

限内部使用

沉积岩石学

曾允孚 夏文杰 主编



成都地质学院
沉积地质矿产研究所

前 言

这次新编的“沉积岩石学”统编教材是按照教育部关于教材质量的八项原则和“打好基础、精选内容、逐步更新、利于教学”的要求，遵照地质矿产部温江教材会议制定的岩石学教学大纲沉积岩岩石学部分规定的基本内容及份量，针对第一轮“沉积岩石学”试用教材在教学实践中提出的问题，结合我们几年来的教学体会及自己的一些特点，于八三年八月写成初稿。经评审组何镜宇教授（主审），姚振武、叶俭、陈景维付教授，李不惑老师等，提出的书面意见进行了修改。又于84年7月召开评审会，由何镜宇教授主持，姚振武、叶俭付教授参加，对第二次修改稿提出意见，再经作者认真推敲，反复修改。两位主编通篇统一，不下五次，最后定稿。编和审的同志密切配合，这样认真负责，不厌其烦，修改加工，目的是使教材能提高质量，真正为各院校乐于采用。

新编教材与第一轮教材有了很大的改进。在沉积岩的形成作用方面作了较大的修改，加强了水力学方面的解释及应用；对沉积期后变化及作用也有所加强；对沉积岩构造的内容和份量也作了适当的调整。对沉积岩各论的各章除了对内容及份量进行调整外，在成岩作用及岩石成因分析方面都有所更新；碳酸盐岩根据新的进展作了重写；最后对沉积环境及沉积相作了简要介绍；对沉积作用与板块构造的关系也作了扼要的讨论。此外，将“沉积岩石学中有关某些流体力学基本知识”作为附录，可供师生进一步参考。通过这次重新编写，加强了教材的基础，精选了内容并适当有所更新，体系比较严密完整，尽可能有利于教学和学生自学。全书出版字数接近40万字，岩石学部分教学约需60学时左右，沉积相及板块构造与沉积作用约需10余学时，专业不同内容还可取舍。

本书内容和份量适合地质、矿产、石油地质等地质类专业，以及综合性大学地质系学生之用，也可供地质、矿山、石油、煤田地质工作者，及有关地质人员参考。

本书由曾允孚教授、夏文杰付教授主编、参加编写的教师有曾允孚、夏文杰、李汉瑜、王正瑛、余光明、张锦泉。由李汉瑜付教授任责任编辑。

本书写成，首先感谢何镜宇教授及其他评审员和院内外有关任课教师的支持，提出了宝贵的修改意见，还有许多单位和个人提供了宝贵的资料，院内绘图室担负了全部图件的绘制和植字，以及各级教材部门对我们工作上的大力支持，在此一并致谢！

由于编者水平有限，加之教学还在不断改革，书中难免有错误和不当之处，望广大读者提出批评指正！

编 者

1984、11、20

目 录

绪 论	(1)
一、沉积岩的概念及基本特征	(1)
二、沉积岩石学的任务及研究方法	(4)
三、沉积岩石学的发展简史及其现状	(6)
第一章 沉积物的来源	(9)
第一节 概述	(9)
第二节 沉积物的主要来源——母岩风化产物	(9)
第三节 沉积物的其它来源	(19)
第二章 沉积物的搬运和沉积作用	(21)
第一节 概述	(21)
第二节 牵引流和沉积物重力流的基本特征及有关流体力学的某些基本概念	(22)
第三节 机械搬运和沉积作用	(25)
第四节 化学和生物的搬运和沉积作用	(42)
第五节 关于沉积分异作用	(51)
第三章 沉积期后变化	(53)
第一节 概述	(53)
第二节 沉积期后变化的阶段划分和特点	(53)
第三节 沉积期后变化影响因素	(57)
第四节 沉积期后阶段的主要作用	(63)
第四章 沉积岩的构造和颜色	(71)
第一节 概述	(71)
第二节 沉积构造的分类	(71)
第三节 流动成因的构造	(71)
第四节 同生变形构造	(90)
第五节 曝露成因的构造	(92)
第六节 化学成因的构造	(93)
第七节 生物成因的构造	(95)
第八节 复合成因的构造	(97)
第九节 沉积岩的颜色	(99)
第五章 沉积岩总分类	(101)
一、概述	(101)

二、目前国内外沉积岩分类现状	(102)
三、本书所采用的沉积岩分类	(106)
第六章 陆源碎屑岩	(109)
第一节 概述	(109)
第二节 碎屑岩的物质成分	(109)
第三节 碎屑岩的结构	(114)
第四节 粗碎屑岩——砾岩和角砾岩	(125)
第五节 中碎屑岩——砂岩	(131)
一、砂岩的分类及命名	(131)
二、砂岩的主要类型	(135)
三、砂岩的成岩后生变化	(139)
四、砂岩的孔隙性	(144)
五、研究砂岩的意义及研究方法	(145)
第六节 细碎屑岩——粉砂岩	(146)
第七章 泥质岩	(147)
第一节 概述	(147)
第二节 泥质岩的主要物理特性及其在工业上的用途	(147)
第三节 泥质岩的物质成分	(149)
第四节 泥质岩的结构、构造与颜色	(159)
第五节 泥质岩的分类及主要岩石类型	(160)
第六节 泥质岩的成岩后生变化	(163)
第七节 泥质岩的研究方法	(169)
第八章 火山碎屑岩类	(170)
第一节 概述	(170)
第二节 火山碎屑岩组分特征	(170)
第三节 火山碎屑岩的结构与构造	(174)
第四节 火山碎屑岩的分类	(177)
第五节 火山碎屑岩的成因类型及其形成机理	(181)
第六节 火山碎屑物(岩)的成岩、后生变化	(187)
第七节 火山碎屑岩的研究方法	(187)
第九章 碳酸盐岩	(189)
第一节 概述	(189)
第二节 碳酸盐岩的成分	(190)
第三节 碳酸盐岩的结构	(192)
第四节 碳酸盐岩的分类和命名	(197)
第五节 碳酸盐岩的成岩后生变化	(203)
第六节 碳酸盐岩的主要类型	(217)

第七节 碳酸盐岩的研究方法.....	(224)
第十章 硅质岩	(225)
第一节 概述.....	(225)
第二节 硅质岩的主要类型.....	(226)
第三节 硅质岩的成因.....	(229)
第四节 硅质岩的成岩后生变化.....	(233)
第五节 硅质岩的地质分布和实际用途.....	(234)
第十一章 其它内源沉积岩和附生岩类	(236)
第一节 铝、铁、锰质岩.....	(236)
第二节 磷质岩.....	(246)
第三节 蒸发岩.....	(249)
第四节 附生岩类.....	(251)
一、铜质岩.....	(251)
二、沸石质岩.....	(253)
三、海绿石质岩.....	(254)
第十二章 沉积环境和沉积相	(256)
第一节 概述.....	(256)
第二节 大陆沉积环境.....	(258)
第三节 三角洲沉积环境.....	(267)
第四节 海洋陆源碎屑沉积环境.....	(270)
第五节 海洋碳酸盐沉积环境.....	(279)
第十三章 沉积作用和板状构造	(291)
第一节 概述.....	(291)
第二节 板块构造环境中的沉积作用.....	(292)
第三节 追溯物源区构造背景的方法.....	(295)
第四节 地质历史时期中的沉积作用趋向.....	(301)
附录：沉积岩石学中有关某些流体力学基本知识	(303)
一、概述.....	(303)
二、流体的粘滞性和内摩擦定律.....	(304)
三、急流、缓流和福劳德数.....	(304)
四、层流、紊流与雷诺数.....	(305)
五、碎屑颗粒在水中的受力分析.....	(308)
六、悬浮载荷和旋涡紊动作用.....	(309)
七、谢尔兹图解.....	(309)
八、静水中碎屑下沉时流态和沉速公式.....	(311)
九、空气的搬运和沉积作用有关的几个流体力学问题.....	(313)

绪 论

一、沉积岩的概念及基本特征

1. 沉积岩的概念及分布

沉积岩是在地表和地表下不太深的地方形成的地质体，它是在常温常压下由风化作用、生物作用和某种火山作用形成的物质经过一系列改造（如搬运、沉积、石化等作用）而形成的岩石。

沉积岩是分布面积很广的地表生成物，它构成所谓成层岩石圈——地壳表层的沉积岩圈。大陆表面约有75%的面积覆盖着沉积层，其最大厚度可达13公里，平均厚度为1.8公里；大洋底几乎100%为沉积物和沉积岩所覆盖，其厚度为0.2—3公里，平均厚度约1公里。从整个地壳发展历史来看，目前已经确定的地壳最老岩石年龄为46亿年，而沉积圈岩石最老年龄竟达36亿年（苏联科拉半岛），其中有生命纪载的岩石年龄为31亿年（南非）。所以沉积岩是研究地球发展和演变历史不可缺少的宝贵资料。

沉积岩的种类繁多，但自然界分布最多的是页岩，其次是砂岩和石灰岩，它们占沉积岩总量的95%以上。据地球化学方法计算，三者的比例为81、11和8（Mackenzie, 1971）但据地层剖面厚度计算所得比例大致为55、25和20*。

2. 沉积岩的基本特征

沉积岩与岩浆岩、变质岩相比较，有其自己的特点。

1) 矿物成分特点

沉积岩中已发现的矿物达160种以上，但常见的只有20余种。而在一种岩石中的主要（造岩）矿物只有1—3种，通常不超过5—6种。沉积岩的矿物成分与岩浆岩比较（表1）有如下几个特点：

（1）在岩浆岩中大量存在的矿物，如杆榄石、普通角闪石、普通辉石等铁镁矿物以及基性斜长石，在沉积岩中则很稀少。这些矿物是在高温高压下由岩浆结晶形成的，而转入地表的常温常压条件下则不稳定。

（2）在岩浆岩中数量甚多的矿物，如钾长石、酸性斜长石及石英，在沉积岩中也广泛存在。这些矿物是形成于岩浆结晶晚期，故在地表环境中就比较稳定。其中尤以石

* 按地层剖面厚度计算所得的数值各家不一，它们的变化范围是：(39—59)
：(14—40)：(5—29)。

英最为稳定，在沉积岩中的相对含量甚至超过了岩浆岩。由于中、基性斜长石在地表不稳定，故沉积岩中少见，这就造成沉积岩中长石总量比岩浆岩少得多。

(3) 有些矿物是在沉积作用过程中新生成的，如某些氧化物和氢氧化物、粘土矿物、盐类矿物、碳酸盐矿物，它们是沉积岩主要矿物成分之一，但在岩浆岩中极少或缺乏。这些矿物是在地表的常温常压并富 O_2 、 CO_2 、 H_2O 的条件下生成的，又称作自生矿物。

由此可见，沉积岩和岩浆岩在矿物成分上既存在有继承性，又有差异性。继承性反映了两者的历史渊源，岩浆岩的风化产物是沉积岩的主要来源；明显的差异，主要由于两者生成条件的不同所决定的，这种差异性突出地反映了沉积岩形成于表生条件这一特点。

沉积岩和岩浆岩的平均矿物成分 (%) 表 1

矿 物	沉 积 岩		岩 浆 岩 (65%花岗岩 + 35%玄武岩)
	来斯和密德 (1915)	克 里 宁 (1948)	
杆榄石	—	—	2.65
普通角闪石	—	—	1.60
普通辉石	—	—	12.90
长石	15.57	7.50	49.29
石英	34.80	31.50	20.40
云母 + 绿泥石	20.40	19.00	7.76
氧化铁矿物	4.10	3.00	4.6
玉髓	—	9.00	—
粘土矿物	9.22	7.50	—
碳酸盐矿物	13.63	20.50	—
石膏	0.97	—	—
碳质	0.73	—	—
其它	0.58	3.0	0.88

2) 化学成分特点:

把沉积岩和岩浆岩的平均化学成分(表2)加以比较,可见数据十分接近。这是由于沉积岩基本上是由岩浆岩的风化产物所组成。但仔细对比仍可发现有若干差别:

(1) 两者铁的总量大体相等,但在岩浆岩中 FeO 高于 Fe_2O_3 ,而在沉积岩中 Fe_2O_3 要高于 FeO 。这是由于地表比地下深处有更多的自由氧,故沉积岩中高价铁居多。

沉积岩和岩浆岩的平均化学成分（按氧化物%）

表 2

氧 化 物	沉 积 岩			火 成 岩 (克拉克 1924)
	克拉克 (1924)	克里宁 (1941)	舒科夫斯基(1952)	
SiO ₂	57.95	58.16	59.17	59.12
TiO ₂	0.57	0.94	0.77	1.05
Al ₂ O ₃	13.39	15.93	14.47	15.34
Fe ₂ O ₃	3.47	8.54	6.32	3.08
FeO	2.08		0.99	3.80
MnO	—	0.64	0.80	0.12
MgO	2.65	3.58	1.85	3.49
CaO	5.89	6.26	9.90	5.08
Na ₂ O	1.13	1.85	1.76	3.84
K ₂ O	2.86	2.85	2.77	3.13
P ₂ O ₅	0.13	0.26	0.22	0.30
ZrO ₂	—	—	—	0.039
Cr ₂ O ₃	—	—	—	0.055
CO ₂	5.38	—	—	0.102
H ₂ O	3.23	—	—	1.15
其 它	—	—	—	0.304
总 计	98.73	99.01	99.02	100.00

(2) 沉积岩中碱金属的含量远低于岩浆岩，尤其是Na的含量；这是由于它们在地表条件易于从母岩中析出，大量流失进入到海水中；尤其是钠，成为氯化物、硫酸盐等可溶性盐类，浓集于海水中。而相当部分钾则被粘土矿物所吸附，保留于沉积岩中；加上白云母、绢云母等含钾矿物在地表亦相当稳定，因此也就造成沉积岩中K₂O含量高于Na₂O。

(3) 沉积岩中富含CO₂和H₂O，而岩浆岩中则极少。

应当指出，现有的沉积岩化学成分资料都没有考虑有机质。有机质在地表分布很广，而且从地球发展的一定阶段产生生物以来，有机质的总量是在不断增加。据维尔纳斯基（В.Н.Вернадский, 1926）估计，有机质总量约为地壳总重量的0.1%（地壳厚度按16公里计）。大量有机质的存在是沉积岩与岩浆岩最重要区别之一。有机质具有特殊的化学性质，往往富集有各种元素，已知达60种以上，而且富集元素的能力是惊人的，例如，海生植物中的元素含量可达海水的数百倍到数万倍，个别达27万倍。某些有机物则是个别元素的强集中体，如钙质生物壳中的Ca和C，硅藻中的Si，磷质生物壳中的P

等。因此，如果在沉积岩的平均化学成分中把有机质考虑进去，就能更如实地反映出沉积岩的成分特点。

3) 结构构造特点:

沉积岩的结构类型和特点取决于岩石的形成方式。由机械搬运和沉积形成的沉积岩具有如下结构：由机械破碎的陆源碎屑组成的岩石具“碎屑结构”，由火山喷发的碎屑组成的岩石具“火山碎屑结构”，由化学风化形成的陆源粘土组成的岩石具“泥状结构”。机械作用形成的内源岩则具有“粒屑结构”。由化学和生物化学作用形成的岩石具有“结晶粒状（晶粒）结构”，由生物作用形成的岩石则具“生物结构”。可见沉积岩的结构要比岩浆岩更为多样，其中碎屑结构、粒屑结构、生物结构是沉积岩所特有的；晶粒结构虽与岩浆岩的结构相似，但它们各自形成的热力学条件迥然不同。

极大部分沉积岩是在流体（水、空气）中进行搬运和沉积而成的，因此常常具有各种各样的成层构造和层面构造。尤其层理构造，在岩浆岩中除少数情况（层状火成岩）外很少见到，故层理构造乃是沉积岩的基本构造特征。此外，各种层面构造，缝合线、叠锥、结核、叠层构造等也都是沉积岩所特有的。

此外，由于沉积岩是在地表或接近地表压力条件下形成的，因而沉积岩具有各种各样的孔隙，而结晶岩一般缺乏孔隙。

二、沉积岩石学的任务及研究方法

1. 沉积岩石学的任务及其研究意义

沉积岩石学是研究沉积岩（物）的物质成分、结构构造、分类及其形成作用、沉积环境和分布规律的一门科学。沉积岩石学发展到今天不仅研究古代岩石，还大量研究现代沉积；不仅研究沉积岩（物）的特点，还进行模拟实验，深入探讨沉积作用机理；不仅全面系统地进行环境分析，而且还要研究其时空演化和分布规律以及与大地构造之间的关系。亦即沉积岩石学已进入到一个新的、更为广阔的研究领域，在欧美称作“沉积学”

（Sedimentology），而且往往用沉积学这一术语来替换沉积岩石学，或者将两者混用。尽管两者意义有所不同，但毕竟沉积学是在沉积岩石学基础上发展而来的，故两者研究内容是相互渗透而密不可分的。

沉积圈蕴藏着丰富的矿产和能量资源。可燃性矿产（石油、天然气、煤和油页岩）、铝土矿、锰矿、盐矿以及钾盐矿几乎全为沉积类型，极大部分铁矿、磷矿亦都属于沉积或沉积变质类型；而放射性原料、有色金属（铜、铅、锌）、稀有和分散元素、非金属（重晶石、萤石）等矿产，沉积类型也占很大比重；不少金、铂、钨、锡、金刚石等矿产也来源于沉积砂矿。据估计，沉积和沉积变质型矿床可占世界资源总储量的80%。

除了上述沉积矿床外，有些沉积岩本身就是多种工业的主要原料或辅助原料。如石灰岩及白云岩为冶金工业中常用的熔剂，石灰岩又为制造水泥和人造纤维的主要原料，白云岩则可作为镁质耐火材料。纯净的粘土岩按性质不同可作为耐火材料、陶瓷原料、泥浆原料、吸收剂、填充剂和净化剂；石英岩及石英砂可作为玻璃原料。

沉积物和沉积岩还是重要的地下水库。沉积学研究的主要意义还在于：水库、港口和河流的冲淤问题、土壤的侵蚀问题、军港的设计、潜艇和海底导弹基地的建设等无不与沉积岩（物）的研究密切相关。

沉积岩的研究不仅具有重大实际意义，而且具有重大的理论意义。沉积岩不仅在地表分布广泛，在地质历史中延续的时间也长，故是研究地球发展和演化历史的重要材料。

具体来说，沉积岩石学的主要任务是：

1）全面地研究沉积岩（物）的物质组分、结构、构造、分类命名、岩体产状和岩层之间的接触关系，为阐明其成因与分布规律提供依据。

2）探讨沉积岩形成理论，包括风化作用、搬运作用、沉积作用以及沉积期后变化的理论。特别是要研究沉积岩（物）及其中有用矿产的形成机理及富集条件。

3）进行沉积环境的分析。根据沉积岩的原生特点以及时空分布和变化特点，来恢复沉积岩形成时的古气候条件、古地理环境以及大地构造环境。

全面地研究沉积岩的特点和沉积环境，可用作划分对比地层的重要参考和分析沉积岩中有关矿产的赋存条件和分布规律，以便为区域地质调查及矿产普查与勘探工作服务。

2. 沉积岩石学的研究方法

沉积岩的研究方法可以分为野外和室内两个方面。沉积岩石学是地质学的一个组成部分，沉积岩是分布于地壳中的一种地质体，因此在野外对沉积岩进行研究时首先要使用地质学的方法，即在野外全面研究沉积岩（物）的物质组分、结构构造、岩体产状、岩层间的接触关系、岩层厚度、各种成因标志和岩性组合在纵向和横向上的变化，古流向资料的收集，从而查明沉积岩体在时间和空间上的分布和演化特点。这些资料的获得最基本方法是系统测制沉积岩相剖面，并进行区域相剖面的分析与对比。

近年来除了这种常规方法外，在沉积岩石学研究中还引进了大量新技术、新方法。在野外研究中还采用了遥感设备、钻探技术，尤其深海钻探及长岩心的采取，各种测井技术；此外，反射地震波谱（地震地层学）、航空摄影或地面摄影用的测视雷达以及探测水下地形的测视声纳，已在逐渐应用。

在室内研究中，显微镜薄片法仍是研究沉积岩最基本的方法，作为一个沉积岩石学工作者必须熟练掌握。此外，常用的其它室内方法还有粒度（机械）分析、重矿物分析、残渣分析、热分析、化学分析、光谱分析等。近年来，室内研究中亦引进了不少新的测试手段，如阴极发光显微镜、碳、氧、硫的同位素分析，扫描电子显微镜、X射线衍射仪、图像分析仪、电子探针、原子吸收光谱、红外光谱、气相色谱以及古地磁的研究等。

这些新技术新方法的引进，是促进沉积岩石学发展的重要原因之一。使得沉积岩石学在宏观领域和微观领域的研究深度、广度和功效大为提高，使得对于沉积岩的客观规律的研究与认识上都达到了一个新的水平。应该强调，必须把野外和室内研究密切结合起来，室内研究是野外研究的继续，野外研究是室内研究的基础。此外，在对沉积岩进

行研究时，必须要注意沉积形成作用和其它地质作用，特别是与构造作用的关系。要把其它有关的地质学科的资料、知识恰当地运用到沉积岩石学的研究上来，这样才能使我们获得关于沉积岩（物）成因的全面的认识。

三、沉积岩石学的发展简史及其现状

沉积岩石学的发展是与整个地质学的发展密切不可分的，差不多整个十九世纪沉积岩石学的研究主要是结合地层学进行的。这期间应该指出的是1850年索尔贝（H. C. Sorby）开始使用显微镜研究岩石，使岩石学研究扩大到微观领域，标志着岩石学研究的转折点。但在这段时期沉积岩石学还是处在发展的早期阶段，对沉积岩的野外研究仍然是主要的。

在十九世纪末到二十世纪20年代期间进一步对沉积岩（物）展开了大量工作，积累了丰富的资料，在此基础上出现了一批沉积岩石学专著，例如美国的默里（J. Murray）和雷纳（A. F. Renard）合著的《深海沉积物》（1881），哈奇（F. H. Hatch）和拉斯泰尔（R. H. Rastall）合著的《沉积岩石学》（1913，1978年出版了修订第六版），米尔纳（H. B. Milner）的《沉积岩石学引论》（1922），美国的特温霍费尔（W. H. Twenhofel）主编的《沉积作用论文集》（1926），法国卡耶（Lucien Cayeux）的《法国沉岩》第一卷（1929），即硅质岩部分。这些专著的问世表明沉积岩石学日趋成熟和专业化，遂从地层学中分出成为一门独立的学科。

在三十一四十年代沉积岩石学继续得到了发展，相继有更多的沉积岩石学专著出版。如特温霍费尔的《沉积岩石学原理》（1939）、美国的裴蒂庄（F. J. Pettijohn）的《沉积岩石学》（1949初版，1975年出版了修订第三版）、苏联的纳利夫金（Д. Д. Наливкин）的《相论》（1932），普斯托瓦洛夫（Л. В. Пустоваов）的《沉积岩石学》（1940）什维佐夫（М. С. Швецев）的《沉积岩石学》（1932、1945）等。此外，美国的克里宁（P. D. Krynine）、巴格诺尔德（R. A. Bagnold）、苏联的斯特拉霍夫（Н. М. Страхов）等人也做了大量工作，并出版有专著。

但沉积岩石学得到迅速发展是五十年代以后的事，尤其是近十几年来，由于广泛开展了现代沉积的研究，新技术新方法的应用，相关科学新成就的引进和渗透，以及模拟实验的大量工作，促使沉积岩石学得到了全面迅速的发展，成为地质学中非常活跃的、也是发展很快的学科之一，使沉积岩石学正经历着重大的变革。新的事实和概念在不断涌现，陈旧的观念在逐步被抛弃，定量统计的研究和成因规律的研究正在逐步代替定性的和描述性的研究。

沉积岩石学十分活跃的表现，首先是国际性和区域性的学术讨论会相当频繁，如国际沉积学会会议在1967—1982年期间相继召开了第七次到第十一次会议，苏联也于1968—1979年期间召开了第八届到第十一届全苏沉积岩石学会议。各种沉积专题讨论会就更多了。其次，国际性和地区性的沉积岩石学专业刊物和总结性专著大量出版。最早出版的是美国经济古生物和矿物学家学会的《沉积岩石学杂志》（1931），还有国际沉积

学会刊物《沉积学》(1962年创刊)和《沉积地质学》(1967),苏联的《沉积岩石学和沉积矿产》(1963)、《美国石油地质学家协会会志》、加拿大的《海洋沉积》、英国的《粘土和粘土矿物》和《粘土矿物》、日本的《粘土科学》、我国的《沉积学报》(1983)等。有关沉积岩石学的专著则更是不胜枚举了,仅荷兰埃尔塞维尔出版公司出版发行的《沉积学进展》丛书就已达35卷之多。

沉积岩石学飞跃地发展还表现在:随着沉积岩石学各个领域研究的深入和大量资料的积累,正在逐渐形成一系列沉积岩石学和沉积学学科分支:“陆源沉积岩石学”、“化学(内源)沉积岩石学”(尤其是碳酸盐沉积岩石学)、“物理沉积学”、“化学沉积学”、“沉积相和古地理学”、“沉积建造学”、“宏观(巨型)沉积学”等,以及“沉积矿物学”、“沉积地球化学”、“数学沉积学”等过渡性学科分支。

概括来说,沉积岩石学和沉积学各个领域的重要进展有:

1. 对各类沉积岩性质和成因的了解大为深入。尤以碳酸盐岩最为突出,对其成分、结构构造、沉积和成岩作用、沉积环境等诸方面与传统的认识已大不一样;现已确认机械作用在其形成过程中起着极其重要作用,生物的作用也比原来估计的大得多,成岩作用的研究不再停留在阶段分析上,而深入到成岩序列和成岩环境的分析上。碳酸盐岩的新认识也促进了其它内源岩的发展。

其它岩类的研究也有很大发展,如碎屑岩中轻矿物指示物源的意义,自生矿物的成因、成岩作用与孔隙度—渗透率之间的关系;粘土矿物类型以及碎屑粘土和自生粘土的鉴别和成岩变化;火山碎屑岩的类型划分和形成机理等方面都有不少新认识和新进展。

2. 沉积作用机理的研究有很大的发展和深入,已深入到运动学和动力学的解释上。50年代初被称为地质学中一次革命的,浊流沉积的发现,以及60年代中期等深流(contour Current)沉积和近年的风暴岩(tempestite)沉积的提出,不仅丰富了海洋沉积的知识,而且改变和充实了对沉积物流体的认识,表明自然界存在有牵引流和重力流两大类沉积物流体。

大量水槽试验的资料和流体力学基本原理的引进使得人们对沉积物流体的力学性质和机械沉积作用机理获得了很好的运动学和动力学的解释,从而对各类沉积构造得到了很好的成因解释。

大量卤水和稀释溶液的实验研究,以及热力学和化学动力学新成果的引进,使得化学和生物化学沉积作用机理的了解日益深入。尤其是低温低压下的沉积矿物与沉积水体之间的热力学平衡的研究,成岩过程中矿物的转化和自生矿物的形成条件和形成机理的研究、孔隙溶液迁移机理及其对孔隙度—渗透率的控制作用的研究,都有不少可喜的进展。

3. 沉积环境方面最重要的进展是提出和完善了一系列沉积模式,这表明对沉积岩体加强了时间和空间分布和变化规律的研究(国外称作三维或四维分析)。

此外,对环境分析标志的研究不仅传统方法日趋完善(如粒度分析),而且新方法不断出现(如地球化学方法)。更值得注意的是地球物理资料(如各种测井资料、地震剖面)直接用来解释沉积环境将是很有前途的研究领域。

4. 对整个盆地或更大区域（如古代或现代的大陆边缘、整个古代褶皱带）进行综合性沉积学研究，大地构造对沉积盆地及沉积作用控制的研究，建立完善的沉积盆地分类，这些是宏观沉积学的任务。近十几年来这方面已做了不少工作，但更是今后研究的课题。

5. 新型沉积矿床的发现和成矿理论研究的不断深入。在一系列新的事实面前，如各种火山沉积类型矿床、红海的热卤水、现代含铜沼泽、浊积岩中的石油、黑页岩中的多金属矿床等，经典的岩浆期后热液成矿理论暴露出很大的缺陷，因而出现了很多新的成矿学说，如矿源层论，固结水成矿说、侧分泌说及卤水成矿说等。

6. 数理统计和计算技术在沉积岩石学中的应用开始于30年代，但长期以来还只是些零星研究。从60年代开始，电子计算机和控制论方法在地质学中得到广泛应用，这才有效地利用数学分析方法来解决沉积学中的各种复杂问题。如今各种数学分析方法已在沉积学中广泛应用，数据的电子计算机处理（EDP）的普遍化则将是现代化沉积学的重

在我国，解放前的沉积岩石学研究工作寥寥无几，解放后，尤其近一、二十年来也得到了迅速发展。随着地质勘探工作的大规模展开，地质工作者不仅为祖国找到了大批矿产基地，而且结合沉积矿床的研究，在石油、煤、锰矿、磷矿、盐矿、沉积铜矿等方面系统总结了成岩成矿理论。在沉积矿物、沉积环境和沉积模式、古地理、沉积建造、沉积地球化学、现代沉积等方面也都获得了很大进展。这些研究成果不仅在指导找矿工作中取得了积极效果，而且也丰富了沉积学的理论研究成果。在大量地质资料的基础上现有关部门正在组织人力编制全国小一中比例尺的岩相古地理图，这是一项十分重要的基础地质工作。

为了进一步促进我国沉积岩石学的发展，1979年成立了全国沉积学会；在学会的领导和组织下相继召开了多次专题学术讨论会，这无疑会对提高我国沉积学研究水平起到积极推动作用。我国地大物博，有丰富多彩的地质条件，中国应当对于人类有较大贡献，我们相信，在中国共产党的领导下，在全体沉积学工作者努力下，沉积学将会得到更大的发展，并在我国实现四个现代化的宏伟事业中作出更大贡献。

要标志。

第一章 沉积物的来源

第一节 概 述

组成沉积岩的沉积物质来源有：

1. 陆源物质—母岩的风化产物，
2. 生物源物质—生物残骸和有机物质，
3. 深源物质—火山碎屑物质和深部卤水；
4. 宇宙源物质—陨石。

地表先成岩石的风化作用的产物是沉积物最主要的来源，这种先成岩石称作母岩。母岩可以是岩浆岩或变质岩，来可以是先成的沉积岩。供给这类沉积物的地区，即母岩存在的地区，称为物源区（也称供给区或陆源区）。

此外，由生物的生命活动而产生的沉积物以及来自地壳深部的沉积物（尤其是火山碎屑沉积物）也占有一定的比例，而宇宙来源的沉积物则数量甚微。

由于沉积物极大部分来自母岩风化产物，因此母岩的风化可视为沉积岩形成过程的第一阶段—风化作用阶段。风化产物除部分残留原地外，极大部分都要搬运到沉积盆地中沉积下来，亦即经历搬运作用阶段和沉积作用阶段。沉积物沉积下来后还与沉积介质（底层水）保持联系并发生反应的过程称作同生作用阶段。沉积物逐渐被埋藏而与沉积介质失去联系并固结成岩，这一过程称作成岩作用阶段。随着进一步埋深，岩石继续发生变化，一直到遭受变质作用而成为变质岩之前，称作后生作用阶段；若岩石被抬升到地表附近继续发生变化，一直到再次遭受风化分解之前，称作表生作用阶段。可将同生、成岩、后生、表生几个阶段统称作沉积期后阶段。这就是沉积岩形成和变化的全过程。

相对于岩浆作用和变质作用来说，广义的沉积作用*（Sedimentation）应该包括风化、搬运、沉积和成岩后生作用在内的沉积岩形成作用的全过程，以别于狭义的沉积作用（deposition）。

第二节 沉积物的主要来源——母岩风化产物

一、母岩的风化

1. 风化作用概述

沉积岩的形成作用发生于沉积圈，即是包括岩石圈、水圈、大气圈和生物圈在内的，其间介面相互交错重迭的地球表面带。常称表生带。表生带的物理化学条件的特点是低温、低压、富含水、氧和二氧化碳，生物活动强烈。故在温度和压力较高的地壳深处结晶的岩石，一旦进入物化条件截然不同的表生环境，原有的平衡就被打破，势必要产生结构和成分上的变化来建立新的平衡。这种变化过程就是通过风化作用来完成的。所谓

* Н.М.斯特拉霍夫（1953）则把风化、搬运和沉积（Отложение）合称作广义的沉积作用（Седиментогенез）。

风化作用就是指地壳最表层的岩石在温度变化、大气、水、生物等因素作用下，发生机械破碎和化学变化的一种作用*。按作用性质和因素的不同可分为物理风化作用、化学风化作用和生物风化作用。

物理风化作用只造成岩石的机械破碎，没有成分上的变化。化学风化作用则会使矿物发生分解，分解出来的元素有一部分被地表水和地下水带走，其余部分则形成为在地表条件下稳定的新矿物。而生物风化作用的表现形式既有机械的破碎，又有化学的分解，但后者是主要的。

使得岩石发生机械破碎的基本营力是温度的变化、晶体生长(冰劈作用、盐的结晶)、植物的根劈作用、动物的潜穴活动、重力效应、以及水、风和冰川的机械破坏作用等。有些生物对岩石的机械破碎作用是与生物的化学分解作用同时进行的，如地衣菌丝对岩石的破坏。机械破碎作用与化学分解作用相比则是极次要的，只在严寒的极地和高山地区，以及气候干燥、温度变化剧烈的沙漠地区才相对重要些。

引起岩石化学分解的主要因素是水、氧和二氧化碳，以及有机质。从本质上讲，化学风化就是富含氧和二氧化碳的水(雨水和土壤水)以及有机酸与矿物发生化学反应的过程。因此，化学风化主要是通过氧化作用、水化和水解作用、酸的作用、离子交换等方式进行的。近来生物的化学分解作用愈来愈被人们所重视，尤其是微生物和藻的作用，因为它们不仅分布广、适应性强，而且实验证明它们对岩石的分解作用要比其它生物更为有效。生物不但能产生大量有机酸和 CO_2 、 H_2S 等气体，而且还有氧化还原机能、吸附和浓集元素的机能。

无疑，在潮湿炎热和温暖地区，化学和生物化学风化作用既强烈又广泛，就是在机械风化作用为主的地区，化学分解作用仍然在进行着。例如在四千多米的高寒地区见到有微生物化学分解形成的所谓“高山岩漆”；在埃及沙漠地区，发现花岗岩柱被风化的不是向阳面，而是阴影面，风化最厉害的是被砂埋着或曾被埋过的部分，表明化学风化还是在进行着，主要是微量水长期作用的结果。

通常机械破碎作用和化学分解作用不是孤立进行的，而是相互联系、相互促进和相互影响的。由于机械破碎使得母岩产生很多裂隙或破成小块，这就增大了岩石与周围介质的接触面，大大促进了化学分解；反过来，化学分解可降低母岩的硬度和强度，就给机械破碎创造了有利条件。但就整个风化作用而言，化学和生物化学风化作用具有最重要意义，并随着地质历史的发展日益加强，尤其是生物化学风化作用更是如此。

风化作用不仅发生在大陆上，而且也可发生在海底，后者称作海底风化作用，如黑云母变成海绿石，火山灰变成蒙脱石等。但海底风化作用与同生作用不好区别，两者是交织在一起的。本章仅讨论大陆风化作用。

2. 风化过程中元素析出顺序——元素的风化分异：

母岩在化学风化过程中表现为某些元素的淋滤分散和另外一些元素的残积富集两个

* 此处风化作用要比动力地质学中所介绍的风化作用含义要来得广泛些，其中包括某些剥蚀作用。

方面。各种元素在特定的风化条件下迁移能力是不一样的,亦即各种元素从母岩中析出的难易程度不同,因而造成各种元素按一定顺序从母岩中分离出来——即元素的风化分异。

苏联学者Б. Б波雷诺夫 (Полынов, 1934) 首先根据河水中元素的含量, 与该河流域岩石中相应元素的含量相比较的办法, 来了解各种元素迁移的相对活动性, 并得出了元素迁移序列 (1934, 1948)。А. И. 彼列尔曼 (Перельман, 1955) 在他研究基础上, 提出用“水迁移系数— K_x ”^{*}来衡量元素在风化带中的迁移能力。此系数是指河水干渣中的元素含量与该河流域岩石中相应元素含量的比值。 K_x 值愈大, 表明该元素从岩石淋溶进入水中的量愈多, 也即迁移能力愈强。计算公式如下:

$$K_x = \frac{m_x \cdot 100}{an_x}$$

式中:

K_x —X元素的水迁移系数

m_x —X元素在河水中的含量 (毫克/升)

a —河水中矿物质残渣总量 (毫克/升)

n_x —X元素在该河流域岩石中的平均含量 (%)

彼列尔曼利用苏联许多地区河水中的元素含量和各元素在岩石圈中的平均含量, 计算了不同景观条件下元素的水迁移系数, 得出了各元素在表生条件下的迁移能力顺序, 他将风化带中的元素分为五类:

1) 最易迁移元素 ($K_x = n \cdot 10 \sim n \cdot 10^2$): Cl, Br, I, S。

2) 易迁移元素 ($K_x = n \sim n \cdot 10$): Ca, Mg, Na, F, Sr, K, Zn。

3) 迁移元素 ($K_x = n \cdot 10^{-1} \sim n$): Cu, Ni, Co, Mo, V, Mn, SiO₂ (硅酸盐中)、P。

4) 惰性 (微弱迁移) 元素 ($K_x < n \cdot 10^{-1}$): Fe, Al, Ti, Sc, Y, TR…。

5) 几乎不移动的元素 ($K_x \approx n \cdot 10^{-10}$): SiO₂ (石英)

上述每一类元素又是按水迁移系数降低的顺序而排列的。从迁移序列中可看出, 各种元素的迁移能力相差是很大的。最易迁移的元素Cl、S是Si、Fe元素迁移能力的成百倍到上千倍, 这就形成了原来共生的元素在风化过程中因迁移能力不等而发生分异。迁移能力最强的Cl、S, 最先从风化带中流失; 其次是Ca、Mg、Na、F等; 而K、Mn、Si、P等迁移能力较弱; Al、Fe、Ti等迁移能力很弱, 往往残留原地形成红土和铝土矿。

元素的迁移能力与它们的物理化学性质不完全一致。例如Na、K的简单盐类的溶解度大致相同, 但在风化带中Na的迁移能力比K大; 钙盐和镁盐 (CaCO₃、CaSO₄、MgCO₃) 比钠盐和钾盐 (NaCl、KCl) 难溶得多, 但Ca、Mg的迁移能力要大于Na、K。这是由于风化过程中元素的迁移能力不单取决于离子特性, 而是受到多种因素的影响。

一般影响元素迁移能力的因素有: 元素自身的原子和离子特性 (离子半径、原子价、

* 按元素迁移方式可分为气迁移元素 (主要是C、H、O、N等元素) 和水迁移元素 (大部分元素属之) 两大类, 这里主要研究水迁移元素的迁移能力, 故名“水迁移系数”。

极化能力等)，这在很多情况下决定了离子由固体转变为溶液或由溶液转变为固体的难易性；含有该元素的矿物特征和它对于风化作用的抵抗能力，例如钙长石要比钠长石易风化，故在相同条件下钙要比钠易于析出，而同样的钙，在石灰岩中要比在钙长石中易于析出得多；介质的PH和Eh值，例如铁在氧化环境中迁移能力很小，但在还原环境中则显著增加，而铀则相反；生物及气候条件的影响，如潮湿炎热地区的SiO₂迁移能力要大大增加，几乎与Ca一样。

需要指出，上述迁移序列是最一般性的，主要是根据温湿气候条件下，硅酸盐岩石在氧化环境中发生风化计算所得。对于其它气候条件下，在还原占优势的环境中，元素的迁移顺序不一定与上述相同。

3. 风化带发育的阶段性的：

在风化带中矿物的变化具有明显的阶段性，一种原生矿物随着风化程度的加深，通过一系列中间阶段，依次形成一些过渡性矿物，然后转化为最终产物（与最终风化环境取得平衡的生成物）。某些造岩硅酸盐矿物风化转变的一般阶段是：钾长石→绢云母→水云母→高岭石；辉石→绿泥石→水绿泥石→蒙脱石→多水高岭石→高岭石；黑云母→蛭石→蒙脱石→高岭石。

相应地母岩的风化变化也会出现阶段性。波雷诺夫根据元素从风化带中析出的顺序，将结晶岩的风化过程分为四个阶段，不同阶段有其独特的风化产物。今以玄武岩为例（表1—1）说明之：

玄武岩的风化过程 表1—1

玄武岩				带出物质	带入物质	介质性质	阶段
玄武岩 ↓ 机械破碎成小块				无	无		I
辉石 Ca(Mg,Fe,Al) [(Si,Al) ₂ O ₆]		斜长石 (100-n)Na[AlSi ₃ O ₈] nCa[Al ₂ Si ₂ O ₈] (其中往往含微量K[AlSi ₃ O ₈])		部分Ca、Na、Mg、K及少量SiO ₂	H ₂ O、O	碱性及中性	II
蒙脱石 m{Mg ₂ [Si ₄ O ₁₀](OH) ₂ } p{[Al,Fe ³⁺] ₂ [Si ₄ O ₁₀](OH) ₂ } • nH ₂ O		水云母 K < 1 Al ₂ [(Si,Al) ₄ O ₁₀](OH) ₂		大部分Ca、Na、Mg、K及部分SiO ₂	H ₂ O、O	酸性	III
→高岭石← Al ₄ [Si ₄ O ₁₀](OH) ₈				全部Na、Ca、Mg、K及大部分SiO ₂	H ₂ O、O	中性及碱性	IV
含水氧化铁 Fe ₂ O ₃ • pH ₂ O	+	蛋白石 SiO ₂ • nH ₂ O	+	铝土矿 Al ₂ O ₃ • mH ₂ O			

- I、碎屑阶段：以物理风化为主，风化产物主要为岩石或矿物碎屑。
- II、饱和硅铝阶段：岩石中如有氯化物和硫酸盐将全部被溶解，Cl⁻和SO₄²⁻全部被带出。然后在CO₂和H₂O的共同作用下，铝硅酸盐和硅酸盐矿物开始分解，游离出K⁺、Na⁺、Ca²⁺、Mg²⁺，其中Ca和Na的流失要比K和Mg容易。这些阳离子的存在，使介