

在地学断面域内 用地震学方法研究大陆地壳

——以中国满洲里-绥芬河地学断面为例

杨宝俊 著

地 质 出 版 社

在地学断面域内 用地震学方法研究大陆地壳

——以中国满洲里-绥芬河地学断面为例

杨宝俊 著

地质出版社

· 北 京 ·

内 容 提 要

本书是作者用地震学方法研究大陆地壳结构的部分结果。概论、第一章、第二章阐述了相关的基本理论,包括大地构造学、地学断面以及地震学;后七章是研究结果,主要有满-绥断面域的地壳结构,地震波速分布特征,天然地震与火山活动,上、中部地壳的滑脱构造以及松辽盆地深层油气资源等。作者在本书中详细介绍了用地震学研究大地构造的方法;介绍了断面域内的地壳结构特征;阐述了太平洋板块西向俯冲的基本效应;较详细地讨论了莫霍;论述了地学中几个重要的科学问题,如环太平洋构造断裂特征、青藏高原隆升、科学深钻问题等等。本书对于从事大地构造学、构造地球物理学、地震学领域的教学与科研人员均有参考价值。

图书在版编目(CIP)数据

在地学断面域内用地震学方法研究大陆地壳:以中国满洲里-绥芬河地学断面为例/杨宝俊著.

-北京:地质出版社,1999.6

ISBN 7-116-02819-6

I. 在… II. 杨… III. 地震学-研究方法-大陆型地壳 IV. P54

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (1999) 第 23554 号

地质出版社出版发行

(100083 北京海淀区学院路 29 号)

责任编辑:王文孝 江晓庆 白 铁

责任校对:李 玫

*

北京印刷学院实习工厂印刷 新华书店总店科技发行所经销

开本:787×1092 1/16 印张:12.25 插页:4 字数:304000

1999 年 6 月北京第一版·1999 年 6 月北京第一次印刷

印数:1—500 册 定价:30.00 元

ISBN 7-116-02819-6

P·2021

(凡购买地质出版社的图书,如有缺页、倒页、脱页者,本社发行处负责调换)

前 言

从1991年至1996年完成的“中国满洲里-绥芬河地学断面多学科综合研究”科研项目(原地质矿产部“八五”重点基础研究项目)取得许多科学成果。其中的“用地震学研究满-绥断面域地壳结构”子课题也得出一些结果,加上多年来在构造地球物理学方面的工作结果,组成了本书的主要内容。

本书的结构如下。在概论中阐明了几点基本认识,包括大陆地壳与大洋地壳,地震学方法的基本思想,中国东北部大地构造的基本格局,地学断面方法的评述等。第一章与第二章是本书研究结果的基础理论依据,包括大地构造学与地学断面的基本理论与应用,地震学基础与方法。第三章至第九章是研究结果,包括断面域的地球物理调查基本结果,断面域地壳结构及其特征,断面域内的地震波速分布特征,对莫霍的研究结果,天然地震与火山活动,上、中部地壳的滑脱构造及其解释,松辽盆地深层油气资源等。

主要研究成果如下。

(1)用地震学方法研究大地构造,以数据采集、资料处理及综合解释为基础建立了一种研究方法系列。

(2)以地震学为主结合其它资料,得到满-绥断面域内的准层块二维不均匀地壳结构;从上、中部地壳的结构、天然地震分布以及对深源地震的研究,得到太平洋板块西向俯冲的基本效应。

(3)对断面域内的莫霍(Moho)从震相特征、正演计算、断面域内外比较、全球莫霍的比较、成因诸方面的研究,得出区域上莫霍有很大的变化,局部上莫霍具有复杂的内部结构以及多种物理性质的结论;地幔对流与相变是形成莫霍的主要因素,这两种因素同时存在时,地幔对流更为重要。

(4)对环太平洋构造断裂系统——中国郯-庐断裂带与北美圣安德列斯断裂系从断裂性质、形成过程、地球物理等方面进行了比较,认为由于太平洋板块对周围陆缘的不同作用,造成了圣安德列斯断裂的转换性质以及郯-庐断裂的平移性质。

(5)关于中国唯一的深源地震的成因,认为不应排除导致深震活动的两种力源的可能;发生深震活动的部位可能呈均一性也可能具备裂痕,前者可以在外力作用下发生“粘滑”效应,后者则可以在外力作用下加剧断裂,从而引发地震。

(6)垂直地震反射提供了丰富的地质信息,清晰地显示了松辽盆地的“上拗下断”的基本图像;其中较具规模的断陷带有三处,从生烃、排烃、储集等条件分析,这三处断陷带是松辽盆地深层油气勘探的重要远景区。

(7)青藏高原隆升是复杂的地质问题;任何一个地区构造的形成问题都是时空四维问题。对青藏高原隆升机制还需要建立更为完善的模型。科学深钻的结果表明,关于基底的地震学响应有别于沉积层,对于基底的地震学研究尚未成熟。现代板块构造理论还在发展之中,这个地学理论应当回答一系列有关的地学问题。

参加研究的主要人员：刘财副教授、傅维洲副教授、刘万崧副教授、朱建伟副教授、李明博士、张海江博士、李勤学博士、杨平华硕士、冯晷硕士、侯广兵硕士等。

在研究过程中，得到张贻侠教授、陈琦教授、葛肖虹教授、张兴洲教授、叶茂教授的经常指导；得到翁世勖研究员、吴功建研究员、李清河研究员、张先康研究员的指导；与美国 Cornell 大学的 L. D. Brown 教授、Stanford 大学的 S. L. Klemperer 教授、俄罗斯科学院新西伯利亚分院的 В. С. Селезнёв 教授进行过多次讨论，收益颇多；也得到大庆石油管理局、国家地震局、俄罗斯科学院新西伯利亚分院的大力支持。在此一并致谢。中国科学院的滕吉文研究员、张中杰研究员在百忙中审阅了全部书稿，提出了许多宝贵意见；地质出版社王文孝先生为文字的润色、章节编排等花费了大量的时间，并提出许多宝贵意见。罗凤芝女士为本书提出许多中肯的意见并付出了辛勤的劳动。这里也表示诚挚的谢忱。

作者衷心感谢读者对本书的指正。

作 者

1998 年 11 月

目 录

前 言

概 论	(1)
一、关于大陆地壳与大洋地壳的提法	(1)
二、用地震学方法研究陆壳的基本思想与结果	(2)
三、对中国东北部大地构造的基本认识	(3)
四、地学断面方法的科学价值与局限	(4)
第一章 大地构造与地学断面	(5)
第一节 大地构造学的主要研究内容	(5)
第二节 大地构造学的部分成果	(7)
一、槽台说在大地构造研究中的成果	(7)
二、板块构造理论的基本成果	(11)
第三节 地学断面 (Geoscience transect) 基础	(18)
第四节 GGT 研究的几个实例	(21)
一、青藏高原隆升	(21)
二、阿尔卑斯 (Alps) 造山带	(25)
三、圣安德列斯 (San Andreas) 断裂系	(31)
第五节 对几个地质问题的浅见	(37)
一、青藏高原隆升的机制	(37)
二、科学钻探结果与地球物理学	(37)
三、板块构造理论概评	(38)
第二章 地震学基础与方法	(39)
第一节 近垂直地震反射技术	(39)
一、层速度计算	(40)
二、三瞬技术与时频分析	(41)
三、波动方程偏移	(43)
四、正演模拟技术	(44)
五、小波变换技术	(47)
第二节 广角地震测深基础	(49)
一、地球内部的速度结构与分层	(49)
二、走时反演与理论地震图	(51)
三、地震波远场和近场的性质	(53)
四、频散与艾里震相	(57)
第三节 回折波速度成像技术	(59)
一、预备知识	(59)
二、运动学解释的线性化方法 (时间延迟的地震成像技术)	(61)

第四节 天然地震学概论	(64)
一、烈度与震级	(64)
二、震相	(66)
三、震源机制	(67)
四、地震活动带与预测	(68)
五、关于地震研究的动态	(70)
第三章 满洲里-绥芬河地学断面域的地球物理调查	(72)
第一节 地电场、地热场和位场调查的基本结果	(73)
第二节 地震学调查的基本结果	(78)
第三节 地球动力学基本模型	(82)
第四章 满-绥地学断面域地壳结构的准层块特征	(84)
第一节 满-绥断面域微板块拼合史	(84)
第二节 黑龙江微板块群拼合带	(85)
第三节 满-绥断面域的地壳结构	(87)
第四节 断面域四个微板块的基本特征	(88)
第五章 满-绥断面域为 V_P 分布的二维不均匀特征	(93)
第一节 满-绥断面域地震纵波 V_P 的分布特征	(94)
第二节 近垂直反射资料层速度 V_n 的分布	(95)
第三节 满-绥断面域地震波速讨论 (一)	(96)
第四节 满-绥断面域地震波 V_n 讨论 (二)	(96)
第五节 V_P 分布的地质解释	(98)
第六章 满-绥断面域的莫霍面研究	(101)
第一节 满-绥断面域内莫霍震相特征	(102)
第二节 在中国大兴安岭重力梯级带附近莫霍的基本特征及地质解释	(108)
第三节 对莫霍的正演研究	(110)
第四节 满-绥断面域内安达—肇东—肇州一带莫霍的再研究	(114)
第五节 用近垂直地震反射信息比较研究全球莫霍的基本特征	(116)
第六节 莫霍的成因讨论	(123)
第七章 满-绥断面域的天然地震与火山活动	(125)
第一节 断面域及邻区的构造应力场特征	(125)
第二节 满-绥断面域及邻区的地震活动	(129)
第三节 断面域及邻区的火山活动	(134)
第四节 断面域及邻区对地震、火山的预防	(135)
第五节 关于震源机制的再讨论	(136)
第八章 满-绥断面域上、中部地壳中的滑脱构造	(138)
第一节 用垂直地震方法研究中国满-绥断面域内地壳上中部的拆离滑脱断裂	(140)
第二节 在安达-丰乐垂直地震反射剖面上部地壳中拆离滑脱断裂的研究	(143)
第三节 中国郯-庐断裂与北美圣·安德列斯断裂的比较研究	(143)
第九章 松辽盆地深层油气资源研究	(149)

第一节	松辽盆地发育史简述	(149)
第二节	深层油气地震勘探基本方法	(153)
第三节	松辽盆地深层油气资源研究	(162)
参考文献		(170)

概 论

一、关于大陆地壳与大洋地壳的提法

大陆地壳与大洋地壳的英文分别为 Continental crust 与 Oceanic crust。下面列出部分著述中的中文提法 (表 0-1), 以便于本书使用。

表 0-1 Continental crust 与 Oceanic crust 的中文提法及其出处

作 者	著 述	出版时间、单位	Continental crust	Oceanic crust
《英汉地质词典》 编辑组	英汉地质词典 ENGLISH-CHINESE DICTIONARY OF GEOLOGY	1983, 第一版, 地质出版社	大陆地壳、陆壳 (p. 201)	大洋地壳、洋壳 (p. 697)
地质矿产部 《地质辞典》办公室	地质辞典 (一) 普通地质 构造地质 分册 上册	1983, 第一版, 地质出版社	大陆型地壳 (p. 16)	大洋型地壳 (p. 16)
曾融生	固体地球物理学导论	1984, 第一版, 科学出版社	大陆地壳 (p. 129)	海洋地壳 (p. 134)
[美] A. N. 斯特勒拉著, 黄天祥等译, 周体健等校	自然科学基础 第三册 地学	1984, 第一版, 科学出版社	大陆地壳 (p. 114) 大陆型地壳 (p. 115)	海洋地壳 (p. 114) 海洋型地壳 (p. 115)
成都地质学院区域地质 教研室 黄邦强等	大地构造学基础及中 国区域构造概要	1984, 第一版, 地质出版社	大陆地壳 (简称陆壳) (p. 11)	大洋地壳 (简称洋壳) (p. 11)
[法] L. 利布特里著 孙坦译, 袁学诚校	大地构造物理学和地 球动力学	1986, 第一版, 地质出版社	大陆型地壳 (p. 260) 法文: crouite-continen- tale	大洋型地壳 (p. 260) 法文: crouite-oocéanique
科学出版社名词室	汉英综合科学技术词 汇 COMPREHENSIVE CHINESE-ENGLISH DICTIONARY OF SCIENCE AND TECNOLOGY	1988, 第二版, 科学出版社	大陆型地壳 (p. 195) 陆壳 (p. 790)	大洋型地壳 大洋地壳 (p. 198)
卢荣俭、肖光先、谢礼立	英汉地震工程学词汇	1988, 第二版, 地震出版社		(海) 洋 (地) 壳 (p. 196)
傅承义、陈运泰、祁贵仲	地球物理学基础	1991, 第二版, 科学出版社	大陆地壳 (p. 417)	海洋地壳 (p. 417)
马文璞	区域构造解析——方 法理论和中国板块构 造	1992, 第一版, 地质出版社	大陆地壳 (p. 141)	大洋地壳 (p. 141)

由这两个英文词的中文对应词的十个著述可见,基本分为三类,即大陆地壳、大洋地壳或海洋地壳,大陆型地壳、大洋型地壳或海洋型地壳,以及陆壳、洋壳。由于地壳分为 continental crust 与 Oceanic crust 两类,所以大陆或大陆型都是与大洋或大洋型相对应,加型字仅突出了类别,而不是对地壳性质的刻画,而类别已由大陆与大洋加以区别;至于大洋地壳与海洋地壳之间,作者以为海洋地壳更为完整些。因此,作者认为把大陆地壳与海洋地壳分别简称为陆壳与洋壳,在文字叙述方面也是比较合理与方便的。

二、用地震学方法研究陆壳的基本思想与结果

陆壳的结构、构造及其成因、演化、运动和动力学规律是大地构造学的研究内容,也是构造物理学的研究内容。如同完满地回答地球的起源与演化需要把地球连同有关的星系一起研究一样,要科学地研究陆壳,也需要把陆壳与洋壳,与岩石圈、甚至地幔结合起来,采用地面地质、地球物理、地球化学的综合研究方法;既要考虑共性又要考虑差异,既要研究理论问题,也要分析矿产资源与地质灾害问题。本书立足于活动论大地构造观,也适当地探讨板块构造学说的某些局限;着重叙述用地震学方法研究中国东北部地域的陆壳问题的结果。地震学方法包括广角地震技术、近垂直地震反射技术以及天然地震方法。地震学方法需要与其它地球物理方法以及地面地质工作相结合;应尽可能地采用新的地震学技术,更细致地研究陆壳问题。

一般地讲,地震学方法中的广角地震与近垂直地震反射技术同其它地球物理方法相比,观测点要密,利用观测的数据进行地质解释时结果精度要高。尤其近垂直地震反射技术,若地震波传播能量够大,由于这项技术基本采用 2 ms 的采样间隔,因而可以相当精细地反映地壳结构。于是在美国 Cornell 大学 J. F. Oliver 教授倡导下,美国于 1974 年成立了大陆反射剖面协作 (Consortium for Continental Reflection Profiling, 简称 COCORP)。这项协作的宗旨是利用其中心点地震技术研究地球的深部地壳和上地幔 (Sheriff, 1994)。几年内在这方面取得了可信的研究成果 (Brown, et al., 1986)。之后类似的机构相继成立,如英国的 BIRPS、法国的 ECORS、加拿大的 LITHOPROBE 和 COCRUST、瑞士的 NFP、德国的 DEKORP、澳大利亚的 ACORP 等,利用近垂直地震反射技术研究地壳乃至上地幔的细致结构的工作陆续开展起来。

广角地震技术可给出地壳内强反射界面的地震波速度;但用它的通常方法难以细致地研究二维不均匀性。近垂直地震反射技术在观测中下部地壳时难以给出可靠的波速,使得算出的深度有一定的不准确性。这两种地震学技术需要结合使用。关于地震学技术以及其它地球物理技术在研究深部地质问题时所能解决问题的时空范围与程度一直为人们所关注。下面的讨论基于以下几点:①地球物理方法结合地面地质的结果;②地球物理方法观测的数据是现今地球物理场的场值;③限于目前国内外已有的地球物理技术;④地球物理手段包括地震学方法、重磁学方法、古地磁方法、地电学、地热学等。深部地质研究的对象包括几何学、运动学和动力学三个部分。除古地磁、天然地震方法外,其它地球物理方法都可以研究几何学问题,例如地壳的划分、成层性、断裂以及其它构造。近垂直地震反射方法得出的结果最为细致。运动学与动力学所包含的内容很多,这里仅进行粗略的讨论。运动学与时间有关,古地磁方法是这方面研究的主要方法;近垂直地震反射与地电学中的 MT 资料可用于研究板块俯冲、壳内推覆。地球动力学模型的建立是一项综合研究工作,需

要综合天然地震、MT、地热、重力均衡异常、低速及介质参数变异等资料，以及板块运动规律和地幔热流变化。它既与空间有关也与时间有关，所结合的地面地质资料包括岩石种类与地质时代、构造等。深部地质的研究成果都具有一定程度的假说性质；在不同假说的不断进步过程中会不同程度地发展地质学理论，同时对国民经济发展提供有益的资料。

近年来，用地震学研究陆壳的成果颇丰（曾融生，1984；傅承义等，1991；Fuis, et al., 1990；Blundell, et al., 1992；Klemperer et al., 1994；Nelson, et al., 1994；Brown, et al., 1994；杨宝俊等，1997）。本书介绍的主要成果为：

- (1) 建立与归纳了一套用于研究地壳细结构的方法系列；
- (2) 以地震学为主结合其它资料，得到中国满洲里-绥芬河地学断面域内的准层块二维不均匀地壳结构；
- (3) 比较详细地研究了该断面域的莫霍面，同时比较了全球典型地区的莫霍面的基本特征；
- (4) 从上中部地壳的结构、天然地震分布以及深源地震的研究结果，分析了太平洋板块西向俯冲的基本效应；
- (5) 通过对基底性质、发育史、油气条件等的研究，提供了松辽盆地深层油气资源的远景区；
- (6) 建立了深层油气的地震学方法理论与技术。

三、对中国东北部大地构造的基本认识

关于中国东北部大地构造的基本认识已有许多经典性结论。最迟到海西期，中朝与西伯利亚陆块即联结为一个整体（黄汲清等，1977）。中国北方的地块对接带完成于海西末期，大陆地块的相向对接与传统的地槽褶皱升起成陆的概念也是可以统一的（王鸿祯，1981）。大约 40 Ma 前，太平洋板块运动方向转变为北西西向俯冲，从而使特提斯域不再向东滑移（朱夏等，1982）。海西造山之后，随着中亚-蒙古带大洋型地壳的消失，西伯利亚地台与中国大陆地壳碰撞。当时这些陆块之间的碰接还处于“联而不合”的状态，在以后的地质发展过程中，各地块仍保持各自的独立性，陆块之间的造山带仍在继续发展。印支运动加强了中国东部及邻区各陆块之间的联接，只有经过燕山运动，随着中国东部 3 条造山带多旋回造山作用的最终完成，中国东部及邻区诸陆块才完全焊合为一个整体。可见洋盆的消失，大陆的碰撞，并不意味着陆陆之间缝合过程的完成（任纪舜等，1992）。中国的天山-大兴安岭地区，在地质历史上具长期活动性质，由一系列褶皱带和微陆块组成；在古生代中晚期由古亚洲洋区分别向北（西伯利亚板块）、南（塔里木-华北板块）俯冲形成了一些地带的蛇绿岩套、花岗岩类，乃至高压变质岩或双变质带；印支期以后，库拉-太平洋板块的影响深入大陆，波及中国东部，在构造上出现以东北-北北东方向为主的向洋分带（程裕淇，1994）。环太平洋构造系的基本构造形态是板舌构造，它是岩石圈深俯冲消减带的特有构造标志，不同地区和不同地段的板舌构造要素有很大差别（马宗晋等，1994）。

满洲里-绥芬河地学断面域位于西伯利亚板块东南缘、华北板块北缘和西太平洋板块消减带所挟持的地区。地表地质研究、深部地球物理和地球化学探测结果表明，这部分陆壳是由成因不同的多个微陆块以不同方式拼接、焊合而成。由西向东断面域穿越了四个微陆块和分隔微陆块的 3 条古缝合带，即额尔古纳-大兴安岭微陆块、松嫩-张广才岭微陆块、佳

木斯微陆块、兴凯微陆块，黑河-扎赉特古缝合带、嘉荫-牡丹江古缝合带、牡丹江-穆棱古缝合带。这些微陆块是微小板块的陆块部分。各微陆块基底岩石的变质建造和构造热事件说明它们至少曾分属于两种地壳类型不同的早前寒武纪古老陆块。额尔古纳-大兴安岭微陆块的早前寒武系岩石为岛弧或大陆边缘建造，以一套变质基性—中酸性深成岩和火山岩为主，代表一种成熟度较低的地壳类型。其它三个微陆块的早前寒武系组成相同，主要为 TTG 岩系、麻粒岩和富铝片麻岩（孔兹岩系），代表一种高成熟度的地壳类型。也许这三个微陆块是由一个陆壳裂解而成，在晚古生代时期，这些微陆块先后又拼合为一体。中生代以来，这些微陆块群体作为西伯利亚板块和华北板块之间的拼合板块，运动于诸大板块之间，而且作为欧亚板块的一部分，又受到太平洋板块俯冲的影响。微陆块群拼合的属性，使得该区难于找到典型造山带的一系列特征。满洲里-绥芬河断面域内盆岭相间，发育有两条巨大的岩浆岩带。盆岭体系和岩浆岩带的展布方向，以及构造单元的边界，往往与古缝合带有一致性。由于各微陆块的组成和结构各异，在中、新生代时期，尽管已经拼合，在统一的地球动力学条件下，构造式样既有统一性，又有差异。以上内容参见本书第四章。

四、地学断面方法的科学价值与局限

面对五洲四海，地学研究的任务十分繁重。对具有重要地质意义的地域采用地学断面的方法进行地学的分项研究与综合研究，可以得到相应地域甚至具有一定普遍意义的科学成果，如陆缘带地壳基本特征、造山带二维不均匀性、盆山体系结构、陆陆碰撞基本模型、盆地演化模式、大洋板块向陆壳下俯冲的基本效应、震灾与矿产资源、地球动力学模型，等等。地学断面方法需要建立统一的大地构造观念，需要各项研究的准确及时与良好的综合，需要经常地有根据地修正地质模型，需要结合周边的地质成果，需要合理地补充后续研究工作。我们知道，在地质学研究中影响大的学说一个是槽台说，一个是板块构造理论；传统的槽台说属于固定论，板块构造理论为活动论。经过中外学者的不断研究认为，板块构造理论可以将地槽发展与大陆陆缘区的发展结合起来，即在新的基础上解释槽台理论（黄汲清等，1982；王鸿祯，1981）；板块构造理论又与多旋回构造运动理论相互补充，使地质学理论的发展方兴未艾（李春昱，1979；任纪舜等，1992）。所述的各项研究的综合是有难度的，比如对地球物理场值的认识，地质模型与地球物理数据的符合程度，地球动力学规律的依据，等等。另外，地学断面域是一个带，用以表述更大范围的三维空间的地质规律也是有一定条件的。

第一章 大地构造与地学断面

关于作为太阳系的一个行星——地球的起源与演化,这是科学界的重大研究题目之一。它涉及到天、地、生与数、理、化,以及生命科学,需要把地球置于巨大的星系乃至宇宙之中,这一难题才能得到圆满的解决。现在对这一题目已经取得许多研究成果。地球的构造与变化是上述题目的内容,其中包括大地构造。

大陆构造学(Geotectonics)是研究地球构造圈的结构、构造及其演化与运动规律。经典大地构造学的主要研究目标是地壳,特别是陆壳。地壳的研究涉及地幔顶部、软流圈甚至上地幔的全部。在长期的研究工作中,由于探查技术的提高,以及综合研究水平的提高,不仅解决了地壳的大地构造学问题,也解决了许多关于地球内部B层的大地构造学问题。这使经典的大地构造学发展为近代大地构造学。近代大地构造学是一门综合性的地质学学科,它着重研究地壳、上地幔的结构、组成、构造特征及其成因、演化、运动、动力的规律。

构造物理学(Tectonophysics)既是地球物理学的一门分支科学,也是大地构造学的一个分支。它利用野外观测、室内实验及理论分析,研究导致地壳运动和变形的作用力,着重研究地球内部构造圈层的划分,查明构造运动作用力的深部位置与性质,探求地球内部的某些自然规律和作用过程。为了解决大地构造的问题以及构造物理学的研究目标,提出了地学断面(Geoscience transects)的研究方式。这种方式的主要作法为,利用在宽约100 km的断面域内的地面地质、地球物理、地球化学等观测的资料与数据,进行综合研究,包括断面域的地球物理场特征、化学组构、结构与构造、地质灾害与矿产预测、地球动力学模式,以及相关的大地构造学的一些理论问题。

本章主要分为两部分,即大地构造学的主要研究内容与所取得的主要成果,另一部分为地学断面的主要方法技术与利用地学断面进行大地构造研究所取得的主要结果。开展地学断面的工作,基本立足于活动论大地构造观,因此相应的研究成果主要体现在碰撞带、俯冲带、陆缘、板块构造动力学等方面。

第一节 大地构造学的主要研究内容

大地构造学的理论价值在于它对全球地壳构造运动及其发展规律和成因的研究,近代大地构造学研究地球内部地壳以下的B层的构造与动力学问题,可以为地球的起源和演化,以及天体演化的研究提供依据,丰富地学理论。大地构造学的研究 also 具有重要的实际意义,即可为地质矿产预测、地震预报、环境保护提供可靠的地质依据。大地构造学研究的内容主要包括构造单元的划分以及不同构造单元中的沉积建造、岩浆活动、构造变动、变质作用、成矿作用、地球化学特征和地球物理特征;进一步分析区域大地构造性质和演化史;划分出不同的地壳乃至B层的构造类型。

大地构造学的理论很多,这里着重叙述经典的地槽-地台学说(简为槽台说)与板块构造理论。槽台说包括地槽理论和地台理论,它是固定论的代表。该学说的要点是:地壳可以分为两种基本构造单元,即活动性较强的地槽和稳定性较大的地台。地槽是巨大窄长的沉积盆地,在其发展初期表现为强烈的沉降作用,在沉降过程中,不断接受沉积,形成厚度巨大的沉积层,并且常伴有火山活动;在其发展后期,则表现为强烈的上升作用,地槽回返使其中沉积层遭受强烈褶皱,隆起为山,并且伴有强烈的岩浆活动和变质作用;地槽经过这样的变动后,逐渐稳定下来,转化为地台。地台的稳定性较大,只能发生一些幅度和频率都不大的升降运动,它的沉积物的厚度和厚度变化都不大,岩相稳定,地层未受到较强的构造变动,岩层产状平缓,岩浆活动和变质作用都微弱。

在大陆漂移和海底扩张理论被逐渐肯定之后,根据地震学和地球物理学获取的资料,于60年代末期提出了板块构造的概念(McKenzie and Parker, 1967; Morgan, 1968; Isacks et al., 1968; Le Pichon, 1968)。这个假说不是闭门造车的结果,它的出现是地学发展史上一个里程碑;它的意义之重大及影响之深远可以与近代科学的任何重大发现相媲美(傅承义等, 1991)。板块构造理论的基本原理可归纳为:岩石圈由岩石圈板块镶嵌而成,板块运动产生地壳变形,大规模水平运动发生在岩石圈和软流圈的界面上,运动的驱动力来自地球内部,最可能的一种机制是地幔对流。地震活动是圈定现代板块轮廓最主要的依据。按照毗邻板块间的相互运动方式,板块边界共有三种基本类型,即离散型边界、汇聚型边界和走滑或转换型边界。板块的运动量可由欧拉定理算出,通过角速度表示(McKenzie and Parker, 1967; McKenzie and Morgan, 1969; Morgan, 1968)。

70年代初,板块构造学说由傅承义、尹赞勋首先引入我国(傅承义, 1973; 尹赞勋, 1973)。之后,李春昱、王鸿祯、朱夏等在不同领域进一步推广了板块构造学说(李春昱, 1979; 王鸿祯, 1981; 朱夏, 1981)。现在在地学研究中,板块构造理论广为采用。槽台说在地学界持续了一个世纪,至今还被广泛地运用。但这一学说忽视了地壳中的水平运动。板块构造理论与传统的槽台说的学者进行了公开的辩论。但板块构造理论也遇到如下的困难:①对大陆内部许多可远溯到古生代或元古宙的构造的解释问题;②对新生代以来大陆的垂直构造运动的解释问题;③板块驱动机制问题(曾融生, 1991; 马文璞, 1992)。

板块构造理论不否认地槽的客观存在,只是对它的生成、发展等理论问题重新做出解释(Mitchell et al., 1969; 李春昱, 1979; 黄汲清, 1979; 王鸿祯, 1981)。多旋回大地构造论者认为(任纪舜等, 1992),用地体所拼凑的亚洲大陆,与中国东部大陆岩石圈演化的实际情况不一致。中国东部及邻区诸陆块之间经历了长期的多旋回的缝合过程,经历了由联而不合的碰接到完全焊结在一起的聚合过程,洋盆的消失,大陆的碰撞,并不意味着陆-陆之间缝合过程的完成,只有当陆-陆之间的多旋回造山作用全部完成之后,相邻陆块之间才能完全被焊合为一个整体。这些论述丰富了板块构造理论。传统槽台说是固定论(Белоусов, 1953)。在60年代原苏联地质学家接受了壳下流大地构造假说(Холинс, 1950; Андреев, 1960)。他们认为假说的条件成立,导致在壳下物质中有十分缓慢的对流成为可能。根据这个假说,地壳下对流的作用决定着基本的大地构造过程:地槽拗陷的形成,山脉的隆起等(图1-1)。按照这个假说,一部分放射成因的热能转为对流与构造运动的机械能。

上述表明,不同学说间是互补的,科学理论正是在科学论争中不断发展。学说的自我补充与修正是正常的,新的理论需要逐渐完善。应用理论应该与科学事实相符。

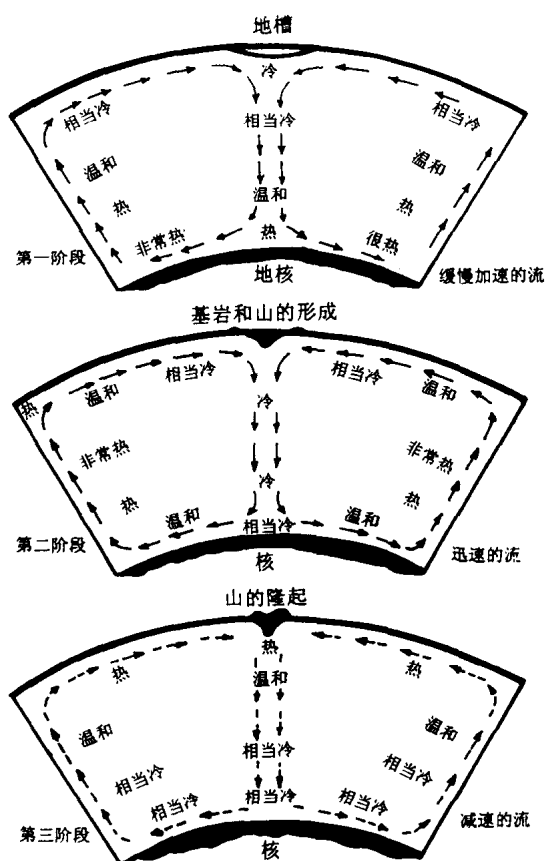


图 1-1 壳下流大地构造假说的说明
(据 B·A·安德雷耶夫, 1965)

第二节 大地构造学的部分成果

这里仅概述槽台学说与板块构造理论的部分研究成果。

一、槽台说在大地构造研究中的成果

1. 褶皱区与地台的深部结构特点 (Моисеенко, 1981)

褶皱区：在地壳厚度方面差异明显，亚洲滨太平洋地域地壳厚度减小，甚至在山区可能也很少超过 40 km；地壳的分层性各地不同，各分层的组合也不相同；地壳各层的厚度变化很大，有时层厚也减小直至尖灭；在优地槽中，花岗岩层和闪长岩层的厚度大，地槽越年青厚度越大，优地槽构造与陆间地槽和冒地槽相比，地壳上部往往偏基性；地壳在基性度方面存在差异；地壳下部存在高基性度的玄武岩物质的厚透镜体（可达 30 km）是某些地区的特征，如莱茵地堑；在许多地区，地壳里有低速带，如在阿尔卑斯，优地槽型构造建造位于偏酸性的陆间地槽建造之上；地幔中的地震波速度基本在 8.0~8.2 km/s 范围内。

地台区：地壳厚度从 30 km 到 55 km；地壳分层性变化较大；同一地台的地壳结构的

明显差异取决于基底的构造分带性，即取决于基底构造形成的原因与时代；地壳中各层界面的几何关系变化较大，如反向关系、平行关系；对年青地台，玄武岩层在地壳厚度增大的地方变厚较为普遍；地台上广泛发育深断裂，它能改变固结地壳中界面的位置，深断裂可延到地幔中。

总之，在褶皱区地壳厚度的平均值及其方差比地台要大；通常，褶皱区地壳厚度的稳定性较差；地台的花岗岩层通常被看成具有“闪长岩层”速度（地震）的岩石；相邻的褶皱区和地台，一般都有较大的差异。

2. 地壳的形成与发展

为了判断地壳的产生和发展的原因、历史，以及地壳的分层和地质构造，通常需要研究：①地壳或它的各层的厚度与古地形的关系；②地壳厚度或地壳底面的起伏与新构造格架的关系；③莫霍面的深度与固结地壳的起伏的关系；④地壳各层的厚度和地壳界面相互之间的关系取决于褶皱的时代和在全球构造中所处的位置；⑤地壳与构造单元之间的关系（Белюсов, 1966; Деменицкая, 1967; Моисеенко, 1970）。

建立了地表地形、最新构造运动的幅度、固结壳顶面的埋藏深度和莫霍界面深度之间的关系，参见图 1-2。关系曲线表明，资料来源广泛，包含了特殊情况，提供了关系的趋势，为研究不同地域的结果提供了条件。

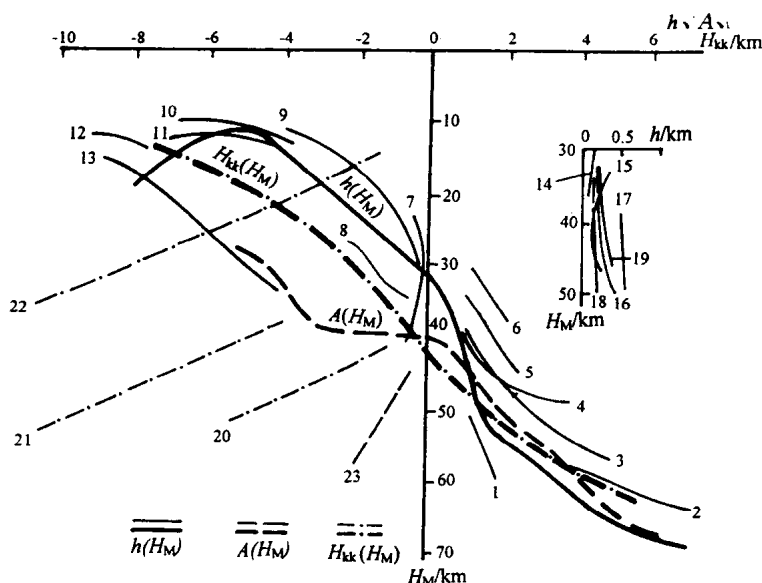


图 1-2 地表地形 h 、最新构造运动的幅度 A 、固结壳顶面的埋藏深度 H_{kk} 和莫霍界面的深度 H_m 之间的关系曲线

（其中曲线的序号表示不同地区，如 19 代表北美地台，Ф. С. 莫伊谢延科，1986）

由详细构造图所完成的近地表地壳结构与地球内部深部构造之间的关系，可导出地壳形成和发展方面的有关结果。花岗岩层和闪长岩层的厚度与地槽沉积作用的强度和持续时间之间的函数关系，直接指明了该成因关系。物质的多次沉积、变质和岩浆分异作用，导致花岗岩层和闪长岩层分开。玄武岩层随褶皱时代变薄的现象，不可能用由于沉积作用、火山活动和变质作用而引起的地槽物质的重新分布来解释。由地幔中来的物质的涌入作用是

玄武岩层物质形成的主要因素。玄武岩层形成的这种机制必须以多次的造山作用为前提,并且造山作用的强度从一个构造旋回到另一个构造旋回逐渐加强。在地槽里,地壳某层主要物质的堆积与地槽的类型有关。地壳的演化是由原生洋壳到陆壳,然后再到次生洋壳。地壳的不同构造单元无论在垂直方向上还是横向上其时代都不同。陆壳的形成是从大陆玄武岩在大洋条件下形成时开始的,它的更进一步的发展不仅与内生作用,而且与外生分异作用有关。

3. 讨论某些大地构造问题 (Белоусов, 1968; Беляевский, 1974)

地壳的底面和地壳固结部分的顶面之间可归结为两种关系:构造随地壳厚度的变化而变化,另一种为地壳厚度没变化,但发生弯曲。构造的形成伴随着地壳变厚或变薄,这是地槽和地台的拗陷和隆起、最新构造以及许多大洋隆起的特征。没有厚度变化的地壳弯曲为大洋构造所特有,如深海沟、洋中脊的某些部分、部分海洋台向斜和海洋台背斜,在某些边缘拗陷和山间盆地也有这种变形。

在拗陷里的地壳相对变薄的情况下,无论是地槽型、大洋型的隆起,还是地台型隆起,都有山根存在,这证明这些构造单元具有统一的形成机制。在没有物质的重新分配或者新物质补充而地壳发生弯曲时,地壳运动的起源表现得不明显。上地幔中软流圈巨块的垂直运动和对流,或者旋转力所产生的切向应力,同样是构造运动的原因。

由能量和动力学的特征,洋中脊是地槽系列的构造成因单元,所以相应的发展阶段可以看作是地槽本身的准备阶段。地壳地槽发展的历史,主要是地壳的玄武岩层以上部分的产生或形成的历史。地槽堆积物的变质过程和岩浆化过程在陆间地槽阶段达到最大强度,这一阶段通常随时间为优地槽所取代。

通常,隆起和拗陷导致形成山脉和分隔它们的盆地,这与地幔分异物的运动、对流或相变有关。隆起的产生取决于地壳各层和上地幔的物质体积的变化或者物质的再分配。

4. 建立地槽地台区构造分区系列 (Андреев, 1960)

只有系统地应用地球物理方法才有可能解决地槽区与地台区的构造分区。

地槽区:地槽区的构造分区分为两个阶段,一是查明地槽区的一般构造图景,二是查明地区主要构造单元的位置、性质与关系。查明地槽区一般构造图景包括:①测定地槽区与相邻地台交界部位的特点;②确定古构造发育的基本特点;③确定最大构造单元(大背斜、大向斜)的位置;④确定复背斜、复向斜和断裂带的主导走向。在查明地槽区一般构造图景时,重力方法起主要作用。查明各构造单元的位置、性质与关系,主要归结为研究表示这些构造单元的基准层位的深度与起伏。在研究有大片结晶基底出露或接近地表的隆起的性质时,应研究次级构造的分布,而在次级构造范围内研究基底的内部构造。所使用的地球物理方法主要为地震勘探。地震区划包括统计测区的天然地震,查明地震活动性断裂,这需要使用重力方法与可能的地震法配合。

地台区:地台区的构造分区比地槽区复杂,待测定的构造单元为:①结晶基底内不同年代地盾与地块的边界,在地块内,巨大构造单元为褶皱带、侵入杂岩、断裂带等;②一级隆起台背斜与拗陷台向斜,二级隆起长垣与拗陷陆谷,以及巨大断层。地台区构造分区的必要阶段为:①研究结晶基底的内部构造;②测定结晶基底表面的埋藏深度与起伏;③由沉积岩层上部与下部剖面中的主要基准层位确定一级与二级构造的位置与性质;④将基准层位标在测区地层剖面上。采用的地球物理方法包括航磁、重力测量、地面磁测、电法