



高等学校教材

# 桥梁抗震

叶爱君 编著  
范立础 主审



人民交通出版社  
China Communications Press

责任编辑 / 曲 乐 林道锦  
封面设计 / 彭小秋

ISBN 7-114-04408-9



9 787114 044083 >

ISBN 7-114-04408-9

U · 03249

定价：15.00 元

高等学校教材

Qiaoliang Kangzhen

# 桥梁抗震

叶爱君 编著  
范立础 主审

人民交通出版社

## 内 容 提 要

本书为面向二十一世纪交通版高等学校教材,全书以通俗易懂的语言,并借助大量的插图,系统地介绍了桥梁抗震的基础知识、设计方法和具体过程,是学习桥梁抗震的入门用书。本书注重实用性,同时也力求反映桥梁抗震研究的最新成果,内容包括:地震概述、桥梁震害、桥梁抗震概论、桥梁工程抗震设计、桥梁延性抗震设计、桥梁减隔震设计以及桥梁抗震设计示例,最后简单介绍了桥梁抗震设计方法的发展趋势。

本书作为高等院校桥梁专业教材,也可供从事桥梁工程的技术人员学习参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

桥梁抗震 / 叶爱君编著. —北京:人民交通出版社,  
2002.9

ISBN 7-114-04408-9

I. 桥... II. 叶... III. 桥梁结构—抗震设计  
IV. U442.5

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2002) 第 058894 号

高等学校教材

桥梁抗震

叶爱君 编著

范立础 主审

正文设计:彭小秋 责任校对:尹 静 责任印制:杨柏力

人民交通出版社出版发行

(100013 北京和平里东街 10 号 010 64216602)

各地新华书店经销

北京凯通印刷厂印刷

开本:787×1092 1/16 印张:7.25 字数:155 千

2002 年 9 月 第 1 版

2002 年 9 月 第 1 版 第 1 次印刷

印数:0001—3500 册 定价:15.00 元

ISBN 7-114-04408-9

U·03249

面向 21 世纪交通版

## 高等学校教材(公路与交通工程)编审委员会

**主任委员:**王秉纲(长安大学)

**副主任委员:**胡长顺(长安大学)

陈艾荣(同济大学)

王 炜(东南大学)

杜 颖(人民交通出版社)

**委 员:**周 伟(交通部交通科学研究院)

郑健龙(长沙交通学院)

张建仁(长沙交通学院)

刘小明(北京工业大学)

梁乃兴(重庆交通学院)

周志祥(重庆交通学院)

裴玉龙(哈尔滨工业大学)

黄 侨(哈尔滨工业大学)

钟 阳(哈尔滨工业大学)

黄晓明(东南大学)

叶见曙(东南大学)

赵明华(湖南大学)

郭忠印(同济大学)

杨晓光(同济大学)

王殿海(吉林大学)

徐 岳(长安大学)

符铎砂(华南理工大学)

**秘 书 长:**韩 敏(人民交通出版社)

# 目 录

第一章 地震概述	1
1.1 地震的初步知识	1
1.1.1 地球的构造	1
1.1.2 地震的成因和类型	2
1.2 地震震级与地震烈度	4
1.2.1 地震震级	4
1.2.2 地震烈度	4
1.2.3 震级与震中烈度的关系	5
1.3 地震波与地震动	5
1.3.1 地震波	5
1.3.2 地震动	7
1.4 地震分布	8
1.4.1 世界地震分布	8
1.4.2 我国地震分布	8
1.5 地震灾害	10
1.5.1 直接灾害	11
1.5.2 次生灾害	13
主要参考文献	13
第二章 桥梁震害	14
2.1 上部结构的震害	14
2.1.1 上部结构自身的震害	15
2.1.2 上部结构的移位震害	15
2.1.3 上部结构的碰撞震害	17
2.2 支座的震害	18
2.3 下部结构和基础的震害	20
2.3.1 桥梁墩柱的震害	20
2.3.2 框架墩的震害	22
2.3.3 桥台的震害	24
2.4 基础的震害	24
2.5 桥梁震害的教训及启示	24
主要参考文献	25
第三章 桥梁抗震概论	27
3.1 桥梁结构的抗震设防原则	27
3.1.1 抗震设防标准	27
3.1.2 抗震设防要求	28
3.2 结构抗震动力学初步概念	30

3.2.1	结构地震振动方程	30
3.2.2	结构动力特性	30
3.3	桥梁结构抗震计算的地震力理论	31
3.3.1	静力法	32
3.3.2	动力反应谱法	32
3.3.3	动态时程分析法	36
3.4	桥梁结构抗震设计的一般要求	37
	主要参考文献	38
<b>第四章</b>	<b>桥梁工程抗震设计</b>	<b>39</b>
4.1	桥梁工程抗震设计流程	39
4.2	抗震概念设计	40
4.3	地震反应分析	40
4.3.1	地震输入的确定	41
4.3.2	地震振动方程及结构力学模型的建立	42
4.3.3	地震反应分析	46
4.4	抗震验算	47
4.4.1	结构破坏准则	47
4.4.2	钢筋混凝土墩柱的抗弯能力验算	48
4.4.3	钢筋混凝土墩柱的抗剪强度验算	48
4.4.4	支座的抗震验算	50
4.5	抗震构造设计	51
	主要参考文献	52
<b>第五章</b>	<b>桥梁延性抗震设计</b>	<b>53</b>
5.1	延性的基本概念	53
5.1.1	延性的定义	53
5.1.2	延性指标	54
5.1.3	延性、位移延性系数与变形能力	55
5.1.4	曲率延性系数与位移延性系数的关系	55
5.1.5	桥梁结构的整体延性与构件局部延性的关系	57
5.2	延性对桥梁抗震的意义	58
5.3	延性抗震设计方法简介	58
5.3.1	能力设计方法	59
5.3.2	潜在塑性铰位置的选择	60
5.3.3	延性构件设计	61
5.3.4	能力保护构件设计	64
5.4	钢筋混凝土墩柱的延性设计	65
5.4.1	横向箍筋对混凝土的约束作用	65
5.4.2	钢筋混凝土墩柱的延性指标计算	66
5.4.3	钢筋混凝土墩柱的构造设计	68
	主要参考文献	69

<b>第六章 桥梁减隔震设计</b> .....	71
6.1 减隔震技术的原理 .....	71
6.1.1 减隔震技术的工作机理 .....	71
6.1.2 减隔震技术与延性抗震设计的比较 .....	72
6.2 减隔震装置与系统 .....	73
6.2.1 减隔震系统的组成 .....	73
6.2.2 常用减隔震装置简介 .....	73
6.3 减隔震技术的应用 .....	78
6.3.1 减隔震技术在国外桥梁工程中的应用 .....	78
6.3.2 减隔震技术在我国桥梁工程中的应用 .....	78
6.3.3 减隔震桥梁的震害教训 .....	79
6.4 桥梁减隔震设计原则 .....	79
6.4.1 减隔震技术的适用条件 .....	80
6.4.2 减隔震装置的选择 .....	80
6.4.3 减隔震装置的布置 .....	80
6.4.4 其它构件和细部构造的设计 .....	81
6.5 减隔震桥梁实例介绍 .....	81
6.5.1 日本宫川大桥 .....	81
6.5.2 美国 Sexton Creek 桥 .....	81
主要参考文献 .....	82
<b>第七章 桥梁抗震设计示例</b> .....	83
7.1 桥梁结构简介 .....	83
7.2 地震动输入 .....	84
7.3 “抗震”设计 .....	84
7.3.1 设计地震力计算 .....	84
7.3.2 固定墩的抗弯强度验算 .....	85
7.3.3 固定墩的延性能力检算 .....	85
7.3.4 固定墩的抗剪验算 .....	87
7.3.5 能力保护构件检算 .....	88
7.4 采用减隔震概念设计 .....	89
7.4.1 设计地震力计算 .....	89
7.4.2 墩柱的抗弯强度验算 .....	90
7.4.3 墩柱的抗剪强度验算 .....	90
7.4.4 支座及基础的检算 .....	90
7.5 两种抗震设计对策比较 .....	91
主要参考文献 .....	92
<b>编后语 桥梁抗震设计方法的发展趋势</b> .....	93
1. 基于性能的抗震设计思想 .....	93
2. 基于位移的抗震设计方法 .....	95
主要参考文献 .....	96



# 第一章 地震概述

地球表面无时无刻不在振动,就像人的脉搏一样,只要人活着,脉搏就永远跳动。地球也有像脉搏那样的连续不断的振动,叫做脉动。脉动以周期相近、振幅变化不大的波动形式出现。然而有时地球表面也会突然发生快速的颤动,这就是地震。强烈的地震会引起山崩地裂,河川倒流,房屋倒塌,交通中断,给人类带来巨大的灾难。

因此,地震是威胁人类的一种突如其来的自然灾害,人类必须和这种自然灾害进行斗争,即抗震。为了有效地进行抗震,工程技术人员就有必要对地震有一定的了解。为此,本章先简要地介绍一些关于地震的基本知识。

## 1.1 地震的初步知识

地震是地壳运动的一种表现,与地质构造有密切的关系。实际上,地球上每天都在发生地震。据统计,全世界每年大约发生 500 万次地震,但绝大多数是小地震,只有 1% 的地震是人们可以感觉到的,至于能造成破坏性灾害的地震则为数更少,平均每年十几次。

### 1.1.1 地球的构造

为了初步了解地震的发生和发展的规律,首先需要对地球的构造有个了解。

地球是一个外形略呈梨形的椭球体,平均半径约 6 400km。地球的内部构造,与鸡蛋十分相似,由地表至核心可分为性质不同的三层,如图 1.1 所示。最外层是相当薄的地壳,平均厚

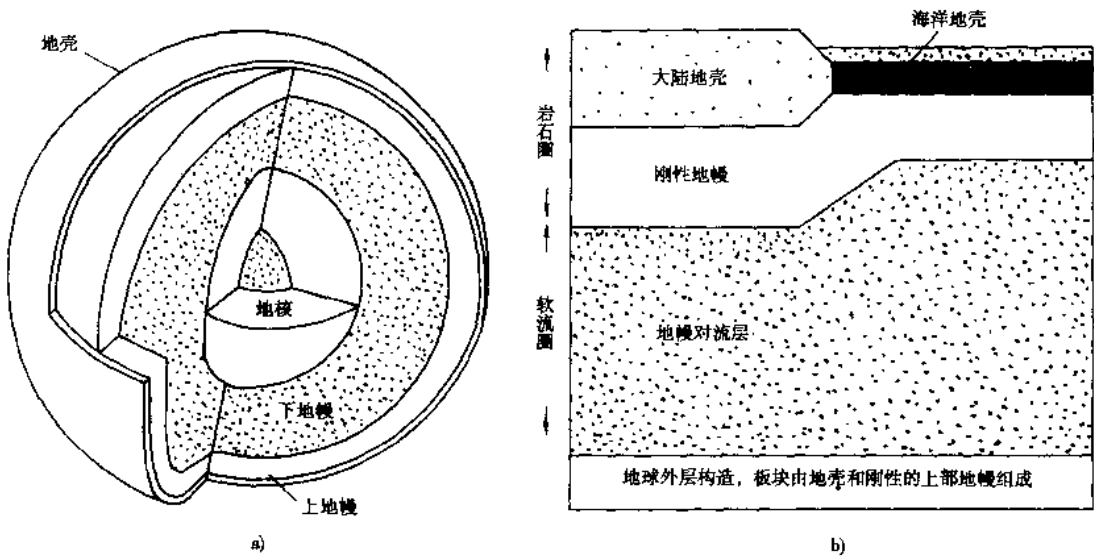


图 1.1 地球构造示意图  
a) 地球内部构造; b) 地球外层构造

度约为 30km, 只占地球体积的 0.5%; 其下为地幔, 厚约 2 900km, 约占地球总体积的 83.3%; 地壳与地幔的分界面称为莫霍面, 是一个地震波传播速度急剧变化的不连续面; 最上面的部分叫做地核, 半径约 3 470km。

地壳由很不均匀的岩石组成, 厚度也不均匀, 高山或高原处厚度可达 60~80km, 而在深海底只有 5~8km。世界上绝大多数的地震都发生在地壳这一层内。

一般认为, 地幔主要由质地非常坚硬、比重较大的黑色橄榄岩组成, 但其上部的几百公里内, 情况比较复杂。从莫霍面以下约 40~70km 内是刚性的岩石层, 它与地壳共同组成所谓的岩石圈。岩石圈以下存在着一个厚约几百公里的软流层, 称为软流圈。软流层内波速明显低于上下的岩层, 可能是由于该层因高温高压而具有粘弹或流变性质之故。岩石圈与软流圈合称为上地幔, 上地幔之下为下地幔。

地核是地球的核心, 体积占整个地球的 16.2%, 但总质量却占到整个地球的 31.5%。地核分为外核、过渡层和内核三层, 外核可能处于液态, 过渡层处于由液态向固态过渡的状态, 而内核可能是固态。据推测, 地核主要由铁、镍等物质组成, 内核的压力高达 360 万个大气压力, 温度高达 4 000~5 000℃。

### 1.1.2 地震的成因和类型

地震按其成因可分为: 火山地震、陷落地震、诱发地震和构造地震。

火山地震是由于火山活动而引起的地震, 一般影响范围较小, 发生的次数也较少, 约占全球地震总数的 7%。陷落地震是由于地层陷落引起的地震, 发生的次数更少, 约占全球地震总数的 3%, 引起的破坏也较小。诱发地震主要是地下核爆炸、水库蓄水、油田抽水和注水、矿山开采等活动引起的地震, 一般都不太强烈, 仅有个别情况(如水库地震)会造成较大破坏。构造地震则是地球内部岩层构造活动在某些阶段发生急剧变化时引起的。构造地震发生的次数最多(约为全球地震总数的 90%), 涉及的范围最广, 释放的能量最大, 造成的危害也最大, 是地震工程研究的主要对象。

构造地震的成因是: 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, 引起地面振动, 就产生了地震。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到达平衡。因此, 在一次强烈地震(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。

构造地震与地质构造密切相关。这种地震往往发生在地应力比较集中、构造比较脆弱的地段, 即原有断层的端点或转折处、不同断层的交汇处。

对于地应力的产生, 较为公认的是板块构造学说。这一学说认为, 地球表面的岩石层不是一个整体, 而是由六大板块和若干小块组成, 这六大板块是欧亚板块、太平洋板块、美洲板块、非洲板块、印澳板块和南极板块(图 1.2)。由于地幔软流层的对流, 带动着软流层上的这些板块异常缓慢而持久地相互运动着。但板块的边界是相互制约的, 因而板块之间处于拉伸、挤压和剪切状态, 从而产生了地应力。地球上的主要地震带就集中在这些大板块的交界地区。

地层构造运动中, 在断层形成的地方大量释放能量, 产生剧烈振动, 此处就叫震源。震源正上方的地面位置叫震中。震中与震源之间的距离叫做震源深度。建筑物与震中的距离叫做震中距。建筑物与震源的距离叫震源距。震中附近振动最剧烈的, 一般也就是破坏最严重的地区叫做震区。图 1.3 为震源、震源深度、震中和震中距的示意图。

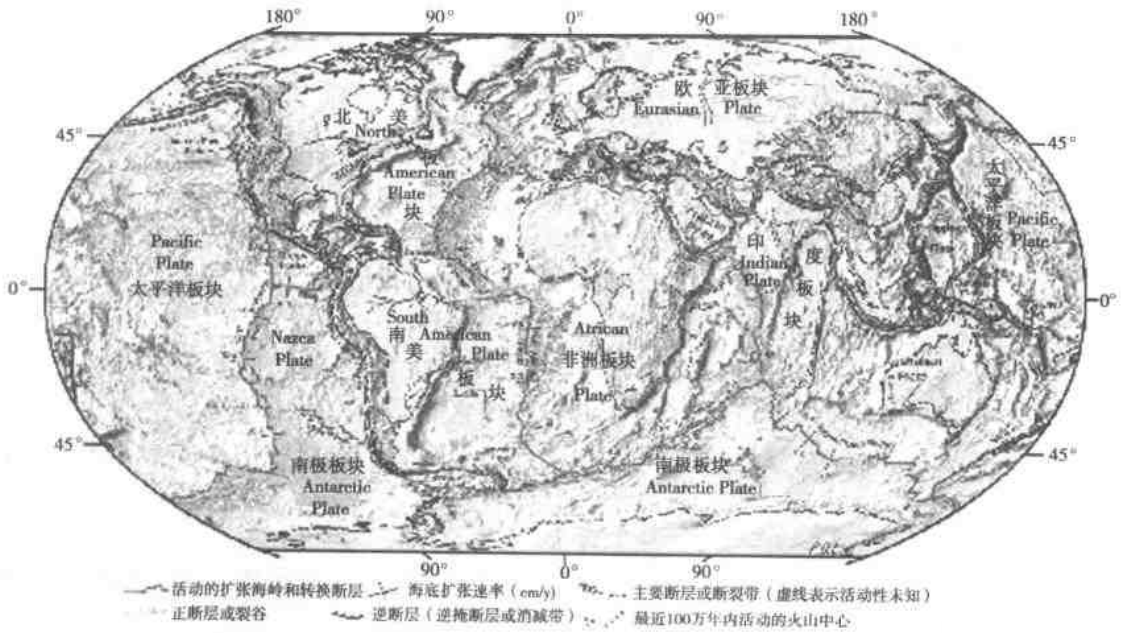


图 1.2 全球数字化板块构造运动图

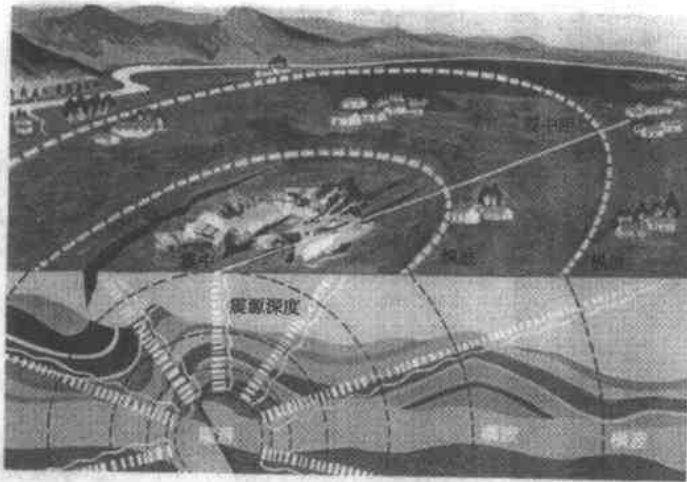


图 1.3 常用地震术语示意图

按震源的深浅,地震又可分为浅源地震(震源深度小于 60km)、中源地震(震源深度 60 ~ 300km)和深源地震(震源深度大于 300km)。其中,浅源地震造成的危害最大,当震源深度超过 100km 时,通常就不会在地面上造成震害。我国发生的地震,绝大多数是浅源地震,震源深度在 10 ~ 20km。目前世界上观测到的地震中,最大震源深度约为 720 km。

按震中距的远近,地震可分为地方震(震中距小于 100km)、近震(震中距为 100 ~ 1000km)和远震(震中距大于 1000km)。

## 1.2 地震震级与地震烈度

### 1.2.1 地震震级

地震的震级是衡量一次地震大小的等级,用符号  $M$  表示。

目前,国际上比较通用的是里氏震级(常用  $M_L$  表示),其原始定义是里克特(C. F. Richter)于 1935 年提出的。它的定义是:在离震中 100km 处用伍德-安德生(Wood-Anderson)式标准地震仪(摆的自振周期为 0.8s,阻尼系数为 0.8,放大倍数为 2800 倍)所记录到的最大水平地动位移[即振幅  $A$ ,以  $\mu\text{m}$ (微米)计,  $1\mu\text{m}$ (微米) =  $10^{-6}\text{m}$ ]的常用对数值,即:

$$M_L = \lg A$$

由于地震发生时不可能正好在 100km 处记录,而且所使用的仪器也不尽相同,所以一般需要根据震中距和使用的仪器对实测的震级进行适当的修正。

震级的大小直接与震源释放的能量有关。震级  $M$  与地震释放能量  $E$ (单位为“尔格”,1 尔格 =  $10^{-7}$  焦耳, J)之间有如下关系:

$$\lg E = 11.8 + 1.5M$$

由此可知,震级每差一级,地震释放的能量就相差 32 倍之多。据测算,一次 7 级地震释放的能量与四千万吨级的 TNT 炸弹爆炸释放的能量相当。

按震级的大小,地震可分为微震(震级小于 2 级)、有感地震(震级 2~5 级)、中强地震(震级 5~7 级)和强震(震级大于 7 级)。微震只有仪器才能记录到,有感地震一般人可以感觉到,中强地震能造成不同程度的破坏,而强震则往往具有巨大的破坏性。

### 1.2.2 地震烈度

地震烈度是用来衡量地震破坏作用大小的一个指标,它表示某一地区的地面和各类建筑物遭受某一次地震影响的强弱程度。对于一次地震来说,震级只有一个,烈度则随着地点的变化而有若干个。一般说来,震中的烈度最高,距震中越远,地震影响越小,烈度越低。但是,在某一流度区里,有时会因局部场地的地形、地质条件等的影响,出现局部烈度较高或较低的“烈度异常区”。

为评定地震烈度,就需要建立一个标准,这个标准就称为地震烈度表。它是以描述震害宏观现象为主的,即根据建筑物的破坏程度、地貌变化特征、地震时人的感觉、家具器物的反应等方面进行区分。目前,世界上绝大多数国家包括我国都采用 1~12 等级划分的地震烈度表。表 1.1 是我国 1980 年修订的地震烈度表中关于 6、7、8、9 度部分。

中国地震烈度表(1980年)(节选)

表 1.1

烈度	人的感觉	一般房屋		其它现象	参考物理指标	
		大多数房屋 震害程度	平均震 害指数		加速度 ( $\text{cm}/\text{s}^2$ ) (水平向)	速度 ( $\text{cm}/\text{s}$ ) (水平向)
6	惊慌失措,仓猝 逃出	损坏一个别砖 瓦掉落、墙体细微 裂缝	0~0.1	河岸和松软土上出现裂缝,饱和砂层出 现喷砂冒水,地面上有的烟囱轻度裂缝、 掉头	63 (45~89)	6 (5~9)

续上表

烈度	人的感觉	一般房屋		其它现象	参考物理指标	
		大多数房屋 震害程度	平均震 害指数		加速度 ( $\text{cm/s}^2$ ) (水平向)	速度 ( $\text{cm/s}$ ) (水平向)
7	大多数人仓惶 逃出	轻度破坏—局 部破坏、开裂、但 不妨碍使用	0.11~0.30	河岸出现塌方；饱和砂层常见喷砂冒 水、松软土地裂缝较多、人多数砖烟囱 中等破坏	125 (90~177)	13 (10~18)
8	摇晃颠簸、行走 困难	中等破坏—结 构受损，需要修理	0.31~0.50	干硬土亦有裂缝 大多数砖烟囱严重 破坏	250 (178~353)	25 (19~35)
9	坐立不稳，行动 的人可能摔跤	严重破坏—墙 体龟裂，局部倒 塌，修复困难	0.51~0.70	干硬土上有许多地方出现裂缝，基岩上 可能出现裂缝 滑坡、塌方常见，砖烟囱 出现倒塌	500 (354~707)	50 (36~71)

以往一个地区的抗震设防一般情况下采用基本烈度。基本烈度是指该地区今后一个时期内，在一般场地条件下可能遭遇到的最大地震烈度，即《中国地震烈度区划图》规定的烈度。地震区划是地震区域划分的简称，指的是在地图上按地震情况的差异，划分出不同的区域。地震烈度区划是地震动区划的早期形式，以地震烈度为指标。现在《中国地震动参数区划图》已取代《中国地震烈度区划图》，成为一般建设工程的抗震设防依据。

### 1.2.3 震级与震中烈度的关系

地震震级与地震烈度是完全不同的两个概念，这两者的关系可用炸弹爆炸来比喻。震级好比炸弹的装药量，烈度则是炸弹爆炸时所造成的破坏程度。尽管如此，从数学上震中烈度却可以表示为震级和震源深度的函数。在环境条件基本相同的情况下，震级越大，震源深度越浅，则震中烈度越高。对于发生频度最高的浅源地震来说，根据我国的地震资料，可以由下面经验公式估计震中烈度  $I_0$  与震级  $M$  之间的关系：

$$M = 1.5 + 0.58I_0$$

其大致对应关系如表 1.2 所示。

震中烈度与震级对照表

表 1.2

震中烈度 ( $I_0$ )	4	5	6	7	8	9	10	11	12
震级 ( $M$ )	4	4.5	5	5.5	6.5	6.75	7.25	8	8.5

## 1.3 地震波与地震动

### 1.3.1 地震波

当震源岩层发生断裂、错动时，岩层所积聚的变形能突然释放，引起剧烈的振动，振动以弹性波的形式从震源向各个方向传播并释放能量，这种波就称为地震波。

地震波按其在地壳传播的位置的不同，分为体波和面波。

## (1)体波

在地球内部传播的波称为体波。体波又分为纵波和横波。

纵波是由震源向四周传播的压缩波,又称P波。纵波在传播过程中,其介质质点的振动方向与波的前进方向一致,质点间的弹性相对位移疏密相间,所以也称为疏密波(图1.4a)。由于任何一种介质都可以承受不同程度的压缩与拉伸变形,所以纵波可以在所有介质中传播,这是纵波的一个重要特性。纵波的周期较短,振幅较小,波速较快,在地壳内的速度一般为200~1400m/s。根据弹性波动理论,纵波的波速可按下式计算:

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

式中: $E$ 为介质的弹性模量; $\rho$ 为介质的密度; $\nu$ 为介质的泊松比。

纵波引起地面竖向振动。

横波是由震源向四周传播的剪切波,又称S波。横波在传播过程中,其介质质点的振动方向与波的前进方向垂直(图1.4b)。横波只能在固体介质中传播。这是因为横波的传播过程是介质质点不断受剪切变形的过程,液态和气态介质不能承受剪切作用。横波的周期较长,振幅较大,波速较慢,在地壳内的波速一般为100~800m/s。根据弹性波动理论,横波的波速可按下式计算:

$$v_s = \sqrt{\frac{E}{2\rho(1+\nu)}} = \sqrt{\frac{G}{\rho}}$$

式中: $G$ 为介质的剪切模量;其余符号意义与前相同。

横波引起地面水平方向振动。在一般情况下,当 $\nu=0.22$ 时:

$$v_p = 1.67v_s$$

由此可知,纵波的传播速度比横波的传播速度要快,所以当某地发生地震时,在地震仪上首先记录到的地震波是纵波,随后才记录到横波。

## (2)面波

在地球表面传播的波称为面波,又称L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。

面波又分为瑞利波(Rayleigh波)和乐浦波(Love波)。瑞利波传播时,质点在与地面垂直的平面内沿波的前进方向做椭圆反时针方向运动(图1.5a)。瑞利波的特点是振幅大,在地表以竖向运动为主。乐浦波传播时,类似蛇行运动,质点在地平面内做与波前进方向相垂直的运动(图1.5b)。可见,面波的介质质点振动方向比较复杂。

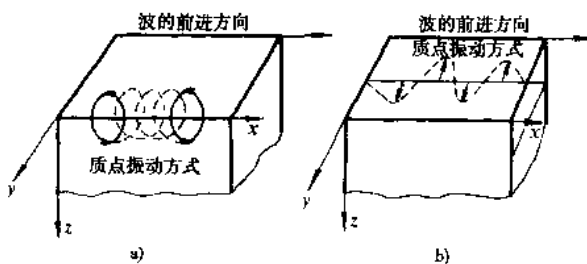


图1.5 面波运动特征示意图

a)瑞利波质点振动;b)乐浦波质点振动

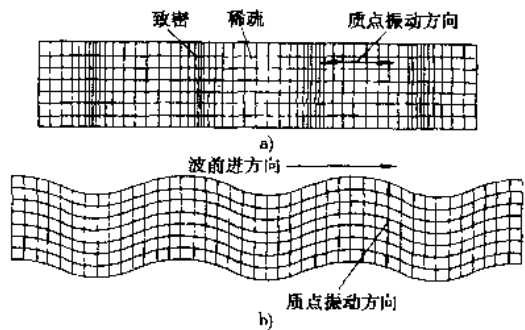


图1.4 体波运动特征示意图

a)纵波(压缩波);b)横波(剪切波)

图 1.6 为某次地震的地震记录示意图。从图中可见,首先到达的是 P 波,继而 S 波,面波到达最晚。分析 P 波和 S 波的到达时间差,就可确定震源的距离。P 波使结构产生上下颠簸,S 波使结构产生水平摇动,而面波则使结构既产生上下颠簸又产生水平摇动,一般是在 S 波和面波都到达时振动最为剧烈。由 S 波和面波产生的水平振动是招致结构地震破坏的重要因素;在震中区,由 P 波产生的竖向振动所造成的破坏有时也不容忽视。

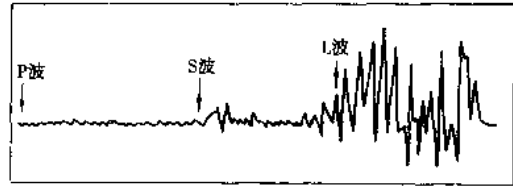


图 1.6 地震记录示意图

### 1.3.2 地震动

地震动,也称地面运动,是指由震源释放出来的地震波引起的地表附近土层的振动。地震动是地震和结构抗震之间的桥梁,又是结构抗震设防的依据。

地震动是引起桥梁破坏的外因,其作用相当于结构分析中的各种荷载,但与常用的荷载有很大差别,表现在三方面:1) 常用荷载以力的形式出现,而地震动则以运动方式出现;2) 常用荷载一般为短期内大小不变的静力,而地震动则是迅速变化的随机振动;3) 常用荷载大多是竖向的,而地震动则是水平、竖向甚至扭转同时作用。

地震动可以通过仪器记录下来。对结构抗震而言,关心的是强震动记录,因为只有强震动才会危及结构安全。记录强震动的仪器为强震加速度仪,简称强震仪。它能够记录测点处三个互相垂直的地震动加速度分量(两个水平向分量加上一个竖向分量)。强震动记录是进行结构抗震设计的重要资料。在采用动力时程分析方法计算桥梁结构的地震反应时,需要用到强震地面运动记录;绘制规范反应谱曲线时,更需要有大量的强震地面运动记录。图 1.7 所示为著名的埃尔森特罗三分量(东西、南北、上下)地震动加速度记录。可见,地震动的时程函数是非常不规则的。

在地震动的特性中,对结构破坏有重要影响的因素主要有地震动强度(振幅、峰值)、频谱特性和强震持续时间,简称地震动三要素。地震动是振幅和频率都在复杂变化着的振动,即随

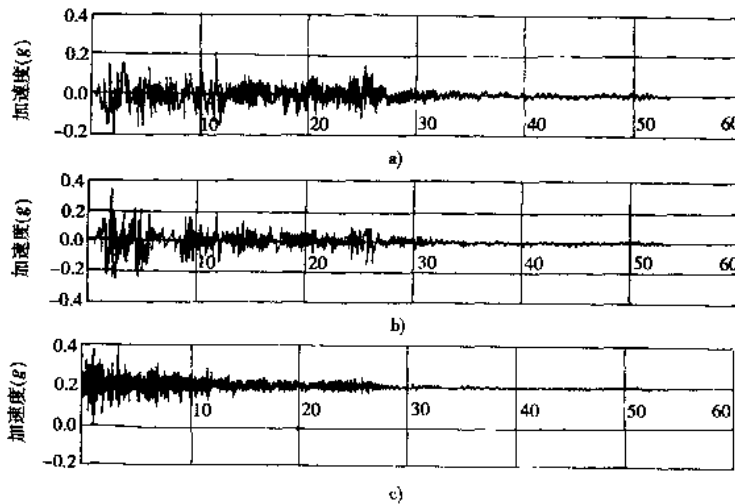


图 1.7 埃尔森特罗地震波记录(1940 年美国帝国峡谷地震)  
a) 东西向分量; b) 南北向分量; c) 竖向分量

机振动。但是对于某一个特定的地震记录(随机振动的一个样本),可以把它看作是由一系列不同频率和振幅的简谐波组合而成的。表示给定地震记录中振幅与频率关系的曲线,统称为频谱。地震工程中常用的频谱有傅立叶谱、反应谱与功率谱。其中,反应谱已被国内外抗震设计规范普遍采用。

影响地震动特性的因素包括震源、传播介质与途径,以及局部场地条件这三种。其中,局部场地条件对频谱形状的影响最早被各国规范所接受,我国的桥梁抗震设计规范也采用了形状随场地土变化的反应谱(现行《公路工程抗震设计规范》把场地土划分为四类)。但对于震源、传播介质与途径的影响,目前难以精确估计。

随着强震观测记录的不断增加,人们对地震动的认识也有了很大提高,目前已经可以对地震动进行合理估计。地震动的估计有三种可能的途径。第一种是通过地震烈度的估计,再利用烈度与地震动的对应关系将烈度换算为地震动设计参数;第二种是根据过去强震观测结果,寻求地震动与地震大小、震源特性、传播介质、场地影响的统计规律(常称为衰减规律),然后直接用此衰减规律来估计地震动;第三种是通过震源机制理论分析,应用动力学原理,计算出地面附近的地震动。目前广泛采用的途径为前两种。

## 1.4 地震分布

地震的地理分布受一定的地质条件控制,具有一定的规律。地震大多分布在地壳不稳定的部位,如大陆板块和大洋板块的接触处及板块断裂破碎的地带。

### 1.4.1 世界地震分布

图 1.8 是根据历史记载而描绘的 1900 年至 1995 年的全球强震分布图。从图中可见,全球地震主要分布在两大区带上:

#### (1) 环太平洋地震带

该带沿着南、北美洲西海岸,经堪察加半岛、千岛群岛、日本列岛,至我国的台湾省和菲律宾群岛一直到新西兰,是地球上最活跃的地震带。这一地带集中了全世界 80% 以上的地震,释放的地震能量占全球的 75%。环太平洋地震带近年来活动尤为活跃,如 1995 年 1 月 17 日发生的日本阪神大地震,人员伤亡、经济损失惨重,震惊世人。

#### (2) 欧亚地震带

大致从印尼西部,缅甸经我国横断山脉、喜马拉雅山地区,经中亚细亚到地中海,又称喜马拉雅—地中海地震带。带内地震震源浅,震中分布零散,震中带散布宽度约 2 000 ~ 3 000km,几乎 10 倍于环太平洋地震带的展布宽度。地震成因一方面与板块构造运动相联系,另一方面,又在很大程度上与板内断块(小板块)构造密切相关。

### 1.4.2 我国地震分布

我国处在世界上两大地震带之间,有些地区本身就是这两个地震带的组成部分,因此我国的地震活动较多而且强烈。据统计,我国大陆地震约占世界大陆地震的三分之一。图 1.9 为公元前 780 年至 1995 年的我国地震分布图。从图中可见,我国地震主要分布在:1)东南部的台湾省和福建广东沿海(台湾省的强震密度和平均震级都占全国首位);2)华北太行山沿线和京津塘地区;3)青藏高原和四川、云南西部;4)西北的新疆、甘肃和宁夏。



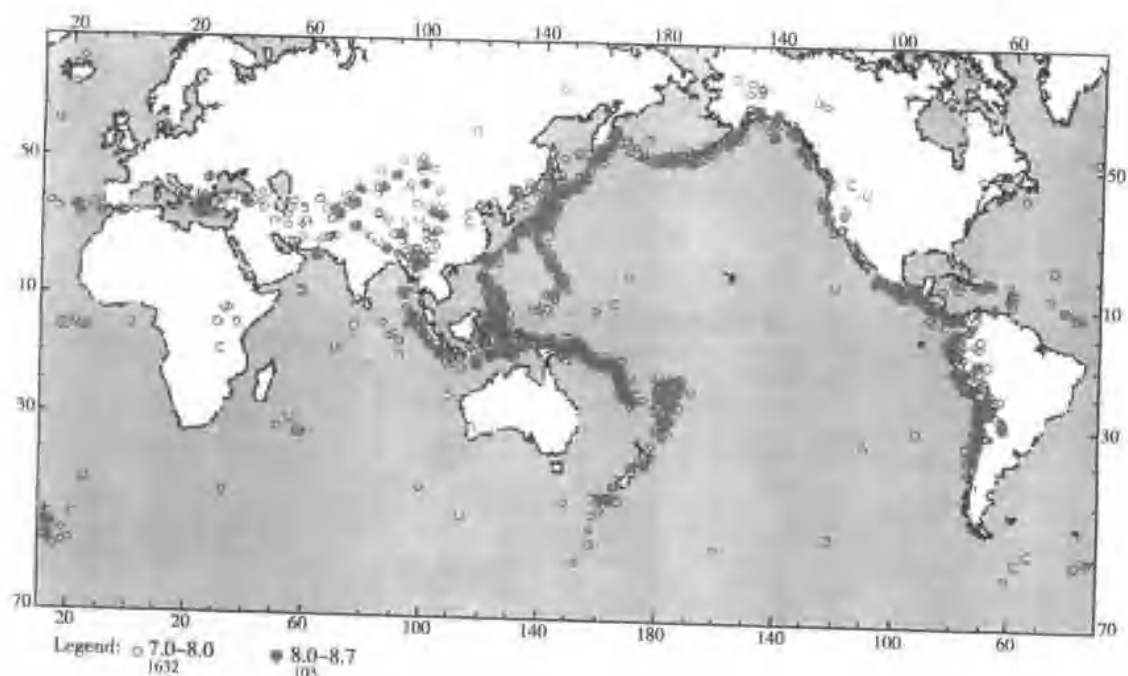


图 1.8 全球强震分布图

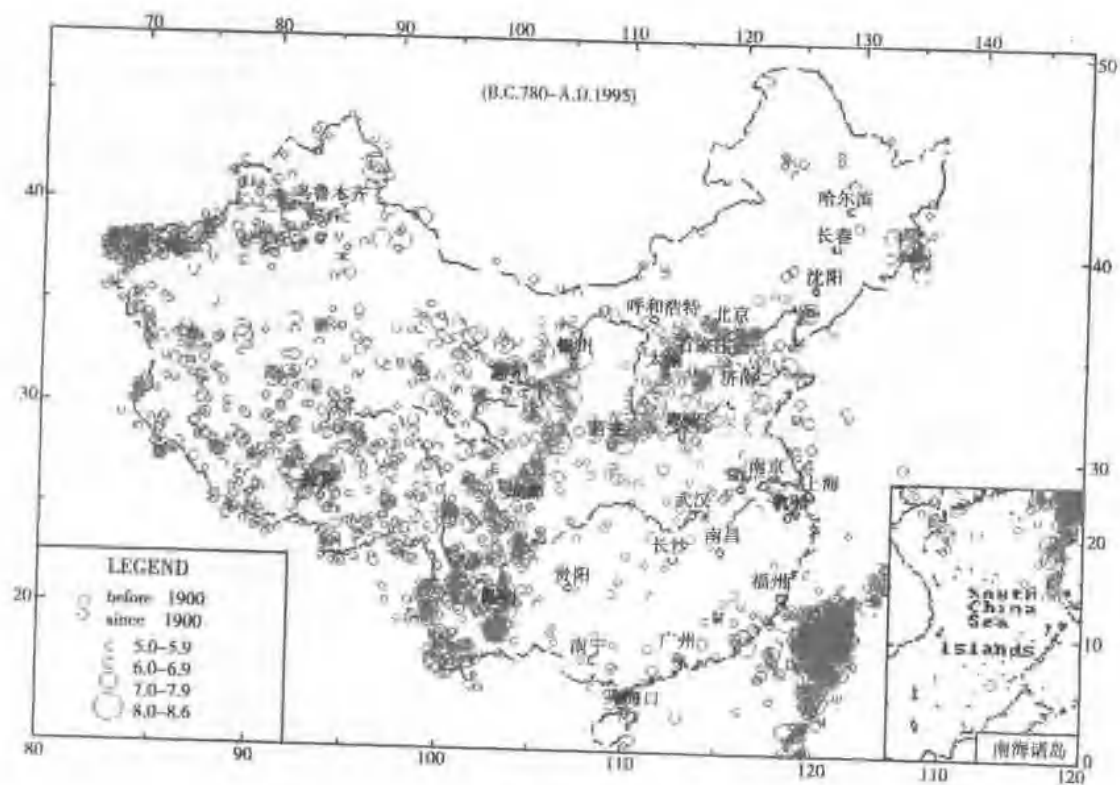


图 1.9 中国地震分布图