



抗震设计丛书



场地·地基·设计地震

周锡元 王广军 苏经宇



地震出版社

场地·地基·设计地震

周锡元 王广军 苏经宇

地震出版社

1990

内 容 简 介

为了适应我国地震区四化建设的需要,本书对量大面广的一般工程和重大工程勘察和设计中有场地、地基和抗震设计参数的选用进行了比较系统和详细的讨论。本书前四章结合建筑抗震设计规范中有关条文的修订详细讨论了地震区场地选择与分类的原则和方法,地震液化判别和危险性估计,地基基础的抗震设计与加固处理以及抗震设计反应谱。此外,本书还对城市和工矿区地震小区划方法和重大工程强震地面运动和设计地震的研究方法作了深入浅出的介绍。本书除介绍我国建筑抗震设计新规范中有关内容的发展和沿革以外,同时还包含了许多背景资料和实际震害经验。本书可作为广大勘察、设计和工程施工人员学习建筑抗震设计新规范的参考资料。

场 地 · 地 基 · 设 计 地 震

周锡元 王广军 苏经宇

责任编辑:宋炳忠 蒋乃芳

责任校对:孔景宽

地 震 出 版 社 出 版

北京复兴路63号

朝阳展望印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

全国各地新华书店经售

850×1168 1/32 7.75印张 206千字

1990年4月第一版 1990年4月第一次印刷

印数 0001—6000

ISBN 7-5028-0349-1/TU·20

(739)定价:4.00元

抗震设计丛书编委会

主 编：叶耀先

副主编：周炳章 魏 珪

委 员：文良漠 叶耀先 刘大海

沈世杰 宋绍先 周炳章

周锡元 胡庆昌 胡德祥

徐宗和 谢君斐 蒋苑秋

蓝 天 裘民川 魏 珪

序 言

法国哲学家华莱理曾经说过：“科学，就是把许多成功的秘诀收集在一起”。我们这套《抗震设计丛书》就是把国内外成功的、经过实践和时间检验的、能保障房屋和工程结构地震安全的秘诀收集到一起，供广大从事抗震设计、研究、教学以及与抗震防灾决策的有关人员参考。

地震灾难主要来源于房屋和工程结构的破坏或倒毁。以往强烈地震的后果表明，凡按良好的规范设计，有严格的施工监理且地运动参数与设计时采用的参数相适应的房屋或工程结构极少受害。这说明：强烈地震时房屋和工程结构的破坏虽不能避免，但却可以通过提高对抗震的理性认识，精心设计和精心施工而得以减轻；良好的抗震设计是保障新建房屋和工程结构地震安全的关键措施。

抗震设计所采用的地震荷载或地震作用是地震诱发的。所以，抗震设计必须以较大的破坏将发生在最近将来的概率为依据。否则，就像墨西哥地震工程专家E.罗森布卢斯所说的那样：“为了满足我们的要求，人类所有财富可能都是不够的，大量的一般结构将成为碉堡”。抗震设计的目标是小震不坏，中震能修，大震不倒。而一般静力设计的目标则是防止裂缝或破坏。抗震设计的这个特点要求设计人员不仅要有丰富的抗震设计经验，而且要掌握工程地震和抗震设计的知识与原理，仅仅会照套抗震设计规范是不可能做出经济、合理、安全的抗震设计的。为此，本丛书系统地介绍了工程地震知识、抗震设计原理、抗震设计经验和新颁布的抗震设计规范，以适应减轻地震灾害的需要。

叶耀先

前 言

地震对建筑物的破坏作用是通过场地、地基和基础传递给上部结构的。场地、地基在地震时起着传播地震波和支承上部结构的双重作用,因此对建筑物的抗震性能具有重要影响。在建筑抗震设计规范中震动作用是通过基础和上部结构的抗震验算和构造措施进行防御的。由于地基变形和失效所造成的破坏不同于震动作用,在抗震规范中主要是依靠场地选择和地基抗震措施加以考虑的。本书将结合建筑抗震设计规范中有关条文的修订对场地、地基和抗震设计反应谱等问题进行比较系统的讨论,重点将介绍与规范有关的研究成果和工程经验。以上是本书前四章的主要内容。由于在新的建筑抗震设计规范中规定当某城市和建设场地已进行过地震小区划并获得国家主管部门批准,在工程设计时可以按照经正式批准的地震小区划成果确定设计地震参数,因此在本书第五章中介绍了有关地震小区划的基本情况和方法。此外,由于对重大工程尚应开展强震地面运动和设计地震的专门研究,本书对有关的方法和内容在第六章中进行了介绍。第五、六两章的内容虽然与应用抗震设计规范无直接关系,但对勘察设计人员学习和了解与抗震设计有关的工程地震学知识是会有一定帮助的。

本书主要是以《建筑抗震设计规范(GBJ11-89)》*编制组第二小组在修订场地、地基、基础和抗震设计反应谱的有关条文时接触和使用的材料编写的。编制组第二小组由谢君斐、周锡元、黄存汉、王广军、刘惠珊、董津城、周神根、陈达生、王承春、石兆吉、苏经宇、胡文尧、翁鹿年等同志组成。编制小组根据国内外有关场地、地基、基础和设计反应谱方面的研究成果和工程经验以及《工业与民用建筑抗震设计规范(TJ11-74)》**,《工业与民用建筑

* 以下简称GBJ11-89规范;

** 以下简称TJ11-74规范。

抗震设计规范(TJ11-78)》*规范使用过程中提出的问题对规范中的有关条文提出过若干修订方案,在充分听取专家意见的基础上进行比较和选择,然后提出了送审的条文,再经审查修改才形成GBJ11-89规范中的有关条文。编写本书的目的在于使规范使用者了解作为有关条文依据的研究现状和背景材料,以便正确理解和使用规范。书中的内容大多取材于国内外公开发表的论文、报告和著作,也有一些是尚未公开发表的材料,在引用过程中我们虽然尽量注意了指明出处,但疏漏之处在所难免,凡有不妥之处望能取得研究者和原作者的谅解。

本书第一、二、五章是王广军执笔编写的,第三章是苏经宇执笔编写的,第六章是周锡元执笔编写的,第四章是由周锡元与王广军共同编写的,全书由周锡元统编。需要特别指出的是,本书在介绍建筑抗震设计新规范有关条文的同时,也从一个侧面反映了在这一领域中从事研究和实际工作的国内外同行们的成就和经验,因此它是集体劳动成果的结晶。本书编著者谨向所有对本书的出版作出过贡献的人们表示衷心的感谢。限于时间和编著者的学术水平和表达能力,书中错误和不适之词一定不少,衷心希望专家和读者们批评指正。

* 以下简称TJ11-78规范。

目 录

前 言

第一章 地震区场地选择与分类	(1)
1.1 概述.....	(1)
1.2 断层的地震影响.....	(4)
1.3 局部地形的影响.....	(10)
1.4 覆盖层厚的地震影响.....	(14)
1.5 多层土状况不同的地震影响.....	(18)
1.6 不同场地的周期特性.....	(20)
1.7 国外抗震规范中的场地分类.....	(22)
1.8 建筑抗震规范的场地分类及进展.....	(25)
1.9 层状土剪切波速及其统计关系.....	(28)
1.10 场地选择及评价.....	(32)
第二章 地震液化判别和危害性估计	(36)
2.1 概述.....	(36)
2.2 国外规范关于砂土液化的某些规定.....	(37)
2.3 TJ11-74规范中砂土液化判别公式的由来和依据	(38)
2.4 关于粉土液化问题.....	(49)
2.5 关于初判条件.....	(56)
2.6 关于经验判别式的确定.....	(65)
2.7 液化判别的框图.....	(74)
2.8 液化危害性估计.....	(75)
第三章 地基基础的抗震设计与加固处理	(84)
3.1 天然地基震害特点及抗震能力.....	(84)
3.2 天然地基基础抗震设计的一般原则和验算方法.....	(97)
3.3 天然地基的抗震措施.....	(106)

3.4 地基基础的抗震加固	(112)
3.5 桩基础抗震设计及抗震措施	(121)
第四章 抗震设计反应谱	(133)
4.1 一般概念	(133)
4.2 各种因素对地面运动谱特性的影响	(134)
4.3 设防烈度及其按地震动影响的划分	(141)
4.4 加速度反应谱的统计分析	(142)
4.5 修订方案与有关的背景情况	(152)
第五章 地震小区划	(159)
5.1 概述	(159)
5.2 资料收集和准备工作	(162)
5.3 用于地震小区划的观测仪器	(165)
5.4 地震小区划的内容和类别	(166)
5.5 地面脉动及其分析	(169)
5.6 剪切波速剖面法	(174)
5.7 平均剪切模量法	(175)
5.8 层状土地震反应分析	(177)
5.9 实例	(180)
5.10 小区划在城市规划中的应用	(184)
第六章 强震地面运动特性和设计地震	(188)
6.1 概述	(188)
6.2 强震地面运动的基本特征	(189)
6.3 设计反应谱的标定方法	(198)
6.4 场地条件对设计地震参数的影响	(208)
6.5 设计地震的概念及其应用	(217)
6.6 场地周围地震环境的详细研究	(220)
参考文献	(232)

第一章 地震区场地选择与分类

1.1 概 述

人们常常看到在具有不同工程地质条件的场地上，建筑物在地震中的破坏程度是明显不同的。于是人们自然就想到既然在不同场地条件下建筑物所受的破坏作用是不同的，那么，选择对抗震有利的场地和避开不利的场地进行建设，就能大大地减轻地震灾害。另一方面，由于建设用地受到地震以外的许多因素的限制，除了极不利和有严重危险性的场地以外往往是不能排除其做为建设用场地的。这样就有必要按照场地、地基对建筑物所受地震破坏作用的强弱和特征进行分类，以便按照不同场地的特点采取抗震措施。这就是地震区场地选择与分类的目的。

较早详细地研究场地土对震害影响的是美国人伍德(Wood)，他对1906年大地震在旧金山市区内的震害进行了详细的现场调查，曾发现位于坚硬岩石、砂岩、岩石上薄土层，砂和冲积层、人工填土以及沼泽上的建筑震害差异很大。其后，在1923年日本关东大地震时，人们调查了如下三种地基上房屋的震害：

(1) 河流三角州、淹没盆地、填筑的咸水湖、泥质冲积层以及回填土；

(2) 沿岸砂丘、海滩、沙州、河漫滩以及洪积火山岩层；

(3) 坚硬的第三纪岩地层，致密的砾岩以及岩石。

结果发现震害程度有很大的差别，其中第(1)类场地上的木结构房屋震害要比第(3)类严重好几倍。从此以后，不同场地上建筑物震害程度的差异引起了更大的关注。

60年代初，文献[1]的作者在认真收集国内外宏观震害资料的基础上，总结出如下一些规律：

(1) 如果不考虑建筑物的实际抗震性能, 松软潮湿的土壤对于一般建筑物的抗震多数是不利的;

(2) 在坚硬地基上建筑物的破坏通常都是由于地震荷载作用的结果, 在软弱地基上建筑物破坏的原因则比较复杂。建筑物基础的竖向和水平位移, 地基的不均匀沉陷, 因液化和强度骤然降低而使土壤结构失去稳定性等往往也是软弱地基上建筑物遭受破坏的主要原因;

(3) 柔性结构在软弱地基上容易遭到破坏, 坚硬地基对抗震比较有利。软弱地基上的高柔结构在地震时 (特别是当震中距离较大时) 可能遭受到共振的威胁;

(4) 在不同土壤上刚性结构破坏情况的宏观调查结果常相矛盾, 刚柔地基对刚性建筑的地震影响是有利还是不利尚难断言。

在这之后, 仍有许多研究者对不同地震的宏观调查加以总结, 结论虽然不尽相同, 但从总体上讲, 大致与上述规律接近。问题在于如何将这种宏观现象所提供的经验应用到工程上去。

关于如何考虑场地条件对建筑物抗震性能的影响, 较早的处理方法是采用苏联麦德维杰夫的烈度调整方法。麦氏根据宏观调查资料, 发现在同一次地震作用下, 相距很近的不同地基土壤上的烈度可以相差二、三度之多。据此, 麦氏建议用调整烈度值的方式来处理场地影响, 以一般中等强度的土壤为标准, 基岩上的烈度可以降低一度, 软弱地基上的烈度可以提高一度。苏联规范采用了这一建议, 并规定调整的幅度为 ± 1 度。

对场地影响的另一种处理方法是日本规范和罗马尼亚规范, 他们都对不同结构类型采用不同的地震力系数。日本规范由于考虑到在软弱地基上柔性结构较刚性结构易受破坏而在坚硬地基上不易破坏的规律将地基分为四级, 并根据不同地基等级和结构类型采用不同的地震力系数。其目的是将软弱地基上刚性结构的地震力减小, 柔性结构的地震力增大。罗马尼亚规范将地基分为五级, 用意与日本规范相仿。

我国在制订1964《地震区建筑设计规范(草案)》*时,有关人员在分析苏联和日本规范的有关规定时曾指出:麦德维杰夫以宏观调查资料为基础的小区域烈度划分方法抹杀了结构动力特性的影响,忽视了不同结构在相同地基上有不同反应的客观事实;应用这个方法,不问结构性能如何,笼统地提高或降低设计烈度,成倍地增大或减少地震作用,必将导致不够经济或不够安全的设计。另一方面,象日本规范那样单纯分别结构类型和不同地基土质条件调整地震力系数的方法也不够全面,因为地基的影响不是完全能通过侧向地震作用来反映的,例如软弱地基在地震时易于失效,提高地震作用只能增强上部结构的抗震强度,对于防止地基失效并无很大作用。为此认为,所谓场地地震影响是建筑场地的地质构造、地形、地基等工程地质条件对建筑物的综合影响,这些条件的影响各不相同,在规范中应该区别对待。为此决定,从抗震的角度区分建筑场地对抗震有利和不利的条件,选择有利于抗震的建筑,同时按照各类场地以及结构物的特点,决定地震作用和抗震构造措施。对于地基失效问题则应采用地基处理的办法来解决⁽²⁾。

宏观震害现象表明,自振周期较长的结构在软地基上震害重,自振周期较短的结构在硬地基上震害重⁽³⁾。这表明,场地频谱特性的影响是很重要的。基于这一认识,在制定64规范草案时,刘恢先教授等就提出以强震观测结果所给出的四种场地反应谱做为设计依据的观点。

近些年来,随着宏观震害资料的进一步累积,强震观测记录的大量获得,层状土理论分析的研究,人们对场地的地震影响又有了进一步的认识。事实上,场地条件对震害的影响应包括有两方面的意义,一是场地土对地震动的影响,二是不同场地上各类建筑物的震害差异。为了考虑场地的不同震害影响与地震反应,通常的做法是在总结以往经验的基础上将场地划分成若干类,然后对现有的强震记录按场地类别分类统计地面运动衰减规律和反应

* 以下简称64规范。

谱。这种做法在强震记录比较多的美国和日本是很普遍的。分类的标准应当反映强震地面运动特性和主要因素，但由于强震记录数量有限不可能分得很细。在近些年所进行的工业与民用建筑抗震设计规范修订工作中，基于这一考虑，对场地类别进行了重新划分，力求反映场地的动力效应。

除了上述的一些进展外，近年来对土与结构物的相互作用研究日益增多。分析表明，实际地震时，上部结构的惯性力通过基础反馈给地基，将使地基发生局部变形。因此，处于柔性地基上的大型建筑物，其中包括高层建筑，有必要在计算地震反应时考虑地基与结构物相互作用的影响。

总之，有关场地条件影响的认识正在不断深入，如何将研究成果应用在工程上，是人们努力的目标之一。本章将立足于此点，对场地的地震效应加以总结，以求获得比较系统的概念。

1.2 断层的地震影响

发震断裂带附近地表的错动，可使建筑物遭受到较大的破坏，

表 1.2.1

地震名	年.月.日	断层名	府县名	最大错动(m)		长度 (km)
				水 平	上 下	
浓 尾	1891.10.28	根尾谷	岐 阜	2	6	90
关 东	1923.9.1	下 浦 新 川	神奈川 "	— 宽0.5	1.5 深1.0	1 1
但 马	1925.5.23	田 结	兵 库	宽0.3	深0.5	1.6
丹 后	1927.3.7	乡 村 山 田	京 都 "	2.7 0.8	0.8 0.7	18 7
北伊豆	1930.11.28	丹 那	静 冈	3	2	35
鸟 取	1943.9.10	鹿 野 吉 冈	鸟 取 "	1.5 0.9	0.8 0.5	8 4.5
三 河	1945.1.13		爱 知	1.5	2.0	9

从而成为地震危险地段。当断裂出露于地表时,它对建筑物的破坏性取决于错位的大小,包括震动错位与永久错位。有的断层虽然看不到永久错位,但只要有过错位,即使是震动错位也会加剧结构的破坏。这种错位有时可以达数十厘米,甚至可以达到几米。表1.2.1所示为日本几次地震断层水平与竖向错动的情况⁽⁴⁾。不难看出,最大的水平错位达6m,出露地表断层长度最长达90km。对不同的地震,断裂长度是不一样的,一般来说地震愈大,出露地表的长度愈长。据美国的一些研究⁽⁵⁾,震级与地表断层长度的近似关系如表1.2.2所示。

表 1.2.2

震 级	断 层 长 度 (km)
>8.5	1000
8.5	530
8.0	190
7.5	70
7.0	25
6.5	9
6.0	5
5.5	3.4
5.0	2.1
4.5	1.3
4.0	0.83

上面所提供的结果仅是理想的情况,事实上因覆盖层厚等各种因素,不同次地震出露于地表的错动与表1.2.2所列的差异较大。表1.2.3为我国的几次地震的实际状况^(6,7)。从中不难看出,发生在平原、丘陵地区的地震,其出露于地表的断层长度和水平错动相对来讲都比较小。

根据国内几次较大地震的经验,活动断裂附近地段往往是地裂缝和错动的密集带,其地表残余变形将导致地基和上部结构较

表 1.2.3

编号	地震名称	发震日期	震级	震中 烈度	震 源 深度 (km)	出露地表 长度 (km)	水平错动 长度 (m)	备注
1	通海地震	1970	7.7	10	13	60.0	2.2	山区
2	大关、永 善 地 震	1974	7.1	9		30.0		山区
3	海城地震	1975	7.3	9	15	5.5	0.1—0.6	丘陵
4	唐山地震	1976	7.8	11	12—16	19.0	1.25	平原
5	炉霍地震	1973	7.9	10		83.0		山区

大的破坏，在抗震设计时很难处理，因此在选址时应予避免。

关于发震断裂的影响范围，目前尚无确切的定量标准。1970年云南通海地震时，曾对发震断裂两侧村庄的震害进行详细的调查和分析，结果认为，从平均趋势来看，位于发震断裂上的震害并不特别加重，只是位于发震断裂大约600—700m范围内的房屋震害指数稍高(参见表1.2.4)。

表 1.2.4

村 庄	新 庄	李 家 庄	祁 家 营	相 旗 营
离曲江断裂 的距离 (m)	350	1100	1800	2200
震害指数	0.90	0.76	0.69	0.56
烈度 (度)	10	9	9	8

1975年辽宁海城地震后也曾对发震断裂震害影响范围的问题做过总结⁽⁷⁾。据调查，在极震区东南端孤山公社北面的西腰和蟒沟大队之间的小山上出露地表的断层，长约5.5km，与发震断层有

密切联系。但是，在小孤山新断层通过的村庄震害并不重。西腰大队康家岭生产队在头道沟的房屋呈长条形沿沟零星分布，新断层在村东侧山坡上直指村中部。村中房屋构造一般，地基土表层厚度估计仅约数米，有少数房屋直接建在基岩上，房屋距断裂延伸处最近仅十余米，破坏极为轻微，震害指数仅为0.17—0.33。蟒沟大队下旬村位于新断层由小山向东的延伸线上，地处河床阶地，表层土少，砂石多，地下水位约3m，震害指数为0.65。和极震区其它村庄相比，震害并不严重。图1.2.1所示为小孤山断层附近19

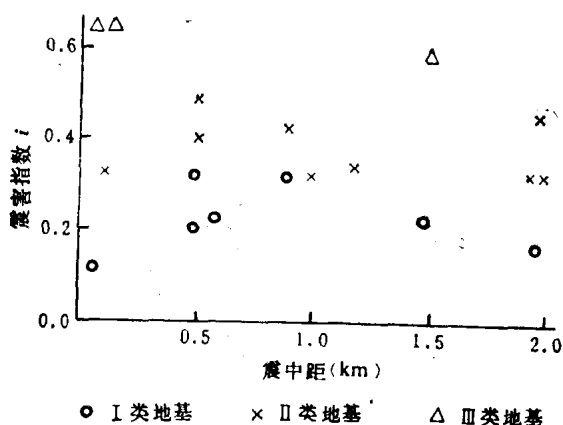


图 1.2.1 小孤山断层附近村庄震害指数与震中距的关系

个村庄震害与距断层距离的关系。不难看出，在此范围内震害并不随到断层的距离增加而衰减。1976年唐山地震时，吉祥路附近出露地表的断裂通过唐山十中院内，但邻近的唐山艺校的两栋砖木结构楼房并未完全倒塌。在花园街一带，距断裂仅有30m远的花园街小学(二层砖墙承重楼房)震塌，但未见到错动和移位。在吉祥路及岳各庄一带断裂通过公路，将林荫大道一侧的一排树错开(这种现象已作为地震遗迹保存下来了)，短墙亦被错断，但近旁

的房屋尚有屹立未塌者，甚至有的短墙虽被错断，但个别短墙仍直立未倒。上述国内几个大地震震例说明，发震断裂增大震动影响的范围看来并不太大。当然对唐山地震中的地表断裂是否是发震断层尚有不同的认识。

在国外，类似的震例也很多。例如，1906年美国旧金山地震中，在断层附近虽然有些房屋破坏严重，但多数房屋破坏不重，少数实际上并无破坏。如一农村房屋距断层崖仅几英尺，且在冲积层上，房屋破坏很轻，甚至连窗户和烟囱也未破坏，仍可居住。同一农场内距断层仅3英寸的一牛奶房仍站立于其基础上，无显著破坏；距断层100英尺处的一谷仓滑离基础，但未严重破坏；有一大牲口房部分座落在断层上，其主要破坏是座落在断层上的小部分沿地表拉离其基础。1967年土耳其穆德努(Mudurnu)地震时，位于地表断裂上的不少村庄震害较重，但也有很多不重的。据对比分析，断裂区的震害只是稍重于其它地区。1974年日本伊豆半岛近海发生地震时，在石廊附近产生了断层，位于断层上的一幢钢筋混凝土建筑只是基础歪斜，但没有破坏。

国内外的这些震例不难给人以这样的印象，即在发震断层附近，不必对其地震动强度或烈度加以特别考虑。值得指出的是，上述的结论只是震后调查的结果，事实上在新建工程中，发震断层的判定是相当困难的事。一般可根据历史地震、地形变、地应力、重力、磁力、地震观测等手段综合分析确定，且应由地震、地质部

表 1.2.5

提出者	本书作者	冶金部 沈阳勘测公司	美 国 原 子 能 委 员 会					
			发震断层长度 (km)	1.6	8.0	16	32	64
距 离 (m)	20—500	300—1000	距厂址 距 离 (km)	32	32—80	80—160	160—240	240—320