

全国注册结构工程师继续教育必读系列教材（之五）

建筑震害与设计对策

黄世敏 杨沈 等 编著

中国计划出版社

编审人员名单

	编写人员	审校人员
第1章	杨 沈	黄世敏
第2章	罗开海	杨 沈
第3章	姚秋来	杨 沈
第4章	黄世敏	程绍革
	赵赤云	
第5章	肖 伟	黄世敏
第6章	易方民	黄世敏
第7章	葛学礼	程绍革
第8章	薛彦涛	程绍革

前 言

受住房和城乡建设部执业资格注册中心委托编写此书，作为全国一级注册结构工程师继续教育必修教材。

地震，尤其是大地震给人类带来了巨大的灾难，防震减灾是抵御地震灾害的必然选择。历次震害表明建筑工程的破坏是地震中人民生命财产损失的主要原因。做好建筑工程的抗震设计工作，是避免和减少地震灾害损失的关键手段。

本书综合研究了近年来世界各地的地震震害，特别是我国5·12汶川大地震的建筑震害，总结和归纳其经验教训，提出了抗震设计对策。在编写过程中以我国现行建筑抗震设计规范为出发点，吸收国内外建筑抗震设计的先进技术和经验，注重理论联系实际，突出实用性。全书由地震基本知识、建筑结构抗震设计基本概念、多层砌体房屋震害与设计对策、多层和高层钢筋混凝土房屋的震害与设计对策、底部框架-抗震墙砌体房屋震害与设计对策、多层和高层钢结构房屋震害与设计对策、村镇民居震害与抗震措施、建筑隔震设计等八章组成，涵盖了建筑结构抗震设计的主要内容，反映了目前抗震设计的技术水平，旨在为结构设计人员提供一定的抗震设计方法指导。

本书由黄世敏研究员和杨沈研究员担任主编，负责大纲拟定、全书统稿，程绍革研究员参加了校审工作。参加编写的人员为：杨沈研究员编写第1章，罗开海高级工程师编写第2章，姚秋来高级工程师编写第3章，赵赤云教授和黄世敏研究员编写第4章，肖伟研究员编写第5章，易方民研究员编写第6章，葛学礼研究员编写第7章，薛彦涛研究员编写第8章。

本书作为全国一级注册结构工程师继续教育必修教材，同时还可作为建筑工程设计、施工、科研单位的专业技术人员以及高等院校相关专业师生的参考书和培训教材。

在本书编写、审校过程中，得到了北京清华城市规划设计研究院结构总工程师王昌兴以及住房和城乡建设部执业资格注册中心领导的大力支持和指导，并提出了许多宝贵的修改意见，在此表示衷心的感谢。同时对本书中所参考和引用过文献资料的单位和作者，一并表示衷心的感谢。

由于作者水平所限，书中难免有不足之处，恳请读者和同行批评指正。

编 者

2009年9月

目 录

第1章 地震基本知识	(1)
1.1 地球的构造	(1)
1.2 地震的类型与成因	(2)
1.2.1 地震的类型	(2)
1.2.2 地震的成因	(2)
1.3 地震序列	(3)
1.4 地震分布	(4)
1.5 地震波与传播	(6)
1.6 地震震级、震源与震中	(7)
1.6.1 震级	(7)
1.6.2 震源与震中	(8)
1.7 地震烈度	(8)
1.8 地震灾害	(11)
1.8.1 地震引起的地表变化	(11)
1.8.2 工程破坏	(14)
1.8.3 次生灾害	(17)
1.9 建筑震害的程度划分	(18)
参考文献	(20)
第2章 建筑结构抗震设计基本概念	(21)
2.1 建筑抗震设计思想	(21)
2.2 建筑地震灾害及启示	(24)
2.2.1 房屋建筑地震破坏的直接原因	(24)
2.2.2 历次地震房屋建筑震害概况	(24)
2.2.3 房屋建筑地震震害经验与启示	(39)
2.3 工程场址的合理选择	(40)
2.4 建筑和结构布置原则	(46)
2.4.1 建筑不规则布置与震害	(46)
2.4.2 结构不合理布置与震害	(48)
2.4.3 关于建筑结构布置的设计对策	(49)
2.5 抗震结构体系的优化配置	(52)
2.5.1 多道抗震防线	(52)

2.5.2 足够的侧向刚度	(52)
2.5.3 足够的冗余度	(53)
2.5.4 良好的结构屈服机制	(54)
2.5.5 构件设计准则	(54)
2.6 妥善处理非结构构件	(55)
2.7 地震作用的计算	(56)
2.7.1 计算原则	(56)
2.7.2 计算方法	(56)
2.7.3 几点注意事项	(57)
参考文献	(58)
第3章 多层砌体房屋震害与设计对策	(60)
3.1 多层砌体房屋的震害及其规律	(60)
3.1.1 震害统计	(60)
3.1.2 震害表现	(61)
3.2 多层砌体房屋的抗震性能	(69)
3.2.1 多层砌体房屋墙体的抗震性能	(69)
3.2.2 多层砌体房屋的抗震性能	(71)
3.3 多层砌体房屋抗震设计的一般要求	(73)
3.3.1 平、立面布置要规则	(73)
3.3.2 房屋高度要限制、高宽比要控制	(73)
3.3.3 房屋的层高	(75)
3.3.4 房屋的最大高宽比	(76)
3.3.5 房屋抗震横墙的间距	(76)
3.3.6 局部尺寸要控制	(76)
3.3.7 房屋结构体系要合理	(78)
3.4 多层砌体结构的抗震计算要点	(80)
3.4.1 水平地震作用的计算	(80)
3.4.2 楼层地震剪力设计值在各墙段的分配	(81)
3.4.3 截面抗震验算	(82)
3.5 多层砌体结构的抗震构造要求	(84)
3.5.1 钢筋混凝土构造柱的设置	(84)
3.5.2 钢筋混凝土圈梁	(87)
3.5.3 楼、屋盖	(90)
3.5.4 墙体拉结钢筋	(90)
3.5.5 楼梯间的构造要求	(91)
3.5.6 基础	(91)
3.5.7 横墙较少住宅楼的加强措施	(91)
参考文献	(92)

第4章 多层和高层钢筋混凝土房屋的震害与设计对策	(93)
4.1 钢筋混凝土结构的震害及其规律	(93)
4.1.1 钢筋混凝土框架结构的震害及相关规范的要求	(93)
4.1.2 具有抗震墙的钢筋混凝土结构的震害及相关规范的要求	(107)
4.2 钢筋混凝土结构的受力特点与适用范围	(111)
4.2.1 常用结构体系的受力特点	(111)
4.2.2 各种结构体系适用的最大高度	(120)
4.3 钢筋混凝土结构的结构布置	(121)
4.3.1 抗震设计的基本原则	(121)
4.3.2 结构平面布置	(122)
4.3.3 结构竖向布置	(123)
4.3.4 变形缝的处理	(125)
4.3.5 基础及地下室设计	(128)
4.4 钢筋混凝土结构的抗震设计要点	(128)
4.4.1 延性结构设计的几个概念	(129)
4.4.2 延性框架结构设计要点	(132)
4.4.3 延性剪力墙结构设计要点	(135)
4.5 钢筋混凝土结构抗震措施	(142)
4.5.1 框架结构抗震措施	(142)
4.5.2 剪力墙结构抗震措施	(160)
4.5.3 框架-剪力墙结构抗震措施	(171)
4.5.4 底部大空间剪力墙结构抗震措施	(175)
4.5.5 筒体结构抗震措施	(179)
4.6 结构计算分析	(180)
参考文献	(186)
第5章 底部框架-抗震墙砌体房屋震害与设计对策	(187)
5.1 底部框架-抗震墙砌体房屋的震害规律及特点	(187)
5.1.1 底部框架-抗震墙砌体房屋震害的基本规律	(188)
5.1.2 柔性底部框架砌体房屋的震害特点	(188)
5.1.3 底部框架-抗震墙砌体房屋的震害特点	(189)
5.2 底部框架-抗震墙砌体房屋的抗震性能	(196)
5.2.1 带边框开竖缝钢筋混凝土低矮墙的抗震性能	(197)
5.2.2 托墙梁的受力特点	(198)
5.2.3 整体受力特性和抗震性能	(200)
5.3 底部框架-抗震墙砌体房屋抗震设计的基本对策	(204)
5.3.1 平、立面布置	(204)
5.3.2 层数和总高度、高宽比	(205)

5.3.3	抗震横墙间距	(205)
5.3.4	结构体系	(206)
5.3.5	侧向刚度比	(208)
5.3.6	底部钢筋混凝土抗震墙的高宽比	(209)
5.3.7	底部框架和钢筋混凝土墙的抗震等级	(210)
5.3.8	托墙梁	(210)
5.3.9	过渡楼层	(210)
5.3.10	薄弱楼层的判别	(210)
5.3.11	楼梯间	(211)
5.3.12	防震缝	(211)
5.3.13	其他要求	(212)
5.4	底部框架-抗震墙砌体房屋抗震设计的计算要点	(212)
5.4.1	水平地震作用	(212)
5.4.2	底部框架-抗震墙部分地震剪力的分配	(212)
5.4.3	底部地震倾覆力矩的分配	(213)
5.4.4	上部砌体部分水平地震剪力的分配	(214)
5.4.5	底部框架托墙梁计算	(214)
5.4.6	砖抗震墙对框架产生的附加轴力和剪力	(216)
5.4.7	截面抗震验算	(216)
5.5	底部框架-抗震墙砌体房屋抗震构造措施	(217)
5.5.1	底部框架-抗震墙部分	(218)
5.5.2	上部砌体部分	(219)
5.5.3	其他构造措施	(220)
5.6	底部框架-抗震墙和上部砌体匹配性的探讨	(221)
5.6.1	侧向刚度比与底部抗震墙承载力的协调	(221)
5.6.2	底部地震剪力设计值的调整	(222)
5.6.3	底部地震剪力的分配(底部两层框架-抗震墙砌体房屋)	(222)
5.6.4	底部地震倾覆力矩的分配	(223)
5.6.5	过渡楼层抗弯能力的加强	(224)
	参考文献	(225)
第6章	多层和高层钢结构房屋震害与设计对策	(226)
6.1	多层和高层钢结构房屋的震害	(226)
6.1.1	梁柱的节点	(226)
6.1.2	梁、柱、支撑等构件的破坏	(228)
6.1.3	节点域的破坏	(229)
6.1.4	多层钢结构底层或中间某层整层的坍塌	(230)
6.1.5	震害原因探讨	(230)
6.2	多层和高层钢结构房屋受力特点与适用范围	(230)

6.2.1 纯钢框架结构的抗震性能	(230)
6.2.2 钢框架-支撑(抗震墙板)结构的抗震性能	(231)
6.2.3 筒体结构的抗震性能	(232)
6.2.4 巨型框架结构的抗震性能	(233)
6.3 多层和高层钢结构房屋的结构布置	(233)
6.3.1 结构平、立面布置以及防震缝的设置	(233)
6.3.2 各种不同结构体系的多层和高层钢结构房屋适用的高度和最大高宽比	(234)
6.3.3 框架-支撑结构的支撑布置原则	(235)
6.3.4 多层和高层钢结构房屋中楼盖形式	(236)
6.3.5 多层和高层钢结构房屋的地下室	(236)
6.4 多层和高层钢结构房屋的抗震计算要点	(237)
6.4.1 抗震设计的验算内容以及作用效应的组合方法	(237)
6.4.2 计算模型及有关参数的选取	(237)
6.4.3 钢结构在地震作用下的内力调整	(239)
6.4.4 结构在地震作用下的变形验算	(240)
6.4.5 钢结构构件的承载力验算	(240)
6.4.6 钢结构构件连接的弹性设计和极限承载力验算	(243)
6.4.7 不同连接材料的承载力计算方法、全塑性受弯承载力计算公式	(245)
6.5 钢框架结构抗震构造措施	(246)
6.5.1 框架柱的构造措施	(246)
6.5.2 框架梁的构造措施	(248)
6.5.3 梁柱连接的构造	(248)
6.5.4 节点域的构造措施	(250)
6.5.5 刚接柱脚的构造措施	(250)
6.6 钢框架-支撑结构抗震构造措施	(253)
6.6.1 钢框架-中心支撑结构抗震构造措施	(253)
6.6.2 钢框架-偏心支撑框架结构抗震构造措施	(254)
参考文献	(256)
第7章 村镇民居震害与抗震措施	(257)
7.1 村镇民居的结构类型与震害特点	(257)
7.1.1 村镇民居的结构类型	(257)
7.1.2 农村建筑地震震害特点	(260)
7.2 村镇民居抗震设计基本要求	(265)
7.2.1 村镇房屋建筑设计和结构体系的要求	(265)
7.2.2 场地、地基与基础抗震要求	(268)
7.3 村镇民居抗震措施	(269)
7.3.1 加强房屋整体性措施	(269)
7.3.2 加强木构架节点拉结措施	(270)

7.3.3 加强墙体与木构架拉结措施	(272)
7.3.4 加强楼(屋)盖整体性拉结措施	(274)
7.3.5 加强屋盖易倒塌、掉落构件的拉结措施	(276)
参考文献	(278)
第8章 建筑隔震设计	(279)
8.0.1 基础隔震基本原理	(279)
8.0.2 地震时隔震建筑的表现	(280)
8.0.3 我国隔震建筑发展状况	(282)
8.0.4 隔震层组成	(282)
8.0.5 隔震技术应用范围和适用条件	(291)
8.0.6 隔震设计基本要求	(292)
8.0.7 隔震结构的设计	(293)
8.0.8 隔震支座检验要求	(303)
8.0.9 施工技术要点	(303)
参考文献	(304)

第 1 章 地震基本知识

地震，是一种常见的自然现象，是地壳运动的一种表现，即地球内部缓慢积累的能量突然释放而引起的地球表层的振动。据统计，全世界每年发生地震大约 500 万次。其中，绝大多数地震很小，不用灵敏仪器便觉察不到，约占地震总数的 99%，其余的 1%；约 5 万次，才会被人们感觉出来。一般情况下，5 级以上地震就能够造成破坏，习惯上称为破坏性地震，平均每年发生约 1000 次；7 级以上强震平均每年 18 次；8 级以上大震每年发生 1~2 次。

我国地处世界上两个地震带之间，有些城区就是这两个地震带的组成部分，受它的影响，我国地震活动不仅频度高，强度大，而且地震活动的范围很广，几乎全国各省均发生过强震。据统计，我国大陆地震约占世界大陆地震的三分之一；上世纪以来全球大陆 7 级以上的强震，我国约占 35%。我国是一个多地震的国家。1966 年河北邢台、1975 年辽宁海城、1976 年河北唐山、1999 年台湾集集和 2008 年四川汶川发生的地震是我国影响最大、破坏最强烈的几次地震。

本章简单介绍一些与工程抗震有关的一般地震知识。

1.1 地球的构造

地球是一个平均半径为 6400km 的椭圆球体，至今已有 45 亿年的历史。研究表明，地球是由性质不同的三个层构成：最外面是一层很薄的地壳，中间很厚的一层是地幔，最里面叫地核（图 1-1）。

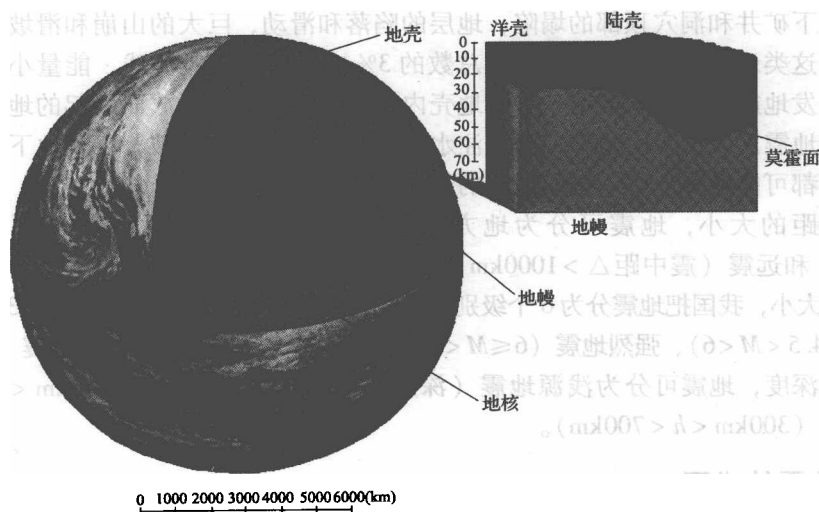


图 1-1 地球结构示意图

地壳是由各种不均匀的岩石组成的。除表面的沉积层外,陆地下面的地壳主要有两大层:上部的花岗岩层和下部的玄武岩层;海洋下面的地壳一般只有玄武岩层。地壳的厚度很不均匀,在大陆下面,地壳平均厚度是30km;在海洋下面,地壳只有几千米。世界上绝大部分地震都发生在这一薄薄的地壳内。

地幔主要是由质地非常坚硬、结构比较均匀的橄榄岩组成。据推测,构成地幔的物质是具有粘弹性的。地幔厚2900km,即从地表起接近地球半径一半的深度,占地球全部体积的六分之五。到现在为止,所观测到最深的地震是700多km,这比起地球半径来仅占十分之一,可见地震仅发生于地球的表面部分—地壳中和地幔上部。

地核是半径为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,由于至今还没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。

地球各部分的比重随深度增加而增大,平均比重约为 $5.5\text{g}/\text{cm}^3$ 。

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 ,但增长率随深度增加而减小。以推算地下20km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。

1.2 地震的类型与成因

1.2.1 地震的类型

按形成原因可分为四类:①构造地震:在构造应力场作用下,岩层突然错动而发生的地震。这类地震数量多,分布广,占地震总数的90%左右。世界上震级大破坏严重的地震都属这一类。②火山地震:火山口地下岩浆的膨胀和收缩,岩浆的运移、流动和冲击,火山喷出的可燃气体的爆炸,以及岩浆喷发后火山底部岩层的崩塌等现象所引起的地震。火山地震数量少,占地震总数的7%左右。其能量小,主要分布在火山活动带附近。③冲击地震:由地下矿井和洞穴顶部的塌陷,地层的陷落和滑动,巨大的山崩和滑坡等现象所引起的地震。这类地震为数最少,占地震总数的3%左右。由于震源浅,能量小,影响范围也小。④诱发地震:由于人类活动导致地壳内应力应变积累的释放而引起的地震,实质上是一种构造地震。大型水库蓄水,深井注水,大型矿山等工业爆破,以及地下核爆炸试验等人类活动都可能触发地震。诱发地震的最大震级不超过6.5级。

按震中距的大小,地震可分为地方震(震中距 $\Delta < 100\text{km}$)、近震($100\text{km} \leq \Delta \leq 1000\text{km}$)和远震(震中距 $\Delta > 1000\text{km}$)。

按震级大小,我国把地震分为6个级别:小地震(震级 $M < 3$)、有感地震($3 \leq M \leq 4.5$)、中强地震($4.5 < M < 6$)、强烈地震($6 \leq M < 7$)、大地震($7 \leq M < 8$)和特大地震($M \geq 8$)。

按震源深度,地震可分为浅源地震(深度 $h \leq 60\text{km}$)、中源地震($60\text{km} < h \leq 300\text{km}$)和深源地震($300\text{km} < h < 700\text{km}$)。

1.2.2 地震的成因

关于地震成因,较为重要的假说有断层成因说、岩浆冲击成因说和相变成因说。其中

以断层成因说最为人们所重视。

(1) 断层成因说：构造地震的直接原因是岩层的破裂。多数地震是因已有断层的重新错动，少数是新断裂的产生造成的。板块构造学认为板块、亚板块和块体的运动在块体边缘（通常是活的断裂带）某些构造部位上发生应力集中和应变积累而积聚了应变能。当积累的能量超过一定限度时，地下岩层突然破裂，形成断层，或者是沿已有的断层发生突然的滑动，释放出很大的能量，其中一小部分以地震波的形式传播出去，形成地震。关于地震成因的这种认识，是里德（Reid）研究 1906 年旧金山大地震后提出来的。里德提出了地震成因的弹性回跳学说。假定最初岩石是没有变形的。随着板块的连续运动，断层两侧岩石发生了变形。一旦发生地震后，两侧岩石又分别跳回到未变形时的状态。这种弹性回跳学说形象地说明了断层运动造成地震的过程（图 1-2）。

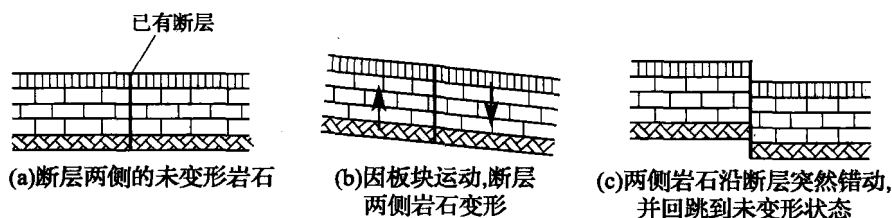


图 1-2 地震弹性回跳学说示意图

多数大地震发生在岩石层（圈）板块边缘的断层上，各板块间相对运动是造成大地震的主要原因。但也有不少地震发生在板块内部，叫做板内地震。由于陆地人口稠密，板内地震造成的人员伤亡和财产损失往往十分巨大。1556 年我国陕西关中大地震和 1976 年唐山大地震均属于板内地震。板内地震的原因目前还不十分清楚。

(2) 岩浆说：岩浆说认为高温岩浆的流动和冲击给围岩施加热应力，使岩层急剧增温并强烈变形，引起地震。在洋中脊板、块俯冲带或板块内部有些地震的发生与岩浆的侵入、冲击或膨胀收缩作用有关。某些大震区发现地下热异常和高温气体溢出现象，是岩浆说的间接证据。火山喷发时岩浆和气体的猛烈冲出造成强烈震动会触发构造地震的发生。由于岩浆的大量喷出，火山下岩层空缺，上部岩层崩落也会引起地震。

这一假说在火山地区比较受到重视，因为那些地区的岩浆活动相当普遍。火山地震一般不大，涉及区域也不广。我国除台湾省外，大陆上绝大部分地震都与火山无关。

(3) 相变说：相变说认为当地下的温度和压力达到一定临界值时，岩石中矿物结晶状态可能发生突变，从而使岩石的体积也发生突变（膨胀或收缩），这样就引起地震。自从板块构造学提出后，地震的相变成因说已失去重要的依据。

1.3 地震序列

地震序列是按时间顺序排列的，在一定时间内，同一地质构造区内发生的一系列地震（图 1-3 汶川地震余震时间序列图）。一次强烈地震一般由前震、主震和余震三个阶段组成。前震是强烈地震发生前的一些较小的地震。主震是一系列地震中震级最大的那一次地震，它释放主要能量。余震是主震后在震中区及邻近地区发生的一系列小于主震的地震。根据强烈地震中前震、主震和余震的分布特点，地震序列大体可分为三个基本类型。

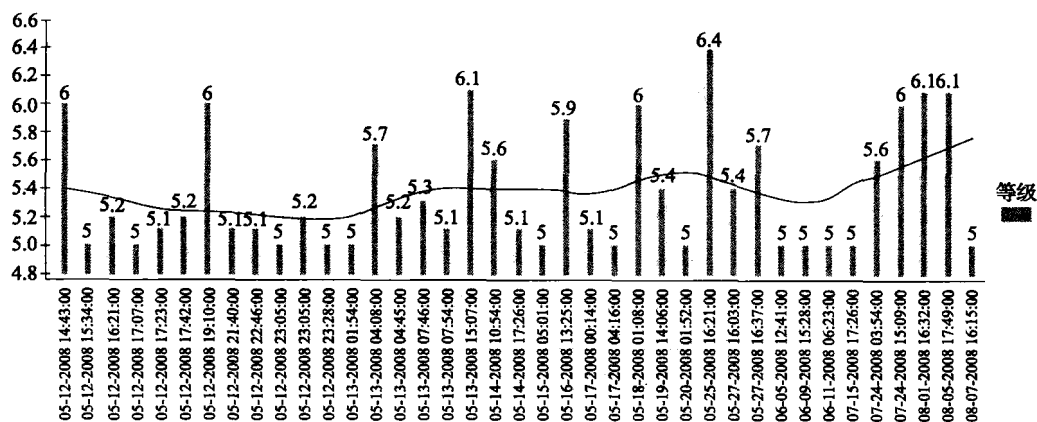


图 1-3 汶川地震余震时间序列图 (5 级以上)

(1) 主震型：在这类地震序列中，主震震级显得很突出，且有很多余震，但其中与主震震级相近的地震很少。主震释放的地震能量占全序列的 90% ~ 95%。根据前震活动的情况，主震型序列又可分为有明显前震活动（如 1975 年海城地震）和无明显前震活动（如 1976 年唐山地震）两类。

主震发生后的余震都分布在主震附近的一定范围内，这个区域称为余震区。但也有分布在离主震稍远地区的，称为广义余震。若震后地表出现地震断层，余震震源的分布区大致与震源断层面的位置相一致，往往集中在断层附近或断层一侧，呈带状分布，或分布在断层的两端。余震的持续时间可长达数月至数年之久，其总趋势随时间增大，次数逐渐减少，强度逐渐减小。主震与最大余震的震级差可以从近于 0 到大于 3。但对于浅源地震，震级差的平均值约为 1.1 ~ 1.8。

(2) 震群型：这类地震序列的主要能量是通过多次震级相近的地震释放出来，没有突出的主震。最大地震在全序列中所占能量比例一般均小于 80%。震群型地震的特点是地震频度高，能量的释放有明显的起伏，衰减速度慢，活动的持续时间长。震群的震源往往较浅（小于 10km），随时间震群的分布范围也逐渐扩大。震群型地震分为两种：一种是地震活动逐步升级的，另一种是两个以上主震型地震组合或混淆一起而形成的。震群与主震尚未发生的前震常难以区分。

(3) 孤立型：或称单发性地震。其显著特点是前震和余震都很少，且与主震震级相差很大。地震能量基本上通过主震一次性释放出来。前震余震的能量总和通常不到主震的 0.1%（如 1668 年山东莒县—临沂地震）。

有时相隔的甲、乙两个地区地震活动存在相关性，即甲区发震后不久，乙区也随即发生震级相近的地震。在我国华北燕山地区，新疆天山南北两侧，以及云南北部和西部等地都发现与地震活动相关现象。这些地震活动相关的地区往往分布在地壳断块间的边界带上，表明地震的有规律迁移与地壳块体沿边界运动有关。

1.4 地震分布

地震在时间和空间上的分布都很不均匀。地震活动有间歇性。地震活动较为活跃时

期,称为地震活动期。地震活动微弱的时期,称为地震平静期。地震活动期间隔大约100~200年。在每个地震活动期内又可分出地震更为集中的时间段,称为地震活跃幕。在地震活跃幕之间是地震平静幕。各地震活跃幕的间隔大约10~20年。地震活动的分期分幕现象具有全球普遍意义。

全球地震主要分布在几条狭长的地震带内(图1-4)。大的地震带有:①环太平洋地震带。沿南北美洲西海岸,从阿拉斯加经阿留申到堪察加,转向西南沿千岛群岛至日本列岛,然后分成两支,一支向南经马里亚纳至伊里安,另一支向西南经我国台湾省、菲律宾、印度尼西亚至伊里安,两支在此汇合后经所罗门至新西兰。此地震带的地震活动性最强,频度高,能量大,震源深,其释放的能量占全球地震释放总能量的75%以上。②地中海—南亚地震带。西起大西洋亚速岛,经地中海、希腊、土耳其、印度北部、我国西部和西南地区,过缅甸至印度尼西亚与太平洋地震带相遇。它由西向东跨欧亚大陆,总长约15000km。此地震带的地震活动性仅次于环太平洋地震带,以浅震为主,有少量中、深源地震。地震释放的能量约占全球地震释放总能量的15%~20%。③海岭地震带,其走向是沿着大西洋、印度洋、太平洋东侧和北冰洋的主要海底山脉(海岭)分布。此地震带的特点是宽度窄,地震发生的频度低,震源浅(不超过30km),能量小,且常以震群形式出现。④大陆裂谷系地震带,有一些区域性大断裂所组成,常表现为地堑系。如东非裂谷、红海地堑、亚丁湾、死海、贝加尔湖、莱茵地堑以及我国华北、东北裂谷系均属此类地震带。裂谷系的地震活动也相对较强,均为发生在地壳范围内的浅震。

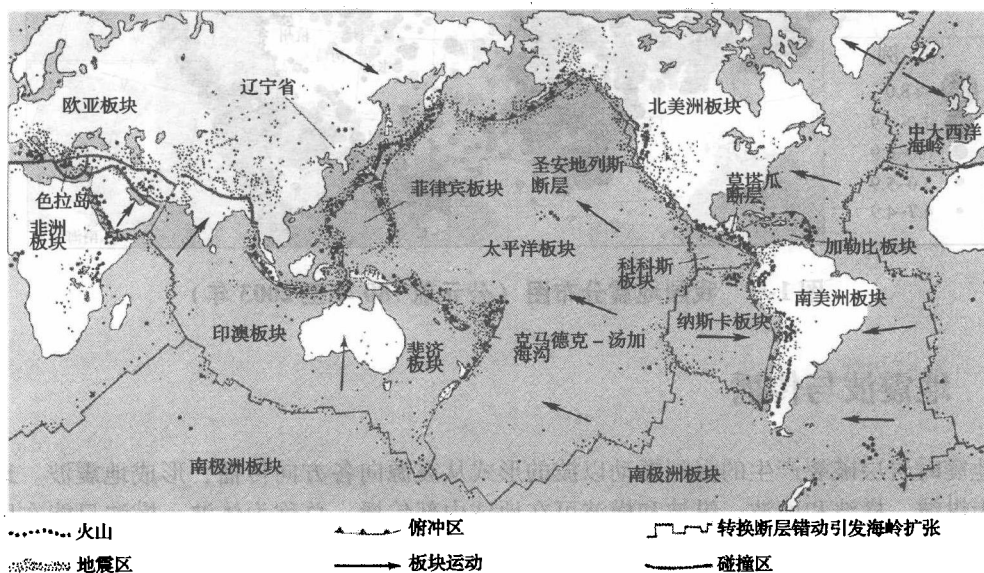


图1-4 全球地震分布和板块运动示意图

按深度地震分布在0~700km深度范围的地壳上地幔内。其中震源深度在60km以内的浅震占全球地震总数的72.5%,所有灾难性地震都属浅震。深度在60~300km之间的中源地震占地震总数的23.5%,深度大于300km的深震只占极少数。

我国地处西太平洋地震带和地中海—南亚地震带之间,有些地方就是上述两地震带的组成部分,因而成为全球大陆区地震最强、分布最为集中的地区。强震的分区性和成带性

是我国大陆地震在面上分布的基本特征。总的来说,我国台湾省大地震最多,新疆、西藏次之,西南、西北、华北和东南沿海地区也是破坏性地震较多的地区(图 1-5)。我国西部的地震活动较东部强烈。西部地震主要分布在青藏高原的四周,天山南北、横断山脉和祁连山一带。其特点是发震频率高,复发周期短,震级也相对较大。我国东部地震活动主要集中在华北的一些断陷盆地内和大断裂带附近,强震密集成带。台湾地处西太平洋岛弧地震带中的两弧交结点,地震活动强度特别高,震级也大。在我国 99% 的地震都属壳内的浅源地震,只有在中缅、中苏和中巴交界地区,以及台湾北部有些中源地震,在东北的吉林、黑龙江等省的东部有些深源地震。

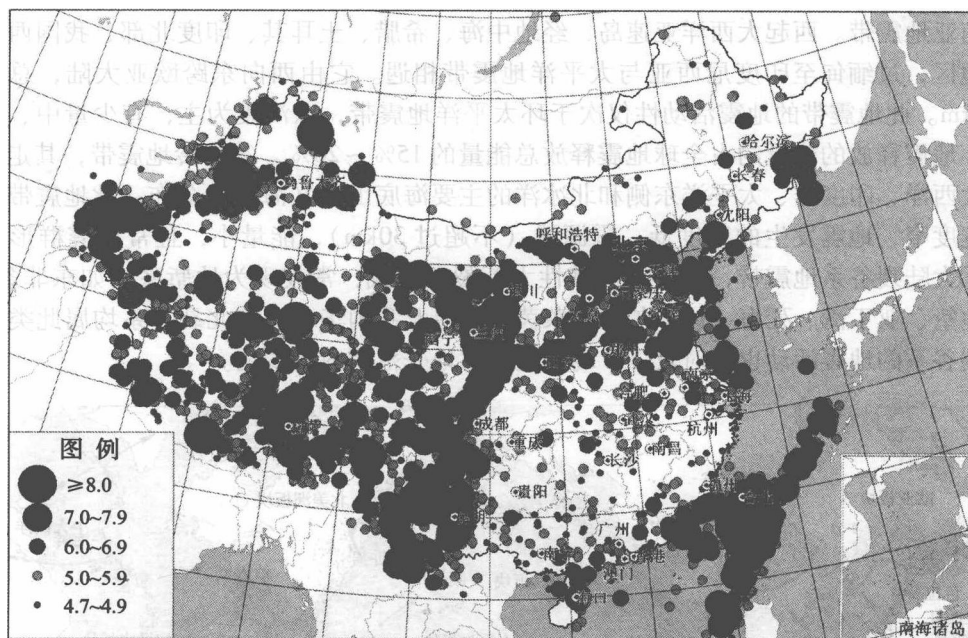


图 1-5 我国地震分布图(公元前 780 年至 2003 年)

1.5 地震波与传播

地震时岩层破裂产生的强烈振动以波的形式从震源向各方向传播,形成地震波。地震波分为纵波、横波和面波,纵波和横波可在地球内部传播,总称为体波,横波只能在固体里传播,而纵波在固体、液体里都能传播,而面波只能沿地球表面传播(图 1-6)。

纵波是由震源向外传递的压缩波(纵波又称为压缩波),质点的振动方向与波的前进方向一致,它的传播能引起地面产生近垂直方向的振动。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(横波又称为剪切波),质点振动方向与波的前进方向相垂直,它的传播能引起地面产生前后或左右的晃动。一般表现为周期较长、振幅较大。

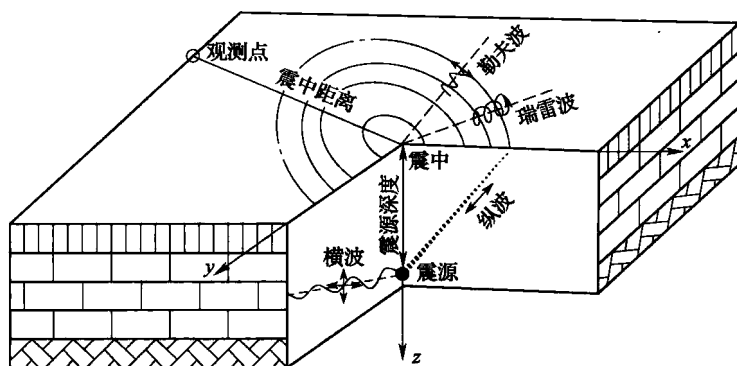


图 1-6 地震波传播与运动形式示意图

面波是体波经地层界面多次反射形成的次生波，只限于沿着地球表面传播。面波又可分为瑞雷波和勒夫波两类。瑞雷波传播时，质点在波的传播方向和自由面（即地表面）法向组成的平面内作椭圆运动，而与该平面垂直的水平方向没有振动，在地面上呈滚动形式，能使地表同时产生上下和前后方向的振动。勒夫波只是在与传播方向相垂直的水平方向运动，即地面水平运动或者说在地面上呈蛇形运动形式，能使地面产生水平向的左右摆动。

这三类波的传播速度不同，体波在地球内部的传播速度随深度增加而增大。在地壳范围内，纵波速度为 $5 \sim 6 \text{ km/s}$ ，横波为 $3 \sim 4 \text{ km/s}$ ，面波速度只有 3 km/s 多一点。在震中区附近，这三类波尚未分离，且振幅较大，互相叠加，使地面产生相当复杂的振动，造成建筑物的破坏。随着震中距的增加，各类波互相分离，波的振动能量逐渐减弱，其破坏作用也随之减弱。

1.6 地震震级、震源与震中

1.6.1 震级

震级是地震发生的强度的一种度量，是通过地震仪记录到的地震波能量大小计算得到的，通常用 M 表示。地震越强，震级就越大。震级相差一级，能量相差约 30 倍。震级是一个没有量纲的数值，用来在一定范围内表示地震的相对大小（强度）。震级的大小同震源辐射的地震波强度有关，与地震烈度不同。震级代表地震本身的强弱；烈度表示同一次地震在地震波及的各个地点所造成的影响的程度，它与震源深度、震中距、方位角、地质构造以及土壤性质等因素有关。

震级作为一个观测项目由 1935 年里克特（Richter）首先提出。计算震级 M 的公式为：

$$M = \lg A - \lg A_0 \quad (1-1)$$

式中： A 是地震在标准地震仪上的最大记录振幅，以 mm 为单位； A_0 是作为比较标准的另一个已知地震在同一震中距上的最大记录振幅。里克特规定这个标准地震，在震中距为 100 km 处用伍 - 安式地震仪记录到的最大振幅为 10^{-3} mm 。式中第二项 $-\lg A_0$ 是震中距的函

数,称为起算函数或标定函数。这个函数是由观测确定的。

由于地震的远近和深浅不同,所用仪器不一,则存在着根据不同地震波确定震级有不同方法。目前广泛采用的震级标度有以下几种:

地方震或近震震级标度 M_L ,用短周期地震仪记录地方震和近震的短周期震动,周期范围大约是 $0.1 \sim 2.0s$ 。我国的 M_L 标度计算公式是:

$$M_L = \lg A_\mu - R(\Delta) + C_s \quad (1-2)$$

式中: A_μ 是近震记录上两水平分向最大地动振幅的算术平均值,以 μm 为单位; $R(\Delta)$ 由里克特的原始震级标度的起算函数折合而成; C_s 为台站校正值。

面波震级标度 M_s ,用宽频带地震仪记录远震面波,用面波地动位移的振幅(以 μm 为单位)和周期(以 s 为单位)来计算震级。我国的 M_s 标度计算公式是:

$$M_s = \lg \left(\frac{A}{T} \right)_{\max} + \sigma(\Delta) + C_s \quad (1-3)$$

式中: A 是两水平分向地动位移的矢量合成振幅; T 是相应的周期,要求 $\frac{A}{T}$ 比值相应于面波中之最大值; $\sigma(\Delta)$ 面波震级的起算函数; C_s 为台站校正值。

1971 年根据我国地震观测资料, M_s 和 M_L 的经验关系式为:

$$M_s = 1.13M_L - 1.08 \quad (1-4)$$

面波震级标度 M_s 比较适用于从远处测定浅源地震的震级,而且各国地震机构的面波震级测定结果也比较一致,因此一般都使用面波震级。我国地震部门规定全用面波所定震级 M_s 上报。这就是通常报刊提到的里氏震级。

体波震级标度 m_b 主要是用来测定深源地震的震级;距震级 M_w 的引入主要是解决面波震级的饱和问题。有关计算公式见本章参考文献,此处不再赘述。

1.6.2 震源与震中

地震发生的地方叫“震源”,震源正对着的地面,或者说震源在地表的投影称“震中”,震源至地面的垂直距离称“震源深度”(图 1-6)。

到目前为止,观测到的最深地震是 700km。世界上绝大部分地震是浅源地震,震源深度集中大约在 $5 \sim 20km$,中源地震就比较少,而深源地震为数甚少。我国东北吉林省东部地区发生过深源地震。一般说来,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,多数破坏性地震发生于比较浅的地方,深度超过 100km 的地震在地面上不致引起灾害。另外,也可看到有的地方震级虽小,若深度非常浅,则会引起灾害,但在这种情况下受灾面积小。

1.7 地震烈度

地震烈度表示地震对地表及工程建筑物影响的强弱程度。是在没有仪器记录的情况下,凭地震时人们的感受或地震发生后工程建筑物的破坏程度、地表的变化状况而定的一种宏观尺度。通常,地震烈度用大写英文字母 I 表示, I_0 表示为震中烈度。

一次地震发生后,根据建筑物破坏的程度和地表面变化的状况,评定距震中不同地区