

华北地区铝土矿成矿规律概要

曾 威^{1,2,3}, 王佳营^{1,2}, 李俊建^{1,2*}, 陈军强^{1,2}, 刘晓雪^{1,2}, 刘 行^{1,2}

(1 中国地质调查局天津地质调查中心, 天津 300170; 2. 华北地质科技创新中心, 天津 300170;

3. 吉林大学地球科学学院, 长春 130061)

摘 要:华北地区铝土矿资源丰富,在全国占有绝对优势,集中分布于山西和河南两省,探明的资源量分居全国第一和第二位。本文从华北铝土矿的资源特点、矿床类型、时空分布、控矿要素等方面总结了华北铝土矿成矿规律,最后在总结前人研究成果的基础上,探讨了铝土矿成因问题。华北铝土矿类型单一,均为古风化壳沉积型铝土矿,可划分为4个亚类。成矿时代以晚石炭世为主,少量形成于二叠纪。华北铝土矿可划分为3个成矿区带,分别为山西断隆成矿区带、华北陆块南缘成矿区带和鲁西断隆成矿区带。铝土矿的主要控矿因素包括本溪组地层、奥陶系上部不整合面、古岩溶构造以及处于古陆边缘的大地构造位置。

关键词:铝土矿;华北;成矿规律;成矿区带;古风化壳沉积型

中图分类号: P618.45

文献标识码: A

文章编号: 1672-4135(2021)03-0025-08

铝土矿是金属铝的主要原料,中国是金属铝的重要生产国和消费国,对铝土矿资源的需求巨大。但我国铝土矿储量仅占世界总储量的3%^[1],铝资源相对匮乏。华北地区是全国铝土矿资源最丰富的地区,大量铝土矿床集中分布于山西和河南两省,山东和河北分布少量(图1)。其中山西省探明的铝土矿资源居全国第一,共发现铝土矿矿床151处,其中大型矿床40处,中型矿床62处。主要分布于宁武盆地、五台盆地、河东盆地、霍西盆地和沁水盆地这五个盆地中,探明铝土矿资源量14.84亿吨^[2,3]。河南省铝土矿探明资源量居全国第二位,有铝土矿床101处,其中大型矿床19处、中型矿床37处,小型矿床45处。集中分布在豫西渑池-新安-登封-济源-平顶山等地,位于煤层下部,探明铝土矿资源量13.45亿吨^[4,5]。山东和河北的铝土矿多为小型规模,少量大中型规模,山东的铝土矿主要分布于淄博和枣庄两地,河北的铝土矿主要分布于井陉县和唐山市境内。

华北地区铝土矿类型单一,主要为古风化壳沉积型铝土矿,在登封发现有少量堆积型铝土矿,但规模较小,目前无开发价值。古风化壳沉积型铝土矿沉积于奥陶系马家沟组风化侵蚀面之上,形成于晚

石炭世和早二叠世^[6]。含矿岩系主要为上石炭统本溪组铁铝岩段,形成“G层铝土矿”;次为二叠系砂岩、页岩和铝土矿岩层,形成“A层和B层铝土矿”。华北绝大部分铝土矿床为“G层铝土矿”。

前人对华北地区铝土矿的研究主要集中在典型矿床的地质特征和成因探讨^[7-10]、矿物学研究^[11-13]和成矿预测^[14-17]等方面,对华北地区铝土矿的成矿规律缺乏系统的总结,仅王银川等探讨了山西省铝土矿形成的构造背景、古地理环境^[18];姬果等在分析河南省主要铝土矿床特征的基础上,总结了河南省铝土矿的主要控矿规律^[4];刘晓雪等对河南、山西铝土矿找矿远景进行了分析^[19]。本文结合前人的研究,总结了华北铝土矿资源特点、矿床类型,分析了铝土矿的时空分布规律和主要控矿要素,划分了成矿区带,并对铝土矿成因进行了探讨,是对华北地区铝土矿成矿规律的系统总结,对指导华北地区铝土矿找矿工作具有重要参考意义。

1 华北铝土矿类型划分

关于铝土矿类型的划分,前人提出过多种划分方案。国外广泛应用的是Bardossy的分类方案,他

收稿日期:2021-04-30

资助项目:中国地质调查项目“华北地区区域成矿规律研究与总结(DD20190379-31)”、“纳米比亚-博茨瓦纳铀矿资源调查(DD20201148)”、“河南卢氏-熊耳山找矿远景区金、银、多金属矿资源远景调查(DD20160043-05)”、“天山-华北铀钍等矿产资源调查(DD20190813)”

作者简介:曾威(1985-),男,高级工程师,在读博士,吉林大学能源与环保专业,主要从事区域成矿规律研究,E-mail:314818431@qq.com;*通讯作者:李俊建(1962-),男,研究员,博士,现从事区域成矿研究和矿产勘查工作,E-mail:tjljunjian@163.com。

形态、规模、产状等有一定的影响,因此文本采用廖士范和梁同荣的分类方案,介绍华北地区铝土矿的成矿特征。

按照廖士范和梁同荣的划分方案,华北地区铝土矿类型主要为古风化壳沉积型,仅在河南登封地区见有极少量红土型铝土矿,均不成规模,不具工业价值,本文不作介绍。主要亚类包括古风化壳异地沉积亚型、古风化壳异地淡水或咸水沉积亚型、古风化壳准原地堆积(沉积)亚型和古风化壳异地碎屑沉积亚型4个亚型。

1.1 古风化壳异地沉积亚型

古风化壳异地沉积亚型是红土风化壳铝土物质异地迁移至已干涸的低洼地区,在地表条件下堆积而成的铝土矿床。其特点是矿层下部有沉积的铁矿层,铝土矿层中层理不发育,渗流管、渗流凝胶发育。规模一般较大,含铝高,铝硅比值高。主要分布于山西孝义、兴县、保德、阳泉,河南南部宝丰、禹县、山东淄博、辽宁辽南、河北西部,代表性的矿床为山西孝义克俄铝土矿床。

1.1.1 克俄式铝土矿特征

地质构造背景位于晋冀古陆长治陆表海盆地西翼,西距吕梁古陆15 km左右。成矿时代为晚石炭世早期。

含矿岩系自下而上由赤、褐铁矿(即山西式铁矿)、铁铝岩、铝土矿、硬质耐火粘土矿、粘土岩、粘土页岩等组成,厚6.28~21.18 m,其岩性及厚度有一定变化,但垂向层序大致相同,具有铁质岩-铝质岩-泥质岩的沉积规律。铝质岩包括铝土矿、铝土岩及硬质耐火粘土矿。铝土矿呈灰-深灰及淡黄色,具鲕状、碎屑状、粗糙状结构,块状构造。厚0.50~9.40 m,平均3.50 m,是含矿岩系的主体部分。

克俄铝土矿赋矿层位只有一层,即本溪组底部铝土矿层。矿体规模为一基本连续的大矿体,平面形态总体为哑铃形,南北长约4 700 m,东西宽约4 000 m,呈似层状、透镜状,局部沉积或因后期剥蚀出现无矿天窗。

矿石构造类型包括致密状构造、鲕状构造、豆状构造、碎屑状构造、粗糙状构造,其中粗糙状铝土矿品位最高,铝硅比在7~12以上,其次为豆状铝土矿,铝硅比在5以上,鲕状铝土矿、碎屑状铝土矿铝硅比一般也可达到工业要求。铝土矿层完整的剖面结构自下而上为含铁铝土矿-鲕状、碎屑状铝土矿-粗糙

状铝土矿-鲕状、碎屑状铝土矿。富矿层一般赋存于矿层中部。铝土矿主要成分为一水硬铝石,致密状铝土矿和碎屑状铝土矿石中见有高岭石。本区铝土矿化学成分具有高铝、高硅、含铁、低硫的基本特征。主要组分 Al_2O_3 、 SiO_2 、 Fe_2O_3 、 TiO_2 总和约为84%左右。

克俄式铝土矿分布于古构造盆地的边部,受次级古构造的控制。其成矿富集与古地形密切相关。矿层厚度随地形的凸凹而变化。一般来说,富厚矿体赋存于基底低凹部位,凸起处变薄以至尖灭。平面上,铝土矿有形成富集中心的趋势。孝义西部,本溪组下段普遍发育,但并非到处都有铝土矿沉积。从南到北分布的西河底、克俄、石公、相王等几个大型矿床,断续相连而又各自形成一个沉积中心。各个中心向外,矿层变薄、变贫或相变为铁铝岩、铝土岩及粘土岩的现象。这种变化,不仅受基底地形起伏的控制,而且也受到介质条件变化的制约。

1.2 古风化壳异地淡水或咸水沉积亚型

该亚类为风化壳铝土物质异地迁移至湖泊、河床或滨海环境的水体中沉积形成,矿层中可见层理、层纹,有时可见定向排列的砾块。由于矿层沉积场所开阔,因此一般矿体厚度稳定,矿体形状变化小,规模较大。主要分布于河南巩县、偃师、登封、新安部分地区,代表性的矿床为河南新安郁山铝土矿。

1.2.1 郁山式铝土矿特征

矿床位于新安县城西南约5 km,构造位置处在华北陆块南缘。矿区中部主要出露寒武系和奥陶系地层,本溪组露头偶尔可见,东部及西南部断续出露二叠-三叠系地层,大部为第四系和新近系覆盖。

铝土矿赋存于本溪组底部,含铝岩系厚度1.18~26.06 m,平均8.65 m。自下而上分为:铁质岩层、铝土质泥岩层、铝土矿层和含炭泥岩层。铝土矿层为经海水机械分选搬运异地再沉积成矿为主,部分铝土矿鲕粒等为海水环境化学沉积而成。可见斜层理,偶见渠模构造。

铝土矿体围绕背斜核部分布,共发现10个铝土矿体,东郁山、李村和南庄三个矿段分别含1个铝土矿体(层),均为单层,形态为似层状或透镜状,平均厚度分别为5.33 m、2.51 m和3 m。矿体直接顶板为含碳质铝土质泥岩,直接底板为中厚层含铁质泥岩或菱铁矿层。矿体深部连续延伸达1 000 m以上,较少发育夹石。西郁山矿段位于架子沟背斜西南部,自上

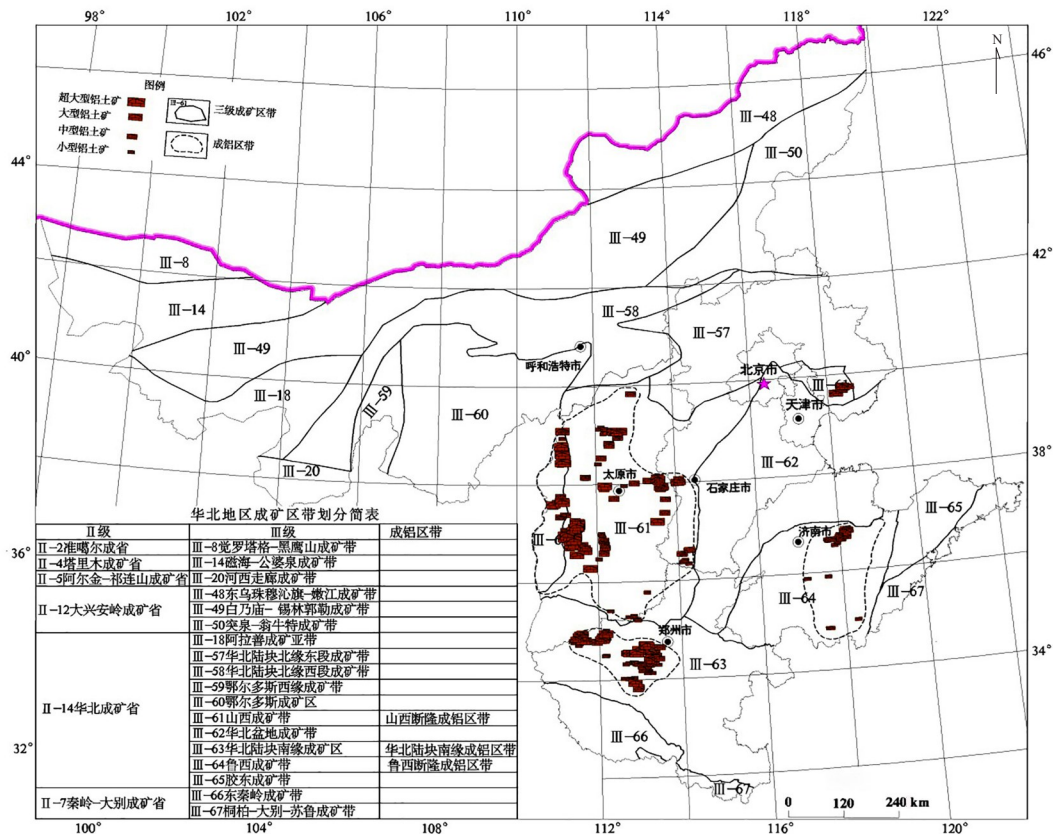


图1 华北铝土矿分布图(据参考文献[20]修改)

Fig.1 The map of bauxite deposit distribution in North China

将铝土矿分为3种类型,分别为红土型、喀斯特型和齐赫文型,其中喀斯特型包括6个亚类^[21,22]。在全球资源量占比最高的铝土矿类型是红土型^[23],成因上属于残坡积成因,主要分布于低纬度易发生化学风化的地区,矿床具规模大、分布广、品位高的特点,有用矿物以三水铝石为主,是目前利用的主要铝土矿矿床类型。该类型铝土矿在非洲西部、南美洲北部、东南亚、印度等地区大量分布,约占全球铝土矿资源量的90%^[23,24],但在中国分布较少,在广西和海南有少量分布。喀斯特型是指在喀斯特地貌上形成的铝土矿,从成因上既包括原地、近原地残坡积成因,又包括异地搬运沉积成因,我国铝土矿大多属于这种类型。齐赫文型是指残积型红土经过搬运覆盖在铝硅酸盐岩石之上的铝土矿,这种类型分布较少。国内代表性的铝土矿分类有国家矿产储量委员会、刘长龄^[25]及廖士范和梁同荣^[26]提出的分类方案。国家矿产储量委员会铝土矿类型分为沉积型、堆积型和红土型三种类型。刘长龄根据铝土矿产出的大地构造单元分为地台区与地槽区两个构造区,然后按主要成矿作用划分八大类及二个准大类,再根据形成

特点包括成因、沉积环境或主要矿物特征等细分为21个类型及9个准类型,该分类方案划分全面,包括了一些目前不具工业意义的铝土矿类型,但是划分依据复杂,对铝土矿找矿指导意义有限。廖士范和梁同荣根据铝土矿是现代风化作用形成还是古风化作用形成,即是否有古沉积物覆盖,将铝土矿分为红土型和古风化壳型^[26],铝土矿层上部有更新世之前地层覆盖则为古风化壳型铝土矿,没有更新世地层覆盖则为红土型铝土矿,并进一步根据铝土矿搬运、沉积特征将古风化壳型铝土矿划分为6个亚类,红土型铝土矿划分为2个亚类。该分类方案将国家矿产储量委员会划分的堆积型铝土矿也划归红土型铝土矿。本文认为廖士范和梁同荣的划分方案对铝土矿找矿工作有很好的指导意义,一是由于其上是否有古地层覆盖对矿床矿石组成具有重要的影响,一般上部无古地层覆盖的铝土矿床,矿石矿物以三水铝石为主,开采以露天开采为主,加工提炼铝金属简单,而上部有古地层覆盖的铝土矿,则三水铝石较少,以一水硬铝石为主,加工提炼和开采方式也不同;二是铝土矿的搬运距离和沉积环境对铝土矿的

而下包括7个铝土矿体(层),最上层为主矿体,呈层状、似层状连续产出,分布于全矿段;其下部发育6个透镜状小矿体。钻孔控制长约2 476 m,宽约1 500 m。矿体真厚度0.48~9.65 m,平均真厚度2.79 m。

铝土矿石的主要结构为豆鲕状结构和泥晶结构。主要构造为致密块状构造和平行定向构造,偶尔可见多孔状构造和层理构造^[27,28]。

主要含铝矿物是一水硬铝石(42%~88%),其次是高岭石(1%~20%)和伊利石(1%~15%)。含铁矿物中赤铁矿、针铁矿主要分布于浅表处铝土矿石中。方解石、白云石主要见于矿石微细裂隙中。铝土矿的化学成分主要为 Al_2O_3 、 SiO_2 、 Fe_2O_3 、 TiO_2 、S和烧矢量,共占总成分的94%以上。

与铝土矿伴生的矿产主要有镓、轻稀土和锂^[29],在赤泥中进一步富集,应考虑赤泥中这些三稀矿产资源的综合利用。

1.3 古风化壳准原地堆积亚型

古风化壳准原地堆积亚型铝土矿的特点是风化壳铝土物质原地或就近堆积,厚度变化较大,长度、宽度均小,一般长宽仅数百米,向四周尖灭,均与下伏碳酸盐岩呈喀斯特平行不整合接触。该亚类铝土矿床一般品位较高,但规模不大。主要分布于河南新安、渑池,代表性矿床为河南新安张窑院铝土矿。

1.3.1 张窑院式铝土矿

矿床位于河南新安县城北西直线距离14 km。赋矿地层为本溪组,下伏地层为中奥陶统马家沟组,上覆地层为上石炭统太原组。

铝土矿体填充于喀斯特溶洞、洼坑之中,有时夹铝土岩、粘土岩和铁矿层。矿体呈大的透镜体产出,其长轴方向为北西—南东和南北向。矿体长一般为200~250 m,宽100~250 m,厚度变化大,为0.52~42.17 m,主要受喀斯特地貌控制。铝土矿体向两端尖灭或突变成含铝成分较低的铝土岩。本区已查明溶斗矿体13个,溶斗直径40~100 m,深20~50 m。

矿体常由一些大铝土矿砾块组成,大砾块中有小砾块、砾石、碎屑,其表面常有氧化铁包壳。铝土矿体中夹炭质岩、煤线、粘土岩多层,互相呈渐变关系。矿层顶板为铝土页岩,含植物化石。矿石由土状、半土状等淋失结构及红土碎屑、红土豆、鲕组成。矿石矿物主要为一水硬铝石,约占70%~85%,少量高岭石、水云母、氧化铁矿物、绿泥石等。

1.4 古风化壳异地碎屑沉积亚型

该类型铝土矿的特点是风化壳铝土物质异地迁移至水体中沉积形成,赋存于碎屑岩中,是国外习称的机械碎屑沉积铝土矿床,华北称A层矿、B层矿。矿体呈层状夹于泥质灰岩或砂岩之中,交错层较普遍发育。矿石含铝较低, Al_2O_3 35%~42%,铝硅比值3~4。主要分布于辽宁、山东、河北部分地区。该类铝土矿矿石品质一般,规模小型到大型都有。代表性的矿床为淄博市王村铝土矿。

1.4.1 王村式铝土矿特征

行政区划属于淄博市淄川区王村镇所辖,大地构造位置位于华北陆块鲁西地块张店陆内拗陷盆地。

赋矿地层为二叠系上统石盒子组万山段,该段下部赋存具工业价值的“B层”铝土矿,半软质粘土矿及硬质粘土矿。自上而下分为4个岩性段,第3岩性段下部长石石英砂岩、泥质砂岩、泥岩中夹有薄层A层铝土矿;第1岩性段长石石英砂岩、泥岩中赋存B层铝土矿和粘土矿。B层铝土矿厚5.6~10.7 m,自下而上分别为半软质粘土矿,炭质页岩,B层铝土矿,铝土岩,高铁硬质粘土,硬质粘土矿。

铝土矿的顶底板为铝土岩,层位稳定。矿体呈层状,走向长400~1 000 m,厚度较稳定。矿石矿物主要为一水硬铝石,其次为高岭土、一水软铝土。矿石一般呈灰—深灰色,浅部矿石因氧化而呈黄绿色。矿石主要结构为豆状结构、鲕粒状结构。矿石主要构造为块状构造。矿石化学成分: $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$ 在2.14~22.14之间,平均为3.62。矿石类型主要有两种,一种为高岭石—水硬铝石铝土矿,另一种为高岭石—水软铝石铝土矿。

2 华北铝土矿时空分布

华北铝土矿的形成时代主要为晚石炭世,少量形成于二叠纪。晚石炭世铝土矿赋存于本溪组中下部的含铝岩系中(G层铝土矿),奥陶系或寒武系碳酸盐岩古侵蚀面上,矿石以一水硬铝石低铁低硫型铝土矿为主,大量分布于晋中北、豫西、鲁中、辽南等地。二叠系砂岩平行不整合的间断面上发育有A层和B层铝土矿,仅分布于鲁中、辽南、冀北地区,矿床规模和数量都较本溪组中G层铝土矿逊色很多。垂向上含铝岩系均见稳定的分层特征,含铝岩系发育于不整合面上,基底岩石通常为碳酸盐岩,少量为碎屑岩;含铝岩系底部为铝铁质岩石,往

上为铝土矿层,铝土矿层之上一般发育黑色炭质页岩和含煤岩系。

根据铝土矿的分布特征,将华北地区铝土矿划分为3个成铝区带,分别为山西断隆成铝区带、华北陆块南缘成铝区带和鲁西断隆成铝区带。

2.1 山西断隆成铝区带

山西断隆成铝区带铝土矿床大量分布于宁武盆地、河东盆地、霍西盆地及沁水盆地东北部,是华北地区铝土矿分布最为集中、中大型矿床最多的地区,其中有铝土矿床139个,包括大型矿床42个,中型矿床65个。赋矿层位为上石炭统本溪组,主要亚类包括古风化壳异地沉积亚型和古风化壳异地淡水或咸水沉积亚型。宁武盆地矿床密集分布地段主要位于宁武煤田东南边缘的中北端,有铝土矿床19个。河东盆地内的铝土矿主要分布于盆地北部和中部,共有铝土矿床21个。霍西盆地是山西省最重要的铝土矿产地,其交口-孝义一带为山西最主要的铝工业矿源基地,已发现铝土矿床37个。霍西盆地北段矿床数量多、矿体连续性好、储量集中、矿床规模多为大型,是山西铝厂主要矿源地。沁水盆地铝土矿主要分布于盆地东北侧,位于沁水煤田的北部,含矿岩系出露于沁水盆地东北侧,区内以孟县-昔阳一带成矿条件最好。

2.2 华北陆块南缘成铝区带

该成矿区内分布有铝土矿床114个,赋矿层位为上石炭统本溪组,主要包括平陆-渑池-新安-嵩箕-宝丰-禹州三个铝土矿矿集区。平陆-渑池-新安矿集区位于山西河南交界处黄河两岸,区内分布有42个铝土矿床,其中大型矿床8个,主要属于古风化壳原地堆积型和古风化壳异地淡水或咸水沉积亚型。嵩箕矿集区内位于河南省中部,包括登封、汝州、巩义等地区,为河南省内铝土矿分布最多的地区,区内有铝土矿床57个,其中大型矿床9个,中型矿床24个,主要类型为古风化壳异地沉积亚型。宝丰-禹州矿集区内分布有铝土矿15个,其中大型矿床1个,主要类型为古风化壳异地堆积亚型。

2.3 鲁西断隆成铝区带

铝土矿主要分布于鲁西断隆北缘和南缘淄博市和枣庄市内,共有铝土矿床31个,有中型矿床6个,其余均为小型矿床。分布有G层铝土矿和B层铝土矿。5个中型铝土矿床属于G层铝土矿,赋矿层位为上石炭统本溪组,B层铝土矿一般规模较小,除王村

铝土矿床外,其余均为小型矿床,赋矿层位为二叠系上统石盒子组。

3 华北铝土矿成矿规律

3.1 地层控矿规律

铝土矿最重要的控矿因素是地层。华北铝土矿多受上石炭统本溪组地层控制,铝土矿赋存于本溪组地层的中下部。尽管华北各地本溪组含铝岩系厚薄不一,但整个铁-铝-硅层序相对稳定。少量铝土矿赋存于二叠系石盒子组地层中,但规模较小,矿床数量不多。

3.2 构造控矿规律

奥陶系马家沟组顶部发育的不整合面是最重要的控矿构造。首先不整合面上一一般发育本溪组铁铝岩系,因此不整合面控制了含铝岩系的分布。其次铝土矿的形成与彻底红土化是分不开的,而红土化又是一个极为漫长的地质作用过程^[30,31],需要长期的沉积间断和风化剥蚀。

岩溶洼地是另一重要的构造控矿因素。岩溶洼地为铝土物质近原地和异地堆积(沉积)提供了很好的场所。吴国炎探索了不同类型古岩溶风化面对成矿的控制作用^[32],古岩溶控制着铝土矿的空间定位、矿石结构、矿体形态以及矿石物质成分等,不同类型的古岩溶地貌控制了不同类型的铝土矿床。

构造背景对铝土矿的控制作用。华北石炭纪铝土矿都形成于长期稳定的构造环境^[31],加里东运动以来长期的地壳抬升和极为稳定的大地构造环境^[33,34],使地层遭受漫长的侵蚀风化作用,形成的古风化壳为铝土矿提供了丰富的物质来源和有利的准平原化地貌条件。古陆(古岛)对铝土矿的分布也有重要的控制作用,华北地区重要的铝土矿床多位于古陆附近5~10 km的范围内。在吕梁古陆西侧形成河东成矿盆地,在吕梁古陆与五台-阜平古陆间形成宁武-静乐成矿盆地、在五台-阜平古陆东南侧形成阳泉成矿盆地,在吕梁古陆与霍山古岛之间形成霍西成矿盆地。在中条古陆东北侧形成晋城成矿盆地、在中条古陆与秦岭古陆间形成豫西成矿盆地。另外断裂构造对铝土矿也有一定的控制作用,断裂构造控制了岩溶的发育程度及其展布方向,从而控制了铝土矿床的分布。

3.3 矿化富集规律

华北G层铝土矿含矿岩系自下而上具有铁-铝-

硅的沉积序列。垂向上矿层下部至中部铁质递减、铝质递增,及至矿层中部为铝土矿层,再向上铝质减少,硅质增加。铝土矿与黄铁矿异地而生,同一矿区罕见铝土矿与黄铁矿同时形成工业矿体,在含矿岩系底部形成有工业意义的黄铁矿矿层时,中上部一般形不成铝土矿层。根据甄秉钱和柴东浩(1986)的总结^[35],华北G层铝土矿含矿岩系组合及铝土矿物质组分,自北西向南东区域上具分带富集规律。宁武-兴县以北,即山西西北部地区为高铁铝土矿带,该区已知铝土矿层三氧化二铁平均含量达8.85%~14.78%。宁武-兴县以南至长治-临汾以北,为高铝高硅低铁铝土矿带,该带为山西目前铝土矿床的重要分布区。山西东南部阳城-晋城-高平-陵川一带,为一黄铁矿成矿带,很少发现有较大工业意义的铝土矿床。豫北焦作地区,铝土矿不发育,以形成耐火粘土矿为主。晋南平陆、豫西三门峡、新安及嵩箕地区,又为一高铝低铁铝土矿带,与山西中北部地区具有某些类似的特征,其二氧化硅含量更低,因而铝硅比值较高,矿石较富。

4 华北铝土矿成因

4.1 成矿物源

由于古风化壳沉积型铝土矿产于古风化壳之上,部分学者认为成铝物质来源于含铝层之下基底地层的风化^[36-38]。但近年碎屑锆石U-Pb测年的应用及微量元素对比研究表明多数铝土矿床物源为沉积盆地周围古陆壳物质风化、搬运而来,为异地来源^[1]。Wang et al.,曹高社等通过对河南和山西典型铝土矿床的物源研究认为河南、山西晚石炭世铝土矿主要来源于周围古陆剥蚀的物质^[39-40]。李中明(2012)通过对河南郁山铝土矿微量元素对比研究,认为铝土矿物质来源与其基底碳酸盐岩关系不大,碎屑锆石U-Pb测年表明成矿物源为秦岭古陆^[28]。杜远生和余文超认为对于沉积型铝土矿的物源虽然不排除含矿岩系基底底板的贡献,但主要是周围的泥岩和含泥细碎屑岩、火山岩或火山碎屑岩^[41]。我们认为铝土矿沉积物源既有部分来自古风化壳之上已剥蚀地层,也有部分来自盆地周围古陆的剥蚀。碎屑锆石的年龄谱系只能反映沉积物最终来自的岩浆岩或变质岩的年龄,对于沉积岩的再循环不能很好的显示,不能因为碎屑锆石的年龄谱系与古陆中主要构造岩浆活动时限对应,就认为铝土矿物源主要来

源于古陆,而排除早期形成的沉积岩的再循环来源。

4.2 成岩成矿环境

铝土矿的形成必须要经历强烈的化学风化作用。现代铝土矿成矿作用研究表明,具有经济意义的铝土矿是由富含铝硅酸盐的母岩经过风化作用,主要在赤道附近的热带亚热带气候、年平均降雨量大于1 200 mm、年平均温度大于22℃的条件下形成的^[42],因此铝土矿必须形成于中低纬度的热带-亚热带气候条件下。另外,海平面的升降变化对铝土矿形成有重要影响。前人研究表明,石炭-二叠纪全球海平面下降,大面积的大陆架出露地表并发生风化作用,同时海平面下降导致地下水位降低,有利于非铝元素的析出^[43]。

铝土矿的沉积环境可分为陆表环境和水下环境,古风化壳异地沉积亚型、古风化壳准原地堆积亚型铝土矿均沉积于陆表环境,铝土矿经搬运沉积于干涸的滨海泄湖或陆上湖域,或堆积于附近的岩溶洼地。其特点是层理不发育,铝土矿中发育渗流管和渗流凝胶,为铝土矿沉积后在大气条件下进一步风化淋滤的结果。古风化壳异地淡水或咸水沉积亚型、古风化壳异地碎屑沉积亚型铝土矿沉积于水下环境,其特点是发育层理,铝土矿中渗流管和渗流凝胶不发育。根据廖士范和梁同荣对河南、山西铝土矿沉积环境的研究,华北地区G层铝土矿主要沉积于滨海陆地平原洼地、滨海泄湖或沼泽环境^[26]。

华北晚石炭世铝土矿一般位于古陆(岛)附近的5~10 km的范围内,其原因是由于铝土矿呈碎屑方式搬运,搬运距离不会太远,只有呈悬浮状态搬运的细粒粘土物质才可以搬运得较远,从而造成沿着矿层的倾向,无论是厚度或品位均有变薄、变贫的趋势,甚至矿体完全尖灭或相变为粘土矿、粘土页岩的现象。

Eh和pH条件对于古风化壳沉积型铝土矿的成矿非常重要,因为硅和铁的去除、铝的富集受控于地下水的Eh和pH条件^[44-46]。Liu et al.,赵利华对河南西部、华北克拉通南部的铝土矿进行研究认为豫西岩溶铝土矿的成矿环境为还原性和碱性环境^[47,48]。

4.3 成矿过程

前人通常将古风化壳沉积型铝土矿的形成划分为三个成矿阶段:①物质准备阶段:母岩经过风化作用和红土化作用使岩石中矿物分解,大量活动性元素流失,留下来的成分原地结晶形成氧化物和氢氧

化物以及部分粘土矿物,组成了铝土矿的原始物质;②物质迁移和沉淀(堆积)阶段,已形成的铝土矿物质经过短距离的搬运在喀斯特岩溶洼地、滨海泄湖、陆上湖域中沉积形成铝土矿层;③后期改造阶段,该阶段是后成岩作用,主要指表生风化淋滤作用,造成铝土矿的进一步富集和优化^[49-52]。

5 结论

(1)华北地区铝土矿属于古风化壳沉积型,形成时代主要为晚石炭世,少量形成于二叠纪。根据铝土矿的空间分布规律可划分为3个成铝区带,分别为山西断隆成铝区带、华北陆块南缘成铝区带和鲁西断隆成铝区带。

(2)华北铝土矿主要控矿因素包括本溪组地层、奥陶系上部不整合面、古岩溶构造,处于古陆边缘的大地构造位置。

(3)华北铝土矿物源来自湿热气候条件下古陆和早期沉积地层的风化作用,沉积于古陆周缘的陆表或水下环境,经历后期风化淋滤作用改造后进一步富集。

致谢: 本文成文过程中得到天津地质调查中心司马献章正高级工程师的悉心指导,在此表示诚挚的感谢。

参考文献:

- [1] 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(03):430-448.
- [2] 张文旭.山西铝土矿含矿岩系勘查研究进展及存在问题[J].地质调查与研究,2019,42(01):30-36.
- [3] 侯占国,赵增杰,陈志方,等.山西省矿产资源潜力评价[R].山西省地质调查院,2013.
- [4] 姬果,李宁,杨骁,等.河南省铝土矿床地质特征及成矿规律[J].金属矿山,2021(05):140-148.
- [5] 彭翼,何玉良,曾宪友,等.河南省省矿产资源潜力评价[R].河南省地质调查院,2013.
- [6] 司马献章,李中明,赵增杰,等.华北地区铝土矿找矿选区评价项目成果报告[R].天津地质调查中心,2013.
- [7] 廉凯龙,赵胜利,薛磊,等.山西省平陆县西山头铝土矿地质特征及成因分析[J].有色金属工程,2021,11(04):96-101.
- [8] 周云荣,李建全.河南省偃龙铝土矿床晚石炭世古地理特征及其对铝土矿的控矿意义[J].地质与资源,2019,28(03):254-259.
- [9] 李建全,冯帅,安超,等.河南省偃龙铝土矿床地球化学特征及成矿物质来源分析[J].地质与勘探,2017,53(04):704-714.
- [10] 鲁正清,柴世刚,刘会星,等.豫西偃龙煤田深部铝土矿地质特征及矿床成因[J].地质与勘探,2016,52(04):627-634.
- [11] 孟健寅,王庆飞,刘学飞,等.山西交口县庞家庄铝土矿

矿物学与地球化学研究[J].地质与勘探,2011,47(04):593-604.

- [12] 刘学飞,王庆飞,李中明,等.河南铝土矿矿物成因及其演化序列[J].地质与勘探,2012,48(03):449-459.
- [13] 冯跃文,刘学飞,李中明,等.河南三门峡贯沟铝土矿矿物组成及其特征[J].地质与勘探,2012,48(03):471-478.
- [14] 孙莉,肖克炎,姜德波.中国铝土矿资源潜力预测评价[J].地学前缘,2018,25(03):82-94.
- [15] 徐石头.豫中地区隐伏铝土矿资源潜力预测[J].矿产与地质,2012,26(04):327-333.
- [16] 陈永才,李书文,周红春,等.河南省偃龙煤田深部铝土矿地质特征及成矿预测[J].西部探矿工程,2015,27(10):114-117.
- [17] 杨瑞西,许国丽,楚卢凯,等.河南郁山-礼庄寨地区铝土矿重力-CSAMT综合成矿预测[J].金属矿山,2019(09):113-122.
- [18] 王银川,李昭坤,翟自峰,等.山西本溪组铝土矿成矿条件及成矿规律探讨[J].西北地质,2011,44(04):82-88.
- [19] 刘晓雪,司马献章,高知睿,等.晋豫铝土矿床地质特征及资源远景[J].地质调查与研究,2016,39(02):111-117.
- [20] 李俊建,付超,唐文龙,等.华北地区重要矿种区域成矿规律研究成果报告[R].天津地质调查中心,2013.
- [21] Bardossy G.. Karst Bauxites: Bauxite Deposits on Carbonate Rocks[J].Developments in Economic Geology, 1982, 14, Amsterdam: Elsevier.
- [22] Bardossy G, Combes P J. Karst bauxites: Interfingering of deposition and palaeoweathering. In: Thiry M, Simon-Coin on M(eds) . Palaeoweathering, Palaeosurfaces and Related Continental Deposits[J].Oxford, UK: Blackwell Publishing Ltd. ,1999, 189 - 206.
- [23] 高兰,王登红,熊晓云,等.中国铝矿成矿规律概要[J].地质学报,2014,(88):2284-2295.
- [24] 张海坤,胡鹏,姜军胜,等.铝土矿分布特点、主要类型与勘查开发现状[J].中国地质,2021,48(1):68-81.
- [25] 刘长龄.中国铝土矿的成因类型[J].中国科学(B辑),1987,5: 535-544
- [26] 廖士范,梁同荣.中国铝土矿地质学[M].贵阳:贵州科技出版社,1991,1-241
- [27] 李中明,赵建敏,王庆飞,等.豫西郁山铝土矿床沉积环境分析[J].现代地质,2009,23(3):481-489.
- [28] 李中明,燕长海,刘学飞,等.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.
- [29] 李中明,赵建敏,冯辉,等.河南省郁山古风化壳型稀土矿层的首次发现及意义[J].矿产与地质,2007(02):177-180.
- [30] 翟东兴,刘国明,陈德杰.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,2002,38(4): 41-44.
- [31] 刘长岭,赵国权,王双彬,等.中国铝土矿和高铝粘土[M].天津科学技术出版社,1992.
- [32] 吴国炎,姚公一.河南铝土矿床[M].冶金工业出版社,1996.

- [33] 郝国杰,王惠初,牛广华,等.中国变质大地构造研究及科学意义[J].地质调查与研究,2020,43(02):89-96.
- [34] 相振群,陆松年,李怀坤,等.华北克拉通中元古代岩浆事件群[J].地质调查与研究,2020,43(02):137-152.
- [35] 甄秉钱,柴东浩.晋豫(西)本溪期铝土矿富集规律及其沉积环境探讨[J].沉积学报,1986,4(3):115-126
- [36] 范法明.从贵县铝土矿的特征看豫西铝土矿的成因[J].轻金属,1989,(3):1-3.
- [37] 丰恺.河南铝土矿成因的一点认识[J].轻金属,1992,(7):1-8.
- [38] 袁跃清.河南省铝土矿床成因探讨[J].矿产与地质,2005,19(1):52-56.
- [39] Wang Q F, Deng J, Liu X F, et al.. Provenance of Late Carboniferous bauxite deposits in the North China Craton: New constraints on marginal arc construction and accretion processes[J]. Gondwana Research, 2016, 92(7): 1507 - 1523.
- [40] 曹高社,邢舟,毕景豪,等.豫西偃龙地区本溪组铝土矿成矿物质来源分析[J].地质学报,2018,92(7):1507-1523.
- [41] 杜远生,余文超.沉积型铝土矿的陆表淋滤成矿作用:兼论铝土矿床的成因分类[J].古地理学报,2020,22(05):812-826.
- [42] B á rdossy, G., Aleva, G. J. J. Lateritic bauxites[J].Elsevier Science Ltd.1990, (27).
- [43] Yu W C, Wang R H, Zhang Q L, et al.. Mineralogical and geochemical evolution of the Fusui bauxite deposit in Guangxi, South China: From the original Permian orebody to a Quarternary Salento-type deposit[J]. Journal of Geochemical Exploration, 2014, 146: 75 - 88.
- [44] Laskou M, Economou-Eliopoulos M. The role of microorganisms on the mineralogical and geochemical characteristics of the Parnassos- Ghiona bauxite deposits, Greece[J]. Journal of Geochemical Exploration, 2007,93(02):67-77.
- [45] Laskou M, Economou-Eliopoulos M. Bio-mineralization and potential biogeochemical processes in bauxite deposits: genetic and ore quality significance[J]. Mineralogy & Petrology, 2013, 107(4): 471-486.
- [46] Marneli, P., Mongelli, G., Oggiano, G., et al.. Geological, geochemical and mineralogical features of some bauxite deposits from Nurra (Western Sardinia, Italy): insights on conditions of formation and parental affinity[J]. International Journal of Earth Sciences, 2007, 96(5), 887-902.
- [47] 赵利华. 豫西晚石炭世喀斯特型铝土矿成因[D]. 中国地质大学(北京),2020,1-76.
- [48] Liu X, Wang Q, Feng Y, et al. Genesis of the Guangou karstic bauxite deposit in western Henan, China[J]. Ore Geology Reviews, 2013,55:162-175.
- [49] Li P G, Yu W C, Du Y S, et al.. Influence of geomorphology and leaching on the formation of Permian bauxite in northern Guizhou Province, South China[J].Journal of Geochemical Exploration, 2020, 210:106-446.
- [50] Bogatyrev, B. A., Zhukov, V. V., Tsekhovsky, Y. G. Formation conditions and regularities of the distribution of large and superlarge bauxite deposits[J]. Lithology & Mineral Resources, 2009, 44(2), 135-151.
- [51] Karadağ, M. M., K ü peli, Ş., Arýk, F., et al.. Rare earth element (REE) geochemistry and genetic implications of the Mortaş bauxite deposit (Seydişehir/Konya-Southern Turkey) [J]. Chemie der Erde-Geochemistry,2009, 69(2), 143-159.
- [52] Yu, W., Algeo, T. J., Yan, J., et al.. Climatic and hydrologic controls on upper Paleozoic bauxite deposits in South China [J]. Earth-Science Reviews, 2018, S0012825218300412-.

Summary on metallogenic regularity of bauxite ore deposits in North China

ZENG Wei^{1,2,3}, WANG Jia-ying^{1,2}, LI Jun-jian^{1,2*}, CHEN Jun-qiang^{1,2}, LIU Xiao-xue^{1,2}, LIU Xing^{1,2}

(1.Tianjin Center, China Geological Survey, Tianjin 300170, China; 2.North China Center of Geoscience Innovation, Tianjin 300170, China; 3.College of Earth Sciences, Jilin University, Changchun 130061, China)

Abstract: There are rich bauxite resources in North China, which hold the absolute predominance in China. Bauxite deposits in North China mainly distributed in Shanxi and Henan Provinces, where the bauxite resources rank first and second in China, and then distributed in Shandong and Hebei Provinces. This article summarized bauxite metallogenic regularity from bauxite resource characteristics, deposit types, spatiotemporal distribution and ore controlling factors. Finally, the genesis of bauxite deposits is discussed based on the previous research result. The paleocrust sedimentary type of weathering is the main bauxite deposit type, and it can be divided into four subtypes. Late Carboniferous is the mainly metallogenic epoch, followed by Permian. There are three bauxite metallogenic belt in North China, which are Shanxi fault-uplifted zone bauxite belt, south margin of North China Craton bauxite belt and western Shandong fault-uplifted zone bauxite belt. The main ore controlled factors of bauxite deposits in North China is Benxi Formation, unconformity on Ordovician stratum, paleokarst structure and the tectonic setting of paleoland margin.

Key words: bauxite deposit, North China, metallogenic regularity, Metallogenic belt, sedimentary type on paleo-weathering crust.