

# 沉积盆地 分析原理

[加] A.D. 迈尔 著

石油工业出版社

# 沉积盆地分析原理

[加] A. D. 迈尔 著  
孙枢 等译 陈昌明 校

石油工业出版社

## 内 容 提 要

本书对盆地分析所涉及到的资料收集、地层对比、相分析、盆地制图方法、沉积体系及埋藏史作了详细的论述，并用较大篇幅深入讨论了区域和全球地层旋回以及沉积作用和板块构造等综合性更强的问题。作者注重实际，摒弃空洞的理论推导。全书取材遍及世界各地，内容丰富，图文并茂。

可供有关院校师生、高级研究人员参考；亦可作为从事盆地分析研究的有关科研与生产人员的学习指南。

\* \* \*

参加本书翻译的有孙枢、陈吕明、李继亮、王清晨、陈海泓、胡强、柯保嘉、张绍宗和陈景山。全书由陈吕明统校。

Andrew D. Miall

### Principles of Sedimentary Basin Analysis

Springer-Verlag New York Berlin Heidelberg Tokyo 1984

\*

### 沉积盆地分析原理

【加】A. D. 迈尔著

孙枢等译 陈吕明校

\*

石油工业出版社出版

(北京安定门外安华里二区一号楼)

石油工业出版社排版印刷

新华书店北京发行所发行

\*

787×1092毫米 16开本 30印张 756千字 印1—1,500

1991年5月北京第1版 1991年5月北京第1次印刷

ISBN 7-5021-0472-0/TE·453

定价：7.70元

## 前 言

本书拟作为一本实用手册，写给那些从事古代沉积盆地古地理演化分析的人员。地层学与沉积学是此类工作的中心，尽管近年来已有好几部出色的沉积学教科书问世，但却几乎没有写到现代地层学方法的。沉积学教科书倾向于采用由物理学和化学理论以及由现代环境研究所建立的理论法。通常难以将这些知识用于古代岩石的实际问题，对观测、制图及解释的方法也很少起指导作用。

本书并不把理论放在首位，而是侧重于地质学家从露头、钻井记录、岩心中能实际看到，以及用地球物理技术能获得资料。采用一种新的地层学方法，试图解释岩石地层单位的成因，而不去强调正式描述与命名的重要性。书中还有一些章节解释了相分析原理、盆地制图方法、沉积体系，及盆地热历史的研究，这些对燃料与矿产的成因极为重要。最后，还试图通过在板块构造和全球海平面变化的背景中考察盆地，从而把每一项研究都联系在一起。大量而重要的古气候学、成岩作用及沉积地球化学内容在这里没有述及，一些与埋藏史有关的成岩变化特征当属例外。这些领域没有一项对本书主题是至关重要的，尽管地球化学资料在化学沉积物及其沉积环境研究中的重要性正日益显著。盆地分析在经济上的应用（如勘探沉积矿物组合与油气地层圈闭类型）未加详述，尽管书中有几处指出了对勘探的某些意义。

希望本书能对那些从事各种非再生性燃料与矿物资源勘探的人员有用，并对那些正要去进行第一次野外工作的大学生、进行地方性或区域性盆地分析研究的学者，及其他地质学家均有所裨益。除第四章的结论部分论述了相模式理论的最新进展外，第一章至第四章是入门性的。第五章至第七章是写给高年级学生的，第八、九两章写给毕业班大学生、研究生和专业地质学家。书中最后这一部分假设读者已具备足够的板块构造原理知识。愿本书能用于一个学生的培养与其专业生涯的始终，并为学习地层学、沉积学、盆地分析、石油地质和矿物开发等大学生、研究生提供重要的参考文献。

A. D. Miall

# 目 录

前言	
<b>第一章 绪论</b> .....	( 1 )
第一节 本书的范围和目的.....	( 1 )
第二节 地层学的新进展.....	( 2 )
参考文献.....	( 6 )
<b>第二章 资料搜集</b> .....	( 8 )
第一节 引言.....	( 8 )
第二节 研究类型和资料问题.....	( 8 )
第三节 描述岩石——地表地层剖面.....	( 15 )
第四节 描述岩石——地下地层剖面.....	( 55 )
参考文献.....	( 68 )
<b>第三章 地层对比</b> .....	( 70 )
第一节 引言.....	( 70 )
第二节 地层单位的类型.....	( 71 )
第三节 地层程序.....	( 72 )
第四节 岩石地层学.....	( 74 )
第五节 生物地层学.....	( 86 )
第六节 年代地层学和地质年代测定法.....	( 102 )
参考文献.....	( 123 )
<b>第四章 相分析</b> .....	( 128 )
第一节 引言.....	( 128 )
第二节 相的含义.....	( 128 )
第三节 相类型的识别与划分.....	( 129 )
第四节 相组合与相模式.....	( 136 )
第五节 环境鉴别标志综述.....	( 149 )
第六节 八十年代的相模式.....	( 181 )
第七节 结论及对地层规模的考虑.....	( 197 )
参考文献.....	( 199 )
<b>第五章 盆地制图方法</b> .....	( 209 )
第一节 引言.....	( 209 )
第二节 构造等高线图和等厚图的绘制.....	( 210 )
第三节 岩相图.....	( 212 )
第四节 地球物理方法.....	( 221 )
第五节 碎屑岩类数据.....	( 233 )
第六节 计算机制图方法.....	( 240 )

第七节 取样密度和图件的可信度	(244)
第八节 地层横剖面	(248)
第九节 古水流分析	(253)
第十节 古地理综合	(264)
参考文献	(269)
<b>第六章 沉积体系</b>	<b>(273)</b>
第一节 引言	(273)
第二节 地层构型	(273)
第三节 陆相沉积体系	(276)
第四节 海岸沉积体系	(283)
第五节 碎屑陆架和伴生的沉积体系	(288)
第六节 碳酸盐和蒸发盐沉积体系	(291)
第七节 陆坡、陆隆以及盆地的碎屑沉积体系	(302)
第八节 沉积体系与地层名称	(311)
参考文献	(315)
<b>第七章 埋藏历史</b>	<b>(318)</b>
第一节 引言	(318)
第二节 地层学分析	(318)
第三节 岩相学和地球化学分析	(320)
第四节 研究实例选	(323)
参考文献	(329)
<b>第八章 区域性和全球性地层旋回</b>	<b>(330)</b>
第一节 回顾“千层糕”史	(330)
第二节 地震地层学的贡献	(335)
第三节 旋回中的旋回	(345)
第四节 全球性海平面变化的原因	(358)
第五节 盆地勘探中的层序概念	(363)
第六节 结语	(364)
参考文献	(365)
<b>第九章 沉积作用与板块构造</b>	<b>(368)</b>
第一节 盆地模式概念	(368)
第二节 盆地分类	(369)
第三节 盆地模式	(373)
第四节 碎屑岩相	(447)
第五节 前寒武纪的盆地模式	(451)
参考文献	(459)
<b>第十章 结语</b>	<b>(470)</b>
参考文献	(472)

# 第一章 绪 论

## 第一节 本书的范围和目的

世界上大部分非再生性燃料资源和许多金属和矿物资源来自沉积岩，其时代自太古代至新生代。探查此类资源需了解其与宿主岩层的关系，不论它们是与沉积物同时形成的原生矿床，如煤矿和砂矿，还是其分布取决于沉积物孔隙度和渗透率的沉积期后矿床，如后生金属矿床和石油。

对这类宿主岩层的研究有一方便的名词叫盆地分析，其最重要的结果是揭示一个沉积盆地的古地理演化。这种工作可包括许多内容，最重要的是地层学、构造学和沉积学。岩石本身可在露头或钻孔中加以观察，或者可用地球物理方法获得资料。

盆地分析需要了解多种不同的地质专业，要有对各类证据间的关系作出评价的能力。在大学或生产部门的培训课程中，难得讲授进行满意的综合所需的技能，但是，石油和矿业方面的许多专家，以及为政府地质调查从事区域性项目的专家们所进行的工作则需要这类技能。正如 **Baillie** (1979) 所指出的，在大多数这类机构中，生物地层学、地球化学、地球物理学以及也许还有岩石学方面的专家们提供着同某个研究课题或勘探项目有关的一大批日益复杂的详细的技术信息，但是还得要由项目负责人或地区地质学家去弄清所有这些资料的意义。这些专家应当开拓自己的广阔视野，要在相当程度上懂得采用这些数据去重新检验他们的模式，并在情况不符时，懂得去重新检验这些数据本身。

希望本书对高年级大学生和研究生的课程是有用的，愿其对专题研究能提供一些新思路。沉积地质学的很多专题研究在很小的地区内作得非常详细，但忽略了区域上的相互关系，或者只集中精力发展一种技术或专业，而不考虑它类资料的重要性。

过去从未强烈需要过一本讨论盆地分析的现代教科书。近二十年来，沉积学、地震地层学和地球化学的长足进展，地层分析的沉积体系方法的演进，全球性海平面变化记录及板块构造学的冲击已经引起了盆地分析方法和结果的一场革命。在处理地层学方法和沉积作用与大地构造的关系这些广泛问题方面，上一部著作出自 **Krumbein** 和 **Sloss** (1963) 手笔。这部非常成功的著作作为地层学—沉积学课程的标准教材一直使用了多年，至今一些大学仍然在使用。但现在它几乎完全过时了。这方面最新的教科书已经专业化了，分别讨论沉积学 (**Selley**, 1970, 1976; **Friedman and Sanders**, 1978; **Reading**, 1978; **Blatt et al**, 1980), 岩石地层学 (**Conybeare**, 1979), 正式地层命名法 (**Hedlbrg**, 1976), 趋势分析 (**Potter and Pettijohn**, 1977), 地下录井分析 (**Pirson**, 1977) 或地震地层学 (**Payton**, 1977)。本书之目的是想表明如何把这些分支学科一起综合在盆地分析这一现代科学中。关于地球沉积史的许多令人兴奋的新发现由 **Hallam** (1981) 在最近一本极值得一读的小册子中作了描述，而本书的重点在于介绍藉以获得这些发现的分析与综合的方法。

诸如相模式、趋势面分析、地震地层学等各种综合方法都有介绍，但又不能指望过于详尽，因为本书旨在表明如何使这些方法成为一个总体。与阐述理论相比，书中更偏重介绍实用方法。故而，可能会使一些读者感到没有满足他们对某些专题的要求，我希望所提供的参

考文献选录对此能有所补足，例如书中关于沉积构造的叙述方法。多数沉积学教科书都以不同详尽程度从介绍流体力学开始，转入沉积动力学和底形的产生，然后才讲到沉积构造。这是一个“正确”的理论方法，但大多数此类论述都忽视了一个事实，即由于沉积滞后效应(Allen, 1974)和到处可见的小型内部侵蚀面的存在，使得在解决古代岩石中一个实际问题时，很难用上这些理论知识。本书所用的方法是，首先描述沉积物中能见到什么，进而讨论由之可做出哪些种解释。

章节安排是由描述简单的可观测细节入手(第二章)，然后讨论地层学和相分析，最后论述板块构造及其对沉积作用的影响这一复杂问题(第八、九章)。然而致力于研究实际盆地问题的读者可能会发现自己是正在往复跳跃式地阅读各章，这是意料之中的，因为章节的顺序并不意味着一个盆地分析的实际步骤就一定与之相同。

## 第二节 地层学的新进展

### 一、传统地层学

以往由那些毫无创见性的教师所教授的地层学课程总是把学生们搞得头昏脑胀，传统讲授法为，选取世界某地区，费力地追溯其地层柱，罗列主要地层单位的名称，论述其岩性和化石内容。现在这可能已用于试图把地层学特征与克拉通和地槽沉积作用理论联系起来，但过去的重点却仅在于罗列群名、组名、段名，以及其它名称。其结果是导致地层学的“千层糕”观念——沉积物为一几何形态均一的毯状体，其边界为地层对比表中醒目的垂直竖线。

再不能沿用这种方法了。除那些具特殊历史意义的名称或揭示了重要地层学原理的地层单位的名称之外，组名应留给地方上的专家们。上述方面的许多科学进展现在已允许并需要一个完全不同的成因方法去讲授地层学。地层学不再是一门沉闷的描述性学科，它应代表我们基于对全球沉积作用和大地构造作用的根本性了解，在研究沉积岩方面所达到的最高成就。这就是本书概述这门科学各组成部分的主要目的之一。

遗憾的是，在当今地层学范畴中，我们不得不触及研究这一学科的大量不同的方法。在发达国家人口稠密的地区，沉积地质学中充斥了无数的地方性地层名称，这都是十九世纪以来细心的工作者在各自独立的填图区描述地方性层序时所建立的。有关盆地发育的陈旧观念和对沉积环境与相的关系的贫乏知识使早期地层学在建立地层单位时不考虑其真实成因。自Murchison与Sedgewick间关于威尔士下古生界的经典辩争始，有关地层对比与术语的争论无休无止。Krynine博士曾说过：“地层学是术语对常识的胜利。”整整一个世纪这一基本问题都没有改变：地质学家在观测所有地质特征之前总是需要(或希望)建立一个正式定名的地层单位。理想的地层单位应从全盆地着眼来建立，但实际上极少这样。地方性名称继续为那些研究有限地区的地质学家所提出，而他们对区域性情况却极少注意。

到1960年为止，地质学家只有两种十分不同的实用手段去研究地层学，即岩石地层学和生物地层学(见第三章)。深部勘探钻井，特别是第二次世界大战以来，有了长足的进展，但除了使各种微体化石成为生物地层学的一个重要工具，以补足过去的大化石研究，以及地下测井方法获得迅速发展外(第二章)，并没能从根本上改变地层学研究。

### 二、现代进展

自1960年以来，沉积地质学出现了五个根本性变化，所以今天的地层学如同在新区盆地(尤其是远滨盆地)所做的那样，成了一门全新的科学，它与诸如Dunbar和Rodgers



(1957) 或 Krumbein 和 Sloss (1963) 的经典教科书中所述的内容毫无关系。图 1.1 试图概括这些新技术的应用。

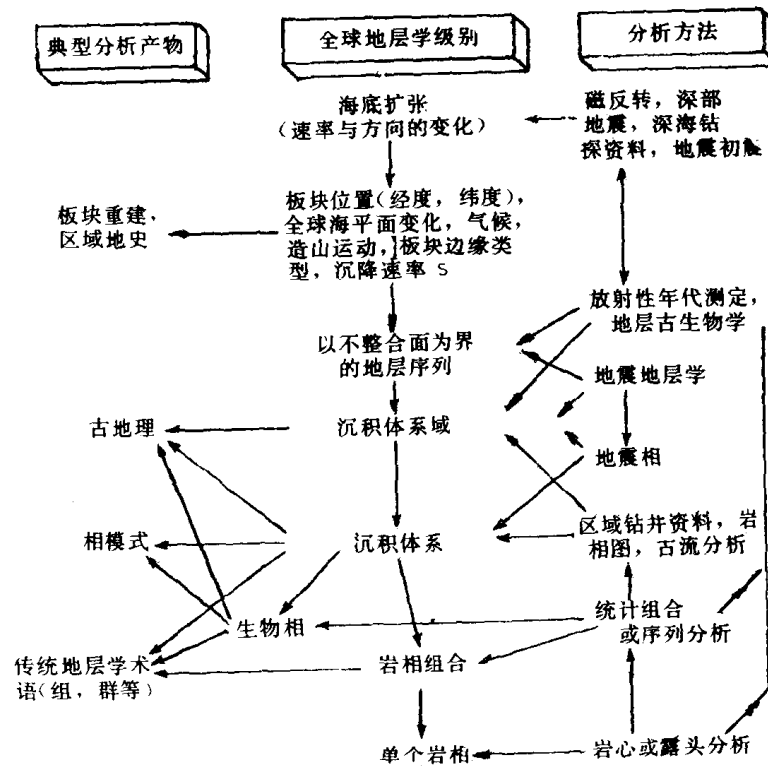


图 1.1 盆地分析流程图

上述五个根本性变化之一是沉积学已发展为一门成熟的科学，可通过相分析和相模式来解释沉积岩的成因。相模式的概念在 1958 年的一次会议 (Potter, 1959) 上首次被讨论，第一批相模式是 Allen (1963) 和 Bernard 等 (1962) 关于河流边滩的模式与 Bouma (1962) 关于砂质浊积岩的模式。今天，在广泛研究现代环境与古代岩石单位 (第四章) 的基础上，已可用这一方法解释和预测所有地层单位的组分、几何形态及定向性。

这一地层成因研究法已进而演化为“沉积体系”法，这一发展是得克萨斯经济地质局作出的，Fisher 和 Mc Gowen (1967)，Fisher (1969)，Brown (1969)，Fisher 和 Brown (1972)，Frazier (1974)，Brown 和 Fisher (1977)，Glaeser (1979)，Casey (1980)，Handford 和 Dutton (1980) 等人都应用过。这是主要进展之二，尽管这一概念在湾岸区之外尚未广泛使用。这一概念是 Walther 相律的扩大，该相律指明，在一个整合序列中，只有那些在自然界相邻出现的相才能在垂向序列中一起出现 (Middleton, 1973)。一个进积三角洲是其良好的范例，进积三角洲包括前三角洲，三角洲前缘 (海湾与分流河口)，三角洲平原 (分流河道和漫滩)，其相邻发育顺序与其沉积物在垂直序列中的顺序相同。一个沉积体系就是这样一种完整的环境及其产物的组合。沉积体系以不整合为界，或者相变为邻近的无成因联系的体系，如一个三角洲海岸过渡为一个碎屑沉积物贫乏的碳酸盐沉积陆架。使用沉积体系概念可预测大量沉积物的地层学关系，因其可按照大环境与古地理的重建来解释岩层 (第六章)。

主要进展之三是现代地震地层学技术的发展 (Payton, 1977)。沉积岩的地震反射层基本上是年代地层学的对比线 (Vail, Todd 和 Sangree, 1977)。现代探测与处理技术已将地震记录改进到这样一种程度, 全盆地的构型细节都可能观测并制图。这样就可划出大型沉积体系并将它们彼此相联起来, 从而使地下地质学家在第一口井开钻之前就能识别盆地中的主要地层分划单元, 并描述其组分, 以及在钻探早期阶段做出其内部变化的天才预测。由于能在陷入细节之前就看清整体, 地层学工作变得极为容易。请将此与地面地质学家在部分出露的不完整剖面上随机收集资料比比看。地震地层学方法的应用, 尤其是在新区盆地中, 已引出许多关于地层关系 (Mitchum 等, 1977) 及海平面变化 (Vail 等, 1977a、b) 的新概念。在 Sloss (1963) 工作的基础上, Vail 和他的合作者证实, 许多盆地的沉积物都可被划分为一些彼此独立的序列, 这些序列可在世界范围内做盆地间对比。全球性海平面变化是这种旋回形成的唯一可能的机制。证实显生宙海平面变化旋回的工作业已完成, 至少已具雏形, 这为区域对比和古地理解释 (第八章) 提供了新手段。

进展之四是板块构造学理论对我们认识盆地演化与沉积式样所起的极大影响 (Dickinson, 1974; Bally 和 Snelson, 1980; Miall, 1981)。这一点无须对二十世纪 80 年代的地质学家做解释, 进一步的讨论见第九章。

最后一项进展为年代地层学的改进, 这是借助放射性年代学的发展及过去十年来磁极反转地层学的发展而实现的。年代地层学研究岩石单位的绝对年龄, 一般用某年 (但国际通用公元 1950 年) 以前若干年来表示。用放射性方法来测定沉积岩的年龄是一项复杂的课题。其结果部分取决于经改进的先前用生物地层学方法建立起来的相对年表。Harland 等 (1964) 编辑的显生宙研究及其成果是一里程碑, 它已成为这一领域的参照标准, 尽管尚在不断修正。现在年代地层学的骨架已足够完善了, 至少各时期的主要次级分划, 如上、中、下泥盆统, 都可给出足够精确的年龄值。在某些情况下, 尤其是中、新生界岩石, 各个阶的年龄值都是相当可靠的 (第三章)。

对三叠纪以后而言, 一种相当不同的年龄测定技术正在迅速成型。Vine 和 Matthews (1963) 首先证实了地球磁场的周期性反向被系统地记录于大洋扩张中心处新形成的玄武岩地壳中。由于这些新地壳被携向线性扩张轴两侧运动, 磁极反转便被作为“永久性磁带”记录保存于其中。沿扩张方向横越洋底的详细海洋磁测工作已经揭示了磁反转历史, 它可由生物地层学方法和放射性方法测定年代, 并可在世界各大洋间进行对比。在这一磁反转序列中, 明显的阶段性称为异常, 并被顺序编号, 最新的为 1, 一直回溯排至 33 号异常, 其年龄值为 76Ma (百万年), 对比为坎帕阶 (晚白垩世) (Watkins, 1976; La Brecque 等, 1977)。对白垩纪其它时期, 另有一不完整的异常序列, 并被尝试性回溯至最老的未被扰动的洋壳, 年龄为晚侏罗世 (第三章)。由于不成序列及侵蚀面的存在, 在岩石地层中发掘这种记录遇到困难。在磁反转序列中, 尽管有些“正”极性或“反”极性间隔明显地长或短于其它间隔, 但没有几个是很独特的, 因而, 在不完整剖面中难于辨别。目前, 使用磁反转序列来研究岩石地层尚不成熟。这种方法可用于地方性对比, 但岩石越老越难与标准大洋序列作对比。

地球上最老的未被扰动的洋壳是侏罗纪的, 所以, 前侏罗磁反转地层学必须完全由沉积岩序列或火山岩序列中获得。能否能形成一门可靠的磁年代学用于这些岩层, 还需等待。

### 三、新的地层学方法

上述五个方面的进展均远未完善, 但它们已经需要一种全新的方法去定义、对比及解释地层单位。

过去，组是地层学工作的基础，主要因为对地面地质学家而言，以组为单位进行填图最方便（第三章）。组的激增已经妨碍了而不是促进了地层学作为一门科学的发展。今天，在一个新的或边远地区（那里人烟稀少），地质学家应该把定义组放在工作的末尾。第一步是建立起大序列的格架（第八章），最理想的是通过地震方法，或者如条件不允许，就用岩石地层对比和生物地层分带法（第三章）。下一步是按照组成它的沉积体系来解释每一序列（第六章），这要用沉积学资料，相分析原理（第四章）和盆地制图方法（第五章）。研究构造变形岩石或前寒武系时可能不得不从沉积体系搞起。在每一沉积体系内应能在成因标志基础上，使用前一阶段工作所做出的古地理综合，识别出组一级的单位。如有必要，这些组可被定义并命名，这可方便地方填图者或远景区勘探者（第三章），但实际命名只是使用这一方法的不太重要的一种改进，绝非地层学家努力的终极。

## 参 考 文 献

- ALLEN, J.R.L., 1963: Henry Clifton Sorby and the sedimentary structures of sands and sandstones in relation to flow conditions; *Geol. Mijnb.*, v. 42, p. 223-228.
- ALLEN, 1974: Reaction, relaxation and lag in natural sedimentary systems: general principles, examples and lessons; *Earth Sciences Reviews*, v. 10, p. 263-342.
- BAILLIE, A.D., 1979: The petroleum geologist—scientist or technician?; *Bull. Can. Petrol. Geol.*, v. 27, p. 267-272.
- BALLY, A.W., and SNELSON, S., 1980: Realms of subsidence; in A.D. Miall, ed., *Facts and principles of world petroleum occurrence*; *Can. Soc. Petrol. Geol. Mem.* 6, p. 9-94.
- BERNARD, H.A., LEBLANC, R.J. and MAJOR, C.J., 1962: Recent and Pleistocene geology of southeast Texas; in E.H. Rainwater and R.P. Zingula, eds., *Geology of the Gulf Coast and central Texas*; *Geol. Soc. Am. Guidebook for 1962 Ann. Mtg.*, p. 175-224.
- BLATT, H., MIDDLETON, G.V., and MURRAY, R., 1980: *Origin of sedimentary rocks*; 2nd ed., Prentice Hall Inc., Englewood Cliffs, New Jersey, 782 p.
- BOUMA, A.H., 1962: *Sedimentology of some flysch deposits*; Elsevier, Amsterdam, 168 p.
- BROWN, L.F., Jr., 1969: Geometry and distribution of fluvial and deltaic sandstones (Pennsylvanian and Permian), North-Central Texas; *Gulf Coast Assoc. Geol. Soc. Trans.*, v. 19, p. 23-47.
- BROWN, L.F., Jr., and FISHER, W.L., 1977: Seismic-stratigraphic interpretation of depositional systems: examples from Brazilian rift and pull-apart basins; in C.E. Payton, ed., *Seismic stratigraphy—applications to hydrocarbon exploration*, *Am. Assoc. Petrol. Geol. Mem.* 26, p. 213-248.
- CASEY, J.M., 1980: Depositional systems and basin evolution of the Late Paleozoic Taos Trough, northern New Mexico; Texas Petroleum Research Committee, Report No. UT 80-1, Austin, Texas.
- CONYBEARE, C.E.B., 1979: *Lithostratigraphic analysis of sedimentary basins*; Academic Press, New York, 555 p.
- DICKINSON, W.R., 1974: Plate tectonics and sedimentation; in W.R. Dickinson, ed., *Tectonics and sedimentation*; *Soc. Econ. Paleont. Mineral. Spec. Publ.* 22, p. 1-27.
- DUNBAR, C.O. and RODGERS, J., 1957: *Principles of stratigraphy*; John Wiley and Sons, New York, 356 p.
- FISHER, W.L., 1969: Delta systems in the exploration for oil and gas; *Texas Bur. Econ. Geol. Spec. Publ.*, 212 p.
- FISHER, W.L., and BROWN, L.F., Jr., 1972: Clastic depositional systems—a genetic approach to facies analysis; annotated outline and bibliography; *Univ. Texas Bur. Econ. Geol. Spec. Rept.*, 230 p.
- FISHER, W.L., and MCGOWEN, J.H., 1967: Depositional systems in the Wilcox Group of Texas and their relationship to occurrence of oil and gas; *Trans. Gulf Coast Assoc. Geol. Soc.*, v. 17, p. 105-125.
- FRAZIER, D.E., 1974: Depositional episodes: their relationship to the Quaternary stratigraphic framework in the northwestern portion of the Gulf Basin, Texas *Bur. Econ. Geol., Circ.* 74-1.
- FRIEDMAN, G.M. and SANDERS, J.E., 1978: *Principles of sedimentology*; John Wiley & Sons, 715 p.
- GLAESER, J.D., 1979: Catskill delta slope sediments in the central Appalachian Basin: source deposits and reservoir deposits; in L.J. Doyle and O.H. Pilkey Jr., eds., *Geology of continental slopes*, *Soc. Econ. Paleont. Mineral. Spec. Publ.* 27, p. 343-357.
- HALLAM, A., 1981: Facies interpretation and the stratigraphic record; W.H. Freeman and Company, San Francisco, 291 p.
- HANDFORD, C.R., and DUTTON, S.P., 1980: Pennsylvanian-Early Permian depositional systems and shelf-margin evolution, Palo-Duro Basin, Texas; *Am. Assoc. Petrol. Geol. Bull.*, v. 64, p. 88-106.
- HARLAND, W.B., SMITH, A.G., and WILCOCK, B., eds., 1964: *The Phanerozoic time scale*; *Geol. Soc. London, Supplement to Quart. J.*, v. 120, 458 p.
- HEDBERG, H.D., ed., 1976: *International stratigraphic guide*; John Wiley and Sons, New York, 200 p.
- KRUMBEIN, W.C., and SLOSS, L.L., 1963: *Stratigraphy and sedimentation*; 2nd ed., W.H. Freeman, San Francisco, 660 p.
- LABRECQUE, J.L., KENT, D.V., and CANDE, S.C., 1977: Revised magnetic polarity time scale for Late Cretaceous and Cenozoic time; *Geology*, v. 5, p. 330-335.
- MIALL, A.D., 1981: Alluvial sedimentary basins, tectonic setting and basin architecture; in A.D. Miall, ed., *Sedimentation and tectonics in alluvial basins*; *Geol. Assoc. Can. Spec. Paper* 23, p. 1-33.
- MIDDLETON, G.V., 1973: Johannes Walther's Law of the correlation of facies; *Geol. Soc. Am. Bull.*, v. 84, p. 979-988.
- MITCHUM, R.M. Jr., VAIL, P.R., and THOMPSON, S. III, 1977: Seismic stratigraphy and global changes of sea level, Part two: The depositional sequence as a basic unit for stratigraphic analysis; *Am. Assoc. Petrol. Geol. Mem.* 26, p. 979-988.
- PAYTON, C.E., ed., 1977: *Seismic stratigraphy—applications to hydrocarbon exploration*; *Am. Assoc. Petrol. Geol. Mem.* 26.
- PIRSON, S.J., 1977: *Geologic well log analysis*; 2nd ed., Gulf Pub. Co., Houston, 377 p.
- POTTER, P.E., 1959: Facies models conference; *Science*, v. 129, p. 1292-1294.
- POTTER, P.E., and PETTIJOHN, F.J., 1977: *Paleocurrents and basin analysis*; 2nd ed., Springer-Verlag, New York, 425 p.
- READING, H.G., ed., 1978: *Sedimentary environments and facies*; Blackwell, Oxford, 557 p.
- SELLEY, R.C., 1970: *Ancient sedimentary environments*; Cornell Univ. Press, Ithaca, N.Y., 237 p.
- SELLEY, R.C., 1976: *An introduction to sedimentology*; Academic Press, London, 408 p.
- SLOSS, L.L., 1963: *Sequences in the cratonic interior*

of North America; Geol. Soc. Am. Bull., v. 74, p. 93-113.

VAIL, P.R., MITCHUM, R.M., Jr., and THOMPSON, S., III, 1977a: Seismic stratigraphy and global changes of sea level, Part three: Relative changes of sea level from coastal onlap; Am. Assoc. Petrol. Geol. Mem. 26, p. 63-82.

VAIL, P.R., MITCHUM, R.M., Jr., and THOMPSON, S., III, 1977b: Seismic stratigraphy and global changes of sea level, Part four: Global cycles of relative changes of sea level; Am. Assoc. Pet-

rol. Geol. Mem. 26, p. 83-98.

VAIL, P.R., TODD, R.G., and SANGREE, J.B., 1977: Seismic stratigraphy and global changes of sea level, Part five: Chronostratigraphic significance of seismic reflections; Am. Assoc. Petrol. Geol. Mem. 26, p. 99-116.

VINE, F.J. and MATTHEWS, D.H., 1963: Magnetic anomalies over ocean ridges; Nature, v. 199, p. 947-949.

WATKINS, N.D., 1976: Polarity subcommission sets up some guidelines. Geotimes, v. 21, p. 18-20.

## 第二章 资料搜集

### 第一节 引言

成功的盆地分析需要搜集几种甚至许多种不同的资料并对其进行综合分析。岩石本身的直接观察对于研究不一定总是至关重要的。在研究地表地质的情况下，尽管可能得到地球化学、地球物理资料以及对所采集样品的实验室分析的补充，但直接观察将占显著的地位。而对于地下石油研究而言，可用于分析的实际岩石标本可能十分有限，包括旋转钻井的钻孔岩屑以及寥寥无几的短岩心。地球物理测井和区域地震测线至少是全部基础资料中重要的一部分。层控矿床的探查通常是布置金刚石钻孔网，以此获得连续的岩心。在这样小直径岩心中，虽然很难甚至不可能作沉积构造等方面的观测，但却提供了大量的分析材料。

### 第二节 研究类型和资料问题

当然，资料搜集与分析程序由研究的性质所决定。下面是一些典型的盆地分析问题，并附有资料搜集可能性的扼要讨论。

#### 一、区域地表地层填图

这种性质的工作是政府调查的主要职责之一，专门提供所辖区域完整的图件，为工业服务，为政府经济计划者的专门咨询提供依据。工业部门出于初步的到详细的地表或地下勘探的需要，通常也进行相似的区域调查工作，但他们的研究很少做得详尽。许多学术论题也属于这种类型。

许多政府调查工作是由那些并未受到有关沉积盆地分析方面特殊训练的人所进行的——他们认为调查者应该是多面手，能够承担填图中的任何工作。这是一个陈旧的、不合时宜的英国式传统，因为这种观点使调查者不可能了解当今沉积岩填图工作所用的全部技能，也不可能鼓励他们花费时间去做那些会使工作效率大大提高的特殊观察。“留给学者们以后去研究”的理由并不总是令人满意的，因为通常的情况是一套地层只有那些完全了解了它的沉积学的人才能澄清。如果在填图工作伊始便明了这些，那么就可以避免许多地层学术语方面毫无裨益的争执。

仔细汇编垂向地层剖面是所有地表盆地分析工作的基础。这些内容由地质学家在野外描述，同时采集以后实验室分析所需的样品，并依照剖面上的位置将其逐一用标签注明。这样的剖面选在何处为宜呢？其选择取决于一系列因素。首先，它们在该地区应具典型性，并尽可能少地遭受构造变形。当然还应出露完好，如果剖面极少发生使结构与构造扰乱或混乱的化学或有机风化作用那就更理想了。

用于区域对比的最好剖面是那些含有数个地层层段者，但除了在露头极好的地区外，很少能找到几个这样的剖面。虽然一个某些地层单元的短小，且局部的剖面并不能精确地确定其在整个地层格局中的位置（除非它们能够由一标志层或构造解释来对比），但它们可以提供诸如相与古水流信息等许多有价值的资料（见第三章）。这种类型的露头常被区域填图工

作者所忽视，但旨在进行完整盆地分析的人们不应如此，因为它们丰富了基础资料并可提供许多有意义的沉积学线索。

与地下研究相比，地表研究若有适宜的清晰露头，其最大优越性就是能观察到中到大型的沉积特征，如交错层理、水道和生物丘，而这些在钻孔中就很难或根本不可能辨认。当然，这些资料无可估量地丰富了任何盆地解释，尤其在古地理和趋势分析方面。地质学家还应坚持不懈地寻找岩性、化石种类或沉积构造的横向变化，因为这些变化可以提供古地理解释方面关键性的资料。

仅仅在地表进行研究工作之不利之处是任何特定盆地的大部分岩石均遭到埋藏，极难在大范围内进行观察。许多盆地属于沉积盆地 (depositional basin)，就是说，它们现今仍基本上保存了与沉积期间相同的轮廓。在地表，尤其是围绕盆地边缘出露的岩石，与保存在盆地中心的岩石可能具有相当不同的厚度与相，并且可能出现盆地中心所没有的侵蚀面和不整合，因为比起盆地中心来，盆地边缘具有更大的构造不稳定性，如图 2.1 所示。所以，在这种情况下所进行的盆地分析可能产生非常不完整或错误的结果。

## 二、局部地区的地层—沉积填图

详细开展局部地区研究的刺激因素常常来自于某些高度局部化经济矿床的发现，如矿体或煤层。地质学家将考察矿床仅几平方公里内的每一个可资利用的露头，并以金刚石钻孔岩心记录来做补充分析。局部研究的另一类型为学术论文计划，尤其适于硕士学位水平。因为这些学术研究在时间与经费上均受限制，只得选择小规模的计划。

上一节的许多评论适用于局部研究，但由于这种计划的性质，常常出现一些额外的复杂情况。一个常见的错误就是强调局部特征，而不顾任何区域情况的实际考虑。地质学家会建立一详细的局部地层学，而不能清楚地证明它与任何已建立的区域格局的关系如何。或者，大概为了某种训练练习，过份强调某些被选作训练用的参数而排斥其它。

作为对这些不足的补偿，详细的局部研究有利于进行非常完整、精细的古地理恢复。地质学家能够用双腿追索出地层单元，或以密集的金金刚石钻孔网研究其变化，而不愿依赖于选择的地层剖面 (图 2.2)。这样，象单个生物礁、水道格局或成煤沼泽内的详细变化便可重塑出来。这些重塑工作极为重要，因为它们提供了大量的三维资料，依据这些资料可检验理论性的相模式。

金刚石钻井用于获取连续的岩心。所以它们提供了整个所研究地层单元完整的岩性与地层样品。在小直径的岩心 (2~5cm) 中除最小的沉积构造外其它特征难以辨认 (图 2.6)，但以几百米或更小距离为间距的密集钻孔意味着极为详细的地层对比通常是可能的。

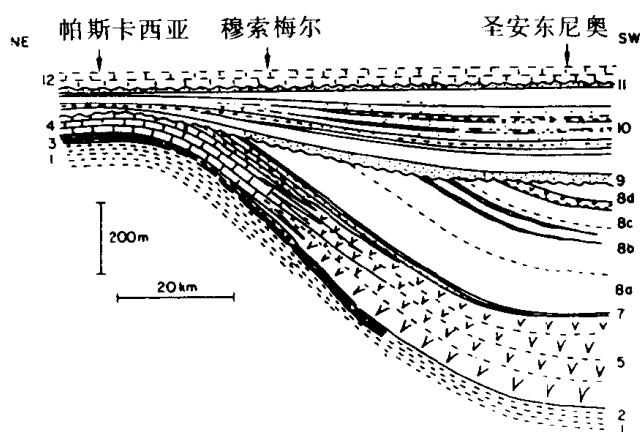


图 2.1 盆地中心与边缘的地层厚度和相的对比  
盆地深部生油区的地质情况可能与边缘的相当不同，  
因此地表地质几乎不能提供反映地下情况的有意义信息。  
北海盆地便是一个极好的例子。本图的实例是西西里的  
梅西尼亚蒸发盆地 (Schreber 等, 1976)。

遗憾的是，政府或工业机构恐怕除了对有特殊兴趣地区的几个关键钻孔之外，极少有保存与管理金刚石钻井岩心的习惯。一旦在该地区的眼前利益消失，岩心便常常被抛弃了，使许多对未来研究者有价值的材料付之东流。采矿工业似乎更喜欢这样做，但是，这种有利于相互竞争的方法对于发展一个国家的地质基础资料来说就未必是最好的方法。

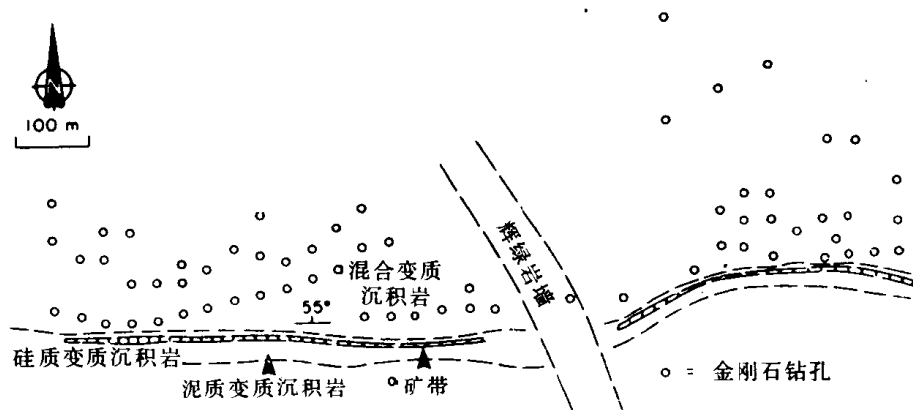


图 2.2 安大略北部前寒武系变质沉积岩中横穿—黄金远景区开采地域的典型金刚石钻孔网

### 三、区域地下填图

目前石油工业的勘探活动主要属于这种类型。公司可能最初派遣地表地质填图组到野外，但最终对某一野外区域最完整的野外研究可能由政府调查机构来完成。现在许多工业活动是在近海区域进行，而这些地区在任何情况下其表面地质信息是稀少、难以获得或不大相干的。如前所述，盆地边缘出露的岩层可能与中心附近的几乎无关（图 2.1）。

区域地下地质工作最初是以地球物理资料为依据，之后以检验钻孔为依据。重力与航磁资料可以提供许多主体构造特征的有意义信息，尤其是深部地壳构造（图 2.3，第 5 章）。折射地震测线可具有相同的用途。反射地震测量可以获得更详细的构造与地层资料（第 5、6、8 章），从而为盆地早期开发阶段中的整个钻探规划提供了依据。地震的引发与资料的处理现在是一极为复杂的过程，从事这项工作的人们喜欢谈论地震地层学，就好像它可以有效地提供所有的答案，不仅仅是构造，而且包括盆地的地层划分、区域对比甚至岩相（图 2.4）。然而，地震仅仅是一种勘探工具，其结果必须经由其它途径得出的结果来验证。例如，检验钻孔常常证明地震解释所预测的地层对比是错误的。地层速率分辨力的问题，低角度不整合面的存在以及局部构造的混扰作用均可产生错误的地震解释。地震剖面的年代测定与对比（见第 8 章）主要依赖于探井的生物地层与地球物理测井资料。

探井，尤其是新开发盆地的第一批钻井，其价值就象研究行星而发射的宇宙探测器一样。但遗憾的是，任何国家也未象对待宇宙信息那样对待钻探结果资料，而是将其看作钻井投资机构的私有财产。显然，在竞争的社会中，公司有权利从其投资中获得利益，但是，从长远的观点看，深部盆地构造和地层学的知识属于人民，并终将应为人民所利用。在加拿大的新开发区，钻井样品和岩心必须由联邦政府寄存，钻井竣工两年后对公众开放。在石油工业迅速发展的世界里，两年时间的竞争优势对任何公司来说都已足够长，这段时间过后，钻井记录便成为国家资料陈列馆的一部分，每个人都可使用，使国家显著受益。地震资料五年后开放。

与地表露头相比，来自钻井的地层信息性质既有好的一面，又有坏的一面。从钻井剖面



无被掩盖的层段这种意义上看，是属于好的一面，这种剖面通常远长于地表可测量到的任何剖面（大约超过 6000m），因此地层记录更为完整，钻井剖面的不利因素是，可得到的用于分析的实际岩石记录非常不连贯。通常可获得三种类型的样品：

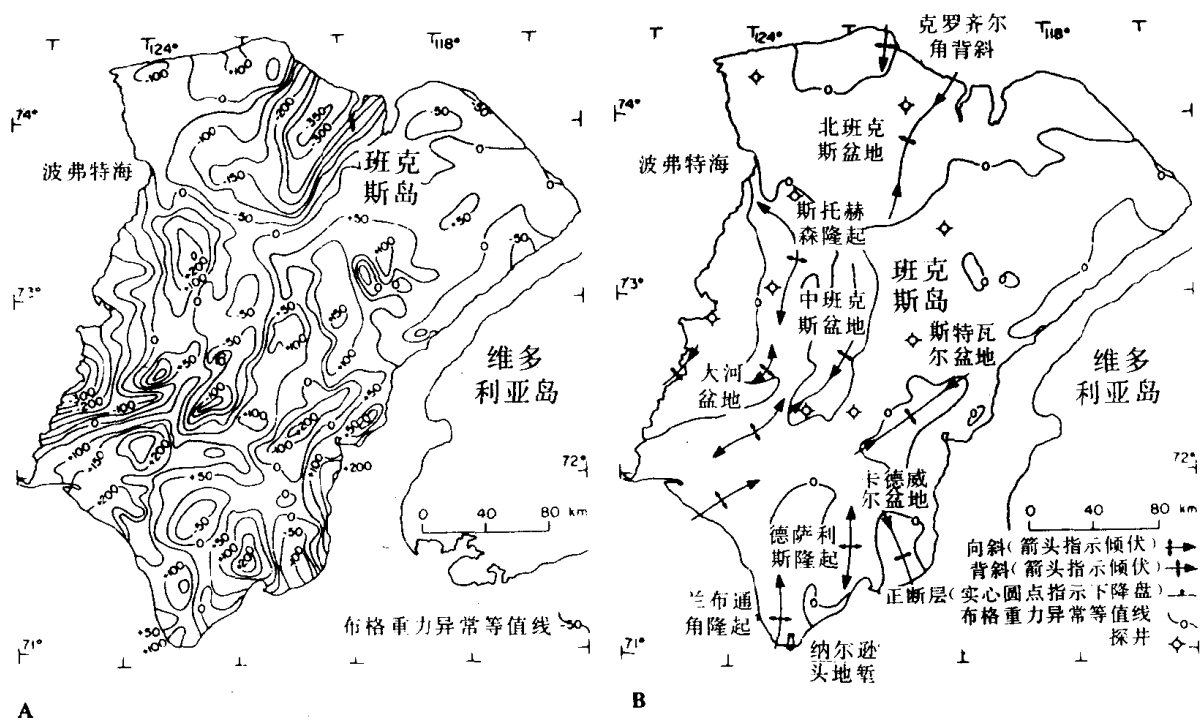


图 2.3 使用区域重力资料 (A: 布格异常) 来圈定加拿大北极区班克斯岛的主体构造特征 (B)  
 在这个实例里，图中 9 口井的勘探钻进表明，负异常与 2 公里厚的中—新生代沉积盆地的轮廓密切相关，这些盆地不整合地覆于泥盆纪地层之上。重力资料引自 Stephens 等 (1972)，由 Miall (1979) 解释

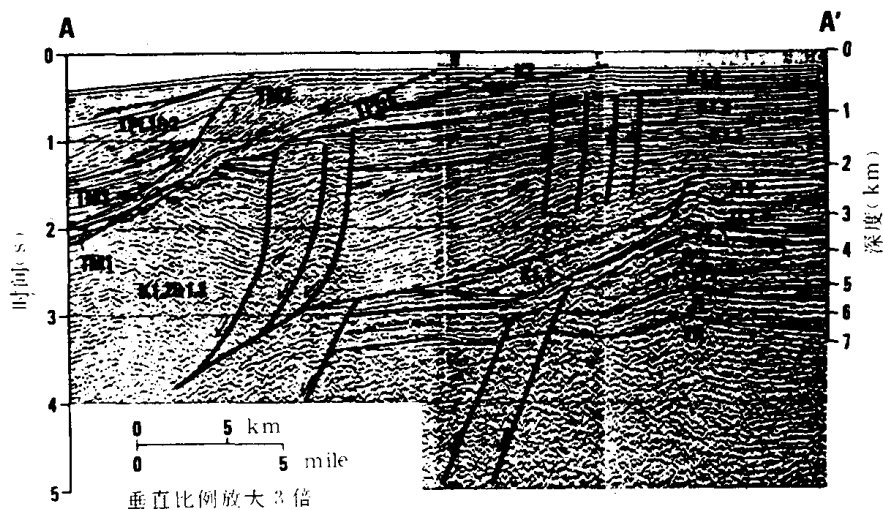


图 2.4 北非大陆边缘—地震测线的解释实例 (Mitchum 等, 1977)

(1) 岩屑，由钻头旋转的碾磨作用所产生。长度通常小于 1cm (图 2.5)，因此仅能提供岩性、结构和微体化石类型等信息。北美实行的是每 10ft (3m) 钻进深度从泥流中取一