

石油科学进展 16

石油地质学

R. E. 查普曼

石油工业出版社

石油科学进展 16

石油地质学

R. E. 查普曼

李明诚 周明鉴 译

石油工业出版社

内 容 提 要

本书是世界知名石油地质学家R.E.Chapman的代表作,由于内容丰富、观点新颖,被列为石油科学进展丛书第十六本。本书最大的特点是从地质、地球化学和物理学这三个方面来研究油气的生成、运移和聚集,并从盆地的演化、构造变形和地层层序来认识不同类型盆地中油气的时空分布规律。作者对油气聚集的机制、断层在油气运移过程中的作用、水洗和生物降解作用以及油源对比等方面都提出了新颖的看法,是目前石油地质学中值得一读的好书。

本书可供从事石油地质的科研和生产人员使用,并可供高等院校师生参考。

Developments in Petroleum Science, 16
petroleum geology
R.E.CHAPMAN
ELSEVIER SCIENCE PUBLISHERS B.V., 1983

石油科学进展16
石 油 地 质 学

R.E.查普曼
李明诚 周明鉴 译

石油工业出版社出版
(北京安定门外安华里二区一号楼)
北京妙峰山印刷厂排版印刷
新华书店北京发行所发行

787×1092毫米16开本 16 印张 371千字 印1—2,200
1989年1月北京第1版 1989年1月北京第1次印刷
书号: 15037·2989 定价: 4.15元
ISBN 7-5021-0138-1/TE·136

译 者 的 话

R.E.Chapman教授是澳大利亚昆士兰大学地质与矿物系系主任,是世界知名的石油地质学家。他曾长期在国内外许多油田从事石油地质勘探工作,具有丰富的实践经验,在理论上也有很高的造诣。多年来,他就石油地质学的若干理论问题撰写了多篇论文,并于1981年发表了《地质学和水》这本专著。1973年,他第一次出版了《石油地质学》,本书是其第二版。与第一版相比不仅在格局上有了很大变化,内容也更为充实。由于本书内容丰富、观点新颖、概念严谨、文笔简练,故被著名的Elsevier科学出版公司选为《石油科学进展丛书》的第16本。因此,这是当前石油地质学中的一本值得一读的好书。

本书首先论述了产生油气的沉积盆地和沉积岩石,特别是根据近年来海上勘探的资料对盆地的早期变形和生长构造进行了分析和研究,并指出它们为年轻盆地中的石油聚集提供了重要的构造背景。接着从地质、地球化学和物理学这三个方面探讨了油气的生成和运移问题。此外,对油气聚集的机理、断层在油气运移过程中的作用、水洗和生物降解作用以及油源对比等问题都提出了新颖的看法。最后,作者从盆地的演化、构造变形和地层层序的变化等角度总结了在不同类型的沉积盆地中油气的时空分布规律。应当说,这些内容的论述是本书的核心和精华所在。

原书中钻井部分(第五章)和测井部分(第六章)这两章,其有关内容已有不少专著论述过,一般性的叙述对很多读者来说已无此必要。因此,根据石油工业出版社的意见,我们未译这两章,特此说明。

本书在多数使用英制单位的地方都加注了国际单位制的单位,但有些地方也未加注。为便于阅读,现将本书中使用的英制单位及其他非许用单位与中华人民共和国法定计量单位的换算关系列在下面:

$$1\text{ft} = 0.3048\text{m}$$

$$1\text{mile} = 1609.344\text{m}$$

$$1\text{kgf} = 9.80665\text{N}$$

$$1\text{mmHg} = 133.322\text{Pa}$$

$$1\text{bbl} = 0.158988\text{m}^3$$

$$1\text{psi} = 0.155\text{N/cm}^2$$

$$1\mu\text{s/ft} = 3.28\mu\text{s/m}$$

本书第一章、第二章、第三章、第四章和第十二章由周明鉴翻译,其余各章由李明诚翻译,全书由周明鉴统校。在翻译过程中得到马新玉同志的大力协助,在此表示衷心的感谢。译文中不妥之处敬请读者批评指教。

译者

1987年5月

前言

石油地质学的魅力在于它的复杂性和对社会的重要性。在这一领域里迄今仍存在许多奥秘,要想经济地发现剩余的油、气储量,就必须做更多的探索和研究。石油地质学也是一门完整的、具有丰富实践内容的地质科学。

十九世纪以来,由于煤矿、铁路和运河建设事业的兴起,使人们对地质学的认识有了飞跃的发展,但还只是局限于以低潮线为界的陆上二维地质学。最近30年左右,主要由于石油勘探的刺激,地质工作已从近岸区扩展到陆架和洋底,并获得了大量的地质资料。

在《简明石油地质学》一书(1973年由Elsevier公司出版,1976年出平装版本)中,作者试图把重点放在石油地质学中那些看来经得起综合分析的检验以及能为这一学科中的一些重要地质作用提供更广泛知识的问题上。自此以后,地质资料不仅在数量上有了惊人的增加,在质量上也有了空前的提高,至今我们还埋头于堆积如山的实际资料之中。

正如许多人已意识到的,我也感到石油地质所涉及的学科远远不是某个人一生所能掌握的。当然,今天我们仍面临同样的问题,而且在许多基本的理论问题上,都未取得一致的看法。这不能归罪于资料的不充足(虽然在石油地质学中有关微生物学的问题上,资料的缺乏肯定妨碍了我们在这方面的进展)。在地球化学方面对于石油起源和生成所取得的一致认识却是一个明显的例外。

自从我的第一本书出版以来,我又写了几本关于石油地球化学、异常孔隙流体压力以及研究石油运移的实验方法(包括在其它课题中)的书,而在这之前仅以论文形式在杂志上发表或编成书的某些章节,它们在石油地质中起了很大作用。但是,从这些和另外一些文章和著作中,人们感到极有必要采取另一种阐述石油地质学的方法,以便更好地帮助每个人掌握这门科学的全部内容以及各分支学科间的相互关系,这对学生尤为重要,因为一旦开始工作,就很难有更多的时间来阅读大量的文献资料。

本书是在我的第一本书的基础上写出来的,尽管我没有改变第一本书中的主要结论的理由,但不可能也不需要再拘泥于它的格局。我再一次努力使本书的内容和写法能引起那些并不打算从事石油工业的学生的阅读兴趣;同时还希望,这本书也能像前一本那样,使那些已有一定实践经验的工作人员读起来津津有味。我写本书的目的是要提出一种石油地质学的最新观点,使它有助于增进我们对地质学各个方面的了解。而实际上,我只不过概括地介绍了他人的著作。参考文献的详细目录在这里不作介绍,而是列在每一章之后。这些参考文献包含各种观点和解释。我希望读者能进一步去钻研这些文献,因为这是一件引人入胜的工作。

在最近二三十年的发展中,最令人担忧的问题是如何在应用科学中保持科学的严谨性。可以肯定,我们中间有许多人持有错误的观点或主张,但却不能确定这些人是谁、哪些观点和主张是错误的。科学的目的是要回避错误,而是要避免错误观念的传播。石油地质学这个分支学科的发展主要依靠生产实践中获得的资料,但对获得这些资料的石油公司来说,大多数资料又是保密的,所以从科学的意义上讲把握还是不大的。这样说并不是

向任何人推诿责任，只是因为石油工业所面临的压力不允许有更多的时间去思考，并且一个理论或假说在实际应用之前无需得到证明。但是，这种状况却很可能使我们误入歧途，以致带来严重的实际后果。例如，几年前曾发现，镜质组反射率在某些地区（不是所有的地区）对探井的远景评价很有实际意义，因此就出现了忽视综合分析的危险趋势。某些人还认为这个参数和远景评价间存在着因果关系。然而，如果教条式的采用这种方法，那么世界上很多地区的重要储量就不可能发现。这个方法的危险性在于，资料可以仅从一口井中获取。幸运的是，又发展了其它评价沉积岩成熟度的方法，而镜质组反射率的测定只是所用方法的一种。如果要求一门技术在学习之前就要有科学证据，那么它将很难发展到具有实用价值的水平。但是，我们现在对成熟度性质的认识仍存在着误解的危险。

这就提出了片面性的问题。几年前，我曾提醒过一位写过泥岩异常高孔隙压力论文的专家（他确信粘土矿物的成岩作用是异常高压的形成原因），如果碰到异常压力出现的深度浅于粘土矿物发生成岩作用的深度的情况，则他确信的观点将使他陷入困境。而他却回答说，他的公司掌握能说明他观点的“证据”。几个月后，我在另一家公司的实验室里，却见到了说明粘土矿物的成岩作用并不是异常压力起因的“证据”。

问题的关键是，如果把视野局限在世界的某一地区，则很可能得出错误的概念，因为能区分是因果关系还是巧合情况的证据往往是不足的。毕生在加拿大西部盆地工作的地质学家对石油生成、运移和圈闭的理解可能截然不同于毕生在美国墨西哥湾沿岸工作的地质学家。确实，他们对地质学的基本原理的见解可能都存有分歧。这些观点的对立并不是由于加拿大西部盆地缺乏变形构造，在这里，从井口可远远眺望到落基山脉；而墨西哥湾沿岸地区的变形却是在陆架之下发生的，在这里根本看不到陆地，更不用说山脉了。然而，加拿大地质学家在墨西哥和利比亚却感到似曾相识，如同在本国一样；而在墨西哥湾沿岸工作的地质学家在尼日利亚和东南亚地区也有同样的感受。

我认为，地质学还受到一个重要而不能回避的事实的限制——它是从露头研究开始的，这样的研究必然只限于陆区，第三度空间受矿井的深度和山的高度的限制，而且多数地质学家至今仍在这有限的空间内做文章。可以“看得见、摸得着”的地质学只存在于一些不再堆积沉积物的沉积盆地和造山带内；而对于仍在不断地聚集沉积物、正在变形（尽管实际上还未经过造山运动）的这类沉积盆地，石油地质学仅给我们提供了一个简略的轮廓。虽然它不能向我们展示全部的三维空间图，但是在某些地区却详细地提供了深达2 km、3 km甚至4 km的三维地质图。谁会想象到在德意志联邦共和国北部平原水平的第三系之下会隐藏有中生代逆掩断层？……或在许多大陆架地区的年轻第三纪沉积物中会有褶皱和断层？我们对不整合的理解似乎只是Hutton确定的苏格兰东海岸的那种不整合，即只是一个假定的地表侵蚀面；但在陆架上有广泛、重要的不整合存在，而它们决不是在地面上形成的。就我们现在的判断能力来看，其变形、剥蚀及后来沉积物的堆积全都是在水下发生的。

上述事实影响着我们对地质学的认识。影响我们了解石油地质学的还有其它因素。我们往往乐于接受从事其它学科的人们对地质科学所加的评论。Kelvin勋爵曾公然对上个世纪的地质学家表示极度蔑视，而当时却几乎没有人为捍卫地质科学而反驳他。一个世纪后，我们才肯定地宣布，此人对地质学和地质学家们所发表的看法大部分是错误的。在近20年左右的时间里，化学家们很自信地大谈特谈石油的生成，而地质学家们则竭力使自己

的概念适合化学家们的假说。某些人似乎已忘记了地质学本身也是一门科学——即便不如数学、化学、物理学严密，但仍不失为一门具有自身逻辑性的科学。地球化学假说也只有经受住了地质实践的验证才可能成立。当然，这不是说地球化学家们都不正确，而只是想说明一个道理：要探求石油生成和运移的真谛，必须将地质和地球化学有机地结合起来，寻找对双方都成立的假说。现在还很难肯定哪个大油田已实现了这一点。

最后，要提请大家注意的是，一个假说正确与否不能由投票来决定。大多数人的意见并不总是正确的。例如，1950年举行评议大陆漂移学说正确性的投票，其结果与1980年举行的根本不同，而我的朋友S.W.Carey可能在这两次投票中都站在少数派一边，或许他历来就比我们这些人更正确！

综上所述，我衷心地希望，我的读者们在阅读本书时最重要的是理解其内容，要努力抓住各种问题的实质，尤其是要探索出一种能独立评价石油地质特征的方法。各种问题的答案都应到含油区和非油区的地质实践中去探求，而不应只从书本中去寻找。

Richard E. Chapman

1982年10月3日于布里斯班

附 笔

当这本书印刷时，我参考过的两篇论文已经出版。一篇是Minturn (1982) 所写的有关埃科菲斯克油田的振奋人心的讨论，该文涉及反射法地震勘探的几何解释；另一篇是潘钟祥 (1982) 关于基岩油藏的引人入胜的重要论述，该文包括几个在本书中未描述过的油田。另外，还有新版的《东南亚地温梯度图》，此版本我尚未见到。

参 考 文 献

Minturn, L.W., 1982. Ekofisk; first of the giant oil fields in western Europe; discussion. *Bull. AAPG*, 66: 1408—1411.

P'an Chung-Hsiang, 1982. Petroleum in basement rocks. *Bull. AAPG*, 66: 1597—1643.

补 充 说 明

不久读者们就会读到涉及石油生成和运移课题的两篇重要论文：

Goldstein, T.P., 1983, 在石油生成和成熟过程中的催化作用。 *Bull. AAPG*, 67: 152—159. Wilson, H.H., 1982, 主要产区——沙特阿拉伯的烃类聚集地：讨论。 *Bull. AAPG*, 66: 2688—2691.

目 录

译者的话	(i)
前言	(ii)

第一篇 总 论

第一章 沉积盆地的概念	(1)
提要	(1)
引言	(1)
沉积物的堆积作用	(3)
海侵和海退	(6)
全球性海平面变化	(8)
沉积盆地中的岩性组合	(11)
沉积盆地分类	(14)
沉积盆地的几何形态	(14)
参考文献	(15)
第二章 沉积盆地的早期变形：生长构造	(17)
提要	(17)
引言	(17)
定义和术语	(18)
生长断层	(19)
生长断层的性质	(20)
生长背斜	(24)
参考文献	(27)
第三章 沉积物和沉积岩的压实作用及其后果	(29)
提要	(29)
沉积物和沉积岩的压实作用	(29)
孔隙水的排出	(37)
孔隙水压力	(38)
沉积岩中孔隙水的力学状态	(40)
流体从异常高孔隙压力带向外的运移	(43)
参考文献	(45)
第四章 石油地质学概要	(47)
引言	(47)
地质推理	(48)
石油地质学	(50)

石油	(50)
烷烃 (链烷烃) 系列	(51)
环烷烃系列	(51)
芳香烃系列	(52)
水	(53)
石油的生成	(54)
石油的运移	(56)
石油的捕集	(57)
地球物理学	(59)
地震地层学	(62)
参考文献	(65)
第五章 钻井 (略)	
第六章 测井 (略)	
第七章 油、气田的性质	(67)
提要	(67)
大油田	(69)
Zipf规律	(69)
富油国家	(74)
参考文献	(77)
第八章 油、气储集层的性质	(78)
提要	(78)
储集层的性质	(78)
含水饱和度	(79)
压力	(84)
渗透率和相对渗透率	(84)
开采机制	(87)
二次采油	(92)
参考文献	(93)
第九章 石油的生成和运移——地质学和物理学问题	(95)
提要	(95)
引言	(95)
运移的水动力学问题	(96)
二次运移	(99)
运动水体中的运移	(101)
二次运移的速度	(107)
石油在圈闭中的聚集	(108)
石油在碳酸盐岩中的生成和运移	(109)
参考文献	(113)
第十章 石油的生成和运移——地质学和地球化学问题	(115)

摘要	(115)
引言	(115)
煤和石油	(118)
初次运移	(119)
高蜡原油	(122)
原油生成后的变化：水洗作用和生物降解作用	(123)
参考文献	(126)
第十一章 石油生成、运移和聚集问题的讨论	(130)
摘要	(130)
生油岩相对于油藏的地层位置的证据	(130)
油气运移和断层	(140)
参考文献	(144)

第二篇 海侵层序的石油地质学

第十二章 化石珊瑚礁	(147)
摘要	(147)
引言	(147)
大湖区的志留纪礁	(150)
加拿大西部的泥盆纪礁	(152)
墨西哥的白垩纪礁	(157)
利比亚的古新世礁	(158)
参考文献	(161)
第十三章 古地貌圈闭和不整合圈闭	(163)
摘要	(163)
古地貌圈闭和古地形圈闭	(163)
不整合圈闭	(166)
普拉德霍湾油田	(168)
北海	(172)
澳大利亚巴斯海峡油气田	(176)
参考文献	(180)

第三篇 海退层序的石油地质学

第十四章 异常压力	(183)
摘要	(183)
观测结果	(183)
观测结果的解释	(185)
过渡带的性质	(187)
讨论	(190)

引起异常压力的其它可能原因	(192)
油层形状	(192)
粘土矿物成岩作用	(192)
构造作用	(192)
渗透作用	(193)
石油的生成	(193)
参考文献	(194)
第十五章 底辟、底辟作用和生长构造	(196)
提要	(196)
底辟	(196)
盐底辟	(197)
泥岩(页岩)底辟	(198)
小结	(199)
底辟作用	(199)
讨论	(203)
生长构造和维底辟作用	(206)
伊里安查亚地区瓦罗潘岸上的格萨背斜	(206)
文莱诗里亚油田	(208)
沙捞越米里油田	(209)
参考文献	(210)
第十六章 总结	(212)
提要	(212)
引言	(212)
沉积盆地的变形	(213)
海退层序	(214)
裂谷盆地	(219)
参考文献	(226)
附录 I 页岩声波时差图的编制和应用	(230)
方法的实际应用	(232)
地质解释	(232)
压力估算和解释的实例	(233)
参考文献	(234)
术语汇编	(235)

第一篇 总 论

第一章 沉积盆地的概念

提 要

(1) 如果某一地区沉积物的堆积速率明显地比相邻地区同时代沉积物的堆积速率大，因而其中堆积的沉积物的厚度也大得多，则这种地区就叫做沉积盆地。其中的沉积物是由于盆地的沉降而堆积起来的。

(2) 地质学中关于沉积盆地的概念与地理学中关于自然地理盆地的概念是不一样的。沉积物的堆积作用与沉积作用二者也是有区别的，因为并不是所有沉积下来的沉积物都能在一段有意义的时期里堆积在地质记录中的。

(3) 在沉积盆地中堆积起来的沉积物的性质与作为它们的物源区及沉积区的自然地理盆地的环境有关。

(4) 在典型情况下，沉积盆地都是以海侵层序开始，而以海退层序为其终结，不过其发展史是漫长而复杂的。海侵层序记录了海水的普遍加深、陆地面积的缩小以及岩相向陆地方向的迁移。海退层序记录了海水的普遍变浅、陆地的扩大以及岩相向海洋方向的迁移。

(5) 大多数有意义的碳酸盐岩层序是海侵层序。砂质层序既可以是海侵层序，也可以是海退层序，但所有重要的海退层序都是砂质层序。

(6) 全球性海平面变化在所有有沉积物堆积的活动沉积盆地中都留下了记录。由于大地水准面变化而引起的海平面变化会在世界上某些地区形成海侵层序，而同时在另外一些地区则形成海退层序。

(7) 在沉积物堆积作用和沉积柱的沉降还在继续进行的过程中，沉积盆地可以由于断层和褶皱而发生变形。

引 言

石油地质学在很大程度上就是沉积盆地地质学，因为有工业意义的石油正是聚积在沉积盆地中的。因此，一开始就对“什么是沉积盆地”这一问题有一个清晰的概念是十分重要的。

沉积盆地可以定义为：“在一段特定的时间内，沉积物明显地具有较大堆积速率的地区，其中的沉积物的厚度与周围地区的相比显然较大”。这不是一个完全令人满意的定

义，因为厚度是不确定的（这种不确定性现在仍然存在）。对沉积盆地下的任何定义，其基本点都应该是相对于邻区的沉积物堆积作用的强弱以及其相对厚度（不是绝对厚度）。

地球表面可以分为三大类地区：侵蚀区、沉积物堆积区以及侵蚀和堆积都不占优势的中间区。活动的沉积盆地是堆积区。它们可大可小、可深（沉积物厚）可浅（沉积物薄）；它们可以在一个通常可长达数千万年的地质时期内持续存在；可以一直在同一地区发育、也可有一定程度的迁移。沉积盆地的年龄就是堆积在其中的沉积物的年龄。沉积盆地可以变化多端，因而各具特色，但它们仍具有若干共同的基本属性

沉积盆地的概念和自然地理盆地（physiographic basin）的概念是不一样的。自然地理盆地是在陆地表面或海底的凹地，其中可以有沉积物充填，但也可以没有。一个自然地理盆地中有一部分地区是侵蚀区，为该盆地其他部分的沉积物提供物源。在堆积沉积物的地区，沉积物的顶面不一定在各处都成为洼地，它们与并非正在堆积沉积物的相邻地区在地形上很难区分。

例如，在美国米德兰地区有一个巨大的自然地理盆地，其中的地表水主要经由密西西比河和密苏里河流入墨西哥湾

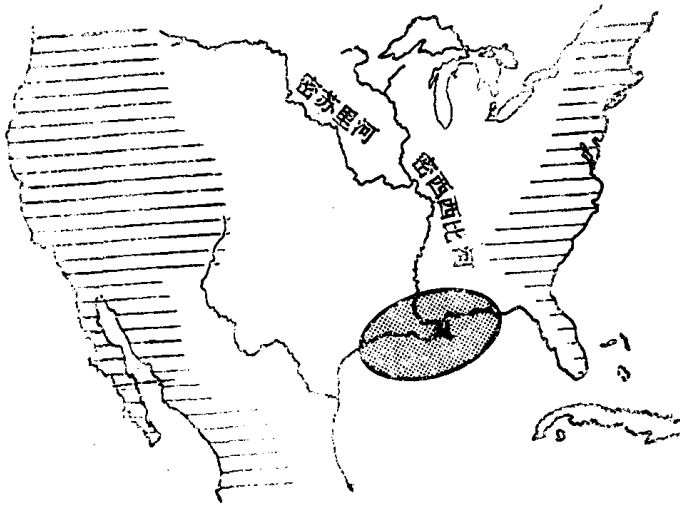


图1-1 在北美洲中央自然地理盆地中搬运的沉积物主要堆积在沿岸区而不是在墨西哥湾的深水区的地区却不是堆积沉积物的主要地区。

（图1-1）。北美洲的很大一部分地区及墨西哥湾都属于这一盆地。在这一地区内，沉积物来自周围地区（主要是落基山脉及阿巴拉契亚山脉），并向海洋方向搬运。有些堆积在河流的泛滥平原之中或其上，有些堆积在墨西哥湾沿岸，有些则进入墨西哥湾并堆积在那里。世界上最重要的沉积盆地之一位于墨西哥湾沿岸广大地区之下。这里的沉积物的厚度远大于同一时期在墨西哥湾深水区所堆积的沉积物的厚度。沉积盆地的表面并未形成一个洼地，而墨西哥湾内地形明显下凹

的地区却不是堆积沉积物的主要地区。

1. 自然地理盆地中沉积物的性质取决于盆地周围地区的风化、侵蚀等地质条件，以及盆地中的自然地理条件和气候条件。堆积起来的沉积物的性质还取决于它们在盆地内的搬运过程及沉积盆地在自然地理盆地内的位置等因素。如果沉积盆地在沿岸地区，则会堆积近海相沉积物；如果在海岸平原上，则会堆积河流相沉积物；如果在滨外，则堆积海相沉积物。

沉积作用是一回事，而沉积物的堆积作用则是另一回事。河流的入海口可以是发生大量沉积作用的良好场所，但如果在沉积物发生沉积的环境中有足够能量（波浪能和海流能）的话，沉积物将又被搬至别处，而在河口附近则可以极少或甚至不发生沉积物堆积作用。沉积物的再分布取决于其物理性质（颗粒的密度、大小和形状）及用于移动沉积物的能量。在波浪和海流的影响下，沉积物将沿着海底移动，直至达到该处的能量已不能再使

之移动的地点时为止。这时，沉积物就将在那里堆积起来。

但是，如果沉积物的堆积作用使沉积表面上升到一个具有较高能量的平面时，由于那里的水较浅，波浪和海流的能量较强，以致足以将沉积物搬到别处去，那么沉积物也就只能堆积到这个平面为止。这就是Barrell(1917)在一篇关于沉积地质学的重要论文中提出的关于海洋环境基准面的概念。

基准面(base level)是沉积物不再堆积也不再受侵蚀的平面，也是达到这种平衡的一个理想面。环境的能量是平衡式的一端，而沉积物的物理性质看来是另一端。“Base level”一词是作为单数来用的，而且必须认为它是以一种特定的、分选极好的物质为基准的。这是对复杂得多的实际情况的一种简化方法。实际上，每个粒级的沉积物和每个沉积颗粒都有一个相应的基准面。一种分选不好的沉积物在一个给定的地点有一系列基准面。沉积物是堆积下来，还是继续前进，取决于各个颗粒的基准面是位于沉积表面之上还是之下。

基准面还可以从另一个角度来看。在海底的每一个地点都有一个粒级恰好（而且仅仅是恰好）不能被该地点的有效能量所移动。这就是说，在这一地点，该粒级的基准面就恰好与海底相吻合。更细粒级的沉积物在这里不会堆积起来。

正是这种普通的过程造成了在这一地区堆积砂、而在另一地区堆积泥的现象。这是一种自从物质一成为河流负载之后就在起作用的过程，但对除海洋环境以外的其他环境来说，基准面的概念就较难应用，所以用处也不大。堆积在某一地点的沉积物只是该处总沉积物中不能进一步搬运的部分。因此，我们一定不要把一个岩石单位看成是搬运到该地点的沉积物的典型样品。

基准面随着潮汐、季节和气候的变化而上下波动。在大陆架上，随着基准面的波动，同时还发生海流强度以及波浪和涌浪波长的变化（因为波浪的能量不是作为振幅的函数、而是作为波长的函数随着深度的增加按指数关系递减的）。似乎有理由假定，在大陆架上几乎没有什么地区是一直位于最低基准面以下的。这种最低基准面由在100年或1000年中偶而出现的特殊环境所造成。如果大陆架的外形和与之有关的海平面保持不变，而且平均风暴强度和海流强度以及它们相对于本身的平均值的变化也保持不变的话，那末，在大部分沉积物经过大陆架最终进入深水区的同时，总会有一些沉积物在大陆架上形成平坦而薄薄的层状堆积。水深随着远离陆地而逐渐增加，以及随之发生的沉积表面上的平均能量或最大能量的逐渐减小，会导致碎屑物质的全面分选。由海岸向大陆架边缘方向，颗粒性质发生如下变化：从粗到细、从密度较大到密度较小、从球状到棱角状。在地质记录中并未显示与此不同的分选趋势，但确实可以看到在某些地区有巨厚的沉积物堆积而在另外一些地区则没有堆积的情况。这种情况是由于另外一种因素的影响造成的：沉积表面相对于基准面的下降。

沉积物的堆积作用

Barrell关于沉积物堆积作用概念的实质反映在他的图解中，见图1-2 (Barrell, 1917, p. 796, 图5)。图解表示了一个总趋势是上升的基准面的情况，其中包含了两个更低级别的起伏。这个图解对于一个上升的基准面或一个沉降的沉积柱来说是合适的。正是这种

对变化才是重要的。沉积物在基准面上升时期堆积起来，而在基准面下降时期则被搬走^①。在这一过程中，既有沉积物增加的情况，也有沉积物减少的情况，但只有一直位于基准面振荡范围以下的沉积物才能持久地堆积下来。沉积间断是由于小的振荡所造成的，而假整合则是由大的振荡所造成的。一个层序中实有的沉积物可能只代表堆积这一层序所花费的总时间中的一小部分，因为图解左面的层序只是在图解上方的时间标尺中标成黑色的时间间隔期里堆积起来的。

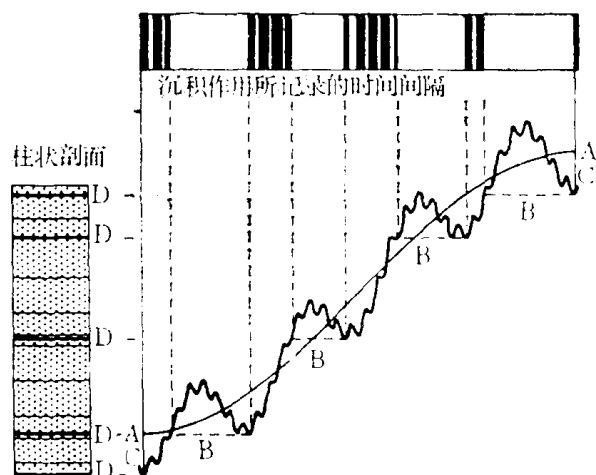


图1-2 由于基准面振荡形成的沉积记录

AA是上升基准面的基本曲线；B是造成假整合的次一级振荡；CC中包含有造成沉积间断的第三级振荡(据Barrell, 1917, p.796, 图5, 重绘)

沉积表面（现在我们必须把它理解成为沉积物正在或曾经在其上搬运的表面）的下降为沉积物的堆积提供了一种潜势，因为从基准面起伏影响范围之外的地区不断获得部分沉积物的可能性总是存在的。沉积表面下降得越迅速，持久地堆积起来的沉积物所占的比例也就越大（当然最多只能达到所供给的沉积物全部堆积起来为止）。

因此，沉积物堆积作用可以看成是沉积物供应能力和该环境将它们搬走的能力之差。沉积盆地就是指在一段时间内有沉积物供应、并有将它们全部或部分保存下来的能力的区域。

认为沉积堆积通常是沉积物从悬浮状态直接降落下来而造成的这种观点显然是错误的。只有当沉积表面位于基准面以下而且沉积物颗粒的粒级极细时，沉积物才是以这种方式堆积起来的。一般说来，沉积物在大陆架的海底上要经过再分布。这种规律对于泥及其他细粒沉积物也是适用的，因为在大陆架地区几乎没有什么地方是在泥的基准面以下的，而泥的基准面的位置要低于比泥粗的沉积物的基准面。

Barrell的工作为认识沉积盆地奠定了基础。基准面起伏造成了不连续的沉积物堆积作用。这一概念与长期观察得到的下述结论是吻合的：在较长的地质时期（代、纪）里，沉积物堆积的最大净速率远比直接自近代沉积物本身测得的堆积速率要低得多。堆积作用的最大净速率是以该时期的年数除在这一期间堆积的沉积物的已知最大厚度求得的。表1-1给出了显生宙期间的堆积作用最大净速率。与表中给出的速率形成对比的是：美国墨西哥湾沿岸地区全新世沉积物的堆积速率约为每500年堆积1m；而委内瑞拉佩德尔纳莱斯奥里诺科三角洲的堆积速率则达到每100年堆积1m (Kidwell and Hunt, 1958)。而且，正如Barrell所指出的，在世界上许多地区的地质记录中，在不同时代的岩石里都发现有树干化石保存的情况。这说明它们在腐烂以前就已被掩埋了。这一情况意味着堆积速率是较快的，堆积1m岩石的时间要以几十年而不是以几千年来计量。

Barrell的概念也要求我们在用现代环境解释地质记录时要十分谨慎。在正常情况下，

①为简化起见，沉积物在图解中只用单一的、分选极好的物质表示。

表 1-1 显生宙沉积物堆积速率 (堆积1m岩石需要的年数) (据Holmes, 1960)

显	生	宙	4400
古	生	代	5700
中	生	代	4100
新	生	代	2100

注: 对堆积速率随时间的推移有明显增加这一情况的解释必须慎重。这可能是实际情况, 但是必须注意到, 较年轻的岩石受破坏的机会较少, 测量的机会也较多。

现代沿海底搬运着的沉积物中只有一小部分能保存在它们现在所在位置的附近, 并且也并非所有堆积起来的沉积物都会在地质历史中保存一段较长的时间。此外, 更新世以后的时期是一个海平面和基准面普遍上升的时期, 所以它是一个活跃的时期。但它不一定始终是如此的。这一时期沉积物的堆积速率平均可达到每1000年堆积约1m〔如果我们接受Gutenber (1941, p.729) 根据验潮仪记录得出的代表全新世情况的数字的话〕。

一般说来, 虽然在一些有波痕、动物遗迹和潜穴的薄层中可以发现一些例外, 但把地层记录中的岩石单位就看成是今天海底上的沙洲、浅滩、沙坝、潮坪等的类似物的话, 那将是错误的。把岩石单位看成是不同成分的沉积物的经历的不完整记录, 而层理面则代表沉积间断, 这样往往要准确得多。一层纯净的砂层并不一定是在纯净的砂质海底沉积的, 因为其中的泥可能已被簸洗出去堆积在别处了。

例如, 一个大型沙洲在海底上的迁移可以以一个侧向上不连续的薄砂质单元记录于地层层序中, 这个砂质单元仅仅包含了一直保持在基准面以下的那部分沉积物。沙丘的形状不会很明显, 甚至还可以没有水流层理的痕迹。同样, 从更小的规模来看, 要使波痕能保存下来, 就要求一次潮汐形成的紧靠在该粒级的基准面之上的沉积表面为下一次潮汐形成的沉积物保护层所覆盖, 而基准面则应一直位于波痕面以上。看来, 波痕面只有在沉降非常迅速的地区才是常见的, 它是由特殊的事件所保存下来的一种普通的特征。形成这种看法是很自然的, 因为在浅水区和潮间带, 一般的波痕面是不大可能保存下来的。有时人们把蠕虫潜穴解释成为缓慢的沉积物堆积作用的证据。但从基准面的角度来考虑则说明, 它更可能是沉降非常迅速的证据。

虽然自然地理盆地的概念与沉积盆地的概念是有很大区别的, 但沉积盆地一定是位于自然地理盆地之中的, 因为正是自然地理盆地才对沉积物供应起着主导作用。把两者结合起来考虑的下述概念是有生命力的: 自然地理盆地随时间的变化影响堆积在沉积盆地中的沉积物的类型和性质。

沉积物供应量与沉降显然常常十分接近于平衡, 因为我们发现一种特定环境下的沉积物可以具有巨大的厚度。这种平衡比现实情况更为明显, 然而绝对的平衡则或许是很罕见的。一般地说, 沉降的速率等于沉积物堆积的速率, 这就导出了平衡的观点。更确切地说, 应该认为是堆积的速率等于沉降的速率, 这样表达也更为实用。厚度巨大的同相沉积物的堆积只是反映了整个沉积盆地区域内自然地理环境的稳定, 而其余的沉积物则被移走了。

对沉积物堆积作用起主要控制作用的是沉降 (假定有沉积物供应), 因为在没有沉降的情况下堆积下来的沉积物随后很容易被分散。对堆积起来的沉积物的性质起主要控制作用

的因素则是沉积盆地外围的自然地理盆地中的沉积物物源、沉积环境及其能量水平。对于一种特定岩石类型的横向连续性问题应考虑到三度空间及时间。有许多原因可以使一个岩石单位在全区不连续：(1)沉积物没有分布到全区；(2)沉积物虽然分布到了全区，但是没有在全区堆积起来；(3)沉积物虽然分布到了全区，并已堆积起来，但由于能量型式的变化而使得在部分地区的堆积作用只维持了一段时间。

有一个结论是很清楚的：沉积盆地中不连续岩石单位的边缘不一定是它在自然地理盆地中所代表的环境的边缘。沉积盆地中岩石类型的层序以及它们在区内的分布构成了自然地理盆地中这一地区的环境随时间推移在空间上的变化情况的记录，它是变化多端的，而且极不完整。

海侵和海退

当在自然地理盆地中发生的相对于基准面的沉降超过了沉积物供应量的补偿能力，亦即这一区域具有了堆积比供应量更多的沉积物的能力时，这里的沉积表面将越来越深，而各种岩相则逐渐向陆地迁移（图1-3）。这就是沉积盆地发育过程中的海侵阶段，在此期间

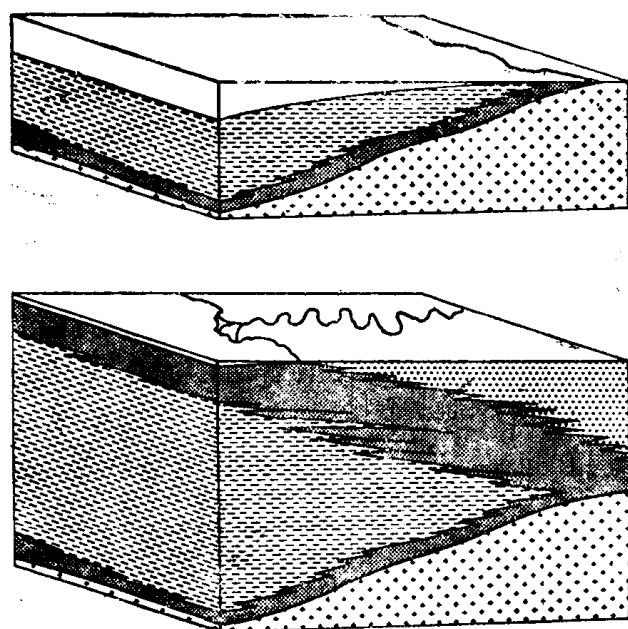


图 1-3 表示海侵层序（上）及其后紧跟海退层序的海侵层序（下）的立体图
虚线表示浅海相；细点表示浅海-近海相；粗点表示近海-陆相

堆积具海侵层序的沉积物。在这一过程使基准面上升到沉积表面以上的地区会形成远洋沉积物的堆积，而且可以达到很大的厚度。在海侵阶段，沉积盆地有扩大的趋势，但只有当相对于基准面的沉降是持久的时候，这种扩大才是持久的。

如果自然地理盆地中某一部分的海变浅，而且岩相向海洋方向迁移，这就是盆地发育的海退阶段。我们要先阐明一下有关海侵和海退的术语和概念，因为它们对地质学（一般地说）和石油地质学（特殊地说）都是十分重要的。下面首先谈一下海退。

“海退”的定义是海平面相对于陆地的降低。发生海退时，

滨线及与之有关的环境和相都向海洋方向迁移，并伴随着陆地面积的扩大。这是有关海退的基本概念。由此又可以导出以下面的形式表达的第二个概念，这就是：如果供应到一个地区的沉积物的总量过大，使分散它们所需要的能量超过了所能得到的能量，则基准面就会上升，而且会有相应数量的沉积物堆积起来。堆积起来的沉积物势必使陆地面积扩大，各种相也逐渐向海洋方向迁移，即所谓“进积”。这两种型式的海退只有一点微细的差别，但这个差别在地质学上却是相当重要的。如果有沉积物堆积的话，两种海退都会在地质剖