

沉积学原理

〔美〕 G. M. 弗里德曼 J. E. 桑德斯 著



科学出版社

沉积学原理

—— 沉积岩的成因与分类 ——

—— 沉积岩的成因与分类 ——

沉 积 学 原 理

〔美〕 G. M. 弗里德曼 著
J. E. 桑德斯

徐怀大 陆伟文 译

陈景山 校

科 学 出 版 社

1 9 8 7

内 容 简 介

本书是一本全面的沉积学基础理论著作,全书共分六篇,分别论述沉积学史、沉积颗粒、沉积作用、沉积岩分类、现代沉积环境及其在岩石记录中的产物以及地层记录分析,另外还有五篇补充材料及一个包括800多条术语的释义的词汇。补充材料深入论述了波浪、三角洲、水下重力移位作用、水体及潮汐等专题。书末还附有长达191页的参考文献,堪称沉积学文献的大全。本书内容丰富、图文并茂,可供地质院校的高年级学生、研究生使用,也可供从事沉积岩、沉积矿产或沉积学研究的生产、科研或教学人员参考。

G. M. Friedman J. E. Sanders

PRINCIPLES OF SEDIMENTOLOGY

John Wiley & Sons

New York • Chichester • Brisbane • Toronto

1978

沉 积 学 原 理

〔美〕 G. M. 弗里德曼 J. E. 桑德斯 著

徐怀大 陆伟文 译

陈景山 校

责任编辑 周明鉴

科 学 出 版 社 出 版

北京朝阳门内大街137号

中国科学院印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

1987年12月第 一 版 开本: 787×1092 1/16

1987年12月第一次印刷 印张: 52

印数: 精1—800 插页: 精8 平1

平1—1,100 字数: 1,224,000

统一书号: 13031·3946

本社书号: 5086·13—4

布脊精装 13.70 元
定价: 平 装 12.20 元

译 者 的 话

二十多年来,在沉积物的成因,沉积相及沉积模式,沉积体系,沉积学的研究方法,沉积与构造之间的关系等方面有了飞速的进步,这主要归功于大规模现代沉积的研究,深海钻探计划的执行,以及大量钻探和地球物理勘探(特别是地震勘探)工作的展开,使得沉积学产生了质的飞跃.二十世纪七十年代,世界上陆续出版了几本沉积学的巨著.本书就是其中之一.它是为了总结这些进步而写成的.

全书共六篇十四章.另有五篇补充材料,一个名词解释.原书附有极丰富(达191页)的文献目录.全书的写作很有特色,它是按沉积物的动力特征安排章节的.首先从沉积颗粒入手,深入讨论各种沉积的物理、生物和化学作用.然后,在沉积岩分类的基础上讨论各种沉积环境的特征.最后一篇是沉积学研究方法和盆地的构造活动机制.作者把波浪、三角洲、水下重力作用、水的作用以及潮汐作用等的机理和产物作为附录放在最后,这样既满足了读者的需要,又不致干扰全书的主题.本书另一个特色是从第五篇开始,把内容分为两级,低级部分供大学生学习使用,高级部分供研究生及研究人员参考.正因为如此,国内有些院校曾经几次将这本内容广泛、取材丰富的书作为研究生的教材.

书中各重要节、段之末附有资料来源,各章之末还附有建议进一步阅读的文献材料,为读者提供了很大方便.

本书是1978年出版的,它没有包括近几年发展起来的沉积体系、成岩作用、定量沉积学等最新理论和技术.书中也没有系统地讨论各种沉积构造的沉积学意义.所有这些,都需要读者根据自己的兴趣和需要,查阅有关的文献.作者对沉积学中的重要名词作了仔细推敲和重新厘定,但是原书中的词汇表并不完全.科学出版社第三编辑室曾与有关译者进行讨论,将近年来出版的几本沉积学专著的名词译名作了统一,附于科学出版社1984年出版的《古流和盆地分析》一书中.

本书由徐怀大(前言,1、9、10、11、12、13、14章及词汇)和陆伟文(2、3、4、5、6、7、8章及补充材料)译出,全书由陈景山同志审校,译者谨致以衷心感谢.对译文中不足之处仍请读者指正.

最后要说明一点,即本书定稿之前,国务院颁布了《关于统一计量制度的命令》.本书中大部分计量单位已改为法定计量单位,但少数图中的非法定计算单位不便换算,现将这些单位与法定计量单位的换算关系附后,供参考:

$$1 \text{ acre (英亩)} = 4.046856 \times 10^3 \text{ m}^2$$

$$1 \text{ mile (英里)} = 1609.344 \text{ m}$$

$$1 \text{ ft (英尺)} = 0.3048 \text{ m}$$

$$1 \text{ in (英寸)} = 0.0254 \text{ m}$$

$$1 \text{ fm (英寻)} = 1.829 \text{ m}$$

$$1 \text{ mmHg (毫米汞柱)} = 133.322 \text{ Pa}$$

$$1 \text{ P (泊)} = 10^{-1} \text{ Pa} \cdot \text{s}$$

$$1 \text{ P (厘泊)} = 10^{-3} \text{ Pa} \cdot \text{s}$$

$$1 \text{ Btu (英制热量单位)} = 1055.06 \text{ J}$$

$$1 \text{ cal (卡)} = 4.1868 \text{ J}$$

$$1 \text{ bbl (桶)} = 119.241 \text{ L}$$

$$1 \text{ lb (磅)} = 0.453592 \text{ kg}$$

$$1 \text{ hp (马力)} = 735.499 \text{ W}$$

$$1 \text{ USgal (美加仑)} = 3.78543 \text{ L}$$

$$1 \text{ } \gamma \text{ (伽马)} = 10^{-9} \text{ T}$$

译 者

1985年7月

• i •

前 言

本书是响应过去30年中沉积学的迅速扩大和多样化而写成的。我们认为对这个科学领域的评述性综合分析是件十分重要而紧迫的事情。沉积学研究和地质学中的许多其它分支有着能动的相互联系。它们的研究手段从使用显微镜下的测量，到使用雷达、反射地震剖面到地球资源卫星。在第一篇绪言中，我们给沉积学定义了宽广的范围，正如我们看到的那样，这个定义范围可能比我们的某些同事们定义的要宽。实际上对某些地质学家来说，沉积学是一个不甚熟悉的名词，在目录学的索引部分以及地质学的索引中还没有变成一个条目。

本书可用作大学生和研究生的沉积学教程。在编写本书过程中，我们主要是针对低年级和高年级大学生的。在前几章中，我们的写作风格是和低年级大学生教程相一致的，但是我们相信，随着学年的增长，他们应当逐渐地习惯于更加专业化的风格。因此，后面几章是依照专业人员的水平来写的。对于那些简单地浏览本书的人们来说，这种前后不一致的情况好象是令人困扰的，但是这是经过深思熟虑的，并且考虑到了学生的情况。初入学的沉积学研究生也会发现这本书是有用的。第八到第十四章，特别是第八、十、十一和十二章，对于油气勘探或开发方面的专业地质学家，对于工业界或者政府方面所进行的地下水及矿床研究都是重要的。第九章可能会使与环境研究有关的地质学家发生兴趣。

在处理参考文献上，我们采取了不同于传统的方法。我们没有采用因为引证文献而中断讨论的办法，而是在适当的节末列举了作者的名字和出版日期。书后的文献包含了丰富的依字母排列的作者表。在许多大学生的建议下，并且在和教授大学生的许多同事们商量之后，我们采用了这种方式。为了鼓励学生探索文献，我们在每章的末尾准备了一个建议阅读的文献表。

在我们写作期间，由于许多教学、科研和行政管理上的事务的干扰，使这本书写了五年之久，从1971年夏季开始，于1976年春季结束。

在第一章前的绪言里，我们讨论了本书的内容并叙述了它的目的。读者应当通篇地熟读这个绪言，以便熟悉这本书的结构。这样作，他们就可以更有效地计划他们的学习。这本书有着过去地质教科书中从来没有过的一些新颖特征。其中之一是第三和第四章分成两个独立的课程：一级课程是非数学的，而二级课程是数学的。虽然几乎所有的地质家都承认数学的重要性，但并不是所有这些人都通过数学分析方法积极地进行教学。这种有意避开数学的原因一部分是由于考虑到大学生们没有经过足够的数学训练，因而不能得心应手地使用它。我们不希望遗漏数学方法，但是我们也不希望用成篇的方程式去压垮害怕数学的人们。读者、特别是教师在计划使用此书中必须认识的其它重要特征的讨论见于第一章前的绪言。我们再次强调在计划学习此书时阅读绪言的重要性。

G. M. 弗里德曼

J. E. 桑德斯

目 录

译者的话

前言

第一篇 绪 言

第一章 沉积学是地质概念上的一次历险…………… (4)

沉积学、现代地质学的诞生以及十九世纪的巨大“时间难题”(4) 沉积地层和地质时间表 (7) 沉积学和现实主义 (10) 沉积学和其它学科的关系 (11) 沉积学和新工具 (21) 资源勘探中的沉积学 (22) 地质旋回的现代观 (23)

第二篇 沉 积 颗 粒

第二章 沉积颗粒的种类…………… (29)

第一类: 陆源颗粒——老岩层破碎的固体产物 (29) 第二类: 不是由老岩层破碎而成的固体颗粒 (49)

第三章 沉积颗粒的性质…………… (64)

沉积颗粒的形状 (64) 沉积颗粒的表面结构 (69) 沉积颗粒的粒度 (70) 沉积颗粒的集合性质 (72) 沉积层中颗粒总体的粒度分布 (76)

第三篇 沉 积 作 用

第四章 物理作用、运动颗粒和流体的动力学…………… (90)

剪切概念 (90) 重力剪切: 动力扩容现象 (巴格诺尔德效应)(91) 层 (93) 陆上重力移位沉积物 (98) 流体力学概念 (102) 流体与颗粒 (104) 水流的主要类型及其沉积物的特征 (113)

第五章 生物作用与化学作用…………… (127)

生物作用 (127) 化学作用 (139)

第六章 沉积物是怎样变成沉积岩的…………… (154)

引言 (154) 碳酸盐岩的胶结作用 (157) 砂岩的胶结作用 (169)

第四篇 沉积岩的分类、命名与历史背景

第七章 沉积岩的分类与命名——着重其历史与成因方面…………… (177)

历史 (177) 描述性分类和成因分类 (179) 沉积岩分类 (180) 盆内岩的分类与命名 (181) 盆外岩的分类与命名 (199) 火山碎屑岩的分类与命名 (205)

第五篇 现代沉积环境及其在岩石记录中的产物

第八章 陆相环境 (I) …………… (211)

引言 (211) 沙漠与半干旱环境; 现代和古代沉积物 (212) 河流环境: 网状河;

现代和古代沉积物 (232)	河流环境: 曲流河; 现代和古代沉积物 (233)	陆相红层的气候意义 (249)
第九章 陆相环境 (II)	(252)	
引言 (252)	湖泊环境; 现代和古代湖泊沉积 (252)	冰川环境; 现代和古代冰川沉积 (277)
第十章 过渡环境 (I)	(288)	
引言 (288)	近岸流 (288)	与大河口伴生的过渡环境 (293)
第十一章 过渡环境 (II)	(325)	
一般背景 (325)	障壁复合体 (326)	潮缘复合体 (347)
第十二章 海洋环境及其产物	(368)	
海洋环境的特征 (368)	现代和古代的海洋沉积环境 (386)	海洋无沉积作用环境: 自生沉积物 (426)
	海相沉积的特征 (427)	

第六篇 地层记录分析

第十三章 层序、侧向关系、对比及时间关系	(430)
露头 and 钻井 (430)	出露地层的野外研究 (431)
	关于地下地层的信息 (443)
地层的层序 (453)	把地层组织成地层单位 (453)
	建立侧向关系 (456)
	等时的标志 (457)
	地层综合分析 (458)
第十四章 沉积层和大地构造运动	(464)
地球物理模型和大地构造理论 (464)	沉降作用和沉积作用 (473)
	当前沉积学的现状 (495)
补充材料A 波浪及受波浪影响的沉积物: 遇浅波浪带和海滩	(498)
波浪 (498)	遇浅波浪带的沉积物 (509)
	海滩 (湖滩) (517)
补充材料B 三角洲	(532)
一般关系 (532)	地层模式 (538)
补充材料C 水下重力移位作用	(546)
浊流 (548)	沉积物在重力作用下沿水底运动的其它形式 (552)
补充材料D 水体的性质、循环和蒸发	(559)
水的某些性质 (559)	盆地中水体的循环与停滞 (565)
补充材料E 潮汐和潮缘沉积	(576)
潮汐机理 (576)	潮汐作用和潮汐沉积物 (580)
	生物对潮缘沉积物的影响 (584)
	潮缘环境和潮缘沉积物的分布形式 (586)
词汇	(595)
地质年代表	(插页)
参考文献	(635)

第一篇 绪 言

1932年H. A. Wadell提出了一个术语——**沉积学** (sedimentology), 其最简单的定义是沉积物的科学研究。**沉积物** (sediment) 这个词指的是被搬运过的表土. sediment是从拉丁文sedimentum演化来的一个词, 意思是“沉淀” (settling). 虽然没有人说明过, 但是许多使用这个词的人都意识到这是指通过空气或水发生的沉淀. 依照某些人的定义, 沉积学只是现代沉积物的科学研究. 在这个狭窄的定义中, 沉积学包括了:**沉积作用**——沉积过程的科学研究 (不包括成岩作用的问题); **沉积岩石学**——沉积岩的岩类学研究和成因解释; **地层学**——地层的科学研究; **古地理学和古生态学**; 以及**沉积大地构造** (sedimentary tectonics) ——沉积地层大地构造特征的科学研究.

我们倾向于尽可能从最广泛的意义上把**沉积学**定义为沉积物的地质学. 因此, 在我们定义的沉积学名下, 包括了沉积物质的研究、沉积过程的研究、以及沉积作用产物研究等各个方面. 因此, 我们的沉积学定义和地层学的某些广义定义大体相同, 例如 A. W. Grabau、C. O. Dunbar和J. Rogers以及J. M. Weller所下的地层学定义. 我们并不打算坚持哪个沉积学的定义正确. 相反, 我们希望通过这项讨论阐明我们对这个问题的看法.

正象我们提出的观点那样, 沉积学的目标是使地质学家能够解释沉积地层的垂向和横向关系. 因此, 一个沉积学家不可避免地要研究地层学的两个方面: (1) **岩石地层学**, 即地层物理特征的科学研究; 和 (2) **生物地层学**, 即地层中化石的科学研究. 在研究生物地层特征方面, 沉积学家要依靠古生物学家进行化石年代和生态意义的分析.

作为沉积物地质学的广泛总结, 我们编写了这本书. 我们的意图是使它包括从沉积作用、沉积环境、地层的垂向序列以及沉积大地构造等方面来解释沉积物的基础. 我们对沉积学广泛领域进行探讨的途径, 和某些著名的、以沉积岩或沉积岩石学命名的书是不同的. 这些书在美国曾经广泛地用作讲授有关沉积物的大学教程, 在这些书中的大多数, 有很多章的标题是以沉积岩命名的, 如砂岩、页岩、灰岩、蒸发岩、煤、沸石等等. 尽管我们讨论了沉积岩, 并且承认围绕着单独岩石类型建立主要章节有它的长处, 但是我们宁愿用强调沉积学的动力特征方面来编排章节.

作为这两种对立的编排方式的一个例子, 请考察一下讨论**蒸发岩**的几种可能方式, 这些蒸发岩是从蒸发浓缩的卤水中沉淀出来的矿物组成的沉积物. 有些蒸发岩是从内陆沙漠盆地的水中沉积出来的. 另外一些则是位于海边的沉积体中间隙水内蒸发浓缩作用的产物. 还有些蒸发岩是从大洋的水中形成的. 最后, 有些蒸发岩显然是由交代作用形成的——原先岩石中的非蒸发盐矿物, 被蒸发盐矿物所交代. 虽然蒸发岩这个词适用于所有这类物质, 但是形成它们的沉积过程却是极不相同的. 此外, 与上述每一种蒸发岩相互穿插的岩石类别也是不同的. 因此, 在讨论蒸发岩时, 人们可以选择: (1) 把不同环境下生成的各种蒸发岩一起放在蒸发岩标题下, 或者 (2) 集中讨论环境, 并把它

的产物（包括蒸发岩）归属到合适的地方。

因为我们选择了第二种方案，所以我们没有列出“蒸发岩”这一章。这样做并不意味着我们忘了蒸发岩。恰恰相反，我们至少在四章中讨论了蒸发岩。

我们的总进程是从沉积颗粒开始的，其尺寸范围小到电子显微镜级的。从颗粒开始，我们逐步扩大到沉积作用、沉积产物、沉积层序、以及它们和沉积大地构造的相互联系。我们把材料组织到六个大的、但不相等的篇中，详细说明如下。

第一篇介绍了我们这门学科，并且在第一章中，从沉积学的历史、影响、以及与其它地质和有关知识的相互作用的角度，提出了这门学科的一些重大课题。

在第二篇中，我们总结了沉积颗粒。第二章描述了组成沉积物的颗粒种类，并且说明了诸如颗粒是从哪里来的以及颗粒提供了什么类型的成因信息等。颗粒大小的变化，从肉眼易于辨认的直径几毫米的颗粒，到只能用电子显微镜才能看见的非常细小的颗粒。在第三章中，我们研究了单个颗粒的物理属性，如粒度和形态，还讨论了颗粒集合体的某些性质，以及如何才能把这些性质和沉积作用联系起来。

第三篇是沉积作用，由三章组成。第四章涉及沉积过程中的物理作用。第五章讨论了生物、生物化学和化学作用。第六章讨论了沉积物向沉积岩的转变。

第四篇介绍了各种沉积岩。第七章是和沉积岩的分类与命名问题有关的一章。

第五篇是本书的核心——沉积环境。在五个章节中对沉积环境进行了分析。有两章用来讨论陆相环境。第八章讨论了沙漠、半沙漠、河流环境和红层。第九章讨论了湖泊和冰川。第十章谈到了河流入海处的过渡环境，它涉及了河口湾、峡湾以及海相三角洲。第十一章总结了由波浪和潮汐所控制的海岸环境。第十二章集中论述海相沉积物的许多方面，从热带珊瑚礁到深海海底沉积物。

为了详细比较现代沉积环境的产物与目前在地质记录中发现的那些古老沉积环境的产物，分析这套复杂的、必须了解的议题的几种途径之一，是把有关沉积环境方面的材料组织到“沉积模式”或者“沉积体系”的标题下。在不着重于是采用“模式”还是“体系”的情况下，我们曾经试图这样做过。然而，我们所试图遵循的这种章节编排方式产生了某些非常复杂的情况。例如，我们曾经选择了在海洋环境之前讨论湖泊环境的办法。大湖边缘的沉积物是在湖滩上、三角洲上、植物繁茂的平地或者蒸发盐坪上沉积的，这与沿着许多海岸的沉积物是一样的。在初稿中，例如在湖泊一章中，我们就引进过波浪、湖滩、三角洲机理的讨论。因为波浪、湖滩沉积物以及三角洲这些研究对象，和海相沉积的研究通常是一样的，所以我们的许多爱挑剔的读者都反对这种作法。对他们来说，湖滩和湖三角洲这些研究课题是无关紧要的。我们试图通过保持原来的章节次序，但是把和湖与海都有关系的重大论题分出来做为补充材料，用单独提出这些课题的办法来答复这些批评。例如，补充材料A讨论了波浪作用的机理和滩沉积物。这个材料对了解湖滩或者海滩都很重要。通过把这个材料单独放在一节补充材料的标题下，我们给了教师讲授的自由，他们可以介绍当初属于湖泊或者当初属于海洋环境材料，或者让学生在学湖泊以及后来学海洋一章的同时阅读这节补充材料。由于抽掉了机理方面的许多细节，所以沉积环境各章只强调了现代沉积环境的独特方面以及古代环境产物的推测实例。

其它的湖-海补充材料如下：补充材料B——三角洲；补充材料C——重力移位的沉

积物流和浊流；补充材料D——水的循环及其对滨外沉积物的影响；补充材料E——潮汐作用，只适合于边缘海相沉积物。然而，因为潮汐沉积物出现在第十和第十一章中，所以我们把潮汐作用独立出来。

第六篇用来分析和综合研究地质记录。第十三章讨论地层学问题，如地层的顺序、地下地质工作方法、地层学方法以及地层对比等。在第十四章中，我们力图把沉积学和岩石圈动力学的概念结合起来。在这一章中，涉及到**宏观沉积学** (megasedimentology)，即大区域的沉积学科学研究，这种广大区域包括整个沉积盆地、岩石圈板块或者褶皱带，例如阿巴拉契亚山脉和阿尔卑斯山脉。

沉积学的许多课题可以用数学工具进行分析。尽管几乎所有的地质学家都承认数学的重要性，但是他们并不是都受过数学分析方法的教育。回避数学的一部分原因可能是出自这样一种认识，即美国大学生没有受过充分的数学训练，不能得心应手地应用它。我们打算漏掉数学方法，但是我们也并不希望用连篇累牍的方程式去吓倒对数学望而生畏的人。因此，在第三和第四章中，我们提出了两种水平的材料，又称课程。这两级课程用该页上角的数字来指示。一级课程是没有数学的；二级课程是有数学的。补充材料A中有关波浪的数学的基本应用，既没有列入一级课程，也没有列入二级课程。

像任何科学一样，沉积学很重要的一个方面是与其它学科的交流。沉积学上的进步，使得表达概念和描述观测结果的术语数量大大增加。这些术语的重要性表现在1972年美国地质研究所编的《地质学词汇》增订第二版的出版。我们曾经多次研究过这部巨著的内容。然而很意外，在大多数情况下使我们感到失望，并且由于该书给这些术语所下的定义缺乏我们所希望的精确性，只好放弃它。因此，我们并不是忽视给术语下定义这个问题，或者是通过推荐读者去参考美国地质研究所的词汇的办法，简单地回避问题，而是在推敲术语的定义上下了更大的功夫。在正文中首次引入我们认为重要的术语处，对于术语我们采用了黑体字。我们已经把所有这些术语收集到本书后面的“词汇”中了。

(资料来源：Blatt, Middleton and Murray, 1972, Dunbar and Rodgers, 1957, G. M. Friedman, 1976, Gary, McAfee and Wolf, eds., 1972, Grabau, 1913, Hatch, Rastall and Black, 1938, Pettijohn, 1975, Potter, 1974, Wadell, 1932, J.M. Weller, 1960)

第一章 沉积学是地质概念上的一次历险

沉积学研究引起了地质概念中一次惊人的冒险。沉积学的概念曾经受到为人们所接受的对世界的看法的影响，此外，从沉积学发展出来的概念，也影响人们对这个世界的看法，从而也影响对它们自身的看法。

沉积学是地质学的核心学科之一。事实上，把沉积学看做现代地质学诞生的助产士可能是很合适的。十九世纪早期，现代地质学一经推出，它的首批巨大目标之一，就是探讨构成地质记录的沉积地层，并把它条理化。有关沉积物在这方面的基础工作，大约完成于十九世纪中叶。

现代沉积物的对比性研究和古老基岩地层解释之间的密切关系，不仅构成了建立现代地质学的基础，而且也是它本身正常的广泛探索的一个话题。在作用于现代沉积环境的作用机理方面，在沉积环境边界迁移的影响方面，以及由各种沉积环境所形成的地层记录方面，都进行过大量的研究工作，并且有更多的研究工作依然在进行着。

象地质学的许多分支一样，沉积学也明显地受其它科学学科重大进步的影响。有少数值得注意的例子，如海洋学、物理学和化学、生理学、大气学、水文学、空间科学、土壤学等。

由于某些新型工具的发明，使得沉积学在许多方面得到了发展。有了它，就能采集到新型的样品，得到新的分析结果，或者记录到世界的新图象。

业已证实，沉积学在多种自然资源的勘探中一向是有用的。然而，沉积学和石油工业之间的相互影响特别广泛和富有成效。沉积学中有些来自石油工业的设想和概念，使得在认识上产生了许多突破。

最后，现代沉积学还对地质旋回的运转状况以及工业文明对这种旋回天然运转的影响提供了许多新的见解。沉积学研究对基于某种理由而投放到环境中的各种工业材料所经由的途径提供了重要资料。

在以下各段中，我们概述了沉积学在这些方面的要点。我们的介绍力图加进去历史的剖析，但是它既不是严格的编年表，也不是严格的专题讨论。我们就从沉积学和现代地质学的诞生开始。

沉积学、现代地质学的诞生以及十九世纪的

巨大“时间难题”

可以认为现代地质学的诞生是从James Hutton (1727—1797) 以及他的内容广泛和革命性的大地质旋回概念开始的。人们把Hutton的旋回概念对地质学的意义和牛顿的重力定律对天文学和物理学的意义相媲美。

Hutton认为，地球的历史可以通过研究成层基岩的层次得到解释，认为这些古老的成层岩石是以相当于目前正形成现代沉积物的那些方式形成的，并且认为地球是个运

动体，由于热能从地球内部深处的外流、太阳能对地球表面的影响、地球的转动以及水通过大气圈的循环，使地球表面永远处于连续不断变化的状态。

在今天，略经修改过的Hutton的概念，形成了许多人持有的对世界看法的一部分，我们趋向于认为这些概念是不成问题的，认为它们是不言自明的。然而，在十九世纪早期，当Hutton的概念首次广为流传时，对世界的看法极为不同。因为十九世纪业已确立的看法认为地球的年龄不超过6,000年，所以Hutton的概念给知识界提出了一个巨大的“时间难题 (time dilemma)”。为解决这个“时间难题”，人们作过多次尝试。其中主要是洪水说(Diluvianist philosophy)、灾变论 (catastrophism)、“昼夜拉长说”(day stretching)和“居维叶的折衷方案”(Cuvier's compromise)。以下各段中，我们检查一下这些观点。

由于十九世纪早期人们开始积累地质观察结果，许多“自然哲学家”(就是我们现在所说的地质学家们)，开始编辑一张他们确信在地球的过去时代中必然发生的天然事件表。随着每一次野外旅行，看来都应当往这张表中增添一个或者更多的新事件。这张不断加长的自然事件表提出了一个大问题，即如何把它们和某种时间体制拟合起来。在Hutton的事件表中，这是不成问题的。Hutton曾经认为，他可以在成层岩石的地质记录中“读出”地球的历史，并且认为，在这个不寻常的记录中，他可以找到“无形的起点”。Hutton从来没有正式说过他认为地球可能有多大年纪；但是同样，每个人都很清楚，他说的是远比《旧约全书》的学者和牧师们“允许的”“标准的”6,000年长得多的时间。有些人甚至觉得Hutton的概念意味着地球年龄是无限的。

另一群博物学家(归根到底可称之为洪水主义者)不是用更改广泛接受的圣经时间表的办法，而是试图通过声称所有地质事件都可以符合《旧约全书》中记载的洪水和后来记录的事件的办法来解释地质记录。因为提供的时间即短促又固定，所以洪水说要求人们接受这样的观点，即天然活动的发生是又快又猛。简言之，洪水论者必须是些铁了心的灾变论者。随着地质研究的进步和越来越多重大地质记录证据的积累，洪水论者的地位变得站不住脚了。他们接连不断地把新的灾变引入他们所编的地质历史中。最后，这些灾变必然变得太多和太强，以致最热心的洪水论者也不得不放弃他们的观点。

另一群人曾企图利用譬喻的“天”来解决这个“时间难题”。这些采用譬喻法的人们认为，《旧约全书》创世纪故事中的“天”不是我们所知道的设想为一般的24小时的天。相反，他们主张，把这些创世纪的“天”看作是时间可能很长的“纪”(epoch)。我们把这种寓意“天”的用法叫作“昼夜拉长说”。这种尝试曾宽慰了少数人，但是它从来没有被人们广泛接受。与“昼夜拉长说”相伴随的一个巨大困难是：它要求人们接受圣经上的一个没有严格成文的观点。牧师们反对这点，但是他们争辩说，这里留下少许回旋余地，那么谁知道在什么地方人们又不得不屈服于下一点呢。

列举出在解决这个问题时所发表的这些相互矛盾的观点和所表现出来的巨大关心，人们不难想象，当Baron Georges Cuvier (1769—1832)提出所有这些难题的似乎是完满的答案时，必然普遍地感到无比的宽慰和喜悦。Cuvier认为地球历史可以分为三个时期或纪：(1)大洪水(诺亚洪水)时期或洪水期；(2)洪水以后的时期或洪水后期；(3)洪水以前的时期或洪水前期。

Cuvier写道，洪水期和洪水后期是严格按照《旧约全书》的学者们提出的并为牧师

们所拥护的那样解释的。这是人类在地球上居住的两个时期。此外，这也是可以根据理性和新提出的科学方法进行历史分析的两个时期。

相反，Cuvier坚持洪水前期有四大特点：（1）它是个黑暗时期；（2）地球上的唯一“居民”是现已绝灭的巨大怪物，Cuvier曾经辛苦地把它们的骨头挖出来并陈列在博物馆中展览；（3）当时没有人类存在；（4）关于洪水前期利用理性和科学方法得不到什么东西。Cuvier主张地质学专门处理洪水前期。

利用Cuvier的方案，可能从两方面得到好处。因此，Cuvier的概念就变成了著名的“Cuvier折衷方案”。他对昼夜拉长说的反对和坚持字面上接受圣经的主张，使得Cuvier深受牧师们的喜爱。通过指定地质学只研究洪水前期，Cuvier实际上把Hutton的概念从历史时期中分离出来。

关于Cuvier的折衷方案，有两个要点必须强调。首先，有关洪水前期的情况知道很少。最妙的是，不再有人为确定洪水前期的长短而操心。因此，Cuvier可以指定任意长的时间而不触犯牧师。Cuvier认为“使这里光明”这句格言意味着整个早期以黑暗为特征。关于这个漫长的黑暗时期，为数不多的学究式著述曾经提到过超自然的偶然事件、大天使的陨落、撒旦的创业以及少数有关事物。

第二，通过指定地质学去处理漫长黑暗的洪水前期，Cuvier把地质学置于推理和科学探究的领域之外。按照Cuvier的意见，地质学处理这个黑暗时期的超自然事件和突变事件。看起来我们大多数人似乎已经忘记了的事情是最初提出“地质时间”这个词的时候，已经有意包括了Cuvier的洪水前的黑暗时期。据推想，“地质时间”包括了和历史记载所记录的“真正”时间不一样的、有点特别的时间。Cuvier的折衷方案意味着，有一堵不可逾越的墙把洪水前期“地质学”与当今世界分隔开来，从而规定了“地质学”仅仅涉及超自然的条件，并且作为处于科学的有效方法之外的一个学科来处理。Cuvier坚持认为，人们通过研究现今世界上的条件，在可以使人们了解洪水前期发生的事情上，学不到什么东西。

因为Cuvier的折衷方案变得如此流行，所以Hutton的概念往往被抛到一旁。Hutton的Cuvier旁支看来为这个时期的大多数历史学家所不顾。当人们考虑到一种机智的和无可非议的途径时，对这种疏忽是容易理解的，依照这个途径，Charles Lyell写出了他的三卷经典著作《地质学原理》。第一卷披露于1830年，第三卷发表于1833年。重新树起Hutton并贬责Cuvier的是Lyell。但是Lyell没有采用直接打击Cuvier的方法。相反，Lyell花了很长的篇幅去建立他的实例，用以说明他把“现存的理由”称作为分析地质记录的依据的重要性。Lyell的许多论点来自他对现代沉积物的研究和对古老沉积基岩的比较。在下一节中，我们以较长的篇幅讨论Lyell的方法。

在Lyell的《地质学原理》和其它科学著作中，有许多篇幅专门论述沉积学的两个重大课题。它们是（1）利用沉积地层作为建立地质时间表的依据，（2）研究现代沉积物正在其中沉积的环境的过程和产物，作为古地理、古生态和古气候复原的相应基础。

（资料来源：Cuvier, 1821, 1826; C. Darwin in F. Darwin, ed., 1888; F. C. Haber, 1959; Lyell,

1830—1833; Playfair, 1802; A. D. White, 1895)

沉积地层和地质时间表

虽然在十八世纪甚至更早,许多学者在西欧的不同地方进行过出色的地层学研究,但是地层学的最新进展开始于英国运河测量员 William Smith所作的详细考察. Smith不仅证明了现今我们所说的地层叠置定律的重要性,而且他还能够把化石和岩层联系起来,从而为动物群连续定律奠定了基础. Smith的岩层研究成果以一种异乎寻常的英格兰和威尔士地质图的形式发表出来,发表时间是1815年,并用手上了颜色.

随后在地层地质学方面接二连三地取得了重大进展. 那些在英国北部逐矿追索煤层的人以及对出露清楚的地层(如在欧洲西北部分布很广的白垩)进行研究的调查者,开始为地层命名. 早年曾提出两个地层名称,一个是含煤地层的石炭系,由W.D. Conydeare牧师和W. Phillips于1822年提出;一个是白垩系,此名源于拉丁字creta,意指白垩,由比利时研究家J.J. d'Omalus d'Hallooy于1822年提出.

在英国,在容易识别的含煤地层(对此曾采用过石炭系这个词)之下伏有三套厚而独特的地层, William Smith曾为之作过图. 从顶向下,这些地层是:(1)磨石粗砂岩(Millstone Grit), (2)山灰岩(Mountain Limestone), 和(3)老红砂岩. 从当初的定义看,伏于含煤地层下面的这三层都是指石炭系. Smith没有能够把老红砂岩以下的地层加以细分. 他简单地把这些地层全部总括到一起,标以“片岩和板岩”(Killas and Slate),并在他的图中涂以浅的淡紫色.

十九世纪三十年代, R.I. Murchison和Adam Sedgwick 牧师(英国的地质同行和朋友)决定去研究Smith作过图的两个“片岩和板岩”区. 其一在英格兰西南德文郡和康沃尔郡;另一个在威尔士(图1-1). 他们的研究最后得出四个古生界的系名:寒武系、奥陶系、志留系和泥盆系. 象常发生的那样,这些名称是在地层关系被充分了解之前提出的. 所以, Murchison的志留系(1835)和Sedgwick的寒武系(1835),最初推想属于明显不同的年代,但是后来发现是超覆关系. 44年之后(1879), 笔石专家Charles Lapworth, 针对原定为志留系和寒武系超覆之处的有争议地层,提出了奥陶系.

因为每个人都坚持他所提出的新地层体系的某些概念,所以在 Murchison 和 Sedgwick之间引起了一些争议. Murchison认为,志留系的独特属性在于它包括了最老的含化石地层. 这个概念自然导致他坚持把下界向下延伸到每一个记录有较老化石的时代. 相反, Sedgwick考虑到寒武系含有最大的地层厚度. 没有一个人表示愿意废弃这些珍贵的概念. 从原来的层系中扣除任何地层,寒武系的厚度就可能减少到另一个系的厚度可能超过它的程度. 把已知的志留系以下的含化石地层划归任何其它系,那么志留系含有最老的已知化石的概念就会失效. 具有讽刺意味的是,我们现在把寒武系看作是含有最老的富含化石地层的一个系!

在有争议的志留-寒武系地层问题上爆发争论和讥讽之前, Sedgwick和Murchison联合出版了他们对德文郡和康沃尔的“片岩和板岩”的解释. 1838年,他们针对一些海相地层提出了泥盆系,他们把这些海相地层正确地推断为陆相老红砂岩的侧向同层. 根据珊瑚化石,他们是能够做出这个推断的,珊瑚专家Lonsdale曾经指出过,这些化石



图1-1 大不列颠南部和西部综合地质图

图中表示了一些地区，在这里，许多古生代地层的名称是由R.I. Murchison和A. Sedgwick的开拓性研究中得出的。Murchison根据在威尔士中部（威尔士是从怀河河口的大致位置画一南北线以西的地区）的怀河河谷中从老红砂岩（标以OR和粗点画）的底向西北工作，定义了志留系（标以S和点画）。Sedgwick通过研究 威尔士西北部的哈莱奇穹丘（Harlech Dome）和斯诺登山（Snowdonia）定义了寒武系。寒武系标以符号C和不规则的花纹。泥盆系是由在英格兰的西南端、特别是在德文郡共同工作的Sedgwick和Murchison命名的。泥盆系用暗色不规则点画线以及字母D表示。由水平的平行线和标有C所表示的地区，由石炭纪的岩石覆盖着。奥陶系标以密集的水平斜线和字母O。全黑区指示各种火成岩。L表示伦敦（Dunbar 和 Waage, 1969, 213 页，图10-4）

在时代上，界于老红砂岩之上的山灰岩中的珊瑚化石与砂岩之下的志留纪珊瑚化石之间。

古生代这四个纪的名称是从典型地区的地名或者曾经抵御过罗马入侵者侵略的当地土著部族的名字得来的。因此，泥盆纪（Devonian）来自德文（Devon）郡，而寒武纪（Cambrian）来自Cambria，这是现今威尔士的拉丁文名字。志留纪（Silurian）和奥陶纪（Ordovician）是从当地部族的拉丁文名称Silures和Ordovicii得来的，这些部族曾经英勇地与罗马人作战。有人曾针对得克萨斯境内的地层提出过科曼齐系（Comanchean）的名称，但它作为一个系没有保留下来，现在被归入下白垩统。这个命名依据与Silures和Ordovicii相类似，只是它指的是科曼齐印第安人（Comanche Indians），他们曾经在美国西南部顽强地抵抗过欧洲人从西方的入侵。

由于Murchison在系统命名癖好方面获得的巨大声誉，他曾受沙皇的邀请访问俄

国，其实他是希望能在俄国境内识别出一个新的系。Murchison 的旅行一无所获，1841年他针对盖在与英国含煤地层相当的俄国地层上面的厚层海相和陆相地层，提出了二叠系的名称。

中生代各纪的名称全是来自西欧。三叠纪是由德国人 von Alberti 于 1834 年命名的，它指的是三组广泛出露的地层：（1）下部红色的陆相斑砂岩，（2）中部灰色的含化石碳酸盐岩，即壳灰岩，和（3）上部红色页岩，即考依波泥灰岩。von Alberti 的最初命名形式是 Trias；他是通过与下伏的两个重叠的地层层序的类比提出这个名字的，下伏的双重层序曾被某些人命名为 Dyas，也曾被 J. J. d'Omalus d'Halloy 命名为 Péneen。Murchison 的二叠纪取代了 Dyas 和 Péneen。

侏罗系是由杰出的德国地理学家 Alexander von Humboldt 于 1799 年命名的，其依据是侏罗山脉（Jura Mountains）出露的厚层海相地层，它们沿着瑞士的北部及其相邻的法国东南部和德国南部延伸。

对于新生代仅仅采用了两个纪：（1）第三纪，1760 年由 G. Arduino 根据意大利境内山区的一个迥然不同的地层提出；和（2）第四纪，由 J. Desnoyers 于 1829 年提出。第三系的名称是由 Charles Lyell 爵士在他的《地质学原理》第一版第三卷中提出的（1833）。他的划分从新到老命名为：新上新世（Newer Pliocene），老上新世（Older Pliocene），中新世和始新世。最初的定义是根据三个因素的综合：（1）在西欧不同盆地中出露的地层层序；（2）发现于地层中的海相无脊椎动物骨骼遗体和现今沿最近的海岸生活的无脊椎动物之间的比较；和（3）某些标准化石种。上新世取自希腊字“大现代”（major recent），其化石无脊椎动物种与现在还活着的无脊椎动物种的比例通常超过 50%，并且总是超过 1/3。中新世来自希腊字“小现代”（minor recent），在这个时代的地层中，化石无脊椎动物属于现今仍活着的种只占总数的少数。始新世的名字来自希腊字“现代的开端”（dawn of the recent），在这个时代的地层中，化石的种中只有极少数是现代仍然活着的代表种。

另外两个分层是后来提出的：（1）渐新统，于 1854 年由 E. Beyrich 提出，指的是位于与 Lyell 原来的中新统和始新统相当的地层之间的一套地层；和（2）古新统，1874 年由 W. P. Schimper 提出，用于含有他所能识别的五种第三纪植物群中最老植物化石的地层。这些地层比 Lyell 指定的始新世地层要老些。

Lyell 识别出第三纪以后地层的两个分层。其较老者他命名为“后上新统”（Post-Pliocene），比较年青的命名为“现代”（Recent）。现代地层的无脊椎动物种完全由仍然活着的种组成。如原来所定义的，“现代”也可称为“现实时期，或者人类占据了地球之后所经过的时期”。1846 年，Edward Forbes 通过利用 Lyell 的术语更新世而开始把现在的用法用于第三纪以后的冰川沉积物上，更新世这个词最初是作为上新世的代替词而提出的，它们属于 Lyell 的“后上新世”。Lyell 同意这个改变，并且极力主张普遍采用它。

再后，针对最后一次大陆冰川的大规模退缩以来所经历的时间，提出了“全新世”这个词。现在人们情愿把全新世叫做现代。地质时间表普遍采用的划分方案示于本书封底的背面。

（资料来源： Arduino, 1760; Beyrich, 1854; Desnoyers, 1829; d'Omalus d'Halloy, 1822; E.