

中国膨润土矿床及其开发应用

姚道坤 史素端等 编著

地质出版社

中国膨润土矿床及其开发应用

姚道坤 王素芬

(浙江矿产储量管理局)

史素端 高朝铨 编著

(浙江省第一地质大队)

地质出版社

(京)新登字085号

内 容 提 要

本书是集我国10多年来在膨润土矿床地质、勘查、开发应用的理论和实践经验的总结。书中系统地论述了我国膨润土资源特点、成矿理论及其主组分蒙脱石属性、属型、晶体结构和应用矿物学特征；结合《膨润土矿地质勘探规范》的要求，讨论了勘探类型、勘探网度以及勘探研究程度等内容；全面收集了膨润土应用领域及其矿石、加工产品的质量要求和标准。因此，本书对膨润土的勘查评价、开发利用和开拓新应用领域等均有实际意义。

本书可供地质勘查工作者、地矿院校的有关专业师生、科研单位和矿山、加工生产部门等有关人员参考。

中国膨润土矿床及其开发应用

姚道坤 史素端 等编著

*

责任编辑：曾繁彩 沈文彬

地质出版社出版发行

(北京和平里)

北京地质印刷厂印刷

(北京海淀区学院路29号)

新华书店总店科技发行所经销

*

开本：787×1092¹/₁₆ 印张：11.625 字数：272000

1994年5月北京第一版·1994年5月北京第一次印刷

印数：1—1000册 定价：9.90元

ISBN 7-116-01491-8/P·1210

前 言

本世纪20年代初，美国率先将膨润土作为矿产，代替一般粘土作铸造型砂粘结剂。我国对膨润土的开发应用始于40年代。随着现代科学技术的发展，膨润土的应用领域越来越广，已被誉为“有千种用途的粘土”。

我国膨润土资源十分丰富，广布全国26个省、自治区，是一种有潜在优势的矿产资源。自70年代后期至今，仅短短的10多年时间，膨润土矿床的勘查、应用研究和产品的开发等有了突破性进展。

《中国膨润土矿床及其开发应用》总结了我国10多年来的勘查工作经验、矿床地质研究成果和开发应用的现状，结合《膨润土矿地质勘探规范》的基本要求，深入讨论了有关膨润土（蒙脱石）的物化性能、成矿作用、矿床类型、勘探类型、勘查基本要求、工业指标以及开发应用等若干问题。本书的特点是实际资料丰富，并针对我国膨润土资源特点将矿床地质、找矿勘探与用矿融为一体。作者期望本书能对非金属矿床勘查和开发应用工作者有所启迪和帮助。

本书在编写过程中，得到王树三、李文青等领导同志以及有关省、区储委、地质队、矿山的关怀、帮助和支持，尤其是书中较多的引用了袁慰顺、周钦贤、林鸿福、张惠欣等专家的研究成果，在此一并表示感谢。

本书的编写由王素芬负责和指导，姚道坤、史素端、高朝银分工执笔，李政参加部分资料整理、统计，最后由姚道坤修改、整理定稿。由于编著者的专业水平所限，缺点、错误定然不少，敬请读者批评指正。

作 者

1991年9月于杭州

目 录

第一章 膨润土性质和矿物学特征	1
第一节 膨润土概念	1
第二节 蒙脱石族矿物学特征及其分类	1
一、蒙脱石晶体结构特征	1
二、蒙脱石分类	4
三、蒙脱石(膨润土)属性属型的鉴别标志	9
第三节 蒙脱石结构式和层电荷计算	16
一、计算方法	16
二、结构式和层电荷计算的问题讨论	20
三、目前国际上对蒙脱石层电荷的测定	22
第二章 膨润土矿床类型及其主要地质特征	23
第一节 膨润土矿的成矿作用	23
一、膨润土矿的形成条件	23
二、膨润土矿的成矿作用	25
三、膨润土矿属性形成条件及其分带	32
第二节 膨润土矿床类型	35
一、膨润土矿床分类现状	35
二、膨润土矿床类型	35
三、中国膨润土矿床分类中若干问题的讨论	39
第三节 中国膨润土矿资源特点及分布规律	45
一、资源特点	45
二、中国膨润土矿分布规律	46
第四节 中国膨润土矿床类型典型实例	51
一、产于火山岩系中玻璃质火山岩型矿床(火山岩型矿床)	51
二、产于火山—沉积岩系中沉凝灰岩型矿床(火山—沉积岩型)	63
三、产于沉积岩系中的粘土岩型矿床(沉积岩型矿床)	71
第三章 膨润土矿床勘查	84
第一节 中国膨润土矿勘查特点及其基本对策	84
一、中国膨润土矿勘查特点	84
二、膨润土矿勘查的基本对策	85
第二节 膨润土矿地质勘探研究程度若干问题探讨	86
一、概述	86
二、关于成矿地质条件的研究	87
三、矿层(体)物质组分与矿石类型的研究	90
四、伴(共)生矿产的综合勘探和综合评价	93
五、勘探程度的研究	94

第三节 膨润土矿床勘探类型与勘探网度的研究	97
一、以往勘探网度使用情况	97
二、勘探类型划分方法和依据	97
三、膨润土矿勘探类型和勘探网度	106
四、勘探网度验证及各级储量允许误差范围	108
五、勘探类型及勘探网度验证实例	111
第四节 工业指标问题	137
一、膨润土物化工艺性能与蒙脱石含量关系	139
二、矿石质量指标的确定	146
第四章 膨润土矿加工与应用	151
第一节 概论	151
第二节 铸造型砂粘结剂用膨润土	151
一、概述	151
二、膨润土与铸造的有关性能	152
三、工业要求	154
四、小结	154
第三节 铁矿球团粘结用膨润土	155
一、概述	155
二、膨润土铁矿球团在生产中的作用	155
三、铁矿球团对膨润土的质量要求	156
四、冶金球团和球团用膨润土的质量指标	157
第四节 膨润土在油脂脱色上的应用	157
一、概论	157
二、膨润土酸化处理脱色的基本原理和加工方法	158
三、生产活性白土原料的选择	159
四、活性白土质量标准	161
第五节 有机膨润土的应用和加工	162
一、有机膨润土的概念及我国目前生产概况	162
二、有机膨润土的应用	162
三、有机膨润土的制备	164
四、影响有机膨润土凝胶性能的因素	164
五、制备有机膨润土质量标准	167
第六节 膨润土凝胶的应用和加工	167
一、概论	167
二、无机矿物凝胶的应用	167
三、无机凝胶生产原理及生产工艺流程	168
四、无机凝胶的质量要求	168
第七节 交联蒙脱石的应用和加工工艺	169
一、概论	169
二、交联蒙脱石制备原理	170
三、交联蒙脱石原料的选择和制备	170

第八节 果汁澄清助凝剂制备	170
一、概述	170
二、果汁澄清机理	170
三、澄清助凝剂的加工和生产工艺流程	171
四、果汁澄清助凝剂质量要求	172
第九节 膨润土的其它应用领域	172
一、钻井泥浆	172
二、土木工程	173
三、快离子导体	173
四、消毒防护与核废料处理	173
五、高效水软剂	174
六、膨润土高级瓷	174
七、农业上的应用	175
八、膨润土干燥剂的研制	176
九、造纸工业	176
十、动物垫圈	177
十一、其它	177
结语	178
参考文献	179

第一章 膨润土性质和矿物学特征

第一节 膨润土概念

膨润土 (Bentonite) 系1898年美国地质学家W·C·Knight 在命名美国怀俄明州落基山河附近Fort Benton出露的粘土岩 (页岩) 时提出来并开始采用的。这种粘土为绿黄色、具有很粘柔吸水后高度膨胀的性能。20 世纪早期一些地质学家如 Condra (1908)、Hewitt (1917)、Wherry (1917)、Ross和Shannon (1926) 等均突出强调“膨润土主要是由火山物质蚀变而成的结晶的粘土矿物所组成”。他们局限的膨润土为火山成因的观点虽风行一时, 但实际上世界各国都不同程度的发现有不少膨润土与火山物质没有直接的成因联系。1972年在西班牙马德里举行的国际粘土会议 (AIPEA) 上 R·E·Grim 提出了膨润土的广泛定义, 认为“膨润土是以蒙脱石类矿物为主要组分的岩石, 不考虑成因和产地”。

编著者认为: 膨润土属于工业矿物和岩石范畴, 它是矿石, 是蒙脱石矿物达到可利用含量的粘土或粘土岩。

自然产出的膨润土矿石呈现白色、浅灰色、浅粉红色、灰绿色、砖红色、灰黑色等各种颜色。蒙脱石含量高者具腊状光泽和皂状断口。表露者一般为松散状, 深部较为致密坚硬。结构、构造多样, 有泥质结构、粉砂—细砂结构、角砾沉凝灰结构、变余火山碎屑结构等; 有微层状构造、角砾状构造、斑杂状构造、致密状和土状构造等。击之, 矿石声音发哑, 放入水中出现迅速或缓慢膨胀、崩解。密度一般在 2 g/cm^3 左右。

膨润土物质成分决定于成矿母岩和成矿作用特点, 一般除蒙脱石外常含有其它粘土矿物、非粘土物质及可溶性盐类。其它粘土矿物有伊利石、高岭石、埃洛石、绿泥石、水铝英石等。其中伊利石、绿泥石和高岭石等可与蒙脱石机械混合, 也可以构成规则的或不规则的间层矿物; 非粘土矿物有沸石 (斜发沸石、方沸石等)、 α -方英石、石英、蛋白石、长石、黄铁矿、铁的氧化物以及火山岩屑、晶屑、陆源碎屑等; 可溶性盐类有钾、钠、钙、镁的碳酸盐、硫酸盐、硝酸盐或氯化物等。

膨润土的基本性能取决于蒙脱石矿物特性, 一般具有良好的粘结性、膨胀性、胶体分散性、悬浮性、吸附性、催化活性、触变性和阳离子交换性能等。因此可作为粘结剂、吸收剂、填充剂、催化剂、触变剂、絮凝剂、洗涤剂、稳定剂、增稠剂等广泛应用于工农业、国防等许多部门。

第二节 蒙脱石族矿物学特征及其分类

一、蒙脱石晶体结构特征

蒙脱石 (Montmorillonite) 是1847年A·A·Damur和D·Salvetet研究法国Montmorillon 所产粘土时, 对其中含有少量碱和碱土金属的含水铝硅酸盐矿物所取的名称。1926

年和1954年Ross等经进一步研究，明确了蒙脱石的矿物学性质。以后又发现蒙脱石是化学成分复杂的一大族矿物，经国际粘土研究协会决定使用Smectite作为族名，我国学者译成蒙皂石族（亦称蒙脱石族）。

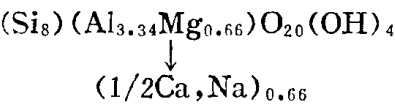
蒙脱石属蒙脱石-皂石族（简称蒙皂石）中的二八面体粘土矿物。蒙皂石族矿物是由两层硅-氧四面体片和一层夹于其间的铝（镁）-氧（羟基）八面体片构成的2:1型层状硅酸盐矿物。硅-氧四面体片系由处于同一平面的Si-O四面体的三个顶点氧与相邻Si-O四面体共用而连结成一系列近似六方环网格的硅-氧片；铝（镁）-氧（羟基）八面体片是以铝（镁）为中心原子，并与彼此顶点相对的四面体片的四个顶点氧处于同一平面的两个羟基构成六配位的Al(Mg)-O(OH)八面体，这些八面体彼此借O、(OH)与相邻八面体中心原子配位相连组成铝（镁）-氧（羟基）八面体片（图1—1、1—2、1—3、1—4）。四面体片中的硅可被铝随机置换，但取代量不超过15%；八面体片中的铝（镁）可被同价或低价阳离子（Fe³⁺、Fe²⁺、Zn²⁺、Mn²⁺、Li⁺等）类质同象置换。不同的取代离子、取代位置、取代量构成了该族中一系列亚族矿物。其典型端员成员见表1—1。

表 1—1 蒙皂石族矿物

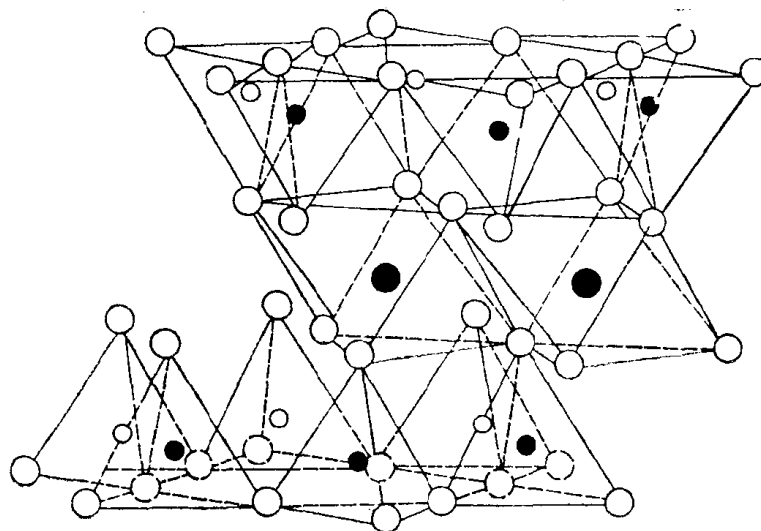
族	亚 族	种	
蒙 皂 石 族	二 八 面 体	蒙 脱 石	$\text{R}_{0.33}^{+} (\text{Al}_{1.67} \text{Mg}_{0.33}) \text{Si}_4\text{O}_{10} (\text{OH})_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$
		贝 得 石	$\text{R}_{0.33}^{+} \text{Al}_2 (\text{Si}_{3.67} \text{Al}_{0.33}) \text{O}_{10} (\text{OH})_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$
		绿 脱 石	$\text{R}_{0.33}^{+} \text{Fe}_2^{+3} (\text{Si}_{3.67} \text{Al}_{0.33}) \text{O}_{10} (\text{OH})_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$
	三 八 面 体	皂 石	$\text{R}_{0.33}^{+} \text{Mg}_3 (\text{Si}_{3.67} \text{Al}_{0.33}) \text{O}_{10} (\text{OH})_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$
		铁 皂 石	$\text{R}_{0.33}^{+} (\text{Mg} \cdot \text{Fe}^{+2})_3 (\text{Si}_{3.67} \text{Al}_{0.33}) \text{O}_{10} (\text{OH})_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$
		锂 皂 石	$\text{R}_{0.33}^{+} (\text{Mg}_{2.67} \text{Li}_{0.33}) \text{Si}_4\text{O}_{10} (\text{OH})_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$
		锌 皂 石	$\text{R}_{0.33}^{+} (\text{Mg} \cdot \text{Zn})_3 (\text{Si}_{3.67} \text{Al}_{0.33}) \text{O}_{10} (\text{OH})_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$
		斯 皂 石	$2\text{R}_{0.2x}^{+} \text{Mg}_3 - \text{X} \text{Si}_4\text{O}_{10} (\text{OH})_2$

三八面体与二八面体亚族矿物的区别在于：八面体的中心如果是二价阳离子（如Mg²⁺），则构成一个完整的八面体片，每个半晶胞中含有3个阳离子，则称为三八面体；若八面体中心为三价阳离子（如Al³⁺、Fe³⁺），则八面体中有1/3空位，每个半晶胞有2个阳离子，称二八面体（图1—4）。二八面体与三八面体在单位晶胞中电荷保持平衡。

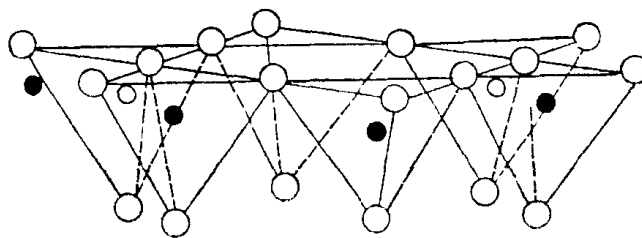
蒙脱石的理想结构式为：



式中（1/2Ca,Na）表示用来补偿异价离子置换引起的正电荷亏损的层间可交换阳离子。按照上式计算其SiO₂的重量百分值为59.58，分子数为993；Al₂O₃的重量百分值为22.96，分子数为225。SiO₂/Al₂O₃分子比值为4.41。

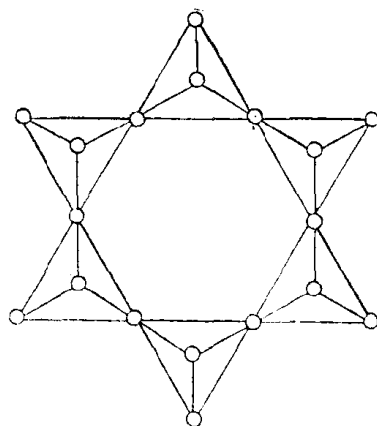


交换性阳离子 $n\text{H}_2\text{O}$



○ 氧 ○ 氢氧 ● 铝铁镁 ○ 和 ● 硅; 有时为铝

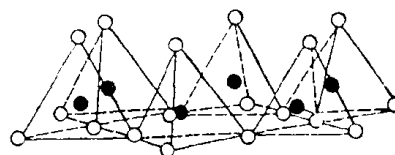
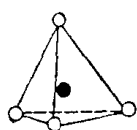
图 1—1 蒙脱石构造示意图



Si-O 四面体组成六方环的平面投影

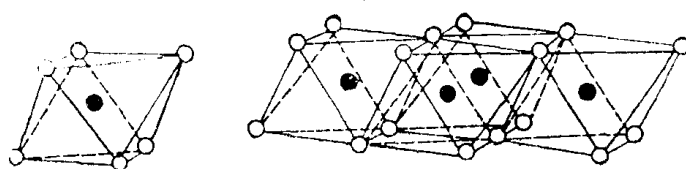
Si-O 四面体立体图

Si-O 四面体片立体图



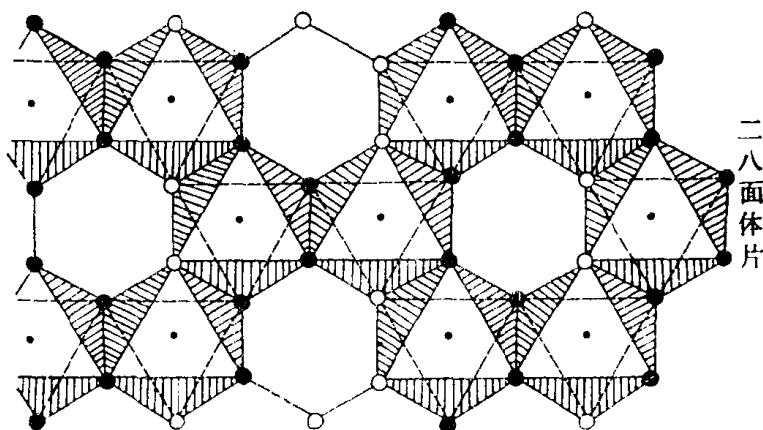
○ 氧 ● 硅

图 1—2 硅氧四面体

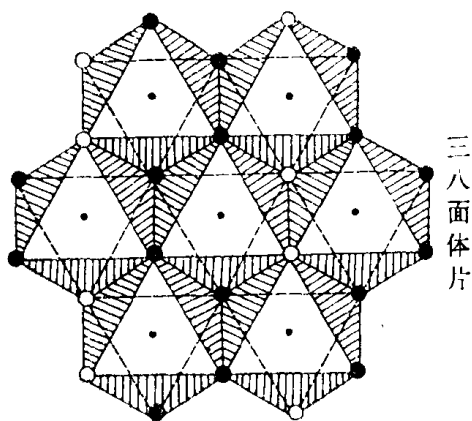


○ 氧(氢氧) ● 铝(镁)

图 1—3 铝(镁)氧(氢氧)八面体(片)立体图



● 氧 ○ 氢氧 ● 铝



● 氧 ○ 氢氧 ● 镁

图 1—4 铝(镁)氧(氢氧)八面体平面投影图

粘土矿物的单元层间叫“层间域”或“层间”。一个结构单元层加一个层间域组成一个“单位构造”，其高度称单位构造高度或层间高度。蒙脱石的层间高度是可变的，自然界产出的蒙脱石由于层间吸附的水合阳离子的种类、比例、以及水分子的数量等的随机性，因此，其层间高度是有差异的，一般在12—16 Å之间。

二、蒙脱石分类

既然蒙脱石作为膨润土的定名矿物，那么，蒙脱石的矿物分类也就是膨润土的分类，两者没有区别。这里所指的分类，纯属天然产出的蒙脱石（膨润土），不含人工改造和一切加工产品的商业名称或用途名称。

当前蒙脱石（膨润土）的分类，一般采用三种分类方案：即按蒙脱石交换性阳离子的

种类及其比例划分属性；按蒙脱石层电荷高低划分属型；按蒙脱石与其它二八面体粘土矿物构成特殊的间层结构的间层矿物分类。

(一) 蒙脱石属性分类

蒙脱石的可交换性阳离子种类、数量和比例，在膨润土实用工艺技术上有重要意义，它是评价膨润土质量指标之一，又是划分属性的依据。

1. 用蒙脱石晶层间交换性阳离子的碱性系数 ($ENa^+ + EK^+ / ECa^{2+} + EMg^{2+}$) 来划分。

① 钠基膨润土：碱性系数 ≥ 1 ；

② 钙基膨润土：碱性系数 < 1 。

2. 原苏联根据蒙脱石晶层间占交换容量 (CEC) 50% 以上的主要交换性阳离子划分膨润土属性。

① 钠基膨润土： $\frac{ENa^+}{CEC} \times 100\% \geq 50\%$ ，又称碱性膨润土；

② 钙基膨润土： $\frac{ECa^{2+}}{CEC} \times 100\% \geq 50\%$ ，又称碱土性膨润土。

③ 过渡类型膨润土

a. 钠钙基： $\frac{ENa^+}{CEC} \times 100\% > 30\%$ ，

$$\frac{ECa^{2+}}{CEC} \times 100\% < 45\%；$$

b. 钙钠基： $\frac{ENa^+}{CEC} \times 100\% > 30\%$ ，

$$\frac{ECa^{2+}}{CEC} \times 100\% > 45\%；$$

c. 镁钙基： $\frac{EMg^{2+}}{CEC} \times 100\% > 45\%$ ，

$$\frac{ECa^{2+}}{CEC} \times 100\% > 25\%；$$

d. 钙镁基： $\frac{ECa^{2+}}{CEC} \times 100\% > 45\%$ ，

$$\frac{EMg^{2+}}{CEC} \times 100\% > 25\%。$$

3. 美国一般根据交换性钠、钙离子比值划分：

① 钠基膨润土： $ENa^+ / ECa^{2+} \geq 1$ ；

② 钙基膨润土： $ENa^+ / ECa^{2+} < 1$ 。

4. 周钦贤、袁慰顺 (1981) 将蒙脱石 (膨润土) 中常见的交换性阳离子分成三个主阳离子组，即碱性型—— $ENa^+ + EK^+$ ；碱土型—— $ECa^{2+} + EMg^{2+}$ ；酸性型—— $EAl^{3+} + EH^+$ 。然后按主阳离子组百分含量，以及吸附的主要阳离子占该型主阳离子组的百分含量用三角图解来划分蒙脱石 (膨润土) 的属性 (图1—5)。

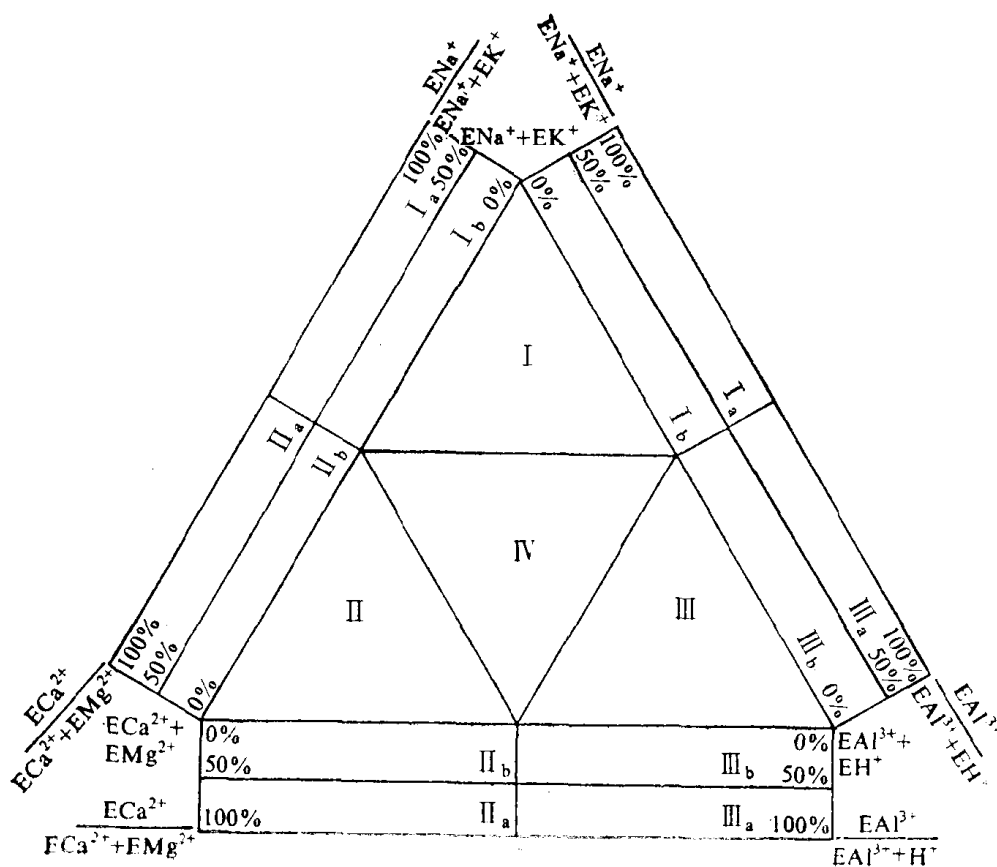


图 1—5 蒙脱石（膨润土）属性分类图

（据周钦贤、袁慰顺，1981）

I 区碱性型： $\frac{ENa^+ + EK^+}{CEC} \times 100\% > 50\%$ ；

I_a 区钠基土： $\frac{ENa^+ + EK^+}{CEC} \times 100\% > 50\%$ ， $\frac{ENa^+}{ENa^+ + EK^+} \times 100\% \geq 50\%$ ；

I_b 区钾基土： $\frac{ENa^+ + EK^+}{CEC} \times 100\% > 50\%$ ， $\frac{EK^+}{ENa^+ + EK^+} \times 100\% \geq 50\%$ ；

II 区碱土型，III 区酸性型以此类推；

IV 区混合型：代表混合基蒙脱石（膨润土），

$\frac{ENa^+ + EK^+}{CEC}$ 、 $\frac{ECa^{2+} + EMg^{2+}}{CEC}$ 、 $\frac{EAl^{3+} + EH^+}{CEC}$ 均小于 50%。

5. 《膨润土矿地质勘探规范》采用的属性分类。

钠基膨润土： $\frac{ENa^+}{CEC} \times 100\% \geq 50\%$ ；

钙基膨润土： $\frac{ECa^{2+}}{CEC} \times 100\% \geq 50\%$ ；

镁基膨润土： $\frac{EMg^{2+}}{CEC} \times 100\% \geq 50\%$ ；

铝（氢）基膨润土： $\frac{EAl^{3+} + EH^+}{CEC} \times 100\% \geq 50\%$ 。

若可交换性阳离子没有超过交换容量 50% 时，则以最多交换量的两种阳离子进行复合命名。如 $\frac{ENa^+}{CEC} \times 100\%$ 大于或等于 40%， $\frac{ECa^{2+}}{CEC} \times 100\%$ 大于或等于 30%，则为钠钙基膨

润土，以此类推。

（二）蒙脱石（膨润土）属型分类

60年代初，随着膨润土应用领域的扩大，仅按蒙脱石层间可交换性阳离子来划分膨润土属性已不敷所需。1961年Grim和Knlbicki研究了40个蒙脱石样品，从晶体化学的观点出发，注意到八面体中 Al^{3+} 被 Mg^{2+} 类质同象置换的程度有很大差别，从而确定了不同多铝类型的蒙脱石——切托（Cheto）型、怀俄明（Wyoming）型及其过渡型。1981年M·F·Brigatti和L. Poppi作了二八面体蒙脱石族矿物化学成分变化的研究，也提出了蒙脱石的晶体结构的差异变化。目前粘土矿物学者常根据八面体中 Mg^{2+} 置换 Al^{3+} 的多寡划分成高层电荷蒙脱石（切托型）与低层电荷蒙脱石（怀俄明型）两大类。而实际上自然界普遍存在的是上述两类间的过渡类型。

切托（Cheto）型：八面体中约1/3铝被镁置换，能产生高达0.45—0.60/单位半晶胞的层间负电荷，阳离子交换性能强，牵制层间阳离子能力亦强，镁在八面体中的位置作有序分布，部分硅-氧四面体可以颠倒，颗粒较大，相对在水中的分散性较差，宜于改性，作催化剂、高效水软化剂等用途较佳。

怀俄明（Wyoming）型： Mg^{2+} 置换 Al^{3+} 较少，镁在八面体中作无序分布，层间负电荷在0.20—0.35/单位半晶胞之间，阳离子交换性能相对较弱，而含铝较高，因而耐火性能好，熔点高，易于在水中分散，它的高温稳定性常被应用于铁矿球团、铸造、钻井泥浆和制备润滑脂等。

我国对膨润土矿物的层电荷、类质同象置换和八面体构型、晶体有序度等的研究，始于80年代初。林鸿福（1985）对全国10个膨润土矿区的样品作了系统研究，结果见表1—2。

我国虽然对蒙脱石的晶体结构研究尚属初始阶段，但蒙脱石属型的差异已足以引起研究者及应用部门的关注，由于属型的不同，应用领域也不同。因此，作为地质勘查的研究程度必须要有膨润土（蒙脱石）属型的研究。《膨润土矿地质勘探规范》规定的属型划分标准（按层电荷大小划分）：

高层电荷（切托）型：0.45—0.60/单位半晶胞；

低层电荷（怀俄明）型：0.20—0.35/单位半晶胞；

过渡型：界于上述两者之间。

（三）间层粘土矿物分类

自然界中，粘土矿物既有单矿物存在，也大量存在着不同粘土矿物互相交叠在一起。由于不同种类的粘土矿物的基本构造十分相似，因此在成矿过程以及后生改造过程中，它们很容易形成一种特殊的“间层结构”。这种“间层结构”是由不同种类的粘土矿物的单元层平行地交互叠置在一起构成的。最早由J·W·Gruner（1934）发现。

我们将蒙脱石与其它粘土矿物组成的间层矿物，而其又不失蒙脱石的基本理化性能和工艺性能（如胶体分散性、阳离子交换性、膨胀性……）者，仍归属于膨润土矿石类。间层矿物分为两类。一类是规则间层矿物；一类是不规则间层矿物。如果粘土矿物由A、B两矿物组成，其层的排列顺序是ABABAB……，亦可为AABAABAAB……等，这就是规则间层矿物。如累托石，是由钠云母与蒙脱石构成1:1间层矿物，我国湖北某地的大型累托石矿床即属此例。不规则间层矿物，其层的堆叠顺序是随机的，如ABAAABBAB……，

表 1-2 中国部分蒙脱石结构式对比表

样 品	结 构 式	低价离子取代量	层 电 荷	阳离子交换容量
浙 江 平山钠土	$\left[(\text{Al}_{1.565}\text{Fe}_{0.08}\text{Mg}_{0.378}\text{Fe}_{0.098})^{-0.29} \Sigma 2.033 (\text{Si}_{3.92}\text{Al}_{0.08}) \right]^{-0.37} \text{O}_{10}(\text{OH})_2(\text{Na} \cdot \frac{1}{2}\text{Ca})_{0.373}$	0.466	0.373	120.6
新 疆 柯尔碱土	$\left[(\text{Al}_{1.459}\text{Fe}_{0.181}\text{Mg}_{0.394}\text{Fe}_{0.001})^{-0.308} \Sigma 2.038 (\text{Si}_{3.97}\text{Al}_{0.03}) \right]^{-0.338} \text{O}_{10}(\text{OH})_2(\text{Na} \cdot \frac{1}{2}\text{Ca})_{0.347}$	0.425	0.347	112.0
内 蒙 高庙子土	$\left[(\text{Al}_{1.475}\text{Fe}_{0.109}\text{Mg}_{0.450})^{-0.348} \Sigma 2.034 (\text{Si}_4) \right] \text{O}_{10}(\text{OH})_2(\text{Na} \cdot \frac{1}{2}\text{Ca})_{0.339}$	0.450	0.339	88.9
四 川 三台钙土	$\left[(\text{Al}_{1.412}\text{Fe}_{0.133}\text{Mg}_{0.518}\text{Fe}_{0.001})^{-0.333} \Sigma 2.062 (\text{Si}_{3.95}\text{Al}_{0.14}) \right]^{-0.373} \text{O}_{10}(\text{OH})_2(\text{Na} \cdot \frac{1}{2}\text{Ca})_{0.377}$	0.569	0.377	121.0
浙 江 安吉钙土	$\left[(\text{Al}_{1.516}\text{Fe}_{0.154}\text{Mg}_{0.360}\text{Fe}_{0.001})^{-0.238} \Sigma 2.041 (\text{Si}_{3.86}\text{Al}_{0.14}) \right]^{-0.378} \text{O}_{10}(\text{OH})_2(\text{Na} \cdot \frac{1}{2}\text{Ca})_{0.377}$	0.501	0.377	121.5
甘 肃 红泉镁土	$\left[(\text{Al}_{1.537}\text{Fe}_{0.232}\text{Mg}_{0.165}\text{Fe}_{0.001})^{-0.211} \Sigma 1.985 (\text{Si}_{3.898}\text{Ti}_{0.023}\text{Al}_{0.977}) \right]^{-0.288} \text{O}_{10}(\text{OH})_2(\text{Na} \cdot \frac{1}{2}\text{Ca})_{0.286}$	0.243	0.288	90.8
浙 江 仇山钙土	$\left[(\text{Al}_{1.458}\text{Fe}_{0.202}\text{Mg}_{0.316}\text{Fe}_{0.001})^{-0.310} \Sigma 2.016 (\text{Si}_4) \right] \text{O}_{10}(\text{OH})_2(\text{Na} \cdot \frac{1}{2}\text{Ca})_{0.316}$	0.347	0.306	77.3
辽 宁 黑山钙土	$\left[(\text{Al}_{1.521}\text{Fe}_{0.117}\text{Mg}_{0.360}\text{Fe}_{0.002}) \Sigma 2.008 (\text{Si}_4) \right] \text{O}_{10}(\text{OH})_2(\text{Na} \cdot \frac{1}{2}\text{Ca})_{0.359}$	0.362	0.353	84.9
湖北鄂城	$\left[(\text{Al}_{1.409}\text{Fe}_{0.496}\text{Mg}_{0.177}\text{Fe}_{0.002})^{+0.070} \Sigma 2.084 (\text{Si}_{3.592}\text{Al}_{0.108}) \right] \text{O}_{10}(\text{OH})_2(\text{Na} \cdot \frac{1}{2}\text{Ca})_{0.336}$	0.58	0.336	81.2
新疆榆树沟	$\left[(\text{Mg}_{2.7}\text{Al}_{0.13}\text{Fe}_{0.006}) \Sigma 2.89 (\text{Si}_{3.68}\text{Al}_{0.32}) \right] \text{O}_{10}(\text{OH})_2(\text{Na} \cdot \frac{1}{2}\text{Ca})_{0.359}$		0.350	81.6

据林鸿福, 蒙脱石族矿物结构式的计算及其意义

这种矿物十分普遍，常见的是伊利石—蒙脱石、绿泥石—蒙脱石等粘土矿物的不规则间层，我国云南（羊场）、浙江（平山）、安徽（新潭）等矿床的矿石中常有发现。间层矿物的划分见表1—3。

表 1—3 间层矿物主要类型

组 分 有序度	二 八 面 体 型		高 岭 石 类
	云 母 类	绿 泥 石 类	
有 序	累 托 石	迪 间 蒙 石	
部分有序	伊利石—蒙皂石		
无 序	伊利石—蒙皂石	绿泥石—蒙皂石	高岭石—蒙皂石

据 M·J·Wi Ison 和 P·H. Nadeau, 1985

三、蒙脱石（膨润土）属性属型的鉴别标志

（一）各属性蒙脱石（膨润土）鉴别特征

1. X-射线衍射分析特征

蒙脱石底面反射 $d(001)$ 面网间距随着层间吸附水分子数量、层间交换阳离子种类、比例而不同。完全脱水蒙脱石 $d(001)$ 约为9.6 Å。钙蒙脱石每个晶胞有两层水分子， $d(001)$ 约为15.5 Å；钠蒙脱石中有一层水分子， $d(001)$ 约为12.5 Å。苗春省（1981）根据蒙脱石底面反射 $d(001)$ 值，将其划分为不同属性（表1—4）。在相对湿度50%的条件下，蒙脱石的 $d(001)$ 面网间距与各属型的关系。见表1—5。

表 1—4

$d(001)$ 值 Å	膨 润 土（蒙 脱 石）属性
12—13	钠基膨润土（蒙脱石）
13—14	钠钙基膨润土（蒙脱石）
14—15	钙钠基膨润土（蒙脱石）
15—16	钙基膨润土（蒙脱石）

自然界产出的蒙脱石晶层中各种交换性阳离子分布常常是不规则的。在蒙脱石同一晶层中不规则的混杂有各种水合阳离子或不同属性蒙脱石以分子级粒度的层片平行于 $d(001)$ 面呈连晶产出。利用X-射线衍射分析、能谱分析，发现蒙脱石颗粒边部和内部所吸附的阳离子种类和数量、比例是不同的。蒙脱石中常存在多种结构，这可用微区结构分析来揭露。不同属性和属型不规则混层的出现，也证明局部结构、层电荷不均一。

蒙脱石的X-射线衍射特征数据比较见表1—6。

2. 差热分析特征

蒙脱石一般具三个吸热效应。第一吸热效应在100—300℃，经常出现多个弱吸热谷。

表 1—5

属 性	$d(001)$ 面网间距 ($\text{\AA}$)	
	怀 俄 明 型	切 托 型
钠基蒙脱石	12.3	12.6
镁基蒙脱石	14.1	14.9
钙基蒙脱石	14.5	15.0

据 Crim R.E. 和 Caven N., 1978

表 1—6 部分蒙脱石X-射线衍射特征数据

属 性		钠 蒙 脱 石											
矿 区		浙 江 平 山			河 南 上天梯	江 苏 句 容 甲 山		河 北 张 家 口			美 国 怀 俄 明		
Å	001	12.502	12.700	12.550	12.109	12.5	12.4	12.346	12.328	12.294	12.277	12.485	
	100	5.114						5.15			5.096	4.9552	
	110	4.475	4.4615	4.4659	4.4	4.48	4.47	4.475	4.47	4.48	4.483	4.4615	
	005	3.0778	4.0747			3.03	3.02	3.07	3.055		3.0747		
	200	2.5615	2.5453	2.5551	2.5149	2.58	2.57	2.56	2.565	2.57	2.5612	2.5551	
	060	1.497	1.4955	1.4963	1.4924						1.497	1.4976	
属 性		钙 蒙 脱 石						镁 蒙 脱 石			铝(氢)蒙脱石		
矿 区		浙 江 仇 山			辽 宁 黑 山	河 南 信 阳	吉 林 九 台	甘 肃 金 昌 红 泉			浙 江 仇 山 ①	广 东	
		I 矿层	II 矿层					I 矿层		1 矿层			
Å	001	15.00	15.00	15.504	15.569	15.504	15.396	15.50	15.50	15.00	15.00	15.781	15.504
	100	5.025	5.05		5.0790		5.0675	5.20	5.19	5.10	5.10		
	110	4.475	4.48	4.4615	4.4704	4.4704	4.4615	4.45	4.455	4.48	4.50	4.4615	4.4570
	005			3.0727	3.0685	3.0685	3.0685	3.12	3.10	3.06	3.08		
	200	2.58	2.565	2.5594		2.5594	2.5495	2.55	2.56	2.60	2.55	2.5636	2.5425
	060	1.498	1.498	1.4968		1.4946	1.4959	1.495	1.496	1.50	1.50	1.4968	1.4968

① 人工改性铝蒙脱石

据袁慰顺、周钦贤, 1985