广西南宁地区所产世界级球粘土的矿床特征与合理开发利用

刘长龄[1] 刘钦甫[2] 李生才[3]

(1.天津地质研究院,天津 300061;2.中国矿业大学资源开发工程系,北京 100083;
3.广西昌平建材原料厂,广西 南宁 530001)

提要:广西南宁地区以维罗—淡坡矿区为主的球粘土产于新生代第四纪的更新统(Q_3),曾由广西第四地质队详查证明为一大型矿床(探明储量2 000多万吨)。经研究主要由无序高岭石组成,多为湖沼盆地胶体沉积假六方片状高岭石,尚未固结成岩或无重结晶有序化粘结性好。其粒度极细,平均0.94 μm,故可塑性指数高达47~53,耐火度达1 750~1 790 ℃,其质量好,矿体平均高岭石含量89%~94%,比英美球粘土的高岭石的含量要高,储量大,易露天开采,实为中国球粘土之最,可与英、美所产大型优质球粘土矿媲美,特称其为世界级球粘土。该矿近年已由农民土法开采以用于耐火材料的生产,今后应大规模现代化开采,作为科技含量高的各种填料及涂料的原料以满足国内外的需要。

关 键 词:球粘土;地质;矿床特征;合理应用;南宁
中图分类号:P619.23+1 文献标识码:A 文章编号:1000-3657(2004)02-0199-07

广西南宁市郊区以维罗—淡坡矿区为主的球粘土矿,分布面积约40 km^2。其东北方向距市区仅35 km,水陆空交通四通八达,十分方便。该矿曾经广西第四地质队1983~1989年探明储量为2 000多万t,附近矿集区储量倍增,证明为一超大型矿床。若将300多米厚的整个含矿层经洗选并深加工全部予以利用,则各级球粘土的总储量要增加几倍,包括桂东南在内初步估计超亿吨,今后可以通过生产勘探予以证实。其主要由(自生)假六方片状无序高岭石组成,粒度极细,平均粒径0.94 μm,可塑性指数高达47~53。Al_2O_3含量一般在35%以上,部分可达38%以上,少数达40%左右,耐火度达1 790 ℃。易熔杂质较少(3.5%~4%),矿区平均高岭石含量89%~94%较高(而德文郡南Ⅰ类为70%,德文郡北Ⅰ类为44%,美国肯德基—田纳西矿区为61%~90%)。因此,其与世界著名球粘土德文郡(英)、肯德基—田纳西(美)等相比有过之而无不及,故称其为世界级球粘土。

1 球粘土矿层的产状

1.1 矿层底盘——石炭系下统(C_1)

主要由灰、深灰色薄层状硅质岩及泥质硅质岩组成,厚达29~283 m,此即为含矿层的底盘,位于不整合面的下部。

1.2 新生代第四系上更新统(Q_3)

(1)下段(Q_3^1):由球粘土与风化、半风化硅质岩碎块组成。层厚0.13~28.81 m,但自下而上风化程度逐渐加强。

(2)上段(Q_3^2):由下而上的分层为6个分层:

第一分层(Q_3^{2-1}):为铁质粘土。此分层一般呈透镜状分布,厚度0.37~30.51 m。

第二分层(Q_3^{2-2}):为含铁质的球粘土。呈似层状产出,层厚0.05 ~28.53 m。

第三分层(Q_3^{2-3}):为浅灰、灰白色的球粘土(工业矿体,即Ⅰ矿层)。局部夹浅蓝灰色,泥质结构,块状构造。见水易于浸散、湿时具较大的粘性及可塑性,未经人工摔打,就可见柔软类似"麻糖"的性状,这在粘土或高岭土中实属罕见。干时具致密细腻之贝壳状断口,有滑感,显然属胶体沉积为主。本层较少受铁质浸染及含其他杂质,呈层状产出规模较大,为工业价值较大的主要矿层。其与第二分层(Q_3^{2-2})或更新统下段(Q_3^1)基本呈渐变关系,层厚0.36~36.74 m。矿层长690~2 300 m。

收稿日期:2003-02-20;改回日期:2003-10-20
基金项目:国家自然科学基金项目(49802010)和教育部高等学校优秀青年教师教学科研奖励基金联合资助。
作者简介:刘长龄,1926年生,男,教授级高级工程师,主要从事粘土、铝土矿的地质找矿及应用开发研究。

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

第四分层(Q_3^{2-4}):为灰褐色粘土、泥岩或褐煤及含有机质球粘土（即广西第四地质队所称C矿层)。由1~4层厚0.57~16.84 m的灰褐色为主，偶夹灰白、浅灰色球粘土以及1~3层，厚0.35~5.3 m的透镜状泥或褐煤组成。泥炭近于褐煤,棕褐色,呈木质纤维状,木屑状结构,质软,干后质轻性脆能浮于水面,易染手。球粘土与泥炭或褐煤及含有机质球粘土密切伴生,均呈透镜状或似层状产出,厚度0.17~30.29 m。

第五分层(Q_3^{2-5}):为杂色球粘土及较纯球粘土。以浅紫红色为主夹灰白、灰黄色球粘土,泥质结构,条纹状构造。见水易浸散,湿时粘性及可塑性较强,干时致密块状具贝壳状断口,有滑感。主要分布于矿床北部,其他地段呈局部分布。矿层厚度0.3~10.74 m。常夹1~3层厚0.22~6.5 m含有机质球粘土,分层总厚度0.22~18.78 m。呈似层状或透镜状产出。广西第四地质队称为Ⅱ下矿层。

第六分层(Q_3^{2-6}):为灰白与浅灰色球粘土,夹杂着浅黄、灰黄色条带状或条纹状构造的球粘土,层厚0.53~8.5 m。其中可夹有1~3层、厚0.47~10.41 m含有机质的杂色球粘土。本矿层亦为可开采工业矿体，广西第四地质队称为Ⅱ上矿层。层厚0.53~25.96 m,呈似层状产出。

1.3 矿区构造

矿区内地质构造简单,含矿层呈舒缓向斜构造,向斜轴近SN向,倾向E或W,矿层倾角5°~20°,局部变陡,45°左右。矿层未受到断裂破坏,却遭受过多次水流冲刷剥蚀而再沉积。

含矿层基底为石炭系下统，由一系列波状起伏的褶皱组成,地层走向以NE为主,总的倾向NW或SE,岩层倾角15°~65°。

矿区内未见有火成岩分布。

2 球粘土的物质成分

矿物组成:经TEM与SEM鉴定和DTA、XRD分析的结果,证明其主要的有益矿物为无序高岭石。据南宁市郊区矿产资源管理局提供的地质资料指出“矿区高岭石平均含量:Ⅰ矿层91%左右;C矿层89%左右;Ⅱ下矿层91%左右;Ⅱ上层94%左右;看来以Ⅱ上矿层较为富集。”此可能为世界球粘土之最,例如著名的英国Devonshire球粘土中高岭石其南部含量为70%~34%;而北部为45%~24%。D.E.海莱❶称“球粘土是一种有很高出口价值的,高品级矿稀少,国外大约只有3~4个矿床的品级和规模可和英国相比较 。”再从世界主要球粘土的化学成分(表1)可以看出,广西(南宁)球粘土的Al_2O_3含量最高达36%以上,铁、钛等有害杂质较少。从其热分析曲线(图1)看,89℃脱吸附水的吸热谷明显,这是球粘土无序高岭石粒度细小，表面能较大，含吸附水较多的表现。441~538℃脱结构水的温度较低,与其脱水曲线是一致的,即脱结构水含量为9.8%(它与高度有序高岭石不同，无放热峰前的残余结构水脱出)。说明无序高岭石的结构能较低。990~1 001℃的放热峰主要形成硅铝尖晶石及非晶质SiO_2。其XRD曲线(图2)最为特征是001与002之间的6条衍射峰，仅见020峰加强外，其余5峰已变弱小而合并成不对称的宽峰。少量石英的4.267×10^{-10} m与3.348×10^{-10} m峰虽含量不多因对称性强而仍很清晰。在少数样品中可见少量的叶腊石、针铁矿、黄铁矿及锐钛矿等等。其TEM照片中无序高岭石大多数为假六方片状(图3~4);在扫描电镜下(SEM),无数他形与自形片状集合体呈不规则颗粒外形而显层状结构(图5)。

此外,XRD分析中有时可见少量伊利石或1/S间层矿物、埃洛石(含量很少,电镜下呈管状、棒状、簇状)、叶蜡石(特征波长为9.15×10^{-10} m,4.56×10^{-10} m,3.05×10^{-10} m等偶

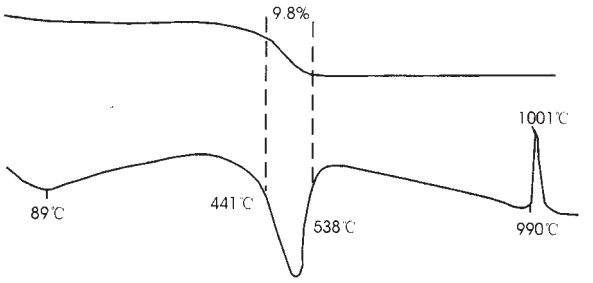


图1 广西南宁地区球粘土的综合热分析曲线

Fig. 1 Integrated curves of differential thermal analysis of ball clay in the Nanning area, Guangxi

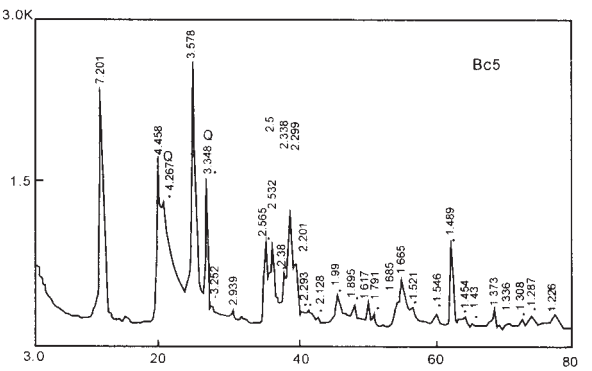


图2 广西南宁地区球粘土的X射线衍射分析曲线
(主要为无序高岭石,次为少量石英)

Fig. 2 X-ray diffraction curve of ball clay in the Nanning area (disordered kaolinite dominant, and quartz subordinate)

见少量),还偶见很少的伊利石、绿泥石、软铝石、硬铝石、长石及含铁矿物(针铁矿、水赤铁矿、磁铁矿、黄铁矿、钛铁矿等)、锐钛矿、金红石等。在-2 μm级高岭石中铁常交换铝离

❶ D.E.海莱.球粘土.浙江地质局情报室,1980,(8):203~210.

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

子而存在结构中(由于是无序高岭石,大约 80%以上的铁都以结构铁即八面体结构中的铁而不是游离的氧化铁方式而存在)。钛矿物的单矿物粒径有一半是在+2 μm 级中,这为开采应用提供了依据(可选)。

矿石结构构造:矿石结构分别为显微鳞片泥质结构、隐晶质及胶体结构、粉砂泥质结构。构造分别为致密块状构造、条带状构造、条纹状构造、斑杂状构造。

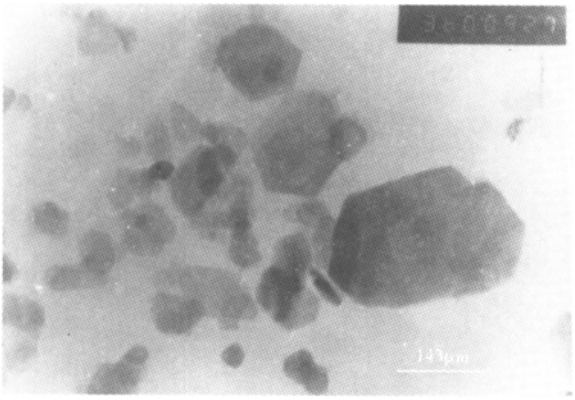


图 3 广西球粘土透射电镜图像
(无序高岭石呈假六方片状)
Fig. 3 TEM image of ball clay
(Disordered kaolinite occurs as pseudo-hexagonal flakes)

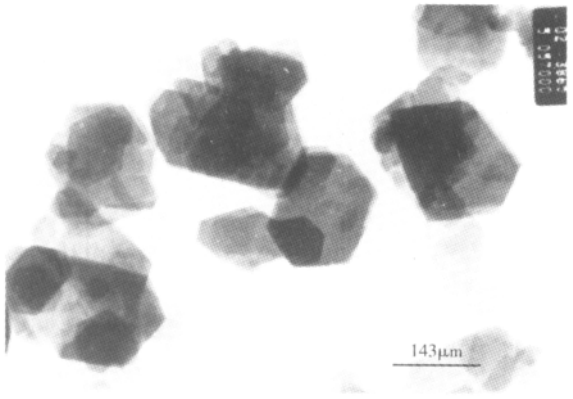


图 4 广西球粘土透射电镜图像
(自生(无序)高岭石呈假六方片状)
Fig. 4 TEM image of ball clay
(Authigenic (disordered) kaolinite occurs as pseudo-hexagonal flakes)

3 球粘土矿层的成矿期

根据广西第四地质队在 C 矿层中取两个泥炭(或褐煤)样品,送做 ^{14}C 的同位素测定年龄为 (30 740±589)B.P 及(30 822±807)B.P,所以初步认为 C 矿层以上矿层的成矿期应为晚更新世,而 I 矿层则在晚更新世或在晚更新世之前形成的。

4 化学成分

南宁郊区以维罗为主的矿区其化学成分,按耐火粘土标准考虑,其中特级、I 级品占多数,Al_2O_3 含量常在 35%以上,少数可达 38%以上,个别达 40%左右。而易熔杂质较少

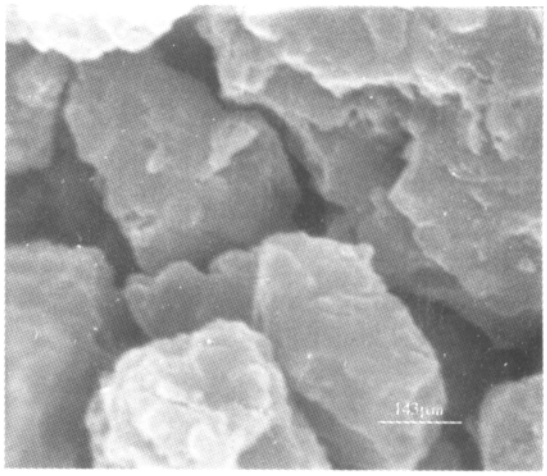


图 5 广西球粘土扫描电镜图像
(无序高岭石集合体(鳞片平行层理方向)为不规则颗粒状)
Fig. 5 SEMimage of ball clay
(Disordered kaolinite assemblages are presented as irregular grains in which individual flake parallels to the bedding plane)

(一般仅为 3.5%~4%,比部颁标准少 1/3 以上),Fe_2O_3 质量分数常少于 1%,TiO_2 一般质量分数在 0.75%~2.23%,平均 1.2%[1],但分布较均匀稳定。将南宁与国内外主要球粘土(其中多为销售产品)的化验结果进行对比,可以看出广西南宁球粘土的 Al_2O_3 含量最高,而其杂质偏低。说明南宁球粘土的质量很好或最好[2,3],还可经过选矿和深加工来继续降低其杂质含量。

5 球粘土矿的成因

5.1 物质来源与沉积环境

按上述球粘土的地质产状,特别是其呈多层状产出,矿体形状为层状、似层状及透镜状。主要由无序高岭石组成,常被有机质浸染或与褐煤伴生。矿层底部以不整合面为界产于石炭系下统浅灰色硅质岩之上。从区域上看整个成矿带呈线型展布,特别是 I 矿层沿走向连续分布,层状产出稳定呈线型展布。还可见 I 矿层球粘土与风化硅质岩碎屑和球粘土混合层,即上更新统下段(此为整个含矿层的底部)呈逐渐过渡关系,而不是截然分开的突变关系。从纵剖面及横剖面上看,C 矿层、$Ⅱ_{下}$、$Ⅱ_{上}$矿层均呈似层状、透镜状断续分布 ,一般分布在基底平缓或低凹地段, 而且在 I 矿层底部偶见残留的生物化石碎屑。^{14}C 年龄为 30 740±589 a 及 30 822±807 a。因此,本矿床应属于新生代第四纪沉积的湖沼型球粘土矿床。其物质来源可能是分布于桂西南 (包括中越边境及越南北部 Tan Mai 地区高岭土、叶蜡石和明矾石矿床及次石英岩。)早石炭世至中生代火山岩经过长时间的风化淋漓,既形成了大面积的风化残积的高岭土,也有与火山岩形成有关的热液成因的高岭土及叶蜡石等矿床❶。

维罗矿区球粘土的 w(Al)/w(Ti)=15~31,这与华北地台太古代火成岩相比[4]相当于中性—中基性火山岩。再如友谊

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

表 1 国内外主要球粘土的化学成分对比(%)

Table 1 Comparison in chemical composition of ball clay at home and abroad

序号	产地	类型	Al_2O_3	SiO_2	TiO_2	Fe_2O_3	CaO	MgO	K_2O	Na_2O	IL
1	广西(第四系)	1	36.6	45.37	1.58	0.67	0.21	0.65	0.48	0.04	13.72
2	广西(第四系)	特	36.61	45.60	0.96	0.39	0.21	0.25	0.82	1.18	13.16
3	广东(第四系)	洗	32.70	47.39	0.56	0.89	0.23	0.19	0.57	0.18	16.66
4	吉林(古近系)	特	33.31	53.08	1.04	1.31	0.48	0.29	0.40	0.25	11.64
5	黑龙江(古近系)	下层	32.05	50.54	1.00	2.29	0.33	0.34	0.98	0.20	12.42
6	广东(第四系)	1	30.05	54.73	0.93	1.15	0.03	0.28	1.27	0.04	11.27
7	江西(第四系)		24.59	62.77	1.38	1.14	0.12	0.30	0.48	0.07	9.48
8	黑龙江(古近系)	砂粘	14.78	74.65	1.08	1.78	0.45	0.37	0.92	0.21	6.04
9	South Devonshire(古近系)	1	34	48	0.9	1.0	0.2	0.3	1.6	0.3	13.8
10	North Devomshire (古近系)		27	59.5	1.4	1.0	0.2	0.5	2.0	0.4	7.6
11	(日)蛙目粘土(新近系)		33.32	48.73	0.95	1.78	0.24	0.33	0.90	0.10	13.25
12	Kentucky (古近系)		27.25	55.51	1.29	2.19	0.29	1.16	0.46	0.06	12.16
13	(英)WBB(古近系)	C	24.75	60.07	1.62	0.96	0.22	0.50	2.28	0.47	8.31

注: 1.为纯白色的细泥(地表)或浅紫色(坑内,微含有机质),多用于耐火材料;2.为深加工产品(降 TiO_2 及 Fe_2O_3 含量,白度77%~80%),用于细瓷;作高档耐火材料用时,可降低其 K_2O+Na_2O 含量;3.经洗选后的黑泥,仍含少量石英及三水铝石,致使可塑性较差,灼减量较高;4.为水曲柳产特级,现已采完,有时 $w(Fe_2O_3)<1\%$,而 $w(Al_2O_3)=30\%\sim33\%$的矿山也划为"特级",矿粉每吨矿山价 1200 元;5.牡丹江黄花矿区由上而下分为 4 层矿,以下层为最好;6.为广东清远矿,$w(Fe_2O_3)$含量不稳定,常达 2%左右;又大量运输尚有困难,且 $w(K_2O)$较高常用于陶瓷,而不利于耐火材料;7.产于江西赣中的第四系,规模不大,矿山称为 1 级(实不够),用于耐火材料,而耐火度不高;8.在鸡东地质队于新近纪古近纪地层发现,用于建筑陶瓷,密山球粘土稍好,$w(Al_2O_3)=26\%$,用于耐火材料仍需深加工;9~10.据(英)WBB 的资料其中钾钠含量高,一般只用于陶瓷;11.日本的蛙目粘土粉厦门到岸价 1600 元/t,经笔者单位化验(湿法);12.上海到岸价矿粉 300 美元/t,笔者单位化验(湿法);13.为英国 WBB 提供日资陶瓷公司的球粘土,用于一般陶瓷制品的结合剂,粘结性及干燥性能较好,且常较均匀稳定受用户欢迎,笔者单位化验(湿法)

关附近有安山岩分布,以及桂西晚古生代深水沉积含大量玄武岩等[4],在 1996 年,广西区测队提到区域地质报告,早石炭世有海底基性火山喷发岩为其物质来源是有一定道理的。

5.2 球粘土形成中的生物及有机质的重要作用

为什么球粘土矿层总是与褐煤或褐煤质粘土等伴生,或者矿层本身常含有机质而呈黑或褐黑色(也称为"黑泥")、灰、蓝灰至浅灰色等现象?说明其形成和重要的物化性能与生物及有机质的参与密切相关。例如广西南宁等矿区及广东、福建等地"黑泥"经化验常含 1%~2%质量比的有机质,甚至有的高达 10%以上。也有不少的"白泥"(即白色球粘土),是因在地表经过较长时间的强烈风化作用将所含有机质风化淋滤掉的结果。事实说明,其亦经过有机质所产生的腐殖酸(尤其是富里酸含量较多,且溶解铝硅酸盐物质的能力较强)多次作用的结果。还有球粘土矿层伴生的褐煤层长期暴露于地表,由于风化而连续产生更多的腐殖酸加速矿物的溶解[5],可以使矿层物质进行溶蚀变化而在盆地内生成 Al_2O_3 与 SiO_2 的内胶体溶液,从而新生成自形无序高岭石(假六方片状晶体),可见其作用的重要性。

至于有机质的分解与微生物的活动有关[5-9],有人用电镜发现高岭石粘土中细菌活动有关的密集的微小钻孔。土壤学家指出,在地表条件下到处都有微生物活动,特别是土壤和淤泥中较多,有时每克中可以达几十亿个。这些微生物可以分解腐殖质、细菌微生物的主要表现是沉积和成岩阶段分泌出的有机酸,造成局部酸性微环境,促进了矿物的溶解和转化[5]蛋白质、脂肪、纤维素、几丁质等所有的有机质。有机质被分解后各种化学元素的表现不同。在植物残体内还含有少量的 SiO_2,Fe_2O_3,Al_2O_3 等无机化合物可以相互作用,形成次生粘土矿物或为球粘土的组成部分。因此,有的野外地质人员根据其宏观经验认为"煤也可以经地表风化后部分变为粘土,当然,有时这一概念,也指从产状上看,煤层在盆地内向边缘相可以相变(如"紫矸"粘土)。为何球粘土常形成于湖沼?因为长期大量生长着植物,底部堆积着植物残体并有褐煤伴生,在水和微生物或超微生物细菌的作用下,形成源源不绝的腐殖酸,尤其是其中的富里酸,能使湖沼水不断地维持酸性至强酸性。如一些沼泽中已确定出 pH 值达 6 左右,而沼泽水下部 pH 值接近 4,酸性最大的沼泽水的 pH 值在 2.5 以下(可形铝土矿)。在这种酸性沼泽水介质条件下,物质无论是火山灰或陆源铝硅酸盐如长石及粘土碎屑等完全可以溶解,又在适当的 pH 条件下还可形成自生高岭石(呈假六方片状的无序高岭石,这在中国广西等南方第四纪球粘土及古近纪吉林球粘土中已通过透射电镜见到)。这种作用不仅在沼泽盆地水中进行,在陆源粘土风化壳里也是有过的,例如

❶Tran Xuan Toan.越南 Tan Mai 地区高岭土、叶蜡石和明矾的形成及其次生石炭岩.陕西地矿局汉中矿物研究所,1990.

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

前苏联学者彼列雷玛(1965)等❶认为风化作用很强时土壤和风化壳中几乎所有的固相都处于胶体状态,或者在形成的过程中经历了胶体状态。多数粘土矿物及其他金属的氢氧化物与腐殖物质等都是如此。在湿热或温湿气候中植物繁茂,生物积累与分解作用强烈。在雨林下表层有机质质量含量高达8%~10%,这种有机质的分解产物中大量 CO_2 溶于天然水中,致使天然水的活性大大提高,从而促进风化壳中岩石的化学风化。尤其有机物物质分解之主要产物有机酸(如富里酸、胡敏酸)更是化学风化形成粘土物质或有机粘土复合体的重要原因。这种以粘土物质为主的风化产物在水流中常以胶体及细粒状作悬浮形式迁移,当悬浮物沉淀时全部颗粒一致呈定向排列。有机酸主要通过与粘土矿物表面的 Al 离子等组成环状结构的螯合物,这种螯合物要比一般络合物具有较大的稳定性,其次还有腐殖酸被吸附到粘土矿物表面可以较长距离在水中迁移。无论从陆源区搬运来(长途被水流搬运和冲刷的碎屑高岭石)或是湖沼盆地自生的无序高岭石质点都非常小(<2 μm)常悬浮在湖沼水中难以絮凝或沉积。由于湖沼水中含有富里酸等有机酸较多(南宁维罗),与高岭石等粘土质点发生吸附作用,可形成颗粒较大的有机球粘土集合体,从而较快沉积。通过扫描电镜观察,不少的球粘土质点是呈无序高岭石的集合体状态存在,为边缘参差状(被波浪或搬运磨蚀的结果)的碎片体,颗粒多为 2~5 μm 以内平行层面;其单晶在透射电镜下为自形的假六方片状,无序高岭石粒径很小,常在 0.5~0.05 μm 之间。

通过许多实验证明,铝硅酸溶胶在 pH=7 时发生聚沉,pH=3.5 时聚沉速度最快。pH≤3.0 时,不仅已聚集的胶粒又重新分散,而且原始胶粒也分散成小胶粒(维罗湖沼里明显),溶胶稳定。影响沼泽水的 pH 值大小主要是富里酸等有机酸的含量,在滞流或弱流动与流动的沼泽水里是不同的;在(湖)沼泽水体的垂向与横向上也表现得不均一或呈梯度变化。因此,在沼泽里铝硅酸溶胶或有机粘土复合体会产生聚沉或絮凝,这是由于富里酸等有机酸与粘土的吸附作用所形成。例如 pH=7 时,原先由粘土形成的铝硅酸溶胶中 $Al(OH)_2^+$ 通过"桥联"作用而胶粒聚沉或絮凝;也可表现为粘土矿物高岭石表面露出的 Al 离子等通过水分子桥作用与腐殖酸相结合或吸附面发生有机粘土集合或聚合体的沉积。当 pH=4 时,粘土中的 Al 开始溶出以 Al^{3+} 形式存在,当浓度增加这种离子可使溶胶或粘土胶粒较快聚集而沉淀。腐殖酸富里酸等还明显增大球粘土的可塑性,这也主要是通过分子桥的"桥联"作用而产生的。有机酸并能增加球粘土的结合性能,如在粘土中加入 0.1%的腐殖酸,则其干燥强度要增大一倍。球粘土及伴生的褐煤和有机质产于时代很晚的新生代,而南宁球粘土矿层仅为第四纪的更新统,其中木质素和腐殖酸或木质素-腐殖质是很强的胶态物质,因为其功能团—OH 和—COOH 具有阳离子交换性质。耐火粘土及伴生的烟煤则不同,因生于时代很早的古生代或中生代,有机质已经碳化,且烟煤中功能团非常少,对粘土的胶体性质没有什么影响,即不会增加耐火粘土的可塑性及粘结性了。总之,球粘土形成于维罗湖沼中,明显地受到生物及有机质的影响,且其衍生腐殖酸又是球粘土的可塑性与粘结性十分有利的天然添加剂。

6　球粘土的开发利用

6.1　球粘土的物理工艺性能

国内外一些球粘土(包括部分高岭土等)销售样品的物理工艺性能测试结果见表 2(在同一条件下试验测得的,可对比)。可见南宁球粘土(白泥)粒度最细,平均不到 1 μm (0.94),实测<1 μm 级占 50%以上。而<2 μm 级常占 85%~100%,以致可塑性很好,可塑性指数达 36%~47%(在美国刘钦甫最近测得为 53.3%)。其不利处为干燥强度很低,这显然由于其粒度太细(平均 0.94 μm),干燥收缩性大(刘钦甫在美国测定为 7.15%;其烧成收缩为 14.5%),产生了许多细小裂纹所致。但有的企业作结合剂使用时配料较少只配 5%~10%,效果很好[3]。其耐火度高达 1 750~1 790 ℃,制成的耐火砖试验结果见表 3,可见其性能较好,均超过了国家标准。

6.2　已有的开发利用工作

目前,国内耐火材料尤其高档耐火材料用南宁球粘土做结合剂效果极佳,特别是在不定形耐火材料中,提高了材料的中高温强度、热震稳定性,用来构筑的工业窑炉炉衬不易剥脱,大大延长了使用寿命。在陶瓷原料配料中使用效果也很好。

多年来首钢利用南宁球粘土制作高炉出铁口炮泥,取得了非常好的效果,取代了焦作粘土。可使铁口深度增加 0.5~0.8 m。如按从 1.1 m 提高到 1.4 m 计算,球粘土炮泥的使用寿命相对延长 27%,也即节约原料 27%,生铁产量增加。这样国内已有十多个炼铁厂用球粘土作炮泥,并有很好的发展前景❶。

南宁球粘土曾少量试用作造纸填料与塗料,有其优点,粒度小于 2 μm 已够用[11];但白度仍小于 85%。最近试验将球粘土白度从 79%提高到了 88.5%,且尚有提高潜力。如以低温 500~600 ℃煅烧(回转窑)还可增加白度达 90%以上,还能降低粘度,即流动性变好,尤其部分脱水增加孔隙度,而使遮盖率提高,则成为较好的造纸塗料(尚待进一步试验)。

6.3　今后开发利用的改进建议

应考虑整个含矿层的开发利用。从前面所述矿床地质特征可以看出,整个球粘土地层中的含矿层,即从矿区的石炭系下统上部不整合面之上的地层,第四系更新统的下段由球粘土(或高岭石粘土)与风化、半风化硅质岩碎块开始,一

❶天津地质研究院.中国铝土矿和高铝粘土(未公开发表)研究资料, 1992.

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

表 2 国内外球粘土的物理性能对比

Table 2 Comparison in physical properties of ball clay at home and abroad

产地及名称	平均粒径/μm	可塑性指数/%	密度/g/m^2	干燥抗折强度/Mpa	烧结温度范围/℃
南宁球粘土（白泥）	0.94	36.21	2.57	0.48	1320~1550
南宁球粘土（黑泥）	1.25	21.12	2.60	1.20	1300~1550
广东球粘土（南部水洗）	2.39	19.65	2.51	2.07	1360~1520
水曲柳球粘土（特级）	1.64	17.44	2.61	1.28	1270~1500
水曲柳球粘土（I级）	3.92	19.75	2.56	1.90	1350~1550
永吉球粘土（I级）	3.22	16.58	2.63	1.58	1320~1450
山西球粘土（-2μm）	2.33	26.46	2.54	1.41	1200~1350
山西深加工粘土（混2）	3.26	19.82	2.64	2.43	1300~1390
山西深加工粘土（混5）	2.18	19.86	2.63	1.53	1250~1325
Kentucky ball clay	2.64	24.19	2.60	1.19	1240~1390
（日）蛙目粘土 Frog eye clay ball clay	3.15	20.40	2.51	1.84	1300~1470
湖南华容高岭土	4.84	18.91	2.63	0.32	1500~1570

表 3 南宁球粘土制耐火砖试验结果

Table 3 Test results of refractory bricks made of ball clay in the Nanning area

名称	耐火度/℃	耐压强度/(kg/cm^3)	显气孔率/%	荷重软化温度/℃	重烧或变化/%
国家标准	1730	250	24	1350	+0.1，-0.5
南宁球粘土	1750	396	20	1390	+0.07

直到盖层全新统，包括所有的含矿层，总厚度最多可达300多米，则总的球粘土储量(2 000多万t)会再增加几倍。含外围矿区如扶绥、邕宁、武鸣及北海、平果等地即所谓“矿集区”[12]的总储量，可能超亿吨。也就是说，要有一个总体的科学规划设计，取代目前农民滥采乱挖、浪费矿石的局面。既要分级开采、分级存储和销售；又要统一大规模露天开采，或用水力采矿、水力洗选和分级(筛选或水力旋流器与分级机)，再进行深加工，以满足国内外市场的各种需求。例如通过以下的主要工艺流程：原矿捣浆或水力采矿→搅拌(筛选)→搅拌(超声波及加分散剂)→水力旋流器(粗选及精选)→-2μm级脱水、干燥、打散→塑料橡胶填料产品(或经表面改性)；或水力旋流器→漂白去铁、脱水、干燥、打散(其中也可配料及添加剂经深加工→高档陶瓷级、耐火级产品[9])；或漂白及分级去铁钛→脱水、干燥、低温煅烧、打散→塗料级产品；或漂白去铁钛→分级→-0.3 μm级→脱水→干燥→打散→凝胶级产品或表面改性(有机高岭土)。总之，国家的矿产资源有限，必须充分利用。过去上海宝钢从美国肯德基进口球粘土，自中国发现和甄别了一些球粘土特别是加入了WTO后，改进口为出口。英国WBB已在华南设立了球粘土分公司，现在美国的球粘土资源不多了，拟从中国开发新的球粘土。这将为南宁球粘土带来一次难得的合作开发机会。

参考文献(References)：

[1] 刘长龄.华北地台铝土矿床的物质来源[J].轻金属,1985,(8)：1~4.
Liu Changling. Material sources of bauxite deposits in the North China platform[J]. Light Metals, 1985 (8)：1~4 (in Chinese with English abstract).

[2] 刘长龄. 南宁球粘土——我国耐火用优质结合粘土[A].见：天津地质研究院.矿产地质研究论文集 [C].天津：天津科学技术出版社,1996. 175~179.
Liu Changling. Ball clay from Nanning：excellent binding clay for refractory in China [A]. In： Tianjin Geological Academy (ed.), Contributions to Geological and Mineral Resources [C]. Tianjin：Science and Technology Publishing House. 1996.175~179 (in Chinese).

[3] 刘长龄. 论我国球粘土矿物[J].中国建材企业,1998,(1-2)：35~37.
Liu Changling. Ball clay minerals of China[J]. China Enterprises of Building Materials, 1998, (1-2)：35~37 (in China).

[4] 邝国敦.桂西晚古生代深水相地层[J].地质科学, 2002,(2)：152~164
Kuang Guodun. Stratigraphy of deep water phase in the west Guangxi [J]. Scientia Geologica Sinica, 2002,(2)： 152~164 (in Chinese with English abstract).

[5] 刘钦甫,张鹏飞.华北晚古生代煤系高岭岩物质组成和成矿机理研究[M].北京：海洋出版社,1997. 85~102.
Liu Qinpu, Zhang Pengfei. Study on Material Composition and Formation Model of Kaolinite Layers in the Late Paleozoic North China Coal Series[M]. Beijing：Ocean Press, 1997. 85~102 (in

❶王双彬.中国煤系球粘土的生产现状及开发利用.南宁市亚太粘土公司,2001.

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

Chinese).

[6] 刘长龄. 评我国沉积矿床研究的重大突破性成果—生物有机质成矿作用和成矿背景[J].地质找矿论丛, 2001,(3):210~214.
Liu Changling. A great breakthrough of sedimentary deposits in China—biomineralization and metallogenic setting[J]. Contributions to Geology and Mineral Resources Research. 2001, (3): 210~214 (in Chinese with English abstract).

[7] Worrall W E. Clays and Ceramic Raw Materials[M]. London, 1986. 60~90.

[8] 刘长龄."黑砂石"—粗晶高岭石的成因[J].矿物岩石, 1984, (3): 54~61
Liu Changling. Origin of "black sandy stone"—coarse-grained kaolinite[J]. Minerals and Rocks 1984 (3): 54~61 (in Chinese with English abstract).

[9]《非金属矿工业手册》编委会.非金属矿工业手册[M]. 北京: 冶金工业出版社,1992. 931~946.
Compilation Committee of Non-ferrous Metal Industry Manual. Non-ferrous Metal Industry Manual [M]. Beijing: Metallurgical Industry Publishing House, 1992. 1931~946 (in Chinese).

[10] Liu Changling. The main features of Chinese ball-clays [A]. In: Proceedings of the Second International Symposium on Refractories [C]. 1992, 181~185.

[11] 刘长龄,李生才.高岭石软质粘土三种新产品深加工探讨[J].非金属矿, 2002,(6):31~32.
Liu Changling, Li Shengcai, Probe into deep-processing of three kinds of new products form soft kaolinite clay [J]. Non-Metallic Mines. 2002,(6):31~32 (in Chinese with English abstract).

[12] 徐勇.浅论矿集区的资源潜力与勘查评价 [J]. 中国地质, 2002, (3):263~270.
Xu Yong. Resource potential and prospecting assessment of ore deposit concentration areas[J]. Geology in China, 2002 ,(3): 263~270 (in Chinese with English abstract).

Characteristics and rational development and utilization of a world-class ball clay deposit in the Nanning area, Guangxi

LIU Chang-ling[1], LIU Qin-fu[2], LI Sheng-cai[3]

(1. *Tianjin Geological Academy, Tianjin* 300061, *China*;
2. *Resources Development and Engineering Department, China Mining University, Beijing* 100083, *China*;
3. *Guangxi Li's Non-metal Mineral Development CO., Nanning* 530001, *Guangxi, China*)

Abstract: The Weiluo ball clay deposit occurs in the Pleistocene in the Nanning area, Guangxi. It has been proven a large clay deposit with reserves of more than two million tons by Guangxi No. 4 Geological Party. The ball clay consists of disordered kaolinite, mostly occurring as pseudo-hexagonal flaky kaolinite deposited as colloidal sediments in lake and bog basins. It is unconsolidated or not recrystallized, showing a high degree of ordering and high cohesiveness. The ball clay is very fine in grain size, being 0.94 μm on the average. The index of plasticity is up to 47-53 and the refractoriness is up to 1 750-1 790 ℃. The average content of kaolinite in the clay layers is 89%-94%, higher than that in ball clay deposits in Britain and the United States. The ball clay has large reserves and easily open-mined; so it is the best of this kind in China and comparable to the high-quality ball clay mined in Britain and the United States. However, it is being mined by the local people using the indigenous method for refractory material uses. It should be mined on a large scale with the modern techniques and sold as high-tech fillers and coating materials to supply domestic and international markets.

Key words: ball clay; geology; characteristics of ball clay deposit; rational use; Nanning

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net