

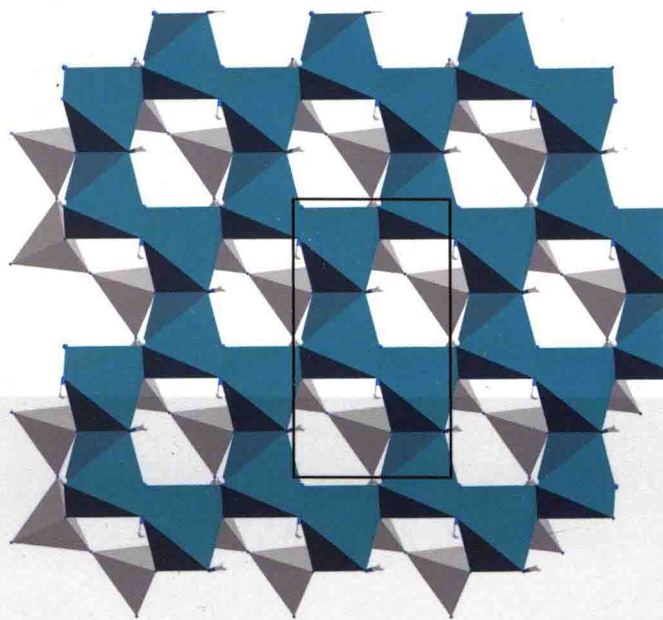
高 / 等 / 学 / 校 / 教 / 材

黏土矿物学

CLAY MINERALOGY

高翔 主编

XIANG GAO



化学工业出版社

高 / 等 / 学 / 校 / 教 / 材

黏土矿物学

CLAY MINERALOGY

高翔 主编

XIANG GAO



化学工业出版社

· 北 京 ·

《黏土矿物学》一书从黏土矿物的晶体化学特征、分类命名、黏土矿物各族的晶体结构特征、物理化学性质、成因与分布、分离提纯技术、研究方法和应用现状等八个方面对黏土矿物进行系统论述，涉及蛇纹石-高岭石族、滑石-叶腊石族、云母族、蒙皂石-蛭石族、绿泥石族、坡缕石-海泡石族和间层矿物等黏土矿物各族的晶体结构，以及黏土矿物的四类成因类型，即风化型、自生型、成岩型和蚀变型。力图将近年来黏土矿物发展以及在各领域的应用研究现状尽可能全面系统地呈现给读者，为读者学习黏土矿物学和从事黏土矿物的科学研究提供方便。

本书可作为地球科学、材料科学、土壤科学、环境科学等学科的本科生和研究生教材，也可作为相关领域科研人员的参考书和工具书。

图书在版编目 (CIP) 数据

黏土矿物学/高翔主编. —北京：化学工业出版社，2017. 7

ISBN 978-7-122-29610-8

I. ①黏… II. ①高… III. ①粘土矿物-高等学校-教材 IV. ①P578

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 100771 号

责任编辑：窦 臻
责任校对：边 涛

文字编辑：李 瑾
装帧设计：关 飞

出版发行：化学工业出版社（北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011）
印 装：三河市延风印装有限公司
787mm×1092mm 1/16 印张 14³/₄ 彩插 3 字数 377 千字 2017 年 8 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询：010-64518888（传真：010-64519686）
售后服务：010-64518899
网 址：<http://www.cip.com.cn>
凡购买本书，如有缺损质量问题，本社销售中心负责调换。

定 价：59.00 元

版权所有 违者必究

前 言

黏土在日常生活中极为常见，土壤和岩石中都有黏土，人类开发利用黏土的历史可以追溯到六千年前，在原始社会新石器时期，人们就开始利用黏土烧制各种陶器器皿供生活使用，因此，黏土的利用要比金属早得多。

人类对黏土的认识经历了一个过程。在开发利用黏土的初期，仅凭借经验去利用黏土的各种特性，如根据黏土遇水形成胶体的性质，认为构成黏土的物质可能都是非晶质，因为当时认为凡是胶体都是非晶质的，但对黏土的本质并不清楚。直到 1895 年伦琴发现 X 射线之后，Hadding 和 Rinne 分别在 1923 年和 1924 年通过 X 射线衍射对黏土进行分析，得出结论：大部分黏土为结晶质。此后，Ross 和 Shannon 分别在 1925 年和 1926 年对已被工业利用的黏土进行了光学、热学、X 射线以及化学成分等方面的研究，再次肯定了大部分黏土是结晶质的结论，并把黏土中的结晶物质定名为“黏土矿物”，从此确立了黏土的新观念。

黏土物质虽种类繁多、成分复杂、性质独特，但黏土的研究已取得很大进展。综合黏土的粒度、化学成分和结构特征等，将黏土矿物定义为：黏土矿物是自然界分布广泛、具有无序过渡结构的微粒（ $<2\mu\text{m}$ ）、含水的层状结构硅酸盐和层链状结构硅酸盐矿物。黏土矿物是构成地球表面岩石和土壤细粒部分（ $<2\mu\text{m}$ ）的主要矿物。

纵观人类社会发展的自然进程可以看出，从农耕时代到工业时代，再到现阶段的后工业时代，均是以利用地球资源的增长为标志的。而黏土作为自然界中分布最广的一种天然矿物，约占岩石圈和风化壳总量的一半。为满足人类生产生活的需要，自 19 世纪 50 年代以来，黏土矿物学作为地质学领域中一门独立学科得到了迅速发展，而黏土和黏土矿物作为一种重要的矿产资源，也成为陶瓷、橡胶、塑料、造纸、纺织、食品加工、医药与农药、日用产品（洗涤及化妆产品）和铸造等工业的重要原料和配料，在国民经济中发挥着重要作用。

近十多年来，黏土矿物因其特有的层状和层链状晶体结构、特殊的物理化学性质（如离子交换、吸水膨胀）等，其应用得到快速发展，如将黏土矿物制备成黏土复合材料，广泛应用于环境工程领域，在水体和土壤污染物的净化、核工业和核废料的存储方面等取得显著成效。在地学领域，黏土矿物用于油气的勘探开发和同位素年龄的测定；因黏土矿物的形成对环境气候的变化非常敏感，近年来也被应用于古环境古气候的重建，成为研究不同地质历史时期古环境古气候的一个行之有效的方法与手段，为我们判断古气候并研究其发展演化提供了重要的矿物学依据。

《黏土矿物与黏土岩》（地质出版社，1992）是 20 世纪 90 年代北京大学地质系任磊夫教授主编的黏土教材。时隔多年，黏土矿物学有了飞速发展，特别是在应用领域，已从传统的工业应用发展到环境保护与人类健康以及高科技的纳米材料。为满足现阶段教学和科研的需要，编者广泛查阅文献，并结合科研工作中的一些经验，经过四年的准备，编写完成本书。

本书共八章。第一～六章，第七章第一、第三和第五节，第八章第六节由中国地质大学（北京）科学研究院高翔副教授编写；黏土矿物的晶体结构图由高翔副教授和北京理工大学化学化工学院潘蕊博士绘制；第七章第二、第四节，以及第八章第一～五节由北京理工大学

分析测试中心马宏伟副教授编写；第八章第七节由中国地质大学（北京）海洋学院李琦副教授编写；第八章第八节由中国地质大学（北京）珠宝学院郭颖副教授编写。研究生石东东录入了附录部分，并对部分文献进行校正；董娟参与了部分文字的录入。本书从晶体结构特征、物理化学特性、地质成因与分布、分离提纯技术和分析鉴定方法等方面对黏土矿物进行系统阐述，特别是对近十几年来国内外学者对黏土矿物应用的研究现状进行了综述，旨在将黏土矿物学较全面地展现在读者面前。因此，本书可作为地球科学和材料科学等专业的本科生和研究生教材，也可作为相关行业科研人员的参考书和工具书。

本书为北京市“矿物材料学优秀教学团队”教改项目，由该项目和教育部“材料科学与工程国家级特色专业建设”项目经费共同资助。从立项到编写的过程中，中国地质大学（北京）马鸿文教授和蔡克勤教授给予了大力支持与鼓励！两位教授对全书进行了评审，提出了宝贵的修改意见。在此，一并致谢！

因水平有限，加之时间仓促，书中疏漏之处在所难免，敬请读者批评、指正！

中国地质大学（北京）科学研究院

高翔

2017年4月

目 录

第一章 黏土矿物的晶体化学特征	1
第一节 基本结构单元	1
第二节 基本结构层	3
第三节 层间域、层间物、层电荷和单位结构	4
第四节 有序-无序和多型	5
参考文献	6
第二章 黏土矿物分类与命名	7
第一节 分类	7
第二节 命名	9
参考文献	12
第三章 黏土矿物族的晶体结构特征	13
第一节 蛇纹石-高岭石族	13
第二节 滑石-叶腊石族	21
第三节 云母族	24
第四节 蒙皂石-蛭石族	32
第五节 绿泥石族	39
第六节 坡缕石-海泡石族	46
第七节 间层矿物	48
参考文献	56
第四章 黏土矿物的物理化学性质	58
第一节 基本概念	58
第二节 吸附性	65
第三节 膨胀性	68
第四节 黏土胶体的流变性质	71
第五节 黏土-有机质相互作用	71
参考文献	73
第五章 黏土矿物的成因和分布	74
第一节 风化黏土矿物	74
第二节 自生黏土矿物	78

第三节	成岩黏土矿物	82
第四节	蚀变黏土矿物	84
参考文献		86
第六章	黏土矿物的分离提纯技术方法	87
第一节	分散	87
第二节	分离	88
第三节	分离程序简介	92
参考文献		95
第七章	黏土矿物的研究方法	96
第一节	X 射线衍射分析	96
第二节	透射电子显微镜分析.....	106
第三节	傅里叶变换红外光谱分析.....	111
第四节	热分析.....	115
第五节	比表面积和孔隙率.....	121
参考文献		128
第八章	黏土矿物的应用	138
第一节	概述.....	138
第二节	黏土矿物的传统应用.....	140
第三节	纳米复合材料和催化剂.....	149
第四节	黏土与环境保护和人类健康.....	157
第五节	沉积黏土矿物在地质测年方面的应用.....	168
第六节	黏土矿物重建古环境气候的应用.....	170
第七节	黏土矿物在油气地质方面的应用.....	178
第八节	宝玉石中的黏土矿物.....	189
参考文献		200
附录 1	常见黏土矿物粉晶 X 射线衍射数据	211
附录 2	黏土矿物中英文名称对照表	227
附录 3	常见黏土矿物的扫描电镜照片	228

第一章 黏土矿物的晶体化学特征

第一节 基本结构单元

黏土矿物是自然界分布广泛、具有无序过渡结构的、微粒的 ($<2\mu\text{m}$)、含水的层状结构硅酸盐和层链状结构硅酸盐矿物。黏土矿物是构成地球表面岩石和土壤细粒部分 ($<2\mu\text{m}$) 的主要矿物。

大多数黏土矿物为层状结构硅酸盐。在硅酸盐晶体结构中, 每个硅原子一般为四个氧原子所包围, 构成 $[\text{SiO}_4]$ 四面体。硅酸盐晶体结构中的四面体既可以孤立地被其他阳离子包围, 也可彼此以共角顶的方式连接起来形成各种形式的硅氧骨干。因此, 层状结构是硅氧四面体连接的一种硅氧骨干形式。

下面就黏土矿物晶体结构中的基本结构单元进行介绍。

一、硅氧四面体

硅氧四面体 $[\text{SiO}_4]$ (符号为 T) 是硅酸盐矿物最稳定的基本结构单元。硅氧四面体由一个位于中心的 Si^{4+} 离子和四个位于四周的 O^{2-} 离子构成 (图 1-1)。硅离子的配位数为 4, 它赋予每个氧离子的电价为 1, 即等于氧离子电价的一半, 氧离子另一半电价可以用来联系其他阳离子, 也可以与另一个硅离子相连。每个硅氧四面体中, 有三个氧位于同一平面上, 另一个氧搁在顶端。位于同一平面上的三个氧称为“底氧”, 位于顶端的氧称为“顶氧”。硅氧四面体的四个氧各带一个负电荷。

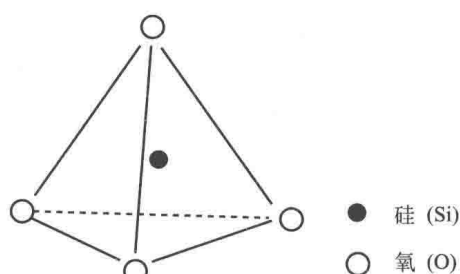


图 1-1 硅氧四面体

二、四面体片

在层状结构中, 所有的硅氧四面体 $[\text{SiO}_4]$ 分布在同一平面内, 每个四面体底部的三个氧 (底氧) 分别与相邻的三个硅氧四面体共用, 在二维空间连接并无限延展为硅氧四面体片 (图 1-2), 一个四面体片中所有的未共用顶氧都指向同一方向。硅氧四面体片在平面上呈六边形网格状 (图 1-3), 它的化学式为 $[\text{Si}_4\text{O}_{10}]^{4-}$ 。由于四面体片含有负电荷, 因此, 在实际的矿物晶体结构中, 四面体片能与阳离子结合而存在。四面体配位位置只适应那些体积较小的阳离子, 这些阳离子主要是 Si^{4+} , 其次为 Al^{3+} , 很少为 Fe^{3+} 。占据四面体配位位置的阳离子称为四面体阳离子。

三、铝氧八面体与铝氧八面体片

八面体是由两层氧离子或氢氧离子紧密堆积而成, 大阳离子位于其中呈八面体配位 (图 1-4)。这种构型适合于 Al^{3+} 、 Mg^{2+} 、 Fe^{2+} 和 Fe^{3+} 等较大的阳离子配位, 但不适合于

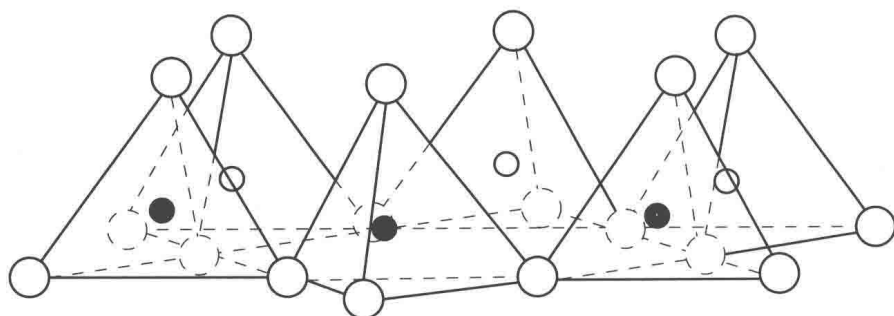


图 1-2 硅氧四面体片 (图中大白球为氧 O, 黑球和小白球为硅 Si)

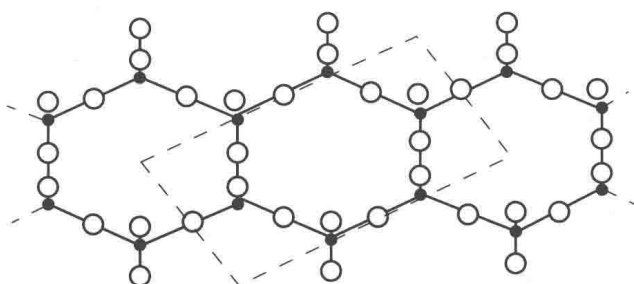


图 1-3 硅氧四面体片在平面上的投影呈六边形网格

Ca^{2+} 、 Na^{+} 、 K^{+} 等更大的阳离子配位。占据八面体配位位置的阳离子称为八面体阳离子。八面体片含有两个六边形氧或氢氧面，若把这两个面的第一个面（下层氧或氢氧面）形象化地表示，就会发现，每三个球内就有一个是虚线或空心的（图 1-4），这个位置可以交替地被阳离子或上层面的氧（或氢氧）所占据。八面体中，连接六个最近的氧或氢氧的棱形成一个具有八个面的几何整体，即八面体（图 1-4）。在八面体片中，八面体各自以它的一个面摆置成一个平面（图 1-4）。

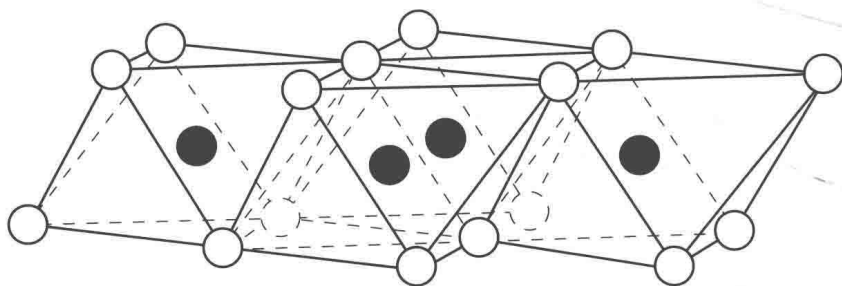


图 1-4 八面体链接成片 (图中白球为羟基 OH, 黑球为铝、镁等)

四、三八面体与二八面体

与四面体片不同，八面体片能够独立存在，如水镁石 $[\text{Mg}_3(\text{OH})_6]$ 和三水铝石 $[\text{Al}_2(\text{OH})_6]$ 就是全部由八面体片组成的矿物。水镁石的结晶结构如图 1-4 所示，从图中可以看出，所有的阳离子配位位置上均有阳离子占位，而在三水铝石的晶体结构中，仅有三分之二的阳离子配位位置上有阳离子占位。这一事实引出了一对非常重要的结构术语，即三八面体和二八面体。水镁石是三八面体结构（3/3 占位）矿物，三水铝石是二八面体结构（2/3 占位）矿物。由此可见，三八面体就是八面体阳离子配位位置全部被二价阳离子 Mg^{2+} 、 Fe^{2+} 等充填，二八面体就是八面体阳离子配位位置只有三分之二被三价阳离子

Al^{3+} 、 Fe^{3+} 等充填。若同时存在二价和三价阳离子时，则为两者之间的过渡型结构。

第二节 基本结构层

层状硅酸盐矿物晶体结构主要是由四面体片与八面体片两种基本结构层组成，这两种基本结构层彼此相连组成结构单元层。根据四面体片和八面体片的配合比例，层状结构硅酸盐矿物的结构单元层有两种基本形式：1：1 层型和 2：1 层型。

一、1：1 层型

又称为双层型构造单元层，是由一个八面体片（层）和一个四面体片（层）结合而成，是层状构造硅酸盐黏土矿物最简单的晶体结构（图 1-5），高岭石族是 1：1 层型矿物的典型代表。1：1 层可以是二八面体的，也可以是三八面体的。从图 1-5 可以看出，在 1：1 层中，四面体片的未共用顶氧构成八面体片的一部分，替代了八面体片的羟基。因此，1：1 层中共有五层原子面，三层大阴离子 $[(\text{OH})^- \text{ 或 } \text{O}^{2-}]$ 面和二层分布在阴离子面之间的八面体阳离子面及 Si^{4+} 阳离子面。若八面体片位于下边（图 1-5），则第一个面全部是 $(\text{OH})^-$ ，接着是八面体阳离子面，再接着是 $(\text{OH})^-$ 和 O^{2-} （四面体顶氧）混合面，其后是 Si^{4+} 阳离子面，最上边的全部为 O^{2-} 的氧面。三层大阴离子面的中间一个面同属于八面体片和四面体片。

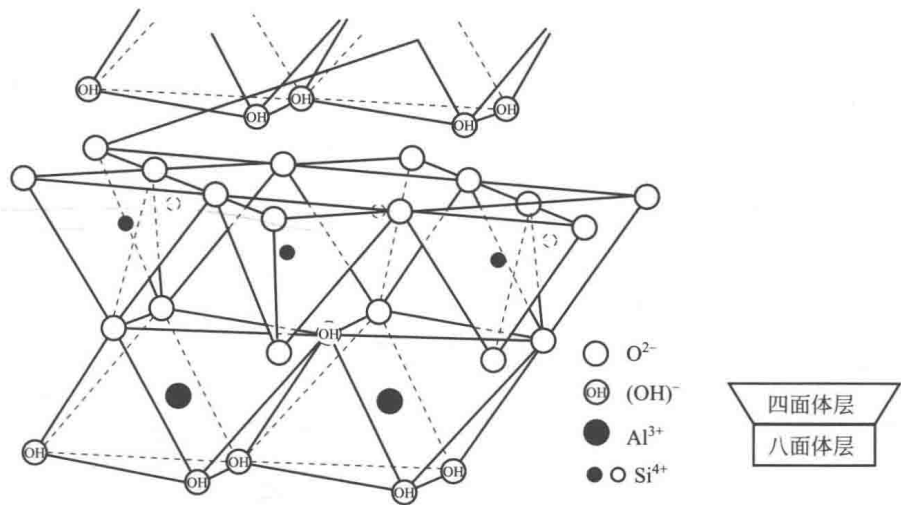


图 1-5 高岭石的晶体结构（1：1 层型二八面体层状结构）

二、2：1 层型

层状构造硅酸盐黏土矿物的另外一个基本层就是由两个四面体片和一个八面体片组成的 2：1 层（图 1-6），亦称为三层型结构单元层。云母族是 2：1 层型矿物的典型代表。

从图 1-6 可以看出，2：1 层与 1：1 层类似，只不过是另外一个四面体片的方位与第一个四面体片的方位正好相反。图 1-6 中最下面一个四面体片是另外一个 2：1 的一部分。整个 2：1 含有四层大阴离子面 $[\text{O}^{2-}、(\text{OH})^-]$ 和三层阳离子面。2：1 层的底面全部为 O^{2-} ，其次为 Si^{4+} 离子面、 O^{2-} 和 $(\text{OH})^-$ 混合面、八面体阳离子面，再其次是另外一个 O^{2-} 、 $(\text{OH})^-$ 混合面和另外一个 Si^{4+} 面，最后为 O^{2-} 面。值得注意的是，八面体片的氧部分地由上、下两个四面体片的相对指向的顶氧构成。2：1 层可以是二八面体的，也可以是三八面体的。

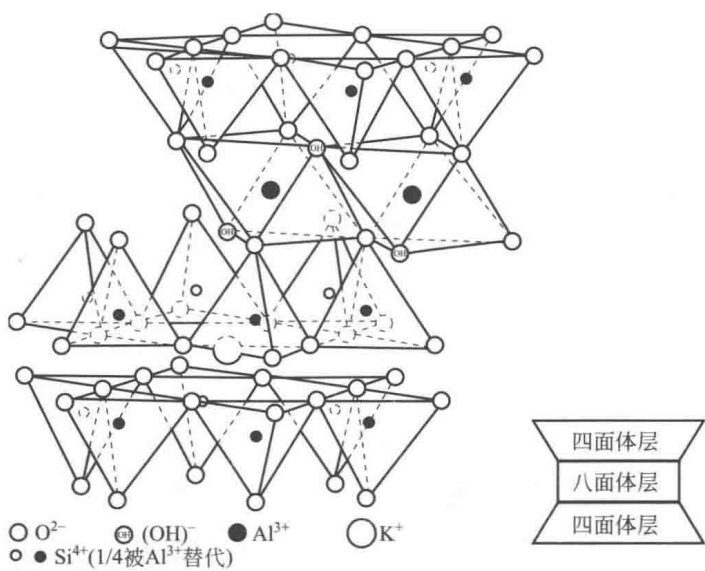


图 1-6 白云母的晶体结构 (2 : 1 层型二八面体层状结构)

三八面体，图 1-6 是白云母的结晶构造，它是一种 2 : 1 层型的二八面体层状构造硅酸盐。

第三节 层间域、层间物、层电荷和单位结构

层状结构硅酸盐黏土矿物是由基本结构层 (1 : 1 层或 2 : 1 层) 重复堆叠而成。当两个基本结构层重复堆叠时，相邻的基本结构层之间的空间称为层间域，常用的代号是 I (图 1-7)。层间域中可以有物质存在，也可以没有物质存在。存在于层间域中的物质称为层间物。层间物可以是水 (如埃洛石)、水和交换性阳离子 (如蒙皂石和蛭石)，也可以是阳离子 (如云母类矿物)。特别值得提出的是绿泥石矿物，在它的层间域中存在着一层氢氧化物八面体片 (图 1-8)。

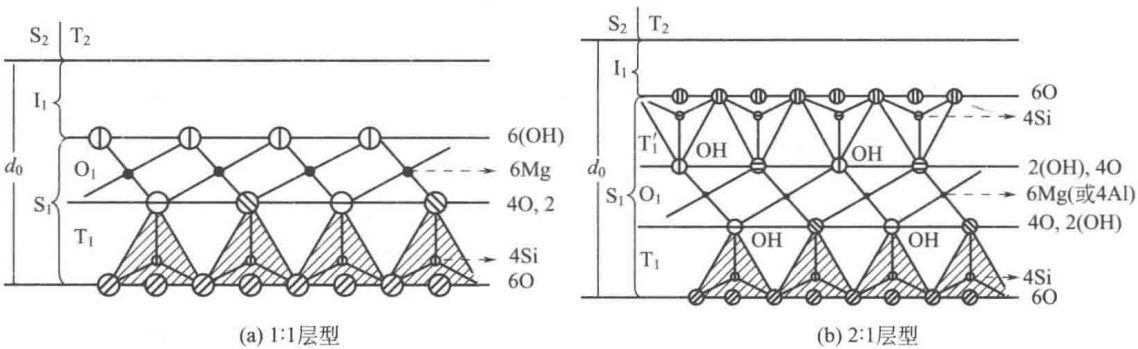


图 1-7 1 : 1 层型和 2 : 1 层型沿 *b* 轴的投影

T_1 , T_2 为第一、第二单位构造层的四面体 (片); T_1' 为 2 : 1 结构层的第二个四面体 (片); O_1 为第一单位构造层的八面体 (片); S_1 , S_2 为第一、第二单位构造层; I_1 为第一单位构造层的层间域; d_0 为单位构造层的高度

基本结构层与层间域组成的层状体称为单位构造，单位构造的高度用 d_0 表示 (图 1-7, 图 1-8)，如果忽略边缘破键，单独的 1 : 1 层或 2 : 1 层可以是电中性的，也可以是带有负电荷的，若带有负电荷，则所带的负电荷被层间域内的层间物所平衡。层间域中平衡 1 : 1 层

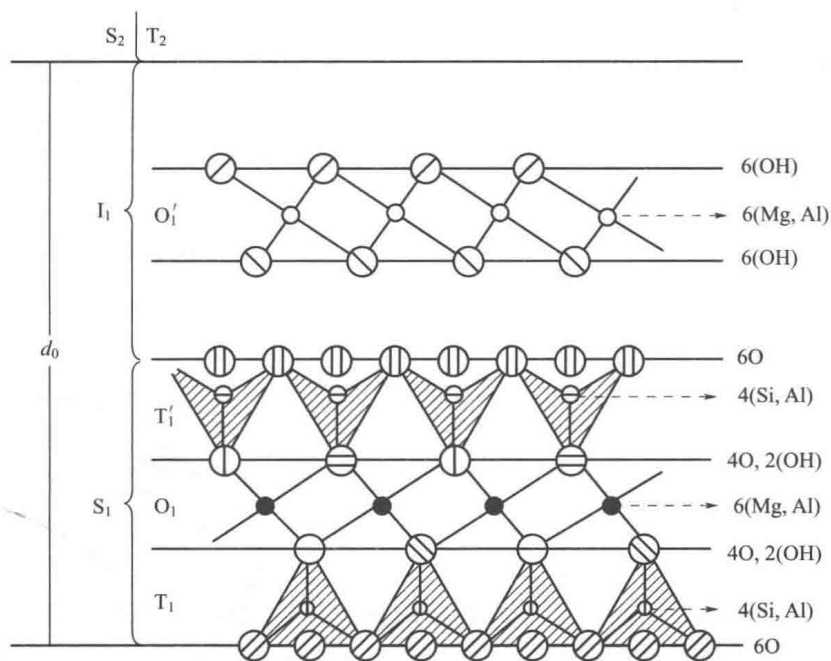


图 1-8 绿泥石结构沿 b 轴的投影

T_1 , T_2 为第一、第二单位构造层的四面体 (片); T'_1 为 2 : 1 结构层的第二个四面体 (片); O_1 为第一单位构造层的八面体 (片); O'_1 为第一单位构造层的层间八面体 (片); S_1 , S_2 为第一、第二单位构造层; I_1 为第一单位构造层的层间域; d_0 为单位构造层的高度

或 2 : 1 层的负电荷的阳离子称层间阳离子。理想的 1 : 1 层或 2 : 1 层都是电中性的，层电荷是四面体片或八面体片中的阳离子替代的结果，因此，层电荷受四面体片或八面体片中阳离子替代所控制。四面体片中的阳离子替代所产生的层电荷称为四面体电荷，八面体片中的阳离子替代所产生的层电荷称为八面体电荷。

第四节 有序-无序和多型

一、有序-无序

有序-无序是一个结晶学概念。从理论上讲，原子或离子在结晶过程中总是倾向于进入特定的结构位置，形成有序结构，从而最大限度地降低内能，达到最稳定的状态。通常所指的结构有序是长程有序，也就是全部点阵都作有秩序有规律的分布。与长程有序相对应的是短程有序。短程有序指的是镶嵌在一个个小区域，即晶畴范围内的有序结构。结晶过程中的热扰动或晶体的快速生长都会促使原子或离子随机地占据任何可能的结构位置，从而形成无序结构。由于无序结构中的原子或离子是随机地占据任何可能的结构位置，内能大，所以无序结构是一种不稳定的结构。有序-无序之间是可以相互转化的，当温度高于某一临界值时，有序结构将转变为无序结构，反之，当温度低于这个临界值时，无序结构又会向有序结构转变，由无序结构向有序结构的转变作用称为有序化。有序结构也称为超结构或超点阵。

有序-无序现象在黏土矿物中十分普遍，既存在阳离子替代的有序-无序，也存在晶层重叠的有序-无序。如果各晶层重叠时的位移不一样，就形成无序黏土矿物。不同晶间层的相互重叠称间层结构，如果从重叠顺序考虑则有完全有序、部分有序和无序之分。有序间层是

一种整体有序现象,即在一个单晶体的范围内,不同晶层的有序分布(不同晶层规则交替出现)延伸到整个晶体的全部,从整个晶体范围看,不同晶层的分布都是有序的。部分有序间层是一种局部有序现象,即在一个单晶体范围内,在其晶体的一个个局部区域(即晶畴)内,不同晶层均呈有序分布,但从整个晶体范围看,不同晶层的分布则是无序的。无序间层是整个晶体范围内的不同晶层的分布都是无序的。

二、多型

在结晶学上,成分相同的物质在不同的物理化学条件下形成不同结构的现象称为同质多象,由此形成的晶体称为该成分的同质多象变体,亦称为多形。在层状结构硅酸盐中,单元晶层沿 c 轴按不同方式重叠而成的同质多象变体称为多型。多型是一维的狭义多形,是一种特殊类型的多形。

从多型的定义可以看出,对于同一物质的各个多型变体而言,它们晶体内部的结构单元层都相同,仅是层的堆积顺序和堆积方式(平移和旋转)不同,因此,各变体间在平行于层面的两个方向上,晶胞参数的数值必然都相等或有一定的对应关系,而在垂直于层的第三个方向上,各变体的晶胞高度均应等于某一数值的整数倍。因此,公因子的值取决于单独一层结构单元层的高度,而整数即为单位晶胞中结构单元层的数目。地开石和珍珠石是高岭石的多型,高岭石是一层型,其单位晶胞的高度约为 $7.2\text{\AA}$ ($1\text{\AA}=0.1\text{nm}$),与结构单元层(单位结构层)的高度相等;地开石是二层型多型变体,其单位晶胞的高度约为 $14.4\text{\AA}$,是结构单元层高度的二倍;珍珠石是六层型多型变体,其单位晶胞的高度约为 $43.2\text{\AA}$,是结构单元层高度的六倍。

因层的堆积顺序和堆积方式不同,同一物质的各个多型变体的结构对称性,即空间群或晶系亦不同。常用的多型符号一般是由一个数字和一个字母组成。前面的数字指示单位晶胞内结构单元层的数目,即重复层数(它必定是一个自然数),后面的大写斜体字母指示所属的晶系;如果有两个或两个以上的变体属于同一晶系并且有相等的重复层数时,则在最后再加下标以示区别,如云母的两单斜晶系的二层型多型变体 $2M_1$ 和 $2M_2$ (M 表示单斜晶系, O 表示四方晶系, T 表示三方晶系, H 表示六方晶系)。

参 考 文 献

- [1] Alain Meunier. 2005. Clays. Germany: Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2005: 60-67.
- [2] Haydn H Murray. 2007. Applied Clay Mineralogy: Occurrences, Processing and Application of Kaolins, Bentonites, Palygorskite-Sepiolite, and Common Clays. Elsevier: Elsevier Radarweg 29, PO Box 211, 1000 AE Amsterdam, The Netherlands, 2007: 7-25.
- [3] 赵杏媛, 张有瑜. 粘土矿物与粘土矿物分析. 北京: 海洋出版社, 1990.

第二章 黏土矿物分类与命名

第一节 分 类

黏土矿物的分类是对黏土矿物研究成果的概括和总结，随着对黏土矿物的不断发现和认识，不同时期的分类不同。目前所知，20 世纪 80 年代是国际黏土矿物的最后一次分类，本书只简要介绍此次黏土矿物的分类概况，不讨论黏土矿物分类的历史。

一、分类准则

黏土矿物有层状结构和层链状结构。层状结构黏土矿物的分类依据是：

- ① 四面体片-八面体片的层型（如 1：1 层型，2：1 层型）；
- ② 层电荷（ x ） $[x = \text{层电荷} / \text{O}_{10}(\text{OH})_2]$ ；
- ③ 八面体片中的阳离子容量（二八面体的或三八面体的）；
- ④ 层间物的类型；
- ⑤ 多型（单元晶层的堆叠方式）；
- ⑥ 化学成分；
- ⑦ 间层黏土矿物组成层的类型；
- ⑧ 间层黏土矿物组成层的堆叠性质（如有序、无序）。

二、分类表

国际黏土研究协会（AIPEA）设立命名委员会专门负责黏土矿物的分类命名工作，表 2-1 是该命名委员会 1980 年公布的国际分类简表。

表 2-2 引自 Eslinger & Pevear (1988)，也是矿物学家学会（SPEA）1988 年第 22 期《黏土矿物》短期教程中所使用的与黏土矿物相关的层状构造硅酸盐矿物分类表。

与表 2-1 相比，表 2-2 融入了一些后续的研究成果，确定了间层矿物的位置，提出了变 1：1 层和变 2：1 层两种变异层型，分类更为详细。但本书也综合考虑《系统矿物学》一书（王璞等，1987）的分类，将叶蛇纹石和铁蛇纹石归属为蛇纹石亚族，铁滑石归属为滑石亚族；表 2-1 中的脆云母族、表 2-2 的黑硬绿泥石和菱硅钾铁石均不在黏土矿物类别中，二八面体绿泥石因研究得不够充分，故在本书中不述及。

表 2-1 黏土矿物国际分类方案简表

层型	单位化学式电荷数 x	族	亚族	矿物种举例
1：1	0	高岭石-蛇纹石	高岭石	高岭石、地开石、埃洛石等
			蛇纹石	纤蛇纹石

续表

层型	单位化学式电荷数 x	族	亚族	矿物种举例
2 : 1	0	滑石-叶腊石	滑石	滑石
			叶腊石	叶腊石
	0.2~0.6	蒙皂石	蒙脱石	蒙脱石、贝得石等
			皂石	皂石、锂皂石、锌皂石等
	0.6~0.9	蛭石	二八面体	二八面体蛭石
			三八面体	三八面体蛭石
	1	云母	二八面体	白云母、钠云母
			三八面体	金云母、黑云母、锂云母
	2	脆云母	二八面体	珍珠云母
			三八面体	绿脆云母、钡铁脆云母
	不定	绿泥石	三八面体	绿泥石
			过渡型	锂绿泥石、须滕石
	0.1	坡缕石-海泡石	二八面体	鲕绿泥石、镍绿泥石
			坡缕石	坡缕石
			海泡石	海泡石

表 2-2 黏土矿物与黏土矿物相关的层状结构硅酸盐矿物分类表

层型	层间物	族	亚族	矿物种举例
1 : 1	无或仅有 H_2O	蛇纹石-高岭石 $x=0$	蛇纹石	纤蛇纹石、利蛇纹石
			高岭石	高岭石、地开石、埃洛石
2 : 1	无	滑石-叶腊石 $x=0$	滑石	滑石、镍滑石
			叶腊石	叶腊石
	水化可交换阳离子	蒙皂石 $x=0.2\sim0.6$	蒙脱石	蒙脱石、贝得石、绿脱石
			皂石	皂石、锂皂石、锌皂石
	水化可交换阳离子	蛭石 $x=0.6\sim0.9$	二八面体蛭石	二八面体蛭石
			三八面体蛭石	三八面体蛭石
	非水化阳离子	云母 $x=0.5\sim1.0$	二八面体云母	白云母、伊利石、海绿石等
			三八面体云母	金云母、黑云母、锂云母等
	氢氧化物	绿泥石 x 不定	三八面体绿泥石	斜绿泥石、鲕绿泥石、镍绿泥石
			二八面体绿泥石	顿绿泥石
2 : 1 规则间层	可变	无	无	柯绿泥石、滑间皂石
变 1 : 1	无	无族名 $x=0$	无亚族名	叶蛇纹石、铁蛇纹石
变 2 : 1	水化可交换阳离子	海泡石-坡缕石 x 不定	海泡石	海泡石
			坡缕石	坡缕石
	可变	无族名 x 不定	无亚族名	铁滑石、黑硬绿泥石、菱硅钾铁石

注： x =层电荷/ $O_{10}(OH)_2$ 。

第二节 命名

人类在其发展历程中,发现并利用了各种不同的黏土矿物。为区分和认识这些不同的矿物,曾对每种矿物都给予了一定的名称。但随着研究工作的不断深入和测试方法的不断更新,一些已有的名称,或被进一步完善、或被重新定义、或被否定,这均属自然,因此建议,应该尽量避免使用那些早已否定了的名称。本书所使用的名称,绝大部分是沿用已久并被广为认可的,少数为改用的名称。鉴于目前国内在间层黏土矿物种属名称的使用上仍旧存在着比较混乱的现象,本书在此重点讨论间层黏土矿物的命名问题,主要根据是1981年9月9日国际黏土研究协会(AIPEA)命名委员会批准的美国黏土矿物协会命名委员会关于规则间层黏土矿物种名使用问题的报告(Bailey, 1982),该报告由时任的国际黏土研究协会(AIPEA)命名委员会主席 Bailey 编写,报告分为两部分。

第一部分提出:①对应该命名的不同层的交替变化规律性给予界定标准;②应该为一个规则间层的文件提供数据;③一些间层例子不值得命名。

第二部分,运用所建议的标准,分析此前文献所报道的规则间层,提出建议使用现有的名称。

现对两部分分述如下。

在第一部分,报告提出的六条准则如下。

① 应把规则间层矿物名称的使用严格地局限在层的种类、相对含量和化学成分,以及间层的规则性均已得到很好证实的规则间层作用范围内,在确定晶层的种类时,必须鉴定每种晶层与水与有机溶剂的相互作用,以及受热膨胀-收缩性。

② 若要对由 A、D 两种晶层构成的间层进行命名,必须保证这种间层具有足够的交替规则性,亦即这种间层必须具有一系列(至少 10 级)清晰的相加晶面间距 d_{AB} ($d_{AB} = d_A + d_B$) 的衍射峰,这些衍射峰的前一级反射的 d 值是后一级反射 d 值的整数倍,并且奇数次级衍射和偶数次级衍射具有相近的衍射宽度。如果缺失某个奇数次级衍射峰,应该通过计算证明造成缺失的原因是反射太弱。这种间层的交替规则性应该是 $d_{(00l)} \times l$ 的变异系数(即 CV) 不超过 0.75。

$$CV = 100S/\bar{X}$$

$$S = [\sum (X_i - \bar{X})^2 / (n-1)]^{1/2}$$

式中 S ——样品的标准偏差;

X_i ——各个 $d_{(00l)} \times l$ 的实测值;

$\bar{X}$ —— X_i 的平均值;

n ——观测值 X_i 的个数;

l —— $l=1, 2, 3, \dots, m, m$ 为衍射/反射级数。

③ 对不太规则的间层矿物、偏离理想混合比例与化学成分的间层矿物,以及研究不够充分的间层矿物都不应给予命名,可根据已掌握的资料用描述性术语表示,如云母-蒙皂石不规则间层或 [1:1 二八面体云母-二八面体蒙皂石间层] $P_{(A,B)} = 0.70$ 。

④ 对那些含有缺陷晶层的间层不应给予命名,因为这些缺陷晶层即便是以非间层状态存在时也不符合命名条件。此外,层电荷非常不均匀的间层矿物也不应给予命名,只有一个 $d_{(00l)} = d_A + d_B$ 的相加衍射峰存在,但没有其他次级衍射峰的间层矿物也不应给予命名,因

为晶层的短程缔合也能够产生单一的衍射峰。

⑤ 蛭石与蒙皂石两种晶层的划分界限是每单位化学式 0.6 个层电荷,这是测量经甘油和乙二醇溶剂饱和处理后的间层矿物样品得到的。

⑥ 鉴于测定上的困难,除蒙皂石的二八面体或三八面体特征外,在规则间层矿物种的定义中,不必指明含有何种蒙皂石。与约束较死的定义相比,这样规定的名称更为广泛适用。当然,如果可能,应尽量注明种属,便于表示某种特定的产状特征。

在报告第二部分, Bailey 把该标准运用到文献中提及的规则间层例子,发现该标准并未过分限制,是可以通过评估后做出关于接受或修改现有物种名称的建议。

下面就已发表的六种规则间层矿物进行介绍,它们分别是:滑间皂石、柯绿泥石、绿泥石-滑石间层、累托石、云母-累托石间层、绿泥间蒙脱石。

1. 滑间皂石 (Aliettite)

Veniale & Vander Marel (1969) 用滑间皂石 (Aliettite) 描述滑石-皂石的 1:1 规则间层。Alietti & Mejsner (1980) 对采自意大利 Taro 谷中的 Monte Chiaro 滑间皂石样品进行了深入的究,结果表明,未经处理样品的十个级序的基面反射的奇数和偶数反射具有相等的衍射宽度。虽然这十个基面反射中有三个未被观察到,但是理论结构计算给出这是由于衍射强度太弱导致的。未经处理样品的变异系数是 0.04。自然风干样品、溶剂化处理样品和加热处理样品的 d 值以及样品的化学成分均与 Veniale & Van Der Marel 的描述一致。未经处理样品的 $d_{(001)}$ 等于 $24.80 \times 10^{-1} \text{ nm}$, 甘油溶剂化处理样品的 $d_{(001)}$ 等于 $27.10 \times 10^{-1} \text{ nm}$, 加热至 600°C 样品的 $d_{(001)}$ 等于 $9.34 \times 10^{-1} \text{ nm}$ 。

据此,根据命名委员会关于规则间层矿物的建议,可以把滑间皂石的定义加以修正,用三八面体蒙皂石代替原定义中的皂石。

2. 柯绿泥石 (Corrensite)

曾称为绿泥间蛭石。Lippmann (1954) 把柯绿泥石定义为三八面体型绿泥石和三八面体型膨胀绿泥石的 1:1 规则间层矿物。这种膨胀性绿泥石组分的特征是:甘油溶剂处理时,其基面间距由 $14 \times 10^{-1} \text{ nm}$ 膨胀至 $18 \times 10^{-1} \text{ nm}$,但加热时并不塌陷至 $10 \times 10^{-1} \text{ nm}$ 。由于膨胀绿泥石被看作是绿泥石的一种缺陷形式,即便是独立产出,也不值得进行物种命名,因此这一定义无效。在 Lippmann 后续的文章中 (1956, 1960),他将柯绿泥石中的膨胀组分认为是蛭石 (即膨胀绿泥石) 和蒙脱石。由于在这些后续的情况中包含不同的标本,所以并不确定在每一个标本里都包含相同的膨胀组分。

由于许多研究对柯绿泥石的定义都不十分清楚,其中的膨胀组分常常是被不同地鉴定为蒙皂石、蒙脱石、皂石和蛭石。

最后,命名委员会将柯绿泥石的定义改为:三八面体绿泥石和三八面体蒙皂石或三八面体绿泥石和三八面体蛭石的 1:1 规则间层。前者构成低电荷柯绿泥石,后者构成高电荷柯绿泥石。可以采用 Mg 饱和材料的甘油溶剂和其他方法来测定层电荷以区分这两种类型的间层矿物。如果将来的研究建立了区别柯绿泥石组分中的蒙皂石和蛭石的可靠标志,那就应该给高电荷柯绿泥石以另外的命名。

3. 绿泥石-滑石间层 (Kulkeite)

Schreyer 等人 (1982) 将绿泥石-滑石间层定义为三八面体型绿泥石和滑石的 1:1 规则间层。这种矿物以单晶形式产于阿尔及利亚的一个变质蒸发岩序列中。这个矿物的理想结构式是 $\text{Mg}_8\text{Al}(\text{Si}_7\text{Al})\text{O}_{20}(\text{OH})_{10}$, 实际矿物中有少量的 (Na、Al) 替代 Si。(Na、Al) 存在