

房屋建筑抗震设计 常见问题解答

中国建筑科学研究院

二〇〇四年四月

352
8K

房屋建筑抗震设计 常见问题解答

(内部资料)

中国建筑科学研究院
二〇〇四年四月

说 明

为协助设计人员、施工图审查人员正确、全面理解和运用《建筑抗震设计规范 GB 50011》、《高层建筑混凝土结构技术规程》以及房屋建筑抗震设计的强制性条文，这里汇总编入了下列资料：

建筑抗震设计规范 GB 50011 答疑	1
高层建筑混凝土结构技术规程 JGJ 3 若干问题讨论	31
房屋建筑抗震设计强制性条文的理解和实施	48
《建筑工程抗震设防分类标准》GB 50223 修订	86

中国建筑科学研究院 工程抗震研究所

2004.4

《建筑抗震设计规范 GB50011》答疑*

中国建筑科学研究院 王亚勇 戴国莹编

1 管 理 问 题

1.1 执行 GB 50011—GB 50011 抗震规范时,若发现某些条款与以前颁布的国家标准或行业标准规定不一致时如何解决?

根据标准化法,当国家标准与行业标准对同一事物的规定不一致时,应按国家标准执行。当不同的国家标准之间的规定不一致时,应按最新颁布的国家标准执行。

1.2 GB 50011 规范附录 A 中某些地区的设计基本地震加速度与 89 规范中抗震设防烈度所对应的加速度值不同,实际使用时应如何操作?

依据国家质量技术监督局 GB50011 年 2 月 2 日发布的国家标准《中国地震动参数区划图》(GB18306—GB50011)自 GB50011 年 8 月 1 日起实施,对于设计基本地震加速度与原来相比有所变化的地区,则自 GB50011 年 8 月 1 日起应按变化后的加速度值进行抗震设防。

1.3 已按 89 规范进行过设计,因种种原因目前未施工的工程,施工前是否应按 GB50011 规范重新修改设计图纸后再施工?

按建设部 2002 年 8 月 12 日建标〔2002〕212 号文件“建设部关于贯彻执行建筑勘察设计及施工质量验收规范若干问题的通知”要求,新版规范实施日期前的在施工程,执行新版规范有困难时,可按照旧规范执行。新版规范实施日期后至 2003 年 1 月 1 日前的在施工程,原则上应按照新规范执行,而按照旧规范设计的在施工程,可按照旧规范继续执行。对 2003 年 1 月 1 日前已签订施工合同且尚未正式开工的工程,应当按照新版规范修改设计后方可施工。凡在 2003 年 1 月 1 日后签订勘察、设计、施工合同的工程,必须按照新版规范执行。

1.4 设计基准期和设计使用年限有何差别,在设计文件中应如何表述?

按国家标准《建筑结构可靠度设计统一标准》GB50068—GB50011 总则的有关规定,我国的建筑结构、结构构件及地基基础的设计规范、规程所采用的设计基准期为 50 年。同时,根据建筑物的使用要求和重要性,设计使用年限分别采用 5、25、50 和 100 年。

所谓设计基准期,是为确定可变作用及与时间有关的材料性能取值而选用的时间参数,它不等同于设计使用年限。建筑结构设计所考虑的荷载统计参数,都是按设计基准期为 50 年确定的,如设计时需采用其他设计基准期,则必须另行确定在该基准期内最大荷

* 本文大部分内容系由国家标准《建筑抗震设计规范》管理组收集各地、各部门所提出的问题,经整理并委托沙安、孙建华、白雪霜、毋剑平编写,王亚勇、戴国莹审定后,在《工程抗震》杂志 2002 年起陆续刊载。

载的概率分布及相应的统计参数。

所谓设计使用年限,是借鉴了国际标准 ISO2394:1998 提出的,又称为服役期、服务期等。设计使用年限是设计时选定的一个时期,在这一给定的时期内,房屋建筑只需进行正常的维护而不需进行大修就能按预期目的使用,完成预定的功能。设计使用年限是《建筑工程质量管理条例》对房屋建筑的地基基础工程和主体结构工程规定的最低保修期限“合理使用年限”的具体化。结构在规定的設計使用年限内应具有足够的可靠度,满足安全性、适用性和耐久性的要求。结构可靠度是对结构可靠性的定量描述,即结构在规定的时间内,在规定的条件下,完成预定功能的概率。

可见,设计基准期是一个基准参数,它的确定不仅涉及可变作用(荷载),还涉及材料性能,是在对大量实测数据进行统计的基础上提出来的,一般情况下不能随意更改。例如我国规范所采用的设计地震动参数(包括反应谱和地震最大加速度)的基准期为 50 年,如果要求采用基准期为 100 年的设计地震动参数,则不但要对地震动的概率分布进行专门研究,还要对建筑材料乃至设备的性能参数进行专门的统计研究。

对于普通房屋和构筑物,在设计文件的总说明中应明确结构(含基础)的设计使用年限为 50 年;纪念性建筑和特别重要的建筑结构应为 100 年。设计文件中,不需要给出设计基准期。

1.5 对于设计使用年限为 100 年及以上的丙类建筑,抗震设防烈度和设计基本地震加速度、抗震措施和抗震构造措施应如何确定?

首先要明确建筑寿命、设计使用年限和设计基准期的定义。

建筑寿命指从建造到投入使用的总时间,即从建造开始直到建筑毁坏或丧失使用功能的全部时间。

设计使用年限指设计规定的结构或结构构件不需进行大修即可按其预定目的使用的年限,即房屋建筑在正常设计、正常施工、正常使用和一般维护下所应达到的使用年限。当房屋建筑达到设计使用年限后,经过鉴定和维修,仍可继续使用。因此,设计使用年限不同于建筑寿命。同一幢房屋建筑中,不同部分的设计使用年限可以不同,例如,外保温墙体、给排水管道、室内外装修、电气管线、结构和地基基础,可以有不同的设计使用年限。

设计基准期是指为确定可变作用及与时间有关的材料性能取值而选用的时间参数,它不等同于建筑结构的设计使用年限,也不等同于建筑寿命。我国建筑设计规范所采用的设计基准期为 50 年,即设计时所考虑荷载、作用、材料强度等的统计参数均是按此基准期确定的。

对于设计使用年限为 100 年及以上的丙类建筑,结构设计时应另行确定在其设计基准期内的活荷载、雪荷载、风荷载、地震等荷载和作用的取值,确定结构的可靠度指标以及确定包括钢筋保护层厚度等构件的有关参数的取值。

GB 50011—GB 50011 规范采用的三水准设防思想,即多遇地震、基本烈度地震和罕遇地震,通常也称为“小震”、“中震”和“大震”,在设计使用年限为 50 年时,相应的超越概率分别为 63%, 10% 和 2—3%,也可以用地震重现期或回归期 T 来表示。给定重现期 T 的地震烈度也就是 T 年一遇的地震烈度,三水准对应的重现期分别为 50 年, 475 年和

1975 年。GB 50011—GB 50011 规范以“中震”烈度（地震基本烈度） I 为基础，在平均意义上，将“小震”定义为 $I-1.55$ 度，“大震”定义为 $I+1$ 度。实际上，“小震”、“中震”与“大震”的烈度差别是因地而异的，这样定义的烈度差别是一种人为的、便于工程应用的约定。如果仍按上述定义，对于不同的基本地震烈度区，重现期为 X 的设防烈度可以表示为^[1]：

$$I = a(\log X)^2 + b\log X + c \tag{1}$$

式中，系数 a 、 b 、 c 可查表 1 确定：

不同烈度时公式（1）的系数值 表 1

系 数		a	b	c
烈 度	7	0.02	1.50	2.85
	8	0.01	1.50	3.85
	9	-0.48	3.68	2.59

由式（1）和表 1 可以算出不同设计使用年限的抗震设防烈度，如表 2 所示：

不同设计使用年限的抗震设防烈度 表 2

使用年限		1	5	10	15	20	50	100	150	200
烈 度	7	4.33	5.42	5.88	6.10	6.37	7.00	7.49	7.78	8.01
	8	5.33	6.42	6.88	7.10	7.37	8.00	8.49	8.78	9.01
	9	5.72	7.41	7.95	8.29	8.48	9.00	9.29	9.43	9.51

按新的《中国地震动参数区划图 A1》，与抗震设防烈度相对应的基本地震加速度（单位： g ）可以表示为：

$$A = 0.1 \times 2^{I-7} \tag{2}$$

按式（2）可以计算出表 2 中不同设计使用年限的抗震设防烈度所对应的基本地震加速度。当设计使用年限为 100 年时，7，8，9 烈度区所采用的多遇地震（小震）、设防烈度地震（中震）和罕遇地震（大震）对应的加速度峰值示于表 3 中。

设计使用年限 100 年的地震加速度峰值（ cm/s^2 ） 表 3

设防烈度	7 度	8 度	9 度
多遇地震	49	98	189
设防烈度地震	140	280	540
罕遇地震	308	560	837

1.6 抗震设防区内的超限高层建筑工程应如何上报审查，审查的主要规定和内容有哪些？

根据 2002 年 9 月 1 日起执行的建设部令第 111 号《超限高层建筑工程抗震设防管理规定》（原建设部令第 59 号《超限高层建筑工程抗震设防管理暂行规定》同时废止）的要求，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。

在抗震设防区内进行超限高层建筑工程的建设时，建设单位应当在初步设计阶段向工程所在地的省、自治区、直辖市人民政府建设行政主管部门提出专项审查申请报告，并按

有关要求提供申报材料。建设行政主管部门在接到申报材料起 25 日内，组织专家委员会提出书面审查意见，并将审查结果通知建设单位。

专项审查的主要内容包括：建筑的抗震设防分类、抗震设防烈度（或设计地震动参数）、场地抗震性能评价、地基和基础的设计方案、建筑结构的抗震概念设计、结构总体计算和关键部位计算的工程判断、薄弱部位的抗震措施、使用的计算机程序、由于超限所进行的专项试验研究成果以及所采取的比规范规定更强的技术措施等。

超限高层建筑工程的施工图设计文件审查应当由经国务院建设行政主管部门认定的具有超限高层建筑工程审查资格的施工图设计文件审查机构承担。

1.7 近年来在我国新疆伽师、巴楚和云南大姚等地发生强烈地震，从地震时的房屋震害情况看，对抗震设防及建筑抗震设计工作有什么值得借鉴之处？

从新疆伽师、巴楚和云南大姚等地的震害调查中，有以下几点值得在实际工程的抗震设计和抗震设防工作中借鉴：

（1）严格执行工程建设强制性标准，搞好新建工程的抗震设防；对原有的未经抗震设防的工程进行抗震加固，可有效减轻地震灾害的影响；

（2）建筑施工质量对建筑抗震防灾效果有重大影响，特别是对学校、医院、剧院、办公楼等公共建筑结构，混凝土强度、砌体砂浆强度、配筋、节点、墙体拉结等应加强质量保证；

（3）村镇建设中的抗震防灾工作应高度重视，农村自建住宅的综合抗震能力应加强；采取各种简单的措施，如：木屋架与柱子采用钎钉连接，土坯墙与木构架之间用铁丝、木板拉结，生土房屋采用毛石或砖砌基础、混凝土圈梁等均被证明是行之有效的；

（4）重视建筑抗震概念设计，避免采用严重不规则的设计。例如：建筑物平面纵、横向刚度相差过大、砌体结构采用托墙梁造成上层悬墙、多层房屋底部空旷竖向刚度突变、梁与楼板共同作用形成强梁弱柱等，使房屋在地震时遭受严重破坏甚至倒塌。

2 适用范围

2.1 GB 50011 规范中为何无烟囱、水塔等构筑物的抗震设计内容？

本次建筑抗震规范的修订，已不包括烟囱、水塔等构筑物的抗震设计内容，此部分内容归入即将修订的《构筑物抗震设计规范》GB 50191。

2.2 GB 50011 规范中为何没有包括钢筋混凝土异型柱结构、短肢剪力墙、混凝土-钢混合结构等结构体系？

对于异型柱结构，目前工程界有各种不同的看法。对于小开间住宅建筑，由于室内柱子隐蔽，可方便使用，在有些地区很受欢迎。但从安全角度，则普遍认为由于柱子和框架节点受力复杂、钢筋锚固及施工质量难以保证，异型柱结构属于抗震不利的结构体系。对其研究和震害经验均不深入，因此 GB50011 规范不将其纳入。目前国内有些地区做了试验研究，编写和批准了地方规范，可以作为当地此类建筑抗震设计的依据，并应由地方规范主编单位和建设主管部门负责。若采用异型柱结构又无地方规范作为依据者，属于超规范

设计。

短肢剪力墙结构原则上属于抗震墙结构，应按 GB50011 规范和《高层建筑混凝土结构技术规程》JGJ 3—2002 进行设计，符合抗震基本要求和抗震构造措施要求。试验研究表明，当短肢剪力墙结构满足楼层最小水平地震剪力要求且保证抗震构造措施时，短肢剪力墙结构具有良好的抗震性能。但高层建筑结构不应采用全部为短肢剪力墙的剪力墙结构。

混凝土-钢混合结构的抗震设计在《高层建筑混凝土结构技术规程》JGJ 3—2002 中已有规定。

国务院于 2000 年 9 月 25 日发布的《建筑工程勘察设计管理条例》第 29 条规定，建设工程勘察、设计文件中规定采用的新技术、新材料，可能影响建设工程质量和安全，又没有国家技术标准的，应当由国家认可的检测机构进行试验、论证，出具检测报告，并经国务院有关部门或者省、自治区、直辖市人民政府有关部门组织的建设工程技术专家委员会审定后，方可使用。因此，凡是没有规范、规程作为依据进行设计的建筑结构，均应按照此规定执行。

3 抗震设计基本要求

3.1 GB 50011 规范中，对建筑抗震设防分类的总原则是什么？为什么乙类建筑不是特别多？

在工程建设国家标准《建筑抗震设防分类标准》(GB50223) 条文说明中指出，我国建筑抗震的三水准设防目标，原则上能保障房屋建筑在遭遇设防烈度地震影响时，不致有灾难性后果，在遭遇罕遇地震影响时不致倒塌；因此，绝大部分的建筑均可划为丙类建筑，少数需要提高防倒塌能力的建筑划为乙类建筑。例如，地震破坏后会产生较大社会影响或造成相当大的经济损失，包括城市的重要生命线工程和人流密集的大型公共建筑。

3.2 GB50011 规范 3.3.3 条规定，建筑场地为 III、IV 类时，对设计基本地震加速度为 0.15g 和 0.30g 的地区，宜分别按 8 度和 9 度采取抗震构造措施。对乙类建筑是否要再提高？

按 GB 50011 第 3.1.2 条规定，抗震设防的乙类建筑，抗震措施比丙类建筑提高，一般情况提高一度。因此，当丙类建筑按 3.3.3 条分别按 8 度和 9 度采取抗震构造措施时，乙类建筑的抗震构造措施也需分别比 8 度和 9 度提高，但不必再提高一度，只需再适当提高。

3.3 基本烈度小于 6 度地区的建筑，若按照《建筑抗震设防分类标准》(GB 50223—报批稿) 中有关条文的要求应为乙类，那么该建筑需进行抗震设计吗？

根据 1994 年 12 月 1 日实施的《建筑工程抗御地震灾害管理规定》(建设部部长令 38 号) 中第四十二条的规定“抗震设防地区是指地震烈度为六度及六度以上地区和今后可能发生破坏地震的地区。”因此，如果建筑所在地区的地震基本烈度小于六度，通常不需要进行抗震设计。

3.4 面积较大的商业建筑，如何确定其抗震设防类别？带大底盘的高层建筑，下部裙房为商场，上部为住宅楼，若设置抗震缝分成两个结构单元，可否按每个单元单独划分设防类别？实际设计中应注意哪些问题？

《建筑抗震设防分类标准》（GB50223）第 10.0.3 条规定，大型的人流密集的多层商场应划为乙类。将大型零售商场等商业建筑列为乙类，主要考虑是大量人员集中的场所，地震时伤亡的可能性较大。该条规定参照了《商店建筑设计规范》（JGJ48—88）关于商店规模的分级。考虑近年来商场发展情况，当一个区段的建筑面积 25000 平米或营业面积 10000 平米以上的商业建筑，人流可达 7500 人以上（按每位顾客占用营业面积 1.35 平米计算），应划为乙类建筑。

《建筑抗震设防分类标准》第 3.0.1 条第 5 款还规定，“建筑各单元的重要性有显著不同时，可根据局部的单元段划分抗震设防类别。”故设置了抗震缝将结构分为若干单元后，可根据各单元划分抗震设防类别。

对于面积较大的商业建筑，若设置抗震缝分成若干个结构单元，则各单元独立承担地震作用，彼此之间没有相互作用，地震发生时两部分结构同时破坏的概率较小，人流疏散也较容易。因此，当每个单元按面积划分属于丙类建筑时，可按丙类建筑进行抗震设防。

当商业建筑与其他建筑合建时应分别判断，并按区段确定其抗震设防类别。对于大底盘高层建筑，当其下部裙房属于大型零售商场的乙类建筑范围时，一般可将其及与之相邻的上部高层建筑二层定为加强部位，按乙类进行抗震设计，其余各层可按丙类进行抗震设计。

实际设计中应注意，由抗震缝分成的每个结构单元应有单独的疏散出入口。

3.5 GB50011 规范中 2.1.9 条和 2.1.10 条明确了抗震措施和抗震构造措施的概念，如何根据建筑抗震设防分类和场地类别二者的不同，在设计基本地震加速度下确定抗震措施和抗震构造措施？建筑类别不同时，计算时设计基本地震加速度如何取值？

根据相应的规范条文规定，一般建筑（隔震建筑和消能减振部位除外）在不同的建筑抗震设防分类和场地类别下，当设计基本地震加速度不同时，抗震措施和抗震构造措施分别按不同烈度取值，见表 3-1 和表 3-2。建筑设防类别不同时，计算时设计基本地震加速度取值见表 3-3。

按建筑类别和场地类别调整后的抗震措施（烈度）表 3-1

建筑类别	场地类别	设计基本地震加速度（g）					
		0.05	0.10	0.15	0.20	0.30	0.40
甲、乙类	I ~ IV	7	8	8	9	9	9
丙类	I ~ IV	6	7	7	8	8	9 ⁺
丁类	I ~ IV	6	7	7	8 ⁻	8 ⁻	9 ⁻

按建筑类别和场地类别调整后的抗震构造措施（烈度）表 3-2

建筑类别	场地类别	设计基本地震加速度（g）					
		0.05	0.10	0.15	0.20	0.30	0.40
甲、乙类	I	6	7	7	8	8	9
	II	7	8	8	9	9	9 ⁺
	III、IV	6	7	8	8	9	9

续表

建筑类别	场地类别	设计基本地震加速度 (g)					
		0.05	0.10	0.15	0.20	0.30	0.40
丙类	I	6	6	6	7	7	8
	II	6	7	7	8	8	9
	III、IV	6	7 ⁻	7	8 ⁻	8	9 ⁻
丁类	I	6	6	6	7	7	8
	II	6	7 ⁻	7 ⁻	8 ⁻	8 ⁻	9 ⁻
	III、IV	6	7 ⁻	7	8 ⁻	8	9 ⁻

根据建筑类别调整后的计算用设计基本地震加速度 (g)

表 3-3

建筑类别	设计基本地震加速度 (g)					
	0.05	0.10	0.15	0.20	0.30	0.40
乙类、丙类、丁类	0.05	0.10	0.15	0.20	0.30	0.40
甲类	高于本地区设计基本地震加速度，具体数值按批准的地震安全性评价结果确定					

注：1. 对较小的乙类建筑，如工矿企业的变电所、空压站、水泵房及城市供水水源的泵房等，当其结构改用抗震性能较好的结构类型，如钢筋混凝土结构或钢结构时，则可仍按本地区设防烈度的规定采取抗震措施，不需提高。

2. 8⁺、9⁺表示适当提高而不是提高一度，9度时需要专门研究。

3. 7⁻、8⁻、9⁻表示可以比本地区设防烈度的要求适当降低。例如对于现浇钢筋混凝土房屋可将部分构造措施按降低一个等级考虑，对于多层砌体结构房屋按减少一至二层（视具体要求）在表 7.3.1 或表 7.4.1 中查构造柱或芯柱的设置要求。

3.6 结构的薄弱层、软弱层，转换层、框支层的概念是什么？

薄弱层：该楼层的层间受剪承载力小于相邻上一层楼的 80%，可以认为，是从结构强度的角度来判断；

软弱层：该楼层的侧向刚度小于相邻上一层的 70%，或小于其上相邻三个楼层侧向刚度的 80%；除顶层外，局部收进的水平向尺寸大于相邻下一层的 25%；可以认为，是从结构刚度的角度来判断；

转换层：《高层建筑混凝土结构技术规程》定义，转换层是转换结构构件所在的楼层；而转换构件指：完成上部楼层到下部楼层的结构形式转变，或上部楼层到下部楼层结构布置改变而设置的结构构件，包括转换梁、转换桁架、转换板等。地震作用下，转换构件将其上一层的竖向抗侧力构件（柱、抗震墙、抗震支撑等）的内力由转换层向下传递；

框支层：如果一个结构单元的转换层以上为剪力墙，转换层以下为框架，那么转换层以下的楼层为框支层。

3.7 如何判定结构是否属于扭转不规则以及不规则的程度？

在刚性楼板假定条件下，当计算小震作用的楼层最大弹性水平位移（或层间位移）与该楼层两端弹性水平位移（或层间位移）平均值的比值大于 1.2 时，判断为扭转不规则；当比值接近 1.5 时，判断为特别不规则；当比值大于 1.5 时，一般判断为严重不规则。此时，计算的弹性水平位移（或层间位移）为代数值，当位移值小于规范限值的 50% 时，判断严重扭转不规则的比值可以适当放松。

一般情况下，计算水平位移（或层间位移）时，需要考虑偶然偏心的影响；偏心大小

的取值,可根据具体情况确定,不一定取该方向总长度的5%。

还需注意,最大值和平均值的计算,均取楼层中同一轴线两端的竖向构件计算,不考虑楼板中悬挑的端部。

3.8 结构自振周期、基本周期与设计特征周期、场地卓越周期之间有何关系?

按照行业标准《工程抗震术语标准》(JGJ/T 97)的有关条文,

自振周期:结构按某一振型完成一次自由振动所需的时间。

基本周期:结构按基本振型(第一振型)完成一次自由振动所需的时间。通常需要考虑两个主轴方向和扭转方向的基本周期。

设计特征周期 T_g :抗震设计用的地震影响系数曲线的下降段起始点所对应的周期值,与地震震级、震中距和场地类别等因素有关。

场地卓越周期:根据场地覆盖层厚度 H 和土层平均剪切波速 V_s ,按公式 $T = 4H/V_s$ 计算的周期,表示场地土最主要的振动特性。

结构在地震作用下的反应与建筑物的动力特性密切相关,建筑物的自振周期是主要的动力特性,与结构的质量和刚度相关。当自振周期、特别是基本周期小于或等于设计特征周期 T_g 时,地震影响系数取值为 $\alpha_{\max}$,按规范计算的地震作用最大。

国内外的震害经验表明,当建筑物的自振周期与场地的卓越周期相等或接近时,地震时可能发生共振,建筑物的震害较严重。研究表明,由于土在地震时的应力-应变关系为非线性的,在同一地点,地震时场地的卓越周期并不是不变的,而将因震级大小、震源机制、震中距离的变化而不同。

GB50011 规范对结构的基本周期与场地的卓越周期之间的关系不做具体要求,即不求结构自振周期避开场地卓越周期。事实上,多自由度结构体系具有多个自振周期,不可能完全避开场地卓越周期。

3.9 结构进行抗震设计时,若计算出的第一振型为扭转振型应如何处理?

国内外历次大地震的震害表明,平面不规则、质量与刚度偏心的结构,在地震时会受到严重的破坏。模拟地震振动台模型试验结果也表明,扭转效应会导致结构的严重破坏。结构进行抗震设计时,若计算出的第一振型为扭转振型,说明结构的抗侧力构件布置不合理,导致结构楼层的刚心与质心偏移;抗侧力构件(一般是剪力墙)数量不足;或尽管结构平面对称,但核心筒断而太小,导致整体抗扭刚度偏小。此时应对结构方案进行调整,减小结构平面布置的不规则性,避免产生过大的偏心,或加强结构抗扭刚度,必要时可设置防震缝,将不规则的平面划分为若干相对规则的平面。也可按照 GB50011 规范 3.4.3 条的有关要求进行抗震分析,并对受扭构件采取加强延性和抗扭的构造措施。

4 场地、地基和基础

4.1 结构抗震设计对工程地质勘察的基本要求有哪些?

结构抗震设计所需要的工程地质勘察内容和要求,除应满足建筑静力设计的勘察要求外,还应满足以下基本要求:

1) 在场地选择时, 根据场地的地形、地质和地震地质条件划分对建筑有利、不利和危险地段;

2) 提供建筑场地类别 (对于高层建筑, 要求进行土层剪切波速测试, 提供土层等效剪切波速和覆盖层厚度, 依此划分场地类别; 对于层数不超过 10 层且高度不超过 30 米的丙类建筑, 可按规范提供的经验方法估计土层剪切波速);

3) 提供岩土地震稳定性 (如发震断裂、滑坡、崩塌、液化和震陷特性等) 评价;

4) 对需要采用时程分析法进行补充计算的建筑结构, 尚应根据设计要求提供土层剖面、场地覆盖层厚度和有关的动力参数, 具体的就是提供满足规范要求的地震波。

4.2 采用桩基或诸如 CFG 桩等措施进行地基处理后是否改变场地类别?

按照 GB50011 规范 2.1.7 条对场地的定义, 场地是建筑群体所在地, 其范围在城镇中通常是指不小于 1.0km^2 的占地面积。场地在平面和深度方向的尺度与地震波波长相当, 比建筑物地基的尺度要大得多。场地类别的划分时所考虑的主要是地震地质条件对地震动的效应, 关系到设计用的地震影响系数特征周期 T_g 的取值。采用桩基或用搅拌桩 (水泥固化剂桩, 类似 CFG 桩) 处理地基, 只对建筑物下卧土层起作用, 对整个场地的地震地质特性影响不大, 因此不能改变场地类别。

4.3 GB50011 规范第 4.1.4 条第 4 款“土层中的火山岩硬夹层, 应视为刚体, 其厚度应从覆盖层中扣除。”该怎样理解?

规范 4.1.4 条 4 款所提到的硬夹层, 是特指火山岩夹层 (不包括规范第 4.1.4 条第 3 款中提到的孤石、透镜体和其他剪切波速大于 500m/s 的一般硬土层), 其剪切波速远大于 500m/s , 且其下层土的剪切波速小于 500m/s 。这样的硬夹层不论厚度多少均应从覆盖层中扣除。

4.4 如何验算建筑结构基础的抗震承载力?

从理论上说, 地基基础在地震作用下的响应计算分析属于非弹性半空间的动力学范畴, 其理论分析、模拟试验和实物试验比较困难。地基震害资料也相当缺乏, 我国 1962 年~1971 年数以万计的房屋震害中, 只有 43 例是地基震害, 1976 年唐山大地震中 7~11 度地震烈度区, 中软至软弱场地的 224 个震害中, 有明显地基震害的仅 7 例。由于对基础的抗震性能了解远不如对上部结构的了解, 故基础的抗震设计采用经验方法。

GB50011 规范第 4 章规定建筑天然地基基础抗震验算采用“拟静力法”, 即假定地震作用如同静力, 然后在这种条件下验算基础的承载力, 压力的计算采用地震作用效应标准组合, 即各作用分项系数均取 1.0 的组合。验算时一般只考虑水平的地震作用, 只有个别情况下才计算竖向地震作用。不同结构类型的基础抗震承载力验算, 可按其它标准规范的规定执行。

4.5 不超过 8 层且高度在 25m 以下的一般民用抗震墙结构房屋是否可不进行天然地基及基础的抗震承载力验算?

GB50011 抗震规范 4.2.1 条列出了可不进行天然地基及基础的抗震承载力验算的建筑类型, 对于不超过 8 层且高度在 25m 以下的一般民用抗震墙结构房屋, 若其基础荷载与该

条所列的建筑相当, 则可不进行天然地基及基础的抗震承载力验算。

4.6 地下室顶板作为钢筋混凝土结构房屋上部结构的嵌固部位时, 若考虑建筑使用的要求, 楼盖是否可采用无梁楼盖的结构形式?

地下室顶板作为上部结构的嵌固部位时, 应满足 GB 50011 规范 6.1.14 条的要求。一般说来, 如果地下室顶板采用无梁楼盖的结构形式, 将难以满足 6.1.14 条柱端塑性铰位置在 ± 0.0 处的要求, 故不能采用无梁楼盖的结构形式, 而应采用现浇梁板结构, 且其板厚不宜小于 180mm。

4.7 位于地下室內的框支层, 是否计入规范允许的框支层数之内?

若地下室顶板作为上部结构的嵌固部位, 则位于地下室內的框支层, 不计入规范允许的框支层数之内。

5 地震作用和抗震验算

5.1 GB50011 规范 5.1.3 条规定, 结构抗震设计时, 建筑的重力荷载代表值应取结构和构配件自重标准值和各可变荷载组合值之和。此时, 风荷载参与组合吗?

计算结构重力荷载代表值时, 风荷载不参与组合。在进行结构构件截面抗震验算时, 地震作用与其他荷载效应的基本组合时, 对于风荷载起控制作用的高层建筑, 按规范 5.4.1 条, 应考虑风荷载效应。

5.2 6 度区的建筑结构是否都不需要进行地震作用计算和截面抗震验算?

GB50011 规范 3.1.4 条和 5.1.6 条规定部分建筑在 6 度时可不进行地震作用计算和截面抗震验算, 但应符合有关抗震措施要求。对于位于 IV 类场地上的较高的高层建筑, 诸如高于 30m 的钢筋混凝土框架结构, 高于 60m 的其他钢筋混凝土民用房屋和类似的工业厂房, 以及高层钢结构房屋等, 由于 IV 类场地反应谱的特征周期 T_g 较长, 结构自振周期也较长, 则 6 度 IV 类场地的地震作用值可能与在 7 度 II 类场地的地震作用值相当, 此时仍需进行抗震验算。所以并非所有的建筑在 6 度区不进行地震作用计算。

另外, 对于钢筋混凝土房屋的抗震等级四级以上的结构, 截面抗震验算涉及到内力调整, 例如, 6 度区的丙类钢筋混凝土房屋的抗震等级, 部分框支抗震墙结构之框支层框架为二级, 其他结构中有部分框架为三级, 部分抗震墙为三级甚至二级, 因此, 抗震措施中有许多需进行内力调整计算。

一些不规则的建筑结构, 需要按 GB 50011 规范 3.4.3 条进行地震作用效应的调整并对薄弱部位采取有效的构造措施, 有时也需要计算。

目前计算机辅助设计的计算程序已提供了 6 度的抗震计算功能, 必要时也可通过相应的程序计算来进行抗震设计。

5.3 对突出屋面的屋顶间、女儿墙、烟囱等突出屋面的结构进行抗震设计及验算时应注意哪些事项?

GB50011 规范第 3 章关于概念设计的规定中,明确要求结构体系的选型应防止刚度和强度的突变。突出屋面结构明显存在刚度突变,其抗震设计尤应注意采取可靠措施。例如,在计算分析时,第 5.2.4 条规定采用底部剪力法时,突出屋面的屋顶间、女儿墙、烟囱等的地震作用效应,宜乘以增大系数 3,采用振型分解法时,突出屋面部分可作为一个质点进行计算。同时还要根据计算结果加强构造措施。

5.4 突出屋面的屋顶房间何时可按突出屋面的屋顶间计算面不算做一层?

根据 GB50011 规范第 5.2.4 条规定采用底部剪力法时,突出屋面的屋顶间、女儿墙、烟囱等的地震作用效应,宜乘以增大系数 3。此时相对应的屋顶房间面积不超过标准层面积的 30%。因此,一般认为当突出屋面的屋顶房间面积小于楼层面积的 30%时,可按突出屋面的屋顶间计算而不算做一层。

5.5 举例说明考虑双向水平地震的扭转效应时,求出的地震作用如何在实际工程中参与荷载(作用)的组合?

根据强震观测记录的统计分析,两个方向水平地震加速度的最大值不相等,二者之间的比值约为 1:0.85,而且两个方向的最大值不一定发生在同一时刻,因此采用平方和开方方法计算两个水平方向地震作用效应的组合。

所谓地震作用效应,是指两个正交方向地震作用在每个构件的同一局部坐标方向产生的效应(位移和内力)。规范 5.2.3 条 2 款中规定双向水平地震作用的扭转效应组合时,可按公式 5.2.3-7 和 5.2.3-8,即下列公式计算:

对 x 方向取 $S_{xEk} = \sqrt{S_{xEk}^2 + (0.85S_{xy})^2}$ 或 $S_{xEk} = \sqrt{S_{xy}^2 + (0.85S_{xx})^2}$ 中的较大值;

对 y 方向取 $S_{yEk} = \sqrt{S_{yy}^2 + (0.85S_{yx})^2}$ 或 $S_{yEk} = \sqrt{S_{yx}^2 + (0.85S_{yy})^2}$ 中的较大值。

式中 S_{xEk} 、 S_{yEk} ——考虑 x 、 y 两方向水平地震作用的扭转效应(包括弯矩 M 、剪力 V 、轴力 N 及相应的位移)

S_{xx} —— x 方向地震作用在局部坐标 x_i 方向产生的地震作用效应;

S_{xy} —— y 方向地震作用在局部坐标 x_i 方向产生的地震作用效应;

S_{yy} —— y 方向地震作用在局部坐标 y_i 方向产生的地震作用效应;

S_{yx} —— x 方向地震作用在局部坐标 y_i 方向产生的地震作用效应;

在结构计算中,一般需计算弯矩 M 、剪力 V 、轴力 N 、扭矩 T ,以 x 方向框架角部柱子为例(抗震墙和框架梁以平面内受力为主,双向计算影响不大,结果一般无明显变化,对中柱和边柱的影响一般也比较小),具体公式如下:

$$\text{第一组: } M_{x1} = \sqrt{M_{xx}^2 + (0.85M_{xy})^2}, V_{x1} = \sqrt{V_{xx}^2 + (0.85V_{xy})^2},$$

$$N_{x1} = \sqrt{N_{xx}^2 + (0.85N_{xy})^2}, T_{x1} = \sqrt{T_{xx}^2 + (0.85T_{xy})^2}.$$

$$\text{第二组: } M_{y2} = \sqrt{M_{yy}^2 + (0.85M_{yx})^2}, V_{y2} = \sqrt{V_{yy}^2 + (0.85V_{yx})^2},$$

$$N_{y2} = \sqrt{N_{yy}^2 + (0.85N_{yx})^2}, T_{y2} = \sqrt{T_{yy}^2 + (0.85T_{yx})^2}.$$

按不利情况考虑时,若取最大弯矩,如果 $M_{x1} > M_{y2}$,则组合时应取 M_{x1} 对应的这组值 V_{x1} 、 N_{x1} 、 T_{x1} ,而不管 V_{x1} 、 V_{y2} 谁更大的问题。同理,取最大剪力时,则取最大剪力

对应的那组弯矩、轴力等；取最大轴力时，则取最大轴力对应的那组弯矩、剪力等。

对楼层位移 u 和层间位移 Δu ，也应按上述要求计算双向水平地震位移的组合：

$$\text{第一组: } u_1 = \sqrt{u_x^2 + (0.85u_y)^2}, \Delta u_1 = \sqrt{\Delta u_x^2 + (0.85\Delta u_y)^2};$$

$$\text{第二组: } u_2 = \sqrt{u_y^2 + (0.85u_x)^2}, \Delta u_2 = \sqrt{\Delta u_y^2 + (0.85\Delta u_x)^2}。$$

若结构完全对称，以及不属于扭转不规则的结构，规范不要求进行双向地震作用效应的组合。

5.6 GB50011 规范中对钢筋混凝土框架柱进行轴压比和结构层间位移控制，这二者之间有无关系？89 规范在框架-抗震墙层间弹性位移角限制中专门对装修较高的公共建筑做了规定，为什么 GB50011 规范却无此规定？

GB50011 规范对钢筋混凝土框架柱进行轴压比控制是为了保证混凝土构件的延性，防止脆性破坏。对结构层间位移进行控制是为了保证结构整体刚度和整体安全。控制轴压比和控制层间位移是两个不同的方面，两者无显著的联系。

层间位移限值主要根据保证建筑正常使用功能(弹性)和保证结构抗倒塌能力(弹塑性)来确定，其中也包括对非结构构件和建筑内各类设备的正常使用和破坏程度的控制。随着建材工业和装修技术的发展，建筑装修越高级，其细部构造越精密，变形能力可能会更好，例如建筑室内的木装修和许多化学建材装修以及玻璃幕墙都具有很好的适应变形的能力，大理石墙面一般也是采用多点悬挂方式固定于主体结构，89 规范对建筑装修标准高的建筑结构采用较小的侧移限值在目前已无必要，故 GB50011 规范中不再对装修情况进行区分。

5.7 计算薄弱层变形的方法有几种？适用范围如何？

计算薄弱层变形的的主要方法包括：规范简化方法、静力弹塑性分析方法（push-over 法）、弹塑性时程分析法等。

适用范围：

1) 不超过 12 层且层刚度无突变的框架结构及单层钢筋混凝土柱厂房可采用规范 5.5.4 条的简化方法；

2) 除上述结构之外，可以采用静力弹塑性分析方法（push-over 法）或弹塑性时程分析法。对于规则结构，可采用简化的弯剪层模型和平面杆系模型；对于不规则结构，则应采用三维空间模型进行分析。

5.8 静力弹塑性分析方法（push-over 法）的确切含义及特点？

结构弹塑性变形分析方法有动力非线性分析（非线性时程分析）和静力非线性分析两大类。动力非线性分析能比较准确而完整地得出结构在罕遇地震下的反应全过程，但计算过程中需要反复迭代，数据量大，分析工作繁琐，且计算结果受到所选用地震波以及构件恢复力和屈服模型的影响较大，一般只在设计重要结构或高层建筑结构时采用。

GB50011 规范提出“弹塑性变形分析，可根据结构特点采用静力弹塑性分析或弹塑性时程分析方法”，这里的静力弹塑性分析系指目前国内外流行的所谓 push-over 分析方法。

静力弹塑性分析方法（push-over 法），是对结构在罕遇地震作用下进行弹塑性变形分

析的一种简化方法，从本质上说它是一种静力分析方法。具体地说，就是在结构计算模型上施加按某种规则分布的水平侧向力，单调加载并逐级加大；一旦有构件开裂（或屈服）即修改其刚度（或使其退出工作），进而修改结构总刚度矩阵，进行下一步计算，依次循环直到结构达到预定的状态（成为机构、位移超限或达到目标位移），从而判断是否满足相应的抗震能力要求。

静力弹塑性分析方法（push-over 法）分为两个部分，首先建立结构荷载-位移曲线，然后评估结构的抗震能力，基本工作步骤为：

第一步：准备结构数据：包括建立结构模型、构件的物理参数和恢复力模型等；

第二步：计算结构在竖向荷载作用下的内力。

第三步：在结构每层的质心处，沿高度施加按某种规则分布的水平力（如：倒三角、矩形、第一振型或所谓自适应振型分布等），确定其大小的原则是：施加水平力所产生的结构内力与前一步计算的内力叠加后，恰好使一个或一批构件开裂或屈服。在加载中随结构动力特征的改变而不断调整的自适应加载模式是比较合理的，比较简单而且实用的加载模式是结构第一振型。

第四步：对于开裂或屈服的杆件，对其刚度进行修改，同时修改总刚度矩阵后，再增加一级荷载，又使得一个或一批构件开裂或屈服；

不断重复第三步、第四步，直到结构达到某一目标位移（当多自由度结构体系可以等效为单自由度体系时）或结构发生破坏（采用性能设计方法时，根据结构性能谱与需求谱相交确定结构性能点）。

对于结构振动以第一振型为主、基本周期在 2s 以内的结构，push-over 方法能够很好地估计结构的整体和局部弹塑性变形，同时也能揭示弹性设计中存在的隐患（包括层屈服机制、过大变形以及强度、刚度突变等）。研究成果和工程应用表明，在一定适用范围内 push-over 方法能够较为准确地反映结构的非线性地震反应特征，对于层数不太多或者自振周期不太长的结构，不失为一种可行的简化分析方法。

静力弹塑性分析方法的特点：1) 由于在计算时考虑了构件的塑性，可以估计结构的非线性变形和出现塑性铰的部位；2) 与弹塑性时程分析法比较，其输入数据简单，工作量较小，计算时间短。

对于二维 push-over 方法，随着加载模式、目标位移以及需求谱等方面的日趋完善，应用于规则结构的抗震性能评估，能够较好地满足工程设计要求。但是，随着建筑造型和结构体系复杂化，某些结构平面和竖向质量、刚度不均匀，将结构简化为二维模型分析可能低估结构的反应，尤其是对于远离结构刚度中心的边缘构件更是如此，因此，push-over 方法向三维发展是必然趋势。

对于长周期结构和高柔的超高层建筑，push-over 方法与非线性时程分析方法的计算结果差别很大，难以采用。

6 钢筋混凝土结构

6.1 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？

基本振型一般指每个主轴方向以平动为主的第一振型。

6.2 GB50011 抗震规范 6.1.3 条 1 款规定，框架-抗震墙结构，在基本振型地震作用下若框架部分承受的地震倾覆力矩大于结构总地震倾覆力矩的 50%，其框架部分的抗震等级应按框架结构确定，最大适用高度可比框架结构适当增加。适用高度增加的限值一般以多少为宜？

在这种情况下，适用高度增加以不超过 20% 为宜。

6.3 无上部结构、全地下室的建筑，如地下车库等，如何进行结构抗震设计？

按照 GB50011 规范 6.1.3 条 3 款的要求，无上部结构、全地下室的建筑物，如车库等的抗震等级可按三级或更低要求进行结构抗震设计。

6.4 钢筋混凝土短柱如何定义，短柱受力中有何特点，设计中该怎么处理？

钢筋混凝土结构中按内力计算值得到的剪跨比 $M^c / (V^c h_0)$ 不大于 2、以及反弯点在柱子高度中部时且柱净高与柱截面高度之比 H_n / h 不大于 4 的柱称为短柱。（实际工程中，应注意由于实心粘土砖填充墙对框架柱的约束，如：框架柱间砌筑不到顶的隔墙、窗间墙以及楼梯间休息平台使框架柱变成短柱）。

短柱的变形特征为剪切型，在地震作用时，容易发生脆性破坏，导致结构的严重破坏甚至倒塌。设计时，对于短柱的抗震验算，其轴压比限值应比一般柱降低 0.05，抗震等级为一级时每侧纵向钢筋配筋率不宜大于 1.2%，应使其剪力设计值满足规范 6.2.9 条式 6.2.9-2 的要求；构造方面，箍筋应沿柱子全高加密，间距不应大于 100mm，宜采用复合螺旋箍或井字复合箍，其体积配箍率不应小于 1.2%，9 度时不应小于 1.5%，梁柱节点核心区内的体积配箍率不应小于上下柱端的较大值（体积配筋率计算时，可以计入在节点有效宽度范围内梁的纵向钢筋）。对于剪跨比小于 1.5 的超短柱要专门研究，如采取增设交叉斜筋、外包钢板箍、设置型钢或将抗震薄弱层转移到相邻的一般楼层等合理并经验证有效的构造措施，防止短柱剪切（或粘着）破坏，增加其耗能能力。

6.5 GB50011 抗震规范公式 6.2.9-3，在计算剪跨比时，圆形钢筋混凝土柱的截面有效高度应如何取值？

剪跨比的定义为 $\lambda = M^c / (V^c h_0)$ ，其中， M^c 和 V^c 为未经内力调整的弯矩设计值和剪力设计值。

对于圆形钢筋混凝土柱，截面有效高度 h_0 的取值比较复杂，偏于安全可将圆形柱直径减去保护层厚度后作为截面有效高度代入公式中进行计算。

6.6 GB50011 规范 6.2.11 条的条文说明中提到的“矮墙效应”是指什么，什么情况下应考虑矮墙效应？如何避免矮墙效应？

一般的钢筋混凝土剪力墙的受力状态分为弯曲型和弯剪型，而对于总高度（不是层高）与总宽度之比小于 2 的剪力墙，受水平地震作用下的破坏形态为剪切破坏，类似短柱，属于脆性破坏，称为矮墙效应。国家标准的内容主要是针对一般的剪力墙，不包括矮