

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

林毓川

周国平

赵念真

(广东地质测试中心)

(地矿部矿床地质研究所)

(广东地质测试中心)

内容提要: 茂名高岭土产于上第三系中新统黄牛岭组和新统老虎岭组。高岭土受地层层位控制,分布广,储量大,埋藏浅,易开采,经济效益明显。矿物组成主要为高岭石和石英,下部矿体含少量伊利石。高岭石为片状晶体,有序度高,粒度细,粒级分布理想,具有良好的造纸工艺性能,是我国优质的造纸刮刀涂料级原料。矿床的形成经历了前期的沉积阶段和后期的风化阶段,盆地中的煤层和油页岩氧化形成的酸性环境对风化成矿起了决定性作用。

主题词: 高岭石 造纸涂料 成矿条件 茂名

茂名是我国目前优质的造纸涂料级原料产地,高岭土矿分布广泛,储量巨大,埋藏浅,开采方便。该矿自1986年发现以来,引起了各方面的充分重视。目前,有关单位正在筹建高岭土涂料精选厂,准备在茂名建立高岭土造纸涂料的出口生产基地。该矿的发现和开采对解决我国造纸刮刀涂料级原料的资源紧缺,加速造纸工业的发展,提高社会效益将起重大作用。本文将对该矿矿石的矿物组成,造纸工艺特性作重点介绍,并对该矿床的成矿地质条件和找矿特征进行探讨。

一、地质概况

茂名高岭土产于茂名第三系盆地内,矿区位于茂名北郊金塘、山阁一带。茂名盆地位于吴川—四会断裂带与廉江—信宜断褶带之间,是一个受高棚岭断裂控制的断陷盆地。矿区及其附近出露的主要地层如下:

1. 第四系(Q): 以砂石、砂砾、砂、粘土质矿物和砂质粘土沉积为主,厚度0—83m。
2. 上第三系上新统高棚岭组(N_2g): 为一套复矿砾岩、复矿砂岩、砂质粉砂岩沉积,厚度大于1200m。该组与上下地层呈角度不整合接触。
3. 上第三系上新统老虎岭组(N_2l): 为一套砂砾岩、泥岩和粘土的沉积,是主要的高岭土含矿层。厚度大于450m。该组与下伏尚村组呈平行不整合接触。
4. 上第三系中新统尚村组(N_1sh): 为一套泥岩、油页岩、砂砾岩和砂岩的沉积,夹有褐煤层,厚度约547m。
5. 上第三系中新统黄牛岭组(N_1h): 为一套砂砾岩、砂岩、砂质粘土夹泥岩的沉积,是主要的高岭土含矿层。厚度71—157m。与下伏油柑窝组呈平行不整合接触。

6. 下第三系油柑窝组 (Ey) : 为一套砂砾岩、砂岩和油页岩的沉积, 夹褐煤和泥岩薄层, 厚度26—116m。与下伏丹霞群呈角度不整合接触。

区内岩浆岩以燕山二—五期中酸性花岗岩、花岗闪长岩为主, 有少量火山喷出岩及加里东期混合花岗岩在局部出露。茂名盆地总体为一不对称向斜构造, 走向北西。由于受加里东—喜马拉雅期多期地壳运动的影响, 盆地内断裂发育, 形成北东、北西向众多小断裂盆地。

二、矿床地质特征

茂名高岭土主要产于上第三系中、上新统的黄牛岭组和老虎岭组的下部, 含矿层岩性均为风化的含砾长石石英砂岩和长石石英砂岩。大部分长石已转变成高岭石, 矿石中常见长石风化后保留的长石晶体假象。矿层一般呈层状、似层状产出。矿层分布广泛, 延伸数十公里, 其范围西起金塘上垌, 东至山阁飞鼠岭, 南起电白县羊角西埔, 北至霞池文林洪山、南塘一带, 出露面积约20多平方公里 (图1)。

黄牛岭组中已发现两个高岭土矿, 西矿体位于金塘上垌一带, 断续出露长达5700m, 宽500m, 厚20—45m, 走向NW, 倾向NE, 倾角较缓, 一般为 6° — 13° 。东矿体位于电白羊角西埔一带, 断裂出露长达8700m, 宽900m, 厚20—30m, 走向EW, 倾向北, 倾角平均只有 6° — 8° 。产于老虎岭组的高岭土矿位于山阁、霞池、文林一带, 矿体断续出露长达18km, 宽250—500m, 厚10—60m, 西段走向为NW, 倾向NE, 东段走向NE, 倾向NW, 倾角一

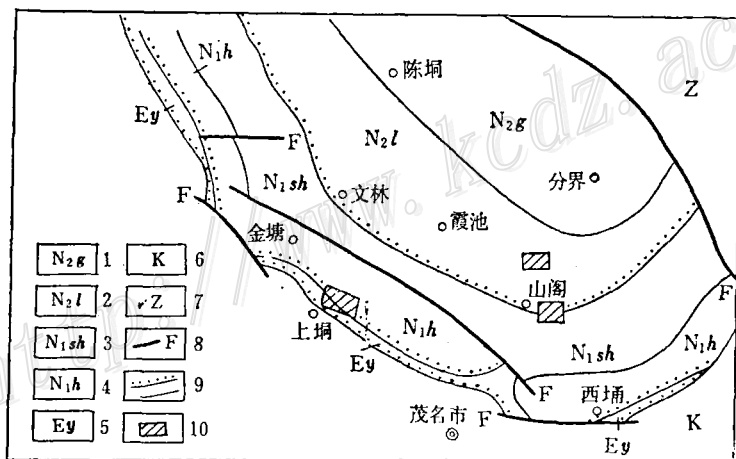


图1 茂名盆地地质略图

1—高棚岭组; 2—老虎岭组; 3—尚村组; 4—黄牛岭组; 5—油柑窝组; 6—白垩系; 7—震旦系; 8—断层; 9—地质界线及不整合界线; 10—已勘探的高岭土矿范围

Fig.1. Sketch geological map of the Maoming basin.

1—Gaopengling Formation; 2—Laohuling Formation; 3—Shangcun Formation; 4—Huangniuling Formation; 5—Youganwo Formation; 6—Cretaceous; 7—Sinian; 8—Fault; 9—Geological boundary and unconformity; 10—Limits of explored kaolin ore.

一般为 5° — 10° ，复盖层厚度为0—5m。

高岭土矿保留了明显的原生沉积特征，矿层具有沉积旋回结构，每一旋回的矿层厚度在10—20m之间，使矿层严格受地层层位和岩性的控制。高岭土的矿石类型主要有砂砾质高岭土和砂质高岭土两种。矿石以砾性泥质结构和砂性泥质结构为主，又可将其分为粗砾泥质结构、中砂泥质结构、细砂泥质结构和粉砂泥质结构四种亚类型，其次还有少量泥质结构。前四种亚类为优质的矿石类型。泥质结构矿石质量往往变差，尤其在造纸工艺性能方面，其性能最差，而以砾质和粗、中砂质结构为最佳。

三、高岭土的物质组成和造纸工艺性能

(一) 物质组分特征

1. 化学成分：茂名高岭土多呈一种砂性的松散状矿石产出，原矿中 Al_2O_3 含量平均仅占10%左右， SiO_2 含量则高达80%以上。但由于矿石结构松散，很易分选，经过淘洗，高岭石很易富集。根据上垌和山阁两个矿段200多个地表和钻孔样品的分析资料（表1），茂名高岭土矿<320目的精矿中 Al_2O_3 含量平均都超过30%， SiO_2 含量平均为50%左右，平均精矿率可达25%。精矿中其他成分含量已很少，尤其是铁、钛含量不高，一般不超过1%。从表1不难看出， SiO_2 、 Al_2O_3 含量的均方差都比较小，说明离散程度不大，即高岭土在纵向和横向上的变化较小，质量较稳定。比较两个矿段，上垌矿段的标准差略小于山阁矿段，说明前者中 Al_2O_3 、 SiO_2 的含量更接近于平均值。此外，无论上垌矿段还是山阁矿段， Fe_2O_3 、 TiO_2 含量的变异程度都很大。矿区有机炭的含量并不高，一般为0.02—0.03%，最高为0.05%。

表1 茂名高岭土<320目矿样主要化学成分平均值(%)

Table 1. Principal chemical composition (on average) of ore samples (<320 mesh) from the Maoming kaolin deposit

矿 段	上 垌 矿 段				山 阁 矿 段			
成 分	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	TiO_2	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	TiO_2
平 均 值	52.65	32.52	0.84	0.48	53.62	30.82	0.84	0.36
均 方 差	2.52	2.37	0.43	0.20	5.79	3.37	0.43	0.15

2. 矿物成分：茂名高岭土矿物成分以石英和高岭石为主，含少量伊利石，不含埃洛石和蒙脱石。原矿中高岭石含量较低，约占20—40%，石英含量约占50—80%。经320目精选后，粗精矿中石英含量平均可降至8—17%，经过精选成小于 $2\mu\text{m}$ 精土后，石英含量一般可降至1%以下。矿石中残留长石的含量取决于原岩的风化程度，一般在百分之几，深部风化作用较弱的部位，长石含量有时可达10%以上。高岭土中的微量矿物有黄铁矿、磁铁矿、褐铁矿、赤铁矿、独居石、磷钇矿、铌铁矿、钽铁矿、金红石、白钛石、锆石、锡石、电气石、绿帘石、矽线石、石榴石等。副矿物种类虽多，但含量甚微，总量不足0.01%，有些矿物仅有几个颗粒。

高岭石在电子显微镜下可见较明显的假六方晶形。X光衍射、红外光谱以及差热分析等资料均表明高岭石结晶较完善, 具较高的有序度⁽¹⁾ (图2, 3, 4)。对不同的矿层, 不同深度或沿走向和倾向的不同方向上所取的样品研究表明, 高岭石的有序度无明显变化。黄牛岭组和老虎岭组高岭土矿中的高岭石有序度也无明显差异。说明高岭石的矿物学特性在整个

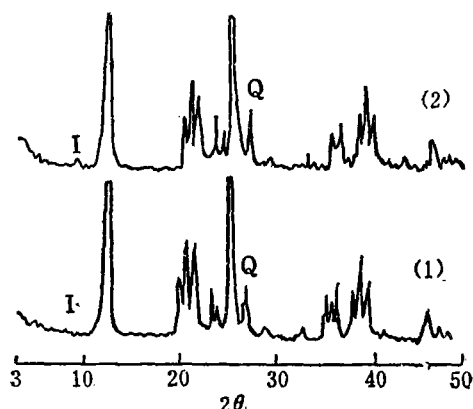


图2 <45 μm (<320目) 高岭土的X-射线衍射图 (CuK α 辐射)

(1) — 上垌上段高岭土; (2) — 上垌下段高岭土;
Q—石英; I—伊利石

Fig.2. X-ray diffraction patterns of kaolin <45 μm in size (CuK α radiation).

(1)—Kaolin from upper section of Shangdong;
(2)—Kaolin from lower section of Shangdong;
Q—Quartz; I—Illite.

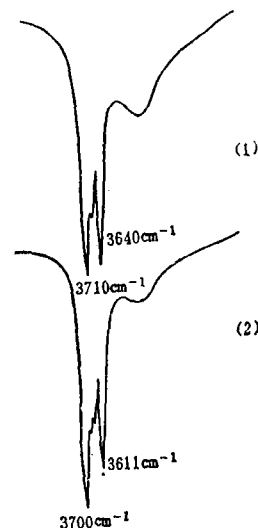


图3 <45 μm (<320目) 高岭土的红外光谱曲线

(1) — 上垌上段高岭土; (2) — 上垌下段高岭土
Fig.3. Infrared spectra of kaolin <45 μm in size.

(1)—Kaolin from upper section of Shangdong;
(2)—Kaolin from lower section of Shangdong

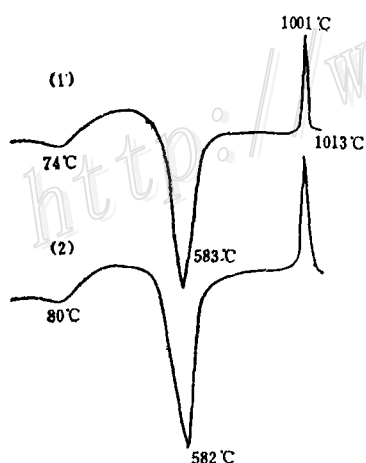


图4 <45 μm (<320目) 高岭土的差热分析曲线

(1) — 上垌上段高岭土; (2) — 上垌下段高岭土
Fig.4. Differential thermal curves of kaolin <45 μm in size.

(1)—Kaolin from upper section of Shangdong;
(2)—Kaolin from lower section of Shangdong.

矿区范围内是比较稳定的。

然而,高岭石的含量却随风化深度变化(表2)。对钻孔样品的研究资料表明,矿体中高岭石含量一般是上部较高,下部较低,越往下越低。若以30m为上下部的界线,上垌矿段上部高岭石含量要高于下部,作均数差异的显著性检验, t 值等于2.27,介于 $t_{0.05}$ 与 $t_{0.01}$ 值之间,表明矿层上下部存在着显著差异。山阁矿段的 t 值等于3.19,差异更加显著(表2)。

上垌矿段高岭石含量均值为73.44%,而山阁矿段为60.98%,两矿段的差异也较明显。均方差数值进一步表明,山阁矿段变异程度大于上垌矿段。经均数差异的显著性检验, $t=4.59$,远远大于 $t_{0.01}$ 值(表2)。说明两矿层中高岭石的含量有显著异常,即黄牛岭组的风

表2 茂名高岭土<320目矿样的高岭石和伊利石的平均含量(%)

Table 2. Average kaolinite and illite contents of ore samples (<320 mesh) from the Maoming kaolin deposit

矿物	矿段	部位	参数	均值	均方差	t 值	$t_{0.05}$	$t_{0.01}$	判断
高岭石	上垌	全段		73.44	13.74				
		30m以上		76.30	10.52				
		30m以下		69.90	16.44	2.27	1.99	2.64	$t_{0.05} < t < t_{0.01}$ 差异显著
	山阁	全段		60.98	21.22				
		30m以上		79.72	3.52				
		30m以下		68.58	17.11	3.19	1.99	2.64	$t > t_{0.01}$ 差异非常显著
伊利石	上垌	30m以上		6.42	7.02				
		30m以下		11.85	11.68	2.77	1.99	2.64	$t > t_{0.01}$ 差异非常显著
	山阁	30m以上		5.60	2.22				
		30m以下		12.88	11.73	3.05	1.99	2.64	$t > t_{0.01}$ 差异非常显著

注:山阁矿段仅根据308号孔数据计算,312号孔高岭石和伊利石的含量变异程度更大,差异更显著

化作用以及长石向高岭石的转化程度都要优于老虎岭组。

伊利石的情况正好和高岭石相反,随深度增加含量明显增加,且上下矿层之间差异非常明显(表2)。接近地表,伊利石含量一般在2%以下,最低时不到0.05%。在矿层底部常增至10—20%,最高可达48%以上,变异程度很大。矿层中长石含量很少,平均含量不超过1%,山阁矿段个别位于盆地边缘的钻孔底部可见到较多长石。

以上矿物含量分布特征表明,随深度增加,高岭石含量减少,伊利石含量增加,在矿层底部或盆地边缘处出现少量长石,说明高岭石的形成受风化深度的制约。

高岭土矿中间夹的一些泥岩、粘土岩、粉砂岩的矿物成分仍为高岭石、伊利石和石英,但伊利石含量增多,高岭石有序度较低。其中石英粒度更细,差不多和粘土矿物属同一粒级,这些夹层无经济开采价值。

(二) 造纸工艺性能

1. 白度:涂料高岭土要求白度在80%以上。茂名高岭土自然白度达80%以上者不多(表3),但其精矿经过化学漂白处理,白度很容易上升到83—88%以上。上垌矿段<320目粗精矿的平均白度为68.48%。山阁矿段308孔粗精矿的自然白度均值为71.63%,312孔为59.73%,

差异较大,但每个孔沿垂直方向的白度变化并不大。黄牛岭组中高岭土的白度比较稳定,沿矿层走向、倾向以及垂直方向均未出现显著性差异(表3)。

表3 茂名高岭土<320目矿样白度平均值(%)

Table 3. Average whiteness of ore samples (<320 mesh) from the Maoming kaolin deposit

部 位			均 值 (%)	均方差 (%)	t值	$t_{0.05}$	$t_{0.01}$	差异判别	
沿走向	上 垌	东(0、13线)	69.50	7.92	0.890	1.990		$t < t_{0.05}$	
		西(5、7、9线)	67.84	8.17				差异不显著	
沿垂向 方 向	上 垌	上(30m以上)	67.16	8.70	1.665	1.990		$t < t_{0.05}$	
		下(30m以下)	70.08	8.03				差异不显著	
	山 垌 308孔	上(30m以上)	71.08	4.93	0.71	1.990			
		下(30m以下)	72.12	5.71					
沿倾向 方 向	上 垌	第一排钻	68.36	8.07	0.852	2.000		$t < t_{0.05}$	
		第二排钻	70.28	6.88					
		地表	68.05	10.88	0.418	2.035			
		第三排钻	66.74	7.71					
	山 阁	308孔	71.63	5.33	8.81	2.64		$t > t_{0.01}$	
		312孔	59.73	7.69				差异非常显著	

据数理统计分析,茂名高岭土的白度与铁的含量呈密切负相关关系,除在山垌矿段白度与 TiO_2 之间几乎存在着微弱的负相关关系外,与钛及有机炭之间不存在明显的相关关系(表4)。

表4 茂名高岭土矿石白度与 Fe_2O_3 、 TiO_2 和有机炭的相对关系

Table 4. Correlation between whiteness and Fe_2O_3 , TiO_2 , organic carbon of ores from the Maoming kaolin deposit

矿 段	相 关 成 分	相关系数(r)	误 差 $m_r = \pm \sqrt{\frac{1-r^2}{n}}$	$\frac{ r }{m_r}$ 判别	相关系数可靠性	相关关系
上 垌	白度— Fe_2O_3	-0.911	0.0177	51.4 > 4	足够可靠	非常密切
	白度— TiO_2	-0.352	0.0908	3.87 < 4	不够可靠	不确认
	白度—有机炭	-0.214	0.0908	2.16 < 4	不可靠	不相关
山 垌	白度— Fe_2O_3	-0.861	0.0273	31.5 > 4	足够可靠	非常密切
	白度— TiO_2	-0.473	0.0818	5.8 > 4	可靠	微弱相关

2. 粒度组成: 茂名高岭土粒度细小, 高岭石自然解理好, 宽厚比大, 叠片状和书册状的集合体少见。在<320目粗精矿中, <2 μm 粒级的含量可达55—75%。对比上垌和山垌两矿段<0.5 μm , <2 μm , <5 μm 等不同粒级在粗精矿中的含量, 发现上垌矿段每个粒级都比山垌矿段高10%左右, 说明产于老虎岭组的高岭土的粒度略比黄牛岭组的粗(表5)。经过

表5 茂名高岭土不同粒级组分的平均含量(%)

Table 5. Average contents of kaolins with different grain sizes in the Maoming kaolin deposit

粒级 (μm)	矿段	部位	均值 (%)	均方差 (%)	t值	$t_{0.05}$	$t_{0.01}$	判别	差异
<0.5	上垌	总体	35.35	7.763	0.792	1.990	2.64	$t < t_{0.05}$	不显著
		上部	34.76	7.197					
		下部	36.05	8.428					
	山阁	总体	26.46	7.35	1.96	1.990	2.64	$t < t_{0.05}$	不显著
		上部	27.90	7.92					
		下部	25.11	6.58					
0.5—2	上垌	总体	69.05	10.410	1.003	1.990	2.64	$t < t_{0.05}$	不显著
		上部	68.05	9.528					
		下部	70.23	11.366					
	山阁	总体	53.47	15.45	2.03	1.990	2.64	$t_{0.05} < t < t_{0.01}$	显著
		上部	56.84	14.67					
		下部	50.45	15.66					
2—5	上垌	总体	85.03	9.114	0.521	1.990	2.64	$t < t_{0.05}$	不显著
		上部	84.36	8.645					
		下部	86.11	8.884					
	山阁	总体	74.18	16.62	2.11	1.990	2.64	$t_{0.05} < t < t_{0.01}$	显著
		上部	77.96	14.16					
		下部	70.79	18.04					

注：上下部位以孔深30m为界

精选后，涂料级精矿中<2 μm 粒级的含量均能达到85%以上，<0.5 μm 粒级含量一般在30—60%，2—5 μm 粒级含量在15%左右，不存在大于10 μm 的粒级，这种粒级分布正好符合造纸工业对涂料高岭土粒级分布的要求。

据统计分析资料（表5），上垌矿段30m以上和30m以下两个块断的高岭土的各粒级组成均无明显差异，山阁矿段<2 μm 和<5 μm 粒级在上下块断之间则有明显差异，表明老虎岭组高岭土在垂直方向上高岭石的粒径有略微变粗的趋势。

粒度分析数据表明，高岭石、伊利石以及碎屑石英的粒度分布范围也是各不相同的。在分级试验中，高岭石集中在<2 μm 粒级中（占80%以上），随粒级增大，高岭石含量缓慢减少，增至20 μm 以上，含量急剧下降。与此相反，石英和伊利石在<2 μm 粒级中含量最低，随粒级增大，含量逐渐递增（图5）。由于石英和伊利石对造纸涂料来说是有害成分，它们在粒度分布上和高岭石之间存在的这种明显差异对于高岭土的精选是十分有利的。

3. 粘度：国际上要求刮刀涂布土在0.5Pa·s（500厘泊）时固含量应大于68%。茂名高岭土由于成分单一，不含易使涂料膨胀增稠的蒙脱石和埃洛石，且高岭石结晶良好，细度理想等优点，使之粘度在0.5Pa·s（500厘泊）时固含量均能达到68—72%，具有很好的流动性。

由于茂名高岭土具有上述一些特点，加之高岭土风化完全，矿石一般呈松散的砂状，采

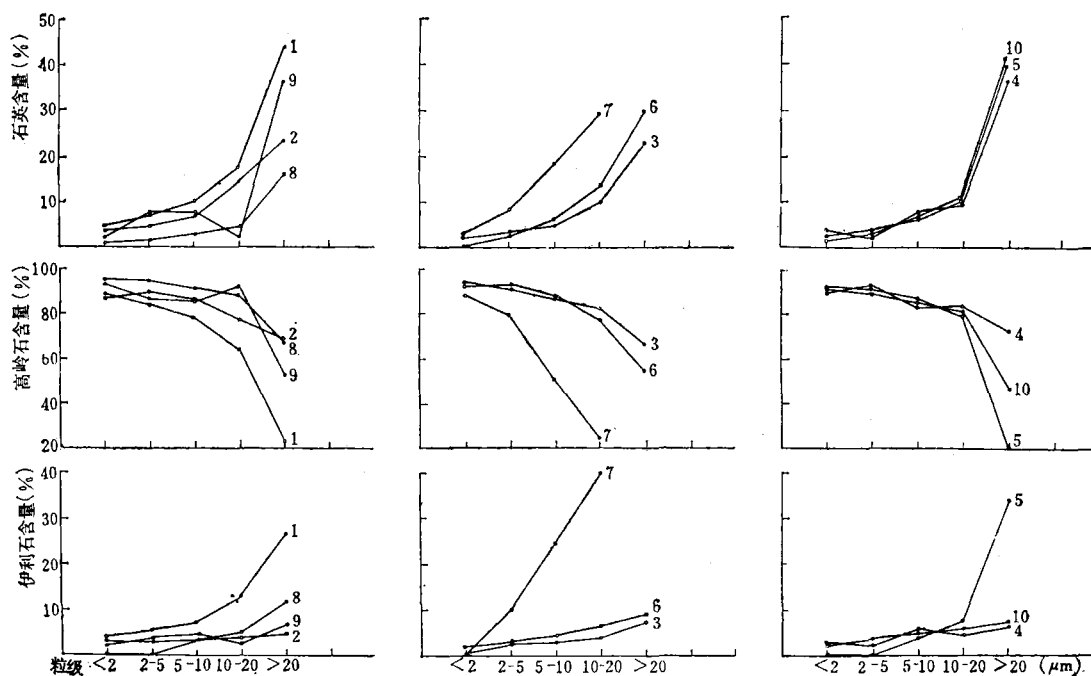


图 5 10个试样不同粒级矿物含量的变化

Fig.5. Variation in contents of minerals with 10 different grain sizes.

用水力旋流和重力沉降等一般的选矿流程就能获得合格的涂料精矿，精矿率可达10—13%。细小的高岭石晶片无须剥离加工，因而选矿成本低廉，采、选的经济效益明显。

四、矿床成矿地质条件探讨

综上所述，茂名高岭土无论在矿体形态、还是物质组成、矿石工艺性能方面都具有独特的特点。这些特点归纳起来表现为以下几方面。

1. 茂名高岭土实际上是一种由沉积的长石、石英砂砾岩风化的砂性高岭土矿床。原始沉积物中主要成分为石英和半风化的长石。从石英颗粒粗细混合，棱角分明，具极差的分选性和磨圆度来看，沉积物是山麓河湖中快速堆积形成。

2. 在纵向上矿石的质量受风化深度影响，无论是黄牛岭组还是老虎岭组，高岭土矿层的下部均出现了伊利石。矿床的总体趋势是上部以高岭石为主，下部至底部高岭石减少，伊利石增加。这种矿物组成的分布特征和残积风化型的高岭土相似^[2,3,4]。

3. 在每一个沉积旋回中，高岭土的质量受母岩岩性和结构的影响。粗粒结构的沉积层形成的矿石质量为佳。

4. 高岭土矿层在横向上延伸稳定，分布范围可达数十平方公里，矿物组成在横向上变化很小，其特征和沉积型高岭土很相似。

上述特征说明茂名高岭土矿床的形成至少包括了两个明显的阶段,即前期沉积阶段和后期风化阶段。前一阶段是由盆地周围的花岗岩及酸性的火山岩经风化破碎后形成的风化、半风化物质,经河流的短距离搬运在盆地中沉积。后一阶段则是在盆地内沉积物在酸性介质的参与下发生风化转变。这两种作用的综合叠加,使之成为目前这种粒度细、纯度高的优质高岭土矿床。

笔者在野外工作期间曾得到茂名市经委矿产公司,茂名石油公司和广东省地质矿产局704队的大力协助,研究工作得到了郑直研究员的指导和帮助,在此一并表示谢忱。

参 考 文 献

- [1] 周国平、黄家山、汤毓、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 南京地质矿产研究所所刊 第9卷 第2号
- [2] 郑直等 1987 中国高岭土矿床 北京科学技术出版社
- [3] Leszek, S. and Warda, S., 1976, Transformations of micas in the process of kaolinization of granites and gneisses, *Clays and Clay Minerals*, Vol. 24, pp. 156—162.
- [4] Sand, L. B., 1956, On the genesis of residual kaolins, *The Amer. Min.*, Vol. 41, pp. 28—39.

A TENTATIVE DISCUSSION ON THE MAOMING KAOLIN DEPOSIT: MINERAL COMPOSITION, PAPERMAKING TECHNOLOGICAL PROPERTIES AND ORE-FORMING GEOLOGICAL CONDITIONS

Ling Yuchuan

(Guangdong Geological Analytical Center, Guangzhou, Guangdong)

Zhou Guoping

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

Zhao Nianzhen

(Guangdong Geological Analytical Center, Guangzhou, Guangdong)

Abstract

The Maoming kaolin deposit in Guangdong province, composed of a sort of sedimentary-weathering type sandy kaolin, is a source area of high-quality coating material for papermaking. The kaolin is characterized by extensive distribution, considerable reserves, small buried depth and easy exploitation, and therefore possesses remarkable economic benefits.

The Maoming kaolin deposit is strictly controlled by stratigraphic horizon and lithologic characters, and occurs mainly in Miocene Huangniuling Formation

and Pliocene Laohuling Formation. The minerogenesis shows polycyclic characters.

The kaolin consists of kaolinite and quartz, with a little illite in the lower part of the orebody and negligible amounts of other minerals. The original ore contains 50—80% quartz and 20—40% kaolinite on average; in <180 mesh ore samples kaolinite increases to 60—67%, and quartz is reduced to some 27%; in <320 samples quartz content decreases to 7—8%, and in samples of <2 micron quartz content can fall to less than 1%. The average SiO_2 and Al_2O_3 contents are respectively 83.95% and 10.28% in the original ore; however, Al_2O_3 can reach 27.2% in <180 mesh ore samples, 30% in <320 mesh samples and 38% in <2 micron coating kaolin.

Mineralogical studies show that kaolinite has relatively high degree of order and assumes pseudo-hexagonal flaky crystals with grains of aggregate usually less than 2 micron. Its ideal granularity and whiteness demonstrate that kaolin possesses quite satisfactory papermaking technological properties.

Studies show that the ore-forming process of the ore deposit experienced early sedimentary stage and late reweathering stage. The aer. environment resulting from the oxidation of coal-seam and oil shale played a decisive role in the reweathering, and led to the complete transformation of kaolin and illite into kaolinite.

<http://www.kcdz.ac.cn/>