

贵州省凯里地区铝土矿床控矿因素研究

李传班^{1,2}, 刘幼平³, 武国辉³, 韩润生^{1,2}, 蔡贤德¹, 马瑞¹

(1. 昆明理工大学国土资源工程学院, 云南昆明 650093;

2. 有色金属矿产地质调查中心西南地质调查所, 云南昆明 650093;

3. 贵州省有色金属和核工业地质勘查局, 贵州贵阳 550005)

[摘要] 凯里地区铝土矿是产于碳酸盐岩侵蚀面上的一水硬铝石型沉积矿床。该区域在地质历史时期, 经历了多次地壳运动的复杂演变。铝土矿产于上泥盆统高坡场组(D_3gp)白云岩侵蚀面上, 含矿层位为中二叠统梁山组(P_2l)。在阐述了该区铝土矿的成矿地质背景和矿床地质特征的基础上, 对本区铝土矿床形成过程中的主要控矿因素进行了分析, 认为该形成过程可大体分为物质形成阶段、沉积和保存阶段和次生富集阶段三个阶段。其中, 物质形成阶段主要的控矿因素为风化作用、古气候、水文地质作用、古地貌和生物作用; 沉积和保存阶段主要的控矿因素为海侵作用和岩溶; 次生富集阶段主要的控矿因素为水文地质作用和断裂。

[关键词] 铝土矿 控矿因素 凯里地区 贵州

[中图分类号] P618.45 [文献标识码] A [文章编号] 0495-5331(2012)01-0031-7

Li Chuan-ban, Liu You-ping, Wu Guo-hui, Han Run-sheng, Cai Xian-de, Ma Rui. Ore-controlling factors of the bauxite deposits in the Kaili area, Guizhou Province [J]. *Geology and Exploration*, 2012, 48(1): 0031-0037.

0 引言

贵州是铝土矿资源大省, 目前探明和保有的铝资源量近4亿t, 约占全国总量的16%, 居全国第二位(武国辉等, 2006, 2008)。凯里地区是贵州省近年重点勘查的又一铝土矿产区, 现初步探明一处中大型矿床, 多个中小型矿床。通过对该区铝土矿床的控矿因素研究, 对于进一步寻找更大规模的铝土矿资源具有理论意义和现实意义。

1 成矿地质背景

凯里地区位于贵州省东部, 大地构造位置处于扬子准地台黔北台隆遵义断拱的贵阳复杂构造变形区。出露地层及岩性有: 寒武系娄山关群白云岩; 奥陶系下统石灰岩、白云岩; 志留系翁项群石英砂岩、粘土岩; 泥盆系上统高坡场组白云岩; 二叠系中统梁山组含矿岩系、栖霞组-茅口组灰岩(图1)。

区内构造总体呈NE向。断层有NNE向、近SN

向及NE向三组; 褶皱属黄平复式向斜南段, 主要有大泡木向斜、鱼洞向斜和苦李井向斜, 分别控制着含矿岩系的展布。

该区域在地质历史时期, 经历了多次地壳运动的复杂演变。寒武纪至泥盆纪地壳运动虽有反复, 但以沉降运动为主, 长期接受海侵; 早石炭世开始上升为陆, 接受风化剥蚀准平原化; 至海西运动晚期的中二叠世梁山期, 该区又缓慢下降发生海侵, 形成局限的海域接受沉积; 晚三叠世以后地壳持续上升成陆, 再次经历长期的风化剥蚀至今。

2 矿床地质特征

2.1 含矿岩系时代及特征

凯里地区铝土矿的含矿岩系为中二叠统梁山组(P_2l), 铝土矿赋存于梁山组底部古岩溶风化面上的沉积岩层中, 下伏地层为上泥盆统高坡场组白云岩, 上覆地层为二叠系栖霞组灰岩。

二叠系中统梁山组(P_2l)可分为三小层: 底部含

[收稿日期] 2011-04-13; [修订日期] 2011-06-20; [责任编辑] 郝情情。

[基金项目] 本文为贵州省科学技术基金项目(编号 S2009JP00401457110)资助的成果。

[第一作者] 李传班(1986年—), 男, 在读硕士, 方向: 矿产资源调查与评价。E-mail: q101509@163.com。

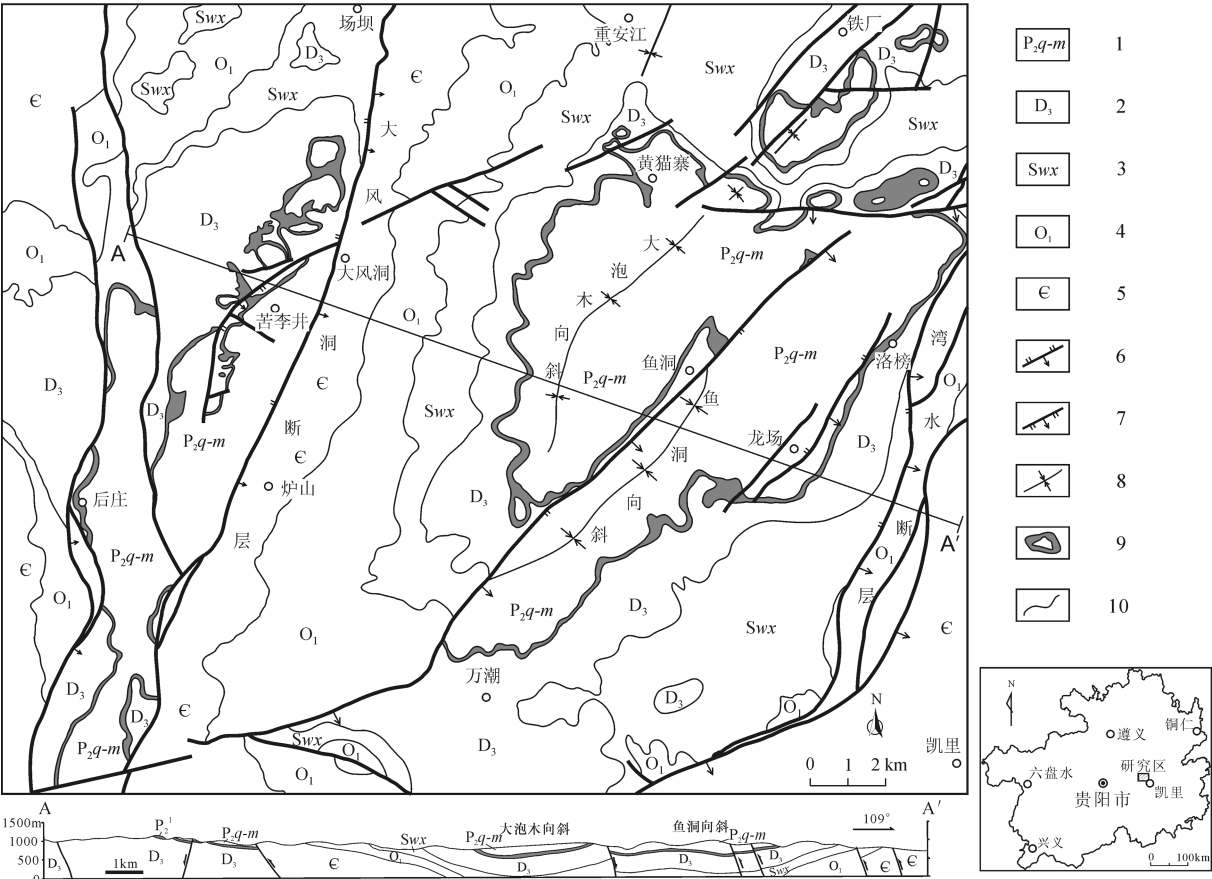


图 1 凯里地区地质略图(据贵州省有色局六总队(2004)修改)①

Fig.1 Geological map of the Kaili region (after Geological Brigade No. 6 of Guizhou Bureau of Non-ferrous Metals Geology and Exploration, 2004)

- 1-中二叠统栖霞组和茅口组灰岩;2-上泥盆统白云岩;3-志留系翁项群石英砂岩、粘土岩;4-奥陶系下统石
灰岩、白云岩;5-寒武系白云岩;6-逆断层;7-正断层;8-褶皱;9-含矿岩系;10-地质界线
1-limestone of Middle Permian Qixia and Maokou Formation; 2-dolomite of Upper Devonian; 3-quartz sandstone and
clay rock of Silurian Wengxiang Formation; 4-Syncline limestone and dolomite of Lower Ordovician;5-dolomite of
Cambrian; 6-reverse fault; 7-normal fault; 8-fold; 9-ore-bearing rock series; 10-geologic boundary

铁层、中部含铝土矿层和上部含煤(炭质)层(图2),含铁层与含铝土矿层厚度变化大、互为消长关系。底部含铁层(P_2l^1)由紫(褐)红色粘土页岩、铝土页岩夹结核状菱铁矿层组成,厚度0~16 m之间;中部含铝矿层(P_2l^2)由铝土岩、铝土页岩夹碎屑岩以及豆鲕状、半土状、土状、致密块状铝土矿组成,厚度在0~40m之间;上部含煤(炭质)层(P_2l^3)由褐黑色劣煤、炭质页岩和石英砂岩组成,混杂少量铝土矿、岩石碎屑等,土质松散,粘性较差,厚度在1.2~13m之间。

2.2 矿体产出特征

矿体分布主要受向斜构造控制,含矿岩系呈半椭圆形出露,与下伏地层呈假整合接触。矿体形态简单,平面上露头呈带状、长条状、不规则状;剖面上

呈层状、似层状、扁豆状、透镜状、漏斗状等,产状与岩层产状一致,倾角 $10^{\circ} \sim 15^{\circ}$ 。单个矿体长几十至5000余米,宽几十至900余米,矿体平均厚度在0.90~17.80m之间,一般为2~3m。铝土矿体的厚度与含矿岩系的厚度呈正相关关系($r=0.88$),亦与含铝岩组的厚度呈正相关关系($r=0.91$)(董家龙,2004)。矿体厚度变化较大,由0.5~40m不等,受基底古侵蚀面形态的影响,一般凹下地段矿层厚度大,凸起地段厚度小甚至尖灭,各成矿区均见有少量分布于碳酸盐岩溶斗或溶沟中的厚度大的矿段。

2.3 矿石特征

2.3.1 矿石类型及组成

区内有两种不同工业类型铝土矿矿石:一水硬铝石低硫低铁铝矿石和一水硬铝石低硫高铁铝矿

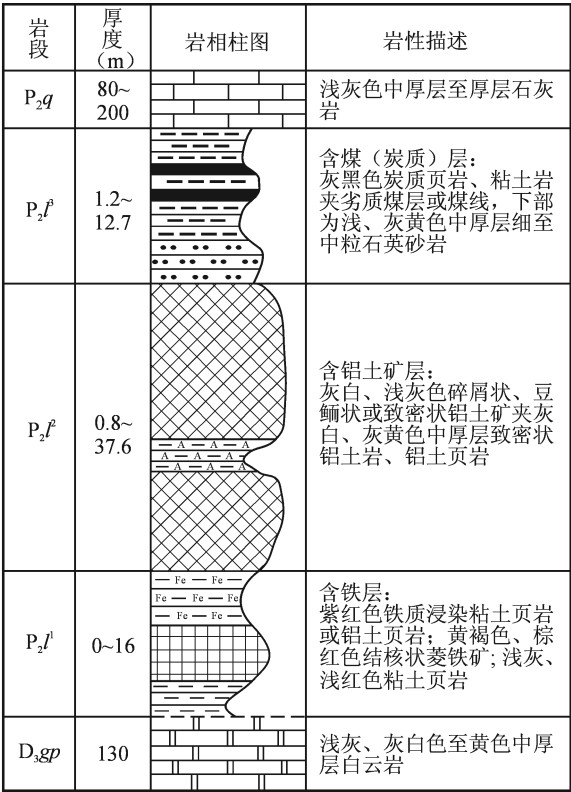


图 2 凯里地区铝土矿含矿岩系柱状图

Fig. 2 Column diagram of bauxite-bearing rock series in the Kaili area

石。一水硬铝石低硫低铁铝土矿:一般为豆鲕状、土状、碎屑状和致密状结构,是区内主要矿石类型,根据 Al_2O_3 含量和 A/S 值,主要属Ⅲ级矿。一水硬铝石低硫高铁铝土矿:鱼洞矿区主要分布在 1 号矿体、4 号矿体和 5 号矿体,占矿石总量约 7%;苦李井矿区高铁铝土矿占总量的 22%,高铁铝土矿一般为豆粒块状矿石,矿石中 Al_2O_3 含量一般 43%~60%, SiO_2 含量一般为 8%~18%, Fe_2O_3 含量在 16%~27% 之间; A/S 值 2.32~6.60,平均 4.3 左右,此类矿石质量较差。

矿石的组成矿物以一水硬铝石为主,占 50%~90%;其次是高岭石、水云母等粘土矿物,占 5%~30%;菱铁矿、赤铁矿、黄铁矿等铁矿物含量较少;锆石、金红石等重矿物含量微。

2.3.2 矿石结构构造

铝土矿石结构主要有隐晶-微晶结构、胶状结构、它形粒状结构、半自形-自形结构等;矿石构造以豆鲕状构造和碎屑状构造为主,其次为致密状构造和土状构造,其中以土状铝土矿质量为最好, A/S 大于 10,豆鲕状和碎屑状铝土矿质量中等, A/S 为 5~8,致密状铝土矿质量较差, A/S 为 2~5。

2.3.3 矿石的化学组成

矿石中含有 Al 、 Si 、 Fe 、 Ca 、 Mg 、 K 、 Na 、 Ti 、 V 、 Be 、 Ga 、 S 、 Mn 、 Cr 、 Zr 、 Cu 、 Sn 、 Pb 、 Zn 、 Ni 、 B 、 Li 等 20 余种元素,以 Al_2O_3 、 SiO_2 、 Fe_2O_3 、 TiO_2 及烧失量为主,5 种组分之和 > 90%。其中 Al_2O_3 为 46.06%~78.84%,平均为 63.91%; SiO_2 为 1.04%~24.60%,平均为 10.68%; Fe_2O_3 为 0.80%~23.48%,平均为 5.72%; TiO_2 为 1.44%~4.73%,平均为 2.81%;烧失量一般在 13%~15% 之间,变化不大;铝硅比 2.2~59.8,平均为 6.0。

3 控矿因素

凯里地区铝土矿是产于碳酸盐岩侵蚀面上的一水硬铝石型沉积矿床(刘平,2001;王翠芝等,2005;翟东兴等,2002)。铝土矿的形成是一个复杂的过程,构造、风化、气候、流体、地貌、生物等因素均在其中起着重要的作用。根据本区铝土矿床的研究,该过程可大体分为三个阶段:物质形成阶段、沉积和保存阶段和次生富集阶段,每个阶段都有不同的控制因素。其中以构造作用最为重要,地壳运动在整个铝土矿床的形成过程中均起着重要的作用。

该区在早石炭世以前地壳运动以沉降为主,沉积了大量的陆源碎屑物质和碳酸盐物质,特别是在泥盆纪时期,该区沉积演化的总趋势是由滨海陆源碎屑沉积向碳酸盐沉积转变,最后在晚泥盆世为碳酸盐岩所代替,为后期进行风化作用形成铝土物质提供了基础;从早石炭世时期开始,稳定的造陆运动使该区由海洋环境抬升为古陆,使本区在整个石炭纪和早二叠世时期处于风化剥蚀阶段,长时间的沉积间断和风化作用形成了大量的铝土物质;进入中二叠世,发生了大规模的海侵,形成滨海、潮坪、沼泽—泻湖环境,铝土物质沉积,同时上覆岩层沉积后伏于铝土矿层之上;晚三叠世开始,凯里地区隆起,地壳再次抬升,经过后期的多次构造运动,铝土矿层逐渐抬升,为后期的改造优化创造了条件(表 1)。

3.1 铝质源岩分析

铝土矿矿床是以一种在大气条件下多阶段、多因素形成的原地残积、堆积或异地迁移堆积的铝土矿矿床,它的形成机理是相当复杂的(刘长龄,2005)。通过对凯里地区铝土矿成矿地质背景、含矿岩系剖面及钛率的研究,认为其物质来源是以基底的碳酸盐岩的风化残余物质为主,少量为硅酸盐岩,铝土物质经短距离搬运,就近沉积-堆积在附近的岩溶洼地中,依据如下:

表 1 凯里地区地壳运动的演化

Table 1 Evolution of crustal movement in the Kaili area

地质时代	地壳运动	基本特征	铝土矿形成阶段
至今 晚三叠世	上升	上覆岩层遭受风化剥蚀,铝土矿进行次生富集作用。	次生富集阶段
中三叠世 中二叠世梁山期	沉降	铝土物质沉积,并为上覆沉积岩层所覆盖。	沉积和保存阶段
早二叠世 早石炭世	上升	处于风化剥蚀阶段,长时间的沉积间断和风化作用形成了大量的铝土物质。	物质形成阶段
泥盆纪	沉降	由滨海陆源碎屑沉积向碳酸盐沉积转变,沉积了大量的陆源碎屑物质和碳酸盐物质。奥陶纪末到志留纪初的一次明显的地壳抬升运动,造成上下地层的缺失和假整合接触关系。	
志留纪 寒武纪	沉降为主		

(1) 通过对贵州现代碳酸盐岩红色风化壳的研究发现(朱立军等,2004;李景阳等,2004),在白云岩红色风化壳表层土壤中 Al_2O_3 的含量可达到 20.99% ~ 34.56%。而石炭世时期,贵州所处纬度比现代更接近赤道,气候环境更加有利于碳酸盐岩的红土化和铝质的富集。刘平(2001)通过研究认为,“贵州绝大部分铝土矿基底是白云岩,泥页岩数

量甚少,在有利气候条件下,经钙红土化作用,碳酸盐岩同样可以形成铝土矿的成矿母质-红土风化壳”。

(2) 本区铝土矿床的产出严格受泥盆系分布区的控制,区内及周围二叠纪以前沉积的地层除寒武系下统和志留系中下统为页岩外,其余均为碳酸盐岩(贵州省地矿局,1997)。泥盆纪末石炭纪初开始的紫云运动,使本区整体平稳上升,此后一直至中二叠世的长达 60Ma 年中接受风化剥蚀,当时并无铝硅酸盐类的古陆存在,在中二叠世时依然还是被泥盆系碳酸盐岩所覆盖的剥蚀区。

(3) 含矿岩系剖面是铝土矿形成过程的客观记录。凯里地区铝土矿的基底地层岩性为白云岩,部分钻孔发现在古侵蚀面附近有碳酸盐岩呈泥状,为风化残余物质,含矿岩系由下而上其岩石系列为含铁粘土岩或高铁铝土岩、铝土岩、铝土矿、炭质层。根据 Al_2O_3 测试结果(表 2),白云岩风化后 Al_2O_3 的含量比未风化白云岩提高几倍以上,上面的粘土岩、铝土岩,其 Al_2O_3 含量又提高了数倍,而在铝土矿中的含量可达到 50% ~ 70% 以上。表明碳酸盐岩在长期化学风化作用下,铝质得到富集,再经铝土化作用,完全可以富集成铝土矿(吴国炎等,1996;袁跃清,2005)。

(4) 据贵州铝土矿床基岩(碳酸盐岩)古钛率研究成果(李启津等,1996),其古钛率为 27.9 ~ 29.9,如表 2 所示,本区基底白云岩钛率为 21.67,铝土矿钛率为 22.35 ~ 29.16,与基底白云岩的钛率相接近,表明基底白云岩是本区古风化壳的原岩。

表 2 凯里地区铝土矿柱状剖面分析结果表(据贵州省有色局六总队,2004)

Table 2 Chemical compositions of stratigraphic column of the bauxite deposit in the Kaili area(after Geological Brigade No.6 of Guizhou Bureau of Non-ferrous Metals Geology and Exploration, 2004)

地层代号	岩性	化学成分(%)					A/S	钛率
		Al_2O_3	SiO_2	Fe_2O_3	TiO_2	烧失量		
P_2I^3	炭质层							
	土状铝土矿	67.05	9.03	4.46	3.00	15.22	7.43	22.35
P_2I^2	豆鲮状铝土矿	57.74	14.73	5.55	1.98	16.35	3.92	29.16
	铝土岩	32.60	41.17	4.07	1.58	14.29	0.79	20.63
P_2I^1	含铁粘土岩或高铁铝土岩	25.67	31.89	18.70	1.16	17.54	0.80	22.13
	风化残余物质	36.39	38.36	3.93	1.36	16.54	0.95	26.76
D_3gp	风化白云岩	5.78	7.61	1.17	0.25		0.76	23.12
	白云岩	0.65	2.62	0.28	0.03		0.25	21.67

3.2 物质形成阶段控矿因素

该阶段主要发生在石炭纪(C)和早二叠世(P_1)时期。凯里地区自早石炭世开始上升为陆,至中二叠世梁山期接受海侵,沉积间断和风化剥蚀时间约60Ma年,在空间和时间上为铝土物质的形成创造了良好的条件。

3.2.1 风化作用

铝土矿的形成需要进行风化作用,形成古风化壳铝土物质。凯里地区早期的地壳运动沉积了大量的陆源碎屑物质和碳酸盐物质,为后期进行风化作用提供了条件;进入石炭世,本区地壳抬升,直至中二叠世梁山期海侵的发生,之前沉积的碳酸盐岩遭受长达约60Ma年的风化剥蚀。在长时间的风化作用过程中,同时进行着物理风化作用和化学风化作用,使得地表碳酸盐岩中包括Na、Ca、Mg及Si等元素流失。刘宝珺(1980)认为当风化作用进行到最后阶段—铝铁土阶段—红土型风化作用阶段,铝硅酸盐矿物被彻底分解,全部可移动元素都被带走,主要剩下铁和铝的氧化物及一部分二氧化硅,形成富含铝质、硅质、铁质的红土型风化壳,铝质得到了初步富集,为铝土矿的形成提供了物质来源。

3.2.2 古气候

古气候是铝土矿形成不可或缺的因素,现代铝土矿主要形成于热带雨林地区,这是由热带雨林气候决定的。铝土物质的形成是在高温多雨的条件下发生的,高温可以使化学风化的速度加快,而充沛的大气降水能够使风化作用形成的化合物被持续带走,铝质得以富集。古地磁测量结果表明(王俊达等,1998;廖士范,1999),贵州在石炭纪时处于南纬 $8^{\circ} \sim 14^{\circ}$,属于热带地区,该时期凯里地区气候炎热潮湿、日照时间较长,非常有利于碳酸盐岩风化成土作用的进行,形成了一定厚度的古风化壳,为后期铝土矿床的形成提供了大量的铝土物质。

3.2.3 水文地质作用

研究表明,现代红土型铝土矿主要发育于热带雨林地区,矿体主要产出在地势相对较高的山丘顶部,这与充足的大气降水和良好的排泄条件有关。石炭纪时期,凯里地区为赤道附近热带雨林地区,呈现为略高于海平面的碳酸盐岩夷平面状态,岩溶洼地发育,降雨量较高且排水系统发达,有利于当时的红土化作用进行,并导致成矿物质的聚集。根据现有工作研究发现,凯里铝土矿富矿体主要赋存在岩溶洼斗中,这与上述原因是密切相关的。

3.2.4 古地貌

该因素主要是通过影响风化作用、水文地质作用从而对铝土物质的形成产生影响。强烈切割的陡峻高山地形由于物理风化作用而不利于风化壳和风化矿床的形成,平原洼地水流不畅,也不利于风化矿床的形成;高差不大的山区丘陵地形对风化矿床形成最为有利,它能保证降水渗透到潜水面并由侵蚀基准造成有利的排水条件使之发生积极地化学风化作用(袁见齐等,1979)。石炭纪时期,凯里地区碳酸盐岩地层产状近似水平,经过长期的风化剥蚀,形成碳酸盐岩夷平面地貌,有利于铝土物质的形成。

3.2.5 生物作用

石炭纪是地球陆地上首次出现大规模森林的地质历史时期,是地史上第一次大规模的成煤期(王鸿祯等,1980)。凯里地区铝土矿和煤、炭质页岩具有密切的空间关系,鱼洞矿区、苦李井矿区和铁厂沟矿区的梁山组上段炭质页岩广泛出现,部分矿体出现铝土矿和炭质页岩交互出现的情况,这些都表明本区在当时植被发育。植物为了生长需要吸收相对较多的硅质,而其根系和腐殖物产生的局部还原环境还可以导致铁的流失;植被能够阻止地表水的强烈蒸发,同时地表植物和落叶可以阻滞地表水的快速流动,加强下渗作用,有利于化学风化作用的进行。

3.3 沉积和保存阶段控矿因素

该阶段主要发生在中二叠世(P_2)至中三叠世(T_2)时期。其中中二叠世梁山期为铝土物质的沉积时期,之后继续进行的沉积作用保证了铝土矿床能够保存至今。

3.3.1 海侵作用

进入中二叠世,凯里地区以海侵为特征,其对铝土矿的控制作用体现在两个方面。一是一直在大气条件下遭受风化作用而形成的铝土物质,逐渐被海水淹没,并就近沉积形成铝土矿床,在水深较浅,水动力较强的区域可沉积碎屑状和豆鲕状铝土矿,而在水深较深,水动力较弱的区域则沉积致密状铝土矿;另一方面,在铝土物质沉积后,海侵作用仍然继续,相继沉积了栖霞组灰岩、茅口组灰岩等岩层,直到晚三叠世海侵结束,含矿岩系为上覆沉积岩层所覆盖,从而没有因为后期的地壳抬升遭受强烈侵蚀、剥蚀和搬运,才可能形成现今一定规模的铝土矿床(体)。

3.3.2 岩溶

凯里地区铝土矿形成于泥盆系上统高坡场组碳

酸盐岩的古风化侵蚀面上,该风化侵蚀面上岩溶地貌发育,主要有岩溶洼斗、岩溶洼地、溶洞等。该区铝土矿主要赋存于岩溶地貌的洼地洼斗中,且矿体的厚度、品位和岩溶洼地洼斗的深度有明显的关系。赋存在地势高差较大的岩溶洼斗中的铝土矿体厚度大、品位高,水平方向延伸有限,苦李井矿区矿体多为此种类型;在地势平坦的洼地中,矿体厚度小,走向及倾向延伸大,矿体呈层状、似层状产出,矿石质量相对较差;而在地势较高处,梁山组含矿岩系厚度变薄,甚至消失而无铝土矿出现。岩溶地貌对铝土矿的保存具有非常重要的意义,是铝土矿成矿富集的主要场所。

3.4 次生富集阶段控矿因素

该阶段主要发生在晚三叠世(T_3)至今。经过上述两个阶段后,铝土物质虽然已经沉积成岩,但是相当一部分由于品位低而不能称之为铝土矿,还必须经过进一步的优化。后期,铝土矿石质量的变优主要是通过次生富集作用实现的,具有矿石上富下贫、浅富深贫的规律。次生富集作用发生的主要内部因素是 Al_2O_3 和 SiO_2 两种氧化物地球化学性质的不同;而主要的外部因素则是水的流动性。

3.4.1 水文地质作用

温同想(1996)提出“水是次生富集过程中最重要因素”,认为在 $pH \approx 7.7$ 的地表水和地下水作用下,含矿岩系中首先是大部分 CaO 被淋失,然后是 SiO_2 被淋失,Al 则不易活动而保留下来,富集成矿。从水文地质角度讲,大部分工业富矿体位于地下水潜水面附近,比如矿区内所探明露采矿体均位于侵蚀基准面之上,在鱼洞矿区西侧,有平路河、泡木河,水面标高 700m,低于矿体标高 150~200m,有利于地下水的排泄和次生富集作用的进行。

3.4.2 断裂

断裂构造对矿体的富集和矿石质量的提高起着积极的作用。断层除了能够将部分含矿岩系抬升至地表附近,有利于次生富集作用的发生外,其本身就是一良好的通道,有利于大气水的渗透和地下水的排泄,加速对矿体本身的淋滤,便于铝土矿体的氧化富集,使得矿区深部可以出现质量较好的铝土矿石。沿断裂带两侧的见矿钻孔中矿石铝硅比值高于周围的钻孔,常形成局部富矿,这是因为地下水通过导水破碎带对矿体反复进行冲刷溶蚀, SiO_2 被大量带出所致。

4 结论

(1) 凯里地区铝土矿是产于碳酸盐岩侵蚀面上

的一水硬铝石型沉积矿床,其形成是一个非常复杂的过程,构造、风化、气候、流体、地貌、生物等因素均在其中起着重要的作用。通过前期研究,本文将该过程大体分为物质形成阶段、沉积和保存阶段和次生富集阶段三个阶段。

(2) 众多因素中,地壳运动在铝土矿床形成的整个过程中均起着非常重要的作用,是三个阶段发生的前提条件。在物质形成阶段,主要的控矿因素为风化作用、古气候、水文地质作用、古地貌和生物作用;在沉积和保存阶段,主要的控矿因素为海侵作用和岩溶;在次生富集阶段,主要的控矿因素为水文地质作用和断裂。

致谢 文中部分基础资料引用了贵州省有色金属和核工业地质勘查局六总队多年的找矿成果,在此表示衷心感谢!

[注释]

- ① 贵州省有色局六总队. 2004. 贵州省凯里铝土矿普查地质报告 [R]

[References]

- Bureau of Geology and Mineral Exploration and Development of Guizhou Province. 1997. Lithostratigraphy of Guizhou[M]. Wuhan: China University of Geosciences Press: 6-218(in Chinese)
- Dong Jia-long. 2004. Geological feature of bauxite in Guizhou province and thoughts of exploration & development[J]. Mineral resources and geology, 18(6): 555-558(in Chinese)
- Li Jing-yang, Zhu Li-jun. 2004. On modern weathering crust and palaeo-weathering crust of Carbonate rock[J]. Carsologica Sinica, 23(1): 56-62(in Chinese)
- Li Qi-jin, Yang Guo-gao, Hou Zheng-hong. 1996. Several problems in the research of metallogenic theories of bauxite[J]. Mineral Resources and Geology, 10(1): 22-26(in Chinese)
- Liao Shi-fan. 1999. Some advances in study of sedimentary deposits [J]. Guizhou Geology, 16(2): 122-129(in Chinese)
- Liu Bao-jun. 1980. Sedimentary Petrology[M]. Beijing: Geological Publishing House: 8-97(in Chinese)
- Liu Chang-ling. 2005. Recent progress in study on kaolinite clay and bauxite[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 23(3): 467-474(in Chinese)
- Liu Ping. 2001. Discussion on the Metallogenic Setting of the Qianzhong-Yunan Bauxite in Guizhou and Its Genesis[J]. Guizhou Geology, 18(4): 238-24(in Chinese)
- Wang Cui-zhi, Xiao Rong-ge, Jia Xiu-ming, Zhou Hong-chun, Liu Jun. 2005. Geological features and mineralization of Zibo bauxite deposits in Shandong Province[J]. Geology and Exploration, 41(5): 34-37(in Chinese)
- Wang Hong-zhen, Liu Ben-pei. 1980. Historical Geology[M]. Beijing: Geological Publishing House: 179-180(in Chinese)
- Wang Jun-da, Li Hua-mei. 1998. Carboniferous paleo-latitude and bauxite deposit of central Guizhou Province[J]. Geochimica, 27

(6); 575–578 (in Chinese)

Wen Tong-xiang. 1996. The geological characteristics of carboniferous bauxite in Henan[J]. Jour Geol & Min Res North China, December, 11(4): 491–579 (in Chinese)

Wu Guo-hui, Liu You-gi. 2006. Geological characters and aluminum ore resources potential in the Wuchuan-Zheng'an - Daozhen area, Guizhou[J]. Geology and prospecting, 42(2): 39–43 (in Chinese)

Wu Guo-hui, Jin Zhong-guo, Bao Miao, Mao Zuo-lin. 2008. Bauxite Metallogenic Regularity the Wuchuan-Zheng'an - Daozhen Area, Northern Guizhou[J]. Geology and Prospecting, 44(6): 31–35 (in Chinese)

Wu Guo-yan, Yao Gong-yi. 1996. Bauxite deposits in Henan[M]. Beijing: Metallurgical Industry Press: 155–171 (in Chinese)

Yuan Jian-qi, Zhu Shang-qing, Zhai Yu-sheng. 1979. Ore Deposit Formation[M]. Beijing: Geological Publishing House: 184–254 (in Chinese).

Yuan Yue-qing. 2005. Genesis of bauxite deposit in Henan[J]. Mineral Resources and Geology, 19(1): 52–56 (in Chinese)

Zhai Dong-xing, Liu Guo-ming, Chen De-jie, Zhang Qiao-mei, Zhao Xi-yan. 2002. Deposit geology and metallogenic Regulation of Shan-Xin Bauxite Belt, Henan Province[J]. Geology and Exploration, 38(4): 41–44 (in Chinese)

Zhu Li-jun, Li Jing-yang. 2004. Weathering and pedogenesis of carbonatite and the environmental effect[M]. Beijing: Geological Publishing House: 1–128 (in Chinese)

[附中文参考文献]

董家龙. 2004. 贵州铝土矿基本地质特征及勘查开发的思考——以凯里—黄平铝土矿为例[J]. 矿产与地质, 18(6): 555–558

贵州省地质矿产局. 1997. 贵州省岩石地层[M]. 武汉: 中国地质大学出版社: 6–218

李景阳, 朱立军. 2004. 论碳酸盐岩现代风化壳和古风化壳[J]. 中国

岩溶, 23(1): 56–62

李启津, 杨国高, 侯正洪. 1996. 铝土矿床成矿理论研究中的几个问题[J]. 矿产与地质, 10(1): 22–26

廖士范. 1999. 沉积矿床研究若干进展综述[J]. 贵州地质, 16(2): 122–129

刘平. 2001. 八论贵州之铝土矿—黔中—渝南铝土矿成矿背景及成因探讨[J]. 贵州地质, 18(4): 238–243

刘宝珺. 1980. 沉积岩岩石学[M]. 北京: 地质出版社: 8–97

刘长岭. 2005. 论高岭石粘土和铝土矿研究的新进展[J]. 沉积学报, 23(3): 467–474

王翠芝, 肖荣阁, 贾绣明, 周红春, 刘军. 2005. 山东淄博铝土矿地质特征及成矿作用[J]. 地质与勘探, 41(5): 34–37

王鸿祯, 刘本培. 1980. 地史学教程[M]. 北京: 地质出版社: 179–180

王俊达, 李华梅. 1998. 贵州石炭纪古纬度与铝土矿[J]. 地球化学, 27(6): 575–578

温同想. 1996. 河南石炭纪铝土矿地质特征[J]. 华北地质矿产杂志, 11(4): 491–511

吴国炎, 姚公一. 1996. 河南铝土矿床[M]. 北京: 冶金工业出版社: 155–171

武国辉, 金中国, 鲍森, 毛佐林. 2008. 黔北务正道铝土矿成矿规律探讨[J]. 地质与勘探, 44(6): 31–35

武国辉, 刘幼平, 张应文. 2006. 黔北务一正一道地区铝土矿地质特征及资源潜力分析[J]. 地质与勘探, 42(2): 39–43

袁见齐, 朱上庆, 翟裕生. 1979. 矿床学[M]. 北京: 地质出版社: 184–254

袁跃清. 2005. 河南省铝土矿床成因探讨[J]. 矿产与地质, 19(1): 52–56

翟东兴, 刘国明, 陈德杰, 张巧梅, 赵锡岩. 2002. 河南省陕—新铝土矿带矿床地质特征及其成矿规律[J]. 地质与勘探, 38(4): 41–44

朱立军, 李景阳. 2004. 碳酸盐岩风化成土作用及其环境效应[M]. 北京: 地质出版社: 1–128

Ore-controlling Factors of the Bauxite Deposits in the Kaili Area, Guizhou Province

LI Chuan-ban^{1,2}, LIU You-ping³, WU Guo-hui³, HAN Run-sheng^{1,2}, CAI Xian-de¹, MA Rui¹

- (1. Kunming University of Science and Technology, Kunming, Yunnan 650093;
2. South-West Institute of Geological Survey Centre for Nonferrous Metals Resources, Kunming, Yunnan 650093;
3. Guizhou Bureau of Non-ferrous Metals Geology and Exploration, Guiyang, Guizhou 550005)

Abstract: The bauxite deposit in the Kaili area is of the sedimentary type which formed on the eroded surface of carbonate. This area underwent many times of crustal movement during the geological history. Bauxite ores occur on the dolomite eroded surface of the Upper Devonian Gaopochang Formation, and ore-controlling strata are middle Permian Liangshan formation. Based on geologic and ore-forming background and bauxite deposit characteristics in this area, this article analyses the main ore-controlling factors of the formation process. It is suggested that the process can be roughly divided into three phases: the material forming phase, the deposition and preservation phase and the secondary enrichment phase. The primary ore-controlling factors are weathering, paleo-climate, hydrogeology, paleo-landform, and biology for the first phase, marine transgressions and karst for the second phase, and hydrogeology and faulting for the third phase, respectively.

Key words: Bauxite, ore-controlling factors, Kaili area, Guizhou