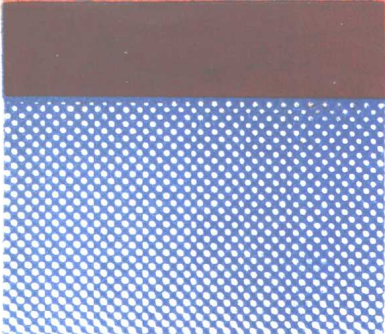
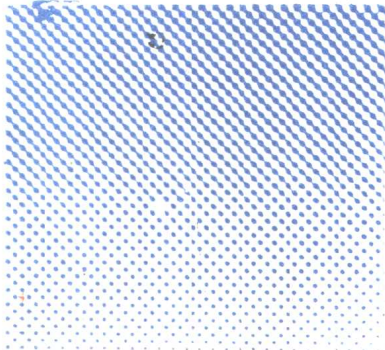


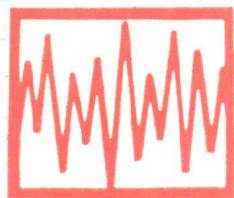


码头和船闸建筑物的抗震



● 宫维圣 编著

人民交通出版社



S0049

0656.105

9600030

码头和船闸建筑物的抗震

Matou He Chuanzha
Jianzhuwu De Kangzhen

宫维圣 编著

(京)新登字091号

码头和船闸建筑物的抗震

官维圣 编著

插图设计 陈竞 正文设计: 乔文平 责任校对: 张 莹

人民交通出版社出版发行

(100013 北京和平里东街10号)

各地新华书店经销

北京市顺义飞龙印刷厂印刷

开本: $850 \times 1168 \frac{1}{32}$ 印张: 7.25 字数: 194千

1993年10月 第1版

1993年10月 第1版 第1次印刷

印数: 0001—1000册 定价: 10.00 元

ISBN 7-114-01566-6

U·01049

内 容 提 要

本书共分六章。第一章地震及其分布特点。第二章地震烈度，介绍了地震有关基本知识。第三章叙述了码头、船闸建筑物的震害现象。第四章阐述了场地选择和地基、岸坡的抗震设计。第五章抗震计算，包括各类码头、船闸建筑物的地震惯性力、地震动土压力和地震动水压力的计算，介绍了静力法和反应谱法，阐述了结构振动的基本概念。第六章阐述了码头和船闸建筑物的抗震措施。

本书可供有关工程技术人员参考。

前 言

我国是一个多地震的国家，地震活动分布广、震源浅、强度高、危害大，做好防震抗震工作，是关系到保护广大人民生命财产安全的重大问题。过去水运工程水工建筑物多未考虑抗震设防，以致1976年7月28日唐山地震时，天津地区的码头、船闸等水工建筑物遭受到不同程度的破坏，损失大、教训深刻，如何正确地做好水运工程水工建筑物的抗震设防，是广大从事水运工程建设人员所关心的问题。

唐山地震后，工程抗震问题引起了我国各界人士的极大关注，各有关部门组织成立了抗震设计规范及抗震鉴定标准编制组，在调查研究、震害验算和科学试验的基础上，编制完成了各部门的专业抗震鉴定标准和抗震设计规范。本书是作者在参与水运工程抗震工作中的体会和参考了国内外有关资料文献的基础上编写而成。全书分六章。第一章地震及其分布特点，包括地球结构，地震的类型与成因，地震波，地震的震级、震源和震中，地震的分布和我国地震的分布概况等基本知识。第二章地震烈度，包括地震烈度和烈度表，烈度的定量标准，基本烈度及其区划，基本烈度的不确定性与抗震设防标准，震级、震中距和场地条件对烈度的影响等，在评定地震烈度时引入了概率理论。第三章介绍了码头和船闸建筑物的震害现象。第四章阐述了场地选择和地基、岸坡的抗震设计。第五章叙述了抗震计算的原则和条件，包括荷载及荷载组合，各类码头、船闸采用的计算方法及其由来，计有静力法和反应谱法，并对结构振动的基本概念作了简要介绍，最后讲了地震动土压力与地震动水压力的计算方法和推导。第六章抗震措施，包括地基、岸坡加固措施和建筑物构造措施，强调了抗震措施是提高建筑物抗震能力最经济而有效的方法。可供从事码头和船闸建筑物抗震工作人员的参考。

作者限于理论水平和实践经验，书中的缺点在所难免，热忱
欢迎读者批评指正。

宫维圣
1989年8月·北京

目 录

第一章 地震及其分布特点	(1)
第一节 地球结构	(1)
第二节 地震的类型与成因	(3)
第三节 地震波	(5)
第四节 地震的震级、震源和震中	(8)
第五节 地震的分布	(10)
第六节 中国地震的分布概况	(15)
第二章 地震烈度	(18)
第一节 地震烈度和烈度表	(18)
第二节 烈度的定量标准	(29)
第三节 基本烈度及其区划	(34)
第四节 基本烈度的不确定性与抗震设防标准	(35)
第五节 震级、震中距和场地条件对烈度的影响	(48)
第三章 码头和船闸建筑物的震害	(52)
第四章 场地选择和地基、岸坡的抗震设计	(99)
第一节 场地选择	(100)
第二节 地基、岸坡的抗震设计	(104)
第五章 抗震计算	(125)
第一节 抗震计算的原则	(125)
第二节 地震惯性力	(132)
第三节 地震动土压力	(171)
第四节 地震动水压力	(185)
第六章 抗震措施	(194)
附 录 地震动土压力系数表	(201)
参考文献	(223)

第一章 地震及其分布特点

地震就是平常所说的地动。据统计，全世界每年平均发生的地震约有 5000 000 次，但并不是每次地震都被人们觉察，其中 95 % 以上的地震是最微弱的，人们感觉不到，要靠仪器才能记录下来，其余不足 5 % 的地震中，大部分是轻微的，它们使门窗振动，使悬挂的东西摇晃，但对人民的生命财产并无危害；能造成严重破坏性的强烈地震，平均每年约有 18 次，它们对人类的威胁极大，可以在瞬刻之间造成大量的人畜伤亡、大规模的建筑物破坏和严重的地面破坏，最常见的有山崩地滑，大块地面的倾斜和升降，海岸线的变迁和火山的喷发等。近年来在我国河北邢台，云南通海、昭通，四川甘孜，辽宁海城和河北唐山地区发生的几次地震均属于破坏性的强烈地震。

第一节 地球结构

地球是一个平均半径为 6400 km 的实心椭圆球体，已有长达 45 亿年的历史，它是由固体、液体、气体等物质所组成，从物质成分和构造特征来划分，地球的分层结构可分为三大部分：最表面的一个薄层是地壳，中间很厚的一层是地幔，最里面是地核（见图 1.1.1）。

1. 地壳为地球最表面的一层外壳。早在本世纪初期莫霍洛维奇在研究欧洲地震波记录时，发现在地下 50 km 处有地震波传播速度急剧变化的不连续面。在此面以上地震波纵波（P）速度常为每秒 5.5 km，而此面以下则增加到每秒 8.1 km。以后的研究表明，该面不仅存在于欧洲，而在全球也是普遍存在的。此面即为地壳的下界，并称此面为莫霍不连续面或莫霍界面，亦可简称为莫霍面。此面以上的部分即为地壳。

地壳是由各种不均匀的岩石组成的，表层由未固结或已固结的各种沉积岩、变质岩等所组成，厚约0~5km。表层下面的地

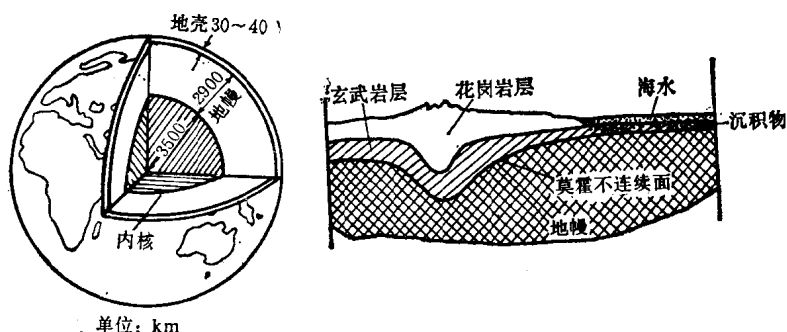


图1.1.1 地球断面与地壳剖面

壳分为上、下两层，上层为花岗岩层，其厚度在山区可达40km，在平原区通常为十余公里，海洋地区显著变薄或无此层；下层为玄武岩层，其厚度在平原地区可达30km。在无花岗岩层的深海盆内仅5~8km，其上直接覆有一层薄薄的海洋沉积层，再上即为海水所覆盖。

地壳与地球半径相比，只不过是地球上层极薄的一层外壳而已，约为地球体积的1%。世界上绝大部分地震都发生在这一薄薄的地壳内。

2. 地幔包括由地壳以下到深度为2900km的部分，即从地壳以下起到接近地球半径一半的深度，占地球全部体积的六分之五，是包围地核的厚层。

地幔主要由密度较大、质地非常坚硬、结构比较均匀、含铁、镁为主要成分的黑色橄榄岩组成。据推测构成地幔的物质是具有粘弹性的。

迄今为止，所观测到最深的地震其震源深度是700多公里，仅占地球半径的十分之一，即地震仅发生于地球的表面部分，即地壳中和地幔上部。

3. 地核系指由深度2900km直到地心部分，是一个半径为

3500km的球体，又可分为外核（厚2100km）和内核，据推测主要构成物质是镍和铁。由于没有地震横波通过外核，故推测外核处于液态，而内核可能是固态。

地球各部分的密度随深度增加而增大，平均密度约为 $5.5\text{g}/\text{cm}^3$ 。

地球内部的温度也随深度增加而升高，从地表每深1km约升高 30°C ，地下20km（多数地震发生在这个深度）深处温度大约 600°C ，地幔上部（地下700km左右）温度约 2000°C ，地核内部温度可达 $4000\sim 5000^{\circ}\text{C}$ 。地球长期保持高温主要是其内部放射性物质不断释放热量的缘故。

地球内部的压力在地幔上部约为 $9 \times 10^8\text{Pa}$ ，地核中心达 $3700 \times 10^8\text{Pa}$ 。

有关地球结构的问题是地质学和物理学中最难解决的问题，目前是靠间接的资料进行推测，尚存在不少问题以及对某些问题还有不同的观点。

第二节 地震的类型与成因

按引起地震的原因区分，地震可分为人为地震与天然地震两大类型。人为地震是由于人工爆破、矿山开采和军事施工等所引起的，特别是核爆破更占有主要的位置。但人为地震所引起的地震振动都较轻微，影响范围也很小，很少造成地面的破坏。由于事先能知道其发生的时间、地点及强度，可以做到事先预知、预防。本书阐述的是天然地震。

自然界引起地震的原因很多，按照其成因大致可分为四种主要类型：火山地震、陷落地震、激发地震和构造地震。

火山地震 由于火山爆发，岩浆猛烈冲出地面时引起的地面振动。这类地震在世界一些大火山带都能观测到，火山活动有时相当猛烈，但地震波及的地区多局限于火山附近数十公里的范围，影响面小，深度都很浅，多数是属于地震群的类型。

陷落地震 由于地表或地下岩层因某种原因（如石灰岩地区较大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引起小范围内的轻微地震。这类地震是由重力位能释放时所形成，其能量极小，发生次数也很少，仅占地震总数的3%。

激发地震 由于外界力量作用到构造应力原处于相对平衡的地区后，破坏了这种相对稳定的状态发生构造运动引起的地震。例如水库蓄水和由于深井注水或人工爆破时所引起的地震，这种地震为数很少。虽然水库的建设、深井的钻进及大规模的爆破严格说来仍有人为的因素，但这些被激发的地震往往是在经过相当一段时间后才出现，显然是与他们本身的构造条件和物性有关，在某些作用影响下使之触发。

近年来水库地震非常引人注意，因为它能激发较高的震级而使地面破坏，并进而危及水坝本身的安全。如我国广东新丰江水库，自1959年蓄水后即产生地震活动，随着时间的推移频率愈来愈高，震级愈来愈大，到1962年3月19日终于发生了6.1级地震，震中烈度达8度，并造成地面破坏。

与深井有关的地震活动，时有记载，但一般为小震，研究表明，小震出现于深井附近，地震强度的大小随着注水量加大或减少相应变化，据认为这种地震活动主要是使岩石孔隙压力增大，大大降低了岩石的抗剪强度，从而导致破裂面的重新滑动。

此外，还有爆破激发的小地震，一般震级为3~3.5级左右，影响范围较小，仅几十公里。

由于激发地震的存在，使人们提出了利用人工作用来减轻地震灾害或控制地震的问题。目前这方面的试验工作尚处于探索阶段，虽还远未见效，但却为控制地震提出了一条探索的途径。

构造地震 由于地壳运动产生的自然力推挤地壳岩层使其薄弱部位突然发生断裂活动，在构造变动中引起的地震。这类地震破坏性大，影响面广，是我们研究的主要对象。

构造地震的成因和震源机制是地震预报理论中最核心的问题。成因假说主要有三个：

1. 断层说 岩层在大地构造应力作用下产生应变，积累了大量的应变能，应变一旦超过了极限数值，岩石就突然破裂，释放出大量的能量，其中一小部分以地震波的形式传播出来，产生了地震。能量的来源是原来岩石中所积累的位能-应变能。

断层说提出较早，是在1911年雷德 (Reid) 根据1906年美国旧金山大地震时断层的活动情况提出的“弹性回跳学说”而形成的。后来为进一步研究地震震源力学 (地震机制) 所采用。地震机制问题，即研究岩石怎样破裂、能量怎样释放、断层的尺度和方向等问题，研究证明，地震是伴随地球上的断层或裂缝而发生的。这一学说是主导学说，为世界上多数地震工作者所支持。

断层说能较好地解释浅源地震的形成，但对中、深源地震 (深度超过70km) 来说，存在很多问题。因此又相继提出了岩浆说，相变说等。

2. 岩浆说 认为地震是由于地下岩石导热性不均，部分融为岩浆，使体积膨胀，挤压围岩，导致破裂而形成的。如火山熔液的注入，空隙流体压力的增高等均能引起地震。并认为深源地震并不一定伴有断层，可以由岩浆流动引起，它对解释深部地震或火山地震具有一定意义。

3. 相变说 认为在很深的地下物质在一定的温度和压力之下，可以从一种结晶状态转变到另一种结晶状态，从而发生体积的变化，即相变。如果相当大的区域发生了相变，则所造成的体积变化可放出巨大的能量，从而导致地震的发生。其能量的来源是矿物的结晶能。

这三种成因所产生的地震效应，不尽相同，从现有资料来看，造成巨大灾害的主要是浅源地震，故构造地震是地震的主要类型，是我们研究的主要对象。

第三节 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即为地震

波。地震波传播的途径称为地震射线。地震波是一种弹性波，包括可通过地球本体的两种体波和只限于在地面附近传播的两种面波，现将体波和面波的主要特性介绍如下。

1. 体波 包括纵波（常以P表示）和横波（常以S表示）两种。纵波是由震源向外传递的压缩波，质点的振动方向或者与射线的方向相同或者与射线的方向相反（见图1.3.1），在空气里纵波就是声波，一般表现出周期短、振幅小；横波是由震源向外传递的剪切波，质点的振动方向与地震射线相垂直（见图1.3.1），一般表示为周期较长、振幅较大。横波只能在固体里传播，而纵波在固体、液体里都能传播。

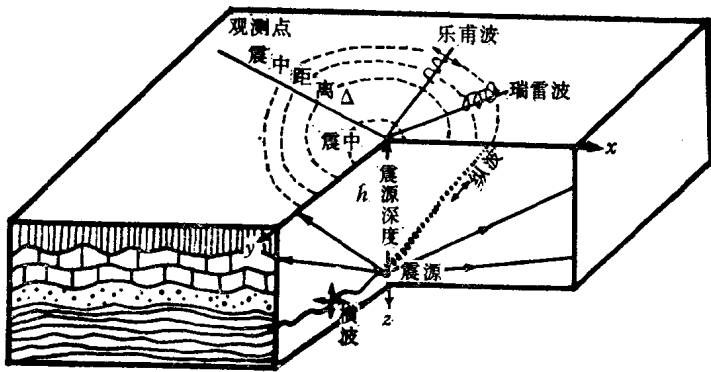


图1.3.1 地震波传播与运动形式示意图

纵波比横波的传播速度要快，在仪器观测到的记录图上，纵波要比横波先到达，这就是通常称纵波为P波（即初波），称横波为S波（即次波）的由来。

体波在地球内部的传播速度随深度的增加而增大。由于地球是层状构造，因此，体波通过分层介质，在界面上将产生折射和反射。当一个P波入射到一个界面时，不但产生折射和反射的P波，而且还发生折射和反射的S波（转换波PS）。同样，当S波入射到一个界面时也是如此。

2. 面波 面波只能在地球表面传播，可以说面波是体波经地层界面多次反射到地面时形成的次生波，包括瑞雷波R和乐甫波Q两种类型。

瑞雷波传播时，质点在波的传播方向和自由面（即地表面）法向组成的平面内（图1.3.2a） xz 平面）作椭圆运动，质点运动的轨迹是向震中逆进的椭圆，而与该平面垂直的水平方向（ y 方向）没有振动，在地面上呈滚动形式。

乐甫波只在与传播方向相垂直的水平方向（图1.3.2b） y 方向）运动，即地面水平运动或者说在地面上呈蛇形运动形式。

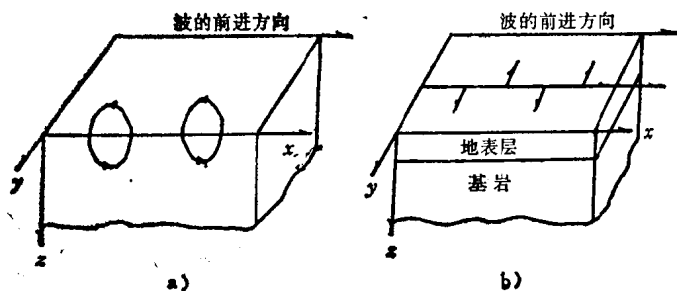


图1.3.2 面波的质点振动

a) 瑞雷波质点振动；b) 乐甫波质点振动

瑞雷波的传播速度比S波稍为慢一点，乐甫波在层状介质中的传播速度介于最上层S波和最下层S波速度之间。

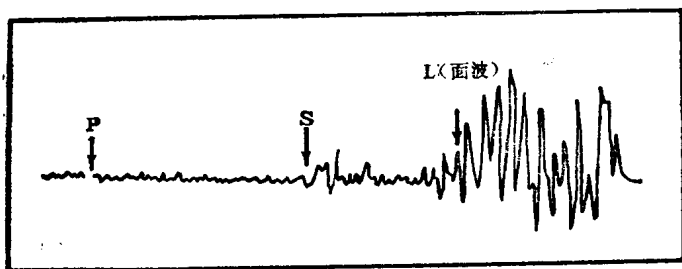


图1.3.3 地震波记录图

综上所述，地震波的传播以纵波最快，横波次之，面波最慢。因此，在地震记录图（见图1.3.3）上，纵波最先到达，横波到达较迟，面波最后到达。通常当横波或面波到达时，地面振动最猛烈。

第四节 地震的震级、震源和震中

一、震级及其确定方法

地震震级是表示地震本身大小的尺度，其数值是根据地震仪记录的地震波图来确定的。地震的最初定义是：一种标准地震仪，即周期为0.8S、阻尼系数为0.8，放大倍数为2800倍的短周期地震仪，在距离震中100km处，记录图上量得的最大振幅值（以1/1000mm计）的普通对数值，可用下式表示：

$$M = \lg A$$

式中： M ——地震震级；

A ——标准地震仪记录的最大振幅值。

从上式可见，当最大振幅为0.001mm（即1 μ m时）震级为“0”，1mm（即1000 μ m时）为“3”，1m（即1 000 000 μ m时）为“6”，依此类推。实际上在距震中100km处不一定有地震仪，目前也不都用上述那种标准地震仪。因此，对于地震台距震中距离 Δ 不是100km时确定的震级 M_{Δ} ，要经过修正才是所求的震级。

根据我国现用仪器，计算近震（指震中距小于1000km）震级 M_L 的公式为：

$$M_L = \lg A_{\ast} + R(\Delta)$$

式中： M_L ——近震体波震级；

$A_{\ast}$ ——记录的水平向最大地动位移（单振幅，以微米为单位）；

$R(\Delta)$ ——起算函数，随震中距 Δ 而变，由于各种仪器常数不

一样, $R(\Delta)$ 略有不同。

远震(距震中大于1000km)测定震级的方法,一般分为体波法及面波法,我国目前采用的面波震级的经验公式为:

$$M_s = \lg \left(\frac{A_h}{T} \right)_{\max} = \sigma(\Delta)$$

式中: M_s ——地震震级;

A_h ——水平运动最大振幅;

T ——相应的周期;

$\sigma(\Delta)$ ——面波震级的量规函数。

对于深源地震,面波不发育或几乎不见面波,必须利用体波测定震级,还有另外的计算公式。可见,由于地震的远近深浅不同,所用地震仪不同,存在着根据不同地震波确定地震震级的不同方法。用各种地震波根据不同的经验公式求出的震级大小不同,一般远震震级用面波定,近震用体波定,我国地震部门规定统一用面波所定震级 M_s 上报, M_L 可按式换算成 M_s 。

$$M_s = 1.13 M_L - 1.08$$

一般小于2级的地震人们感觉不到,只有仪器才能记录下来,称为微震;2~4级地震人们可以感觉到,称有感地震;5级以上就要引起不同程度的破坏,统称为破坏性地震,7级以上的地震有很大的破坏性,称为强烈地震。

二、震源和震中

发生地震的地方叫震源,震源在地面上的投影叫震中,震源至地面的垂直距离叫震源深度。

通常对于地震震级相同的地震,当震源较浅时,波及范围较小,破坏程度较大;当震源深度较大时,波及范围较大,但破坏程度相对较小。多数破坏性地震发生在比较浅的地方,深度超过100km的地震在地面上不致引起灾害,反之,地震震级虽小,若深度很浅,也会引起灾害,但受灾面积小。

下面介绍确定震源和震中位置的方法，如下图（图1.4.1）所示： F 为地震震源， h 为震源深度， E 为震中， C 为观测台站所在位置， EC 为震中距离 Δ ， R 为震源距离。当地震发生时，自 F 点发出纵波 P 和横波 S ，假如介质是完全均匀的，它们将沿直线到达观测点 C 。由于纵波的传播速度比横波快，故纵波 P 比横波 S 早

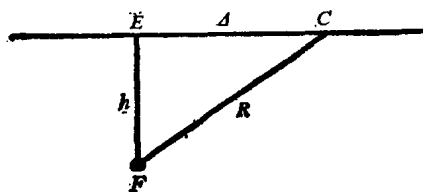


图 1.4.1

到达观测点，纵横波到达观测点的时间差随震中距离而变化，当观测点 C 距离震源越来越大时，时间差也越来越大，故可用已知纵横波到达几个观测点

的时间差，测定地震的震源位置和震中距离。如图1.3.1可知，纵波的震动特点是当垂直分量向上时，水平分量所指的方向与震中所在位置相反；当垂直分量向下时，水平分量所指的方向即是震中所在的方向。当我们已知一个台的纵波震动方向时，便可知道震中的方向，当已知两个以上台的纵波震动方向时，即可确定震中的位置。

根据 R 和 Q 波的特点亦可测定震中位置，但不常用。 R 和 Q 波的强度在地球表面最强，向地下方向迅速减弱。

第五节 地震的分布

地震的分布包括垂直分布（指地震发生的空间位置）和平面分布（指地震发生的地理位置）两个方面。

一、垂直分布及其特点

地震全部发生在地壳中及地幔的上部，其中多数发生在地壳范围的数十公里深度内。一般将震源深度在地表以下70km以内的称浅源地震；70~300km的称中源地震；300km以上的称深源