



海平面变化对沉积型铝土矿富集成矿的影响 ——以黔北铝土矿为例

刘辰生^{1,2}, 金中国³, 郭建华^{1,2}

(1. 中南大学 有色金属成矿预测与地质环境监测教育部重点实验室, 长沙 410083;

2. 中南大学 地球科学与信息物理学院, 长沙 410083;

3. 贵州省有色金属地质和核工业地质勘查局, 贵阳 550005)

摘 要: 黔北铝土矿是我国超大型铝土矿矿床, 该矿床为沉积型铝土矿, 其成矿过程受到海平面变化的影响。通过对研究区铝土矿含矿岩系沉积相和地球化学分析, 可知含矿岩系铝土矿主要形成于湖泊相滨浅湖亚相, 即铝土矿形成于淡水环境, 并且不同相带分布着不同结构的铝土矿; 含矿岩系绿泥石黏土岩和铝土岩形成于扇三角洲和潮坪相。海平面上升旋回以绿泥石岩和铝土岩沉积为主, 而海平面下降旋回以铝土矿沉积为主。海平面下降旋回的跨时远大于海平面上升旋回的跨时, 这也说明铝土矿形成于漫长的风化淋滤过程。研究区铝土矿含矿岩系最多可识别出 3 个海平面升降旋回, 这 3 个旋回与研究区周缘同期的碳酸盐岩和碎屑岩沉积旋回具有一致性和可对比性。

关键词: 海平面变化; 铝土矿含矿岩系; 湖泊相; 沉积旋回; 颗粒状铝土矿

文章编号: 1004-0609(2018)-05-0985-09

中图分类号: P618.45

文献标志码: A

铝土矿分为红土堆积型和红土沉积型, 前者为没有经过搬运和沉积作用的风化层原地聚集; 而后者是风化红土经过搬运后再沉积形成。红土堆积型铝土矿含矿岩系纵向上具有典型的地化元素变化规律, 而沉积型铝土矿由于受到搬运水介质类型、水动力条件和物源等方面的影响造成含矿岩系纵向上地球化学元素没有固定的变化规律。由于受到研究方法和测试手段的限制, 早期研究者均认为铝土矿形成于原岩原地风化淋滤形成, 没有经过长距离搬运。但这种成矿模式不能解释铝土矿中指示海相地化元素的富集以及铝土矿中发育沉积构造甚至完整的海相化石等现象^[1-3]。章柏盛据详实的地化资料、古生物化石、岩石矿物组合以及沉积构造等综合判断黔中铝土矿主要形成于海平面上升期的海湾泻湖环境^[4]。我国北方也普遍存在海相成因的铝土矿, 其中以河南新安郁山铝土矿床最为典型, 研究表明该铝土矿在沉积过程中先后共经历了 3 次海平面升降旋回, 铝土矿原岩主要形成于海平面上升期^[5-6]。黔北铝土矿原岩沉积环境包括陆相、海相和海陆过渡相, 海平面变化对铝土矿的富集成矿具有重要影响^[7-9], 进一步的研究认为黔北铝土矿原岩受到

了 2~3 次海平面周期性变化的影响^[10], 但是海平面变化在铝土矿富集成矿的作用仍是有待深入研究的重要问题。

黔北位于扬子准地台黔北台隆遵义断拱凤冈北北东向构造变形区内, 主构造线方向呈 NE 向和 NNE 向展布^[11]。研究区历经数次大规模的构造运动, 包括元古代的武陵运动至新生代的喜山运动等(见图 1), 其中, 中生代的燕山运动对研究区的构造变形影响最大。已有的研究表明, 本区对铝土矿成矿有影响的构造活动有 4 次, 分别为广西运动、紫云运动、黔桂运动以及东吴运动等^[12-13]。研究区内褶皱发育, 以 NNS 向为主, 背斜的规模较大, 且常为复式背斜, 地层较缓。向斜狭窄, 地层较陡, 因此背斜与向斜共同形成“隔槽式”褶皱。黔北铝土矿均分布在向斜中, 因此, 向斜是主要的控矿构造。

1 样品采集和分析方法

研究所用样品均采自黔北务川、正安和道真地区

基金项目: 湖南省自然科学基金资助项目(2017JJ1034)

收稿日期: 2017-03-10; 修订日期: 2017-05-30

通信作者: 刘辰生, 副教授, 博士; 电话: 18773188632; E-mail: lcsjed@163.com

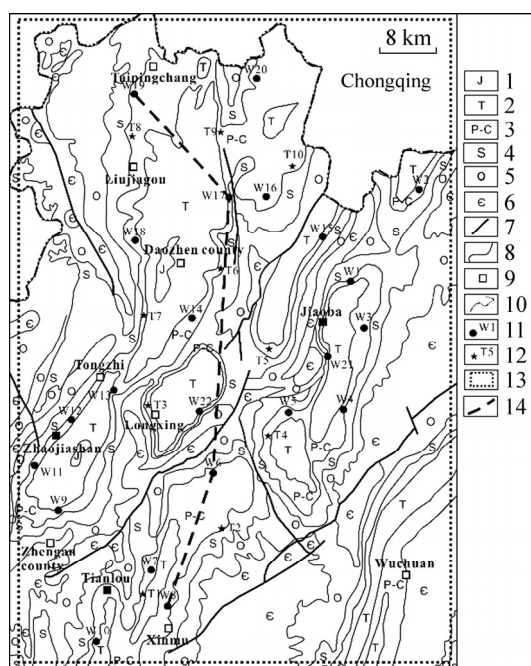


图1 黔北地区地质概况: 1—侏罗系; 2—三叠系; 3—二叠系—石炭系(铝土矿赋存层位); 4—志留系; 5—奥陶系; 6—寒武系; 7—断层; 8—地层界线; 9—地名; 10—省界线; 11—钻井; 12—探槽; 13—研究区范围; 14—连井剖面线

Fig. 1 Geological sketch in Qianbei area: 1—Jurassic; 2—Triassic; 3—Permian-Carboniferous (ore bearing layer); 4—Silurian; 5—Ordovician; 6—Cambrian; 7—Faults; 8—Stratigraphic boundary; 9—Places name; 10—Province boundary; 11—Boreholes; 12—Exploratory trench; 13—Research area boundary; 14—Wells correlation section

的野外剖面、探槽和岩心。为了分析微量元素在铝土矿含矿岩系中的分布规律, 取样时自下而上分别选取绿泥石岩、铝土岩、铝土矿和顶板岩性等作为样品, 并将不同结构的铝土矿作为重点。样品测试在中国科学院地球化学研究所矿床地球化学国家重点实验室进行。样品微量元素含量测试采用酸溶法, 将样品烘干后粉碎, 煅烧 2~4 h 以去除有机质。取煅烧后的样品 0.4 mg 放入聚四氟乙烯密闭溶样瓶中, 并用硝酸、氢氟酸和高氯酸溶解样品。稀释后的样品利用 PE Elan6000 型电感耦合等离子质谱仪(ICP-MS)进行测试分析。

2 黔北铝土矿含矿岩系沉积相类型

2.1 铝土矿含矿岩系岩性特征

黔北地区铝土矿分布于二叠统梁山组中部, 铝土

矿的下部和上部为绿泥石粘土岩(绿泥石岩)和铝土岩, 铝土矿、绿泥石岩和铝土岩组成铝土矿含矿岩系(见图2)。矿系底板岩性变化大, 研究区北部以中石炭统黄龙组白云质灰岩和泥晶灰岩为主, 南部以下志留统韩家店组页岩和粉砂质页岩为主, 含矿层系与底板为角度不整合接触。矿系顶板为中二叠统栖霞组泥晶灰岩, 与矿系呈整合接触。铝土矿可分为致密、半土、碎屑、豆鲕 4 种类型, 不同自然类型铝土矿的空间分布规律及组合特征可作为划分铝土矿沉积相带的重要依据。

2.2 铝土矿含矿岩系沉积相类型

虽然铝土矿原岩经过表生风化作用, 但是其仍保留了沉积期的特征, 如沉积韵律和分布形态。根据 22 口钻井取心和 10 条探槽资料(见图1), 研究区铝土矿含矿岩系可识别出 3 种沉积相, 分别为扇三角洲相、湖泊相和潮坪相。

扇三角洲相主要分布在研究区的南部正安县—九曲一线和东部道真县—湄水一线, 是含矿岩系下部绿泥石岩重要的沉积相类型。扇三角洲相岩性以深灰色含砾绿泥石黏土岩为主, 砾石的直径约为 8~10 cm, 磨圆度好, 分选性中等。砾石的成分以黏土岩为主, 悬浮分布于绿泥石黏土岩中。该含砾黏土岩横向分布不稳定, 且岩层底部发育冲刷面, 岩层中不具沉积构造, 平面上, 该相带呈扇形。

湖泊相是含矿岩系中铝土矿原岩主要的沉积相类型。虽然铝土矿原岩沉积期研究区由于准平原化已经变得非常平坦了, 但是仍然存在地势较低的汇水洼地, 这些洼地是各类铝土矿原岩主要的沉积区。由于地表水的常年补给, 汇水洼地常具有一定的水体深度。根据铝土矿沉积特征, 可以判断该汇水洼地以滨湖和浅湖为主。滨湖亚相位于浪基面以上, 水动力条件较强, 部分钻井岩心资料中仍可见波状层理以及由于波浪作用导致鲕状铝土矿破碎的现象。浅湖亚相由于水动力条件相对较弱, 所以是土状和碎屑状铝土矿原岩的沉积相带。实际上, 沉积型铝土矿原岩沉积过程与水动力密切相关。通过扇三角洲搬运来的铝土岩和绿泥石岩等铝土矿成矿母岩, 在滨湖较强水动力条件作用下, 形成粗粒成矿母岩, 而细粒的成矿母岩则在水动力较弱的深水区沉积, 因此, 研究区鲕状铝土矿多呈带状分布在湖盆周缘。而较细的铝土矿则分布在水体较深、水动力条件较弱的浅湖区。

潮坪相是含矿岩系中绿泥石岩和铝土岩的主要沉积相类型。针对含矿岩系元素分析表明, 绿泥石岩和铝土岩中的 Sr/Ba 平均比值为 38.9, 为海相沉积; 而

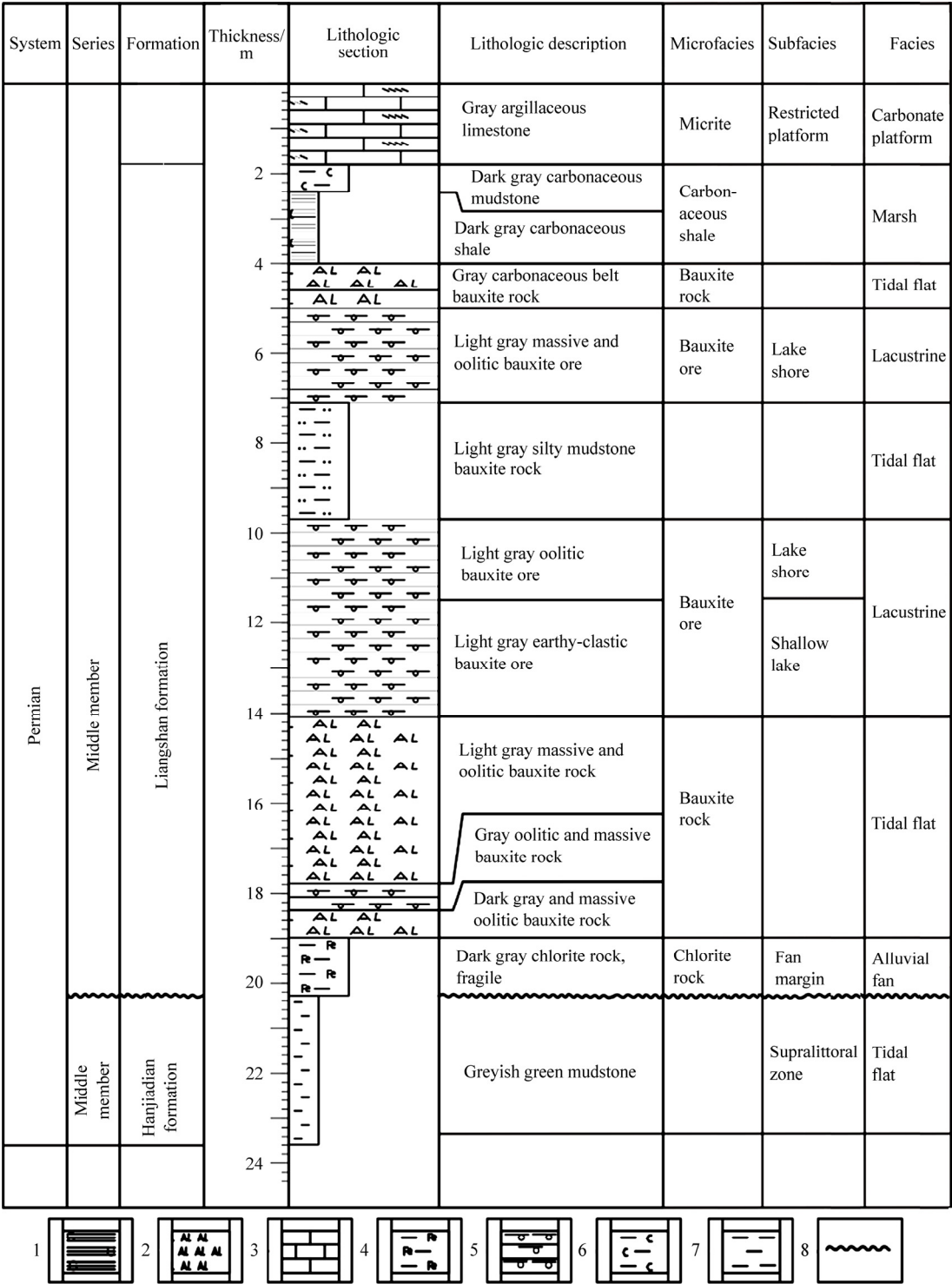


图 2 黔北地区 T6 探槽梁山组铝土矿含矿岩系沉积相划分: 1—页岩; 2—铝土岩; 3—灰岩; 4—绿泥石岩; 5—铝土矿; 6—炭质泥岩; 7—泥岩; 8—不整合面

Fig. 2 Facies division of bauxite bearing layer of Liangshan formation in T6 trench in Qianbei area: 1—Shale; 2—Bauxite rock; 3—Limestone; 4—Chlorite rock; 5—Bauxite ore; 6—Carbonaceous mudstone; 7—Mudstone; 8—Unconformity

同一地区铝土矿的 Sr/Ba 平均比值却仅为 0.79, 应为淡水条件下沉积^[14]。杜远生等^[8]在 2014 年也认为研究区梁山组发育半封闭海湾, 应为潮坪相沉积。实际上, 绿泥石岩和铝土岩也广泛发育各类铝土质的颗粒, 且颗粒含量呈现下多上少, 下粗上细的正韵律, 如 W19 井铝土岩中广泛发育鲕状和豆状铝土岩。另外, 在安

场向斜西侧还发育石英砂岩,该石英砂岩位于铝土矿含矿岩系的下部,层位上与绿泥石岩对应。该石英砂岩分选性较中等,次圆状-次棱角状,泥质胶结,平面上呈透镜状分布^[8]。石英砂岩和含颗粒铝土岩均为潮坪相潮间带-潮下带沉积,其水动力条件较强。潮坪相还有另外一个显著的特征,即发育沼泽。铝土岩中常见植物碎屑和泥炭,尤其是研究区北部梁山组顶部发育一层厚 10~20 cm 的炭质铝土岩。该沼泽应为潮上带水动力较弱的条件下的沉积。

3 研究区周缘海平面升降旋回

黔北铝土矿沉积期约 100 Ma,期间是全球海平面变化较频繁的时期^[15],晚古生代冰期和间冰期的交替是造成海平面变化的主因,并可划分出 3 期大规模的冰期^[10]。锆同位素研究清晰的反映出贵州罗甸早二叠世海平面变化规律,共划分出 3 次海平面升降旋回,其中第二旋回的跨时最长^[16]。早二叠世黔北地区沉积属中扬子克拉通盆地向贵州延伸部分,该区与湘桂裂陷盆地相互连通,共同受到海平面变化的影响。分析研究区周缘海平面变化可以作为分析同期铝土矿含矿岩系沉积过程中海平面变化的重要参考。由于古地貌和物源等地质条件的影响,梁山组沉积期黔北地区周缘的沉积旋回存在一定的差异:贵州独山剖面可识别出 3 个海平面升降旋回,在湖南田心坪可识别出 2 个旋回,而湖南马底驿仅能识别出 1 个旋回。

贵州独山剖面梁山组的 3 个海平面升降旋回自下

而上分别命名为 SQ1、SQ2 和 SQ3,其中 SQ1 旋回以发育 *Pseudoschwagerina* 化石带(简称 *Ps.*带)为特征(图 3),海平面上升期以中至厚层灰岩和泥岩为主,海平面下降期以含生物碎屑灰岩为主;SQ2 旋回发育 *Sphaeroschwagerina* 带(简称 *Sp.*带)、*Robustoschwagerina* 带(简称 *Rb.*带),海平面上升期以灰岩和含生物碎屑灰岩为主,海平面下降期以生物碎屑灰岩为主;SQ3 旋回发育 *Parmirina* 带(简称 *Pa.*带),以灰岩为主。3 个海平面变化旋回中 SQ2 旋回海平面变化的幅度最大。

湖南田心坪早二叠世剖面梁山组可识别出 2 个海平面升降旋回,自下而上分别命名为 SQ1 和 SQ2。SQ1 旋回发育 *Pseudoschwagerina* 化石带(简称 *Ps.*带),以灰岩和含燧石结核的灰岩为主;SQ2 旋回发育 *Sphaeroschwagerina* 带,海平面上升期以白云质灰岩和生物碎屑灰岩为主,海平面下降期以含燧石结核灰岩和白云质灰岩为主。该剖面 2 个海平面变化旋回中以 SQ2 海平面变化幅度最大。

湖南马底驿剖面梁山组仅识别出 1 个海平面升降旋回(SQ1)。该旋回仅发育 *Pseudoschwagerina* 化石带,海平面上升期以生物碎屑灰岩和灰岩为主,而海平面下降期以含生物碎屑灰岩、灰岩和石英砂岩为主。

根据古生物化石对比可知贵州独山剖面 SQ1 和 SQ2 旋回和湖南田心坪剖面 SQ1 和 SQ2 旋回具有很好的对应关系。而马底驿剖面 SQ1 与其他两个剖面的 SQ1 旋回具有良好的对应关系(见图 3)。因此,总体来看,研究区周缘梁山组最多可识别出 3 个海平面升降旋回。

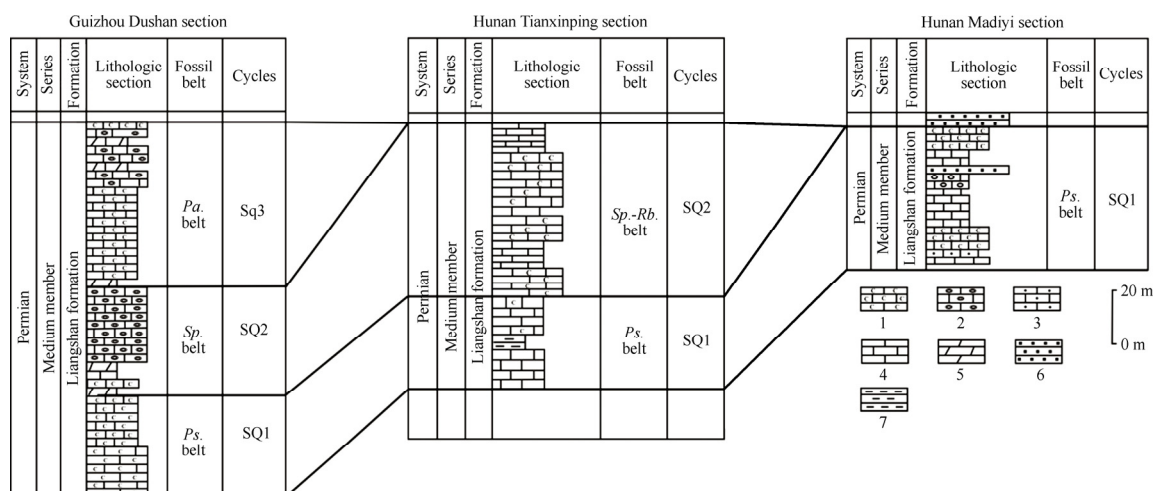


图 3 黔北地区邻区下二叠统沉积旋回划分: 1—生物灰岩; 2—含藻灰岩; 3—颗粒灰岩; 4—灰岩; 5—白云岩; 6—砂岩; 7—泥岩

Fig. 3 Cycles division of Lower Permian in adjacent area of Qianbei: 1—Biological limestone; 2—Algal limestone; 3—Grain limestone; 4—Limestone; 5—Dolomite; 6—Sandstone; 7—Mudstone

4 铝土矿含矿岩系沉积期海平面变化

含矿岩系的岩相自下而上呈有规律的变化, 下部为绿泥石岩, 向上变为铝土岩、下铝土矿、铝土岩和上铝土矿或炭质黏土岩等。岩性的变化除了与物源和

气候条件的变化有关外, 还应与海平面的变化有关。通过铝土矿含矿岩系的岩性和地球化学分析可以确定其海平面变化。地球化学分析是分析沉积环境和判断海平面升降旋回的重要手段, 其中常用的元素分析包括 Sr/Ba 值、V/Ni 值和 $w(B)$ 值^[17]。表 1 所列为黔北地区铝土矿含矿层序 V/Ni 值(即 $w(V)/w(Ni)$)。大量的数据统计表明, 一般海相沉积物中 Sr/Ba 值大于 1, 陆相

表 1 黔北地区铝土矿含矿层序 V/Ni 值
Table 1 Mass fraction of V and Ni in bauxite bearing layer in Qianbei area

Formation	Lithology	$w(V)/10^{-6}$	$w(Ni)/10^{-6}$	$w(V)/w(Ni)$
Qixia formation	Marlite	13.52	8.14	1.66
	Marlite	97.12	26.51	3.66
	Marlite	103.18	22.37	4.61
	Marlite	145.14	23.98	6.05
	Marlite	23.87	29.03	0.82
	Carbonaceous shale	84.44	12.49	6.76
	Carbonaceous shale	25.12	118.33	0.21
	Average value	70.34	34.41	2.04
Bauxite ore layer	Earthy bauxite ore	100.29	36.38	2.76
	Massive bauxite ore	149.55	32.29	4.63
	Bauxite ore	193.52	109.82	1.76
	Clastic bauxite ore	658.49	16.33	40.32
	Oolitic bauxite ore	126.87	1.91	66.42
	Carbonaceous bauxite ore	143.61	118.66	1.21
	Clastic bauxite ore	304.97	10.31	29.58
	Earthy bauxite ore	297.28	15.75	18.87
	Oolitic bauxite ore	583.13	3.84	151.86
	Earthy bauxite ore	255.00	7.71	33.07
	Earthy bauxite ore	285.86	16.86	16.95
	Earthy bauxite ore	319.53	139.55	2.29
	Massive bauxite ore	147.59	121.40	1.22
	Massive bauxite ore	190.48	6.50	29.30
	Bauxite ore	136.28	429.08	0.32
	Massive bauxite ore	324.02	7.95	40.7
	Earthy bauxite ore	187.38	14.68	12.76
	Earthy bauxite ore	241.76	6.39	37.83
	Average value	258.09	60.86	4.24
Bauxite and chlorite rock	Bauxite rock	4.94	10.99	0.45
	Bauxite rock	1.00	8.55	0.12
	Bauxite rock	3.25	11.15	0.29
	Chlorite rock	3.28	12.14	0.27
	Chlorite rock	10.14	44.03	0.23
	Chlorite rock	8.66	13.32	0.65
	Average value	5.21	16.70	0.31

沉积物中 Sr/Ba 值小于 1, 而半咸水中 Sr/Ba 值大于 0.6 且小于 1。此外, V/Ni 比值也能够反应沉积物暴露风化时间的长短, 比值越大暴露风化时间越长, 反之越短。 $w(\text{B})$ 小于 60×10^{-6} , 为陆相环境, 大于 100×10^{-6} 为海相环境, 大于 60×10^{-6} 而小于 100×10^{-6} 为海陆过渡环境。根据研究区岩石 Sr 、 Ba 和 B 的测试结果, 可以判断含矿岩系中铝土矿形成于陆相淡水环境, 而绿泥石岩和铝土岩为海相沉积。铝土矿样品中 V/Ni 值为 4.24, 铝土岩和绿泥石 V/Ni 值分别为 0.29 和 0.38(见表 1), 因此铝土矿暴露风化的时间远比绿泥石岩和铝土岩长。这也符合铝土矿成矿规律, 只有铝土矿的成矿母岩经过长期的暴露和风化作用才能形成高品位的铝土矿, 尤其是在地表径流和浅水湖泊等酸性环境中更有利于铝土矿母岩的脱硅、富铝。根据铝土矿、铝土岩和绿泥石岩地化指标垂向变化可以分析海平面变化规律。以 W17 钻井为例, 根据含矿岩系 $w(\text{B})$

值可以分析各岩性段沉积环境, 进而总结海平面升降规律。该井 SQ1 旋回下部为致密铝土岩, 其 B 含量 155, 为海相沉积, SQ1 旋回上部为鲕状铝土矿, B 含量突减为 48, 应为陆相淡水沉积, 因此由铝土岩至铝土矿, 沉积环境由海水变为淡水, 是海平面逐渐下降的过程。SQ2 旋回下部为碎屑状铝土岩, 其 B 的平均含量约为 110, 为海相沉积; SQ2 旋回上部为含炭屑铝土矿, 其 B 的平均含量约为 45, 应为陆相淡水沉积, 因此由碎屑状铝土岩至含炭屑铝土矿, 沉积环境由海相变为陆相, 是海平面逐渐下降的过程。SQ3 旋回下部为碎屑状铝土岩, 其 B 含量为 150, 表明其为海相沉积, 至此, 该井铝土矿含矿岩系的海平面变化旋回结束。该井由 2 个完整的海平面升降旋回和一个海平面上升半旋回组成。总结来看, 其他几口钻井含矿岩系厚度较薄, 且岩性段发育不全, 但是仍然能够划分出 1~3 个旋回, 且具有可对比性(见图 4), 因此, 研究

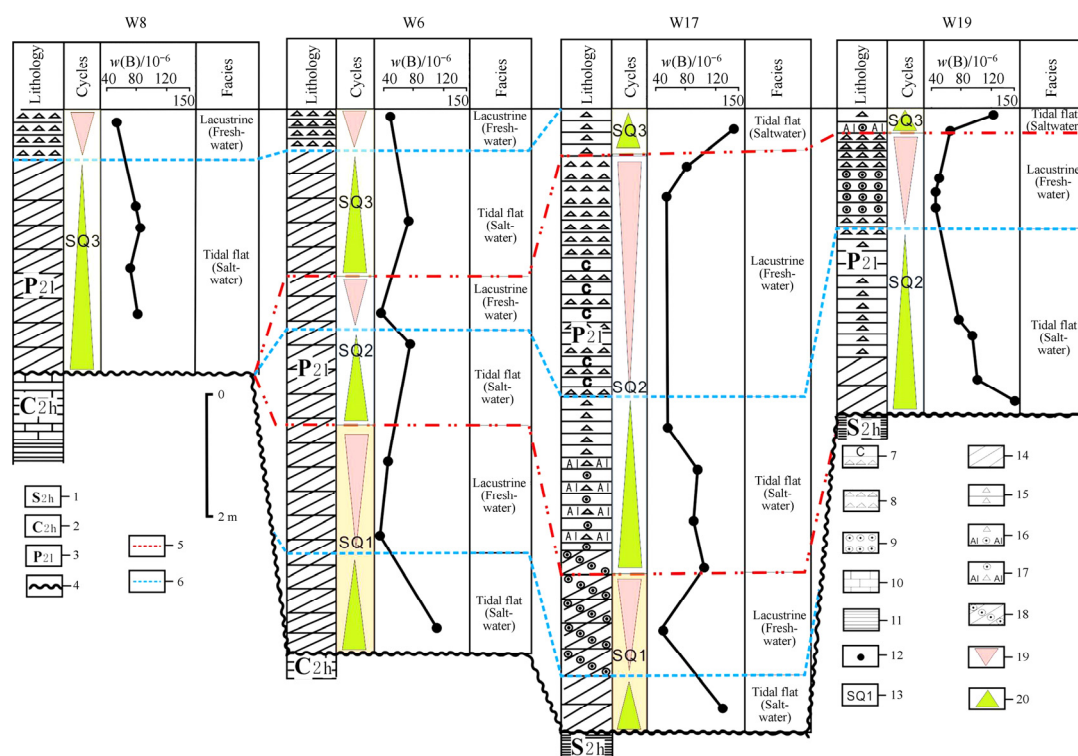


图 4 黔北铝土矿含矿岩系旋回划分及对比(剖面位置见图 1): 1—韩家店组; 2—黄龙组; 3—梁山组; 4—不整合面; 5—旋回界线; 6—最大海泛面; 7—含碳屑碎屑状铝土矿; 8—碎屑状铝土矿; 9—鲕粒状铝土矿; 10—黄龙组灰岩; 11—韩家店组泥岩; 12—样品; 13—旋回编号; 14—致密状铝土岩; 15—碎屑状铝土岩; 16—含碎屑鲕粒状铝土岩; 17—含鲕粒碎屑状铝土岩; 18—含鲕粒铝土岩; 19—海平面下降期; 20—海平面上升期

Fig. 4 Division and correlation of bauxite bearing rock series in Qianbei area: 1—Hanjiadian formation; 2—Huanglong formation; 3—Liangshan formation; 4—Unconformity; 5—Cycle boundary; 6—Maximum flooding surface; 7—Carbonaceous clastic bauxite ore; 8—Clastic bauxite ore; 9—Oolitic bauxite ore; 10—Limestone in Huanglong formation; 11—Mudstone in Hanjiadian formation; 12—Sample; 13—Cycle number; 14—Massive bauxite rock; 15—Clastic bauxite rock; 16—Clastic bearing oolitic bauxite rock; 17—Oolitic bearing clastic bauxite rock; 18—Oolitic bearing bauxite rock; 19—Descent phase of sea level; 20—Uplift phase of sea level

区含矿岩系沉积期海平面升降变化的旋回与邻区碳酸盐岩或碎屑岩相一致。

5 海平面变化对铝土矿富集成矿的控制作用

铝土矿含矿岩系岩性及其沉积环境和地化指标之间具有良好的对应关系,绿泥石岩和铝土岩无论 Sr/Ba 值还是 V/Ni 值均显示为海相环境,结合岩性和沉积特征可以判断绿泥石岩和铝土岩应为潮坪相沉积;根据铝土矿的 Sr/Ba 值和 $w(B)$ 值可以判断其为陆相淡水沉积,结合岩性特征判断其应为湖泊相沉积。含矿岩系底部为侵蚀面,侵蚀面之上为第一次海侵沉积的绿泥石岩或铝土岩,同时也是铝土矿的母岩。金中国等^[18]通过铝土矿碎屑锆石 U-Pb 年龄测试认为,铝土矿初始物源为新元古代青白口纪 Rodinia 超大陆裂解裂谷盆地沉积(见图 5),直接物源为母岩(主要来自研究区周边隆起区的韩家店组泥页岩和砂质页岩)的风化产物。这些风化产物经过地表径流和扇三角洲的搬运,并在潮坪相带中沉积。值得注意的是,海侵的过程时间较短暂,随后的海平面下降期才是铝土矿形成的时期。随着海水全部退出研究区,浅水湖泊成为主要的沉积相类型,地表径流携带的铝土矿母岩在滨浅湖沉积,并接受波浪和湖流等水动力的作用,使颗粒铝土矿沉积在湖盆边缘的滨湖区,而土状铝土岩则沉积在水动力较弱的浅湖区。随后的 2 次海平面上升期均沉积铝土岩,而海平面下降期则形成铝土矿。 V/Ni 值分析表明铝土矿风化成矿期跨时远比绿泥石岩和铝土岩的长,这也说明海平面下降期的跨时远比海平面上升期长,这与全球早二叠世大冰期海退以及小规模海侵的大背景是一致的^[16]。

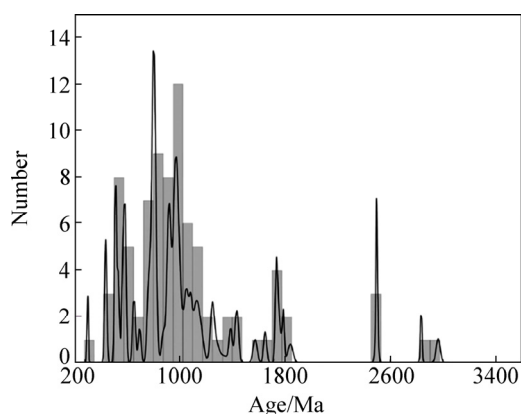


图5 黔北地区铝土矿碎屑锆石 U-Pb 年龄统计图

Fig. 5 Statistical graph of detrital zircon U-Pb ages of bauxite in Qianbei area

6 结论

1) 黔北地区铝土矿含矿岩系可识别出扇三角洲相、潮坪相和湖泊相等 3 种沉积相类型,其中扇三角洲相和潮坪相是绿泥石岩和铝土岩主要的沉积相类型,而湖泊相是铝土矿主要的沉积相类型。

2) 铝土矿成矿过程是沉积分异的过程,成矿母岩经地表径流和扇三角洲搬运至滨浅湖,在波浪和湖流的作用下充分风化,形成颗粒状铝土矿,而细粒的铝土矿则形成于水体相对较深、水动力相对较弱的浅湖区。

3) 铝土矿形成于海平面下降期,而海平面上升期则以绿泥石岩和铝土岩为主。地化指标显示,铝土矿沉积和成矿期远比绿泥石岩和铝土岩的沉积期长,正是由于成矿母岩在陆相酸性介质中长期的风化才形成了研究区高品位的铝土矿。

REFERENCES

- [1] 刘平,廖友常,张雅静. 黔中-渝南石炭纪铝土矿含矿岩系中的海相沉积特征[J]. 中国地质, 2015, 42(2): 641-654.
LIU Ping, LIAO You-chang, ZHANG Ya-jing. Characteristics of marine deposits of the bauxite bearing rock series in central Guizhou, southern Chongqing area[J]. Geology in China, 2015, 42(2): 641-654.
- [2] 刘巽峰,王庆生,陈有能. 黔北铝土矿成矿地质特征及成矿规律[M]. 贵阳: 贵州人民出版社, 1990: 12-15, 24-26, 33-39.
LIU Xun-feng, WANG Qing-sheng, CHEN You-neng. Bauxite minerogenic geological characteristic and minerogenic law in northern Guizhou, China[M]. Guiyang: Guizhou People's Publishing House, 1990: 12-15, 24-26, 33-39.
- [3] 高道德,盛章琪,石善华. 贵州中部铝土矿地质研究[M]. 贵阳: 贵州科技出版社, 1992: 4-10.
GAO Dao-de, SHENG Zhang-qi, SHI Shan-hua. Studies on the bauxite deposit in central Guizhou, China[M]. Guiyang: Guizhou Science and Technology Press, 1992: 4-10.
- [4] 章柏盛. 黔中石炭纪铝土矿床成因等若干问题的初步探讨[J]. 地质论评, 1984, 30(6): 553-559.
ZHANG Bai-sheng. Some problems on the origin of Carboniferous bauxite deposits in central Guizhou[J]. Geological Review, 1984, 30(6): 553-559.
- [5] 林耀庭. 论我国沉积型铝土矿床生成的主要规律性[J]. 地质论评, 1960, 6(3): 128-131.
LIN Yao-ting. Prime laws of sedimentary bauxite in China[J]. Geological Review, 1960, 6(3): 128-131.
- [6] 李中明,燕长海,刘学飞,赵建敏,刘百顺. 河南省新安县郁

- 山隐伏铝土矿成因分析[J]. 地质与勘探, 2012, 48(3): 421-429.
- LI Zhong-ming, YAN Chang-hai, LIU Xue-fei, ZHAO Jian-min, LIU Bai-shun. Genesis of the Yushan concealed bauxite deposit in Xin'an County, Henan Province[J]. *Geology and Exploration*, 2012, 48(3): 421-429.
- [7] 郝家棚, 杜定全, 王 约, 刘幼平, 龚和强, 任军平. 黔北铝土矿含矿岩系的沉积时代研究[J]. 矿物学报, 2007, 27(3): 466-472.
- HAO Jia-xu, DU Ding-quan, WANG Yue, LIU You-ping, GONG He-qiang, REN Jun-ping. A study on sedimentary age of allite formation in north of Guizhou[J]. *Acta Mineralgica Sinica*, 2007, 27(3): 466-472.
- [8] 杜远生, 周 琦, 金中国, 凌文黎, 汪小妹, 余文超, 崔 滔, 雷志远, 翁申富, 吴 波, 覃永军, 曹建州, 彭先红, 张 震, 邓 虎. 黔北务正道地区早二叠世铝土矿成矿模式[J]. 古地理学报, 2014, 16(1): 1-8.
- DU Yuan-sheng, ZHOU Qi, JIN Zhong-guo, LING Wen-li, WANG Xiao-mei, YU Wen-chao, CUI Tao, LEI Zhi-yuan, WENG Shen-fu, WU Bo, QIN Yong-jun, CAO Jian-zhou, PENG Xian-hong, ZHANG Zhen, DENG Hu. Mineralization model for the early Permian bauxite deposition in Wuzhengdao area, northern Guizhou provenance[J]. *Journal of Paleography*, 2014, 16(1): 1-8.
- [9] 崔 滔, 焦养泉, 杜远生, 余文超, 计 波, 雷志远, 翁申富, 金中国, 和秀林. 黔北务正道地区铝土矿形成环境的古盐度识别[J]. 地质科技情报, 2013, 32(1): 46-51.
- CUI Tao, JIAO Yang-quan, DU Yuan-sheng, YU Wen-chao, JI Bo, LEI Zhi-yuan, WENG Shen-fu, JIN Zhong-guo, HE Xiu-lin. Analysis on paleosalinity of sedimentary environment of bauxite in Wuzhengdao area, northern Guizhou province[J]. *Geological Science and Technology Information*, 2013, 32(1): 46-51.
- [10] 黄 兴, 张雄华, 杜远生, 郗文昆, 杨 兵, 段先锋. 黔北务正道地区及邻区石炭纪一二叠纪之交海平面变化对铝土矿的控制[J]. 地质科技情报, 2013, 32(1): 80-86.
- HUANG Xing, ZHANG Xiong-hua, DU Yuan-sheng, QIE Wen-kun, YANG Bing, DUAN Xian-feng. Control of sea level change over the formation of bauxite between Carboniferous and Permian in northern Guizhou and adjacent region[J]. *Geological Science and Technology Information*, 2013, 32(1): 80-86.
- [11] 刘辰生, 金中国, 郭建华. 黔北务正道地区沉积型铝土矿床层序地层学[J]. 中国有色金属学报, 2015, 25(1): 179-188.
- LIU Chen-sheng, JIN Zhong-guo, GUO Jian-hua. Sequence stratigraphy of bauxite deposition in Wuzhengdao area in Qianbei, North Guizhou[J]. *The Chinese Journal of Nonferrous Metals*, 2015, 25(1): 179-188.
- [12] 金中国, 武国辉, 赵远由, 苏之良. 贵州务川瓦厂坪铝土矿床地质特征[J]. 矿产与地质, 2009, 23(2): 137-141.
- JIN Zhong-guo, WU Guo-hui, ZHAO Yuan-you, SU Zhi-liang. Geological characteristics of Wachangping bauxite deposit in Wuchuan, Guizhou Province[J]. *Mineral Resources and Geology*, 2009, 23(2): 137-141.
- [13] 翁申富, 雷志远, 陈 强, 熊 星, 潘忠华, 陈 海, 赵 爽, 冉 英, 王希文. 黔北务正道地区铝土矿沉积相与矿石品质的关系[J]. 地质科技情报, 2013, 32(1): 19-22.
- WENG Shen-fu, LEI Zhi-yuan, CHEN Qiang, PAN Zhong-hua, CHEN Hai, ZHAO Shuang, RAN Ying, WANG Xi-wen. A correlation of sedimentary facies and bauxite ore grade of Wuzhengdao area, northern Guizhou Province[J]. *Geological Science and Technology Information*, 2013, 32(1): 19-22.
- [14] 刘辰生, 金中国, 郭建华. 黔北务正道地区淡水沉积型铝土矿床沉积相[J]. 中南大学学报(自然科学版), 2015, 46(3): 962-969.
- LIU Chen-sheng, JIN Zhong-guo, GUO Jian-hua. Facies analysis of sedimentary bauxite deposition in freshwater of Wuzhengdao in northern Guizhou[J]. *Journal of Central South University (Science and Technology)*, 2015, 46(3): 962-969.
- [15] 陈兴龙, 龚和强. 黔北务正道地区铝土矿的成矿地质条件与开发现状[J]. 矿产与勘查, 2010, 1(4): 344-348.
- CHEN Xing-long, GONG He-qiang. Mineralization conditions and exploration model of bauxite deposit in the Wuchuan, Zhengnan and Daozhen counties, Northern Guizhou Province[J]. *Mineral Exploration*, 2010, 1(4): 344-348.
- [16] 黄思静, 石 和, 张 萌, 沈立成, 刘 洁, 武文慧. 上扬子石炭—二叠纪海相碳酸盐的锶同位素演化与全球海平面变化[J]. 沉积学报, 2001, 19(4): 481-487.
- HUANG Si-jing, SHI He, ZHANG Meng, SHEN Li-cheng, LIU Jie, WU Wen-hui. Strontium Isotope evolution and global sea-level changes of Carboniferous and Permian marine carbonate, Upper Yangtze platform[J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2001, 19(4): 481-487.
- [17] 朱筱敏. 沉积岩石学[M]. 北京: 石油工业出版社, 2010: 218-231.
- ZHU Xiao-min. *Sedimentary petrology*[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2010: 218-231.
- [18] 金中国, 周家喜, 黄智龙, 谷 静, 刘 玲, 代龙省. 贵州务川—正安—道真地区铝土矿碎屑锆石U-Pb 年龄及其地质意义[J]. 地学前缘, 2013, 20(6): 226-239.
- JIN Zhong-guo, ZHOU Jia-xi, HUANG Zhi-long, GU Jing, LIU Ling, DAI Long-xing. Detrital zircon U-Pb dating and its geological significance for the bauxite in Wuzhengdao area[J]. *Earth Science Frontiers*, 2013, 20(6): 226-239.

Effect of sea level change on enrichment and mineralization of bauxite —Taking Qianbei bauxite for example

LIU Chen-sheng^{1,2}, JIN Zhong-guo³, GUO Jian-hua^{1,2}

(1. Key Laboratory of Metallogenic Prediction of Nonferrous Metals and Geological Environment Monitoring,

Ministry of Education, Central South University, Changsha 410083, China;

2. School of Geosciences and Info-physics, Central South University, Changsha 410083, China;

3. Non-ferrous Metals and Nuclear Industry Geological Exploration Bureau of Guizhou, Guiyang 550005, China)

Abstract: Qianbei bauxite deposit, which is the biggest bauxite deposit of southern China, is sedimentary type bauxite, and is affected by change of sea level. Based on the analysis of facies and geochemistry of bauxite bearing rock series in the studied area, the bauxite is known to form in shore lake and shallow lake. So, the bauxite is deposited in fresh water. The hydrodynamic condition determines types and grade of bauxite. The chlorite rock and bauxite rock are deposited in fan delta and tidal flat facies. The chlorite rock and bauxite rock are deposited during rise of sea level, and the bauxite is deposited during drop of sea level. The span of drop period is much greater than that of rise period, which explains why bauxite forming is a long weathering progress. Up to three cycles can be identified during deposit of bauxite bearing rock series, and the three cycles are consistent with corresponding period deposit of carbonate rock and clastic rock in adjacent area.

Key words: sea level change; bauxite bearing rock series; lacustrine; deposit cycle; grain bauxite

Foundation item: Project(2017JJ1034) supported by the Natural Science Foundation of Hunan Province, China

Received date: 2017-03-10; **Accepted date:** 2017-05-30

Corresponding author: LIU Chen-sheng; Tel: +86-18773188632; E-mail: lcsjed@163.com

(编辑 何学锋)