

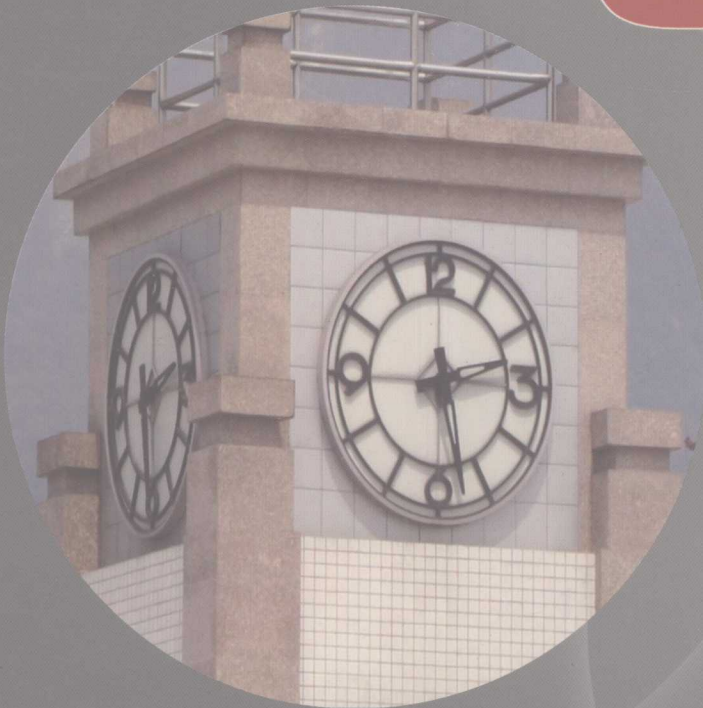


21世纪技术与工程著作系列·土木工程

Performance-Based Seismic Design and
Design Ground Motion

基于性态的抗震设防与 设计地震动

谢礼立 马玉宏 翟长海 著



科学出版社

www.sciencep.com

21 世纪技术与工程著作系列·土木工程



基于性态的抗震设防 与设计地震动

谢礼立 马玉宏 翟长海 著



科学出版社

北京

内 容 简 介

本书是对国家自然科学基金委员会“九五”重大项目“大型复杂结构体系的关键科学问题及设计理论”的子课题“基于抗震性态的设防标准”研究的成果总结。全书包括五篇,第一篇是概论,主要介绍了抗震设防标准的基本概念、国内外的发展现状、基于性态的抗震设计理论、基于性态的三环节抗震设防方法;第二篇是抗震设防标准决策分析引论,主要研究了地震易损性、地震经济损失及人员伤亡估算方法;第三篇是抗震设防标准的决策分析,主要进行了最优经济设防烈度和最优安全设防烈度的决策分析;第四篇是考虑地震环境的设计地震动及建筑的重要性类别,主要进行了地震危险性曲线及危险性特征、建筑重要性类别及考虑地震环境的设计地震动参数的研究;第五篇是最不利设计地震动,主要介绍了人造地震动的基本理论和方法、地震动潜在破坏势的估计、最不利设计地震动的概念、挑选原则、过程以及算例分析。

本书可供工程地震和结构抗震专业人员、土木工程技术人员、从事结构工程的研究人员,以及高等院校相关专业的师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

基于性态的抗震设防与设计地震动/谢礼立,马玉宏,翟长海著. —北京:科学出版社,2009

(21世纪技术与工程著作系列·土木工程)

ISBN 978-7-03-024030-9

I. 基… II. ①谢…②马…③翟… III. 建筑结构-抗震设计
IV. TU352.104

中国版本图书馆CIP数据核字(2009)第020663号

责任编辑:任加林 / 责任校对:耿 耘
责任印制:吕春珉 / 封面设计:耕者设计工作室

科学出版社出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

双青印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2009年4月第一版 开本:787×1092 1/16

2009年4月第一次印刷 印张:19 1/4

印数:1—2500 字数:440 000

定价:48.00元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈双青〉)

销售部电话 010-62134988 编辑部电话 010-62137026 (BA08)

版权所有,侵权必究

举报电话:010-64030229; 010-64034315; 13501151303

前 言

人类社会的发展历史大致可以追溯到 5000 年前。在 5000 年的发展史中，人类遇到了无数次的各种灾害。但是，在这些灾害中，还有一类危害极大、影响极广的灾害迄今尚未被人类所认识，这就是土木工程灾害。

在人类社会的发展过程中，如果没有土木工程就不会有现今的人类文明，但是土木工程在带来社会文明的同时，也给人类带来了灾难，即土木工程灾害。土木工程灾害的成因是由于人们不当的知识，以致在选址、设计、施工、使用和维护等环节有所缺失导致所建造的土木工程不能抵御突发的载荷，致使土木工程失效和破坏，乃至倒塌而造成了灾害。这些土木工程包括所有的建筑、地上和地下的土木设施、铁路、水库、隧道以及各种港口、矿山和工厂等。

包括汶川地震等在内的地震灾害是典型的土木工程灾害。减轻这种灾害的主要手段和方法是采用科学的土木工程方法，即一方面要重视人类居住环境的选择，对工程进行合理的选址，避开人类目前还不能有效防止的活动断层特别是发震断层，另一方面还要对土木工程结构采取因地制宜的有利于工程结构抗震的经济适用的方法和技术。而工程抗震措施的效果在很大程度上又取决于所制定的抗震设防标准（等级）和设防目标，由此基于性态的抗震设计（performance-based design）理论就应运而生，它是近年来社会经济发展和工程实践对地震工程研究人员所提出的新课题。性态抗震设计理论能最大限度地满足业主和社会的需求，能充分发挥结构工程师的主动性，且其所设计和维护的结构在未来地震中的抗震性能可以预期，因此该理论是设计理念上的一次大的变革，对土木工程学科、抗震减灾学科的发展具有巨大的推动作用，可以说，基于性态的抗震设计理论将是 21 世纪世界各国抗震规范制定的基础。确定“基于性态的抗震设防和设计地震动”是性态抗震设计最基础、最重要的内容，对人类减轻地震灾害对策的研究具有十分重大的意义。

本书是由在国家自然科学基金“九五”重大项目、国家重点基础研究发展规划（“973”项目）、地震学联合基金“九五”重点项目及黑龙江省自然科学基金等项目的资助下所取得的研究成果总结而成，主要围绕着“基于性态抗震设防和设计地震动”进行了研究，提出了一套完整的、全新的有关抗震设防的原则和框架以及有关设计地震动的选用理论和方法。全书包括五篇：

第一篇是概论与基础知识，主要介绍抗震设防标准的基本概念、国内外的发展现状、基于性态的抗震设计理论、基于性态的三环节抗震设防方法；

第二篇是抗震设防标准决策分析基础，主要研究地震易损性、地震经济损失及人员伤亡估算方法；

第三篇是抗震设防标准的决策分析，主要进行最优经济设防烈度和最优安全设防烈度的决策；

第四篇是考虑地震环境的设计地震动及建筑的重要性类别，主要进行地震危险性曲线及危险性特征、建筑重要性类别及考虑地震环境的设计地震动参数的研究；

第五篇是最不利设计地震动，主要介绍了人造地震动的基本理论和方法，地震动潜在破坏势的估计，最不利设计地震动的概念、挑选原则、过程以及算例分析。

感谢“省部共建国家重点实验室培育基地——广东省减震控制与结构安全重点实验室”开放基金对本书的资助！

基于性态抗震设防是 20 世纪 90 年代才出现的新理论，而基于性态抗震设防和设计地震动的研究涉及到地震学、工程学乃至有关经济学和社会学等许多领域的知识，内容极其丰富，还有许多问题需要进一步开展研究，限于时间及作者的水平，书中的不妥之处在所难免，衷心希望广大读者提出宝贵意见和建议。

谢礼立

2008 年 10 月

目 录

第一篇 概 论

第 1 章 抗震设防标准	3
1.1 引言	3
1.2 抗震设防标准的基本概念	3
1.2.1 设防原则	4
1.2.2 设防目标	4
1.2.3 设防环境（地震）	4
1.2.4 设防参数	5
1.2.5 设防水准	5
1.2.6 设防等级	5
1.2.7 工程抗震设防标准	6
1.2.8 设防水准和设防等级的合理表述方式	6
1.3 国外抗震设防标准的发展现状	9
1.3.1 世界各国抗震设防标准发展的主要特点	9
1.3.2 美国抗震设计规范的发展过程	13
1.3.3 日本抗震设计规范的发展过程	13
1.4 我国抗震设防标准的发展现状	14
1.4.1 我国抗震设防标准的发展	14
1.4.2 我国抗震设防标准的现状	15
1.4.3 我国抗震规范中关于设防标准存在的问题	17
第 2 章 基于性态的抗震设计理论	19
2.1 结构抗震设计理论的发展过程	19
2.1.1 静力理论阶段	19
2.1.2 反应谱理论阶段	20
2.1.3 动力理论阶段	25
2.1.4 基于性态的抗震设计理论阶段	26
2.2 基于性态抗震设计思想的形成及发展	26
2.2.1 基于性态抗震设计理论的提出	26
2.2.2 基于性态抗震设计理论的发展现状	27
2.2.3 基于性态抗震设计理论与传统抗震设计理论的区别	32
2.3 基于性态抗震设防标准研究的基本概念	33
2.3.1 性态	33

2.3.2	性态水平	33
2.3.3	性态目标	33
2.3.4	抗震性态设计	34
2.3.5	设防地震	34
2.3.6	建筑的抗震设计类别	34
2.4	性态抗震设计理论的主要研究内容	34
2.4.1	设防水准的确定	34
2.4.2	结构性态水平的划分	36
2.4.3	性态目标的选择	36
2.4.4	抗震性态分析方法	38
2.4.5	基于性态的抗震设计方法	46
第3章	基于性态的三环节抗震设防方法	49
3.1	引言	49
3.2	基于性态的三环节抗震设防方法的提出	49
3.3	确定结构的抗震设计类别	50
3.3.1	性态水平的划分	50
3.3.2	性态目标的选择	53
3.3.3	抗震建筑使用功能分类及其最低抗震性态	53
3.3.4	建筑物的使用功能类别与建筑物的重要性类别的区别	55
3.3.5	不同使用功能结构的抗震设计方法探讨	55
3.3.6	结构的抗震设计类别	56
3.4	确定设计烈度或设计地震动参数	57
3.5	确定建筑的重要性等级	58
第二篇 抗震设防标准决策分析引论		
第4章	地震易损性分析	61
4.1	引言	61
4.2	国内外震害损失预测研究现状	62
4.3	地震易损性分析基本概念	63
4.3.1	易损性估计(震害预测)的分类	64
4.3.2	震害预测的步骤	65
4.4	建筑结构分类及房屋建筑震害等级的划分	67
4.4.1	建筑结构分类	67
4.4.2	房屋建筑震害等级划分	69
4.5	建筑结构易损性常用估计方法	70
4.5.1	经验分析方法	71
4.5.2	理论分析方法	74
4.5.3	人工神经网络方法	78

4.5.4	基于地震动参数的震害预测方法	78
4.6	基于性态的易损性分析	83
4.6.1	现有震害预测方法存在的问题及遇到的困难	83
4.6.2	基于性态易损性分析的基本假定	84
4.6.3	建筑结构基于性态的易损性矩阵	85
4.6.4	烈度的划分及相应震害矩阵	86
第5章	地震经济损失估计及结构的抗震设防投入	89
5.1	地震损失、地震损失分析及分类	89
5.1.1	地震损失及其分类	89
5.1.2	地震损失分析概念、分类及数学模型	91
5.2	国内外地震经济损失估计方法简介	93
5.3	设防标准研究中地震经济损失计算方法	95
5.3.1	直接经济损失估计	95
5.3.2	间接经济损失估计	101
5.3.3	地震救灾直接投入费用	104
5.3.4	地震总经济损失分析	105
5.4	结构的抗震设防投入	105
第6章	地震人员伤亡估计方法研究	108
6.1	引言	108
6.2	国内外常用的地震生命损失估计方法	109
6.2.1	将生命损失用货币单位来衡量	110
6.2.2	估计地震人员伤亡数量的算法	111
6.3	人员伤亡评估方法的比较及研究	120
6.3.1	几种伤亡评估方法的比较	120
6.3.2	人员伤亡估算方法的研究	121
6.4	制定设防标准过程中人员伤亡的评估	123
6.4.1	设防标准研究中人员伤亡估算公式	123
6.4.2	不同破坏状态与人员受伤率和死亡率关系的研究	124
6.4.3	算例分析	126

第三篇 抗震设防标准的决策分析

第7章	抗震设防标准决策分析基本模型	131
7.1	引言	131
7.2	最优决策模型的基本变量	132
7.3	最优决策模型的目标函数	133
7.4	最优决策模型的约束条件	134
7.5	最优决策的数学模型和分析框图	134

第 8 章 最优经济设防烈度的决策	136
8.1 引言	136
8.2 最优经济设防烈度决策分析步骤及程序流程	136
8.3 最优经济设防烈度决策分析数值算例	137
8.4 最优经济地震影响系数 α_{max} 的决策	140
8.5 间接经济损失对最优经济设防烈度的影响	142
第 9 章 最优安全设防烈度的决策研究	144
9.1 引言	144
9.2 社会可接受地震人员死亡率概念的提出及定义	145
9.3 确定可接受地震人员死亡率的方法及需考虑的因素	145
9.4 社会可接受地震人员死亡率的确定	147
9.4.1 破坏性地震所造成的人员伤亡率	147
9.4.2 社会可接受人员死亡率调查	148
9.4.3 社会可接受地震人员死亡率分析	149
9.5 最优安全设防烈度的决策模型及算例	150
9.5.1 社会可接受地震人员死亡率等级	150
9.5.2 最优安全设防烈度的决策	152
9.5.3 算例分析	153
9.6 间接经济损失对最优安全设防烈度的影响	155

**第四篇 考虑地震环境的设计
地震动及建筑的重要性类别**

第 10 章 地震危险性曲线及危险性特征研究	165
10.1 引言.....	165
10.2 地震危险性分析方法简介.....	166
10.2.1 地震危险性分析确定性方法	167
10.2.2 地震危险性分析概率性方法	170
10.3 地震烈度的概率分布及烈度危险性曲线.....	172
10.3.1 极值的渐近分布率	172
10.3.2 地震烈度的概率分布	173
10.3.3 烈度危险性曲线的公式	175
10.4 地震区划图的发展现状.....	175
10.4.1 国际地震区划图的发展现状	175
10.4.2 中国地震区划图的发展现状	177
10.5 中国地震危险性特征分区.....	182
10.5.1 危险性特征分区参数的选择	182
10.5.2 中国地震危险性特征分区	183
10.6 不同地震危险性特征区内的地震烈度危险性曲线.....	185

10.7	地震烈度发生概率的计算	187
第 11 章	考虑地震环境的设计地震动参数	189
11.1	引言	189
11.2	考虑地震环境的多遇地震和罕遇地震烈度	189
11.3	地震影响系数 α_{\max} 的危险性曲线	192
11.4	设计地震加速度 A_{\max} 及地震系数 K 的危险性曲线	196
11.5	考虑地震环境的多遇地震和罕遇地震动参数	197
11.5.1	考虑地震环境的多遇地震和罕遇地震影响系数 α_{\max}	197
11.5.2	考虑地震环境的多遇地震和罕遇地震系数 K 的取值	199
第 12 章	建筑重要性类别及相应地震动参数的研究	201
12.1	引言	201
12.2	国内外建筑物重要性分类及抗震设防标准的演变	201
12.2.1	我国抗震规范中建筑物重要性分类及设防标准的演变	201
12.2.2	国外建筑重要性分类及相应的抗震设防方法	203
12.2.3	国内外建筑物重要性标定方法的弊端	215
12.3	用设计基准期标定建筑的重要性类别	216
12.3.1	不同重要性建筑设计基准期的选择	216
12.3.2	不同重要性建筑的相当超越概率	219
12.4	不同重要性建筑多遇地震、设防地震和罕遇地震的重现期	219
12.5	考虑地震环境的不同重要性建筑的抗震设防水准	221
12.5.1	不同重要性建筑不同概率水准的设防烈度和地震影响系数	221
12.5.2	各类建筑在不同概率水准下的设防烈度相对于基本烈度的变化	226
12.5.3	各类建筑不同概率水准的设防烈度确定方法合理性的讨论	229
12.5.4	不同重要性建筑不同概率水准的地震系数和设计地震加速度	231
12.6	不同重要性类别建筑的抗震设计方法	236
12.6.1	基于设防烈度的场地设计谱	236
12.6.2	按照地震动参数区划图确定建筑场地设计谱	238
12.7	各类建筑重要性系数取值合理性的研究	239
12.7.1	设防地震下各类建筑的设防地震动参数	239
12.7.2	几个国家重要性系数取值的对比	240

第五篇 最不利设计地震动

第 13 章	人造地震动合成	247
13.1	引言	247
13.2	人造地震动原理	247
13.3	人造地震动方法概述	247
13.3.1	比例法	247
13.3.2	数值法	248

13.4	三角级数法构造人造地震动	248
13.4.1	初始相位角的确定	248
13.4.2	模型	250
13.4.3	拟合过程	251
13.4.4	反应谱周期控制点的选择	252
13.4.5	持续时间的确定	252
13.4.6	数据的匹配	252
第14章	地震动潜在破坏势的估计	254
14.1	引言	254
14.2	直接由记录本身得到的地震动参数	255
14.2.1	峰值加速度、峰值速度、峰值位移	255
14.2.2	持时	255
14.2.3	最大增量速度、最大增量位移	257
14.2.4	其他	257
14.3	通过结构反应得到的地震动参数	258
14.3.1	通过结构弹性反应得到的参数	258
14.3.2	通过结构非弹性反应得到的参数	259
14.4	估计地震动潜在破坏势的综合评价法	260
第15章	能量反应谱	262
15.1	引言	262
15.2	能量反应谱的推导	262
15.3	能量反应谱的性质	265
15.3.1	输入能量取值问题	266
15.3.2	绝对输入能量和相对输入能量之间的差别	266
15.3.3	吸收能量和滞回能量之间的关系	269
15.4	输入能量、滞回能量与其他地震动参数的相关性	271
第16章	最不利设计地震动	273
16.1	引言	273
16.2	最不利设计地震动的概念及确定原则	274
16.2.1	最不利设计地震动的概念	274
16.2.2	选择最不利设计地震动的原则	274
16.3	选择最不利设计地震动的记录库	279
16.4	确定最不利设计地震动的过程	280
16.4.1	最不利设计地震动的备选数据库	280
16.4.2	最不利设计地震动的确定	281
16.5	算例分析	286
	参考文献	288



第一篇

概 论

第 1 章 抗震设防标准

1.1 引 言

我国地处世界两大地震带——欧亚地震带和环太平洋地震带包围之中（东临环太平洋地震带，西部和西南部是欧亚地震带所经过的地区），破坏性地震频繁，灾害损失十分严重。据统计，自 20 世纪（1900 年）以来，全球大陆 7 级以上的强震，我国约占 35%；造成 20 万以上人口死亡的两次大地震都发生在中国。随着现代化程度的提高，人口的增加和密集，地震带来的人员伤亡和经济损失日趋严重。例如，1995 年 1 月 17 日发生在日本阪神地区的地震，震级 7.2（按日本 JMA 震级标准，相当里氏震级 6.9），只能算是中等强度的地震，却造成了 5500 人死亡和 1000 亿美元的损失；2008 年 5 月 12 日，发生在我国四川省汶川县的 8.0 级地震，失踪和死亡人数近 9 万人，经济损失达 8451.4 亿元人民币^[1]。

多次地震经验表明，破坏性地震引起的人员伤亡和经济损失，主要是由于地震时产生的巨大能量使得建筑物、工程设施产生破坏和倒塌，以及伴随的次生灾害造成的。要想最大限度地减轻地震灾害，工程建设时必须要进行科学合理的抗震设防，这是目前人类减轻地震灾害对策中最积极和最有效的措施。

由于地震作用的随机性和人类资源的有限性，不可能无限制地使用资源去实现在强震下结构物不发生破坏，即设防标准不能寻求绝对的安全性，而是需要从危险概率的角度来定义安全度。应寻求人们可接受的安全水平上的最小投入，即在减轻地震作用下的损失和抗震投入之间取得最佳平衡，它本质上是一个优化的问题。工程抗震设防标准能够决定工程抗震的造价是否较非抗震设计提高及提高的幅度，又能够决定工程结构经历不同强度地震作用后的破坏及损失程度，并控制经济损失和人员伤亡在可接受的水平内。因此，确定工程抗震设防标准是工程抗震设计最基础而又非常重要的工作。制定的设防标准不同，工程建筑在地震中的表现会截然不同，所造成的地震损失及对震后结构使用功能的影响也会有巨大的差别。

1.2 抗震设防标准的基本概念

抗震设防是指对未来可能发生的破坏性地震采取的一种旨在减轻损失的防御措施。工程抗震设防则是针对破坏性地震发生的可能性用工程手段对工程采取的防御措施。研究工程抗震设防的目的在于制订科学合理的设防标准，为此必须搞清与此相关的几个概念以及它们与设防标准的关系。这些概念包括：设防原则、设防目标、设防环境、设防参数、设防水准和设防等级，以及与此相关的表述方式^[2]。

1.2.1 设防原则

设防原则是指对工程进行抗震设防的总要求和总目的。世界各国任何一本抗震设计规范，都会毫不例外地在它的总则或说明中明确该规范的设防原则，这些原则概括起来有下列6类：

- 1) 防止或减少人员伤亡。
- 2) 减轻财产损失。
- 3) 确保人员免遭伤亡。
- 4) 容许工程和设施在地震时发生有限破坏，便于修复。
- 5) 工程和设施在遭遇地震时要确保安全，不得向外泄漏有害物质，不导致严重次生灾害（停止运行原则）。
- 6) 工程和设施在遭遇地震后要确保继续运行（安全运行原则）。

可以说大部分规范都以其中1)、2)两条比较笼统的内容作为设防原则。但也有些规范，如美国关于学校和医院的建筑抗震规范中明确规定第3)、6)条作为它的设防原则。由于在大地震甚至在中强地震中，工业设施虽只遭到轻微或中等破坏，但停工造成的巨大经济损失也达到不可忍受的程度。针对这一现象最近又提出了对这一类工程设施在遭遇给定的地震后也要保持继续运行的设防原则。很明显，不同的设防原则会导致不同的设计方法和程序，同时也直接影响设防投资的规模。各国的国情不同，经济和技术水平乃至使用的材料和工艺以及传统习惯和管理方法也不同，因此对于不同的工程和不同的地区也不必采用相同的原则。但下述两个原则作为最低的要求都应考虑：在确保地震后的伤亡人数和经济损失不超过社会可接受水平的前提下最大限度地减小灾害损失。

1.2.2 设防目标

设防目标是指根据设防原则对工程设防要求达到的具体目标。如我国抗震设计规范规定的“大震不倒、中震可修、小震不坏”就是一种设防目标。我国国务院制定的防震减灾十年目标显然也是一种设防目标，再如日本东京制定的要具有抗御8级大震的能力，美国规范规定的抗震设防增加的费用应不超过期望的地震损失费用等都属设防目标的例子。事实上，在有的设防原则中也同时规定了设防目标，如前述的第6条原则，要求工程和设施遭遇地震后要确保继续运行以及本书建议的确保地震后的伤亡人数不超过社会可以接受的水平等。

不同的地区可以根据其当地的社会经济状况和人口密集程度制定适用于本地区的具体设防目标。我国国务院制定的十年抗震防灾目标，也可以更具体地解释为：我国不同地区的工程和设施经抗震防灾后在遭遇6级地震时应使人员伤亡和财产损失不超过本地区社会经济可接受的水平。如何确定“可接受水平”，将在后文中论述。

1.2.3 设防环境（地震）

设防环境是指拟设防的工程处在什么样的地震危险性的环境中，这应由地震危险性分析或地震区划图给出的地震危险性程度来确定。一般来讲这应该是一个可观的量，取

决于人们对地震危险性的认识水平和估计地震危险性的方法是否正确，而不取决于人们的主观愿望，也不取决于社会经济的发展水平。设防环境是确定设防目标和设防标准的重要依据，但不是唯一的依据。低估了设防环境会导致像唐山地震、阪神地震、汶川地震那样的惨重损失，高估了设防环境将导致巨额资金的浪费。

1.2.4 设防参数

设防参数是指在考虑工程抗震设防时，采用哪种物理量（参数）来进行工程设防。国内外常用的参数为烈度和地震动参数（主要包括地面运动加速度峰值 PGA，有效峰加速度 EPA，地面运动速度峰值 PGV，有效峰速度 EPV，加速度反应谱值 RA、速度反应谱值 RV、持时 T 等）两种。近几十年来，采用地震动参数的国家越来越多，采用烈度的则越来越少，这反映了随着科学技术的进步和人们认识的深化，烈度这个量作为设计或设防参数暴露出来的弊病越来越明显。除了烈度这个量比较粗糙、与地震动关系的跳跃性大、使用起来不方便外，最大的缺陷是地震烈度不单纯代表设防环境（如地震动）的强度，它还代表未来地震动的强度，这显然是不合适的。从工程地震发展的现状来看，用地震动参数来逐步代替烈度量是必然的趋势。当然，在我们强调地震动参数作为合理设防参数的同时，我们也不应抹杀烈度在制定设防标准中可以发挥的作用。下面我们将会谈到，在制定合理的设防标准时，必须考虑设防投入和地震时的经济损失和人员伤亡情况，而烈度在现阶段还是估算地震时各种损失的一个较好的量度。

1.2.5 设防水准

设防水准是指在工程设计中如何根据客观的设防环境和已定的设防目标，并考虑具体的社会经济条件来确定采用多大的设防参数，或者说，应选择多大强度的地震作为防御的对象。工程上这是一个优化的问题，而不应该简单地直接采用区划图上给出的基本烈度或地震动参数来作为设防水准。

合理的设防水准，应该考虑到一个地区的设防总投入，未来设计基准期内期望的总损失（财产和人员）和由社会经济条件决定的设防目标也即社会可接受的地震损失水平来优化确定。

由于设防目标往往不是单一的，因此设防水准往往也不是单一的，而是多级的。“大震不倒、中震可修、小震不坏”反映了三级设防水准的思想；核电站中的安全运行地震（OBE）和安全停堆地震（SSE）是按二级水准设防的；美国农垦局对大坝也规定了安全运行地震动、设计依据地震动和最大可信地震动的三级设防水准。

1.2.6 设防等级

同一类建筑在同一个地区由于政治、经济或文化意义上的重要性以及震后后果的影响严重程度有所不同，在考虑工程设防时，其设防目标和采用的设防水准也要求不同，这就是设防等级的不同。重要建筑物和设施一般要给以较高的设防等级。对同一类建筑，在不同行业 and 不同地区也可以采用不同的设防等级。一般来讲，设防等级与建筑物

本身的易损性或抗震潜力无关。

1.2.7 工程抗震设防标准

工程抗震设防标准是指根据地震动背景,为保证工程结构在其寿命期内的地震损失(经济及人员伤亡)不超过规定的水平或社会可接受的水平,规定工程结构必须具备的抗震能力和重要性等级。结构的抗震能力通常以能抗御的地震动水平或烈度来衡量。工程抗震设防标准的制定主要取决于依据社会经济状况确定的设防原则与设防目标、根据可观地震危险性程度确定的设防环境与设防参数,经过优化,最后落实在确定最佳的设防水准和设防等级上。

1.2.8 设防水准和设防等级的合理表述方式

1. 设防水准的表达方式

合理的设防水准往往不是单一的,而是多级的,我国规范 GBJ11—89 和 2002 年 1 月 1 日实施的《建筑抗震设计规范》(GB50011—2001)也采用了类似的多级设防目标和多级设计的方法。考虑多级设防进行多级设计无疑是正确的,但困难在于如何确定各级设防水准的问题。我国规范目前虽有明确规定,但到底应如何理解并确定这些规范中提到的多遇地震、设防烈度地震(也可称为基本地震)和罕遇地震,也即通常俗称的小震、中震和大震,对此仍然众说纷纭,莫衷一是。

所谓的多遇地震、设防烈度地震或罕遇地震都是相对的,主要应由地区的地震活动性来决定。各地的地震活动性存在明显的差异,很难也没有必要在这三种地震之间寻找或去规定一个“统一”的关系。事实上,所谓“多遇”、“基本”或“罕遇”都是相对工程或结构的使用寿命期(或结构设计基准期)而言的。Gutenberg 和 Richter 早已指出地震强度和其出现的频次是服从对数规律的。强度大的地震出现的频次往往较低,是罕遇的;强度较小的地震出现的频次相对较高,即是多遇的。因此,不妨分别定义地震复发期(或重现期)相当工程使用寿命期的 n_1 、 n_2 、 n_3 ($n_1 < n_2 < n_3$) 倍的地震为相应的多遇地震、设防烈度地震和罕遇地震。事实上,地震的复发期(TR)、工程使用寿命期(TL)和该寿命期内的地震(或地震动峰值)发生的超越概率 P 之间存在下列关系:

$$TR = \frac{1}{1 - (1 - P)^{\frac{1}{n}}} \quad (1.1)$$

超越概率 P 可以写为

$$P = 1 - \left(1 - \frac{1}{TR}\right)^{n} \quad (1.2)$$

或

$$P = 1 - \left(1 - \frac{1}{N \cdot TL}\right)^{n} \quad (1.3)$$

这里令 $TR = N \cdot TL$,即取地震复发期为使用寿命期的 N 倍,便可算得在不同使用寿命期情况下,超越概率 P 与 N 的关系,结果可见表 1.1。