

山西铝土矿含矿岩系勘查研究进展及存在问题

张文旭

(山西省第三地质工程勘察院,山西 晋中 030620)

摘要: 山西省是国内铝土矿保有资源量最多的省份,但铝土矿资源保证程度低,难以满足已建成的铝土矿消耗企业对铝土矿资源的需求。本文在总结山西铝土矿含矿岩系资源现状基础上,系统论述了近年在山西铝土矿含矿岩系地质勘查中的新发现、新手段、矿石加工的新技术、含矿岩系“三稀”元素以及成矿物质来源等方面取得的新认识和新进展,提出了山西铝土矿含矿岩系资源评价程度低、资源工业利用率低、无矿工程以及赤泥综合利用等方面存在的问题,以期对山西铝土矿含矿岩系资源勘查开发提供参考。

关键词: 铝土矿含矿岩系; 勘查研究; 存在问题; 山西

中图分类号: P618.45; F407.1

文献标识码: A

文章编号: 1672-4135(2019)01-0030-08

中国铝土矿矿床类型按照现行规范,主要为沉积型铝土矿、堆积型铝土矿以及红土型铝土矿^[1],主要分布在山西、河南、广西、云南和贵州等省,其中山西省铝土矿查明资源量占到了全国的35.9%,是国内重要铝工业生产基地^[2]。山西铝土矿矿床类型为沉积型铝土矿,赋存于石炭系中统本溪组的中下部,分布广泛并相对集中,资源储量丰富,全省累计查明资源储量14.84亿吨,保有资源储量13.97亿吨。

山西奥陶系灰岩古侵蚀面之上,赋存有石炭系中统本溪组下段的一套铁铝岩为主的地层称之为铝土矿含矿岩系^[3]。含矿岩系赋存诸多矿产有铝土矿、耐火粘土矿、山西式铁矿、硫铁矿、铁矾土,以及伴生于铝土矿含矿岩系中的“三稀”元素,其中铝土矿、耐火粘土、镓、铁矾土4个矿种探明资源量居全国第一位。

因此,总结山西铝土矿在近年来深部勘查工作、铝土矿共伴生矿产综合利用以及矿床成因研究等方面存在问题以及取得的新进展,深化对山西铝土矿含矿岩系成矿规律的认识,对维护国家资源保障和经济建设具有重要的意义。

2 山西铝土矿含矿岩系的分布与类型特征

2.1 山西铝土矿含矿岩系的分布

山西省境内石炭系本溪组下部的铝土矿含矿岩

系分布区与山西铝土矿重点开采区展布基本一致,面积大约为9 600 km²^[3](图1)。现按照山西铝土矿重点开采区,由北至南分别总结概述。

2.1.1 宁武-原平铝土矿重点开采区

宁武-原平铝土矿重点开采区属山西省铝工业发展的北部产业集群部分,位于晋北忻州市宁武县、原平市境内,北至宁武县,南至原平市东马坊镇,东起原平市大营,西至宁武县城—宁武圪蓼,南北长50 km,东西宽35 km,面积1 370.28 km²。

该区共有查明资源储量的矿产地13处,分别是朔城区郝家沟、宁武县下白泉、大石湾、宽草坪、西红河、原平牛食尧、角川、南岭、下马铺、石墙、东蚕食、红池、长梁沟矿区,保有资源储量9 142.79万吨。

2.1.2 河曲-保德-兴县铝土矿重点开采区

河曲-保德-兴县铝土矿重点开采区属山西省铝工业发展的西部产业集群,位于晋西北黄河以东的忻州市河曲、保德县、吕梁市兴县境内,北至河曲的沙坪镇,南至兴县固贤镇界,东起保德窑圪台,西至兴县蔡家崖,南北长97.9 km,东西宽16.3 km,面积1 556.94 km²。

该区共有查明资源储量的矿产地11处,分别是保德县天桥、塆则村和郭偏梁-雷家峁矿区、兴县的范家疃、魏家滩、杨家沟、黄辉头、贺家圪台、车家庄、后发达、奥家湾矿区,保有资源储量26 797.23万吨。

2.1.3 临县-中阳铝土矿重点开采区

临县-中阳铝土矿重点开采区也属于山西省铝

收稿日期:2018-11-23

资助项目:山西省国土资源厅“山西省铝土矿资源勘查开发规划”项目

作者简介:张文旭(1975-),高级工程师,毕业于郑州工业贸易学校地质专业,现主要从事地质勘查与研究, E-mail:shangqin-gz@126.com。

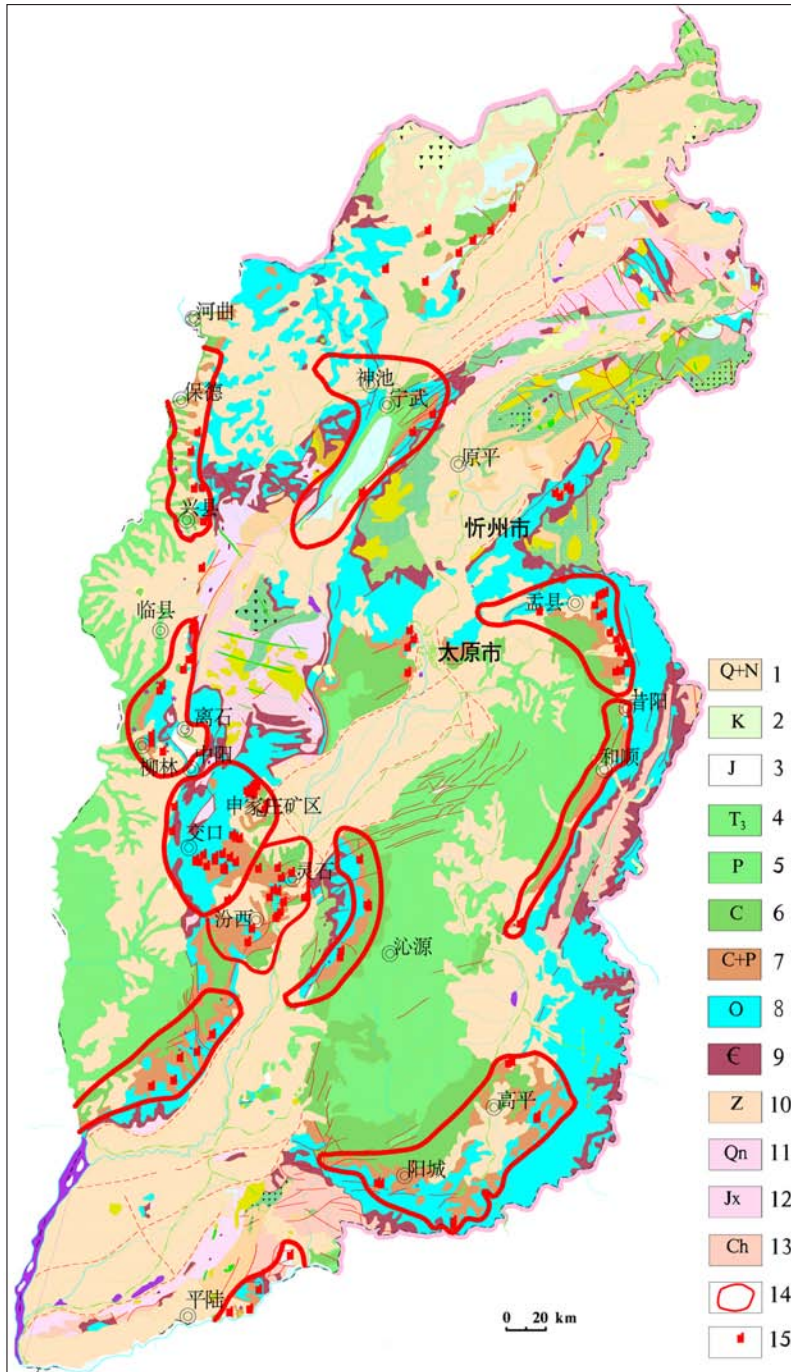


图1 山西省铝土矿含矿岩系矿产分布图

Fig.1 Mineral distribution of ore-bearing rock series in bauxite deposits in Shanxi Province

- 1. 第四系、新近系; 2. 白垩系; 3. 侏罗系; 4. 三叠系; 5. 二叠系; 6. 石炭系; 7. 石炭、二叠系并层; 8. 奥陶系; 9. 寒武系; 10. 震旦系; 11. 青白口系; 12. 蓟县系; 13. 长城系; 14. 分布区; 15. 重要矿床位置

工业发展的西部产业集群,位于晋西北黄河以东的吕梁市临县、离石区、柳林县、中阳县境内,北至临县三交镇,南至柳林县金家庄镇,东起离石田家会镇,西至贾家垣,南北长 55 km,东西宽 31.2 km,面

积 1 721.13 km²。

该区共有查明资源储量的矿产地 10处,分别是临县湍水头、离石区瓷窑沟-临县后塔上、临县孙家塔、离石区西属巴、柳林县兰家山、成家庄、中阳县苏村、水泉沟、下枣林、冯家坡矿区,保有资源储量 8 949.01 万吨。

2. 1. 4 交口-汾西-灵石铝土矿重点开采区

交口-汾西-灵石铝土矿重点开采区属于山西省铝工业发展的中部产业集群,位于吕梁市交口、临汾市汾西县、晋中市灵石县境内,北至孝义西辛庄镇,南至霍州市僧念镇,东起灵石县交口镇-汾西县城,西至灵石县王禹镇,南北长 60.6 km,东西宽 56.5 km,面积 1 688.39 km²。

该区共有查明资源储量的矿产地 17处,分别是交口县冯家港、卜家庄、西山、铁金村、赵村、白家岭、牛槽沟、蒲依、桃花、北故乡、庞家庄、沙塄矿区以及灵石县毛家岭、南关、杨家山、汾西县店底、霍州市什林矿区,保有资源储量 19 259.153 万吨。

2. 1. 5 阳泉铝土矿重点开采区

阳泉铝土矿重点开采区属于山西省铝工业发展的中东部产业集群,位于阳泉市孟县、郊区、平定县及晋中市昔阳县境内,北至孟县石辉坪,南至昔阳县沾尚镇,东起平定岔口-昔阳南宁镇,西至孟县大梁山-阳泉市平垣镇,南北长 63.5 km,东西宽 42.3 km,面积 2 010.13 km²。

该区共有查明资源储量的矿产地 13处,分别是孟县郭村、老石神、白土坡、南流、贾家塄、阳泉市北泉-东梁庄一带、千亩坪、白泉、白泉山头南矿段、杨家庄、太湖石、白家庄、昔阳县李家

庄矿区,资源储量 13 625.703 万吨。

2. 1. 6 沁源铝土矿重点开采区

沁源铝土矿重点开采区属于山西省铝工业发展的中南部产业集群,位于长治市沁源县和临汾市古

县境内,北至沁源县王和镇,南至古县古阳镇,东起沁源李元镇,西至介休绵山风景区以东—古县大南坪,南北长 67.2 km,东西宽 21.2 km,面积 860.07 km²。

该区共有查明资源储量的矿产地 7 处,分别是沁源县南坪—黄段一带、沙坪、上滩、高家山、旋风窝、李城、古县金堆矿区,保有资源储量 5 643.958 万吨。

2.1.7 平陆铝土矿重点开采区

平陆铝土矿重点开采区属于山西省铝工业发展的中南部产业集群,位于运城市平陆县境内,北至平陆祁家河,南至黄河以北,东起黄河以西,西至平陆县三门镇,南北长 20 km,东西宽 27.9 km,面积 419.94 km²。

该区共有查明资源储量的矿产地 11 处,分别是夏县祁家河、平陆县下坪、椿头凹、坡头、曹川、郑家沟、西窑、神仙圪塔、凉水泉、周家沟、曹川镇前岭矿区,资源储量 13 801.336 万吨。该区与山西其他铝土矿矿区的特别之处在于区内铝土矿矿体空间分布呈层状与漏斗状两种形态,多数呈层状与漏斗状复合存在,部分漏斗矿体单独产出,前者称层状矿、后者称漏斗矿^[4]。

2.2 山西铝土矿含矿岩系类型特征

本文结合前人大量研究^[5],系统总结了山西铝土矿含矿岩系剖面特征。经综合可归结成五种不同的类型特征(表 1),因此也构成了五种基本剖面类型即孝义型、平陆型、阳泉型、保德—兴县型及宁武型,分

述如下:

2.2.1 孝义型(X型)

孝义型即以铝土矿+山西式铁矿为主的剖面类型,广布于山西各地,层位稳定连续性好^[3]。就赋存有大中型以上铝土矿床的 X 型剖面而言,在山西省内铝土矿床产地均有出现。各地剖面大同小异,依岩性自下而上可分为 6 层。

值得注意的是宁武—原平含矿层下部岩性多富含绿泥石,其中铝土矿(绿泥石型铝土矿)、耐火粘土矿、山西式铁矿均有这种矿物。而其中绿泥石一定程度反映了该地区为一种还原的沉积环境,或者是成矿后该地区经历了严重的变质和流体改造作用。

2.2.2 平陆型(P型)

平陆型与孝义型剖面之间的区别主要是铝土矿的底板岩性不同。前人研究平陆曹川地区于剖面下部出现一套黑灰或灰黑色粘土岩,认为其中的黑色粘土岩是多种金属的容矿层^[3]。近年来,负孟超^[4]等人对该地区做了大量工作,发现平陆靳家底、高家底、坡头等矿区铝土矿层下部采取的黑灰色粘土岩样品中 Li₂O 含量均达工业指标。

笔者近年先后对孝义魏家沟、申家庄等矿区的深部钻孔研究时,首次发现该区铝土矿层下部同样存在黑灰色粘土岩(图 2),而且深部隐伏矿体勘查发现基本上都有黑灰色粘土岩存在,同时还伴随着黄铁矿夹杂其中,而孝义地区含矿岩系中黑灰色粘土岩的稀有、稀土、分散元素富集情况有待进一步研究。

2.2.3 保德—兴县型(B型)

保德型剖面主要特点为中部 Fe 含量高,山西式铁矿也不发育,缺少耐火粘土矿,铝土矿普遍含铁较高,见有铁矾土。主要分布在保德县桥头—孙家沟、保德县郭偏梁—雷家卯、保德县石且河、兴县魏家滩、兴县黄辉头、兴县赵家焉等多个铝土矿区。

2.2.4 阳泉型(Y型)

阳泉型剖面主要为硫铁矿 + 耐火粘土矿的剖面类型^[3],横向上与孝义型剖面相变过渡,反映了深水还原相环境。在阳泉、霍西以及阳城地区均有显露。该层剖面特征主要为硫铁矿层,相当于孝义型中山西式铁矿层,向上的间夹或相变为含黄铁矿粘土岩是硫化铁质岩层向铝质岩层的过渡层,相当于孝义型中铁质粘土

表 1 铝土矿含矿岩系垂向岩矿剖面特征

Tab.1 Profile characteristics of vertical ore deposits in bauxite ore-bearing rock series

孝义型 X	平陆型 P	保德—兴县型 B	阳泉型 Y	宁武型 N
上覆: 半沟段灰岩	上覆: 半沟段灰岩	上覆: 半沟段灰岩	上覆: 半沟段灰岩	上覆: 半沟段灰岩
-沉积间断-	-沉积间断-	-沉积间断-	-沉积间断-	-沉积间断-
6煤线	6煤线	5煤线	6煤线	7煤线
5粘土岩	5粘土岩	4粘土岩	5粘土岩	6粘土岩
4粘土矿岩	4粘土矿岩	3铁矾土	4耐火粘土矿	5泥岩
3铝土矿	3铝土矿	2铝土矿 (含铁较高)	3粘土岩	4粉砂岩、 砂岩
2铁质粘土岩	2含炭质 粘土岩	1粘土岩	2含黄铁矿 粘土岩	3页岩、 砂质页岩
1山西式铁矿	1铁质粘土岩		1硫铁矿	2含砾砂岩、 砂岩
-平行不整合-	-平行不整合-	-平行不整合-	-平行不整合-	-平行不整合-
下伏: 奥陶系灰岩	下伏: 奥陶系灰岩	下伏: 奥陶系灰岩	下伏: 奥陶系灰岩	下伏: 奥陶系灰岩

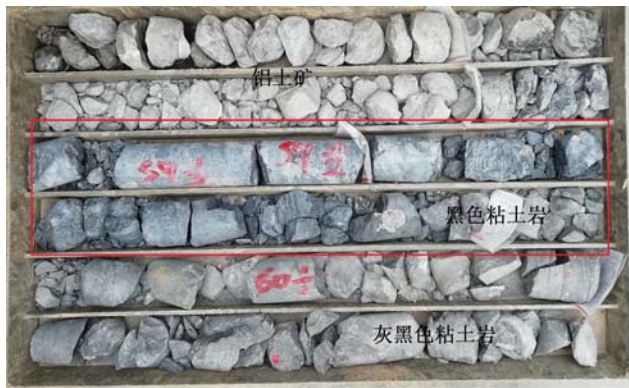


图2 申家庄矿区铝土矿含矿岩系岩芯照

Fig.2 The Drilling core of bauxite ore-bearing rock series in the Shenjiazhuang mining area

岩层。

2.2.5 宁武型(N型)

宁武型俗称盘道梁型剖面,主要出露于宁武盆地北东端盘道梁、姬庄等地。宁武型剖面是一种非含矿岩系剖面,偶见铝土矿小透镜体^[5]。宁武宽草坪铝土矿区为孝义型及宁武型的共同产区,空间上二者具有横向上分带,纵向上不共存的分布特点,是湖盆边缘相向湖盆内部相的过渡。

3 勘查研究新进展

3.1 勘查新发现

2005年以来,山西省铝土矿找矿不断取得新突破,隐伏矿及与铝土矿共伴生大型矿床相继被发现,以兴县黄辉头、苏家吉、后发达以及孝义市魏家沟、申家庄等矿区为代表,新探明了一批大型-特大型铝土矿床。

孝义市申家庄矿区发现隐伏-特大型铝土矿,预计提交近2亿吨资源量,该矿床规模在山西乃至全国都是首屈一指的矿床,具有良好的勘查前景和经济价值。同时,铝土矿含矿岩系部分成矿认识上取得了进展,为在中深部寻找隐伏铝土矿提供了理论、实践依据,扩大了山西省内寻找铝土矿资源的空间和远景。

首次在山西铝土矿样品中发现黄钾铁矾矿物(图3)。黄钾铁矾可能是黄铁矿演变而来,黄钾铁矾形成的环境比较苛刻,需要有一个碱性较高、氧逸度较低、富 Fe^{2+} 以及富 H_2O 的环境^[6],这为研究铝土矿成矿环境提供新的切入点。

3.2 勘查新手段

山西省从上世纪50年代至今仍然是依靠常规方

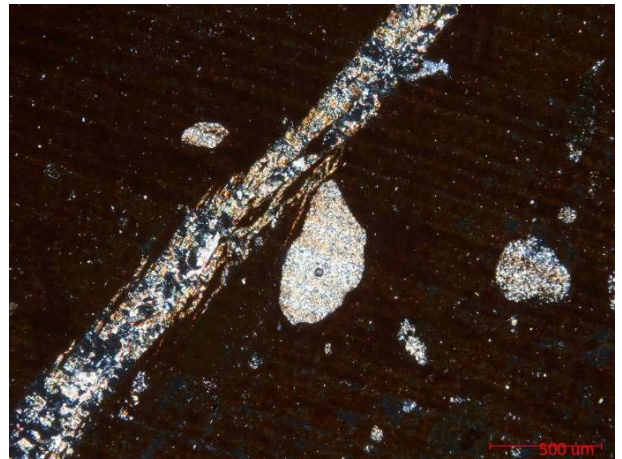


图3 黄钾铁矾微观特征

Fig.3 Microscopic characteristics of the Potassium ferric oxide

黄钾铁矾呈粒状,由两期构成:早期黄钾铁矾粒径一般 $< 0.03\text{ mm}$,晚期黄钾铁矾粒径 $< 0.15\text{ mm}$,集合体主要呈条带状、脉状等不均匀分布,为次生矿物

法(地质填图、山地工程、钻探三种)来进行铝土矿勘查工作。随着裸露型矿体勘查殆尽,找矿从浅部转向了深部,在没有露头的情况下只能结合成矿规律,依据地形、地貌特征进行推测。

近年来,国内诸多专家尝试运用多种物化探手段指导铝土矿勘查并取得了显著成效。王万银^[7]、刘申芬^[8]等在河南、山西铝土矿区应用高精度重力测量结合已有钻孔资料对多次反演深度校正,准确划分出了奥陶系灰岩与铝土矿含矿岩系接触面,圈定了铝土矿靶区。李华^[9]、马振波^[10]等应用可控源音频大地电磁测深法(CSAMT)、高频大地电磁测深法(EH4)在重庆、河南铝土矿区取得良好的间接找矿效果,准确反映深部铝土矿含矿岩系空间分布及构造的特征,优化了钻孔工程布置。

以往认为化探在沉积型铝土矿的勘查工作中基本不能发挥作用^[3]。近年来,王燕茹^[11]等人通过对河南渑池地区水系沉积物地球化学测量数据的统计分析,对铝土矿成矿区进行了重点研究,发现B元素可以明确反应铝土矿的空间分布位置,河南省铝土矿床一般沿B元素的区域化探异常边界分布。因此,硼元素可以作为铝土矿找矿的地球化学指标^[11]。

3.3 矿石加工新技术

山西铝土矿资源丰富,但大多为中低品位矿石,而山西氧化铝企业为了提高经济效益,采用了开采中的“采富弃贫”办法来降低成本。如何利用低品位铝土矿及氧化铝生产过程中赤泥的综合利用已成为

制约山西氧化铝行业可持续发展的难题。

近年来张延安教授团队研发的新技术—“利用钙化-碳化法处理中低品位铝土矿和拜耳法赤泥”，不仅从理论上摆脱了拜耳法生产氧化铝对铝土矿品位的限制，实现了利用低品位铝土矿生产氧化铝同时实现大幅度降低赤泥中钠和铝的含量，从根本上解决了赤泥的大规模、低成本、无害化和资源化，是氧化铝生产的颠覆性技术^[12]。该技术核心在于改变溶出过程中尾渣的结构生成一种新赤泥结构。其显著优势主要表现在两个方面：1)对铝土矿的品位要求低，可以使用A/S<4的低品位铝土矿；2)排放的赤泥含碱量<0.5%，A/S<0.7，可直接用做水泥的主料，极大改善环境。

3.4 铝土矿含矿岩系中“三稀”元素

铝土矿含矿岩系中富含Ti、Ga、V、Li、Sc、Nb、Ta和REE等伴生元素，是稀有、稀土、分散元素(以下简称“三稀”)金属矿产的重要来源之一^[13]。近年来，山西省地调院先后对山西省内铝土矿含矿岩系中稀有稀土金属矿产资源进行了评价，通过重点矿区的工作，对不同层位、不同矿种中“三稀”元素含量研究分析，总结了分布规律，圈定了交口-孝义、保德-兴县、临县-中阳、宁武-原平4个富集区，具有形成“三稀”铝土矿床的良好条件。经估算，山西省铝土矿含矿岩系中稀土氧化物量为11 585.13~19 057.97万t，含量0.102 2%~0.108 8%；铌钽氧化物量1 025.89~1 917.18万t，含量0.009 0%~0.009 7%；镓元素量373.34~699.47万t，含量0.003 3%~0.003 5%；钪元素量357.55~674.53万t，含量0.003 2%~0.003 4%；

锂氧化物量2 337.17~3 525.19万t，含量0.102 2%~0.108 8%。

锂作为一种重要的能源金属，具有重要战略和经济价值^[4]。负孟超等人分析了山西省平陆县靳家底、冯家底、瓦罐庙等多个铝土矿勘查区详实的采样数据，发现铝土矿含矿岩系中除该段底部铁质泥岩和顶部砂质泥岩部位局部不含矿外，其余部位锂含量均达工业利用指标。

3.5 成矿物质来源

古风化壳型铝土矿的物质来源是其理论研究部分中的重点与难点。山西铝土矿是华北地区典型的古风化壳型铝土矿，前人对山西铝土矿成矿物质来源存在较大争议，但总的来说主要有以下几种认识：1)主要成矿物质来源于下伏碳酸盐岩^[14]。2)成矿物质来源于周围古陆硅酸盐岩^[15]3)成矿物质是底板碳酸盐岩和周围古陆硅酸盐岩，两者兼之^[3]。

最新研究发现，铝土矿中锆石年龄以及微量元素组成特征表明铝土矿的物质来源与大型构造-岩浆活动有密切关系，提出铝土矿物质来源是异源搬运的观点^[16,17,18]。邓军教授团队等人通过对山西回龙、宽草坪等矿区中铝土矿碎屑锆石U-Pb年龄和Lu-Hf同位素特征分析，得知样品中锆石年龄主要集中在450 Ma和320 Ma(图4)。比对锆石年龄认为铝土矿中450 Ma的锆石来源于北秦岭造山带的岩浆岩，正是泥盆纪北秦岭岛弧与华北克拉通碰撞后大量成矿物质异源搬运、堆积为铝土矿物源提供了保障；而320 Ma锆石年龄代表了源岩主体来自于分布在华北克拉通北缘的岩浆岩，晚石炭世古亚洲洋向

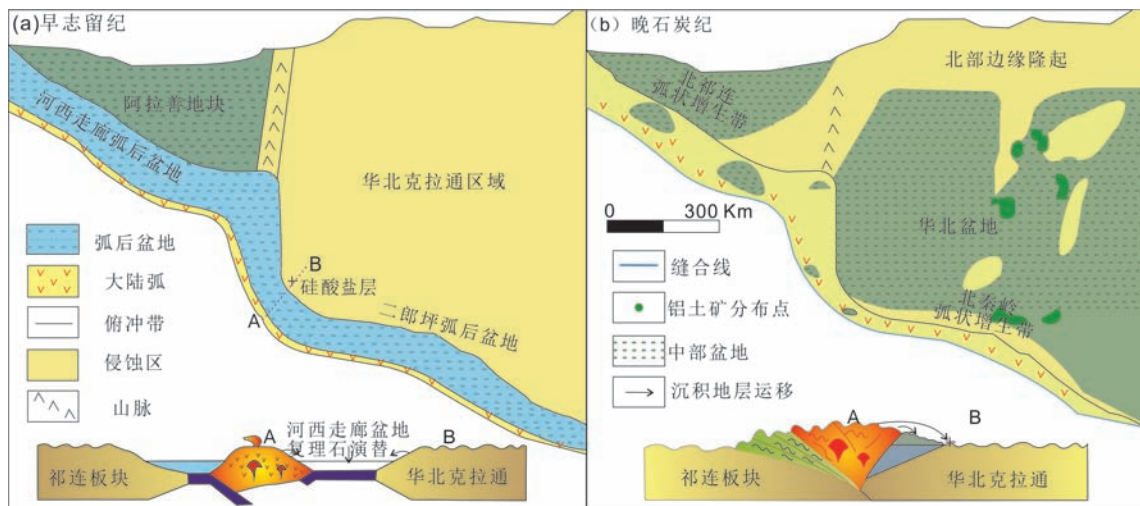


图4 成矿物质来源迁移演化

Fig.4 Migration and evolution of ore-forming material sources

华北克拉通北缘俯冲,致使华北克拉通北缘快速隆升并伴随大量火山活动^[18]。

4 存在问题及思考

4.1 山西铝土矿含矿岩系资源评价程度低

铝土矿建议采用的工业指标,是按照2003年颁布的规范即 $Al_2O_3 \geq 40\%$ 、A/S在1.8~2.6之间。2000年山西铝土矿勘查为了保障当时山西铝厂对矿石的工业利用和企业经济效益,选择 $Al_2O_3 \geq 40\%$ 、A/S ≥ 2.6 作为山西铝土矿的边界品位。时至今日,山西铝土矿地质勘查报告一直沿用这项指标来圈定铝土矿储量。前文已述,张延安教授团队研发的新技术可使低品位铝土矿经二次碳化后渣中A/S比降至0.44^[2]。因此,对山西铝土矿资源储量圈定的指标进行调整值得商榷,如果调整这一指标势必会扩大山西铝土矿的资源量。

铝土矿含矿岩系中共生矿产有耐火粘土、铁矾土、硫铁矿和山西式铁矿等,山西省由于政策及技术原因,共生矿产批准兼采的很少。从地质勘查角度,铝土矿含矿岩系作为整体在开采时不可能做到只采铝土矿,而不破坏顶底板的耐火粘土、山西式铁矿。值得注意的是,以往圈定耐火粘土矿、山西式铁矿等共生矿产资源储量时,一直按照单一矿产圈定:耐火粘土矿最低可采厚度 ≥ 0.5 m,坑采 ≥ 0.8 m;赤褐铁矿(山西式铁矿) ≥ 1.0 m。山西铝土矿含矿岩系作为一个整体并没有按照共生矿产来计算资源量,而实际开采过程中却可以同时将共生矿产一起开采,这对于国家来说也是不可估量的损失。

近年来随着对山西铝土矿含矿岩系进一步了解,富集的微量元素在铝土矿含铝岩系的不同层位含量不同^[16]。2000年以来完成的山西铝土矿勘查报告,选择达到铝土矿边界品位样品的副样以组合形式仅进行了La、Ce、Pr、Nd、Sm、Eu、Gd、Tb、Dy、Ho、Er、Tm、Yb、Lu、Y、Nb、Ta、Li、Sc、Ga、Sr等元素分析,对铝土矿中的“三稀”元素含量进行了概略了解,但对铝土矿含矿岩系整体没有进行评价。

4.2 山西铝土矿含矿岩系资源工业利用水平低

山西铝土矿资源丰富,但大多为中低品位矿石,由于市场和工艺的影响,为了提高经济效益,氧化铝企业采用“采富弃贫”(高A/S)的办法来降低成本,以及高铝耐火材料行业对“高铝、低铁”铝土矿的开采

造成了矿石贫化。铝土矿含矿岩系矿产中除对铁矿部分进行利用外,其它矿产的利用程度较低,而对伴生元素利用方面,只有中国铝业山西分公司能对Ga进行回收。因此,随着富矿资源的减少,氧化铝企业急需提高装备和技术水平利用中低品位矿石,真正实现山西铝工业的可持续发展。

4.3 无矿钻探工程

山西铝土矿勘查过程中主要存在三类无矿钻探工程:其一为沉积无矿工程即矿体层位存在,但品位低而达不到工业要求;其二为剥蚀无矿工程,由于后期剥蚀作用使矿体层位缺失,最常见的是钻孔施工穿过新生界后直接打到矿层底板或者奥陶系灰岩,造成工程对矿体本身起不到控制作用;其三为构造无矿工程,由于断层、陷落柱等构造原因导致矿体层位缺失。

沉积无矿工程可能出现在矿体的任何部位是不可避免的,属于正常的无矿工程;而本可以尽量避免的无矿工程如剥蚀无矿工程、构造无矿工程则属于非正常的无矿工程。随着山西铝土矿勘查由浅部地表工程转至深部钻探工程,地质构造复杂性使得无矿工程率有普遍增高之趋势。

前文已述,虽然目前物探水平不能直接找铝土矿,但是可较准确地确定含矿岩系的剥蚀范围及剥蚀边界,迅速而有效地圈出与铝土矿密切相关的岩溶洼地或漏斗从而减少剥蚀无矿工程;在控制构造方面亦有事半功倍的效果,运用物探手段查明勘查区内断层、采空区等,为合理有效布置钻孔提供依据。随着铝土矿勘查深度的加深、地质构造情况不明等不确定因素增加,物探辅助找矿不仅能有效提高钻孔见矿率、为合理有效布置钻孔提供依据,而且避免钻探工程对周围环境影响、节约了勘查资金。

4.4 赤泥综合利用

赤泥是氧化铝生产过程中排放的工业废渣^[12]。氧化铝生产过程中原矿中伴生元素REE、Sc、Nb、Ti在氧化铝生产过程中绝大部分在赤泥中富集;而Ga、Rb、Li、V元素主要在溶出液中累积富集。山西氧化铝企业大多未对赤泥进行综合利用,目前综合利用率不足10%。赤泥中普遍含有“三稀”元素,且含量高,资源量极大,潜在经济价值极高,研究前景广阔。

山西省目前氧化铝企业产能约为2 000万吨,每年新增赤泥量为2 045.35万吨,已存赤泥量达到1.27

亿吨,其中赤泥库中含有Sc为1.04万吨、Ga 0.41万吨、 Li_2O 为3.04万吨、REO为47.49万吨、 V_2O_5 为9.97万吨、Rb为0.27万吨、 $(\text{Nb}+\text{Ta})_2\text{O}_5$ 为3.19万吨。赤泥库中 Li_2O 含量 $112.73 \times 10^{-6} \sim 445.58 \times 10^{-6}$,加权平均为 239.33×10^{-6} ;Ga含量 $15.99 \times 10^{-6} \sim 94.13 \times 10^{-6}$,加权平均为 31.89×10^{-6} ; V_2O_5 含量 $229.87 \times 10^{-6} \sim 2\ 232.86 \times 10^{-6}$,加权平均为 647.02×10^{-6} ;Rb含量 $10.81 \times 10^{-6} \sim 36.89 \times 10^{-6}$,加权平均为 21.45×10^{-6} ;Sc含量 $34.2 \times 10^{-6} \sim 280.53 \times 10^{-6}$,加权平均为 81.75×10^{-6} ;REO含量 $1\ 999.46 \times 10^{-6} \sim 7\ 150.53 \times 10^{-6}$,加权平均为 $3\ 738.41 \times 10^{-6}$; $(\text{Nb}+\text{Ta})_2\text{O}_5$ 含量 $134.03 \times 10^{-6} \sim 395.15 \times 10^{-6}$ 之间,加权平均为 250.86×10^{-6} 。中电投山西铝业有限责任公司上木章尾矿库中锂含量最高(445.58×10^{-6})。中电投山西铝业有限责任公司上封村3号尾矿库中 V_2O_5 含量最高($2\ 232.86 \times 10^{-6}$)、Sc含量最高(280.53×10^{-6})、Ga含量最高(94.13×10^{-6})。山西信发交口肥美铝业有限责任公司尾矿库中REO含量最高($7\ 150.53 \times 10^{-6}$)、 $(\text{Nb}+\text{Ta})_2\text{O}_5$ 含量最高(395.15×10^{-6})。中电投山西铝业有限责任公司上封村2号尾矿库中Rb含量最高(36.89×10^{-6})。

5 结论

近年来,大型-特大型煤下铝土矿床、铝土矿伴生“三稀”元素相继被发现,不断有新手段、矿石加工方法对指导铝土矿含矿岩系地质勘查找矿以及优化矿石深加工等方面工作有飞跃性的提高。然而,随着对山西铝土矿含矿岩系综合应用研究加深,同样伴随许多问题诸如铝土矿含矿岩系资源评价程度、资源工业利用率以及找矿手段等方面更值得我们在今后的工作中思考和改进。

笔者一直强调把山西铝土矿含矿岩系作为一个整体来对待,而不是因称之为铝土矿含矿岩系勘查工作重点就在铝土矿,应更多关注伴生矿产。如何对矿产资源综合利用是山西以矿业开发为主资源大省的重中之重,因此不管怎样困难,都要进行研究,不断实验,唯有创新,才能实现山西资源型经济转型发展。

参考文献:

- [1] 于蕾,侯恩刚,高亦文. 中国铝土矿勘查研究进展[J]. 资源与产业,2011,13(3):27-33.

- [2] 陈喜峰. 中国铝土矿资源勘查开发现状及可持续发展建议[J]. 资源与产业,2016,8(3):16-22.
- [3] 陈平. 山西地块石炭纪铝土矿沉积地球化学研究[M]. 山西科学技术出版社,1997.
- [4] 贡孟超,王凤宇,林伟,等. 山西平陆县东部与铝土矿共伴生的“三稀”矿产特征[J]. 矿产勘查,2017,8(5):772-781.
- [5] 柴东浩,甄秉钱. 晋豫(西)晚石炭世本溪期铝土矿及其共生矿产的沉积分布规律[J]. 煤田地质与勘探,1987(3):7-12.
- [6] 张招崇,毛景文,杨建民,等. 甘肃寒山金矿区黄钾铁矾的形成机制及其地质意义[J]. 地球与环境,1999(1):33-37.
- [7] 王万银,任飞龙,王云鹏,等. 重力勘探在沉积型铝土矿床调查中的应用研究[J]. 物探与化探,2014(3):409-416.
- [8] 刘申芬,魏明君,刘国庆,等. 高精度重力测量在河南某铝土矿区调查评价中的应用[J]. 矿产与地质,2016,30(2):240-244.
- [9] 李华,艾斯卡尔,吾守艾力,等. 渝东南地区隐伏铝土矿物探勘查技术试验研究—以车盘矿区试验结果为例[J]. 地质学报,2013,87(3):384-392.
- [10] 马振波,燕长海,李中明,等. CSAMT在河南郁山大型隐伏铝土矿勘查中的应用[J]. 物探与化探,2012,36(4):688-691.
- [11] 王燕茹,王庆飞,刘学飞,等. 河南滎池铝土矿成矿区地球化学背景[J]. 地质与勘探,2012,48(3):526-532.
- [12] 朱小峰,张廷安,王艳秀,等. 钙化—碳化法利用中低品位铝土矿生产氧化铝的实验研究[J]. 材料与冶金学报,2015,14(3):182-186.
- [13] 张尚清,张文旭,钟庄华,等. 山西省兴县铝土矿稀土元素地球化学特征及其地质意义[J]. 中国稀土学报,2018(3).
- [14] 李景阳,朱立军. 论碳酸盐岩现代风化壳和古风化壳[J]. 中国岩溶,2004,23(1):56-62.
- [15] 卢静文,彭晓蕾. 山西铝土矿床成矿物质来源[J]. 长春科技大学学报,1997(2):147-151.
- [16] 王庆飞,邓军,刘学飞,等. 铝土矿地质与成因研究进展[J]. 地质与勘探,2012,48(3):430-448.
- [17] Deng J, Wang Q, Yang S, et al. Genetic relationship between the Emeishan plume and the bauxite deposits in Western Guangxi, China: Constraints from U-Pb and Lu-Hf isotopes of the detrital zircons in bauxite ores[J]. Journal of Asian Earth Sciences, 2010, 37(5):412-424.
- [18] Cai S, Wang Q, Liu X, et al. Petrography and detrital zircon study of late Carboniferous sequences in the southwestern North China Craton: Implications for the regional tectonic evolution and bauxite genesis[J]. Journal of Asian Earth Sciences, 2015, 98:421-435.
- [19] 孙志伟. 我国铝土矿资源开发利用现状、问题与对策[J]. 中国矿业,2008,17(5):13-15.