

中国石油天然气总公司
杭州石油地质研究所 译文集

板块构造学和造山运动

——特提斯例析

(土耳其)A·M·C·森格

复旦大学出版社

056285



中国石油天然气总公司
杭州石油地质研究所 译文集

板块构造学与造山运动

——特提斯例析

〔土耳其〕A.M.Celâl ŞENGÖR 著

丁 晓 周祖翼 赵国先 等 译

张跃平 校 陈焕疆 审

52131/14



200816652

复旦大学出版社

内 容 提 要

本书结合板块构造学说诞生二十五年来地球科学的发展过程,系统地回顾和评述了自十八世纪至今,特别是本世纪七十年代以来,造山运动的研究历史和研究现状。书中剖析了大量特提斯造山带和造山运动的研究实例,并辅以美洲科迪勒拉造山带的研究成果,提出了一个系统而全面的造山带分类。书中还就造山带的时空特征作了阐述,并对造山拼贴体的演化、地体和地体增生、造山运动与全球海平面变动、气候和生物演化的关系等问题作了启发性讨论。

(沪)新登字 202 号

板块构造学与造山运动 ——特提期例析

丁晓 周祖翼 赵国先 等译

复旦大学出版社出版

(上海国权路 579 号)

新华书店上海发行所发行 复旦大学印刷厂印刷

开本 850×1168 1/16 印张 12.7 插页 2 字数 260,000

1992 年 2 月第 1 版 1992 年 2 月第 1 次印刷

印数 1—1,500

ISBN7-309-00775-1/P·02

定价 12.00 元



作者简介

A. M. C. Şengör(森格), 1955 年出生于土耳其伊斯坦布尔, 1982 年毕业于纽约州立大学, 获博士学位, 现供职于伊斯坦布尔工业大学矿产系。主要从事造山带, 尤其是阿尔卑斯—喜马拉雅山系的构造研究。现任国际岩石圈计划第二工作组特提斯分组的主席, 《Tectonics》、《Geological Society of America Bulletin》副主编, 《Journal of Structural Geology》、《Tectonophysics》、《Eclogae Geologicae Helvetiae》等刊物的编委。曾获伦敦地质学会理事长奖(1984)、土耳其科学技术委员会科学奖(1986)、瑞士纳沙泰尔大学名誉博士(1988)等。1991 年当选为欧洲科学院院士。

序

——为中译本而写

1987年,《TECTONOPHYSICS》杂志曾准备为纪念板块构造学诞生二十五周年而出版一期特辑,本文的主要部分当初就是为此而撰写的。由于该特辑的出版被多次延期,我收回了这篇文章,并随后将其发表在1990年《EARTH-SCIENCE REVIEW》第27卷上(第1~201页)。应《TECTONOPHYSICS》主编和出版者的请求,我将上述这一长篇评论另写了一个梗概,这一梗概后来发表在1991年出版的《TECTONOPHYSICS》特辑上(第315~344页),它对原文作了某些勘误、修正和补充。现在的中译本实际上是在原文的基础上增加了后来发表的某些内容。

我撰写本文的主要目的是试图从传统地质学的角度来评述造山作用的研究现状,这不仅是因为我本人的专业——区域构造学——属于通常被称之为传统地质学的范畴,而且还因为在过去的十年中,我们专业内以野外(尤其是野外地质填图)为基础的研究已受到人们的冷落,而以实验室和计算机为基础的“黑箱”地质学则备受青睐。这种“黑箱”研究确实非常重要,它们导致了地球科学领域取得了一些巨大新进展。但是,我们必须认识到,只有当这种“黑箱”研究能够与那些建立起地球表层岩体的现代几何学形态和时间演化序列的野外地质研究相结合时,它们才是有用的。实验室研究和计算机模拟或许能为我们提供一些有关地球历史上曾发生的事件的线索,但是要了解那些确曾发生过和正在发生的事件,我们必须借助于传统的野外地质方法,这些方法在今天已由于高技术的发展而变得更为丰富和完善。

我们今天对地球表面许多地区的地质情况仍然所知甚少,在亚洲(包括我的祖国土耳其)、非洲、南美洲的发展中国家及为寒冰覆盖的北冰洋地区尤其是这样。我相信,通过对新的野外资料的收集、核查和综合,检验并完善那些根据欧洲和北美(偶尔也包括澳大利亚和新西兰)的资料建立起来的有关地球演化的模式,发展中国家的地质学家们极有可能在地球科学的研究中取得突破(我们何曾想过,在现有的关于地球陆壳结构的认识中,以小小的欧洲大陆的资料为依据的认识又占据了多么大的比重!)。对发展中国家的地质学家们来说,他们没有必要在异常昂贵的“黑箱”地质学领域与发达国家的地质学家们展开竞争,相反,通过提供以野外地质为基础的新资料和新观念,他们将与发达国家的同行之间建立起一种卓有成效的合作关系。因为,野外地质研究在发达国家中所获得的支持正在日益减少,这是令人遗憾的。以野外地质学为基础的传统地质学的消亡将不可避免地导致整个地球科学的消

亡,尽管这种看法似乎未受到普遍地赞同。如果我们发展中国的地质学家们能够给野外地质研究注入新的活力并以此支持发达国家的同行们,那么,我们就将有可能对地球科学作出重要的贡献。

本文就是依据上述想法撰写的,它将表明板块构造学的兴起使传统的野外地质研究的重要性得到了多大的增强。本文同时还强调指出,必须彻底抛弃那些陈旧的、并且在今天已完全是迂腐的概念,如地槽、深断裂、全球规模的造山幕、大地构造旋回等等。我期望通过对与造山运动有关的一些观念演变历史的详尽回顾,来阐明那些陈旧的模式是如何产生的,以及它们必定要被今天的人们所抛弃的原因。任何试图在以板块构造学为基础的观念和古老的各种全球构造理论、概念之间寻找一种折衷方案是注定要失败的,因为这些古老的理论已被证明是错误的。将已知是错误的理论和今天被认为是正确的理论混同在一起是不可能产生新的综合的。

与几乎所有其它的人类活动相比,科学的荣耀不一定在于证实某些观念是对的,而是在于证明某些观念(包括为个人所最珍惜的观念)是错误的。因为要证明某一观念是错误的,人们必须要有某种新颖的东西:或是一个新的信息,或是一种新的观念。推动科学前进的正是这种苛求的态度。作为一个丰富的源泉,野外地质学将为我们现在的理论根基提供取之不尽的批判性的信息。换言之,这些信息将是推动我们现有的理论向前发展的一股强劲的动力。

杭州石油地质研究所和复旦大学出版社慷慨地提议出版本文的中文版,这使我感激不尽。我还要感谢花费巨大心血投入实际翻译工作的我的朋友周祖翼、丁晓和其他译者。自1980年起,我有幸与中国地质学界建立了联系,并在许多中国同行的帮助下得以考察了中国许多壮观的地质现象。中国读者将会在这本书中注意到这一情况。我非常希望能在以后继续加强与我的中国同行以及热情、友好、文明的中国人民之间的联系。我还希望能在探究地球上最大的亚洲大陆(中国和我的祖国土耳其为其组成部分)的构造、演化的努力中,相互携手共进。

在结束本序言之前,请允许我列举一些与本书议题有关的、具有一定新意的最新出版物,以供感兴趣的读者查阅。

[1] Types of orogenic belts:

HSÜ, K.J., in press, Concept of tectonic facies: Bulletin of the Technical University of Istanbul (Special Volume in Honour of Prof.I.Ketin's 75th Birthday).

[2] Strike-slip related orogeny (Transpressional orogenic belts):

BIDDLE, K. T., editor, 1991, Active Margin Basins: American Association of Petroleum Geologists Memoir pp.52, 324.

[3] Temporal aspects of orogeny:

RICHTER, F., ROWLEY, D.B. and DE PAOLO, D., in press, Sr isotope evolution of sea water: The role of tectonics: Earth and Planetary Science Letters

[4] Eustasy and orogeny:

PITMAN, W.C., III, and GOLOVCHENKO, X., 1991, The effect of sea-level changes on the morphology of mountain belts: *Journal of Geophysical Research*, V.96, pp. 6879~6891.

VAN WAGONER, J. C. , MITCHUM, R. M. , CAMPION, K. M. and RAHMANIAN, V. D. , 1991, Siliciclastic Sequence Stratigraphy in Well logs, Cores, and Outcrops: Concepts for High-Resolution Correlation of Time and Facies: *American Association of Petroleum Geologists Methods in Exploration Series*, Nopp.7, 55 .

[5] Mountain-building and climate relationships:

RUDDIMAN, W.F., and KUTZBACH, J. E., 1990, Late Cenozoic plateau uplift and climate change: *Transactions of the Royal Society of Edinburgh: Earth Sciences*, v.81, pp.301~314.

(6) Mountain-building and the growth of the continental crust, and types of orogenic belts:

ŞENGÖR, A. M. C. and OKUROĞULLARI, A. H., in press, The rôle of accretionary wedges in the growth of continents: Asiatic examples from Argand to plate tectonics: *Eclogae Geologicae Helvetiae* (Emile Argand Memorial Symposium Proceedings).



A. M. C. Şengör 于伊斯坦布尔
1991 年 7 月 6 日

译者序

二十世纪六十年代中期,随着海洋地质学、地球物理学等学科的发展,各种新资料的不断涌现,以魏格纳大陆漂移说为代表的活动论地球观在历经风霜雨雪之后,终于发展成了一个全新的理论——板块构造学理论,从此开创了地球科学历史上的一个新纪元。今天,已二十多年过去了,这二十多年的历史证明,板块构造学这一革命性的理论正被越来越多的地球科学家接受和掌握,他们正在应用这一理论进行艰辛的“由今溯古、由洋及陆”的探索。

在板块构造理论看来,一部地球的演化史就是众多洋盆从形成到消亡频繁交替的历史,而这些历史信息都大量记录在地球上的造山带之中,因此,造山带和造山运动的研究就理所当然地成了当代地球科学最为重要的研究领域之一。作为地球上最为醒目壮观的特提斯造山带,因其复杂而丰富的地质记录及其在全球海陆演化中的特殊地位,又成了这一领域中的主要前沿。如果说当代地球科学的发展趋势之一是各专门学科综合化的话,那么在特提斯造山带的研究中就充分体现了这一趋势。

我国地处特提斯造山带的东部。我国的西部既保存着大量古代造山运动的地质记录,同时又是现代造山作用不断发生的场所,因此也是解决特提斯构造演化有关问题的一个战场。我国的地球科学学者理应在这里驰骋沙场,作出我们自己的独特贡献。我希望本译著的出版能促进有关特提斯研究的深入开展,并期盼本译著能为寻找特提斯造山带中蕴藏的丰富矿产,包括石油和天然气资源,提供一些有益的启示和线索。

本书的作者,森格(A. M. C. Şengör)博士,是一位年青有为的区域构造学家。他多年来对特提斯造山带的卓杰研究,已使他成为这一研究领域中最为活跃的学者及权威之一。七十年代末以来,他曾多次来华参加学术活动和地质考察。他的热情、聪颖、敏锐和博学,给人留下深深的印象。他的许多重要学术论文近年来已被陆续译成中文。

本书中,森格博士全面审视了自十八世纪中叶至今这二百多年来造山运动研究的发展史,简要而精彩地对有关造山运动时空特征的认识作了评述。森格还应用板块构造学的理论,并结合大量实例,对全球各类造山带的平面和剖面特征进行归纳,从而提出了一个系统而全面的造山带分类。在此基础上,又对造山拼贴体的演化,造山带的时间演化,以及造山运动与全球海平面变动、气候、生物演化的关系等敏感问题作了专门论述。文中有关“地体”的分析、“造山幕”的概念等基础问题的讨论,令人思索,给人启迪。

森格在书中还列举了大量参考文献,数目多达 800 余篇(包括“作者序”中例举的新出版物)。这无疑为全面、深入地了解造山运动研究在全世界的进展提供了一份极好的指南。

本书的翻译出版,是杭州石油地质研究所(原浙江省石油地质研究所)学术著作出版计划中的一部分。杭州石油地质研究所是中国石油天然气总公司所属的一个面向中国南方的油气地质综合研究机构。今后仍将结合本所的研究区域和研究领域,有计划有重点地介绍并出版一些有较高理论价值和应用价值的论(译)著。

本书原为作者发表在杂志《EARTH-SCIENCE REVIEWS》1990 年 1/2 期上的一篇

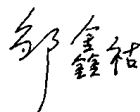
长论文“Plate tectonics and orogenic research after 25 years: a Tethyan perspective”, 现译者以著书形式翻译出版。书中同时还补充了作者在杂志《TECTONOPHYSICS》1991年第 187 期上发表的该文的简写稿中新增添的内容。为使书名简短贴切, 经征求作者意见, 作者将原文名改为现在的书名。

参加本书翻译的还有: 谢振存、郑曙平、王宏翔、黎琍、葛双成、李家彪*、廖宗廷*、金性春*、(* 同济大学)。由张跃平、周祖翼*、丁晓作了译文校对。请陈焕疆教授*对译稿作了审阅。最后由丁晓和周祖翼统稿修改, 赵国先修改润色并定稿。在翻译及校对过程中, 陈铭、赵平、陈晓为本书译稿的清抄、录字及后来的修改打字作了大量工作。李显宾为本书的翻译和出版作了许多组织工作。

为使本书早日为读者服务, 译者日以继夜, 译出此书, 并作了反复认真的校对修改。书中牵涉大量人名和地名, 还有不少新术语, 因工具书少, 译者水平有限, 译误在所难免, 请读者见谅指正。

最后, 感谢森格博士为本书的中国读者专门写了一个充满友好和鼓励的序。

杭州石油地质研究所所长



一九九一年七月

目 录

序——为本书中译本而写

第一章 绪论	1
第一节 研究造山运动的重要性	1
第二节 关于造山运动与板块构造的关系之早期评述	5
第三节 早期历史的回顾	6
第四节 本文评述的范围和目的	7
第二章 造山运动的定义	9
第三章 关于造山运动认识演变的简要评述	13
第一节 造山运动的空间特征	13
第二节 造山运动的时间特征	22
第四章 有关板块构造与造山运动的关系之早期概念	27
第一节 板块构造学	27
第二节 板块构造学与造山运动的关系以及威尔逊的贡献	28
第三节 对 1972 年以前板块构造学与造山运动的关系之评述	31
第五章 造山带的横剖面特征	36
第一节 转换挤压型造山带(表 2)	37
I. 不对称的转换挤压型造山带	37
II. 对称的转换挤压型造山带	42
第二节 与俯冲有关的造山带	43
III. 张性岩浆弧造山带	45
IV. 中性岩浆弧造山带	51
V. 压性岩浆弧造山带	57
各种俯冲控制型造山带的成因	65
第三节 与仰冲有关的造山带	71
第四节 碰撞造山带	77
第五节 造山带横剖面特征的若干特殊问题	95

第六章 造山带的平面形态	101
第一节 术语	101
第二节 与造山带走向呈高角度相交的运动	102
第三节 与造山带走向平行或近于平行的运动	102
第四节 造山带演化的平面形态:小结	120
第七章 造山拼贴体的演化与“疑源地体”或“外来地体”的概念	123
第一节 造山拼贴体的演化	123
第二节 地体与外来地体	130
第三节 造山拼贴体与疑源地体的增生问题	135
第八章 造山带的第四维——时间上的演化	139
第九章 造山研究与全球性海平面变化、世界气候及全球生物演化的关系	143
第一节 造山运动与全球性海平面变化	143
第二节 造山运动和世界气候	144
第三节 造山运动与全球生物群的演化	146
第十章 结论	148
致谢	157
参考文献	158
补充的参考文献	

第一章 绪 论

第一节 研究造山运动的重要性

“……现在亟待地质学家们去完成的工作是,将褶皱山脉归纳为仍保持较多综合特征的自然单元,用一种统一而简洁的语言来说明尽可能多的大陆褶皱作用,确定大自然记录在地球表面上(各种形迹)的走向线图案”^[1]。这就是伟大的奥地利地质学家、现代构造学的奠基人修斯(Eduard Suess)在本世纪初所提出的现代地质学的主要任务(Suess, 1908, 第3页)^[2]。八十二年后的今天,我们可以带着某种自信宣布,我们终于发现了这一“……用以解释……大陆褶皱作用的统一而简洁的语言”,这就是板块构造理论。尽管根据板块构造理论建立的模式在解释地球表面的特征、造山带的演化和内部构造方面的成功程度逐渐降低,但这些模式比起任何其它理论的解释则更为成功。现在,我们知道造山带是沿着板块边界形成的,我们还知道造山带是在洋底的俯冲消亡和随后的大陆碰撞过程中形成的,尽管在大多数情况下,我们对这一过程中除会聚以外的其它运动(如横推或离散)所起作用的程度不甚了解。除此以外我们还认识到造山带的内部构造主要是因板块相对运动而形成的,但是,要

[1] 修斯在此使用的“褶皱作用”(Folding)术语意指“造山运动”。尽管一些学者[如有影响的法国学者de Lapparewt(1893)和美国学者丹纳(Dana, 1894, 第345页等]曾在早期多次使用过“造山运动”这一术语,但只是到本世纪第一个十年末它才成为一个广为流行的术语。褶皱作用(Folding)(及其德语、法语和俄语中的同义词: Falting, Plissement 和 Skadtchatost)曾被广泛地用来替代造山运动,这一用法,连同造山运动一词(Orogeny, Orogenesis)本身一直沿用至二十世纪。施蒂勒(Wilhelm Hans Stille)在《比较大地构造学的基本问题》一书中,用了整整一节的篇幅来解释“褶皱作用”的概念,并将它定义为“发生在地球上某些地区的造山挤压作用”(Stille, 1924, 第244页;葛利普则将此表述为地槽中沉积的地层通过“褶皱作用上升成山链”,1940,第48页)。“褶皱作用”在十九世纪中叶被赋予双重含义,即严格意义上的褶皱作用和造山运动及造山带中的褶皱。当时人们将造山带中所有收缩作用都归因于褶皱作用。到本世纪五十年代,人们意识到褶皱以外的其它一些构造作用引起的造山带的缩短可能远较褶皱引起的为多(例如 Longwell, 1945),至此,褶皱作用的上述用法才被逐渐抛弃。然而,时至今日,人们仍有可能遇到造山带中的“褶皱带”(Folded belt 或 Foldbelt)这类术语(例如 Bally 等, 1979; Bally, 1981)。由于并非所有的“褶皱带”都是造山带(如美国华盛顿州的亚基马“褶皱带”),所以我们必须废弃褶皱作用的这种用法。

[2] 本文中所有有关修斯《地球的面貌》一书的文献均指此书的英文版《The Face of the Earth》。此书原文(德文)的出版时间和其英文版出版时间(圆弧内表示)分别为:卷I, 1883-1885(1904);卷II, 1888(1906);卷III / 1, 1901(1908);卷III / 2, 1909(1909)。英文版中的卷III / 1和III / 2分别改为卷III和卷IV。

在板块运动与造山带内部的各类构造之间建立一一对应的成因关系(例如 Dewey, 1975; Beck, 1984), 似乎为时尚早。

板块构造不仅解决了修斯所提出的难题, 而且也为解决有关造山运动的许多问题带来了希望和新的解决途径。正如威尔逊(John Tuzo Wilson, 1968)所指出的那样, 当今的地球科学研究, 有相当大的部分集中在与造山运动直接或间接有关的问题上, 因为地质历史大多是由一系列的大洋演化旋回所组成的, 而每一个旋回都不可避免地以造山运动为终结, 造山带通常是这一过程遗留下来的(尽管很不完整的)唯一记录^[3](图 1)。如今我们更加清楚地知道, 作为地球历史主要编年者的大陆地壳, 有许多是在造山带内形成并进一步分异的(例如, Taylor, 1967; Dewey 和 Burke, 1973; Dewey 和 Windley, 1981; Allegre 和 Jaupart, 1985; Burke 和 Şengör, 1985; Dewey, 1977; McKenzie, 1984; Harley, 1987), 因此造山运动不仅记录了(尽管是不完整的)地质历史的主要部分, 而且产生了许多记录造山运动的物质。

[3] Coney(1990, 第 66 页)和 J.W.H.Monger(1990 年 6 月 29 日书面通信)均认为: “描述大洋开合以形成山带”(Coney, 1990, 第 66 页)的威尔逊旋回, “除了作为一种一般观念外”(Monger), 在环太平洋显生宙历史中并不是一种重要的作用, 但是他们两人又承认现代太平洋边缘主要是过去某一时期的张裂作用形成的, Monger 在信中写道: “在面对大洋可能达 7 亿年之久的科迪勒拉, ……存在许多表明其外来身分的证据。Engebretson 计算出, 在过去的 145 百万年内, 曾有 1 万千米或更多的洋壳潜入到大陆边缘之下”(Monger, 1990 年 6 月 29 日私人通信)。

Coney 和 Monger 关于威尔逊旋回在环太平洋地区并无多大作用的论述, 似乎是源于这样一种未加陈述的观点, 即认为形成山带的只是一个完整的旋回。然而无论是在作为威尔逊旋回理论基础的系列文章中(Wilson, 1966a, 1966b, 1968), 还是在那些提出威尔逊旋回这一术语的文章中(Dewey 和 Burke, 1974), 都难以找到上述完全错误的观点的基础。在威尔逊“大西洋曾关闭又打开过吗?”这一经典文章(Wilson, 1966a)中, 图 4 明确表示造山运动远在旋回结束之前就已开始。与威尔逊的文章一样, Harland(1966)同年发表了“一个揭示格陵兰和斯匹次卑尔根群岛历史的大陆漂移假说”一文, 作者在文中提出了这样一个假想, 即随着格陵兰在北大西洋打开过程中与欧洲分离, 转换挤压作用形成了斯匹次卑尔根群岛的新生代造山带(参见 Harland 的图 6)!

威尔逊(Wilson, 1968)的表格(本文之表 1)明确表明, 主要的造山运动在洋盆萎缩阶段(离旋回结束尚有二个阶段)即已开始, 他所举的典型实例是西太平洋。因此, 与 Coney 和 Monger 的论述相反, 威尔逊旋回的概念对环太平洋造山带的演化同样颇具说服力, 尽管对整个太平洋来说, 这一旋回尚未结束。

我之所以如此强调正确理解威尔逊旋回概念的重要性, 只因为它是板块构造理论所提供给我们研究地质历史的一个强有力的理论工具。对它的误解, 将会导致对板块构造这一新全球构造理论整体性的不必要的肢解, 这种肢解对于我们所熟悉的全球区域构造情况来说是多余的。

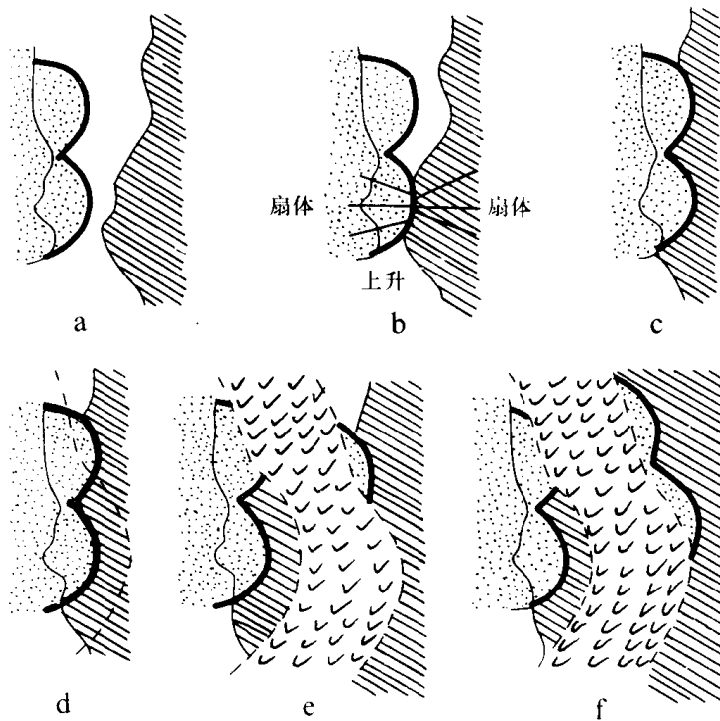


图1 威尔逊对威尔逊旋回五个阶段的特征构造事件的描述

五个阶段分别是衰亡期(A)、终结期(B)、遗迹期(C)、胚胎期(D)和青年期(E)。下面我引用威尔逊本人对此图的说明并加以注释(以圆括弧内的字表示): (a)在一岸发育有岛弧的、正在关闭的洋盆(即虽然旋回尚未结束,但造山运动却在进行),它分隔了两个不同的动物区系; (b)关闭中的洋盆之两岸首次相触(东地中海阶段); (c)两岸的叠置造成洋盆关闭(叠加在先前大陆边缘造山体之上的碰撞型造山带已经形成); (d)更年轻的洋盆可能沿虚线处重新打开; (e)在古老大陆上打开的新洋盆(打钩的地方); (f)年轻洋盆在几何学上不可能按图示的方式打开(注意岛弧是如何叠覆的)”(引自 Wilson, 1966a, 图4)。注意,在某一威尔逊旋回中,年轻洋盆可以沿着老洋盆的遗迹处打开,但这并不意味着如某些人曾设想的那样,该洋盆会关闭到自身打开前的几何形状(见 Şengör, 1990b)。关于这一点,请注意(e)中的斜向打开。

近年来,有人提出,拉张过程中通常会伴有大陆地壳的巨大(15 千米厚)镁铁质板底垫托作用(Underplating)出现,从而构成一种产生大陆地壳的主要方式(White 和 McKenzie, 1989)。拉张过程中的板底垫托作用到底在多大程度上促使下地壳的形成,仍是一个未知数,这不仅是由于地震反射和折射技术的解释还不能对这一难题给出唯一的答案,而且还由于下地壳通过其它方式出露于或被带至于地表的任何地方(例如 Reid 等人, 1989),其成分多以安山质为主,而不是玄武质。正如 Kay (1986)所指出的那样,如果下地壳的拆离作用是造山运动的一个重要作用(这一点似乎越来越明显),那么在拉张型板底垫托过程中增添的部分不一定会成为大陆地壳的永久性组成部分,尽管 Schubert (1988)曾经得出下列一种结论,即由热点岩浆活动所形成的大陆地壳的量几乎为岛弧岩浆活动所形成的一半。考虑到板底垫托的镁铁质岩石在保存过程中的不利因素,作者在本文中将对拉张型的镁铁质



图2 瑞士博物学家和登山家索修尔(Horace-Benedict de Saussure),
开创造山带研究的伟大学者

板底垫托作用进行详细讨论,有关大陆下地壳的讨论请参阅 Dawson 等人(1986)和 Ashwal (1988)的文章。

著名的瑞士博物学家和登山家索修尔(Horace-Benedict de Saussure)(图2)首先注意到,造山带在为地球演化史提供基本信息方面具有显著作用,他可能是受到了他的同胞 J.J.Scheuchzer(和 Scheuchzer 的哥哥)及同伴 J.A.de Luc 的启发,Scheuchzer 在《瑞士的自然历史》第三部:“瑞士山脉游”(1708)上发表了其早期的观察结果,de Luc 则认为“自然历史的研究只能在山脉中进行而不是其它地方”(de Luc, 1778, 第 127 页)。索修尔在早期的《阿尔卑斯旅行记》(在该文中,索修尔第一次大胆地使用“Geology”(地质学)一词,并赋予现代概念——译注)一文中评述道:“归根结底,只有通过对山脉的研究才能加快“地球学说”的进展,平原广阔平坦,除非人工挖凿或流水冲刷,我们无法从平原来观察地球的某一剖面及其不同层位……,而高山却与平原相反,它们以其组成物质和形态的多样性,向我们呈现了大量自然出露的剖面,人们凭此可以精确地观察并且很快地掌握构成山脉的地层层序、产状、方向、厚度、性质以及横切地层的断裂(裂隙)。但是如果不知道如何从总体上和总体关系上来观察这些山脉,那么,任何所作的观察都将是徒劳的”(de Saussure, 1779, 第 II ~ IV 页)^[4]。

索修尔强调了在今天看来同样有效的两点:(1) 如果我们想要知道地球是怎样演化和

[4] 此段和下段 de Saussure 的引文均引自 de Margerie(1946)并都核对过原文。de Margerie 指出这二段引语是由 D.W.Freshfield 译成英文的。本文作者仅在认为 Freshfield 所用的英语词汇不是很贴切之处作了改动。

活动的,那么必须重视对山脉(即造山带)的研究;(2)若要了解山脉,我们就得从“总体和总体关系上”来仔细观察山脉。Hölder(1960)曾以“山脉的起源”作为他对地球科学史认真博学的研究的开篇,他强调造山运动研究在了解地质历史中的主导作用,以及这一研究与地质学所有其它分支学科之间的密切联系(详见该书第15页上的阐述),即便是技术飞速发展的今天,高度发达的地球物理和地球化学技术不断扩大了对地球岩石圈的研究范围(例如 Allègre, 1982, 1987; Oliver, 1962),能够“精确地观察并且很快地掌握(构成山脉的)地层之层序、产状、方向、厚度性质以及横切地层的断裂”却依然具有价值,因为我们拥有的大多数新技术的成功与否,取决于我们对某一地区地质构造情况了解的详尽程度,而这些情况主要是通过地表的野外考察获得的。例如,在那些能将地震反射与已详细填图的地表构造联系起来的地区,地震反射技术将取得最佳的结果(例如 Barazangi, 1984, 第44页)。显然,获得的地表地质信息越多,我们就越能有效地利用新技术。由于造山带一般具较好的露头条件,某些情况下甚至还反映了下部地幔的信息,所以它们确是地表地质通常能提供最大信息量的最佳场所。

当索修尔谈到山脉的“组成物质具多样性”时,他无意中强调了造山带的另一个重要方面:造山带包含了已消失的大洋中的各类残余物(其样品是以一种完整的可能经过精心挑选的方式保存着),这些残余物在早先的各俯冲期被卷入到造山带中。这一事实首先是被小修斯(Franz Eduard Suess,即 E.Suess 之子,译注)所认识的,当时他(1937年)写道:“造山带的特性在‘大陆边缘山脉’地区发育最好,它们在那里与外来的前陆相并置,其构造和古地貌表明它们曾有长距离的漂移”(F.E.Suess, 1937, 第VI页)。后来这一事实被威尔逊(Wilson, 1966)和许靖华(Hsü, 1971, 1972)纳入板块构造学理论的框架之中。如果过去二亿年间(最老洋底的近似年龄)板块的运动速度是具有代表性的话,那么在过去的四十亿年历史中,地球的洋底起码已被完全更新了二十次。这意味着地球历史上曾出现过但现已消亡的洋底的90%,其残留物必定能在今天的造山带中被发现^[5],因此大洋历史只能根据这些保存在造山带中的纪录来编写。这就是我们强调要了解保存在造山带内地质记录的重要性之原因所在。

第二节 关于造山运动与板块构造的关系之早期评述

由于造山带通常能提供丰富的信息,造山地质学家们早在板块构造理论出现之前就已提出了许多现代地质概念的雏形(见 White 等人, 1970; Davis 等人, 1974; Şengör, 1977, 1982a, b; Thenius, 1980),但是这些学者未能把这些概念编述成为一个多少类似于板块构造理论的包括地球活动的理论。其原因是,他们对洋盆的了解相当有限,他们之中没有一个人能预见到他们所找的钥匙就在大洋底,同时可能极少有人对阿尔冈德(E.Argand)在1919

[5] 曾经存在但现在已经消亡的古洋底表面面积事实上肯定比这个比例大,因为太古代时期的板块运动速率大约是二亿年前板块运动速率的6倍(见 Dewey 和 Windley, 1981)。Howell(1989)用古生代后板块运动的平均速率(全扩张速率大约5cm/y)求出洋底岩石圈在地球历史中曾更新34次。

— 1 —

年所作的预言“地质学是一门过去的科学;未来属于地球物理学”(Thalmann, 1943, 第 158 页)抱有同感。因此他们不能从总体上来理解地球现在的特征,从而使他们失去了可用来解释所观察到的现象的均变论基础。

本世纪六十年代发展起来的以洋底调查为基础的板块构造学,第一次为造山地质学家提供了一个坚实的均变论格架。威尔逊在 1965 年首先提出三种板块边界类型,并明确指出造山运动主要发生在会聚板块之间。

这一思想马上被威尔逊本人应用到阿巴拉契亚 / 加里东造山系的演化研究中 (Wilson, 1966a), 此外还被 Gansser (1966) 应用到喜马拉雅山脉的研究中 (他并未参考威尔逊 1965 年的思想), 以后的许多学者对造山运动与板块构造之间的关系进行了详细的描述, 这些学者包括威尔逊本人 (Wilson, 1966b, c, 1967, 1968), Harland (1966), Gass (1968), Dewey (1969a, b), Hamilton (1969a, b, 1970), Laubscher (1969), Mitchell 和 Reading (1969, 1971), Thayer (1969), Atwater (1970), Bird 和 Dewey (1970), Coney (1970, 1971), Dercourt (1970), Dewey 和 Bird (1970a, b, 1971), Dewey 和 Horsfield (1970), Dickinson (1970, 1971, 1973), Ernst (1970), McKenzie (1970a), Moores (1970), Oxburgh 和 Turcotte (1970, 1971), Coleman (1971), 许靖华 (Hsü, 1971), Karig (1971), Matsuda 和上田 (1971), Burke 和 Dewey (1972), 都诚秋穗 (1972), Wilson 和 Burke (1972), Khain (1973), 以及 Roeder (1973)。McKenzie (1969) 写过一篇最重要的地球物理文章, 该文后来常被用来建立造山模型。

第三节 早期历史的回顾

现在回想起来, Eardley 1955 年的评论具有特别的重要性, 他不仅指出洋中脊的发现对于板块构造理论发展的重要意义, 而且还指出只凭造山研究是不足以提出板块构造理论的。

1959 年^[6], 荷兰地球物理学家 Vening Meinesz 主要从地球物理学观点出发论述了造山运动问题, 并发表了一个很重要的观察结果, 即地球收缩不可能是造山作用的原因, 因为地球发生收缩和膨胀的同时形成了造山带和裂谷。他把造山运动归因于地幔对流, 由此建立了一个与 Hess 的观点极相似的地球演化假说, 但他将大陆漂移假说仅仅用来解释地球刚性外壳形成之前的远古时期的地球海陆起源。

1960 年, 当地质学的某些领域正感受到板块构造理论即将诞生的阵痛时, Billings 发表了一篇题为《地壳运动与造山作用》详尽的评论性文章。在这一富有思想性的论文中, 他得出这样的结论: “一个成功地解释地壳运动与造山作用的理论必须能够解释下列几点: (1) 水平挤压, 它为形成褶皱带和逆冲断层所必需; (2) 广泛的垂直运动, 它可能具有或不具有高角度的断层作用, 并且与褶皱作用无关 (Vening Meinesz 也曾强调过这两个结论); (3) 广泛的走滑断层” (Billings, 1960, 第 394 页)。由一个地球物理学权威和一个经典构造学家所得出的上述结论表明, 六十年代初地球科学界在理性上逐渐成熟, 以至能够接受板块构造学理

[6] Vening Meinesz 的评述文章最初在 1958 年以荷兰语发表。这里引自其更易理解的德语译文。