



中南大学教育基金会 资助出版
熊辉女士

高等院校地矿类专业用书

GOUZAO YU DIZHEN

构造与地震

GOUZAO YU DIZHEN

仇勇海 戴塔根 编著



中南大学出版社
www.csupress.com.cn



中南大学教育基金会
熊辉女士资助出版

高等院校地矿类专业用书

GOUZAQ YU DIZHEN

构造与地震

GOUZAQ YU DIZHEN



仇勇海 戴塔根 编著

(献给地震、地质科技工作者)



中南大学出版社
www.csupress.com.cn

图书在版编目(CIP)数据

构造与地震/仇勇海,戴塔根编著. —长沙:中南大学出版社,2015. 11
ISBN 978 - 7 - 5487 - 2028 - 7

I. 构... II. ①仇... ②戴... III. 地震构造 - 研究
IV. P315. 2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 266923 号

构造与地震

仇勇海 戴塔根 编著

责任编辑 刘 辉

责任印制 易红卫

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 湖南鑫成印刷有限公司

开 本 787 × 1092 1/16 印张 19 字数 481 千字

版 次 2015 年 11 月第 1 版 印次 2015 年 11 月第 1 次印刷

书 号 ISBN 978 - 7 - 5487 - 2028 - 7

定 价 138.00 元

图书出现印装问题,请与经销商调换

构造与地震出版

心忧天下
敢为人先

甲子
何继善贺



内容简介

本书以板块构造基础理论为依据，以全球深源地震资料为突破口，根据地壳重力均衡假说，深入研究了大洋中脊、大洋深海沟、大陆裂谷发生的正断层地震及现代板块俯冲带、古代板块缝合带发生的逆断层地震成因。

大洋中脊地震带发生的正断层地震造就了大洋海底山脉；现代板块俯冲带及古代板块缝合带发生的逆断层地震造就了青藏高原、伊朗高原及阿尔卑斯山脉、安第斯山脉、落基山等山脉。对1811年美国新马德里地震成因进行了探索，并指出北美洲板块俯冲于圣安德烈斯断裂之下，地壳重力均衡达到平衡形成了无震山脉、无震海岭。板块漂移及地震造就了现今地球的地貌。

必须指出：板块构造学说中的基本假设“岩石圈板块是刚性的及板块体积、表面积不发生变化”的前提存在严重的缺陷。海底扩张1亿年板块漂移达到了1万 km，在地质历史上，无论地球的体积还是表面积都发生了极大变化。

在海底扩张膨胀力作用下，在现代板块俯冲带，“贝尼奥夫板块”在深海沟处俯冲插入软流圈；在南极洲、非洲、南美洲及欧亚大陆板块，地壳被压缩而向上隆起，都充分说明了冷的、硬的、脆性地壳仍然具有一定的弹性；而上地幔盖层则具有一定的塑性。

基于地壳重力均衡假说基础之上的地震科学观是板块构造学说、海底扩张学说、地球膨胀学说的纽带和桥梁。作者提出的地球双重地壳、贝尼奥夫板块、阿尔卑斯洋、天山洋等新概念进一步支撑、完善了板块构造学说的理论。

中国已经积累的地震资料比任何国家都丰富，把这些宝贵的地震资料充分开发并利用起来，建立具有中国特色的地震学、地形变、地下水、自然电位、地应力综合观测系统，应该可以解决地震预测预报问题。

前 言

在大洋中脊扩张力的作用下,南极洲、南美洲、非洲及欧亚大陆等板块被压缩,造成了冷的、硬的、脆性地壳向上抬升、隆起,充分说明岩石圈板块具有一定的弹性。然而,板块构造学说中的基本假设“岩石圈板块是刚性的及板块体积、表面积不发生变化”的前提存在严重的缺陷。大洋中脊扩张的结果导致大陆表面积发生变化。在地球演化历史中,无论地球的大小(表面积和地球半径)还是形状,都发生了极大变化;因此,岩石圈板块不能作为刚体来考虑。

东欧平原、西伯利亚平原及乌拉尔山脉广大区域现代未曾发生地震;虽然特提斯洋已经闭合相当长的时间,但在西班牙发生了震源深度达到 640 km 深源的地震,位于罗马尼亚东部东喀尔巴阡山与南喀尔巴阡山交会地区的弗朗恰地震巢、位于阿富汗的兴都库什地震巢时常发生中、深源地震。为什么同样处于欧亚大陆板块的乌拉尔山脉与阿尔卑斯山脉天然地震情况有天壤之别?人们采用百年之前的地震“弹性回跳”模式来解释 2011 年日本“3·11”地震的成因,采用印度板块向北挤压、下地壳物质向东“逃逸”来解释 2008 年汶川“5·12”地震的成因,果真如此吗?大洋中脊中央裂谷发生的正断层地震又作如何解释呢?

地震,是人类与自然斗争史中一个永恒的话题。地震主要发生在现代板块俯冲带、古代板块缝合带及大洋中脊中央裂谷带。深入研究岩石圈构造与地震之间的密切关系或许可以解决地震预测问题。地震科学不是那么神秘,关键是考虑问题思路正确,研究方法正确合理。

第 1 章地球概况,根据地震发生的地域及原因,重新划分了全球地震带。仅保留了原地球三大地震带中的大洋中脊地震带;将原“环太平洋地震带”中的北美洲及欧亚地震带中的大部分地区划分为古板块缝合地震带;将印度尼西亚地震带及原“环太平洋地震带”中的大部分地区、大西洋中的南桑威奇群岛地震带、波多黎各群岛地震带划分为现代板块俯冲地震带。

第 2 章地球岩石圈结构,主要讨论了如下 5 个问题:

(1)以中国地区地壳厚度观测资料及欧亚大陆板块岩石圈结构材料为依据,由于冷的、硬的、脆性地壳在板块漂移运动中呈现出一定的弹性形变,而热的、软的、柔性的上地幔盖层在板块漂移运动中呈现一定的塑性形变,在地球演化史中,无论地球的大小(表面积和地球半径)还是形状,都发生了急剧变化;因此,岩石圈板块不能作为刚体来考虑。

(2)尽管板块构造学说的假设和前提存在严重缺陷,但地球岩石圈的确在软流圈的上方漂移。夏威夷无震海岭和东经 90°海岭迁移轨迹是岩石圈板块漂移的历史见证。根据板块漂移假说的基础理论和现今地球四大洋中海底山脉的赋存状态,率先提出了太平洋中脊、印度洋中脊、大西洋中脊扩张模式。由于南美洲板块、南极洲板块、非洲板块、欧亚大陆板块在板块漂移过程中被压缩、抬升使青藏高原及欧亚大陆古板块缝合带广大区域呈现出反重力均衡构造现象。大西洋中脊扩张、印度洋中脊扩张形成了南部非洲高原,地球中不存在“超级地幔柱”。

(3)大洋中脊中的转换断层恰恰说明了冷的、硬的、脆性地壳和热的、软的、柔性上地幔

盖层在板块迁移过程中呈现同步漂移运动。

(4)率先提出了在深海沟处岩石圈板块破裂,形成了现今板块构造的观点;根据深源地震资料率先提出了地球的“贝尼奥夫板块”及双层地壳观点。板块俯冲带两个地壳之间的摩擦热导致火山喷发,母岩中有色金属含量相对富集时,火山喷发形成了金属矿床;而地壳下部的上地幔盖层物质相互叠加产生逆断层地震,火山喷发与逆断层地震造就了火山岛弧。

(5)当地壳重力达到均衡时,乌拉尔山脉成为无震山脉,东经 90° 等海岭成为无震海岭,东欧平原、西伯利亚平原则成为无震平原。

第3章地震的奥秘,主要介绍了如下6个问题:

(1)在充分考虑客观存在的、垂直方向的重力与浮力相互作用基础上,针对传统地震活断层模型的缺陷,提出了新的地震活断层模型。

(2)根据实际地震观测资料,介绍了地震中的“连锁反应”和“多米诺骨牌效应”。

(3)封闭的软流圈具有流体力学性质,采用帕斯卡定律可以解释大洋中脊中央裂谷产生的正断层地震成因,解释现代板块俯冲带及古代板块缝合带产生的逆断层地震成因。

(4)在水平构造力作用下形成了走滑型地震。

(5)海底火山喷发及正断层地震造就了大洋中脊及大洋中的海山;在现代板块俯冲带,火山喷发及逆断层地震造就了日本、印度尼西亚等岛弧及安第斯等山脉;古代板块缝合带火山喷发及逆断层地震造就了阿尔卑斯、高加索、天山、祁连山、喜马拉雅等山脉。

(6)全面介绍了火山地震、海啸地震、水库地震、矿山地震情况。

第4章地震预报,重点介绍了地震自然电位监测法。中国已经积累的地震资料比任何国家都丰富,把这些宝贵的地震资料开发并利用起来,建立具有中国特色的地震学、地形变、地下水、自然电位、地应力综合观测系统,应该可以解决地震预测预报问题。

郭召杰(1996)在《地质学研究的新思维——历史地质学方法》一文中指出:1830年英国人莱伊尔《地质学原理》一书的出版,标志着地质学的正式诞生。该书将当时各种地质知识和地质思想加以系统化,同时深入地论证了古代地质作用与现代地质作用的相似性,确立了“将今论古”——“现在是认识过去的钥匙”这一地质学的基本原理,为进行地质学研究工作找到了一条普遍运用的、也是最基本的方法;现今大洋板块俯冲的上盘有岛弧火山岩带的发育这一事实,如东太平洋的安第斯山脉,推断古造山带中与其相似的火山岩带也是岛弧构造带;这些都是“将今论古”思想的具体体现,“将今论古”方法的精髓是现实主义原则。“将今论古”思想是地质学诞生的基础,无论现在还是将来都是地质学研究的最基本的指导思想。

我们是长期从事地质教学与科研工作的地球物理、地球化学专业的教师,并非是专业的地震研究人员。我们觉得应该把自己新的认识提出来,供相关专业人员参考。

我们所进行的工作,弘扬了板块构造学说中的合理部分,扬弃了其中的不合理部分,可以说得上“洋为中用”、“古为今用”。地球中的放射性物质释放出大量热能导致地球膨胀;大洋中脊新洋壳的生成及大洋中的“无震海岭”、转换断层等是板块漂移的历史见证。

本书可供广大地震工作者及地质科技人员参考,对地震感兴趣的人们来说也是一本科普书。本书还可作为高等院校地矿类专业教材。

本书引用了大量前人有关地震、地质基础研究工作的资料和成果,正如谷歌科技搜索中所指出的那样:“站在巨人的肩膀上。”在此,向广大的地震、地质科技人员表示崇高的敬意!中南大学王大伟教授审阅了该书初稿并提出了宝贵的修改意见,在此表示衷心感谢!

目 录

1 地球概况	(1)
1.1 地球的圈层结构	(1)
1.2 全球地震带概念	(6)
1.3 板块构造理论概要	(8)
参考文献	(13)
2 地球岩石圈结构	(14)
2.1 蔚蓝色的星球	(14)
2.2 地壳重力均衡假说	(17)
2.3 中国地区地壳厚度	(19)
2.4 欧亚大陆及西太平洋地区岩石圈结构	(25)
2.5 地球岩石圈结构	(32)
2.5.1 大洋中脊扩张	(33)
2.5.2 转换断层	(47)
2.5.3 地幔柱	(51)
2.5.4 深海沟	(55)
2.5.5 地球的双层地壳	(62)
2.5.6 板块抬升	(68)
2.5.7 重力均衡异常	(80)
2.5.8 火山岛弧	(85)
2.6 构造与矿产资源	(89)
2.6.1 板块抬升与油气田资源	(89)
2.6.2 构造与铁、铜等火山岩矿产资源	(98)
参考文献	(105)
3 地震的奥秘	(108)
3.1 为什么发生地震	(108)
3.1.1 活动断层	(108)
3.1.2 帕斯卡定律	(111)
3.1.3 地震案例	(112)
3.2 地震中的连锁反应	(120)
3.3 地震中的多米诺骨牌效应	(127)

3.4	大陆裂谷带正断层地震的成因	(136)
3.4.1	东非裂谷带	(137)
3.4.2	贝加尔裂谷带	(138)
3.4.3	中国大陆部分裂谷带	(140)
3.5	板缘逆断层地震成因	(142)
3.6	板内逆断层地震成因	(146)
3.6.1	古代板块缝合带地壳隆起案例	(147)
3.6.2	古代板块缝合地震带发生的中、深源地震资料	(148)
3.6.3	古代板块缝合带逆断层地震成因	(148)
3.7	走滑型地震的成因	(159)
3.7.1	地震案例	(161)
3.7.2	走滑型地震的成因	(164)
3.8	造山作用分析	(167)
3.9	火山与地震	(171)
3.10	地震与海啸	(175)
3.11	水库地震	(183)
3.12	矿山地震	(193)
	参考文献	(198)
4	地震预报	(202)
4.1	地震预报	(202)
4.1.1	地震预报	(202)
4.1.2	地震预警	(220)
4.2	地震监测方法评述	(226)
4.2.1	地震孕震机理	(226)
4.2.2	电阻率监测法	(229)
4.2.3	地磁监测法	(239)
4.2.4	重力监测法	(245)
4.2.5	地震活动性监测法	(249)
4.2.6	地形变监测法	(255)
4.2.7	地应力监测法	(260)
4.2.8	地下水监测法	(264)
4.2.9	自然电位监测法	(269)
	参考文献	(289)
	后记	(291)

1 地球概况

1.1 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,纵波的传播速度较快,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,横波的传播速度较慢,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,地震波速度与地球内部构造如图 1-1 所示。

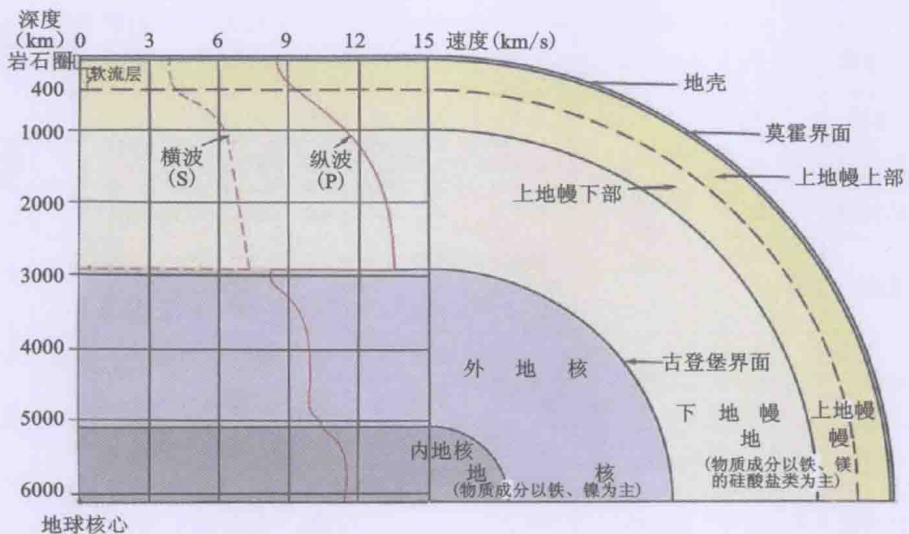


图 1-1 地震波速度与地球内部构造图(据百度图片)

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。

莫霍洛维奇界面是地壳与上地幔盖层的分界面:简称莫霍界面,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。

莫霍界面的深度(自海平面算起)全球平均为 33 km,在大洋之下平均仅为 7 km。

在莫霍面以上,纵波速度为 7.6 km/s,以下稳增到 8.0 km/s;横波速度则由 4.2 km/s 增加到 4.4 km/s 左右。

以莫霍界面为界,可以将地球岩石圈分为地壳和上地幔盖层两个圈层。莫霍界面以上的地球表层即为冷的、硬的、脆性的地壳;莫霍界面以下为热的、软的、柔性的上地幔盖层;地壳和上地幔盖层物质组成的岩石圈漂浮在软流圈的上方。

古登堡界面是地幔与地核的分界面:是1914年由美籍德裔学者古登堡(B. Gutenberg, 1889—1960)发现的。这一界面位于地下2 891 km的深处。

古登堡界面以上为固态下地幔物质,古登堡界面以下为液态外地核。古登堡界面上下,纵波速度由13.6 km/s突然降低到7.98 km/s;横波速度从7.23 km/s到突然消失。

布伦(Bullun, 1963, 1975年)根据地球内部地震波的速度分布,将固体地球分为7层。地壳为A层;地幔为B、C、D三层;外核为E层;内外核的过渡区为F层;内核为G层。

根据地震波传播速度、高温高压岩石模拟实验等方面的综合研究资料,地球内部主要物质物理性质和圈层划分如表1-1所示。

表1-1 地球内部主要物质物理性质和圈层划分表

圈层		深度 (km)	v_p (km/s)	v_s (km/s)	密度 (g/cm ³)	特征	其他			
名称	代号									
地壳	上地壳	A	A ₁	陆洋壳壳	5.8	3.2	2.65	岩石圈	构造圈	
	下地壳		A ₂	15~2	6.8	3.9	2.90			
地幔	上地幔	B	B ₁	33;12 60~200	8.1	4.5	3.37	软流圈	中间圈	
			盖层		B ₂	8.0	4.4			3.36
			低速层		B ₃	8.7	4.7			3.48
	过渡层	C		220	9.1	4.9	3.72			
				670	10.3	5.6	3.99			
	下地幔	D		D ₁	2 891	11.7	6.5	4.73		
D ₂				13.7	7.3	5.55				
地核	外核	E		4 771	8.0	0	9.90	古登堡面	内圈	
	过渡层				F	5 150	10.2			0
	内核	G	6 371	11.0 11.3	3.5 3.7	12.77 13.09	固态			

据“初步地球参考模型(PREM)”改编。

在地球内部不同深度,对其物相组成的研究还发现了一些重要的物质相变现象,它们也成为检验圈层结构划分方案的重要依据(表1-2)。

人们通常认为:地球内部的温度随深度而上升。根据最近的估计,在100 km深度处温度为1 300 ℃,300 km处为2 000 ℃,在地幔圈与外核液态圈边界处,约为4 000 ℃,地心处温度为5 500~6 000 ℃。

1914年美国地质学家巴雷尔(J. Barrell)根据地壳均衡理论推测地球深处存在塑性层,首先提出把地球上部刚性部分中的岩石圈下塑性较大的 B_2 部分称为软流圈。这样,把地球表面至低速层,包括地壳和上地幔 B_1 部分划分为岩石圈,而将其下的低速层划分为软流圈,此构造分层概念得到了普遍承认,并成为板块构造学说的立论基础之一。于是,对地球内部的圈层划分又有了岩石圈、软流圈、中间圈和内圈的划分方案(表1-1),中间圈指的是软流圈底至核—幔边界的地幔部分。有的学者则将岩石圈和软流圈合称为构造圈,认为地球这个部分是内力地质作用——构造运动、岩浆活动和变质作用的直接起因。

表1-2 地球内部不同深度的物相组成

深度(km)	压力(GPa)	物相组成
地壳内部	<0.9	各种岩石不同分布格局
33	0.9	橄榄石(Mg_2SiO_4),石榴石($Mg_2Al_2Si_3O_{12}$)四配位
100~150	3.1~6.5	Mg_2SiO_4 , $Mg_2Al_2Si_3O_{12}$ 稳定或含 H_2O ,部分熔融软流体流态
220	10	斜方 $Mg_2SiO_4 \rightarrow \beta$ Mg_2SiO_4 亚稳相或含 H_2O ,部分熔融软流体流态
400	14	斜方 $Mg_2SiO_4 \rightarrow \beta$ $Mg_2SiO_4 \rightarrow \gamma$ 晶石相 Mg_2SiO_4 (立方)或含 H_2O ,部分熔融软流体流态
670	25	Mg_2SiO_4 后尖晶石相 Mg_2SiO_3 , Mg_2SiO_4 , $Mg_2Al_2Si_3O_{12}$ 向钙钛矿相转变 $SiO_4 \rightarrow SiO_6$ 六配位
1000	39	斜方(假立方)钙钛矿相硅酸盐 \rightarrow 四方结构 \rightarrow 密排六方结构(立方结构)
2900	137	氧化物四方结构 \rightarrow 密排六方结构 \rightarrow 立方结构 SiO_6 六配位
5080	317	FeH, FeS 液态外核界面
6371	364	固态 Fe(Si, S, H)内核

注: $GPa = 1 \times 10^9 Pa$ 。

地球内部结构如图1-2所示。

根据地球内部物质的固、液态性质,我们可以将地球内部的圈层简单划分为五圈:自地核至地壳,分别为:固态内核,液态外核,固态地幔圈,固、液态软流圈,固态岩石圈,如图1-3所示。

地震波其他的地球物理探测都表明,上地幔的地球物理场的分布,例如重力场、地震波速度分布和电导率等,在纵向和横向上都具有非质均和非均匀特性。这一特性可延伸到上地幔深部,甚至全部上地幔(安德森,1993)。

1. 岩石圈

岩石圈由地壳和上地幔盖层物质组成。

地壳是莫霍面之上的地球最外层。地壳表层由很不均匀的岩石组成,大陆地壳由沉积岩、变质岩及花岗岩和玄武岩组成,而海洋地壳仅有玄武岩,缺失花岗岩。

地壳厚度变化很大,在海洋下,一般仅为几千米;而在大陆下,平均厚度为30~40 km;在大山脉之下,厚度更大,如我国青藏高原,地壳最厚可达70 km左右。

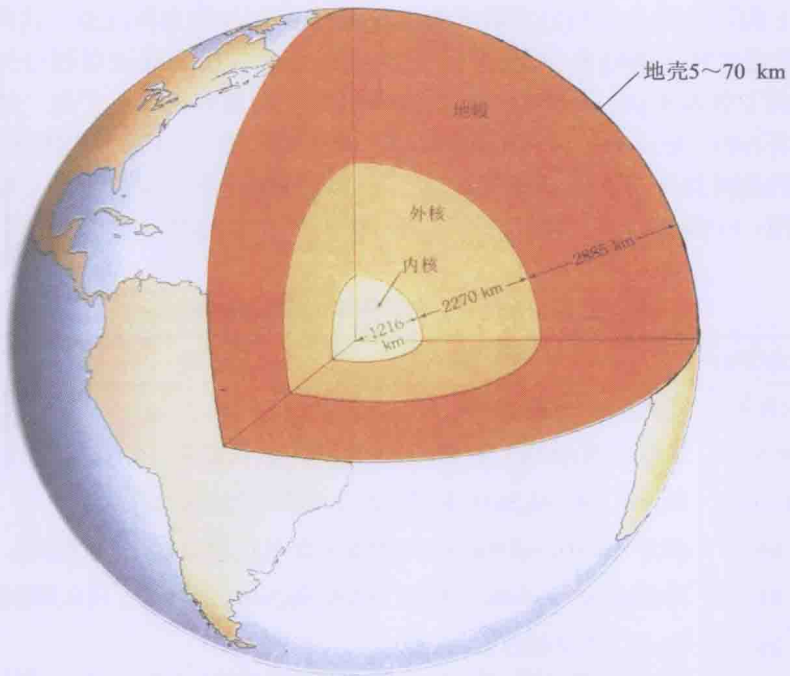


图 1-2 地球内部结构示意图(据百度图片)

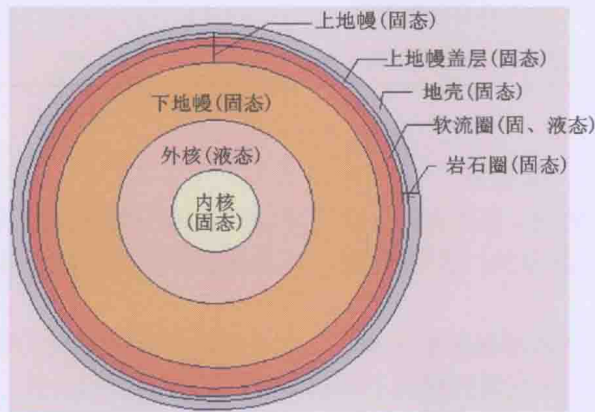


图 1-3 简明地球内部圈层结构示意图

地壳的厚度约占地球半径的 $1/400$ ，仅占地球总质量的 0.8% 。地壳物质的密度一般为 $2.6 \times 10^3 \sim 2.9 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ ，其上层为硅铝层，下层为硅镁层。上层密度较小，下层密度增大，在硅镁层中，铁、镁成分相对增多。

2. 地幔

地幔是地球的莫霍面以下、古登堡面以上的中间部分。其厚度约 2850 km ，占地球总体

积的 82.3%，占地球总质量的 67.8%，是地球的主体部分。据地震波横波的事实分析，地幔主要由塑性固态物质组成。根据地震波的次级不连续面，以 650 km 深处为界，可将地幔分为上地幔和下地幔两个次级圈层。

上地幔的平均密度为 $3.5 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ 。上地幔由相当于超基性岩的物质组成，其主要的矿物成分可能为橄榄石，有一部分为辉石与石榴子石，这种推测的地幔物质被称为地幔岩。

上地幔上部存在一个软流圈，约从 70 km 延伸到 250 km 左右，其特征是出现地震波低速层。在低速层内，地震波速度不仅未随深度而增加，反而比上层减小 5% ~ 10%。低速层的上、下没有明显的界面，波速的变化是渐变的；同时，低速层的埋深在横向上是起伏不平的，厚度在不同地区也有较大变化。低速层在地球中所构成的圈层被称为软流圈。

下地幔的平均密度为 $5.1 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ ，由于这里经受着强大的地内压力作用，使得存在于上地幔的橄榄石等矿物分解成为 FeO、MgO、SiO₂ 和 Al₂O₃ 等简单的氧化物。与上地幔相比，其物质化学成分的变化可能主要表现为含铁量的相对增加（或 Fe/Mg 的比例增大）。由于压力随深度的增大，物质密度和波速逐渐增加。从莫霍界面到古登堡界面，随深度的增加，铁镁成分增加。

可以将软流圈的性质和特点总结如下：

(1) 软流圈中的岩石处于熔融或塑性状态，软流圈的物质可在岩石圈的薄弱之处上涌，引起岩石圈的各种岩浆作用和构造活动；很小的应力作用就可以引起物质的流动，而软流圈物质的流动或对流，甚至会带动岩石圈的局部运动。

(2) 洋壳下的软流圈底板深度为 400 km，厚度约为 350 km。陆壳下的软流圈顶板深度为 100 km，底板为 200 ~ 250 km，厚度为 100 ~ 150 km。显然，洋壳下的软流圈比陆壳下的软流圈厚。

(3) 软流圈中物质的密度比其上部岩石圈的密度大，而比其下部地幔的密度小。

对于地震而言，虽然绝大部分地震发生在固态岩石圈中，但是软流圈起着非常重要的作用。例如，岩石圈在软流圈之上漂移；软流圈中岩浆的喷溢形成了大洋中脊；软流圈中岩浆的喷发形成了火山；大洋板块俯冲到大陆板块之下后，贝尼奥夫带下端插入到软流圈而发生局部熔融，等等。大洋中脊、火山、贝尼奥夫带通常是地震的频发地带。

软流圈之上的岩石圈，通常情况下为固态。呈固态的原因是因为该岩石圈物质处在一种特定的高温、高压状态下而形成的。若呈固态的岩石圈物质，当其温度、压力变化时，它的固态性质可以发生变化。在一定的压力条件下，当呈固态的岩石圈物质温度升高，部分低温矿物首先转化为液态，该种情况相当于软流圈向上抬升；抬升的软流圈仍然处于高温条件下，但是由于所处环境的压力下降，另外一部分中温矿物也可以转化为液态，因而在软流圈形成了岩浆房。“大洋中脊”的形成与岩石圈局部温度升高、压力下降有关。

3. 地核

地幔圈之下就是所谓的外核液体圈，它位于地面以下 2 891 km 至 4 771 km 深度。整个外核液体圈基本上可能是由动力学黏度很小的液体构成。4 771 km 至 5 150 km 深度层称为过渡层，它是外核液体圈与固体内核圈之间一个很薄的过渡层。

地核是地球内部古登堡面至地心的部分，虽然其体积占地球总体积的 16.2%，但质量却占地球总质量的 31.3%，地核的密度达 $9.98 \times 10^3 \sim 12.5 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ 。根据地震波的传播特点可将地核进一步分为三层：外核（深度 2 891 ~ 4 771 km）、过渡层（4 771 ~ 5 150 km）和内

核(5 150 km 至地心)。在外核中,根据横波不能通过、纵波发生大幅度衰减的事实推测其为液态;在内核中,横波又重新出现,说明其又变为固态;过渡层则为液体—固体的过渡状态。

综合多方面推测,地核应主要由铁、镍物质组成。近年来的进一步研究还发现,在地核的高压下,纯铁、镍的密度略显偏高,推测地核最合理的物质组成应是铁、镍及少量的硅、硫等轻元素组成的合金。

1.2 全球地震带概念

地震震中集中分布的地区,且呈有规律的带状分布,称为地震带。

传统的全球三大地震带指:环太平洋地震带、欧亚地震带、大洋中脊地震带。全球地震带分布如图 1-4 所示。

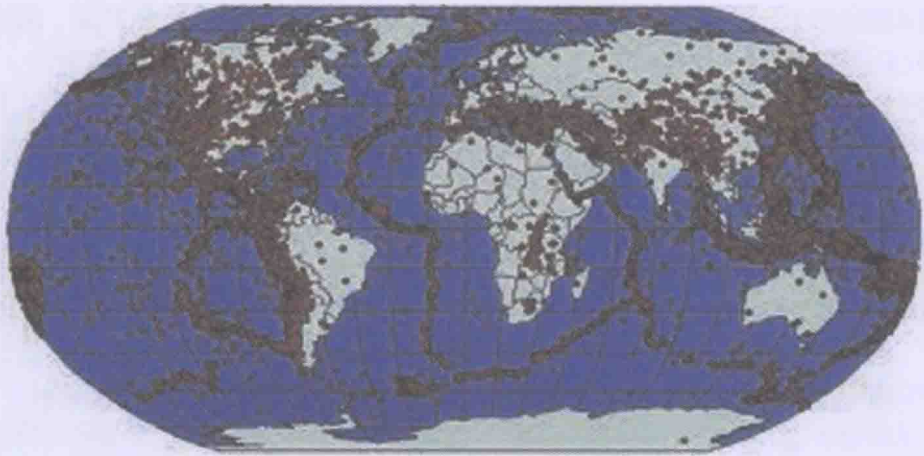


图 1-4 全球地震带(据百度图片)

大洋中脊地震带如图 1-4 各个大洋中连续性较差的红色细线条所示。

全球大洋中脊地震带是彼此互相联结的一个整体,是全球规模的洋底山系,全长 75 600 km,相当陆地山脉长度的总和。它起自北冰洋,纵贯大西洋,东插印度洋,东连太平洋海隆,北上直达北美洲沿岸。由于地球软流圈上涌导致岩石圈厚度减小,在地球的重力作用下,岩石圈发生塌陷,大洋中脊地震带通常发生正断层浅源地震。

传统环太平洋地震带形状如图 1-4 中粗红色线条所示。太平洋板块俯冲至欧亚大陆板块、南美板块、菲律宾板块之下时,由于两个板块接触带上地幔盖层物质相互叠加,使得地球岩石圈厚度增加,在地球的浮力作用下,发生逆断层地震,从而形成了阿留申群岛、千岛群岛、日本群岛、琉球群岛、菲律宾群岛、伊豆—小笠原群岛、马里亚纳群岛、所罗门群岛、新赫布里底群岛、汤加群岛、克马德克群岛等一系列岛弧以及安第斯山脉、落基山山脉。环太平洋地震带是全球地震活动最强烈的地带,集中了全球约 80% 的浅源地震、90% 的中源地震和几乎 100% 的深源地震。

太平洋、大西洋、印度洋中的主要深海沟如图 1-5、图 2-44 所示。

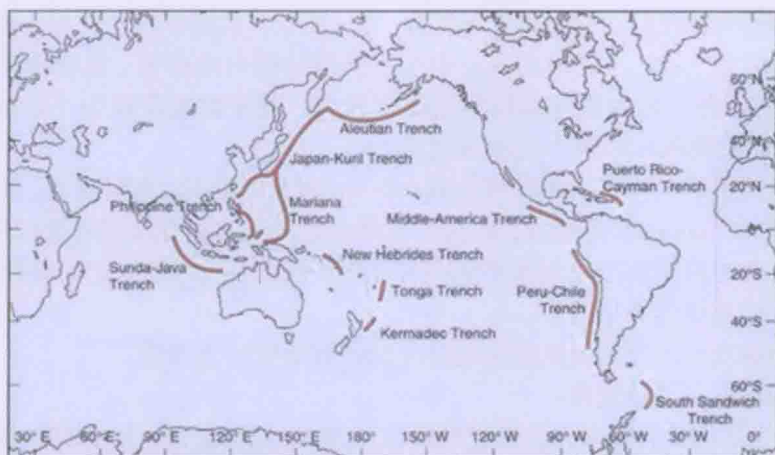


图 1-5 太平洋、大西洋、印度洋中的主要深海沟(据百度图片)

全球现代火山喷发带如图 1-6 所示。



图 1-6 全球现代火山喷发带(据百度图片)

一方面, 马里亚纳群岛地震带、汤加群岛地震带、克马德克群岛地震带位于太平洋中部地段, 而南太平洋中的地震带事实上属于大洋中脊地震带, 人们习惯上所述的“环太平洋地震带”的“环”字并不太确切; 另一方面, 图 1-5 所示的太平洋、大西洋、印度洋中的深海沟与图 1-6 所示的全球现代火山喷发带完全吻合, 它们与现代板块俯冲密切相关。所以, 我们把大西洋中的南桑威奇群岛地震带、波多黎各群岛地震带, 印度洋中的印度尼西亚群岛地震带及太平洋中的日本群岛、马里亚纳群岛、菲律宾群岛等地震带统一称为现代板块俯冲地震带。

欧亚大陆地震带不仅仅指非洲板块、阿拉伯板块、印度洋板块与欧亚板块接触带边界附近发生地震的地区,而是包括欧亚大陆广大发生地震的区域在内。欧亚大陆地震带的形态好像喇叭形,它的喇叭嘴在西欧的西班牙、希腊、意大利,它的喇叭口在亚洲东部,包括俄罗斯的堪察加半岛地震带、贝加尔湖地震带及中国的喜马拉雅山地震带、昆仑山地震带、天山地震带、南北地震带、华北地震带及缅甸等地震带在内。欧亚地震带集中了全球 15% 的地震,主要是浅源地震、中源地震和极少数深源地震。

由于现今在西班牙发生了震源深度达到 640 km 的深源地震,在阿富汗、缅甸可以发生地震震源深度超过 300 km 的深源地震,在喜马拉雅山地震带常发生地震震源深度在 200 km 左右的中源地震。北美洲俯冲于东北太平洋中脊之下。在此,我们把欧亚大陆及北美洲发生地震的区域称为古代板块缝合地震带。

根据各类地震发生的原因及区带来划分全球地震带更恰当合适。

可以划分为以下三个地震带:

(1)大洋中脊地震带:即原大洋中脊地震带。图 1-4 中红海、东非裂谷带、贝加尔湖裂谷带可视为正在孕育中的大洋中脊,它们的地震成因与大洋中脊地震带的地震形成机理相同。

(2)现代板块俯冲地震带:以原环太平洋地震带为主体,图 1-4 中印度尼西亚群岛地震带、大西洋中的波多黎各与南桑威奇群岛地震带属于现代板块俯冲地震带。

(3)古代板块缝合地震带:以原欧亚大陆地震带为主体,图 1-4 中美国东南部新马德里时常发生大地震,不存在深海沟,所以,北美洲地区的地震带则属于古代板块缝合地震带。

1.3 板块构造理论概要

全国自然科学名词审定委员会吴凤鸣指出:“板块构造学说,严格说来诞生于 20 世纪 60 年代,70 年代获得了理论与实践上的论证和发展,进入 80 年代成为地球科学的支柱性学科,受到许多学者的高度评价,板块构造理论的诞生与发展是地球科学上的一次革命。”全球板块学说能够很好地说明和解释全球大尺度的构造活动现象,特别是出现在板块边界上的巨大构造变形,如地震、火山活动等。在当前,还没有另外一种学说比板块构造学说更能较全面地解释全球大地构造特征^[1]。

1910 年,德国的年轻地球物理学家魏格纳(A. L. Wegener, 1880—1930)提出一个崭新学说——大陆漂移说,勇敢地向占统治地位的固定论提出了严正的挑战。1912 年 3 月 6 日他在法兰克福地质协会作了《地壳轮廓(大陆与海洋)的生成》专题报告,接着又在马尔堡科学协会上作了《大陆水平移位》的讲演。1912 年魏格纳的《大陆的生成》在《地质杂志》、《彼德曼文摘》相继发表,1915 年正式出版了《海陆的起源》,对大陆漂移学说作了全面的论述。他根据大陆边缘拼合、古地磁极迁移、古气候学、古生物学等大量证据,提出了“大陆漂移学说”。大约在 200 Ma^①前,劳亚大陆和冈瓦纳大陆贴合在一起,称为联合古陆。在 180 Ma 前,联合古陆裂解为劳亚大陆和冈瓦纳大陆,如图 1-7 所示,它们之间为特提斯海洋。

① 注:1 Ma = 100 万年。