

GAOLINGTU JIAGONG YU YINGYONG

高岭土

加工与应用

姜桂兰 张志军 薛兵 编著



化学工业出版社

高岭土

加工与应用

姜桂兰 张志军 薛兵 编著



化学工业出版社

· 北京 ·

高岭土是国内外开发最早、应用最广的非金属矿物材料之一。高岭土已成为造纸、陶瓷、橡胶、化工、涂料、医药和国防等数十个行业所必需的矿物原料与非金属矿物材料。本书系统介绍高岭土的矿物学特征、属型划分及鉴别、物化性能及其研究方法,尤其对高岭土与物质的相互作用机理、加工与应用进行详细介绍。

本书内容全面、结构合理、层次分明,适合广大从事高岭土加工与开发应用研究的工作者参考,也可供从事无机非金属材料、矿物材料、应用化学、环境工程、化工、轻工、建材、新材料领域工程技术人员及大专院校相关专业师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

高岭土加工与应用/姜桂兰,张志军,薛兵编著.
北京:化学工业出版社,2013.10
ISBN 978-7-122-18255-5

I. ①高… II. ①姜…②张…③薛… III. ①高岭
土-研究 IV. ①P619.23

中国版本图书馆CIP数据核字(2013)第200951号

责任编辑:朱 彤

文字编辑:王 琪

责任校对:蒋 宇

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:三河市延风印装厂

787mm×1092mm 1/16 印张14 $\frac{3}{4}$ 字数365千字 2014年1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:58.00元

版权所有 违者必究

前 言

伴随人类文明的进步和科学技术的发展,非金属矿及非金属矿物材料越来越广泛地应用于建材、化工、石油、冶金、轻工、机械、农业、药品等传统工业部门和以信息、航空航天、生物化工、新材料、新能源为代表的现代高新技术产业以及环境保护与生态建设领域。

发达国家发展的经验表明,在经济和社会发展到一定程度后,非金属矿及非金属矿物材料的消费量与产值必然要大于金属矿及金属材料,中国是世界上非金属矿产资源品种较多、储量较为丰富的国家之一。紧紧抓住这一难得的历史机遇,全面提升我国非金属矿加工应用水平,将成为我国经济发展的新增长点。

高岭土是一种重要的非金属矿产,是地壳上分布最广、被人类利用最为普遍的重要黏土矿物和工业矿产之一。迄今为止,高岭土因具有可塑性、黏结性、分散性、吸附性、化学稳定性等多种优良的工艺性能,已广泛用于造纸、陶瓷、橡胶、塑料、耐火材料,及化工、农药、医药、纺织、石油、建材及国防等部门,编著者在结合自身研究成果和参考现有文献资料基础上,编写而成本书。

本书较为系统地介绍了有关高岭土矿产资源、加工技术及其在各领域的开发应用研究的最新成果。在撰写过程中,着力考虑系统性、科学性、先进性及在研究开发或生产中的实用性。本书共分11章:第1章简要介绍了高岭土的起源、矿物特征、类型划分及其鉴别,国内外矿产资源概况、应用领域以及开发利用状况及其发展前景;第2章介绍了高岭土的物理化学特性及研究方法;第3章介绍了高岭土的加工技术和方法;第4章讨论了高岭土在环境污染治理和防护方面的应用;第5章阐述了高岭土在石油开采和石油加工中的应用;第6章概述了高岭土在建筑领域中的应用;第7章介绍了高岭土在轻化工领域中的应用;第8章详细讲述了高岭土在医药和临床上的应用;第9章介绍了高岭土在农牧业中的应用;第10章叙述了高岭土在造纸中的应用;第11章介绍了纳米高岭土的制备、性能及其应用。本书附录中则列出高岭土在主要行业应用的产品标准。

参加本书编写的有吉林大学(姜桂兰教授、张培萍教授、薛兵博士)、国家地质实验测试中心(王祎亚工程师)、中国石油化工研究院(杨立红副研究员)、北京农学院(吴昆明讲师)、中国人民解放军军事医学科学院毒物药物研究所(张志军博士)。具体分工如下:本书第1章和第2章2.5由张培萍编写;第2章(不含2.5)由王祎亚编写;第3章由薛兵编写;第4章、第6章、第7章由姜桂兰编写;第5章由杨立红编写;第9章由吴昆明编写;第8章、第10章、第11章由张志军编写。全书由姜桂兰负责修改、定稿。在本书编写过程中得到化学工业出版社的大力支持和帮助。在此深表谢意!

由于时间仓促,编者水平有限,本书疏漏之处在所难免,恳请各位读者不吝斧正。

编著者

2013年11月

目 录

第 1 章 概述	1
1.1 高岭土的起源	1
1.2 高岭土的岩石矿物学特征及分类	1
1.2.1 高岭土的岩石学特征	1
1.2.2 高岭土的矿物学特征	3
1.2.3 高岭土分类	5
1.2.4 高岭土矿床的工业类型	7
1.3 高岭土资源及开发利用状况	8
1.3.1 国外高岭土资源及开发利用状况	8
1.3.2 我国的高岭土资源及开发利用状况	10
1.3.3 资源开发利用发展趋势	12
参考文献	13
第 2 章 高岭土的物化性能及研究方法	14
2.1 高岭土的物理化学性质	14
2.1.1 白度和亮度	14
2.1.2 粒度分布	14
2.1.3 可塑性	15
2.1.4 结合性	15
2.1.5 黏性	15
2.1.6 触变性	15
2.1.7 干燥性	16
2.1.8 烧结性	16
2.1.9 烧成收缩性	16
2.1.10 耐火性	16
2.1.11 悬浮性和分散性	16
2.1.12 可选性	17
2.1.13 离子吸附性及交换性	17
2.1.14 电绝缘性	17
2.2 高岭土的化学成分及其测定方法	17
2.2.1 高岭土的化学组成	17
2.2.2 高岭土的化学组成分析方法	18

2.2.3	多元素分析方法	33
2.2.4	仪器分析方法在高岭土检测中的应用	43
2.3	高岭土工艺性能参数的测试	45
2.3.1	白度的测定	45
2.3.2	吸油率的测定	45
2.3.3	松容重的测定	45
2.3.4	活性的测定	45
2.3.5	光散射系数(遮盖率)的测定	45
2.3.6	颗粒组成分析	46
2.3.7	粒度分析	48
2.3.8	可塑性指数的测定	48
2.3.9	耐火度的测定	49
2.3.10	相对密度的测定	50
2.3.11	pH 值的测定	50
2.4	高岭石族矿物的结构分析	51
2.4.1	高岭石族矿物的 XRD 分析	51
2.4.2	高岭石族矿物的 FTIR 分析	53
2.4.3	高岭石族矿物的 DTA/TG 分析	55
	参考文献	58
第 3 章	高岭土的加工	60
3.1	高岭土的提纯	60
3.1.1	物理提纯	60
3.1.2	化学提纯及漂白	62
3.2	高岭土改性	64
3.2.1	机械力活化	64
3.2.2	热活化	65
3.2.3	酸碱改性	67
3.2.4	表面改性	70
3.2.5	插层改性	77
3.3	高岭土剥片	84
	参考文献	85
第 4 章	高岭土在环保中的应用	88
4.1	高岭土在水处理中的应用	88
4.1.1	对水源水的净化	88
4.1.2	高岭土在含无机物废水处理中的应用	90
4.1.3	含放射性废水	103
4.1.4	有机废水	103
4.1.5	造纸工业废水	110
4.1.6	藻类	111

4.2	高岭土在气体净化中的应用	114
4.2.1	煤气脱硫	114
4.2.2	燃煤锅炉气中的重金属元素	115
4.2.3	生活垃圾焚烧烟气中的挥发性重金属	115
4.3	高岭土在固体垃圾处理中的应用	116
4.3.1	放射性废物	116
4.3.2	垃圾填埋	117
4.3.3	活性污泥的处理	117
4.3.4	瓦斯进行分离提纯	118
	参考文献	119
第5章	高岭土在石油工业中的应用	123
5.1	高岭土在石油开采中的应用	123
5.1.1	油井水泥掺和料	123
5.1.2	高强人造岩芯	123
5.1.3	提高石油采收率	123
5.2	高岭土在石油加工中的应用	124
5.2.1	重油的催化裂化	124
5.2.2	渣油的催化裂化	129
5.2.3	汽油脱硫	129
5.2.4	降低汽油烯烃含量	131
5.2.5	烯烃醚化催化剂	131
5.2.6	烷基化混合芳烃的分离(均三甲苯的制备)	132
5.2.7	稠油降黏	132
	参考文献	132
第6章	高岭土在建筑领域中的应用	134
6.1	水泥混凝土	134
6.1.1	偏高岭土的应用	134
6.1.2	土壤聚合物	139
6.2	高岭土的应用	146
6.2.1	建筑涂料	146
6.2.2	制备其它建筑功能材料	150
	参考文献	153
第7章	高岭土在化工领域中的应用	156
7.1	高岭土在合成分子筛中的应用	156
7.1.1	4A沸石分子筛	156
7.1.2	低硅X型沸石	158
7.1.3	NaX沸石	159
7.1.4	NaY沸石	160

7.1.5	ZSM-5 沸石	162
7.1.6	其它沸石	164
7.2	高岭土在催化剂合成中的应用	166
7.2.1	含铈固体超强酸催化剂	166
7.2.2	抗钒 FCC 催化剂	166
7.2.3	含 TiO_2 光催化氧化剂	167
7.3	高岭土在洗涤助剂合成中的应用	167
7.4	高岭土在橡胶工业中的应用	168
7.4.1	橡胶补强填充剂	168
7.4.2	印刷用胶辊	169
7.4.3	粉末橡胶	169
7.5	高岭土在其它化工产品制备中的应用	169
7.5.1	玻璃纤维	169
7.5.2	乳酸正丁酯的制备	170
7.5.3	二甲醚的制备	170
7.5.4	超高分子量聚乙烯复合材料	171
7.5.5	T-ZnO W 晶须的催化合成	171
7.5.6	聚合氯化铝的制备	172
7.5.7	陶瓷材料	173
7.5.8	填充塑料	175
7.5.9	动态膜	177
	参考文献	178
第 8 章	高岭土在医药临床上的应用	182
8.1	高岭土在医药中的应用	182
8.2	高岭土在临床上的应用	187
8.2.1	去除血液中有毒物质	187
8.2.2	在心脏手术血液体外循环中的应用	187
8.3	高岭土在医药专用材料中的应用	187
8.4	高岭土在医药鉴别中的应用	188
8.5	高岭土在医学动物模型中的应用	188
8.5.1	呕吐模型的建立与应用	189
8.5.2	大鼠脑积水模型的建立	189
	参考文献	190
第 9 章	高岭土在农牧业中的应用	192
9.1	高岭土在土壤肥料中的应用	192
9.2	土壤保水剂	193
9.2.1	聚乙烯醇高吸水性复合树脂	193
9.2.2	聚丙烯酰胺超吸水性复合材料	193
9.2.3	聚丙烯酸-丙烯酰胺高吸水性复合材料	193

9.2.4 聚丙烯酸钠/高岭土复合高吸水性树脂	194
9.3 高岭土在农药及病虫害防治方面的应用	195
9.3.1 高岭土防护剂	195
9.3.2 水分散粒剂	195
9.3.3 高岭土在微生物杀菌剂中的应用	196
9.4 土壤污染物的固化	197
9.4.1 重金属离子的固化	197
9.4.2 对农药的吸附	198
参考文献	198
第 10 章 高岭土在造纸业中的应用	200
10.1 在造纸填料中的应用	200
10.1.1 对造纸填料高岭土的要求	200
10.1.2 高岭土用于造纸填料	201
10.2 在造纸涂布中的应用	202
10.2.1 涂布用高岭土的技术指标	202
10.2.2 高岭土用于造纸涂布	202
10.2.3 影响高岭土涂料性能的因素研究	203
10.3 其它高岭土在造纸中的应用研究	206
10.3.1 疏水性高岭土	206
10.3.2 工程级层状高岭土	207
10.3.3 高岭土自组装复合物	207
10.3.4 超片状高岭土	208
参考文献	209
第 11 章 纳米高岭土	210
11.1 纳米高岭土的结构和性质	210
11.1.1 纳米高岭土的结构	210
11.1.2 纳米高岭土具有的性质	211
11.2 纳米高岭土的制备	211
11.3 纳米高岭土的应用	213
11.3.1 纳米高岭土在硅酸盐工业中的应用	213
11.3.2 纳米高岭土在聚合物中的应用	214
11.3.3 纳米高岭土在纳米反应器中的应用	217
11.3.4 纳米高岭土在生物学中的应用	217
11.3.5 纳米高岭土在农业中的应用	218
11.3.6 纳米高岭土在废水处理中的应用	218
11.3.7 纳米高岭土填充 PTFE 制备新型自润滑材料	219
11.4 纳米高岭土的应用展望	219
参考文献	219

附录 222

附表 1 产品类型、代号及主要用途 222

附表 2 各级产品外观质量要求 222

附表 3 造纸工业用高岭土各级产品化学成分和物理性能要求 223

附表 4 搪瓷工业用高岭土各级产品化学成分和物理性能要求 223

附表 5 橡胶工业用高岭土粉各级产品化学成分和物理性能要求 223

附表 6 陶瓷工业用高岭土各级产品化学成分和物理性能要求 223

附表 7 各类产品水分要求 223

第 1 章

概 述

矿产主要分为能源矿产、金属矿产和非金属矿产三种类型。高岭土是一种重要的非金属矿产，因此与云母、石英、碳酸钙并称为四大非金属矿。

高岭土是一种重要的黏土矿物和工业矿物，也是地壳上分布最广、被人类利用最为普遍的矿产之一。迄今为止，高岭土因具有可塑性、黏结性、分散性、吸附性、化学稳定性等多种优良的工艺性能，已广泛用于造纸、陶瓷、橡胶、塑料、耐火材料、化工、农药、医药、纺织、石油、建材及国防等部门。随着工业技术和各领域的科学技术的迅速发展，高岭土制品的种类越来越多，它不仅与人们日常生活密切相关，而且在国防技术中的应用也很广泛，如电气、原子能、喷气式飞机、火箭、人造卫星、半导体、微波技术、集成电路、广播、电视及雷达等方面几乎都需要陶瓷制品。可见高岭土矿产在国民经济和国防建设中所占的重要地位。因此，系统地了解有关高岭土矿资源、加工及其开发应用等就显得尤为重要。

1.1 高岭土的起源

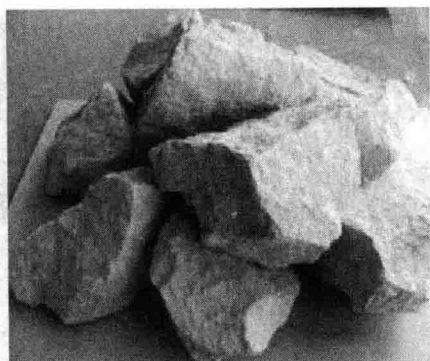
中国是世界上最早发现和利用高岭土制瓷的国家。在安阳出土的印纹白陶就是早在殷商时代由高岭土烧制而成的；到了元代，景德镇地区开始在坯料中掺入一定量的高岭土，用高岭石、瓷石二元配方烧制瓷器，使瓷器质量有很大改善，创造出“白如玉、明如镜、薄如纸、声如磬”的精美瓷器，使景瓷驰名中外。至清朝初期，景德镇高岭村一带的黏土开采极盛。由于高岭村的黏土洁白、细腻，为制坯不可缺少的原料，遂沿用村名“高岭”命名为高岭土 [对此曾有一个美丽的传说 (晖晖, 2009)]。后又将凡是与高岭地方所产的高岭土有相同产状和用途者，皆称高岭，如星子高岭、抚州高岭等。高岭英文读作“kaoling”，后德国学者李希霍芬 (Richthofen) 按音译成“kaolin”介绍到欧美矿物学界，沿用至今。

1.2 高岭土的岩石矿物学特征及分类

1.2.1 高岭土的岩石学特征

高岭土矿是高岭石亚族黏土矿物达到可利用含量的黏土或黏土岩。高岭土原矿呈致密块

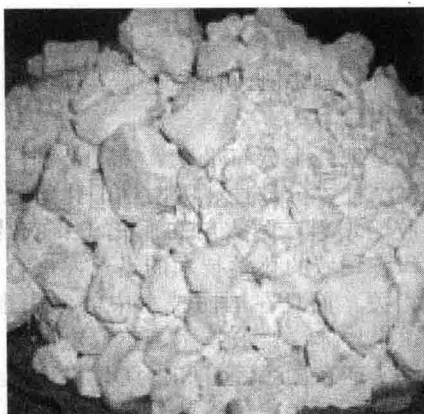
状 [图 1.1(a)、(d)、(e)] 或疏松土状 [图 1.1(f)], 质软, 有滑腻感, 硬度小于指甲; 相对密度 2.4~2.6; 耐火度高, 可达 1770~1790℃; 中、低可塑性, 具有良好的绝缘性和化学稳定性; 煅烧白度高, 达 60%~90%不等。



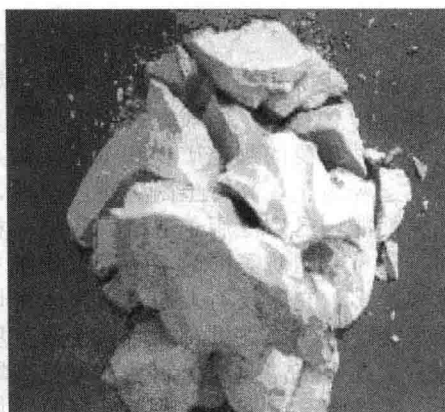
(a)



(b)



(c)



(d)



(e)



(f)

图 1.1 各种高岭土

高岭土的颜色主要与其所含的金属氧化物或有机质有关。纯净高岭土的颜色呈白色或浅灰色 [图 1.1 (a)、(f)]; 含杂质时依杂质成分不同分别呈黄色、灰色、青色和玫瑰色等颜色, 一般含 Fe_2O_3 时呈玫瑰红色或褐黄色 [图 1.1(b)、(c)]; 含 Fe^{2+} 时呈淡绿色或淡蓝色

[图 1.1(d)]; 含 MnO_2 时呈淡褐色; 含有机质时则呈淡黄色、灰色、青色、黑色 [图 1.1(f)] 等颜色。这些杂质的存在, 不仅降低了高岭土的自然白度, 其中的铁、钛矿物等还会影响煅烧白度, 使瓷器出现色斑或熔疤。

高岭土中常见的结构有凝胶状结构, 颗粒极细而致密; 泥质结构, 矿石中小于 0.01mm 以下颗粒占绝大多数; 粉砂泥质或砂泥质结构, 是指矿石中含 25%~50% 的砂或粉砂; 植物泥质结构, 是指矿石中含有机质植物残体等; 变余结构, 是指蚀变高岭土中常有变余凝灰或变余斑状等结构。

高岭土中常见的构造有皱纹状或条纹状构造、角砾状和斑点状构造等。

高岭土的矿物成分由黏土矿物和非黏土矿物组成, 前者主要包括高岭石、地开石、珍珠陶土、变高岭石 (1.0nm 和 0.7nm 埃洛石)、伊利石 (又称水云母) 和蒙脱石; 后者主要是石英、长石、云母等碎屑矿物, 少量的重矿物及一些自生和次生的矿物, 如磁铁矿、金红石、褐 (针) 铁矿、明矾石、三水铝石、一水硬铝石和一水软铝石等。蒙脱石在高岭土中常有少量存在, 易与埃洛石共生, 晶粒极细小, 具有很强的膨胀性和吸水性。绿泥石和叶蜡石在蜡石型高岭土矿床中有时出现。

1.2.2 高岭土的矿物学特征

高岭石族矿物包括高岭石、地开石、埃洛石和珍珠陶土, 均为单斜晶系, 同属 1:1 型二八面体的层状硅酸盐, 结构单元层完全相同, 主要区别在于单元层间的堆叠方式不同。

高岭石, 英文名称 kaolinite, 晶体结构如图 1.2 所示, 由一层 Si—O 四面体和一层 Al (O, OH) 八面体组成, 其中 Si 是四配位, Al 是六配位, 两者通过氧离子的共享交错堆积而成, 属 1:1 型二八面体的层状硅酸盐, 单位构造高度为 0.7nm, 层间以氢键相联结, 无水分子和离子。相邻高岭石晶层原子的 (001) 投影如图 1.3 所示。高岭石晶层原子沿 a 轴、 b 轴上的投影如图 1.4 所示。富硅高岭石具有双硅氧层结构, 其结构示意图如图 1.5 所示。

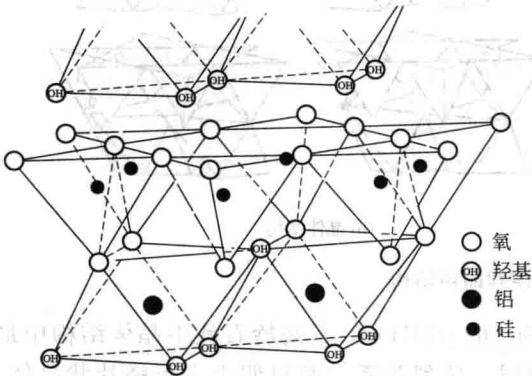


图 1.2 高岭石晶体结构

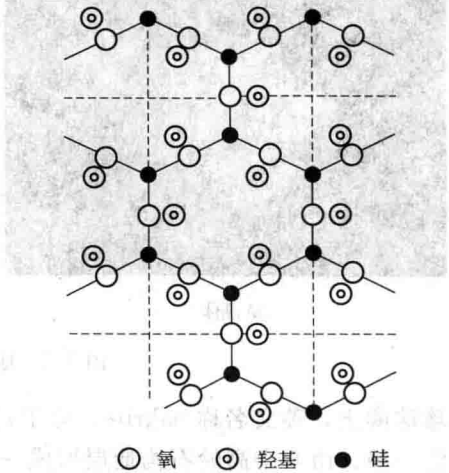


图 1.3 相邻高岭石晶层原子的 (001) 投影

高岭石的理想化学组成为 $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, 理想结构式为 $\text{Al}_4[\text{Si}_4\text{O}_{10}](\text{OH})_8$, 理论化学成分为 SiO_2 46.54%、 Al_2O_3 39.50%、 H_2O 13.96%。高岭石内部结构致密。

高岭石是含水铝硅酸盐, 为三斜晶系, 一般为无色至白色的细小鳞片, 单晶呈假六方板状或书册状, 平行连生的集合体往往呈蠕虫状或手风琴状, 粒径以 0.5~2nm 为主, 个别蠕虫状可达数毫米。

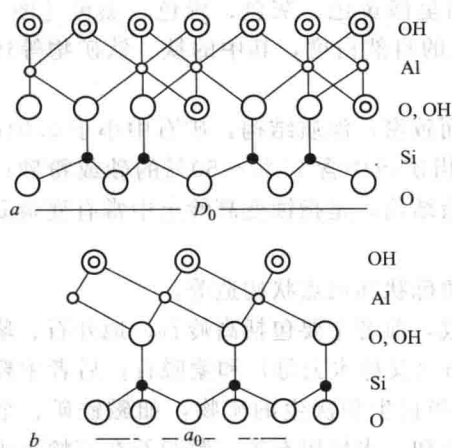


图 1.4 高岭石晶层原子沿 a 轴、 b 轴上的投影

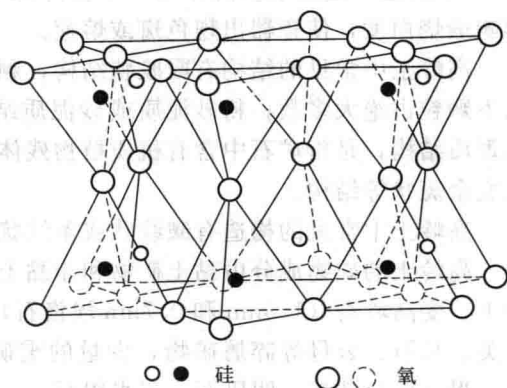
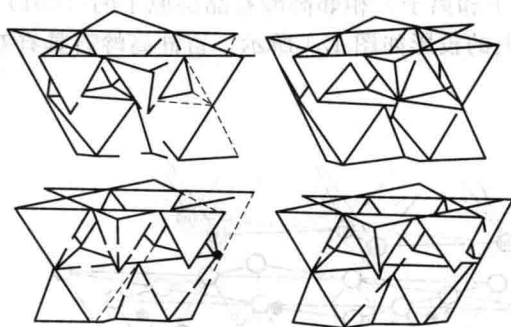


图 1.5 富硅高岭石双硅氧层结构示意图

地开石或迪凯石，英文名称 dickite，分子式 $\text{Al}_4[\text{Si}_4\text{O}_{10}](\text{OH})_8$ ，它与高岭石、珍珠陶土的成分相同，但晶体的结构有所不同，为多型变体。单斜晶系，由两层高岭石层状结构形成一个单位层。常见土状块体，晶体为片状，晶体集合体通常也很细小。地开石的晶体和晶体结构如图 1.6 所示。通常为无色，有时带淡黄色；珍珠光泽，莫氏硬度低于 1，密度为 $2.589\text{g}/\text{cm}^3$ 。差热曲线显示约 630°C 有吸热谷，比高岭石脱水温度略高。电子显微镜下呈细微的假六方形片状。水润湿后有可塑性。耐火度较高。可作为陶瓷和耐火坩埚的原料。我们熟悉的田黄、鸡血石、寿山石、青田石、昌化石、巴林石等贵重石材，其主要组成矿物就是地开石。



(a) 晶体

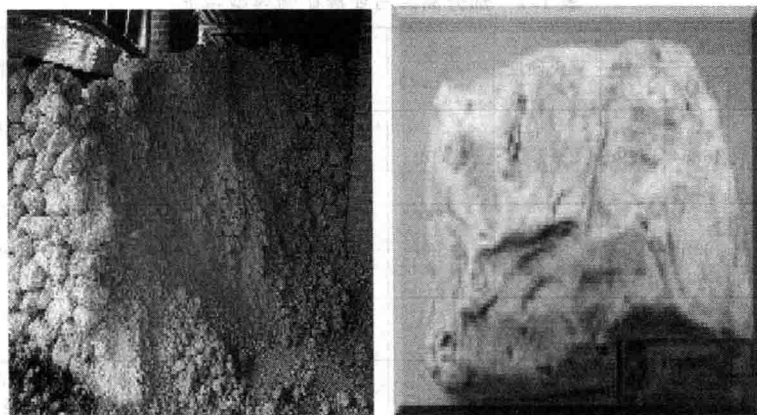


(b) 晶体结构

图 1.6 地开石晶体和晶体结构

珍珠陶土，英文名称 nakrite，分子式 $\text{Al}_4[\text{Si}_4\text{O}_{10}](\text{OH})_8$ ，是高岭石族中晶体结构中最稳定的一种。由 6 个高岭石构造层形成一个单位层。单斜晶系，常呈假六方形鳞片状晶体。无色或淡黄色，煅烧后呈白色，珍珠光泽。莫氏硬度约 2，密度为 $2.627\text{g}/\text{cm}^3$ 。差热曲线上脱水吸热谷位于 700°C ，比高岭石高约 100°C 。水润湿后具有可塑性。是由铝硅酸盐矿物长石、云母长期风化而成，也有产于金属矿脉两旁的低温热液蚀变产物。耐火度较高，主要用于陶瓷和耐火材料的原料。图 1.7 为珍珠陶土和陶土岩。

埃洛石，英文名称 halloysite，包括 1.0nm 和 0.7nm 两种。 1.0nm 埃洛石的结构特征是结构单元层与高岭石相同，但层间有一层水分子（图 1.8）。结构单元层高度为 1.6nm ，结



(a) 珍珠陶土

(b) 陶土岩

图 1.7 珍珠陶土和陶土岩

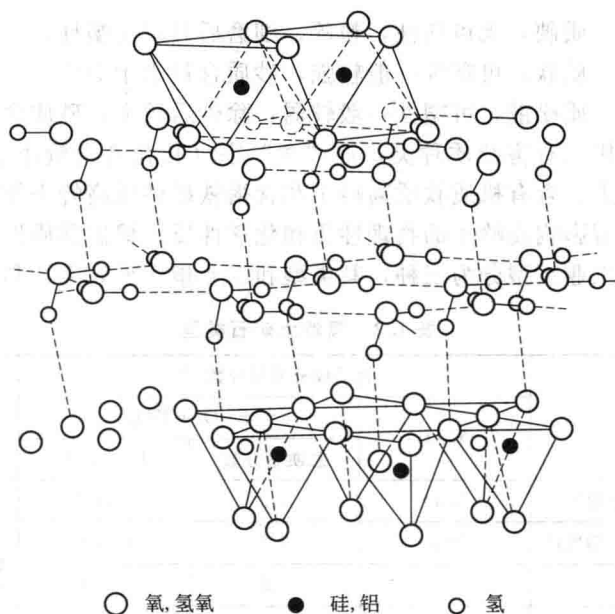


图 1.8 埃洛石结构示意图

构式 $\text{Al}_4[\text{Si}_4\text{O}_{10}](\text{OH})_8 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$, 其形态为小于几微米的管状和球粒状。1.0nm 埃洛石不稳定, 层间水在室温下就可脱出, 结构单元层高度减为 0.73~0.76nm, 而且这种变化是不可逆的。失水后形成 0.7nm 埃洛石, 结构式 $\text{Al}_4[\text{Si}_4\text{O}_{10}](\text{OH})_8$, 其在自然界比较稳定。由于失水后管状和球粒状结构被破坏, 故呈破裂管状和球粒状。

部分高岭石亚族主要矿物的典型特征见表 1.1。自然界高岭土的主要成分是高岭石矿物, 地开石少见, 珍珠陶土更是极为罕见。

1.2.3 高岭土分类

自然产出的高岭土矿石, 根据其质量 (物理化学性能)、可塑性和砂质 (石英、长石、云母等矿物粒径 $>50\mu\text{m}$) 的含量, 一般可划分为硬质 (煤系) 高岭土、软质高岭土和砂质

表 1.1 部分高岭石亚族矿物典型特征

矿物名称	化学成分/%			莫氏硬度	密度 (g/cm ³)	颜色	其它特征
	Al ₂ O ₃	SiO ₂	H ₂ O				
高岭石	39.5	46.54	13.95	2~2.5	2.609	白、灰白、带黄、带红	XRD:0.715nm、0.357nm、0.149nm、0.234nm、0.113nm DTA:约 600℃脱羟
地开石	39.5	46.54	13.80	2.5~3	2.589	白	XRD:0.715nm、0.359nm、0.235nm、0.166nm、0.137nm、0.199nm、0.192nm DTA:约 700℃脱羟
珍珠陶土	39.5	46.54	13.96	2.5~3	2.581	蓝白、黄白	XRD:0.715nm、0.359nm、0.242nm、0.149nm、0.137nm
1.0nm 埃洛石	34.7	40.80	23.50	1~2	<2	白、灰绿等	XRD:0.9~1.0nm,110℃脱层间水 DTA:500~550℃脱羟
0.7nm 埃洛石	39.5	46.54	13.96	1~2.2		白、灰绿、蓝、黄、红	DTA:约 600℃脱羟

高岭土三种类型。

- (1) 硬质高岭土 质硬，无可塑性，粉碎、细磨后具有可塑性。
- (2) 软质高岭土 质软，可塑性一般较强，砂质含量小于 50%。
- (3) 砂质高岭土 质松散，可塑性一般较弱，除砂后较强，砂质含量大于 50%。

根据影响工业利用的有害杂质种类，冠“含”字（其允许含量小于 5%）划分亚类型，如含黄铁矿硬质高岭土、含有机质软质高岭土和含褐铁矿砂质高岭土等。

高岭土矿石的类型影响高岭土的物理性质和化学性质。根据其质地、可塑性和砂质的质量分数，高岭土矿石工业类型分为三种，其类型和工业指标见表 1.2 和表 1.3。

表 1.2 高岭土矿石类型

矿石类型		化学成分质量分数/%			主要工业用途
		Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃ +TiO ₂		
			总质量分数	其中 TiO ₂	
硬质高岭土	沉积型原矿	>30	<2	<0.6	陶瓷原料、耐火材料、造纸、涂料、橡胶填料、搪瓷釉料、白水泥原料
	热液蚀变型原矿	>18	<2	<0.6	
软质高岭土		>24	<2	<0.6	
砂质高岭土		>14	<2	<0.6	

表 1.3 高岭土矿石工业指标

矿石类型	原矿或淘洗精矿	化学质量分数/%			淘洗率/%	最低可采厚度/m			夹石剔除厚度/m		
		Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃ +TiO ₂			露天开采矿山		地下开采	露天开采矿山		地下开采
			总质量分数	其中TiO ₂		小型	中型以上		小型	中型以上	
硬质高岭土	沉积型原矿	>30	<2	<0.6		0.7	0.7~1	0.7	0.3	0.3~0.5	0.3
	热液蚀变型原矿	>18	<2	<0.6							
软质高岭土	原矿	>24	<2	<0.6							
砂质高岭土	原矿	>14	<2	<0.6		0.7~2	2	1	1	2	1
	淘洗精矿 325 目筛	>24	<2.5	<0.7	>15						

高岭土依据其成因还可分为煤系高岭土和非煤系高岭土。

煤系高岭土是在煤系中沉积而成的高岭土。煤系高岭土矿床往往产于大陆滨海沼泽和山前或山间盆地。矿层长几千米，宽数百米，厚几米，与铝土矿、煤层共生，有时为煤层的顶底板。矿石由片状高岭石组成，有软质、硬质两种。除软质的矿石有部分为白色外，因含碳质而多为黑色或灰色，但烧后可以变白，商品中所谓的“煅烧高岭土”即是此类矿石的煅烧产物。如山西平朔、山东章立、辽宁本溪高岭土矿床等（杜振宝等，2010）。

煤系高岭土以其单一的矿物组成和纯净的化学成分、良好的分散性、耐火度、电绝缘性、化学稳定性以及煅烧土质地纯净、耐磨性好、白度高等优异的物理化学性质，广泛用于各个工业领域。一般来说，国内的煤系高岭土（硬质高岭土），比较适合开发为煅烧高岭土，主要应用于各种用途的填料方面。煅烧高岭土由于白度较高，在造纸方面也有应用，而且多为生产高档铜版纸，价格昂贵。但由于煅烧土主要是增加白度，一般不单独使用，在造纸中用量较水洗土为少。

非煤系高岭土也称非含煤系高岭土，一般为软质高岭土和砂质高岭土，其晶体结构主要分为单片状（径厚比为 8:1）、管状和叠片状。该类型高岭土矿床一般为露采，少数热液蚀变型矿床，需坑采。加工方式主要有干法磨矿分级、水洗除砂、重力分级提纯、磁选除铁、化学除杂、煅烧增白和超细改性等。

我国非煤系高岭土资源储量居世界前列，已探明储量 15 亿吨。该类型高岭土矿床以中小型的为主，主要集中分布在广东、福建、江西、陕西、云南、湖南和江苏七省。

砂质高岭土属风化型或沉积型矿床，主要分布在南方亚热带多雨地区。

1.2.4 高岭土矿床的工业类型

我国高岭土矿床的工业类型见表 1.4。

表 1.4 高岭土矿床的工业类型

工业类型		杂质矿物含量/%					化学成分/%							用途
		褐铁矿	黄铁矿	明矾石	石英	有机物	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	TSO ₃ ^①	SO ₃ ^②	TiO ₂	
含氧化铁高岭土	I	<3~5	微	微	<10	—	<51	>34	<1.2	<0.5	<1	—	<0.5	原矿用于电陶工业
	II	<5	微	微	<15	—	<55	>28	<3	<1	<2	—	—	原矿用于耐火材料，除去 SiO ₂ 、Fe ₂ O ₃ 可得优质高岭土
含黄铁矿高岭土		少量	<15	少量	<3	—	<52	>33	<2.5	—	<7	<2	—	除去黄铁矿可得优质高岭土
含明矾石高岭土		少量	微	<20	<10	—	<52	>54	<1.5	—	—	<7.7	—	原矿用于造纸，除去明矾石可得优质高岭土
含黄铁矿明矾石高岭土		<5	B+C<30		<30	—	<65	>24	<3.5	—	<8	<7.7	—	除去黄铁矿、明矾石可得优质高岭土
砂质高岭土		<3~5	微	微	<60	—	<65	>24	<1.2	—	<2	—	—	原矿用于白水泥工业、陶瓷工业，除去 SiO ₂ 可得优质高岭土
含云母砂质高岭土		<3~5	微	微	<60	云母<10	<80	>15	<1.5	—	—	<5	<0.7	除去 SiO ₂ 及云母可得优质高岭土