维普资讯 http://www.cqvip.com

第5卷 第3期
1991年9月

现 代 地 质
GEOSCIENCE
Journal of Graduate School, China University of Geosciences

Vol. 5 No. 3
Sept. 1991

中国坡缕石粘土矿床成因类型

陈正国

(国家建材局地质研究所)

提 要 根据坡缕石粘土的产状和成矿作用,将我国坡缕石粘土矿床划分为5种成因类型:(1)玄武质火山岩成岩蚀变型;(2)火山沉积型;(3)内陆湖相沉积型;(4)岩浆热液型;(5)表生淋滤型。本文初步总结了各类型的地质特征,阐述了主要元素、微量元素、稀土元素和稳定同位素等的地球化学特征,探讨了形成坡缕石粘土的物理化学条件和成矿机理。

关键词 坡缕石粘土 成因类型 中国

自从许冀泉等(1980)发表了"江苏六合小盘山凹凸棒石粘土的发现及其意义"[1]一文以后,在国内引起了很大反响,先后找到了许多坡缕石粘土矿床(点),填补了我国坡缕石粘土资源的空白,不少学者对坡缕石粘土的矿床成因进行了探讨,但研究程度较低。国外学者很早就提出了坡缕石粘土的成因类型[2,3],但国内至今还没有系统总结。作者通过对苏皖等地坡缕石粘土矿床的研究,认为我国坡缕石粘土矿床虽然与国外矿床有许多相似之处,但仍有一些独特的成矿特点,根据其产状和成矿作用,提出了成因类型初步方案(表1)。下面分别讨论各类型的地质、地球化学特征和成矿机理等。

表1 中国坡缕石粘土矿床成因类型

Table 1 Genetic types of the palygorskite clay deposits in China

成因类型	成矿环境	成矿作用	矿床实例
玄武质火山岩成岩蚀变型	火山浅水盆地	玄武岩在碱性溶液作用中蚀变	江苏盱眙黄泥山
火山沉积型	火山浅水盆地	玄武岩碎屑、风化产物以及其它陆源物质在水盆地内沉积转化	江苏六合白土山
陆相碎屑沉积型	内陆湖盆	陆源碎屑在水盆地内沉积转化	甘肃天水清水
岩浆热液型	富镁碳酸盐与酸性侵入岩的内外接触带	岩浆热液在接触带交代充填	安徽全椒
表生淋滤型	碳酸盐的断裂带	Si、Mg、Al碱性溶液在裂隙中充填	贵州大方

1 玄武质火山岩成岩蚀变矿床

苏皖新生代玄武岩分布区是我国著名的坡缕石粘土成矿带,据不完全统计已发现坡缕

收稿日期:1990年4月9日。

维普资讯 http://www.cqvip.com

石粘土矿床（点）20多处，其中不少矿床例如江苏盱眙黄泥山矿床，安徽官山矿床是较典型的玄武质火山岩成岩蚀变矿床。这类矿床国外没有报道，是国内所特有。这类矿床规模巨大，矿层呈水平层状或席状展布，如官山矿床分布面积数十平方公里，储量1000万吨以上。矿层结构简单，厚度较稳定，坡缕石含量高（>50%），是我国最重要的坡缕石粘土矿床工业类型。盱眙地区这类矿床（点）较多，其矿床地质特征基本相同，下面以黄泥山坡缕石粘土矿床为例详细讨论。

1.1 矿床地质

黄泥山坡缕石粘土矿床位于成矿带北部，北西向玄武岩喷发带与洪泽—建湖隆起带的交接部位。坡缕石粘土矿层产于第三系中新统下草湾组顶部（N_1xA_1），呈水平层状产出。上新统桂五组（N_2g）玄武岩呈假整合覆盖在矿层之上，为矿层顶板（图1a）。矿层底板为下草湾组（N_1xA_2）强烈蒙脱石化的玄武岩，有些地段甚至已完全转变为蒙脱石粘土，与矿层呈过渡关系（图1b）。主要矿石类型为坡缕石粘土，少量硅质坡缕石粘土和蒙脱石粘土。矿区西部矿层中含两层较稳定的蛋白石层（0.2～0.5 m）及少量的蛋白石团块。坡缕石含量高。矿区东部矿层下部有些地段有一层0.5～1.20 m的玄武岩薄层或一些玄武岩团块，这些玄武岩蒙脱石化强烈，甚至已完全转变为蒙脱石粘土，坡缕石含量相对较低。矿石中主要矿物成分为坡缕石（>80%），少量硅质、蒙脱石、水云母和含铁泥质物。在扫描电镜下坡缕石集合体为纤维网状、弯曲片状、斑块状，坡缕石单体为细长丝状、纤维状、棒状等。从总体上看，矿层自上而下坡缕石含量逐渐减少，水云母含量逐渐增加。上部纤维鳞片结构发育，坡缕石结晶程度高，主要呈纤维网状，而下部碎屑结构发育，坡缕石结晶程度较差，呈斑块状，部分呈隐晶质。矿层具有一定的分带现象[1]。

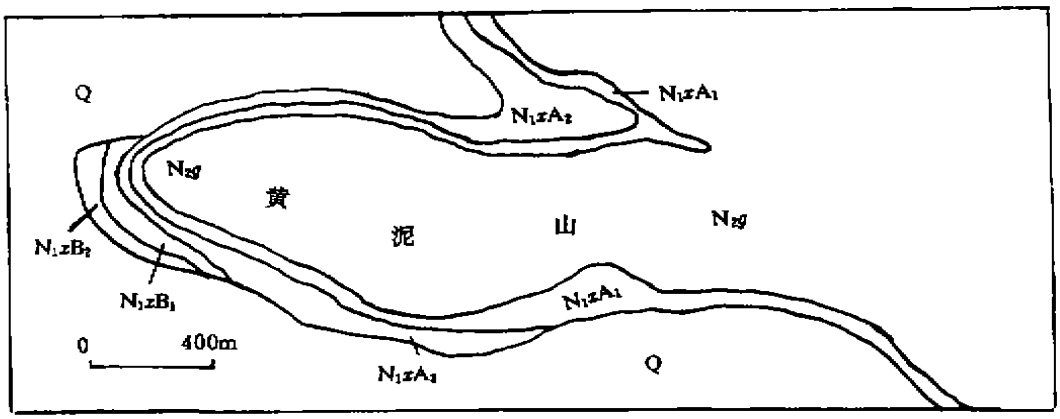


图1a 黄泥山坡缕石粘土矿床地质略图

Fig. 1a Schematic geological map of palygroskite clay deposit in Huangnishan

Q—第四系；N_2g—桂五组玄武岩；N_1xA_1—矿层；N_1xA_2—下草湾组玄武岩；N_1xB_1—下草湾组蒙脱石粘土层；N_1xB_2—下草湾组B_2玄武岩

1.2 矿床地球化学特征

对矿层系统的化学分析表明(表2)，坡缕石粘土与底板玄武岩的化学成分基本一致，但

1）陈正国，1988，苏皖盱眙地区坡缕石粘土矿床地质条件及其成因探讨。中国地质大学（北京）硕士学位论文。

维普资讯 http://www.cqvip.com

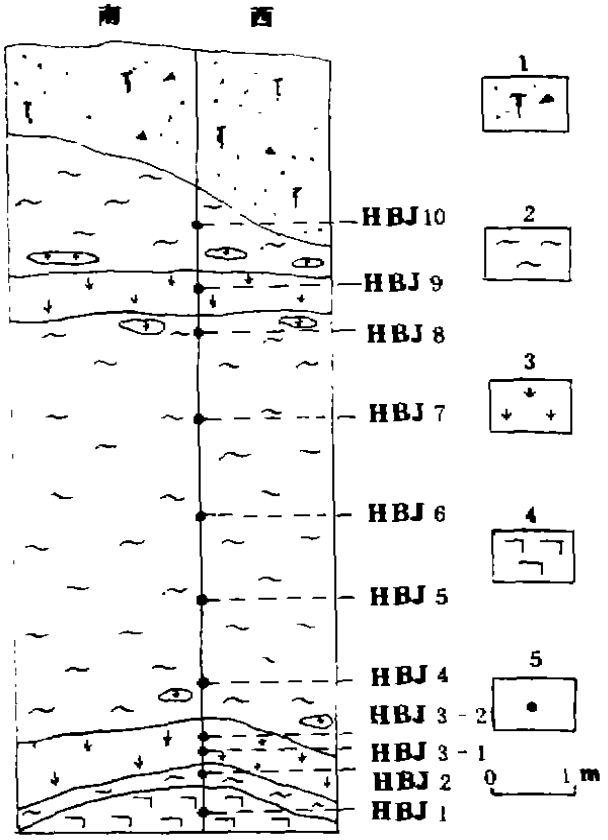


图 1b J11 浅井南壁、西壁素描及取样位置图

Fig. 1b Sketch of the southern and the western walls of J11 shallow well and sampling location

1—残积物；2—坡缕石粘土；3—蛋白石；4—玄武岩；5—取样位置

含量有较大变化，坡缕石粘土的 K_2O，Na_2O，CaO，FeO 含量显著减少，SiO_2 和 MgO 则有所增加。坡缕石粘土的 SiO_2/Al_2O_3 比值（分子比）一般为 8.37～16.08，MgO/Al_2O_3 比值为 1.45～4.09，Fe_2O_3/Al_2O_3 比值为 0.37～0.45，均高于底板玄武岩的比值（$SiO_2/Al_2O_3=6.11$，$MgO/Al_2O_3=1.35$，$Fe_2O_3/Al_2O_3=0.25$），Na_2O/Al_2O_3 为 0.02～0.04，CaO/Al_2O_3 为 0.02～0.25，FeO/Al_2O_3 为 0.01～0.02，明显低于玄武岩的比值（$Na_2O/Al_2O_3=0.35$，$CaO/Al_2O_3=1.14$，$FeO/Al_2O_3=0.55$）。这表明在坡缕石粘土形成过程中，SiO_2 和 MgO 相对富集，而 Na_2O，CaO 相对减少，FeO 转化成 Fe_2O_3。固定成分法计算结果也得出相同的结论。总体上看，矿层从上到下各种氧化物的含量及其与 Al_2O_3 的比值无明显的变化规律。

微量元素分析结果（表 3）表明，坡缕石粘土与玄武岩的微量元素组成基本一致，但坡缕石粘土的 Rb，Cs，U，Th 含量高于玄武岩，而 Sr，Ba 含量大大低于玄武岩，其它元素含量略低于玄武岩。当玄武岩发生蚀变时，活泼金属元素从硅酸盐格架中释放出来，以离子形式存在于溶液中。Cs，Rb，U，Th 易被粘土矿物吸附，而 Sr，Ba 则以可溶性盐参加到表

表 2 黄泥山坡缕石粘土和玄武岩的化学成分（wt%）

Table 2 Chemical composition of palygorskite clays and basalts in Huangnishan (wt%)

样 号	样 品 名 称	SiO_2	TiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	FeO	CaO	MgO	K_2O	Na_2O	CO_2	Cl	烧失量
HBJ10	坡缕石粘土	62.00	0.78	8.70	4.97	0.05	0.33	11.08	1.02	0.10	0.11	0.014	10.48
HBJ9	蛋 白 石	88.47	0.21	2.14	1.41	0.06	0.45	2.46	0.23	0.05	0.08	0.018	4.23
HBJ8	坡缕石粘土	59.71	1.09	10.60	7.46	0.10	1.15	8.07	1.08	0.13	0.15	0.006	10.03
HBJ7	坡缕石粘土	59.45	1.24	12.06	7.94	0.06	0.60	6.91	1.13	0.17	0.06	0.015	9.69
HBJ6	坡缕石粘土	60.62	1.09	10.86	6.55	0.07	0.43	8.64	1.04	0.13	0.20	0.013	10.39
HBJ5	坡缕石粘土	62.10	0.83	9.48	5.51	0.08	0.10	10.35	0.89	0.11	0.05	0.012	10.82

维普资讯 http://www.cqvip.com

续表 2

HBJ4	坡缕石粘土	65.58	0.68	7.35	4.74	0.08	0.34	9.68	0.78	0.11	0.14	0.014	9.93
HBJ3—2	硅质坡缕石粘土	82.42	0.29	3.14	2.02	0.05	0.42	5.07	0.32	0.05	0.13	0.009	5.52
HBJ3—1	硅质坡缕石粘土	64.12	0.69	7.09	4.38	0.08	0.50	11.18	0.77	0.13	0.19	0.025	10.46
HBJ2	坡缕石粘土	67.37	0.75	7.11	4.94	0.07	0.36	9.31	0.79	0.14	0.22	0.013	8.87
HBJ1	蚀变玄武岩	51.67	2.72	17.87	10.86	0.54	3.84	2.17	2.14	2.54	0.07	0.010	4.45
$N_{1z}A_z$	玄武岩平均值	49.04	1.89	13.61	5.30	5.25	8.53	7.24	1.39	2.87	—	—	4.31

表 3　坡缕石粘土和玄武岩的微量元素含量（ppm）

Table 3　Minor element contents of palygorskite clays and basalts (ppm)

样号	样品名称	Rb	Cs	Ba	Sr	U	Th	Hf	Zr	Sc	Ta	Cr	Sb	Se	Ni	Co	Zn
HBJ8	坡缕石粘土	79.4	3.78	77	0	1.58	5.33	2.93	2.96	11.6	1.16	14.5	0.43	0.59	116	16.4	97.4
HBJ3—2	硅质坡缕石粘土	17.6	1.33	41.8	0	0.97	1.80	1.12	91.1	3.33	0.30	47.4	0.13	0.22	41.5	8.34	49.3
HBJ2	坡缕石粘土	42.0	2.33	102	0	1.74	3.95	2.30	159	7.55	0.70	122	0.24	0.41	130	32.9	69.2
HBJ1	蚀变玄武岩	22.5	0.29	342	425	0.87	2.07	4.42	227	16.0	2.29	35.3	0.11	—	164	29.7	157
HB	新鲜玄武岩	24.0	0.27	331	535	0.82	3.26	4.14	303	19.0	2.09	430	—	—	326	60.1	108

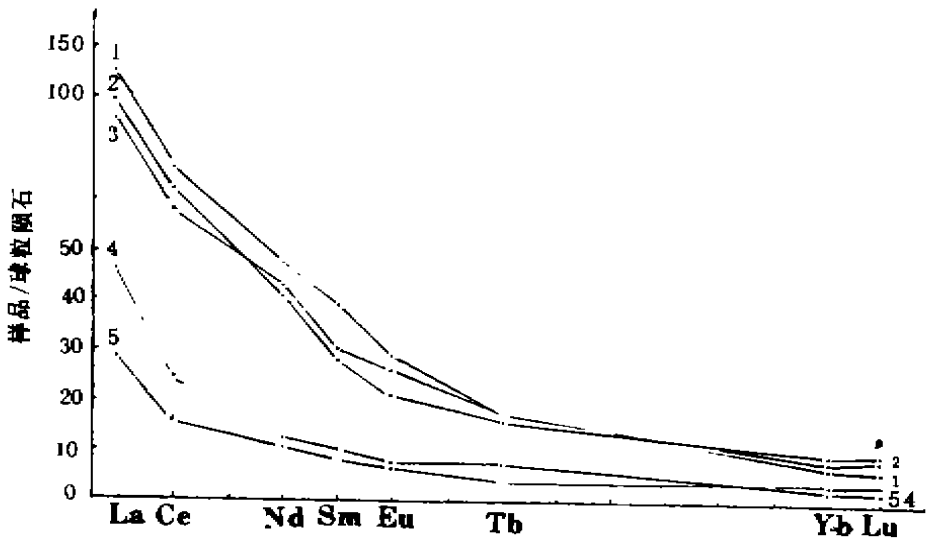


图 2　坡缕石粘土和玄武岩的稀土模式

Fig. 2　REE patterns of palygorskite clays and basalts

1—HBJ1；2—HBj8；3—HB；4—HBj2；5—HBj3—2

生作用的循环中去。此外 Ti/Ta，Ni/Co，Zr/Hf，Th/u 等比值与玄武岩的比值基本一致。稀

维普资讯 http://www.cqvip.com

土元素分析结果表明（图 2）坡缕石粘土为轻稀土富集型（LREE/HREE 为 42.72～60.63），其稀土模式与底板玄武岩基本一致，这表明底板玄武岩是坡缕石粘土的成矿母岩。

1.3 成矿机理

上述资料表明下草湾组玄武岩（N_1xA_2）是坡缕石粘土的成矿母岩。下草湾组为一套河湖相沉积岩与玄武岩互层的火山－沉积建造，韵律明显。沉积环境从早期的河湖相向湖相发展。由于早期玄武岩的喷出和玄武岩的风化，湖水中 Si^{4+}，Mg^{2+} 等元素浓度增大，pH 也随之增大。当 N_1xA_2 玄武岩最后喷出地表呈岩被状大面积展布时，水盆地已演化为类似“准平原”的沼泽环境，仅在局部有残留水体。N_1xA_2 玄武岩喷出地表与水体相接触，发生淬碎等自碎作用，在上部形成淬碎碎屑岩，而中部则发育大量气孔。水体中的水一方面由于蒸发作用而大量逸失，剩余的热水残留在玄武岩内，这些高浓度的碱性热水使玄武岩发生强烈的蚀变而形成坡缕石粘土，当溶液中 Si^{4+}，Mg^{2+} 浓度降低时，坡缕石粘土矿化停止，而发生蒙脱石化。在 N_1xA_2 玄武岩喷出后至上新世玄武岩喷出的间歇期内，玄武岩继续遭受风化作用而发生强烈的蒙脱石化。扫描电镜观察表明坡缕石粘土主要是由玄武岩经胶体阶段直接形成的[4]。

2 火山沉积型

火山沉积型坡缕石粘土矿床分布较广泛。江苏省六合地区的坡缕石粘土矿床基本上属火山沉积型。该类型在山西天镇至河北阳原一带的玄武岩分布区也有发现[5]，最近在江苏金坛和内蒙兴和等地也发现了这类的坡缕石粘土矿点[6]。六合地区坡缕石粘土产于上第三系中新统下草湾组（N_1x）。天镇一带坡缕石粘土产于白垩系助马堡组上部大凹山段（K_2zd）。金坛坡缕石粘土产于下第三系阜宁群（$E_{1-2}fn$）的粘土岩之中。兴和坡缕石粘土产于第三系粘土砂岩中。它们产出的层位不同，但坡缕石粘土都是玄武岩喷发间歇期间的产物，具有相似的地质条件，最显著的特点是坡缕石粘土中都含有一定量的白云石和蒙脱石。下面以六合白土山坡缕石粘土矿床为例加以讨论。

2.1 矿床地质

白土山坡缕石粘土矿床位于六合县城之北，小盘山矿区之东，为天长隆起与北西向玄武岩喷发带的交接部位。含矿岩系（N_1xA_1）为一套泥质粉砂岩和泥岩，呈水平层状产出，由于桂五组假整合覆盖而呈圆环状出露（图 3）。矿层产于含矿岩系上部，根据矿物组成和外观特征将矿层分为：上部灰绿色含坡缕石蒙脱石粘土层；中部灰白色、白色白云石坡缕石粘土层；下部灰绿色、灰色蒙脱石坡缕石粘土层。矿石类型主要为含坡缕石蒙脱石粘土和白云石坡缕石粘土，其中坡缕石含量较低（＜50%），白云石含量较高。在矿层中部白云石坡缕石粘土中有时可见少量不规则团块状的蛋白石、在矿层上部含坡缕石蒙脱石粘土中见有玄武岩残块。

2.2 地球化学特征

不同矿石类型具有不同的化学成分（表 4），主要差异表现在 SiO_2，Al_2O_3，MgO，CaO，CO_2 上，显然矿石中白云石含量高，则 MgO，CaO，CO_2 含量必然高，而 SiO_2 和 Al_2O_3 含量相对较低。不同矿石类型的 Al_2O_3/MgO 比值为 0.27～3.42。根据 C. E. Weaver（1973）等的研究[10]，这样的化学成分有利于形成坡缕石。

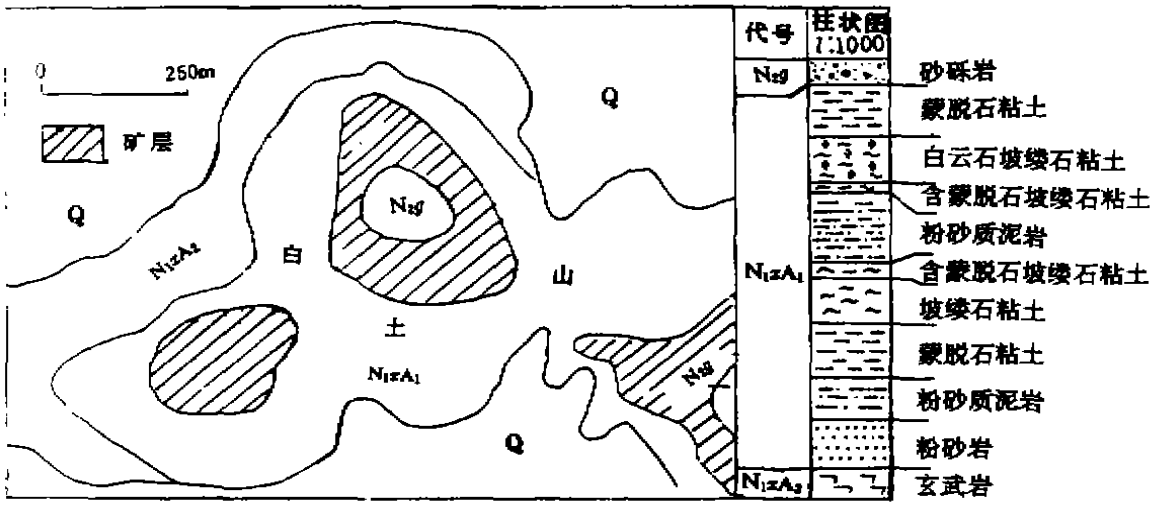


图 3　白土山坡缕石粘土矿床地质略图

Fig. 3　Schematic geological map of the Baitushan palygorskite clay deposit

Q—第四系；N_2g—桂五组玄武岩；N_1zA_1—矿层；N_1zA_2—下草湾组玄武岩；
N_1zB_1—下草湾组蒙脱石粘土层；N_1zB_2—下草湾组 B_2 玄武岩

表 4　不同矿石类型的化学成分（wt%）

Table 4　Chemical composition of various type of ore (wt%)

样号	矿石类型	SiO_2	Al_2O_3	TiO_2	Fe_2O_3	FeO	CaO	MgO	K_2O	Na_2O	P_2O_5	MnO	SO_3	CO_2	H_2O
B—1	坡缕石蒙脱石粘土	55.98	15.04	0.84	7.18	0.06	2.86	4.40	2.35	0.10	0.11	0.033	0.01	1.79	8.06
B—2	白云石坡缕石粘土	24.47	6.50	0.43	4.06	0.05	18.96	12.93	1.08	0.10	0.42	0.10	0.037	26.17	4.50
B—3	白云石坡缕石粘土	23.04	4.35	0.31	2.01	0.08	18.69	16.15	0.61	0.05	0.26	0.10	0.025	28.31	5.06
B—4	坡缕石蒙脱石粘土	39.87	8.49	0.60	4.34	0.13	11.93	10.47	1.03	0.09	0.16	0.11	0.007	16.07	6.22

微量元素分析表明（表 5），不同矿石类型均富含 Rb，Cs，Sr，Ba，Zr，V，B 等亲石元素，而贫亲硫元素。与黄泥山矿区相比，本区微量元素种类更多，丰度也更高，显然其物质来源与黄泥山矿区不尽相同。不同矿石类型的微量元素丰度也有明显差别，在白云石坡缕石粘土中 Ar，Sr，U 含量较高，而 Rb，Cs，Th，Hf，Zr，Sc，V，B，Zn，Ni，Cr，Ta 等元素在坡缕石蒙脱石粘土中含量较高。在元素比值上，白云石坡缕石粘土的 K/Rb，Sr/Ba，Ba/Rb，V/Ni 比值较高，而坡缕石蒙脱石粘土的 Rs/Sr，Th/U，Ni/Co 比值较高。

稀土元素分析表明各类型粘土为轻稀土富集型（LREE/HREE＝32～37.27），其稀土模式基本相同（图 4），与黄泥山矿区的稀土模式相同，这表明其成矿物质来源亦为玄武岩。坡缕石蒙脱石粘土的稀土元素总量高，而白云石坡缕石粘土的低，这显然也与矿石的矿物成分有关。

维普资讯 http://www.cqvip.com

表 5　不同矿石类型的微量元素含量（ppm）

Table 5　Minor element contents of various type of ore (ppm)

样号	矿石类型	Rs	Cs	Ba	Sr	U	Th	Hf	Zr	Sc	Ta	Cr	V	B	As	Ni	Co	Zn
B—1	坡缕石蒙脱石粘土	142	12.5	195	106	1.88	9.93	4.61	155	1.64	1.29	126	91	40	4.64	67.1	11.7	118
B—2	白云石坡缕石粘土	52.2	5.26	152	582	3.25	4.29	2.41	92.5	7.16	0.571	49.7	49	21	13.8	29.7	11.6	68.4
B—3	白云石坡缕石粘土	36.0	3.25	196	457	2.27	3.23	1.58	45.9	4.55	0.354	325	48	12	4.99	31.7	14.7	66.5
B—4	坡缕石蒙脱石粘土	67.9	6.48	159	2.6	2.15	6.41	3.56	1.06	8.89	0.786	73.3	72	25	2.52	52.6	12.5	77.4

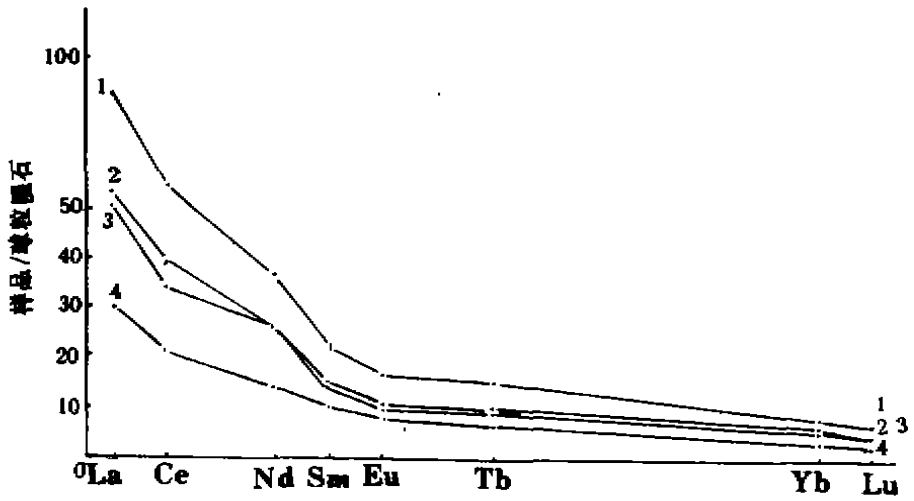


图 4　不同矿石类型的稀土模式

Fig. 4　REE paiters of various type of ore

1—B-1（样号）；2—B-2；3—B-3；4—B-4

2.3　成矿机理

对白云石坡缕石粘土中的白云石进行了碳氧同位素分析，其 $\delta^{13}C_{PDB}$ 为 $-7.197‰$，$\delta^{18}O_{PDB}$ 为 $-2.704‰$，据 Milliman 的 δC—δO 图解该白云石属淡水成因[6]。运用 Keith 和 Weber（1964）的判别式[7] $Z=a(\delta^{13}C+50)+b(\delta^{18}O+50)$（其中 $a=2.048$，$b=0.498$），求得 $Z=112.21$，<120，亦说明白云石是淡水相的产物。

从微量元素分析结果看，不同类型粘土的硼含量为 12～40 ppm。根据 Welker 等（1963）[11] 的计算方法求得相当硼含量为 144.68～206.31 ppm，应用校正硼含量（X）与盐度（Y）的关系式 $Y=0.0927X-7.043$，求得 Y 为 6.37～12.08。此外，多数粘土的 Sr/Ba >1，V/Ni<2，Rb/K$=0.008\sim0.0046$ 之间，这些特征都表明水体为咸化了的陆相湖水。不同类型粘土的 pH 为 8.3～8.9，氧化系数接近 1，表明坡缕石粘土的形成环境是碱性，低盐

维普资讯 http://www.cqvip.com

度的氧化环境（表 6）。

表 6　不同矿石类型的硼含量、盐度和 pH 值

Table 6　Boron content, salinity and pH of various type of ore

样　号	矿石类型	相当硼含量 X (ppm)	盐度 Y（‰）	pH	W $(\frac{Fe_2O_3}{Fe_2O_3+FeO})$
B－1	坡缕石蒙脱石粘土	144.68	6.37	8.3	0.99
B－2	白云石坡缕石粘土	165.28	8.28	8.8	0.97
B－3	白云石坡缕石粘土	167.21	8.46	8.9	0.98
B－4	坡缕石蒙脱石粘土	206.31	12.08	8.6	0.97

据 H. Craig（1965）$t=16.9-4.2\delta^{18}O+0.13(\delta^{18}O)^2$ 和大场忠道等（1972）$t=13.85-4.5\delta^{18}O+0.04(\delta^{18}O)^2$ 计算公式[7]，分别求得白云石的形成温度为 29.21℃和 29.96℃，故可推测坡缕石是在近地表温度下形成的。

因此在玄武岩喷发间歇期间，玄武岩碎块及其风化产物和其它陆源物质经地表流水搬运到水盆地中，在水体中进一步水化分解，在碱性、低盐度的氧化环境中，在近地表温度条件下逐渐形成坡缕石。扫描电镜观察表明坡缕石主要由蒙脱石转化而成；亦可由水体中直接沉淀形成。

3　陆相碎屑沉积型

陆相碎屑沉积型坡缕石粘土在国外报道较多，西班牙不少大型坡缕石粘土矿床就属于这一类型。国内这几年也有所报道，如湖北宜昌三峡早白垩世陆相地层中，在几个层位的粉砂质粘土岩中发现有坡缕石、海泡石矿物[8]。在甘肃天水地区和青海西宁盆地上第三系中发现有含坡缕石粘土岩。但到目前为止还没有找到有工业价值的碎屑沉积型坡缕石粘土矿床。下面我们讨论天水地区该类型坡缕石粘土岩的特点。

3.1　地质特征

天水地区自侏罗纪以后，地壳活动较为强烈，发育了一系列不断分化发展的断陷盆地，含坡缕石粘土岩赋存于这些盆地的上第三系上部。根据含坡缕石粘土岩的出露情况，可分为 4 个分布区（图 5）。含坡缕石粘土岩主要为一套碳酸盐质粘土岩

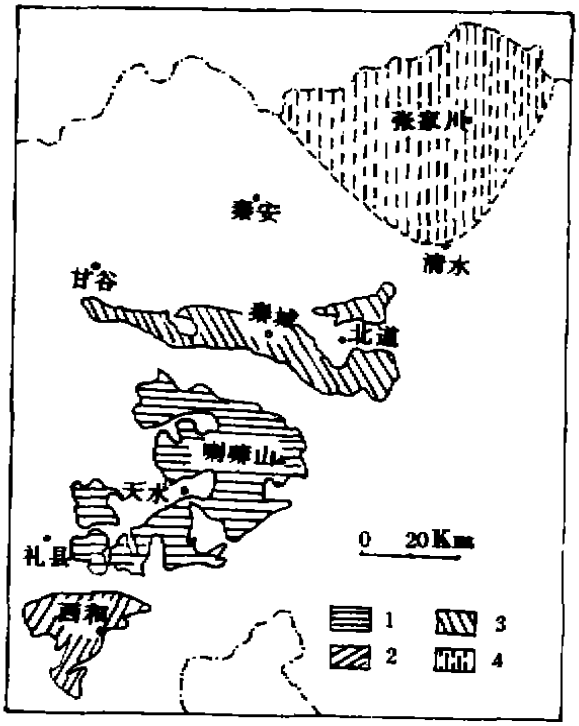


图 5　天水地区含坡缕石粘土岩分布图

Fig. 5　Distribution diagram of palygorskite—bearing clay rock in Tianshui district

1. 喇嘛山分布区；2. 西和分布区；3. 秦城分布区；4. 清水分布区

维普资讯 http://www.cqvip.com

—粘土质碳酸盐岩，粘土岩一般与碳酸盐互层产出。含坡缕石粘土岩层位较为稳定，呈水平层状[9]。

含坡缕石粘土岩主要由粘土矿物、碳酸盐矿物和碎屑矿物组成，有时出现方沸石和石膏。粘土矿物主要为伊利石、蒙皂石、绿泥石和坡缕石。碳酸盐矿物主要为白云石和方解石。碎屑矿物主要为长石和石英。矿物成分在空间上有一定变化规律，坡缕石由南到北含量逐渐增加，而蒙皂石含量则减少。方解石由南到北逐渐减少，而白云石则逐渐增加。方沸石在南部普遍出现，向北减少，它不与坡缕石共生（表 7）。

表 7　各分布区含坡缕石粘土岩矿物组成一览表[1]

Table 7　The table of mineral compositions of palygorskite—bearing clays in various districts

分布区	粘　土　矿　物	碳酸盐矿物	碎屑矿物	其　它
西和区	伊利石为主，其次蒙皂石和绿泥石，不含坡缕石．蒙皂石结晶较好	方解石为主，其次为白云石	石英为主，少量长石	多数样品含方沸石
喇嘛山区	伊利石为主，其次为蒙皂石和绿泥石，个别样品中见坡缕石迹象	方解石和白云石，中上部以白云石为主	石英为主，少量长石	下部含石膏，部分样品含少量方沸石
秦城区	伊利石为主，其次为绿泥石和蒙皂石，上部普遍含少量坡缕石	多为白云石，其次为方解石	石英为主、少量长石	偶见方沸石
清水区	伊利石为主，其次绿泥石，含少量结晶差的蒙皂石，普遍含坡缕石	白云石为主，少量方解石	石英为主、少量长石	未见方沸石

含坡缕石粘土岩的分布受北东向构造控制，其总体分布呈北东向。近东西向的甘谷—北道隆起，礼县—高桥隆起将各沉积区分隔成 4 个次级沉积洼地。清水、秦城等北区基底为前寒武系牛头河群，主要由云母石英片岩、片麻岩和大理岩等组成，而南部西和一带主要是以泥盆系碳酸盐夹碎屑岩为主。因此造成了南北物源和沉积环境的不同以及沉积产物的差异。

3.2　地球化学特征

4 个分布区的含坡缕石粘土岩的化学全分析数据分别以平均值列于表 8。总的来说，SiO_2 变化于 25～60%，Al_2O_3 3～16%，CaO 0.5～26%，MgO 2～16%，CO_2 0.63～36.25%，K_2O 0.9～4.4%，Na_2O 0.7～1.25%，Fe_2O_3+FeO 1.5～6.5%之间。相关系数分析表明：Al_2O_3 与 SiO_2 的相关系数为+0.9574，主要组成粘土矿物；K_2O 与 SiO_2 和 Al_2O_3 的相关系数分别为 0.9296 和 0.9818，主要组成伊利石；CaO，MgO，CO_2 三者为正相关，它们主要组成碳酸盐。含坡缕石粘土的 Al_2O_3/MgO 比值为 0.216～2.64，据 C. E. Weaver 等（1973）[10] 的研究，伊利石 Al_2O_3/MgO 的平均值为 9.6，蒙脱石为 6.7，而沉积坡缕石为 0.48～2.5，分布区粘土岩的化学成分有利于坡缕石的形成。

4 个分布区含坡缕石粘土岩的微量元素特征基本相同，空间上无明显的变化趋势，但秦城区和清水区的 B，Ga，Cu 等元素含量明显高于西和区和喇嘛山区，而 Sr 含量则明显低。天水地区含坡缕石粘土岩的微量元素特征明显不同于苏皖地区，天水地区不仅富亲石元素，而且也富亲铜元素，有些元素如 Li，Ga，Cu，Y 是该区特有的，微量元素丰度如 B，Sr，Rb，

1）杨雅秀等，1988，甘肃天水地区白土及其应用研究。

维普资讯 http://www.cqvip.com

Ba 等也明显高于苏皖地区。这些特征也表明天水地区含坡缕石粘土岩的成矿物质来源不同于苏皖地区。

表 8 各区含坡缕石粘土岩的化学成分（wt%）

Table 8 Chemical composition of palygorskite—bearing clays in various district (wt%)

分布区	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	FeO	CaO	MgO	K_2O	Na_2O	TiO_2	MnO	CO_2	H_2O^+	H_2O^-	SO_3
西 和	31.46	10.43	1.80	2.40	15.85	7.76	2.57	2.45	0.45	0.103	19.30	3.32	1.11	0.18
喇嘛山	46.52	11.69	3.20	1.59	6.60	8.04	2.90	1.47	0.57	0.082	8.50	4.34	2.75	2.48
秦 城	55.42	16.24	5.71	0.85	0.71	2.98	4.35	1.00	0.78	0.031	0.62	5.28	4.36	1.46
清 水	60.06	14.04	4.88	0.99	0.85	3.97	3.45	1.38	0.74	0.039	1.26	4.56	3.55	0.09

表 9 各区含坡缕石粘土岩的微量元素含量（ppm）

Table 9 Minor element contents of palygorskite—bearing clays in various district (ppm)

分布区	Li	B	Sc	V	Cr	Rb	Sr	Y	Zr	Ba	Th	Co	Ni	Zn	Ga	Cu	Pb
西 和	85.74	95.67	9.79	73.84	48.39	109.33	617.77	13.27	57.10	665.10	9.67	9.58	28.24	52.96	15.61	37.02	31.82
喇嘛山	58.81	83.50	7.41	56.18	38.62	74.33	758.70	9.69	45.22	742.30	6.98	8.28	22.56	33.11	11.63	24.78	20.90
秦 城	98.52	123.50	10.43	82.79	54.43	131.50	393.11	12.77	65.00	661.10	9.59	9.87	27.12	57.31	16.67	37.52	24.14
清 水	55.47	120.0	8.56	62.23	46.03	80.50	237.05	9.28	54.37	607.05	7.67	9.43	25.44	46.51	62.23	39.02	15.70

含坡缕石粘土中白云石的氧、碳同位素分析结果（表 10）表明：白云石的碳、氧同位素组成具淡水成因特征，与 Schopt (1980)[7] 提出的典型湖相沉积的同位素组成一致。据大场忠道、掘部伟男 (1972) $t_1=13.85-4.54\delta^{18}O+0.04\ (\delta^{18}O)^2$ 和 H. Craig (1965) $t_2=16.9-4.2\delta^{18}O+0.13\ (\delta^{18}O)^2$ 的计算公式[7]，分别求得 4 个地区白云石的形成温度（表 10）。清水区的白云石与六合白土山的白云石形成温度相近，其它 3 个区的白云石温度较高，而且从南到北白云石的温度由 50℃左右降低到 24℃。

表 10 白云石的氧、碳同位素组成和形成温度

Table 10 Oxygen and carbon isotopic composition and forming temperature of dolomites

样 号	产 地	$\delta^{18}O$ (‰)		$\delta^{13}C$ (‰)	温 度	
		SMOW	PDB		t_1	t_2
+302	西和区	23.64	−6.66	−4.89	53.04	50.64
周 035	喇嘛山区	24.34	−6.01	−4.95	48.90	47.30
院 108	秦城区	25.48	−4.87	−5.65	41.97	40.44
清 603	清水区	28.81	−1.64	−3.14	24.59	24.14

维普资讯 http://www.cqvip.com

3.3 成矿机理

运用 Weber 和 Keith（1964）的计算方法[7]，求得含坡缕石粘土中白云石形成的介质盐度 Z 为 113.30～120。本区含坡缕石粘土岩的硼含量绝大多数为 79～144ppm，“相当硼含量”为 220～420ppm。根据校正硼含量与盐度（Y）的关系式计算水体的盐度为 17.38～33.05，而且 Rb/K 比值为 0.0048～0.0069，Sr/Ba＞1。这些特征都表明水体为咸化的沉积环境，而且从南到北盐度有增大的趋势（表 11）。

表 11 含坡缕石粘土岩的盐度和 pH 值

Table 11 Salinity and pH of palygorskite—bearing clays

分布区	Z	相当硼含量 (ppm)	Y（‰）	Rb/K	Sr/Ba	pH	W' $(\frac{Fe_2O_3}{Fe_2O_3+FeO})$
西 和	113.97	263.33	17.38	0.0065	1.68	9.02	0.43
喇嘛山	114.20	281.66	19.02	0.0062	3.40	8.64	0.66
秦 城	113.30	317.50	22.39	0.0066	1.30	8.97	0.87
清 水	120.05	432.50	33.05	0.0054	0.85	9.07	0.83

含坡缕石粘土岩的 pH 值平均为 8.64～9.07，表明它是在碱性环境中形成的。其氧化系数为 0.43～0.83，从南到北由还原环境逐渐变化为氧化环境，而且氧化程度越高，越有利于形成坡缕石。

在扫描电镜下，坡缕石纤维清晰可见，分布不均匀，密集处呈线团状互相交叉缠绕，多与片状粘土矿物混生，局部可见舒缓片理。在岩石的显微空隙处，坡缕石纤维呈拉丝状穿过空间，有的被扯断。还可见一些云母质矿物的晶片已转化为绿泥石和坡缕石。总之，天水地区的坡缕石是在盐度较高的碱性氧化环境中，在常温条件下，SiO_2，MgO，Al_2O_3 达到一定比例时形成的，一部分是由陆源碎屑物如云母等转化而成。

4 岩浆热液型

热液型坡缕石通常呈纤维状集合体，主要以脉状产于内外接触带，近年来报道较多，但均未发现工业矿床[12]。安徽全椒坡缕石仅有数千吨储量可供地方开采。全椒坡缕石产于燕山早期中酸性杂岩体与上元古界陡山沱组和灯影组镁质大理岩的内外接触带。主要有 5 条矿脉，一般长 25～100 m，宽 0.2～1.2 m，产于闪长质角砾岩和大理岩中。此外，还有 1～10 mm 的坡缕石细脉和囊状等不规则状产于闪长质角砾岩和闪长玢岩中，少量见于石英二长岩内。很显然中酸性侵入岩的岩浆热液沿接触带运移，交代镁质大理岩，使岩浆热液的物质成分和介质条件发生改变，当 SiO_2，MgO，Al_2O_3 等达到一定比例时，在内、外接触带的容矿构造中充填而形成纤维状坡缕石。

5 表生淋滤型

表生淋滤型坡缕石也呈纤维状集合体，脉状，产于碳酸盐岩破碎带内。主要分布于贵州西部碳酸盐岩地区[13]，四川洛表也有发现[14]，矿化点较多，但均无工业意义。贵州西部的坡缕石和四川洛表的坡缕石具有相同的地质产状，主要产于下二叠统茅口组上部白云质

维普资讯 http://www.cqvip.com

灰岩中。坡缕石纤维以脉状、网脉状、叶片状产于破碎带，与方解石共生。少量坡缕石纤维产于白云质灰岩之上的硅质岩的节理裂隙中。茅口组位于上二叠统峨眉玄武岩之下，坡缕石可能是上覆峨眉玄武岩成岩期后的产物。玄武岩在后期的风化过程中，一部分 SiO_2 和 MgO 等物质向下淋滤，在下部茅口组白云质灰岩破碎带中形成坡缕石。

坡缕石粘土在我国发现较晚，找到坡缕石粘土矿床是近十年的事，起步晚，研究程度低，上述成因类型只是在现有资料基础上的初步总结，相信随着地质工作的深入，一定能发现新的成因类型。例如杨雅秀等（1980）[15] 在湖南浏阳海泡石粘土矿床中发现了坡缕石粘土。国外不少矿床属于海相沉积型海泡石-坡缕石粘土矿床，我国是否有存在这一成因类型有待进一步工作证实。

工作中曾得到中国地质大学（北京）霍承禹教授和李家振副教授的指导，还得到杨雅秀和易发成等同志的帮助，在此表示衷心的感谢。

参 考 文 献

1 许冀泉等．江苏六合小盘山凹凸棒石粘土的发现及意义．科学通报，1980，25（11）
2 Singer A and Galan E. Palygorskite—sepiolite, Occurrence, Genesis and Uses. Developments in Sedimentology 37. Amsterdam, Elsevier, 1984
3 Lomova. O S. Palygorskites and sepiolites as indicators of sedimentary enviroment. Academy of Sciences USSR, Geol Inst Tr, 336. 1979
4 陈正国．黄泥山坡缕石粘土矿床成因．建材地质，1989，(3)
5 孟令山．山西凹凸棒石特征及其成因探讨．山西地质，1987，(1)
6 王锡岳等．苏南金坛凹凸棒石粘土新矿点的发现．江苏地质，1988，(2)
7 王莫华等．氧、碳同位素组成在研究碳酸盐成岩作用中的意义．地质论评，1983，29（3）
8 张天乐等．中国粘土矿物的电子显微镜研究．北京，地质出版社，1978
9 李明凯，邱家梅．天水地区含坡缕石粘土岩地质特征及形成环境的研究．建材地质，1989，(3)
10 C E 威维尔和 L D 普拉德著；张德玉译．粘土矿物化学．北京，地质出版社，1973
11 涂光炽等．地球化学．北京：地质出版社，1984
12 方碧等．安徽全椒坡缕石的研究．矿物学报，1983，(1)
13 林极峰等．贵州西部坡缕石产出特征的研究．贵州地质，1986，(3)
14 丘举藏．四川洛表坡缕石的初步研究．矿物学报，1983，(2)
15 杨雅秀等．湖南浏阳海泡石矿床中发现坡缕石粘土．建材地质，1985，(4)

维普资讯 http://www.cqvip.com

GENETIC TYPES OF PALYGORSKITE CLAY DEPOSITS IN CHINA

Chen Zhengguo

(Geological Institute of State Bureau of Building Material Industry)

Abstract

On the basis of the mineralization and the occurrence of the palygorskite clays, the palygorskite clay deposits in China might be gentically grouped into five types:

(1) the basaltic volcanic rock lithogenic alteration type;

(2) the volcanic sedimentary type;

(3) the lacustrine facies clastic sedimentary type;

(4) the hydrothermal type;

(5) the hypergene filling type.

The paper summarized the geological characteristics of various genetic types, elucidated the geochemical featuers of main elements, minor elements, REE, and steady isotope etc., and discussed the physical-chemical conditions and the minerogenetic mechanism for the formation of palygorskite clays.

Key words: palygorskite clay, genetic type, China