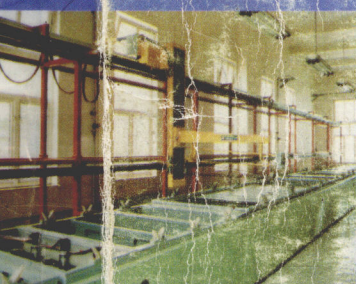


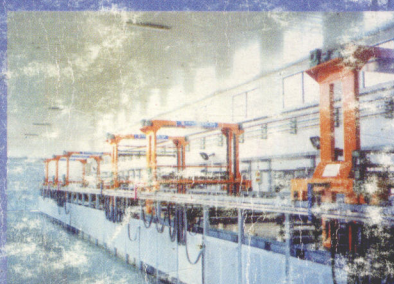
江苏涂装技术工程联合公司

新机制的出新环保设备

明天更美



单臂式电镀自动线



中轨式电镀自动线



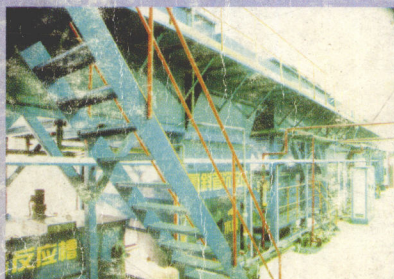
涂装生产线



环形电镀自动线



各种规格滚镀机



环保设备

经营范围

专业设计制造安装调试售后服务

- 中国电镀协会常务理事单位
- 中国环保协会常务理事单位
- 中国涂装协会理事单位
- 无锡十连冠重合同守信誉企业
- 江苏省重合同守信誉企业
- 江苏省环保百强企业
- 市明星企业、市科技先进企业
- 国际AA级资信企业
- 全国表面处理行业先进企业
- 获ISO9001认证企业

- 一、电镀整厂设备
各种规格的直线、环形自动线
各种规格的滚镀机和滚镀线
- 二、涂装成套设备
前处理、磷化、电泳生产线、喷漆、喷
漆、用电、煤、油、气各种形式、油漆、
达克罗、化学镀成套设备
- 三、提供环保型新工艺、工件前处理、喷
漆设备(代售溶液)
- 四、环保工程设备
专业治理电镀、磷化、油漆废水、新建
综合治理工程、提供电镀前处理、电泳
线、涂装废气和粉尘治理
- 五、表面精饰
承接前处理、磷化、电泳、喷漆、喷粉
还专、精饰加工



董事长总经理曾涌先生偕全厂员工，在新机制下，既发挥整体实力的优势，又增强分头管理灵活性，集21年表面行业设备设计制造的经验，继续虚心向国内外企业、同仁学习。以诚待人，以为本，技术创新、产品出新、量出新，愿以卓越的高新技术为您提供完美的服务，忠实可靠地伴随您的企业您的产品走向成功，深信您定成为我们永久的朋友。

董事长、总经理：曾涌 移动电话：13906191683

董事、副总经理：匡国良 移动电话：13706193835

董事、副总经理：曾维伟 (出新曾业表面精饰有限公司)

地址：无锡市惠山区杨市镇 传真：0510-3551416

交通：无锡火车站北侧 (客运总站) 乘杨市直达车

电话：3551

电话：35510

电话：3551

E-mail: cx355@wx88.net

邮编：214

高等学校教材

沉积岩石学

拉

余素玉 何镜宇 主编

中国地质大学出版社

一九八九年

内 容 简 介

、系统地介绍了沉积岩石学的基本知识、基础理论和主要研究方
4篇13章,重点论述了沉积岩的基本特征及其形成机理以及其他生
碳酸盐岩类和自生沉积岩类,对古沉积环境分析方法及沉积模式作
介绍。本书汲取了70—80年代国内外同类教材和专著的优点,内容丰
反映了该学科的近代水平。全书简明扼要,重点突出,文字通顺,图文并
茂,便于学习。

本书是为高等院校地质类各专业编写的通用教材,同时也适合于有关专业
的研究生、教师及生产、科研人员学习和参考。

高 等 学 校 教 材

沉 积 岩 石 学

余素玉 何镜宇 主编

责任编辑 程业彰 蒋良朴

责任校对 刘晓娟

*

中国地质大学出版社出版发行

(武汉市喻家山)

湖南省地质测绘印刷厂印刷

*

开本 787×1092 1/16 印张 15.5 字数 395千字

1989年9月第1版 1989年9月第1次印刷

印数 1—2000册

ISBN 7-5625-0321-4/P·93

定价: 2.70元

目 录

第一篇 沉积岩的基本特征及其形成机理

第一章 导 论	(1)
第一节 沉积岩、沉积岩石学和沉积学	(1)
第二节 沉积岩的形成阶段和作用	(5)
第三节 水的作用	(14)
第二章 沉积岩的物质成分和颜色	(19)
第一节 成因类型和成分特点	(19)
第二节 他生(碎屑)成分类	(21)
第三节 自生(非碎屑)成分类	(24)
第四节 沉积岩的颜色	(29)
第三章 沉积作用以及沉积结构的形成	(31)
第一节 碎屑颗粒在介质中的搬运方式及影响因素	(31)
第二节 牵引流沉积作用	(3)
第三节 重力流沉积作用	()
第四节 在流水机械沉积作用下碎屑结构的形成	(长)
第五节 生物沉积作用	()
第六节 其它沉积作用	(47)
第四章 沉积构造及其形成机理	(51)
第一节 沉积构造分类	(51)
第二节 水槽实验和水流动态	(52)
第三节 层理构造	(53)
第四节 其它物理沉积构造	(62)
第五节 生物构造和化学构造	(68)
第六节 牵引流和重力流沉积中的原生沉积构造	(74)
第五章 沉积岩分类	(75)

第二篇 他生沉积岩类

第六章 陆源碎屑岩类	(80)
第一节 碎屑成分	(80)
第二节 碎屑岩的组构和结构	(91)
第三节 砾(角砾)岩	(98)
第四节 砂 岩	(105)
第五节 粉砂岩	(119)
第六节 粒度分析	(120)
第七章 泥质岩	(136)
第一节 粘土矿物	(136)

第二节	泥质岩的结构、构造和颜色	(141)
第三节	泥质岩分类及主要类型	(142)
第四节	泥质岩的成岩后生变化	(144)
第八章	火山碎屑岩	(148)
第一节	火山碎屑物质	(148)
第二节	火山碎屑岩的结构、构造	(151)
第三节	火山碎屑岩的成因及沉积类型	(152)
第四节	火山碎屑岩的分类及主要类型	(153)
	第三篇 碳酸盐岩类及其它自生沉积岩类	
第九章	碳酸盐岩类	(156)
第一节	概 述	(156)
第二节	碳酸盐矿物学	(158)
第三节	碳酸盐岩的结构及组分	(161)
第四节	碳酸盐岩分类和主要岩石类型	(168)
第五节	碳酸盐沉积物的成岩环境和成岩作用	(182)
第十章	硅质岩	(190)
第一节	硅质岩的基本特征	(190)
第二节	硅质岩的分类和主要岩石类型	(192)
第三节	硅质岩的成因	(195)
第四节	硅质岩的成岩后生变化	(199)
第十一章	其它自生沉积岩类	(200)
第一节	磷质岩、铝质岩、铁质岩及锰质岩	(200)
第二节	蒸发岩	(206)
第三节	铜质岩	(210)
	第四篇 古沉积环境分析	
第十二章	有关概念和沉积环境标志	(213)
第一节	概念和基本方法	(213)
第二节	砾岩和砂岩中的主要环境标志	(217)
第三节	泥质岩和碳酸盐岩中的主要环境标志	(221)
第十三章	主要沉积相和沉积模式	(226)
第一节	河流沉积模式	(226)
第二节	三角洲沉积模式	(229)
第三节	河口湾沉积特征	(231)
第四节	湖泊沉积模式	(232)
第五节	海洋环境沉积模式	(234)

第一篇 沉积岩的基本特征及其形成机理

第一章 导 论

第一节 沉积岩、沉积岩石学和沉积学

一、沉积岩的概念及其形成条件

沉积岩是三大类岩石(岩浆岩、沉积岩和变质岩)中在地球表面出露面积最广(占75%)的一类岩石。它是在表生条件下,由各种沉积作用形成的沉积物在逐渐被埋藏过程中经成岩改造而成的层状岩石。

形成沉积岩的表生带,系指地壳表层,包括大气圈的下部、水圈和生物圈的全部以及岩石圈的上部。普斯托瓦洛夫(Пустовалов, 1940)称此带为“沉积物生成带”,并将整个地质历史时期中未剥蚀掉和未受变质的沉积岩总体称为“成层岩石圈”。成层岩石圈是断续和不完整的,最厚处可达5—6km(局部可达10—13km),平均厚度为1.8km,而很多地区只有几十米或根本没有。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 $4600 \times 10^6 \text{Ma}$,而成层岩石圈最老年龄竟达 $3600 \times 10^6 \text{Ma}$ (苏联科拉半岛),其中有生命记载的岩石年龄是 $1100 \times 10^6 \text{Ma}$ (南非)。所以尽管沉积岩仅占整个岩石圈体积的5%左右,但它仍是研究地球发展和演变的重要资料。

形成沉积岩的表生带或地壳表层,一般具备以下几方面的条件:

1. **温度和压力** 沉积岩形成时的温度和压力与岩浆岩相比属低温低压或常温常压。据现代地理学资料,地表温度最高见于非洲中部,达 85°C ;温度最低的是北极圈维尔霍扬斯克,为 -70°C ;因此最大温差达 $150-160^\circ\text{C}$,一般是 50°C 左右。沉积岩在地下可以承受的较高温度,不超过 $150-200^\circ\text{C}$,否则将渐变成变质岩。一般说来,绝大部分沉积岩生成时的压力为一个大气压,而山区则不到一个大气压。在海底,如果以水深每10m增加一个大气压计算,则200m深的浅海底为20atm,深10000m的海底可到1000atm(但都是在低温下)。在地下一般不超过1500atm,否则沉积岩也将遭受变质。

2. **水和大气的作用** 绝大部分沉积岩都是在水介质中沉积的,曾有人称为“水成岩”。由于沉积岩中还出现了由冰川作用形成的“冰碛岩”以及风力作用形成的“风成岩”,因此“水成岩”这个术语不能作为沉积岩的同义语。水本身具有一系列化学和物理性质,不但是沉积物和沉积岩形成的化学作用力,也是机械推动力或水动力。大气中的 CO_2 和 O_2 是沉积岩生成的主要营力,特别是对沉积岩原始物质的提供和沉积起了重要作用。反之,水和大气对岩浆岩和变质岩形成的影响要小得多。

3. **生物作用的参与** 这是岩浆岩和变质岩形成时所缺少的条件。地表有生命存在,时愈新生物繁殖和演变愈烈,对沉积岩形成的影响愈显重要。生物作用的方式一般有两种:一由生物遗体直接堆积成岩石,如生物礁和煤岩等;二是通过生物的生命活动制造沉积岩的

原始物质,或改变周围介质的水化学条件,从而使某些化学物质沉淀下来。

沉积岩与人类的关系甚密切。据第19届国际地质学会的统计资料,世界矿产资源总储量的75—85%是沉积和沉积变质成因的。作为人类生活不可缺少的能源矿产,如石油、天然气、煤、油页岩等,几乎都是沉积成因的。又如铁矿的90%、铅锌矿的40—50%、铜矿的25—30%、盐类矿产的全部、锰矿和铝矿的绝大部分以及其它许多金属、非金属矿产,也都是沉积或沉积变质成因的。近年来,随着沉积岩成因研究的日趋深入,对许多矿产都一反传统的内生或热液成因的认识,提出沉积形成的观点。因此,对沉积岩的研究有极重要的经济意义。

二、沉积岩石学和沉积学

沉积岩石学是研究沉积岩(包括沉积矿产)的特征、生成及其在时间和空间上分布规律的一门地质学科,它是岩石学的一支独立分科。

沉积岩石学作为一门比较系统的学科,始于1894年沃尔特(Walther)发表的三卷巨著《作为历史科学的地质学导论》。1894年以后直到1931年,通过对各类沉积岩和沉积物及其形成过程和作用的研究,沉积岩石学逐渐发展成为一门新兴的学科。

从1931年到1950年这一时期,对沉积岩石学的研究日趋深入。这一阶段取得迅速进展的方面有:

- (1) 深入研究了各类沉积岩和成岩作用。
- (2) 运用新技术和新方法开展对结构和矿物成分的定量研究。
- (3) 开始进行沉积盆地与构造控制方面的研究。

1932—1934年,苏联学者发展了沉积矿物成分受大地构造控制的理论,特别是克里(Krynine)相当深入地研究了沉积分异作用与地槽演化的关系、宏观的沉积岩分类、红层的成因以及储油砂岩的岩石学特征。1940年美国哈尔博蒂(Halbouty)等人详细研究了墨西哥湾沿岸的第三纪沉积,包括物源、海水进退、古岸线、地层的尖灭与地层圈闭的形成、沉积等厚图的使用及实验技术,以综合评价含油气远景。裴蒂庄(Pettijohn)1949年出版《沉积岩》,对沉积岩分类以及与地层和大地构造环境联系方面进行了深入的论述。

从1950年到现今30多年间,由于第二次世界大战后人类的需求和电子技术的发展,使沉积岩石学进入新的更为广阔的研究领域,已远远超出了昔日学科的研究内容。对此可归纳如下:

- (1) 广泛开展了现代碳酸盐沉积的研究,并引进了先进的电子仪器设备,使研究手段日趋完备。作为沉积岩主要岩类的砂岩和碳酸盐岩,已有成为独立学科的趋势。

(2) 从较为孤立的岩石学研究发展到多学科相互渗透的跨学科综合研究,因而出现种边缘学科。波特(Potter)和霍罗威茨(Horovitz)深入研究了沉积岩石中的化石组合,并合著《化石岩石学引论》。1965年出版的德根斯(Degens)的《沉积物的地球化学》,1971年出版的贝尔纳(Berner)的《化学沉积学原理》,表明在沉积地球化学的理论和实践上都取得了重大进展。

(3) 相模式、沉积体系相继建立,而且从孤立的环境研究发展到综合相模式研究,从局部地区的研究发展到大区域(一个沉积盆地甚至全球)的研究。应提到的是,1950年奎恩(Kuenen)和米格奥里尼(Migiorini)发表了《浊流是形成递变层理的原因》一文。荷兰的鲍马(Bouma)提出了著名的“鲍马序列”,确定了浊流沉积模式。沃克(Walker)和马蒂(Mu)开展了浊积相和其它相共生方面的研究。此外,1977年波特和裴蒂庄合著的《古水流和盆地

析》，1978年里丁(Reading)主编的《沉积相和沉积环境》等，均为总结性的代表作。

(4)关于板块构造和沉积作用的研究。60年代发展风行的板块构造理论，同样对沉积岩研究有深刻地影响。迪金森(Dickinson, 1974)在所著代表作《板块构造和沉积作用》中，提出大地构造对沉积作用和沉积盆地起控制作用，从而解决了过去由于仅限于盆地轮廓、古水流、沉积充填与岩性排列等方面的研究而出现的一些疑难问题。

上述在沉积岩石学基础上发展起来的各个研究领域，实际已超出岩石学的研究范畴，故在欧美称为“沉积学”。可以说沉积学包括了沉积岩石学，后者只是前者的“导论”，而不是其全部。1962年国际沉积学刊物《沉积学》创刊，1978年弗里德曼(Friedman)与桑德斯(Sanders)出版《沉积学原理》，费尔布里奇(Fairbridge)和布儒瓦(Bourgeois)合编《沉积学百科全书》，表明“沉积学”这一术语在60年代以后已被确认并逐渐广泛使用。

实际上“沉积学”这一术语最早是由特罗布里奇(Trowbridge)在1925年提出的。沃德尔(Wadell, 1932)针对“沉积岩石学”经常被认为只是对沉积岩的薄片研究，提出“沉积学”为研究沉积物的学科。多格拉斯(Doenges, 1951)重新肯定了沉积构造、几何形体以及垂向层序的研究，指出这种沉积岩石学和地层学的融合可以恰当地称为“沉积学”。维坦(Vatan, 1954)认为“沉积岩石学”经常只用于实验研究——主要是沉积岩的薄片研究，而“沉积学”却将实验观察与野外工作结合起来了。这里提到的“野外工作”，实际指的是对沉积体厚度、形状和方位的观测；但宏观岩石学(野外观察到的向量特征如交错层理等)应该仍是“沉积岩石学”的范畴。60年代之后由国际沉积学会给予确认的“沉积学”概念，已超出了上述所谓“野外工作”的范围，它几乎已是与多种学科关系密切并相互渗透的“沉积地质学”。对于“沉积岩石学”来说，虽也包括对现代沉积物特征和成因的研究，但更多侧重于岩石的研究；虽然对宏观岩石学同样予以重视，但更多立足于各类显微镜下的室内研究。因此，“沉积岩石学(Sedimentary Petrology)”和“沉积学(Sedimentology)”存在不同的研究分工。

展望沉积学的未来，预计在沉积环境研究方面，除了进一步加强对现代沉积环境与各种环境下沉积作用机理的研究外，可能更多地应用地球物理勘测资料来研究古环境。如依据古地磁资料可以了解古纬度，从而进一步了解古气候和古地理情况。

大地构造对沉积作用与沉积盆地发育的控制作用研究，已是沉积学的重要课题之一，今后还会取得新进展。

有关的边缘学科，如物理沉积学、化学沉积学、沉积相和古地理学、沉积建造学、宏观沉积学、沉积矿物学、沉积地球化学以及数学沉积学等，将会进一步发展并趋于成熟。

由于资源勘探的需要，沉积学已不仅是一门理论科学，而且已发展成为一门应用科学。与生产实践的联系日益密切，尤其在勘探石油和天然气方面更显示出其重要作用。今后如通过沉积学的研究寻找石油和各种有用矿产，尚待探索更为有效地途径。

沉积作用机理的研究有很大进展，已深入到从运动学和动力学方面进行解释。自50年代以来相继发现浊流、等深流、风暴流，从而改变和充实了对沉积物流体的认识。大量卤水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，使得对化学和生物化学沉积机理的认识日趋深入。对低温低压条件下沉积矿物与沉积水体之间的热力学平衡研究，将继续深入下去。

应用数理统计和计算机技术研究沉积学始于30年代，但长期以来只限于零星的研究。自60年代以来，各种数学分析方法在沉积学中广泛应用。数据的电子计算机处理技术在沉积学

研究中的普及则是现代沉积学的重要标志。预计有关沉积学研究资料的储存、检索、整理将继续使用电子计算机处理技术,并利用电子计算机绘制成各种图件(等厚图、剖面图、栅状图以及透视图等)。由于沉积学研究继续由定性向定量化发展,上述方法和技术将会发挥更大作用。

沉积学研究将与人类生活有更密切的联系。如进一步研究与水利、土木工程有关的沉积作用,解决如河流、港湾的淤塞疏浚问题。在环境保护方面,也将通过沉积学研究探求防止和消除污染的办法。

三、沉积岩石学的展望

鉴于沉积学的发展,目前已对沉积岩石学提出新的研究要求,因此沉积岩石学虽已成为沉积学的基础部分,但仍有沿用的必要。

沉积岩石学是在野外岩石研究基础上,偏重于显微镜下的研究。现代室内显微镜研究手段已大为改观,除偏光显微镜以外,还有扫描电子显微镜、图像电子分析仪、电子探针、阴极发光显微镜、荧光显微镜等,使得沉积岩石学在微观领域的研究深度、广度和成效都大有提高。按当前吉斯伯格(Ginsburg)对沉积学研究的10年指导计划,他认为关于沉积时间和沉积模式研究已经成熟,今后应注重各个单相之间内部差异性的研究,其中包括从岩石学上寻求它们的区别。这无疑对沉积岩石学提出了新的深入研究要求。

下面,对沉积岩的岩石学特征研究的发展方向作一展望。

(1) 阴极发光显微镜和荧光显微镜的引进。阴极发光方法主要用于研究矿物和岩石构造等岩石学方面的问题。阴极发光显微镜有可能成为矿物学、岩石学甚至其它学科中的重要仪器,对促进沉积岩石学的发展有可能发挥重要作用。荧光显微镜观察是研究石油烃类与岩石之间成因关系的一种重要方法,它能直观地观察到烃类与岩石结构、构造、次生缝洞之间关系,进而得出有效储集空间、石油运移等方面的结论。对自生矿物的生成顺序也可提供依据。这是应用岩石学研究的有效手段,对岩石成岩特征研究也将起重要作用。

(2) 沉积岩中很多“细、小、微”沉积矿物的鉴定和成因研究,随着电子技术的发展有很大突破。例如分布最广的粘土矿物,运用X-衍射分析结合扫描和透射电镜观察,已能区别不同的矿物类型,并可区别原地或异地的成因类型。对成岩过程中粘土矿物之间的转化规律已有深入认识。这些在地下转化的粘土矿物类型常与一定的埋藏温度有关,故常以这类粘土矿物作为标志成岩地温的温度计。对混层粘土矿物研究正在继续深入,预计这项研究对复沉积时的组合以及认识成岩过程中各种矿物组合形成的规律等方面,将提供可靠依据。对粘土矿物及其组合的深入研究,可能会在成岩阶段定量化研究方面有所突破。

(3) 物源研究是老课题。但因研究板块构造与沉积作用以及沉积盆地分析的需要,加之阴极发光显微镜及其它电子技术的使用,以轻重矿物组合指示物源、搬运方向的研究将有所进展。

(4) 关于白云石成因,一直围绕原生和交代问题争论不休。在准同生期咸水条件下大量出现化学成因的白云石已是公认的结论。尽管它们仍被认为是交代的,但近年已有原物成因的报导,关于其生物化学机理研究今后将会进一步深入。

(5) 在研究具碳酸盐颗粒的灰岩过程中,福克(Folk, 1962)首次提出其基质组泥晶方解石,同年莱顿(Leighton)等人以颗粒与灰泥基质之比作为标志水流能量依据。但在一些现代海滩岩内,泥晶方解石却是胶结物。此项研究还将通过稳定同位素及其子技术的应用而逐步深入,对碳酸盐成因标志及胶结作用的认识可能会有所突破。

(6) 由于进一步探求各个单相之间的差异性,对沉积岩的矿物组合、结构、沉积构造以及某些岩石类型的成因和各个岩类共生组合作为环境标志的研究还将进一步深入下去,并可望发现更多有说服力的新标志。

(7) 碳酸盐成岩作用和成岩环境的研究进展较快。近年来主要研究胶结作用,以近地表流水循环带形成的胶结物为主要对象。研究各种胶结物有助于分析埋藏过程及其成岩历史,特别是有助于确定碳氢化合物的运移时间。已经有人研究过粒状方解石胶结物的成岩环境和识别标志,提出区分地下浅处大气水环境中早期沉淀的胶结物和地下深处晚期沉淀的胶结物的区别特征,而晚期嵌晶状方解石则可能与碳氢化合物的成熟运移相伴生。对于碳酸盐成岩环境,已深入到不同环境(海进或海退)成岩序次的研究。该项研究将继续深入,可能进一步找出有利于孔隙发育的最佳成岩环境经历及其识别标志。

(8) 砂岩成岩作用研究已有明显进展。过去人们一直认为成岩作用是砂岩成分和温度的函数,目前已认识到这种看法过于简单。实际上孔隙流体成分、流速、有机质成熟度和时间等都是控制砂岩成岩过程的因素。目前需要在不断积累岩石学数据和较全面利用现有技术进行实验研究的基础上,发展预测性的成岩模型研究,以便更好地描述成岩物质形成的温度和化学环境。

我国沉积岩石学和沉积学研究虽然起步较晚,但在解放后特别是近十多年来,由于勘探和开发能源以及多种沉积矿产的需要,加之研制、引进和使用大量先进仪器,国内外学术交流活动也日益加强,我国沉积岩石学和沉积学的研究获得了较迅速的发展。我国地大物博,地质条件复杂多样。在新老沉积学者的共同努力下,我国沉积岩石学和沉积学研究将会赶上世界先进水平,并对世界沉积岩石学和沉积学发展作出应有的贡献。

第二节 沉积岩的形成阶段和作用

绝大部分沉积岩形成和变化的历史进程大致可分以下几个阶段:沉积岩原始物质的形成阶段(或母岩风化阶段),原始物质的搬运和沉积阶段(或沉积物的形成阶段)以及沉积物改造变化阶段。初始阶段主要是各种性质的风化作用;通过搬运和沉积作用完成的沉积物形成阶段,实质上受一系列物理、化学和生物作用控制;最后阶段的作用,尽管众说纷纭,但比较一致的认识是有同生作用、成岩作用和后生作用等。这些作用大多是在水和生物(如细菌)参与下进行的一系列复杂的物理化学反应过程。可以说,物理、化学和生物作用贯穿沉积岩整个形成过程。只因各阶段内外因条件各异,上述作用的表现形式才有所不同。

根据上述形成阶段的特点,对沉积岩含义较完整的理解应该是:在地壳表层的常温常压条件下,由风化作用、生物作用及某些火山作用提供的原始物质(指碎屑物质、粘土物质和化学物质)经搬运、沉积、成岩等一系列地质作用而形成的地质体。沉积岩地质体具有时空分布规律,是地壳发展历史的重要记录。

一、原始物质的形成阶段

沉积岩原始物质是多来源的,有母岩的风化产物、火山物质、有机物质以及宇宙物质等,其中母岩的风化产物最为重要。由图1-1可知,这些原始物质的来源和形成沉积岩的过程是非常复杂的。以下着重介绍来自母岩的原始物质和形成这些物质的影响因素。

(一) 母岩提供的原始物质

各种粘土矿物是在表生带新生成的，在风化带相当稳定，但在极强的化学分解下可转变成铝土矿和蛋白石等最终产物。各种碳酸盐矿物如方解石和白云石，很易溶于水流失；只有在特殊的干旱气候条件下，距母岩很近的快速搬运和沉积物中才能见到它们。各种硫酸盐矿物（如石膏、硬石膏）、硫化物矿物（黄铁矿）、卤化物矿物（如石盐）等，在风化带极易溶于水，所以稳定性极差。

上述各种矿物在风化带中为什么稳定性差别如此之大呢？按目前认识有以下三种原因：

（1）对来自岩浆岩的主要造岩矿物来说，一般认为与它们的结晶温度有关。暗色矿物结晶温度高，与地表低温低压条件相差越大，平衡越易打破，故在风化带中稳定性最低；石英、白云母等浅色矿物结晶温度低，则稳定性最高。有人认为上述矿物的稳定性顺序恰与它们的结晶顺序相反，犹如颠倒的鲍文反应序列。但以此不能解释低温生成的如碳酸盐矿物和卤化物矿物的不稳定问题。

（2）矿物的风化稳定性与其化学成分的化学活泼性（主要指它们在水中的溶解能力）有关。波雷诺夫（Полынов, 1934, 1952）认为元素的活动系数可以表示矿物在风化带中析出的先后顺序，活动系数越大越易析出和转移。假定Cl的活动系数最高为100；则 $SO_4 = 57$ ； $Ca = 3.00$ ； $Na = 2.40$ ； $Mg = 1.30$ ； $K = 1.25$ ； $SiO_2 = 0.20$ ； $Fe_2O_3 = 0.04$ ； $Al_2O_3 = 0.02$ 。

活动系数（即元素及化合物的相对转移性）是波雷诺夫在对比岩浆岩的平均化学成分和流经该岩石分布地区的河流流水溶解物质的平均化学成分以后（表1-1），根据下列方法计算出来的：

假定 Cl^- 的转移能力为100， SO_4^{2-} 的转移能力也和 Cl^- 一样高，则河水溶解物质中 SO_4^{2-} 的含量应为 Cl^- 的三倍，因为母岩中 SO_4^{2-} 的含量为 Cl^- 的三倍，即 $3 \times 6.75\% = 20.25\%$ 。但实际情况并非如此。在河水溶解物质中 SO_4^{2-} 仅为11.60%，即只有该数值的57%，此数就是 SO_4^{2-} 的相对转移性或活动系数。其它元素和化合物的数字也照此法计算。

表1-1 岩浆岩平均化学成分与流经该地区的河流
流水溶解物质平均化学成分的对比

（据 Полынов, 1934, 1952）

	岩浆岩平均 化学成分 (%)	流经岩浆岩地区的 河流流水溶解物质 的平均成分(%)	元素及化合物 的相对转移性
SiO ₂	59.09	12.80	0.20
Al ₂ O ₃	15.35	0.90	0.02
Fe ₂ O ₃	7.29	0.40	0.04
Ca ²⁺	3.00	14.70	3.00
Mg ²⁺	2.11	4.90	1.30
Na ⁺	2.97	9.50	2.40
K ⁺	2.57	4.40	1.25
Cl ⁻	0.05	6.75	100.00
SO ₄ ²⁻	0.15	11.60	57.00
CO ₃ ²⁻	—	38.50	—

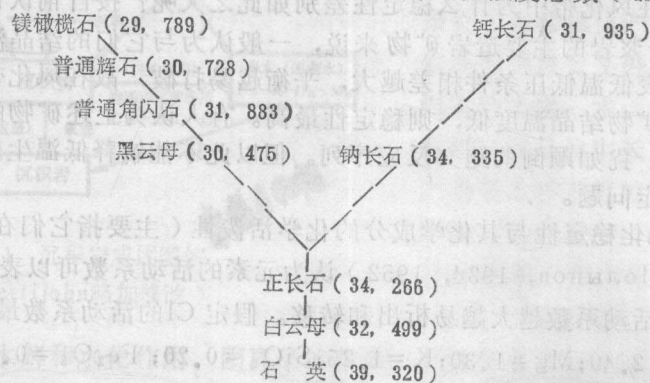
Cl、S等元素在风化过程中最易从矿物中析出，最易溶于水和流失；Ca、Na、Mg、K等元素次之；Mn、Fe、Si、Al等元素最差。而这些元素的转移能力往往相差几十倍到几千倍。例如卤化物和硫化物矿物最易风化，正是由于Cl及S元素化学活泼性最大引起的。钾长石较斜长石难风化，酸性斜长石又比基性斜长石难风化，则是由K、Na、Ca等元素的化学活泼性不同所决定的。

（3）矿物风化稳定性与其晶体构造的性质有关。矿物中的元素都是按照一定的晶体化学规律相互联系

着。例如同时含K和Na的矿物，但硅酸盐矿物（如钾长石和钠长石）就远较卤化物矿物（如石盐和钾石盐）难以溶解。同是含Ca和Mg，但硅酸盐矿物（如斜长石和辉石等）就远较碳酸盐矿物（如方解石和白云石等）难以溶解。特别是石英中的硅也远较各种硅酸盐矿物中的Si难以溶解出来。这就不能完全用化学活泼性进行解释，需要从它们的晶体构造的差异上寻找

答案。有人认为这是矿物风化稳定性差异的最本质解释。

据研究,硅—氧(Si—O)键是硅酸盐矿物中最强的键。Si/O比率大的硅酸盐矿物Si—O键强度大,阻止了晶体构造的破坏,所以比较稳定,如石英和白云母。而橄榄Si/O = 4,较小, Si—O键强度小,晶体构造很不稳定,崩坏和分解很快。有人甚至还定地计算出鲍文反应系列中的各种矿物氧和阳离子之间的键强度总数(4186.8 J/mol):



从上式数字中可以看出,鲍文反应系列下端的矿物,键强度总数较大,故风化稳定性较高。至于云母的键强度总数与序列中的顺序不符,可能是由于存在氢氧根,其能量效应也是未知的。

但目前还没有建立变质矿物的稳定顺序,如某些高温相矿物(如石榴石)比低温相矿物(如绿帘石)似乎更能抵抗水解作用,这种现象还不能得到确切解释。所以对于矿物稳定性差异的解释,除了应综合考虑以上三种原因以外,还存在着许多未知或疑难的问题。对此仍需探索。

岩石是由矿物组成的,其风化稳定性常与组成矿物一致,并与岩石结构有关。

众所周知,各种母岩有不同的矿物组合,而它们的风化稳定性不同,提供的原始物质也各异(表1-2,图1-2)。瓦爾斯特龙(Wahlstrom, 1948)在科罗拉多州的鲍尔德附近,对发育的花岗闪长岩体风化剖面进行过研究,发现在土壤剖面中矿物和化学成分的变化趋势是十分明显的。角闪石首先消失,黑云母蚀变为蛭石,剖面上部奥长石(更长石)消失,微斜长石增加到50%,石英相对富集。同时在古土壤中出现了粘土矿物、氧化铁和白云石(但白云石可能在成岩过程中形成)(图1-2)。按上述实例,该母岩提供的主要原始物质是石英、微斜长石以及云母等碎屑物质和大量不溶

残余的粘土物质。至于某些消失的奥长石和角闪石经分解产生的化学物质,除了一部分成为粘土矿物和形成氧化铁以外,析出的部分铁、镁、钙和硅等元素溶于水而流失。

中性和碱性侵入岩的风化情况大致与花岗质岩石相似。

基性和超基性侵入岩主要由较易风化的橄榄石、辉石、基性斜长石组成,远较花岗质酸性岩石易风化。风化后除部分易溶元素流失外,常在原地形成一些化学残余矿物,如蛇纹

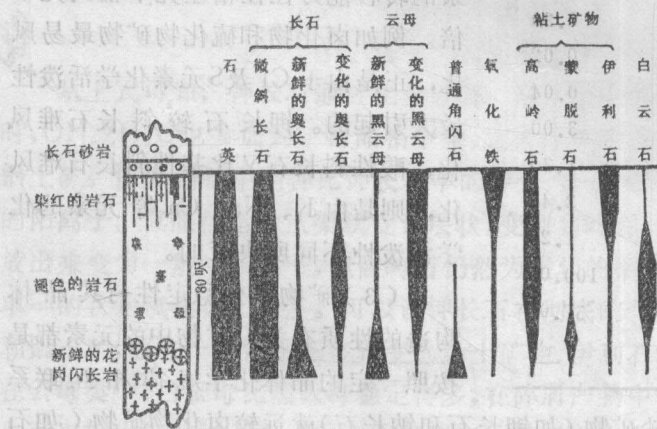


图1-2 前喷泉期覆盖层中不同深度保存的主要矿物图解

(据Wahlstrom, 1948)

石、滑石、绿泥石、褐铁矿等。

火山岩及火山碎屑岩由于含有相当多的甚至大量的玻璃质或火山灰，在物理风化作用下，其中单个矿物不易碎解出来，常形成保持原岩结构的岩块（或岩屑），属于碎屑物质；但在化学风化条件下，分解速度相当快。例如玄武岩在遭风化时，除一部分易溶元素流失外，常形成蒙脱石、高岭土、铝土矿、褐铁矿等化学残余矿物；如果化学风化较彻底，可形成风化残余的富铁红土层。所以这类岩石主要提供粘土物质和化学物质。而中酸性火山岩在

表1-2 碎屑组合与母岩类型的关系

(据Pettijohn, 1975)

沉积岩：重晶石、海绿石、石英（具磨蚀的自生加大边者）、燧石、石英岩岩屑（正石英型）、白钛石、金红石、圆化电气石和锆石。
低级变质岩：板岩和千枚岩岩屑，黑云母和白云母，通常缺少长石、白钛石、石英和石英岩岩屑（变质岩型），电气石（小、浅棕色、自形、具炭质包体）。
高级变质岩：石榴石、角闪石（蓝、绿变种）、蓝晶石、矽线石、红柱石、十字石、石英（变质岩型）、白云母和黑云母、长石（酸性斜长石）、绿帘石、黝帘石和磁铁矿。
酸性火成岩：磷灰石、黑云母、角闪石、独居石、白云母、锆石（自形）、石英（火成岩变种）、微斜长石、磁铁矿、电气石（小、粉红色、自形）。
基性火成岩：板钛矿、辉石、锐钛矿、紫苏辉石、钛铁矿和磁铁矿、白钛矿、橄榄石、金红石、中性斜长石、蛇纹石。
伟晶岩：萤石、蓝电气石、石榴石、独居石、白云母、黄玉、钠长石、微斜长石。

化学作用下仍主要供给岩屑。

(二) 气候和大地构造条件对母岩提供原始物质的影响

1. 气候条件 气候指气象状态，包括温度、降雨量以及其它因素在一年内的变化。按温度和雨量常可分为五类气候带，即热带、干燥、温带、极地及寒带（表1-3）。现代地球表面约36.2%为热带气候，而大陆上几乎有一半地区少雨（少于100—200mm）。

表1-3 现代地球各气候带的平均温度和雨量

(据刘宝珺等, 1980)

气候带	年平均温度(℃)	年降雨量
热带气候	+18	>750mm
干燥气候 { 沙漠地区	>+15	200mm
	+5	400—500mm
温带气候	+5~+15	750—1000mm
北极气候	<+5(有些地区达-12)	100—600mm
寒带气候	<-10	100—200mm

据布拉特(Blatt, et.al., 1972)研究，气候是控制风化作用、土壤形成、陆地植物生长及侵蚀速度的主要因素。影响风化的气候因素是雨量和温度。对于化学风化来说，雨提供化学风化不可缺少的水，温度影响其反应速度，而且通过高温下的蒸发或低温下的结冰

影响水在风化过程中的作用。气候也控制植物的数量和类型，造成不同强度的生物化学风化。在半干燥地区，侵蚀作用似乎是最主要的。北极和寒带的化学风化比较弱，主要是物理风化。温带化学和物理风化都很发育。在干燥气候下，以物理风化为主，化学风化具有特殊的氧化作用性质；在潮湿热带和亚热带化学风化十分剧烈，以致造成粘土矿物进一步分解和去硅形成红土和铝土矿物。风的作用在干热条件下最有效。河流作用在具有中等以上降雨量的温热带是有效的。海斯(Hayes, 1967)发现，在现代大陆架上，砾石在寒冷地区分布最广，而

泥在湿热地区分布最多。

具体说来，同一母岩类型在不同气候条件下所提供的原始物质差别是比较显著的。现以花岗岩为例（表1-4）；

表1-4 花岗岩在不同气候条件下的风化产物对比表

花岗岩矿物组合	温热气候下	干热或寒冷气候下
石英 (SiO ₂)	碎屑物质	碎屑物质
正长石 { K ₂ O Al ₂ O ₃ 6SiO ₂ 3Na ₂ O	进入溶液—化学物质 水化后合成—粘土物质 部分溶于水—化学物质 进入溶液—化学物质	碎屑物质
更长石 { 4Al ₂ O ₃ CaO 20SiO ₂	合成—粘土物质 溶于含CO ₂ 水中 } 化学 部分溶于水 } 物质	碎屑物质
白云母 (KA1 ₂ [AlSi ₃ O ₁₀][OH] ₂)	碎屑物质	碎屑物质
黑云母 { H ₂ O K ₂ O 2(Mg·Fe)O Al ₂ O ₃ 3SiO ₂	进入溶液—化学物质， 但部分为赤铁矿和褐铁 矿—色素 形成粘土物质 部分SiO—化学物质	碎屑物质 少部分氧化为赤铁 矿或褐铁矿—色素
锆英石 (ZrO ₂ ·SiO ₂)	碎屑物质	碎屑物质
磷灰石 Ca ₃ [CPO ₄] ₂ (F·Cl·OH)	碎屑物质或部分分解	碎屑物质
提供的原始物质	碎屑物质及大量化学和 粘土物质	大量的碎屑物质，其它 极少

2. 大地构造因素 它是沉积岩形成的主要控制因素。克里宁(1942)曾提出大地构造控制沉积矿物的观点。他根据对美国阿巴拉契山脉的研究，认为旋回的第一阶段是准平原化作用和构造运动相对静止的阶段，主要形成由稳定石英和碳酸盐矿物组成的正石英岩-碳酸盐岩系。以后发展到地槽褶皱阶段，具中等强度的地壳运动，开始结晶基底尚未暴露，覆盖有较老沉积岩或低级变质岩的地背斜遭受侵蚀，提供的原始物质或产物多半是云母质或页岩状岩屑、少量长石等碎屑物质。造山运动后的断块运动使结晶基岩快速上升，并遭到快速侵蚀，化学风化不充分，形成大量长石为主的碎屑物质。克里宁的上述研究，表明大地构造控制陆源区的母岩类型，进而决定碎屑物质的成分。

地壳上升运动的持续时间和侵蚀的快速程度都是地形起伏的函数，而陆源区的起伏直接影响原始物质类型和碎屑物质中的矿物组合特点。例如较高的地形起伏促进了高速度的侵蚀和搬运，即使是在有利于化学风化的气候条件下，因缺乏持续作用的时间，化学分解仍是不充分的，故易形成稳定和不稳定的混合矿物组合，而且颗粒也比较粗大。可以说，同一类型母岩在同一种气候条件下，由于所处大地构造位置不同，侵蚀速度和持续作用时间有所差异，提供的碎屑物质中矿物组合和形成沉积物的复杂程度都会有明显区别（图1-3）。

综上所述，地形起伏和气候条件都是影响母岩提供的原始物质类型的重要因素，只是在具体地区可能表现主次不同罢了。

或沉积环境内。但是也有的沉积物不经过搬运直接在原岩(或母岩)表层部分形成,即所谓的风化壳。风化壳分现代和古代的,二者常以第三纪作为划分界线。古代风化壳经历了改造,大多已残缺不全,成为残留原地的沉积岩。古风化壳有很重要的地质意义和经济意义,因为它是地壳上升、沉积间断、不整合的重要标志,也是古气候、古地理分析的重要依据。某些重要的金属和非金属矿床(如高岭石矿、铝土矿、铁矿、镍矿等等)及油气藏的形成常与古风化壳有关。因此,近年来关于风化壳的研究已逐渐发展成一门独立学科。

关于沉积作用类型的划分,按介质性质可分为水的沉积作用、风的沉积作用以及冰川沉积作用等;按三种作用性质可分为:①物理沉积作用(在水、风以及冰川介质中),搬运和沉积的对象是母岩风化的碎屑和粘土物质(或产物)。在水介质中,物理(或机械)沉积作用按流体与其中碎屑颗粒的关系,还可进一步划分为牵引流沉积作用和重力流沉积作用;②化学沉积作用,在水介质中进行,对象是母岩风化的化学物质;③生物沉积作用,在水介质中生物遗体的堆积和生命活动促进化学物质的沉淀。

风的沉积作用, 水的沉积作用

三、沉积物的改造变化阶段

沉积物并非沉积岩。从沉积物到沉积岩以及沉积岩形成后直至遭受风化或变质前,还要发生一系列的变化,受到多种作用的改造。这是沉积岩形成过程中的重要阶段,但对此阶段的划分和术语使用,尚有分歧甚至混乱。

(一) 阶段的划分和主要术语

苏联学者普斯托瓦洛夫(1940)把沉积物转变为沉积岩的作用叫做早期成岩作用或同生作用,把沉积岩形成以后的变化作用叫晚期成岩作用,或后生作用、沉积岩的成岩作用。其它苏联学者几乎一致把形成岩石后的改造或转化都称之为后生作用。鲁欣(Рухин, 1958)把沉积物整个改造过程总称为石化作用,又进一步划分为同生作用、成岩作用和后生作用。他的整个划分方案及术语的使用看来都是比较合理的,所以对我国的影响较大,沿用至今。

美国学者如童豪富(Twenhofel, 1950)、布拉特(1972),裴蒂庄(1975),大都把沉积物改造作用(相当沉积后作用或石化作用)统称为成岩作用或石化作用,以后一般不再细分。近年来由于碳酸盐岩石学的迅速发展,对碳酸盐沉积物改造作用的研究日益深入,出现了早期成岩作用、晚期成岩作用、同生作用、淡水成岩作用、表生成岩作用等术语。

考虑到我国沉积岩石学工作者多年使用的习惯,本书采用的阶段划分是:同生作用、成岩作用、后生作用,后者再细分为浅层和深层后生作用(表1-6)。

从上表可见,虽各家所用术语不一,但基本概念日趋一致。现对常用术语简介列下:

1. **同生作用** 指沉积物与上覆水体接触时进行的一系列化学和物理化学反应。在海盆地,这种变化称海解作用;用于大陆淡水沉积时称为陆解作用。对后者,因这一过程间隔时间很短,淡水作用极弱,在古代沉积物中不易鉴别,故陆解作用很少受人关注。相反,海解作用在沉积演化中具有重要意义,海绿石和海洋中的铁锰结核都可能在該阶段形成,故常为同生作用的代替词。

2. **成岩作用** 该词首先由德人贡别尔(Von Gumber, 1886)提出,曾被引入不同学科(如冰川学和有机地球化学),用于岩石学则是由沃尔特(1894)所倡导。沉积物形成后,在非高温($<200-300^{\circ}\text{C}$)、非高压($<100\text{bar}$)条件下遭受的物理和化学变化称为成岩作用。从物质状态上看,大致是沉积物固结为坚硬岩石以前所发生的变化。

3. **浅层后生作用** 相当于奇林格的表生成岩作用。后生作用系指沉积物固结为坚硬