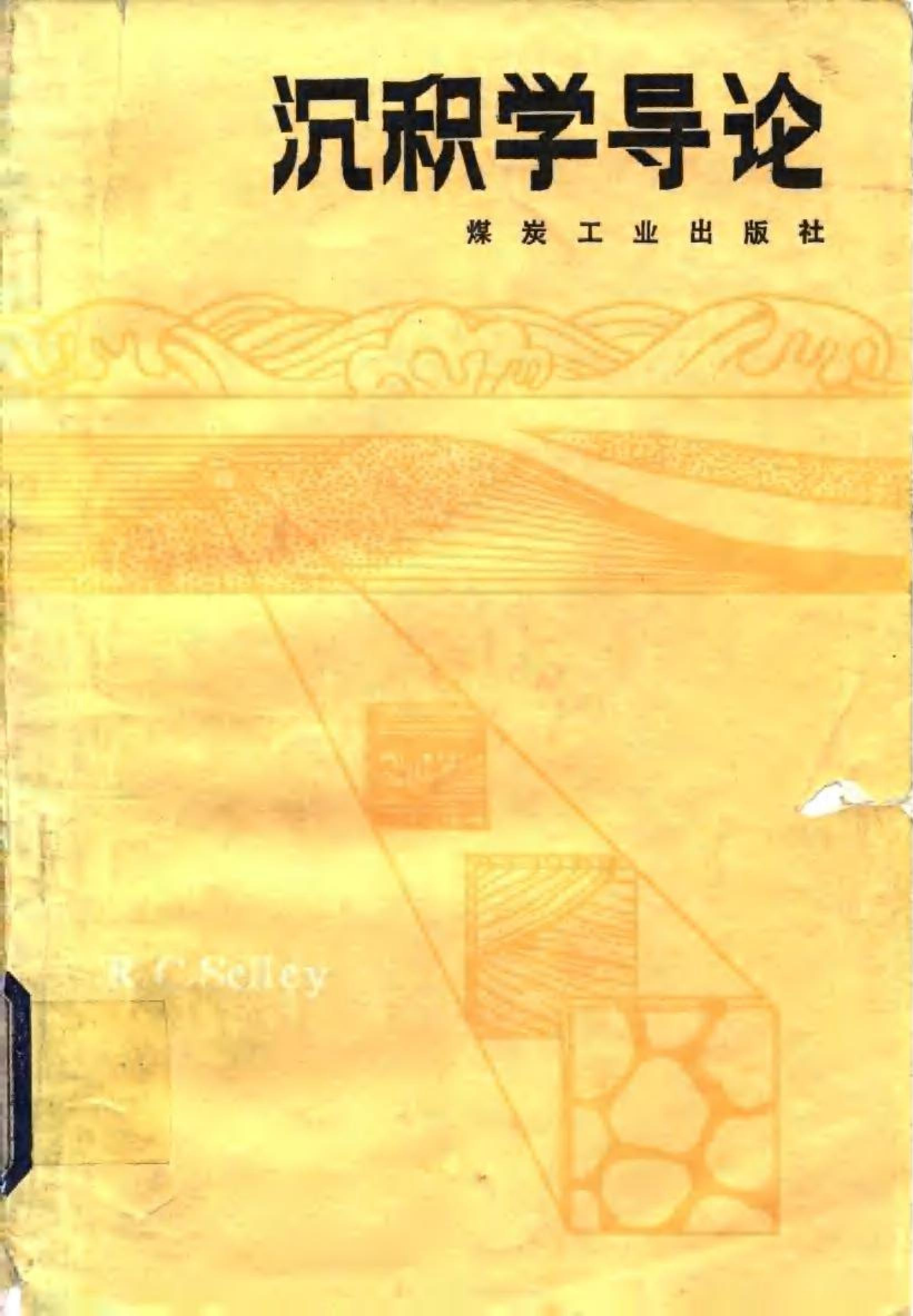


沉积学导论

煤炭工业出版社

R. C. Selley



風雨學界

.....

沉积学导论

[英]R.C.塞利

吴贤涛 胡 斌 译

煤炭工业出版社

内 容 提 要

本书系统而概括地论述了沉积学的主要内容。全书共分十章，第一章绪论；第二章颗粒和孔隙（颗粒的物理性质，孔隙度和渗透率）；第三章风化作用和沉积旋回；第四章异地沉积物（分类，泥岩，火山碎屑沉积物，砂岩，砾质岩）；第五章原地沉积物（碳酸盐岩，煤，沉积氧化铁，磷酸盐岩，蒸发盐岩）；第六章搬运作用和沉积作用（水的作用，风的作用，冷川作用，重力作用）；第七章沉积构造（生物沉积构造，原生无机沉积构造、古水流分析）；第八章环境和相（沉积环境，沉积相，沉积模式，沉积的模式、增量和旋回）；第九章沉积盆地（环境、基准面和构造作用，沉积盆地）；第十章应用沉积学（油和气，其它沉积矿产）。图文并茂，资料丰富。是沉积学入门的好向导。

本书读者对象：地质工作者及地质院校师生。

责任编辑：吕代铭

R.C.Selley
An Introduction to
Sedimentology
ACADEMIC PRESS INC. (LONDON) LTD 1976

沉 积 学 导 论

〔英〕R.C.塞利

吴贤涛 胡 斌 译

煤炭工业出版社 出版

（北京安定门外和平北路16号）

煤炭工业出版社印刷厂 印刷

新华书店北京发行所 发行

开本850×1168¹/₃₂ 印张10⁰/₁₆插页1
字数 277 千字 印数1—2,920
1985年11月第1版 1985年11月第1次印刷
书号15035·2746 定价2.10元

52108/12

原 序

沉积学，研究沉积的科学，在近二十五年内发展迅速。起初的发展动力来自石油工业。近来，由于海洋学的兴起，沉积学的发展达到了高潮。

综合沉积学领域各方面内容的好书已有许多，但精辟地概括这门学科的书却寥寥无几。《沉积学导论》这部书试图作这种概括，不过仅限于某些专门和有限的目的。

本书是为具有地质学基础知识的人写的，但作者希望它对有资格的地质学家也有所裨益。

本书也是为对古代沉积物感兴趣的地质学家而写的。本书讨论了现代沉积作用及其产物，但这不是它的主要内容，这只是为了帮助我们对古代沉积作用及其产物的理解。

世界上全日的专业沉积学家寥寥无几。但许多专业地质学家需要沉积学的基本知识，作为其职业的部分知识储备。我写这部书是为了使在学的和已从业的地质工作者能如愿以偿。

本书的第一章是绪论，这一章把沉积学与物理学、化学和生物学联系了起来，并讨论了沉积学与地质学其它分支学科的关系。

第二章讨论了沉积物的物理性质，重点为沉积颗粒、松散沉积物的孔隙率和渗透性。

第三章述评了形成沉积物和沉积旋回的风化作用过程。

第四章和第五章叙述了沉积物的岩相学和成岩作用。这些并不代表完整的岩相学，因为在研究岩相学的实际过程中尚需参考若干其它的好读物。这两章的目的在于说明成岩作用和孔隙率发育之间的关系，为以后各章提供最低限度的基础知识。

第六章简要地定性地评述了沉积物的搬运和沉积作用过程。

第七章描述了沉积构造，并说明了沉积构造在岩相分析中的作用。

第八章讲环境和相。这一章说明了怎样应用现代沉积研究来确立一系列在地质时代重复出现的沉积模型。

在此之后是第九章，讨论沉积盆地，定义了各种类型的盆地，并用图详加说明。把盆地地志学及其演化同板块构造学说的概念联系了起来。

本书的结尾选择性地叙述了沉积学的某些应用。重点放在找油和找气及找其它沉积矿产。

作为结语，我写此书力求叙述沉积学中那些对地质工作者至关重要的方面，而不是沉积学的整个领域。

R. C. Selley

一九七五年八月

目 录

第一章 绪论	1
§ 1 引言及历史的回顾	1
§ 2 沉积学和地球科学	3
第二章 颗粒与孔隙	6
§ 1 颗粒的物理性质	6
一、颗粒的表面结构	6
二、颗粒形状、球度和圆度	7
三、颗粒大小	9
§ 2 孔隙度和渗透率	20
一、引言	20
二、孔隙形态	25
三、原生孔隙的成因	31
四、压实作用对原生孔隙的影响	35
第三章 风化作用和沉积旋回	40
§ 1 引言	40
§ 2 沉积旋回	41
§ 3 风化作用	44
一、生物风化作用与土壤形成	44
二、物理风化作用	48
三、化学风化作用	49
四、经济意义与结论	53
第四章 异地沉积物	56
§ 1 引言：沉积物分类	56
§ 2 异地沉积物分类	59
§ 3 泥岩	60
一、腐泥岩和油页岩	61
二、正粘土岩和粘土矿物	64

§ 4 火山碎屑沉积物	68
§ 5 砂岩	69
一、砂岩的命名和分类	69
二、砂岩的描述	76
三、成岩作用对砂岩孔隙度的影响	81
§ 6 砾状岩石	90
第五章 原地沉积物	93
§ 1 引言	93
§ 2 碳酸盐岩	96
一、引言	96
二、碳酸盐矿物	96
三、碳酸盐岩的物理组成	98
四、命名与分类	102
五、成岩作用和孔隙演化	104
§ 3 煤	117
§ 4 沉积氧化铁	122
§ 5 磷酸盐岩	123
§ 6 蒸发盐岩	126
一、引言	126
二、蒸发盐岩总的地质特征	127
三、碳酸盐-硬石膏旋回	132
四、岩盐-钾碱蒸发盐岩层序	139
五、蒸发盐岩的经济意义	143
第六章 搬运作用和沉积作用	145
§ 1 引言	145
§ 2 水的作用	150
一、拖流沉积作用	150
二、浊流沉积作用	153
三、悬浮沉积作用	160
§ 3 风的作用	162
一、拖动地毯式风成沉积	162
二、悬浮风成沉积	165
§ 4 冰川作用	166

§ 5 重力作用	167
第七章 沉积构造	171
§ 1 引言	171
§ 2 生物沉积构造	172
§ 3 原生无机沉积构造	177
一、引言	177
二、前沉积（层间）构造	178
三、同沉积（层内）构造	181
四、后沉积构造	193
五、混杂构造	198
§ 4 古水流分析	201
一、古水流资料的收集	201
二、古水流资料的描绘	202
三、古水流资料的解释	205
第八章 环境和相	209
§ 1 沉积环境	209
一、环境定义	209
二、剥蚀环境、均衡环境和沉积环境	210
三、环境分类	212
§ 2 沉积相	216
§ 3 沉积模式	219
一、模式概念	219
二、几种模式的描述	220
§ 4 沉积的模式、增量和旋回	269
一、瓦尔泽定律	269
二、沉积作用的成因增量	270
三、层序和旋回	271
第九章 沉积盆地	274
§ 1 环境、基准面和构造作用	274
§ 2 沉积盆地	277
一、概念与分类	277
二、盆地	281
三、槽地	289

四、裂谷	295
第十章 应用沉积学	301
§1 引言	301
§2 油和气	305
一、碳氢化合物的成份、成因和圈闭	305
二、沉积学在开发碳氢化合物盆地中所起作用的变化	307
三、地层圈闭	309
四、沉积学和碳氢化合物的勘探：结论	321
§3 其它沉积矿产	322
一、引言	322
二、砂矿	323
三、同生矿床	325
四、后生沉积矿床	327
五、沉积物中的矿床：结论	330

第一章

绪论

§ 1 引言及历史的回顾

沉积学是研究沉积物的科学。1972年版的《坎帕辞典》指出，沉积物是“沉淀在液体底部的渣屑：一种沉淀物质”。但几乎没有沉积学者接受上述定义，因为我们习惯于把风成沉积和化学沉积的沉积物也都包括在内。所以，沉积学领域的范围尚不能十分恰当地确定。

本章旨在介绍沉积学的研究领域，并将其放在化学、物理学和生物学等基础科学系统之内。更狭义地说，置于地质学领域之内。

沉积学的历史演变是难以追溯的。在第一批能查证的开拓者中，当推石器时代诺福克郡的打火石探采者，如同在格里姆洞穴所见到的那样，他们采掘成层的燧石，用来制造打火石（据肖屯，Shotton, 1968）。随后，进化的人类必定会注意到其它有用的岩石，如煤、建筑石料等等，它们出露于地表。一个有争议的说法是“金羊毛”传说中曾提到灵巧的浮选方法，早在公元前十五世纪就已被用来淘金（据巴尔尼斯，Barnes, 1973）。

从文艺复兴到工业革命，近代沉积地质学的奠基者有里昂纳多·达·芬奇（Leonardo da Vinci）、赫屯（Hutton）和史密斯（Smith）等人。十九世纪末叶，均变学说在地质学者思想中已经确立。索尔贝（Sorby, 1853~1908）和莱伊尔（Lyell, 1865）的著作，阐述了怎样用现代的沉积过程来解释古代沉积物的结构和构造。

然而，整个二十世纪上半叶，如我们现在所知，沉积学学科处于濒死状态。沉积岩被认为只适合于作镜下研究，或者像化石一样，在室内进行研究。这一时期，由于沉积岩相学者的努力，

重矿物分析和统计理论得到了广泛应用。同时，地层学者采集化石，无论在什么地方，总是尽可能建立越来越精确的化石带，直至地层很薄而含有标准化石为止。

令人惊奇的是，现代沉积学并不是从岩相学和地层学相结合产生的。它似乎是从构造地质学和海洋学相结合演化而来的。这种异乎寻常的演变，值得一提。

构造地质学者常要寻觅区分倒转层序与正常层序的标准。如进行区域地质填图必须勾画伏卧褶曲和推覆体。为此，对许多沉积构造加以研究较为理想，特别是研究干缩裂隙、波痕和粒变层理。这种方法，在施罗克 (Shrock) 1948年所著的《层状岩石的层序》一书中反映最为充分。

总的说来，构造地质学者关心的是，出现在地槽海沟内巨厚沉积物。一本正确的地层学是正确进行构造分析的必要条件。有趣的是，不是地层学者而是构造地质学老前辈S.E.贝雷 (Sir Edward Bailey) 于1930年写了“沉积作用和构造学的新曙光”一文。文中指出了陆棚沉积结构、构造和深海盆地沉积结构、构造之间的基本区别。这篇文章还包含了浊流假说的萌芽。

在(二十世纪)五十年代和六十年代初期，浊流的概念使沉积物的研究恢复了活力。当岩相学者仍在计算锆石粒数、地层学者正忙于搜集更多的化石时，构造地质学者提出了“复理石相的巨厚岩层在地槽里是怎样沉积的？”这个问题，给现代海洋学提供了浊流的可能机制。确实，浊流概念使沉积岩石学的研究复苏了，尽管热情的地质工作者把从加拿大的维金砂坝到撒哈拉的纽宾冲积砂岩等各类岩相都鉴定为浊积岩。

沉积学的另一个推动力来自石油工业。为了寻找储油地层圈闭，现代沉积物的研究便因之繁荣起来。这方面的主要成果之一，就是美国石油研究所的“51号计划”，即对墨西哥湾西北部现代沉积物的多学科研究(据谢帕德等, Shepard et al., 1960)。

此后，石油公司、大学和海洋研究所对现代沉积物的其它许多研究项目相继上马。最后，确实发展到用类比现代沉积的方

法，就能可靠地对古代沉积岩作出解释。当弄清一定的沉积环境往往沉积特有的沉积岩相以后，就产生了沉积模式的概念。

六十年代末，沉积学已牢固地被确立为地球科学的一门独立学科。

§ 2 沉积学和地球科学

表1说明了沉积学和生物学、物理学、化学等基础科学之间的关系。

运用这些基础科学中的一门或几门来研究沉积物，就产生了地球科学的不同研究途径。在地质学的范畴内，对这些作为建立沉积学的手段将进行回顾。

生物学，即对动物、植物的研究，也适用于古代沉积物中的化石。古生物学是专门研究古生物的演化、形态和分类的学科，于是它便从沉积学范畴内分了出来。

对沉积物中化石的研究，有两种方法是卓有成效的。地层学是以生物地层带的定界及其与岩石地层单位间相互关系的研究为基础的（据什奥，Shaw, 1964；马休斯，Mathews, 1974）。完善的生物地层学实用于对区域地质构造和沉积学的研究。

化石研究第二个主要领域是推演生物生存时期的生长环境及其相互关系。这种研究称为古生态学（据艾格，Ager, 1963）。保存在原地的化石，是分析沉积环境的重要论据。

沉积学的分科及其与基础科学的相互关系

表 1

生 物 学	古生物学
↓	生物地层学
↓	古生态学
↓	环境分析
↓	相 分 析
↓	盆地分析
物 理 学	岩 相 学 { 岩石物理学
↓	成 因 学
↓	地球化学
化 学	

4

环境分析就是鉴定沉积物的沉积环境（据塞利，Selley，1970）。

我们对沉积学的回顾，现在从生物学方面转到沉积学（包括生物、物理和化学性质）方面来。正确地鉴定和解释其中所含的化石，对于确定岩石的沉积环境显然十分重要。举一个很简单的例子，根土层指示陆地环境，珊瑚礁则指示海洋环境。然而，沉积学的大多数应用，都是以研究钻孔中的岩屑为基础的。在这类地下工程中，微体古生物学是研究地层和环境的关键。因此，古生物学的两个方面，即研究组成岩石的化石（如石灰岩）和微体古生物，对沉积学具有重要意义。

除生物学以外，环境分析也以对岩石物理特性的解释为基础。这包括粒度、结构以及沉积构造等。水力学是研究流体运动的，松散边界水力学是牵涉到粒状固体与在其上流动的液体之间的相互关系。这些自然学科，可通过理论数学、实验室试验或实地调查现代沉积环境来研究。这种分析方法可用于测定控制古代沉积物沉积时水流作用的物理参数（据艾伦，Allen，1970）。

环境分析也需要应用化学来研究沉积物。陆源岩石的碎屑矿物可表明他们的来源和沉积前的历史。自生矿物则能提供岩石的沉积环境及其以后成岩作用的历史线索。

因此，环境分析包括应用生物学、物理学和化学来研究沉积岩。

相分析是区域沉积学的一个分支，它包括三方面的练习：一是一个地区的沉积物必须分成不同的自然类型或相；二是这些相要由岩性、沉积构造和化石来确定；三是所推断的每一个相环境要用生物地层学将其纳入时间序列。

像环境分析一样，相分析也需要应用生物学、化学和物理学。然而从区域范围来说，相分析包含了对整个盆地沉积物的研究。这里，地球物理学不仅对研究沉积盖层，而且对了解沉积盆地地壳的物理性质和过程，都很重要。

沿着表 I 的系统往下，我们再谈谈沉积物的化学方面。已经

指出，如何利用沉积物的化学性质进行环境分析和相分析。岩石学或岩相学或多或少属于同义的术语，适用于显微镜下研究岩石（据卡罗兹，Carozzi, 1960；福克，Folk, 1968）。这些研究包括岩石物理学，它涉及诸如孔隙度、渗透性等物理性质。可是，它们更普遍地被认为是研究岩石的矿物学手段。

有许多理由说明沉积岩石学是很有用的。像已经指出的那样，它可用来揭示陆相岩石的起源和许多碳酸盐岩的生成环境。岩相学也能阐明成岩作用，即沉积物沉积后的变化。成岩作用的研究可阐明发生在岩石与流经岩石的液体之间的化学反应。人们之所以对成岩作用发生很大的兴趣，是因为它能破坏或增大岩石孔隙度和渗透性，这与研究含水层和储油层有关。化学研究对了解成岩作用过程中形成的次生矿床也很有用，如铅锌硫化物和钒钾铀矿。

最后，在表的末尾，我们把沉积岩化学的单纯应用叫做沉积地球化学（据狄更斯，Degens, 1965）。这是一个广阔的领域，它主要研究沉积物。自然，对难于用镜下方法研究的微晶沉积物也在其范围之内。因此，沉积地球化学的主要贡献是在粘土矿物、磷酸盐和蒸发盐类等方面。

有机地球化学主要涉及煤、原油和天然气的产生和成熟。有机地球化学综合了生物学和化学，致使这方面的讨论又回到它的起始点，即又回到了成因问题上。

上述分析是想说明沉积学如何综合了其它地质学科。以后各章将继续说明沉积学在多大程度上是以生物学、物理学和化学等学科为基础的。

第二章

颗粒与孔隙

按照定义，沉积物是一种疏松的或固结的颗粒集合体。任何沉积学研究都是从描述沉积物物理性质开始的。如果研究涉及区域构造问题，只扼要地描述一下“砂岩”即可。相反，如研究涉及小范围的具体沉积单位，有可能要写一本很厚的报告。必须记住，对沉积岩物理性质的分析，总体上应该达到研究项目的目的。

对沉积物物理性质的研究，就其本身而言是一个广泛的分析领域，不仅地质工作者十分关心，而且从广义的颗粒分析来看，对污物处理场所的管理人员、铅弹制造商、塑料珠子生产者以及对鸡蛋分级工也都是重要的。

热心于这一研究工作并有著作的有赫丹 (Herdan, 1953)、查伊斯 (Chayes, 1956)、提克尔 (Tickell, 1965)、穆勒 (Mueller, 1967) 和卡弗 (Carver, 1971)。

为研究不同地区的沉积岩，需要有充分的背景知识，下面就扼要地加以说明。可分两部分来谈：首先叙述单个颗粒和沉积物集合体；其次描述孔隙，即沉积物颗粒间空洞的性质。

§ 1 颗粒的物理性质

一、颗粒的表面结构

人们常常研究沉积物颗粒的表面结构，并试图把它和沉积作用联系起来。

以卵石为例，大的擦痕，一般被认为是冰川作用的证据。而干旱风成环境的卵石，其表面有时有磨光面，叫作“沙漠釉” (desert varnish)。通常认为这是卵石中毛细水流的运动作用和卵石表面上残留二氧化硅 (SiO_2) 蒸发的结果。地质上的古老记载说，风吹的砂粒具有不透明的霜状表面。库恩和帕道克 (Kue-

nen and Perdok, 1962) 认为霜状表面不是由于风和水 的磨蚀作用, 而是在地表条件下溶解与沉淀交替作用的结果。据马戈尼斯和克林斯雷 (Margolis and Krinsley, 1971) 的电子显微镜研究, 说明由风造成的颗粒与颗粒的碰撞, 可产生微小的裂隙, 这种裂隙能使颗粒表面裂成向上翘起的鳞片。

克林斯雷和他的合作者用电子显微镜描述过石英颗粒各种不同类型的表面结构 (克林斯雷和丰内尔, Krinsley and Funnell, 1965; 克林斯雷 和卡瓦 莱罗, Krinsley and Cavallero, 1970; 克林斯雷 和多伦坎普, Krinsley and Doornkamp, 1973)。他们鉴别了许多不同的磨蚀样式, 有的以冰川作用为特点, 也有的以风和水的作用为特征。在热带地区的露头和接近露头的地方, 溶解作用和次生石英胶结作用改变了这些磨蚀特征。因而古代石英颗粒的表面结构很少甚至不能显示其沉积作用的历史。

二、颗粒形状、球度和圆度

为确定沉积物颗粒的形状和研究颗粒形状的控制因素, 有过许多尝试。

卵石的形状通常按照津格 (Zingg, 1935) 的方案进行描述。用长度、宽度与厚度之间的比率来测量, 并据此分成如图 1 所示的四个等级: 球状 (等轴的)、扁圆状 (圆盘状或平板状)、刃状和扁长状 (圆柱状)。而斯尼德和福克 (Sneed and Folk, 1958) 所发展的方案则更为先进。

卵石形状既受母岩类型的控制, 又受其后期历史的制约。如板岩和片岩的卵石, 易成板状或刃状, 而均质岩石, 如石英岩多形成等轴亚球形卵石。远离源地的卵石也会变小并易形成等轴或刃状外形 (据普隆雷, Plumley, 1948; 什利, Schlee, 1957; 米亚, Miall, 1970)。人们也试图把卵石的形状与沉积环境联系起来 (如凯纽克斯和里卡特, Cailleux and Tricart, 1959)。萨姆斯 (Sames, 1966) 提出的分类标准则是利用卵石的形态结合圆度来区分河流和近海的卵石, 不过这些样品只限于均质岩石,