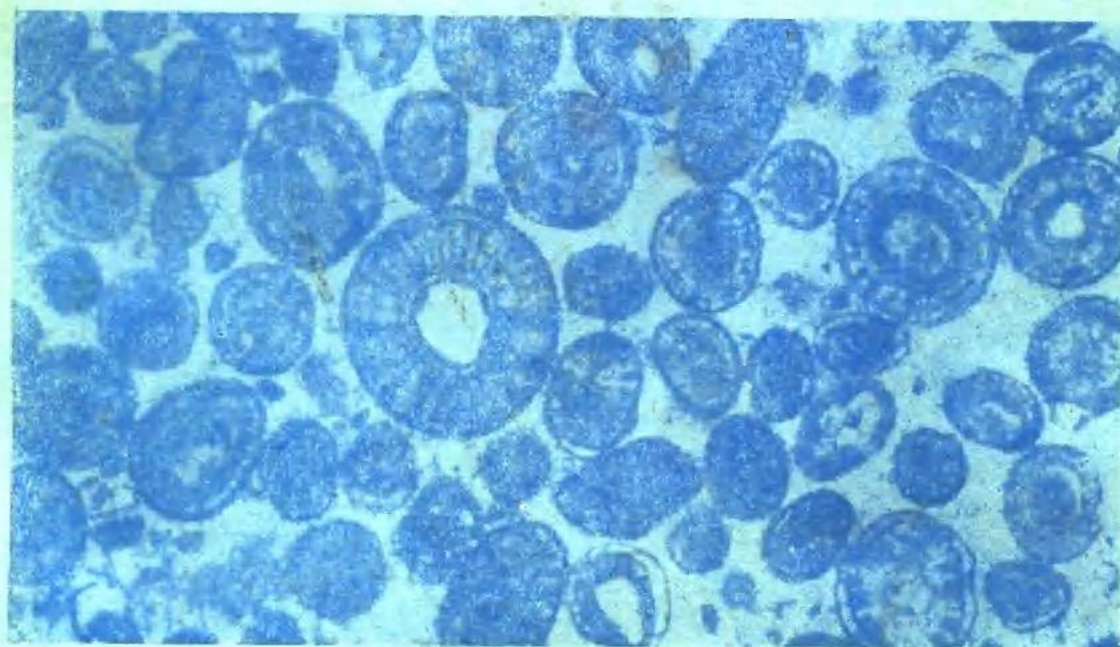


高等学校教材

沉积岩石学教程

方邨森 任磊夫 主编



地质出版社

30800

高等学校教材

沉积岩石学教程

南京大学 方邨森 主编
北京大学 任磊夫

地质出版社

※ ※ ※

本书由曾允孚主审，经地质矿产部岩石学教材编审委员会沉积岩编审小组于1986年5月主持召开的审稿会议审稿，同意作为高等学校教材出版。

※ ※ ※

高等学校教材

· 沉积岩石学教程

南京大学 方邨森 主编
北京大学 任磊夫

责任编辑：徐开志 赵俊磊

地质出版社出版

（北京西四）

地质出版社印刷厂印刷

（北京海淀区学院路29号）

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

开本：787×1092¹/₁₆ 印张：21¹/₂ 字数：512,000
1987年10月北京第一版·1987年10月北京第一次印刷

印数：1—5,000册 定价：3.55元

ISBN 7-116-00053-4/P·044

统一书号：13038·教290

前 言

本书是根据地质矿产部岩石学教材编审委员会1980年审订通过的高等地质院校《沉积岩石学》教学大纲编写的。主要供综合性大学地质系学生用，也可供工科院校地质系学生及有关地质人员使用和参考。

全书共分十三章，系统地叙述了沉积岩的基本特征、形成过程，各类岩石的物质成分、结构构造、分类、成因、成岩作用等。此外，对沉积环境和沉积相、大地构造与沉积作用也作了适当的介绍。在取材上力求少而精，突出本学科的基本理论和基本知识，又能反映沉积岩石学的当代研究水平。在叙述上力求做到由浅入深、循序渐进、图文并茂，便于自学。

本书由南京大学地质系和北京大学地质系七位同志组成编写小组共同编写，方邨森、任磊夫担任主编。编写具体分工是：绪论、第二章五至七节、第三章、第七章一至七节、第十一章第一、二、三、五节及第十二章第十一节由方邨森执笔；第一章、第八章由张淑媛执笔；第二章一至四节由韩同蓉执笔；第四章、第七章第八节、第十一章第四节由任磊夫执笔；第五章一至二节及四至八节、第六章由袁又申执笔；第五章第三节、第九章、第十二章一至十一节由黄志诚执笔；第十章、第十三章由朱嗣昭执笔。全部书稿由方邨森、韩同蓉统一整理。

本书的编写是在南京大学地质系和北京大学地质系的领导下，两系岩矿教研室的直接关怀支持下完成的。初稿完成后，经主审人曾允孚教授及成都地质学院沉积矿产地质研究所有关老师逐章审阅，提出初步意见，由编者作了修改。又于1986年5月在南京大学召开地矿部沉积岩编审小组会议，会议由成都地质学院曾允孚教授主持，参加评审的有武汉地质学院何镜宇教授、西北大学陈景维副教授、合肥工业大学刘泽均副教授、长春地质学院徐开志副教授、河北地质学院李不惑老师、西安地质学院刘仿韩老师以及地质出版社杨洪钧、赵俊磊同志等十余人。经会议审查，认为本书符合教学大纲要求，可作为高等学校教材出版。根据会议审查意见，编者又作了修改补充，最后由何镜宇教授和本书责任编辑徐开志副教授于1986年9—12月间进行出版前的最后审定。

在本书编写过程中，北京大学关平同志也参加了个别章节的修改工作；图件由华东冶金勘探公司芮万森工程师、国家地震局地壳应力研究所周玉卿清绘；稿件的誊写、图件的植字还得到陈智娜、孔庆友、汪永进、周琪等的协助。编者对所有为本书审稿、编辑、出版付出辛勤劳动的同志，表示衷心的感谢！

本书从初稿完成到编辑加工，虽然历时两年多，经过多次反复修改，但因沉积岩石学的研究内容在不断扩大和深入，研究方法也在日益更新，限于编者水平，书中错误和不当之处在所难免，热忱希望使用本书的同行和读者们予以批评指正。

编 者

1986年9月

目 录

绪 论	1
一、沉积岩的基本概念	1
二、沉积岩的化学成分 特征	1
三、沉积岩的矿物成分 特征	2
四、沉积岩的分布	3
五、研究沉积岩的意义	4
六、沉积岩的研究方法	5
七、沉积岩石学的研究内容	5
八、沉积岩石学的发展简史	6
九、沉积岩的分类	8
第一章 沉积造岩物质的来源	9
第一节 概 述	9
第二节 母岩风化所提供的物质	9
第三节 其它来源提供的物质	18
第二章 碎屑物质的搬运与沉积作用	22
第一节 流体的一些基本性质	22
第二节 碎屑物质在流水中的搬运作用	26
第三节 碎屑物质在流水中的沉积作用	30
第四节 沉积物重力流的搬运与沉积作用	32
第五节 风的搬运与沉积作用	38
第六节 冰的搬运和沉积作用	39
第七节 碎屑物质在搬运过程中的变化	40
第三章 溶解物质的搬运与沉积作用	43
第一节 胶体溶液的搬运与沉积作用	43
第二节 真溶液的搬运与沉积作用	47
第三节 化学沉积分异作用	51
第四章 沉积成岩作用	52
第一节 概 述	52
第二节 沉积物在成岩作用过程中的变化	52
第三节 成岩作用阶段的划分	68
第五章 沉积岩的构造	74
第一节 沉积岩构造的分类	74
第二节 水流流态与底形的关系	74
第三节 波痕	76
第四节 层理	80

第五节	流动痕和印模	91
第六节	变形构造	92
第七节	化学成因的构造	96
第八节	生物成因的构造	97
第六章	陆源碎屑岩	100
第一节	概述	100
第二节	碎屑岩的物质成分	100
第三节	碎屑岩的结构	109
第四节	砾岩和角砾岩	121
第五节	砂岩	127
第六节	粉砂岩	139
第七章	粘土岩	141
第一节	概述	141
第二节	粘土矿物的晶体结构	141
第三节	粘土岩的矿物成分	148
第四节	粘土岩的工艺物理性质	153
第五节	粘土岩的结构与构造	155
第六节	粘土岩的分类	156
第七节	粘土岩的主要岩石类型	158
第八节	粘土岩的成岩作用	167
第八章	火山碎屑岩	181
第一节	概述	181
第二节	火山碎屑物的特征	181
第三节	火山碎屑岩的分类和命名	185
第四节	火山碎屑岩的主要岩石类型	186
第五节	火山碎屑沉积物的成因类型	192
第六节	火山碎屑岩的次生变化	195
第九章	碳酸盐岩	198
第一节	碳酸盐岩的基本特征	198
第二节	碳酸盐岩的物质成分	198
第三节	碳酸盐岩的结构构造	203
第四节	碳酸盐岩的分类	213
第五节	碳酸盐岩的主要岩石类型及其成因	216
第六节	碳酸盐沉积物的成岩作用	228
第十章	硅质岩	236
第一节	硅质岩的基本特征	236
第二节	硅质岩的分类和主要岩石类型	240
第三节	硅质岩的成因	245
第四节	硅质岩的成岩作用	250

第五节 硅质岩的地质分布	252
第十一章 其它类型沉积岩	254
第一节 铝质岩	254
第二节 铁质岩	257
第三节 锰质岩	260
第四节 磷块岩	263
第五节 蒸发岩	270
第十二章 沉积环境及沉积相	276
第一节 概述	276
第二节 沉积环境的识别标志	277
第三节 山麓环境及其沉积相	281
第四节 河流环境及其沉积相	282
第五节 湖泊环境及其沉积相	285
第六节 三角洲环境及其沉积相	287
第七节 陆源碎屑滨海环境及其沉积相	291
第八节 陆源碎屑浅海陆棚环境及其沉积相	295
第九节 碳酸盐滨海、浅海环境及其沉积相	298
第十节 生物礁环境及其沉积相	306
第十一节 半深海、深海环境及其沉积相	308
第十三章 大地构造与沉积作用	315
第一节 沉积作用的控制因素	315
第二节 地槽与沉积作用	316
第三节 板块构造与沉积作用	318
第四节 沉积岩共生组合	330
参考文献	335

绪 论

一、沉积岩的基本概念

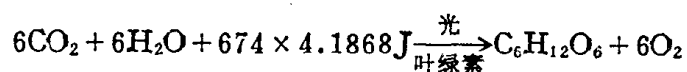
沉积岩是在地壳表层条件下，由风化作用、生物作用和某种火山作用的产物，经过搬运、沉积和成岩等一系列地质作用形成的岩石。

地表上所有的地方都在进行着沉积岩的生成作用，但其强度与规模各处不一，作用的范围包括大气圈的下部、水圈、生物圈以及岩石圈的上部，即包围地球表面的一个层圈。因此，沉积岩的形成条件特征是：

1. 温度 沉积岩是在常温条件下形成。据现代气象资料，地球表面最高温度见于非洲中部赤道附近，达 $+85^{\circ}\text{C}$ ；最低温度见于苏联西伯利亚北部勒拿河右岸，北极圈内的维尔霍扬斯克，达 -70°C 。因此，地表最大温差为 155°C 。而火成岩和变质岩则是在高温条件下形成。此外，地表温度还有季节和昼夜的变化，促进岩石的风化作用。

2. 压力 沉积岩是在常压条件下形成的。海平面的压力约为 10^5Pa ，山区不足 10^5Pa ，浅海陆棚底部约为 $20 \times 10^5\text{Pa}$ 。目前世界最深的海在菲律宾附近，达 $11,000\text{m}$ ，因此最深海底压力为 $1100 \times 10^5\text{Pa}$ （以每深 10m 增加 10^5Pa 计算）。但绝大部分沉积岩形成于陆地及浅海地区，所以其形成的压力条件是 $1 \sim 20 \times 10^5\text{Pa}$ 。而火成岩与变质岩大部分是在高压条件下形成的。

3. 生物作用 生物是在常温、常压的条件下生存的。所以，有生物作用参加也是沉积岩与火成岩、变质岩在形成条件上的差别之一。地表上真正无生命的地区是正在发生火山喷发的地方或者某些高盐度的封闭水盆地，但是上述地区也是局部的、暂时无生命的。生物作用可以形成各种生物沉积岩，如生物礁灰岩、硅藻土、煤、石油等。生物作用还可以改变大气圈的化学组分，一般认为现代大气圈中的游离氧全部或大部与植物的光合作用有关，如下式所示：



4. 水和大气的作用 绝大部分沉积岩是在水和大气中的 CO_2 和 O_2 的作用下产生的，但在火成岩与变质岩的形成过程中，这些因素是微不足道的。

二、沉积岩的化学成分特征

沉积岩的主要物质来源是火成岩的风化产物，所以两者的平均化学成分非常相似（表1）。但火成岩转变为沉积岩要经过风化、搬运、沉积、成岩等一系列转化过程，因而仔细对比仍存在一些差别：

1. Fe_2O_3 与 FeO 火成岩和沉积岩中铁的总量大致相等，但沉积岩中 $\text{Fe}_2\text{O}_3 > \text{FeO}$ ，而火成岩中 $\text{FeO} > \text{Fe}_2\text{O}_3$ ，这是因为火成岩是在地壳深处缺氧的条件下形成的，以低价铁居多，当它暴露地表，低价铁的氧化物便转变为高价铁的氧化物，例如

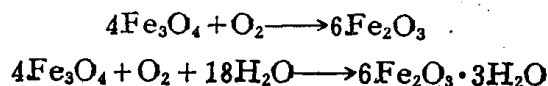


表 1 沉积岩和火成岩平均化学成分对比表
(氧化物 %)

氧 化 物	火 成 岩 据 Clarke, 1924	沉 积 岩 据 Clarke, 1924	沉 积 岩 据 Шукровский, 1952
SiO ₂	59.14	57.95	59.17
TiO ₂	1.05	0.57	0.77
Al ₂ O ₃	15.34	13.39	14.47
Fe ₂ O ₃	3.08	3.47	6.32
FeO	3.80	2.08	0.99
MnO	—	—	0.80
MgO	3.49	2.65	1.85
CaO	5.08	5.89	9.90
Na ₂ O	3.84	1.13	1.76
K ₂ O	3.13	2.86	2.77
P ₂ O ₅	0.30	0.13	0.22
CO ₂	0.10	5.38	—
H ₂ O	1.15	3.23	—
总 计	99.50	98.73	99.02

2. K₂O与Na₂O 沉积岩中K₂O、Na₂O总量低于火成岩，在沉积岩中 K₂O>Na₂O，而火成岩中Na₂O>K₂O。众所周知，地表上广泛分布着粘土矿物以及带负电的胶体物质，它们具有吸附阳离子的能力。K⁺、Na⁺虽然都是一价的阳离子，但是K⁺的离子半径是1.33 Å，Na⁺的离子半径是0.98 Å。在水介质中阳离子与水分子结合形成水合阳离子。K⁺的水合半径是1.75 Å ±，Na⁺的水合半径是2.17 Å（离子的水合体积和离子半径大小成反比）。由于Na⁺外层有较多的水分子包围，所以不易被粘土矿物所吸附，于是母岩风化过程中形成的Na⁺大部分转入海洋，构成海水的重要成分。此外，地表上含钾的矿物，如白云母、绢云母比较稳定，不易被分解，也是造成沉积岩中K₂O>Na₂O的原因之一。

3. CaO 沉积岩中CaO的含量略高于火成岩，其原因是地表上有许多生物，如藻类、珊瑚、鲎等均要吸收CaCO₃，作为自己的骨骼，形成富含CaCO₃的生物沉积岩。

4. H₂O和CO₂ 沉积物在生成过程中有大量的H₂O、CO₂加入，因而沉积岩较火成岩富含H₂O和CO₂。

在表1的统计数值中，尚未考虑到沉积岩中有机物的作用，有机物中含有60种以上的化学元素，这也是造成沉积岩与火成岩化学成分差别的原因之一。

此外，火成岩中各类岩石的化学成分彼此是逐渐过渡的，例如从超基性岩到酸性岩，SiO₂的含量不断增长。但沉积岩则不同，各类岩石之间化学成分差别很大，例如砂岩的化学成分以SiO₂为主，页岩以SiO₂、Al₂O₃为主，石灰岩则以CaO、CO₂为主，这是由于沉积物在风化、搬运、沉积过程中发生分异作用造成的。

三、沉积岩的矿物成分特征

沉积岩的平均矿物如表2所示，与火成岩相比有明显的差别。构成沉积岩的主要矿物成分是：①云母及粘土矿物；②碳酸盐矿物；③石英族矿物（石英、玉髓、蛋白石）。这三类矿物约占沉积岩总量的78~87%。

沉积岩中的矿物按成因可以分为两大类，一类是陆源碎屑矿物，另一类是在沉积过程

表 2 沉积岩与火成岩平均矿物成分对比表 (%)

矿 物	沉 积 岩		火 成 岩
	据 Leith & Mead, 1915	据 Krynine, 1948	据 Резников, 1959
石 英	34.80	31.50	20.40
玉 髓	—	9.00	—
云母+绿泥石	20.40	19.00	7.72
长 石	15.57	7.50	49.25
高岭石及其它粘土矿物	9.22	7.50	—
碳酸盐矿物	13.63	20.50	—
氧化铁矿物	4.10	3.00	4.60
石 膏	0.97	—	—
碳 质	0.73	—	—
橄 榄 石	—	—	2.65
普通角闪石	—	—	1.60
普通辉石	—	—	12.90
其它矿物	0.58	3.0	0.88

中新产生的矿物 (即自生矿物)。

1. 陆源碎屑矿物 为母岩机械破碎产生的矿物, 多数来自火成岩中, 但并不是火成岩中所有的造岩矿物都能作为碎屑矿物在沉积岩中保存下来。一般地说, 在岩浆结晶晚期形成的矿物如钾长石、酸性斜长石和石英在地表条件下稳定性较大, 因而它们既是火成岩的造岩矿物, 又是陆源碎屑岩的主要成分, 尤其是石英, 在沉积岩中的含量可以超过火成岩。至于在岩浆结晶早期, 高温高压条件下形成的矿物如橄榄石、辉石、角闪石等铁镁矿物, 以及基性斜长石, 它们转入地表的常温常压条件下极不稳定, 大部分分解转变为次生矿物, 仅在个别情况下, 以重矿物形式保存在陆源碎屑岩中。

2. 自生矿物 指在沉积岩形成过程中新生成的矿物, 或者是在成岩阶段生成的矿物。前者是由母岩分解出的化学物质沉积而成的矿物, 如盐类矿物、碳酸盐矿物以及一部分粘土矿物, 这些矿物是在地表常温常压, 富含 O_2 、 CO_2 和 H_2O 的条件下生成的, 故在沉积岩中含量甚多, 在火成岩中极少或没有。后者是沉积物沉积以后, 直至发生变质作用之前, 在比较高的温度、压力下形成的矿物, 如自生长石、石英、石榴子石、萤石等。这类自生矿物易被误认为岩浆或变质成因的内生矿物, 但可借助其产状、形态等加以判别。如自生长石、常产于砂岩、石灰岩、泥灰岩及某些泥岩中, 晶体为自形或近于自形、完全透明、颗粒小、无双晶、一般无包裹体, 只出现简单的单形——{001}、{010}、{101}、{110}、{100}等。据电子探针及X-射线确定, 自生长石无论是钠长石或钾长石, 其成分都是碱性长石及斜长石的固溶体系列的端元成分。自生石英在石灰岩中常呈细小的、柱面发育的自形晶产出。在碎屑岩中, SiO_2 围绕碎屑石英颗粒加大, 可以形成次生加大的自生石英。

四、沉积岩的分布

沉积岩 (包括沉积变质岩石) 是地壳表层分布最广的岩石, 它约占陆地面积的75%, 而火成岩和变质岩所占的面积仅25%, 但随着深度的增加, 沉积岩就愈来愈少了。在厚为16~20km的地壳内, 沉积岩仅占地壳体积的5%, 而火成岩和变质岩则占95%。沉积岩在地壳表层的厚度各处不一, 有的地区可以厚达几十公里, 例如苏联的高加索地区, 仅中、

新生代沉积岩层的厚度就达28~30km；但有的地方则很薄，甚至没有沉积岩的分布，直接出露地表的为前寒武纪的变质岩及火成岩。一般说来，地槽区的沉积岩厚度较大，地台区较小，而在古老的地盾区通常没有沉积岩分布。

地球上沉积物的总体积究竟多少？有多种估计方法。假定所有海洋中的钠都来源于原始火成岩的淋滤作用，据克拉克（1924）估计大概需要0.5km厚的壳层，就能产生海洋中全部的钠，考虑到有些钠保留在沉积物内及盆地深部的卤水中，如加以校正，火成岩风化壳的厚度应是0.8km。这个壳层就是沉积物的原始物质来源。它通过氧化作用、水化作用以及二氧化碳的作用还要增加体积，粗略地估计约增加10%。据戈尔德施密特（1933）的计算，火成岩风化后所形成的沉积物的体积，若按海水中的含钠量计算，估计为 $3 \times 10^8 \text{ km}^3$ ，但各人统计有所出入（表3）。

表3 估计的沉积岩的体积

（据 F. J. Pettijohn, 1975）

参 考 文 献	km ³
克拉克 (Clarke, 1924, 第32页)	3.7×10^8
戈尔德施密特 (Goldschmidt, 1933)	3.0×10^8
库 宁 (Kuenen, 1941, 第188页)	13.0×10^8
威克曼 (Wickman, 1954)	$(4.1 \pm 0.6) \times 10^8$
波德瓦尔特 (Poldervaart, 1955, 第126—130页)	6.3×10^8
霍恩和亚当斯 (Horn & Adams, 1966, 第282页)	10.8×10^8
罗诺夫 (Ronov, 1968, 第29页)	9.0×10^8
布拉特 (Blatt, 1970, 第259页)	4.8×10^8

五、研究沉积岩的意义

沉积岩中蕴藏着大量的金属与非金属矿产，据统计沉积和沉积变质矿产约占世界矿产总储量的80%，其中可燃性矿产（石油、天然气、煤、油页岩）几乎全部是沉积成因的，铁矿有90%是沉积或沉积变质成因，锰矿、铝土矿绝大部分是沉积成因的。此外，铜、金、铂、钨、锡、铀、镓、锗、金刚石等在沉积岩中也有丰富的含量。在矿物肥料方面，如磷酸盐、钾盐和某些硝酸盐，亦主要从沉积岩中开采。有些沉积岩本身就是矿产，如白云岩、石灰岩、粘土岩、盐岩等就是重要的冶金熔剂、耐火材料、水泥原料、陶瓷原料、钻井泥浆原料、化工原料、人造纤维原料等。此外，研究沉积岩可以指导矿产的普查和勘探，例如石油和天然气，既生于沉积岩中，又多储集于沉积岩中，但并非所有的沉积岩都含有油气，什么样的沉积岩适于生油？什么样的沉积岩适于储油？什么样的沉积岩适于作盖层？这些都是沉积岩的研究内容。

有些沉积岩是隔水层，有些沉积岩则是地下水的重要储集层，地下水多赋存在砂砾层的孔隙系统中，研究储集层的形状以及孔隙度、渗透率，可以指导地下水的开发利用。

研究沉积岩，还可以划分和对比不含化石的“哑地层”，如沉积岩的岩性、重矿物、粒度分析资料等均可作为划分对比地层的依据，并为恢复沉积环境、编制古地理图提供各种资料。此外，人类为开发自然及改造自然所进行的一切工程设施，如水利、建筑、农业、环境保护等，无不和沉积岩有着直接或间接的联系。因此，沉积岩和人类生活的密切关系是不言而喻的。

六、沉积岩的研究方法

沉积岩的研究方法包括野外及室内两个方面。

野外观察是基础，可以初步鉴定沉积岩的岩性，描述原生沉积构造，测量岩层产状、厚度，观察岩层之间的接触关系以及其它成因标志。并将所观察到的内容作详细的记录，尽可能编制剖面图，然后根据这些资料，结合其它学科的知识，对沉积岩的成因、沉积环境等进行解释和判断。

室内研究主要是薄片鉴定，还可将手标本磨成光面观察野外看不清的沉积构造等。此外，室内研究还有以下各种专门方法。

1. 粒度分析 对松散的碎屑沉积物以及易解离的碎屑岩，可采用直接测量、筛析、沉降分析等方法，对固结的岩石可采用薄片法测量碎屑颗粒的大小。测量和分析所得的数据可用图解法、矩法、图算法等进行处理，求出粒度参数，编制粒度参数离散图解、C-M图解等，分析沉积岩的形成环境，划分对比地层。

2. 重矿物分析 沉积岩中比重 >2.86 的重矿物可用重液（三溴甲烷或杜列液等）分离出来，进行矿物鉴定和数量统计，可以提供地层对比和古地理研究资料。

3. 热谱分析 利用矿物在加热过程中发生热效应鉴定矿物的一种方法，适用于粘土矿物、碳酸盐矿物及铁、锰、铝氧化物的鉴定，目前最常用的是差热分析与失重分析法。

4. X-射线分析 粘土岩中的粘土矿物，碎屑岩杂基中的矿物，碳酸盐岩中的不溶残余物，采用此法可以准确地鉴定其矿物成分。

5. 红外光谱分析 主要对碳酸盐岩及粘土岩的矿物成分鉴定有一定的效果。

6. 电子显微镜研究 电子显微镜的放大倍数可达几万至几十万倍，它可以观察 $<1\mu\text{m}$ 的质点。所以对研究细粒的沉积岩，例如燧石、粘土岩以及砂岩和石灰岩的填隙物能取得良好的效果。

7. 原子吸收光谱和X射线荧光光谱分析 可以测定沉积岩中的主要化学成分和微量元素含量。

8. 阴极发光显微镜 其原理是用电子束轰击薄片中的矿物，导致发光，显示沉积岩中普通偏光显微镜无法观察的矿物及显微结构构造现象，如次生加大、矿物形态及不同时期、环境的胶结物特征等细节情况。

9. 碳、氧、硫稳定同位素分析 用于研究沉积岩的形成条件，如推测古气候、古温度、古盐度和成岩条件等。

此外，六十年代以来地质人员还广泛采用室内模拟试验，模拟浊流以及层理等原生构造的形成机理。

七、沉积岩石学的研究内容

沉积岩石学是二十世纪初期从岩石学中分出的一门独立学科，早期的沉积岩石学仅局限于岩石的描述和地层对比。近二十年来，它的研究内容已深入到以下几个方面：

1. 沉积岩的物质成分、结构构造、岩石分类的深入研究 例如近二十年来对碳酸盐岩的深入研究，有了不少新的认识，过去一直认为碳酸盐岩是单一的化学沉积，现在已彻底改变了这种旧有的看法，认识到碳酸盐岩除了化学和生物化学成因外，更多的是属于机械沉积作用成因的。通过野外仔细观察，发现碳酸盐岩的结构、构造与碎屑岩有很大相似之处，如交错层理、波痕、干裂等在碎屑岩中常见的构造，碳酸盐岩中也可出现。

2. 成岩作用的研究 这方面的研究,近年来已引起大家的重视。成岩作用可以影响沉积岩的成分、结构及其它许多性质,特别是对研究石油、天然气、层控矿床的形成有很大的关系。

3. 沉积环境和沉积相的研究 判别沉积相必需从抓“相标志”着手,相标志包括能说明沉积环境的岩性、沉积构造、古生物和地球化学标志,如沉积岩的粒度参数、颗粒表面特征、层理、层面构造、古生物的种类和含量、微量元素、同位素……对古代沉积环境的重塑,还可借助现代沉积环境模式,如选择典型的现代沉积区,进行系统的观察和测量,建立起现代沉积模式,对照和解释古代沉积环境。

4. 室内模拟试验的研究 目前的工作是偏重于利用室内水槽模拟自然界的沉积作用过程。进行水力学试验,研究沉积作用机理,进一步说明不同沉积环境下沉积物表面的种种特征和分布状况,例如模拟床沙运动和底形以及各种类型水流层理的关系,模拟浊流的发生、运动和沉积等等。模拟试验的成果,在水利界早在三十年代就被工程人员应用,但地质人员直到六十年代才开始引用这方面的知识,并已收到很好的效果。

5. 大地构造与沉积作用关系的研究 六十年代发展起来的板块构造理论,不仅对地质学变革起了极大的影响,对沉积岩石学也有很大的推动作用。以前对沉积盆地进行分析,主要偏重于盆地的轮廓、古水流、沉积充填与岩性序列而产生的一些不同类型的盆地,当时有很多难以解决的问题,现在已从构造控制方面得到解决。

6. 数理统计和计算技术在沉积岩石学中的应用 这项工作在本世纪三十年代已开始,当时主要着重于沉积岩颗粒大小的统计分析和岩层厚度方面一些零星研究。到五十年代,电子计算机开始在沉积岩石学中使用,但仍限于一般的统计分析,还没有建立起沉积岩中各种复杂过程的数学模型。从六十年代开始,电子计算机和控制论方法在地质学中得到广泛的运用,这才有效地利用数学来解决沉积岩石学中各种复杂问题。

八、沉积岩石学的发展简史

人们对沉积岩的认识和利用可以追溯到旧石器时代。勤劳智慧的中国劳动人民,远在三千多年前的商代,就已经采用陶土烧成各种彩陶,汉代以后更广泛地开始运用煤、石油、石盐和石膏,例如石油在东汉时就已知晓,当时叫做“古漆”,说它是“燃之极明不可食”。由于对沉积矿产的应用以及实地的观察,我国沉积岩方面的科学知识早已萌芽,在许多古代书籍中记载了珍贵的沉积岩资料,如唐朝颜真卿作的“抚州南城县麻姑仙坛记”,有云:“高山石中犹有螺蚌壳,或以为桑田所变”。这不但说明了沉积岩的成因,而且也认识了沉积岩中的化石,比之欧洲在1517年第一次认识化石的人——达·芬奇(Da Vinci,1452~1519)要早七、八百年。此外,宋朝著名科学家沈括的《梦溪笔谈》、朱熹的《朱子语录》、明末宋应星的《天工开物》,明末清初徐霞客的《徐霞客游记》等著作,对某些沉积岩及其成因都已有正确的描述。

沉积岩石学发展为一门独立的地质科学,则是十九世纪以后的事,它最初附属于地层学。英国地质学家索比(Sorby, 1826—1908)被称为“近代沉积岩石学的奠基者”,他不仅首先运用显微镜研究沉积岩,而且对“石灰岩的构造和成因”、“非钙质成层岩石的构造和成因”、“利用原生沉积构造重塑古地理环境”等都有精辟的见解。二十世纪以后,法国学者卡耶(L. Cayeux)著的《法国沉积岩》,英国学者米尔纳(H. B. Milner)的《沉积岩石学》,美国学者童豪富(W. H. Twenhofel)的《沉积作用论》,《沉积学原理》,克鲁宾

(W. C. Krumbein) 和佩蒂庄 (F. J. Pettijohn) 合著的《沉积岩研究法》都是沉积岩方面的专著。十月革命后的苏联, 在本世纪三十年代以后, 沉积岩石学也有很大的发展, 如阿尔汉格尔斯基 (А. Д. Архангельский)、巴图林 (В. П. Батурин)、斯特拉霍夫 (Н. М. Страхов)、普斯托瓦洛夫 (Л. В. Пустовалов)、什维佐夫 (М. С. Швецов)、布申斯基 (Г. И. Бущинский)、纳利夫金 (Д. В. Наливкин) 等的著作, 不仅在苏联而且在我国也有很大的影响。

本世纪五十年代以后, 沉积岩石学在欧美发展迅速, 出版了大量有关沉积岩和沉积学的总结性专著和专业刊物, 充分反映了沉积岩石学的研究水平, 如佩蒂庄的《沉积岩》, 此书在1975年已发行第三版, 并已译成中文。布拉特 (H. Blatt)、米德尔顿 (G. V. Middleton) 和穆雷 (R. C. Murray) 合著的《沉积岩成因》(1972), 对沉积物的成因, 特别是物理和化学沉积作用的机制和过程作了精辟的叙述。德国学者赖内克 (H. E. Reineck) 与印度学者辛格 (I. B. Singh) 合著的《陆源碎屑沉积环境》(1973), 该书从沉积构造出发探讨沉积环境, 亦已译成中文。英国学者里丁 (H. G. Reading) 主编的《沉积相与沉积环境》(1978)、美国学者弗里德曼 (G. M. Friedman) 与桑德斯 (J. E. Sanders) 合著的《沉积学原理》(1978)、威尔逊 (J. I. Wilson) 的《地质历史中的碳酸盐相》(1975) 也是很重要的著作, 反映了现代沉积学的水平。应该特别提出的是库宁 (ph. H. Kuenen) 和米格利奥里尼 (C. I. Migliorini) 于1950年发表的《浊流与形成递变层理的原因》一书, 开辟了浊流研究的新篇章。其后, 荷兰的鲍玛 (A. H. Bouma) 在库宁指导下研究浊流及复理石沉积物, 提出了浊流沉积的特征, 即“鲍玛层序”, 并与布劳威尔 (A. Brouwer) 合著了“浊积岩”一书, 对浊积岩的研究有一定的指导意义。六十年代中期由希曾 (B. C. Heezen) 提出的等深流 (contour current) 沉积, 七十年代由凯林 (G. Kelling) 提出的风暴岩 (tempestite) 沉积, 被认为是继浊流沉积之后沉积学领域中的重大发现。迪金森 (W. R. Dickinson) 的《板块构造与沉积作用》(1974) 一书, 则是从板块构造出发进行沉积作用与沉积盆地方面的研究, 这是板块构造与沉积作用结合起来的一本代表作。

目前沉积岩和沉积学方面的专业性刊物有 *Journal of Sedimentary Petrology* (沉积岩石学杂志), 1931年开始发行, 在美国出版; *ЛИТОЛОГИЯ И ПОЛЕЗНЫЕ ИСКОПАЕМЫЕ* (沉积岩石学和沉积矿产, 1963, 苏联); *Sedimentary Geology* (沉积地质学, 1962, 荷兰); *Sedimentology* (沉积学, 1963, 美国); *Clay Mineral* (粘土矿物, 英国); *Clay and Clay Mineral* (粘土和粘土矿物, 美国)。

此外, 荷兰的埃尔塞维 (Elsevier) 出版公司出版发行的《沉积学的进展》专集 (已出了40卷), 是沉积学方面的重要系列书籍。

我国近代沉积岩石学的研究起步较晚, 作为一门独立学科的各种研究工作是在新中国建立以后才发展起来的。建国以后, 随着国民经济对能源、资源的需求, 随着石油、煤、金属与非金属沉积矿产的大规模勘探、开发, 及研究工作的开展, 沉积岩石学与地质学的其它分支学科一样, 得到了极大的发展。例如, 五十年代提出的我国“陆相潮湿拗陷生油”理论, 对指导以后的油气找寻和勘探工作起到了极为有益的作用。六十年代以来, 我国对黄土的研究成绩显著, 特别是黄土的类型及层序的划分, 古气候层的发现等都引起了国际同行的注意。七十年代总结了国外生矿床的形成演化规律, 所提出的“含矿岩系”、“含矿周期”、“成矿系列”、“成矿序列”等概念和假说, 在矿床研究及普查找矿工作中起到了

有益的作用。海洋沉积的研究亦已取得了不少历史性的发展。总之，沉积岩石学的研讨出现了欣欣向荣，百花争艳的局面。为了促进我国沉积岩石学的发展，1979年中国矿物岩石地球化学学会和中国地质学会共同成立了沉积学会，并于当年11月在北京召开了第一届沉积学学术会议，对沉积相、沉积环境和沉积建造；沉积矿床的形成条件和形成规律；沉积岩分类；沉积矿物学；现代沉积；有机地球化学等进行了大规模的、广泛的学术交流。随后又相继召开了碎屑岩、碳酸盐岩、粘土岩、现代沉积等方面的专门学术会议，于1983年出版了《沉积学报》，并结合能源、资源、环境、灾害等方面的研究，为我国地质学的发展和国民经济建设作出了贡献。

九、沉积岩的分类

岩石的分类应遵循两个主要原则：①反映成因；②便于应用。在此基础上尽量做到明确清晰而有逻辑性。

沉积岩分类的依据是岩石的成因、成分、结构、构造等。由于它的多样性，因此必须采用多级分类的方法，一般是以沉积物的来源作为基本类型的划分准则，而以沉积作用方式、成分、结构、成岩作用强度等作为进一步划分的依据。应该特别强调，各类火成岩之间在成分、成因上关系密切，可以采用共同的分类原则，而各类沉积岩都有各自的成因特征，成分上差别也较大。所以，沉积岩的分类着重于各大类岩石的划分，如砂岩的分类、碳酸盐岩的分类等。

根据以上原则，本书把沉积岩分为以下几个基本类型和大类：

1. 火山源沉积岩 主要由火山喷发提供的碎屑物质就地堆积或流动形成的岩石，如集块岩、火山角砾岩、凝灰岩、熔结凝灰岩等。

2. 陆源沉积岩 岩石的物质成分主要来自陆壳的风化产物，又可分为：

(1) 陆源碎屑岩 主要由母岩机械破碎形成的碎屑物质组成，如砾岩和角砾岩、砂岩、粉砂岩。

(2) 粘土岩 主要由母岩化学分解形成的含水铝硅酸盐矿物——粘土矿物组成，大部分属陆源来源，但亦有小部分是沉积过程中新生成的。如粘土、泥岩、页岩。

3. 内源沉积岩 物质成分直接来自沉积盆地中的化学物质和生物化学物质，但其前身可能是陆壳的化学风化产物，或火山活动产物，按成分又可分为：

(1) 碳酸盐岩 主要由碳酸盐矿物构成，有石灰岩、白云岩及其过渡类型，其沉积方式除少数属化学、生物化学沉积外，大部分是受机械作用或生物因素控制的。

(2) 硅质岩 主要由硅质矿物（蛋白石、玉髓、自生石英）组成，可以是生物、火山沉积成因，或成岩过程中交代形成，前者如硅藻土、碧玉，后者如燧石。

(3) 铝质岩、铁质岩、锰质岩、磷质岩 其沉积方式与碳酸盐岩相似，可以是机械沉积，生物沉积或化学沉积。

(4) 蒸发岩 主要由盆地中的盐类物质通过蒸发作用发生化学沉淀形成，如岩盐、石膏、硬石膏。

(5) 可燃性有机岩 主要由生物残体或生物遗体通过生物化学作用形成，如煤、地蜡、地沥青、石油、天然气等。

第一章 沉积造岩物质的来源

第一节 概 述

许多沉积岩教科书中一开始都谈到了沉积岩的形成有如下过程：即出露于地表的岩石经过风化形成沉积造岩物质，这些物质在各种地质营力作用之下被搬运、沉积形成沉积物，沉积物经过成岩作用成为沉积岩。

上述沉积岩的形成过程，发生在地表或接近地表之处，所以易于被人们观察和分析研究，其直观印象深刻。然而，在论述沉积造岩作用全过程时，阐明如下几点是必要的。

1. 沉积造岩物质的多源性 除地表母岩风化产物及生物提供的物质外，尚有来自地下和来自宇宙的各种物质，后两方面的意义近年来已愈加受到重视。

2. 沉积物质搬运和沉积条件的多样性 不同的搬运和沉积介质、动力条件的复杂性以及被搬运物质本身状态的不断改变，再加上自然界搬运与沉积的多轮回演变，使得沉积物质和沉积岩的种种指示性标志叠加共存。这种情况既显示了多源信息混杂的复杂性，又显示自然环境时空统一的综合性。

3. 沉积作用各阶段热动力边界条件的随机性使得沉积形成作用更为复杂。

虽然沉积造岩物质有几种不同的来源途径，但风化作用所提供的物质是最主要的，本章仍将其作为重点加以讨论。

第二节 母岩风化所提供的物质

出露于地表的各类岩石（火成岩、沉积岩、变质岩），经风化作用产生的碎屑物质、粘土物质和溶解物质，它们通过不同方式迁移聚集，为形成各种各样的沉积岩准备了物质条件。

同时，在海底也发生着类似的作用，这种作用通常发生在含盐度高的海水介质中。悬浮于海水中或沉于海底的矿物颗粒与海洋底层水之间发生的各种化学作用，通常被称为海解作用。由于海底的物理化学环境与大陆颇不相同，主要表现在含盐度和 pH 值高，并且温度低、压力高，这就使得在大陆环境下稳定的物质，到了海底就要转化。同时海底火山喷发的物质也要发生变化，最常见的变化有：黑云母变为海绿石，火山灰变为蒙脱石和沸石等等。有人认为深海红色软泥也是海解作用的结果。

一、陆源碎屑的形成

各类岩石经风化作用而破碎形成的大小不一的碎屑，称为陆源碎屑。提供这些碎屑物质的先成岩石称为母岩。供给这些碎屑物质的地区称陆源区或蚀源区。大块的母岩由于温度的变化、晶体生长、重力作用、植物生长、流水、冰川及风等的破坏作用而崩解，形成大小不同的碎屑，一般称之为机械风化作用（也叫物理风化作用）。

温度变化对岩石的影响主要因为岩石是一种不良导热体,受到日光曝晒时吸热不均匀,其表面膨胀强烈。当昼夜温差较大的时候,便导致岩石的表层与内部的分离而破碎。其次,由于组成岩石的各种矿物及同一矿物晶体不同方向上的热膨胀系数和吸热速度的不同,产生差异膨胀而使岩石和矿物发生崩解。

植物根系的楔插,裂隙中的水结冰而体积增大所产生的冰劈,因重力影响而导致的崩塌,冰川的侵蚀,暴风砂的冲击以及动物的机械破坏都可能使大块岩石解体。在严寒或干旱地区,岩石的上述机械破坏作用是很剧烈的。

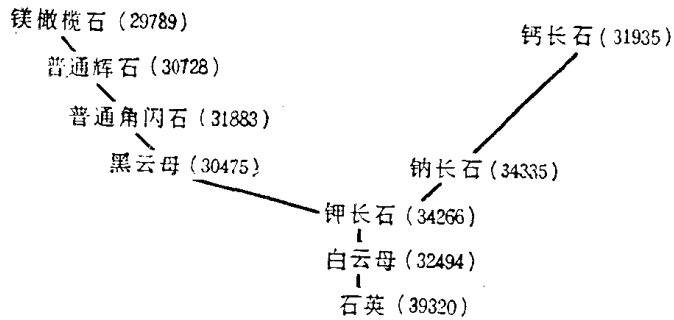


图 1—1 矿物在风化带中的稳定性系列

(据S.S.Goldich, 1938, 转引自H.Blatt等, 1972略有修改)

(一) 主要造岩矿物在地表的稳定性

母岩机械破碎的产物不是全都能成为陆源碎屑,只有在表生条件下比较稳定的矿物才能进入沉积造岩过程。以花岗岩为例,能够成为陆源碎屑存在的只有石英、白云母、锆英石和部分磷灰石

等,长石和黑云母由于在表生带不够稳定而易被分解,即使能够作为碎屑存在,也呈现强烈的风化外貌,只有在特殊的气候和埋藏条件下才有新鲜碎屑存在。可见,在表生条件下,主要造岩矿物的稳定性是不同的。

戈尔迪奇 (S.S.Goldich, 1938) 研究了莫尔顿花岗片麻岩的风化情况后,根据研究材料制定了一个表示主要造岩矿物稳定性的图表 (图1—1),称为矿物在风化中的稳定系列。此系列和鲍温 (N.L.Bowen) 的岩浆结晶反应系列完全相同,仅是两者所代表的意义不同。

图中的数字表示鲍温反应系列中各种矿物的氧和阳离子之间的键强度的总数 (近似于矿物的生成能量,单位为 J/mol),从这些数字可以看出,鲍温反应系列下部的矿物,其键强度总数较大,在风化带中稳定性较高。但这些数字也有矛盾的地方,即云母的键强度总数与系列中的顺序不符,这可能是由于氢氧根存在的缘故,而这种氢氧根的能量效应是未知的。在风化过程中,总的趋向是在较高温度、压力条件下形成的造岩矿物,在地表或近地表的常温、常压条件下不稳定,因而变成新的矿物或矿物组合。

辛道夫斯基 (Sindowski, 1949) 及其他学者研究了重矿物的稳定性问题。他们根据莱茵地区新老不同的阶地中重矿物种类及量比关系得出了重矿物的稳定顺序 (表1—1)。应该指出的是,表1—1所列出的稳定顺序只能作为一般性的参考,新老阶地矿物组合的差异可能是多种因素综合影响所致,除与矿物稳定性有关外,并不排除层内溶解等因素的影响。辛道夫斯基在给出重矿物稳定性表的同时,也注意到了这个问题。

柯提斯 (C.D.Curtis) 认为,在不同的风化条件下和不同的地球化学环境中,矿物的相对稳定性是变化的。也就是说,在某些情况下一种矿物比另一种矿物稳定;而在另外的情况下,则相反。这要视矿物反应的作用物、生成物及介质条件的具体情况而定。因此,上述矿物的稳定性并不是绝对的。

保留下来的稳定矿物即构成陆源碎屑,在特定的条件下,各种稳定矿物共存,即构成陆源碎屑矿物组合。