

# 沉积-风化型高岭土矿床及其特征

周国平

林毓川

(中国地质科学院矿床地质研究所)

(广东地质测试研究中心)

**内容提要:**近几年发现的产于我国南方第三、第四纪地层中的砂性高岭土矿床规模大,质量优良,矿床在成矿特征,物质组成,粒度组成及工业应用上独具特色,是一种新的高岭土矿床类型即沉积-风化型高岭土矿床。成矿过程经历了前期的沉积作用和后期的风化作用。该类矿床在造纸工业应用上具明显优势,经济价值甚大。

**主题词:** 沉积-风化型高岭土 成矿特征 基本特性

近几年发现的产于我国南方沿海地区第三纪、第四纪地层中的砂性高岭土矿床规模大,埋藏浅,矿石质量优良,在我国属于一种新的高岭土矿床类型。根据郑直等对中国高岭土矿床的分类<sup>[1]</sup>,这种砂性高岭土矿床应归属于沉积型高岭土矿床大类。但由于这类矿床在成矿地质特征、矿石物质组成、粒度组成及工业应用特性方面均和沉积型高岭土矿床大类中的两个亚类——近代和现代河湖海湾沉积亚型(本文以下简称沉积型)和高岭石粘土岩亚型有很大区别<sup>[2,3]</sup>,它属于一种新的亚型,我们暂且称之为沉积-风化亚型(简称沉积-风化型)。成矿过程中经历了前期的沉积作用和后期的风化改造作用。该类型矿床在纸张涂布工业的经济价值甚大,以前在国内研究极少,本文就该类型矿床的主要特征作重点介绍,并将其与风化残积型和沉积型矿床进行对比,以探讨它们之间的异同点。

## 一、沉积-风化型高岭土矿床的地质特征

### (一) 原生沉积特征

沉积-风化型高岭土矿床在经过搬运和沉积作用以后,矿体往往具有明显的原生沉积特征,高岭土矿层严格受地层层位和岩性的控制。以茂名高岭土矿为例,钻孔岩心和地表露头剖面综合观察显示,高岭土矿层具有沉积旋回结构。一般每一旋回的矿层厚度10—20m之间。从旋回的底部开始为具水平层理的含砾中粗砂质高岭土,向上是具波状微细层理的砂质高岭土,至旋回的顶部,往往出现具明显交错层理的砂砾质高岭土。在一个完整的沉积旋回中,中间往往有一至两层代表相对静止,具水平微细层理的粘土质沉积,沉积厚度一般在0.5—1m左右。图1为茂名高岭土矿黄牛岭组含矿层金塘上垌露天采场的二个矿层沉积旋回的剖面示意图。

这种原生沉积旋回控制了高岭土的质量。优质矿石主要由砾质和粗砂质沉积层组成,随着沉积层粒度变细,矿石质量逐渐变差。在粘土质沉积层中,高岭土的质量最差<sup>[2]</sup>。

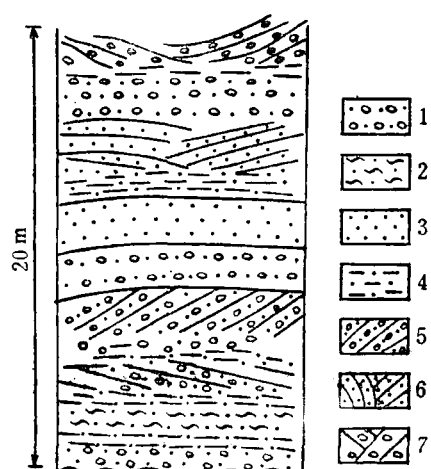


图 1 茂名高岭土矿的沉积旋回示意剖面  
1—中粗粒砂砾质高岭土；2—波状微细层理的砂质高岭土；3—不具层理的粗砂质高岭土；4—粉砂质粘土层；5—具单斜层理的粗砂质高岭土；6—槽状交错层理的粗砂质高岭土；7—砾石层

Fig. 1. Sketch geological section showing the sedimentary cycle of the Maoming kaolin deposit.

1—Medium-coarse grained sandy-rudaceous kaolin; 2—Sandy kaolin with wavelike micro-fine bedding; 3—Coarse sandy kaolin without bedding; 4—Silty clay bed; 5—Coarse sandy kaolin with monoclinic bedding; 6—Coarse sandy kaolin with trenced crossed bedding; 7—Gravel bed.

## (二) 风化特征

风化残积型高岭土的发育是受气候、母岩成分、地形地貌、构造、植被及水介质的物化性质等诸因素综合制约的。由于风化程度的差异，形成的高岭土在垂向上具有一定的分带性。一个完整保存的高岭土风化壳，从下至上可以发育：母岩带、半风化带、风化带和全风化带组成的完整的风化剖面。不同的风化带由于所受风化程度的差异，可以形成一定的风化矿物组合。一般来说，在风化剖面的下部，伊利石、长石含量较高，向上逐渐过渡为以高岭石、埃洛石为主的矿物组合<sup>[1,4]</sup>。

上述风化剖面中矿物组合的某些特征在沉积-风化型高岭土矿床中也可以见到。在整个矿体中，从下至上高岭土的质量受风化强度的控制，下部及底部伊利石和长石含量较高，向上主要转变成高岭石。以茂名高岭土矿为例，根据系统的钻孔采样分析资料，高岭石含量上部最高，下部低，伊利石含量上部仅2%左右，至矿层底部增至10—20%。图2显示了伊利石含量随孔深的变化趋势，正好说明这种特征，长石的变化趋势和伊利石相似<sup>[2]</sup>。

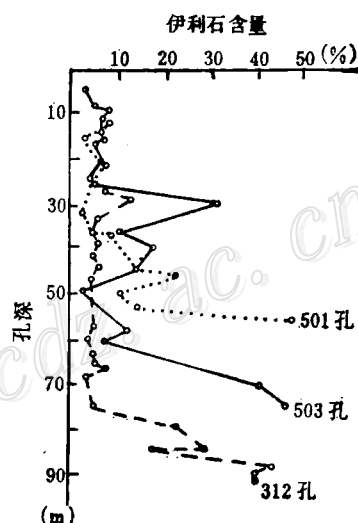


图 2 茂名高岭土矿伊利石含量随孔深的变化趋势图

Fig. 2. Diagram showing variation trend of illite content with depth in the Maoming Kaolin deposit.

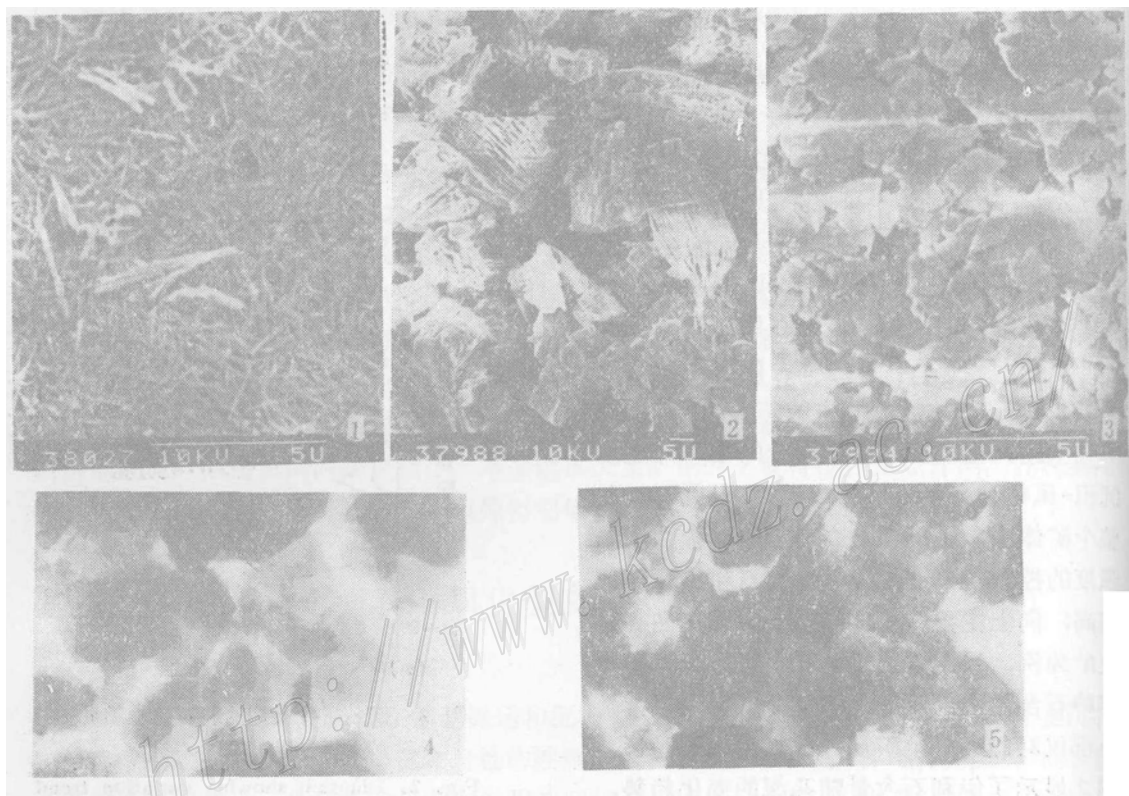
## 二、沉积-风化型高岭土矿床的物质组成特征

### (一) 矿物成分特征

矿物成分特征可以从以下几方面考察。

1. 矿物组合特征 沉积-风化型高岭土矿床的原矿石以高岭石和石英为主, 石英含量一般超过60%<sup>[2]</sup>。风化残积型原矿石含有较多埃洛石、伊利石、蒙脱石和长石, 沉积型原矿石则含较多石英、伊利石、铁和钛的氧化矿物<sup>[1]</sup>。表1是三种类型矿石(<320目)的矿物组合。从表中可见, 矿石虽然经过了一定的精选, 但三种类型矿石的矿物组合仍能区别。表2是经进一步精选成<2 $\mu$ m的矿样的矿物组合特征, 各自的特征仍很明显。其中风化残积型矿床的伊利石含量明显减少, 主要是伊利石中含有较多原岩中残留的白云母, 集中在粗粒级而被选掉。蒙脱石主要集中在细粒级中。

2. 高岭石亚族矿物种类的差异 在风化残积型高岭土矿床中, 风化的主要矿物往往是埃洛石和高岭石的混合物, 在细粒级中往往以埃洛石为主<sup>[1]</sup>(照片1,2)。在沉积-风化型矿床中主要矿物则以高岭石为主, 基本没有埃洛石, 即使在最细粒级中也很少发现埃洛石(照片3,4)。这种特征和风化残积型明显不同, 比较接近沉积型矿石。但后者的高岭石在结晶学特性上和沉积-风化型中的高岭石又存在明显差异(详见下一节), 沉积型多是b轴无序的



照片说明

1. 风化残积型高岭土中<2 $\mu$ m样品中的管状埃洛石 扫描电镜  $\times 6000$
2. 风化残积型高岭土中蠕虫状、叠片状产出的高岭石集合体 扫描电镜  $\times 1500$
3. 沉积-风化型高岭土中<2 $\mu$ m样品中的高岭石 扫描电镜  $\times 6000$
4. 沉积-风化型高岭土中的高岭石单晶, 可见到明显大方形片状外形 透射电镜  $\times 22000$
5. 沉积型高岭土中的高岭石单晶, 注意高岭石单晶的边缘无六方外形特征, 晶体细小, 多呈棱角不明显的片状 透射电镜 $\times 17000$

单斜高岭石，而沉积-风化型则为高度有序的三斜高岭石<sup>[3]</sup>（照片4,5）。

3. 非粘土矿物种类的差异 非粘土矿物包括碎屑矿物和铁、钛氧化物。沉积-风化型矿床中，碎屑矿物主要是石英、长石，原生云母类矿物很少。铁、钛氧化物含量较低，而在沉积型矿床中，这两种矿物的含量普遍较高（表1,2）。

根据各类型矿床的主要矿物成分在三角图上的投影（图3）不难看出，在<320目矿样的三角图中，风化残积型和沉积型矿床的矿物成分有较明显的各自区域，而沉积-风化型的矿物成分差不多落在两者之间，显示了一种混合特征。在<2 $\mu$ m矿样的三角图中，沉积-风

表 1 各类型高岭土矿床高岭土（<320目）的矿物成分（%）

Table 1. Mineral composition of kaolin (<320mesh) from various types of kaolin deposits (in percentage)

| 类 型<br>矿 物       | 风化残积型 |       |       | 沉积-风化型 |       |       | 沉积型    |       |
|------------------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|--------|-------|
|                  | 1     | 2     | 3     | 4      | 5     | 6     | 7      | 8     |
| 石 英              | 4.38  | 9.36  | 17.09 | 14.01  | 17.10 | 17.82 | 18.81  | 25.19 |
| 长 石              | 1.18  | 1.29  | 2.71  | 0.85   | 0.37  | 1.38  | 1.24   | 0.20  |
| 高岭石 <sup>①</sup> | 78.22 | 68.48 | 73.43 | 81.48  | 72.83 | 67.12 | 60.66  | 55.06 |
| 伊利石              | 11.19 | 15.57 | 5.66  | 0.42   | 5.07  | 9.13  | 14.04  | 14.71 |
| 蒙脱石              | 1.80  | 2.07  | 0.00  | 0.00   | 0.00  | 0.00  | 0.00   | 0.69  |
| 褐铁矿              | 0.54  | 0.42  | 0.14  | 0.62   | 0.62  | 1.28  | 0.85   | 0.85  |
| 钛铁矿              | 0.03  | 0.00  | 0.14  | 0.48   | 0.36  | 0.51  | 1.92   | 1.07  |
| 磷酸盐              | 0.00  | 0.00  | 0.00  | 0.00   | 0.00  | 0.12  | 0.00   | 0.00  |
| 其它矿物             | 1.92  | 1.71  | 0.50  | 1.23   | 1.94  | 1.35  | 3.00   | 1.73  |
| 总 和              | 99.28 | 99.19 | 99.69 | 98.92  | 98.29 | 98.71 | 100.62 | 99.51 |

① 在风化残积型矿床中主要指高岭石和埃洛石的混合物

表 2 各类型高岭土矿床高岭土（<2 $\mu$ m）的矿物成分（%）

Table 2. Mineral composition of kaolin (<2 $\mu$ m) from various types of kaolin deposits (in percentage)

| 类 型<br>矿 物       | 风化残积型  |       |       | 沉积-风化型 |       | 沉积型   |       |
|------------------|--------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|
|                  | 1      | 2     | 3     | 4      | 5     | 6     | 7     |
| 石 英              | 0.00   | 0.00  | 0.00  | 1.05   | 0.00  | 1.12  | 2.29  |
| 长 石              | 2.96   | 2.92  | 1.83  | 0.00   | 0.00  | 3.94  | 4.38  |
| 高岭石 <sup>①</sup> | 88.08  | 91.52 | 92.26 | 93.41  | 95.27 | 74.19 | 77.15 |
| 伊利石              | 1.69   | 0.59  | 3.46  | 2.79   | 3.29  | 15.30 | 12.26 |
| 蒙脱石              | 4.80   | 2.00  | 0.00  | 0.00   | 0.00  | 0.00  | 0.00  |
| 褐铁矿              | 0.095  | 0.50  | 0.28  | 0.33   | 0.21  | 0.92  | 0.51  |
| 钛铁矿              | 0.00   | 0.01  | 0.22  | 0.29   | 0.15  | 1.04  | 0.80  |
| 其它矿物             | 2.52   | 2.15  | 1.40  | 1.09   | 0.42  | 2.61  | 1.95  |
| 总 和              | 100.15 | 99.67 | 99.45 | 98.98  | 99.36 | 99.14 | 99.37 |

① 在风化残积型矿床中主要是埃洛石

化型矿石的组分点落在最靠近高岭石+埃洛石的端员点旁边,这又说明该类型矿石的可选性明显优于其他两类矿石,精选样品的纯度很高,这对于提高矿石的经济利用价值是至关重要的。

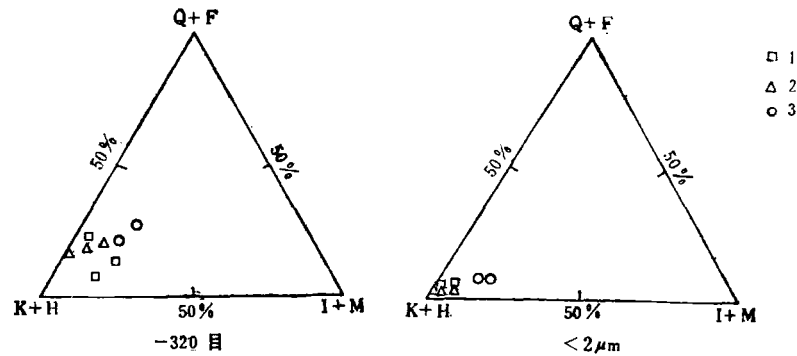


图3 各类型高岭土矿石的主要矿物组分的三角图投影

1—风化残积型; 2—沉积-风化型; 3—沉积型; K+H—高岭石+埃洛石; I+M—伊利石+蒙脱石; Q+F—石英+长石

Fig. 3. Triangular diagram for major mineral composition of various types of kaolin ore.

1—Weathering eluvial type; 2—Sedimentary-weathering type; 3—Sedimentary type; K+H—Kaolinite + halloysite; I+M—Illite + montmorillonite; Q+F—Quartz + feldspar.

的。

## (二) 高岭土矿物的结晶有序度

沉积-风化型高岭土矿床中的高岭石具有明显的三斜晶系特征,在X射线衍射图中(图4), $(11\bar{1})$ 和 $(1\bar{1}1)$ 双峰已开始分解, $(111)$ 、 $(11\bar{2})$ 、 $(1\bar{1}2)$ 和 $(022)$ 四个反射清晰,并具一定强度, $(001)$ 和 $(002)$ 反射尖锐对称,按照欣克利方法<sup>[5]</sup>计算的高岭石的结晶度指数一般在1.3—1.4之间,属于有序度较高的1T型高岭石范畴<sup>[3,6]</sup>。

沉积型矿床中的高岭石的有序度明显变差,X射线衍射图(图4)中 $k \neq 3n$ 的反射基本

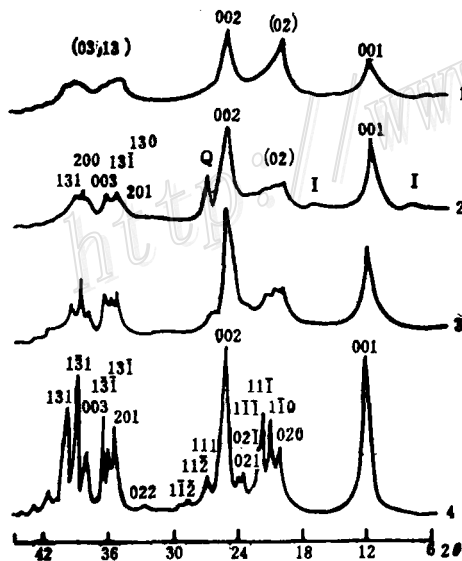


图4 各类型高岭土矿床高岭土矿物的X-射线衍射图

(CuK $\alpha$ 辐射,电压50kV,电流40mA,测试者:黄家山,周国平)

1—风化残积型高岭土中的埃洛石; 2—沉积型高岭土中的高岭石; 3—风化残积型高岭土中的高岭石; 4—沉积-风化型高岭土中的高岭石; I—伊利石; Q—石英

Fig. 4. X-ray diffraction patterns of kaolin minerals from various types of kaolin deposits.

1—Halloysite in weathering eluvial kaolin; 2—Kaolinite in sedimentary type kaolin; 3—Kaolinite in weathering eluvial type kaolin; 4—Kaolinite in sedimentary-eluvial type kaolin; I—Illite; Q—Quartz.

不存在(021)、(111)、(11 $\bar{2}$ )、(1 $\bar{1}2$ )和(022)反射完全消失, $h=3n$ 的两组反射宽化、合并,强度变小。这些特征说明沉积型矿床中的高岭石已转变成b轴无序的高岭石<sup>[7,8]</sup>。

在风化残积型高岭土矿床中,高岭土矿物包括高岭石和埃洛石,高岭石多呈大的蠕虫状叠片产出,集中在粗粒级中,埃洛石则呈细长的管状体,集中在细粒级中。在X射线衍射图中(图4),埃洛石正好和高岭石相反,(001)和(002)反射一般都发生宽化,不对称,反射强度变弱,(020)反射强度大于(001)反射。 $2\theta$ 在20—22℃范围内已没有任何 $hkl$ 反射分解出来, $2\theta$ 35—40℃范围内,两组 $hkl$ 三峰也呈两个高台阶出现。这种特征说明埃洛石具有无序的二维结构特征<sup>[7]</sup>。

以上可见,不同成因的高岭土矿床中高岭土矿物的结晶有序度是截然不同的,沉积-风化型矿床中的高岭石有序度高,晶体发育良好,和其它两类矿床有明显的差异<sup>①</sup>。

### (三) 化学成分特征

表3是三种类型矿石<320目矿样的化学分析结果。沉积-风化型矿床的化学成分特点是 $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 、 $\text{TiO}_2$ 含量均比较低,和风化型矿石比较接近,但明显区别于沉积型矿床。碱和碱土金属离子含量很低,尤其是 $\text{K}_2\text{O}$ 含量低,是其它矿石无法相比的。<320目矿样中 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 含量已超过30%(平均),说明精矿率是比较高的。

在<2 $\mu\text{m}$ 的矿样中(表4),沉积-风化型矿床的其他杂质含量很低,而沉积型矿床中的 $\text{TiO}_2$ 、 $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 、 $\text{K}_2\text{O}$ 含量仍然较高,两者相差比较显著,这也说明沉积-风化型矿床的可选性很好,高纯度的精矿样品在工业应用上具有很大的优点。

表3 各类型矿床高岭土(<320目)的化学成分(%)

Table 3. Chemical composition of kaolin (<320mesh) from various types of kaolin deposits (in percentage)

| 氧化物<br>类 型    |   | $\text{SiO}_2$ | $\text{TiO}_2$ | $\text{Al}_2\text{O}_3$ | $\text{Fe}_2\text{O}_3$ | $\text{FeO}$ | $\text{K}_2\text{O}$ | $\text{Na}_2\text{O}$ | $\text{CaO}$ | $\text{MgO}$ | $\text{MnO}$ | 烧失量   | 总 和    |
|---------------|---|----------------|----------------|-------------------------|-------------------------|--------------|----------------------|-----------------------|--------------|--------------|--------------|-------|--------|
| 风化<br>残积<br>型 | 1 | 47.67          | 0.016          | 35.87                   | 0.71                    | 0.14         | 1.40                 | 0.23                  | 0.02         | 0.16         | 0.02         | 13.13 | 99.37  |
|               | 2 | 51.03          | 0.00           | 33.20                   | 0.66                    | 0.07         | 2.00                 | 0.27                  | 0.02         | 0.22         | 0.08         | 11.91 | 99.46  |
|               | 3 | 55.71          | 0.14           | 31.71                   | 0.09                    | 0.19         | 0.67                 | 0.32                  | 0.00         | 0.00         | 0.00         | 11.02 | 99.85  |
| 沉积-<br>风化型    | 4 | 52.14          | 0.28           | 33.82                   | 0.55                    | 0.03         | 0.47                 | 0.03                  | 0.00         | 0.04         | 0.00         | 12.04 | 99.40  |
|               | 5 | 51.76          | 0.46           | 34.55                   | 0.73                    | 0.02         | 0.77                 | 0.03                  | 0.00         | 0.05         | 0.00         | 12.10 | 100.47 |
|               | 6 | 59.21          | 0.49           | 28.06                   | 0.95                    | 0.00         | 1.27                 | 0.12                  | 0.09         | 0.25         | 0.00         | 9.52  | 99.96  |
| 沉积型           | 7 | 54.62          | 1.01           | 29.69                   | 1.29                    | 0.00         | 1.66                 | 0.08                  | 0.18         | 0.34         | 0.01         | 11.45 | 100.33 |

测试单位:地质矿产部岩矿测试技术研究所

① 周国平、林毓川,1991,高岭石的结晶有序度与纸张涂布的粘浓度的关系(待刊)

表 4 各类型矿床高岭土 ( $<2\mu\text{m}$ ) 的化学成分 (%)Table 4. Chemical composition of kaolin ( $<2\mu\text{m}$ ) from various types of kaolin deposits (in percentage)

| 氧化物<br>类 型  |   |                  |                  |                                |                                |       |                  |                   |       |      |      |       |        |
|-------------|---|------------------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|-------|------------------|-------------------|-------|------|------|-------|--------|
|             |   | SiO <sub>2</sub> | TiO <sub>2</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | FeO   | K <sub>2</sub> O | Na <sub>2</sub> O | CaO   | MgO  | MnO  | 烧失量   | 总 和    |
| 风化残<br>积型   | 1 | 43.74            | 0.00             | 39.20                          | 0.13                           | 0.09  | 0.20             | 0.32              | 0.05  | 0.00 | 0.01 | 16.46 | 100.20 |
|             | 2 | 45.12            | 0.01             | 37.79                          | 0.68                           | 0.11  | 0.07             | 0.41              | 0.03  | 0.17 | 0.00 | 15.54 | 99.93  |
| 沉积-<br>风化型  | 3 | 44.14            | 0.20             | 38.05                          | 0.54                           | 0.03  | 0.20             | 0.04              | 0.00  | 0.02 | 0.00 | 15.80 | 99.02  |
|             | 4 | 45.26            | 0.22             | 37.80                          | 0.39                           | 0.045 | 0.41             | 0.22              | 0.094 | 0.11 | 0.00 | 14.46 | 99.01  |
|             | 5 | 44.59            | 0.15             | 39.60                          | 0.29                           | 0.11  | 0.39             | 0.47              | 0.00  | 0.00 | 0.00 | 14.45 | 100.05 |
| 沉<br>积<br>型 | 6 | 45.64            | 1.04             | 36.00                          | 1.25                           | 0.11  | 1.81             | 0.43              | 0.06  | 0.28 | 0.00 | 13.10 | 99.72  |
|             | 7 | 47.05            | 0.81             | 36.06                          | 0.70                           | 0.20  | 1.45             | 0.50              | 0.03  | 0.21 | 0.00 | 12.82 | 99.83  |

测试单位: 地质矿产部岩矿测试技术研究所

### 三、沉积-风化型高岭土矿床的粒度组成特征

高岭土的粒度组成在工业应用上是关键指标之一, 其又受成矿作用和矿物成分的影响。表 5 列出了三种类型高岭土矿石的粒度组成, 并根据粒度组成特征绘制了粒度分布曲线 (图 5)。

风化残积型矿床的粒度一般都偏粗, 平均粒径在  $10\mu\text{m}$  左右, 频度峰值在  $8-10\mu\text{m}$ , 峰值的百分含量变化在  $30-45\%$ 。粒度分布曲线向粗粒级方向出现平缓的台阶, 粗粒级部分的含量平均可达  $20-30\%$ 。沉积型矿床粒度普遍较细。平均粒径不超过  $2\mu\text{m}$ , 频度峰值在  $2\mu\text{m}$  左右, 峰值百分含量可高达  $50\%$  以上, 其特点是粗粒级组分少, 而  $<1\mu\text{m}$  粒级含量却高达  $37\%$ 。粒度分布曲线呈陡峭型, 这种特征在沉积型高岭土矿床中是普遍存在的<sup>[1]</sup>。

沉积-风化型高岭土矿床的粒度分布特征恰好界于两者之间, 其平均粒径在  $2-6\mu\text{m}$ , 频

表 5 各类型矿床高岭土的粒度分布

Table 5. Grain size distribution of kaolin from various types of kaolin deposits

| 类 型        |   | 重 量 累 积 (%)     |                  |                  |                   |                    |                    |                    | 平均粒径<br>( $\mu\text{m}$ ) | 比表面积<br>( $\text{cm}^2/\text{g}$ ) |
|------------|---|-----------------|------------------|------------------|-------------------|--------------------|--------------------|--------------------|---------------------------|------------------------------------|
|            |   | $<1\mu\text{m}$ | $1-2\mu\text{m}$ | $2-5\mu\text{m}$ | $5-10\mu\text{m}$ | $10-20\mu\text{m}$ | $20-30\mu\text{m}$ | $30-40\mu\text{m}$ |                           |                                    |
| 风化残<br>积型  | 1 |                 | 9.46             | 20.54            | 54.16             | 76.98              | 91.87              | 97.2               | 10.18                     | 4493.13                            |
|            | 2 |                 | 7.40             | 16.95            | 44.33             | 70.20              | 87.92              | 94.96              | 10.26                     | 4687.35                            |
|            | 3 | 7.94            | 10.59            | 31.05            | 72.35             | 84.95              | 92.05              | 93.5               | 7.23                      | 6826.85                            |
| 沉积-<br>风化型 | 4 |                 | 46.45            | 81.35            | 94.95             | 98.95              | 100                |                    | 2.26                      | 13558.5                            |
|            | 5 | 23.9            | 48.6             | 78.7             | 94.8              | 100                |                    |                    | 2.34                      | 17410.0                            |
|            | 6 | 17.83           | 20.6             | 40.64            | 72.6              | 82.1               | 89.0               | 96.0               | 6.62                      | 8713.56                            |
| 沉积型        | 7 | 37.6            | 56.8             | 84.9             | 94.8              | 98.2               | 100                |                    | 1.64                      | 22544                              |
|            | 8 | 37.5            | 56.7             | 84.0             | 92.8              | 100                |                    |                    | 1.65                      | 22542                              |

度峰值在2—5 $\mu\text{m}$ ，偏向于2 $\mu\text{m}$ ，峰值百分含量变化在45—50%之间。粗粒级组分很少，但5—10 $\mu\text{m}$ 粒级的含量高于沉积型矿床，同时，<1 $\mu\text{m}$ 粒级的含量也低于沉积型矿床。这些特点说明沉积-风化型矿床的粒度组成独具特色，这种粒度分布特征在纸张涂布工业中具有明显的优点。

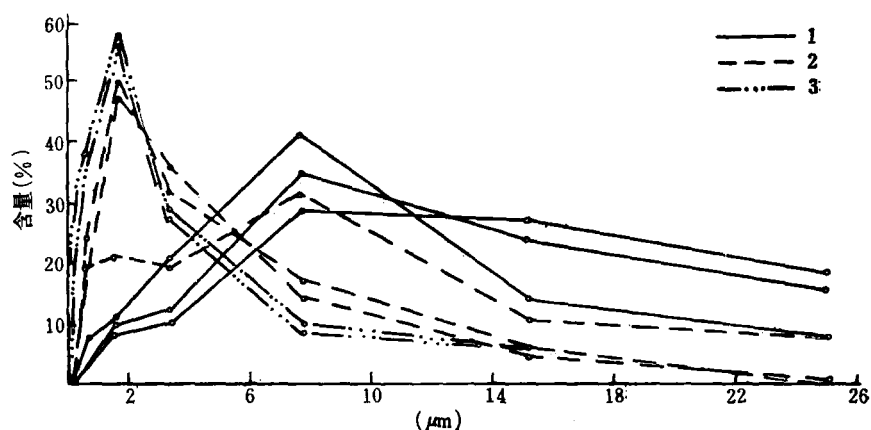


图 5 各类型高岭土矿床的粒度分布曲线

1—风化残积型；2—沉积-风化型；3—沉积型

Fig. 5. Grain size distribution of various types of kaolin ore.

1—Weathering-eluvial type; 2—Sedimentary-weathering type; 3—Sedimentary type.

#### 四、沉积-风化型高岭土矿床的工业应用特点

综上所述，沉积-风化型高岭土矿床无论在矿物组合、高岭石的结晶有序度、化学成分还是粒度组成方面均有其明显的独特性。这正是风化残积型高岭土矿床或沉积型高岭土矿床所不具备的。上述这些优点使沉积-风化型高岭土矿床成为很理想的造纸涂布原料。造纸涂布试验表明该类型矿石的各项涂布性能均明显优于其它两类矿石，尤其是亮度和粘浓度指标占明显的优势，涂布纸的光泽度也高（表6）。

表 6 各类型矿床高岭土的纸张涂布性能

Table 6. Paper-coating properties of kaolin from various types of kaolin deposits

| 矿床类型       |   | 亮度 (%) | 粘浓度 (%)<br>(固含量/0.5Pas) | 磨 耗<br>(mg) | 涂布量<br>(g/m <sup>2</sup> ) | 平滑度<br>(sec) | 光泽度<br>(75°, %) | 拉毛速度<br>(cm/s) | -2 $\mu\text{m}$ % |
|------------|---|--------|-------------------------|-------------|----------------------------|--------------|-----------------|----------------|--------------------|
| 风化残<br>积型  | 1 | 86.2   | 48.3                    | 3           | 20                         | 1830         | 41.2            | 105            | 79                 |
|            | 2 | 81.8   | 57.9                    | 2           | 20                         | 1007         | 38              | 331            | 81                 |
| 沉积-<br>风化型 | 3 | 87     | 67.7                    | 10          | 20                         | 685          | 64              | 66             | 87                 |
|            | 4 | 87.8   | 72                      | 6           | 20                         | 705          | 69              | 77             | 100                |
|            | 5 | 88.3   | 67.2                    | 2           | 20                         | 645          | 62              | 142            | 88                 |
| 沉积型        | 6 | 76.4   | 53.3                    | 1           | 20                         | 978          | 50.9            | 163            | 99.5               |

测试单位：轻工业部造纸研究所

## 五、沉积-风化型高岭土矿床的成矿地质特征

风化残积型高岭土矿床主要由含铝硅酸盐类的岩石,如花岗岩、石英斑岩、伟晶岩、混合花岗岩及中酸性的脉岩和少量长石砂岩,在大气、地表水、地下水的物理化学作用下,将一些易溶的活动组分带出风化场所,残留的铝和硅组分以  $Al_2(OH)_4^{2+}$  和  $Si_2O_5^{2-}$  的胶体形式在水的参与下直接在母岩体上生成的高岭土。风化作用的过程就是母岩中的长石和云母类矿物在表生条件下逐渐向高岭石族矿物转化的过程。风化残积型高岭土或多或少保留有母岩的残留结构构造特征和母岩的残余组分。成矿的主导因素包括成矿原岩特征,构造、蚀变及地貌、气候植被等条件和水介质的氢离子浓度。矿石的物质组分特征是上述这些综合因素作用的结果。

沉积型高岭土矿床主要由岩浆岩、火山岩、脉岩等中、酸性岩类遭受风化作用形成的粘土物质经河流搬运、分选并沉积在沉积盆地、河谷洼地或滨海海湾的高岭土。有些沉积型高岭土矿床在沉积以后还经历了进一步的成岩作用,但一般都不再进一步遭受风化改造作用。因此,矿石的物质组分主要代表了经河流搬运沉积后所形成的组分特点。

考察沉积-风化型高岭土矿床的成矿地质作用,一个最明显的特点是高岭土在后期经历了进一步的风化改造作用,这种风化改造作用常常是在有油页岩及煤层伴生的条件下进行的。矿床的形成包括前期的沉积阶段和后期的风化改造阶段,兹以茂名高岭土矿床为例说明之。据区域地质资料<sup>①</sup>,茂名高岭土矿的黄牛岭组含矿层<sup>[2]</sup>主要由灰色、灰白色的松散砂砾层、砂层和灰色、浅黄色的砂质粘土夹煤线组成,常含黄铁矿;老虎岭组含矿层<sup>[2]</sup>的原始成分和黄牛岭组相似,也夹有煤线。碎屑物质都由石英和半风化的长石及粘土矿物组成。显然,在这两组地层沉积期间,沉积作用总体上是在潮湿、还原的条件下进行的。此外,位于老虎岭组和黄牛岭组之间的尚村组<sup>[2]</sup>则是一套湖相泥岩沉积建造,含有大量的油页岩和褐煤。位于黄牛岭组下部的油柑窝组<sup>[2]</sup>则是一套近海湖沼相的碎屑岩——可燃有机岩建造,并夹有褐煤。因此,在黄牛岭组沉积前后,以及老虎岭组沉积前,地质环境也是潮湿多雨的。潮湿的气候,充沛的雨量,较稳定的构造环境等条件适合于岩石的风化和风化后的搬运沉积。潮湿、还原的环境也使沉积物不至于立即氧化。正是在这种适宜的气候环境中,盆地周围的花岗岩和酸性的火山岩经受了风化、破碎,长石开始部分向粘土矿物转变,并不断被水流搬运至不远的盆地中沉积下来。

未完全转变成高岭石的风化或半风化的长石,在进入沉积盆地以后,由于处在一种潮湿的气候条件下,又进一步经历了风化淋滤作用。由于沉积物上下均有有机岩,这些物质经氧化后释放的酸性介质使地下水的酸度明显增加,这种在酸性介质参与下的风化淋滤作用加速了半风化的长石和伊利石向高岭石的转变。在这种酸性环境中,唯有高岭石族矿物是稳定的<sup>[8,9]</sup>。因此,在长石的二次风化过程中,盆地中的酸性条件起了重要的催化加速作用。砾质、粗砂质的沉积物由于结构疏松,孔隙多,便于酸性介质渗透和流通,进行淋滤作用,因而就促使半风化的长石更彻底地向高岭石转变,残留的碱和碱土金属离子及铁质也能迅速地被水介质带走,形成的高岭土质量就最佳,这类矿石的自然白度往往是最高的。由于黄牛岭

① 广东省地质局, 1965, 区域地质测量报告书

组和老虎岭组所处的酸性环境,使其在沉积后的进一步风化过程中迅速地向优质的高岭土矿层转变。而含矿层中所夹的似层状或透镜状的粘土层<sup>[2]</sup>,由于结构细密,不利酸性的水介质的渗透和流通,因此,沉积以后的风化转变并不明显,虽然矿物成分仍以高岭石、伊利石和石英为主,但伊利石含量明显增加,氧化铁含量很高,这显然和后期风化作用的不彻底有关。

综上所述,可以清楚地看到,沉积-风化型高岭土矿床的成矿过程是很独特的,前期沉积作用阶段,赋存空间是其成矿的首要条件,因而,构造运动产生的各种沉积盆地对其是至关重要的。成矿期间的构造运动幅度决定了高岭土沉积物的厚度;成矿期后的构造稳定程度又决定了高岭土矿床的保存程度。高岭土在沉积以后或成岩早期的进一步风化改造作用又取决于盆地中氧化还原电位和介质的pH值。这时水介质的 $H^+$ 浓度在高岭土的风化改造中又起了决定性的作用。这两种作用的叠加,形成了这种粒度细、纯度高的优质高岭土矿床,使矿床兼有沉积、风化两种矿床各自的优点,在工业应用上获得了巨大的经济价值。

## 六、小 结

1. 沉积-风化型高岭土矿床在矿物组合、高岭石结晶有序度、化学成分、粒度组成及造纸工艺性能方面都有别于风化残积型和沉积型高岭土矿床。

2. 沉积-风化型高岭土矿床的矿石经选矿加工后矿物成分、粒度分布、白度、粘浓度各项指标均适合于作为纸张涂布原料,涂布试验表明涂布性能优良。

3. 沉积-风化型高岭土矿床在成矿后期经历了进一步的风化改造作用,使矿石质量得到明显改善。成矿作用包括了前期沉积和后期风化改造两个阶段。

笔者的野外调查工作曾得到广东省地矿局、广东省地矿局757、704地质队、廉江县矿产贸易开发总公司、茂名石油公司、茂名市矿产公司等单位的大力协助,实验室工作是在汤驥、白名岗、周梅馨、黄承颜、杨安国等同志的协助下完成的,在此一并致谢。

## 参 考 文 献

- [1] 郑直、吕达人等 1987 中国主要高岭土矿床 北京科学技术出版社
- [2] 林毓川、周国平、赵念真 1989 茂名高岭土矿的矿物组成、造纸工艺性能及成矿地质条件探讨 矿床地质 第3期 56—64页
- [3] 周国平、黄家山、汤驥、白名岗 1988 茂名高岭土矿高岭石的矿物学特征及其涂布性能 南京地矿所刊 Vol.9, No.2, p.1—10
- [4] 周国平 1990 沙尾风化壳高岭土矿床的研究 矿床地质 第2期 第167—175页
- [5] Hiinckley, D. N., 1963, Variability in "crystallinity" values among the kaolin deposits of the coastal plain of Georgia and south Carolina, Clay and Clay Minerals, Proc. 11th. Conf. 1962, p. 229-235.
- [6] Brindley, G. W., 1946, The structure of kaolinite. Min. Mag. Vol. 27, p. 242-252.
- [7] Norihiko Kohyama et al., 1978, Observation of the hydrated form of tabular halloysite by an electron microscope equipped with an environmental cell. Clay and Clay minerals, Vol. 26, p. 25-40.
- [8] Curtis, C. D. and Spears, D. A., 1971, Diagenetic development of kaolinite. Clay and Clay Minerals. Vol. 19, p. 219-227.
- [9] Huang, W. H. and Keller, W. D., 1973, New stability diagrams of some phyllosilicates in the  $SiO_2-Al_2O_3-K_2O-H_2O$  system. Clay and Clay Minerals. Vol. 21, p. 331-336.

## SEDIMENTARY-WEATHERING TYPE KAOLIN DEPOSITS AND THEIR CHARACTERISTICS

Zhou Guoping

*(Institute of Mineral Deposits, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing)*

Lin Yuchuan

*(Center of Geological Analysis of Guangdong Province, Guangzhou, Guangdong Province)*

### Abstract

Arenaceous kaolin deposits occurring in Tertiary and Quaternary sediments along the coastal area of South China discovered in recent years, are great in size, shallow in buried depth and fine in ore quality. They are of a new type and might be called sedimentary-weathering type kaolin deposits. Mineral deposits of this type show distinct characteristics in such aspects as minerogenic geological conditions, mineral composition, mineralogy, grain size distribution and industrial uses. They were formed through the further weathering of weathered or semi-weathered materials of granite and acid volcanic rocks similar to granite in composition which had already been transported for a short distance by river into the acid sedimentary basin. During the late-stage weathering process, the weathered materials were further converted into kaolinite as a result of the action of acid media in the basin.

Kaolin deposits are quite simple in mineral composition and consist mainly of kaolinite and quartz. Dressed kaolin contains as high as over 92 percent of kaolinite which is well crystallized and mostly assumes flaky microcrystals ( $<1\mu\text{m}$ ). In contrast to this type, kaolinite in sedimentary type kaolin deposits is commonly converted into b-axis disordered one as a result of transportation. Chemical analysis shows that in kaolin,  $\text{Fe}_2\text{O}_3 < 1\%$ ,  $\text{TiO}_2 < 0.5\%$ , and in elaborately dressed kaolin,  $\text{Fe}_2\text{O}_3 < 0.5\%$ ,  $\text{TiO}_2 < 0.3\%$ , and  $\text{Al}_2\text{O}_3$  and  $\text{SiO}_2$  are as high as 38% and 45% respectively, which cause the kaolin to have relatively high natural whiteness. Grain size distribution indicates that its average grain sizes are in the range of 2—6  $\mu\text{m}$  with the proportion of  $<3\mu\text{m}$  reaching some 50 percent. With these characteristics, the kaolin demonstrates good quality in paper coating industry. Its viscosity is as high as 67—72% (0.5Pas) and its brightness  $>87\%$ . Experiments show that this type of kaolin is an ideal material for paper coating.