

石油地层学入门

R. L. 布伦纳 著

石油工业出版社

31666

石油地层学入门

R. L. 布伦纳 著

王向黎 译 赵迺淼 校

石油工业出版社

内 容 提 要

本书深入浅出、系统地介绍与石油地质学有关的地层学专业知识。总共六章：一、沉积物与沉积岩的成因；二、地质年代与地层对比；三、地层命名法则；四、沉积域和相的概念；五、地层型石油圈闭；六、构造作用与地层记录。

本书供从事石油、煤炭或层控矿床勘探开发的地质工作者、地球物理工作者、地球化学工作者和工程技术人员阅读，也可供初学地质的人们阅读。

Robert L. Brenner
PETROLEUM STRATIGRAPHY
A Guide for NonGeologists
D. Reidel Publishing Company

*

石 油 地 层 学 人 门

R. L. 布伦纳 著

王向黎 译 赵遵森 校

*

石油工业出版社出版
(北京安定门外外馆东后街甲36号)
通县印刷厂排版印刷
新华书店北京发行所发行

*

850×1168毫米 32开本 4 1/8印张 104千字 印1—2,000

1987年7月北京第1版 1987年7月北京第1次印刷

书号：15037·2825 定价：1.00元

前 言

地层学是研究岩层的科学，或者更严格地说是研究岩层沉积时期各种地质事件发生的顺序。地学中这一分科的早期历史可以上溯到十六世纪，当时Leonardo da Vinci已认识到化石就是动植物的残骸。可是，直到十七世纪末，Steno和Hooke才认识到化石随着地层垂向上的变化而变化，从而构成了地层层序律。工程师和隧道专家William Smith是最早的应用地层学家之一，他为了开凿隧道而绘制了岩相图。他发现各岩相单元都有其特征化石，并于1815年借助这些化石资料编绘出第一张区域地质图。

现在，地层学既是勘探石油、天然气和煤等矿物燃料的基础，也是勘探诸如岩盐、石膏和铀等层控矿床的基础。钻井和地球物理勘探技术使人们能对地表以下的深部地层进行研究。为了确定一个特定的勘探区是否对矿物燃料或矿床的商业性聚集有利，必须弄清楚它们形成时所发生的过程和时间顺序。一旦钻遇这样一个聚集，那么要有效地开发这种燃料或矿藏，有关该地区地层结构的知识是必不可少的。因此，所有地质工作者、地球物理工作者、地球化学工作者，以及从事石油、煤、或层控矿床勘探和开发的工程师，都需要地层学及其应用方面的专业知识。本书打算既介绍这方面的专业知识，也讨论因时间太久而变得不清楚的、或新近发展的地层学各方面的问题。编写本书时考虑了非地质专业工作者的需要，以便使地球物理工作者、工程师、大地测量人员等能了解从事石油勘探和开发的地质工作者所使用的地层学原理和概念。本书也适合非地质专业人员或初学地质的人员阅读，使他们接触到地层学应用方面的知识。如作为教材，可从参考文

献中指定阅读文章，作为本教程的补充材料，这是因为本书的目的是作为地层学知识及其应用的入门书，而不是一本内容全面的教科书。

R. L. 布伦纳 1983.10.1

目 录

前言

第一章 沉积物与沉积岩的成因	(1)
一、引言	(1)
二、母岩的风化作用	(1)
1.物理风化作用	(1)
2.化学风化作用	(2)
3.硅酸盐的水解反应	(2)
三、侵蚀作用与搬运作用	(2)
1.侵蚀作用	(3)
2.搬运作用	(3)
四、沉积物与沉积岩的分类	(4)
1.硅质碎屑沉积物与化学沉积物	(4)
2.硅质碎屑沉积物及其岩石的分类	(4)
3.砂岩的分类	(5)
4.碳酸盐岩分类	(5)
五、沉积层理与沉积构造	(5)
1.层理类型	(7)
2.生物成因的沉积成分和构造	(9)
1)遗体化石	(10)
2)遗迹化石	(10)
3.非生物成因的沉积构造	(12)
1)原生沉积构造	(13)
2)成岩构造	(17)
六、流动状态与沉积特征	(18)
七、概要	(18)
第二章 地质年代与地层对比	(20)
一、引言	(20)

二、绝对年龄测定.....	(20)
1.放射性年龄测定.....	(20)
2.裂变径迹年龄测定.....	(21)
3.生长环.....	(22)
三、相对年龄测定.....	(22)
1.古地磁法.....	(23)
2.生物演化法.....	(23)
3.地震记录.....	(24)
四、地层对比、地层连续性和同位层.....	(24)
1.各种数据及其相互关系.....	(26)
2.物理参数.....	(26)
3.古生物参数.....	(26)
五、生物地层方法.....	(28)
1.各种带的概念.....	(28)
2.时代地层学事件.....	(29)
3.定量研究方法.....	(30)
六、地震地层学.....	(31)
1.地震波.....	(31)
2.地震模拟.....	(33)
七、概要：应用于勘探和开发.....	(33)
第三章 地层命名法则	(35)
一、引言.....	(35)
二、地层规范的沿革.....	(35)
1.早期的地层委员会和地层规范.....	(35)
2.现代规范.....	(37)
三、术语的定义.....	(38)
1.岩性地层术语.....	(38)
2.生物地层术语.....	(39)
3.年代地层术语.....	(39)
四、地质年代表.....	(39)
五、概要.....	(39)
第四章 沉积域和相的概念	(42)
一、引言.....	(42)

二、硅质碎屑沉积域	(42)
1. 非海相沉积环境	(42)
1) 冲积扇	(42)
2) 河流及有关的泛滥盆地	(45)
3) 风成沙丘	(47)
2. 过渡相沉积环境	(51)
1) 三角洲	(51)
2) 障壁岛、海滩及其共生环境	(52)
3) 潮坪	(58)
3. 海相沉积环境	(58)
1) 浅海陆架环境	(60)
2) 大陆坡沉积	(61)
3) 深海浊积岩和水下扇	(61)
三、化学沉积域	(62)
1. 碳酸盐沉积域	(63)
1) 生物建造	(64)
2) 鲕粒滩	(65)
3) 碳酸盐岩浊积岩和沉积扇	(65)
4) 潮坪和潮上坪	(65)
5) 白云石和白云石化作用	(66)
2. 盐类(蒸发盐)沉积域	(66)
四、相的概念	(67)
1. 相的定义和用法	(67)
2. 相的分布	(67)
3. 旋回层	(67)
五、概要	(70)
第五章 地层型石油圈闭	(71)
一、引言	(71)
二、地层圈闭的定义	(71)
三、硅质碎屑岩中的相变	(71)
1. 区域相变	(71)
2. 局部相变	(74)
3. 鞋带状砂岩圈闭	(76)

四、碳酸盐岩中的地层圈闭.....	(78)
1. 生物丘和礁建造.....	(78)
2. 钙屑灰岩体或粒状碳酸盐岩体.....	(80)
五、与盐丘有关的圈闭.....	(80)
六、与不整合有关的圈闭.....	(80)
七、概要.....	(84)
第六章 构造作用与地层记录——盆地分析指南.....	(86)
一、引言.....	(86)
二、大地构造旋回与克拉通层序.....	(86)
三、地槽、盆地与板块构造.....	(87)
1. 地槽说.....	(87)
2. 新进展.....	(89)
3. 地槽背景与板块构造背景的比较.....	(89)
四、控制沉积物成分的构造因素.....	(90)
1. 一般关系.....	(90)
2. 大地构造环境及其产生的砂岩类型.....	(90)
1) 大洋盆地.....	(91)
2) 大陆内部非造山盆地.....	(93)
3) 大陆内部不稳定盆地或共轭盆地.....	(93)
4) 陆缘裂谷盆地.....	(94)
5) 弧—沟体系盆地.....	(96)
6) 缝合带同造山期盆地.....	(96)
7) 附加内生物质.....	(98)
五、概要：预测地层学.....	(98)
附录：词汇表.....	(99)
参考文献.....	(113)

第 一 章

沉积物与沉积岩的成因

一、引言

沉积物是在堆积区沉积的物质，它最终会石化成沉积岩。沉积岩组成了地层记录，因为沉积岩具有在沉积物沉积时由无机作用(物理的、化学的)和有机作用(生物的)形成的特征。在任何一个地区，由于沉积间断和在此间断期物质遭受侵蚀，造成地层记录的缺失。地层学家的工作就是解释不完全的地层记录，并且把许多地区的地层记录互相对比。若不了解这些沉积岩的形成过程及其前身——沉积物的来源，要对它们作出解释并与其它地区的岩石进行对比是不现实的。因此本章将讨论沉积物是如何产生、堆积和记录地质事件的，以及它们最后怎样保存下来成为沉积岩的。

二、母岩的风化作用

1. 物理风化作用

出露在地表的岩石容易受自然营力的作用而破碎成较小的岩块。风能很快地磨蚀地表裸露的岩石，尤其在干旱地区更是如此。风的作用，即飞沙磨蚀作用，能够使已被其它物理、化学风化形式(如流水，它也能搬运颗粒和侵蚀裸露的岩石表面)等脆弱的岩石解体。冲沟或小溪就是雨水和雪、冰融水的汇流造成的。重力使岩石表面的水向下渗透，促使岩石解体，从而产生碎屑。在高寒地区，冰川在岩石表面上运动也会产生碎屑。另外，水冻结成冰时体积膨胀，也是一种崩解营力，尤其在孔隙性岩石中更为明显。当裂缝或其它孔隙中的水冻结成冰时，体积增加，使晶粒或其它颗粒之间发生分离。反复的冻结和消融能在较短时间内产生强烈的崩解作用。这在中到高纬度地区的许多街道和公路上

屡见不鲜。

2. 化学风化作用

化学风化作用有两种常见方式：1)溶解作用；2)矿物转化作用，尤指硅酸盐矿物的水解作用。就溶解作用而言，先期存在的沉积岩不是被胶结物胶结在一起，就是主要由岩盐和石膏这种盐类以及方解石和白云石这种碳酸盐类沉淀物组成的。“在各种地表条件下，这些胶结物和沉淀物都会发生溶解。例如方解石这种矿物常常是砂岩的胶结物，也是石灰岩的主要成分(石灰岩通常是由生物作用从海水中析出的)，在酸性水条件下，方解石便能发生溶解。方解石与水起反应，分解为钙阳离子和碳酸氢根阴离子。对于砂岩来说，这种溶解作用释放出砂粒，因而使岩石解体。对于石灰岩来说，随着方解石溶解，可能存在的任何杂质，例如非碳酸盐物质便释放出来。这些杂质或者不溶残渣可能是硅质粘土这样的原来混入碳酸盐沉积物中的物质；或者是象燧石这样的成岩物质。

3. 硅酸盐的水解反应

组成火成岩和变质岩的许多矿物晶体是在地下形成的，因而它们在地表不大稳定。这些造岩矿物有：辉石族，如普通辉石；角闪石族，如普通角闪石；云母族，如黑云母；长石族，如正长石。这些矿物与含过量氢离子的水，即pH值小于7的水结合时，就发生化学反应。这些反应叫做水解反应，它能使原生矿物中的铝和硅与氢和氧化合，形成粘土矿物。象铁、镁、钙、钠和钾等来自原生矿物的残余金属离子，与二氧化硅的水合物一起溶解，并被从风化区带走。结果，裸露的结晶岩石的矿物晶体逐渐被较小的粘土矿物晶体所代替。在这种风化形式中，把母岩从它们原来出露的地点移去是比较容易的。

三、侵蚀作用与搬运作用

母岩的风化为产生沉积物和最终形成沉积岩提供了必需的物质基础。从母岩的裸露表面剥蚀下来的各种颗粒、晶体和碎屑组成大量的硅质碎屑沉积物，它们是地层记录中砂岩和页岩的主要组成部分。通过溶解作用或某些其它化学反应(如水解反应)进入

溶液的离子，最后在各种环境下变为沉淀物，即形成了化学沉积物。化学沉积作用形成的这种沉积物类型和岩石特征将在下一节中讨论。可是首先必须考虑硅质碎屑沉积物从风化区迁移到其沉积区的方式。正是颗粒所经历的迁移方式决定着最终成为地层记录中的那些岩石的独有特征。

1. 侵蚀作用

侵蚀作用能使硅质碎屑沉积物和其它风化产物开始移动。这是由风、水流和波浪以及冰川的侵蚀营力引起的。显然，侵蚀营力越强，作用范围越广，则其所能移动物质的最大粒径也越大，移动的物质数量也越多。侵蚀作用本身以缺失地层单元即不整合的形式，以及冲刷痕迹等在地层记录中留下标记。沉积物一旦开始运动，便进入了搬运阶段。

2. 搬作用

当沉积物从侵蚀区搬运到最后的埋藏区时，在途中各种环境中不断地受到各种营力的分选。在水下环境中，水力分选作用以相同的方式把与某一流体流动特征相对应的颗粒集合在一起，同样，对流动特征有不同反应的颗粒也被区分开来(Blatt等，1980)。本节将简要说明控制颗粒运动和分选的基本规律。

在沉积体系中，流体搬运颗粒的数量和大小取决于流体的能量，亦即取决于流体的流动速度和湍度、流体的粘度以及颗粒的密度。要挟带或起动静止的颗粒比使已经开始运动的颗粒保持运动需要更大的能量。这个起始挟带力叫做流体动力的或空气动力的上举力。只有当流体的抵抗力超过作用于颗粒上的重力时，才产生挟带作用。同样，我们可以把挟带作用看成是浮力的一个例子。当流体的流动速度、湍度和粘度使颗粒的浮力变为正值时，颗粒开始上升。搬运条件的变化，如流速和(或)湍度的减小能产生沉积作用。

关于沉积物的水力分选作用可以总结出三条规律。第一，流动速度越高，越能使水力学质量较大的颗粒保持运动。这一与流体流动状态相对应的颗粒特征可解释下面的现象，即细粒物质堆

积在流速缓、湍度低的地区,而粗粒物质堆积在流速急、湍度高的地区;第二,稳定的流动速度既能导致分选差的沉积物的沉积,也能导致粗、细相间的沉积物的沉积,这取决于沉积速度的大小;第三条规律与生物的活动有关。生物扰动作用,如掘穴和钻孔能把不同粒度的沉积物搅混,混合的程度取决于被混合的沉积物的类型、生物活动的强度、物理作用的大小以及沉积物的供应速度等。这些相互关系及其如何影响沉积岩的特征将在本章后面的沉积层理与沉积构造一节中讨论。

四、沉积物与沉积岩的分类

1. 硅质碎屑沉积物与化学沉积物

硅质碎屑沉积物由被搬运到沉积盆地中的物质组成。因为这类沉积物来源于非海相物源区,所以一些作者把它们称作外生沉积物或陆源沉积物。化学沉积物是在沉积盆地内由化学作用或生物化学作用形成的物质组成的。与外生的硅质碎屑不同,化学沉积物是内生的。碳酸盐、硅质软泥以及石膏和岩盐等盐类矿物组成了大部分的化学沉积物。

2. 硅质碎屑沉积物及其岩石的分类

沉积物颗粒及由这些颗粒胶结成的岩石,可按颗粒的直径进行分类。Wentworth在本世纪20年代提出的粒度分类几乎被普遍

表1—1 Wentworth的沉积物粒度分类和相应的岩石类型

沉积物	颗粒直径(mm)	岩 石
粘土	$< 1/256$	粘土岩或粘土页岩
泥	=粘土+页岩	泥岩或页岩
粉砂	$1/256 \sim 1/16$	粉砂岩或粉砂质页岩
砂	$1/16 \sim 2$	砂岩
砾石	$2 \sim 4$	砾岩
卵石	$4 \sim 64$	
漂砾	$64 \sim 256$	
巨砾	> 256	

资料来源: Krumbein和Sloss, 1963。

采用了(Krumbein和Sloss, 1963)。这种分类方案叫做 Wentworth 粒度分类(表 1—1)。

3. 砂岩的分类

砂岩除按粒度分类以外, 还可按其矿物成分分类。应用最广的矿物成分分类系统是 Folk (1968) 提出的。该分类系统和大多数其它矿物成分分类系统都能用三角图很好地表示出来(图 1—1)。若要进一步细分砂岩类型, 可变更前部的修饰性术语, 如钙质胶结的、含云母的、粉砂质的、粘土质的、具交错层理的、块状的等等。

4. 碳酸盐岩分类

碳酸盐沉积物和岩石的分类方案, 目前应用的有好几种。最简单的分类方案是把碳酸盐岩划分为钙屑灰岩和泥屑灰岩两类。钙屑灰岩由砂粒级方解石颗粒组成, 泥屑灰岩则主要由泥晶方解石组成。可惜, 用这些术语描述碳酸盐岩的类型太笼统了。但是如果用来表示从粗粒灰岩到细粒灰岩这一连续序列中的两个端员, 倒是很有用的。可是, 这种分类未考虑生物组成的结构和重结晶结构。

Dunham(1962)提出的分类方案较为实用:

灰泥支撑的石灰岩, 以灰泥为主, 即使含有颗粒, 它们也不互相接触。

泥岩, 其中颗粒含量小于 5%, 颗粒质泥岩, 其中颗粒含量大于 5%。

颗粒支撑的石灰岩, 颗粒含量较多, 足以互相接触在一起。

泥质颗粒岩, 其中泥质含量大于 5%, 颗粒岩, 其中泥质含量小于 5%。

生物粘结灰岩, 由藻类这样的有机物质粘结在一起的成分所组成。

结晶碳酸盐岩, 是被成岩作用破坏了结构的岩石。

五、沉积层理与沉积构造

研究沉积岩时首先是对其进行描述, 以便使读者或听众能得

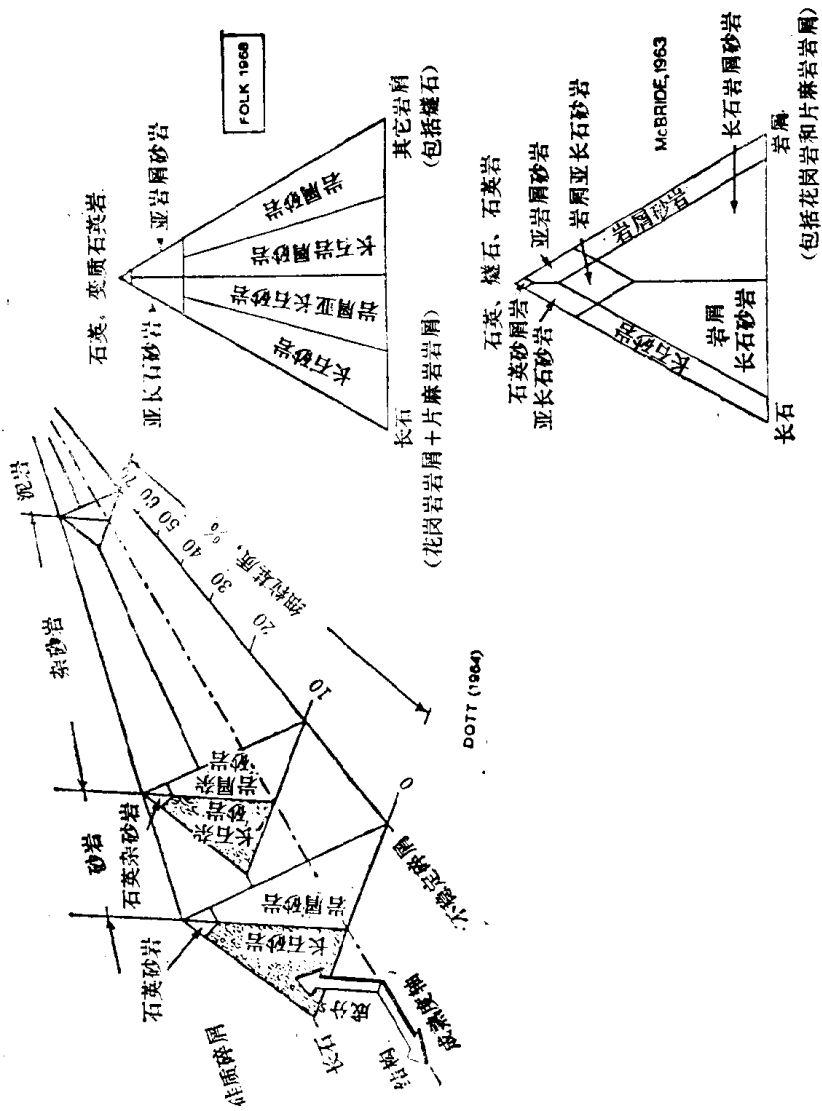


图 1-1 常用的砂岩分类方案

到明晰的概念。通过描述沉积岩的层理和构造特征，必然能够充实上面介绍的有关成分和结构的描述内容。

层理是一个常用术语，用来描述沉积岩中由于粒度和成分的变化、或这二者同时变化而呈现出的任何分层现象。各单层和层组的厚度、方向和连续性使沉积岩具有明显的外貌特征，也反映出它们沉积时的自然环境。

1. 层理类型

Mckee和Weir(1953)拟定了一套描述沉积岩的术语系统，适合地质工作者在野外统一、定量地描述沉积岩。其中许多术语已得到公认，其定量分界参数也是常用的。如果一个单层原来在大致水平的沉积表面上平行沉积，此层即为基本单位，称为细层；如果该层以一个角度沉积在原来的沉积表面上，则形成交错细层。如果单个细层厚度小于1厘米(或在半英寸以下)，则称做纹层或交错纹层。较厚的层就叫做层或交错层。表1—2列出了各种细层的定量分界参数及Mckee和Weir(1953)提出的描述岩石分类特征的野外工作术语。图1—2总结了划分交错层理单位的术语。图中的层系组(coset)是两个或两个以上相似层系的组合，而复合层系(composite sets)是由互相联系的层系和交错层系构成的组合。

除了各个细层的厚度和方向以外，单个细层或层系的连续性也是重要的描述参量，它常常具有重要的古环境意义。Moore和Scruton(1957)曾描述了墨西哥湾中一些全新世未固结沉积物的层理特征。他们拟定的术语可用于各种不同类型和年龄的层状岩石。互相平行或大致平行的、厚度比较均匀的连续细层叫做规则细层。不规则细层则不连续，相似性也不多。斑状是分布不连续且形状也不规则的团块、管状体和袋状体，也包括动物的掘穴。均质沉积物或均质岩石具有均匀的结构和颜色，层理不明显。

Moore和Scruton(1957)的著作中的一些重要方面是论述了从沉积物类型、距沉积物来源区(密西西比三角洲)的距离、波浪和水流对沉积作用的影响、以及动物钻孔等生物活动的影响诸因素

表1—2 描述层状岩石的定量术语对照表

层理	厚度	交错层理	厚度	分类特征术语
巨厚层	>121.9厘米 (4英尺)	巨厚交错层	>121厘米	块状
厚层	60.9~121.9厘米 (2~4英尺)	厚交错层	120~60厘米 (约4~2英尺)	厚层状
薄层	5~60.9厘米 (2英寸~2英尺)	薄交错层	60~5厘米 (约2英尺~2英寸)	板状
极薄层	1.27~5厘米 (0.5~2英寸)	极薄交错层	5~1厘米 (约2~0.5英寸)	片状
纹层	0.2~1.27厘米 (0.08~0.5英寸)	交错纹层	1~0.2厘米 (约0.5~0.08英寸)	页片状(泥岩和粉砂岩) 薄板状(砂岩和灰岩)
细纹层	<0.2厘米 (0.08英寸)	细交错纹层	0.2厘米(约0.08英寸)或更薄	纸状

资料来源: 据McKee和Weir(1953)

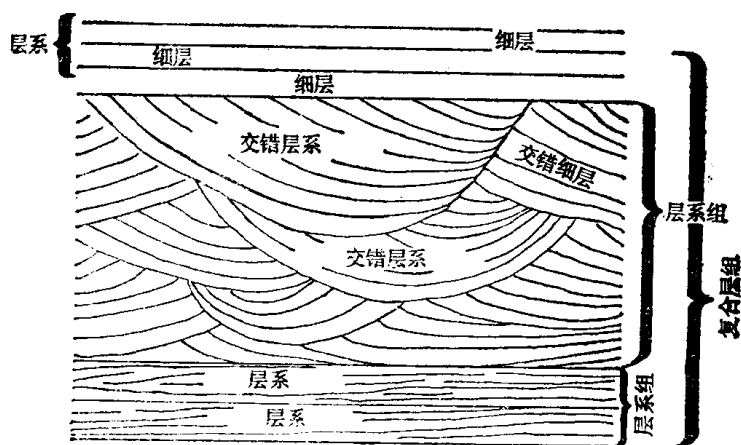


图1—2 交错层状岩石的描述术语
(据McKee和Weir1953修改)