

沉积岩

〔美〕F.J.佩蒂庄著

石油工业出版社

沉积岩

——

沉 积 岩

〔美〕 F.J.佩蒂庄 著

李汉瑜 徐怀大 胡伯良

杨世倬 华保钦 江德昕

合译

石 油 工 业 出 版 社

内 容 简 介

本书根据美国佩蒂庄所著《沉积岩》1975年第三版新书译出,原书为现今国外比较完善的教本与经典性专著,反映了七十年代的新内容。全书共十七章:第一章绪论,第二章为沉积岩的性质与成因,第三、四两章讲结构、构造,第五章为沉积岩体形状。其后有各论六章:第六章讲砾岩与角砾岩,第七章为砂和砂岩,第八章讲泥质岩与粉砂岩,第九章为火山碎屑沉积岩,第十章石灰岩及白云岩,第十一章为非碎屑沉积岩。第十二章论述成岩作用,主要讲结核。第十三章物源区,第十四章古水流及古地理,第十五章为沉积环境分析,第十六章讲大地构造环境控制,最后,第十七章为地史期中沉积物的演化与规律性。

本书内容全面,论据充分,参考完备。可供有关高等院校地质专业师生、有关地质工作人员与石油地质工作者以及有关科研人员参考。

F. J. PETTIJOHN SEDIMENTARY ROCKS (THIRD EDITION)

Copyright © 1975 by Harper & Row, publishers Inc.

*

沉 积 岩

〔美〕F. J. 佩蒂庄 著

李汉瑜 徐怀大 胡伯良 合译
杨世俤 华保钦 江德昕

*

石油工业出版社出版

(北京和平里七区十六号楼)

兰州新华印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

*

开本787×1092 1/16 印张40³/₄ 字数1002千字 印数1—10,000

1981年9月北京第1版 1981年9月甘肃第1次印刷

书号15037·2213 定价4.30元

前 言

美国约翰·霍浦金斯大学教授F.J.佩蒂庄所著《沉积岩》一书,初版印行于1949年,为国外有关专业的重要教本与参考书。我国已故的石油地质学家孙健初氏曾组织该书的译述,译者中当时也有人参与其事,惟该译稿只作为内部使用。1957年时,《沉积岩》第二版印行,增加了一些内容,但该版本在国内很少。其后,随着世界科学的进展,新设备、新方法日新月异,沉积岩的研究也有了重大变化;对碳酸盐岩的重新认识与沉积环境的分析尤为突出。海洋地质与大地构造方面的工作,引起了J.T.威尔逊所称的“地质学的革命”;石油工业的突飞猛进,也促使沉积岩石学的研究日益深化。于是,《沉积岩》第三版新书遂于1975年问世,增订、改写、新编部分甚多。

本书共十七章:第一章绪论;第二章对沉积岩的性质和成因作概括介绍;第三章及第四章讲沉积物与沉积岩的结构、组构与构造,篇幅较大;第五章为沉积岩体的几何形状。由第六章起的以后六章为沉积岩各论,计:第六章讲砾石、砾岩与角砾岩;第七章砂和砂岩,系佩蒂庄与波特、西弗合著的《砂和砂岩》一书的缩影;第八章页岩、泥板岩及粉砂岩;第九章为火山碎屑沉积物,对火山产物的沉积属性有极好论述;第十章为石灰岩与白云岩,是以新的认识完全重写的重点章节;第十一章为非碎屑沉积物。第十二章讲结核及其他成岩分泌物,侧重于成岩作用;第十三章讲物源区的分析;第十四章为古水流方向及古地理分析;第十五章为沉积环境分析,提出了主要的相模式;这三章是极其精炼、并概括了新成就的重要章节。第十六章中,探讨了沉积作用与大地构造的关系;本书最后的第十七章,则总结了地史期中沉积物的演化特征及其规律性,引人深思。

作者现已年逾七旬,从事沉积岩的研究垂五十年,其学识与经验,均具国外第一流水平,著述甚丰。在本书中,他高度概括了近年的最新成就,立论周详,言之有据;侧重于岩石学本身而又将沉积岩作为地质体考虑的观点,脱出了繁琐的岩类学描述,对许多问题,发挥了独到的见解。其旁博引证,联系广泛,充分表现了他的学识与素养,从而使本书成为国外最臻完备的成熟教本与参考书。

本书第一、二、六、七、八、九、十六、十七各章及原序言由李汉瑜译出;第三、四、五、十四各章由徐怀大译出;第十章由杨世倬译出;第十一、十二章由胡伯良译出;第十三章由华保钦译出;第十五章由江德昕译出;部分译文由徐怀大审核;全书经李汉瑜校订。我们本着为实现四个现代化尽点滴力量的心愿,抱学习新知的态度,在本职工作之外挤时间译出此书,难免有参考未周、推敲不够,容或杜撰有误之处,恳请读者不吝指正。译者等感谢杨遵仪、苏良赫、马杏垣、余伯良、吴崇筠、何镜宇诸位业师和前辈的指教与勉励,并感谢冯增昭、安延恺、王文彦诸同志的相互砥励。

译 者

1979年3月

序 言

《沉积岩》一书的第二版写于十八年前。由于后来我们对于石灰岩和碳酸盐沉积物的认识已经有了巨大的进展，在沉积构造和在古水流方向分析上重新有了兴趣，我们对化学沉积作用和物理沉积作用的认识已有了很大的深化，并且认识到在环境分析中垂向剖面的重要性。现代沉积物的研究已从一种肤浅的或者二维的逼近于一种三维的。在砂岩、石灰岩、沉积构造以及沉积作用方面业已出版过大量专题论文。现在我们是致力于重新检验我们对于沉积作用和全球规模的大地构造的概念。要想全部和更多的修改《沉积岩》是不可能的，所以现在只改写了迫切需要改动的部分。

但在以前两版内所建立的基本方法以及在第三版中体现出来的也仍保留有未改动的部分。我们的目的，正如在前两版中所述，是要告诉读者一些有关沉积岩的知识而不是沉积作用的知识，因而在这一新版本中，也像较早的版本一样，是调整岩石而不是调整沉积作用。其基本目的仍是指示学生在面临着露头、手标本或薄片时，如何去了解岩石的历史，以及如何作出他所见到的现象的解释分析。对于岩石本身的成因能够讲些什么以及对于沉积作用的环境能够作些什么推论？如像所有的地质学科一样，露头是最终的有吸引力的场所，在露头上，所有的概念或理论都必须受到检验。理论的和经验的研究可以表明可能的机理，但是在野外，成因的问题最终必须要得到回答。

就像较早的版本一样，这第三版的大部分是对于沉积岩各类型的描述和进行分类并且了解其结构和构造。除了这样的描述之外，还有对成因上的简短陈述，这是从有关的野外和实验室观察到的所能推论的范围作出的。本书并不试图探讨这些形成作用上的物理的或化学方面的问题。我们将这些内容留给像伯纳的《化学沉积学原理》和艾伦的《沉积作用的物理过程》这样的专著。

通常总是强调了从沉积岩的薄片分析（虽则留有很重要的论题）到密切地注视于露头和沉积构造以及沉积分析中垂向剖面或层序二者的有用程度所包含的内容。

此外，对现在的《沉积岩》的各章，我们包括了许多解释性的篇幅。我们的许多有点贫乏的原始概念和不明确的目的变得成为新方法的结果，就是更清楚地给予定义和更好地予以标准化。这些解释的原理与概念占此版本的最后三分之一。在这里，我的希望是给学生以某些见识和沉积学对环境分析与古水流分析的作用的基本了解，对于物源区问题，以及对于总的主要的全球演化和发展的基本了解。我最为强调沉积物堆积的营力及（或）沉积环境的鉴别。如何重塑沉积环境？在现有的地层学和沉积学教科书中是很少清楚地讲过的。在某种程度上，也仍难讲出清晰的原理；要了解这点最好应来自实例，因而书中写出的许多例子都是为了使读者获得益处。

我们所写的这些章节中，在某种程度上是在一些地层学课程中所讲过的传统。然而我们并没有涉及地层学的核心问题——年代和对比的问题。

在改写第三版中，企图结合沉积岩研究与较大的问题。很明显的是采用了涉及大量文献的某些编辑方针。但要作周密的详述是不可能的，因此，对于文献的参考是很有选择性的。

曾经努力于包罗所有的关于专题论文方面的较大量的论文集，如沉积构造、碳酸盐岩、其他沉积物、古水流方向以及类似的特殊经典论文。为了便于读者，收集的参考文献，都放在每一章的末尾。

我在准备这一新版本时照例得到许多人们的无可估量的帮助，他们之中有些人曾阅读了此书稿的一部分并帮助提出意见，另一些人则提供照片或允许引用其他解释资料。由于在此书中的适当地方引用了照片和其他资料而增加了可信性。我特别要感谢我的同事 S.M. 斯坦利和 O.P. 布里克曾带着批评眼光阅读了本书稿的一部分，C.H. 韦伯供给了照片资料，E. 克洛斯的建议和协助摄取许多显微照片；最后，但并不是感谢得最少的是对于凯思琳·香农，感谢她打印完了全部手稿。我也要感谢其他许多人，他们曾提供了一、两幅图或允许使用先前出版的资料。在本书中有关的地方，我对这些人也致以适当的谢意。

F.J. 佩蒂庄

马里兰州，巴尔的摩

1974年2月28日

目 录

前 言

序 言

第一章	绪 论	(1)
	定 义.....	(1)
	沉积学的历史.....	(2)
	沉积物的经济价值.....	(7)
第二章	沉积岩的性质和成因	(14)
	引 言.....	(14)
	组 构.....	(16)
	成 分.....	(17)
	分 类.....	(17)
	沉积物的总体积和总质量.....	(19)
	常见沉积物的相对丰度.....	(21)
第三章	沉积物的结构	(24)
	碎屑岩的粒度.....	(25)
	形状和圆度.....	(50)
	表面结构.....	(59)
	组构和构架的几何学.....	(63)
	结晶和其它内成结构.....	(78)
	生物成因组构.....	(86)
第四章	沉积岩的内部组织和构造	(106)
	引言和分类.....	(106)
	层 理.....	(108)
	地层的内部组织和构造.....	(110)
	层面标志和层面构造.....	(123)
	形变和扰动层理.....	(128)
	迭层石和其它生物成因的构造.....	(132)
	成岩构造.....	(137)
第五章	沉积岩体的几何形状	(150)
	引 言.....	(150)
	砂岩体.....	(151)
	砂岩墙、岩床和自生侵入体.....	(158)
	碳酸盐岩的几何形状.....	(159)
	盐丘、盐株和盐背斜.....	(161)

	充填的洞穴和陷坑·····	(162)
	其它沉积体·····	(162)
第六章	砾石、砾岩和角砾岩 ·····	(166)
	引 言·····	(166)
	现代砾石·····	(167)
	砾石的组构和成分·····	(169)
	砾石和砾岩的构造·····	(174)
	砾石和砂之间的基本差别·····	(174)
	砾石和砾岩的分类·····	(175)
	正砾岩·····	(176)
	正石英岩质砾岩·····	(177)
	副砾岩(砾岩质泥岩)·····	(181)
	砾岩的成岩作用·····	(193)
	层内砾岩·····	(194)
	角砾岩·····	(196)
	假砾岩和假角砾岩·····	(198)
第七章	砂和砂岩 ·····	(210)
	引 言·····	(210)
	现代砂·····	(210)
	砂岩的特性·····	(214)
	砂岩的分类·····	(225)
	砂岩的岩类学·····	(228)
	混杂的砂岩·····	(251)
	砂岩的成岩作用·····	(254)
	砂岩的岩石成因·····	(261)
第八章	页岩、泥板岩和粉砂岩 ·····	(281)
	引 言·····	(281)
	定义和术语·····	(281)
	结构和构造·····	(283)
	页岩和泥板岩的矿物成分·····	(287)
	化学成分·····	(292)
	页岩的成岩作用·····	(295)
	页岩的分类和岩石学·····	(298)
	泥质和页岩的地质产状·····	(309)
	粉砂岩和黄土·····	(310)
第九章	火山碎屑沉积物 ·····	(323)
	引言和定义·····	(323)
	火山碎屑沉积物的结构和构造·····	(324)
	成 分·····	(327)

火山碎屑沉积物的岩类学	(329)
凝灰岩的蚀变作用	(331)
火山碎屑沉积物的成因和性质	(333)
第十章 石灰岩和白云岩	(340)
引言	(340)
现代碳酸盐沉积物	(342)
矿物学的和化学的成分	(347)
石灰岩的结构和构造	(354)
石灰岩的分类	(366)
石灰岩(和白云岩)的岩类学	(370)
碳酸盐岩的成岩作用	(388)
石灰岩相	(394)
第十一章 非碎屑沉积物(不包括石灰岩)	(422)
引言	(422)
燧石和其他硅质沉积物	(423)
含铁沉积物	(436)
磷灰岩和其他磷酸盐沉积物	(455)
盐类和其他蒸发岩(碳酸盐岩除外)	(461)
碳质沉积物	(471)
第十二章 结核、结节和其他的成岩分凝物	(497)
引言	(497)
定义和分类	(497)
成因	(498)
碳酸盐结核及结节	(499)
硅质结节和结核	(507)
磷酸盐质结核和结节	(510)
氧化铁结节和结核	(510)
黄铁矿和白铁矿结节和结晶集合体	(511)
重晶石结节和玫瑰花式	(512)
石膏结晶和晶簇	(512)
假结核	(512)
第十三章 物源区	(520)
引言	(520)
定义和概念	(520)
矿物及母岩	(521)
土壤剖面中矿物的稳定性	(524)
搬运时矿物的稳定性	(529)
层内矿物的稳定性	(531)
重矿物分带	(532)

矿物稳定性: 理论上的和其它方面的考虑.....	(535)
辨识来源区的历史.....	(536)
第十四章 古水流和古地理学	(544)
引 言.....	(544)
方向性构造和组构.....	(546)
无定向特性和古水流.....	(550)
成分特性和古水流.....	(554)
地层厚度、等厚线和古水流.....	(557)
古水流和时间.....	(558)
古水流和盆地分析.....	(559)
相图和古地理.....	(560)
第十五章 环境分析	(570)
引 言.....	(570)
环境的概念.....	(570)
环境参数.....	(571)
环境的分类.....	(581)
相模式和环境的重塑.....	(584)
第十六章 沉积作用和大地构造	(613)
引 言.....	(613)
克拉通.....	(614)
地 槽.....	(616)
造山运动的沉积物.....	(620)
地槽旋回.....	(624)
地槽和板块构造.....	(625)
第十七章 沉积物和地球历史	(631)
引 言.....	(631)
土壤的演化.....	(632)
页岩的演化.....	(632)
砂岩的演化.....	(634)
碳酸盐岩的演化.....	(636)
常见沉积物的相对丰度和地质时代.....	(636)
沉积作用的速度.....	(637)
一天的长度与月球潮汐.....	(638)
早期大气圈的问题.....	(638)
总结和评价.....	(639)

第一章 绪 论

定 义

一种沉积出的沉积物是在地表上或靠近地表处以低温、低压为正常特征的环境下所堆积的固体物质的沉积体。沉积物一般是从一种流体中沉积出来的，流体中包含有悬浮的或溶解状态的物质，但沉积物也不是永远这样。这个定义包括了被认为是沉积物（或沉积岩）的大部分物质，虽然有些堆积物，如像来自火山喷出的碎屑物质，一般是由空气所携来，并在一种固体状态下沉积，它可以形成于较高的温度下；还有其他的，如深海底造成的沉积物，聚集于压力大为超过正常的压力之下。

沉积岩石学是岩石学的分科，它是与沉积下来的沉积物以及它们的古代相当物——沉积岩有关的。正如岩类学是对岩石的描述一样，沉积岩类学是描述沉积岩的。在美国，沉积作用这一术语一般是用于被指定为沉积物的研究。然而，在一种限定的意义上讲，沉积作用是沉积物堆积的作用，并且主要是应用于（在科学领域上如像物理学和工程学）固体质点从流体中沉降出来的作用。因为沉积岩石学经常被认为只是对沉积物作显微镜下的研究，所以曾经提出沉积学这一术语〔Wadell, 1932〕来作为关于沉积物的科学的适宜名称。沉积学被许多人考虑为比沉积岩石学有更为宽广的领域。后者经常是只用于实验研究——主要是沉积岩的薄片研究，而沉积学却将实验观察与野外所作的工作结合起来了〔Vatan, 1954, p. 3—8〕。这个术语在欧洲的工作者中得到赞同，并且在召开国际沉积学会时给以确认。

沉积学和地层学之间的界线并没有清楚地划分。从最广泛的意义上讲，地层学是关于地层的科学，并且能够解释包含所有的方面——包括结构、构造以及成分。然而实际上地层学人员主要是关心地层的顺序和地质柱状剖面的建立。因此，地层学的中心问题是时间上的以及包含着地层的局部连续性（迭复的顺序），局部剖面的对比，以及在世界范围内柱状剖面的模式作用的有效性。虽然这些都是地层学的研究对象，而且厚度的量测和总的岩性描述通常也被认为是地层学人员的一部分任务。我们对于许多沉积物的特性，如层理、交错层理、以及其他易于在露头上见到的特点，有很多知识都应归之于地层学人员的严密观察（图1—1）。

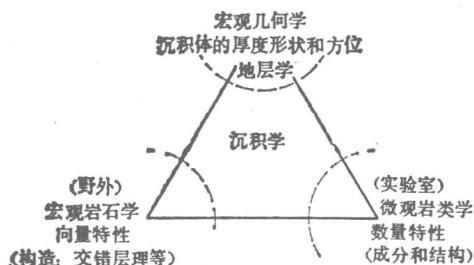


图1—1 沉积学与地层学和沉积岩石学的关系

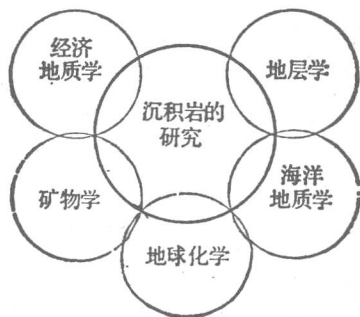


图1—2 沉积学与其他地质科学的关系

沉积学的研究不能脱离于其他的地质学学科。其中有许多,如矿物学、地球化学以及海洋地质学,都是对沉积物的了解有作用的。后者的研究,依次又对经济地质学和地层学的问题有所贡献(见图1—2)。

沉积学的历史

“过去至少是对于现今的序幕”

虽然沉积学作为科学是起源于近代,但人们对沉积物的知识却可以回溯到过去很远的时代。原始人已经知道燧石产出的某些性质及状况,已经可以用燧石制作成石刀和石矛以及箭头;知道有关粘土的一些特性,用粘土制成了陶器;还知道有赭石,可用以作为颜料。无疑地,原始人创造了许多至今还为我们所使用着的术语。如石头、卵石、打火石。这些术语是从科学世纪之前继承下来的,并仍然在使用着;而另一些如角石、板层砂岩、或圆砾岩,都业已变成被废弃的词。

首先记录下思索的似乎是那些古希腊人,他们中有些人对沉积作用的自然过程作过惊奇的机敏地观察和研究〔Krynine, 1960, p.1721〕。尽管这些早期的尝试还没有真正作为科学出现。

在沉积岩方面,首要的真正有意义的工作大部分是属于地层学的。野外研究曾直接针对沉积体的总的几何形状——即对它们的厚度和横向延伸范围的确定。研究沉积物的一个重要里程碑就是1815年由威廉·史密斯印行的英格兰地质图(“地层”),他是一个自学的工程师和土地测量技师。斯氏的图幅,是在马背上工作了许多年,行程11000英里(即17600公里——译者注)的成果,是企图描绘一个区域内沉积岩的分布和排列顺序的首次成功。史密斯特别有贡献的是他发现了化石对于对比地层的用处。因此,沉积学是开始于地层的科学,对地层确实是密切相关的。早期的地层学者对我们的沉积岩知识有很大贡献,并且他们的许多研究是曾经体现在他们的科学记录和论文中。葛利普的“地层学原理”〔Grabau, 1913〕包含有这些知识的广泛总结。W.H.特温霍费尔的《沉积作用论文集》首次出版于1928年,在许多方面是与葛利普的著作“一脉相传”的。

对沉积物的研究作为从地层学中的分科而分出来,可以说是开始于亨利·克利夫顿·索尔贝在1879年伦敦地质学会上的主席演说中陈述出来的。虽然索尔贝对沉积物的兴趣清楚地表明于他在1850年刊行的第一篇论文中,他的演讲“石灰岩的构造和成因”以及印行于翌年的论文“非钙质成层岩石的构造和成因”,标志着沉积岩研究中的转折点。从索尔贝开始了沉积岩的薄片研究,一般在岩石研究中,这一技术被认为起着极其重要的作用。不过索尔贝对沉积岩的兴趣超过了它们作为一个地层柱状剖面内的一些部分(即层位——译者注)。他研究和了解这些岩石是在于岩石本身的价值上。索尔贝确实是一个开辟者,并且普遍地被认为是“岩石学的奠基者”。他在许多方面远远领先于他的时代。例如,他在1859年对交错层理的论文,揭示了对原生沉积构造在古地理重塑中的用处的了解——这一观点只在近代才得到更广泛的认识。他的最后的一篇论文,印行于1908年,恰在他82岁逝去的两年之前,题目为“论岩石的构造和历史的定量方法的应用”,预示了自那时以后的几十年的进展。索尔贝在岩石学中所起的作用,曾由福克〔Folk, 1965〕总结过。

岩石薄片的研究技术也曾由学火成岩的人所使用,在其他人中,德国的岩石学者罗森布

什和齐克尔也曾注意过。但在整体上,是被学习沉积岩的人所忽视的,这可能是由于这些研究者最初是在地层学方面而不是在岩石学方面得到训练的。最值得注意的例外是卢西·卡耶,他对法国沉积岩的岩类学专题论文的印行,迄今仍是卓越的。卡耶的第一篇论文出现于1899年,最后一篇是在1931年。它们包括众所周知的,解释完美的关于法国沉积的铁石、磷酸盐岩、硅质岩及钙质岩的论文。沉积岩的薄片研究,虽然长期被忽略,现在却可能已成为平凡的,因为沉积学的成长已经作为地质科学的分科而从地层学中分出来,由在岩类学的方法中新产生的学科而活跃地体现出来。显著的贡献包括哈汀对于瑞典沉积岩所写的内容广泛的许多较长的论文;马库斯·戈德曼在美国的开创工作以及克里宁和他的学生们在美国近年来的研究,福克对于石灰岩的研究,哈利蒙德和泰勒对英国铁石的研究工作,德弗林在瑞士的相似工作,居维叶的微相研究,什维佐夫、鲁欣、斯特拉霍夫以及其他苏联沉积学者的出版物,科林斯的研究工作和他的格廷根研究所的工作成果等等。

然而,直到最近,主要的沉积岩石学者——除了卡耶之外——都将他们的能力献于沉积物的矿物学研究,最特别的就是砂岩的矿物学,并且尤其是所谓“重矿物”〔见Boswell在1933年对于沉积岩石学这一分科的历史述要〕。重矿物(比重 >2.85)的研究特别被欧洲大陆和英国的研究者彻底研究过。在这一领域中,早期的工作者有意大利的阿尔蒂尼、法国的索利特、德国的勒杰斯以及英国的托马斯和其他人。伊林〔Illing, 1916〕的研究是在一个特殊盆地内,他认为每一个沉积单位趋向于有一个唯一的碎屑矿物组合以致可以作所谓的“重矿物对比”。重矿物的用途作为一种地层学的方法,并应用这种知识于石油勘探中地下地层对比的课题上已大为增加了兴趣。这一阶段的科学,在米尔纳首次印行于1922年的《沉积岩类学原理》中达到了顶点,此书基本上是一种研究砂岩的碎屑矿物的手册。近年来,埃德尔曼和其他的荷兰学派的人最为活跃。然而,一般对于这一主题的兴趣是有下降的,一部分原因是因为辛道夫斯基、韦尔等人怀疑重矿物在地层学上的价值,但主要还是因为微体化石有了较大的用场,还有更近年来地球物理测井技术对于地下地层对比的应用。但是在地层学者当缺乏化石而用重矿物作为工具时,有荫蔽这些矿物在其他方面的价值的倾向,并且也造成了与重矿物对比上为同义语的沉积岩类学这一术语。

在1919年,C.K.温特沃思的硕士论文“中砾磨蚀作用的野外和实验室研究”在《地质学杂志》上发表。温氏为衣阿华大学毕业生,其时刚刚开始对沉积物质作新法研究。他能在本质上拟定出圆度的定义,使这种由碎屑物质表现出的性质,能够容易地量测出来。主观的判断由客观的量测所代替,并收集了大量数据,并且也有可能在实验室作出对于像中砾磨蚀作用这样的实验研究。因此,温特沃思开创了一个量测和对照实验的时代。真正的早期实验者最引人注意的是多布列,以及某些早期的定量研究(例如,碎屑沉积物的粒度分析),但在沉积物方面的大量研究仍然是定性的,并且带有主观的性质。

温特沃思的第一篇论文被其他人所遵循,进一步阐明了这一方法的效果,并导致定量研究有很大进展,以致使以后的二十年中,定量方法应用到许多其他的沉积特性上。以后收集的许多资料必须进行总结和特征化。首次临时应用而立即被很普遍地接受的就是统计学方法。虽然温特沃思本人曾企图对颗粒的粒度分析数据使用统计学方法,但派克·特拉斯克却显然是第一个设计出易于接受的统计方法的人。

碎屑沉积物质的粒度量测(“机械分析”)曾在很多分科中完成过,尤其是在土壤科学中。伊利诺斯州石岛的奥古斯塔纳学院教授乌登的工作是研究风成的沉积物〔Udden,

1899〕, 他的较长论文〔Udden, 1914〕是首次研究了将粒度分析用于沉积物的地质历史的说明上〔对于粒度的研究历史, 见Krumbein, 1932〕。自从克鲁宾等人以来, 精练了分析的方法, 并应用统计技术于粒度和其他属性的更令人困惑的状态。

地球化学作为地质科学的一个分科出现, 所引出的新方法和新观察, 对于沉积学者也有很大意义。地球化学人员的早期工作大都从事于化学元素在自然界中分布的定量研究, 包括它们在沉积物中的分布。这样的资料渐渐导致对“地球化学循环”或者地球化学规律的了解, 它控制了这种分布和有关元素被携来的作用。更近年, 核子化学贡献出一种“时钟”和一种“温度计”, 打开了研究的新领域。放射性元素, 特别是 ^{14}C 和 ^{40}K , 有可能对某些沉积物作直接年龄测定。利比氏的 ^{14}C 方法曾应用于近代和接近近代的沉积物; $^{40}\text{K}/^{40}\text{A}$ 方法测定年龄曾应用于有海绿石的古老沉积物及含较少自生钾长石、粘土矿物以及钾盐的沉积物, 得到了某些成功。同位素分析也可以鉴定古温度。尤里的方法是根据温度依 $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ 的比值而变化, 曾用于估计古代海洋沉积物中介壳形成时的温度。虽然“时钟”和“温度计”在许多方面是有缺陷的, 但对于沉积记录的研究仍然作出过重要的贡献。

范特·霍夫首先采用了相律的原理来研究卤水的结晶作用和盐矿床的形成。然而对进行结晶的混合物质的实验研究, 大部分仍限于对火成岩和变质岩有兴趣的人对于高温的硅酸盐系统的研究。只是在近年, 沉积学者才作了有意义的系统的研究而有了重要进展。这些进展曾由尤斯特〔Eugster, 1971〕作了回顾和进行综述。例如, 应用于非海相盐矿床的方法和对于怀俄明州和科罗拉多州的绿河组(始新世)的特征矿物研究〔Milton and Eugster, 1959〕。曾氏〔Zen, 1959〕阐明了吉布斯相律对于沉积岩中粘土矿物—碳酸盐关系的可用性, 这是彼得森〔Peterson, 1962〕在东部田纳西州对碳酸盐用过的一种方法。

某些关于不同的氧化-还原电位(Eh)和不同的pH值下矿物稳定性的理论工作和实验工作是由加勒尔斯和其他人作过的〔Garrels and Christ, 1965〕。沉积地球化学的进展允许我们对于沉积物的了解有很大程度地增长。对这一课题的意义的扩展是由德根斯的《沉积物的地球化学》〔Degens, 1965〕以及伯纳在《化学沉积学原理》〔Berner, 1971〕一书中所示出的。

近代沉积物的研究对于古代沉积物的了解基本上是遵循詹姆斯·赫顿均变说的一种必然的结果。除了沃尔瑟、索利特及少许其他人之外, 直到近年, 他们的合乎科学的方面都易于被沉积学者所忽略。我们对于近代沉积物的知识, 尤其是对海相沉积物, 是过去大量地海洋学量测工作的成果; 首先的第一个、可能也是最著名的就是挑战号探险船。1891年“挑战号报告”划时代的刊行, 保证了海洋学在它本身的正确方向上建立起来。这些报告中包含许多有关海底沉积物的分布和性质的资料, 特别是在深的大洋。其后的探险即由羚羊号、流星号、布莱克号以及其他的海洋船的开辟者进行, 它们对于认识海相沉积物都有很大的贡献。最近, 地质人员在这些沉积物的研究中承担了很重要的任务。其中斯特森在伍兹·霍尔和谢泼德在斯克里普斯研究所都作有较大的贡献, 这确实重新引起了研究海相沉积物的兴趣。三角洲的和滨海的沉积物也是在更近年才加强了研究的, 特别是在美国的菲斯克的工作, 荷兰学派的范·斯特拉顿等人以及在森肯伯格的一些人的工作。近代海洋沉积物, 由派克·特拉斯克〔Parker Trask, 1939〕所编辑, 在此课题上是确实证明增加了意义的。美国石油研究所的墨西哥湾的沉积物研究计划和范·斯特拉顿对于荷兰的潮坪, 范·安德尔对莱茵河和奥里诺科河, 克鲁特与范·安德尔对罗尼三角洲, 以及金斯伯格对佛罗里达和巴哈马滩的碳酸盐

沉积物的研究，都是地质人员对现代沉积物有研究兴趣的实例。

显著的例外，往往是未参考地质记录（不了解实际露头剖面）即进行现代沉积物的研究，致使这种研究得不到结果，这是与野外地质人员有关的。这主要是因为样品系采自现在的沉积物-流体界面，并且只研究了结构的和矿物的属性。全新世沉积物的更有益的研究是三维的，包括钻孔中的，展示出沉积物的几何形体，层的垂向层序，以及原生沉积构造。

对于近代沉积物研究中的三维方法，导致更密切地注意于近代与古代沉积物二者的几何形体和垂向剖面。研究沉积物几何形体的很多兴趣都集中于砂体的形状和大小，在1960年时曾有一个专题的论丛〔Peterson and Osmond, 1961〕。古代和现代的礁体的形状已表明有可资比较的意义〔例如，见美国石油地质学会会志的礁体问题专号，第34卷2期，1950〕。

从历史上看，地层学曾经是一种观察的科学，它对于地层层序的成因曾大致注意过。沃尔瑟的岩相定律是建立在地层剖面没有时间间断的情况下，那些沉积物在地区上相邻，在垂向上也必定是相继承的。作为近代沉积物的研究结果，这种概念曾用于建立与沉积有关的作用，如海进或海退的沉积模式或相模型。这种作用不仅允许描述垂向剖面，而且也是对于其形成机理的一种了解。相模型的概念可能是在近年来环境分析中唯一最重要的进展。垂直剖面在环境重塑中的效用的早期总结是由维谢尔〔Visher, 1965〕作出的，而且塞利〔Selley, 1970〕也有过一个很好的扼要的论述。对地层上使用这种方法的卓越实例是德·拉夫、里丁以及沃克〔de Raaf, Reading and Walker, 1965〕关于德沃北岸石炭纪地层的论文以及艾伦〔Allen, 1962〕关于威尔什边缘地的老红砂岩下部陆相标志的研究以及其他地方相似层系的研究〔Allen, 1970^b〕。

垂向层序的研究不仅包括岩性学和指相化石，而且也包含着沉积构造。对于在沉积构造方面重新恢复了兴趣，导致在其分类、环境意义、古流向分析上的效用的论文过多，并且自然还有成因的——这方面包含流体和土壤力学二者。正如麦基〔McKee, 1971〕所注意的“长久以来就知道，但又常常未予注意的原理就是：只有沉积构造——不是成分或结构——才明显地指示了沉积环境”。因此，许多近代沉积物的研究曾直接地去识别特殊的构造或构造位置，它们可判断每一种特定环境。可能恰好重要的是在垂向剖面上见到了构造层序。

研究沉积构造的意义不仅是对于环境分析而且也是对于先前沉积物堆积时水流系统的指南。古水流系统可以通过原生的流动构造的量测和制图而重塑，就如索尔贝在一百多年前所预见的。虽然这些流动构造——交错层理、波痕以及类似的其他构造——久已为人知晓，但水流方位的系统的记录，处于一种“有条理样的状态”，有如索尔贝所表达过的那样，乃是比较新的发展。部分地和不完全地研究是由鲁德曼（他在1897年对纽约州的尤蒂卡页岩以图标出了其中化石碎片的方位）、海德（他在1911年作了俄亥俄州的贝里亚砂岩的波痕图）以及鲁比和巴斯（他们于1925年对堪萨斯州的达科他组的河道砂岩作了交错层理的图件）等人作过。积累的古水流方向研究是从汉斯·克洛斯和他的学生们在1938年的工作开始的。自从1950年以来，这样的工作已经变成寻常的了。对沉积构造予以重新注意是反映在若干种关于这一论题的专题论文集的出版方面（见本书第4章，沉积构造）。

对于原生沉积构造的兴趣自然使人要更严格地探问它们的形成方式。既然作为最盛行的来提出，则研究起作用的水动力的注意也日益增加。这种兴趣反映在1964年印行的一卷论文集：原生沉积构造及其水动力解释〔Middleton, 1965〕，艾伦〔Allen, 1969, 1970^a, 1971〕的一系列重要论文以及其他人的文章。

对沉积物几何形体重新发生兴趣，在垂向层序内，以及在沉积构造上的工作对研究沉积岩都有很大变化。这使得沉积结构和矿物组成的研究工作（基本上是实验工作）的重要性降低了，并且重新肯定了沉积构造、几何形体以及垂向层序的研究。这种沉积岩石学和地层学的融合可以恰当地称为沉积学〔Doeglas, 1951〕。它也反过来使野外研究得到新生。此处，我们让这一课题在未来中掌握。

如果有较广兴趣的眼界，一个人可以从一种特殊的垂直层序的环境分析转向考虑将沉积盆地作为一个整体。盆地分析涉及到大地的构造和沉积作用。后者的研究包括古水流系统、相的制图以及古地理的重塑。一个成长中的概念认为一个碎屑分散系统产生了相互联系的全方向性和有方向性特性，这些性质可以用来重塑盆地的结构以及沉积作用和古地理的原始条件。因而这一概念一起带来了大部分早期方法，以及沉积岩石学的概念和较新的野外研究；并使得一个盆地的模型模式化。这样的模型有可能更好地了解沉积盆地内的充填，并使一个人能够在下倾方向预测出尚未见到的沉积物的分布和特性。

盆地范围的古流向分析的对比就是对岩相的限定和制图——大部分是1945年以后发展起来的。最早是想作出岩相的描绘，但要建立足够的岩相图，必须一直等到有大量的地下资料——岩性的和地球物理的资料——变得有价值时。对石油和天然气扩大面积的钻探提供了所需要的资料，而且石油的产状与岩相的关系给予此论题的研究更进一步的促进。岩相的讨论会于1948年由美国地质调查所主持召开，表明了1945年以后很快对岩相方面发生了兴趣。

对沉积盆地的研究和对它们的充填与其历史的研究，导致出大陆演化的问题。大地构造和沉积作用之间，克拉通沉积物和地槽沉积物之间，以及沉积作用和板块构造之间的关系，都是属于所研究的一些较重大的问题。沉积作用和大地构造的兴趣可以回溯到伯特兰〔Bertrand, 1897〕早年的论文以及特西〔Tercier, 1939〕的论文，但现今的意义却是始于克里宁〔Krynine, 1942, 1951〕和佩蒂庄〔Pettijohn, 1943〕的论文。关于质量平衡和物质转化的问题曾特别由罗诺夫、米格迪索夫、巴尔斯卡娅〔Ronov, Migdisov and Barskaya, 1969〕以及加勒尔斯和麦肯齐〔Garrels and Mackenzie, 1971〕所概括过。这些

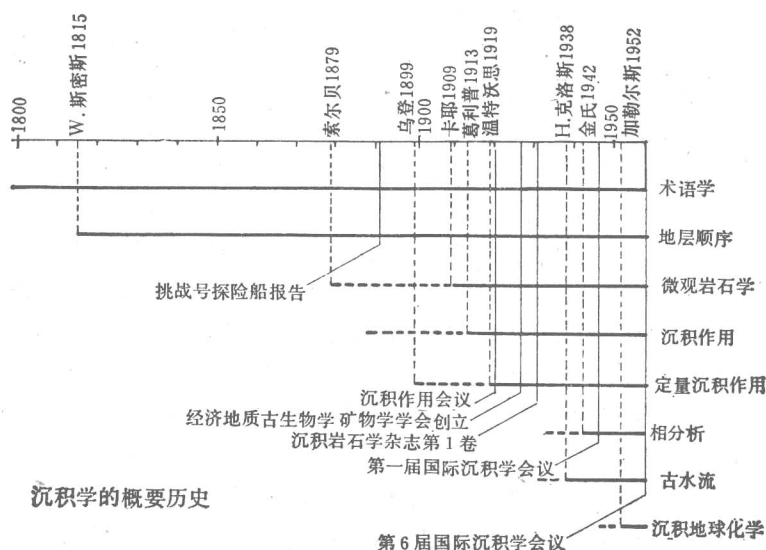


图 1—3 沉积学在各方面进展的直方图解