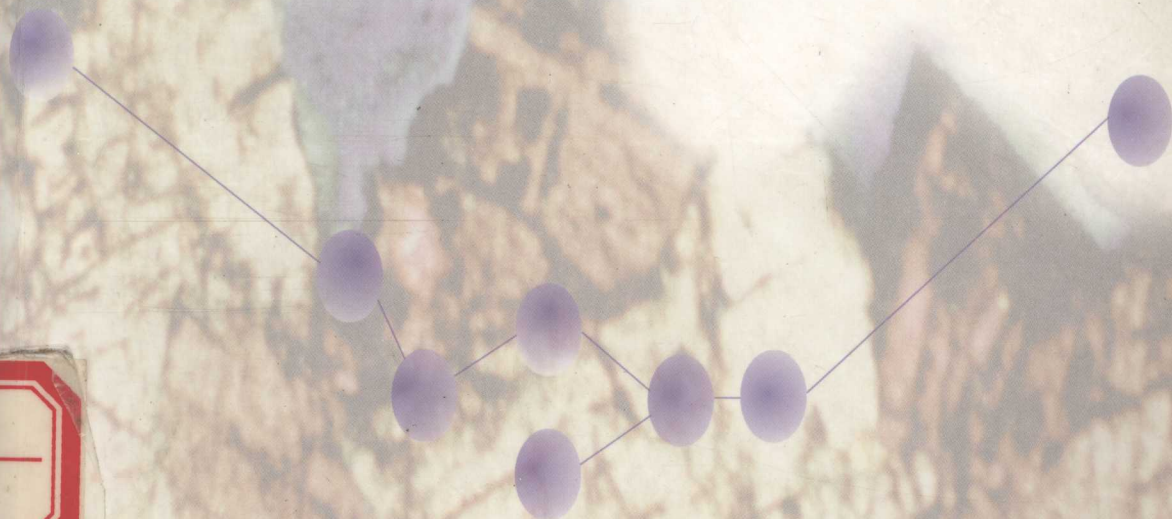




面向 21 世纪 课 程 教 材
Textbook Series for 21st Century

油田化学

赵福麟 主编



石油大学出版社

面向 21 世纪课程教材
Textbook Series for 21st Century

油 田 化 学

赵福麟 主编

石油大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

油田化学/赵福麟编著. —东营:石油大学出版社,1999.9
ISBN 7-5636-1222-X

I. 油… II. 赵… III. 石油开采-工程化学 IV. TE31

中国版本图书馆 CIP 数据核字(1999)第 27517 号

书 名:油田化学

主 编:赵福麟

出 版 者:石油大学出版社(山东 东营 邮编 257061)

网 址: <http://sunctr.hdpu.edu.cn/~upcpres>

电子信箱: upcpres@sunctr.hdpu.edu.cn

印 刷 者:石油大学印刷厂

发 行 者:石油大学出版社(电话 0546—8392563)

开 本: 787×960 1/16 印张:24.25 字数:417 千字

版 次:2000 年 7 月第 1 版第 1 次印刷

印 数:1—2500 册

定 价:29.00 元



面向21世纪课程教材



普通高等教育“九五”
国家级重点教材

内 容 提 要

本教材按钻井、采油和原油集输的生产过程分三篇,共九章。第一篇为钻井化学,分三章,主要介绍钻井液和水泥浆的性能及其控制与调整;第二篇为采油化学,分两章,主要介绍提高原油采收率的各种化学方法和调剖、堵水、防砂、防蜡、清蜡、稠油乳化降粘、酸液性能调整、压裂液性能调整等的化学方法;第三篇为集输化学,分四章,主要介绍埋地管道的腐蚀与防腐、乳化原油的破乳与起泡沫原油的消泡、原油的降凝输送与减阻输送、天然气处理与油田污水处理等的化学方法。在各章中,本教材均着重说明生产过程中存在的化学本质和解决这些问题的化学用剂及其起作用的机理。

本教材在各章后均附上参考文献,供读者深入钻研参考。在教材后面还附上汉英索引和英汉索引,便于读者查阅。教材所涉及的名词术语均按全国自然科学名词审定委员会和石油工业标准化技术委员会有关文件的规定使用。

本教材可作为石油院校有关专业的教学用书,也可作为从事石油工程专业、应用化学专业、精细化工专业研究人员和工程人员,以及油田化学剂生产厂技术人员参考用书。

前言

油田化学是研究油田钻井、采油和原油集输过程中化学问题的科学^①。

油田化学是石油科学中最年轻的科学。

油田化学是由钻井化学、采油化学和集输化学三部分组成。这些组成部分构成了油田化学的研究对象。

钻井、采油和原油集输虽然是不同的过程,但它们是互相衔接的,因此油田化学三个组成部分虽有各自的发展方向,但它们是相互关联的。

钻井化学主要研究钻井液和水泥浆的性能及其控制与调整。

采油化学主要研究油层化学改造和油水井化学改造。

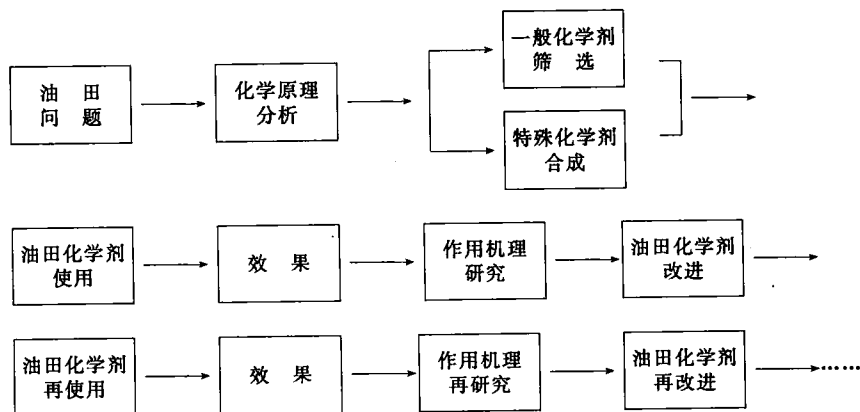
集输化学主要研究埋地管道的腐蚀与防腐、乳化原油的破乳与起泡沫原油的消泡、原油的降凝输送与减阻输送、天然气处理与油田污水处理等问题。

油田化学三个组成部分在解决各自的问题时,所应用的油田化学剂有许多是共同的。表面活性剂和高分子是它们最常用的两类化学剂。

油田化学的研究内容主要包括三个方面:

1. 研究钻井、采油和原油集输过程中存在问题的化学本质。
2. 研究解决存在问题所使用的化学剂。
3. 研究各种化学剂的作用机理和协同效应。

油田化学是按下列顺序进行研究的:



^① 见中华人民共和国石油天然气行业标准《油田化学常用术语》SY 5510-92。

从上面顺序可以看到,油田化学的研究是按实践—理论—实践的规律展开,循环向上,使油田化学不断发展。

油田化学与其他学科有着紧密的联系:

1. 油田化学中的一个任务是改造油层。要改造油层就必须认识油层。油田地质学是地质学的组成部分,它主要研究油层的物质组成、构造和油气水的分布,所以是认识油层的重要手段,因此油田化学与油田地质学有着密切的联系。

2. 油田化学是化学与钻井工程、油田开采工程(包括采油工程和油藏工程)、集输工程等工程学之间的边缘科学。油田化学所要解决的问题都是这些工程学提出的问题,因此,油田化学与这些工程学是紧密相关的。

3. 由于化学也是认识油层和改造油层的重要手段,因此各门基础化学(无机化学、有机化学、分析化学、物理化学、表面化学、胶体化学等)自然成为油田化学的基础。

4. 油田化学是通过油田化学剂改造油田。油田化学剂通常是溶于各种溶剂(流体)中使用的。油田化学剂的溶解,其后在界面上的吸附及在各相中的分配均对使用体系的性质产生重要的影响。这些影响可用流体力学和渗流力学的方法进行研究,因此油田化学与流体力学和渗流力学同样有着紧密联系。

考虑到油田化学知识对培养石油工程专业学生的重要性,所以设立了油田化学课程,并为此课程编写了本教材。

本教材对从事应用化学专业、精细化工专业研究人员和工程人员,以及油田化学剂生产厂技术人员有参考意义。

本教材按钻井、采油和原油集输的生产过程分三篇,共九章。第一篇为钻井化学,分三章,由郭东荣、高锦屏执笔;第二篇为采油化学,分两章,由赵福麟执笔;第三篇为集输化学,分四章,由张贵才、崔桂陵和赵福麟执笔。最后由赵福麟负责统稿。

希望本教材读者对教材中存在的问题提出宝贵意见,以便再版时改正。

编 者

2000年6月

目 录

第一篇 钻井化学

第一章 粘土矿物	2
第一节 粘土矿物的基本构造	2
第二节 粘土矿物	5
第三节 粘土矿物的性质	11
参考文献	16
第二章 钻井液化学	17
第一节 钻井液的功能与组成	17
第二节 钻井液密度及其调整	20
第三节 钻井液酸碱性及其控制	22
第四节 钻井液滤失性及其控制	24
第五节 钻井液流变性及其调整	34
第六节 钻井液中的固相及其含量的控制	48
第七节 钻井液润滑性及其改善	50
第八节 井壁稳定性及其控制	53
第九节 卡钻与解卡	57
第十节 钻井液的漏失与地层的堵漏	58
第十一节 钻井液体系	61
参考文献	69
第三章 水泥浆化学	73
第一节 水泥浆的功能与组成	73
第二节 水泥浆密度及其调整	76
第三节 水泥浆稠化及稠化时间的调整	78
第四节 水泥浆流变性及其调整	86
第五节 水泥浆滤失性及其控制	87
第六节 气窜及其控制	90
第七节 水泥浆漏失及其处理	92
第八节 水泥浆体系	93

参考文献	98
------------	----

第二篇 采油化学

第四章 油层的化学改造	102
第一节 聚合物驱	103
第二节 表面活性剂驱	109
第三节 碱驱	118
第四节 复合驱	124
第五节 混相驱	129
参考文献	136
第五章 油水井的化学改造	139
第一节 注水井调剖法	139
第二节 油井堵水法	148
第三节 油水井防砂法	159
第四节 油井的防蜡法与清蜡法	165
第五节 稠油乳化降粘开采法	175
第六节 油水井的酸处理及所用添加剂	177
第七节 压裂液及压裂用添加剂	193
参考文献	208

第三篇 集输化学

第六章 埋地管道的腐蚀与防腐	216
第一节 埋地管道的腐蚀	216
第二节 埋地管道的防腐	220
参考文献	234
第七章 乳化原油的破乳与起泡沫原油的消泡	236
第一节 乳化原油的破乳	236
第二节 起泡沫原油的消泡	245
参考文献	250
第八章 原油的降凝输送与减阻输送	252
第一节 原油的降凝输送	252
第二节 原油的减阻输送	261
参考文献	267
第九章 天然气处理与油田污水处理	269
第一节 天然气处理	269

第二节 油田污水处理.....	282
参考文献.....	298
附表.....	301
附表一 常用的表面活性剂.....	301
附表二 常用的高分子.....	324
索引.....	347
汉英索引.....	347
英汉索引.....	362

第一篇 钻井化学

钻井化学是油田化学的一部分。

钻井化学是钻井工程学与化学之间的边缘科学。

钻井化学是研究如何用化学方法解决钻井和固井过程中遇到的问题。

由于钻井过程和固井过程中遇到的问题主要来自钻井液和水泥浆,因此钻井化学可分为钻井液化学和水泥浆化学。

钻井液化学是通过研究钻井液的组成、性能及其控制与调整,达到优质、快速、安全、经济地钻井的目的。在钻井液性能的控制与调整中,化学法是重要的方法。为了掌握这一方法,必须了解各种钻井液处理剂的类型、结构、性能及其作用机理,这是钻井液化学的主要组成部分。

水泥浆化学是通过研究水泥浆的组成、性能及其控制与调整,达到封隔漏失层、复杂地层和保护产层、套管的目的。因此,水泥浆外加剂和外掺料的类型、结构、性能及其作用机理成为水泥浆化学的主要组成部分。

粘土是配制钻井液的重要原材料,它的主体矿物为粘土矿物,粘土矿物的结构和基本特性与钻井液的性能及其控制与调整密切相关,所以在学习钻井液化学之前,应对粘土矿物的结构和基本特性有一个基本了解。因此,在本篇中,将粘土矿物编成一章,而钻井液化学和水泥浆化学分别编成另外两章。

第一章 粘土矿物

粘土矿物是粘土的主体矿物,它的晶体结构及其基本特性对钻井液性能有直接的影响。

第一节 粘土矿物的基本构造^[1~3]

虽然粘土矿物种类繁多,结构也不相同,但都有相同的基本构造单元,这些基本构造单元组成基本构造单元片,再由这些基本构造单元片组成基本结构层,最后由这些基本结构层组成各种粘土矿物。

一、基本构造单元及基本构造单元片

粘土矿物有两种基本构造单元,即硅氧四面体和铝氧八面体。这两种基本构造单元组成两种基本构造单元片。

1. 硅氧四面体与硅氧四面体片

硅氧四面体由一个硅等距离地配上四个比它大得多的氧构成(图 1-1)。从图 1-1 可以看到,在硅氧四面体中,有三个氧位于同一平面上,称为底氧,剩下一个位于顶端,称为顶氧。

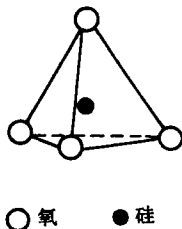


图 1-1 硅氧四面体

硅氧四面体片是由多个硅氧四面体共用底氧形成的(图 1-2)。因此,每个硅氧四面体片均有底氧面和顶氧面。显然,底氧面比顶氧面含有更多的氧。硅氧四

面体片可在平面上无限延伸,形成六方网格的连续结构(图 1-3),该结构中的六方网格内切圆直径约为 0.288 nm,硅氧四面体片厚度约为 0.5 nm。

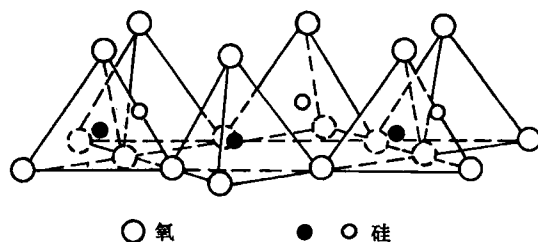


图 1-2 硅氧四面体片

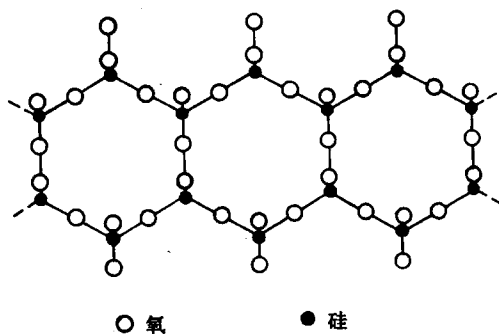


图 1-3 硅氧四面体的六方网格结构

2. 铝氧八面体与铝氧八面体片

铝氧八面体是由一个铝与六个氧(或羟基)配位而成(图1-4)。

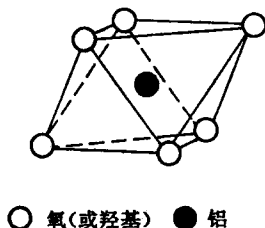


图 1-4 铝氧八面体

同样,铝氧八面体片也是以共用氧的形式构成,铝氧八面体片有两个相互平行的氧(或羟基)面。铝氧八面体片中所有氧(或羟基)都分布在这两个平面上(图

1-5)。

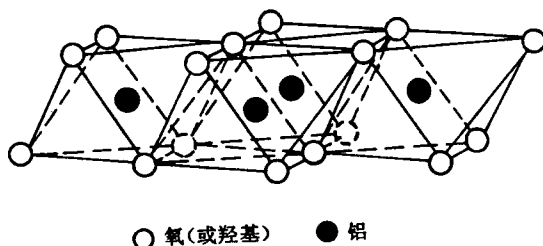


图 1-5 铝氧八面体片

二、基本结构层

粘土矿物的基本结构层(又称单位晶层)是由硅氧四面体片与铝氧八面体片按不同比例结合而成。

1. 1:1 层型基本结构层

这种基本结构层是由一个硅氧四面体片与一个铝氧八面体片结合而成,它是层状构造的硅铝酸盐粘土矿物最简单的晶体结构。

在 1:1 层型的基本结构层中,硅氧四面体片的顶氧构成铝氧八面体片的一部分,取代了铝氧八面体片的部分羟基。因此,1:1 层型的基本结构中有五层原子面,即一层硅面,一层铝面和三层氧(或羟基)面。高岭石的晶体结构是由这种基本结构层构成的。

2. 2:1 层型基本结构层

这种基本结构层是由两个硅氧四面体片夹着一个铝氧八面体片结合而成。两个硅氧四面体片的顶氧分别取代了铝氧八面体片的两个氧(或羟基)面上部分羟基。因此,2:1 层型的基本结构中有七层原子面,即一层铝面,两层硅面和四层氧(或羟基)面。蒙脱石的晶体结构是由这种基本结构层构成的。

三、由基本结构层重复堆叠引伸出来的概念

粘土矿物分别由上述两种基本结构层堆叠而成。当两个基本结构层重复堆叠时,相邻基本结构层之间的空间称为层间域;基本结构层加上层间域称为粘土矿物的单位构造;存在于层间域中的物质称为层间物;若层间物为水时,则这种水称为层间水;若层间域中有阳离子,则这些阳离子称为层间阳离子。这些都是由基本结构层重复堆叠引伸出来的几个重要概念。

第二节 粘土矿物

粘土矿物有高岭石、蒙脱石、伊利石、绿泥石、海泡石、坡缕石等,其中以前三者为最常见。

一、高岭石

高岭石的基本结构层是由一个硅氧四面体片和一个铝氧八面体片结合而成,属于1:1层型粘土矿物。基本结构层沿层面(即直角坐标系的 a 轴和 b 轴)无限延伸,沿层面垂直方向(即直角坐标系的 c 轴)重复堆叠而构成高岭石粘土矿物晶体,其晶层间距约为0.72 nm(图1-6)。

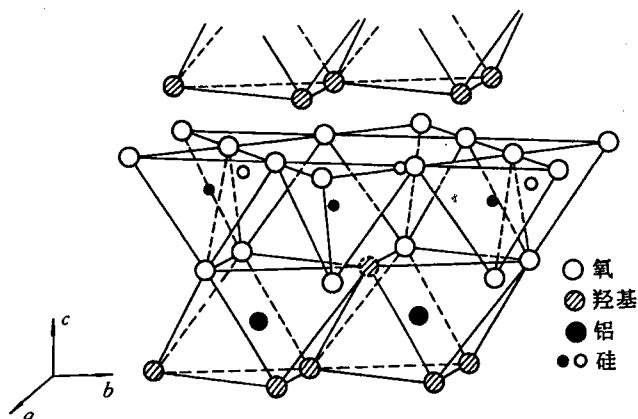


图 1-6 高岭石的晶体结构

在高岭石的结构中,晶层的一面全部由氧组成,另一面全部由羟基组成。晶层之间通过氢键紧密联结,水不易进入其中。

高岭石很少晶格取代。所谓晶格取代是指硅氧四面体中的硅和铝氧八面体中的铝为其他原子(通常为低一价的金属原子)取代,例如硅为铝取代,铝为镁取代等。晶格取代的结果,使晶体的电价产生不平衡。为了平衡电价,需在晶体表面结合一定数量的阳离子。这些只是为了平衡电价而结合的阳离子是可以互相交换的,所以称为可交换阳离子。由于高岭石很少晶格取代,所以它的晶体表面就很少的可交换阳离子。

粘土矿物中,高岭石属于非膨胀型的粘土矿物,这可从其晶层间存在氢键和

晶体表面只有很少的可交换阳离子两方面理解。

二、蒙脱石

蒙脱石的基本结构层是由两个硅氧四面体片和一个铝氧八面体片组成,属于 2:1 层型粘土矿物。在这个基本结构层中,所有硅氧四面体的顶氧均指向铝氧八面体。硅氧四面体片与铝氧八面体片是通过共用氧联结在一起。基本结构层沿 a 轴和 b 轴方向无限延伸,沿 c 轴方向重复堆叠而构成蒙脱石粘土矿物晶体(图 1-7)。

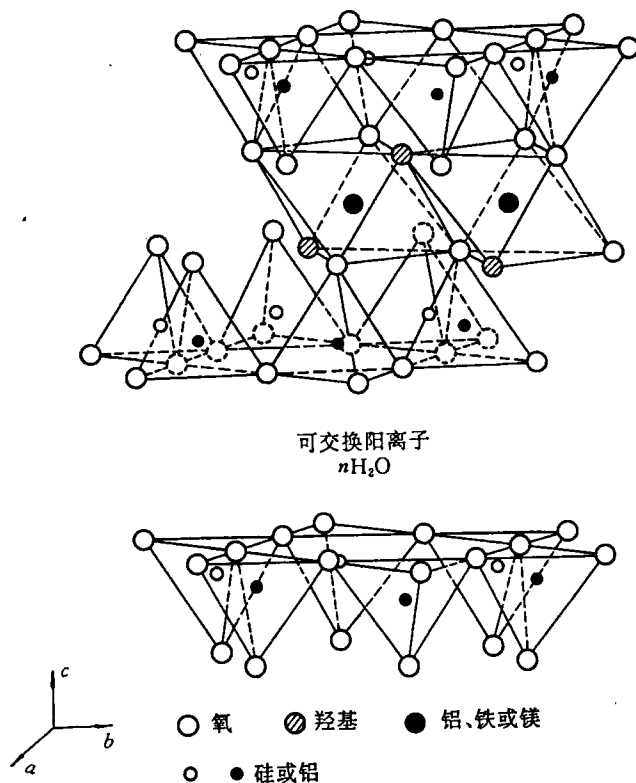


图 1-7 蒙脱石的晶体结构

在粘土矿物中,蒙脱石属膨胀型粘土矿物。这一方面是由于蒙脱石结构中,晶层的两面全部由氧组成,晶层间的作用力为分子间力(不存在氢键),联结松散,水易于进入其中;另一方面是由于蒙脱石有大量的晶格取代,在晶体表面结合了大量可交换阳离子,水进入晶层后,这些可交换阳离子在水中解离,形成扩

散双电层,使晶层表面带负电而互相排斥,产生通常看到的粘土膨胀。

由于蒙脱石的上述特性,所以它的层间距是可变的,一般在 $0.96 \sim 4.00 \text{ nm}$ 范围。

蒙脱石的晶格取代主要发生在铝氧八面体片中,由铁或镁取代铝氧八面体中的铝。硅氧四面体中的硅很少被取代。晶格取代后,在晶体表面可结合各种可交换阳离子。当可交换阳离子主要为钠离子时,该蒙脱石称为钠蒙脱石;当可交换阳离子主要为钙离子时,该蒙脱石称为钙蒙脱石。此外,还有氢蒙脱石、锂蒙脱石等。

膨润土的主要成分是蒙脱石,它是一种重要的钻井液材料。一级膨润土主要为钠蒙脱石,称钠土;二级膨润土主要为钙蒙脱石,称钙土。它们可作为钻井液的悬浮剂和增粘剂。

三、伊利石

伊利石的基本结构层与蒙脱石相似,也是由两个硅氧四面体片和一个铝氧八面体片组成,属于 $2:1$ 层型粘土矿物(图 1-8)。

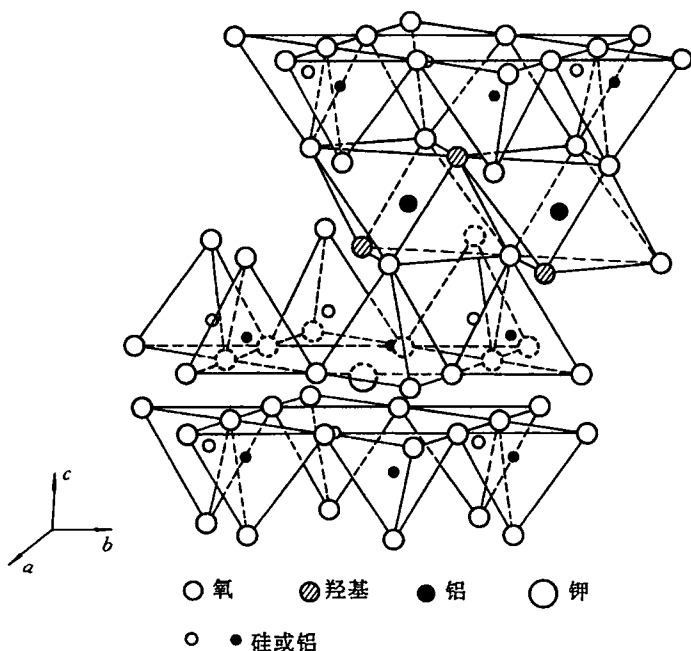


图 1-8 伊利石的晶体结构