



滇中地区梁山组黏土岩锂富集作用分析及找矿预测

陈 希,田应贵,程家龙,李维忠,耿齐卫,蒋家明,李 昊,吴 帆

云南省地质矿产勘查院,云南 昆明 650051

摘 要:滇中地区中二叠统梁山组富锂黏土岩分布于梁山期滇中古陆东侧河口湾、滨海平原沼泽区的泥坪带。梁山组黏土岩由 4 种岩性类型组成:灰-灰褐色含铁铝土(矿)岩、灰白杂红色高岭石黏土岩、灰-灰绿色黏土岩、灰黑-黑色水云母碳质黏土岩。研究发现,半咸水向咸水转变、弱氧化-还原、低能、滞留局限的古地理环境有利于形成富锂黏土岩。在稳定的大地构造环境,温暖、潮湿的古气候,丘陵为主的古地形条件下,滇中古陆的寒武系-泥盆系镁质碳酸盐岩在次生风化作用下形成的富锂黏土,经过搬运、沉积作用形成富锂黏土岩。在昆明市东川-富民、玉溪市红塔-建水、丽江市永胜-宁蒗地区具较好的富锂黏土岩找矿潜力。

关键词: 锂资源;黏土岩;岩相古地理;沉积相;找矿预测;云南省

LITHIUM ENRICHMENT IN THE CLAY ROCKS OF LIANGSHAN FORMATION AND PROSPECTING PREDICTION IN CENTRAL YUNNAN PROVINCE

CHEN Xi, TIAN Ying-gui, CHENG Jia-long, LI Wei-zhong, GENG Qi-wei, JIANG Jia-ming, LI Hao, WU Fan

Yunnan Institute of Geology and Mineral Exploration, Kunming 650051, China

Abstract: The Li-rich clay rocks of Middle Permian Liangshan Formation in central Yunnan Province are distributed in the mudflat zone of estuary and coastal plain swamp area on the east side of central Yunnan archicontinent during Liangshan Period. The clay rocks of Liangshan Formation are composed of four lithologic types, including gray-greyish brown ferric bauxite rock, grayish white-red kaolinite clay rock, gray-greyish green clay rock, and gray black-black hydromica carbonaceous clay rock. It is found that the paleogeographical environment of brackish water transition to saline water, weak oxidation-reduction, low energy and limited retention is conducive to the formation of Li-rich clay rocks. Under the stable tectonic environment and the condition of warm-humid paleoclimate and hilly paleoterrain, the Cambrian-Devonian magnesian carbonate rocks in central Yunnan archicontinent form the Li-rich clay by secondary weathering, and then Li-rich clay rocks through transport and sedimentation. Dongchuan-Fumin of Kunming, Hongta-Jianshui of Yuxi and Yongsheng-Ninglang of Lijiang are prospect areas for Li-rich clay rocks.

Key words: lithium resources; clay rock; lithofacies palaeogeography; sedimentary facies; prospecting prediction; Yunnan Province

0 引言

为了探求云南省锂资源找矿潜力,云南省地质矿

产勘查院开展了“云南省锂资源找矿预测及靶区调查”

科技创新项目研究。项目完成基本分析样 542 件、化

收稿日期:2022-11-14;修回日期:2022-12-12。编辑:李兰英。

基金项目:云南地矿总公司(集团)科技创新项目“云南省锂资源找矿预测及靶区调查”(云地集团[2019]188号)。

作者简介:陈希(1985—),男,高级工程师,从事地质矿产勘查工作,通信地址 云南省昆明市盘龙区东风东路东风巷 87 号,E-mail//414569767@qq.com

通信作者:田应贵(1971—),男,高级地质工程师,从事区域地质调查及矿产勘查工作,通信地址 云南省昆明市盘龙区东风东路东风巷 87 号,E-mail//437348841@qq.com

探土壤样 1 453 件、岩矿鉴定样 50 件、X 射线衍射样 10 件、硅稀微分析 54 件,发现石炭系万寿山组(C_{1w})、二叠系梁山组(P_2l)和三叠系中窝组(T_3z) 3 个富锂黏土岩层位。其中滇中地区梁山组富锂黏土岩具锂含量高、层位较稳定、分布范围广的特点,因此将滇中地区梁山组作为重点层位开展调查研究工作。

1 滇中地区梁山期岩相古地理及岩石特征

1.1 岩相古地理

调查发现的梁山组富锂黏土岩分布于滇中古陆以东东川—宜良—建水一线,云南省内南北长约 300 km,东西宽 20~80 km。古地理环境主要为滨海平原沼泽相(见图 1)。岩石组合主要由灰色—紫红色石英砂岩、粉砂岩、泥(页)岩、铝土岩(矿)构成,含植物及海相生物等化石,向上常变为含煤沼泽相^[1]。岩石组合受河口湾、滨海潮坪、滨海沼泽沉积共同控制,相带在纵、横向上具有一定的差异性。其中,静水的泥坪沉积环境往往是黏土岩富锂的最佳沉积环境^[2]。

1.2 富锂黏土岩石特征

通过野外肉眼观察,结合岩矿鉴定、X 射线衍射分析(XRD),将滇中地区中二叠统梁山组已发现的富锂黏土岩根据铁铝质等含量不同划分为含铁铝土(矿)岩($Al_2O_3 > 40\%$, TFe 10%~20%)、铁质黏土岩($Al_2O_3 < 40\%$, TFe 10%~40%)、高岭石黏土岩、铁铝质黏土岩、紫红色泥岩、灰色黏土岩、碳质泥岩等 6 类。其中强富集锂的黏土岩(Li_2O 品位大于 0.1%)主要为灰—灰褐色含铁铝土(矿)岩型、灰白杂红色高岭石黏土岩型、灰—灰绿色黏土岩型、灰黑—黑色水云母黏土岩型 4 种。富锂黏土岩中主要矿物为高岭石、水云母、软水铝石、三水铝石、硬水铝石、锐钛矿、赤铁矿、石英(表 1);主要结构类型有内碎屑(鲕状、豆状)结构、泥质结构、黏土结构、含粉砂(砂)黏土结构;构造多为致密块状、层状、鳞片状构造。

滇中地区中二叠统梁山组富锂黏土岩化学组成以 Al_2O_3 、 SiO_2 、 Fe_2O_3 为主,其次为 TiO_2 、 FeO 、 K_2O ,含量变化较大, CaO 、 MgO 、 MnO 、 Na_2O 、 P_2O_5 含量低且较为稳定(表 2,扫描首页 OSID 二维码可见)。 Li_2O 含量与 Al/Si 相关性分析表明^[3],在 Al/Si 比值介于 0.7~1.7 之间时,最有利于锂的富集, Al/Si 比值过低不易于富集锂元素,属铝质含量适中阶段。当 $Fe_2O_3 \geq 20\%$ 时, Li_2O 含量一

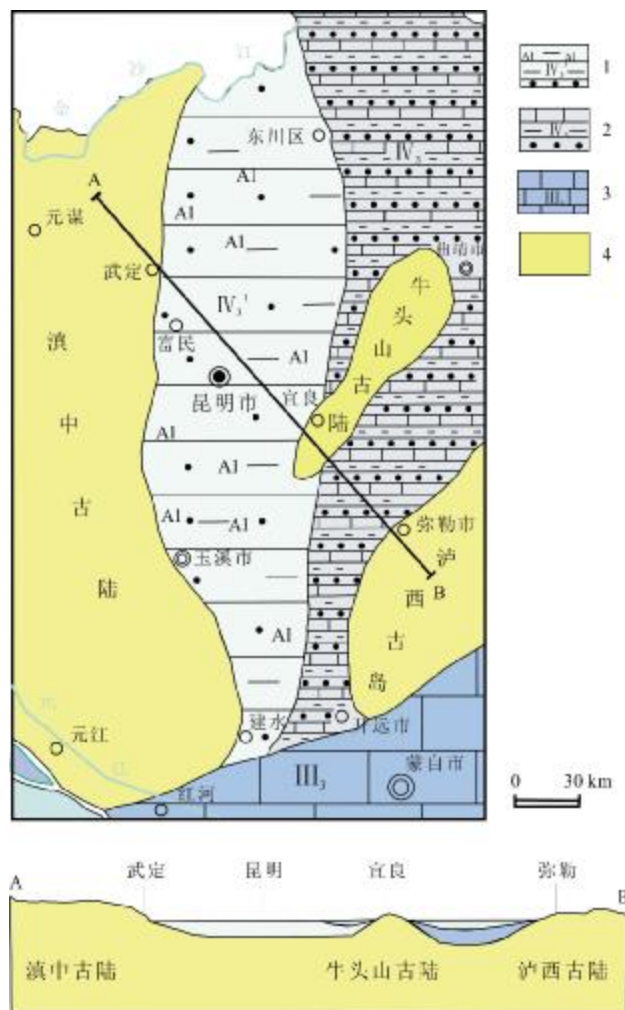


图 1 滇中地区中二叠世梁山期岩相古地理图

Fig. 1 Paleogeographic map of central Yunnan Province in Liangshan Period of Middle Permian

1—滨海平原沼泽相(砂岩、黏土岩、铝土岩)(sandstone, claystone and bauxite of coastal plain swamp facies); 2—滨海沼泽相(砂泥岩、灰岩)(sandy mudstone and limestone of coastal swamp facies); 3—开阔台地相(灰岩)(limestone of open platform facies); 4—古陆(ancient continent)

般较低; $Fe_2O_3 < 20\%$,才有利于氧化锂的富集;当 $Fe_2O_3 < 3\%$,高品位样品数量增加。 Li_2O 含量与 TiO_2 呈正相关,与 SiO_2 、 CaO 含量呈负相关关系。 Li_2O 含量与 FeO 、 K_2O 、 MgO 、 MnO 、 Na_2O 、 P_2O_5 成分相关性不明显。温汉捷等^[2]研究表明,锂主要以吸附形式赋存于黏土岩的蒙脱石相中,其次很有可能进入 Si-O 四面体孔洞或 Al-O 八面体片中。

1.3 沉积环境古盐度与氧化还原环境分析

滇中地区含锂黏土岩的 Ni/Co 含量比值^[4]与 Li_2O 含量相关图(图 2)表明,在氧化环境、弱氧化—弱还原

表 1 富锂黏土岩中主要矿物 XRD 分析结果表
Table 1 XRD analysis results of main minerals in Li-rich clay rocks

样品号	岩石名称	水云母	高岭石	软水铝石	锐钛矿	石英	赤铁矿	三水铝石	硬水铝石	Li ₂ O
BT4-R1	灰色豆状高岭石铝土岩	4.1	48.3	24.9	7.6	/	15.1	/	/	0.2751
BT35-R3	砖红色、灰色含水云母高岭石黏土岩	19.3	58.9	8.6	5.5	/	7.7	/	/	0.3808
BT36-R3	深灰色豆状铁质铝土岩	13.2	23.8	/	6.2	/	20.9	18.5	17.4	0.2293
BT39-R3	黑色含碳质水云母黏土岩	89.6	/	/	6.2	/	4.2	/	/	0.251
BT41-R2	灰色砖红色水云母黏土岩	92.7	/	/	5.1	/	2.2	/	/	0.289
BT41-R4	黑色碳质水云母高岭石黏土岩	31.4	62.8	/	3.7	/	2.1	/	/	0.4138
BT41-R5	黑色碳质水云母高岭石黏土岩	58.1	26.3	/	6.1	6.3	3.2	/	/	0.4787
BT43-R1	灰绿色鲕-豆状铝土岩	12.7	25.2	24.2	4.9	/	3.1	/	29.9	0.317

测试单位:自然资源部昆明矿产资源监督检测中心,2021-06. 含量单位:%.

环境和还原环境均含锂,但还原环境更利于锂的富集. Ni/Co<5%,为氧化环境(开放); Ni/Co 介于 5%~7%,为弱氧化—弱还原环境; Ni/Co>7%,为还原环境(封闭). 褐红色铁质泥岩分布于中二叠统梁山组底部,形成于强氧化环境,推测滇中地区中二叠世梁山期早期局部为陆相沉积环境. 滇中地区富锂黏土岩的 Ni 含量^[4]与 Li₂O 含量相关图(图 3)表明,半咸水、半咸水—咸水环境更有利于锂元素富集. Ni 含量 20%~25%,为淡水(陆相)沉积; Ni 25%~40%,为半海水(海陆交互相)沉积; Ni>40%,为咸水(海相)沉积. 分析认为:中二叠统

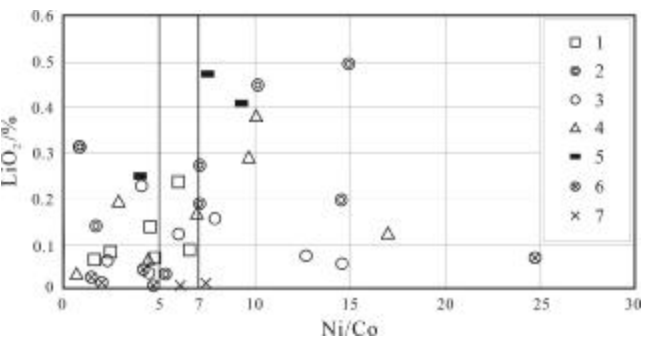


图 2 Ni/Co 含量比值与 Li₂O 含量相关图

Fig. 2 Correlation between Ni/Co ratio and Li₂O content
1—铁质岩 (ferruginous rock); 2—含铁铝土 (矿) 岩 (iron-containing bauxite rock); 3—铁铝质黏土岩 (ferrallitic clay rock); 4—高岭石黏土岩 (kaolinite clay rock); 5—碳质泥岩 (carbonaceous mudstone); 6—褐红色铁质泥岩 (maroon ferruginous mudstone); 7—泥质粉砂岩 (pelitic siltstone)

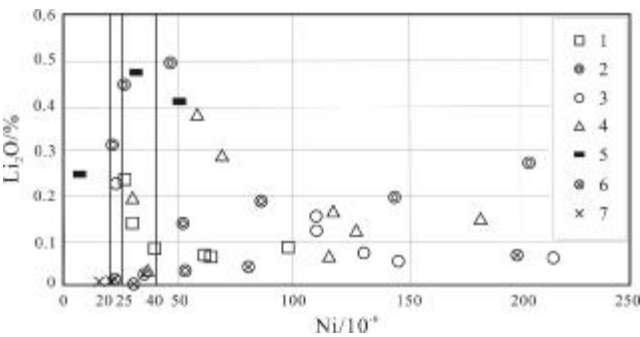


图 3 Ni 与 Li₂O 含量相关图

Fig. 3 Correlation between Ni and Li₂O contents
1—铁质岩 (ferruginous rock); 2—含铁铝土 (矿) 岩 (iron-containing bauxite rock); 3—铁铝质黏土岩 (ferrallitic clay rock); 4—高岭石黏土岩 (kaolinite clay rock); 5—碳质泥岩 (carbonaceous mudstone); 6—褐红色铁质泥岩 (Maroon ferruginous mudstone); 7—泥质粉砂岩 (pelitic siltstone)

梁山组主要为海相沉积,局部地区底部为海陆交互相沉积. 锂元素在半咸水向咸水转变、弱氧化—还原地区更易富集.

1.4 沉积亚相、微相与锂元素分布特征

参考前人铝土矿与沉积亚相、微相分布规律^[5],滇中地区富锂黏土岩的富集受河口湾、滨海潮坪沉积亚相共同控制,主要分布于河口湾静水区及滨海潮坪沉积的泥坪沉积环境中(图 4). 滨海河口湾区河流作用较弱,主河道内发育粉—细砂岩微相,可见交错层理,锂含量较低;河口湾两侧静水区发育铁质黏土岩、含铁

质铝土(矿)岩、高岭石黏土岩、水云母黏土岩等泥坪微相沉积,是富锂黏土岩沉积的有利地段.由大陆至滨海区域发育滨海平原沼泽相沉积,海岸往滨海方向依次发育铁质岩→含铁铝土(矿)岩→高岭石黏土岩(或相变为碳质泥岩)等潮坪黏土岩系组合^[5].岩石中常富含锂元素,往滨海中心逐渐过渡为粉砂质泥岩、细砂质泥岩、砂岩潮间坪组合,锂含量显著降低.

锂含量与沉积微相、岩性、氧化还原环境关系密切(图5).铁质黏土岩沿滨岸潮坪或河口湾近岸泥坪带

分布,为氧化环境沉积,具明显的鲕状、豆状构造, Li_2O 含量0.02%~0.10%,样品平均含量0.07%.含铁铝土(矿)岩位于含铁质黏土岩与高岭石黏土之间,沉积环境位于氧化带中下部,具鲕-豆状结构,是沉积型铝土矿的主要含矿地带, Li_2O 含量0.03%~0.22%,平均含量0.14%,是主要锂强富集的黏土岩.高岭石黏土岩多具泥晶质结构,偶见鲕-豆状结构,广泛分布于滨海沼泽平原的潮坪地带, Li_2O 含量0.04%~0.18%,平均含量0.13%,是主要的锂强富集黏土岩.铁铝质黏土岩

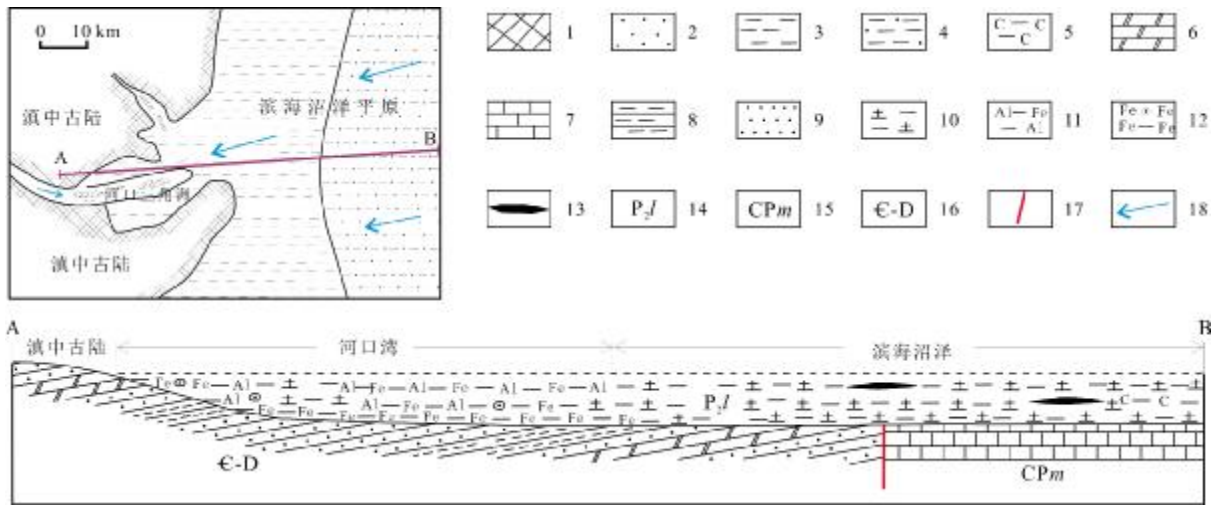


图4 滇中某地区中二叠世梁山期河口湾与滨海沼泽平原沉积岩相古地理图

Fig. 4 Paleogeographic map of sedimentary lithofacies in the estuary and coastal marsh plains of Middle Permian Liangshan Period in central Yunnan Province

1—大陆 (continent); 2—砂体 (sand body); 3—泥坪 (mudflat); 4—砂泥坪 (sand-mud flat); 5—碳质泥岩 (carbonaceous mudstone); 6—白云岩 (dolostone); 7—灰岩 (limestone); 8—泥岩 (mudstone); 9—砂岩 (sandstone); 10—高岭石黏土岩 (kaolinite clay rock); 11—铁铝质黏土岩 (ferrallitic clay rock); 12—豆状铁质岩 (pisolite ferruginous rock); 13—劣质煤 (inferior coal); 14—梁山组 (Liangshan fm.); 15—马平组 (Maping fm.); 16—寒武-泥盆系 (Cambrian-Devonian); 17—断层 (fault); 18—河流/潮流方向 (river/current direction)

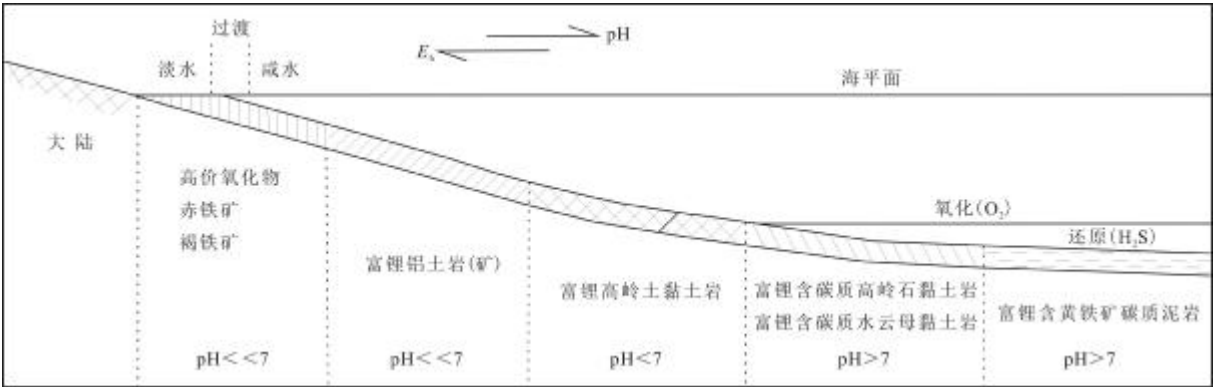


图5 富锂黏土岩纵向岩性变化及沉积环境示意图

Fig. 5 Profile showing vertical lithological changes and sedimentary environment of Li-rich clay rocks

与高岭石分布大致相同,二者常在走向上互为相变, Li_2O 含量0.02%~0.10%,平均含量0.06%。该岩性内锂元素弱富集。碳质泥岩广泛分布于滨海沼泽相,该岩性 Li_2O 含量0.03%~0.47%,平均含量0.15%,是主要的锂强富集黏土岩,局部形成超富集。紫红色泥岩主要位于梁山组底部,可见古岩溶面填平补齐现象,该岩性 Li_2O 含量0.02%~0.05%,平均含量0.03%,锂元素富集作用弱。泥质粉砂岩多为潮道、河口湾河道沉积,该岩性 Li_2O 含量0.005%~0.01%,平均含量0.01%,该岩性内锂元素不易富集。

2 黏土岩中锂元素物质来源及控制因素

2.1 锂的物质来源探讨

温汉捷等^[2]认为锂的成矿物质来自基底的不纯碳酸盐岩,其他未曾见有相关报道。调查工作中因发现锂与铝土矿成因具相似性,云南地区铝土矿丰富,研究程度较高,可供参考。前人认为文山地区铝土矿成矿物质来源主要有下伏灰岩^[6-10]、峨眉山玄武岩^[11-13]和下伏灰岩+峨眉山玄武岩^[14-17]3种观点。本文则通过对滇中、滇东、滇东南大范围的1:20万水系沉积物锂异常查证工作,分析如下。

在云南省曲靖市德泽乡、富源县黄泥河-老厂、罗平县大水井-板桥、泸西县饶家寨-午街铺、石屏县马街等地区1:20万水系沉积物测量锂异常查证中发现,锂异常区地质背景为泥盆系宰格组(D_{3zg})灰岩、白云岩或三叠系关岭组(T_{3gl})灰岩、白云岩,其中碳酸盐岩风化次生黏土中 Li_2O 含量一般为0.1%~0.15%,最高可达0.21%。前人研究认为调查区内锂异常是碳酸盐岩(主要是镁质碳酸盐岩)发生钙红土化和红土化作用时,其中某些成分如 CaO 、 MgO 、 SiO_2 等被大量淋滤带出,而 Li 、 Al 、 Fe 、 Ti 等则进一步富集的结果^[18-19],将这类异常成因称为“碳酸盐岩次生风化黏土富集锂异常”^[2]①。此类异常在昆明、曲靖、红河地区具高异常大面积分布的特点^[20]。根据“将今论古”的地质观点,认为“碳酸盐岩次生风化黏土富集锂”是富锂黏土岩的主要物质来源之一。

在滇中地区,含锂黏土岩系不整合于寒武系、泥盆系、石炭系和石炭-二叠系马平组(CPm)之上。在这些地层中,除马平组灰岩较纯外,其余均夹有较多的白云

岩。风化形成的中二叠世梁山期滇中古陆次生风化富锂黏土,能为中二叠统梁山组提供丰富的物质来源。有研究表明,相同物源的各类矿(岩)石具有较为接近的钛率(铝钛比 Al/Ti),可用于判别其成矿物质来源^[3]。分析显示,滇中地区梁山组富锂铝土(矿)岩 Al/Ti 介于5.61~19.03,平均11.17;富锂铝铁岩 Al/Ti 值介于4.67~19.11,平均11.71;富锂铁铝质黏土岩 Al/Ti 值介于3.11~22.27,平均12.54。三者平均值为12.17。三种岩性 Al/Ti 值变化均较大,分析认为锂源具有多源性。而下伏马平组灰岩 Al/Ti 值为1.04,马平组白云岩 Al/Ti 值为2.06,平均值为1.55,相对于梁山组富锂黏土岩 Al/Ti 值偏小。分析认为梁山组下伏的马平组不是主要的物源提供地层,推测锂主要来源于滇中古陆的寒武系-泥盆系中镁质碳酸盐岩次生风化黏土富集。

2.2 控制因素分析

(1)大地构造环境:被动大陆边缘滨海平原沼泽区,梁山组富锂黏土岩沿滇中古陆边缘带状分布。

(2)古气候、地形:中二叠世梁山期气候温暖、潮湿,滇中古陆地形以丘陵为主。化学风化强烈,可为锂元素提供丰富的物质来源。

(3)沉积环境:滨海平原沼泽的河口湾或滨海平原的潮坪环境,富集于泥坪、潮泥坪或砂泥坪岩相中。

(4)丰富的成矿物质来源:中二叠世梁山期滇中古陆中宰格组位于剥蚀区,镁质碳酸盐岩经风化作用形成富锂的黏土,为梁山组黏土岩提供丰富的锂元素物质来源。

(5)与下伏地层的接触关系:假整合接触关系有利于提供长期稳定的物源。

(6)与下伏地层岩性的因素:本次调查发现梁山组富锂黏土岩下伏地层既有寒武系龙王庙组(ϵ_l)、双龙潭组(ϵ_{2s})砂岩、页岩,也有马平组灰岩,其第四系风化土壤中均未发现锂元素的明显富集。在盘龙区阿子营-寻甸县金所一带,梁山组下伏地层为马平组灰岩,梁山组中形成残积成因的古风化壳铝土矿点,铝土矿中 Li_2O 含量一般小于0.05%;而在安宁市耳目村铝土矿点中,万寿山组不整合于宰格组之上,宰格组岩性以镁质碳酸盐岩为主,第四系风化土壤中 Li_2O 可富集至0.1%~0.2%,万寿山组底部铝土岩 Li_2O 品位0.37%~0.98%,平均0.74%。黏土岩中是否富集锂元素,与其下

①云南省地质矿产勘查院. 云南省锂资源找矿预测及靶区调查成果报告. 2021.

伏岩性无必然联系,关键是锂元素的成矿物质来源.

3 黏土岩中锂富集模式

二叠纪早期,云南境内的扬子古陆块普遍抬升,沉积间断开始发育,滇中昆明以西地区为滇中古陆,以东地区为牛头山古岛. 以上两个以碳酸盐岩为主的古陆逐步上隆并遭受剥蚀,形成了富含锂铁铝钛沉积物的物源供应区. 二叠纪中期,地质构造运动转化为不均匀的沉降,接受沉积,在两个古陆夹持带之间,形成总体呈南北走向的滨海平原沉积区. 此时,该地区位于赤道附近,气候温暖、潮湿^[21],以化学风化为主. 两个古陆出露地层为寒武系、泥盆系、石炭系和马平组. 在这些地层中,除石炭系、二叠系灰岩较纯外,其余均夹有较多的白云岩,尤其是宰格组白云岩. 这些岩石中富含 Li 元素,当岩石发生钙红土化和红土化作用时,其中某些成分,如 CaO、MgO、SiO₂ 等被大量淋滤带出,而 Li、Al、Fe、Ti 等则进一步在黏土中富集. 富锂黏土经过水流搬运至滨海平原沉积区, Li、Al、Fe、Ti 元素因自身化学性质不同,在水动力、氧化还原、酸碱度、盐度等不同环境下逐步沉淀,导致锂元素再次富集. 滇中地区黏土岩锂富集模式见图 6.

4 找矿标志与找矿预测

4.1 找矿标志

参考滇中新型锂资源成矿与增储项目工业指标, Li₂O 边界品位 0.15%,工业品位 0.20%,最小可采厚度 1.0 m. 该类富锂黏土岩普遍可见于滇中地区中二叠统

梁山组中,将该矿床类型定名为“黏土岩型锂矿”. 该类型矿床具如下明显的找矿标志.

(1)地层标志:黏土岩型锂矿受二叠系中统梁山组控制,沉积矿床直接赋存于含锂黏土岩系中,梁山组是找寻黏土型锂矿的直接标志.

(2)区域性角度不整合(古侵蚀)面标志:梁山组与下伏地层均为不整合接触,滇中古陆、牛头山古陆及基岩风化为锂元素的富集提供了物质来源.

(3)褶皱构造标志:向斜构造区有利于含富锂黏土岩系地层的保存,是寻找黏土岩型锂矿的有利地区. 如在玉溪小石桥、禄劝县转龙镇和九龙镇,梁山组均位于向斜内,富锂黏土岩地层保留较好,黏土岩型锂矿分布广泛.

(4)矿化露头标志:铝土矿、褐铁矿、赤铁矿、黏土岩露头是寻找黏土岩型锂矿的直接标志. 一般附近存在矿体时,含矿层下方坡积层中往往可见到豆状含铁铝土岩、铝土矿、含铁黏土岩碎石、碎块.

(5)矿物标志:黏土岩型锂矿,锂元素主要以离子吸附形式赋存于蒙脱石矿物中,蒙脱石矿物的存在是直接标志. 而蒙脱石常与高岭石、水云母、绿泥石、赤铁矿、铝土矿等矿物共生于黏土岩中,这些黏土矿物易通过遥感技术发现. 剖面上,铁、铝、黏土、煤是同一气候下的产物,并经常共生在一起,煤在上部、铁在下部,可作为黏土岩型锂矿的间接矿物学找矿标志.

(6)化探异常标志:在黏土岩型锂矿分布区,1:20 万化探锂元素呈低缓异常分布. 因此,低缓锂异常与黏土岩系套合的地区,是区域性黏土型锂矿找矿的化

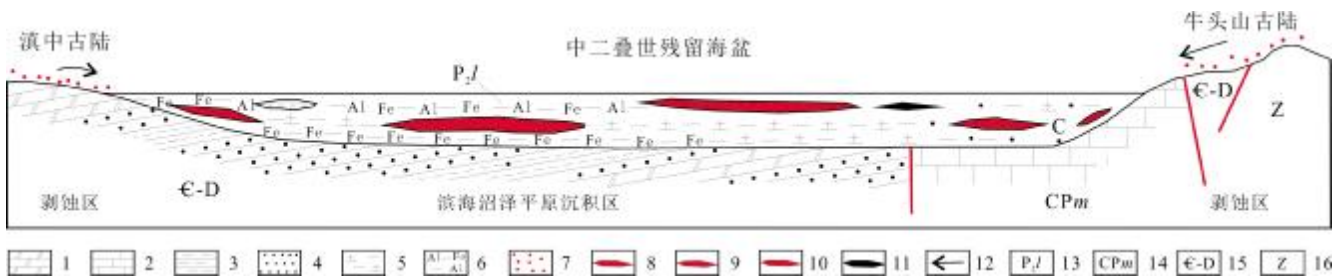


图 6 滇中地区梁山组黏土岩锂富集模式简图

Fig. 6 Sketch of Li-enrichment model of clay rocks in Liangshan Formation, central Yunnan Province

1—白云岩(dolostone); 2—灰岩(limestone); 3—泥岩(mudstone); 4—砂岩(sandstone); 5—高岭石黏土岩(kaolinite clay rock); 6—铁铝质黏土岩(ferrallitic clay rock); 7—碳酸盐岩风化壳(carbonate rock weathering crust); 8—富锂含铁铝土(矿)岩(Li-rich iron-containing bauxite rock); 9—富锂高岭石黏土岩(Li-rich kaolinite clay rock); 10—富锂水云母碳质黏土岩(Li-rich hydromica carbonaceous clay rock); 11—劣质煤(inferior coal); 12—陆源成矿物质运移方向(migration direction of terrigenous ore-forming material); 13—梁山组(Liangshan fm.); 14—马平组(Maping fm.); 15—寒武-泥盆系(Cambrian-Devonian); 16—震旦系(Sinian)

探异常标志, 1:20 万水系沉积物锂地球化学异常带与黏土岩型锂矿带分布总体一致, 因此, 锂地球化学异常也是找矿的显著标志之一。

4.2 找矿预测

二叠纪梁山期, 滇中地区位于赤道附近, 大地构造稳定, 气候湿润多雨, 滇中古陆东及北侧均为滨海沼泽沉积环境, 滇中古陆宰格组等镁质碳酸盐岩风化黏土为梁山组黏土岩提供物源。滇中地区除中部昆明隆起外, 其北侧及南侧均具较好的找矿潜力。

(1) 昆明市东川-富民找矿远景区: 位于滇中古陆北东侧, 区内梁山组为滨海平原沼泽相, 黏土岩层发育, 初步调查已发现禄劝县九龙镇和转龙镇锂矿点。

(2) 玉溪市红塔-建水找矿远景区: 位于滇中古陆南东侧, 区内梁山组中已发现玉溪小石桥锂矿床, 建水县发现青龙镇锂矿点。

(3) 丽江市永胜-宁蒗找矿远景区: 位于滇中古陆北西侧, 区内梁山组为滨海沼泽相, 不整合于上泥盆统镁质碳酸盐之上, 黏土岩层发育, 是黏土岩型锂矿有利富集地段。

5 结论

(1) 滇中地区梁山组岩相古地理环境有利地段为河口湾、滨海平原沼泽区的泥坪带; 半咸水向咸水转变、弱氧化—还原、低能、滞留局限的古地理环境下, 有利于形成富锂黏土岩。

(2) 梁山组富锂黏土岩由大陆至滨海方向, 具灰色、灰绿色豆状铁质富锂黏土岩→灰色豆状含铁富锂铝土矿(岩)→灰色-灰白色杂红色高岭石富锂黏土岩→灰-灰黑色碳质水云母富锂黏土岩→劣质煤的分布特征。

(3) 锂主要来源于滇中古陆的寒武系—泥盆系中镁质碳酸盐岩次生富集, 富锂黏土经搬运沉积后形成富锂黏土岩。剥蚀区提供锂元素的物源及沉积环境的差异, 导致黏土岩中锂元素含量差异。

(4) 锂元素的富集与大地构造环境、古气候、地形、沉积环境、成矿物质来源、与下伏地层的接触关系等因素关系密切, 与下伏地层岩性无必然联系。

致谢: 感谢审稿专家提出的宝贵意见; 感谢云南省地质矿产勘查开发局专家委员会张翼飞、王宝禄、崔子

良正高级工程师, 云南省地质矿产勘查院赵茂春正高级工程师在论文成稿过程中的指导。

参考文献(References):

- [1] 云南省地质矿产局. 云南岩相古地理图集[M]. 昆明: 云南科技出版社, 1995.
Yunnan Provincial Bureau of Geology and Mineral Resources. Atlas of the sedimentary facies and palaeogeography of Yunnan[M]. Kunming: Yunnan Science and Technology Press, 1995.
- [2] 温汉捷, 罗重光, 杜胜江, 等. 碳酸盐黏土型锂资源的发现及意义[J]. 科学通报, 2020, 65(1): 53-59.
Wen H J, Luo C G, Du S J, et al. Carbonate-hosted clay-type lithium deposit and its prospecting significance[J]. Chinese Science Bulletin, 2020, 65(1): 53-59.
- [3] 崔银亮, 徐恒, 王根厚, 等. 云南丘北飞尺角矿区铝土矿(岩)地球化学及成因[J]. 地球学报, 2017, 38(3): 372-384.
Cui Y L, Xu H, Wang G H, et al. Geochemistry and genesis of the bauxite ore (rock) in the Feichijiao ore district, Qiubei City, Yunnan Province[J]. Acta Geoscientia Sinica, 2017, 38(3): 372-384.
- [4] 杨季华, 罗重光, 杜胜江, 等. 高黏土含量沉积岩古环境指标适用性讨论[J]. 矿物学报, 2020, 40(6): 723-733.
Yang J H, Luo C G, Du S J, et al. Discussion on the applicability of paleoenvironmental index for sedimentary rocks with high clay content[J]. Acta Mineralogica Sinica, 2020, 40(6): 723-733.
- [5] 陈阳. 重庆大佛岩铝土矿沉积微相与岩相古地理研究[D]. 北京: 中国地质科学院, 2012.
Chen Y. Sedimentary micro-facies and Lithofacies paleogeography of Dafayan bauxite, Chongqing [D]. Beijing: Chinese Academy of Geological Sciences, 2012.
- [6] 仕竹焕, 董家龙, 杨松. 云南省砚山县红舍克铝土矿床地质特征、找矿标志及资源潜力分析[J]. 矿产与地质, 2007, 21(3): 278-283.
Shi Z H, Dong J L, Yang S. Geological characteristics, prospecting indicators and resource potential analysis of Hongsheke bauxite deposit in Yanshan County, Yunnan [J]. Mineral Resources and Geology, 2007, 21(3): 278-283.
- [7] 成功, 杨震, 黄壁, 等. 板茂铝土矿地质特征及成因分析[J]. 轻金属, 2010(10): 8-12.
Cheng G, Yang Z, Huang B, et al. Geological characteristics and geneses of Banmao bauxite deposit[J]. Light Metals, 2010(10): 8-12.
- [8] 缪鹰. 文山杨柳井铝土矿床成因及找矿标志[J]. 云南地质, 2009, 28(3): 291-294.
Miao Y. The genesis and prospecting criteria of the bauxite deposit in Wenshan[J]. Yunnan Geology, 2009, 28(3): 291-294.
- [9] 杨艳飞, 程云茂, 杨智荣, 等. 滇东南地区铝土矿分布成因浅析[J]. 矿产与地质, 2011, 25(1): 59-62.

- Yang Y F, Cheng Y M, Yang Z R, et al. Genesis of bauxite distribution in Southeast Yunnan[J]. Mineral Resources and Geology, 2011, 25(1): 59-62.
- [10]王行军, 王梓桐, 王根厚, 等. 滇东南铝土矿床地球化学特征及成矿物质来源研究[J]. 中国地质, 2015, 42(1): 248-264.
- Wang X J, Wang Z T, Wang G H, et al. Geochemical characteristics and ore-forming materials of bauxite deposits in southeast Yunnan province[J]. Geology in China, 2015, 42(1): 248-264.
- [11]冯晓宏, 王臣兴, 崔子良, 等. 滇东南铝土矿成矿物质来源探讨[J]. 云南地质, 2009, 28(3): 233-242.
- Feng X H, Wang C X, Cui Z L, et al. A discussion about the material source of bauxite deposit in SE Yunnan[J]. Yunnan Geology, 2009, 28(3): 233-242.
- [12]刘加强, 王训练, 周洪瑞, 等. 滇东南上二叠统吴家坪阶下部铝土矿地球化学特征及物源分析[J]. 地质与勘探, 2012, 48(3): 508-517.
- Liu J Q, Wang X L, Zhou H R, et al. Geochemical characteristics and material source of bauxite ores from the Lower Wuchiapingian of Upper Permian in southeastern Yunnan Province [J]. Geology and Exploration, 2012, 48(3): 508-517.
- [13]严健, 豆松, 张道红. 云南丘北大铁铝土矿地球化学特征及成矿物质来源[J]. 矿物学报, 2013, 33(4): 462-470.
- Yan J, Dou S, Zhang D H. Geochemical characteristics and sources of ore-forming metals of Datie Bauxite deposit, Qiubei County, Yunnan Province, China[J]. Acta Mineralogica Sinica, 2013, 33(4): 462-470.
- [14]黄仁新. 滇东南地区铝土矿床类型[J]. 云南地质, 1992, 11(2): 121-129.
- Huang R X. Types of bauxite deposits in southeastern Yunnan[J]. Yunnan Geology, 1992, 11(2): 121-129.
- [15]高泽培, 徐自斌, 任运华. 云南省丘北县大铁矿区铝土矿床特征分析与找矿标志[J]. 云南冶金, 2012, 41(4): 1-6.
- Gao Z P, Xu Z B, Ren Y H. Features analysis and prospecting marks of bauxite deposit at Datie mining area in Qiubei County of Yunnan Province[J]. Yunnan Metallurgy, 2012, 41(4): 1-6.
- [16]焦扬, 王训练, 崔银亮, 等. 云南文山县天生桥铝土矿地球化学特征与物源分析[J]. 现代地质, 2014, 28(4): 731-742.
- Jiao Y, Wang X L, Cui Y L, et al. Geochemical characteristics and provenance analysis of the Tianshengqiao bauxite in Wenshan County, Yunnan Province[J]. Geoscience, 2014, 28(4): 731-742.
- [17]张启明, 秦建华, 廖震文, 等. 滇东南晚二叠世铝土矿地球化学特征及物源分析[J]. 现代地质, 2015, 29(1): 32-44.
- Zhang Q M, Qin J H, Liao Z W, et al. Geochemical characteristics and material source of the Late Permian bauxite deposits in southeastern Yunnan Province[J]. Geoscience, 2015, 29(1): 32-44.
- [18]焦扬. 云南文山天生桥矿区晚二叠世铝土矿沉积古地理特征与成矿作用研究[D]. 北京: 中国地质大学, 2014.
- Jiao Y. Study on the Late Permian sedimentary palaeogeography and mineralization of bauxite ores in Tianshengqiao mining area, Wenshan County, Yunnan Province[D]. Beijing: China University of Geosciences, 2014.
- [19]崔银亮, 豆松, 晏建国, 等. 云南铝土矿地质与勘查[M]. 北京: 科学出版社, 2018.
- Cui Y L, Dou S, Yan J G, et al. Geology and exploration of bauxite in Yunnan Province[M]. Beijing: Science Press, 2018. (in Chinese)
- [20]王学求, 刘汉粮, 王玮, 等. 中国锂矿地球化学背景与空间分布: 远景区预测[J]. 地球学报, 2020, 41(6): 797-806.
- Wang X Q, Liu H L, Wang W, et al. Geochemical abundance and spatial distribution of lithium in China: Implications for potential prospects[J]. Acta Geoscientia Sinica, 2020, 41(6): 797-806.
- [21]雷志远, 翁申富, 陈强, 等. 黔北务正道地区早二叠世大竹园期岩相古地理及其对铝土矿的控矿意义[J]. 地质科技情报, 2013, 32(1): 8-12.
- Lei Z Y, Weng S F, Chen Q, et al. Lithofacies paleogeography of the Dazhuyuan Age, Early Permian in the Wuchuan-Zheng'an-Daozhen area, northern Guizhou Province and its implication for bauxitisation [J]. Geological Science and Technology Information, 2013, 32(1): 8-12.