容丰富,既有理论指导意义,又面向工程实际,体现了作者多年从事复杂超限高层结构抗震设计研究与工程实践的成果和经验总结。相信该书的出版,一定会成为广大结构设计人员的重要参考书。

中国工程设计大师

益德清

2014年2月

前 言

汶川地震及其他国内外历次大地震的震害经验表明,凡结构布置规则、符合抗震概念设计、严格按规范有关抗震措施进行设计和建造的房屋,历次大地震中均表现良好,多数结构即使遭遇比设防烈度高出 2~3 个等级的强震时,仍能保持不倒,有效保障了人员生命安全。这说明,我国现阶段采用的“三水准、二阶段”抗震设计方法,对符合概念设计的规则结构来说是成功的,具有较好的适用性。

而超限高层结构在某一方面或多个方面存在与抗震概念设计要求不相符合的情况,如结构高度超过最大适用高度、或是结构布置规则性指标超过规范限值、或是结构体系和类型超出现行规范的适用类型,因此,目前普遍采用的基于小震承载力验算、通过与概念设计有关的抗震措施保证结构延性需求的传统抗震设计方法,难于适应超限高层结构的抗震设计。而基于性能的抗震设计方法是一种可兼顾结构共性和个性要求的设计方法,可实现结构在不同强度水准地震作用下具有相对明确的性能水平,因而比较适合于超限高层结构的抗震设计。其抗震性能目标和性能设计指标的确定,需要综合考虑结构的超限程度、设防烈度、社会经济水平、建造成本和保养维修费用以及在可能遭受地震作用后的直接和间接损失等多方面因素,使设计的结构处于考虑安全性和经济性的合理平衡上;同时,鉴于地震动水准的高度不确定性,按性能化设计的结构当遭遇比设防大震更高等级的强烈地震(巨震)时,仍有可能遭遇严重破坏甚至倒塌的风险。因此,抗震性能化设计仍应贯彻多道抗震防线的基本思想,不同部位、不同构件应赋予不同的抗震性能水准,重要竖向构件、关键构件和次要构件的抗震承载力安全度水平应设计在不同层次上。

本书反映了作者多年来从事复杂超限高层结构抗震设计与工程实践的成果和经验总结,希望能为设计界同行起到借鉴和指导的作用。

全书共 6 章。第 1 章超限高层建筑的判别界限,阐述了超限高层建筑结构的常见超限类型及其判别界限,并对结构超限判别界限给出了相关建议。第 2 章结构超限设计的针对性措施,分别针对结构高度超限、平面规则性超限、竖向规则性超限(转换层、多塔、加强层、连体、体型收进突变、大悬挑等)、结构类型超限以及超限大跨空间结构,提出了针对性的设计建议措施。第 3 章超限高层建筑结构抗震性能化设计,给出了超限结构抗震性能目标的选用建议、性能设计指标的试算要求和调整原则;提出了一种基于等效线性化模型、并直接利用振型分解反应谱法计算得到的构件内力与其屈服内力之间的比例关系求得构件等效刚度和等效阻尼的迭代算法。第 4 章复杂超限结构计算分析的相关问题,给出了高位连体、体型收进、多塔、顶部大悬挑等复杂体型高层建筑结构的整体稳定验算方法;提出了考虑钢筋混凝土和组合结构中竖向构件含钢率对混凝土收缩、徐变效应的影响及计算方法;建立了可考虑剪切变形影响的混凝土非线性本构模型及材料本构子程序,提出了超限高层结构基于 ABAQUS 软件地震弹塑性时程分析的实现方法。第 5 章超限设计可行性论证报告内容和格式,给出了《超限高层结构抗震设计可行性论证报告》的编制内容

和参考格式，具体工程可依据结构的复杂程度和超限特点等实际情况作适当增减。第6章超限工程设计实例，精选了10个超限结构典型工程案例，内容涉及结构高度超限、多塔、伸臂加强层、大跨度高位连体、混凝土核心筒高位外扩转换、大悬挑、巨型结构、大跨度空间结构及新型钢屋盖结构（单层单向悬索屋面结构）等超限类型。

书中第4章的部分内容源自科研课题“复杂超限高层建筑结构抗震设计研究”的部分研究成果，该课题研究人员除作者本人外，还有陈水福、周平槐、占毅、祝文畏等。第6章中的超限工程设计实例，多数为由作者本人作为结构负责人主持设计的项目，参与上述项目设计的人员还有周平槐、冯永伟、李晓良、徐燕青、赵阳、茆诚、吴小平、匡仁铮等；同时也有部分工程实例引用了兄弟设计单位的工程图样和技术资料（详见书中附注）。在此一并向上述人员和相关单位表示衷心的感谢。

感谢周平槐、祝文畏为本书校对工作所付出的辛勤劳动。

感谢中国建筑工业出版社给予作者的大力帮助。

由于作者工程经历和学术水平所限，书中疏漏和不当之处在所难免，敬请读者批评指正。

杨学林

2014年元月于杭州

目 录

第 1 章 超限高层建筑的判别界限	1
1.1 高度超限的判别界限	1
1.2 规则性超限的判别界限	3
1.3 结构类型超限的判别	4
1.4 超限大跨空间结构的判别	7
1.5 结构超限判别的相关建议	8
参考文献	14
第 2 章 结构超限设计的针对性措施	16
2.1 针对高度超限的设计措施	16
2.2 针对平面规则性超限的设计措施	19
2.3 针对竖向规则性超限的设计措施	23
2.3.1 带转换层结构的设计措施	23
2.3.2 多塔结构的设计措施	25
2.3.3 带加强层结构的设计措施	27
2.3.4 连体结构的设计措施	30
2.3.5 体型收进结构的设计措施	32
2.3.6 悬挑结构的设计措施	32
2.4 结构类型超限的设计建议	33
2.5 超限大跨空间结构的设计措施	34
参考文献	35
第 3 章 超限高层建筑结构抗震性能化设计	36
3.1 概述	36
3.1.1 性能化抗震设计方法的研究背景	36
3.1.2 性能化抗震设计方法的特点	36
3.1.3 超限高层结构性能化设计的基本思想和主要内容	37
3.2 地震作用水准及地震动参数	38
3.2.1 地震作用的随机性和不确定性	38
3.2.2 地震作用水准及地震动参数	40
3.3 结构的抗震性能水准与性能目标	42
3.3.1 结构的抗震性能水准	42
3.3.2 结构的抗震性能目标	43
3.4 结构的性能设计指标及分析计算要求	45
3.4.1 结构在不同性能水准下的性能设计指标	45
3.4.2 构件抗震承载力性能指标验算	47

3.4.3 结构在不同性能水准下的计算分析要求	48
3.5 超限结构性能目标选用建议及工程示例	49
3.5.1 结构性能目标选用应考虑的因素	49
3.5.2 性能目标选用建议	50
3.5.3 性能设计指标的试算和调整	50
3.5.4 超限工程结构性能目标示例	56
3.6 基于等效线性化模型的抗震性能设计方法	63
3.6.1 引言	63
3.6.2 构件等效刚度计算	64
3.6.3 构件等效阻尼比计算	66
3.6.4 等效线性化模型的迭代计算	67
3.6.5 算例一	68
3.6.6 算例二	71
参考文献	81
第4章 复杂超限结构计算分析的相关问题	82
4.1 复杂体型高层建筑结构整体稳定性验算	82
4.1.1 结构整体稳定验算的规范方法及其不足	82
4.1.2 结构刚重比指标和 $P-\Delta$ 效应的近似估算	84
4.1.3 竖向匀直高层结构刚重比限值	86
4.1.4 带大底盘高层结构刚重比限值	86
4.1.5 竖向均匀收进结构刚重比限值	87
4.1.6 顶部悬挑高层结构刚重比限值	88
4.1.7 不同侧向荷载分布模式下的结构等效侧向刚度计算	88
4.1.8 算例分析	90
4.2 ABAQUS 二次开发及基于 ABAQUS 的动力弹塑性时程分析	93
4.2.1 基于 ABAQUS 的动力弹塑性时程分析实现方案	93
4.2.2 ABAQUS 二次开发——材料本构子程序 VUMAT	95
4.2.3 典型算例分析——与其他软件分析结果对比	99
4.3 考虑混凝土收缩、徐变效应的施工模拟分析	102
4.3.1 考虑施工过程影响的计算分析	102
4.3.2 混凝土收缩和徐变效应模拟分析	105
4.3.3 考虑构件含钢率对收缩、徐变效应的影响分析	106
4.3.4 混合高层考虑核心筒超前施工对收缩徐变效应的影响分析	108
参考文献	110
第5章 超限设计可行性论证报告内容和格式	111
5.1 超限设计可行性论证报告内容	111
5.2 可行性论证报告参考格式范例	114
5.2.1 工程概况	115
5.2.2 设计依据	116
5.2.3 材料	116
5.2.4 荷载与作用取值	117
5.2.5 结构体系及结构布置方案	119

5.2.6 地基、基础设计方案	129
5.2.7 超限程度判断	131
5.2.8 抗震性能目标及针对超限的具体措施	134
5.2.9 静力计算和多遇地震计算	139
5.2.10 中震、大震性能设计指标的验算	156
5.2.11 弹塑性分析和振动台模型试验	162
5.2.12 其他专项计算分析	174
参考文献	193
第6章 超限工程设计实例	194
6.1 杭州新世界财富中心	194
(特点:超B级高度;环带桁架;斜柱转换;半埋入式型钢混凝土柱脚设计)	
6.2 昆明螺蛳湾中心一期工程	219
(特点:超高层混合结构;8度设防;加强层;考虑收缩徐变效应的施工模拟分析)	
6.3 乐清总部经济园一期2号~4号楼高位连体结构	253
(特点:高位连体高层结构;刚性连接支座设计;滑动连接支座设计)	
6.4 江苏常州凯纳商务广场	267
(特点:超B级高度;2008年建造时为国内最高的剪力墙结构)	
6.5 宁波东部新城门户区北区2号-2(TC)地块办公楼	282
(特点:大悬挑结构)	
6.6 温州置信广场主塔楼	304
(特点:超B级高度;核心筒外围墙肢高位外扩转换)	
6.7 温州鹿城广场标志性塔楼	322
(特点:高度超B级高度,75层,高度350m;伸臂加强层;顶部吊柱和拉索幕墙)	
6.8 宁波环球航运广场	340
(特点:巨型结构体系;建筑层数51层、结构层数50层)	
6.9 湖州南太湖湿地奥体中心—主体育场	351
(特点:超限大跨度空间结构,网壳跨度260m;网壳空中观光走廊)	
6.10 江苏昆山好孩子集团研发中心—展览中心	375
(特点:屋面长度300m,单层单向悬索结构体系,为国内首次采用的新型结构体系)	
参考文献	406

第 1 章 超限高层建筑的判别界限

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、规程规定应当进行抗震专项审查的高层建筑工程^[1]。超限高层建筑工程包括以下 4 种情况^[2]：

(1) 高度超限，即房屋高度超过规定，包括超过《建筑抗震设计规范》(GB 50011)^[3]关于钢筋混凝土结构和钢结构的最大适用高度、超过《高层建筑混凝土结构技术规程》JGJ 3^[4]关于具有较多短肢墙的剪力墙结构、错层结构和混合结构最大适用高度的高层建筑工程。

(2) 规则性超限，即结构布置属于《建筑抗震设计规范》(GB 50011)、《高层建筑混凝土结构技术规程》(JGJ 3) 规定的特别不规则的高层建筑工程。此时不论房屋高度是否超过规定，均应判定为超限高层建筑。

(3) 结构类型超限，即特殊结构类型的高层建筑工程，包括《建筑抗震设计规范》(GB 50011)、《高层建筑混凝土结构技术规程》(JGJ 3) 和《高层民用建筑钢结构技术规程》(JGJ 99)^[5]等现行规范、规程尚未列入的其他高层建筑结构，特殊形式的大型公共建筑及超长悬挑结构，特大跨度的连体结构等。

(4) 超限大跨空间结构，即房屋高度大于 24m 且屋盖结构超出《空间网格结构技术规程》(JGJ 7)^[6]规定的常用形式的大型公共建筑工程（不含轻型膜结构）。

1.1 高度超限的判别界限

根据现行《建筑抗震设计规范》(GB 50011)^[3]对钢筋混凝土结构和钢结构最大适用高度的规定，以及现行《高层建筑混凝土结构技术规程》(JGJ 3)^[4]对具有较多短肢墙的剪力墙结构、错层结构和混合结构最大适用高度的规定，各类结构体系的最大适用高度汇总后列于表 1.1.1。

高层建筑工程高度超限的判别界限可按表 1.1.1 执行，同时应注意以下几点：

(1) 丙类、乙类建筑，应根据本地区设防烈度按表 1.1.1 确定其最大适用高度；甲类建筑，除 9 度外宜按本地区设防烈度提高一度后确定。

(2) B 级高度的钢筋混凝土高层建筑，应列为高度超限的高层建筑工程。

(3) 同时存在平面不规则项和竖向不规则项（部分框支剪力墙结构仅指框支层以上的楼层同时存在平面和竖向不规则项）时，其最大适用高度宜降低不小于 10%。

(4) 钢筋混凝土框架结构，高度超限时宜改变结构体系，可采用框架 - 剪力墙结构，或钢支撑 - 混凝土框架结构。

(5) “少墙框架”结构的最大适用高度宜按框架结构确定。“少墙框架”系指框架结构中设置少量剪力墙，在规定的水平力作用下，底层框架部分所承担的地震倾覆力矩大于

结构总地震倾覆力矩的 50%。根据现行《建筑抗震设计规范》(GB 50011)^[3]，“少墙框架”仍应视为框架结构的范畴，其最大适用高度宜按框架结构确定。框架-剪力墙结构中出现少量短肢墙时，短肢墙承担的底部倾覆力矩宜计入框架内。

(6) 局部框支转换结构的最大适用高度可按全部落地的剪力墙结构确定。“局部框支转换”可按不落地的剪力墙截面面积不超过剪力墙总截面面积的 10% 控制，此时只要框支部分的设计合理且不致加大扭转不规则，仍可视作全部落地的剪力墙结构。

(7) 框架-核心筒结构，当带有部分仅承受竖向荷载的无梁楼盖时，可不作为板柱-剪力墙结构对待。

(8) 6 度时带较多短肢墙的剪力墙结构、错层的剪力墙和框架-剪力墙结构，现行规范、规程未明确其最大适用高度，建议分别按 120m、100m 确定。带较多短肢墙的剪力墙结构^[4]，系指短肢墙承担的底部倾覆力矩比不小于 30% 的剪力墙结构。

(9) 对于带较多短肢墙的剪力墙结构，高度超限时宜改变结构体系，可改为剪力墙结构或框架-剪力墙结构。根据现行《高层建筑混凝土结构技术规程》(JGJ 3)^[4]，B 级高度的高层建筑不宜布置短肢墙，不应采用带较多短肢墙的剪力墙结构。

(10) 板柱-剪力墙结构高度超限时，宜改变结构体系，可改为框架-剪力墙体系。

(11) 为减小柱截面尺寸或增加延性而在混凝土柱中设置型钢，框架梁仍为混凝土梁时，或结构中局部构件（如转换梁、柱）采用型钢梁、柱或型钢混凝土梁、柱时，该结构

各类结构体系的最大适用高度（单位：m）表 1.1.1

结构体系		6 度 (0.05g)	7 度 (0.10g、0.15g)	8 度 (0.20g)	8 度 (0.30g)	9 度 (0.40g)
混凝土结构	框架	60	50	40	35	24
	框架-剪力墙	130	120	100	80	50
	板柱-剪力墙	80	70	55	40	—
	剪力墙	剪力墙	140	120	100	80
		部分框支剪力墙	120	100	80	50
		带较多短肢墙	120 *	100	60	60
	筒体	框架-核心筒	150	130	100	90
		筒中筒	180	150	120	100
	错层的剪力墙和框架-剪力墙		100 *	80	60	60
混合结构	框架-核心筒	钢外框-钢筋混凝土筒	200	160	120	120
		型钢混凝土外框-钢筋混凝土筒	220	190	150	150
	筒中筒	钢外筒-钢筋混凝土筒	260	210	160	140
		型钢混凝土外筒-钢筋混凝土筒	280	230	170	150
钢结构	框架		110	110	90	70
	框架-支撑（剪力墙板）		220	220	200	180
	各类筒体和巨型结构		300	300	260	240

* 6 度时带较多短肢墙的剪力墙结构、错层的剪力墙和框架-剪力墙结构，现行规范、规程未明确其最大适用高度，表中数值系作者建议值。

不应视为混合结构，其最大适用高度仍应按混凝土结构确定。

(12) 对于非抗震设防区的高层建筑，当高度超过其最大适用高度时，可不按照超限高层建筑的要求进行抗震专项审查，但属于超规范设计，应在规范基础上采取相应的加强措施，并作必要的技术论证。

1.2 规则性超限的判别界限

根据《超限高层建筑工程抗震设防管理规定》^[1]和《超限高层建筑工程抗震设防专项审查技术要点》^[2]，现行《建筑抗震设计规范》^[3]、《高层建筑混凝土结构技术规程》^[4]中规定的特别不规则的高层建筑，不论房屋高度是否超过规定，均应判定为超限高层建筑，具体可按表 1.2.1、表 1.2.2 进行判别，即当高层建筑结构存在表 1.2.1 中列举的 3 项及 3 项以上，或表 1.2.2 中列举的 1 项及 1 项以上不规则类型时，应判定为规则性超限的高层建筑。

同时具有下列三项及以上不规则的高层建筑工程 表 1.2.1

序号	不规则类型	简要涵义
1a	扭转不规则	考虑偶然偏心的扭转位移比大于 1.2
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%
2a	凹凸不规则	平面凹凸尺寸大于相应边长 30% 等
2b	组合平面	细腰形或角部重叠形
3	楼板不连续	有效宽度小于 50%，开洞面积大于 30%，错层大于梁高
4a	刚度突变	相邻层刚度变化大于 70% 或连续三层变化大于 80%
4b	尺寸突变	竖向构件位置缩进大于 25%，或外挑大于 10% 和 4m，多塔
5	构件间断	上下墙、柱、支撑不连续，含加强层、连体类
6	承载力突变	相邻层受剪承载力变化大于 80%
7	其他不规则	如局部的穿层柱、斜柱、夹层、个别构件错层或转换 (已计入 1~6 项者除外)

注：深凹进平面在凹口设置连梁，其两侧的变形不同时仍视为凹凸不规则，不按楼板不连续中的开洞对待；
序号 a、b 不重复计算不规则项；
局部的不规则，视其位置、数量等对整个结构影响的大小判断是否计入不规则的一项。

具有下列某一项不规则的高层建筑工程 表 1.2.2

序号	不规则类型	简要涵义
1	扭转偏大	裙房以上的较多楼层，考虑偶然偏心的扭转位移比大于 1.4
2	抗扭刚度弱	扭转周期比大于 0.9，混合结构扭转周期比大于 0.85
3	层刚度偏小	本层侧向刚度小于相邻上层的 50%
4	高位转换	框支墙体的转换构件位置：7 度超过 5 层，8 度超过 3 层
5	厚板转换	7~9 度设防的厚板转换结构
6	塔楼偏置	单塔或多塔与大底盘的质心偏心距大于底盘相应边长 20%

续表

序号	不规则类型	简要涵义
7	复杂连接	各部分层数、刚度、布置不同的错层；连体两端塔楼高度、体型或者沿大底盘某个主轴方向的振动周期显著不同的结构
8	多重复杂	结构同时具有转换层、加强层、错层、连体和多塔等复杂类型的 3 种

注：仅前后错层或左右错层属于表 1.2.1 中的一项不规则；多数楼层同时前后、左右错层属于本表的复杂连接。

1.3 结构类型超限的判别

现行《建筑抗震设计规范》^[3]、《高层建筑混凝土结构技术规程》^[4]和《高层民用建筑钢结构技术规程》^[5]等现行规范、规程尚未列入的高层建筑结构、特殊形式的大型公共建筑及超长悬挑结构、特大跨度的连体结构等，属于结构类型超限的高层建筑。

结构类型超限的高层建筑举例：

(1) 上部钢结构、下部混凝土结构组成的组合高层结构，应视为结构类型超限的高层建筑。如杭州天工艺苑加层项目，加层前为 5 层混凝土结构，2005 年在上部增设 7 层钢结构，加层前为多层建筑，加层后变为高层建筑。这种由上部钢结构、下部混凝土结构构成的组合高层结构，现行规范、规程中尚未列入此类结构形式，故应列为结构类型超限的高层建筑。此类结构的抗震设计，应重点解决好地震作用的计算、结构阻尼比的取值，以及如何确保上、下部连接可靠等问题。

(2) 没有外框柱的筒体结构，如浙江天奥电梯试验塔（见图 1.3.1），地上 29 层，地下 2 层，建筑高度 167.5m，其结构平面只有混凝土核心筒，周边没有框架。从抗震角度考虑，它不具备第二道抗震防线。此类结构也未列入现行规范、规程中，因此应视为结构类型超限的高层建筑。此类结构应处理好混凝土连梁与墙肢的关系，使连梁起到第一道抗震防线的作用，确保大震下墙肢受力安全。

(3) 没有内部核心筒的框筒结构，如图 1.3.2 所示为某钢筋混凝土框筒结构超高层建筑，内部铰接钢框架仅承担竖向荷载，水平风荷载和地震作用 100% 由钢筋混凝土外框筒承担；又如深圳平安金融大厦（见图 1.3.3），地上 48 层，建筑高度 228m，同样采用钢筋混凝土框筒结构（无内筒）体系。由于现行《建筑抗震设计规范》^[3]、《高层建筑混凝土结构技术规程》^[4]中的筒体结构，仅列入了框架－核心筒和筒中筒两种类型，因此对于此类无内筒的框筒结构，应视为结构类型超限的高层建筑。束筒结构（见图 1.3.4）也同样应视为结构类型超限的高层建筑。

(4) 巨型框架结构，如浙江宁波环球航运广场为 51 层的超高层建筑，建筑高度 250m，底部仅东、西两侧的混凝土筒体落地（见图 1.3.5），承担结构的全部竖向荷载，并与 5 道巨型钢桁架共同构成 x 方向的抗侧力体系，形成结构层数为 5 层的巨型框架体系（图 1.3.6）。由于现行规范、规程中尚未列入此类巨型结构体系，故应列为结构类型超限的高层建筑。

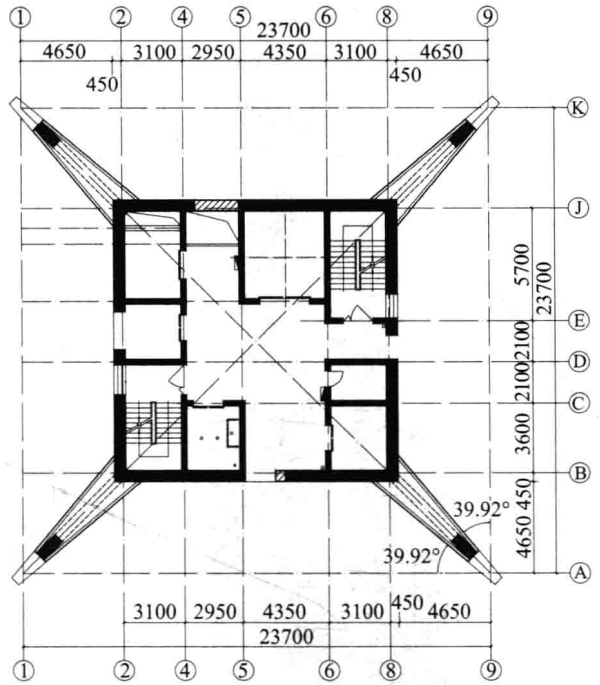
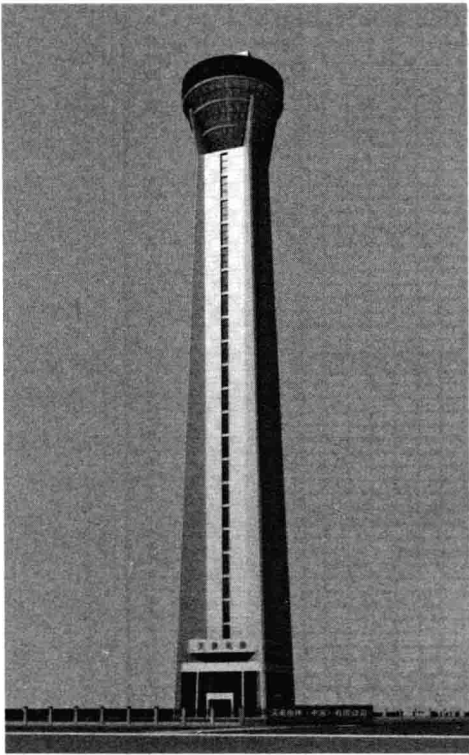


图 1.3.1 浙江天奥电梯试验塔效果图及标准层建筑平面图

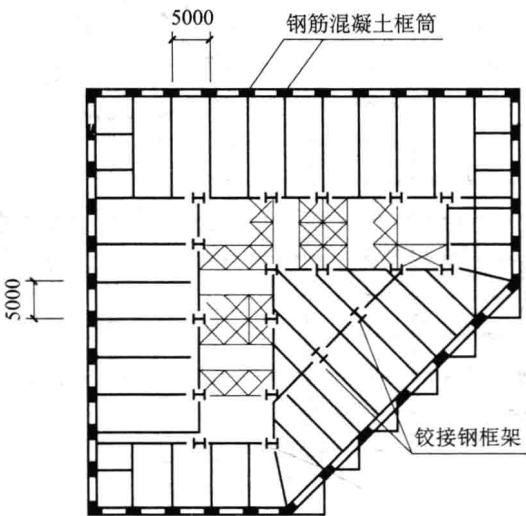


图 1.3.2 某钢筋混凝土框筒结构平面示意

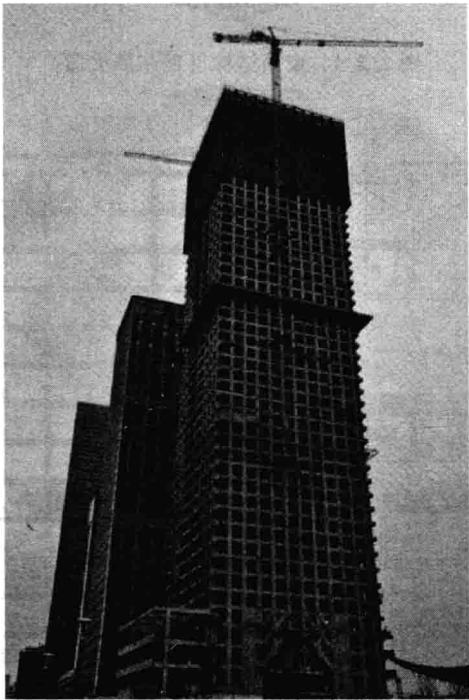


图 1.3.3 深圳平安金融大厦（框筒结构）

1.4 超限大跨空间结构的判别

根据《超限高层建筑工程抗震设防专项审查技术要点》^[2]，房屋高度超过 24m 的下列空间结构，应判定为超限大跨空间结构：

- (1) 屋盖跨度大于 120m；
- (2) 悬挑长度大于 40m；
- (3) 单向长度大于 300m；

(4) 屋盖结构形式超出《空间网格结构技术规程》(JGJ 7)^[6]规定的常用空间结构形式的大型列车客运候车室、一级汽车客运候车楼、一级港口客运站、大型航站楼、大型体育场馆、大型影剧院、大型商场、大型博物馆、大型展览馆、大型会展中心、特大型机库等大型空间结构。

超限大跨空间结构举例：

(1) 湖州奥体中心主体育场屋盖结构由跨度为 260m 的高低两个屋面叠合而成（见图 1.4.1），单个屋面均为由沿着屋面水平投影轮廓旋转一周形成光滑曲面，然后通过边界线切割生成的双层开口网壳；在高低屋面之间，沿着中间椭圆形洞口边缘设置一圈观光走廊。屋盖结构最高点标高 56.0m，图 1.4.2 为主体育场屋盖结构计算模型。由于开口网壳屋盖结构跨度远远超过 120m，故属于超限大跨空间结构。

(2) 杭州奥体博览中心主体育场为八万座的大型体育场（见图 1.4.3），钢结构罩棚屋盖由 14 个花瓣组构成，每个花瓣组由主、次两片花瓣组成。屋盖罩棚外边缘南北向长 333m，东西向宽 285m，罩棚最大宽度 68m，最高点标高 60.7m，最大悬挑跨度 52.5m（见图 1.4.4）。显然，屋盖罩棚结构单向长度超过 300m，悬挑长度大于 40m，故属于超限大跨空间结构。

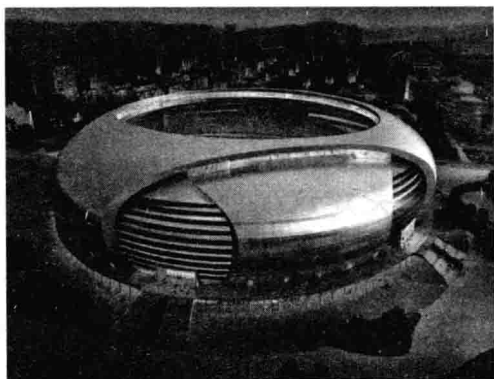


图 1.4.1 湖州奥体中心主体育场效果图



图 1.4.2 湖州奥体中心主体育场结构模型

(3) 杭州奥体博览中心体育游泳馆项目（见图 1.4.5），由设有观众席容量 1.8 万座的体育馆和 6000 座的游泳馆组成，上部整体钢结构屋盖。体育馆和游泳馆屋盖均采用双层网壳结构，中间大厅上方为单层网壳结构，将体育馆和游泳馆屋盖结构连为整体，单向长度达 456m（见图 1.4.6）。体育馆屋盖网壳结构最大跨度 141.4m，最高点标高 45.0m；