

陶瓷学

(下册: 陶瓷材料)

【联邦德国】 H·萨尔满, H·舒尔兹 著

黄照柏 译

轻工业出版社

第六版下册前言

第六版上册中已说明本书分上下册出版的原因。主要是陶瓷方面公开发表的资料增长特别快，已超出正常的增长比例。从而说明陶瓷的科学水平也提高很快。在这一点上应感谢出版社，不仅同意将本书分上下册出版来适应这一发展情况的需要，还允许吸收许多专家来共同编写这本书。

对某一个作者要求他能跟上陶瓷方面这种持续扩大的步伐掌握其全部资料是相当困难的。特别是每一种陶瓷材料的开发与制造都与它的现代化生产方式紧密联系。每一专题能有一个经验丰富的专家执笔（他们可能正在工厂工作或在大专院校执教），我本人对他们的合作表示由衷感谢。当然各人有自己的独特风格，虽然他们都表示愿意保持本书的完整体系，但也不能强求划一，希望读者能加以谅解。同时，本书下册出版的时间较原订计划推迟了一些，也请读者原谅。应该想到，所有作者在编写本书时，他们的本职工作也在需要他们去做。出版单位能体谅到这些地方也是应当衷心感谢的。

下册各章的内容仍在第五版各章的基础上进行安排，当然部分内容已经过重新加工或改编。特别是那些有很大发展的陶瓷材料理应如此。由于这些新的发展，各作者努力给这些章节赋予了崭新的面貌，这也是值得十分感谢的。

最后还应提出，陶瓷的一般性理论基础以及陶瓷材料的某些重要性质在1982年出版的上册中已进行过介绍。

1983年3月于乌尔兹堡 H·舒尔兹

目 录

第一章 引言	(1)
第二章 从原料到成品	(3)
2.1 原料	(3)
2.1.1 天然原料	(4)
2.1.1.1 可塑性原料	(4)
2.1.1.2 弱塑性原料	(20)
2.1.1.3 非塑性原料	(21)
2.1.1.4 研磨的作用	(27)
2.1.2 合成原料	(30)
2.1.2.1 釉的原料	(31)
2.1.2.2 制造特殊泥料及用于特殊目的的原料	(31)
2.1.2.3 烧结法及熔化法	(32)
2.1.2.4 热液法	(32)
2.1.2.5 湿法化学过程	(33)
2.2 含粘土矿物的泥料的性质	(35)
2.2.1 流变学的基础概念	(35)
2.2.2 可塑性——造型性	(41)
2.2.2.1 造型性的几种模式	(42)
2.2.2.2 造型性及其物质基础	(43)
2.2.2.3 陶瓷泥料造型性能的测定	(47)
2.2.3 液化——料浆	(50)
2.2.3.1 粘度测定——触变性	(54)
2.3 成形	(55)
2.3.1 用悬浮液成形——注浆法	(57)
2.3.2 可塑状态下的成形	(61)

2.3.3 粉料压制成形.....	(64)
2.4 干燥.....	(67)
2.4.1 水分排出——干燥收缩.....	(67)
2.4.2 干燥强度.....	(72)
2.4.3 干燥速度——干燥敏感性.....	(74)
2.4.4 泥料的记忆力.....	(76)
2.5 烧成.....	(77)
2.5.1 烧成过程中发生的变化.....	(77)
2.5.2 玻璃相.....	(86)
2.5.3 烧成情况的判断.....	(88)
2.5.4 气氛对烧成的影响——烧成颜色.....	(94)
2.5.5 快速烧成.....	(99)
2.6 釉及其他陶瓷盖面料.....	(103)
2.6.1 化妆土.....	(103)
2.6.2 釉.....	(104)
2.6.2.1 釉的组成.....	(104)
2.6.2.2 釉烧过程.....	(106)
2.6.2.3 性质.....	(111)
2.6.3 特殊的盖面体.....	(119)
第三章 硅酸盐陶瓷材料.....	(120)
3.1 不致密的硅酸盐陶瓷材料.....	(122)
3.1.1 砖瓦.....	(123)
3.1.1.1 材料、工艺及性质.....	(123)
3.1.1.2 耐霜冻性.....	(126)
3.1.1.3 冒霜.....	(128)
3.1.2 土器及陶器.....	(129)
3.1.3 精陶.....	(129)
3.1.3.1 材料及工艺.....	(129)
3.1.3.2 吸湿膨胀.....	(131)

3.2 致密的陶瓷材料.....	(133)
3.2.1 炻器.....	(134)
3.2.2 瓷器.....	(136)
3.2.2.1 类型.....	(136)
3.2.2.2 煅烧中坯体结构的发展过程	(139)
3.2.2.3 透明度.....	(140)
3.2.2.4 机械强度.....	(142)
3.2.3 滑石瓷.....	(146)
3.2.4 热膨胀小的材料.....	(149)
第四章 耐火材料.....	(152)
4.1 引言.....	(152)
4.2 耐火材料的性质.....	(154)
4.2.1 热-机械性能.....	(154)
4.2.1.1 耐火度.....	(154)
4.2.1.2 加压耐火度 (DFB)、加压软化(DE)、加压 流动 (DFI)	(155)
4.2.1.3 高温抗折强度 (HBF)	(158)
4.2.1.4 热膨胀.....	(158)
4.2.1.5 耐温度急变性 (TWB)	(160)
4.2.2 热性质.....	(161)
4.2.2.1 导热性.....	(161)
4.2.2.2 比热容.....	(162)
4.2.2.3 按体积计算的热容及导温系数.....	(162)
4.2.3 机械性能.....	(163)
4.2.3.1 冷压强度 (KDF)	(163)
4.2.3.2 弹性模数及变形模数.....	(164)
4.2.3.3 气孔率与密度.....	(165)
4.2.4 化学方面的要求.....	(166)
4.2.4.1 化学组成.....	(166)

4.2.4.2	抗渣性	(167)
4.3	重要的耐火材料	(169)
4.3.1	致密成形的耐火制品	(169)
4.3.1.1	硅砖	(169)
4.3.1.2	粘土耐火砖	(174)
4.3.1.3	高铝砖	(179)
4.3.1.4	碱性砖	(184)
4.3.1.5	特种制品	(193)
4.3.1.6	熔铸制品	(196)
4.3.2	不经过成形的耐火制品	(198)
4.3.2.1	整体结构及修补用的未成形耐火 (泥料) 制品	(202)
4.3.2.2	砌筑及抹缝用的材料 (灰浆、粘合剂、 胶粘剂)	(203)
4.3.2.3	涂层及表面保护层用的材料	(204)
4.3.3	耐火轻质砖及隔热砖	(205)
4.3.3.1	耐火轻质砖	(205)
4.3.3.2	隔热砖	(206)
4.3.4	陶瓷纤维材料	(207)
4.3.4.1	陶瓷纤维类型	(207)
4.3.4.2	陶瓷纤维的高温性能	(209)
4.3.4.3	由陶瓷纤维制成的建筑构件	(211)
4.3.4.4	陶瓷纤维材料的导热性能	(212)
第五章	氧化物陶瓷	(215)
5.1	制造工艺	(216)
5.2	氧化铝	(216)
5.2.1	原料	(217)
5.2.2	烧结情况	(218)
5.2.3	性质	(219)

5.2.4	用途.....	(223)
5.3	氧化铍.....	(224)
5.3.1	原料.....	(224)
5.3.2	烧结情况.....	(224)
5.3.3	性质.....	(225)
5.3.4	用途.....	(226)
5.4	氧化镁.....	(226)
5.4.1	原料.....	(226)
5.4.2	烧结情况.....	(227)
5.4.3	性质.....	(227)
5.4.4	用途.....	(229)
5.5	氧化钙.....	(229)
5.6	氧化钇.....	(230)
5.7	氧化锆.....	(231)
5.7.1	原料.....	(232)
5.7.2	烧结情况.....	(233)
5.7.3	性质.....	(233)
5.7.4	用途.....	(235)
5.8	氧化铅.....	(236)
5.9	氧化钽.....	(236)
第六章	电瓷及磁性陶瓷.....	(238)
6.1	电陶瓷材料.....	(238)
6.1.1	铁电体.....	(239)
6.1.1.1	介电材料	(239)
6.1.1.2	冷导体 (PTC电阻)	(241)
6.1.1.3	压电陶瓷	(242)
6.1.1.4	PLZT 陶瓷.....	(243)
6.1.2	铁电体的制造.....	(244)
6.1.3	ZnO 压敏电阻.....	(244)

6.1.4	热导体 (NTC电阻)	(245)
6.2	磁性陶瓷	(246)
6.2.1	软磁性铁氧体	(247)
6.2.1.1	铁氧体的制造	(248)
6.2.1.2	原料及制造条件的影响	(250)
6.2.1.3	添加剂的作用	(252)
6.2.1.4	用途及要求的特性	(254)
6.2.2	永久磁性铁氧体	(254)
6.2.2.1	晶格结构及磁性质	(254)
6.2.2.2	添加剂的作用	(258)
6.2.2.3	制造方法	(259)
6.2.2.4	性质	(261)
6.2.2.5	用途	(263)
第七章	非氧化物陶瓷	(265)
7.1	碳	(268)
7.1.1	金刚石及石墨	(268)
7.1.2	制造方法及性质	(270)
7.2	碳化硅	(273)
7.2.1	结构及相关系	(273)
7.2.2	制造及加工	(275)
7.2.3	性质及用途	(276)
7.3	氮化硅	(278)
7.3.1	结构及相关系	(279)
7.3.2	制造	(280)
7.3.3	性质及用途	(282)
7.4	碳化硼	(284)
7.5	氮化硼	(285)
7.6	金属性硬质材料	(285)
7.7	其他化合物	(286)

第八章 玻璃陶瓷 (微晶玻璃)	(288)
第九章 特种陶瓷材料的特殊用途	(291)
9.1 反应堆陶瓷材料	(291)
9.1.1 核技术及核物理技术	(291)
9.1.2 核反应堆所用燃料元件	(294)
9.1.3 水冷的核反应堆所用的陶瓷材料	(295)
9.1.4 快速增殖反应堆所用的陶瓷材料	(297)
9.1.5 高温反应堆所用的陶瓷材料	(298)
9.1.6 熔融反应堆所用的陶瓷材料	(299)
9.2 医学中用的陶瓷材料	(299)
9.3 机械加工用的陶瓷材料	(300)
9.3.1 研磨工具	(300)
9.3.2 陶瓷车刀	(301)
9.4 纤维	(302)
9.5 陶瓷-金属联接	(303)
9.5.1 金属上的陶瓷涂层	(304)
9.5.2 金属喷镀	(305)
9.5.3 金属陶瓷	(307)
9.5.4 纤维增强材料	(308)
文献目录	(309)

第一章 引 言

本书第一部分已介绍过作为陶瓷学基础的一些结晶学、物理及化学知识。为了了解陶瓷材料的制造过程必须具备这些知识。第二部分主要讨论各种陶瓷材料的制造过程。

制造过程从选择适当的具有一定特性的原料开始。正如 2.1 节中所提到的，目前已可看出，天然原料已逐渐被人工合成原料所代替。出现这种情况的部分原因是均匀度方面有问题或由于采用新的工艺对原料的要求愈来愈严格；另一方面则是由于新型陶瓷材料的开发，用天然原料不适合于生产这些材料。当然，含粘土矿物的配方在数量上始终还是占第一位的。因为粘土的特殊性能，特别是可塑性或易于成形的特性以及液化性能等（2.2 节）是陶瓷成形（2.3 节）的关键。这方面目前也推行了一些新工艺，它们主要是按照烧结要求来考虑的。

根据一般陶瓷工艺的顺序，成形之后就是干燥（2.4 节）及烧成（2.5 节）。了解在烧成时发生什么变化至关重要。不仅是为了保证能获得所需的材料，还可以判断是否有更好的方法制造这些材料。当前努力要解决的突出问题是通过快烧来节能。陶瓷制品上一般都有保护层，最常用的是釉。2.6 节中将讨论釉和其他陶瓷保护层。

上述简短的生产过程在第二章中也只能介绍其中最主要的一般论点。对于那些特殊的工艺问题更不可能进行详细论述。有关原料的开采、加工、成形工艺以及窑炉结构方面也只能请读者参阅有关的专业书籍。

陶瓷材料的组成中可以含有各种不同的组分。由于陶瓷材料具有良好性能，用途十分广泛，因而品种是相当多的。通常将它们划分为若干大类、按照其特殊的制造工艺及性能分别介绍也是

很合理的。首先要讨论的当然是传统的经过历史考验的硅酸盐陶瓷(第三章), 其次是比较新的品种, 氧化物陶瓷(第五章), 最后是非氧化物陶瓷(第七章)。

从组成上考虑, 上面这些基本上已可包括所有品种。但是通常还按一定的使用性质分出一些品种来单独介绍, 例如耐火材料(第四章), 电气陶瓷和磁性陶瓷(第六章)。可以理解, 不同材料类型之间的分界不可能十分明显, 个别品种之间有时也不可能提出明确的分界线。

某些现代陶瓷, 例如反应堆陶瓷、生物陶瓷、车刀陶瓷等可以满足十分特殊的要求。第九章将讨论它们和另一些特殊陶瓷材料。还必须提出陶瓷材料制造工艺方面的一种新发展(第八章), 即经过玻璃熔体制造微晶玻璃。

本书上下册之间存在着紧密联系是十分自然的, 书中也采用了一些编写技术上的标志。如陶瓷材料的基础理论及性质是在上册(第一部分)第一章到第五章中介绍。在提到某些上册中的有关内容时, 注明的章节号码前增写“I”字。例如 $\text{SiO}_2\text{—Al}_2\text{O}_3$ 系统是在I-4.2.1节中。相应地提到某一图号时, 如上述二元系统的相图图号为“图I-110”。引用上册中已用过的文献时也用类似的标志。例如一些内容丰富的著作, 如艾特尔[I-107], 兴兹[I-207], 金格里等[I-248]。

最后是关于计量单位问题。在一般情况下都采用国际单位制(SI)。但在单位的选择上也还留有一点伸缩余地。例如压强及强度, 上册中大部分采用 MN/m^2 为单位, 下册中也是这样。可是在陶瓷生产中和某些工业标准(DIN)中也用 N/mm^2 为单位, 在引用相应的资料时则保留了原来的用法。

第二章 从原料到成品

陶瓷材料的制造过程常从由多种原料按适当的配方组成的泥料开始。成形过程中泥料的加工性能或可塑性占特别重要的地位。成形之后，按工艺顺序是干燥及烧成。通常还有表面加工作为生产的最后一个工序。本章中将讨论作为这些课题的一般基础的现象或过程。至于个别品种的特殊问题则分别在以后各章中研究。

2.1 原 料

陶瓷工业中，特别是生产传统的硅酸盐陶瓷材料，大部分是天然原料。这些原料开采出来以后，一般还须要经过加工，即通过筛选、风选、淘洗、研磨以及（或）磁选等以分离出适当颗粒度的所需矿物组分。市场上供应的原料通常是有意识地将几种矿物混合并标明其全部技术指标。但应注意的是其中所含杂质，它们可能由于外部原因混入，也可能原来就含在晶体结构中。作为评定原料质量的项目还有结晶形状，结构的排列情况或缺陷也是十分重要的。因此在讨论天然原料一节中也提到一些确定这些特性的方法。

对于特种泥料，如生产电工陶瓷、磁性陶瓷（第六章）、耐火材料（第四章）特别是特殊陶瓷制品所用的泥料中使用化学工业制品作为原料的份量已与日俱增（第五、七、九章）。目前人们常用“人工合成原料”来标志这种制品。由于它们的重要性，本书将它们列入2.1.2节中与天然原料并列。不过两者之间不可能也不必要作出十分明确的划分。

罗伊曼（Reumann[1]）的著作中对陶瓷原料的组成有详

细介绍。从辛格 (Singer[2]) 的著作中可以读到许多这方面的历史资料。有一本英语版的原料专著的作者是沃罗尔 (Worrall [3])^{*}。与材料品种相关联的特殊原料问题将在有关这种材料的章节中介绍。

2.1.1 天然原料

陶瓷的典型制造过程是泥料的塑性成形。因而人们将天然原料分为强可塑性的、弱塑性的及非塑性的几大类。这里仍沿用这种传统的陶瓷分类法。可塑性本身将在2.2.2节讨论。而在2.1.1.4节将简略谈一下研磨的作用,因为它会影响原料的某些性质。

2.1.1.1 可塑性原料

这类提供可塑性的原料中主要成分是高岭石、伊利石、蒙脱石等粘土矿物。还有其他粘土矿物,但在使用中仅占次要地位。它们的结构已在上册2.2.5.4节中介绍过。人们一般将原生矿床上的高岭石原料称为高岭土,而次生矿床上的则称为粘土。技术上指的高岭土都是经过淘洗的。克洛默尔及施勒 (Kromer, Schüller [1-268]) 建议将未经过加工的矿石称为粗高岭土。他们还指出这种分类法也不完全正确。因为原生矿床上也出现过粘土,同样次生矿床上也有高岭土。虽然有这些例外,由于不重要,人们仍采用了上述论点。从这一论点可直接得出,粘土经过天然长途搬运,其颗粒度一般应较高岭土的小。

特别是在比较早期的文献中将这一类原料统称为粘土。并按照颗粒大小再分成小类(如从粒度 $2\mu\text{m}$ 到 $20\mu\text{m}$ 称为粗粘土,从 0.2 到 $2\mu\text{m}$ 称为细粘土,而小于 $0.2\mu\text{m}$ 的则称为胶体粘土)。或按用途分类,例如陶土、制砖粘土、缸器粘土、精陶粘土、化妆土、釉用粘土、匣钵土、耐火材料用粘土等,虽然它们并不一定符合上述粘土的含义。

^{*} 沃罗尔著《粘土与陶瓷原料》一书,已于1980年由轻工业出版社出版(编者注)

这种多样性产生的原因一方面是由于所含的粘土矿物种类不同，另一方面还由于原料中所含的其他组分的种类和分量不同。高岭土及粘土中所含的伴随矿物中最重要的是石英、长石、云母及石灰石等。从石灰石的含量多少形成从粘土到石灰石连续过渡的一系列中间矿物。石灰石含量在4%（重量%）以下的人们还称之为粘土。4%到10%称为稍含石灰石粘土，10%到40%称为灰质粘土，40%到75%为灰质土，75%到90%称为石灰质灰土，90%到96%为含灰土的石灰石，含量大于96%的原料已属于石灰石范围。当然后面几种已不属于可塑性原料。

粘土中除上述成分以外有时还含有有机物质，如属于木材残余或褐煤残余之类的腐植质。这种粘土的可塑性很强，颜色也比较深，有时称它为青土。腐植质的组成变化很大，格鲁纳（Gruner(4)）对此有详细描述。

高岭土及粘土的颜色主要取决于其中所含铁的形式，铁可能存在矿物的结构中，也可能以化合物的形式夹杂在里面。如 FeS_2 、氢氧化铁等。含铁的主要问题是将来煅烧后影响制品的烧成颜色（2.5.4节）。如果原料中还含 TiO_2 ，这是常见的情况，影响就更大。

文献中人们还常看到一些英语名称。例如 fireclay（火泥），这种高岭石矿物的晶格已受到很大程度的扰乱（I-2.2.5.4节）。在粘土中的高岭石成分一般与它的情况相同。有时也将 fireclay 理解为耐火土，它具有比较硬的质地，经过研磨后才呈现可塑性。Ball Clays（球土）大都出产在英国南部的次生矿床，所含的高岭石颗粒比较细。烧成颜色为白色，晶格中缺陷很多，通常含有机物质最多可达30%（重量）。史丹提福特（Stentiford(5)）指出，它具有高度阳离子交换能力和可塑性。China Clays（瓷土）则相当于高岭土。

在瘠性泥料中添加少量膨润土就可使之呈现可塑性。膨润土之所以具有这种优越性质是由于其中含有蒙脱石并具很大的膨胀

性。自然界中常发现的是钙膨润土。

原料中所含伴随矿物和杂质由所在矿床的形成情况决定。高岭土是由含长石的岩石风化而形成，可能含有残余的长石，还常含石英，有时也含云母。如果从影响烧成颜色的铁含量这一重要特征来衡量原料的纯度，则高岭土一般要较粘土纯些。由于粘土在搬运过程中常会掺入杂质。这种杂质必须也是细颗粒的，因而粘土中一般不含长石。化学分析中常发现粘土中含 K_2O ，则是伊利石中的成分。伊利石不一定以单独的矿物成分存在粘土中，而是与蒙脱石交叉重叠结合在一起。高岭土中也可能存在这种结构，克兰兹等 (Kranz u. M. (6)) 指出，有时伊利石可能占比较大的比例。

人们常发现杂质比较集中地出现在一定细度等级的原料中。例如石英及长石在较粗的高岭土中比较多，而粘土的铁含量则在细颗粒级别中比较多。含有少量的异质矿物不应一概作为杂质看待。杂质这一概念只适用于那些降低原料的使用价值的物质。舒勒 (Schüler (7)) 特别指出，这种微量组分有时会产生十分重要的作用。

原料命名体系

原料组成变化范围很大。如果能给每一种原料作出明确的标志，将是符合人们的愿望的。前面提出过的陈旧标志，如精陶用粘土或砖瓦用粘土过于笼统。恩斯特等 (Ernst u. M. (8)) 编写了一个命名体系，可能符合这一要求。按照这个体系还可以给原料一个十分简短的标号，并且可以随时加以补充。使用这一体系的先决条件是对原料掌握足够的数据。掌握的数据愈多，作出的标志也会愈详细。

先从将各种可能出现的矿物分成若干大类开始，并用大写字母作它们的标志，如表2.1中列举的情况(与以K表示高岭土类相当，可以M表示蒙脱石类)。字母的顺序可按原料中所含份量多少排列，最后用短横与原料名称连接。如KIQ-粘土表示由高

岭土、云母、硅氧等大类组成的粘土。这一简短符号就是原料的标志。原料中各组分的百分含量(重量%)可写在字母后的圆括号内,如 $K(\overline{60})I(\overline{20})Q(\overline{20})$ -粘土。数字上的横线表示是概约数。如果某大类的含量小于8%,可用短横线与含量大的组分分开。短横线之前只能最多列出4种主类字母符号,如 $KIQ-Y$ -粘土。

更详细的标志是用小类或矿物的标号作为角标写出。这种标号也列在表2.1中。如果出现表2.1中没有列举的矿物,可以写出它的全名。例如 $K_{k+k}(63+x)$ 标志一种含高岭石63%(重量)和一种未知份量的高岭土类矿物组成的高岭土。

表示百分含量的括号中还可列入其他内容,如所含阳离子种类、离子交换能力等。这些内容必须写明单位,例如 $M_m(55; Na^+; 95mval/100g)$ 注。如果这些内容是说明粘土的性质,则附在后面。例如 MIQ -粘土($Ca^{2+}, K^+; 65mval/100g$)。

颗粒度,一般是对原料总体而言,写在整个标志的前面。用两个数字标明颗粒度分布。前面一个数字是以微米(μm)为单位的半重量颗粒直径,即50%(重量)的颗粒大于这一直径,另外50%则小于它。后一个数字表示直接测定的比表面积,以平方米每克(m^2/g)为单位。例如 $0.5/40KQI$ -粒土的半重量颗粒直径为 $0.5\mu m$,比表面积为 $40m^2/g$ 。

这种命名体系的其他细节可参阅原著。其中变化是很大的。1958年发行的德国陶瓷协会原料编目中也使用了这种标号方法,其中列举了一系列粘土及高岭土的数据。一些例子列在附表2.2及2.3中。克洛默尔及施勒[9]指出了这种简短标号的缺点以提请注意。即原料中某些含量不大的组分没有给以足够的重视。他们建议将这些对工艺过程产生重要作用的矿物组分也列入。这里包括含量 $\geq 1\%$ 的蒙脱石, $\geq 2\%$ 互相重叠的结构, $\geq 3\%$ 的长石

注: $mval/100g$ 表示每100克中的毫克当量数

表 2.1 粘土命名体系的全部代号恩斯特、福克尔。
盖伦等提供 (Ernst, Forkel, v. Gehlen [8])

大类代号	分类代号	矿物代号
K 高岭土类		ka 高岭石 dc 地开石 fc 火泥矿物
	HL 多水高岭石	
M 蒙脱石类 (蒙脱石, 晶格有 膨胀性)		mo 蒙脱石 nt 绿脱石 sa 皂石
I 云母类矿物 (晶格不能膨胀)	IL 云母类的粘土矿物	hm 水合白云母 il 伊利石 ld 云母地开石
X 其他硅酸盐粘土矿 物		mu 白云母、绢云母 bt 黑云母 ph 金云母 gl 海绿石
X 其他硅酸盐粘土矿 物		tc 滑石 pg 坡缕石, 绿坡缕石
	ML 互相重叠的结构	co 柯绿泥石 hg 水合黑云母
	VM 蛭石类	vm 蛭石
	CH 绿泥石类	
	SP 蛇纹石类	
A 氧化铝及氢氧化铝		gi 三水铝矿 di 硬水铝矿 bo 勃姆石
Q SiO_2 -矿物		qz 石英, 玉髓 cr 方石英 op 蛋白石