

高等院校地学研究生教学用书

沉积学原理 (第二版)

Principles of Sedimentology

(2nd Edition)

● 袁 静 王冠民 编
徐方建 鄢继华

地质出版社

沉积学原理

(第二版)

袁 静 王冠民 徐方建 鄢继华 编

地质出版社

· 北 京 ·

内 容 提 要

本教材融入近 20 年来沉积学科最新进展,以沉积学基本原理为主线,以沉积物特征对沉积作用过程的响应为基础,系统阐述了陆源碎屑和碳酸盐沉积环境的沉积作用和沉积特征,并首次将水槽沉积模拟实验纳入教材。

本书可以作为地质学及资源勘查类研究生和本科生的教材或教学参考书,也可作为石油勘探开发与地质研究工作者的培训教材或工具书。

图书在版编目 (CIP) 数据

沉积学原理 / 袁静等编. —2 版. —北京:地质出版社, 2013. 7

ISBN 978 - 7 - 116 - 08421 - 6

I. ①沉… II. ①袁… III. ①沉积学 - 高等学校 - 教材 IV. ①P588. 2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 171471 号

Chenjixue Yuanli

责任编辑:李惠娣

责任校对:王素荣

出版发行:地质出版社

社址邮编:北京海淀区学院路 31 号, 100083

咨询电话: (010)82324508 (邮购部); (010)82324514 (编辑室)

网 址: <http://www.gph.com.cn>

传 真: (010)82324340

印 刷:北京地大天成印务有限公司

开 本: 787mm × 960mm 1/16

印 张: 21.25

字 数: 390 千字

印 数: 1—1000 册

版 次: 2013 年 7 月北京第 2 版

印 次: 2013 年 7 月北京第 1 次印刷

审图号: GS (2013) 1446 号

定 价: 40.00 元

书 号: ISBN 978 - 7 - 116 - 08421 - 6

(如对本书有建议或意见,敬请致电本社;如本书有印装问题,本社负责调换)

前 言

“沉积学原理”一直是中国石油大学地质学科研究生的学位课程，在研究生培养中占有重要地位。近年来，沉积学领域取得了很多新的进展，但自 2001 年赵澄林教授编著出版《沉积学原理》以来，国内至今再无沉积学领域研究生教材面世。

本教材是山东省研究生教育创新计划项目“地质学专业硕士研究生学位课程‘沉积学原理’课程与教材建设”的主要成果，通过对沉积地质学领域最新进展和研究生教育研究成果进行系统调研，融入近 20 年来沉积学科最新进展，以沉积过程为主线，以沉积特征为标记，重点阐述沉积作用原理以及沉积物特征对沉积作用过程的响应，并首次将水槽沉积模拟实验纳入教材，其中也融入了编者的一些研究成果及有关资料。希望研究生在全面了解和把握沉积地质学领域的基本理论和基本原理的基础上，接触到最新的学科进展，将理论教学与科研实践相互融合，构建起更为科学的思维习惯。

全书共十章。第一章到第四章为总论和理论基础，介绍了母岩风化与土壤、硅质碎屑沉积物的搬运与沉积作用、沉积结构和构造。第五章为冲积环境沉积学，重点阐述冲积扇、洪水—漫湖与河流沉积作用及沉积环境。第六章为湖泊沉积学，从湖泊分类及控制湖泊沉积的主要因素出发，系统阐述了淡水湖泊、盐湖、冰川湖、碳酸盐湖、沼泽、火山碎屑湖泊的沉积作用及沉积特征，最后以古近纪东营凹陷为例，介绍了陆相断陷湖盆沉积—成岩—成藏综合模式。第七章和第八章为滨海环境和硅质碎屑海洋环境沉积学，分别对三角洲、河口湾、海岸带、障壁海岸、陆架、半深海—深海沉积作用与沉积环境进行了系统阐述。第九章为碳酸盐岩沉积学，介绍碳酸盐岩的成因和主要沉积模式，特别对深水碳酸盐岩和生物礁环境进行了专门阐述。第十章为物理沉积模拟方法与技术，从物理沉积模拟的历

史与现状、研究方法与步骤出发,系统介绍了湖相扇三角洲形成过程模拟和断陷湖盆三角洲前缘滑塌浊积体形成过程模拟。

第一章到第六章由袁静教授编写,第七章和第八章由徐方建副教授编写,第九章由王冠民教授编写,第十章由鄢继华副教授编写。全书由袁静教授统稿。

在本书出版过程中,得到了中国石油大学(华东)地球科学与技术学院操应长教授、邱隆伟教授、陈世悦教授和杨剑萍教授的大力支持,在此谨表诚挚谢意。同时,对袁凌荣、高若函、王尉、杨蓉、梁绘媛、董道涛、李春堂、李际、付晓晴、陈晓杰、赵天龙和刘霞等研究生在本书资料收集、文字录入和图表编辑等方面所做的工作表示谢意。

限于编者水平,书中如有不妥之处,敬请指正。

编者

2013年4月

第一版前言

“沉积学原理”是阐述沉积物（岩）形成、演化和分布规律的一门课程，是石油大学地质学学科研究生的一门学位课程，总计 40~60 学时，2~3 学分。全书由总论、洪水沉积作用、河流沉积作用、湖泊沉积学、海洋沉积学、海底扩张与板块构造、模式和事件沉积作用等章节组成。该课已开设 10 余次，原来主要选用《沉积环境和相》（Reeding, 1978, 1986）作为主要参考教材，辅助教材是《现代沉积》（赵澄林, 1997）、《油区岩相古地理》（赵澄林等, 1982, 1987）。为了更好地贯彻新编教学大纲，提高教学质量，特编写了本教材，其中也融入了本人的一些研究成果及有关资料。沉积学的形成和发展正如最近一届国际沉积学大会（ICS）（第 15 届，西班牙）对沉积学的回顾所说的那样：19 世纪的沉积学主要研究地球的历史，代表著作是 *Stratified Rocks*，其中提出了沉积学研究中“将今论古”的原理；20 世纪的发展，特别是第二次世界大战以后，已经开始运用地球物理和地球化学技术和仪器来解释全球在整个地质时期的演化，并以勘探地质矿产资源为目标。特别应强调指出的是，到了 20 世纪末，沉积学最巨大的进展是其在油气勘探中发挥着越来越重要的作用，沉积学与油气勘探结下了不解之缘。

第 15 届国际沉积学大会的讨论主题是：伴随世界人口的高速增长，人类对资源的需求急剧增加，技术进步及其对星球学的日益冲击，预示着地球历史研究的一个新时期的到来。这一时期，为第四纪后时期（the past Quaternary），将以地质旋回的“戏剧性”变化为特征。人们再三强调沉积学的重要性，并以它对“戏剧性”变化的这一领域的预测为目标。也就是说，沉积学研究可以预见这种“戏剧性”变化的可能性，以及其预见的结果对地球气候演变、侵蚀作用、地貌变化和对地球生命变化的各种影响。沉积学还可以用来预防自然灾害，诸如洪水、海啸、风暴、地震、泥石流

等，以及如何恢复不平衡的自然系统（雪山、沙漠、河谷、河流和海滩等自然地理环境），帮助解决、控制和预防环境污染，矿产资源勘探和开发的再扩大，城市垃圾的处理，有毒物品的管理，各种工程地质的实施等。沉积学在沉积环境保护等方面都将会日益发挥作用。通过学习“沉积学原理”，增加对沉积物（岩）形成、演化、分布，及其与人类生存等重大问题的了解，紧紧把握“地球科学与灾害预测”将是沉积学发展的长远主题。因此，大力推进沉积学的教学和科研工作是有其重要科学意义和现实意义的。

希望学生在学习本课的过程中，除了听课以外，还要注重自学，要善于阅读，从阅读中汲取新知识，了解与你本人攻读的学科以外相邻学科中的各种知识和发展内容，努力从不同方面培养和扩大自己的地质学基础理论知识和野外及室内的实践操作技能。

在本书出版过程中，得到了石油大学研究生院及杨丛笑博士的大力支持。对袁静、康安、王鹏、杜业波等博士、硕士研究生在本书资料收集、编辑和文字录入等方面所做的实际工作表示谢意。限于水平，书中如有不妥之处，敬请指正。

赵澄林

石油大学矿物学、岩石学、矿床学博士学科点
(原石油大学沉积学、古地理学博士学科点)

2000. 10

目 录

前 言

第一版前言

第一章 母岩风化与土壤	(1)
第一节 陆表风化作用过程	(1)
一、物理风化作用	(1)
二、化学风化作用	(4)
三、风化速率	(7)
四、地表风化作用的产物	(8)
第二节 海底风化作用及产物	(9)
第三节 土壤	(11)
一、土壤形成过程和剖面构成	(11)
二、古土壤及其识别	(12)
参考文献	(15)
第二章 硅质碎屑沉积物的搬运与沉积作用	(17)
第一节 流体的基本知识	(17)
一、几个基本概念	(17)
二、牵引流和沉积物重力流	(18)
三、层流和紊流	(21)
四、边界层与速度变化	(23)
五、急流、缓流与弗劳德数	(24)
第二节 碎屑颗粒在流体中的搬运和沉积	(25)
一、沉积物载荷与搬运方式	(25)
二、碎屑颗粒在流水中的搬运	(30)
三、搬运过程中颗粒沉降速率的作用	(32)
四、碎屑颗粒在风和冰川中的搬运和沉积作用	(33)
第三节 碎屑颗粒在沉积物重力流中的搬运	(36)
一、浊流	(37)
二、液化流	(44)

三、颗粒流	(45)
四、碎屑流和泥流	(46)
参考文献	(47)
第三章 沉积结构	(48)
第一节 粒径和颗粒形状	(48)
一、粒径	(48)
二、颗粒形状	(58)
第二节 组构	(62)
一、颗粒定向	(62)
二、颗粒充填、颗粒接触关系和孔隙度	(64)
参考文献	(65)
第四章 沉积构造	(66)
第一节 底形和层理的形成	(66)
一、底形和流态的关系	(66)
二、粒度和水深对底形发育的影响	(68)
三、底形上的流动和沉积特征	(71)
四、底形与层理的形成	(72)
第二节 侵蚀构造	(72)
一、冲刷 - 充填构造	(73)
二、底面印痕	(73)
三、冲蚀构造和再作用面	(74)
第三节 古近纪湖盆中与古地震有关的变形构造及其研究意义	(76)
一、主要变形构造	(77)
二、识别震积岩时应注意的问题	(89)
三、软沉积物变形成因研究的意义	(91)
参考文献	(93)
第五章 冲积环境沉积学	(96)
第一节 冲(洪)积扇	(96)
一、定义及沉积环境	(96)
二、扇体上的沉积作用及产物	(100)
三、扇体形成过程及其沉积特征的影响因素	(103)
四、冲积扇沉积模式	(106)
五、冲积扇相实例	(113)

第二节 洪水 - 漫湖	(114)
一、沉积背景和形成条件	(114)
二、沉积特征	(115)
三、相层序	(117)
四、相类型和相模式	(118)
第三节 河流	(120)
一、河型分类	(120)
二、分汊河与其他河型的区别及河型的空间转化	(122)
三、分汊河相模式及研究实例	(124)
参考文献	(133)
第六章 湖泊沉积学	(135)
第一节 现代湖泊和分类	(135)
第二节 控制湖泊沉积作用的因素	(136)
一、物理作用	(137)
二、化学作用	(142)
三、生物作用	(142)
第三节 淡水湖泊沉积作用	(143)
一、三角洲环境沉积动力学	(143)
二、滨岸浅水环境沉积动力学	(146)
三、深湖环境沉积物重力流动力学	(148)
四、风生流、风暴流及其沉积动力学	(152)
五、静水环境悬移载荷沉积动力学分析	(156)
六、淡水湖泊化学及生物化学沉积作用	(156)
第四节 盐湖沉积作用	(158)
一、盐湖的一般化学特征	(158)
二、盐湖沉积环境	(158)
三、盐湖沉积与油气的关系	(160)
第五节 冰川湖沉积作用	(163)
一、冰川湖泊的形成与演化	(163)
二、陆源碎屑冰川湖沉积作用	(163)
三、冰川湖“纹层”及其沉积作用	(163)
四、冰水河三角洲沉积作用	(163)
五、冰川沉积和块体流沉积	(164)

第六节	湖泊碳酸盐沉积作用	(164)
一、	湖泊颗粒碳酸盐沉积作用	(164)
二、	湖泊碳酸盐生物礁及其沉积动力学	(167)
三、	湖相碳酸盐岩与油气	(168)
第七节	沼泽化湖泊沉积作用	(168)
一、	沼泽化湖泊的形成和演化	(168)
二、	沼泽化湖泊陆源碎屑沉积作用	(169)
三、	死水沼泽及泥炭化作用	(170)
四、	煤系地层与油气	(170)
第八节	火山碎屑湖泊沉积作用	(170)
一、	碎屑流沉积 (火山灰流、火山砂流)	(171)
二、	基浪堆积	(172)
三、	降落沉积	(174)
第九节	陆相断陷湖盆沉积 - 成岩 - 成藏综合模式	(174)
一、	东营凹陷深层主要构造岩相带	(175)
二、	东营凹陷古近系沉积、成岩和油气成藏的综合模式	(176)
参考文献		(178)
第七章	滨海环境	(181)
第一节	三角洲系统	(181)
一、	三角洲的形成和发育	(182)
二、	三角洲的类型及转变	(183)
三、	三角洲的沉积环境与沉积模式	(193)
四、	三角洲沉积过程中的形变构造	(198)
第二节	河口湾系统	(200)
一、	河口区水动力特征	(202)
二、	河口湾最大浑浊带和泥砂沉积	(203)
三、	河口湾的发育及其沉积物分布	(204)
四、	河口湾沉积特征	(205)
五、	河口湾沉积层序特征	(205)
第三节	海岸带	(207)
一、	海岸线和海岸带	(207)
二、	海岸带分段和分类	(208)
三、	海岸动力条件	(209)

四、海岸带地貌	(211)
五、海面变化与海岸演变	(220)
第四节 障壁岛 - 潟湖 - 潮坪体系	(222)
一、障壁岛	(222)
二、潟湖	(223)
三、潮汐水道	(224)
四、潮汐三角洲	(225)
五、冲溢扇	(225)
六、潮坪	(226)
参考文献	(228)
第八章 硅质碎屑海洋环境	(230)
第一节 大陆架	(230)
一、大陆架表面地形	(230)
二、陆架沉积作用	(233)
三、陆架沉积物影响因素	(236)
四、陆架沉积环境和沉积特征	(237)
第二节 半深海 - 深海	(241)
一、大陆坡	(241)
二、大陆隆	(244)
三、大洋盆地	(245)
参考文献	(252)
第九章 碳酸盐岩沉积学	(254)
第一节 碳酸盐岩的成因	(254)
一、方解石	(254)
二、白云石	(261)
第二节 碳酸盐沉积模式	(265)
一、镶边碳酸盐台地	(267)
二、碳酸盐缓坡	(270)
三、无镶边(开放陆棚)碳酸盐台地	(271)
四、孤立碳酸盐台地	(271)
五、大陆边缘台地	(272)
第三节 深水碳酸盐岩	(272)
第四节 生物礁环境	(276)

一、现代礁和礁环境	(276)
二、古代礁	(282)
参考文献	(283)
第十章 物理沉积模拟方法与技术	(288)
第一节 前言	(288)
一、物理沉积模拟研究历史及现状	(288)
二、物理沉积模拟研究方法步骤	(297)
第二节 湖相扇三角洲形成过程模拟	(301)
一、实验方案设计	(302)
二、实验形成过程	(303)
三、湖平面变化对扇三角洲的影响	(304)
第三节 断陷湖盆三角洲前缘滑塌浊积体形成过程模拟	(308)
一、实验方案设计	(308)
二、实验形成过程及结果分析	(309)
三、滑塌浊积体沉积模式及控制因素	(315)
参考文献	(319)
常用术语中英文对照	(323)

第一章 母岩风化与土壤

沉积岩的形成一般要经过三个阶段，即原始物质的形成、原始物质的搬运和沉积作用（或沉积物的形成）、沉积物的沉积后作用（或成岩作用）。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。一些风化作用的固态产物可能原地堆积，形成保存在地质记录中的土壤层（古土壤），最终，大多数的风化残余物质经过剥蚀搬离原地，其后经过搬运作用，在更远的地点沉积下来。

风化作用（weathering）包括化学、物理、生物风化过程，其中以化学风化过程最为重要。风化作用分解和破坏暴露的岩石，产生碎屑残余物质和溶解物质，这些风化产物是土壤和沉积岩的物质来源，因此，风化作用是沉积岩形成的第一步。

本章将详细描述陆表风化作用的主要过程，并讨论风化作用形成的碎屑残余物质与溶解物质的性质，并简要阐述土壤与古土壤（paleosoil）。

第一节 陆表风化作用过程

陆表风化作用是指地壳最表层的岩石在温度、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，下面仅介绍物理风化作用和化学风化作用。

一、物理风化作用

岩石主要发生机械破碎，而化学成分不改变的风化作用，称为物理风化作用。岩石发生机械破碎的基本营力是温度的变化、晶体生长、植物根劈作用、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是次要的，只在严寒的极地和高纬度地区，以及气候干燥、温度变化剧烈的沙漠地区才相对重要些。

1. 冰冻风化作用 (frost weathering)

也称冻 - 融风化作用 (freeze-thaw weathering), 常常由于地表岩层的孔隙、裂缝或其他开口中存在的水, 经过反复的冻结与融化而引起。在冰冻温度与融化温度之间交替变化的气候条件下, 由于岩石缝隙中的水频繁地冰冻与融化而产生的压力使岩石组构发生破坏, 是一种重要的物理风化过程。当水结冰时, 体积增加 9%, 在岩石的弯曲裂缝中产生足够大的压力使大多数类型的岩石破碎。其他过程, 如水进入冰冻地区的运动, 也会导致裂缝的冰冻扩张 (Bland et al., 1989)。

冰冻风化作用通常产生大的棱角状岩石碎块, 但是粗粒岩石 (如花岗岩) 也会发生颗粒状分解。微裂缝和其他微小构造的存在对破碎岩块的大小和形状也有重要的控制作用。质地疏松的岩石 (如页岩和砂岩) 比坚硬致密的岩石 (如石英岩和火成岩) 更易于分解。

2. 日晒风化作用 (insolation weathering)

岩石表面经日晒扩张, 温度下降时收缩, 导致岩石颗粒之间的联系削弱, 岩石成碎块剥落, 矿物颗粒移出。被加热的岩石表面和内部产生热梯度, 岩石表面的扩张程度大于内部而产生压力, 这种压力可导致小裂隙的形成和部分的颗粒状分解 (Ollier et al., 1996)。一旦岩石表面的裂隙在加热下扩张打开, 粉砂或砂颗粒就会进入, 阻止岩石变冷时裂隙关闭。岩石不断地加热和变冷, 使裂缝越来越宽, 导致岩石表面小规模分解。虽然在沙漠地区的观察表明日晒风化作用确实存在, 但是在实验室中的加热 - 冷却实验中尚未能证实日晒风化作用是一个重要过程。

3. 盐晶风化作用 (salt weathering)

沙漠环境的高温条件常促进岩石孔隙和裂隙中的盐类结晶而导致风化作用 (Sperling et al., 1980; Watson, 1992; Bland et al., 1998)。水分的蒸发使进入岩石裂缝和孔隙中的盐溶液浓缩, 盐晶生长产生的内部压力 (结晶压力) 迫使裂缝分开或者导致弱胶结的岩石颗粒状分解。扩张压力还能因裂缝中的盐分水化 (吸水) 膨胀而产生。盐晶风化作用在半干旱地区尤其普遍, 但也可沿海浪经常拍到岸边悬崖的海岸线分布。

4. 干湿交替作用 (wetting and drying)

像页岩这种疏松或弱固结岩石的干湿交替变化导致岩石快速分解, 并且大多数分解在干燥时产生。分解的确切原因还不清楚, 但是, 一方面, 干燥造成的负孔隙压力与张力 (收缩) 导致岩石被拉开; 另一方面, 湿润时期吸水造成的膨胀压力也促使裂隙打开。完全暴露的陡峭悬崖面上, 由于松散的碎块不

断落下，露出的新鲜面极易遭受干湿交替导致的分解作用。

5. 卸荷风化作用 (stress-release weathering)

由于上覆岩层的重荷，埋于地表之下的岩石经受很高的压力，如果部分上覆岩石被剥离，施加于岩石上的压力减小，岩石会向上回弹，向上扩张产生张力（使岩石裂开）导致裂缝近于平行于地形表面发育，这些裂缝将岩石分割成一系列层状或席状。因此，这种裂缝的形成过程常被称为席裂或页状剥离 (sheeting)。这些层的厚度随埋深增加而增大，在地壳表面以下几十米处也可能存在。页状剥离最常出现于均质的岩石，如花岗岩中，也可能出现在块状砂岩这样的成层岩石中。

6. 其他物理风化过程

在一定条件下，其他因素也会导致机械风化作用，包括因黏土矿物或其他矿物吸水（水化）的体积增大；因矿物转化，如黑云母和斜长石转化为黏土矿物而导致的体积变化；在岩石裂缝中植物根的生长；干湿交替的环境下，地衣的扩殖与收缩将岩石表面的矿物颗粒和岩石碎块剥离；蠕虫或其他微生物在土壤或松散的岩石矿物中的掘穴或觅食。

一些物理风化作用可能是两个或更多过程共同作用的结果。剥落，即岩层露头中被风化的表面脱落大块弯曲的片状或板状岩石，是一个很好的例子。压力释放会产生内部裂隙，之后水进入裂隙，在冻-融或其他作用下，裂隙加宽。（椭）球形风化 (spheroidal weathering) 是在一种近于立方的岩块中发生的小规模风化作用：岩块被多维相交的裂缝切割，形成层状或“皮状”破碎而产生球状内核（图 1-1）。这种使岩块风化外壳分离的裂缝可能是由于压力释放或可能的温度变化导致的 (Taylor et al., 2001)；而水进入裂缝因冻-融或其他化学过程，促进了更多的物理压力产生。岩石球形风化的结果通常形成球形的分解巨砾，与卸荷风化作用产生的大型页状剥离非常相似。



图 1-1 花岗岩的球形风化
(中国山东大珠山，图片中鞋长约 20cm)

二、化学风化作用

化学风化作用会使矿物发生分解，分解出来的元素有一部分被地表水和地下水带走，其余部分则成为在地表条件下稳定的新生矿物。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。水和溶解的气体在化学风化的各个方面都有重要作用。因为水几乎存在于任何环境下，即使是在干旱的气候条件下，化学风化作用一般也比物理风化作用重要得多；不过，在风化环境温度较低（<30℃）时，化学风化作用会进行得十分缓慢。由表 1-1 可以看出，化学风化主要通过简单溶解、水解作用、氧化作用、水化和脱水作用、离子交换和螯合作用等方式进行。

表 1-1 化学风化作用的主要过程

最重要的过程	实例	影响的主要岩石成分
简单（一致）溶解： 易溶物质在水中（直接溶解）或在溶有 CO ₂ 的水中（碳酸化作用）完全溶解产生阳离子和阴离子	$\text{SiO}_2 + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_4\text{SiO}_4(\text{aq}) \text{ (直接溶解)}$ (石英) (硅酸) $\text{CaCO}_3 + \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2 \leftrightarrow \text{Ca}^{2+}(\text{aq}) + 2\text{HCO}_3^-(\text{aq}) \text{ (碳酸化作用)}$ (方解石)	易溶矿物 (如，石膏、岩盐)，石英
水解作用（非一致性溶解）：水中的 H ⁺ 和 OH ⁻ 与硅酸盐矿物的离子反应产生溶解的阳离子、硅酸和黏土矿物（如果 Al 存在）	$2\text{KAlSi}_3\text{O}_8 + 2\text{H}^+ + 9\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_4\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_9 + 4\text{H}_4\text{SiO}_4(\text{aq}) + 2\text{K}^+$ (正长石) (高岭石) (硅酸) $2\text{NaAlSi}_3\text{O}_8 + 2\text{H}^+ + 9\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_4\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_9 + 4\text{H}_4\text{SiO}_4(\text{aq}) + 2\text{Na}^+$ (钠长石) (高岭石) (硅酸)	硅酸盐矿物
氧化作用：矿物中一种元素（通常是 Fe 和 Mn）丢失一个电子，导致氧化物或氢氧化物（如果存在水）形成的作用	$2\text{FeS}_2 + \frac{15}{2}\text{O}_2 + 4\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Fe}_2\text{O}_3 + 4\text{SO}_4^{2-}(\text{aq}) + 8\text{H}^+$ (黄铁矿) (赤铁矿) $\text{MnSiO}_3 + \frac{1}{2}\text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{MnO}_2 + \text{H}_4\text{SiO}_4(\text{aq})$ (蔷薇辉石) (软锰矿)	含铁和锰的硅酸盐矿物，硫化铁