



普通高等教育地质矿产类规划教材

粘土矿物与粘土岩

任磊夫 编



地质出版社

ISBN 7-116-00912-4/P·777

定 价： 4.35 元



普通高等教育地质矿产类规划教材

粘土矿物与粘土岩

北京大学 任磊夫 编

地质出版社

(京)新登字085号

※ ※ ※

本书由方邗森、张乃炯主审，经地质矿产部岩石学课程教学指导委员会沉积岩课程教学指导组于1990年4月主持召开会议审稿，同意作为普通高等教育地质矿产类规划教材出版。

※ ※ ※

普通高等教育地质矿产类规划教材

粘土矿物与粘土岩

北京大学 任磊夫 编

责任编辑：赵俊磊

地质出版社出版

(北京和平里)

地质出版社印刷厂印刷

(北京海淀区学院路29号)

新华书店总店科技发行所发行

开本：787×1092¹/₁₆ 印张：15.125 字数：351000
1992年2月北京第一版·1992年2月北京第一次印刷

印数：1—2000册 定价：4.35元

ISBN 7-116-00912-4/P·777

前 言

粘土矿物与粘土岩的研究，近年来发展十分迅速，它正在形成一门新兴的综合性学科——粘土学。与这门学科有关的相邻学科有矿物学、结晶学、物理学、化学、化工、陶瓷、冶金、石油、建筑工程、土壤与农业等。

这门学科有两个特点：

1. 理论深度较大，研究的广度较宽，是一个多学科探索的汇集点，又是一个向微观探索的先驱部分。

2. 应用性强，应用面广，既可以使用它们物料的物理性质，也可以应用其化学性质与成分，直至从中提取金属元素与合金。

上述两点在这门学科中又是如此一致和统一，那就是理论研究深度愈大，应用范围也愈宽。这也可能正是近年来粘土科学迅速发展的原因。

粘土矿物学目前明显地向两个方向发展：

1. 向微粒质点矿物方面发展。所谓微粒，是指在偏光显微镜下无法辨认的颗粒（大约小于 $2\mu\text{m}$ ）；所谓质点，是指矿物范畴的质点（而不是其它什么质点），当矿物在X射线衍射周期率小于 $10-20$ 时，给不出明确的反射峰值，所以我们将其称为质点矿物（暂定为 <10 个晶胞大小的颗粒）。矿物的微粒质点性导致一系列新的物理化学性质以及这些性质的应用，如表面性、催化性……等等，因此，近年来一些微粒沸石也出现在粘土方面的文献中，这决不是偶然的。

2. 向全面层状硅酸盐发展。这个方向的开始可从伦琴射线引入粘土研究说起，自从应用伦琴射线研究粘土矿物以来，发现粘土矿物都属层状结构矿物。但由于粘土矿物的微粒质点性，对其结构研究用伦琴法很难给出精确可靠的数据，而大于 $2\mu\text{m}$ 的层状硅酸盐矿物就可以提供可靠的结构数据，于是大晶体层状硅酸盐的研究就成为认识粘土矿物的基础。这样，层状硅酸盐矿物与粘土矿物的界限，很自然地就被突破了。如高岭石晶体常大于 $2\mu\text{m}$ ，有的可达 8mm ；滑石、叶蜡石是非粘土层状硅酸盐矿物，但近年来发现它们都可以有粘土粒级的而且是沉积自生的矿物，它们之间只是大晶体与小晶体的关系。这样，向结构深度的研究就快速发展了。

粘土岩研究的发展：

1. 如所周知，广义的“岩”是包含“土”的。而当前，明显地出现了“土”与“岩”分家的趋势。粘土是用水可以合成泥的，粘土岩则是用水泡不软的“石头”，这种划分是粘土科学发展的需要。

2. 在粘土岩的结构方面，由于扫描电镜的应用，对原来未被认识的微观岩石结构的认识迅速发展了。

3. 对粘土的成岩演化与粘土矿物演化的认识得到了长足的发展。

4. 由于在矿物学上的向全面层状硅酸盐发展，因而在岩石学上也远远突破了表生沉积的框框。这样一种全方位的大发展，就是当前粘土科学发展的总趋势。

但直至目前，我国在高等学校中还没有一本有关粘土科学的教材，因此笔者把几年来给北大地质系研究生讲授粘土矿物与粘土岩的讲稿整理成书。

在编写过程中，书稿的全部整理、缮清和打印工作都由陈芸菁同志完成。全书的编写得到沉积岩课程教学指导组全体同志的关心和帮助。特别应该提出的是，张乃娴、方邨森、许冀泉三位同志对本书提出了很好的修改意见，作者对以上同志深表谢意。

限于篇幅，显然这不可能是一本完善的粘土科学著作，只是作为地质类专业高年级大学生和研究生应急之需的教材，因此不可能全面反映国内外的新资料，特别是国内许多新资料应该反映而未能反映进来，好在读者是可以在文献中阅读到的。

书中不免有疏漏和错误之处，诚望读者指正。

任 磊 夫

1990年9月8日

目 录

第一章 绪论	1
1.0 概述	1
1.1 粘土矿物的概念	1
1.2 层状硅酸盐	1
1.2.1 四面体片	1
1.2.2 八面体片	2
1.2.3 结构层	2
1.2.4 结构分类	4
1.3 粘土矿物的无序性与过渡结构	4
1.3.1 无序性	4
1.3.2 过渡结构	6
1.4 粘土矿物的性质	6
1.4.1 可塑性	6
1.4.2 膨胀性	6
1.4.3 触变性	7
1.4.4 悬浮性	7
1.4.5 凝聚现象	7
1.4.6 粘滞性	8
1.4.7 离子交换性	8
1.5 粘土科学发展史	9
1.6 作为一门新兴学科的粘土科学	11
第二章 高岭土及高岭岩	13
2.0 概述	13
2.1 高岭矿物	17
2.1.1 水铝英石与伊毛缟石	17
2.1.2 埃洛石	18
2.1.3 高岭石	22
2.1.4 迪开石	26
2.1.5 珍珠陶石	27
2.1.6 高岭矿物的鉴定	30
2.2 高岭土	37
2.2.1 残积高岭土	37
2.2.2 沉积高岭土	38
2.2.3 酸性地下水蚀变型高岭土	39
2.2.4 与碳酸盐岩喀斯特凹地有关的高岭土	40
2.3 高岭岩	41

2.3.1	沉积高岭岩	41
2.3.2	与成煤有关的高岭岩	42
2.3.3	冻状高岭岩	43
2.4	高岭土与高岭岩的应用	43
2.4.1	填料	43
2.4.2	涂料	44
2.4.3	陶瓷工业	45
2.4.4	耐火材料	46
2.4.5	建材	46
第三章	滑石、叶蜡石及其岩石	47
3.0	概述	47
3.1	滑石、叶蜡石族矿物	48
3.1.1	滑石	48
3.1.2	叶蜡石	50
3.2	滑石岩	55
3.2.1	沉积成因的滑石岩	55
3.2.2	变质成因的滑石岩	59
3.2.3	超基性岩的滑石岩	60
3.3	叶蜡石岩	61
3.3.1	沉积成因的叶蜡石岩	61
3.3.2	酸性火山岩热液蚀变的叶蜡石岩	62
3.3.3	变质成因的叶蜡石岩	63
3.4	滑石和叶蜡石的应用	63
3.4.1	滑石的应用	63
3.4.2	叶蜡石的应用	63
第四章	云母类矿物及伊利石粘土岩	66
4.0	概述	66
4.1	云母类矿物	66
4.1.1	白云母、多硅白云母与绿鳞石	68
4.1.2	伊利石	69
4.1.3	海绿石-绿鳞石	74
4.2	伊利石岩	76
4.2.1	伊利石页岩	76
4.2.2	凝灰岩蚀变的伊利石岩	76
4.2.3	海绿石岩	77
4.3	伊利石岩的应用	79
4.3.1	火山凝灰蚀变伊利石岩	79
4.3.2	伊利石页岩	79
4.3.3	伊利石粘土	79
4.3.4	海绿石	79
第五章	蒙皂石与斑脱岩	80

5.0	概述	80
5.1	蒙皂石族矿物	82
5.1.1	蒙脱石	82
5.1.2	贝得石、绿脱石	84
5.1.3	皂石	84
5.1.4	汉克脱石	87
5.1.5	其它蒙皂石	87
5.2	斑脱岩	88
5.2.1	火山灰沉积成岩蚀变型	88
5.2.2	火山岩热液蚀变型	90
5.2.3	岩浆期后蚀变型	90
5.3	酸性白土与蒙皂石页岩	91
5.3.1	酸性白土	91
5.3.2	蒙皂石页岩	91
5.4	蒙皂石粘土的应用	91
5.4.1	工业方面的应用	91
5.4.2	农业方面的应用	94
5.4.3	建筑工程方面的应用	94
5.5	膨润土的研究方法	95
5.5.1	胶质价的测定	95
5.5.2	脱色力的测定	95
5.5.3	pH值的测定	97
5.5.4	阳离子交换容量和交换性阳离子的测定	97
5.5.5	膨胀容的测定	100
5.5.6	比表面积的测定	100
5.5.7	湿态抗压强度的测定	102
5.5.8	钻井泥浆性能的测定	103
第六章	绿泥石、蛭石及其岩石	105
6.0	概述	105
6.1	绿泥石	105
6.1.1	三八面体绿泥石	105
6.1.2	二八面体绿泥石	108
6.2	蛭石	117
6.2.1	蛭石概述	117
6.2.2	三八面体 14.36 \AA 蛭石结构	117
6.3	蛭石岩	121
6.3.1	蛭石片岩	121
6.3.2	蛭石评价测试方法	121
6.3.3	蛭石的应用	122
第七章	海泡石-坡缕石族矿物及其组成的岩石	123
7.0	概述	123

7.1	海泡石-坡缕石族矿物	123
7.1.1	海泡石	123
7.1.2	坡缕石	128
7.2	坡缕石-海泡石粘土岩	134
7.2.1	坡缕石(凸凹棒石)粘土	134
7.2.2	海泡石页岩	135
7.2.3	热液脉状海泡石岩	136
7.3	海泡石、坡缕石的应用	137
7.3.1	有关吸附性能的应用	138
7.3.2	催化剂及其载体	138
7.3.3	用于填料	139
7.3.4	其它用途	139
第八章	混层矿物及其岩石	141
8.0	概述	141
8.1	混层矿物类型与识别	141
8.1.1	混层矿物类型	141
8.1.2	混层的识别	141
8.2	统计处理排列顺序的两种类型层	143
8.3	X射线衍射理论方法	144
8.4	混层结构分析简易方法	146
8.4.1	亨德里克斯-特勒法	146
8.4.2	马克爱温直接傅利叶转换法	146
8.5	计算衍射图谱	149
8.5.1	伊利石-蒙脱石	149
8.5.2	海绿石-蒙皂石	153
8.5.3	云母-绿泥石	153
8.5.4	云母-蛭石	153
8.5.5	绿泥石-蛭石	153
8.5.6	绿泥石-蒙皂石	156
8.5.7	高岭石-蒙皂石	156
8.5.8	蒙皂石-伊利石-绿泥石	156
8.5.9	X射线衍射数据及图谱解释	158
8.6	累托石粘土岩	162
8.6.1	概述	162
8.6.2	湖北钟祥杨榨累托石岩	162
8.6.3	累托石的应用	163
第九章	粘土质沉积岩及其研究方法	165
9.0	概述	165
9.1	物质来源与沉积	165
9.1.1	物质来源	165
9.1.2	粘土物质的侵蚀、悬浮、搬运与沉积	166

9.2 粘土质沉积物的成岩作用	169
9.2.1 粘土质沉积物的压实	169
9.2.2 成岩作用过程中粘土矿物的转化	170
9.3 粘土质岩的矿物成分与结构构造	172
9.3.1 粘土矿物	172
9.3.2 非粘土矿物	172
9.3.3 粘土质岩的结构构造与颜色	172
9.4 粘土质岩的研究方法	174
9.4.1 粘土分离及样品处理	174
9.4.2 粘土矿物的离子交换与饱和	174
9.4.3 X射线衍射样品的制备	177
9.4.4 粘土矿物定向样品的X射线衍射鉴定	179
9.4.5 伊利石-蒙脱石混层比的定量分析	184
9.5 粘土矿物的研究在石油地质中的应用	188
9.5.1 粘土质岩与生油成气的关系	188
9.5.2 粘土矿物对油层的伤害与处理	197
主要参考文献	199
附表1 粘土矿物可能出现的反射间距	202
附表2 d间距换算表	216
附表3 粘土矿物及有关层状硅酸盐矿物英中名称对照表	226

第一章 绪 论

1.0 概 述

粘土在人们生活中是最平常的东西，因而不太引起人们的注意，然而越是常见的东西，人们生活中同它打交道越频繁，它的用途也越广泛。

随着科学的发展，人们发现这些粘土是由一系列矿物组成的，这些矿物与一般矿物不同的地方是它们通常不能生长成大晶体，而是以一种细小的（只有在电镜下才能看清形态）颗粒出现，科学家把它们称为粘土矿物。因而所谓粘土就是粘土矿物的集合体。而岩石被定义为矿物的集合体，所以“粘土”也应该是岩石的概念。但人们习惯地把松散的组合称为“土”，而把坚硬的称作“岩”。为了尊重我国人民的习惯，考虑到应用上的方便，我们把松散的具有可塑性的称为“粘土”。把坚硬的无可塑性的称为“粘土岩”。对于沉积岩石学家来说，“土”与“岩”都是岩石学的概念。

我们在这里所以要区别一下，除了人们习惯上的原因外，还有另一层意思，就是在应用上它们有所不同，“土”是有一系列特殊性质的（如分散性、可塑性……），而岩不经粉碎，这些性质都表现不出来，所以区别一下，从应用角度来说是有必要的。

粘土是一个奇妙的微观世界，当你走进这个世界的深处时，会使你流连忘返。

1.1 粘土矿物的概念

现代科学的发展，证实粘土矿物是一些特殊的含水层状硅酸盐，这里说的“特殊”，主要是指它的微粒质点（micro-particle）性，日本人须藤俊男把粘土矿物比作生物学中的微生物（须藤俊男，1974），就是这个意思。

粘土（clay）一词来源于希腊文“γλοιος”，意思是“粘物质”（glutinous substance）。以后科学家把它们的粒度规定为 $<2\mu\text{m}$ 。这些 $<2\mu\text{m}$ 的粘土矿物在结构上多为无序的，并存在着极大的过渡性。

所以严格的粘土矿物定义应该是：“所谓粘土矿物，是具有无序过渡结构的微粒质点含水层状硅酸盐矿物”。

粘土矿物既然属于层状硅酸盐，所以我们就应该首先讨论一下层状硅酸盐。

1.2 层状硅酸盐

1.2.1 四面体片

四面体片是由一个Si（也可以有Al，Fe）与四个氧紧密堆积所构成的四面体，按二维面呈六角网连结，无限展开所构成（图1.1）。

Si—O=1.618±0.01 Å，其侧向空间 $a=5.28±0.03$ Å， $b=9.15±0.06$ Å。如果四面体中的Si被Al代替，侧向空间就要增大，Al—O=1.748±0.01 Å， $b=9.89±0.06$ Å。或者写成 $b=(Si_{1-x}Al_x)≅9.15$ Å + 0.74 x Å。这些都是近似值，因为不仅键长是不固定的，而且不同结构中四面体键角也是不同的。

1.2.2 八面体片

八面体片是铝（或镁）按六次配位与氧（或OH）紧密堆积而成的八面体沿二维面无限展开而构成（图1.2）在自然界中，它与四面体片不同，四面体片在自然界中不能独立存在，而八面体片可以单独构成矿物。如具有Al(OH)₃组分的二八面体三水铝石（gibbsite）和勃三水铝石（bayerite），其 b 轴长分别为8.64 Å和8.67 Å，而具有Mg(OH)₂组分的三八面体水镁石的 $b=9.36$ Å。

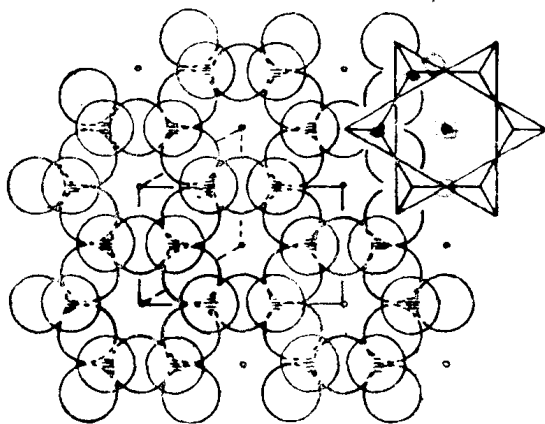


图 1.1 Si (Al, Fe)-O四面体片（面网）图示

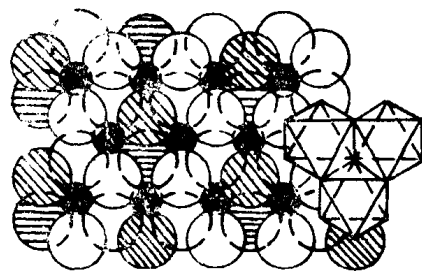


图 1.2 Al(Mg)-O(OH) 八面体片图示

1.2.3 结构层

由四面体片与八面体片按不同规律连结起来，所构成的晶层称为结构层，简称“层”。由一个四面体片与一个八面体片所组成的单位晶层称为1:1结构层（简称1:1结构）；如果由两个四面体片中间夹一个八面体片则称为2:1结构层（或称2:1结构）（图1.3）。

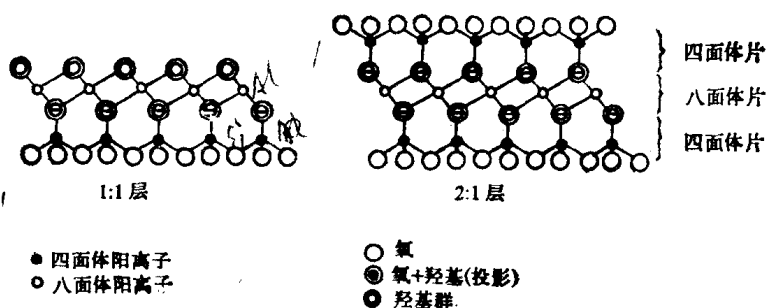


图 1.3 四面体片与八面体片的连接图示

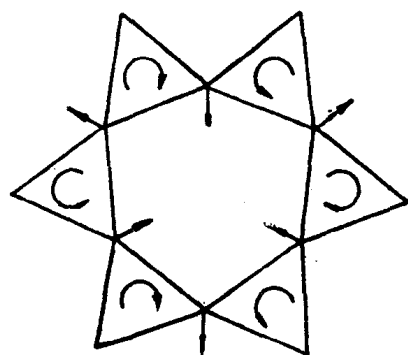


图 1.4 四面体片歪扭图示

应该注意的是，在大量的层状硅酸盐中，四面体片的侧向空间大于八面体片，这是由于四面体中Al、Fe代替Si的结果。朱雅金（Zuyagin, 1957）和拉多斯洛维奇（Radoslovich, 1961）证实，在（001）面上，相邻的四面体作相反方向的旋转，来降低侧向空间，使四面体片与八面体片相连接。其旋转角度根据 $\cos\alpha=b$ （测试）/ b （理论）来判定， α 为旋转角，由于确定 b （理论）值的困难，因而这一表达式只能是一个近似值。随着 α 角的增

大，其侧向空间减少值也增大，当 $\alpha=10^\circ$ 时其减少值为1.5%，当 $\alpha=20^\circ$ 时减少值为6%，而当 $\alpha=30^\circ$ 时减少值达13.4%。由于相邻的四面体向相反的方向旋转，使原来的六方对称变成了复三方对称（图1.4）。

表 1.1 层状硅酸盐矿物分类表

结构层图示	层型	族 ¹	亚族 ²	种
		非晶质与半晶质		水铝英石、伊毛缟石
	1:1	蛇纹石-高岭石 ($x=0$)	Tri	纤维蛇纹石、利蛇纹石、叶蛇纹石、镁绿泥石、镍水蛇纹石
			Di	高岭石、迪开石、珍珠陶石
	2:1	滑石-叶蜡石 ($x=0$)	Tri	滑石、镍滑石
			Di	叶蜡石
	2:1	云母 ($x=1.0$)	Tri	金云母、锂云母、黑云母
			Di	白云母、钠云母、伊利石
		脆云母 ($x=2.0$)	Tri	绿脆云母、硬绿泥石
			Di	珍珠云母
	2:1	蒙皂石 ($x=0.2-0.6$)	Tri	皂石、铁皂石、锂皂石、铈皂石、钨皂石
			Di	蒙脱石、贝得石、绿脱石、铬绿脱石
		蛭石 ($x=0.6-0.9$)	Tri	蛭石（镍蛭石）
			Di	蛭石（铝蛭石）
	2:1	绿泥石 x 不定	Tri	斜绿泥石、绿泥石、镍绿泥石、
			Di	钠绿泥石（顿巴斯石）
			Di-Tri	锂绿泥石、须藤石
	2:1	海泡石-坡缕石 x 不定	Tri	海泡石、钠海泡石(loughlinitite)
			Di-Tri	坡缕石

① x = 单位化学式电荷数；② Di（二八面体）、Tri（三八面体）、Di-Tri（过渡型）

由于这些四面体片具有半可塑性，经过某些调整，增加了四面体片的厚度而减少了八面体片的厚度，来提高或降低它们的侧向空间。这些调整既可以用测量片的厚度也可以用测量其 τ_{oct} 和 φ_{oct} 角来测定。一个理想的四面体片 $\tau = (O_{顶点}-T-O_{基底}) = 109^{\circ}28'$ 。这个角度随厚度的增加而增大，随厚度的减少而减小。一个理想的八面体其 φ 角定义为二次轴和垂线间的夹角。对于一个相连的八面体，可以根据 $\cos\varphi = \text{八面体厚度}/2$ 来计算，即(M—O, OH)，这里M—O, OH是八面体中阳离子和阴离子间的平均距离（包括定位）。理想的 $\varphi = 54^{\circ}44'$ ，它随八面体厚度的减少而增加。

为了适合于大的八面体片而使四面体片向侧向空间扩展十分困难，所以结构改变是必然的。

层状硅酸盐中经常见到的改变是片厚的改变，这种改变导致1:1型弯曲的四面体倾斜和在某些晶格中四面体片顶点方向的转变。三八面体片全部被相等大小的阳离子（如Mg、Ni、CO、Zn、Fe、Mn……）占据的实例是很少或没有的。

组成一个单个层的单片，当它没有发生歪扭时，具有六方对称（图1.1与图1.2），然而一个实际晶体中，三维空间的对称性可能降低，这是由于沿着Z轴方向的连续几何堆积和四面体-八面体片的错位，阳离子间的相互作用因而出现晶体结构歪扭的结果。如果其对称性仍为六方和复三方对称，则最小晶胞层内同一水平面中成 120° 角的三个相等的X轴和一个垂直于层面的Z轴的正六边形晶胞中，重复轴的轴单位为 $a = b \cong 5.1 - 5.4 \text{ \AA}$ ， $c \cong n \times$ 结构单元厚度，式中 $n =$ 晶胞内1:1或2:1型的数目。这种形状的一层原始晶胞单元数(z)，必须不存在平行于层的超周期。

一个三角形或六边形结构，可以描述具有大的底心格子的单位晶胞，其中Z轴垂直于Y轴和X轴。当沿着Y轴作 $b = a\sqrt{3}$ 重复时，则晶胞体积为沿着Z轴作同一周期性重复的原始晶胞体积的两倍。因为用正负晶胞比六方晶胞更容易说明其X射线衍射图，所以在不知道矿物真正对称性之前，经常用 c -晶胞来说明。 c -晶胞一般只能用于描述正负单斜和三斜晶系的对称性，对于单斜和三斜晶系来说，Z轴不垂直于层面。

1.2.4 结构分类

层状硅酸盐矿物可根据其层型（1:1或2:1），层间物质和其相互间的混合特征分为八个主要族，再根据八面体片（二八面体和三八面体）的化学组成和单个层内的几何性质，还可以进一步划分为亚族和种（见表1.1）。

1.3 粘土矿物的无序性与过渡结构

1.3.1 无序性

无序性是相对于晶体的原子有序紧密堆积而言的。如果原子完全是随机堆积而成，称非晶态，如水铝英石就是 $\text{SiO}_2-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{H}_2\text{O}$ 的完全无序堆积。自然界还有一种晶态与非晶态的过渡态，我们称为半晶态（poorly crystalline），如伊毛缟石。

这里所讨论的无序性，主要是相对于完全有序的层状硅酸盐而言，这类无序性有很多种。

1. 热无序

原子的热运动引起的无序存在于一切物质中，而其一般不具各向同性，它减弱了X

射线衍射的强度。

2. 阳离子分配无序

这类无序在硅酸盐中普遍存在，如四面体片中的Si被Al置换，就会使四面体片出现无序；八面体片中的Al(Mg)被 Fe^{2+} 、 Fe^{3+} 或其它阳离子置换，就会出现八面体片的无序。这种粘土矿物中的无序用X射线衍射来确定是很困难的，红外光谱可能提供有益的资料。

3. 长程无序与短程有序

短程有序与长程无序是可以存在的。如 SiO_2 玻璃，每个Si被四个O以四面体基团环绕，但在长距离上很少或不出现有序性，晶体中的阳离子在小晶畴内可能是有序的，但一个晶畴到另一个晶畴可能是有变化的，因而在有许多晶畴组成的整个晶体内，是明显无序的。小至1 μ m的晶粒 (10^4 \AA) 可以包含许多个 $10^2 - 10^3 \text{ \AA}$ 大小的晶畴；如果单位晶胞的大小在 10 \AA 数量级，则一个晶畴内将有許多晶胞。因此，即使是在粘土矿物小颗粒中也可能出现短程有序和长程无序。一个典型的例子是云母，它的四面体阳离子近于 (Si_3Al) ，精细分析发现，这些阳离子是无序的。盖亭纽 (Gatineau 1964) 根据单晶漫散射的观察证实，在小晶畴内，Al离子趋于平行于a轴和与a轴成 $\pm 120^\circ$ 的线带内，不同的畴有不同的方向，因而综合的长程效应则是无序的。这种实验需要用单晶。就粘土矿物来说，只能用电子衍射来分析，事实上这种短程有序在粘土矿物中可能更具有普遍性。

4. 层堆垛的无序

在粘土矿物的结构中，堆垛无序是十分广泛的，在此不详述，留待后续各章中分别讨论。

5. 混层体系中的有序无序

混层体系有两种情况，第一种是许多粘土矿物具有通过层间无机和有机质的结合而膨胀的重要特征。一般来说，膨胀（和反之的收缩）不会同时在所有的层间等量的发生，而混层的间距和综合衍射现象的最终情况是无序体系的结果。第二种方式是层状硅酸盐结构的几何相似性，值得注意的是硅氧片都是假六方排列，这种相似性促使它们形成含有不同种类的结构层，其常见的堆垛是无序的系列，而有序（有规律的）堆垛不太普遍。

6. 有限晶体粒径作为晶格无序

从数学的观点看，晶体的有限边界可以视为一种无序的类型。晶体中的晶格定义为结点的均匀分布，并且是无限的均匀分布。从物理学的观点来看，晶体表面及近表面原子的分布与晶体内部的分布是不相同的。

当晶体的大小 $< 10^{-6} \text{ cm}$ （即 100 \AA ）时，其X射线衍射加宽，也可以有明显的移位。对于粘土矿物的X射线衍射来说，两者都是重要的。

7. 非平面层结构

非平面层的硅酸盐（如纤维蛇纹石）在粘土矿物中较为常见，如埃洛石就具有卷曲的螺旋层。这些矿物与无序堆垛层组成的矿物相比，其X射线衍射具有某些相似性。就连续的弯曲层不会以正常的结晶方式连结在一起来说，这种结构可被视为无序的。

8. 机械无序

我们如果把一完全有序的高岭石，进行一定时间的研磨，就会明显地无序化，甚至X射线衍射谱完全破坏，原来应该具有的峰大量合并或消失。这一点提醒我们，制样时研磨要适度。同时这一点启示我们，在自然界中的应力作用带如断层泥中的粘土矿物具有这种无序性。1978年我们把这种与地质构造应力有关的粘土称为“应力粘土”。

1.3.2 过渡结构

粘土矿物的基本结构极为相似，在自然界中，随着物理化学环境的变化，粘土矿物甲可以变为乙，这种转化已被地质学家所证实。而在这种转化的过程中，存在一个过渡阶段，这个阶段的结构状态，我们称为转化过渡结构。这种过渡结构主要有：

1. 2:1向1:1转化过渡结构。如伊利石向高岭石转化的过渡结构。
2. 2:1与相邻的2:1之间的转化过渡结构。如蒙脱石向伊利石转化的过渡结构。
3. 层链状结构向层状结构转化的过渡结构。如海泡石向滑石的转化过渡结构。
4. 多型过渡结构。如Tc与2M型之间的过渡结构。

这类过渡结构不管通过怎样的调整方式，由矿物甲转化为矿物乙的过程都是在矿物“甲”中出现“乙”畴，随着“乙”畴的扩大和“甲”畴的缩小，直到全部转变为矿物“乙”。

因而所谓转化过渡结构，就是在一个晶粒中，具有两种晶畴相互消长的过渡状态（须藤俊男等，1986）。

1.4 粘土矿物的性质

1.4.1 可塑性

可塑性是指粘土粉碎后用适量的水调和后捏成泥团，在外力作用下可以任意改变其形状而不发生裂纹，除去外力，仍能保持受力时的形状的性能。

常用的可塑性测定方法有可塑性指数与可塑性指标两种。现就可塑性指数简介如下：

可塑性指数 (W_p) 是指粘土的液限含水率与塑限含水率之差，即 $W_p = W_L - W_p$

式中： W_L 为液限含水率（指粘土由塑性状态进入流动状态时的临界含水率，即粘土呈可塑状态的上限含水率）。

W_p 为塑限含水率（指粘土由塑性状态进入固体状态的临界含水率）。即粘土呈可塑状态的下限含水率）。

根据可塑性指数的大小，可将粘土分为：

高可塑性粘土：可塑性指数 > 15

中等可塑性粘土：可塑性指数 $7-15$

低可塑性粘土：可塑性指数 < 7

非可塑性粘土：可塑性指数 < 1

1.4.2 膨胀性

膨胀性是指粘土吸水后体积增大的现象。膨胀性可根据膨胀的原因分为内膨胀性与外膨胀性两种：

1. 内膨胀性

内膨胀性是指水进入粘土矿物晶层内部而发生的膨胀现象。如蒙脱石 $d_{(001)} = 15.4 \text{ \AA}$ ，如果加水成胶状，可增大到 20 \AA 左右。

诺里什 (Norris, 1954) 用钠蒙脱石浸在不同的盐类溶液中，逐渐降低溶液浓度，并观察其底面间距，在 20 \AA 以后出现一个跳跃式的增大（图1.5），此后则与盐类浓度的负 $1/2$ 乘方成正变关系，直至 $100-120 \text{ \AA}$ 。须藤俊男推断，比 20 \AA 更大的值，可能不单由于底面间距的增大，而是由各种不同值的混合层引起的。