

JIANZHU JIEGOU SHEJI CHANGYU WENTI JI DUICE

建筑结构设计

常遇问题及对策

魏利金 编著



中国电力出版社
www.cepp.com.cn

JIANZHU JIEGOU SHEJI CHANGYU WENTI JI DUICE

建筑结构设计 常遇问题及对策

魏利金 编著



中国电力出版社

www.cepp.com.cn

本书根据作者长期从事建筑结构设计、技术咨询工作经验,对结构设计人员在应用2002版规范、PKPM系列软件时经常遇到的各种问题进行了归纳和总结。重点介绍了结构设计人员在设计时常遇的一些热点、疑难问题及若干特殊复杂结构设计问题,提出了一些看法及处理手法,同时还介绍了涉外工程设计应注意的诸多问题。

本书可供广大建筑结构设计人员,高等院校土木工程专业师生参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

建筑结构设计常遇问题及对策/魏利金编著. —北京:中国电力出版社, 2009

ISBN 978-7-5083-7911-1

I. 建… II. 魏… III. 建筑结构—结构设计—问答
IV. TU318-44

中国版本图书馆CIP数据核字(2008)第161397号

中国电力出版社出版发行

北京三里河路6号 100044 <http://www.cepp.com.cn>

责任编辑:王晓蕾 责任印制:陈焊彬 责任校对:闫秀英

汇鑫印务有限公司印刷·各地新华书店经售

2009年1月第1版·第1次印刷

700mm×1000mm 1/16·12.25印张·241千字

定价:32.00元

敬告读者

本书封面贴有防伪标签,加热后中心图案消失

本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换

版权专有 翻印必究

本社购书热线电话(010-88386685)

前 言

本书针对近年来工程设计人员在应用结构规范、理论分析计算、计算机应用等方面经常遇到的一些热点、难点问题，结合对规范的理解、解读以及多年国内外大型工程设计经验总结撰写而成。

本书的特点是：观点均来源于工程实际设计中。2002 版规范在工程设计中已应用多年，如何在工程设计中正确应用理解规范，选择合适的设计软件及合理选取设计参数显得尤为重要。2002 版规范都明确要求结构设计者必须对结构分析软件的计算结果进行分析判断，确认其合理、有效后方可作为工程设计依据。那么设计人员依靠什么去判断？只能依靠概念设计的概念及工程经验来判断，而概念设计主要来源于设计人员对各规范的融会贯通，工程经验当然只能来源于工程设计经验的积累。

另外，本书也介绍了一些做国外工程设计经常遇到的问题，如世界各国抗震设防烈度的划分标准；风荷载的取值异同点；常用的建筑结构材料的强度对应关系；混凝土强度测试的异同点等。

本书内容丰富，涉及面广，简明实用，可读性和操作性强，可供从事结构设计工作的设计人员以及大专院校的教师和学生参考使用。

本书在编写过程中得到了许多专家和学者的大力支持与帮助，在此表示衷心地感谢。由于编者水平有限，书中疏漏之处在所难免，恳请广大读者和专家批评指正。

编者

目 录

前言

第 1 章 结构设计人员应了解的一些基本概念	1
1.1 再论概念设计	1
1.2 建筑工程抗震性态设计的概念	4
1.3 “分缝结构”与“多塔结构”的异同点	5
1.4 “刚性楼板”与“弹性楼板”的概念	6
1.5 与振型有关的几个概念	8
1.6 侧刚与总刚的概念	9
1.7 “抗震措施”与“抗震构造措施”概念	9
1.8 结构基本周期、结构自振周期与设计特征周期、场地卓越周期之间的关系	9
1.9 有关高层建筑超限审查的基本规定	10
1.10 地震震级与抗震设防烈度的关系	10
1.11 世界多个国家抗震设防烈度与地面运动加速度的对应关系	11
1.12 众值烈度、基本烈度、罕遇烈度相互间的关系	11
1.13 抗震设计的“三个水准”通过两个阶段来实现的问题	12
1.14 中、美、欧抗震设计规范的简单比较	13
1.15 关于建筑结构的抗震设防标准问题	18
1.16 建筑设计使用年限与地震影响系数的关系	19
1.17 风速、风压、风级之间的关系	20
1.18 中、美风速、风压的换算关系	23
1.19 土的变形模量 E_0 与压缩模量 E_s 的关系	26
1.20 地基承载力标准值与特征值的关系	27
1.21 建筑物在施工阶段与使用阶段地基变形关系	29
1.22 关于混凝土强度等级的有关问题	30
1.23 关于钢筋代号与强度等级的有关问题	31
1.24 目前我国建筑主要钢种及与国外主要建筑用钢的对比	32
1.25 主要建筑材料特性与温度的关系	36
1.26 关于带有贮仓的框架结构抗震等级的选取问题	40
1.27 关于工业建(构)筑物的抗震等级的选取问题	40
1.28 关于多层钢筋混凝土剪力墙的抗震等级的选取问题	41

1.29	结构设计使用年限、结构重要性系数、建筑结构安全等级、设计基准期	42
1.30	地震影响系数与场地特征周期的关系	43
1.31	结构设计使用年限与结构可靠度的关系	44
1.32	荷载选取与设计使用年限的关系	46
1.33	作用在建筑结构上荷载的分类	46
1.34	方案设计阶段如何估算各类结构楼层单位面积的重量标准值	47
1.35	关于钢结构连接材料及连接方法问题	48
1.36	钢结构防腐蚀常用的一些措施	52
1.37	建筑结构设计阶段的工程造价控制问题	53
1.38	世界各国建筑钢结构的应用概况	57
1.39	世界几个国家的设计安全度现状比较	61
1.40	我国水泥新旧标准对照表	63
1.41	目前国内常用结构软件的简介	66
1.42	钢结构设计时一些容易混淆的基本概念	67
1.43	关于耐热混凝土的一些知识	71
1.44	关于构筑物抗震设计计算“A”与“B”水准的问题	72
1.45	短肢剪力墙的设计与异形柱区别	73
1.46	关于弹性动力时程分析问题	74
第2章	有关设计参数的合理选取问题	76
2.1	抗震等级确定的合理选用问题	76
2.2	计算振型数的合理选取问题	76
2.3	主振型的正确判断问题	77
2.4	地震力、风力作用方向的合理选取问题	77
2.5	周期折减系数的合理选取问题	78
2.6	活荷载质量调整系数的选用问题	78
2.7	关于柱计算长度系数合理选取问题	79
2.8	关于结构阻尼比的选用问题	81
2.9	关于梁的几个调整系数选用问题	81
2.10	关于顶部小塔楼地震放大系数的问题	82
2.11	关于偶然质量偏心问题	82
2.12	关于双向地震的扭转效应问题	83
2.13	质量偶然偏心和双向地震作用是否同时考虑	85
2.14	单向与双向地震作用扭转效应有何区别	85
2.15	关于楼层刚度的计算方法的选取问题	86
2.16	如何按水平地震剪力系数最小值调整地震剪力	87

2.17	关于 $P-\Delta$ 效应如何考虑的问题	88
2.18	关于上部结构嵌固端的合理选取问题	88
2.19	使用 PKPM 系列软件需要注意的一些问题	90
2.20	混凝土柱的单、双偏压计算的选择	94
2.21	何时考虑竖向地震作用? 如何考虑	95
2.22	关于温度应力分析问题	95
2.23	关于应用三维程序计算有吊车作用的建筑结构应注意的问题	97
第 3 章	有关地震作用的调整问题	98
3.1	关于最小地震剪力调整问题	98
3.2	关于 $0.2V_0$ 的调整系数问题	98
3.3	关于竖向不规则结构地震作用效应调整问题	99
3.4	关于特殊构件地震力调整系数合理选取问题	99
3.5	关于边榀框架地震作用效应调整问题	100
3.6	关于转换梁地震作用下的内力调整问题	100
3.7	关于框支柱地震作用下的内力调整问题	101
3.8	关于板柱—抗震墙结构地震作用调整问题	101
第 4 章	关于结构整体性能的控制问题	102
4.1	结构整体性控制总论	102
4.2	水平位移限值(层间位移)的控制问题	104
4.3	位移比的合理控制问题	106
4.4	周期比的合理控制问题	107
4.5	层刚度的合理比控制问题	111
4.6	整体稳定的合理控制问题	112
4.7	框架—剪力墙结构中框架承担的倾覆力矩控制问题	112
第 5 章	如何正确分析、判断计算结果的正确性	114
5.1	首先必须注意检查原始数据、计算简图正确性	114
5.2	第二步检查设计的“三个”基本文本文件	114
5.3	对计算结构合理性的判断	115
5.4	对计算结果渐变性的判断	115
5.5	对结构平衡性的判断	116
5.6	构件配筋的合理性问题	116
第 6 章	应用计算程序上机计算时设计常遇问题及处理办法	118
6.1	关于排架及门式刚架二维计算时吊车荷载的合理选取问题	118
6.2	用《门式刚架轻型房屋钢结构技术规程》(CECS 102—2002) 计算带有夹层的 门式刚架柱平面内计算长度的选取问题	118

6.3	门式刚架柱、梁平面外计算长度的合理选取问题	119
6.4	计算门式刚架时,关于风荷载体形系数 U_s 的合理选取问题	119
6.5	关于简支檩条计算方法的合理选取问题	120
6.6	跨层柱(跃层柱)计算长度系数程序是如何处理的?	121
6.7	在用 STS 计算钢桁架、钢支架时必须注意的问题	121
6.8	框支剪力墙有限元分析时,程序中是如何从 SATWE、TAT 等空间结构计算 结果导荷载至单榀的平面结构中的?在选取切榀范围时应注意哪些事项	122
6.9	关于错层结构的设计问题	122
6.10	混凝土柱加实腹钢梁的单层工业厂房设计需要注意的问题	131
6.11	彻底了解在 PKPM 中主梁与次梁的区别	132
6.12	抗震设防烈度 8 度、设计基本加速度值为 0.30g 时,25~45m 高度的 框架结构位移难以控制,应如何处理	134
6.13	在 PKPM 系统中输入楼板厚度的作用是什么	134
6.14	特殊梁、柱、支撑定义应注意的问题	134
6.15	对于带支撑的钢结构框架、钢支架在建模时应注意的问题	135
6.16	关于钢结构设计分析时需注意的问题	135
6.17	较规则框架结构,柱配筋的单偏压和双偏压问题	136
6.18	三维计算参数中的梁刚度放大系数对无板翼缘的梁是否有用	136
6.19	关于建模需注意的几个问题	137
6.20	关于荷载输入需注意的几个问题	137
6.21	如何选择剪力墙连梁的两种刚度模型	138
6.22	用 SATWE 软件计算井字梁结构,为什么其计算结果与查井字梁结构 计算表相差很大	138
6.23	SATWE (TAT) 底层柱、墙、支撑最大组合内力文件中输出的内力值 为何不能直接用于基础设计	139
6.24	弹性地基梁结构 5 种计算模式的选择问题	139
6.25	采用桩筏筏板有限元计算筏板基础时,倒楼盖模型和弹性地基梁模型 计算结果差异很大,为什么	140
第 7 章 结构设计中常遇的影响设计质量的一些问题及解决办法		142
7.1	选用标准图方面时易出现的一些问题	142
7.1.1	选用吊车梁时应注意的几个问题	142
7.1.2	选用轻型梯形钢屋架时应注意的问题	142
7.1.3	在选择屋面支撑时应注意的几个问题	143
7.2	结构计算时易出现的一些问题	144
7.2.1	关于桩基础计算应注意的一些问题	144

7.2.2	关于插入式钢柱脚的一些计算问题	146
7.2.3	关于地下结构计算时土压力的合理选用问题	148
7.2.4	关于计算地下结构时如何考虑室外汽车荷载的一些问题	149
7.2.5	独立柱基础计算时荷载的取值问题	149
7.2.6	对于三角形塔架结构计算时应注意的问题	150
7.2.7	剪力墙结构中连梁设计中的几个问题	150
7.2.8	框架结构中有少量剪力墙的设计问题	151
7.2.9	关于短肢剪力墙与短肢剪力墙结构的有关问题	151
7.2.10	关于楼层上设备基础地震力的计算问题	152
7.2.11	钢筋混凝土柱厂房为什么不采用山墙(砌体隔墙)承重	153
7.2.12	设计修建于山区的房屋时如何确定风荷载标准值	153
7.2.13	高低屋面在设计低屋面处的屋面结构时未考虑该处雪荷载积雪分布不均匀的影响	153
7.2.14	关于框架结构基础拉梁的计算问题	153
7.2.15	关于地下结构外墙平面外计算问题	154
7.3	构造措施方面易出现的一些问题	155
7.3.1	关于超长结构无缝设计问题	155
7.3.2	设置了抗震缝后可否根据各单元划分设防分类? 目前许多大底盘高层建筑裙房为商店, 上部为住宅楼, 其抗震设防分类应注意哪些事项	156
7.3.3	框架—抗震墙结构, 在基本振型地震作用下计算框架部分承受的地震倾覆力矩, 基本振型指的是什么振型	156
7.3.4	多层砌体房屋和底部框架、内框架房屋的最小墙厚度是何含义? 房屋抗震横墙是指什么样的墙体? 不对齐或不贯通的横墙算不算抗震横墙	156
7.3.5	住宅工程中顶层为坡屋顶, 屋顶是否需设水平楼板? 顶层为坡屋顶时层高有无限制? 总高度应如何计算	157
7.3.6	在砖房总高度、总层数已达限值的情况下, 若在其上再加一层轻钢结构房屋, 此种结构形式应如何设计	157
7.3.7	《建筑抗震设计规范》(GB 50011—2001) 规定多层砌体房屋的总高度指室外地面到主要屋面板顶或檐口的高度, 半地下室从地下室地面算起, 全地下室和嵌固条件较好的半地下室允许从室外地面算起, 嵌固条件较好一般是指什么情况	157
7.3.8	随着墙体材料的改革, 城市已经禁止或限制使用烧结普通黏土砖, 代之以烧结多孔砖或混凝土空心小砌块, 对于±0.00 以下部分的砌体可有哪些替代材料	158
7.3.9	对于抗震缝、沉降缝、伸缩缝三缝新的认识	158

7.3.10	关于刚性基础与柔性基础的配筋问题	160
7.3.11	关于大块式设备基础配筋问题	161
7.3.12	关于焊缝质量等级的合理选取问题	161
7.3.13	关于混凝土结构耐久性问题	163
7.3.14	砌体结构层高超过《建筑抗震设计规范》(GB 50011—2001) 第 7.1.3 条 规定时如何处理	163
7.3.15	砌体结构的基础不满足《建筑抗震设计规范》(GB 50011—2001) 第 7.3.13 条 要求时如何处理	164
7.3.16	《建筑抗震设计规范》(GB 50011—2001) 第 7.3.1 条要求砌体结构有 较大洞口时应设构造柱, 较大是多大	164
7.3.17	关于地下结构抗渗等级的合理选用问题	164
7.3.18	关于钢柱基础的有关问题	165
7.3.19	关于圈梁的一些补充说明	165
7.3.20	多层砌体房屋的墙体是否可以采用黏土砖和现浇钢筋混凝土混合 承重	165
7.3.21	若多层砌体房屋的建筑方案存在错层时, 结构抗震设计应注意哪些 问题	166
7.3.22	框架梁非加密区箍筋最小配筋率问题	166
7.3.23	混凝土板在不同钢筋种类时的最小配筋率	168
7.3.24	框架柱每侧纵向受力钢筋的根数限制要求	169
第 8 章 2002 版主要结构规范技术规定的变化对结构用钢量的影响		
有哪些		170
8.1	《混凝土结构设计规范》(GB 50010—2002) 技术规定变化的主要影响	170
8.2	《建筑结构荷载规范》(GB 50009—2001) 技术规定变化的主要影响	171
8.3	《建筑抗震设计规范》(GB 50011—2001) 及《高层建筑混凝土结构技术 规程》(JGJ 3—2002) 技术规定变化的主要影响	171
8.4	规范组按新规范试设计的结果	172
第 9 章 结构设计与工程造价有关的一些问题		173
9.1	建筑结构设计阶段对工程造价的影响	173
9.2	建筑层数、层高及所在地的抗震设防烈度对结构工程造价的影响	173
9.3	钢结构建筑材料选择对结构工程造价的影响	174
9.4	混凝土结构主要建筑材料用量统计参考表	174
9.5	轻型门式刚架的柱距, 跨度的合理选择对结构工程造价的影响	175
9.6	北京地区目前各种多层住宅建筑的造价比	182
参考文献		183

第1章 结构设计人员应了解的一些基本概念

1.1 再论概念设计

概念设计是结构工程师展现先进设计思想的重要环节。结构工程师对特定的建筑空间应能用整体的概念来完成结构总体方案的设计,并处理好结构与结构、结构与构件以及构件与构件之间的关系,确定好细部构造的做法。

概念设计是一种设计的思路,可以认为是定性的设计。概念设计不以精确的力学分析、生搬硬套的规范条文为依据,而是对工程进行概括的分析,制定设计目标,采取相应的措施。概念设计的概念包括安全度的概念、力学的概念、材料的概念、荷载的概念、抗震的概念、施工的概念、使用的概念等。概念设计要求我们融合这些概念,并贯穿到结构方案设计、结构构件布置、计算简图抽象、计算结果分析处理中。概念设计具体体现在以下几个方面:

1. 场地选择方面

选择对建筑抗震有利的场地,宜避开对建筑抗震不利的地段,不应在危险地段建造甲、乙、丙类建筑。对于不利地段,结构工程师应提出避开要求,当无法避开时,应采取有效措施,这时需考虑地震因场地条件间接引起结构破坏的原因,诸如地基土的不均匀沉陷、地震引起的地表错动与地裂等。

2. 建筑平立面布置方面

建筑的平立面布置应符合概念设计的要求,不应采用严重不规则的方案。不规则的建筑,在结构设计时要进行水平地震作用计算和内力调整,并应对薄弱部位采取有效的抗震构造措施。

3. 结构材料选择方面

结构材料选择与结构体系的确定应符合抗震结构的要求。采用哪一种结构材料、什么样的结构体系,需要经过对其技术、经济条件比较后综合确定。同时力求结构的延性、刚度、强度完美匹配,尽量降低房屋重心,充分发挥材料的强度,并提出了结构两个主轴方向的动力特性(周期和振型)相近的抗震概念。

4. 结构应具有多道抗震防线

尽可能设置多道抗震防线。地震有一定的持续时间,而且可能多次往复作用,根据地震后倒塌的建筑物分析研究,地震的往复作用使结构遭到严重破坏,而最后倒塌则是结构因破坏而丧失了承受重力荷载的能力。适当处理构件

的强弱关系,使其形成多道防线,是增强结构抗震能力的重要措施之一。如框架结构,框架就成为唯一的抗侧力构件,那么采用“强柱弱梁”型延性框架,在水平地震作用下,梁的屈服先于柱的屈服,就可以利用梁的变形消耗地震能量,使框架柱退居到第二道防线的位置;框架剪力墙结构,剪力墙作为第一道防线,框架作为第二道防线等。

5. 选择合理的刚度和承载力分布以及与之匹配的延性

具有合理的刚度和承载力分布以及与之匹配的延性。提高结构的抗侧移刚度,往往是以提高工程造价及降低结构延性指标为代价的。要使建筑物在遭受强烈地震时具有很强的抗倒塌能力,最理想的是使结构中的所有构件及构件中的所有杆件都具有较高的延性,然而实际工程中很难做到。这就要求在做设计时要有选择地提高结构中的重要构件以及关键杆件的延性,这是一种比较经济、有效的办法。如对于上刚下柔的框支墙结构,应重点提高转换层以下的各层的构件延性;对于框架和框架筒体结构,应优先提高柱的延性。在工程设计中另一种提高结构延性的办法是在结构承载力无明显降低的前提下,控制构件的破坏形态,减小受压构件的轴压比(同时还应注意适当降低剪压比),提高柱的延性。

6. 确保结构的整体性

各构件之间的连接必须可靠,且应符合下列基本的要求:

(1) 构件节点的承载力不应低于其连接构件的承载力。当构件屈服、刚度退化时,节点应保持承载力和刚度不变。

(2) 预埋件的锚固承载力不应低于连接件的承载力。

(3) 装配式的连接应保证结构的整体性,各抗侧力构件必须有可靠的措施以确保空间协同工作。

(4) 结构应具有连续性,注重施工质量,避免施工不当使结构的连续性遭到削弱甚至破坏。

7. 结构工程师在应用程序时应注重一些概念设计

(1) 在建筑方案设计阶段,一般是很难借助于计算机来实现的,这就需要结构工程师综合运用自己掌握的结构概念,根据成熟的工程经验形成的设计原则、设计思想,创造性、灵活地运用它们,选择经济合理的结构方案。

(2) 结构工程师应能比较客观、真实的理解结构的工作性能。因为,现行的结构设计理论与计算理论还存在许多的缺陷或不可计算性,如基于弹性理论的内力计算方法与基于塑性理论的极限状态设计方法之间的矛盾,使计算结果与实际结构的受力状态有时相差甚远,要弥补计算理论的缺陷,实现对工程中大量无法计算的结构构件的设计,就需要通过概念设计和构造措施来满足结构设计的目标。在这一过程中,结构工程师不可被计算机计算的高精度结果所迷

惑,造成对结构工作性能的误解,使工程留下安全隐患。

(3) 结构工程师应处理好结构的协同工作,保证结构构件在承载能力极限状态下能共同受力、共同工作,且具有共同的耐久性能。如基础与上部结构的共同工作性能应处理为一个有机整体;对结构中的各种“长、短”构件(长柱、短柱、长梁、短梁)应尽可能协调其长细比、跨高比;对边缘构件,如剪力墙、角柱、底层柱等,应恰当选择构件截面,布置合理,通过结构措施保证其强度和变形,满足结构受力、刚度和经济方面的要求。

8. 概念设计中应注重结构刚度的控制

(1) 结构概念设计的重要内容之一就是结构整体刚度和构件的相对刚度控制设计。在结构布置和结构计算分析时,结构工程师一般比较关注的是荷载的产生及其数值大小,即比较注重“力”的概念,而往往容易忽视或轻视结构或构件抵抗外力的变形能力、反映结构构件内在联系、影响构件内力及变形相互关系的“刚度”。事实上,结构中力的平衡、变形的协调以及由此产生的构件内力都是通过构件自身的线刚度,以及连接构件之间的相对刚度的大小来体现的。因此,结构工程师应十分重视、透彻理解结构刚度理论,尤其是对相对刚度理论。在结构设计中刚度理论科学地运用,不仅能够避免结构产生不安全因素,消除结构隐患,而且可以保证构件以至于整个结构在荷载作用下,受力合理并获得最佳的经济效益。

(2) 结构设计的刚度控制应贯穿于结构设计的全过程。如将楼面刚度设计为无穷大,可使计算出的各抗侧力构件的内力较为准确,保证结构的安全性;将高层建筑设计成竖向刚度均匀连续变化,在任何楼层处不会产生位移突变,也就不会形成薄弱部位,在遭受罕遇地震时就不至于倒塌或发生危及人们生命的严重破坏;将建筑结构两个主轴方向的侧向刚度协调均衡,使建筑结构两向甚至多方向的动力特性相近,可抑制结构的扭转效应,使结构变形简单,较好地保证结构的安全;在平面刚度发生突变、产生薄弱部位的地方,在采用“精确”计算和多种构造措施都难于满足抗震要求的部位,通过合理的设置防震缝,解决平面刚度突变的问题等。

(3) 结构设计中应注重计算软件的选择。针对上述问题,结构工程师面对繁多的计算软件应该怎样选择呢?首先,应根据工程情况了解设计软件的使用条件。如一般情况下可首选空间分析程序对结构进行整体分析,包括底框结构也同样如此。其次,根据工程结构的复杂程度选择不同计算理论的空间分析程序。如建筑平面中有一贯穿两层的中庭,楼面刚度受到较大削弱,选用 TAT 程序计算就不妥,应选用 SATWE 计算,因其有楼板分块刚性假定。第三,还应对所计算的工程特点有针对性地修改计算参数。如由于非结构构件的刚度存在,在计算上无法反映,房屋的实测周期(合理周期)将大于计算周期的 2~3 倍,

导致地震作用偏小,不能满足最大层间位移角的限值,也不能满足最小剪重比的限值,因此必须进行周期折减,不能因直接采用程序提供的缺省数值而造成计算误差。第四,应了解程序计算原理对实际操作的影响。如一个工程由防震缝将上部结构分为独立的三个结构单元,在平面输入时为画图方便,将其作为一个工程输入、计算,这样在整体分析时程序是按三个单元在同一振型下进行分析的,这与工程实际是不符的。正确的做法应该是分成三个独立的工程进行输入、计算,计算完成后绘图时拼成一个工程。最后,结构工程师还必须具有对结构分析软件计算结果正确性的判断能力,如不同工程结构的自振周期的范围、不同场地土的底部剪力大小等。

1.2 建筑工程抗震性态设计的概念

《建筑工程抗震性态设计通则》(CECS 160—2004)已经通过中国工程建设标准化协会批准试用。“通则”总结了近几年来国内外的最新抗震科研成果和工程经验,提出了抗震性态设计、设计地震加速度、结构弹塑性地震反应、结构影响系数、结构弹塑性侧移、高频结构竖向地震反应、建筑抗震设计类别等诸多抗震设计新概念和新方法。

抗震性态设计是近年来地震工程的一项重要研究成果。它把以往采用的单一设防目标改进为多级设防目标,针对各种不同使用性质和重要性的建筑加以区别对待,并根据不同的地震强度,分别规定出不同的性态水平和震害程度,从而使一个地区遭受某一强度地震袭击时,某些使用性质或重要建筑的使用功能得到保障,在地震期间和地震后仍能按照需要继续发挥功能作用。

现在的抗震设计思想是,经过抗震设计的建筑在遭遇强烈地震时,容许出现一定程度的损坏,但应确保使用者的生命安全。然而,随着工业的发展和社会的进步,教育、文化、体育、商业、信息、通信等非居住性建筑的大量兴建,由于其中不少建筑属于高档装修或安装有贵重设备,地震时结构的损坏虽然并未危及使用者的生命,但却影响社会的正常活动并造成巨大的经济损失。如发生在美国7.1级北邻地震、日本6.9级阪神地震、台湾7.3级南投集集大地震,人员伤亡虽不太多,但却造成近百亿美元的经济损失,给社会带来了巨大的经济损失。这些地震震例明确提示我们,抗震设防的目标仅限于减少人员伤亡是不够的,还应认真对待地震造成的巨大经济损失,以及建筑使用功能中断给社会正常活动带来的危害。因此,建筑结构的抗震设计应该区别不同使用性质和重要性的各类建筑,分别规定出不同的性态水平,或者说规定出不同的震害程度。这就是“抗震性态设计”产生的必然根源,这也是未来规范修改的重要信息。

注意: 1) 基于性能抗震设计的主要优点:

- ①强调建筑性能目标的“个性化”。
- ②业主有更大的空间和充分选择抗震性能目标的自由。
- ③设计者在实现抗震性能目标过程中可以充分发挥创造力。
- ④基于性能抗震设计在保障结构最低目标性能(“共性”)时,考虑的是社会总费用;确定特殊目标性能(“个性”)时,考虑的是业主费用,克服现有规范的局限性。

⑤性能设计不仅强调保证生命安全,同时强调避免财产损失。

2) 目前,我国还没有以规范的形式确定基于性能的设计方法,但已被公认为重要的发展趋势,现行规范的“小震不坏,中震可修,大震不倒”也是一种性能目标,但不够全面。目前我国,基于性能抗震设计主要被应用于一些复杂、超限结构。

1.3 “分缝结构”与“多塔结构”的异同点

(1) “塔”的概念。所谓“塔”是一个工程概念,是模拟的一种工程的实际情况。即在同一个结构的基础上沿高度伸出几个部分,这几个部分拥有相同的底部,而上部却有各自的独立的变形,而且各独立体的四周都有独立的迎风面。因此,对于多塔建筑,其上每个塔都有独立的变形和独立的迎风面。

(2) 多塔结构的定义。对于大底盘多塔结构、巨型框架结构,如果把裙房部分按塔的形式切开计算,则下部裙房计算误差较大,且各塔间的相互影响无法考虑。因此,程序采用了分块平面内无限刚性假定以减少自由度,同时考虑塔和塔的相互影响。对于多塔结构,各刚性楼板间的信息由程序自动定义,但其包含区域需用用户定义。

(3) 分缝结构。所谓分缝结构,是指将一个不规则或超长结构,采用抗震缝、伸缩缝、沉降缝将其分为几个相对独立的结构,对于分缝建筑,其上每个部分有独立的变形,但没有独立的迎风面。

(4) 对分缝结构,最好是将分缝结构的各块分开建模分开计算。这种方法针对缝自顶到底将结构完全分开、只有基础相连的情况。计算风荷载时,程序把缝所在的面也作为迎风面,该方向的风荷载计算值偏大,为此需定义遮挡面;也可各部分一起计算,建立一个整体计算模型,原则上各种设缝结构均可作整体计算,但应把每个结构单元定义为独立的塔,参与振型取得足够多,使有效质量系数超过90%,定义遮挡面,准确计算风荷载。

(5) 多塔结构适用规范条文的注意事项。第一扭转周期与第一平动周期比值限值、最大位移与平均位移比值的限值时,要特别注意对多塔结构,周期比

控制的计算模型,建立多个单塔模型,分塔验算、控制。上部有强连接的多塔,尚应补充验算整体周期比,可以采用强制刚性楼板假定;位移比控制的计算模型,按整体模型建模计算并验算,可以采用强制刚性楼板假定;结构配筋设计的计算模型,整体建模分析、设计,楼板按照真实情况计算,不作强制刚性楼板假定,选取足够多的振型,使得有效质量系数超过90%,该模型理论上正确,设计基础也方便。

1.4 “刚性楼板”与“弹性楼板”的概念

(1)“刚性楼板”是指平面内刚度无限大,平面外刚度可忽略的楼板,内力计算时不考虑平面内变形。对于刚性楼板假定都非常熟悉,而且在工程设计计算中也经常采用。

在采用楼板平面内无限刚假定时,每块刚性楼板有三个公共自由度(u 、 v 、 Q_z),那么刚性楼板内每个节点的独立自由度只剩下了3个(Q_x 、 Q_y 、 w),这样极大地减少了结构整体自由度数,使得结构分析工作得到很大程度的简化,从而提高了工作效率。这一优点正是刚性楼板假定能够被广泛接受的重要原因,尤其使得在过去计算机硬件资源有限的情况下,进行大型结构工程分析成为可能。

因采用刚性楼板假定时,忽略了楼板的平面外刚度,使结构总刚度偏小。实际上,楼板的平面外刚度在某种意义上来讲可以理解为楼面梁的有效翼缘,为此,规范给出了用近似以梁刚度放大系数形式来间接地考虑楼板的平面外刚度。《高层建筑混凝土结构技术规程》(JGJ 3—2002)第5.2.2条规定,在结构内力与位移计算中,现浇楼面和装配整体式楼面中梁的刚度可考虑翼缘的作用予以增大。

虽然刚性楼板假定的分析效率高,但适用范围有限,仅适用于楼板形状比较规则的普通工程。对于复杂楼板形状的结构工程,如楼板有效宽度较窄的环形楼面或其他有大洞口楼面、有狭长外伸段楼面、局部变窄产生薄弱连接的楼面、连体结构的狭长连接体楼面等情况,楼板面内刚度有较大的削弱且不均匀,楼板的内面变形会使楼层内抗侧刚度较小的构件的位移和内力加大,或特殊楼板体系,如板柱体系、厚板转换层结构等,采用刚性楼板假定的分析是不合适的,其计算结果的可靠性是无法保证。为了解决这些问题就出现了所谓的“弹性楼板”。

注意:由于“刚性楼板假定”没有考虑板面外的刚度,所以可以通过“梁刚度放大系数”来提高梁面外弯曲刚度,以弥补面外刚度的不足。同样,也可通过“梁扭矩折减系数”来适当折减梁的设计扭矩。

(2) “弹性楼板”：是以房间为单元进行定义，一个房间为一个弹性楼板单元，设计者可根据实际情况分别选择。注意此时楼板刚度与所选楼板厚度有关。弹性楼板设计者必须人工定义。

“弹性楼板”分为三种情况：分别为“弹性楼板6”、“弹性楼板3”、“弹性膜”。

1) 弹性楼板6。假定是采用壳单元真实地计算楼板的面内刚度和面外刚度。从理论上讲，弹性楼板6假定是最符合楼板的实际情况，可以应用于任何工程。但实际上，在采用弹性楼板6假定时，部分竖向楼面荷载将通过楼板的面外刚度直接传递给竖向构件，导致梁的弯矩减小，相应的配筋也会减小。这与采用刚性楼板假定不同，因为采用刚性楼板假定时，所有的竖向楼面荷载都通过梁传递给竖向构件。这点差异会造成采用弹性楼板6假定和采用刚性楼板假定的梁配筋安全储备不同，而过去所有关于梁的工程经验都是与刚性楼板假定前提下配筋安全储备相对应的。

因此，设计者不要轻易采用弹性楼板6假定。该模型比较适宜用于板柱结构、板柱—抗震墙结构。对于这类结构采用弹性楼板6假定，既可以比较真实地模拟楼板的刚度和变形，又不存在梁配筋安全储备减小的问题。

注意：①理论上讲所有的工程均可采用。

②由于已经考虑楼板的面内、面外刚度，则梁刚度不宜放大，梁扭矩不宜折减。板的面外刚度将承担一部分梁柱的面外弯矩，而使梁柱配筋减少。

③此时结构分析时间大大增加。

2) 弹性楼板3。假定是针对厚板转换层结构提出的，这些厚板一般形状比较规则，而且不开大洞，其平面内刚度都很大，且平面外刚度是这类结构传力的关键。通过厚板的平面外刚度，改变传力路径，将厚板以上部分结构承受的荷载安全地传递下去。弹性楼板3是假定楼板平面内无限刚，平面外刚度是真实的，这一假定与厚板转换层结构的转换厚板特性是一致的。因此弹性楼板3假定适宜用于厚板转换结构。

注意：①需要保证楼板平面内刚度非常大，如厚板转换层中的厚板，板厚达到1m以上。而平面外刚度则需要按实际考虑。

②一般在厚板转换层不设梁或用等代梁，并注意上下部轴线差异产生的传力问题。

3) 弹性膜。采用平面应力膜单元真实地计算楼板平面内刚度，同时忽略楼板平面外刚度，假定楼板平面外刚度为零。弹性膜适宜于空旷的工业厂房、体育场馆、楼板局部开大洞、楼板平面狭长或有较大的凹入以及平面弱连接结构。

注意：①仅适用于梁柱结构，设计时不使楼板面外刚度承担荷载，不使梁柱配筋减少，以保证梁柱设计的安全度。

②不能用于“板柱结构”。设计时可以进行梁的刚度放大和扭矩折减。