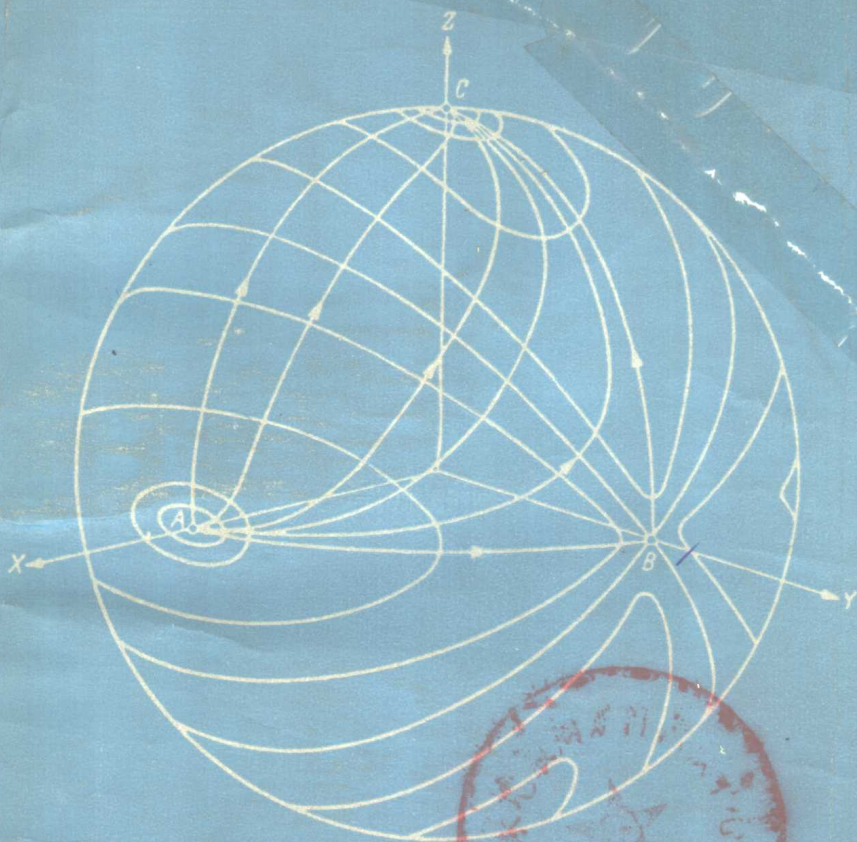


[奥] A. E. 夏德格 著

56.5712
5764



地球动力学原理

王仁 黄杰藩 等译校

地震出版社

地球动力学原理

[奥] A. E. 夏德格 著

王仁 黄杰藩 等译校

地震出版社

1986

内 容 简 介

本书是作者所著《地球动力学原理》的全面修订第三版。原书出版于1982年，其中对1963年第二版的内容做了大量修订，增加了许多新资料，特别是有关板块构造学说的论述，反映了近二十年来地球科学的新进展。

全书共八章，分别论述了有关地球的地文学和地质学资料，有关地球的地球物理资料，变形的力学，地球自转的地球动力学效应，行星问题，造山运动，大地构造学和某些局部形迹的理论。

在对各有关问题的论述中，作者都从地球物理、地球化学、地文地质、数学力学分析和模拟实验等各方面引证了丰富的资料，其中有很大一部分是最近的成果。全书附插图126幅，所引参考文献共千余篇。

本书可供地质和地球物理专业科技工作者及地质院校有关专业师生参考，对工科院校中与地质和地球物理有关的专业师生也有一定参考价值。

Adrian E. Scheidegger
Principles of Geodynamics
Third, Completely Revised Edition
Springer-Verlag, 1982

地球动力学原理

[奥] A. E. 夏德格 著
王仁 黄杰藩 等译校

责任编辑：宋炳忠

地 震 出 版 社 出 版

北京复兴路63号

北 京 印 刷 三 厂 印 刷

新 华 书 店 北 京 发 行 所 发 行

全 国 各 地 新 华 书 店 经 售

850×1168 1/32 14¹/₄印张 372千字

1986年4月第一版 1986年4月第一次印刷

印数 0001—2450

统一书号：13180·264 定价：4.00元

译者的话

任何一门科学的发展总是先从大量积累实际资料开始，通过分析资料，总结出一些经验性的规律，而后逐步走向理性认识阶段。随着认识过程的推移，科学工作者不断地提出各种假说来解释已经发现的事实，然后在新的事实面前，修正或扬弃旧的理论，提出新的理论。地球动力学的发展亦莫能外。人类研究地球的构造运动过程及其力源由来已久，并曾提出过各种各样的假说。地球动力学的名称，也是早在1911年就已由著名力学家洛夫(A. E. H. Love)提出过。尽管如此，但因地球上的现象极其复杂，对地球本身又无法直接进行实验验证，所以这一学科的发展比较缓慢。只是到最近这二十年，随着科学技术的飞速发展，实测资料的大量积累，学科间的相互渗透，国际合作计划的开展，关于地球构造运动的研究才取得了巨大的成就，提出和发展了板块构造学说。地球动力学正在以这一学说为中心课题，把地球科学向逐渐定量化的方向推进。

本书可能是最早全面地讨论地球动力学的一部著作。作者曾长期从事于地球构造运动的力学分析。板块构造学说的提出和发展，系在本书第二版(1963，其中译本已由科学出版社于1977年出版)问世之后，因而这一版虽然沿用了原书名和章节标题，但内容却经过了大量的修订，增加了许多新的内容。作者有长期的教学经验，阐述问题简明扼要。本书用前三分之一的篇幅系统地介绍了地质、地文和地球物理的基本资料，这对一个非地学专业的初学者特别有利，同时又借此说明了，地球动力学是建立在这些脚踏实地的基础之上的，各种假设和学说都必须符合并能够解释这些现象。在地球介质的力学性质方面，书中着重介绍了它的

在这方面做过大量研究；同时也介绍了脆性破裂机制的情况。全书着眼于对构造运动的宏观力学分析。意义的是，作者常常从几个不同的乃至互相对立的方面来论对构造运动所提出来的假设，例如既讨论离极力的论点，也讨论与之反对的论点，既介绍收缩假说，又介绍膨胀假说，对它们各自存在的问题及其可取之处条分缕析，意在帮助读者自己去进行判断，决定取舍。

全书论及的方面较广，有的地方略嫌过于简单。不过由于地球动力学正在蓬勃发展之中，新的资料和研究成果不断涌现，因而在书中也只能以讨论基础性内容为主，对很多具体问题就难以苛求了。好在作者给出了许多参考资料，在本书的基础上，读者当能直接去阅读近代文献，跟上学科的发展。

本书的翻译工作由北京大学地质系构造地质与地质力学教研室中从事力学、地质和地球物理的一些教师共同承担。其中黄杰藩译序言、第六章及第二、三章各一部分，孙荣圭译第一章，林万智译第二章大部，孙荀英译第三章大部，丁中一译第四章，何国琦译第五章，王永法、常志忠译第七、八章。全部译稿由黄杰藩统稿，王仁进行校阅。译文中错误和不妥之处，请读者指正。

北京大学地质系

王 仁 黄杰藩

1984年6月

序

一般认为，地球动力学是为了解地球上可见表面特征的起源提供基础的学科之一。通常假定这些特征是由发源于地球内部的一些地球动力学作用力产生的（“内成”作用），后来又被发源于大气层和海洋中的地貌营力（“外成”营力）所均夷。现代观点则认为，事件发生的顺序并不象过去一度设想过的那么分明，地球动力学过程和地貌过程实际上是同时起作用的（“对抗性原理”）。不过，将理论地质学划分为地球动力学原理和理论地貌学原理看来有利于达到教学目的，因此，在笔者的著述中坚持了这种做法。这一部地球动力学专著是笔者的理论地质学著作的第一部分，理论地貌学（也由 Springer Verlag 出版公司出版）是其第二部分。

这一版是本书的第三版。各章节的标题虽然与前两版几近相同，但是读者将发现，其中的大部分资料实际上是新的。自上一版印行以来，板块构造已确立了自己的地位，而且，面对形形色色的造山理论，要想继续持一种“不可知论”的观点现在也已不复可能：目前，在地球演化中某种“活动论”的证据是如此确凿，各种“固定论”就只具有一种历史上的意义了。因此，考虑问题的整个哲学观点不能不全盘改变。

本书代表笔者对地球动力学这一学科的现行观点。这不是一个全面的文献评述，而只是笔者对事物看法的一个汇总。书中前两章尽笔者迄今所了解到的，对有关地球的一些物理事实做了一番扼要的综述；第三章综合了连续介质变形理论的一些原理，这是地球动力学的基础背景；其余各章则是对有关地球动力学中各个方面的流行观点的评述，例如地球自转现象、行星问题、造山

理论、构造物理以及某些具体特征等。

有许多资料取自笔者本人在这一学科领域中的早年工作。特别大量援引了本人早年发表于 Canadian Journal of Physics, Transactions of the American Geophysical Union, Geofisica Pura e Applicata, Journal of the Alberta Society of Petroleum Geologists, Journal of Geology, Canadian Oil and Gas Industries, Bulletin of the Geological Society of America, Rivista Italiana di Geofisica e Scienze Affini, 和 Annali di Geofisica 中的一些论文。承有关期刊编者惠允引用上述资料,在此深致谢忱。Springer Verlag 出版公司一如既往,以最高的效率出版了本书,并慨然允诺了作者的众多要求。

Adrian E. Scheidegger

目 录

第一章 关于地球的地文和地质资料	(1)
1.1 引言	(1)
1.2 地球的地质演化	(1)
1.2.1 基本岩石类型	(1)
1.2.2 地质现象的尺度	(3)
1.2.3 古气候资料	(5)
1.3 大陆和大洋的地质学	(7)
1.3.1 全球配置	(7)
1.3.2 测高曲线	(10)
1.3.3 大陆与大洋的比较	(11)
1.4 大陆区地文学	(11)
1.4.1 一般特征	(11)
1.4.2 山脉	(13)
1.4.3 大陆边缘	(16)
1.5 大洋区地文学	(17)
1.5.1 概述	(17)
1.5.2 深海平原	(18)
1.5.3 洋中脊	(18)
1.5.4 海盆中的较小单位	(20)
1.6 构造形迹的地文学	(22)
1.6.1 概述	(22)
1.6.2 断层	(23)
1.6.3 节理	(26)
1.6.4 初生河谷 (Valleys in plan)	(28)
1.6.5 褶皱	(31)
1.6.6 岩组学	(34)
1.7 某些局部构造的地文学	(35)

1.7.1	引言	(35)
1.7.2	香肠构造	(35)
1.7.3	底辟构造	(36)
1.7.4	火山	(38)
1.7.5	陨痕(astroblemes)	(40)
1.7.6	晚近的和现代的位移	(43)
第二章 有关地球的地球物理资料		(59)
2.1	从研究地震波传播得到的结果	(59)
2.1.1	地震和地震波	(59)
2.1.2	地球的基本层次划分	(60)
2.1.3	地壳	(64)
2.1.4	地幔	(68)
2.1.5	地核	(72)
2.2	地震震源的研究	(75)
2.2.1	概述	(75)
2.2.2	地震活动性的研究	(76)
2.2.3	震级和能量的研究	(78)
2.2.4	断层面的研究	(80)
2.2.5	震源参数	(84)
2.2.6	地震的时间序列	(87)
2.3	重力资料	(92)
2.3.1	重力和重力异常	(92)
2.3.2	重力异常的分布	(94)
2.4	地下应力	(97)
2.4.1	概述	(97)
2.4.2	直接的现场应力测定	(99)
2.4.3	用水压致裂法求应力	(103)
2.4.4	根据地震效应确定应力	(104)
2.4.5	根据断层和节理确定应力	(106)
2.4.6	地貌学和应力	(109)
2.4.7	岩组学和构造应力	(110)

2.4.8	全球的结果	(112)
2.5	年龄测定的资料	(112)
2.5.1	概述	(113)
2.5.2	方法	(115)
2.5.3	放射性年代测定的结果	(117)
2.6	热数据	(117)
2.6.1	概述	(117)
2.6.2	地表热流测量	(119)
2.6.3	地球内部的温度	(122)
2.7	电磁效应	(122)
2.7.1	地球磁场	(122)
2.7.2	古地磁学	(124)
2.7.3	磁性倒转	(125)
2.7.4	电的效应	(126)
2.8	地球化学资料	(126)
2.8.1	概述	(126)
2.8.2	地壳的地球化学	(128)
2.8.3	地幔的地球化学	(130)
2.8.4	地核的地球化学	(131)
第三章 变形的力学		(148)
3.1	流变体的有限应变	(148)
3.1.1	变形的物理学	(148)
3.1.2	有限应变理论的结构	(149)
3.1.3	非均匀介质	(156)
3.1.4	附加应力和应变	(158)
3.2	理论流变学	(159)
3.2.1	无穷小弹性理论	(159)
3.2.2	塑性力学	(168)
3.2.3	粘性流体	(174)
3.2.4	一般线性体	(178)
3.2.5	非线性蠕变	(183)

3.2.6	流体热力学	(185)
3.3	断裂物理学	(187)
3.3.1	基本原理	(187)
3.3.2	现象学的方面	(188)
3.3.3	断裂的微观方面	(192)
3.3.4	解析的尝试	(196)
3.3.5	非均匀物质	(198)
3.4	地球的流变: 地球动力学的基本问题	(200)
3.4.1	一般考虑	(200)
3.4.2	弹性范围	(202)
3.4.3	衰减范围	(203)
3.4.4	破坏范围	(216)
第四章	地球自转的地球动力学效应	(229)
4.1	引言	(229)
4.2	地球的形状	(229)
4.2.1	现今参数	(229)
4.2.2	地球形状的简化的平衡理论	(232)
4.3	地球的自转	(234)
4.3.1	现今的现象	(234)
4.3.2	进动	(235)
4.3.3	过去的自转	(237)
4.4	潮汐效应	(240)
4.4.1	重力的潮汐变化	(240)
4.4.2	固体潮	(242)
4.4.3	相位滞后	(243)
4.4.4	地球动力学效应	(244)
4.5	地球自转的稳定性问题	(246)
4.5.1	问题的提出	(246)
4.5.2	刚性地球上的环流效应	(247)
4.5.3	屈服地球的极移	(248)
4.5.4	地幔中的对流流动	(254)

4.6	由地球自转引起的其他力	(255)
4.6.1	概述	(255)
4.6.2	离极力	(255)
4.6.3	科里奥利力	(257)
第五章	行星问题	(261)
5.1	地球这颗行星的起源	(261)
5.1.1	宇宙的起源	(261)
5.1.2	太阳系的起源	(261)
5.1.3	月球的诞生	(264)
5.2	作为一颗行星来考虑地球的演化	(265)
5.2.1	问题的提出	(265)
5.2.2	关于地球内部状态的理论	(265)
5.2.3	地球的热历史	(267)
5.3	大陆和大洋	(270)
5.3.1	问题的本质	(270)
5.3.2	通过对流形成大陆	(270)
5.3.3	现代对流的可能性	(273)
5.4	历史的评述	(275)
5.4.1	引言	(275)
5.4.2	四面体收缩	(275)
5.4.3	通过膨胀形成大陆	(276)
第六章	造山运动	(283)
6.1	基本的全球构造关系	(283)
6.1.1	引言	(283)
6.1.2	板块构造	(283)
6.1.3	地槽	(287)
6.1.4	造山运动中的体积关系	(289)
6.1.5	全球能量	(294)
6.1.6	稀有事件	(295)
6.2	板块运动理论	(269)
6.2.1	概述	(296)

6.2.2	热稳定性问题	(299)
6.2.3	对流流动	(300)
6.2.4	地幔热柱和热点	(302)
6.2.5	自生成机制	(304)
6.2.6	被动的地壳效应	(308)
6.3	其他造山理论	(311)
6.3.1	概述	(311)
6.3.2	波动说	(312)
6.3.3	收缩假说	(319)
6.3.4	造山运动的膨胀假说	(320)
6.3.5	膜构造学说(membrane tectonics)	(322)
6.3.6	减速和潮汐弯曲的效应	(326)
6.3.7	宇宙学的猜测	(327)
6.4	结论	(327)
第七章 大地构造学		(335)
7.1	概述	(335)
7.2	构造形迹的理论	(335)
7.2.1	引言	(335)
7.2.2	大地构造破坏现象的理论	(332)
7.2.3	褶皱作用	(351)
7.2.4	岩组学理论	(361)
7.3	震源理论	(368)
7.3.1	概述	(368)
7.3.2	地震孕育模型	(368)
7.3.3	震源模型	(374)
7.3.4	地震的力学触发作用	(379)
7.4	边界的效应	(381)
7.4.1	引言	(381)
7.4.2	表面不规则部位上的应力	(382)
7.4.3	孔洞和包体	(388)
7.5	特征性的地质力学形迹	(392)

7.5.1	引言	(392)
7.5.2	选择原理	(393)
7.5.3	解析模拟与机械模拟	(393)
7.5.4	有限单元技术	(394)
第八章 某些局部形迹的理论		(409)
8.1	引言	(409)
8.2	香肠构造	(409)
8.2.1	实验探讨	(409)
8.2.2	理论探讨	(410)
8.2.3	构造透镜体	(412)
8.3	刺穿构造的理论	(413)
8.3.1	盐丘理论的原理	(413)
8.3.2	重力失稳	(413)
8.3.3	火成侵入	(418)
8.4	火山效应的理论	(420)
8.4.1	引言	(420)
8.4.2	火山的形状	(420)
8.4.3	火山热量和造山运动	(421)
8.4.4	火山喷发的机制	(423)
8.4.5	热流和火山侵入体	(424)
8.5	撞击形迹的理论	(426)
8.5.1	引言	(426)
8.5.2	陨坑的相关性	(427)
8.5.3	撞击力学	(428)
8.5.4	喷出物的性状	(432)
8.5.5	重力对陨坑的改造	(433)
8.6	当代位移的理论	(433)
8.6.1	概述	(433)
8.6.2	均衡位移	(434)
8.6.3	局部运动	(435)
8.6.4	造山运动位移	(435)

第一章 关于地球的地文和地质资料

1.1 引言

今天的地球表面是内生力和外生力交替引起的两类过程对抗作用的结果。内生力是源自固体地球内部的力，外生力则是源自固体地球外部的力^[1]。按照传统观点，人们假定各种内生过程是“原生的”，它们导致山脉形成、高原抬升和大陆漂移。然后，由此而产生的构造将被外生力的作用所破坏，即被风化作用、均夷作用以及风、水和冰引起的侵蚀作用所破坏。按照这样的理解，可以将其称之为地球发展的“旋回”(cycles)。然而，现代观点更倾向于认为，内生现象和外生现象是同时发生的，地球的现状所表征的无非是上述两类对抗力的作用所达到的暂时平衡（对抗性原理）而已^[1]。

所以，在研究地球的演变时，要将上述两类过程截然分开未必是件容易的事情。然而，为了教学的目的，将二者分开来讨论则是有益的。就这方面而言，下列事实有助于说明问题：内生过程所导致的各种效应具有系统的（非紊乱的）特性，而外生过程所导致的各种效应则具有紊乱的特性；这样，就有可能从研究现象出发，将“内生”现象和“外生”现象区分开来。内生过程的研究被称为“地球动力学”，外生现象的研究被称为“理论地貌学”。本书仅讨论地球动力学，至于外生过程，笔者另有专著讨论之^[2]。

1.2 地球的地质演化

1.2.1 基本岩石类型

研究地球动力学，不能不从回顾或评述有关地球的一些基本观察事实出发，这些事实是由野外研究确立的。这些事实的搜集和分类，即地球科学的分类学部分，主要属于地质学的范畴。通过几代地质学家不断的努力，关于世界许多地方的岩石组成，有许多事实已被人们所认识。至于对这些事实的详细描述，读者可以参考现有的许多出色的普通地质学教科书，我们在这里只能作最简要的讨论。

岩石的外貌是过去的地质作用造成的。然而，对这丰富多采的岩石类型作一个粗略的分类还是可能的。两种主要的岩石类型是沉积岩和火成岩。沉积岩被分隔成一些大致可以分辨的平行层，而在火成岩中则看不到这种层状构造。

在各种火成岩中，我们看到有一种熔岩，可以认为它是在火山活动期间从地球深部流出来的。另外一些火成岩类型，如花岗岩和花岗闪长岩，曾一度被认为^[3]有着与熔岩相同的历史，不同点在于其冷却的时间过程要长得多，且产生于很深的地方。所以，人们把在山脉内部发现的这种花岗岩体称为“深成岩体”(batholiths, 源自希腊文 *bavos*, 意“深”和 *livos* 意“石”)。然而，现在人们^[4]趋向于设想，许多深成岩体是在原地通过所谓变质作用形成的。在深成岩体所处的条件下，变质过程必定是很完全的，因而那里存在的岩石必定熔融过，致使它现在呈现火成的外貌。在另一些变质岩中，这种过程就不是那么完全了。

地球表面的岩石因连续遭到风和水的作用而磨损。在大气的影 响下，被磨损下来的岩屑由河流带到较大的蓄水盆地，在那里发生沉积作用。这些碎屑堆积，经过进一步固结，就形成了上述

的沉积岩。堆积过程本身被称为沉积作用。沉积岩是“成层的”，这是符合它们的形成方式的。在世界不同地区经常能追索到可资对比的地层类型。

这样，就构成一个岩石演化的旋回。沉积岩逐渐经受变质作用，甚至可能全部熔融，直至呈现出火成岩的外貌。然后，磨损作用开始，岩石碎屑在某些地方沉积下来，最终形成新的沉积岩。

1.2.2 地质现象的尺度

地球上遇到的地质现象，在空间和时间上的尺度范围相当宽。

现先从空间尺度开始讨论，我们注意到 Carey^[5] 按恰当的数量级做过的一个分类，其量级范围大自全球小至原子。经过修订的 Carey 分类以表格形式列于表 1。在这个分类中，对按照地质学传统划分的“岩组”、“全球构造”等各种对象都赋予了精确的含义。对于地球动力学研究来说，这样确定的术语是基本的。

表 1 地质现象的空间尺度 (据 Carey^[5] 修订)

等级	特征范围	传统的术语
I	10^7-10^4 米	大陆和全球构造，“全球构造学”
II	10^4-10^1 米	见之于区域地质图上的构造，“构造地质学”
III	10^1-10^{-2} 米	见之于野外露头上的构造，“小构造”
IV	$10^{-2}-10^{-5}$ 米	见之于显微镜下的构造，“岩组学”
V	$10^{-5}-10^{-8}$ 米	原子和晶格构造