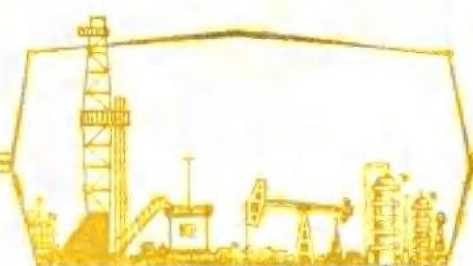


高等学校教学用书

沉积岩石学

上册

华东石油学院岩矿教研室 主编



石油工业出版社

47643

P508.2
006

沉积岩石学

上册

华东石油学院岩矿教研室主编

5421/18



石油工业出版社



47643

内 容 提 要

本书为我国各石油院校石油地质专业“沉积岩石学”统编教材。全书内容丰富,较全面地介绍了国内外与本书叙述内容有关的基本知识、基本理论和基本技能。

全书分上、下册出版。上册共三编,第一编总论,第二编陆源碎屑岩及火山碎屑岩,第三编碳酸盐岩。下册共三编,第四编其它沉积岩,第五编岩相古地理,第六编结论。内容中除沉积岩形成作用及沉积作用控制因素外,着重讲述了沉积岩岩类学和沉积相及岩相古地理研究。各章均附有参考文献。

本书可供高等学校石油地质专业及其它某些着重沉积岩石学的专业教学应用,亦可供地质专业科研、生产人员参考。

沉 积 岩 石 学

上 册

华东石油学院岩矿教研室主编

*

石油工业部教材编译室编辑(北京902信箱)

石油工业出版社出版

(北京安定门外外馆东后街甲36号)

北京印刷二厂排版

北京顺义燕华营印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

*

787×1092 毫米 16 开本 18 / 印张 304 千字 印13,001—23,000

1982年9月北京第1版 1985年4月北京第3次印刷

书号: 15037·2344 定价: 2.90元

编 者 的 话

本书是根据石油工业部1977年12月教材会议的决定编写的,是我国各石油院校石油地质专业的“沉积岩石学”教材,学时140左右。全书分上、下册共六编二十四章。

本书为华东石油学院及西南石油学院编写,由华东石油学院岩矿教研室主编。参加编写的教师共八人,分工如下:

方少仙(西南石油学院):第八、十一、十四、十五章;

洪庆玉(西南石油学院):第二十章

强子同(西南石油学院):第二十三章

冯增昭(华东石油学院):第一、七、十、十二、十三、十七、十八、二十二、二十四章;

刘孟慧(华东石油学院):第二、四章;

信荃麟(华东石油学院):第三、五、六章;

赵激霖(华东石油学院):第九、十六、二十一章;

管守锐(华东石油学院):第十九章。

本书的审稿工作,除两个编写单位自审外,还特请武汉地质学院何镜宇副教授、中国矿业学院张鹏飞副教授、石油工业部石油勘探开发科学研究院吴崇筠副教授审阅。三位老师严肃、认真、热情地提出了许多宝贵意见。另外,中国科学院地质研究所的戴永定和李菊英同志还对第十一章提出了许多宝贵的修改意见。特此深表谢意。

在本书的编写过程中,大庆油田、胜利油田、四川石油管理局、贵州石油勘探指挥部、云南石油地质大队、地质部地质科学院、二普、八普、山东海洋学院、成都地质学院、中国科学院地质研究所等单位,曾给以大力协助;长庆油田还派李延森同志专程来京和我院一起进行绘图工作;石油工业部教材编译室也给予大力支持,责任编辑刘孟慧同志对全书进行了整理和编辑工作;在此一并致谢。

在两个编写单位的党委以及院、系的领导和支持下,在有关单位的协助下,八位编者共同努力,几经修改,终于完成了本教材的编写工作。但是由于我们水平所限,问题、欠妥、甚至错误之处是难免的。敬希使用此教材的广大师生和阅读此书的广大读者批评指正。

华东石油学院 岩矿教研室

1981年6月

目 录

编者的话

第一编 总 论

第一章 总论	1
第一节 沉积岩及沉积岩石学	1
第二节 沉积岩的形成及演化	4
第三节 沉积岩的分类	24

第二编 碎屑岩及火山碎屑岩

第二章 碎屑岩的成分	28
第一节 碎屑成分	29
第二节 非碎屑成分	39
第三节 化学成分	43
第三章 碎屑岩的构造和颜色	45
第一节 碎屑岩构造概述	45
第二节 层理	45
第三节 层面构造	55
第四节 变形构造	59
第五节 化学成因构造	61
第六节 生物成因构造	63
第七节 碎屑岩的颜色	65
第四章 碎屑岩的结构及粒度分析	68
第一节 碎屑颗粒的结构	68
第二节 胶结类型及胶结物结构	74
第三节 粒度分析	73
第四节 储油物性与碎屑岩结构的关系	96
第五章 砾岩	100
第一节 一般特征	100
第二节 砾岩的分类	190
第三节 主要成因类型及实例	103
第四节 研究方法和意义	105
第六章 砂岩及粉砂岩	107
第一节 砂岩的一般特征	107
第二节 砂岩的分类	107
第三节 石英砂岩类	114
第四节 长石砂岩类	117
第五节 岩屑砂岩类	119
第六节 杂砂岩类	121
第七节 粉砂岩	124

第八节	砂岩的储集性能及其与岩性的关系	126
第九节	砂岩的研究方法及其意义	128
第七章	粘土岩	129
第一节	概述	129
第二节	粘土岩的成分	130
第三节	粘土岩的结构、构造、与颜色	135
第四节	现代粘土沉积物	137
第五节	粘土岩的主要类型	138
第六节	粘土岩的研究方法	139
第八章	碎屑沉积物的沉积后作用	143
第一节	胶结作用	143
第二节	交代作用和溶蚀作用	146
第三节	重结晶作用和矿物的多形转变	148
第四节	压实作用与压溶作用	149
第五节	不一致的溶解作用或蚀变作用	151
第六节	沉积后的矿物	152
第七节	沉积后的阶段分析	153
第九章	火山碎屑岩	155
第一节	一般特征及分类	155
第二节	主要岩类及其特征	160
第三节	火山碎屑岩的成因类型及其标志	162
第四节	火山碎屑岩的研究方法及其实际意义	166
第三编 碳酸盐岩		
第十章	碳酸盐岩概论	169
第一节	绪言	169
第二节	碳酸盐岩的成分及其成分分类	170
第三节	碳酸盐岩的结构组分	174
第四节	碳酸盐岩的构造	187
第五节	碳酸盐岩的颜色	192
第六节	碳酸盐岩的研究方法	193
第十一章	碳酸盐岩的生物骨骼组分	209
第一节	碳酸盐岩中生物骨骼的主要矿物成分	209
第二节	钙质生物骨骼的结构分类	201
第三节	碳酸盐岩中常见生物门类骨骼鉴定特征	203
第十二章	石灰岩	235
第一节	石灰岩岩类学	235
第二节	现代碳酸盐沉积环境	245
第十三章	白云岩	252
第一节	白云岩岩类学	252
第二节	白云岩的生成机理	256
第三节	白云岩的成因分类	267
第十四章	碳酸盐沉积物的沉积后作用	270
第一节	碳酸盐沉积物沉积后作用的主要类型	270
第二节	碳酸盐沉积后作用的环境	282

第一编 总 论

第一章 总 论

第一节 沉积岩及沉积岩石学

一、沉 积 岩

沉积岩石学的研究对象是沉积岩。因此，应当首先讲明什么是沉积岩。

沉积岩是组成岩石圈的三大类岩石（岩浆岩、变质岩、沉积岩）之一。它是在地壳表层的条件下，由母岩的风化产物、火山物质、有机物质等沉积岩的原始物质成分，经过搬运和沉积作用、以及沉积后作用而形成的一类岩石。

“地壳表层”，是指大气圈的下层、水圈及生物圈的全部、以及岩石圈的上层；这是包围地球表面的一个层圈，沉积岩就生成在这个层圈中，所以也可以把它称作沉积岩生成圈或沉积圈。

“地壳表层条件”的特征如下：

1. 温度：地壳表层的温度变化范围不大。根据现代的地理学资料，地表最高温度见于非洲中部，达 85°C ；最低温度见于北极圈维尔霍扬斯克，达 -70°C ；因此地表的最大温差达 $150\sim 160^{\circ}\text{C}$ 左右。某些地区的最大日温差可达 50°C 左右。这就是通常所说的地壳表层的“常温”。显然，这种常温与岩浆作用和变质作用的“高温”条件是有很大差别的。

2. 压力：海平面的压力为1个大气压；山区不到1个大气压；如果以水深每增加10米就增加1个大气压计算，则200米深的浅海底的压力约为20个大气压，最深海（约深11,000米）海底的压力约为1000个大气压以上。一般说来，绝大部分沉积岩生成时的压力为1~20个大气压的范围。这就是通常所说的“常压”。显然，这种常压与岩浆作用和变质作用的“高压”条件是有很大差别的。

3. 水和大气的作用：水和大气是沉积岩生成的主要营力和介质。水和大气是母岩风化的主要营力，也是母岩风化产物以及火山物质等搬运和沉积的主要介质；绝大多数的沉积岩都是在水体中沉积的，所以就有人把沉积岩称作“水成岩”；其实，水成岩只是沉积岩的一部分，并不是沉积岩的同义语。同样，还有主要由风的作用形成的“风成岩”和主要由冰川作用形成的“冰碛岩”。相反，这种地壳表层条件下的水和大气作用，在岩浆岩及变质岩的形成作用中，则是很不重要的。

4. 生物作用及生物化学作用：生物作用及生物化学作用也是沉积岩生成的重要因素。有的沉积岩，如生物礁石灰岩、煤等，主要是由生物遗体形成的，此即所谓的“生物岩”。还有一些沉积岩，是在生物作用的影响下或参与下，通过化学作用形成的，这种岩石称作“生

物化学岩”。相反，在岩浆岩及变质岩的生成过程中，生物作用则是不存在或微不足道的。

5. 重力作用：重力作用在沉积岩的生成过程中也有一定的甚至很大的作用，而一些沉积岩如浊积岩等，就主要是在重力作用下形成的。

总之，常温、常压、水、大气、生物、重力作用等，就是“地壳表层条件”的主要内容。

在“沉积岩的原始物质成分”中，母岩的风化产物是最主要的；所谓母岩，主要是指早于该沉积岩而存在的岩浆岩、变质岩、以及较老的沉积岩；当然，从最根本的意义上说，从地球发展历史的角度来看，沉积岩的母岩应是岩浆岩。绝大部分的沉积岩，如碎屑岩、粘土岩、碳酸盐岩、以及其他的化学沉积岩等，都是由母岩的风化产物经过机械的或化学的搬运和沉积作用而形成的。火山喷发物质是火山碎屑岩的主要物质来源。生物成分是生物岩或生物化学岩的主要物质来源。此外，宇宙物质也是沉积岩的原始物质成分之一。

绝大部分的沉积岩，如碎屑岩、粘土岩、碳酸盐岩、其他化学岩、火山碎屑岩等，在其生成过程中，大都经过“搬运作用和沉积作用”阶段。像母岩的风化产物及火山喷发物质等沉积岩的原始物质成分，在经过水、风等介质搬运以后，在一定的条件下沉积下来，就形成了沉积物。沉积物再经过各种“沉积后作用”，主要是成岩作用，就成为沉积岩。

所以说，沉积岩是在地壳表层的温度和压力条件下，在水、大气、生物、生物化学、以及重力的作用下，主要由母岩的风化产物，同时也有火山喷发物质、生物、以及宇宙物质，大都经过搬运作用、沉积作用、以及沉积后的成岩作用，所形成的岩石。这就是从成因的角度，即从沉积岩生成历史过程的角度，对沉积岩下的定义。

二、沉积岩的分布及其在国民经济中的重大意义

沉积岩在地壳表层分布甚广，陆地面积的大约 $\frac{3}{4}$ 为沉积岩覆盖着，而海底面积的几乎全部都为沉积物所覆盖。但从体积而言，沉积岩约占岩石圈体积的5%，岩浆岩及变质岩约占95%。由此可知，沉积岩主要分布于岩石圈的上部或表层部分。至于沉积岩在地壳表层的具体厚度，则是变化很大的。有的地方可达几十公里，如高加索地区，仅中生代及新生代的沉积岩厚度就达28—30公里；但有的地方则很薄，甚至没有沉积岩的分布，直接出露着岩浆岩及变质岩。一般来说，地槽区的沉积岩厚度较大，地台区的沉积岩厚度较小。因此，沉积岩在地壳中的分布宛如一个若断若续的、厚度不一的层壳，此即所谓的“沉积壳”或“沉积圈”。

在沉积岩中，蕴藏着大量矿产。据第19届国际地质学会的统计资料，世界资源总储量的75~85%是沉积和沉积变质成因的。石油、天然气、煤、油页岩等可燃有机矿产以及盐类矿产，几乎全是沉积成因的。铁矿的90%、铅锌矿的40~50%、铜矿的25~30%、锰矿和铝矿的绝大部分、以及其他许多金属非金属矿产，也都是沉积或沉积变质成因的。据我国著名的地质学家孟宪民1965年的统计资料，我国铁矿的74.17%、铜矿的71.25%、铅矿的76.12%、锌矿的93.70%、汞矿的83.44%、锑矿的88.69%、锡矿的90.02%，都是沉积成因或与沉积岩有成因关系的。近些年来，有许多重要的金属或非金属矿产，过去一向被认为是内生或热液成因的，现在也一反传统观点，被认为是沉积成因或与沉积岩有成因关系的了。由此可见沉积岩及沉积矿产在国民经济中的重大意义。

三、沉积岩石学及其与石油地质的关系

沉积岩石学就是研究沉积岩（包括沉积矿产）的特征、生成、及其在空间和时间上的分

布规律的一门地质科学。它是在人类生产及科学实践的基础上逐步发展起来的一门科学，而石油及天然气工业的快速发展对它的促进尤其巨大。反过来，沉积岩石学的发展，对各种矿产资源工业的发展，也起着很大的推动作用。大量的愈来愈多的事实证明，没有先进的沉积岩石学的理论作指导，是很难多快好省地勘探和开发与沉积岩有密切成因关系的各种矿产的。沉积岩石学的重大理论及实际意义也正在此。

石油及天然气生成于沉积岩中，绝大部分也储集于沉积岩中；其实，石油和天然气本身，也和煤、油页岩、盐类、以及其他沉积矿产一样，也是一种沉积岩，只不过是液态和气态罢了。因此，石油地质专业的大学生以及从事石油地质工作的人员，要了解和掌握石油和天然气生成、储集、以及在空间上和地质历史时期中的分布规律，非牢固地掌握沉积岩石学的基本知识、理论、和方法不可。因此，沉积岩石学是石油地质专业的一门重要的专业基础课程。

当然，沉积岩石学作为一门独立的地质科学，自有其专门的研究对象、任务、和方法，它的发展并不依赖于石油地质学，正如它不依赖于煤田地质学、沉积矿床学一样。相反，沉积岩石学作为一门独立的基础理论的地质科学，它的发展却可以大大促进石油地质学、煤田地质学、沉积矿床学等应用地质科学的发展。当然，这些应用地质科学的发展也会反过来促进沉积岩石学的发展。然而，随着科学的日益发展，要想严格地区分基础理论科学和应用科学之间的界限，将愈来愈困难。但是，作为工科的石油地质专业的大学生或从事石油地质工作的人员，对沉积岩石学和石油地质学这两门独立的地质科学的性质和相互关系，有个基本的了解，还是必要的。

四、沉积岩石学的历史与现状

人类对于沉积岩的认识和利用，早在石器时代就开始了。我国劳动人民在其长期的生产和生活的历史过程中，积累了极其丰富的有关沉积岩及沉积矿产方面的知识。在我国的大量古籍中，如在《山海经》、《史记·河渠书》、《汉书·地理志》、《后汉书·地理志》、《后汉书·郡国志》、宋沈括的《梦溪笔谈》、明末宋应星的《天工开物》、明末清初徐霞客的《徐霞客游记》等著作中，都记载了许多珍贵的沉积岩资料。这是我国对人类文化的巨大贡献。

在十八世纪下半叶，在近代地质学建立的初期，在西欧就发生了以德国人魏尔纳为首的水成学派和以英国人哈屯为首的火成学派的大论战。这一论战以火成学派的胜利而告终。这一论战促进了地质学和沉积岩石学的发展。

但是，沉积岩石学作为一门独立的地质科学出现，那还是十九世纪后半叶的事。

作为沉积岩石学的奠基者，英国地质学家索比（Sorby, 1826—1908）等是值得纪念的。但是，在本世纪50年代以前，沉积岩石学的发展却是相当缓慢的。在这个时期、英、美各国的沉积岩石学基本上未摆脱描述和资料统计的低级阶段，在理论上很少建树；而十月革命以后的苏联沉积岩石学界，则有一定的进展，什维佐夫、普斯托瓦洛夫、斯特拉霍夫、鲁欣等人的著作，不论是在苏联还是在我国，都是有影响的。

在本世纪50年代以后，即在最近二、三十年中，在沉积岩石学这一科学领域中，出现了巨大的、快速的、革命性的发展，这主要表现在以下几个方面：

第一，沉积岩石学已摆脱了以描述和资料统计为主要内容的阶段，已经进入了以沉积岩的形成及其演化的各种作用的研究、沉积环境的研究、沉积相模式的建立、以及古代沉积岩的岩相古地理的恢复为主要内容的高级阶段了。

第二，研究领域扩大了，即不仅是研究古代的沉积岩，也同时研究现代的沉积物了；在现代沉积物研究中，也不仅限于大陆沉积物和浅海沉积物，业已有计划地对深海沉积物进行了研究。以此为基础，将今论古，今古对比，这就极大地促进了古代沉积岩研究的开展。于是，许多崭新的学说和观点产生了。

第三，研究更加全面和先进了，野外与室内研究的先后主从关系也愈来愈被人们接受了。这就极大地促进了沉积岩石学的发展。

第四，碳酸盐岩石学已进入了全新的发展阶段。参见第十章第一节。

第五，浊流沉积的学说已经发展到了比较成熟的阶段，这就动摇和修正了一些旧的传统观点，丰富和提高了沉积岩石学的理论水平。

第六，板块构造学说已与沉积岩石学说结下了不解之缘，这就使沉积学家对广大区域性甚至全球性的沉积盆地和沉积岩的形成及其演化的大地构造控制，有了一个全新的观点和理解，从而极大地促进了沉积岩石学理论的发展。参见第二十四章第一节。

总之，在近二、三十年中，沉积岩石学已发展到了一个全新的历史阶段——沉积学阶段。

我们伟大的社会主义祖国幅原辽阔广大，古代沉积岩和现代沉积物的分布非常广泛，其中蕴藏着极其丰富的石油、天然气、煤炭、以及其他各种金属和非金属矿产。用新的沉积学的理论和方法，有计划地全面地开展我国沉积岩及沉积物的研究，多、快、好、省地勘探和开发各种沉积矿产，为我国四个现代化提供能源及矿产资源，是我们沉积学工作者的光荣和艰巨任务。任重道远，共勉之。

第二节 沉积岩的形成及演化

上节，我们从沉积岩的成因角度，即从沉积岩形成的历史过程的角度，对沉积岩下了定义。本节，我们就来系统地论述沉积岩的形成及其形成后继续演化的历史过程。这样，就可以从根本上认识沉积岩了。

沉积岩的形成及其形成后的演化的全部历史过程大致可分以下几个阶段，即沉积岩原始物质（主要是母岩的风化产物）的形成阶段、沉积岩原始物质的搬运和沉积阶段（即沉积物的形成阶段）、沉积后作用阶段（其中又包括沉积物的同生作用和准同生作用阶段、沉积物的成岩作用阶段、以及沉积岩的后生作用阶段）。

下面就依次论述这些阶段。

一、母岩的风化作用——沉积岩最主要原始物质的形成

沉积岩的原始物质有母岩的风化产物、火山物质、有机物质、以及宇宙物质等，其中母岩的风化产物是最主要的。所以这里就着重讲母岩的风化作用及其产物的形成。其他原始物质就从略了。

母岩，如前所述，是供给沉积岩原始物质成分的岩石，主要是岩浆岩和变质岩，也包括早已形成的沉积岩。

风化作用是地壳表层岩石的一种破坏作用。引起岩石破坏的外界因素有温度的变化、水以及各种酸的溶蚀作用、生物的作用、以及各种地质营力的剥蚀作用等。在这些因素的共同影响下，地壳表层的岩石就处于新的不稳定状态，就逐渐地遭受破坏，转变为风化产物。这

些风化产物就是最主要的沉积岩的原始物质成分。

关于风化作用和剥蚀作用，在普通地质学中已有详述，这里不再重复。这里只着重论述母岩的风化作用过程及其产物。

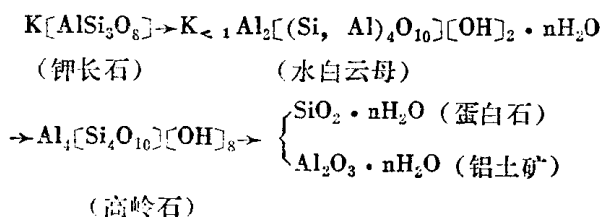
1. 各种造岩矿物的风化及其产物

各种造岩矿物抵抗风化作用的能力，亦即他们在风化作用条件下的稳定性是很不相同的。

石英是沉积岩的主要造岩矿物。石英在风化作用中稳定性极高，它几乎不发生化学溶解作用，一般只发生机械破碎作用。在长期的风化作用以及搬运和沉积作用的过程中，风化稳定性较低的一些矿物就逐渐破坏从而相对地减少了，而风化稳定性高的石英却逐渐地相对地富集起来。因此，石英就成了碎屑沉积岩的最主要的造岩矿物。

长石的风化稳定性次于石英。在长石中，钾长石的稳定性较高，多钠的酸性斜长石次之，中性斜长石又次之，多钙的基性斜长石最低。因此，在沉积岩中钾长石多于斜长石。

钾长石的风化过程及其产物如下：



在钾长石的风化过程中，最先析出的成分是钾，其次是硅，最后才是铝。与此同时，OH 或 H₂O 也参加到矿物的晶格中来。随着钾、硅、铝的逐渐析出和水的加入，原来的钾长石就逐步地转变为水白云母、高岭石、蛋白石、和铝土矿。钾长石是富钾的无水的铝硅酸盐矿物，架状构造，铝位于硅酸根的结晶格架中。水白云母中的钾已比钾长石中的钾少了，硅也有所减少，部分的铝已从硅酸根的晶格中释放出来变为一般的阳离子，其结晶构造已不是架状而是层状的了；但仍然还是铝硅酸盐。高岭石与水白云母相比，又有了更进一步的变化，钾已完全没有了，铝已完全从硅酸根中释放出来变为一般的阳离子；但高岭石仍然还是层状构造的硅酸盐矿物。蛋白石和铝土矿，就完全不同了，它们已不再是硅酸盐矿物，而是含水的氧化物矿物了。由此可知，由原来的钾长石，到水白云母、高岭石，以至最后的蛋白石和铝土矿，是一个由量变到质变的、逐步的、有阶段性的风化过程。这一过程的总趋势是原来的钾长石不断地遭受破坏，最终变为在风化带中最为稳定的新矿物。铝土矿是风化带中很稳定的矿物，它是钾长石风化的最终产物。但是，只有在十分有利的条件下，钾长石才能完全风化成铝土矿；在一般情况下，钾长石大都转变为水白云母和高岭石。

斜长石的风化情况与钾长石类似。斜长石风化时，除一些成分（如钙、钠、硅等）从矿物中转移出去以外，常形成一些在风化带中相对较稳定的新矿物，如各种沸石、绿帘石、黝帘石、蒙脱石、蛋白石、方解石等；当然，这些新矿物在风化带中也不是十分稳定的，也还会继续发生变化。基性斜长石的风化稳定性比酸性斜长石低，因此在沉积岩中，基性斜长石很少见到。

在云母类中，白云母的抗风化能力较强，所以它在沉积岩中相当常见。白云母在风化过程中，主要是析出钾和加入水，先变为水白云母，最后可变为高岭石。

黑云母的抗风化能力比白云母差得多。黑云母遭受风化后，钾、镁等成分首先析出，同时加入水，常转变为蛭石、绿泥石、褐铁矿等。

橄榄石、辉石、角闪石等铁镁硅酸盐矿物，他们的抗风化能力比石英、长石、云母都低得多；其中以橄榄石最易风化，辉石次之，角闪石又次之。这些矿物在风化产物中保留较少，故在沉积岩中较少见。这些矿物在遭受风化时，铁、镁、钙等易溶元素首先析出，硅也部分地或全部地析出，大部分元素呈溶液状态流失走，一部分元素在风化带中形成褐铁矿、蛋白石等。

各种粘土矿物如高岭石、蒙脱石、水云母等，本来就是在风化条件下或者沉积环境中生成的，在风化带中相当稳定；但是，在一定的条件下，它们也还要发生变化，转变为更加稳定的矿物，如铝土矿、蛋白石等。

各种碳酸盐矿物如方解石、白云石等，风化稳定性甚小，很易溶于水并顺水转移；因此在碎屑沉积岩中很难看到他们；只有在干旱的气候条件下，在距母岩很近的快速搬运和堆积中，才可能看到由他们组成的岩屑。

各种硫酸盐矿物（如石膏、硬石膏）、硫化物矿物（如黄铁矿）、卤化物矿物（如石盐）等，他们的风化稳定性最低，最易溶于水，呈溶液状流失走。

最后，在岩浆岩及变质岩中常见的一些次要矿物或付矿物，其风化稳定性的差别是很大的。风化稳定性较大的一些，如石榴石、锆英石、刚玉、电气石、锡石、金红石、磁铁矿、榍石、十字石、蓝晶石、独居石、红柱石等，在沉积岩中常作为重矿物而出现。

为什么各种造岩矿物的风化稳定性差别这么大呢？

有人认为，这与他们的结晶温度有关。例如在岩浆岩的主要造岩矿物中，橄榄石的结晶温度最高，其风化稳定性最低，最易风化破坏掉；辉石、角闪石、黑云母的结晶温度依次降低，而他们的风化稳定性却依次增高；基性斜长石、中性斜长石、酸性斜长石、钾长石的结晶温度也依次降低，他们的风化稳定性也依次增高；石英的结晶温度最低，故其抗风化能力最强。这些岩浆岩主要造岩矿物的风化稳定性高低的顺序，恰好与他们从岩浆中结晶出来时温度高低的顺序相反，宛如一个颠倒过来的鲍文反应系列。

初看起来，这一看法颇为有理；但这一看法是欠妥的。例如金刚石，其结晶温度比橄榄石等高得多，但其抗风化的能力却不但比橄榄石高得多，甚至比石英还高得多。又如一些热液型的硫化物，其结晶温度比上述岩浆型的矿物低得多，但他们却远比岩浆型的矿物易于风化。因此，这一看法还难以使人完全信服。

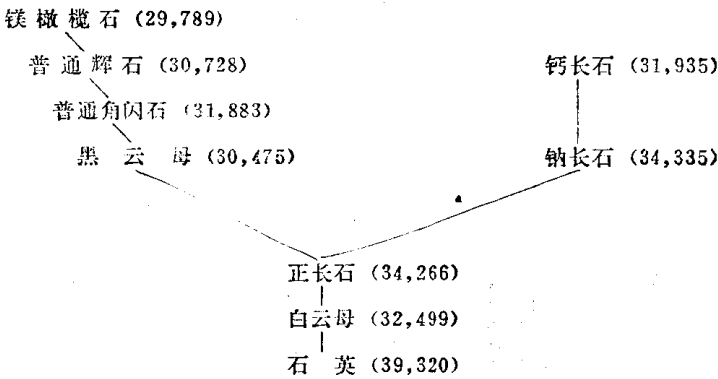
有人认为，矿物的风化稳定性与其化学成分的化学活泼性（主要指它们在水中的溶解能力）有关。根据实践，知Cl、S等元素在矿物的风化过程中最易析出，最易溶于水，最易呈溶液状态流失走；Ca、Na、Mg、K等元素次之；Mn、Fe、Si、Al等元素最差。这些元素的转移能力相差达几千倍。矿物的风化稳定性正是由这些元素的化学性质决定的。

这种看法是有道理的。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而决定的；钾长石之所以比斜长石难风化、酸性斜长石又比基性斜长石难风化，也是由于K、Na、Ca等元素的化学活泼性决定的。

但是，这一看法还不够全面。它仅仅考虑到元素本身的化学性质，还没有考虑矿物的晶体化学性质。矿物中的元素都是按照一定的晶体化学规律而相互地联系着，元素以及矿物在自然界中的许多性质都是与该矿物的晶体构造的性质有关的。例如同是K和Na，但他们的硅酸盐矿物（如钾长石和钠长石）就远较其卤化物矿物（如石盐和钾石盐）难以溶解。又如同是Ca和Mg，但他们的硅酸盐矿物（如斜长石、辉石等）就远较其碳酸盐矿物（如方解石和白云石等）难以溶解。又如石英中的Si也远较各种硅酸盐矿物中的Si难以溶解出来。因

此各种矿物的风化稳定性，不仅取决于他们的化学成分，还取决于他们的晶体构造。

用矿物的化学成分及其晶体构造的特征去寻求它们在风化作用过程中的相对稳定性，是一个正确的道路，而且已经取得了一定的成果。例如有人已经定量地计算出鲍文反应系列中的各种矿物的氧和阳离子之间的键强度的总数（大卡/克分子）：



从这些数字可以看出，鲍文反应系列下端的矿物，其键强度总数较大，所以其风化稳定性较高。当然，在这些数字中也有一定的矛盾现象，即云母的键强度总数与序列中的顺序不符，这可能是由于氢氧根存在的原因，因为氢氧根的能量效应还是未知的。另外，也还存在着许多未知或疑难的问题。

总之，矿物在风化作用过程中的稳定性的定量标志及其顺序的确定，是一个异常复杂的课题，现在还处于探索的阶段，还有许多未知的王国待研究解决。

2. 各种岩石的风化及其产物

岩石是矿物的集合体，因此岩石的风化及其产物主要是由组成它的矿物的风化情况决定的。

花岗质的岩浆岩（包括花岗岩、花岗闪长岩等）及变质岩（如花岗片麻岩等）是分布最广的岩浆岩及变质岩，它们的风化是具有代表性的。兹以花岗质的岩浆岩为例，具体说明如下。

表1-1 花岗质岩浆岩中各种矿物的风化情况

矿物成分	化 学 成 分	风 化 过 程 及 其 产 物
钾 长 石	$KAlSi_3O_8$	Ca、Na、K 大部或全部转移；Si 部分转移；Al基本上不转移；化学残余物质有水白云母、高岭石、铝土矿、蛋白石等
斜 长 石	$NaAlSi_3O_8$ $CaAl_2Si_2O_8$	
石 英	SiO_2	基本上不发生化学变化，主要变为机械残余碎屑
黑 云 母	$K(Mg,Fe)_3[AlSi_3O_{10}](OH)_2$	K 大部或全部转移；Mg、Fe、Si 部分转移；Al基本上不转移；常形成蛭石、绿泥石、水云母、褐铁矿等化学残余矿物
白 云 母	$KAl_2[AlSi_3O_{10}](OH)_2$	基本上不被破坏；或部分K、Si 转移，形成水白云母
锆 英 石	$ZrSiO_4$	基本上不被破坏，较稳定的重矿物
榍 石	$CaTi[SiO_4]O$	基本同上，但不如锆英石稳定
独 居 石	$(Ce,La)PO_4$	较难风化，较稳定的重矿物
磷 灰 石	$Ca_5[PO_4]_3F$ $Ca_5[PO_4]_3Cl$	较不稳定的重矿物，常被溶解转移，有时也呈重矿物保存在沉积岩中
磁 铁 矿	$FeO \cdot Fe_2O_3$	较稳定；常被风化褐铁矿

美国科罗拉多州鲍尔德附近的一个花岗闪长岩体的风化情况如图 1-1 所示。从此图可以明显地看出，在风化带中，角闪石大部消失；黑云母变化也很强烈，主要变为蛭石；奥长石变化也很大以至基本消失；相反，微斜长石和石英则基本上没有发生什么变化，因此在机械残余的碎屑矿物中，它们的相对含量就增高了；氧化铁及粘土矿物是新生成的化学残余矿物；白云石可能是成岩作用的产物，因为上覆的土壤中没有发现白云石；各种副矿物未发现，原因尚不很清楚。

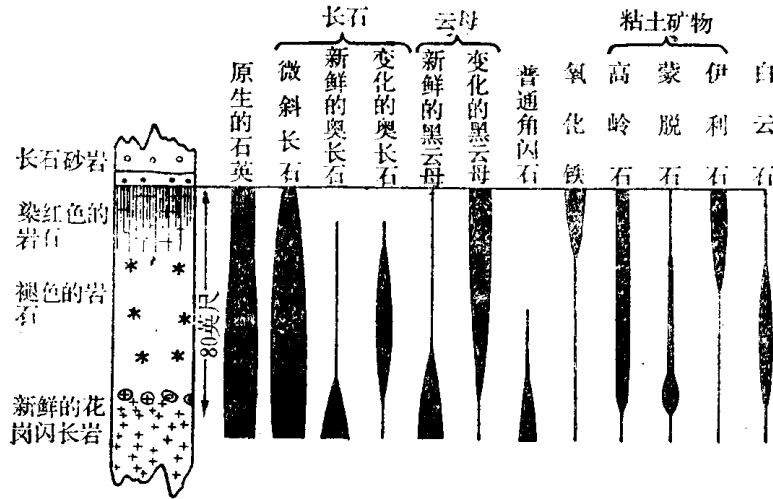


图1-1 美国科罗拉多州鲍尔德附近密西西比纪花岗闪长岩体的风化剖面图
(据 Wahlstrom, 1948; 转引自布拉特等, 1972)

中性和碱性侵入岩的风化情况大体与花岗质岩石相似。

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，远较花岗质岩石易风化。风化后，除部分易溶元素转移流失外，常在原地形成一些化学残余矿物，如蛇纹石、滑石、绿泥石、褐铁矿等。

火山岩及火山碎屑岩由于含有相当的甚至大量的玻璃质或火山灰，故其风化速度大都相当快。如玄武岩在遭受风化时，除一部分易溶元素流失外，常形成蒙脱石、高岭石、铝土矿、褐铁矿等化学残余矿物；如风化较彻底，可形成风化残余的富铁的红土层。

沉积岩的风化情况比较简单，因为它们本身就主要是由母岩的风化产物组成的。其中，以蒸发岩（主要由卤化物及硫酸盐矿物组成）最易溶、最易风化；碳酸盐岩次之；粘土岩、石英砂岩、硅质岩等最难风化。

3. 母岩风化过程中元素的转移顺序及母岩风化的阶段性

波雷诺夫 (1934, 1952) 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，得出十分重要的数据。参看表1-2。

表 1-2 中前两行数字是实验数字，后一行数字是根据前两行数字按下列方法计算出来的。

假定 Cl^- 的转移能力最高，为 100。如果 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 57 就是 SO_4^{2-} 的相对转移能力或相对转移性。表 1-2 第三行中的其他数字也是这样计算出来的。

由此可见，母岩的各种化学成分在风化作用过程中的转移性的差别是很大的。

表1-2 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

(据波雷诺夫, 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	3.00	14.70	3.00
Mg	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	—

以后, 波雷诺夫又根据其他一些事实, 作了一定的修正和补充, 拟定出母岩的元素或化合物在风化作用过程中的转移顺序及其数量级别。参看表1-3。

表1-3 母岩的主要造岩元素或化合物在风化作用
过程中的转移顺序及其数量级别

(据波雷诺夫, 1948; 转引自彼列尔曼, 1953)

转 移 顺 序	元 素 或 化 合 物	数 量 级 别
1. 最易转移的	Cl, (Br, I), S	$n \cdot 10$
2. 易转移的	Ca, Na, Mg, K	n
3. 可转移的	SiO ₂ (硅酸盐), P, Mn	$n \cdot 10^{-1}$
4. 略可转移的	Fe, Al, Ti	$n \cdot 10^{-2}$
5. 基本上不转移的	SiO ₂ (石英)	$n \cdot 10^{-\infty}$

当然, 表 1-3 中的转移顺序及其数量级别都只是一般的概括, 在不同的母岩地区和不同的风化作用条件下, 情况将会有若干出入。但这一基本轮廓还是正确的。

由于母岩的各种化学成分在风化作用中的转移性质的差异, 因此母岩的风化作用过程就呈现出了阶段性。

第一阶段: 即开始阶段, 以物理风化作用为主, 母岩的元素或化合物成分的转移量甚微。

第二阶段: 最易转移的成分 Cl⁻、SO₄²⁻等几乎全部转移, 铝硅酸盐已开始分解, 阳离子 Ca²⁺、Na⁺、Mg²⁺、K⁺已大量转移, 较难转移的 Si⁴⁺也部分转移。此时水溶液呈碱性。常形成水云母、蒙脱石等矿物。

第三阶段: 阳离子 Ca²⁺、Na⁺、Mg²⁺、K⁺已几乎全部转移, Si⁴⁺的转移量也增多。水溶液开始呈酸性。常形成高岭石等矿物。

第四阶段: 即最后阶段, 最易转移的、易转移的、以及可转移的成分几乎全部转移走了, 剩下来的只有极难转移的 Fe、Al 等成分以及极难化学风化的矿物如石英等。此阶段常生成铝土矿、褐铁矿等矿物。

当然, 这四个阶段只是个一般性的概括, 在不同的气候以及其他条件下, 情况将会有所

不同。例如在干旱地区，就很难发展到第四阶段；而在湿热地区，风化作用就会很快进入最后两个阶段。但上述四个阶段的划分，基本上还是正确的。

4. 母岩风化产物的类型

从上所述，可知地壳表层岩石的风化作用是一个十分复杂的地质作用。地壳表层岩石风化的结果，就形成了三种性质不同的风化产物。

(1) 碎屑残留物质：这主要是指母岩的岩石碎屑或矿物碎屑。在风化作用的第一阶段，这种碎屑残留物质最发育；到第四阶段，这种物质就很少了，只有那些风化稳定性最高极难风化的石英才可能幸留下来。这种物质在初始阶段大都残留在母岩区，后来就可能为各种营力搬运走。

(2) 新生成的矿物：这主要是指在化学风化作用过程中新生成的一些矿物，如水白云母、高岭石、蒙脱石、蛋白石、铝土矿、褐铁矿等。这些物质在初始阶段也大都存在于母岩的风化带中，所以也常称作“化学残余物质”；后来，它们也将为各种营力搬运走。

(3) 溶解物质：这主要是指母岩在化学风化作用过程中被溶解的那些成分，如Cl、S、Ca、Na、Mg、K、Si、Fe、Al、P等。这些物质大都呈真溶液或胶体溶液状态顺水流走，转移至远离母岩区的湖泊或海洋中去。

碎屑残留物质就是母岩的组成部分，它们是碎屑沉积岩的主要的原始物质成分。

在化学风化作用中新生成的一些矿物成分，循实择名，不宜称作“化学残余物质”，而应称作“化学风化矿物”。它们是粘土岩以及其他沉积岩的主要原始物质成分。

碎屑残留物质和化学风化矿物可合称作碎屑物质或陆源碎屑物质，它们的搬运和沉积作用主要受动力学定律支配。这些碎屑物质被各种地质营力搬运以后，在一定的条件下沉积下来，再经过成岩作用，就形成了碎屑岩及粘土岩。

与碎屑物质相对立的是溶解物质，它们的搬运和沉积作用主要受或首先受化学定律支配。这些溶解物质转移到海洋或湖泊后，在一定的条件（首先是各种化学条件，有时生物作用条件和水动力作用条件也很重要）下沉积下来，再经过成岩作用就形成了各种类型的化学岩、生物化学岩、或生物岩。

由此可知，从母岩的风化作用开始，其物质成分的分异作用就开始了，母岩的三种或两种不同性质的风化产物就开始形成了，即一些最主要的沉积岩的主要物质成分就开始形成了。这就是说，从母岩的风化作用开始时起，沉积岩的形成作用就开始了。

5. 风化壳

地壳表层岩石风化的结果，除一部分溶解物质流失以外，其碎屑残余物质和新生成的化学残余物质大都残留在原来岩石的表层。这个由风化残余物质组成的地表岩石的表层部分，或者说已风化了的地表岩石的表层部分，就叫做风化壳或风化带。

风化壳中岩石的风化程度是因深度而不同的。表层风化程度较深，深处风化程度较浅，以致逐渐过渡到未风化的母岩。

近来，风化壳的概念已被扩大了。例如苏联学者波雷诺夫等就把上述的由风化残余物质所组成的原地的风化壳叫做残留风化壳；假如这些原地的风化残余物质被流水、风等营力搬运并在他处又堆积起来，他们称之为堆积风化壳。——其实，这种堆积风化壳已经属于沉积物的范畴了。所以，还是把风化壳仍限制在原地的残留风化壳为宜。

风化壳的厚度决定于气候、地形、构造等许多因素。一般说来，在气候湿热、地形平坦、构造活动比较稳定的地区，风化作用较强，剥蚀作用较弱，风化残余物质易于保存，故风化

壳厚度较大。在相反的条件下，风化壳厚度就较小，以至为零。

风化壳分现代的和古代的，二者常以第三纪作为划分界限。由于保存条件的限制，古风化壳大都已残缺不全了。另外，古风化壳由于已经经历了成岩作用及后生作用的变化，它们已与现代的风化壳有很大不同了，它们实际上已经算是没有经过搬运的沉积岩了。古风化壳有很大的地质意义和经济意义，因为它是地壳上升、沉积间接、不整合的重要标志，它是古气候、古地理分析的重要依据，其中常蕴藏着一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），在古风化壳中或其下还可以形成油气藏。

近来，关于风化壳的研究，已经发展成为一门的独立的学科了。它在岩石学、地球化学、矿物学、矿床学、地层学、石油地质学、土壤学、农业科学、以及水利建设上，都有很大的意义。

二、碎屑物质在流水中的搬运及沉积作用

碎屑物质（主要是母岩风化产物中的碎屑物质）在流水的作用下，将进入搬运状态向他处转移；在一定的条件下，还会从搬运状态转变为沉积状态，即还会沉积下来转变为沉积物。这是很重要的一种搬运及沉积作用。

1. 决定碎屑物质搬运及沉积的主要因素

决定碎屑物质在流水中的搬运作用及沉积作用的因素主要有两方面：一为碎屑物质的重力、它们之间的相互吸附力、摩擦力等，其中重力是最主要的；一为流水的动力。当后者大于前者时，碎屑物质将处于搬运状态；反之，则处于沉积状态。

碎屑物质的重力主要由碎屑颗粒的大小决定，比重及形状也有一定的影响。碎屑的粒度和比重愈大，其形状愈接近球形，其在水中的下沉速度就愈大，即愈不易被搬运。

流水的动力主要由流速及流量决定。当流量一定时，流水的动力与流速的平方成正比，因此流速的作用最大。流速受河道地形的影响甚大，山区河流的河道地形高差大，其流速可达5~8米/秒；平原河流的河道地形差别小，其流速一般不过1.5米/秒。

实验证明，流水搬运碎屑物质的重量与流速的六次方成正比。如果山区河流流速为平原河流流速的3倍，则二者搬运碎屑物质的能力将相差 3^6 倍即729倍。因此，当山区河流一旦进入平原，其流速突减，它所搬运的大量碎屑物质就很快地沉积下来，这样就形成了洪积扇或洪积锥。

碎屑物质在流水中的搬运和沉积，流速和颗粒大小之间的关系最为关键。

流水把处于静止状态的碎屑物质开始搬运走所需要的流速叫做开始搬运流速；开始搬运流速要大于继续搬运业于处于搬运状态的碎屑物质所需的流速，即继续搬运流速；因为前者除了克服碎屑物质的重力及摩擦力以外，还需要克服该碎屑物质与其周围物质之间的相互粘结力等；而后者则只需克服碎屑的重力（在悬浮搬运时）及摩擦力（在滚动搬运时）就可以了。参看图1-2。

图1-2中的开始搬运流速曲线表示流水把处于静止状态的一定粒级的碎屑颗粒搬运走时所需要的最小流速，显然它与碎屑颗粒的粒径并不成简单的正比关系；中、细砂的开始搬运流速最小。

图1-2中的继续搬运流速曲线表示流水继续搬运业已处于运动状态的碎屑颗粒所需要的最小流速；显然，此流速小于开始搬运流速。如果流速小于继续搬运流速，则相应粒级的碎屑即开始下沉；因此，此曲线是业已处于搬运状态的碎屑物质继续搬运或开始下沉的临界