

高等学校试用教材

建筑结构抗震设计

北京建筑工程学院 合编
南京工学院

地质出版社

高等学校试用教材

建筑结构抗震设计

北京建筑工程学院
南京工学院 合编

地震出版社

1981

内 容 提 要

本书是我国高等学校工业与民用建筑专业新设“建筑结构抗震设计”课程的试用教材。书中系统地介绍了建筑结构在地震作用下的动力反应的计算方法以及建筑结构抗震设计原理。内容包括：建筑结构抗震设计的基本原则，地震荷载的计算，以及各类建筑结构抗震设计计算方法和抗震构造措施。同时，对结构的弹塑性振动也作了扼要的介绍。

本教材中的一些设计和计算规定，是参照我国《工业与民用建筑抗震设计规范》(TJ11-78)编写的。书中对规范有关条文作了必要的解释。

为了便于读者掌握书中所介绍的基本理论和计算方法，各章附有工程计算实例。

本书除供高等院校有关专业的师生使用外，也可供从事建筑结构抗震设计、施工和科研人员参考。

建筑结构抗震设计

北京建筑工程学院
南 京 工 学 院 合 编

地 震 出 版 社 出 版

北京复兴路63号

交 通 印 刷 厂 印 刷

新华书店北京发行所 发 行

各 地 新 华 书 店 经 售

787×1092 1/16 15½印张 380千字

1981年1月第一版 1981年1月第一次印刷

印数：00001—25,000

统一书号：13180·112 定价：1.60元

编写说明

本书是根据一九七八年四月在北京召开的全国高等院校工业与民用建筑专业用《建筑结构抗震设计》教材讨论会所通过的编写大纲编写的，由郭继武同志主编。参加编写工作的有：北京建筑工程学院倪吉昌（第一、二章）、郭继武（第三章）、姚仲贤（第四章）、诸葛瑞清（第六章）以及南京工学院高振世（第五章）、何达（第七章）、孙锡玲（第八章）等同志。丁大钧同志审阅了第五、七、八章初稿，并提出了修改意见。

一九七九年四月间在北京召开了审查会。会议由清华大学主持，西安冶金学院、哈尔滨建筑工程学院、辽宁建筑工程学院、太原工学院、北方交通大学、河北工学院、湖南大学、天津大学、大连工学院、南京工学院、北京建筑工程学院、一机部设计总院、化工部基建局、中国建筑科学院抗震所和中国建筑工业出版社等兄弟院校和单位派了代表参加。与会同志对教材初稿进行了认真的讨论，提出了许多宝贵修改意见。此外，华南工学院提出了书面意见。这些对本书定稿工作起了很大作用，在此谨表谢意。

本书由清华大学主审；第一、二、三、八章由陈聘同志审查；第四、五、六、七章由张良铎同志审查。审查时对本书初稿提出了许多宝贵意见，我们表示衷心的感谢。

在编写过程中，曾得到钱培风、胡庆昌、邱圣瑜、周锡元、王立忠和赵西安等同志的许多帮助，编者在此一并深致谢意。

由于我们的水平所限，书中一定会有不少缺点和错误，恳切希望读者提出批评指正。

编者
一九八〇年八月

目 录

第一章 绪论	(1)
§ 1-1 地震的成因和分布	(2)
§ 1-2 地震波、地震震级和地震烈度	(6)
§ 1-3 地震的破坏现象	(11)
§ 1-4 地震的宏观调查	(14)
§ 1-5 抗震设计的基本原则	(16)
第二章 场地和地基	(20)
§ 2-1 工程地质条件对地震破坏的影响	(20)
§ 2-2 建筑场地和地基	(23)
§ 2-3 强震时地面运动特性	(24)
§ 2-4 地基抗震验算和抗震处理	(30)
§ 2-5 地基土的液化	(31)
第三章 地震荷载的计算	(37)
§ 3-1 概述	(37)
§ 3-2 单质点弹性体系的地震反应	(37)
§ 3-3 单质点弹性体系水平地震荷载	(41)
§ 3-4 水平地震荷载的修正	(45)
§ 3-5 多质点弹性体系地震反应	(48)
§ 3-6 多质点体系水平地震荷载和地震内力	(66)
§ 3-7 多质点体系水平地震荷载近似计算法	(70)
§ 3-8 竖向地震荷载的计算	(73)
§ 3-9 结构自振频率和振型的近似计算	(73)
第四章 多层砖房的抗震验算	(86)
§ 4-1 震害及其分析	(86)
§ 4-2 结构的布置原则	(88)
§ 4-3 多层砖房的抗震验算	(90)
§ 4-4 钢筋混凝土内框架房屋抗震设计要点	(103)
§ 4-5 多层砖房抗震构造措施	(105)

第五章 单层厂房	(110)
§ 5-1 震害及其分析	(110)
§ 5-2 厂房结构的抗震措施	(114)
§ 5-3 单层厂房抗震计算	(119)
第六章 钢筋混凝土框架和框架-剪力墙结构	(147)
§ 6-1 震害及其分析	(148)
§ 6-2 结构选型与结构布置	(153)
§ 6-3 框架结构的抗震设计	(153)
§ 6-4 框架-剪力墙结构的抗震设计	(173)
§ 6-5 抗震构造措施	(206)
第七章 烟囱与水塔	(210)
§ 7-1 烟囱	(210)
§ 7-2 水塔	(216)
第八章 地震作用下弹塑性结构的动力分析	(220)
§ 8-1 概述	(220)
§ 8-2 弹塑性结构的力学模型	(221)
§ 8-3 弹塑性结构的恢复力特性曲线	(222)
§ 8-4 基本动力方程及刚度矩阵	(226)
§ 8-5 地震波的选用	(231)
§ 8-6 用逐步积分法解动力方程	(232)
§ 8-7 结构的弹塑性地震反应和延性要求	(234)
附录	(238)
参考文献	(242)

第一章 绪 论

§ 1-1 地震的成因和分布

一、地球的构造

地球是一个椭球体，平均半径约 6400 公里。通过地震学的研究，推测地球内部构造主要是由性质互不相同的三部分组成（图1-1）：

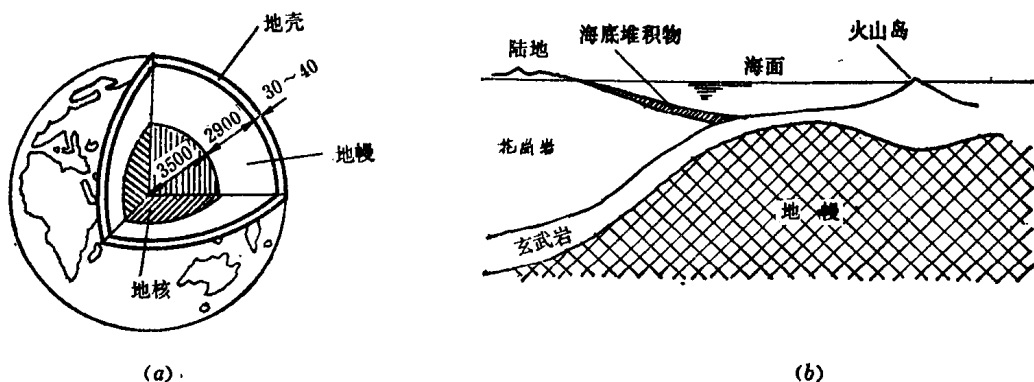


图 1-1

1. 地壳 是地球最外部的一层硬壳，除地表覆盖着一层薄薄的沉积岩、风化土和海水外，上部主要由花岗岩类岩石组成，厚薄不等，大洋地区甚至缺失；下部主要由玄武岩类的岩石组成，呈连续分布。地壳厚度，各处薄厚不一，我国青藏高原厚达 60~80 公里，东南沿海地区仅为 20 公里左右。就全球来讲地壳厚度为 5~40 公里。

2. 地幔 由地壳以下到深度约为 2900 公里的部分。它几乎占地球全部体积的六分之五。本层除顶部外，由质地坚硬的橄榄岩组成。并且由上往下铁镍成分逐渐增加，比重为 3.9~5.1。根据地震波速在地幔中的变化，有人推测在地幔顶部物质呈熔融状态。一般认为，这可能是岩浆的发源地，称它为软流层，并认为地幔物质在热作用下的对流，可能是地壳运动的根源。

3. 地核 是地球的核心部分，为半径 3500 公里的球体。对地核成分和状态的认识，目前尚不十分清楚，因其不传播剪切波，故至少推测其表层可能为液体（图 1-2），而内核可能是铁镍组成的固态。

地球内部的温度随着深度的增加而升高，从地下 100 公里处至地震发生的最深处地下 700 公里，温度逐渐由 1000 °C 升至约 2000 °C。地球内的温度，来源其所含的放射性物质，并因其分布的不均匀性，导致了地幔内发生物质的对流。

二、地震的成因

关于地震的成因，目前还是一个正在讨论中的问题。

在各种地震中，占地震绝大多数，并且影响最大的是由于地质构造作用所产生的构造地

震。

所谓构造地震，就是地球在运动和发展过程中的能量作用（例如地幔对流、转速的变化等），使地壳和地幔上部的岩层在这些巨大的能量作用下产生很大的应力，日积月累。当地应力积累超过某处岩层的强度极限（此时应变超过 $2 \times 10^{-4} \sim 1 \times 10^{-4}$ ）时，岩石遭到破坏，产生错动，将所积累的应变能转化为波动能，当这种振动传到地面时就是构造地震。1906 年 4 月 18 日，美国旧金山圣安德烈斯断层上 435 公里长的一段，突然发生错动，水平错距最大达 6.4 米，是近代构造地震的典型事例（图 1-3）。

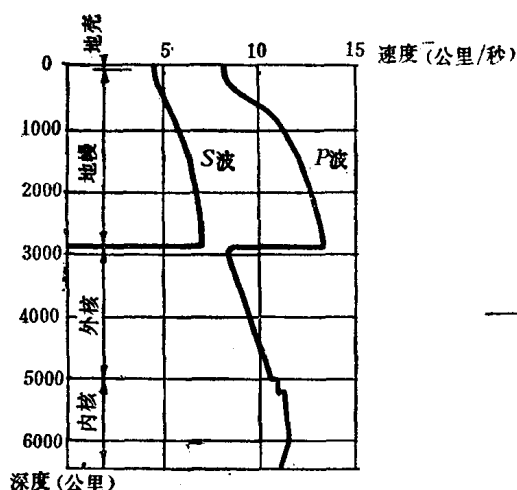


图 1-2

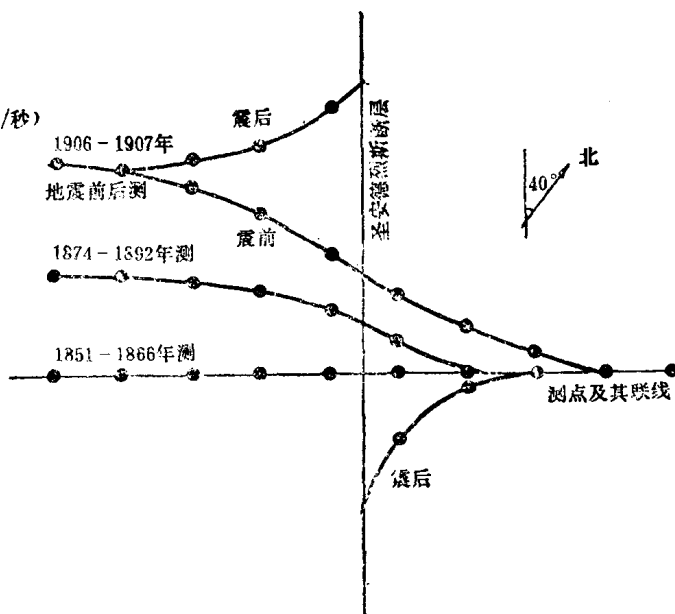


图 1-3 1906 年 4 月 18 日旧金山地震前后横跨圣安德烈斯断层基线的变化

断层产生剧烈的相对运动的地方叫震源。构造地震的震源不是一个点，而是有一定长度和范围的体。震源正上方的地面位置，叫做震中。

一般把深度小于 60 公里的地震称为浅源地震，60~300 公里的称为中源地震，大于 300 公里的称为深源地震。我国境内发生的地震，绝大部分属于浅源地震，一般震源深度约为 10~40 公里。深震分布非常局限，仅出现于东北的吉林和黑龙江省的个别地区，深度一般为 400~600 公里。

除构造地震外，还有由于火山爆发、溶洞塌陷、水库蓄水、核爆炸等原因引起的地震，这些地震与构造地震相比，其影响小、频度低，不作为工程抗震研究的重点。

三、历史地震的分布

根据统计，地球上平均每年发生可以记录到的大小地震达 500 万次以上，其中有感地震（震级在 2.5 级以上）在 15 万次以上，而造成严重破坏的地震则不到 20 次，震级 8 级以上，震中烈度 11 度以上的毁灭性地震仅约 2 次。在上述这些地震中，小地震几乎到处都有，而大地震只发生在某些地区。

1. 世界的地震活动概况

从 1961 年初开始到 1967 年末为止，根据世界各大洲七年内所发生的近 30 万次 4 级以上

地震所编绘的“世界地震分布图”(图 1-4), 可以明显地看出地球上有以下二组主要的地震活动带:

(1) 环太平洋地震带 沿南北美洲西海岸、阿留申群岛, 转向西南至日本列岛, 再经我国台湾省, 而达菲律宾、新几内亚和新西兰。这一地震带的地震活动性最强, 全球约 80~90% 的地震都集中在这一地带。

(2) 地中海南亚地震带 西起大西洋的亚速岛, 经意大利、土耳其、伊朗、印度北部、我国西部和西南地区, 过缅甸至印尼与上述环太平洋带相衔接。除分布在太平洋地震带的一部分中、深源地震以外, 大部分中、深源地震和有些大的浅源地震, 都发生在这一活动带。

此外, 在大西洋、太平洋和印度洋的中部, 也有呈带状分布的地震带。

2. 我国的地震活动概况

我国地处两大地震带的中间, 是一个多地震的国家。从我国自公元前 1831 年开始有地震记载至今, 四千年来的记录表明, 我国的地震分布相当广泛。从历史地震状况看, 全国除极个别的省份外(例如浙江、江西), 绝大部分地区都发生过较强的破坏性地震, 有不少地区现代地震活动还相当强烈。

由于我国所处的地理环境, 使得地震情况比较复杂。世界性的两大地震带, 从地质上看也是两个巨大的活动构造带, 这两个世界性的构造系统的活动和发展, 强烈地影响着我国境内的地质发展和地震活动性, 使得较大地震地理分布的规律也有明显的成带性, 其主要地震带可分为:

(1) 南北地震带 这条地震带, 北起贺兰山, 向南经六盘山, 穿越秦岭沿川西直至云南省东部, 纵贯南北, 延伸长达 2000 多公里, 因总观大致呈南北走向, 故名南北地震带。这条地震带宽度各处不一, 大致在数十至百余公里左右, 分界线是由一系列规模很大的断裂带及断陷盆地所组成, 构造相当复杂。在这条地震带上, 发生过我国一些著名的 7 级以上的强震, 如 1739 年银川的 8 级地震、1920 年海原的 8.5 级地震、1970 年通海的 7.7 级地震、1973 年炉霍的 7.9 级地震、1976 年松潘的 7.2 级地震等。

(2) 东西地震带 这是由我国一组很古老的构造带所形成。从地震地质角度来看, 主要的东西向构造带有两个: 北面的一个沿陕西、山西、河北北部的狼山、阴山、燕山向东延伸, 直至辽宁北部的千山一带; 南面的一个自帕米尔起, 经昆仑山、秦岭, 直至大别山地区, 主要是古生代褶皱系统, 也是由一系列的大断裂带所组成。

综上所述, 除分属于两个世界性地震带的台湾和西藏南部外, 我国由南北地震带和东西地震带分割成各具特点的五個地震区(图 1-5), 而每个地震区内又有大小不同的地震亚区。

总的来说, 西部地区地壳活动性大, 新构造运动现象非常明显, 所以我国西部地震活动较东部为强。而东部地震主要发生在强烈凹陷下沉的平原或断陷盆地, 以及近期活动的大断裂带附近, 如汾渭地堑、河北平原、郯城—庐江大断裂带等, 这也是为什么我国东部华北地震区比其他两个地震区地震活动强烈的原因。

四、地震序列

每次大地震的发生都不是孤立的, 大地震前后在震源附近, 总有与其相关的一系列小地震发生, 把它们按发生时间先后顺序排列起来, 就叫做地震序列。根据地震能量释放和活动的特点, 地震序列有三种基本类型:

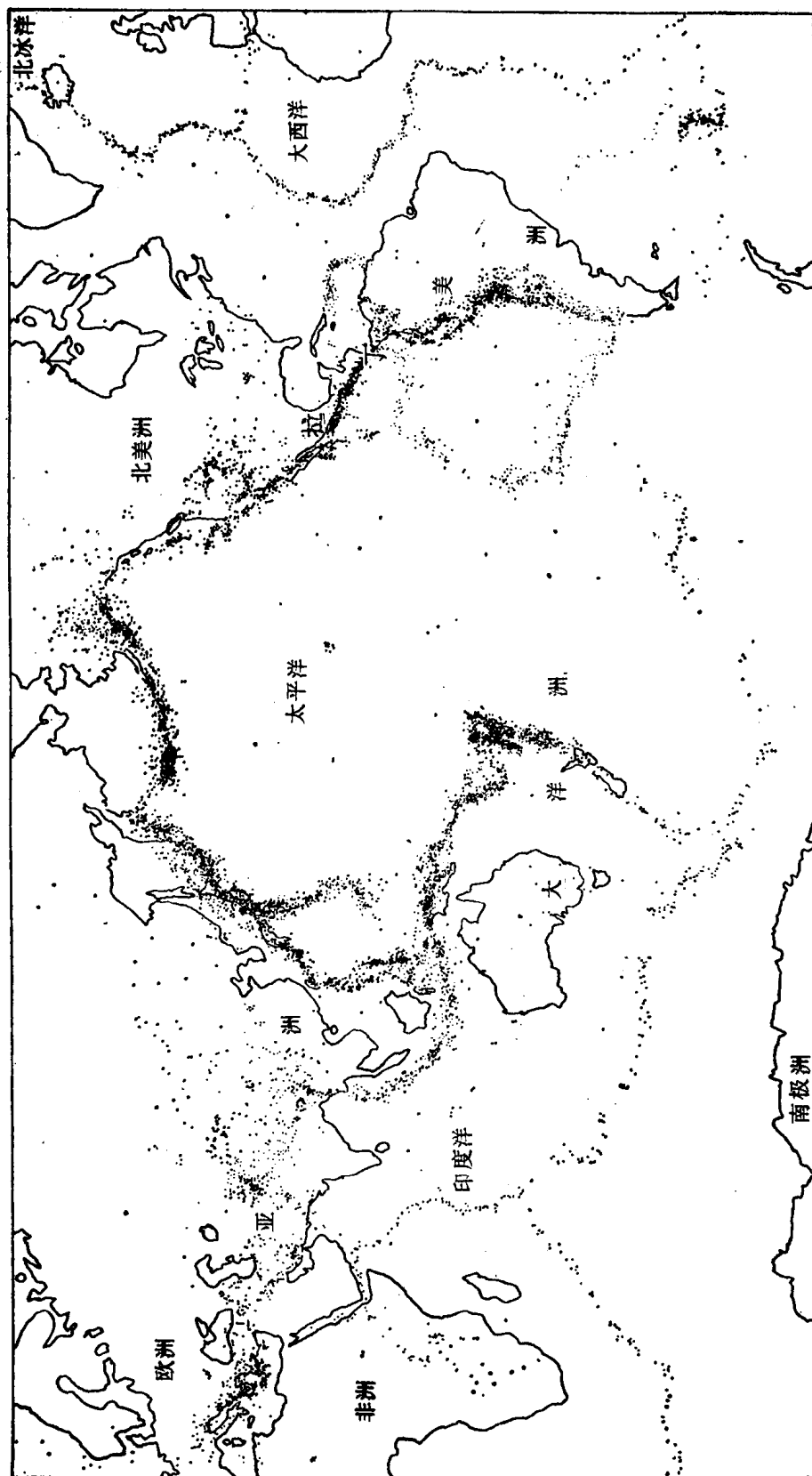


图 1-4 世界浅源地震震中分布图

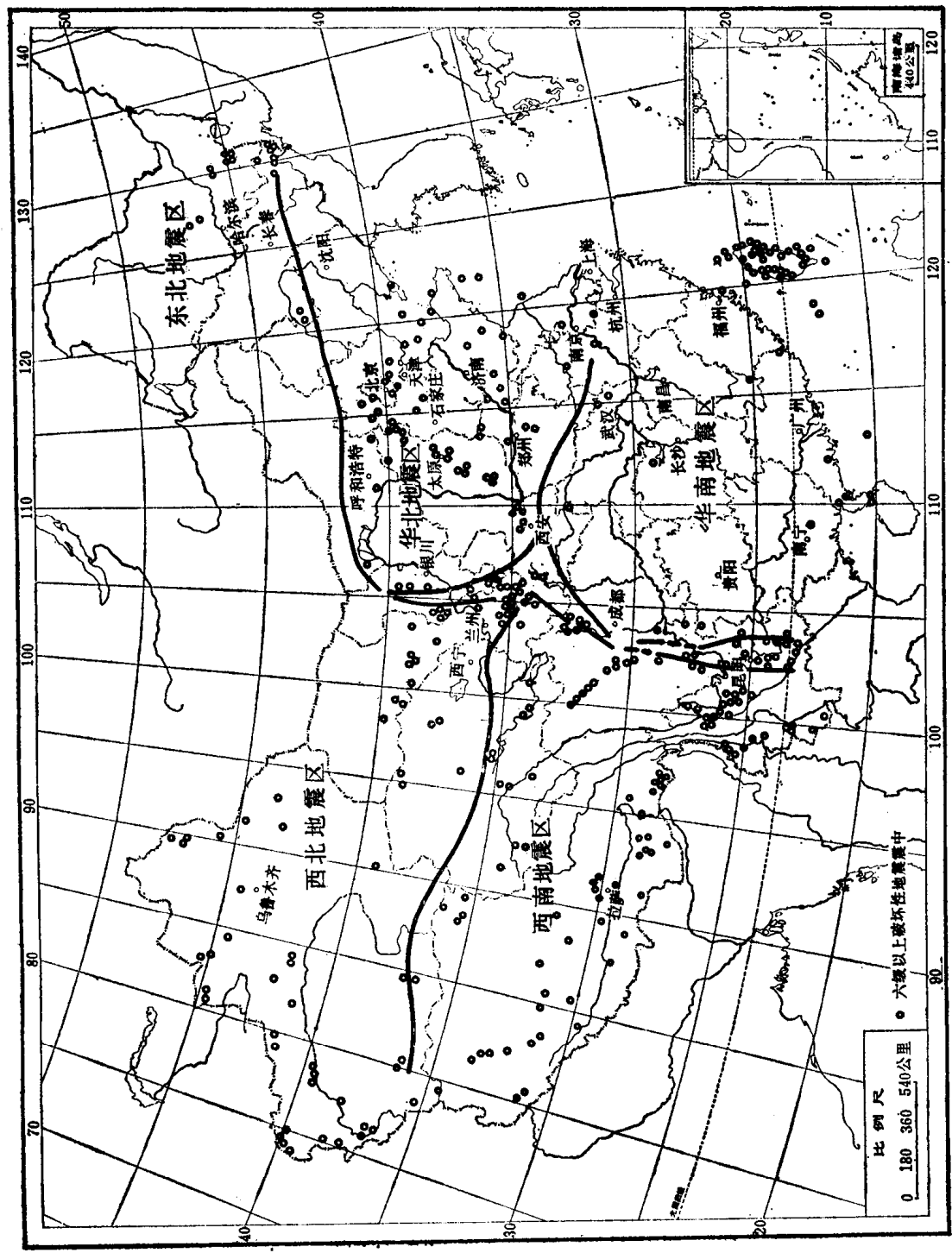


图 1-5 我国的主要构造带和地震分区示意图

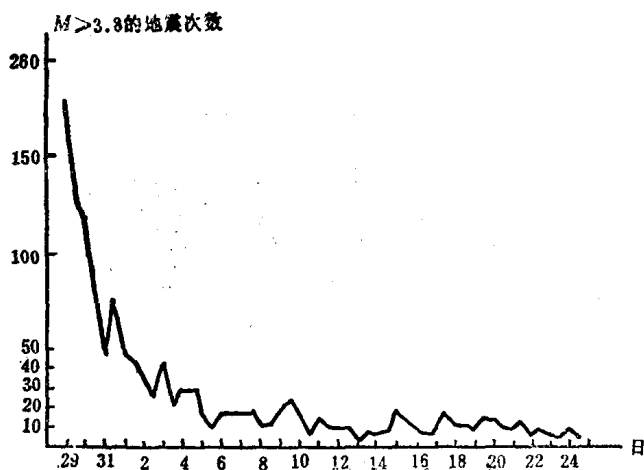


图 1-6 唐山地震余震频度图

1. 主震余震型地震

这一类型的地震，前震较少，主震震级突出，释放能量一般占全序列能量的百分之八十以上，其中大多数序列的主震能量占百分之九十以上，而余震较多，往往数目不绝。例如1976年7月28日凌晨唐山7.8级大地震后，当天就发生一次7.1级强余震和十次大于6级的较强余震，以后余震波浪起伏衰减，据统计地震后四个月内共计发生4级以上的余震近千次，4级以下的余震数以万计（图1-6）。

主震余震型地震虽然都有余震发生，但不一定都有比较完整的前震序列。例如，唐山大地震前仅记录到三次1级以下的微小地震，而海城地震前则记录到数百次小震。所以，如何及时准确地辨别出前震序列及其规律，对于大地震的短期和临震预报，具有重要的意义。

2. 震群型地震

这一类型地震没有突出的主震，前震和余震都较多，主要能量是通过多次震级相近的地震释放出来。例如邢台地震，1966年3月8日晨发生第一次6.8级强烈地震，随后于3月22日在八分钟内发生了6.8级和7.2级两次强地震，后来又发生了6.7级和6.2级强震。早在1965年8月邢台地区就开始有2级多的小地震发生，而大地震出现后的十年里光能测定出各种参数（发震时刻、震级和震中位置）的地震就有六万余次。1960年智利大地震亦属这种类型。这次地震从5月21日到6月22日，共发生有感地震225次，其中三次超过8级。

3. 单发型地震

这类地震也称孤立型地震，前震和余震都很小很少，主震的能量占全部地震能量的百分之九十九以上，主震与最大余震震级之比十分悬殊。例如，1976年4月6日内蒙和林格尔6.3级地震就属于这个类型。

在上述三种类型地震中，据统计主震余震型地震约占60%，震群型地震占30%，而单发型约只占10%左右。

§ 1-2 地震波、地震震级和地震烈度

一、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。在地球内部，地震波是一种体波，包含有“纵波”和“横波”。

纵波，亦称P波和压缩波，其质点的振动方向与波的前进方向一致，可在固体、液体内传播，一般表现出周期短、振幅小。横波，亦称S波和剪切波，其质点的振动方向与波的前进方向相垂直，仅能在固体内传播，不能在液体内传播，一般表现出周期较长，振幅较大。

(图 1-7)。

纵波与横波的传播速度，在理论上可分别用下列公式计算：

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

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

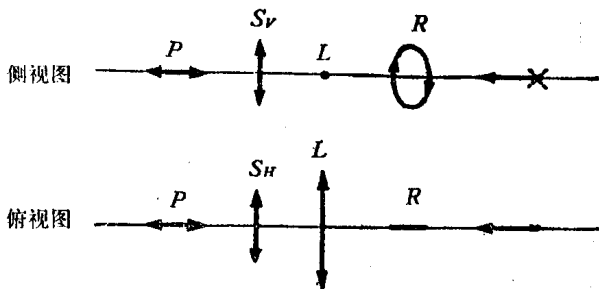


图 1-7 按传播速度排列的质点运动和地震波

式中 V_P ——纵波速度； V_S ——横波速度； E ——弹性模量； μ ——介质的泊松比； ρ ——介质密度； G ——剪切模量。

当取 $\mu=1/4$ 时，从式 (1-1) 和式 (1-2) 可得：

$$V_P = \sqrt{3} V_S \quad (1-3)$$

可见， P 波比 S 波传播速度要快。根据波速不同，分析地震记录图上 P 波和 S 波的到达时间差，常用来确定震源的距离。当距离震源很近时，两种波几乎是同时到达。

表 1-1 给出了 S 波在一些介质中的传播速度值。

表 1-1

S 波的传播速度(米/秒)

砂	60	含砂砾石	300~400
人工填土	100	饱和砂土	340
亚粘土	100~200	砾石	600
粘土	250	第三纪岩层	1000 以上

由于地球的层状构造特点，体波通过分层介质时，将会在界面上反复发生反射和折射。在地球这一特殊界面上，当体波经过地层界面多次反射后，投射到地面时，又激起两种仅沿地面传播的面波——瑞雷波(R)和乐夫波(L)(图1-7)。 R 波传播时，质点在波的传播方向和地面法线所组成的平面内作椭圆运动；而 L 波则在地面上呈蛇形运动形式。面波振幅大而周期长，只在地表附近传播，振幅随深度增加而减小，速度为 S 波速度的 90 % 左右，面波的传播是平面的，比体波衰减慢，故能传播到很远的地方。

图 1-8 所示，为某次地震所记录到的地震波情况，首先到达的是 P 波，继而 S 波， R 波到达最迟，然而就振幅而言，后者最大。并且可以注意到，在这三种波到达之间是较为静

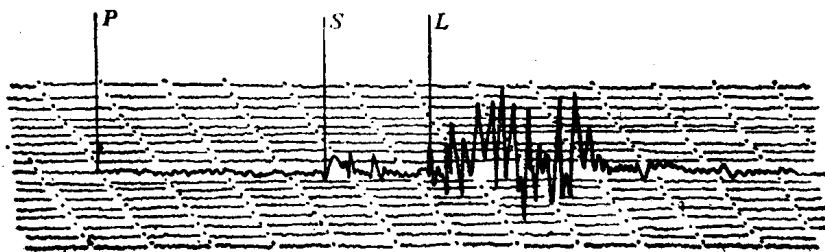


图 1-8

止的，这种静止的时间间隔，随着到震源距离的减小而缩短。在震中区，鉴于震源机制和地面扰动的复杂性，三者的波列几乎是难以区分的。

二、震级

震级就是地震的级别，用以说明某次地震的大小。

目前国际上比较通用的是里氏震级，其原始定义系 1935 年由里克特所给出，即：震级大小系利用标准地震仪（指周期为 0.8 秒，阻尼系数 0.8，放大倍数 2800 的地震仪），在距震中 100 公里处记录的以微米（ $\mu = 10^{-4}\text{cm}$ ）为单位的最大水平地动位移（振幅）的普通对数值。其表达式如下：

$$M = \log_{10} A \quad (1-4)$$

式中 M ——震级； A ——地震仪记录曲线上的最大振幅。

显而易见，实际上地震时距震中恰好 100 公里处不一定有地震仪，并且观测台也不一定采用的是上述所说的那种标准地震仪。因此，对于地震仪距震中距离不是 100 公里及各种非“标准”地震仪所确定的震级，可根据大量观测数据，运用统计方法，找出各种因素对震级值影响的经验关系，加以修正而得到。

震级表示一次地震能量的大小，也是表示地震规模的指标，所以一次地震只有一个震级。各种不同的震级和地震波能量间的经验关系如下：

$$\log_{10} E = 11.8 + 1.5 M \quad (1-5)$$

式中 E ——地震波所释放出的能量（尔格）。

根据式（1-5）可以推算出，震级每差一级，地震波能量将差 32 倍。

一般地说，小于 2 级的地震，人们感觉不到，称做微震；2~4 级地震称有感地震；5 级以上，就要引起不同程度的破坏，统称为破坏性地震；7 级以上称为强烈地震或大地震；8 级以上称特大地震。到目前为止，所记录到的世界最大地震，是 1960 年 5 月 22 日发生在智利的 8.9 级地震。

应当说明，实际上地震发生时，岩石所积累的应变能，在地震发生过程中转换成热能和使岩石发生断裂、位移的机械能和波能。我们以上所讨论的能量，只限于地震波的能量，这部分能量只是地震时所释放的能量的一部分，甚或只是一小部分。

三、地震烈度与烈度表

1. 地震烈度

地震烈度是指某一地区，地面及房屋建筑等遭受到一次地震影响的强弱程度。对应于一次地震，表示地震大小的震级虽只有一个，然而各地区由于距震中远近不同，地质情况和建筑情况不同，所受到的影响不一样，因而烈度不同。一般地说，震中区烈度最大，离震中愈远烈度愈小。

烈度是根据人的感觉，家具和物品的振动情况，房屋和构筑物遭受破坏程度等定性的描绘。所以，可以认为烈度是表示地震影响程度的一个尺度。评定烈度的标准叫烈度表。由于对烈度影响从轻到重的分段不同，以及在宏观现象的描述和定量指标确定方面的差异，加之各国建筑物情况和地表条件都有不同，各国所编制的烈度表也不尽相同。国际上普遍采用的是划分为 12 度的烈度表，也有一些国家沿用划分为 10 度（如欧洲一些国家）和 7 度的（如日本）烈度表。目前，我国使用的是 12 度烈度表。在这个烈度表中，给出了房屋和结构物在各种烈度下的破坏情况，详见附录表 1。

2. 基本烈度和设计烈度

地震基本烈度是指某地区今后一定时期内,在一般场地条件下可能遭受的最大烈度。各个地区的基本烈度,是根据当地的地质地形条件和历史地震情况等,由有关部门确定的。

设计烈度是根据建筑物的重要性,在基本烈度的基础上,按区别对待的原则进行调整确定的。

对于特别重要的建筑物,经国家批准,设计烈度可按基本烈度提高一度采用。所谓特别重要的建筑物,是指具有重大政治经济意义和文化价值的以及次生灾害特别严重的少数建筑物,这些建筑物必须保证具有特殊的安全度。

对于重要的建筑物,设计烈度应按基本烈度采用。所谓重要建筑物是指在使用上、生产上、政治经济上具有较大影响的,以及地震时容易产生次生灾害的,或一旦破坏后修复较困难的建筑物。例如:医院、消防、供水、供电等建筑物,地震发生时要保证救灾和人民生活的需要;电讯、交通等建筑物则除上述原因外,还涉及国内国际影响,地震时不能中断使用;另外,重要企业中的主要生产厂房、极重要的物资贮备仓库、重要的公共建筑、高层建筑、住宅、旅馆等,都属于重要的建筑物。

对于次要建筑物,设计烈度可比基本烈度降低一度采用。如一般仓库、人员较少的辅助建筑物等,为了避免有些建筑物在设计烈度降低后,地震时会有较大的破坏,甚至在高烈度时有倒塌的危险,它的抗震构造措施可仍按基本烈度考虑,以保证房屋的基本抗震要求。

为了保证属于7度地区的建筑物都具有一定的抗震能力,当基本烈度为7度时,设计烈度不再降低。

对于临时性建筑物,可不考虑设防。

3. 房屋的抗震设防标准

房屋抗震设防是指对房屋进行抗震设计和采取抗震构造措施,来达到抗震的效果。抗震设防的依据是设计烈度。

经验表明,如果要求建筑物经强烈地震后完整无损,不仅要大大增加设防投资,甚至在技术上也存在一定的困难,而且考虑到强震不是经常发生的。因此,我国工业与民用建筑抗震设计规范(TJ11-78)¹⁾规定,建筑物经抗震设防后,在遭遇的地震烈度相当于设计烈度时,建筑物的损坏不致使人民生命和重要生产设备遭受危害,建筑物不需修理或经一般修理仍可继续使用。概括地说,就是“小震不坏,大震不倒”,重点是不倒。

考虑到6度及6度以下地区,地震对建筑物的损坏影响较小,根据我国的具体情况,以设计烈度7度为设防起点,即小于7度不设防。在9度以上的地区,地震过于强烈,一般应避免在设计烈度高于9度的地区进行重大工程建设。

亦应说明,所谓设防标准,除考虑房屋经受一次设计烈度大小的地震影响外,还应考虑余震的影响和连续地震的可能性,以及在这种情况下,由于震害积累所造成的更大损害。

4. 地震危险区划和烈度区划图

(1) 地震危险区划

强烈地震是一种破坏力很大的自然灾害,目前人们还无法对它进行控制。为了合理地估计某一地区今后的地震发生规律和破坏影响,以避免或减少地震损失,需要事先提出各地区

¹⁾ 以下简称:抗震设计规范。

地震危险程度，这就要求编制出精确可靠的地震区划图。

地震，特别是强震分布是不均匀的，往往沿着一定的地带分布或密集于一定的地区。我国根据地震分布的相对集中、活动时间的一致性、地震的强度和频度特征的差异、构造活动的分区特点、构造体系的挽近活动、现代应力场特征的一致性、以及地球物理场与深部构造特征的分带差别等，将全国范围划分为：台湾、南海、华南、华北、东北、青藏高原南、中、北三部、新疆中、北二部共十个地震区，其中又划分了二十三个地震亚区和三十个地震带。

台湾地区的地震频度和强度占我国首位。我国东部大陆地区，以华北地震区的地震活动最为强烈，华南区次之，东北区和南海区最弱。我国西部青藏高原的三个地震区和新疆地震区地震活动都很强烈。

对于以上各地震区(带)地震活动期、应变发展过程、震级和频度的关系，应用数理统计方法，分析出未来百年内地震活动趋势和强度，结合强震发生的地质构造条件和强震的重复特性，以及强震的填空¹⁾与迁移²⁾方面的规律，从而可以确定出未来强震发生的可能地段和圈定出地震危险区。

(2) 地震烈度区划图

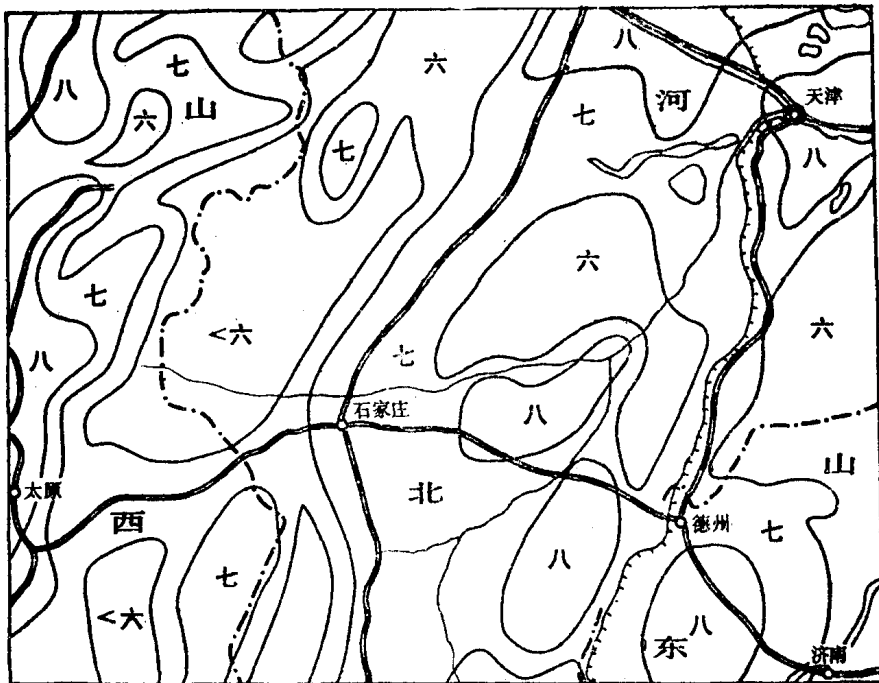


图 1-9 河北和山西部分地区烈度区划示意图

以预测的地震危险区为基础，结合地震大小、震中距离以及地基土的性质等条件的控制和影响，结合历史地震的宏观调查资料，及地震烈度随震中距离的增加而衰减的经验数据，所圈定的以烈度大小为主要特征的定量分析图称“地震烈度区划图”。

国家地震局于 1977 年 5 月所编制的《中国地震烈度区划图》，是我国地震科学近年来的

¹⁾ 有一些强震，在其发生前若干年内，未来地震震中的附近却非常平静，形成一个空白区，而其稍远的外围地区地震却很活跃，这种现象称为地震的“填空性”。

²⁾ 地震震中的地理分布常表现按一定的方向，并在时间上有次序地发生。这种现象称为地震的迁移性。

一项新的研究成果。该图预测了今后百年内我国各地区可能出现的最大地震烈度，它是国家建设规划和建设一般中小型工程的重要参考依据。

图 1-9 所示是我国河北和山西部分地区烈度区划示意图。

§ 1-3 地震的破坏现象

一、地表的破坏现象

强烈地震时，由于地下断层的错动和地面运动的结果，常常在地面上产生裂缝现象（图 1-10）。

地面上地裂缝的多少、长短、深浅与地震的强烈程度、地表情况、受力特征等因素有关。潮湿松软的土层，河堤岸边，陡峻的山坡等处，都是容易产生地裂缝的地方。这些裂缝长度可由几米到几十米，其断续总长可达几公里，但一般都不深，多者 1~2 m 而已。此外，一般地裂缝大多是按一定方向（平行斜裂或齿形交错）有规律地分布的。这些都反映出这种地裂缝是地震时地表受到挤压、伸张、旋扭等力作用的结果。所以，研究地面裂缝的形状、方向、规模，对研究地震活动规律是极其有用的。

地裂缝穿过房屋会造成墙和基础的断裂或错动，严重时会造成房屋倒塌。但是地面上的建筑物或建筑群，有时也对地裂缝的展布具有一定的抑制作用。

除地裂缝之外，当强地震时，在一定的地质条件下（如地下溶洞），还可能出现局部的地震陷坑或大面积地面下沉现象。

除上述地表土层中产生的裂缝之外，地壳深部断层错动也可使地面的岩层发生与地下断裂带走向一致的错移裂缝。美国旧金山大地震圣安德烈斯断层的巨大水平位移，就是现代可见断层形成的最好例证。

在地下水位较高、砂层埋深较浅的平原地区，地震时地震波的强烈振动使含水层受到挤



图 1-10 唐山地震中的地裂现象

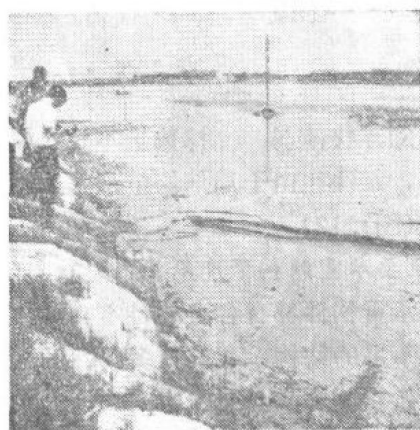


图 1-11 唐山地震中，地面发生大面积喷砂冒水现象