

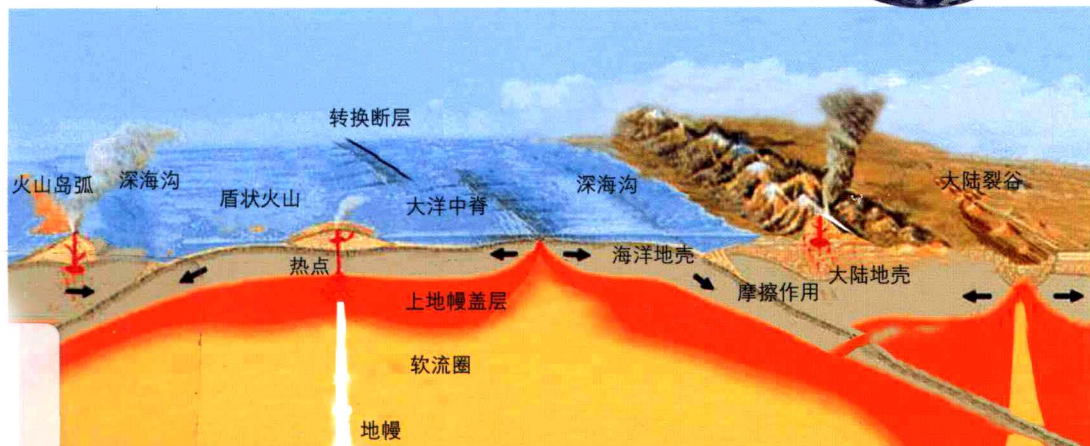
地震的成因与解释

DIZHENDECHENGYINYUYUJIESHI

仇勇海 戴塔根 刘继顺 编著
柳建新 周新宏



中南大学出版社
www.csupress.com.cn



地震的成因与解释

仇勇海 戴塔根 刘继顺 编著
柳建新 周新宏



中南大学出版社
www.csupress.com.cn

图书在版编目(CIP)数据

地震的成因与解释/仇勇海等编著. —长沙:中南大学出版社,
2012. 1

ISBN 978-7-5487-0463-8

I. 地... II. 仇... III. 地震成因—研究 IV. P315.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 007119 号

地震的成因与解释

仇勇海 戴塔根 刘继顺 编著
柳建新 周新宏

☐责任编辑 刘 辉

☐责任印制 文桂武

☐出版发行 中南大学出版社

社址:长沙市麓山南路

邮编:410083

发行科电话:0731-88876770

传真:0731-88710482

☐印 装 湖南精工彩色印刷有限公司

☐开 本 787×1092 1/16 ☐印张 14.25 ☐字数 351 千字 ☐插页

☐版 次 2012 年 1 月第 1 版 ☐2012 年 1 月第 1 次印刷

☐书 号 ISBN 978-7-5487-0463-8

☐定 价 86.00 元

图书出现印装问题,请与经销商调换

紀念陳國達先生

誕辰一百週年

辛卯冬 何繼善敬題



内容简介

本书以岩石圈重力均衡理论为基础,以日本“3·11”大地震地壳局部隆起的事实为依据,以板块俯冲带发生的物质转移为突破口,阐述了环太平洋地震带、欧亚地震带、大洋中脊地震带的地震成因。地壳表层大质量物体的转移破坏了地表重力均衡条件,从而形成了水库地震、矿山采空区地震、火山地震。贝尼奥夫地震带由冷的、硬的、脆性地壳物质组成。上地幔盖层物质发生局部熔融导致软流圈抬升形成了大洋中脊、大陆裂谷、深海沟并同时产生正断层地震;在板块聚合带,两个板块“叠加部位”热的、软的、塑性上地幔盖层物质贴合在一起形成了新的上地幔盖层后,产生了逆断层地震并且表现为地壳局部隆起、抬升。岩石圈深部大质量物体的转移破坏了岩石圈重力均衡条件并形成构造地震。

本书率先提出:太平洋板块向西漂移、俯冲过程中发生的地震活动造就了马里亚纳等群岛;太平洋板块向东漂移、俯冲过程中发生的地震活动造就了安第斯等山脉;印度洋板块向北漂移,蒙古洋板块向南漂移,在南部喜马拉雅岛弧、北部祁连山岛弧下的板块双向俯冲过程中,发生的地震活动造就了青藏高原。我们认为,建立在岩石圈重力与浮力均衡作用基础上的地震学观点,是板块构造学说、海底扩张学说、地球膨胀学说有机结合的纽带和桥梁。

我们通过地震成因的探讨,对深海沟形成机理、板块构造学说中地壳垂向变化及造山运动、青藏高原的隆起等问题作了客观解释,使得板块构造学说更加完善,更加深入人心。

自1975年以来,中国已经成功预测预报了30多次地震。利用地震活动性、地形变、地应力、地下水位、自然电位等5个地球物理预测参数进行地震临震预警、预报工作,对于防震减灾具有重要的现实意义。

本书供对地震预测、地震预报感兴趣的广大人员和从事地震预测、预报工作的地震战线科研人员参考。

目 录

1 绪 论 (1)

2 日本地震与海啸 (5)

3 地球概况 (10)

 3.1 地球的圈层结构 (10)

 3.2 蓝色的地球 (15)

 3.3 岩石圈重力均衡 (18)

 3.4 岩石圈结构构造 (20)

4 全球地震带 (26)

5 大洋中脊地震带 (30)

 5.1 大洋中脊扩张 (30)

 5.2 大洋中脊孕育 (32)

 5.3 大洋中脊消亡 (34)

 5.4 大洋中脊地震带地震成因 (37)

 5.5 转换断层 (38)

6 环太平洋地震带 (42)

 6.1 板块构造学说 (42)

 6.2 无震海岭 (44)

 6.3 贝尼奥夫带 (48)

 6.4 深海沟 (53)

 6.5 环太平洋地震带地震成因 (61)

 6.6 造山运动 (62)

7 欧亚地震带 (66)

 7.1 地震震源深度 (66)

 7.2 印度洋中脊扩张 (69)

 7.3 印度尼西亚岛弧地震带 (71)

 7.4 喜马拉雅岛弧地震带 (74)

 7.5 祁连山岛弧地震带 (76)

 7.6 欧亚地震带地震成因 (80)

 7.7 青藏高原隆升 (87)

8 水库地震 (95)

 8.1 水库地震介绍 (95)

 8.2 水库地震模式 (100)

9 矿山地震	(108)
9.1 矿山地震介绍	(108)
9.2 矿山地震模式	(110)
10 火山地震	(111)
10.1 火山地震介绍	(111)
10.2 中国新生代火山岩分布	(113)
10.3 火山地震模式	(116)
11 构造地震	(119)
11.1 地面形变	(123)
11.2 构造地震模式	(125)
11.3 汾渭地震带	(126)
11.4 汶川“5·12”大地震	(129)
11.5 昆仑山口西8.1级大地震	(134)
12 地震孕震机理探讨	(139)
12.1 地壳形变	(139)
12.2 活动断裂带	(142)
12.3 形变能	(145)
12.4 地下水异常	(147)
12.5 地震孕育机理	(152)
13 地球的膨胀	(162)
13.1 非洲大陆的抬升	(163)
13.2 太平洋面积的缩小	(167)
13.3 地球的“吐新纳故”	(176)
14 活跃的软流圈	(178)
14.1 地震中的连锁反应	(178)
14.2 地震中的多米诺骨牌效应	(182)
14.3 同一地域重复地震问题	(185)
15 海域地震的陆地监测	(188)
15.1 地震预测概况	(188)
15.2 在大陆监测海域地震	(192)
16 地震临震预报与预警	(198)
16.1 若干问题讨论	(199)
16.2 地震临震预报	(206)
16.3 地震临震预警	(209)
后 记	(215)
参考文献	(216)

1 绪 论

中国是深受地震危害的国家之一。1920 年 12 月 16 日，宁夏海原发生 8.6 级特大地震，死亡 23 万人；1927 年 5 月 22 日，甘肃古浪发生 7.9 级大地震，死亡 4 万余人；1974 年 5 月 10 日，云南昭通发生 6.8 级地震，死亡 2 万人；1976 年 7 月 28 日，河北唐山发生 7.8 级大地震，死亡 24 万余人；2008 年 5 月 12 日，四川汶川发生 8.0 级大地震，死亡、失踪近 9 万人。历史记载中国 5 级以上地震分布如图 1-1 所示。

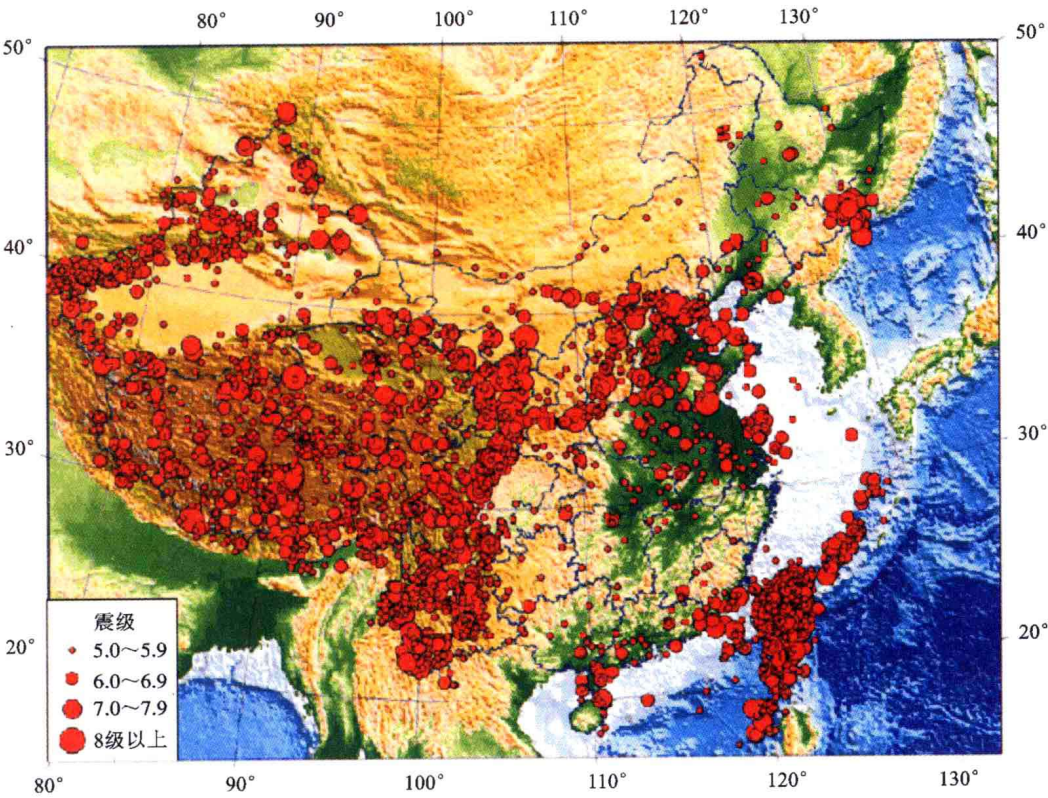


图 1-1 历史记载中国 5 级以上地震分布图(据中国地震信息网)

据图 1-1，位于太平洋地震带上的中国台湾地区几乎已经被密集的一个个地震圆圈所覆盖，中国台湾地区显然是我国地震发生的重灾区域；福建、广东沿海地震带发生的地震则比较零星；而位于黑龙江省和辽宁省交界处的地震圆圈所在位置主要发生深源地震，属于日本海沟深部的太平洋板块俯冲形成的贝尼奥夫带下段地震。

由图 1-1 可见，位于欧亚地震带上的我国云南省发生地震的频率比较高，在青藏高原广大的地域都发生了地震，特别是青藏高原南部的喜马拉雅山地震带、青藏高原东部的龙门山

地震带地震频发；天山地震带、太行山和吕梁山之间的汾渭地震带、华北地震带、郯营地震带也多次发生过强烈地震。

塔里木盆地、四川盆地、准噶尔盆地、柴达木盆地及东北平原、鄂尔多斯高原、浙江省、江西省、湖南省、贵州省、内蒙古境内发生地震则相对比较稀少。

据统计，全世界 10 次破坏性最大的地震，人口死亡达 150 万，直接经济损失达 500 多亿美元，受灾面积达到数百万平方千米。可谓触目惊心。

人们对于地震的成因进行了广泛的研究工作。我们认为岩石圈重力均衡被破坏是产生地震的主要原因。

在地壳表面大质量物体的转移将产生地震。

例如：在地球的冰山时期，地壳表面被大面积、巨厚冰块所覆盖，使得地壳表面发生严重形变，重力加载导致地震发生；大型水库蓄水后产生水库地震同样属于重力加载型地震；而冰山溶解则属于重力卸载型地震，矿山采空区地震也属于重力卸载型地震。

在岩石圈下面大质量物体的转移同样将产生地震。

漂浮在软流圈上部的岩石圈可划分为地壳和上地幔盖层两部分。位于莫霍面之上的地壳和位于莫霍面之下的上地幔盖层的物质，在地震波速、温度、压力、密度等物性方面存在一定差异。地壳物质具有冷、硬、脆等一系列物理性质和脆性结构构造，而上地幔盖层物质则具有热、软、韧等一系列物理性质和塑性结构构造。岩石圈下面是高温、高压、部分物质呈熔融状态的软流圈。

假设软流圈之上的上地幔盖层物质发生局部熔融，即该部分物体由固态转化为液态，相当于该地段软流圈物质上涌。原岩石圈重力均衡被破坏，浮力减小，这是大陆裂谷、大洋中脊、深海沟在重力作用下发生正断层地震的主要原因。

太平洋板块俯冲到欧亚板块、菲律宾板块、南美洲板块、北美洲板块之下，形成了环太平洋地震带。我们把大陆板块、大洋板块相互叠加部位称为两个板块的“重叠部位”。

人们必须注意到：只有大洋脆性地壳才能够通过板块的“重叠部位”而插入软流圈，即贝尼奥夫带完全由大洋脆性地壳组成。大洋俯冲板块中冷的、硬的、脆性地壳在大洋中脊扩张力作用下倾斜插入到大陆板块冷的、硬的、脆性地壳之下，即两个地壳“硬碰硬”地接触。大洋脆性地壳不可能“舍近求远”而向下插入到大陆地壳塑性的上地幔盖层下面。

而大洋岩石圈中热的、塑性的上地幔盖层物质则在板块“重叠部位”被“截留”，可称之为“同类项合并”，即“软接软”。被“截留”的大洋上地幔盖层物质在两个板块“重叠部位”处向下压入软流圈，即大洋俯冲板块中的大部分物质使得两个板块“重叠部位”的“山根”向下延伸，因而增加了叠加板块的浮力。在浮力的作用下，地壳表层发生形变，向上隆起。

随着大洋板块不断向下延伸，它产生的浮力逐步增加，当它超过了岩块弹性形变的极限强度时，地壳破裂，引发地震。仅几分钟的地震，叠加板块急速向上抬升，极大地增加了地壳的表面积和体积。例如：

(1)2011 年 3 月 11 日日本发生的 9.0 级大地震，它使 500 km 长、200 km 宽、面积达到 $1.0 \times 10^5 \text{ km}^2$ 的欧亚大陆板块隆起达 3 m 以上。

(2)2004 年 12 月 26 日印尼苏门答腊岛外海海底发生 8.7 级大地震。英国地质勘测部门的地震学家布特指出，互相挤压在一起的地壳板块发生了猛烈的滑落，这使海底出现了一个高 10 码(1 码 = 0.9114 m)、长达数百英里(1 英里 = 1.6093 km)的一个巨大的凸出部分。

(3)1964年3月27日美国阿拉斯加发生9.2级大地震。地震时地表变形规模很大,地震造成的地表岩层破裂总长度达800 km,与阿留申海沟平行;由于大规模的冰崩、山崩、地裂、泥石流、地滑、塌陷等,使得 $3.0 \times 10^5 \text{ km}^2$ 的广阔区域内的地壳产生形变,地震主要的隆起区在科迪亚克岛南部至威廉王子海峡一线,垂直错动的幅度抬升达11.5 m(见图6-22)。

(4)1960年5月21日,智利沿海地区发生8.4级特大地震,引起海啸最大波高为25 m。这次引起海啸的智利大地震是20世纪罕见的地壳变动,它使海底一块约 $5.0 \times 10^5 \text{ km}^2$ 面积的地块一下子上升了将近10 m,汹涌的海浪一个星期后才逐渐平息。

上述大地震导致大面积的地面隆起,充分说明了岩石圈重力均衡被破坏是产生逆冲断层地震的主要原因,这是任何火山喷溢、喷发都无法比拟的。夏威夷岛经过千百万年长时间、千百万次火山喷发才发育至目前状况。

在贝尼奥夫带的上段,由于大洋板块俯冲至大陆板块之下,大陆板块与大洋板块之间的摩擦产生了热量,在两个板块接触界面的重叠部位,熔点较低的岩石矿物发生熔融形成了岩浆房。当岩浆房中的压力足够大时,产生火山喷溢、喷发,形成了岛弧。事实上,环太平洋地震带也是火山喷发地带。

贝尼奥夫带在地壳表面的长度可以达到数千千米(见表6-1,图6-14)。深源地震观测结果表明,贝尼奥夫带向下倾斜的延伸可以达到1 000 km左右,因此,长度达到数千千米、厚度达到几十千米的贝尼奥夫带插入到地壳底部后,并不像有些人所述“好比冰块插入热水中那样能够快速溶解”,而是需要吸收大量的热量后才能发生局部熔融。按照板块漂移速度为10 cm/a来考虑,延伸长度达到1 000 km的贝尼奥夫带,已经历的时间长达10 Ma。插入到地壳下部的贝尼奥夫带不仅受到大洋中脊扩张力作用向下延伸,同时受到软流圈的浮力作用向上抬升,当贝尼奥夫带与软流圈高温物质密切接触的两个侧面优先发生局部熔融时(不存在双层贝尼奥夫带),贝尼奥夫带的中段岩石层局部破裂便产生了中源地震,贝尼奥夫带的下段岩石层局部破裂便产生了深源地震。

中源地震、深源地震导致破裂岩石层物质加速熔融。当贝尼奥夫带的中段岩石层或者下段岩石层发生多次地震后,贝尼奥夫带被折断。在该情况下,贝尼奥夫带的被折断部分在软流圈浮力的作用下,上浮到岩石圈底部,从而增加了该地带的浮力。

在环太平洋地震带上的印度尼西亚群岛、阿留申群岛、千页群岛、日本群岛、马里亚纳等群岛的形成,不仅与火山喷溢、喷发有关,而且与特大地震发生时叠加板块向上抬升有关。

太平洋东海岸的落基山脉、安第斯山脉的隆起与特大地震发生时大陆板块与大洋板块的“重叠部位”向上抬升有关,也与贝尼奥夫带的折断部分上浮到岩石圈底部后产生浮力导致大地震发生有关。

在当代的印度尼西亚群岛南部,发育有爪哇深海沟。在特提斯海洋没有闭合以前,喜马拉雅岛弧或许和当代的印度尼西亚岛弧一样,仅仅是印度洋板块俯冲到亚洲板块时喜马拉雅深海沟附近形成的最普通岛弧。

在前寒武纪或更早地质年代,在阿拉善地块与祁连山地块之间发育有古蒙古洋。古蒙古洋的大洋板块俯冲到祁连山地块之下,形成了阿尔金—祁连山岛弧。

随着古蒙古洋和特提斯海洋的闭合,形成了青藏高原。俯冲于青藏高原下部的阿尔金—祁连山岛弧和喜马拉雅岛弧的贝尼奥夫带中段、下段岩石层发生了多次特大地震。因此,青藏高原整体抬升成为青藏高原,其成因与南部的喜马拉雅山岛弧下部、北部的阿尔金—祁连

山岛弧下部的贝尼奥夫带折断部分上浮到青藏高原岩石圈底部有关。

地震孕育机理可划分为 5 个阶段：

- ①脆性岩石层发生弹性形变；
- ②脆性岩石层中新裂隙、裂缝形成(扩容)；
- ③新旧裂隙贯通；
- ④临震预滑；
- ⑤弹性回跳。

研究地震前兆异常必须与地震的孕育机理相结合。在上述地震孕育五个阶段中，产生了地壳形变、地震活动性、地应力、地下水、自然电位等前兆异常。

- ①在地震发生以前，地壳将产生形变，所以人们可以通过地壳形变观测来预测地震；
- ②尽管只有 30% 左右的地震在发生之前有前震发生，但是，对于地震预测而言，仍然是主要的研究手段之一；
- ③地壳形变导致地应力异常，人们可以通过地应力观测来预测地震；
- ④在地震孕育阶段，岩石层的形变、扩容必定引起地下水异常，因而人们可以通过观测地下水位的变化及分析水化学异常来预测地震；
- ⑤各种造岩矿物具有负胶体的性质，地下水位的变化可以产生流动电位，因而人们可以通过观测自然电位的变化来预测地震。

日本“3·11”大地震给人们留下了惨重的教训，发生地震虽然不可以阻止，但地震给人类造成的伤亡完全有可能减小，关键在于有没有真正了解地震的孕震机理，并且采用有效的地震预测、预警、预报方法。

自 1975 年以来，中国已成功预报辽宁省海城 7.3 级地震等 30 余次地震的事实足以证明，走专群结合的道路，依靠广大群众，群测群防，地震是完全可以预测、预警、预报的。

我们将通过岩石圈板块界面发生的地震活动，客观地、合理地解释大洋中脊地震带、太平洋地震带、欧亚地震带的地震成因以及地球膨胀、青藏高原抬升等一系列地震地质问题。

本书涉及的知识面比较广、学科比较多，错误在所难免，诚请读者批评指正。

2 日本地震与海啸

2011 年 3 月 11 日 13 时 46 分(北京时间), 日本仙台东部海域发生了 9.0 级强烈地震, 并且引发了隆起型海啸。日本地震专家认为: 太平洋板块俯冲到欧亚大陆板块之下, 由于板块之间的碰撞、挤压, 海底地壳发生变形, 欧亚大陆板块发生反弹产生了地震, 如图 2-1 所示。但实际上发生地震的真实情况可能要复杂得多。



图 2-1 太平洋板块俯冲到欧亚板块之下示意图(据新华网)

日本地震专家指出: 日本“3·11”大地震发生时, 欧亚大陆板块隆起高度达到几米, 形成了长达 500 km、宽达 200 km 的反弹区域, 面积达到 $1.0 \times 10^5 \text{ km}^2$ 。在日本“3·11”大地震发生后的 5~6 min, 海平面至少升高了 3~5 m, 仅半个小时, 3 m 以上高的海浪就涌向大陆。震后地震调查结果表明, 最大的海啸浪高达 23.6 m, 在地震震中区域, 地壳隆起达到 7 m, 震源附近的海床随着地震向东南方向移动约 24 m, 并隆起约 3 m。

日本“3·11”大地震引发的海啸如图 2-2 所示。

中国地震局中国地震应急搜救中心总工程师曲国胜 3 月 11 日晚接受中新社记者电话采访时表示, 当天日本本州东海岸附近海域发生的 9.0 级强烈地震, 震中海域位于太平洋海沟俯冲型地震带上, 强震发生时引起海底破裂, 产生数十米垂直位移量, 从而引发巨大的海啸。

中国地震台网中心赵旭、黄志斌给出了日本地震震源破裂时空过程的初步研究结果, 如图 2-3 所示。他们认为: 断层面上的最大滑动量可能高达 3 000 cm, 甚至更高。总体来讲, 此地震为一次不对称的双侧破裂事件。在地震发生后约 10 s 内, 破裂扩展很缓慢。10 s 后, 破裂以更快的速度, 沿西南向和东北向两侧同时扩展。破裂总持续时间多达 200 s, 其中主要能量在 50~110 s 内释放。整个断层面上的滑动分布并不均匀。在震源上方浅部区域, 沿走



图 2-2 日本“3·11”大地震引发的海啸(据中新网)

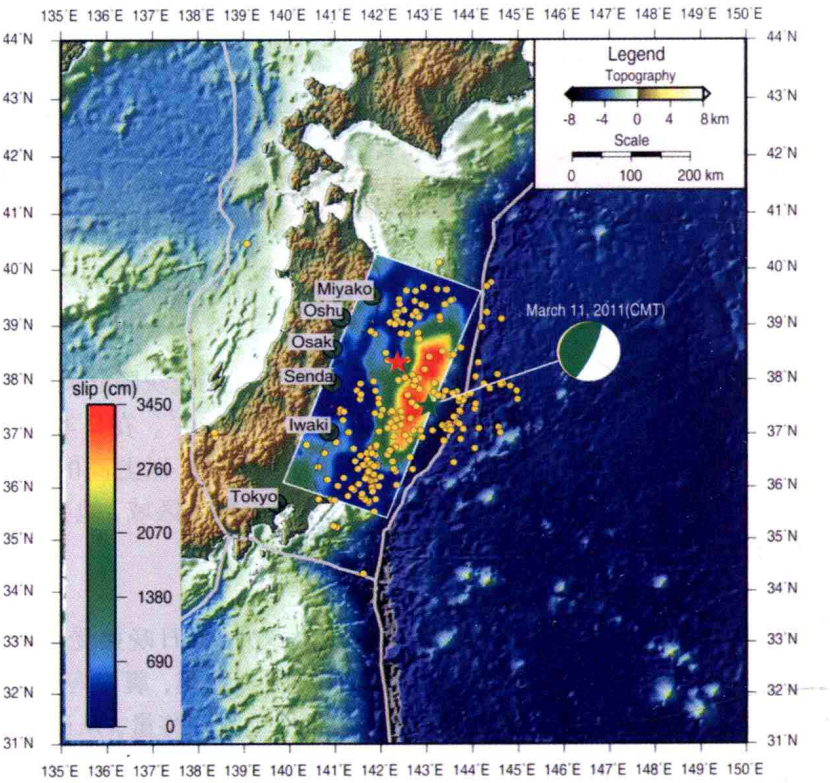


图 2-3 滑动分布模型在地面上投影(据赵旭、黄志斌, 2011)

破裂初始位置(东经 142.369°/北纬 38.321°/深度 24 km)

CMT 确定的矩心点分别表示为红色和绿色五角形; 黄色圆圈为 Mw 5 级以上余震
地形高程色标(右上图上)和比例尺(右上图下)

向方向,形成了震中以北约 90 km 和以南约 170 km 长的高滑动量集中带。破裂平均速度要小于剪切波传播速度(3.0 km/s),最终形成了总长度为 500 km 左右的断层。

1923 年 9 月 1 日 11 点 58 分,东京以南 90 km 处的相模湾海底发生了一次 8.3 级大地震。地震引起的海啸袭击了日本关东平原地区。24 h 后,关东平原地区又发生了一次强烈地震。在随后的一周里共发生几百起余震。因该地震震中在相模湾海底,又造成了大规模的海啸,最大浪高超过 12 m。震后的三角测量表明,相模湾以北和东边的房总半岛的地面有较大的向东南的水平位移。对相模湾海底的测量则表明相模湾中部的海底下沉了 100~200 m,有的区域竟下沉了 400 m,而在主要的下沉区以北发现一处海底上升了 250 m。由于强烈的地震,使海底地壳发生大规模运动(岛村英纪,1986)。

地震海啸形成机理有两种形式:“下降型”和“隆起型”。

(1)“下降型”海啸:某些构造地震引起海底地壳大范围的急剧下降,海水首先向突然错动下陷的空间涌去,并在其上方出现海水大量聚集,当涌进的海水在海底遇到阻力后,即翻回海面产生压缩波,形成长波大浪,并向四周传播与扩散,这种下降型的海底地壳运动形成的海啸在海岸首先表现为异常的退潮现象。

1960 年 5 月 22 日,智利康塞普西翁发生 8.5 级大地震引起的地震海啸就属于此种类型。从 5 月 21 日至 6 月 22 日,在南北长 1 400 km 的沿海狭长地带内,共连续发生 225 次强烈地震,其中超过 8 级的地震有 3 次,超过 7 级的地震有 10 次。

(2)“隆起型”海啸:某些构造地震引起的海底地壳大范围的急剧上升,海水也随着隆起区一起抬升,并在隆起区域上方出现大规模的海水积聚,在重力作用下,海水必须保持一个等势面以达到相对平衡,于是海水从波源区向四周扩散,形成汹涌巨浪。这种隆起型的海底地壳运动形成的海啸波在海岸首先表现为异常的涨潮现象。

1983 年 5 月 26 日,日本海 7.7 级地震及 2011 年 3 月 11 日日本仙台东部海域 9.0 级大地震引起的海啸均属于此种类型。

晚第四纪以来有活动的断层称为活动断层。按力学性质活动断层分为走滑断层、正断层、逆断层、斜逆断层四类(见图 2-4)。活动断层的活动常常是缓慢的,突然快速变动时便可产生地震。1989 年丁国瑜等将活动断层的发展分为初始期、生长期、活跃期和衰亡期。

岩石圈中的所有物质始终处于重力与浮力的动态平衡之中。我们可以把岩石圈物质比作冰,把软流圈物质比作水。冰的密度小于水,因此它浮在水面之上;岩石圈物质的平均密度小于软流圈物质的密度,因此,岩石圈浮在软流圈之上。

在冰与水的接触界面,如果一部分冰的温度升高并且已经溶化为水,那么,该整体冰块就要下沉。在软流圈与岩石圈的接触界面,由于岩石圈中放射性物质释放出大量热量,使得岩石圈底部部分物质发生熔融,相当于该部分物质进入了软流圈,也就是说,岩石圈底部部分物质发生熔融以后,原来岩石圈底部部分物质产生的浮力将下降。该情况和上述冰和水的接触界面发生的情况相似,岩石圈将下沉。

由于岩石圈物质处于固结状态,因此,只有重力远远大于浮力的情况下,即在地球的引力作用下,局部地壳发生破裂,部分岩石圈物质向下运动,产生正断层地震。如果该地震发生在海域,在地震发生的同时,形成“下降型”海啸。

在冰与水的接触界面,假设水的温度降低,该部分水就凝结为冰,使得冰块厚度增加,在该情况下,冰块整体就要向上抬升。当大洋板块插入大陆板块之下,相当于增加了“冰块”

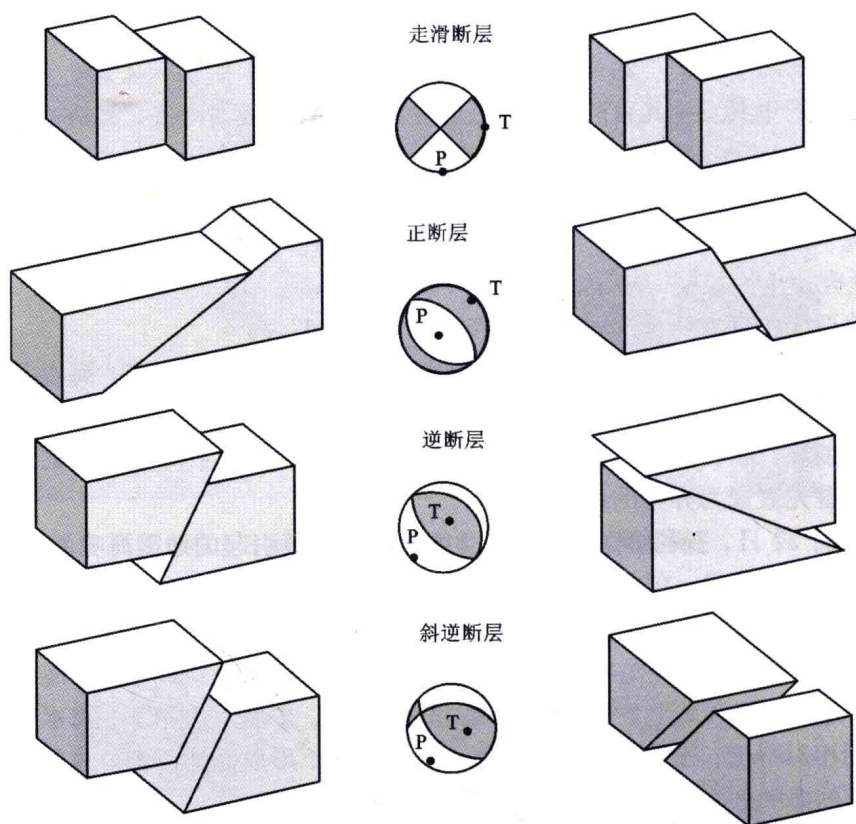


图 2-4 断层示意图(据傅征祥, 2009)

的厚度,即增加了下部板块的浮力,因此,大陆板块就要抬升。例如太平洋板块插入欧亚大陆板块之下,在浮力远远大于重力的情况下,局部地壳发生破裂,部分岩石圈物质向上运动,产生逆断层地震。如果该地震发生在海域,在地震发生的同时,形成了“隆起型”海啸。

2011年3月11日13时46分日本强烈地震发生后,截至2011年3月15日15时00分共记录到 $M \geq 6.0$ 级余震30个。其中6.0~6.9级地震29个,7.0~7.9级地震1个,如图2-5(a)所示;从有地震历史记录以来,日本国及其周围的地震分布如图2-5(b)所示,该图中左上角的湖泊,即为我国黑龙江省鸡西市东侧、中俄边境交界处的兴旋湖;兴旋湖的东北方向是俄罗斯的锡霍特山。由图2-5(b)可见,绝大部分地震发生在日本深海沟西、北方位。在北海道的东南附近海域,曾发生过8.0级以上大地震。

据不完全统计,在近百年间,发生在日本的7级以上的地震就达10次之多。例如:1923年7.9级关东大地震,1927年7.3级京都地震,1933年8.1级三陆地震,1943年7.2级鸟取地震,1944年7.9级中部太平洋海岸地震,1945年6.8级名三川地震,1946年8.0级大面地震,1995年7.3级阪神大地震,2004年6.8级新潟地震,2007年6.8级新潟地震,2008年7.2级的岩手、宫城地震,2011年“3·11”9.0级大地震。

人类观测地震的历史是如此之短。地球已经有46亿年的历史,哪怕以1亿年来计算,就

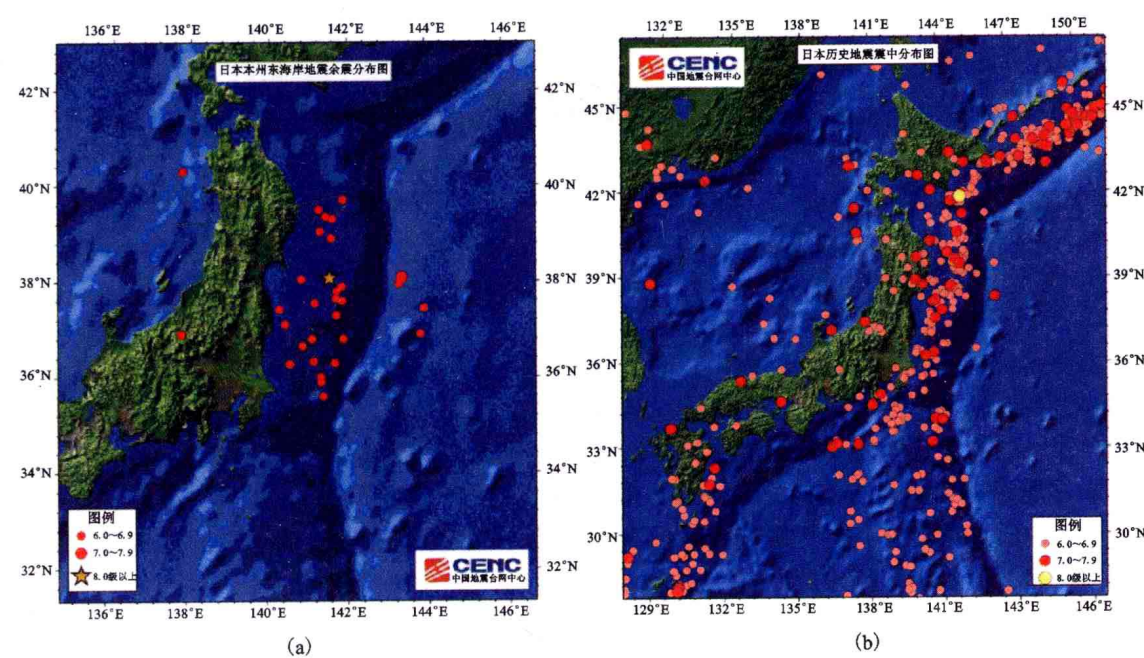


图 2-5 日本地震图(据中国地震信息网, 2011)

(a) 日本“3·11”强烈地震 6.0 级以上余震分布图; (b) 日本历史地震分布图

以 9.0 级特大地震千年一遇而言, 在该地区已经发生过 10 万次特大地震。

日本“3·11”地震海啸资料给地震界留下了宝贵财富, 值得人们进行深入研究。

我们认为:

(1) 岩石圈局部地质体重力远大于浮力, 局部地质体要下沉, 而只有发生地震, 才能把封闭的岩石圈打开, 地震时海底表层局部地质体迅速下沉, 地震后岩石圈重新闭合。与此同时引发了下降型海啸。上地幔盖层中物质发生熔融, 相当于软流圈抬升, 在该情况下浮力小于重力, 就可能发生下降型海啸。

(2) 岩石圈局部地质体重力远小于浮力, 局部地质体要抬升, 同样只有发生地震, 才能把封闭的岩石圈打开, 地震时海底表层局部地质体迅速上升, 地震后岩石圈再次重新闭合。与此同时发生了隆起型海啸。例如: 在大洋板块俯冲带, 由于具有塑性构造的两个板块上地幔盖层物质贴合在一起形成厚度大的新上地幔盖层, 相当于软流圈下降, 在该情况下就可能发生隆起型海啸。

(3) 海啸型地震虽然发生在地壳浅部, 但是, 产生地震的真正原因, 或许是岩石圈深部大质量物质发生转移引起的。

3 地球概况

3.1 地球的圈层结构

对于地球内部结构的研究,由于无法直接观察,因此,通常采用地球物理方法,尤其重要的是利用地震波的传播速度进行研究。当地震发生时,地下岩石受到强烈冲击,产生弹性震动,并以波的形式向四周传播。这种弹性波叫地震波。地震波分为纵波(P)和横波(S)。

纵波质点振动方向与传播方向一致,其传播速度较快,它可以通过固体、液体和气体传播;横波的质点振动方向与传播方向相垂直,其传播速度较慢,它只能通过固体传播。纵波和横波的传播速度,都随着所通过物质的性质而变化,如图3-1所示。

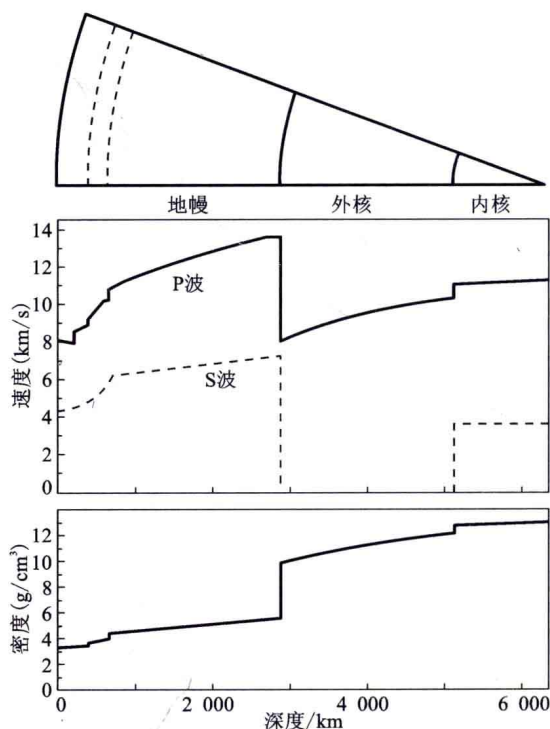


图3-1 P波和S波的速度不同所示的地球内部结构及密度随深度变化图

(据埃德蒙德·A·马瑟兹, 2004)

地震波在地下传播时,速度发生急剧变化的界面称为不连续界面。

莫霍洛维奇面:简称莫霍面或莫氏面,是1909年由克罗地亚地震学家莫霍洛维奇(Mohorovicic, 1857—1936)最先发现的。莫霍面的深度(自海平面算起)全球平均为33 km,