

建筑结构新规范系列培训读本

建筑抗震设计规范 理解与应用

(第二版)

(按GB 50011—2010)

易方民 高小旺 苏经宇 编著

中国建筑工业出版社

建筑结构新规范系列培训读本

建筑抗震设计规范理解与应用

(第二版)

(按 GB 50011—2010)

易方民 高小旺 苏经宇 编著



中国建筑工程工业出版社

图书在版编目(CIP)数据

建筑抗震设计规范理解与应用(按GB 50011—2010)/易方民,高小旺,苏经宇编著.—2版.—北京:中国建筑工业出版社,2011.1

(建筑结构新规范系列培训读本)

ISBN 978-7-112-12801-3

I. ①建… II. ①易… ②高… ③苏… III. ①建筑结构-抗震设计-规范-基本知识-中国 IV. ①TU352.104

中国版本图书馆CIP数据核字(2010)第259955号

本书按新规范章节顺序完整并有重点地介绍了《建筑抗震设计规范(GB 50011—2010)》的设计思想、概念设计、地震作用计算、截面抗震变形演算方法以及钢筋混凝土结构、多层砌体结构、多层与高层钢结构房屋、单层工业厂房、隔震和消能减震设计及非结构构件的抗震设计等内容,以便读者对新版规范有较系统全面的认识并能解决具体应用中的一些问题。

本书可供建筑结构设计人员学习、参考。

责任编辑:咸大庆 王 梅

责任设计:董建平

责任校对:张艳侠 王雪竹

建筑结构新规范系列培训读本 建筑抗震设计规范理解与应用 (第二版)

(按GB 50011—2010)

易方民 高小旺 苏经宇 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

北京红光制版公司制版

北京富生印刷厂印刷

*

开本:787×1092毫米 1/16 印张:31 字数:755千字

2011年2月第二版 2011年2月第五次印刷

定价:68.00元

ISBN 978-7-112-12801-3

(20040)

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)

第 二 版 前 言

本书内容是对新的建筑抗震设计规范 GB 50011—2010 的理解和实际应用,使读者对新规范有比较系统、全面和清晰的了解,同时尽量帮助读者解决应重点理解和具体应用中应注意的一些问题。

本书按新规范章节顺序和设计步骤把条文贯通起来进行解释说明,并在章节中间或之后加入设计计算实例,使读者能实际掌握按规范要求的抗震设计步骤和方法。

本书还有重点地、完整地介绍了规范的设计思想、概念设计、地震作用计算、截面抗震变形验算方法以及钢筋混凝土结构、多层砌体结构、多层与高层钢结构房屋、单层工业厂房、隔震和消能减震设计以及非结构构件的抗震设计等内容。

限于篇幅,本书并不注重条文的理论探讨。

本书第 3 章由苏经宇执笔,第 4、6、7、11、15 章由高小旺执笔,第 8、14、16、17 章由易方民执笔,第 1、2 章由高小旺和龚思礼、第 5、10 章由易方民和高小旺、第 9 章由高小旺和汪颖富、第 12 章由苏经宇和周云、第 13 章由苏经宇和龚思礼共同完成,全书由易方民和高小旺定稿。高炜、李辉、李艳、董可、张茜、杨晨、于磊等为本书的一些算例和插图等做了大量的工作。

在本书撰写过程中,得到王林枫和规范修订组许多同志的帮助,在此表示深深的感谢!

作者虽然长期从事工程抗震科研工作,但限于水平和知识面的局限性难免有疏漏和不当之处,敬请读者批评指正。

第 一 版 前 言

本书内容是对新的《建筑抗震设计规范》GB 50011—2001 的理解和实际应用，使读者对新规范有比较系统、全面和清晰的了解，同时尽量帮助读者解决应重要理解和具体应用中应注意的一些问题。

本书按新规范章节顺序和设计步骤把条文贯通起来进行解释说明，并在章节中间或之后加入设计计算实例，使读者能掌握按规范要求的抗震设计步骤和方法。

本书还有重点地、较完整地介绍了规范的设计思想、概念设计、地震作用计算、构件截面抗震承载力与结构变形验算方法以及钢筋混凝土结构、多层砌体结构、多层与高层钢结构房屋、单层工业厂房、隔震和消能减震设计以及非结构构件的抗震设计等。

限于篇幅，本书并不注重条文的理论探讨。

本书第 1、2 章由龚思礼执笔，第 3 章由苏经宇执笔，第 4、6、7、10、11、15 章由高小旺执笔，第 8、14 章由易方民执笔，第 5 章由高小旺和钟益村、第 9 章由高小旺和汪颖富、第 12 章由苏经宇和周云、第 13 章由龚思礼和秦权共同完成，全书由高小旺定稿。周晓夫、孟钢、高炜为本书的一些算例和插图等做了大量的工作。

在本书撰写过程中，得到规范修订组许多同志的帮助，在此表示深深的感谢！

作者虽然长期从事工程抗震科研工作，但限于水平和知识面的局限性难免有疏漏和不当之处，敬请读者批评指正。

目 录

第 1 章 建筑抗震设防的目标和设防标准	1
1.1 地震震害的启示	1
1.2 地震作用特点与建筑抗震设防目标	3
1.3 我国《建筑抗震设计规范》(GB 50011—2010)的抗震设防目标和标准	5
1.4 抗震设防标准	7
1.5 不同重要性建筑的抗震设防应有明确的设防目标和标准	10
1.6 应进一步完善各类建筑特别是乙类建筑的配套抗震设计要求	15
参考文献	16
第 2 章 抗震设计的基本要求	17
2.1 抗震概念设计的一般原则	17
2.2 规则结构与不规则结构	26
2.3 抗震设计的一般要求	30
参考文献	45
第 3 章 场地、地基和基础	46
3.1 地震破坏作用	46
3.2 场地类别划分	47
3.3 场地选择	48
3.4 天然地基和基础	51
3.5 液化判别与危害程度估计	53
3.6 桩基	56
参考文献	58
第 4 章 地震作用和结构抗震验算	59
4.1 概述	59
4.2 水平地震作用计算	60
4.3 竖向地震作用的简化计算方法	79
4.4 截面抗震验算	81
4.5 结构抗震变形验算	84
参考文献	110
第 5 章 多层和高层钢筋混凝土房屋	112
5.1 概述	112
5.2 多层和高层钢筋混凝土房屋的震害	113
5.3 多层和高层钢筋混凝土房屋的抗震性能	123
5.4 多层和高层钢筋混凝土房屋抗震设计的一般要求	131

5.5	钢筋混凝土框架抗震验算	149
5.6	钢筋混凝土抗震墙结构的构件内力调整和截面抗震验算	157
5.7	框架-抗震墙结构中框架剪力的调整	161
5.8	钢筋混凝土框架结构抗震构造措施	161
5.9	抗震墙结构抗震构造措施	167
5.10	框架-抗震墙结构抗震构造措施	170
5.11	板柱-抗震墙结构抗震设计要求	171
5.12	计算例题	172
	参考文献	184
第6章	多层砌体房屋	185
6.1	多层砖砌体房屋的震害	185
6.2	多层砌体房屋的抗震性能	194
6.3	多层砌体房屋抗震设计的主要修改和一般要求	198
6.4	地震作用计算和截面抗震验算	204
6.5	主要抗震构造措施	208
6.6	多层砌体房屋抗震设计中的有关问题探讨	217
6.7	多层砌体房屋计算例题	223
	参考文献	236
第7章	底部框架-抗震墙砖房	237
7.1	底部框架-抗震墙砖房的震害	237
7.2	底部框架-抗震墙砖房的抗震性能	244
7.3	底部框架-抗震墙砖房抗震设计的主要修改和一般要求	255
7.4	地震作用计算和抗震验算	260
7.5	底层框架-抗震墙砖房的底层框架梁和底部两层框架-抗震墙砖房第2层 框架梁承担竖向荷载的合理取值	263
7.6	底部框架-抗震墙砖房的主要构造措施	268
7.7	底部框架-抗震墙房抗震设计中有关问题的探讨	270
7.8	底层框架-抗震墙砖房计算例题	276
	参考文献	286
第8章	多层和高层钢结构房屋	287
8.1	多层和高层钢结构房屋的震害	287
8.2	多层和高层钢结构房屋的抗震性能	291
8.3	多层和高层钢结构房屋抗震设计的一般规定	294
8.4	多层和高层钢结构房屋的抗震计算	299
8.5	钢框架结构抗震构造措施	309
8.6	钢框架-支撑结构抗震构造措施	315
8.7	多高层钢结构房屋抗震设计新体系、新节点探讨	317
8.8	抗震设计实例	333
	参考文献	348

第 9 章 单层工业厂房	350
9.1 单层钢筋混凝土柱厂房	350
9.2 单层钢结构厂房	373
9.3 单层砖柱厂房	381
9.4 计算例题	389
参考文献	396
第 10 章 空旷房屋和大跨度建筑	397
10.1 单层空旷房屋	397
10.2 大跨屋盖建筑	402
参考文献	408
第 11 章 土、木、石结构房屋	409
11.1 土、木、石结构房屋的震害	409
11.2 土、木、石结构房屋抗震设计的一般要求	411
11.3 生土房屋	412
11.4 木结构房屋	413
11.5 石结构房屋	414
参考文献	415
第 12 章 隔震与消能减震设计	416
12.1 隔震设计	416
12.2 消能减震结构设计	425
12.3 隔震设计算例	430
参考文献	437
第 13 章 非结构构件	438
13.1 概述	438
13.2 国内外楼面设备地震作用确定方法简介	439
13.3 等效侧力法——单支点非结构构件的抗震简化计算方法	445
13.4 楼面反应谱法	447
参考文献	449
第 14 章 地下建筑	450
14.1 地下建筑地震反应及震害特点	450
14.2 地下建筑抗震设计要求	452
14.3 地下建筑抗震设计计算要点	454
14.4 地下建筑抗震构造措施	458
14.5 砂土液化的危害和工程防治	459
14.6 位于岩石中的地下建筑	460
参考文献	461
第 15 章 配筋混凝土小型空心砌块抗震墙房屋	462
15.1 配筋混凝土小型空心砌块墙性能	462
15.2 配筋混凝土小型空心砌块抗震墙房屋抗震设计的一般要求	465

15.3 地震作用计算与截面抗震验算 467

15.4 抗震构造措施 469

参考文献 472

第 16 章 多层钢结构厂房抗震设计要求 473

16.1 概述 473

16.2 多层钢结构厂房抗震设计的一般规定 473

16.3 多层钢结构厂房抗震设计的计算要点 475

16.4 多层钢结构厂房抗震构造措施 477

参考文献 479

第 17 章 建筑抗震性能化设计 480

17.1 概述 480

17.2 抗震设防目标 481

17.3 结构性能目标选择 481

17.4 性能设计指标的选定及设计方法 482

参考文献 486

第 1 章 建筑抗震设防的目标和设防标准

1.1 地震震害的启示

1.1.1 我国严重的地震灾害

我国是世界上地震活动最强烈的国家之一。中国位于全球最活跃的两大地震带——环太平洋地震带和欧亚地震带之间，受太平洋板块向西、印度洋板块向北、欧洲向东等多向的推动和挤压，使我国地震活动活跃，具有分布广、频度高、强度大、震源浅的特点。从历史上的地震情况来看，全国除个别省份外，大部分地区都发生过较强烈的破坏性地震。20 世纪以来，根据地震仪器记录资料统计，我国已发生 6 级以上地震 700 多次，其中 7.0～7.9 级地震近 100 次，8 级及 8 级以上 11 次。（表 1.1-1）^[1]。

二十世纪以来的我国 11 次 8 级以上强震统计表

表 1.1-1

序号	发震时间	地震名称	震级 (M)
1	1902. 8. 22	新疆阿图什	8. 3
2	1906. 12. 23	新疆玛纳斯	8. 0
3	1920. 6. 5	台湾花莲东南海中	8. 0
4	1920. 12. 16	宁夏海原	8. 5
5	1927. 5. 23	甘肃古浪	8. 0
6	1931. 8. 31	新疆富蕴	8. 0
7	1950. 8. 15	西藏察隅、墨脱间	8. 5
8	1951. 11. 18	西藏当雄西北	8. 0
9	1972. 1. 25	台湾新港东海中	8. 0
10	2001. 11. 14	青新交界	8. 2
11	2008. 5. 12	汶川地震	8. 0

强烈的地震活动使我国成为世界上地震灾害最严重的国家之一。1949 年以来，100 多次破坏性地震袭击了 22 个省（自治区、直辖市），造成 34 万余人丧生，占全国各类灾害死亡人数的 54% 以上。地震作为中国第一大自然灾害，与其他自然灾害的严重性一起构成中国的最基本国情之一。

新中国成立以来我国发生了两次世界罕见的特大地震灾害：1976 年唐山大地震和 2008 年汶川大地震，这两次地震导致的死亡人数之和占到新中国成立以来地震死亡人数的 85% 以上。

北京时间 1976 年 7 月 28 日凌晨 3 时 42 分，在河北省唐山市（北纬 39.6°。东经 118.1°）发生 7.8 级强烈地震，极震区烈度高达Ⅺ度，使唐山这座人口稠密、经济发达的工业城市几乎沦为一片废墟。根据有关方面统计，这次地震毁坏公产房屋 1479 万 m²，倒塌民房 530 万间，造成的直接经济损失高达 54 亿元，总损失估计超过 100 亿元。另外，地震共导致 24.2 万人死亡，16.4 万人受重伤，仅唐山市区终身残废的就达到 1700 多人，

是新中国成立以来人员伤亡最为惨重的一次地震。

北京时间 2008 年 5 月 12 日 14 时 28 分,四川省汶川县(北纬 31.0° , 东经 103.4°)发生了 8.0 级特大地震,极震区烈度也高达 XI 度。这次地震影响范围极大,超过 40 万 km^2 ,其中严重受灾地区达到 10 万 km^2 。地震造成大面积的基础设施、建筑工程损坏和垮塌,并且由于四川省特殊的地形地貌和山地特征,导致严重的次生地质灾害,造成巨大的经济损失和人员伤亡。据统计,地震中 69227 人死亡,374643 人受伤,失踪 17933 人,直接经济损失达到 8451 亿元人民币。汶川大地震作为新中国成立以来破坏性最强、涉及范围最广、救灾难度最大的一次地震,将会被历史永远铭记。

北京时间 2010 年 4 月 14 日清晨,青海省玉树县(北纬 33.1° , 东经 96.6°)发生两次地震,最高震级 7.1 级,造成了县城结古镇多数民居倒塌或发生严重破坏,导致 2220 人遇难,70 人失踪。玉树地震是汶川大地震以来我国发生的又一次严重的地震灾害,再次给我们敲响了防御地震灾害的警钟,提醒我们当前的抗震防灾形势依然严峻。

1.1.2 地震震害的启示^[2,3]

由于地震时产生的巨大能量,往往造成各类建筑物和设施的破坏,甚至倒塌,并由此引起各种次生灾害的发生以及人员的伤亡。提高建筑物和各类设施防御地震破坏能力,防止地震时人员伤亡,减少地震所造成的经济损失,是地震工程和抗震工程学的重要任务。国内外大量震害都表明,采用科学合理抗震设防标准、抗震设计方法和抗震构造措施,是当前减轻地震灾害的最有效途径。1976 年 7 月 28 日在我国一个拥有 150 万人口的唐山市,遭遇 7.8 级地震的袭击,顷刻间整座城市化为一片瓦砾,人员死亡高达近 24.2 万人,经济损失超过百亿元。可是,1985 年一个拥有 100 余万人口的智利瓦尔帕莱索市虽遭受了同样 7.8 级地震的袭击,人员伤亡却只有 150 人,而且不到一周时间,整个城市就恢复原样。同样大小的地震,城市人口也差不多相同,却产生了如此不同的后果,只是因为瓦尔帕莱索市的建筑物和设施曾进行了有效抗震设防。

对各类建筑物和设施进行抗震设防,免不了要增加工程的造价和投资,因此如何合理地采用设防标准,既能有效地减轻工程的地震破坏、避免人员伤亡、减少经济损失,又能合理地使用有限的资金,是当前工程抗震防灾中迫切需要解决的关键问题。由于制定的设防标准不同,各类建筑物和设施在地震中的表现会截然不同,因而地震时造成的损失也会有巨大的差别。例如,日本东京是国际著名大城市,历史上曾发生过 8 级以上大地震,日本政府以及各界一向对此十分关心和重视,长期以来一直致力于将东京建成一个能抗御 8 级大地震的城市。1986 年一次 6.2 级地震发生在东京城底下,一座上千万人口的城市仅死亡 2 人,整个城市几乎未遭受到破坏。可是一向认为没有发生大地震危险的日本第二大港神户市对工程抗震设防就不那么重视。在 1995 年 1 月 17 日的一次 6.9 级(JMA 震级为 7.2)的地震中,导致了近十万栋房屋毁坏,5500 人死亡和约 1000 亿美元的经济损失。又一个典型事例,1988 年 12 月 7 日前苏联的阿美尼亚共和国发生一次 6.8 级地震,位于震中的斯皮塔克城全城变为废墟,距震中 40 公里的列宁纳坎市约有 80% 建筑物毁坏,更远的基洛伐克市也有将近 50% 的建筑物严重破坏或倒塌,地震死亡人数达 4~5 万人。该地区历史上曾发生过数次 6~7 级大地震,在地震区划图上也被划在 MSK 烈度表的 9 度地区。但前苏联政府,特别是城市规划和建设部门,鉴于城市居住建筑严重短缺,又缺乏资金,便在 70 年代初期对大量新建的多层房屋建筑降低设防标准,一律从 9 度降低到 7

度，而恰恰正是这些房屋建筑在该次地震中大量倒塌，造成了众多的人员伤亡。从上述的震例不难看出，工程抗震是减轻地震灾害和损失的十分有效的措施，工程抗震的成效很大程度上取决于所采用的工程设防标准，而制定恰当、合理的设防标准不仅需要可靠的科学和技术依据，并同时要受到社会经济、政治等条件的制约。那么是不是对工程建筑物和设施的设防标准越高越好呢？当然不是这样。最佳的或者说可行、合理的设防标准的确定，特别是可接受的最低设防标准的制定，需要在保证地震作用下的工程安全性与优化的经济效益和社会影响之间取得平衡。但是，现行的工程抗震设防标准在很大程度上是由人们的主观经验和判断来确定的，很难说清楚给定的设防标准到底能减轻多少破坏和损失，能在多大程度上减免和减少人员的伤亡。同样也很难说清楚在全国进行抗震设防将需增加多少投资，以及增加的抗震投资到底能换来多少期望的地震损失的减轻。

无论是对新建工程还是对既有建筑的鉴定与加固以及震后恢复重建等，其抗震设防目标和标准是必须明确的。对于新建工程，抗震设防目标和标准是决定抗震设计的全局，是抗震设计应该达到的目标和要求，也是对工程设计所具有的抗震能力进行审核与检验的标准。对于既有建筑，抗震设防目标和标准是决定抗震鉴定和加固的全局，是既有建筑通过抗震鉴定与加固后的抗震能力应该达到的目标和要求，也是对抗震鉴定与加固是否满足要求进行审核与检验的标准。

1.2 地震作用特点与建筑抗震设防目标

1.2.1 地震作用特点

当结构工程师进行抗震设计时必须了解地震作用的特点、地震作用与其他荷载作用的差异、抗震设防的目标和相应的设防标准等。

地震作用不同于其他荷载的特点为地震是地面运动，不是作用在结构上的荷载，其结构的反应与结构的动力特性、场地和地震波的频谱特性等均有关系，地震作用的这些特点集中反映在结构地震作用的计算方法中。

地震作用与其他荷载不同的主要区别是地震作用的随机性，地震作用的随机性表现在时间、地点和强度等方面。除地震作用以外的建筑荷载是经常作用在建筑上，如恒载、楼（屋）面活荷载等，风荷载虽然作用时间短但时有发生；而地震无论在时间、空间和强度上的随机性都是很强的，虽然人类对地震发生的规律进行了长期大量的研究，但是迄今世界各国均还不能做出准确的预报。根据历史的统计，地震的发生有平静期（能量积累）和活跃期（能量释放），对于一个抗震设防区可以大体划分出平静区和活跃区，但还无法预知哪年或哪个时间段发生地震，当然就更无法得知地震作用的强度大小。我国的地震烈度表分为 12 度，1~5 度为无感至有感地震，6 度对建筑物有损坏，7 度及以上对建筑物破坏性增大。从发生地震的强度来看，相差 1 度则地震动加速度相差 1 倍。在地震发生的地点来看，由于地震发生的迁移性，处在同一断裂带上的不同地区发生地震的可能性都是存在的。

1.2.2 建筑工程抗震设防目标和标准的进展

世界各国的抗震科技工作者对工程抗震设防目标和标准、对城市抗震防灾的目标研究都非常重视，进行了大量的震害经验总结、深入的地震危险性分析和各类结构的抗震性能研究及城市地震灾害与次生灾害的影响研究，均已经取得了非常大的进展。其建筑工程抗

震设防目标和标准经历了从单一的设防目标——设防烈度不倒；到低于设防烈度的“小震”不坏、设防烈度可修、高于设防烈度的“大震”不倒的概念和基于概率的三个烈度水准的定量取值，到基于功能的抗震设防要求等不同阶段。这些抗震设防目标和标准的进展，反映了人类对抵御地震灾害的认识和科研成果。

我国建筑抗震设计规范的进展，与国内大地震的发生及其经验总结，国民经济的发展以及国内抗震科研水平提高有着十分密切的关系。

新中国成立初期，鉴于当时的历史条件，除极为重要的工程外，一般建筑都没有考虑抗震设防。当时国家只作如下规定：“在 8 度及以下的地震区的一般民用建筑，如办公楼、宿舍、车站、码头、学校、研究所、图书馆、博物馆、俱乐部、剧院及商店等均不设防。9 度以上地区则用降低建筑高度和改善建筑的平面来达到减轻地震灾害”。

建筑抗震设计标准的编制工作开始于 1959 年，于 1964 年完成了《地震区建筑设计规范草案》（以下简称《64 规范》），规定了房屋建筑、水工、道桥等工程抗震设计内容。这个草案虽未正式颁发执行，但对当时工程建设以及以后规范发展起到了积极的作用。

1966 年邢台地震后，编制了《京津地区建筑抗震设计暂行规定》，作为地区性的抗震设计规定。此后，我国华北、西南、华南地区大地震频繁发生，根据地震形势和抗震工作的需要，1974 年完成并颁发了全国性第一本建筑抗震设计规范，即《工业与民用建筑抗震设计规范》（TJ 11—74）（试行）。

我国抗震设防目标和标准在经历了唐山大地震后，针对我国几次特大地震发生在 6 度区的情况，建设部及时提出了百万人口以上的 6 度区的城市按 7 度设防的要求，并对《工业与民用建筑抗震设计规范》（TJ 11—74）（试行）进行了修改，形成了按基本烈度进行抗震设计的《工业与民用建筑抗震设计规范》（TJ 11—78）。

建筑抗震设计的设防标准。是根据一个国家的经济力量、科学技术水平恰当地制订，并随着经济力量的增长和科学水平的提高而逐步提高。

我国《74 规范》和《78 规范》的设防原则是“保障人民生命财产的安全，使工业与民用建筑经抗震设防后，在遭遇相当于设计烈度的地震影响时，建筑的损坏不致使人民生命和重要设备遭受危害，建筑不需修理或经一般修理仍可继续使用”。

通过对唐山大地震的震害经验总结和深入的工程抗震科学研究，工程抗震界对抗震设防的目标——保证人民生命财产安全有了更深入的理解和共识，明确提出了“小震不坏、中震可修、大震不倒”抗震设防目标。

随着地震危险性分析与工程应用的深入，通过运用概率方法对我国抗震设防的基本烈度进行了概率标定，给出了我国抗震设防的基本烈度为 50 年超越概率为 10% 的地震烈度，并给出了抗震设防标准的“小震”、设防烈度和“大震”的概率意义和定量的取值。即一个地区的抗震设防依据是设防烈度（即中震），相应的大震和小震是相对于设防烈度而言，并非绝对意义上的大震和小震。《建筑抗震设计规范》（GBJ 11—89）和《建筑抗震设计规范》（GB 50011—2001）规范的设防目标是“当遭受本地区抗震设防烈度的多遇地震影响时，一般不受损坏或不需修理可继续使用，当遭受相当于本地区抗震设防烈度的地震影响时，经一般修理或不需要修理仍可继续使用，当遭受高于本地区抗震设防烈度预估的地震影响时，不致倒塌或发生危及生命的严重破坏”。我国抗震设防的三个烈度水准取值及概率意义见表 1.2-1。

三个烈度水准设防的取值及概率意义

表 1.2-1

类 别	重现期	50 年超越概率	$\alpha_{\max}$			
			6 度	7 度	8 度	9 度
“小震”	50 年	0.632	0.04 (18 gal)	0.08 (36gal)	0.16 (72gal)	0.32 (144gal)
设防烈度	475 年	0.10	0.11 (0.05g)	0.23 (0.1g)	0.45 (0.2g)	0.90 (0.4g)
“大震”	约 2000 年	0.03~0.02	0.28 (125gal)	0.50 (220gal)	0.90 (400gal)	1.40 (620gal)

《建筑工程抗震设防分类标准》（GB 50223—2008）考虑到我国经济已有较大发展，按照“对学校、医院、体育场馆、博物馆、文化馆、图书馆、影剧院、商场、交通枢纽等人员密集的公共服务设施，应当按照高于当地房屋建筑的抗震设防要求进行设计，增强抗震设防能力”的要求，提高了某些建筑的抗震设防类别。强调了对需要比普通建筑提高抗震设防要求的建筑控制在较小的范围内，并主要采取提高抗倒塌变形能力的措施等。

1.3 我国《建筑抗震设计规范》（GB 50011—2010）的抗震设防目标和标准

1.3.1 我国建筑抗震设防与设计规范给出的抗震设防目标和标准

建筑抗震设防类别是根据建筑破坏造成的人员伤亡、直接和间接经济损失及社会影响的大小；建筑使用功能失效后，对全局的影响范围大小、抗震救灾影响及恢复的难易程度；以及城镇的大小、行业的特点、工矿企业的规模等因素的综合分析确定。从《建筑工程抗震设防分类标准》（GB 50223—95）到《建筑工程抗震设防分类标准》（GB 50223—2008）均把建筑抗震类别分为甲类、乙类、丙类和丁类四个抗震设防类别，并给出了城市及各行业的甲、乙和丁类建筑的抗震设防要求。但只给出了丙类建筑的抗震设防目标，即《建筑抗震设计规范》（GB 50011—2010）的总则第 1 条“按本规范进行抗震设计的建筑，其基本的抗震设防目标是：当遭受低于本地区抗震设防烈度的多遇地震影响时，主体结构不受损坏或不需进行修理可继续使用；当遭受相当于本地区抗震设防烈度的设防地震影响时，其损坏经一般性修理仍可继续使用；当遭受高于本地区抗震设防烈度的罕遇地震影响时，不致倒塌或发生危及生命的严重破坏。使用功能或其他方面有专门要求的建筑，当采用抗震性能化设计时，具有更具体或更高的抗震设防目标。”该抗震设防目标是针对丙类建筑的，规范中的使用功能或其他方面有专门要求的建筑，当采用抗震性能化设计时，具有更具体或更高的抗震设防目标是指进行性能化设计和隔震建筑等，但更高的抗震设防目标大体在什么范围还不够明确。在《建筑工程抗震设防分类标准》（GB 50223—2008）虽然给出了甲、乙和丁类建筑抗震设防的要求，但没有明确给出相应的抗震设防目标。该规范给出的各抗震设防类别建筑的抗震设防标准为：

- （1）标准设防类（丙类），应按本地区抗震设防烈度确定其抗震措施和地震作用，达到在遭遇高于当地抗震设防烈度的预估罕遇地震影响时不致倒塌或发生危及生命安全的严重破坏的抗震设防目标。
- （2）重点设防类（乙类），应按高于本地区抗震设防烈度 1 度的要求加强其抗震措施；

但抗震设防烈度为 9 度时应按比 9 度更高的要求采取抗震措施；地基基础的抗震措施，应符合有关规定。同时，应按本地区抗震设防烈度确定其地震作用。

(3) 特殊设防类（甲类），应按高于本地区抗震设防烈度提高 1 度的要求加强其抗震措施；但抗震设防烈度为 9 度时应按比 9 度更高的要求采取抗震措施。同时，应按批准的地震安全性评价的结果且高于本地区抗震设防烈度的要求确定其地震作用。

(4) 适度设防类（丁类），允许比本地区抗震设防烈度的要求适当降低其抗震措施，但抗震设防烈度为 6 度时不应降低。一般情况下，仍应按本地区抗震设防烈度确定其地震作用。

1.3.2 我国《建筑抗震设计规范》（GB 50011—2010）抗震设防目标的剖析

(1) 我国建筑抗震设计规范给出的抗震设防目标是丙类建筑的抗震设防目标

建筑抗震设计规范给出的“当遭受高于本地区抗震设防烈度预估的地震影响时，不致倒塌或发生危及生命的严重破坏”的设防目标中的高于本地区抗震设防烈度预估的地震影响是指 50 年超越概率 2%~3% 的地震烈度，比基本烈度高 1 度作用，其烈度重现期为 2000 年左右。该设防目标对于甲、乙类建筑的抗震设防目标偏低，其甲、乙类建筑的抗震设防目标应比高于设防烈度 1 度还要多的更大地震影响时，不致倒塌才合理。对于丁类建筑又偏高，丁类建筑为临时或仓库，这类不必满足高于基本烈度 1 度不致倒塌，应满足基本烈度不倒较为恰当。

虽然甲类没有给出多大的地震不至于倒塌，但是其地震作用和抗震构造措施均比当地的抗震设防烈度要求高；除 9 度设防区外，一般都提高 1 度或采用地震危险性分析给相应的“小震、中震和大震”，对于建设单位和设计人员来说是较为明确的，即比当地设防烈度高 1 度地震作用下处于中等破坏。

乙类建筑仅是抗震措施的提高，建设单位和设计人员都不明确乙类建筑的抗震设防目标是什么，究竟比丙类建筑的抗震设防目标高多少规范没有给出，建设单位和设计人员从设防要求上也无法得出。乙类建筑的抗震设计不提高地震作用，结构的构件截面和配筋等不会增加（砌体结构）或增加不多（钢筋混凝土、钢结构），构造措施的提高对合理的破坏机制和变形能力会有较大提高；这样设计的乙类建筑，其结构构件的承载能力提高不大，不能很大程度上延缓结构构件的开裂和钢筋屈服，这就不能使通信设施和网控设施等正常运行，不能很好地发挥生命线工程救灾等作用。

因此，从严格意义上讲，我国现行建筑工程抗震设防分类标准和建筑抗震设计规范给出的抗震设防目标并没有明确给出甲、乙和丁类建筑的抗震目标。

(2) 我国建筑抗震设计规范给出乙类建筑的弹塑性变形验算等于虚设

建筑抗震设计规范和分类标准中，乙类和丁类建筑的地震作用应符合本地区的抗震设防烈度的要求，只是在抗震措施上给予提高和降低，这就导致了建筑抗震设计规范中的乙类建筑结构在罕遇地震作用下薄弱层的弹塑性变形验算等于虚设。这是因为乙类的罕遇地震作用取值与该地区的丙类建筑是一样的，而乙类建筑的抗震构造措施已经提高，其变形能力给予了增强，因此，对于按照抗震规范的抗震措施设计的乙类建筑中的钢筋混凝土结构和钢结构，其“大震”作用下的弹塑性变形应该是不需要验算就能满足的。

(3) 除丙类外的建筑抗震设计没有形成与其抗震功能相配套的要求

由于没有明确不同重要性建筑抗震设防的目标，所以抗震设防标准和要求也不够完

善，在抗震规范中没有形成与达到其抗震功能相配套的系统要求。所谓乙类建筑指地震时使用功能不能中断或需尽快恢复的生命线相关建筑，以及地震时可能导致大量人员伤亡等重大灾害后果，需要提高设防标准的建筑。地震时使用功能不能中断的建筑，这就要求该建筑在预估的罕遇地震作用下不仅仅是是不倒塌，而且房屋的破坏程度应基本保持在中等破坏以内、房屋的变形不应超过设备功能不能中断的范围内。这就需要对地震时使用功能不能中断的乙类建筑进行设防烈度变形验算，使这些乙类建筑在设防烈度地震作用下的变形不致使功能中断。

四川汶川大地震的大量震害，特别是中小学校舍和通信等生命线工程的倒塌，使得学校人员伤亡所占比例加大和生命线工程在抗震救灾中不能很好地发挥作用。总结汶川大地震的经验教训，不仅仅是把中小学校舍列为乙类建筑，而且需要深入探讨和明确甲类、乙类建筑的抗震设防目标及抗震设防标准。

1.4 抗震设防标准

地震作用随机性强等特点和强烈的地震作用给人民生命财产造成的严重损失，促进了地震工程和工程抗震领域科学研究的深入开展。在地震发生的机制、地震危险性分析，模拟地震作用下各类结构的抗震性能，总结大地震的经验教训，更仔细分析地震作用下的结构的弹性、弹塑性反应，更新抗震设计理论、进一步完善抗震设计方法以及用概率方法和引入工程决策方法等确定抗震设防标准方面都取得了很大进展。

日本长期以来在抗震设计中采用 0.2 为“震度系数”和“容许应力设计方法”。到 20 世纪 60 年代后期，抗震工程界的专家指出了其不足之处。经过研究，在日本 1981 年实施的建筑抗震设计法中提出了所谓的“二次设计法”：即对建筑物在遭遇“震度系数”为 0.2 的地震作用下，建筑物处于弹性工作状态，在遭遇“震度系数”为 1.0 的地震作用下，建筑物不应倒塌。

美国 1975 年 SEAOC 抗震规范指出，抵御小地震结构不损坏；抵御中等地震结构不坏，非结构构件可有某些损坏，抵御大地震结构不倒塌。

我国 74、78 建筑抗震规范的抗震设防要求是，当建筑物遭遇相当于基本烈度地震影响时，建筑物可能有一定破坏，但不能危及人的生命和重要设备的安全，不加修理或稍加修理仍可继续使用。

在抗震设防和抗震设计中，都希望了解在设计基准期内各种不同强度地震发生的可能性以及地震的特性，以便合理地确定抗震设防标准和进行抗震设计。然而地震的发生和地震的特性都不能精确地给出，必须以概率的基础进行推测。建立在用概率（随机过程）方法给出今后若干年内不同强度地震发生可能性的地震危险性方法，自 1968 年由美国 Cornell 确立以来，无论在研究还是在应用方面都取得了很大进展。我国不少地震工程研究者对地震危险性分析方法和应用做了大量的工作，取得了很多研究成果。地震危险性分析研究和运用的深入开展，为用概率方法确定抗震设防标准创造了条件。

我国《建筑抗震设计规范》（GBJ 11—89）和（GB 50011—2001）明确指出：“按本规范设计的建筑，当遭受低于本地区设防烈度的多遇地震影响时，一般不受损或不需修理仍可继续使用；当遭受本地区设防烈度的多遇地震影响时，可能受损，经一般修理或不需修理仍可继续使用；当遭受高于本地区设防烈度的罕遇地震影响时，不至倒塌或发生危及

生命的严重破坏。”

建筑抗震规范规定的三个烈度水准的抗震设防要求。这三个烈度水准是依据对我国华北、西北、西南三个地区 45 个城镇的地震危险性分析结果，运用概率的方法对抗震规范中的“小震”、“抗震设防烈度”与“大震”的概率意义和取值进行了分析并给出了相应的结果。

由于我国在《建筑抗震设计规范》GBJ 11—89 制订过程中采用基本烈度区划图，所以需要基本烈度在 50 年内的超越概率进行评估。文献 [4] 在对华北、西北、西南三个地区的潜在震源、各震源的地震活动性、地震传播过程的衰减规律分析的基础上，给出了 45 个城镇的地震危险性分析结果。文献 [5] 对我国地震烈度的概率分布进行了检验、拟合，确定我国地震烈度符合极值Ⅲ型分布。这些为对基本烈度进行概率标定和用概率方法确定抗震设计中采用的“小震”与“大震”提供了条件。通过对 45 个城镇不同超越概率所对应的烈度与该城镇的基本烈度相比较，计算了相比较差的平均值和标准差。从计算结果上来看，在设计基准期 50 年内超越概率在 0.09~0.16 范围内变化时，与基本烈度的标准差变化不大。因此，从工程实际来考虑，可以粗略的认为基本烈度相当于 50 年内超越概率为 10% 的烈度。

从概率意义上讲，“小震”应是多遇的地震。由于我国地震烈度的概率分布符合极值Ⅲ型，极值分布的众值为其概率密度函数上的峰点，即发震频度较大的烈度，在极值分布中此值为众值，所以我们称此地震烈度为众值烈度。从地震烈度的重现期来看，在设计基准期 50 年的众值烈度的超越概率为 63.2%，是重现期为 50 年的地震烈度，也就是说众值烈度为碰见 50 年发生一次的地震烈度，因此把众值烈度作为一般工业与民用建筑截面抗震设计的“小震”烈度水准是合适的。图 1.4-1 示出了众值烈度的概率意义。

我国在《建筑抗震设计规范》GBJ 11—89 的抗震设计和抗震设防中采用基本烈度区划图。因此，一般工业与民用建筑抗震设计所采用的“小震”烈度应与基本烈度相联系。基本烈度大体为在 50 年内超越概率为 10% 的地震烈度，这与世界上一些国家（如美国、加拿大等）采用在 50 年内超越概率为 10% 的地震动参数作为一般工业民用建筑的抗震设防标准相一致。因此，文献 [6] 分别计算了这 45 个城镇在 50 年内超越概率为 10% 的地震烈度与众值烈度（在 50 年内超越概率为 63.2% 的地震烈度）之差，并从这 45 个城镇的总体上计算出其差值的平均值为 $\mu_{\Delta} = 1.55^\circ$ ，标准差为 $S_{\Delta} = 0.169^\circ$ 。这样也可以认为基本烈度与众值烈度差的平均值为 1.55 度，根据烈度与地震地面峰值加速度的关系，可得到比基本烈度降低 1.55 度的众值烈度所对应的地面峰值加速度的折减系数为 0.34。

从概率意义上讲，“大震”应是罕遇的地震，即应为小概率事件。

众所周知，地震的发生无论在时间、地点、强度方面都是随机的。以往发生概率小于 5% 的强烈地震作用已多次给人们的生命财产造成了严重灾害。因此，对于“大震”作用下防止结构倒塌的变形验算，即第二阶段的抗震设计，其概率水平应在 50 年内的超越概率小于 5%。为了用随机事件出现的概率大体相同的方法来确定基本烈度 7 度、8 度、9 度地区相应的大震烈度，文献 [6] 分别计算了超越概率为 5%~0.5% 而基本烈度为 7 度、8 度、9 度地区相应烈度。根据计算结果，考虑安全又经济的抗震效果，建议基本烈度为 7 度、8 度、9 度的“大震”在设计基准期 50 年内的超越概率为 3%~2%，为小概率事件。从地震烈度的重现期来看，在 50 年内的超越概率为 3%~2% 的地震烈度的重现