

山西煤下铝勘查开发主要问题及对策

张亚宁¹, 刘汉斌^{1,2}

(1. 山西大学资源与环境工程研究所, 山西 太原 030006,

2. 山西省煤炭地质局, 山西 太原 030006)

摘要: 山西是我国的铝土矿大省, 但浅部铝土矿资源的日益枯竭, 煤下铝的勘查开发日益得到重视。本文在分析山西铝土矿已有资料和地质特征的基础上, 详细分析山西煤下铝勘查和开发方面存在的困难与问题, 发现山西煤下铝主要分布孟县-寿阳-左权一带以及孝义-阳泉曲、宁武-静乐和平陆以东地区。矿体厚度 1~3 m, 铝硅比 5 左右。一般以似层状为主, 少数为透镜状和漏斗状。山西煤下铝的开发利用存在三方面的困难, 一是煤下铝矿体赋存特征、成矿规律、资源量不清。二是煤、铝重矿业权重叠, 缺乏统一的勘查规范和预算标准。三是煤下铝的水文地质条件和开采技术复杂。在煤矿的不同阶段, 都应加强煤下铝的勘查。勘查阶段应充分利用测井资料与钻孔柱状图, 圈定成矿有利区。勘探和补勘阶段要一孔多用, 加大煤下铝土矿层的采样和控制程度。生产煤矿巷道掘进和采掘工作面布置时要统筹考虑煤下铝的开发利用。关闭煤矿应全面收集钻孔资料、水文、构造、瓦斯及采空区积水资料以及钻孔铝土矿化验资料, 对矿井压覆铝土矿进行资源量计算, 并根据开采和开发条件设计开发方案。

关键词: 山西; 煤下铝; 勘查; 开发

doi:10.3969/j.issn.1000-6532.2021.02.035

文献分类号: TD952

文献标志码: A

文章编号: 1000-6532 (2021) 02-0204-07

铝是现代工业的原材料, 对国民经济和社会发展具有重要作用。铝的产量和消耗量在所有金属中排名第二, 仅次于钢铁^[1]。铝土矿是冶铝工业的原料, 山西是我国的铝土矿大省, 截止 2017 年底全省拥有铝土矿石保有储量 15.3 亿 t, 占比全国的 32.44%, 拥有兴县、宁武-原平、汾阳-孝义、交口-汾西 4 个铝土矿国家规划矿区^[2]。目前, 山西露头及浅覆盖区铝土矿勘查基本完成, 急需寻找后备资源。随着自然资源部“三深一土”战略以及煤系共生矿产理念的提出, 中深部铝土矿逐渐成为铝土矿勘查的主要方向, 煤下铝的勘查与开发逐渐引发重视^[3], 并在豫西取得重大突破^[4]。晋豫同属华北聚煤盆地腹地, 剥蚀和沉积环境类似, 豫西煤下铝勘查的巨大成功给山西煤下铝的

地质找矿很大启迪^[5]。翟自峰等^[6]首先提出了山西煤下铝勘查的可能性, 并首次分析了山西煤下铝的分布规律和找矿前景, 同时圈定了 12 个成矿有利区。董自祥等^[7]分析了河东煤田兴县井田煤铝联合开采的可能性, 认为煤铝联合开采在工艺、技术、经济上都是可行的。李志刚等^[8]探讨了河东煤田中不同资源条件下煤铝共生资源联合开发模式, 并根据煤铝赋存条件, 提出了三种开采方案。王乐^[9]根据黄辉头矿的资源赋存条件, 分析对比了 3 种煤下铝矿山建设的方案, 优选了煤铝共采的上行开采方案。黄丹等^[10]在工业实验的基础上提出了煤下铝的协同充填覆岩控制技术。煤下铝的勘查开发是个复杂的系统工程, 受国家政策、矿业权、地质条件多方面影响, 并且在煤矿的勘

收稿日期: 2019-12-17

基金项目: 国家重点研发计划资助项目 (2017YFB0603101); 山西省煤基低碳科技重大专项资助项目 (MC2016-05)

作者简介: 张亚宁 (1978-), 女, 硕士研究生, 讲师, 主要方从事煤基固废处理处置与资源化、循环经济、清洁生产。

通讯作者: 刘汉斌 (1986-), 男, 博士研究生, 从事煤炭地质研究与管理工。

查、建设、生产、闭坑不同阶段所面临的地质问题也不同。本文在山西铝土矿已有资料的基础上，详细分析了山西煤下铝在勘查和开发方面存在的困难与问题，并提出相应的解决方案。

1 本溪组分布范围和地层特征

1.1 地层特征

在山西大部分地区，本溪组指以奥陶或寒武系侵蚀面为底，平行不整合于中、下奥陶系或寒武系之上，太原组晋祠砂岩以下的一套海侵相沉积地层^[11]。本溪期山西全省西南部和北部相对较高古陆区，中间也存在局部如原平古陆、霍山古陆等局部隆起^[12]（图1）。

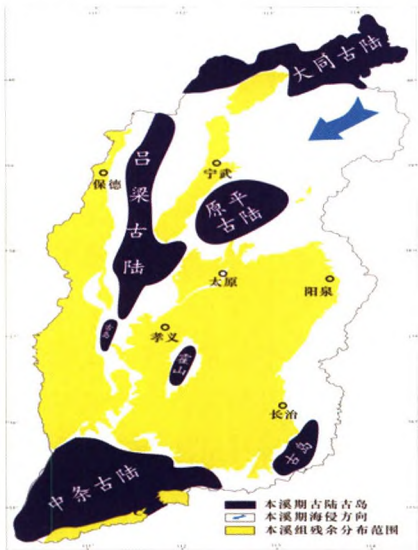


图1 山西省本溪期古地理图和本溪组现代残余范围（古地理图据王银川等^[12]修改）

Fig. 1 Paleogeographic map of the Benxi period in Shanxi Province and Modern residual range of the Benxi Formation

根据灰岩中北部厚，南北减薄直尖灭的特征判断本溪期海水自北东东方向侵入山西全省。整个中石炭世山西为陆表还环境，间有局限台地、障壁岛和潮坪相。本溪组一般分为下中上三段，下段为鸡窝状黄铁矿又称山西式铁矿，中段为灰、灰白色铝质岩、铝质泥岩（G层铝土矿）。上段一般为黑灰色泥岩粉砂岩夹薄煤层及1~6层灰岩（半沟灰岩）。本溪组全省厚0~60 m，一般厚20~40 m，全省总的变化趋势是中北部厚，南部薄，整体向西

北向西南变薄^[13]。长治 - 陵川 - 阳城、乡宁 - 河津等地，本溪组厚度小于15 m，最南部的夏县 - 垣曲小区仅发育底部的铁铝岩段，厚0~10 m，详见表1。

表1 山西不同地区本溪组厚度数据引自文献^[13]
Table 1 Thickness of Benxi Formation in different areas of Shanxi Data from the references^[13]

点位	本溪组 /m	铁铝岩段 /m	半沟段 /m	本沟段 主要岩性
太原西山	15~45	1~10	20~25	灰岩
原平	20~30	1~9	20	灰岩
五台	40~45	6~20	3~7	灰岩
平鲁 - 山阴	25~40	1~12	20~40	灰岩
大同 - 怀仁	25~35	2~10	15~25	灰岩
保德 - 河曲	10~30	3~20	0~10	灰岩
阳泉	45~55	15	30~40	灰岩
灵石 - 霍州	1~30	4~10	1~25	灰岩
翼城 - 沁水	4~10	3	0~8	砂岩 - 粉砂岩
垣曲 - 夏县	4~10	4~10	0	剥蚀
长治 - 陵川 - 阳城	< 15	5	15	碎屑岩 - 泥质岩
乡宁 - 河津	< 15	1.5~8	0~10	碎屑岩 - 泥质岩

1.2 各段分布范围

本溪组底部黄铁矿主要分布于晋城、陵川、沁水、阳泉、和顺、孟县、孝义等地，临县 - 孟县以北地区发育较差^[13]。中间铁铝岩段厚度值高值区（> 15 m）主要分布在山西中东部的孟县 - 寿阳 - 左权一线以东的三角形区域内以及孝义 - 阳泉曲和平陆以东地区。低值区（< 9 m）主要分布在沁水盆地中南部晋城 - 长治 - 武乡 - 祁县 - 霍州 - 沁水一线的长舌形区域内和静乐 - 岚县 - 娄烦一带。中值区（9~15 m）主要分布于低值区和高值分布区之间的纵贯山西南北大部的地区以内^[13]。半沟灰岩在北部大同 - 怀仁一带仅发育一层，厚度最大可达5 m，向南至太原阳泉地区灰岩层数增多（一般2~4层，太原东山最多可见6层），厚度变小，泥质含量增高，阳城 - 乡宁以南以及陵川 - 长治地区灰岩缺失^[13-14]（表1）。本溪组煤层在山西大多不可采，其中山西北部区多为薄煤层，中部区局部较厚，南部区多为煤线。

2 煤下铝土矿分布特征和找矿前景

2.1 分布特征

山西煤下铝土矿位于石炭 - 二叠系含煤地层下部的本溪组铁铝岩段。煤下铝是地表铝土矿的

的自然延伸,矿体特征与地表铝土矿类似,一般以似层状为主,具有为透镜状,少数为漏斗状。

表 2 为山西地表露头区铝土矿矿体的厚度特征。

表 2 山西省煤下铝土矿找矿前景区面积和矿体特征^[6]
Table 2 The area and ore body characteristics of the prospecting area of the aluminum below Shanxi coal^[6]

分布范围	面积 /km ²	矿体厚度 /m	铝硅比
宁武煤田北部	752	1.50~2.75	-
河东煤田北部	2250	4	-
宁武煤田中部	1604	1~3	-
五台煤产地	295	2.5	-
宁武煤田南部	277	2~3	-
沁水煤田北部	5270	2.5	5
西山煤田北部	1173	-	-
河东煤田中部	2312	0.5~6.6	6~8
霍西煤田西部	7961	3	5~6
沁水煤田西部	1456	1.5	7
沁水煤田南部	7578	1	5
平陆煤产地	295	-	-

可见,山西省浅部铝矿石厚度大多介 1~3 m 左右,最大 6.6 m。铝硅比 5 左右,最大为 8。深部煤下铝的铝硅比系数较地表铝土矿大,硫铁含量升高,夹层和矿体边界均较地表铝土矿复杂。如兴县赵家焉铝土矿平均 Al_2O_3 含量 61.22%, Fe_2O_3 含量 9.08%, S 平均含量 1.59%, 铝硅比 8.65, 属于高硫中铁型铝土矿^[15]。

2.2 找矿前景

根据山西铝土矿的成因特点和赋存条件,结合已有的铝土矿矿床,圈定了 12 个山西煤下铝找矿远景区(图 2)。



图 2 山西省煤下铝土矿找矿远景区 (据翟自峰^[6]、刘晓雪^[5]等修改)

Fig. 2 Prospecting area for coal mining in Shanxi province

可见山西煤下铝找矿远景区主要位于宁武煤田、霍西煤田、河东煤田、沁水煤田东北部、中西部边缘、西山煤田北部以及五台和平陆两个煤产地。表 2 为山西煤下铝土矿找矿前景区面积和矿体特征。从中可以看出,山西河东煤田中北部铝土矿矿体厚度最大,沁水煤田南部最薄。河东煤田离柳矿区、霍西煤田霍州矿区以及沁水煤田阳泉矿区煤下铝硅铝比值最高,达到 5 以上。

3 目前存在的问题

目前的铝土矿勘查,主要指埋深 300 m 以浅的铝土矿。区别地表铝土矿,一般意义上的煤下铝指 300 m 以深,不包括现在铝土矿探矿权、采矿权证的煤层深部的铝土矿^[16]。煤下铝的勘查开发是个复杂的系统工程,涉及到国家资源政策、矿业权、地质条件多方面因素。目前煤下铝的勘查和开发在矿体资源量、国家政策和勘查规范、以及勘查难度上面还有诸多问题。在资源量方面,受传统思维的影响,煤矿以往一直对煤下铝的重视程度不够,导致对煤下铝基础资料、基础数据积累不够,对矿体资源量和开发潜力掌握不够,影响开发战略和开发思路。在政策方面,由于煤铝属于不同的矿种和开采深度,矿业权重叠现象严重^[17]。勘查开发方面,煤下铝勘查开发目前国内尚无成熟的大规模工业化的成功案例^[10],勘查和开发经验积累都还远远不够。

3.1 资源量方面

煤下铝矿体赋存特征、成矿规律、资源量不清。煤矿深部铝土矿不同于浅部露头出露区,没有矿体的直观反应。而以往的找煤为主的勘查思路,对下伏铝土矿重视程度不够,岩心采取率、采样代表性、分析化验指标均重视不够,导致对煤下铝资源量和资源赋存特征不明。近年来,以兴县黄辉、孝义魏家沟和申家庄等矿区为代表,一大批隐伏铝土矿相继被发现,尤其申家庄矿区发现隐伏铝土矿资源量近 2 亿 t^[18],充分显示山西煤下深部隐伏铝土矿床找矿前景好,资源量巨大。

3.2 政策方面

虽然《中华人民共和国矿产资源法》、《山西省矿产资源管理条例》、《山西省铝土矿资源开发利用规划》明确要求对于具有工业价值共生矿产资源必须统一规划、综合勘探、综合评价、综合开发、综合利用,最大限度提高资源利用率和产出率。但在实际执行过程中,由于煤矿“采矿权”范围不包括下部铝土矿的含矿层位,因而在煤矿“两证”范围内开展铝土矿找矿勘查工作存在法律上的障碍^[17],因此矿权的重叠也是一个很大的问题,需要煤矿企业和政府以及自然资源管理部门三方进行统一协调。但由于煤和铝属于不同的矿产,分属不同管理部分,未来需要更加灵活和与时俱进的矿业权配置政策。此外,由于国内煤下铝的勘查刚发才刚刚起步,因此目前没有一套统一的煤下铝勘查规范和预算标准,导致煤下铝的勘查与开发无法可依。

3.3 勘查方面

第一、矿体形态复杂。受沉积环境的制约,本溪组铁铝岩段的矿体形态均较复杂,矿体形态、厚度、组合受奥陶系灰岩侵蚀面控制,一般呈溶斗状或窝子状,产状变化大,勘查和开采难度均较大。第二、勘查难度大。煤下铝的埋深普遍超过300~500 m,且与上覆地层物性差异不大,难以直接查勘,需要通过查明下伏奥陶系古侵蚀面间接寻找成矿体可能富集部位^[19-20]。煤下铝的勘查属于二次勘查或补充勘探,尤其当上覆煤层采掘完毕后,形成大量采空区与采空区积水^[21-22],需要运用特殊的钻探工艺^[23-24]和物探手段查明采空区的分布^[22, 25-26]。第三、开发难度大。煤下铝的直接顶底板大多为泥岩,开采时顶底板维护难度较大^[22, 27],给煤下铝的勘查带来很大困难。第四、水文地质条件复杂^[21-22, 27]。煤下铝矿体标高大多低于当地侵蚀基准面,且部分为奥灰水带压开采。由于本溪组下部峰峰组与马家沟组均为灰岩含水带,本溪组一直充当煤系下组煤开采的隔水层。而铝土矿的开采必将破坏隔水层,从而导通下伏奥灰水,发生突水事故。因此,煤下铝的开发必

须充分本溪组下伏峰峰的富水性和隔水层厚度,充分计算开采煤下铝时的带压系数与带压危险区。

4 煤矿不同阶段煤下铝的勘查与开发

煤矿的生命周期一般包括勘查-建设-生产-闭坑四个阶段,不同时期煤下铝的勘查和开发所面临的地质问题也都有所不同,决定了不同阶段煤下铝的勘查任务有所不同。在山西,800 m以浅煤炭勘查基本已结束,后续主要是井田的勘探和煤矿的补充勘探,因此山西煤矿勘查阶段煤下铝勘查的主要任务就是钻孔钻探、测井、化验资料的收集。在煤矿建设阶段,可以根据煤铝矿体的共生地质条件,决定开采模式和开采方案。在煤矿的生产阶段,可充分利用煤矿的补勘钻孔对煤下铝进采样和测试以及矿体圈定。在煤矿闭坑阶段,充分利用已有巷道和已有通风、排水系统,进行井下钻探勘查作者,圈定成矿有利区。

4.1 煤矿勘查阶段

山西目1200 m以浅的煤炭普查大部已经完成,所以勘查阶段的煤下铝主要指勘探和补勘阶段。而以往大部分煤田孔或水文孔都进行了地球物理测井且终孔层位均进入奥灰,因此勘查阶段煤下铝的主要任务就是在充分分析钻孔测井资料与钻孔柱状图,圈定成矿有利区。在条件适宜区,根据已有钻探成果综合运用多种物探手段^[18-20],如高精度重力测量^[19-20, 28-29]、可控源音频大地电磁测深法^[19-20, 30-31]、高频大地电磁测深法^[31]等探测深部煤下铝含矿岩系空间分布及构造特征,指导煤下铝的勘查。在煤矿勘探和补勘阶段,充分考虑煤下铝,一孔多用,进行综合勘查和采样分析化验。在此基础上,建立勘查区煤下铝三维模型,圈定成矿区域,为将来煤下铝的开发提供基础资料。在外部条件适宜和地质条件成熟地区,可以考虑先采下位煤下铝土矿,后才采掘煤炭的上行开采模式或煤铝同时开采^[8-9]。

4.2 生产煤矿

在煤炭的生产阶段,井巷已经形成,主要在巷道掘进和采掘工作面布置的时候,充分考虑煤

下铝的开发, 尽量做到一巷多用, 并且充分保护下组煤的底板。在煤矿补充勘探阶段, 充分利用钻探资料对加大煤下铝土矿层的采样和控制程度, 为煤下铝的开发提供基础资料。在进行井下物探和井下钻探的时候, 同时对煤下铝进行勘探和控制。河南曹跃煤矿即是生产煤矿阶段介入煤下铝勘查开发, 充分利用煤矿已有的设备和采掘工艺, 继续开采下煤下铝土矿资源^[8]。

4.3 关闭煤矿

对于关闭煤矿, 首先应充分收集钻孔资料、水文、构造、瓦斯及采空区积水资料以及钻孔铝土矿化验资料, 对关闭煤矿所压覆铝土矿进行资源量计算。其中, 特别要注意采空区的探测。山西的许多关闭或废弃小煤矿, 由于设计和开拓资料不全或由于产权更迭遗失, 无法确定采空边界和采空范围, 也无法进入调查。此时需要充分利用先进的物探方法, 如瞬变电磁法和高频大地电磁测深确定采空区的空间位置、充填状态、连通性^[21, 24-25], 为煤下铝勘查提供保障。运用电阻率法探测铝土矿矿体的埋深和产状变化^[22], 确定含矿岩系的分布范围, 为后期钻探工程的合理布置提供依据。最后, 在充分考虑开采和开发条件的基础上, 设计较优的开发方案。对于资源量和矿体品位不能满足现有开采技术条件的, 进行铝土矿资源量的登记, 作为关闭煤矿的压覆资源进行资源量备案, 留待以后技术条件成熟后进行开发。

5 结 论

(1) 山西省煤下铝分布范围与煤田分布范围基本一致, 主要分布孟县-寿阳-左权一带以及孝义-阳泉曲、宁武-静乐和平陆以东地区。铝土矿厚度大多介 1~3 m 左右, 最大 6.6 m。煤下铝是地表铝土矿的自然延伸, 矿体特征与地表铝土矿类似, 一般以似层状为主, 具有为透镜状, 少数为漏斗状。铝硅比 5 左右, 最大为 8。

(2) 山西煤下铝的开发利用存在三方面的问题, 一是煤下铝矿体赋存特征、成矿规律、资源量不清。二是煤、铝重矿业权重叠, 且缺乏统一

的勘查规范和预算标准, 导致煤下铝的勘查与开发无法可依。三是煤下铝的水文地质条件和开采技术复杂, 导致勘查和开发难度大。

(3) 对于煤炭勘查区, 应充分分析煤矿勘查阶钻孔测井资料与钻孔柱状图, 圈定成矿有利区。在勘探和补勘阶段, 要充分考虑煤下铝, 一孔多用, 进行综合勘查和采样分析化验, 充分利用钻探和物探资料对加大煤下铝土矿层的采样和控制程度, 建立勘查区煤下铝三维模型, 圈定成矿区域。生产煤矿巷道掘进和采掘工作面布置时, 充分考虑煤下铝的开发, 做到一巷多用, 并且充分保护下组煤的底板。关闭煤矿应充分收集钻孔资料、水文、构造、瓦斯及采空区积水资料以及钻孔铝土矿化验资料, 对矿井压覆铝土矿进行资源量计算, 并根据开采和开发条件设计开发方案。

参考文献:

- [1] 《矿产资源工业要求手册》编委会. 矿产资源工业要求手册 2014 修订版 [M]. 北京: 地质出版社, 2014.
Editorial Board of Manual of Mineral Resources Industry Requirements. Mineral resources industry requirements manual 2014 revised edition [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2014.
- [2] 山西省人民政府办公厅. 山西省矿产资源总体规划 (2016—2020 年) [EB/OL]. 2017-08-21.
General Office of Shanxi Provincial People's Government. The overall plan of mineral resources in Shanxi Province (2016-2020) [EB/OL]. 2017-08-21.
http://www.shanxi.gov.cn/sxszfxxgk/sxsrmzfczcbm/sxszfzbg/fifg_7203/bgtgfwj_7206/201708/t20170818_329445.shtml
- [3] 高兰, 王登红, 熊晓云, 等. 中国铝土矿资源特征及潜力分析 [J]. 中国地质, 2015 (4): 853-863.
GAO L, WANG D H, XIONG X Y, et al. Characteristics and potential analysis of bauxite resources in China [J]. Geology in China, 2015 (4): 853-863.
- [4] 周强, 杜佳音, 张鹤魏, 等. 全国最大铝土矿是这样发现的 - 河南省地质矿产勘查开发局第四地质勘查院偃龙煤田深部铝 (黏) 土矿普查纪实 [J]. 资源导刊, 2019 (5): 44-45.
ZHOU Q, DU J Y, ZHANG H W, et al. The discovery of the largest bauxite deposit in China: A survey of the deep aluminum (clay) ore deposit in Yanlong Coalfield, No.4 Geological Exploration Institute of Henan Province [J]. Resources Review. 2019 (5): 44-45.
- [5] 刘晓雪, 司马献章, 高知睿, 等. 晋豫铝土矿矿床地质特征及资源远景 [J]. 地质调查与研究, 2016, 39 (2): 111-117.

- LIU X X, SIMA X Z, GAO Z R, et al. Geological Characteristics and Resource Prospect of Bauxite Deposit in Jinyu [J]. Geological Survey and Research, 2016,39 (2):111-117.
- LIU X X, SIMA X Z, GAO Z R, et al. Geological characteristics and resource prospect of bauxite deposit in Jinyu [J]. Geological Survey and Research, 2016,39(2):111-117.
- [6] 翟自峰. 山西省煤下铝土矿分布规律及找矿前景预测 [J]. 地球, 2012 (10):34-35.
- ZHAI Z F. Distribution regularity and prospecting prospect of bauxite under coal in Shanxi Province [J]. Earth, 2012 (10):34-35.
- [7] 董自祥. 煤铝共生井田煤铝联合开采的可行性分析 [J]. 中国煤炭, 2015,41(3):66-68,72.
- DONG Z X. Feasibility analysis of coal and aluminum combined mining in coal and aluminum co-existing well field [J]. China Coal, 2015,41(3):66-68,72.
- [8] 李志刚, 杨彦宏, 姬刘亭. 煤铝共生资源联合开发模式初探 [J]. 煤炭工程, 2017,49 (10):43-47.
- LI Z G, YANG Y H, JI L T. Research on the co-development model of coal and aluminum resources [J]. Coal Engineering, 2017,49 (10):43-47.
- [9] 王乐, 李海楠, 赵雷明, 等. 黄辉头矿煤铝共生资源开采时序研究 [J]. 采矿技术, 2018,18 (3):116-118.
- WANG L, LI H N, ZHAO L M, et al. Study on mining time sequence of coal and aluminum co-existing resources in Huanghuitou mine [J]. Mining Technology, 2018,18 (3):116-118.
- [10] 黄丹, 陈何, 王昌, 等. 煤系地层覆盖下铝土矿采矿方法研究 [J]. 有色金属 (矿山部分), 2019,71(1):1-4.
- HUANG D, CHEN H, WANG C, et al. Research on mining method of bauxite under coal measure strata cover [J]. Nonferrous Metals (Mine Section), 2019,71(1):1-4.
- [11] 程保洲. 山西晚古生代沉积环境与聚煤规律 [M]. 太原: 山西科学技术出版社, 1992.
- CHENG B Z. Late paleozoic sedimentary environment and coal accumulation regularity in Shanxi province [M]. Taiyuan: Shanxi Science and Technology Press, 1992.
- [12] 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 (4):82-88.
- WANG Y C, LI Z K, ZHAI Z F, et al. Discussion on metallogenic conditions and metallogenic regularity of bauxite in Benxi Formation, Shanxi Province [J]. Northwest Geology, 2011 (4):82-88.
- [13] 山西省地质矿产局. 山西省区域地质志 [M]. 北京: 地质出版社, 1989.
- Shanxi bureau of geology and mineral resources. Regional geology of Shanxi province [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1989.
- [14] 陈平, 柴东浩. 山西铝土矿地质学研究 [M]. 太原: 山西科学技术出版社, 1998.
- CHEN P, CHAI D H. Research on bauxite geology in Shanxi [M]. Taiyuan: Shanxi Science and Technology Press, 1998.
- [15] 赵军, 张尚清, 钟庄华, 等. 山西省兴县赵家焉铝土矿疏分布特征及成矿环境研究 [J]. 地质调查与研究, 2016,39 (4):279-284.
- ZHAO J, ZHANG S Q, ZHONG Z H, et al. Study on sulfur distribution and metallogenic environment of Zhaojiayan bauxite in Xingxian county, Shanxi Province [J]. Geological Survey and Research, 2016,39 (4):279-284.
- [16] 杨言杰. 河南省西部煤下铝土矿勘查前景及找矿意义 [J]. 华北国土资源, 2010 (4):22-26.
- YANG Y J. Exploration prospect and prospecting significance of undercoal bauxite deposit in western Henan Province [J]. North China Land and Resources, 2010 (4):22-26.
- [17] 杜春彦, 杜春照, 常秋玲. 河南省煤下铝整装勘查区矿业权设置研究 [J]. 矿产保护与利用, 2014 (4):5-8.
- DU C Y, DU C Z, CHANG Q L. Study on the setting of mining rights in the aluminum integral exploration area under coal in Henan Province [J]. Protection and Utilization of Mineral Resources, 2014 (4):5-8.
- [18] 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 (1):30-36,44.
- ZHANG W X. Research progress and existing problems of prospecting for ore-bearing rock series of Shanxi bauxite [J]. Geological Survey and Research, 2019,42 (1):30-36,44.
- [19] 徐新学, 李世斌, 袁航, 等. 山西沁源隐伏铝土矿综合物探调查应用效果 [J]. 物探与化探, 2014 (1):41-45.
- XU X X, LI S, YUAN H, et al. Comprehensive geophysical survey and application effect of Qinyuan blade bauxite in Shanxi province [J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2014 (1):41-45.
- [20] 钟庄华, 张尚清, 张文旭, 等. 山西省云义隐伏铝土矿综合勘查技术应用 [J]. 地质调查与研究, 2017,40(2):134-140.
- ZHONG Z H, ZHANG S Q, ZHANG W X, et al. Geological characteristics and prospecting potential of Yuhengtang gold deposit, Shandong Province [J]. Geological Survey and Research, 2017,40(2):134-140.
- [21] 赵军. 兴县黄辉头铝土矿矿床地质特征及找矿意义 [J]. 太原科技, 2010 (1):67-68.
- ZHAO J. Geological characteristics and prospecting significance of Huanghuitou bauxite deposit in Xingxian County [J]. Taiyuan Science and Technology, 2010 (1):67-68.
- [22] 郭保健, 赵锡岩, 司百堂. 豫西煤下铝土矿整装勘查技术方法探讨 [J]. 资源导刊 (地球科技版), 2014 (12):4-6.
- GUO J J, ZHAO X Y, SI B T. Exploration technology and method of bauxite under coal in western Henan [J]. Resources Guide (Earth Science and Technology Edition), 2014 (12):4-6.
- [23] 康善修. 空气潜孔锤与绳索取心钻进技术在煤下铝矿区的实践 [J]. 环球人文地理, 2015 (12).
- KANG S X. Practice of air DTH hammer and rope coring drilling technology in aluminum mine under coal [J]. Global Human Geography, 2015 (12).
- [24] 王正浩. 登封煤田下部铝 (粘) 土矿预查采空区钻探工艺实践 [J]. 能源技术与管理, 2016 (4):6-8.
- WANG Z H. Practice of drilling technology in goaf pre-

inspected in the lower part of Dengfeng coalfield [J]. *Energy Technology and Management*, 2016 (4):6-8.

[25] 梁芳敏, 潘岩, 魏继祖, 等. 瞬变电磁法在煤下铝采空区探测中的应用研究 [J]. *物探化探计算技术*, 2015(3):319-324.

LIANG F M, PAN Y, WEI J Z, et al. Application of transient electromagnetic method in the detection of aluminum goaf under Coal [J]. *Computing Techniques for Geophysical and Geochemical Exploration*, 2015 (3):319-324.

[26] 梁芳敏, 黄志强, 任鸿飞, 等. 瞬变电磁法和音频大地电磁法在煤下铝采空区探测中的应用研究 [J]. *矿产勘查*, 2014,5 (6):914-919.

LIANG F M, HUANG Z Q, REN H F, et al. Application of transient electromagnetic method and audio magnetotelluric method in detection of aluminum goaf under coal [J]. *Mineral Exploration*, 2014,5 (6):914-919.

[27] 苏晶晶, 张长春. 浅议河南省煤下铝勘查开发现状和建议 [J]. *矿产保护与利用*, 2012 (3):55-58.

SU J J, ZHANG C C. Discussion on the present situation and suggestion of exploration and development of aluminum under coal in Henan Province [J]. *Protection and Utilization of Mineral Resources*, 2012 (3):55-58.

[28] 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.

WANG W Y, REN F L, WANG Y P, et al. Application of gravity prospecting in sedimentary bauxite prospecting [J]. *Geophysical and Geochemical Exploration*, 2014(3):409-416.

[29] 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.

LIU S F, WEI M J, LIU G Q, et al. Application of high-precision gravimetric survey in the investigation and evaluation of a bauxite mine in Henan Province [J]. *Mineral Resources & Geology*, 2016,30 (2):240-244.

[30] 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.

MA Z B, YAN C H, LI Z M, et al. Application of CSAMT in exploration of large concealed bauxite deposit in Yushan, Henan Province [J]. *Geophysical and Geochemical Exploration*, 2012,36(4):688-691.

[31] 李华, 艾斯卡尔, 吾守艾力, 等. 渝东南地区隐伏铝土矿物勘探技术实验研究—以车盘矿区实验结果为例 [J]. *地质学报*, 2013,87(3): 384-392.

LI H, ARSKA, WUSUALI, et al. Experimental study on geophysical exploration technology of concealed bauxite in southeastern Chongqing: A case study of Chepan mining area [J]. *Acta Geologica Sinica*, 2013,87(3): 384-392.

Main Problems and Countermeasures of Exploration and Development of Coal under Aluminum in Shanxi

Zhang Yaning¹, Liu Hanbin^{1,2}

(1. Institute of Resources and Environmental Engineering, Shanxi University, Taiyuan, Shanxi, China; 2. Shanxi Coal Geological Bureau, Taiyuan, Shanxi, China)

Abstract: Shanxi is a large bauxite province in China, but the shallow bauxite resources are increasingly depleted, and the exploration and development of aluminum under the coal is receiving increasing attention. Based on the analysis of the existing data and geological characteristics of Shanxi bauxite, this paper analyzes in detail the difficulties and problems in the exploration and development of aluminum in Shanxi coal. It was found that the aluminum in Shanxi coal was mainly distributed in the Yuxian-Shouyang-Zuoquan area and the east of Xiaoyi-Yangquanqu, Ningwu-Jingle and Pinglu. The thickness of the ore body is about 1 ~ 3 m, and the aluminum-silicon ratio is about 5. Generally it is mainly lamellar, a few are lenticular and funnel-shaped. There are three difficulties in the development and utilization of Shanxi coal under aluminum. The first is the occurrence characteristics, mineralization regularity and unclear resources of the aluminum ore body under coal. Second, coal and aluminum heavy mining rights overlap, and there is a lack of unified exploration specifications and budget standards. Third, the hydrogeological conditions and mining technology of aluminum under coal are complicated. At different stages of a coal mine, the investigation of aluminum under coal should be strengthened. In the exploration stage, the logging data and borehole histograms should be fully used to delineate favorable metallogenic areas. The exploration and supplementary survey phase requires multiple holes and multiple uses to increase the sampling and control of the bauxite deposits under the coal. The development and utilization of aluminum under the coal must be considered in the production of the coal mine roadway driving and mining face layout. To close a coal mine, comprehensive collection of borehole data, hydrology, structure, water accumulation data in gas and goaf areas, and laboratory bauxite mineralization data should be conducted to calculate the amount of resources covered by the mine. And design development plans according to mining and development conditions.

Keywords: Shanxi; Aluminum under coal; Survey; Exploitation and development