

全国高校土木工程专业应用型本科规划推荐教材

工程结构抗震设计

周云 主编

中国建筑工业出版社

013032504

TU352.104-43
22

全国高校土木工程专业应用型本科规划推荐教材

工程结构抗震设计

周云 主编



中国建筑工业出版社

TU352.104-43
22



北航

C1640107

013032204

图书在版编目 (CIP) 数据

工程结构抗震设计/周云主编. —北京: 中国建筑工业出版社, 2013. 1

全国高校土木工程专业应用型本科规划推荐教材

ISBN 978-7-112-15099-1

I. ①工… II. ①周… III. ①建筑结构-防震设计-高等学校-教材 IV. ①TU352. 104

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 023232 号

本教材根据土木工程专业本科教学大纲要求, 结合《建筑抗震设计规范》GB 50011—2010、《公路桥梁抗震设计细则》JTG/T B 02—01—2008 和《城市桥梁抗震设计规范》CJJ 166—2011 等有关国家现行规范和规程编写。

全书共 11 章, 包括概述、建筑结构抗震概念设计、场地与地基基础抗震设计、结构地震反应分析与抗震验算、砌体结构和底框架抗震墙砌体结构抗震设计、多层及高层混凝土结构抗震设计、多层及高层钢结构抗震设计、钢筋混凝土单层厂房抗震设计、桥梁抗震设计、地下结构抗震设计和隔震与耗能减震结构设计等内容。每章后附有思考题和习题。

本书可作为高等学校全日制本科生、成人教育、自学考试有关土建类专业结构抗震设计课程的教材, 也可作为有关土建类研究生的教学参考书, 并可供从事土木工程抗震与减震研究、设计和施工等工作的工程技术人员参考。

* * *

责任编辑: 王跃 吉万旺

责任设计: 董建平

责任校对: 刘梦然 赵颖

全国高校土木工程专业应用型本科规划推荐教材

工程结构抗震设计

周云 主编

*

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

霸州市顺浩图科技发展有限公司制版

北京富生印刷厂印刷

*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 22 $\frac{1}{4}$ 字数: 540 千字

2013 年 4 月第一版 2013 年 4 月第一次印刷

定价: 45.00 元

ISBN 978-7-112-15099-1

(23190)

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)

序

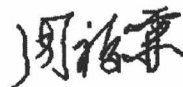
自 1952 年院系调整之后，我国的高等工科教育基本因袭了前苏联的体制，即按行业设置院校和专业。工科高校调整成土建、水利、化工、矿冶、航空、地质、交通等专科学校，直接培养各行业需要的工程技术人才；同样的，教材也大都使用从前苏联翻译过来的实用性教材，即训练学生按照行业规范进行工程设计，行业分工几乎直接“映射”到高等工程教育之中。应该说，这种过于僵化的模式，割裂了学科之间的渗透与交叉，并不利于高等工程教育的发展，也制约了创新性人才的培养。

作为传统工科专业之一的土木工程，在我国分散在房建、公路、铁路、港工、水工等行业，这些行业规范差异较大、强制性较强。受此影响，在教学过程中，普遍存在对行业规范依赖性过强、专业方向划分过细、交融不够等问题。1998 年教育部颁布新专业目录，按照“大土木”组织教学后，这种情况有所改观，但行业影响力依旧存在。相对而言，土木工程专业的专业基础课如建材、力学，专业课程如建筑结构设计、桥梁工程、道路工程、地下工程的问题要少一些，而介于二者之间的一些课程如结构设计原理、结构分析计算、施工技术等课程的问题要突出一些。为此，根据全国土木工程专业教学指导委员会的有关精神，配合我校打通建筑工程、道桥工程、地下工程三个专业方向的教学改革，我校部分教师以突出工程性与应用性、扩大专业面、弱化行业规范为切入点，将重点放在基本概念、基本原理、基本方法的应用上，将理论知识与工程实例有机结合起来，汲取较为先进成熟的技术成果和典型工程实例，编写了《工程结构设计原理》、《基础工程》、《土木工程结构电算》、《工程抗震设计》、《土木工程试验与检测技术》、《土木工程施工》六本教材，使学生更好地适应“大土木”专业课程的学习。

希望这一尝试能够为跨越土建行业鸿沟、促进土木工程专业课程教学提供有益的帮助与探索。

是为序。

中国工程院院士



2012 年 7 月于广州大学

前 言

根据高等学校土木工程学科专业指导委员会的有关精神,配合打通建筑工程、道路与桥梁工程、地下工程三个专业方向的教学改革,以“强化基础、拓宽知识、注重概念、实用与创新并重”为原则编写本教材。

在教材编写时,注重基本内容(基本概念、基本原理)深入浅出,突出原理与方法的具体应用,突出实践性,彰显应用特色。本书除了包含传统的房屋建筑结构抗震设计的内容外,增加了多高层钢结构、桥梁、地下结构抗震设计和工程结构隔震减震设计等内容。为了培养学生的实践能力与系统设计能力,提升学生的工程素养,增设结合实际的典型例题。本教材结合国家现行《建筑抗震设计规范》GB 50011—2010、《公路桥梁抗震设计细则》JTG/T B02—01—2008和《城市桥梁抗震设计规范》CJJ 166—2011等最新规范和规程而编写。

本书由广州大学周云制定编写大纲和统稿。全书共11章,其中第1章由广州大学周云撰写,第2章、第3章由广州大学邓雪松撰写,第4章由广州大学陈原撰写,第5章由东北石油大学李晓丽和广州大学吴从晓撰写,第6章由华北水利水电学院王廷彦撰写,第7章、第8章由东北石油大学李晓丽和广州大学吴从晓撰写,第9章由广州大学孙卓撰写,第10章由广州大学邓雪松撰写,第11章由广州大学周云撰写。

在编写本书时,参考和引用了公开发表的一些文献和资料,谨向这些作者表示感谢。由于水平有限,书中难免有缺点和错误,热切希望读者批评指正。

目 录

第 1 章 概述	1
1.1 地震的类型	1
1.2 地震波及地面运动主要特性	3
1.3 地震常用术语、震级与烈度	6
1.4 地震震害	9
1.5 工程抗震设防	13
思考题	17
第 2 章 建筑结构抗震概念设计	19
2.1 概述	19
2.2 建筑场地、地基和基础的选择	19
2.3 建筑结构的平面立面形式及结构布置规则性	20
2.4 结构体系的选择	24
2.5 选择合理的结构构件	28
2.6 非结构部件的合理处理	28
2.7 结构材料与施工的特殊要求	30
2.8 采用结构控制新技术	31
思考题	31
第 3 章 场地与地基基础抗震设计	32
3.1 概述	32
3.2 场地	32
3.3 液化土及软土地基抗震	36
3.4 地基与基础的抗震验算	43
思考题	46
习题	46
第 4 章 结构地震反应分析与抗震验算	48
4.1 概述	48
4.2 单自由度弹性体系的地震反应分析	50
4.3 单自由度弹性体系的水平地震作用计算和反应谱法	54
4.4 多自由度弹性体系的地震反应分析	61

4.5	平动多自由度体系水平地震作用及效应计算的反应谱方法	71
4.6	水平地震作用下扭转耦联、地基与结构相互作用时的计算	78
4.7	多自由度体系自振周期及振型的计算	85
4.8	结构的竖向地震作用计算	91
4.9	结构的时程分析方法及非线性地震反应分析	94
4.10	建筑结构抗震验算及地震作用的一般规定	101
	思考题	105
	习题	105
第5章	砌体结构和底框架抗震墙砌体结构抗震设计	108
5.1	砌体结构和底框架抗震墙砌体结构房屋的典型震害分析	108
5.2	砌体结构抗震设计的一般规定	111
5.3	砌体结构房屋的抗震验算	114
5.4	底部框架抗震墙砌体结构的抗震验算	123
5.5	砌体结构和底框架抗震墙砌体结构抗震构造措施	126
5.6	砌体结构房屋抗震设计实例	131
	思考题	138
	习题	138
第6章	多层及高层混凝土结构抗震设计	139
6.1	多层及高层混凝土结构震害现象及其分析	139
6.2	多高层混凝土结构抗震设计的一般规定	145
6.3	框架结构的抗震设计	152
6.4	剪力墙结构的抗震设计	190
6.5	框架-剪力墙结构的抗震设计	209
	思考题	213
	习题	213
第7章	多层及高层钢结构抗震设计	215
7.1	多层及高层钢结构的典型震害分析	215
7.2	多层及高层钢结构体系及抗震设计一般规定	217
7.3	多层及高层钢结构的抗震设计	221
7.4	多层及高层钢结构抗震构造措施	227
	思考题	233
第8章	钢筋混凝土单层厂房抗震设计	234
8.1	钢筋混凝土单层厂房的震害特点	234
8.2	钢筋混凝土单层厂房抗震设计的一般规定	237
8.3	钢筋混凝土单层厂房的抗震验算	239

8.4	钢筋混凝土单层厂房的抗震构造措施	255
8.5	单层厂房的抗震设计实例	261
	思考题	272
第9章	桥梁抗震设计	273
9.1	桥梁震害及分析	273
9.2	桥梁抗震设计的一般规定	279
9.3	桥梁结构的地震反应分析	288
9.4	桥梁的延性设计和主要构造措施	304
	思考题	308
第10章	地下结构抗震设计	309
10.1	地下结构的震害现象及其分析	309
10.2	地下结构的抗震设计	313
	思考题	321
第11章	隔震与耗能减震结构设计	322
11.1	结构减震的概述与分类	322
11.2	隔震结构设计	323
11.3	耗能减震结构设计	333
	思考题	346
	习题	346
参考文献	347

第 1 章 概 述

地震是由于地球内部介质局部发生急剧破裂，引起能量突然释放后，并以波的形式传播到地面，从而引起地面振动的现象。它就像海啸、龙卷风、冰冻灾害一样，是地球上经常发生的一种自然灾害。地震是极其频繁的，全球每年发生地震约 550 万次，其中约 5 万次人们可以感觉到，造成破坏的约有 1000 次，7 级以上的大地震有十几次，8 级以上的大震 1~2 次。强烈地震会引起地震区的地面剧烈颠簸和摇动，往往造成建筑物和设施的破坏，为减轻或避免这些破坏，需要对地震及结构抗震性能进行深入研究。

本章主要针对地震基本知识，如地震成因、烈度、震级、抗震设防等方面进行简单介绍。

1.1 地震的类型

地震按地震的成因、震源深度、人的感觉等方式分为不同的类型，具体介绍如下。

1.1.1 按成因分类

按照地震的成因可将地震分为六类：构造地震、火山地震、陷落地震、爆炸地震、水库地震、油田注水诱发地震。

(1) 构造地震

构造地震是由地球构造运动所引起的地震。地球从地表至核心由三种性质不同的物质构成：最外层是很薄的地壳，平均厚度约为 30km；中间一层是地幔，厚度约为 2900km，最里面部分叫地核，半径约为 3500km（图 1-1）。

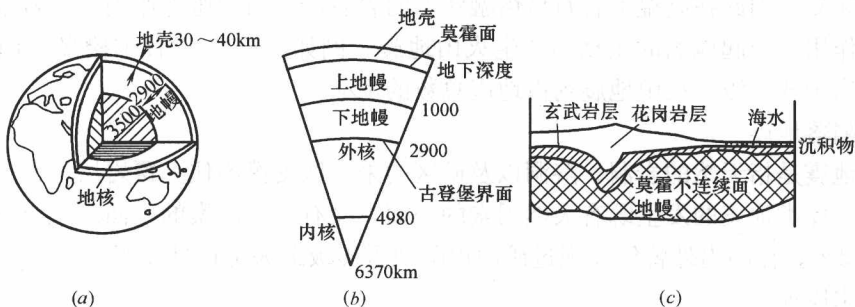


图 1-1 地球的构造

(a) 地球断面；(b) 分层结构；(c) 地壳剖面

地球的内部在不停地运动，并在它的运动过程中，释放出巨大的能量。组成地壳的岩层在巨大能量的作用下，也不停地连续变动，不断地发生褶皱、断裂和错动（图 1-2），

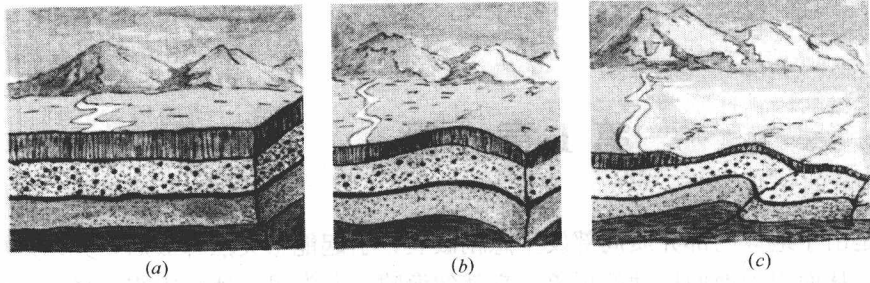


图 1-2 构造地震形成示意图

(a) 岩层原始状态；(b) 岩层受力后发生变形；(c) 岩层断裂，产生振动

这种地壳构造状态的变动，使岩层处于复杂的地应力作用之下。地壳运动使地壳某些部位的地应力不断加强，当应力的积聚超过岩石的强度极限时，岩层就会发生突然断裂和猛烈错动，从而引起振动。振动以波的形式传到地面，形成地震。由于岩层的破裂往往不是沿一个平面发展，而是形成由一系列裂缝组成的破碎地带，沿整个破碎地带的岩层不可能同时达到平衡，因此，在一次强烈地震（即主震）之后，岩层的变形还有不断的零星调整，从而形成一系列余震。

构造地震约占地震总数的 90%，其特点是震源较浅，活动频繁，延续时间长，影响范围广，给人类带来的损失最严重。世界上许多著名的大地震都属于此类，例如 1976 年唐山大地震，在几十秒内，将一座用了近百年才建设起来的工业城市几乎夷为平地。

构造地震按其地震序列可分为孤立型地震（前震、余震少而弱，地震能量几乎全部通过主震释放出来）、主震型地震（前震很少或无，但余震很多，90% 以上的地震能量是通过主震释放出来的）、震群型地震（没有突出的主震，地震能量通过若干次震级相近的地震分批释放出来）。

(2) 火山地震

火山地震是由于火山爆发，岩浆猛烈冲击地面时引起的地面振动引发的地震。地球内部温度很高，往深处每增加 100m，温度上升 2~5℃，在地下 100km 深处的地温已达到 1200~1300℃。因此在高温下岩石呈熔融状态的岩浆，在强大压力作用下，岩浆向上喷出在其冲力作用下激起地面的振动，产生火山地震。例如，1914 年日本樱岛火山喷发产生的地震相当于 6.7 级。火山地震约占地震总数的 7%。

(3) 陷落地震

陷落地震是指天然的岩洞、溶洞以及矿区的采空区支撑不住上覆岩层，发生塌陷而形成的地震。此类地震的发生既有天然因素的一面，又有人为因素的一面。此类地震约占产生地震的 3%。在国内外曾经发现过矿山塌陷地震震级最大可达到 5 级。

(4) 水库地震

水库地震是由于水库大量蓄水或过多抽水而引起的地震。前者称为注水地震，后者称为抽水地震。有些地方，历史上没有或很少发生过地震，但在兴建大型水库后，地震频频发生，甚至发生强烈的破坏性地震。例如广东新丰江水库区，自 1959 年截流蓄水后，便频繁出现小地震，于 1962 年 3 月 19 日发生了 6.1 级的强烈地震，其后余震活动不断。

(5) 爆炸地震

爆炸地震是指工业大爆破或地下核爆炸所激发的地震。一次核爆炸本身就产生一次地震，爆炸中心相当于一个6级左右的地震源。同时，爆炸可诱发构造地震，表现为核爆炸后接连发生地震，就如大震后的余震。如1968年美国完成地下核试验就引起了地球1万次余震；1976年美国进行核试验几分钟后发生了危地马拉地震，使几万人丧生。

(6) 油田注水诱发地震

油田注水诱发地震是在油田开采中，广泛采用人工注水驱动工艺，从而产生的地震。例如，1970年加拿大斯内普油田注水导致5.1级地震。油田注水地震一般震源浅，震级也不高。

1.1.2 按震源深度分类

地震按照震源深度划分可分为以下几类：

(1) 浅源地震：震源深度小于70km的地震。

(2) 中源地震：震源深度在70~300km范围内的地震。

(3) 深源地震：震源深度大于300km的地震，但到目前为止，所观测到的地震震源深度最深为720km，这可能与岩石圈板块的最深俯冲深度有关。

我国发生的绝大多数地震属于浅源地震，一般深度在5~40km。如1976年7月28日唐山大地震，深度为11km，而1999年9月21日台湾大地震，深度仅为1.1km。我国的深源地震分布十分有限，由于深源地震所释放出来的能量在长距离传播中大部分被损耗掉，所以对地面建筑物的影响很小。

1.1.3 按人的感觉分类

地震按照正常人在安静状态下的感觉程度划分可分为以下几类：

(1) 无感地震：正常人在安静状态下感觉不到的，只能用地震仪器测量出来的地震。其震级一般小于3级。

(2) 有感地震：正常人在安静状态下能够感觉到的地震，其震级大于3级。震级在3~5级的地震称为小震，一般不会造成破坏；震级在5~7级的地震称为中震，可以造成不同程度的破坏；震级大于7级的称为大地震，常造成严重的破坏。

1.2 地震波及地面运动主要特性

1.2.1 地震波

地震引起的振动以波的形式从震源向各个方向传播并释放能量，这就是地震波，地震波是一种弹性波。根据在地壳中传播的路径不同，地震波可分为体波和面波。

(1) 体波

地震波在地球内部是以体波的形式传播的。体波又分为纵波与横波（图1-3），纵波的介质质点振动方向与波的传播方向是一致的，在纵波由震源向外传播的过程中介质不断被压缩和疏松，所以纵波亦称压缩波或P波。纵波既能在固态物质中传播，也能在液态与气态物质中传播，通常其振幅与周期都比较小。横波的介质质点振动方向与波的传播方向是

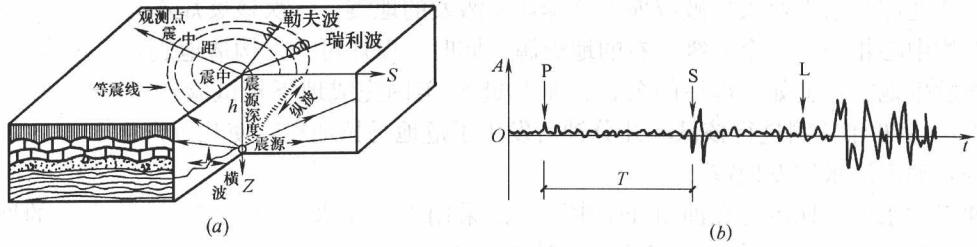


图 1-3 体波

(a) 震源、震中与地震波的传播方式示意图；(b) 地震波记录

垂直的，是剪切波或 S 波。横波只能在固态物质中传播，通常其振幅较大周期比较长。

假定地球介质为弹性各向同性，根据弹性波动理论，可以得到：

$$V_P = \sqrt{(\lambda + 2\mu) / \rho} \quad (1-1)$$

$$V_S = \sqrt{\mu / \rho} \quad (1-2)$$

式中 ρ ——介质密度；

V_P ——P 波或纵波波速；

V_S ——S 波或横波波速；

λ 、 μ ——拉梅常数。

若设定 E 为介质弹性模量， ν 为泊松比，则有：

$$\lambda = \frac{E\nu}{(1+\nu)(1-2\nu)} \quad (1-3)$$

$$\mu = \frac{E}{2(1+\nu)} \quad (1-4)$$

$$V_P = \sqrt{\frac{E(1-\nu)}{\rho(1+\nu)(1-2\nu)}} \quad (1-5)$$

$$V_S = \sqrt{\frac{E}{2\rho(1+\nu)}} = \sqrt{\frac{G}{\rho}} \quad (1-6)$$

在一般情况下，当 $\nu = 0.22$ ，则可得纵波与横波波速之间的关系为：

$$V_P = 1.67V_S \quad (1-7)$$

由此可见，P 波（纵波）速度比 S 波（横波）的波速要快，总是率先到达，英文 Primary 是首先的意思，也叫做初波；而横波要慢一些，Secondary 是其次的意思，故称之为次波。

(2) 面波

面波是指沿地表或地壳不同地质层界面传播的地震波。一般认为，面波是体波经地层界面多次反射、折射所形成的次生波。

面波包括两种形式的波，即勒夫波（L 波）和瑞利波（R 波）。勒夫波传播时，质点在地平面内产生与波前进方向相垂直的运动，在地面上表现为蛇形运动，如图 1-4 (a) 所示。瑞利波传播时，质点在波的传播方向和地表面法向所组成的平面内做与波前进方向

相反的椭圆运动，在地面上表现为滚动形式，如图 1-4 (b) 所示。面波的传播速度较慢，约为剪切波传播速度的 90%，而面波周期长、振幅大、衰减慢，故能传播到很远的地方。面波使地面既垂直振动又水平振动。

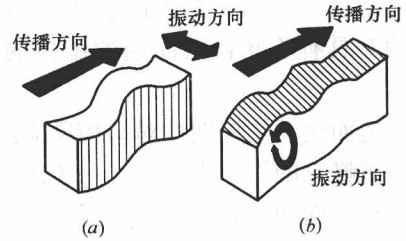


图 1-4 面波传播方式
(a) 勒夫波；(b) 瑞利波

综上所述，地震波的传播速度以纵波最快，剪切波次之，面波最慢。所以在一般地震波记录图上，纵波最先到达，剪切波次之，面波到达最晚，然而就振幅而言，后者最大。由于面波的能量要比体波大，所以造成建筑物和地表破坏主要以面波为主。大量震害调查表明，一般建筑物的震害主要是由水平振动引起，因此，由体波和面波共同引起的水平地震作用通常是最主要的地震作用。

1.2.2 地面运动主要特性

地震时引起的地面运动称为地震动。地震动过程是一个非常复杂的随机过程，某个单独的地震动记录，通常为地面运动的加速度、速度或位移等物理量随时间的变化过程，是一个具有随机性的不规则时间函数。如图 1-5 为 1940 年 5 月 18 日美国加利福尼亚州帝谷 (Imperial Valley) 7.1 级地震距震中 9km 的埃尔森特罗 (El-Centro) 测得的 N-S 方向地面运动加速度记录。从图 1-5 可知该加速度记录曲线是由一系列非周期的加速度脉冲组成，具有从开始震动，初步增强，最后衰减至零的过程，一般将这一现象称为地震的不规则性，它主要取决于震级、震源特性、震中距的地震波传播介质的特性等因素。一般就结构抗震设计而言，地面运动的一般特性用地震振动幅、频谱和持时描述。

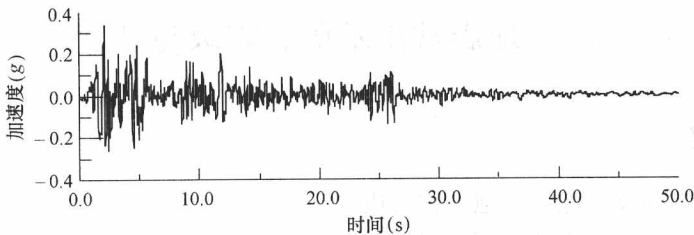


图 1-5 美国埃尔森特罗 (El-Centro) 强震加速度实测记录 (1940, NS)

(1) 幅值

地震振动幅值主要是指地面运动的加速度、速度和位移的某种最大值或某种意义下的有效值，目前采用最多的地震动幅值是地面运动最大加速度幅值，它可描述地震动强弱程度，且与震害有密切关系，可作为地震烈度的参考物理指标。

地震动幅值的大小受震级、震源机制、传播途径、震中距、局部场地条件等因素影响。一般情况，在近场地内，基岩上的加速度幅值大于软弱场地上的加速度幅值，而远场地则相反。

(2) 频谱

地震动不是简单的简谐运动，而是振幅和频率都在变化的无规则振动。但是对于给

定的地震动时程，总可以看作由不同频率的简谐波组合而成。地震动频谱特性是指地震动对具有不同自振周期的结构的反应特性，通常采用反应谱、功率谱和傅里叶谱来表示。

地面运动的周期性对结构反应具有重要的影响，一般地面运动的周期可用地震加速度反应谱峰点的周期来表示，一般认为，加速度反应谱曲线最高峰值点所对应的周期为地震动的卓越周期，有时也将较高的几个峰值点对应的周期都称为地震动的卓越周期。如地面运动以长周期为主，则对长周期的柔性建筑物危害大；反之，地面运动以短周期为主，则对短周期的刚性建筑物危害大。这就是所谓的共振效应。

一般震级大，断层错位的冲击时间长，震中距离远，场地土层松软、厚度大的地方，地震动加速度反应谱的主要峰点偏于较长的周期；反之，震级小，断层错位的冲击时间短，震中距离近，场地土层坚硬、厚度薄的地方，地震动加速度反应谱的主要峰点偏于较短的周期。

(3) 持时

地震时地面运动持续的时间对建筑物的破坏程度有较大的影响。在相同的地面运动最大加速度作用下，当强震的持续时间长，该地点的地震烈度高，建筑物的地震破坏重；反之，强震持续时间短，该地点的地震烈度低，建筑物地震破坏轻。如 1940 年美国 El-Centro 地震的强震持续时间为 30s，该地点的地震烈度为 8 度，建筑物破坏较严重，而 1966 年的日本松代地震，其地面运动最大加速度略大于 El-Centro 地震，但强震持续时间仅为 4s，则该地震烈度仅为 5 度，未发现明显的建筑物破坏。

实际上，地震动强震持时对建筑结构反应的影响主要表现为结构开裂以后的阶段，在地震动作用下，一个结构从开裂到倒塌一般有个过程，很明显在结构发生开裂后，连续运动时间越长，结构倒塌的可能性就越大。

1.3 地震常用术语、震级与烈度

1.3.1 常用术语

震源：地球内部发生地震的地方称为震源。

震中：震源正方向相应的地面位置称为震中。

震源深度：震中到震源的垂直距离，称为震源深度。

震中距：建筑物到震中之间的距离称为震中距。

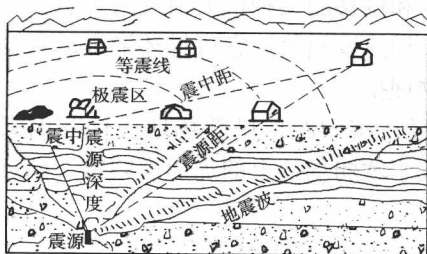


图 1-6 术语解释示意图

震源距：建筑物到震源之间的距离称为震源距。

极震区：在震中附近，振动最剧烈，破坏最严重的地区称为极震区。

等震线：一次地震中，在其所波及的地区内，根据烈度表可以对每一个地点评估出一个烈度，烈度相同点的外包线称为等震线，如图 1-6 所示。

1.3.2 震级

地震震级 (Magnitude) 是地震的强度级别, 地震震级用震源所释放出的能量多少来确定。目前, 国际上常用的是里氏震级, 1935 年 Richter 提出的震级定义为: 震级等于标准地震仪 (指 Wood-Anderson 扭摆仪, 其标准要求是摆的自振周期为 0.8s, 阻尼系数为 0.8, 放大倍数为 2800) 记录到的震中距为 $\Delta=100\text{km}$ 处的地面最大水平位移 A (以微米为单位) 的常用对数:

$$M=\lg A \quad (1-8)$$

例如, 在距震中 100km 处的地面最大水平位移 $A=10^4 \mu\text{m}$, 则该次地震的震级:

$$M=\lg A=\lg 10^4=4, \text{ 则此次的地震震级为 4 级。}$$

地震震级 M 与震源释放的能量 E (尔格) 之间有以下经验关系:

$$\lg E=11.8+1.5M \quad (1-9)$$

根据上述关系, 震级相差一级, 地震波的振幅值增加 10 倍, 地震所释放的能量要相差 31.6 倍, 一个 6 级地震所释放的能量相当于一个 2t 级的原子弹所释放的能量, 目前记录到最大的地震是 2011 年日本东海岸发生 9.0 级特大地震。

1.3.3 烈度

地震烈度是度量某一地区地面和建筑物遭受一次地震影响的强弱程度。由于地面振动的强烈程度与震级大小、震源深度、震中距大小有关, 与该地区地层的土质有关, 还与该地区的地形地貌有关。因此, 每次地震中不同地区的地震烈度是不一样的。

地震烈度是一个定性指标, 尽管烈度表给出了地面运动速度和加速度的参考指标, 但主要是根据该地区“大多数房屋的震害程度”与“人的感觉以及其他现象”来综合评定的。国际上大多数国家的烈度表都采用十二级别分类, 个别国家, 如日本, 则采用 0~7 级的 8 级别分类。工程抗震设防的依据一般是采用烈度, 而不是震级; 目前的发展趋势则是直接采用地面运动加速度值作为工程抗震设计的依据。我国目前采用的烈度表是《中国地震烈度表》GB/T 17742—2008 (见表 1-1), 该烈度表以统一的尺度衡量地震的强烈程度, 从无感到地面剧烈变化及山河改观划分为 12 个级别。

中国地震烈度表

表 1-1

地震烈度	人的感觉	房屋震害			其他震害现象	水平向地震动参数	
		类型	震害程度	平均震害指数		峰值加速度 (m/s^2)	峰值速度 (m/s)
I	无感	—	—	—	—	—	—
II	室内个别静止中的人有感觉	—	—	—	—	—	—
III	室内少数静止中的人有感觉	—	门、窗轻微作响	—	悬挂物微动	—	—
IV	室内多数人、室外少数人有感觉, 少数人梦中惊醒	—	门、窗作响	—	悬挂物明显摆动, 器皿作响	—	—
V	室内绝大多数、室外多数人有感觉, 多数人梦中惊醒	—	门窗、屋顶、屋架颤动作响, 灰土掉落, 个别房屋墙体抹灰出现细微裂缝, 个别屋顶烟囱掉砖	—	悬挂物大幅度晃动, 不稳定器物摇动或翻倒	0.31 (0.22~ 0.44)	0.03 (0.02~ 0.04)

续表

地震烈度	人的感觉	房屋震害			其他震害现象	水平向地震动参数	
		类型	震害程度	平均震害指数		峰值加速度 (m/s ²)	峰值速度 (m/s)
VI	多数人站立不稳,少数人惊逃户外	A	少数中等破坏,多数轻微破坏和/或基本完好	0.00~0.11	家具和物品移动;河岸和松软土出现裂缝,饱和砂层出现喷砂冒水;个别独立砖烟囱轻度裂缝	0.63 (0.45~0.89)	0.06 (0.05~0.09)
		B	个别中等破坏,少数轻微破坏,多数基本完好				
		C	个别轻微破坏,大多数基本完好	0.00~0.08			
VII	大多数人惊逃户外,骑自行车的人有感觉,行驶中的汽车驾乘人员有感觉	A	少数毁坏和/或严重破坏,多数中等破坏和/或轻微破坏	0.09~	物体从架子上掉落;河岸出现塌方,饱和砂层常见喷水冒砂,松软土地地裂缝较多;大多数独立砖烟囱中等破坏	1.25 (0.90~1.77)	0.13 (0.10~0.18)
		B	少数中等破坏,多数轻微破坏和/或基本完好	0.31			
		C	少数中等和/或轻微破坏,多数基本完好	0.07~0.22			
VIII	多数人摇晃颠簸,行走困难	A	少数毁坏,多数严重和/或中等破坏	0.29~	干硬土上亦出现裂缝,饱和砂层绝大多数喷砂冒水;大多数独立砖烟囱严重破坏	2.50 (1.78~3.53)	0.25 (0.19~0.35)
		B	个别毁坏,少数严重破坏,多数中等和/或轻微破坏	0.51			
		C	少数严重和/或中等破坏,多数轻微破坏	0.20~0.40			
IX	行动的人摔倒	A	多数严重破坏和/或毁坏	0.49~	干硬土上多处出现裂缝,可见基岩裂缝、错动,滑坡、塌方常见;独立砖烟囱多数倒塌	5.00 (3.54~7.07)	0.50 (0.36~0.71)
		B	少数毁坏,多数严重和/或中等破坏	0.71			
		C	少数毁坏和/或严重破坏,多数中等和/或轻微破坏	0.38~0.60			
X	骑自行车的人会摔倒,处不稳状态的人会摔离原地,有抛起感	A	绝大多数毁坏	0.69~	山崩和地震断裂出现,基岩上拱桥破坏;大多数独立砖烟囱从根部破坏或摧毁	10.00 (7.08~14.14)	1.00 (0.72~1.41)
		B	大多数毁坏	0.91			
		C	多数毁坏和/或严重破坏	0.58~0.80			
XI	—	A	绝大多数毁坏	0.89~	地震断裂延续很长;大量山崩滑坡	—	—
		B		1.00			
		C		0.78~1.00			
XII	—	A	几乎全部毁坏	1.00	地面剧烈变化,山河改观	—	—
		B					
		C					

注:表中给出的“峰值加速度”和“峰值速度”是参考值,括弧内给出的是变动范围。

下面对该烈度表中各烈度的划分作以说明:

(1) 评定地震烈度时, I 度~V 度应以地面上以及底层房屋中的人的感觉和其他震害现象为主; VI 度~X 度应以房屋震害为主, 参照其他震害现象, 当用房屋震害程度与平均震害指数评定结果不同时, 应以震害程度评定结果为主, 并综合考虑不同类型房屋的平均震害指数; XI 度和 XII 度应综合房屋震害和地表震害现象。

(2) 以下三种情况的地震烈度评定结果, 应作适当调整:

当采用高楼上人的感觉和器物反应评定地震烈度时,适当降低评定值;

当采用低于或高于Ⅶ度抗震设计房屋的震害程度和平均震害指数评定地震烈度时,适当降低或提高评定值;

当采用建筑质量特别差或特别好房屋的震害程度和平均震害指数评定地震烈度时,适当降低或提高评定值。

(3) 评定烈度的房屋类型。

用于评定烈度的房屋,包括以下三种类型:

A类:木构架和土、石、砖墙建造的旧式房屋;

B类:未经抗震设防的单层或多层砖砌体房屋;

C类:按照Ⅶ度抗震设防的单层或多层砖砌体房屋。

(4) 房屋破坏等级及其对应的震害指数。

房屋破坏等级分为基本完好、轻微破坏、中等破坏、严重破坏和毁坏五类,其定义和对应的震害指数 d 如下:

基本完好:承重和非承重构件完好,或个别非承重构件轻微损坏,不加修理可继续使用。对应的震害指数范围为 $0.00 \leq d < 0.10$ 。

轻微破坏:个别承重构件出现可见裂缝,非承重构件有明显裂缝,不需要修理或稍加修理即可继续使用。对应的震害指数范围为 $0.10 \leq d < 0.30$ 。

中等破坏:多数承重构件出现轻微裂缝,部分有明显裂缝,个别非承重构件破坏严重,需要一般修理后可继续使用。对应的震害指数范围为 $0.30 \leq d < 0.55$ 。

严重破坏:多数承重构件破坏较严重,非承重构件局部倒塌,房屋修复困难。对应的震害指数范围为 $0.55 \leq d < 0.85$ 。

毁坏:多数承重构件严重破坏,房屋结构濒于崩溃或已倒毁,已无修复可能。对应的震害指数范围为 $0.85 \leq d < 1.00$ 。

(5) 各类房屋平均震害指数 D 可按下列式计算:

$$D = \sum_{i=1}^5 d_i \lambda_i \quad (1-10)$$

式中 d_i ——房屋破坏等级为 i 的震害指数;

λ_i ——破坏等级为 i 的房屋破坏比,用破坏面积与总面积之比或破坏栋数与总栋数之比表示。

(6) 农村可按自然村,城镇可按街区为单位进行地震烈度评定,面积以 1km^2 为宜。

(7) 当有自由场地强震动记录时,水平向地震动峰值加速度和峰值速度可作为综合评定地震烈度的参考指标。

(8) 表中数量词的含义为:个别指 10% 以下;少数指 10%~45%;多数指 40%~70%;大多数指 60%~90%;绝大多数指 80% 以上。

1.4 地震震害

强烈的地震是一种危害极大的突发性自然灾害。研究地震产生的震害,是为了防范未来的大震。目前,在科学技术还不能控制地震发生的情况下,调查研究地震震害的现状,