

高等学校规划教材

沉积岩石学

张鹏飞 主编

煤炭工业出版社

高等学校规划教材

沉积岩石学

张鹏飞主编

煤炭工业出版社

(京)新登字 042 号

内 容 简 介

全书共十四章。书中较全面系统地介绍了沉积岩石学的基本理论、基本知识和基本技能,其中又以岩类学为主。内容包括:各岩类的分类、命名、物质组成、主要岩石类型及其特征、形成机理及成岩、后生作用、研究和描述方法等;并简要介绍了沉积作用旋回性,以及沉积作用与板块构造的关系。本书内容丰富、翔实、取材新颖,论述严谨完整。

本书为高等学校煤田地质及勘探专业教学用书,亦可供其它地质专业科研、生产人员参考。

责任编辑:宋德淑

高等学校规划教材

沉 积 岩 石 学

张 鹏 飞 主 编

煤炭工业出版社 出版

(北京安定门外和平里北街21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787×1092mm^{1/16} 印张16^{1/4}

字数385千字 印数1,546—2,580

1990年10月第1版 1993年9月第2次印刷

ISBN 7-5020-0446-7/TD·405

书号 3232

定价 7.50元

前 言

本书是根据原煤炭工业部高等院校煤田地质及勘探专业制定的教学大纲的内容与要求编写的。教学时数为70学时。

全书共分十四章，重点是岩类学。书中系统地介绍了各类岩石的分类、成分、结构、构造、形成机理，并对其沉积环境作了适当叙述，其中强调对岩石的鉴定、描述和命名，以加强基本功的训练。为了在岩类学学习基础上，对沉积作用有一定程度的概括和提高，对沉积作用的旋回性和韵律性，以及沉积作用与板块构造作了简要的介绍。

参加本书编写的有：湘潭矿业学院卓越（绪论、第一、二、三、五章），焦作矿业学院葛宝勋（第四、六章），中国矿业大学北京研究生部张鹏飞（第七、十二、十三章），中国矿业大学贾玉茹（第八、十一章）、刘焕杰（第九、十章）。张鹏飞为本书主编。

本书在编写过程中，北京大学王英华教授和中国地质大学胡益成老师提供了精美照片，谨致谢意。

限于编者水平，书中有误或欠妥处，敬希广大读者批评、指正。

编 者

1989年11月

目 录

结 论	1
第一章 沉积岩的形成和变化	7
第一节 沉积物的形成	7
第二节 沉积物的搬运和沉积作用	12
第三节 沉积物的成岩作用和沉积岩的后生作用	28
第二章 沉积岩的分类	32
第一节 沉积岩分类原则概述	32
第二节 目前国内外沉积岩分类概况	32
第三节 本书采用的沉积岩分类	35
第三章 沉积岩的构造和颜色	37
第一节 概述	37
第二节 物理成因的沉积构造	37
第三节 化学成因的沉积构造	50
第四节 生物成因的沉积构造	53
第五节 沉积岩的颜色	55
第四章 陆源碎屑岩的一般特征	58
第一节 陆源碎屑岩的成分	58
第二节 陆源碎屑岩的结构	70
第五章 砾岩和角砾岩	79
第一节 概述	79
第二节 砾(角砾)岩的分类和命名	79
第三节 砾岩的主要成因类型及我国含煤岩系中砾岩实例	83
第四节 砾岩的研究意义和研究方法	85
第六章 砂岩和粉砂岩	87
第一节 概述	87
第二节 砂岩的分类	88
第三节 砂岩的主要类型	95
第四节 砂(岩)的成岩后生变化	101
第五节 研究砂岩的意义和方法	105
第六节 粒度分析	108
第七节 粉砂岩	121
第七章 粘土岩(泥质岩)	124
第一节 概述	124
第二节 粘土岩的矿物成分和化学成分	125
第三节 粘土岩的宏观特征	131
第四节 粘土岩的分类和主要类型	134
第五节 粘土岩的成岩作用	137

第六节	现代粘土沉积物的形成和分布	139
第七节	粘土岩的成因类型及其特征	140
第八节	粘土岩的研究方法	143
第九节	我国主要含煤岩系中粘土岩的特征和分布	145
第八章	火山碎屑岩	147
第一节	概述	147
第二节	火山碎屑岩组分特征	148
第三节	火山碎屑岩的结构、构造和颜色	151
第四节	火山碎屑岩的分类和命名	153
第五节	火山碎屑岩及其过渡岩石的主要岩类特征	155
第六节	火山碎屑岩的成因类型及其标志	160
第七节	火山碎屑岩的成岩、后生变化	163
第八节	火山碎屑岩的研究方法和研究意义	163
第九章	碳酸盐岩	164
第一节	概述	164
第二节	碳酸盐岩的成分	164
第三节	碳酸盐岩的结构组分和结构类型	166
第四节	碳酸盐岩的构造	171
第五节	碳酸盐沉积物的成岩后生作用	173
第六节	碳酸盐岩的分类和命名	180
第七节	含煤建造中碳酸盐岩的主要类型	182
第八节	碳酸盐岩的研究方法	184
第十章	碳酸盐岩中的生物组分及其薄片鉴定特征	186
第一节	概述	186
第二节	碳酸盐岩中化石颗粒的岩石学特征	186
第三节	碳酸盐岩中化石颗粒的生物学显微特征	190
第四节	含煤建造中常见的造岩钙质藻类化石	193
第五节	含煤建造中常见的钙质无脊椎动物化石	200
第六节	含煤建造中常见的钙质遗迹化石	209
第七节	生物化石颗粒的鉴定和描述步骤	212
第十一章	硅质岩及其它类型沉积岩	215
第一节	硅质岩	215
第二节	铝、铁、锰、磷质岩及蒸发岩	221
第十二章	沉积作用的旋回性和韵律性	235
第一节	概述	235
第二节	旋回性和韵律性的形成原因	237
第三节	各种沉积环境中旋回和韵律举例	238
第四节	地质历史中沉积作用的周期性和沉积作用的演化	244
第十三章	板块构造对沉积作用的控制	247
第一节	沉积盆地的概念和分类	247
第二节	板块构造与盆地演化	248
第三节	大地构造对沉积物的结构和成分的影响	251
参考文献		253

绪 论

一、沉积岩和沉积岩石学

(一) 沉积岩及其在地壳中的分布

沉积岩是组成地壳的三大类岩石之一，和岩浆岩变质岩不同，它是在地壳表层条件下由母岩（岩浆岩、变质岩、沉积岩）的风化产物、火山物质、宇宙物质以及有机物等原始物质，经过搬运作用、沉积作用和成岩作用而形成的岩石。从整个岩石圈而言，沉积岩只占其体积的5%，而岩浆岩和变质岩则占95%；但在地壳表层出露最多的是沉积岩，陆地表面的75%为沉积岩所覆盖，其余的25%是岩浆岩和变质岩，已探明的海底、洋底几乎全部由沉积岩所组成。因此，沉积岩主要集中分布于地表，然而在地表它也不是均匀分布，各处厚度很不均一。在地槽区厚度大，有的地方沉积岩厚度可达30km，而在地台区则较薄，在岩浆岩、变质岩出露的地方没有沉积岩的分布。

沉积岩中分布最广的是页岩、砂岩和石灰岩。根据化学计算的结果表明，页岩占沉积岩的77.2%、砂岩占13.2%、石灰岩占7.7%，其余的沉积岩只占1~2%。

(二) 沉积岩形成的条件

沉积岩是在地壳表层的条件下形成的。所谓地壳表层指的是大气圈的下部、岩石圈的上部、水圈和生物圈。在这些沉积物生成带，影响沉积岩形成的条件如下：

1. 温度和压力

同形成岩浆岩的高温高压相比，沉积岩形成于常温、常压之下。地壳表层的温度变化范围不大，根据地理学的资料，地表的年最高温度在非洲中部可达85℃，最低温度在北极圈维尔霍扬斯克附近为-70℃。所以就整个地球而言，每年最大温差在50~160℃左右，但就每一个地方而言温差不会这样大，一般在40~50℃之间。现代沉积物一般形成于上述的温度范围之内。由沉积物到沉积岩的转变，可位于地球的不同深度，成岩时的温度一般不会超过200℃，否则沉积岩将逐渐变为变质岩，不再属于沉积岩的范畴了。

沉积物形成带的压力，在 $1.01 \times 10^5 \sim 2.02 \times 10^6 \text{Pa}$ 个大气压力之间。高山地区不到 $1.01 \times 10^5 \text{Pa}$ 压力，海平面是 $1.01 \times 10^5 \text{Pa}$ 压力。由海平面向下压力逐渐增加，按海深10m增加 $1.01 \times 10^5 \text{Pa}$ 压力计算，最深的洋底可达 $11.11 \times 10^7 \text{Pa}$ 压力。压力的大小，影响水中气体的含量，影响沉积物的形成和变化。

2. 水和大气的作用

绝大多数的沉积作用是在水中进行的，大多数沉积物和沉积岩也都是在 水中形成的，水是母岩风化的主要地质营力，也是风化产物、火山物质、宇宙物质等搬运和沉积的主要介质。因此，在沉积学发展的早期曾认为沉积岩都是“水成岩”。这种论点是不全面的，除了水中形成的沉积岩外，还有风力作用形成的风成岩和由冰川作用形成的冰碛岩，它们都属于沉积岩。

大气中的二氧化碳 CO_2 和氧 O_2 也是沉积物、沉积岩形成的主要因素，它们对于母岩的破坏及沉积作用的进行，都起着重要的作用。

3. 生物和生物化学作用

生物和生物化学作用对于沉积物和沉积岩的形成具有特殊的意义。有的沉积物和沉积岩本身就是由生物遗体形成的，如能源矿产的煤和石油，生物礁灰岩等。生物和生物化学作用也可间接地参加沉积物和沉积岩的形成，例如在煤的形成过程中细菌起了重要的作用。自地球上生命发生以来，时代愈新，生物对沉积物、沉积岩形成所起的作用就愈大。

(三) 沉积岩的一般特点

1. 沉积岩的化学成分

同岩浆岩的平均化学成分相比较可以看出，沉积岩的化学成分和岩浆岩是相近似的，但由于沉积岩形成条件的不同，其在化学成分上和岩浆岩仍然有很大的差别，现归纳如下（表0-1）：

表 0-1 沉积岩和岩浆岩的平均化学成分（按元素%）

元 素	沉 积 岩 (按费尔斯曼, 1934; 维尔纳茨基, 1950)	沉 积 岩 (按魏克曼, 1954)	岩 浆 岩 (按华盛顿和克拉克, 1924)
O	49.50	约46.00	46.40
Si	27.55	28.70	27.70
Al	6.93	9.50	8.10
Fe	3.90	5.80	5.10
Ca	3.82	0.40	3.60
Mg	1.53	1.40	2.10
K	2.33	2.60	2.60
Na	0.82	1.00	2.80
Ti	0.34	0.60	6.70
C	2.01	—	—
其它	0.83	4.00	1.00
总合	100.00	100.00	100.00

1) Fe_2O_3 和 FeO 的含量 在沉积岩和岩浆岩中铁的总量是接近的（表0-2），但在岩浆岩中 FeO 的含量多于 Fe_2O_3 ，而在沉积岩中 Fe_2O_3 的含量多于 FeO 。岩浆岩是在地下深处缺氧的条件下形成的，铁多以亚铁的形式出现；相反，沉积岩是在地表条件下形成的，自由氧充足，多形成高铁。

2) K_2O 和 Na_2O 的含量 在岩浆岩中钠的含量比钾高，沉积岩中则相反。这是因为在沉积岩中富钾的白云母、绢云母相对稳定；岩浆岩风化后生成的胶体分散物（粘土矿物）易吸附钾，这样就导致沉积岩中钾含量的相对增高；岩浆岩风化后，其中的钠以氯化物、硫酸盐等可溶性盐的形式集聚于海水中，使沉积岩中钠的含量相对减少。

3) Al_2O_3 的含量 岩浆岩中铝多以铝硅酸盐的形式出现，而在沉积岩中 Al_2O_3 通常剩余而游离，这是沉积岩的主要化学特征之一。在大多数沉积岩中， Al_2O_3 大于 $\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O} + \text{CaO}$ 之和。

4) Mg 和 Ca 的含量 岩浆岩中 $\text{Ca} > \text{Mg}$ ，在沉积岩中则是 $\text{Mg} > \text{Ca}$ 。

5) H_2O 和 CO_2 的含量 沉积岩形成于地表条件下，其中富含 H_2O 和 CO_2 ，岩浆岩形成于高温高压的环境，且这两种成分几乎没有。

表 0-2 岩浆岩和沉积岩的平均化学成分 (按氧化物%)

氧化物	沉积岩	沉积岩	岩浆岩
	(按克拉克, 1924)	(按舒科夫斯基, 1952)	(按克拉克, 1924)
SiO ₂	57.95	59.17	59.14
TiO ₂	0.57	0.77	1.05
Al ₂ O ₃	13.39	14.47	15.34
Fe ₂ O ₃	3.47	6.32	3.08
FeO	3.08	0.99	3.80
MnO	—	0.80	—
MgO	2.65	1.85	3.49
CaO	5.89	9.99	5.08
Na ₂ O	1.13	1.76	3.84
K ₂ O	2.86	2.77	3.13
P ₂ O ₅	0.13	0.22	0.30
CO ₂	5.38	—	0.10
H ₂ O	3.23	—	1.15
总和	98.73		99.50

2. 沉积岩的矿物成分

地壳中已知矿物在3000种以上。赋存于沉积岩中的矿物超过160种,但常见的不过20种(表0-3)。在一种岩石中常见的矿物约5~6种,一般只有1~3种。由于成因、形成条件的不同,沉积岩的矿物有与岩浆岩不同的自己特点。

1) 岩浆岩和沉积岩中都大量出现的矿物 如石英和长石。这两种矿物在岩浆岩和沉积岩中的含量都很多。但长石中的钙长石、拉长石、中长石等生成于岩浆结晶的早期和中期,形成时的压力、温度都较高,这些矿物处于地表条件下容易遭受破坏,难以矿物碎屑的形式保存于沉积岩中;长石中的钾、钠长石形成于岩浆结晶的晚期,在地壳中易于呈碎屑保存下来,所以是沉积岩中常见的长石种属。石英的化学性质十分稳定,不仅在岩浆结晶晚期形成的能够保存下来,而且在地表条件下也可以自生形成蛋白石、玉髓和沉积石英,因此在沉积岩中石英的平均含量超过岩浆岩中的平均含量。

2) 沉积岩中罕见、岩浆岩中大量出现的矿物 岩浆岩中主要造岩矿物中的铁、镁暗色矿物,如橄榄石、普通辉石等都是在高温条件下形成的、成分复杂的硅酸盐矿物,一旦转入地表,极易分解,在极少情况下,可以重矿物的形式保存于沉积岩中。

3) 地表条件下沉积作用产生的矿物 这类矿物是沉积岩的主要组分,其特点是成分一般比较简单,如各种盐类、氧化物、氢氧化物、粘土矿物、碳酸盐矿物等。岩浆岩中一般不存在这些矿物。

岩浆岩和沉积岩在矿物成分上存在的上述差异,是两者形成条件不同所决定的。岩浆岩中主要造岩矿物是在高温、高压条件下形成的,这些矿物稳定于高温高压的环境,在常温常压下易分解,这是在沉积岩中少见的原因。沉积岩中的自生矿物,是在地表常温常压环境下形成的,稳定于地表的条件,所以在沉积岩中十分丰富。

(四) 沉积岩在国民经济中的意义

沉积岩中含有大量有用矿产,据第19届国际地质学会的资料统计,世界资源总储量的

表 0-3 沉积岩和岩浆岩的平均矿物成分(%)

矿 物	沉 积 岩	沉 积 岩	岩 浆 岩 平 均 成 分
	(按列斯与米德, 1915)	(按克里宁, 1948)	(65%花岗岩, 35%玄武岩)
石 英	31.80	31.50	20.40
玉 髓	—	9.00	—
云母+绿泥石	20.10	19.00	7.70
长 石	15.57	7.50	19.29
高岭石及其它粘土矿物	9.22	7.50	—
碳 酸 盐	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	3.00	0.88

75~85%是沉积和沉积变质成因的。能源矿产中的煤、石油、天然气、油页岩等可燃有机矿产,全是沉积成因的。煤是工业的粮食,石油是工业的血液,这些矿产在国民经济中的重要地位是不言而喻的。据我国著名地质学家孟宪民于1965年统计的资料表明,我国铁矿的74.1%、铜矿的71.25%、铅矿的88.6%、锡矿的90.02%都是沉积或沉积变质成因的。由此可知,沉积岩中所蕴藏的矿产,不论是储量和质量,不论在世界和我国都是最为重要的。因此,沉积岩和沉积矿产在国民经济中的作用和地位是很重要的。

二、沉积岩石学,它的任务、发展现状和研究方法

(一) 沉积岩石学的概念和任务

沉积岩石学是地质学的一个分科,是研究沉积岩(包括沉积矿产)的成因、成分、结构构造等特征,以及沉积岩时空分布规律的科学。由于沉积岩与矿产的关系密切,其在国民经济中的重要性愈来愈突出,促进了沉积岩石学的快速发展,而今它已不单是一门理论学科,并派生了诸多应用方面的分科,研究的领域日益广泛,从衣食住等一般工业到军用工业,从能源到尖端宇航工业,都与沉积岩石学的研究密切相关。

沉积岩石学的主要任务是:

(1) 通过对沉积岩石学的研究,为国民经济提供更多的有用矿产,如金属非金属矿产、能源矿产、地下水资源,为农林、土壤、军事民用工程的重大决策提供基础资料。

(2) 沉积岩石学是具体地研究沉积岩和沉积矿物的成分、结构、构造、分类和命名,以及研究岩石产状在时间和空间上分布的规律性等。

(3) 研究沉积物和沉积岩形成的理论,如风化、剥蚀、搬运、沉积作用,成岩和后生作用,研究沉积物和沉积岩中有用矿产的形成等。

(4) 进行沉积环境分析。依据赋存于沉积岩中的各种成因标志,用来恢复沉积物和沉积岩形成时的古气候、古地理、古构造环境,并建立相应的沉积模式和勘探模式,为找矿勘探服务。

(二) 沉积岩石学的现状和发展趋势

作为地质学的一门独立分科,在本世纪20年代以前沉积岩石学的发展较为缓慢,早期偏重于野外研究,1850年英国地质学家 Sorby, H.C. 开始用显微镜对岩石进行微观研究,扩大了研究领域,此后的岩石学著作有 Zirkal (1868) 的《显微岩石学》和 Tyrell, G.W. (1926, 1929) 的《岩石学原理》,书中论及沉积岩的部分较为简单。20年代以后陆续出版的重要岩石学著作有 Milner, H.B. (1922) 的《沉积学引论》,美国 Twenhofel, W.H. (1926) 主编的《沉积作用论文集》,法国 Lucien Cayeux (1929) 的法国沉积岩第一卷。30~40年代有更多的沉积岩石学专著相继问世。世界上最早的沉积岩石学专刊“沉积岩石学杂志”于1931年由美国经济古生物学家学会创刊发行,至今仍然是一种有世界影响的重要刊物。在此期间沉积岩石学方面的重要著作有美国 Twenhofel, W.H. (1939) 的《沉积岩石学原理》,美国 Pettijohn, F.J. (1949) 的《沉积岩石学》;在这方面苏联学者有重要的贡献,著名的著作有 Д.В. Наливкин (1932) 的相论, М.С. Швецов (1932, 1945) 的《沉积岩石学》。

20世纪50年代以后,由于先进技术和方法的采用,由于对现代沉积物开展了广泛的研究和相近学科的进展和影响,以及大量的模拟实验工作,使沉积岩石学有了变革性的全面发展,并成为地质学科中发展迅速且十分活跃的学科之一,在传统沉积学的基础上展现出全新的面貌。

近20年来,沉积岩和沉积岩石学方面的主要进展如下:

1. 碳酸盐岩的成分、结构、构造、成因等方面的研究

60年代 Folk, R.L. 提出石灰岩和砂岩、泥岩可以类比,既有与砂岩相当的机械成因的较高能浅水粒屑灰岩,又有和泥岩相当的低能静水环境下形成的泥晶灰岩。现在认为,在石灰岩形成过程中,机械作用起着极为重要的作用,生物的作用也比以前估计的要大得多。在碳酸盐岩分类方面也有新的突破,现行的结构成因分类,或能量指数等分类法,比之传统的分类更趋合理。

2. 沉积作用的水动力学研究

在这方面主要是进行了一系列水槽实验,以其结果,从水力学的观点解释许多原生构造的形成机理。通过模拟实验,证实了密度流的性质及其对沉积物的携带能力,以及形成递变层理的特点,从而肯定了浊流学说。

3. 各种沉积模式的建立

近20年来,对现代沉积物进行了广泛的研究,特别是大规模地开展了河流沉积、三角洲沉积、堡岛沉积、潮汐沉积、冲积扇沉积的研究工作,不同程度地建立了相应的沉积模式,阐明了沉积地质体的时间和空间分布变化规律。近年来在此基础上,探索建立勘探模式,藉以指导勘探工作的进行。

4. 重力流和风暴流沉积研究的迅速发展

浊流沉积物的发现,是沉积学的重大突破,到60年代初建立了鲍玛层序,把浊流沉积模式化,改变了传统的沉积分异理论,把沉积分异理论引向深水沉积;而后 Middleton, G.V. 和 Hampton, M.A. (1973) 研究了各种重力流沉积, Vavmark, W.R. (1970), Stanley, D.T. (1973) 等人对深水扇、深水海道沉积的研究,使深水沉积的研究更加深入和完善。近年来,风暴学说的兴起是沉积学又一重大进展,用它来较好地与深水浊流沉积相区别,丰富了沉积学的内容。

5. 遗迹学和化石岩石学

遗迹学和化石岩石学是沉积学和古生物学之间的边缘学科, 主要研究生物的遗迹或遗物, 它们在多方面有指示沉积特征和沉积环境的重要意义。因此, 经过20余年的发展, 日益受到普遍的重视, 成为环境分析的成因标志之一。化石岩石学一般是在薄片研究中研究化石及其碎片的钙质结构和其它特征以及它们的组合, 以达到鉴别化石和解释沉积环境的目的。这方面的专著日益增多, 化石岩石学已发展成一门新兴的边缘学科。

6. 成岩作用的研究

成岩作用研究的早期, 主要是研究成岩作用形成的自生或次生矿物, 如自生石英、长石、楣石、电气石、锐钛矿等。后来, 逐渐趋于对成岩阶段的划分和成岩作用概念的讨论。随着能源开发的需要, 开展对碳酸盐岩、砂岩和粘土岩的成岩作用的探讨, 以及成岩作用对孔隙度、渗透性的影响, 成岩作用的研究已成为重要课题。1978年在伦敦召开了国际成岩作用的学术会议, 随之我国也在成都召开了类似的专题会议, 发表了一些有价值的论文。

此外, 大地构造对沉积盆地和沉积作用控制的研究, 对整个盆地以及更大区域的沉积学研究, 在地球物理方面对各种测井资料、地震剖面资料直接用于解释沉积环境等, 都是正在进行并将是很有前途的研究领域。

沉积岩石学发展得很快, 其分支学科也愈来愈多, 所涉及的学科范围也愈来愈广泛, 内容日益丰富, 随着时间的推移, 其在国民经济中的作用愈来愈大, 这一学科也随之更趋成熟。

(三) 沉积岩石学的研究方法

沉积岩是赋存于地壳中的地质体。作为地质体其研究方法有野外和室内两种。后者是前者的补充和深化。野外主要是用地质学的方法, 对沉积岩体全面地进行观察、研究, 包括沉积物和沉积岩的物质组成、结构、构造、产状、上下岩层的接触关系、岩层厚度、各种环境分析的成因标志、岩性组合在时间(纵向)和空间(横向)的分布和变化规律等。由于科学技术的发展, 沉积岩的野外研究中还引进了许多新技术、新方法。如遥感设备、航片、卫片的解释, 深海钻探及长岩心的采取方法, 各种测井技术的应用和测井曲线的解释等。

沉积岩的室内研究方法很多, 其中显微镜法是研究沉积岩的最基本的方法。岩石的基本性质, 如成分、结构、名称等可通过岩石薄片鉴定得到解决。室内方法还有粒度分析、重矿物分析、染色法、磁选和电磁选法、热差分析法、化学分析法、光谱分析、残渣分析等。在沉积岩室内研究方法中, 还包括近年来引用的许多先进的测试手段, 如扫描电镜、X射线衍射仪、阴极发光显微镜、碳、氧、硫、钙的同位素分析、电子探针、原子吸收光谱、图像分析仪、红外光谱, 以及研究数据的电子计算机处理等。

由于新技术、新方法的使用, 大大便利了沉积学研究, 加快了研究步伐, 使研究工作更加深入, 宏观与微观相结合, 由定性到定量, 使得对于沉积岩这一地质体的客观规律的认识达到一个新的高度。

第一章 沉积岩的形成和变化

第一节 沉积物的形成

一、概述

形成沉积岩的原始物质，有多种来源，最主要的是母岩（指先形成的岩浆岩、沉积岩和变质岩）风化产物，其次是火山物质、宇宙物质和有机质。

地表或接近地表的母岩，在大气、水、温度变化和生物影响下所发生的破坏作用称为风化作用，此种作用所产生的各种物质，是沉积物和沉积岩最主要的物质来源。因此，讨论沉积物和沉积岩的形成过程，首先涉及风化作用。母岩风化有三种产物，即碎屑物质、化学物质和粘土物质。

风化作用按其性质分为三种类型，即：物理风化作用、化学风化作用和生物风化作用。

二、物理风化作用

母岩遭受以机械瓦解为主的风化作用称物理风化作用。由于温度的变化、晶体的生长、重力效应、水、冰和风的破坏作用和生物生活活动，使母岩发生机械破碎，由大变小，由致密坚硬变为疏松而不发生化学成分的改变。物理风化作用的结果，给沉积岩的形成提供碎屑物质，它是碎屑岩的最主要原始组分。

三、化学风化作用

母岩在水、氧和各种酸的作用下，遭受氧化、水化的过程称为化学风化作用。化学风化作用不仅使母岩发生破碎，而且其破碎产物伴有成分上的变化。因此，化学风化作用是母岩的一种化学分解作用。母岩经过一系列的化学变化，其中包括氧化作用、水化作用、溶解作用、各种酸化作用、去二氧化硅作用，以及 SiO_2 、 Al_2O_3 和 Fe_2O_3 的堆积和相互作用等。化学作用的结果形成各种化学分异产物，如各种溶解物质和不溶残余物质，这些是组成沉积岩的另一类主要原始物质。

四、生物风化作用

由于生物的生活活动对母岩的机械和化学破坏作用称为生物风化作用。生物广泛生活于大气圈、水圈和地壳的上部，特别是微生物的活动，更是无孔不入。据统计，每克细菌、真菌、藻类及地衣覆盖在岩石表面上，他们所分泌的有机酸可分解岩石，使其发生破坏，在可燃有机岩煤和石油等的形成过程中细菌起着十分重要的作用。

五、主要造岩矿物和岩石在风化过程中的习性

（一）元素析出的顺序和风化带发育的阶段性

岩石在化学风化过程中，表现为有些元素的淋滤散失，另一些元素的残积和富集。各种元素从母岩中迁移的难易程度不同，因而是按一定顺序进行分异的。苏联学者Перельман（1955）利用苏联许多地区河水中元素的含量和各种元素在岩石圈中的平均含量，计算出各种元素在风化时的迁移能力顺序，并将风化带中的元素分为以下五类：

- 1) 最容易迁移的元素Cl、(Br、I)、S。

- 2) 易迁移的元素Ca、Na、K、Mg。
- 3) 可迁移的元素Mn、SiO₂ (硅酸盐中的)、P。
- 4) 略可迁移 (惰性) 的元素Fe、Al、Ti。
- 5) 基本上不迁移的元素SiO₂ (石英中)。

上述五类元素，仅是按迁移的难易排列。其迁移的能力不是等差的，如果以第一类元素的活动性为20，则第二类为1，第三类为0.1，第四类为0.01，第五类则更小 (实际上不发生迁移)，它们之间迁移能力的差别有的可达几千倍之多。

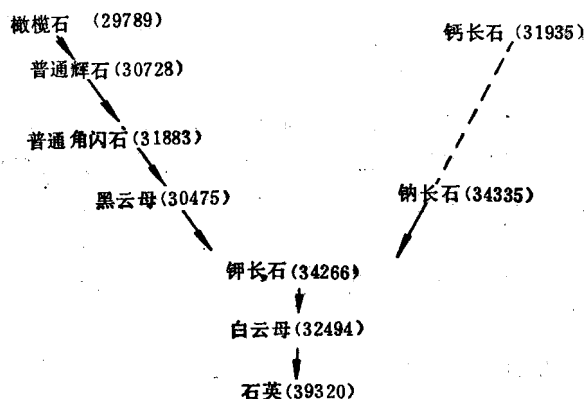


图 1-1 在风化带中矿物稳定序列

(据Goldich, 1938, 转引自Blatt等, 1972修改)

(二) 主要造岩矿物在风化时的习性

在风化过程中各种造岩矿物的风化速度和稳定程度有很大的差别，即其稳定性有明显的不同。这主要由矿物成分、物理性质和内部构造所决定的，与其所处的风化条件尤其是气候条件也有关系。Goldich (1938) 依据一些土壤剖面的定量研究，制定一个风化带中矿物的稳定序列 (图1-1)。

图中，括号内的阿拉伯数字是鲍文反应系列中各矿物的氧——阳离子键强度总数 (近似矿物的生长能量，单位为千焦耳/克分子)。从上图可以看出，矿物稳定序列与鲍文的结晶反应系列完全相同，在整个序列中，自上而下矿物的稳定性随键强度的增加而增大，只有黑云母与位于其上的角闪石的键强度总数不符。黑云母的总键数小于角闪石，这可能与黑云母中氢氧基存在有关。

矿物风化时的迁移顺序，主要决定于元素本身的活泼性，如溶解度；此外，与该元素组成的矿物和岩石抵抗风化的强度也有关系，如同样的Ca和Mg在碳酸盐中容易析出，在花岗岩中则难于析出；另外，与介质的pH值和Eh值也有很大关系。P. Reiche (1950) 用风化势能指数表示矿物的稳定性 (表1-1)。风化势能指数的计算公式如下：

表 1-1 主要造岩矿物的风化势能指数

矿物	指数范围	平均值	矿物	指数范围	平均值	矿物	指数范围	平均值	矿物	指数范围	平均值
橄榄石	45~65	54	拉长石	18~20	20	黑云母	7~23	22	钙长石	无资料	13
辉石	21~45	39	中长石	无资料	14	白云母	无资料	-10.7	钾长石	无资料	12
角闪石	21~63	36	更长石	无资料	15						

注：1. 表中有些矿物的风化势能指数范围没有资料，平均值是根据平均化学分析值得来的。

2. 此表根据Reich, 1950。

$$\text{风化势能指数} = \frac{100(\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O} + \text{CaO} + \text{MgO} - \text{H}_2\text{O}) \text{克分子}}{(\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{MgO} + \text{CaO} + \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}) \text{克分子}}$$

风化势能指数愈大者稳定性愈小。计算势能指数需排除游离 SiO_2 的含量。

(三) 风化作用的阶段

波雷诺夫将结晶岩的风化过程分为以下四个阶段，它们与上述元素析出的顺序相对应。

1. 碎屑阶段

风化开始阶段，以物理风化作用为主，风化产物主要是矿物碎屑和岩石碎屑，元素的转移量甚微。

2. 饱和硅铝阶段

这一阶段的特点是岩石中的氧化物和硫酸盐全部溶解，首先带出 Cl 和 SO_4 。在 CO_2 和 H_2O 的共同作用下，硅酸盐和铝硅酸盐矿物开始分解，其中的主要元素（ K 、 Na 、 Ca 、 Mg ）大量转移，部分硅酸盐被带走，此时水溶液呈碱性反应，常形成胶体粘土矿物——蒙脱石、水云母、拜来石、绿脱石等，溶解性较差的碳酸钙开始堆积。

3. 酸性硅铝阶段

这一阶段主要金属元素（ K 、 Na 、 Ca 、 Mg ）已经全部迁移， SiO_2 进一步游离出来，碱性环境被酸性环境所代替，溶液开始呈酸性反应， Mg 和 K 再次淋出，上阶段所形成的蒙脱石等矿物又将破坏分解，形成酸性环境下稳定的不含 K 、 Na 、 Ca 、 Mg 的粘土矿物——高岭石。

4. 铝铁土阶段

这是风化的最后阶段，特点是铝硅酸盐全部被带走，剩下的只有 Fe 、 Al 等难迁移的元素，主要形成 Al_2O_3 的水合物（水铝矿、水铝石）和少量的 Fe_2O_3 水合物（褐铁矿、针铁矿），以及一部分游离的 SiO_2 。上述这些水合物以胶体状态在酸性介质中聚集起来，在原地形成水铝矿、褐铁矿和蛋白石的堆积，成为一种褐红色疏松的铁质或铝质土壤，又称红土。达到这一阶段的风化作用，称为红土型风化作用。

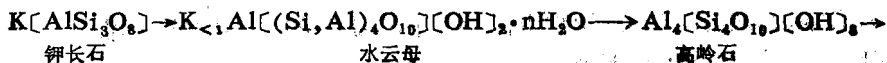
上述四个阶段是风化作用发展过程中的一般情况，事实上风化作用的阶段常受气候、地形、母岩性质等多种因素的控制。在同一地区四个阶段不一定都能进行到底；例如干旱的沙漠地区，风化作用长期停留在碎屑阶段。在潮湿炎热的地带风化作用可以进行到最后铝铁土阶段。

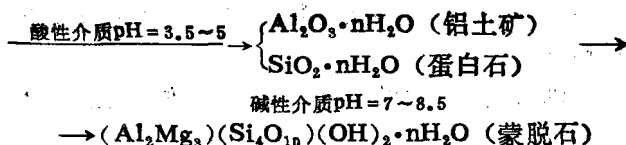
(四) 主要造岩矿物和岩石在风化时的习性

地壳中分布最广的是铝硅酸盐和硅酸盐矿物，它们占地壳总重量的75%，其中铝硅酸盐矿物约占地壳重量的半数以上，再加上含量达12%的石英，地壳重量的87%是由铝硅酸盐、硅酸盐和石英所组成。各种造岩矿物在风化时的稳定性不同，因而其风化产物也不同，现简述如下：

1. 长石类

长石矿物是地壳中分布最广的 K 、 Na 、 Ca 的铝硅酸盐。长石在风化过程中阳离子首先被带走，发生水化时加入 (OH) 离子变成水云母，水云母可继续分解，游离出 SiO_2 生成蛋白石，剩下含水氧化铝形成红土，即红土化作用。钾长石的具体风化过程为





在长石类中钾长石要比斜长石难于风化，斜长石中酸性斜长石较基性斜长石难于风化，所以在沉积岩中钾长石和酸性斜长石较常见，基性斜长石较少出现。

2. 铁镁矿物

这类矿物主要是Fe、Mg、Ca的硅酸盐，包括橄榄石、辉石、角闪石、黑云母。它们在沉积岩中很少保存，有时以重矿物的形式出现。

铁镁矿物在碳酸的作用下，Fe、Mg、Ca成为碳酸盐分离出来，同时发生水化。在氧化和碱性环境下变为蒙脱石，在弱还原环境下变为绿泥石，分离出来的SiO₂形成蛋白石、玉髓、石英，一部分SiO₂成为胶体状态被搬运走，游离出来的Fe²⁺进一步氧化为含水氧化铁，堆积于原地，因而其风化产物呈红棕色、棕褐色。

3. 白云母

白云母比黑云母难于风化，也比长石难于风化，又因云母为片状，易浮于水中搬运，故在沉积岩中常以碎屑组分出现。白云母在较强的风化作用下，游离出K₂O和部分SiO₂，经水化变为水云母，最后形成高岭石，在碱性环境下可变为蒙脱石。

4. 氧化硅矿物

此类矿物包括石英、玉髓、蛋白石、方英石、鳞石英。此类矿物有些是岩浆作用形成的，有些是在地表环境下沉积作用形成的。由于它们的化学性质十分稳定，一般只发生机械破碎，几乎不发生化学变化，所以是最稳定的造岩矿物。但在碱性条件下会水解而溶解；当pH>9时，SiO₂ + H₂O → H₄SiO₄，H₄SiO₄能解离，即：H₄SiO₄ → H⁺ + H₃SiO₄⁻。

5. 粘土矿物类

粘土矿物形成于地表条件，大都是长石和云母类的风化产物，在地表条件下一般比较稳定，蒙脱石的稳定性较小。水云母是长石风化的最初产物，它可以进一步风化为高岭石或蒙脱石。在湿热的气候下，高岭石经长期风化可分解为氧化硅和氧化铝。

6. 碳酸盐矿物

主要是方解石和白云石。它们在含CO₂的水中极易溶解，由于三向解理发育且硬度小，也极易机械破碎，所以在碎屑沉积岩中，只有离碳酸盐岩母岩不远的地区，才可能见到碳酸盐矿物的碎屑。

7. 硫化物

硫化物抵抗风化能力很低。其中，稳定程度高的是黄铁矿，稳定程度低的是磁铁矿、闪锌矿和辉铜矿。这些矿物在水和氧的作用下变为硫酸盐，溶解度高的硫酸盐大量溶于水被带走。硫酸盐在水和酸的作用下，能形成难溶的氧化物或含氧盐，原地保留。

8. 有机物

有机物抵抗风化能力差，大部分在沉积前就破坏了。有机物中的孢子外壁、花粉、角质和树脂抗风化能力较强，能在沉积物中保存下来，而其余部分只有迅速堆积，或在一定的覆水条件下免遭氧化才能保存下来。

9. 重矿物

表 1-2 某些碎屑重矿物的稳定性

稳定性	矿物名称
超稳定的	锆石、金红石、电气石、锐钛矿
稳定的	磷灰石、石榴子石(含铁少的)、十字石、独居石、黑云母、钛铁矿、磁铁矿
中等稳定的	绿帘石、蓝晶石、石榴子石(富含铁的)、硅线石、榍石、黝帘石
不稳定的	角闪石、阳起石、辉石、透辉石、紫苏辉石、红柱石
极不稳定的	橄榄石

注：据Pettijohn, 1972。

各种重矿物稳定程度不同(表1-2)。它们的相对稳定程度，特别是重矿物组合，在追索陆源区和地层对比中有着重要意义。

(五) 主要岩石在风化时的习性

岩石风化时的难易程度，主要取决于组成岩石的各种矿物的习性，不同岩石其矿物组成不同，因而它们的风化习性各异。

1. 岩浆岩

超基性岩浆岩和基性岩浆岩主要由橄榄石、辉石、基性斜长石等组成，它们都极不稳定，因而这两类岩石易风化。酸性岩浆岩主要由石英、钾长石、酸性斜长石等组成，它们抗风化能力较强，因此酸性岩较难风化。中性岩浆岩风化的难易程度介于上述两岩类之间。

2. 变质岩

变质岩的风化习性与岩浆岩近似。一般说，石英岩在风化过程中的稳定性最高，千枚岩、板岩及大理岩的稳定程度较差。在片麻岩、片岩类中，含暗色矿物多的比含暗色矿物少的易于风化。

3. 沉积岩

沉积岩由于形成在地表或近地表条件下，所以在风化过程中其稳定程度一般都较高，但也有差别，如石英砂岩主要成分为碎屑石英，不易风化，但砂岩中如果长石含量增高则抗风化能力就要降低。粘土岩主要由粘土矿物组成，一般比较稳定，但在湿热气候下也可分解，沉积硅质岩最难风化，盐岩最易风化。碳酸盐岩比较容易风化，在含 CO_2 的水介质作用下也易溶解，成分中的Ca、Mg、 CO_3 易溶于水而转移。

(六) 风化产物的类型

母岩在遭受风化过程中，形成三种性质不同的产物，这三种风化产物组成了沉积岩最主要的原始物质。

1. 碎屑物质

母岩风化开始阶段，其主要产物是各种碎屑物质。在整个风化过程中，风化程度高的矿物也可形成碎屑，如碎屑石英、碎屑长石和各种岩屑等。这些碎屑物质是组成碎屑岩的主要成分。

2. 化学物质

一些化学性质活泼、迁移能力较强的物质，如Cl、 SO_4 、K、Na、Mg及部分Si、Fe、P等组分，在化学风化过程中形成胶体溶液和真溶液物质，迁移至海湖盆地以后，在一定的地质条件下沉积下来，成为化学岩和生物化学岩的主要组分。