



高等学校土木工程专业“十三五”规划教材
高校土木工程专业规划教材

建筑结构抗震设计

张荣兰 陈桂平 主 编
尹红宇 支正东 朱 华 副主编

中国建筑工业出版社

高等学校土木工程专业“十三五”规划教材
高校土木工程专业规划教材

建筑结构抗震设计

张荣兰 陈桂平 主 编
尹红宇 支正东 朱 华 副主编



中国建筑工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

建筑结构抗震设计/张荣兰, 陈桂平主编. —北京:
中国建筑工业出版社, 2018. 12

高等学校土木工程专业“十三五”规划教材 高校土
木工程专业规划教材

ISBN 978-7-112-23033-4

I. ①建… II. ①张… ②陈… III. ①建筑结构-
抗震结构-防震设计-高等学校-教材 IV. ①TU973

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2018) 第 266380 号

本书根据高等学校土木工程学科专业指导委员会对土木工程专业的培养要求和结构抗震设计课程教学大纲要求, 结合《建筑抗震设计规范》GB 50011—2010 (2016 年版) 和《中国地震动参数区划图》GB 18306—2015 等国家新规范进行编写。

本书主要包括: 地震及结构抗震的基本知识; 场地、地基和基础; 抗震概念设计的基本原则; 结构地震反应分析与抗震计算; 混凝土结构房屋抗震设计; 砌体结构房屋抗震设计; 钢结构房屋抗震设计; 结构隔震与消能减震设计的基础知识; 非结构构件抗震设计。全书在介绍基本概念和基础理论的同时, 还辅助以几类工程的抗震设计实例, 以便于读者深刻理解基本概念和规范中的设计方法。

本书既可用作土木工程专业及相关专业的教材或教学参考书, 也可供土建类专业的技术人员参考。

本书配套多媒体课件, 有需要的读者可以发送邮件至 jiangongkejian@163.com 索取。

* * *

责任编辑: 仕 帅 王 跃

责任校对: 焦 乐

高等学校土木工程专业“十三五”规划教材

高校土木工程专业规划教材

建筑结构抗震设计

张荣兰 陈桂平 主 编

尹红宇 支正东 朱 华 副主编

*

中国建筑工业出版社出版、发行 (北京海淀三里河路 9 号)

各地新华书店、建筑书店经销

霸州市顺浩图文科技发展有限公司制版

北京京华铭诚工贸有限公司印刷

*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 17 字数: 420 千字

2018 年 12 月第一版 2018 年 12 月第一次印刷

定价: 42.00 元 (赠课件)

ISBN 978-7-112-23033-4

(33114)

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)

前 言

本书根据高等学校土木工程学科专业指导委员会对土木工程专业的培养要求和结构抗震设计课程教学大纲要求,结合《建筑抗震设计规范》GB 50011—2010(2016年版)和《中国地震动参数区划图》GB 18306—2015等国家新规范进行编写。

与已出版同类代表性教材比较,具有以下改革思路:

(1) 规范《中国地震动参数区划图》GB 18306—2015于2016年6月1日实施。《建筑抗震设计规范》GB 50011—2010(2016年版)做了修订。

(2) 主编发表过“基于OBE模式在建筑结构抗震设计课程中的实践”教研论文,且完成了教育部土木工程专业认证中“建筑结构抗震设计”课程达成度分析,同时熟悉培养计划、课程大纲、应用型学生学什么、需要何种教材、教材内容等。

(3) 本书来源工程实践、根据新规范编写所有章节内容,建筑结构抗震设计课程内容包括:课程理论、诸多例题、工程实例抗震图纸,还包括桩基础抗震等。

(4) 插图根据新图集《混凝土结构施工图平面整体表示方法制图规则和构造详图(现浇混凝土框架、剪力墙、梁、板)》16G101-1编写。

(5) 主编有经验丰富的企业专家。

与已出版同类代表性教材比较,主要特色与创新表现在:

(1) 按《建筑抗震设计规范》GB 50011—2010(2016年版)和《中国地震动参数区划图》GB 18306—2015编写。

(2) 本书体现应用型本科教学,方便消化和理解理论,附有诸多例题和工程插图。

(3) 内容全面,书中还包括浅基础和桩基础抗震内容。

(4) 具有较成熟的在线课程建设基础——盐城工学院天空教室,具备较丰富的数字资源库(如教学大纲、电子教案、教学设计、学习目标、重点难点、习题解答、多媒体课件等)。

本书内容全面,可满足各层次学生学习,还可作为注册工程师考试和工程设计人员参考教材。

本书在编写过程中,学习和参考了已出版的大量教材和论著,谨向原编著者致以诚挚的谢意。感谢盐城工学院教材基金资助出版赞助。

本书由盐城工学院土木工程学院张荣兰副教授、盐城市建筑设计研究院有限公司陈桂平高级工程师担任主编,由盐城工学院土木工程学院朱华教授、尹红宇副教授、支正东副教授担任副主编。具体分工如下:第1章、第4章、附录由张荣兰编写,第2章由陈桂平编写,第5章、第6章由尹红宇编写,第7章由朱华编写,第3章、第8章、第9章由支正东编写。全书由张荣兰负责统稿。

限于时间和水平,书中的疏漏和不妥之处,敬请读者批评指正。

编 者

2018年11月

目 录

第 1 章 地震及结构抗震的基本知识	1
1.1 地震成因与地震类型	2
1.1.1 地球构造	2
1.1.2 地震的发生过程	2
1.1.3 地震的成因与类型	3
1.2 地震波及其传播	3
1.2.1 体波	3
1.2.2 面波	4
1.2.3 地震波的主要特性及其在工程中的应用	4
1.3 地震震级与地震烈度	6
1.3.1 地震震级	6
1.3.2 地震烈度	7
1.3.3 震级与震中烈度的关系	9
1.4 中国地震的特点与地震灾害	9
1.4.1 中国的地震活动与分布	9
1.4.2 中国地震活动的主要特点	10
1.4.3 中国的地震灾害	11
1.5 结构的抗震设防	13
1.5.1 抗震设防类别	13
1.5.2 抗震设防标准	13
1.5.3 抗震设防的目标	14
1.5.4 抗震设防目标的实现	15
1.5.5 建筑结构抗震设计的基本要求	16
1.6 抗震例题	17
思考题与习题	18
第 2 章 场地、地基和基础	21
2.1 工程地质条件对震害的影响	22
2.1.1 局部地形条件的影响	22
2.1.2 局部地质构造的影响	22
2.1.3 地下水位的影响	22
2.2 场地	22
2.2.1 场地土	22
2.2.2 场地覆盖层厚度	23
2.2.3 土层的等效剪切波速	24
2.2.4 场地类别	24
2.3 地基及基础的抗震验算	25

2.3.1 天然地基的抗震能力	25
2.3.2 天然地基的抗震验算	26
2.4 液化土	27
2.4.1 地基土的液化现象	27
2.4.2 地基土的液化判别	28
2.5 地基抗震措施及处理	32
2.5.1 可液化地基的抗震措施及处理	32
2.5.2 其他地基的抗震措施及处理	34
2.6 桩基抗震验算	35
2.6.1 可不进行桩基抗震承载力验算的建筑	35
2.6.2 桩基的抗震验算原则	35
2.7 抗震例题	36
思考题与习题	40
第3章 抗震概念设计的基本原则	45
3.1 概念设计、计算设计和构造设计	46
3.2 场地与地基	46
3.3 建筑形体的规则性	47
3.3.1 抗震设计中的建筑形体和布置	47
3.3.2 平面布置	48
3.3.3 竖向布置	51
3.3.4 不规则程度的划分	54
3.3.5 防震缝	54
3.4 抗震结构体系	55
3.4.1 应具有明确的计算简图和合理的地震作用传递途径	55
3.4.2 合理的刚度和承载力分布	56
3.4.3 多道抗震防线	56
3.4.4 避免竖向承载力与刚度突变	58
3.4.5 结构构件应注意强度、刚度和延性之间的合理均衡	59
3.4.6 确保结构的整体性, 加强构件间的连接	60
3.5 结构分析	61
3.6 结构材料与施工	62
3.7 建筑抗震性能化设计	63
3.8 抗震例题	65
思考题与习题	68
第4章 结构地震反应分析与抗震计算	73
4.1 概述	74
4.1.1 结构地震反应	74
4.1.2 地震作用	74
4.1.3 结构动力计算简图及体系自由度	74
4.2 单自由度体系的弹性地震反应分析	75
4.2.1 运动方程	75
4.2.2 运动方程的解	76
4.3 单自由度体系的水平地震作用与反应谱	80

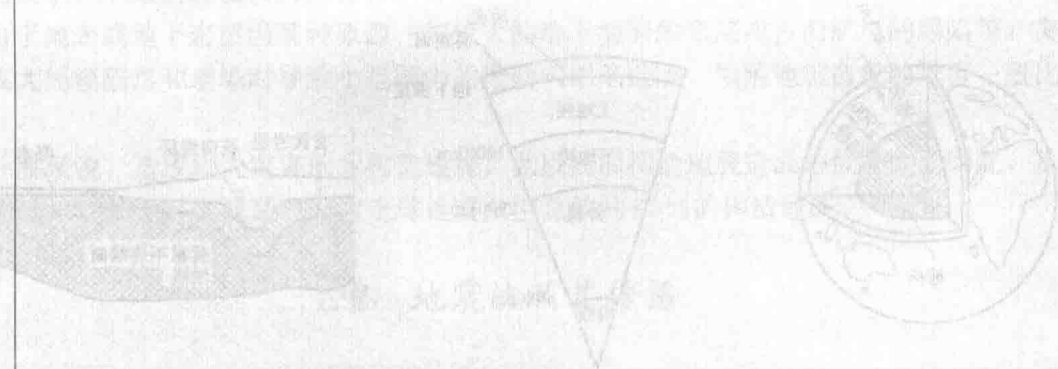
4.3.1	水平地震作用的定义	80
4.3.2	地震反应谱	80
4.3.3	设计反应谱	81
4.3.4	建筑物的重力荷载代表值	90
4.4	多自由度弹性体系的地震反应分析	92
4.4.1	多自由度弹性体系的运动方程	92
4.4.2	多自由度体系的自由振动	93
4.4.3	地震反应分析的振型分解法	96
4.5	多自由度弹性体系的最大地震反应与水平地震作用	97
4.5.1	振型分解反应谱法	98
4.5.2	《抗规》振型分解反应谱法	99
4.5.3	楼层最小地震剪力的规定	101
4.5.4	底部剪力法	102
4.5.5	楼层地震剪力的分配	105
4.5.6	地基与结构相互作用的考虑	105
4.5.7	多自由度体系地震反应的时程分析	106
4.6	竖向地震作用计算	108
4.7	结构抗震验算	111
4.7.1	结构抗震计算的一般原则	111
4.7.2	可不进行截面抗震验算的结构	111
4.7.3	截面抗震验算	111
4.7.4	抗震变形验算	113
4.8	抗震例题	116
	思考题与习题	125
第5章	混凝土结构房屋抗震设计	133
5.1	抗震设计的一般要求	134
5.1.1	抗震等级	137
5.1.2	防震缝	139
5.1.3	设计原则	139
5.2	框架结构的抗震设计	141
5.2.1	框架结构的抗震计算	141
5.2.2	框架的基本抗震构造措施	151
5.3	抗震墙结构的抗震设计	157
5.3.1	抗震墙结构的抗震计算	157
5.3.2	抗震墙结构的基本抗震构造措施	162
5.4	框架-抗震墙结构的抗震设计	165
5.4.1	框架-抗震墙结构的抗震性能	165
5.4.2	框架-抗震墙结构的抗震设计	166
5.4.3	框架-抗震墙结构的构造措施	167
5.5	抗震例题	167
	思考题与习题	174
第6章	砌体结构房屋抗震设计	177
6.1	一般规定	178

6.1.1 多层砌体房屋的建筑布置和结构体系要求	181
6.1.2 多层房屋的层数和高度要求	181
6.1.3 房屋层高要求	182
6.1.4 房屋高宽比要求	182
6.1.5 房屋抗震横墙的间距	182
6.1.6 多层砌体房屋中砌体墙段的局部尺寸限值	182
6.1.7 底部框架-抗震墙砌体房屋的结构布置要求	182
6.2 多层砌体房屋的抗震验算	183
6.2.1 水平地震作用和层间剪力的计算	184
6.2.2 楼层水平地震剪力在各抗侧力墙体间的分配	184
6.2.3 墙体截面的抗震受剪承载力验算	186
6.3 多层砖砌体房屋抗震构造措施	188
6.3.1 构造柱设置要求	188
6.3.2 构造柱构造要求	188
6.3.3 圈梁设置要求	189
6.3.4 圈梁构造要求	190
6.3.5 多层砖砌体房屋的其他要求	190
6.4 多层砌块房屋抗震构造措施	191
思考题与习题	193
第7章 钢结构房屋抗震设计	195
7.1 钢结构房屋的震害	196
7.2 高层钢结构房屋抗震设计	196
7.2.1 高层钢结构体系	196
7.2.2 高层建筑钢结构抗震设计	199
7.3 钢构件及其连接的抗震设计	202
7.3.1 钢梁的抗震设计	202
7.3.2 钢柱的抗震设计	203
7.3.3 支撑构件的抗震设计	203
7.3.4 梁与柱的连接抗震设计	206
思考题与习题	210
第8章 结构隔震与消能减震设计的基础知识	211
8.1 概述	212
8.1.1 结构隔震	212
8.1.2 结构消能减震	212
8.2 建筑结构的基础隔震	213
8.2.1 隔震装置	214
8.2.2 隔震房屋的设计原理和设计要求	215
8.3 建筑结构的消能减震	219
8.3.1 消能减震技术的特点	219
8.3.2 消能减震装置	220
8.3.3 消能减震建筑工程的设计要点	223
8.4 抗震例题	226
思考题与习题	228

第9章 非结构构件抗震设计	229
9.1 概述	230
9.2 抗震计算要点	231
9.3 建筑非结构构件的基本抗震措施	234
9.4 建筑附属机电设备支架的基本抗震措施	236
9.5 考虑附属设备与结构共同工作的简化抗震分析方法	237
9.5.1 计算设备地震反应的时程分析法	237
9.5.2 楼面设备地震反应的实用计算方法	238
9.6 抗震设计例题	238
思考题与习题	240
附录A 建筑结构抗震设计——小设计	241
附录B 部分思考题与习题答案	249
参考文献	261

第1章

地震及结构抗震的基本知识



地震是地壳内部能量积累到一定程度后，突然释放出来，引起地壳局部区域发生快速、强烈振动的一种自然现象。地震发生时，震源处释放出的能量以地震波的形式向四面八方传播，当这些地震波传播到地表时，会引起地面的振动，这就是我们感受到的地震。地震的震源深度、震级、震中位置等因素都会影响地震的破坏程度。结构抗震的基本知识包括地震的成因、地震波的传播、地震的预测、地震的防治等方面。本章将介绍地震的基本概念、地震的成因、地震波的传播、地震的预测、地震的防治等方面的知识。

地震的成因：地震是由于地壳内部能量的积累和释放引起的。地壳内部存在着各种应力，当这些应力积累到一定程度时，就会发生断裂，释放出能量，引起地震。地震的成因可以分为构造地震、火山地震、塌陷地震、诱发地震等。

地震波的传播：地震发生时，震源处释放出的能量以地震波的形式向四面八方传播。地震波可以分为纵波（P波）和横波（S波）。纵波的传播速度较快，可以在固体、液体和气体中传播；横波的传播速度较慢，只能在固体中传播。地震波的传播会引起地面的振动，这就是我们感受到的地震。

地震的预测：地震的预测是指在地震发生之前，通过观测地壳内部的变化，预测地震发生的时间、地点和震级。地震的预测可以分为短期预测和长期预测。短期预测是指在地震发生前几个月或几年内，预测地震发生的时间、地点和震级；长期预测是指在地震发生前几十年或几百年内，预测地震发生的时间、地点和震级。

地震的防治：地震的防治是指通过采取各种措施，减少地震对人类社会造成的破坏。地震的防治可以分为工程抗震和非工程抗震。工程抗震是指通过采取各种工程措施，提高建筑物的抗震能力，减少地震对建筑物的破坏；非工程抗震是指通过采取各种非工程措施，减少地震对人类社会造成的破坏，如加强地震知识的宣传、建立地震预警系统等。

1.1 地震成因与地震类型

地震是一种自然现象。据统计,全世界每年发生的地震达 500 万次,绝大多数地震由于发生在地球深处或者它所释放的能量小而使人们难以感觉到。人们能感觉到的地震叫有感地震,占地震总数的 1% 左右。造成灾害的强烈地震则为数更少,平均每年发生十几次。强烈地震会引起地震区地面剧烈摇晃和颠簸,并会危及人民生命财产安全和造成工程建筑物的破坏。地震还可能引起火灾、水灾、山崩、滑坡以及海啸。这些现象都会给人类造成灾难。

1.1.1 地球构造

地球是一个近似于球体的椭球体,平均半径约 6370km,赤道半径约 6378km,两极半径约 6357km。从物质成分和构造特征来划分,地球可分为地壳、地幔和地核,如图 1-1 所示。

地壳是地球外表面的一层很薄的外壳,它由各种不均匀的岩石组成。地壳的下界称为莫霍界面,或称莫霍不连续面。地壳的厚度在全球变化很大,大陆内一般厚 16~40km,高山地区厚度更大,中国西藏高原及天山地区厚达 70km。海洋下面厚度最小,一般为 10~15km,最薄的约 5km,世界上绝大部分地震都发生在这一层薄薄的地壳内。地壳表面为沉积层,陆地下面主要有花岗岩层和玄武岩层,海洋下面的地壳一般只有玄武岩层。

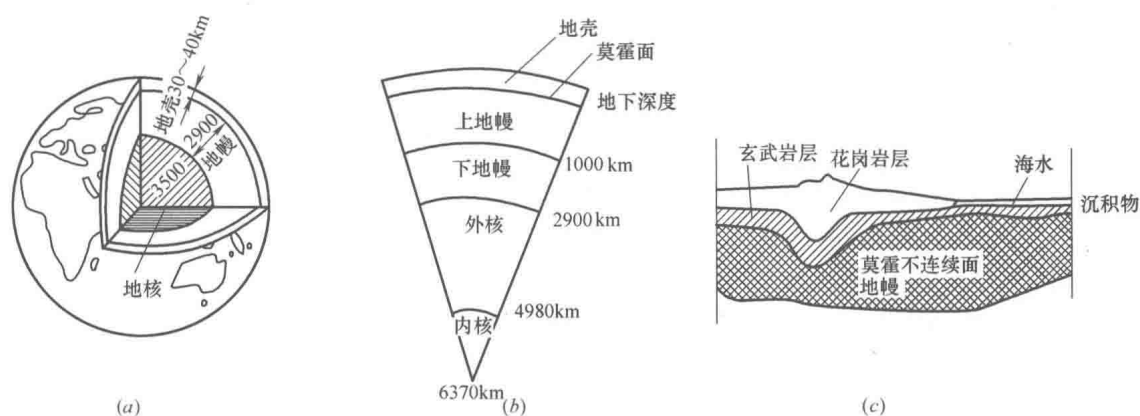


图 1-1 地球断面与地壳剖面

(a) 地球断面; (b) 分层结构; (c) 地壳剖面

地壳以下到深度约 2895km 的古登堡界面为止的部分为地幔,约占地球体积的 5/6。地幔由密度较大的黑色橄榄岩等超基性岩石组成,其中上地幔物质结构不均匀,中、下地幔部分是比较均匀的。由于地幔能传播横波(剪切波),所以根据推算,地幔应为固体。

古登堡界面以下直到地心的部分为地核,地核半径约为 3500km,又可分为外核和内核。据推测,地核的物质成分主要为镍和铁。由于至今还没有发现有地震横波通过外核,故推断外核处于液态,而内核可能是固态。

1.1.2 地震的发生过程

地震就是地球内某处岩层突然破裂,或因局部岩层塌陷、火山爆发等发生了振动,并

以波的形式传到地表引起地面的颠簸和摇晃，从而引起了地面的运动。发生地震的地方叫震源。震源是有一定范围的，但地震学里常常把它当作一个点来处理，这是因为地震学考虑的是大范围的问题，震源相对来说很小，可以当作一个点。震源在地表的投影叫震中。震源至地面的垂直距离叫震源深度。通常把震源深度在 60km 以内的地震叫浅源地震，60~300km 以内的叫中源地震，300km 以上的叫深源地震。

世界上绝大部分地震是浅源地震，震源深度集中在 5~20km 之间，中源地震比较少，而深源地震为数更少。中国东北吉林省东部地区曾发生过深源地震。一般来说，对于同样大小的地震，当震源较浅时，波及范围较小，而破坏程度较大；当震源深度较大时，波及范围则较大，而破坏程度相对较小，深度超过 100km 的地震在地面上不会引起灾害。

1.1.3 地震的成因与类型

地震按成因来可分为构造地震、火山地震、塌陷地震等，此外，水库也能诱发地震，核爆炸可能在场地激发地震。

构造地震是由于地应力在某一地区逐渐增加，岩石变形也不断增加，到一定时候，在岩石比较薄弱的地方突然发生断裂错动，部分应变能突然释放，其中一部分能量以波的形式在地层中传播，这就产生了地震。构造地震发生断裂错动的地方形成断层，叫做发震断层，以区别于其他一些由于地震地面运动而造成的断层。构造地震常常发生在已有的断层上，这是因为这些地方既是应力集中的地方，又是岩石强度低的地方。

由于火山爆发，岩浆猛烈冲击地面时引起的地面震动叫做火山地震，火山地震的影响一般比较小，不致引起较大的灾害。

由于地表或地下岩层因某种原因（如较大的地下溶洞的塌陷或古旧矿坑的塌陷等）突然造成大规模陷落和崩塌时导致小范围内的振动叫塌陷地震，塌陷地震造成的危害一般比较小。

一般来说，造成较大灾害的为构造地震，尤以浅源构造地震造成的危害大。因此，从工程抗震角度来说，主要是研究占全球地震发生总数约 90% 的构造地震。

1.2 地震波及其传播

地震发生时，震源岩石断裂错动，其能量以波动形式向各方向传播，这种波就是地震波，如图 1-2 所示。地震波是震源辐射的弹性波，一般分为体波和面波。体波是纵波和横波的总称，包括原生体波和各种折射、反射及其转换波。面波为次生波，一般指勒夫（Love）波和瑞利（Rayleigh）波。下面分别介绍这两种波的主要特性。

1.2.1 体波

体波是指通过地球本体内传播的波，它包含纵波与横波两种。

纵波是由震源向外传递的压缩波，质点的振动方向与波的前进方向一致，如图 1-3 所示，一般表现出周期短、振幅小的特点。

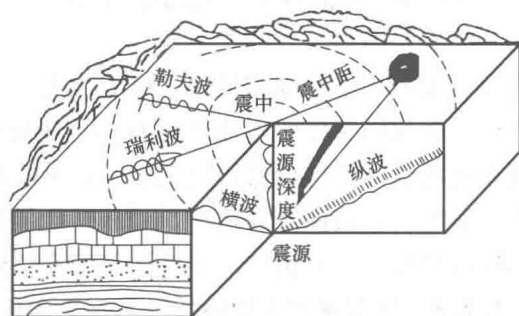


图 1-2 地震波

纵波的传播是介质质点间弹性压缩与张拉变形相间出现、周而复始的过程，因此，纵波在固体、液体里都能传播。纵波波速快，在地壳内一般以 $v_P = 500 \sim 600 \text{ m/s}$ 的速度传播，能引起地面上下颠簸（竖向振动）。

横波是由震源向外传递的剪切波，质点的振动方向与波的前进方向垂直，如图 1-4 所示，一般表现为周期长、振幅较大的特点。由于横波的传播过程是介质质点不断受剪变形的过程，因此横波只能在固体介质中传播。横波波速慢，在地壳内一般以 $v_S = 300 \sim 400 \text{ m/s}$ 的速度传播，能引起地面摇晃（水平振动）。可见，纵波比横波传播速度要快。



图 1-3 纵波 (P 波)

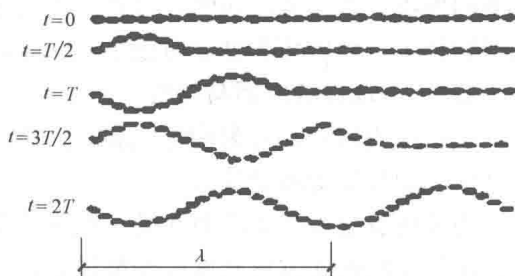


图 1-4 横波 (S 波)

一般情况下，纵波传播速度比横波传播速度要快，在仪器观测到的地震记录图上，一般也是纵波先于横波到达。因此，通常也把纵波叫 P 波 (Primary wave)，把横波叫 S 波 (Secondary wave)。

1.2.2 面波

面波是指沿介质表面（或地球地面）及其附近传播的波，又称 L 波，一般可以认为是体波经地层界面多次反射形成的次生波，它包含瑞利波和勒夫波两种。

地震瑞利波是纵波 (P 波) 和横波 (S 波) 在固体层中沿界面传播相互叠加的结果。瑞利波传播时，质点在波的传播方向与地表面法向组成的平面内做逆进椭圆运动，如图 1-5 所示。瑞利波在震中附近并不出现，要离开震中一段距离才形成，而且其振幅沿径向按指数规律衰减。

勒夫波的形成与波在自由表面的反射和波在两种不同介质界面上的反射、折射有关。勒夫波的传播，类似于蛇行运动，质点在与波传播方向相垂直的水平方向作剪切型运动，如图 1-6 所示。质点在水平向的振动与波行进方向并合后会产生水平扭转分量，这是勒夫波的一个重要特点。

地震波的传播以纵波最快，横波次之，面波最慢。面波振幅大、周期长，只在地表附近传播，振幅随深度的增加迅速减小，速度约为横波的 90%，面波比体波衰减慢，能传播到很远的地方。所以在地震记录上，纵波最先到达，横波到达较迟，面波在体波之后到达，一般当横波或面波到达时，地面振动最强烈。地震波记录是确定地震发生的时间、震级和震源位置的重要依据，也是研究工程结构物在地震作用下的实际反应的重要资料。

1.2.3 地震波的主要特性及其在工程中的应用

由震源释放出来的地震波传到地面后引起地面运动，这种地面运动可以用地面上质点的加速度、速度或位移的时间函数来表示，用地震仪记录到的这些物理量的时程曲线习惯上又称为地震加速度波形、速度波形和位移波形。我国在 2008 年 5 月 12 日汶川地震中记

录到的加速度时程曲线,如图 1-7 所示,是我国近年来记录到的最有价值的地震地面运动记录之一。在目前的结构抗震设计中,常用到的则是地震加速度波形,以下就地震加速度波形的一些特性作简单的介绍。

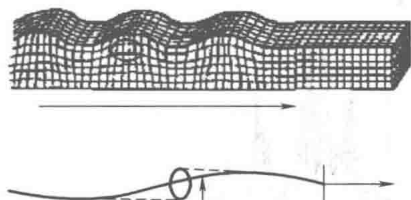


图 1-5 瑞利波

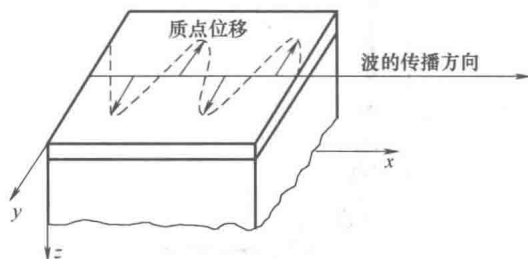


图 1-6 勒夫波

1. 地震加速度波形的最大幅值

最大幅值是描写地震地面运动强烈程度的最直观的参数,尽管用它来描写地震波的特性时还存在一些问题,但在工程实际中得到最普遍的接受与应用。在抗震设计中对结构进行时程反应分析时,往往要给出输入的最大加速度峰值。在设计用反应谱中,地震影响系数的最大值也与地面运动最大加速度峰值直接相关。

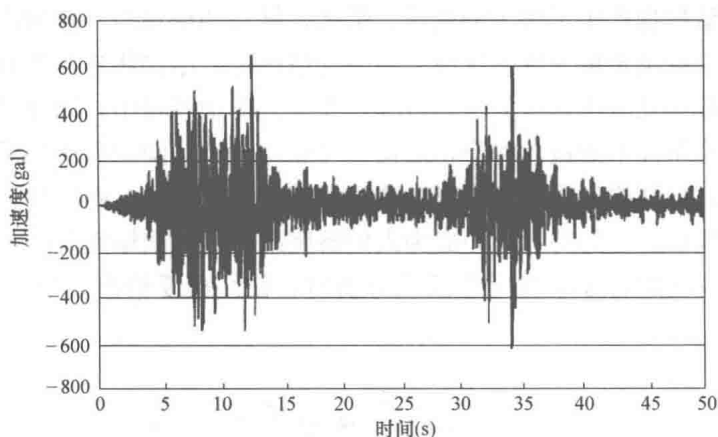


图 1-7 汶川地震中记录到的加速度时程曲线

2. 地震加速度波形的频谱特性

对时域的地震加速度波形进行变换,就可以了解这种波形的频谱特性,频谱特性可以用功率谱、反应谱和傅立叶谱来表示。图 1-8 和图 1-9 是根据日本一批强地震记录求得的功率谱,它们是同一地震、震中距近似相同而地基类型不同的情况,显示出硬土、软土的功率谱成分有很大不同,即软土地基上地震加速度波形中长周期分量比较显著;而硬土地基上地震加速度波形则包含着多种频谱成分,一般情况下,短周期的分量比较显著。利用这一概念,在设计结构物时,人们就可以根据地基土的特性,采取刚柔不同的体系,以减少地震引起结构物共振的可能性,减少地震造成的破坏。

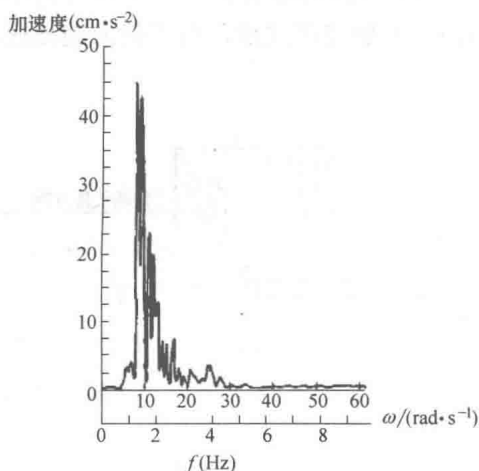


图 1-8 软土地基功率谱示意图

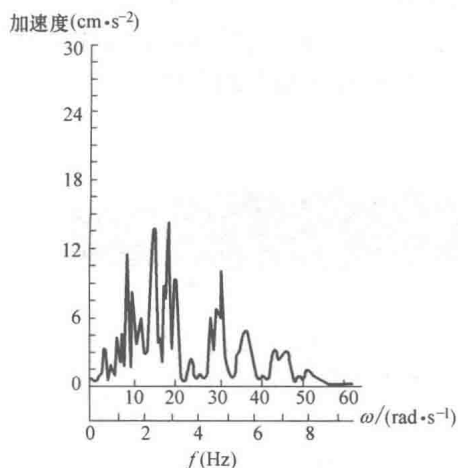


图 1-9 硬土地基功率谱示意图

3. 地震加速度波形的持续时间

人们很早就从震害经验中认识到了强震持续时间对结构物破坏的重要影响,并且认识到这种影响主要表现在结构物开裂以后的阶段。在地震地面运动的作用下,一个结构物从开裂到全部倒塌一般是有一个过程的,如果结构物在开裂后又遇到了一个加速度峰值很大的地震脉冲并且结构物产生了很大的变形,那么,结构的倒塌与一般的静力试验中的现象比较相似,即倒塌取决于最大变形反应。另一种情况是,结构物从开裂到倒塌,往往要经历几次、几十次甚至几百次的反复振动过程,在某一振动过程中,即使结构最大变形反应没有达到静力试验条件下的最大变形,结构也可能由于长时间的振动和反复变形而发生倒塌破坏。很明显,在结构已发生开裂时,连续振动的时间越长,则结构倒塌的可能性就越大。因此,地震地面运动的持续时间成为人们研究结构物抗倒塌性能的一个重要参数。在抗震设计中对结构物进行非线性时程反应分析时,往往也要给出一个加速度波形的持续时间。

1.3 地震震级与地震烈度

1.3.1 地震震级

地震震级是表征地震强弱的指标,它是地震的基本参数,也是地震预报和其他有关地震工程学研究中的一个重要参数。地震震级的最早定义由美国的里克特 (C. F. Richter) 给出,计算震级 M 的公式为:

$$M = \log A \quad (1-1)$$

式中 A ——地震记录的最大幅值。

里克特规定:用标准地震仪(周期 0.8s, 阻尼系数 0.8, 放大倍率 2800 倍),在震中距 100km 处,以微米为单位的最大水平地动位移(振幅)。例如,在距震中 100km 处地震仪记录的振幅是 100mm,即 100000 μ m,则 $M = \log A = \log 100000 = 5$ 。

地震是地震释放多少能量的尺度,因此,一次地震只有一个震级。震级和震源释放的

能量 E 之间有如下对应关系 $\log E=1.5M+11.8$ ，震级每差一级，地震释放的能量将差 32 倍。

一般来说，小于 2 级的地震人们感觉不到，只有仪器才能记录下来，叫做微震；2~4 级地震人就感觉到了，叫做有感地震；5 级以上地震就要引起不同程度的破坏，统称为破坏性地震；7 级以上地震则称为强烈地震。

1.3.2 地震烈度

地震烈度是地震对地面影响的强烈程度，主要依据宏观的地震影响和破坏现象，如从人们的感觉、物体的反应、房屋建筑物的破坏和地面现象的改观（如地形、地质、水文条件的变化）等方面来判断。因此，地震烈度是表示某一区域范围内地面和各种建筑物受到一次地震影响的平均强弱程度的一个指标。这一指标反映了在一次地震中一定地区内地震动多种因素综合强度的总平均水平，是地震破坏作用大小的一个总评价。地震烈度把地震的强烈程度，从无感到建筑物毁灭及山河改观等划分为若干等级，列成表格，以统一的尺度衡量地震的强烈程度。表 1-1 为 2008 年颁布的中国地震烈度表。

中国地震烈度表（2008 年）表 1-1

烈度	在地面上人的感觉	房屋震害程度		其他震害现象	水平向地面运动	
		震害现象	平均震害指数		峰值加速度(m/s ²)	峰值速度(m/s)
I	无感					
II	室内个别静止中人有感觉					
III	室内少数静止中人有感觉	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	室内普遍、室外多数人有感觉，多数人梦中惊醒	门窗、屋顶颤动作响，灰土掉落，抹灰出现微细裂缝，有檐瓦掉落，个别屋顶烟囱掉砖		不稳定器物摇动或翻倒	0.31 (0.22~0.44)	0.03 (0.02~0.04)
VI	多数人站立不稳，少数人惊逃户外	损坏墙体出现裂缝，檐瓦掉落，少数屋顶烟囱裂缝、掉落	0~0.10	河岸和松软土出现裂缝，饱和砂层出现喷砂冒水；有的独立砖烟囱轻度裂缝	0.63 (0.45~0.89)	0.06 (0.05~0.09)
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	轻度破坏——局部破坏，开裂，小修或不需要修理可继续使用	0.11~0.3	河岸出现坍方；饱和砂层常见喷砂冒水，松软土地上地裂缝较多；大多数独立砖烟囱中等破坏	1.25 (0.90~1.77)	0.13 (0.10~0.18)
VIII	多数人摇晃颠簸，行走困难	中等破坏——结构破坏，需要修复才能使用	0.31~0.5	干硬土上亦出现裂缝；大多数独立砖烟囱严重破坏；树梢折断；房屋破坏导致人畜伤亡	2.50 (1.78~3.53)	0.25 (0.19~0.35)

续表

烈度	在地面上人的感觉	房屋震害程度		其他震害现象	水平向地面运动	
		震害现象	平均震害指数		峰值加速度(m/s^2)	峰值速度(m/s)
IX	行动的人摔倒	严重破坏——结构严重破坏,局部倒塌,修复困难	0.51~0.7	干硬土上出现地方有裂缝;基岩可能出现裂缝、错动;滑坡塌方常见;独立砖烟囱倒塌	5.00 (3.54~7.07)	0.50 (0.36~0.71)
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	大多数倒塌	0.71~0.9	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倒毁	10.00 (7.08~14.14)	1.00 (0.72~1.41)
XI		普遍倒塌	0.91~1	地震断裂延续很长;大量山崩滑坡		
XII				地面剧烈变化,山河改观		

关于各种烈度划分的说明如下:

(1) I~V度以人的感觉为主;VI~X度以房屋震害为主,人的感觉仅作参考;XI度和XII度以房屋和地表现象为主。

(2) 一般房屋包括用木构架和土、石、砖墙构造的旧式房屋和单层或多层的新式砖房。对于质量特别差或特别好的房屋,可根据具体情况,对烈度表所列各烈度的震害程度和震害指数予以提高或降低。

(3) 震害指数以“完好”为0,“全毁”为1,中间按轻重分级;平均震害指数为各级震害指数与相应破坏率(%)乘积的总和。

(4) 震害程度分类如下:

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,震害指数0~0.1。

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,震害指数0.1~0.3。

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,需要一般修理后可使用,震害指数0.3~0.55。

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,震害指数0.55~0.85。

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,震害指数0.85~1。

(5) 使用时可根据具体情况,做出临时的补充规定。

(6) 在农村可以自然村为单位,在城镇可以分区进行烈度的评定,但面积以 1km^2 左右为宜。

(7) 烈度表数量词的含义:个别指10%下;少数指10%~45%;多数指40%~