

【法】米兰·扎赛克 著
贾凡 译
卢理杰 董万慧 吴焯龙 审

建筑抗震概论

地震灾害
建筑抗震设计
抗震规范

中国建筑工业出版社

建筑抗震概论

地震灾害
建筑抗震设计
抗震规范

【法】米兰·扎赛克 著
贾凡 译
卢理杰 董万慧 吴垠龙 审

中国建筑工业出版社

著作权合同登记图字：01 - 2010 - 3668 号

图书在版编目 (CIP) 数据

建筑抗震概论 / (法) 扎赛克著, 贾凡译. —北京: 中国建筑工业出版社, 2010

ISBN 978 - 7 - 112 - 11997 - 4

I. 建… II. ①扎…②贾… III. 建筑结构 - 抗震设计 IV. TU352.104

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 061237 号

Construire Parasismique / Milan Zacek

Copyright © 1996,

Editions Parenthèses

72, cours Julien - 13006 Marseille - France

Chinese Translation Copyright © 2010 China Architecture & Building Press

All rights reserved.

本书由 Editions Parenthèses 正式授权我社翻译、出版、发行

责任编辑: 刘瑞霞 姚丹宁

责任设计: 赵明霞

责任校对: 刘 钰 赵 颖

建筑抗震概论

地震灾害

建筑抗震设计

抗震规范

【法】米兰·扎赛克 著

贾 凡 译

卢理杰 董万慧 吴垠龙 审

*

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

北京嘉泰利德公司制版

北京市安泰印刷厂印刷

*

开本: 787 × 1092 毫米 1/16 印张: 18 字数: 450 千字

2010 年 6 月第一版 2010 年 6 月第一次印刷

定价: 49.00 元

ISBN 978 - 7 - 112 - 11997 - 4

(19259)

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)

内 容 提 要

本书系统阐述了建筑抗震概念设计的原理及其应用。全书共分十一章，第一、二章主要介绍了地震灾害这一自然现象的成因、分类以及地震引起的直接和次生效应；第三章从不同的层面介绍了地震灾害的预防；第四、五章主要阐述了建筑的抗震机制及场地的选择；第六章从建筑形态、结构、材料等方面阐述了建筑抗震概念设计的主要方面；第七至十章以大量的实例分别阐述了地基与基础、上部结构、非结构构件以及设备与管线的抗震原理和措施；第十一章简单介绍了各国抗震规范的主要内容。

本书可供建筑师、结构工程师阅读，也可供对建筑抗震感兴趣的人士参考。

中文版自序

我们不时地看到地震造成大量死亡的新闻报道，2008年中国汶川地震和近来发生的海地地震都造成了数以万计的生命损失。

通常情况下，地震中生命的损失都是由建筑的倒塌造成的，也就是说，正是那些人类建造的房屋成了自身的杀手。然而，从技术上讲，如果建筑考虑了抗震设计，地震带来的严重破坏和人员的死亡就相对容易得到预防和控制。为了做到这点，应该从以下三个方面着手：第一，必须采用合理的建筑形式，以使其在地震下的响应最小；第二，必须采用抗震规范；第三，必须保证建筑材料的质量和施工质量。

建筑专业所确定的建筑整体和细部形式，对于建筑抗震所起的重要作用，往往遭到忽视。而建筑及其结构形式，往往是决定工程整体动力特性的主要因素，也成为决定建筑在地震作用下危险程度的因素。如果建筑的概念设计不正确，建筑的振动是非常不利的：如结构的扭转，不同部位的异步振动，某些部位的变形集中等。如果建筑形式已经确定，不管它是不是最优，只要考虑了抗震标准的使用，都可以使其具备一定的安全度。另一方面，如果建筑形式有利于抗震，建筑在地震中就有着更高的可靠性，以往的地震都证明了这一点。

本书展示了各种可以赋予建筑可靠抗震性能的方法，因此适用于建筑设计者，特别是适用于建筑师。减少灾难来临时的人员伤亡是每个建筑设计师和施工人员心里应铭记的责任和义务。中国，作为世界上地震灾害最严重的国家之一，更应该重视这一点。

米兰·扎赛克 (MILAN ZACEK)

2010年2月1日

序

作为工程学的分支之一，工程抗震的研究开展得相对较晚。习惯上认为开始于20世纪60年代美国和日本的大量研究项目，1956年召开了第一次世界性的工程抗震会议，这标志着不同国家和地区研究者之间经常性地研究成果交换的开始。很快其他国家也加入到以美、日为先锋的队伍中来。一开始，大家关注的是地震灾害本身，但很快随着核电厂的出现，人们开始更多地关注如何将抗震概念设计运用到实际工程中来。

近几十年法国才开始涉足这个领域，但很快进入前沿并成为该领域最活跃的团体之一。之所以取得如此快速进展，其中一个原因无疑要归功于法国工程抗震协会的存在。该组织整合了不同领域的四百多位专家：地震学家，地质学家，地质工程学家，结构工程师，建筑师，设备仪器领域，甚至是社会科学领域的专家。这些不同领域丰富的资源无疑为抗震协会提供了宝贵的财富，同时也反映了工程抗震涉及面之广。

对于一门工程科学，只有将理论成果、实验室里建立起来的想法与工程结构在真实地震中的性能表现结合起来才能有所进展。因此，人们总是能够从对地震灾区的考察中吸取到丰富的教训，这些教训在未来工程师的实践和抗震规范的修订中都会得到体现。

可以毫无争议地说，每次震后考察所获得的教训都表明，**抗震概念设计的重要性**是首当其冲的。建筑抗震的关键主要集中在三个方面：**概念，计算，建造**。随着过去几年数字信息技术手段的日趋强大，人们往往强调地震的计算。而另一方面，基于对工程震后调查认知所获取的经验和教训表明，无需使用特别精确的计算和特别精细的模型就可以实现工程抗震。因此，对工程抗震概念设计的忽略是一个基本的错误。许多经过精心设计和施工的工程，虽然没有经过特别的地震作用计算，在大地震中却没有出现明显的破坏。仅以加利福尼亚的 Moss Landing 热电厂为例，该热电厂经受了1989年加速度为0.5g的洛马普列塔（Loma Prieta）大地震而损失轻微。

抗震概念设计并不意味着笨重、粗壮、缺乏建筑创造性。大量富有想象力具有创造性的建筑在地震作用中表现良好：洛杉矶和旧金山的市中心有大量这样的建筑经受了1989年和1994年地震的考验。只要遵守某些基本抗震原则，对建筑抗震基本知识有一定的了解，并和负责计算与施工的工程师建立良好的沟通，建筑师还是可以放开想象力进行设计创作的。

这正是 Milan Zacek 这本书的众多优点之一，第一次用法语为读者提供了必要的知识来理解这一物理现象并建立良好的抗震概念。为了避免过于专业而导致读者在阅读过程中还得求助于更多的著作，Milan Zacek 以浅显易懂的方式阐述了地震的起源，地震灾害预防的思想，并详尽地介绍了工程抗震基本概念各个方面。从基础到上部结构，包括砌体结构、混凝土结构、木结构、钢结构甚至是张拉膜结构等。非结构构件往往没有引起应有的重视，但实际上这些构件经常带来严重的破坏。与结构相连的管线和设备也没有被作者漏掉，读者甚至会发现一些一般专业书籍中不会出现的有趣的固定做法，配以简单易懂的图示，有助于阅读和理解。

最后，作者介绍了法国及世界上的一些主要抗震规范。在本书中，作者还特别罗列了设计师所关心的法国有关抗震保护的行政法规文件。

书后附的专业用语汇编是这本宏大著作的总结，有利于建筑师的阅读，同时也有利于那些希望获得良好工程抗震概念的工程师阅读。对于质疑抗震概念重要性的人来说，这本书一定会消除这种疑问。通过读者的阅读而有助于扩大法国技术在世界上的影响。读者将会从作者的经验和丰富的教学技巧中获益。

法国工程抗震协会主席

A. Pecker

前 言

地震往往带来重大人员伤亡。我们从历史记载和新闻里可以看到，地震经常会夺去很多人的生命，遇难的人数常常数以千计，有时甚至无法估计：

—1976年：危地马拉城（危地马拉），22000人遇难；菲乌勒（意大利），950人遇难；唐山（中国），240000人遇难。

—1978年：塔巴斯（伊朗），25000人遇难。

—1979年：黑山（前南斯拉夫），120人遇难。

—1980年：阿斯南地区（阿尔及利亚），3500人遇难；坎帕尼亚—卢卡尼亚（意大利），4500人遇难。

—1985年，墨西哥城（墨西哥），20000人遇难。

—1988年，斯皮塔克（亚美尼亚），100000人遇难。

—1989年，洛马普列塔（美国），64人遇难。

—1990年，曼吉尔（伊朗），40000人遇难。

—1991年，兴都库什（阿富汗），300人遇难；乌塔卡什（印度），2000人遇难。

—1992年，埃尔津詹（土耳其），600人遇难；开罗（埃及），550人遇难。

—1993年，拉图尔（印度），15000人遇难。

—1994年，洛杉矶（美国）61人遇难；苏门答腊（印度尼西亚），350人遇难；派斯（哥伦比亚），600人遇难；马斯卡拉（阿尔及利亚），170人遇难；民都洛（菲律宾），60人遇难。

—1995年，神户（日本），6000人遇难；萨哈林（俄罗斯），2000人遇难；Zihuatlan（墨西哥），60人遇难；第纳尔（土耳其），90人遇难；苏门答腊（印度尼西亚），100人遇难。

除了巨大的物质财产损失外，个人、团体以及社会还得承受无法估量的精神和肉体上的痛苦。

地震并不是罕见的自然现象，在我们的地球上平均每年都有20次左右的强震，所幸的是这些地震并不都发生在人口密集的地区。

法国最近一次破坏性地震发生在1909年离普罗旺斯埃克斯20km处的朗贝斯克（Lambesc）。这次地震带走46条生命，财产损失严重。1982年在该地所做的同等强度的地震模拟结果显示，如果同样的地震发生在现代，损失会更加惨重：1000人死亡，1850~5650人受伤，450间房屋完全破坏，21850间房屋受损。不过这并不意味着我们不会再遭遇这样的地震。地震学家

一致认为同样强度的地震会在某一天引起法兰西大地的震动，而这一天的到来随着上一次地震的远离而日益接近。法国破坏性地震（烈度大于8度）的周期约为100~150年之间。

如果能够实现精确的地震预报就会避免生命的损失，但是却不能保证遗产建筑免遭劫难。唯一有效的保护方法是对新建建筑采取抗震设计并对已建建筑进行有效的加固。从技术上讲，只要不把房屋建造在地质断层上，不稳定的或是受滑坡、塌方威胁的地基上，我们就可以使房屋能够经受历史上所有可能出现过的地震的考验。如果在项目最初的方案阶段就考虑了抗震概念，那么常规的房屋建筑抗震保护措施就不会带来显著的超额费用。根据房屋的类型和复杂程度，为抗震而增加的超额费用大约介于工程总额的0~6%之间。而具体到实际应用中，这笔费用通常是工程总额的20%甚至更多。

本书提供了一个有关建筑抗震的整体视角，主要目的是为设计和实现有抗震概念的房屋建筑提供必要的基础知识。对于地震带来的房屋局部和整体性破坏的研究表明，这些偶然的破坏很大程度上可以归咎于方案阶段出现的错误、忽略或不正确的选择。这些错误的选择往往会导致房屋振动的放大或者是薄弱部位的应力集中。

应该意识到，如果一个建筑结构初始的构思就不正确的话，没有任何计算能够使该建筑在地震作用下有令人满意的性能表现。一个好的设计师应该对他选择实施的方案所产生的结果心里有数。在这方面，他可以求助于抗震规范。但是很显然，这些规范通用性强，不能将实际工作中遇到的各种不同情况都涵盖其中。

为了正确地使用抗震规范，设计师有必要理解这些规范条文的由来。对规范条文的误用有时会对所研究的对象产生相反的理解。本书的第四章基于以往地震中所吸取的教训，将建筑物地震时的反应和针对这些反应应采取的抗震措施建立起直接的联系。

在给定主题的范围內，本书以一种多重切入的方法组织编写，每一章均可独立于其他章节进行阅读。

工程项目是按照其实现手段而不是按照其用途进行分类：砌体结构，钢筋混凝土结构，木结构等。因此，独立住宅房屋结构可以参照《传统砌体结构》的章节。

本书对各种各样难于理解的问题都进行了简化，非专业人士也可理解。因此本书除了面向专门从事建筑风险预防的研究者，也适于建筑领域內不同教育背景的各行各业的人士（建筑师，工程师，工匠，独立建造商）。

目 录

第一章 地震

1.1 板块的地质构造	3
1.2 地震地质学	5
1.3 地震的分类	6
1.3.1 人为地震	7
1.3.2 自然地震	7
1.4 地震波	8
1.5 地震的记录	10
1.6 地震强度的衡量	12
1.6.1 地震的能量：震级	12
1.6.2 地震的影响：烈度等级	14

第二章 地震引起的效应

2.1 地震对天然场地的影响	18
2.2 地震对海洋及水体的影响	21
2.3 地震对建筑物的影响	23
2.3.1 地震作用的特点	23
2.3.2 水平振动	24
2.3.3 竖向振动	25
2.3.4 扭转振动	26
2.3.5 结构抗震承载力原理	27

2.3.6 未考虑抗震措施建筑物的典型破坏形式	29
2.4 地震对人的影响	31
第三章 地震灾害的预防	
3.1 地震灾害及建筑的易损性	32
3.2 地震的全民预防	32
3.3 国土地震频度的监测与研究	32
3.4 地震地质分析	34
3.5 地震危险性评价	35
3.5.1 地震危险性宏观区划	35
3.5.2 地震危险性微观区划	36
3.6 地震预报	37
3.7 公众的地震教育	40
3.8 减少地震灾害的行动	41
3.8.1 城市规划	41
3.8.2 新建建筑	42
3.8.3 已有建筑的抗震加固	43
3.9 建筑在地震作用下的反应预测	43
3.9.1 加速度图	43
3.9.2 反应谱	44

第四章 建筑抗震机制

4.1	动态平衡	49
4.2	如何减小地震作用	51
4.3	建筑的储能能力	56
4.4	建筑的耗能能力	61
4.5	原则的局限性	66

第五章 场地与地基的选择

5.1	场地察看	67
5.2	场地的效应	67
5.3	受地震次生灾害影响的区域	69

第六章 建筑抗震概念设计

6.1	建筑抗震概念设计的重要性	71
6.2	建筑的形态	72
6.3	建筑构件	83
6.3.1	建筑构件的形式	83
6.3.2	内部空间	83
6.3.3	楼梯	84
6.3.4	立面	85
6.3.5	建筑角部设计	87
6.4	结构形式的选择	88
6.5	抗侧力构件的选择	96
6.5.1	水平荷载作用下结构的稳定性	96
6.5.2	水平抗侧力体系	97
6.5.2.1	刚性楼板和弹性楼板的概念	97
6.5.2.2	楼板的组成	99
6.5.2.3	平板	100
6.5.2.4	由抗风梁支撑的楼板和屋面板	108
6.5.2.5	由对角拉杆支撑的楼板和屋面板	109
6.5.2.6	刚性网格楼板和屋面板	109
6.5.3	竖向抗侧力构件	109
6.5.3.1	竖向抗侧力构件的组成	110
6.5.3.2	竖向抗侧力构件的数量和布置	111

6.5.3.3 抗侧力构件的竖向分布	113
6.6 结构材料的选择	114
第七章 地基与基础	
7.1 工程的场地选择	116
7.2 地基与结构的相互作用	118
7.3 基础	119
7.3.1 总体布置	119
7.3.2 浅基础	121
7.3.2.1 独立基础与条形基础	122
7.3.2.2 整体筏板基础	123
7.3.3 深基础	123
7.3.3.1 原理	123
7.3.3.2 桩基础	124
7.3.3.3 沉井基础	126
7.3.3.4 板桩基础	127
7.3.4 换填土层或地基处理层上的基础	127
7.4 隔震	128
7.4.1 原理	128
7.4.2 变形支座	130
7.4.3 滑动支座	133
7.4.4 变形滑动支座	135
7.4.5 滚动支座	136
7.4.6 结论	136
7.5 抗震阻尼器	137
7.5.1 滞后阻尼器	137
7.5.2 黏性阻尼器	139
7.5.3 摩擦阻尼器	140
第八章 上部结构	
8.1 砌体结构	143
8.1.1 总体特征	143
8.1.2 建筑设计	143
8.1.2.1 墙	143
8.1.2.2 楼板和屋面板	145

8.1.3	结构布置	146
8.1.3.1	圈梁构造柱	146
8.1.3.2	门窗洞口边框	148
8.1.3.3	楼板	148
8.1.3.4	楼梯	149
8.1.3.5	空心砌块砌体结构	149
8.1.3.6	双层墙	149
8.1.3.7	内隔墙	150
8.1.3.8	竖向悬臂构件	150
8.1.3.9	砌体烟道	151
8.1.3.10	配筋砌体	151
8.1.3.11	砌体结构的施工	153
8.1.4	生土砌体建筑: 补充措施	154
8.1.5	石材砌体建筑: 补充措施	157
8.2	木结构	158
8.2.1	总体设计	158
8.2.2	木承重墙体系	161
8.2.3	普通跨度梁柱木骨架	165
8.2.4	大跨木屋架	167
8.2.5	曲面罩面板	170
8.3	钢筋混凝土结构	172
8.3.1	总体特征	172
8.3.2	现浇钢筋混凝土框架	173
8.3.2.1	总体布置	173
8.3.2.2	节点	174
8.3.2.3	柱子	175
8.3.2.4	框架梁	178
8.3.2.5	钢筋的搭接和锚固	179
8.3.2.6	填充墙	180
8.3.3	现浇剪力墙结构	183
8.3.4	框架-剪力墙体系	186
8.3.5	板柱体系	187
8.3.6	筒体结构	188
8.3.7	抗震结构中预应力的使用	189

8.3.8	轻质钢筋混凝土的使用	191
8.3.9	装配式框架结构	192
8.3.10	装配式大板结构	193
8.3.11	壳体	197
8.4	钢结构	198
8.4.1	钢结构在地震作用下的特性	198
8.4.2	总体布置	199
8.4.3	自稳定框架	201
8.4.4	支撑框架	203
8.4.5	筒体结构	206
8.5	钢骨混凝土框架结构	210
8.6	铝合金结构	210
8.7	张拉膜结构	213
8.7.1	总体特征	213
8.7.2	充气膜结构	213
8.7.3	张拉膜结构	214
8.8	索屋面结构	214
第九章 非结构构件		
9.1	非结构构件在地震作用下的性能	216
9.2	外墙面	217
9.2.1	总体措施	217
9.2.2	特殊措施	217
9.3	玻璃门窗	219
9.4	隔墙	220
9.5	墙面保护层	223
9.6	悬挂天花板	223
9.7	设备基座	224
9.8	屋面	226
第十章 建筑设备与管线		
10.1	总体措施	227
10.2	电梯	228
10.3	其他设备	228

10.4	电气设备	230
10.5	管道系统	231
10.6	通风和空调管道	233
10.7	桌面设备	234
10.8	机柜	234
10.9	滚动设备	235
10.10	搁板或格架上的物件	236
10.11	墙上固定的灭火器	236
第十一章 抗震规范		
11.1	抗震规范的思想	237
11.2	抗震规范的内容	237
11.3	PS 92 规范 (P 06 -013 标准)	238
11.4	AFPS 90 推荐性技术措施	242
11.5	PS -MI 89 规范 92 修订版 (P 06 -014 标准)	242
11.6	欧洲规范 8 1993 年版	243
11.7	阿尔及利亚抗震规范 RPA 88	245
11.8	日本抗震规范 1981 版	247
11.9	美国 UBC 规范 (统一建筑规范) 1994 年版	248
11.10	为房屋抗震规范编制服务的试验性规定 ATC 3 -06	250
11.11	法国抗震规范 PS 69 及其 82 补充 (P 06 -003 标准)	251
专业用语汇编		253
附录		259
参考文献		264
译后记		270

绪 论

工程“抗震”以遵守结构非地震情况下的设计规范、计算规范和施工规范为前提。法国抗震规范 PS 69/82 有明确的表述：

经验表明，现代建筑如果设计合理并且正确地运用了常规结构设计规范，那么它不可忽略地存在一定程度的承受破坏性振动的可能性。

但是规范同样也指出，尽管所承受的外力相同，那些受力概念不合理、设计或施工质量不良的建筑往往是产生严重事故的所在，而这些事故经常是致命的。

因此致力于实现抗震建筑的营造商首先要遵守常规的技术规范，至少要关注那些可能在某个方面有助于结构在地震激励下表现良好的构件。如果常规建筑规范的使用没有被太多地重视，抗震规范产生的效力就会大大削减。

特别指出的是，不能仅通过一种所谓抗震计算的方法就使建筑具备防御地震作用的能力。

那些考虑了地震作用特性但又不局限于地震作用本身的特殊措施往往能保证建筑在地震时免受破坏，应该得到重视。

抗震准则的运用贯穿于工程始终甚至包括完工后的阶段：

场地选择：在不稳定的场地上、断层上或者是有可能受滑坡地质灾害掩埋的地段建造房屋，即使最好的抗震建筑也难以避免恶劣地质条件在地震时对建筑带来的破坏。

建筑选型：建筑在地震时的表现很大程度上取决于建筑的形式。某些建筑形式在地震时很大程度上放大了地震作用，产生不利于承载的情况，尤其是容易出现应力集中现象。

结构体系选择（结构选型）：结构在地震作用下的反应主要取决于结构体系。外观看上去相似的建筑，在同样场地遭遇同等强度地震，如果它们的承载体系不同，那么地震引起的结构内力也会相差很大。

材料选择：各种结构材料对地震作用或多或少都有一定的抗力，并且会引起地震输入动能的消耗。

节点设计：在地震发生时，构件连接的节点部位往往成为结构主要的薄弱点，节点强度和刚度的逐渐破坏会导致整个结构的迅速倒塌。所以对于节点部位的抗震设计需要特别重视。

非结构构件设计：非结构构件不应受主体结构变形影响而发生破坏。经常会因为非结构构件的破坏发生伤人的情况，或者因为修复或更换这些构件而增加很多费用。

火灾防护：震后往往接连引起火灾，地震时性能良好的建筑有时却会因为后续的火灾而