



黑龙江省硒矿资源潜力初步评价

马江水¹, 庞雪娇²

1. 黑龙江省自然资源调查院, 黑龙江 哈尔滨 150036;

2. 中国地质调查局 沈阳地质调查中心, 辽宁 沈阳 110034

摘要: 在对国内外硒矿资源成矿地质条件、控矿因素等系统总结的基础上, 对黑龙江省可能的伴生硒矿资源进行了筛选, 采用GIS技术, 对伴生硒矿进行了初步评价, 并对伴生硒矿、独立硒矿成矿潜力进行了综合分析, 为黑龙江省硒异常源追踪提供科学依据。研究认为, 黑龙江省硒矿资源找矿潜力较大, 应进一步加强硒矿资源研究开发工作。

关键词: 伴生硒矿; 资源预测; 潜力评价; 黑色岩系; 化探异常; 黑龙江省

PRELIMINARY EVALUATION OF SELENIUM RESOURCES POTENTIAL IN HEILONGJIANG PROVINCE

MA Jiang-shui¹, PANG Xue-jiao²

1. Heilongjiang Institute of Natural Resources Survey, Harbin 150036, China; 2. Shenyang Center of China Geological Survey, Shenyang 110034, China

Abstract: Based on the systematic summary of metallogenic geological conditions and ore-controlling factors of selenium resources at home and abroad, the paper screens the potential associated Se resources in Heilongjiang Province, makes a preliminary evaluation of associated Se through GIS, and comprehensively analyzes the metallogenic potential of associated and independent Se deposits, to provide scientific basis for Se anomaly source tracing in the province. It is considered that Se resources in the study area have great prospecting potential, requiring further research and development.

Key words: associated selenium deposit; resources prediction; potential evaluation; black rock series; geochemical anomaly; Heilongjiang Province

0 引言

硒(Se)是一种典型稀有分散元素, 同时又是人类和动物生命中不可缺少的微量元素, 在自然界分布很广, 但在地壳中丰度很低, 常以共、伴生矿种产出。

硒矿床分为独立硒矿床和伴生硒矿床两大类。根

据硒的主要来源将伴生硒矿床又划分为以下几种工业类型: 岩浆型(Cu-Ni 硫化物矿床)、斑岩型(Cu 矿床和Cu-Mo 矿床)、夕卡岩型(Cu、Fe 矿床)、海底喷流型(硫化物矿床)、火山沉积型(黄铁矿矿床)、热液型(U-Hg-Mo-V 多金属矿床、Cu 矿床、Pb-Zn 矿床、金矿床)、沉

收稿日期: 2021-12-17; 修回日期: 2022-01-04. 编辑: 张哲.

基金项目: 中央基金项目“黑龙江省农业地质调查”(1212010511217), “黑龙江省矿产资源潜力评价”(1212010633901、1212010813008、1212010881613、1212011121006); 黑龙江省财政基金项目“黑龙江省多目标区域地球化学调查”(CZTR20080103).

作者简介: 马江水(1969—), 男, 高级工程师, 主要从事地质矿产研究工作, 通信地址 黑龙江省哈尔滨市中山路 65 号, E-mail//505319505@qq.com

通信作者: 庞雪娇(1984—), 女, 硕士, 高级工程师, 主要从事地质矿产、侵入岩地质研究, 通信地址 辽宁省沈阳市皇姑区黄河大街 280 号, E-mail//pangxjsy@foxmail.com

积型(黑色页岩、碳质硅质页岩、煤、磷块岩等矿床)^[1]。

硒矿伴生于金矿床、银矿床、铜矿床、汞矿、铀矿等多种矿床中^[2]。典型金矿床如西秦岭寒武系中的拉尔玛、邛莫层控金矿床,矿床中广泛存在硒的独立矿物和硒以类质同象形式进入硫化物晶格的现象,说明金以硒络合物形式迁移,并导致了金、硒的共同富集^[3];硒还以类质同象赋存于黄铁矿、方铅矿、紫硫镍矿等硫化物中或者被有机物所吸附。

湖北恩施渔塘坝硒矿是目前我国发现的唯一硒品位高达 $8\,590\times 10^{-6}$ 的小型独立硒矿床,属沉积-再造型层控矿床,除主要富集 Se 元素外,其他如 Mo、Cd、V、Co 等也有较高的富集,稀土元素总量低,轻稀土略显富集^[4]。

黑龙江省矿产资源丰富,包括斑岩型、岩浆热液型、夕卡岩型、火山热液型、蚀变岩型、变质改造型、沉积型等。目前,伴生有硒矿床 4 处,已查明伴生硒总储量为 1 684 t,储量居全国前 4 位^①。因此,对硒矿资源潜力预测意义重大。

1 黑龙江省与硒矿相关的矿床筛选

1.1 硒元素的迁移富集和成矿类型

硒是一种典型的半金属元素,在地球陆壳中丰度为 $0.05\times 10^{-6}\sim 0.09\times 10^{-6}$ ^[5],通常极难形成工业富集。硒的赋存状态大体可分为 3 类:一以独立矿物形式存在,二是以类质同象形式存在,三以黏土矿物吸附形式存在^[6]。硒与硫结晶化学和某些地球化学性质颇为相似,属强亲铜元素。硒广泛分布于地壳中,硒的元素丰度不及硫丰度的千分之一,故硒易取代硫化物中的硫而不易形成硒化物^[1,3,7-9];硒的独立矿物在自然界中分布极少,主要呈类质同象分布于硫化物或硫酸盐矿物中^[1]。非富硒表层土壤有机碳、CaO 含量与硒含量呈正相关性,反映了高硒层区的多因素富集特征,pH 值与硒含量无明显关系^[10]。硒在金属硫化物中可以类质同象形式存在,亦可以微细粒的硒矿物包裹体存在^[11]。硒在地表的各类岩石中分布极不均匀。据统计,变质岩硒的含量最高,约为 $0.031\times 10^{-6}\sim 0.131\times 10^{-6}$;其次为沉积岩,约为 $0.028\times 10^{-6}\sim 0.118\times 10^{-6}$;最低为岩浆岩,为 $0.059\times 10^{-6}\sim 0.0108\times 10^{-6}$ 。在三大岩类中,不同岩石类型硒的含量也不相同^[2]。

综合世界、中国和黑龙江省硒矿资源迁移富集特征、成矿地质条件、成因类型等因素,将黑龙江省与硒矿相关的矿床预测类型分为 7 类:火山热液-岩浆型铜(镍)矿、夕卡岩型铅锌(钼)多金属矿、(层控型构造蚀变岩型)岩金矿、(低硫型)煤矿、(硫)铁矿、热液型铀(汞金银)矿、(碳质硅质)沉积碎屑型独立硒矿。可根据矿床预测类型不同,总结硒矿资源预测条件、重要控矿因素和成矿期,并对黑龙江省目前可统计的矿产资源进行分类筛选。

1.2 独立硒矿预测的必要条件

中国的滨海相碳质建造,从下震旦统一二叠统可分为 4 个层位的碳质岩系(黑色岩系),其不但是硒的矿源层,而且是硒的初始富集层或工业富集层。它们与有机质及炭质对硒吸附富集作用有关。现已知秦岭、新疆和南方诸省的石煤中有较高的含硒量,这些地区可能找到沉积类型的独立硒矿床及沉积改造型伴生矿床^[12]。因此,结合硒矿的迁移富集和国内独立改造型硒矿特点,将滨海碳质岩建造的碳质硅(质)岩、碳质页岩、碳质板岩等黑色岩系作为独立硒矿预测的必要条件。

1.3 伴生硒矿资源预测的重要条件

中国夕卡岩类矿床,尤其是铜矿床,在其形成阶段常可形成伴生硒(属强亲铜元素)矿床。因此,在开发夕卡岩型金属矿产时,务必测试硒元素,这应成为寻找大批硒矿床的重要步骤^[12]。另据刘家军等^[13]对层控金矿床中金-硒共生理的研究成果:矿床中广泛存在硒的独立矿物和硒以类质同象形式进入硫化物晶格的现象,说明金以硒络合物形式迁移,并导致了金、硒的共同富集。由此,夕卡岩类金属矿床、层控型金矿、构造蚀变型金矿作为伴生硒矿预测的重要条件是合理的。

1.4 硒成矿预测的重要控矿因素及成矿期

无论在地块区或造山带,均有伴生硒矿床的形成,并与中国的铜、镍、钼、铅锌、钨、铋、钴、锑、汞、铀、镓、铟、镉、金等共生^[12]。主要分布在华北板块边缘、扬子板块边缘、喀喇昆仑-三江成矿带等地^[14]。成矿空间定位于古亚洲构造系与滨海太平洋构造系的复合叠加部位。

伴生硒矿具多期性成矿的特点,始于加里东期,而后经历华力西期、印支期,止于燕山期;沉积型硒矿床

① 黑龙江省地质调查研究总院. 黑龙江省矿产资源潜力评价报告. 2013.

成生于二叠纪中期;硒矿泉水形成于喜马拉雅期。

1.5 矿床筛选

据以上条件,采用黑龙江省矿产资源潜力评价成果对全省目前可统计的矿产资源进行分类筛选,共筛选出 285 处矿床、矿点,其中夕卡岩型金属矿床 31 处(大型 3 处、中型 5 处);铜(镍)矿 18 处(大型特大型各 1 处、中型 1 处);(硫)铁矿 32 处(大型 1 处、中型 6 处);热液型铀(汞银)矿 2 处(小型);(低硫)煤矿 106 处;岩金矿 66 处(大型 5 处、中型 6 处);钼铅锌多金属矿 28 处(特大型 1 处、大型 1 处、中型 4 处)。

2 黑龙江省伴生硒矿资源预测及潜力分析

2.1 伴生硒矿预测方法

借鉴池顺都等应用 GIS 进行矿产资源潜力研究^[15]和大兴安岭呼中地区矿产资源开发利用潜力分析方法^[16],筛选和确定符合黑龙江省伴生硒矿找矿潜力的相关矿床,分别赋予其权重值;综合分析确定权重值高的填图单元为基本预测单位,应用 GIS 技术在相应地质矿产图中筛选和圈定其潜力区面积;在此基础上对已发现伴生硒矿的矿区外围按预测面积和相应的成矿条对其储量进行计算和预测,未发现硒矿的不进行储量预测,可作为中大比例尺矿调或预查区部署的重要参考依据。

2.2 预测权重赋值

伴生硒矿权重值除考虑相关矿种、成矿规模、成因类型外,增加含硫特征、硒矿化权重值、地质因素(岩性组合)、化探因素,其权重值如下。

相关矿种:最高 10 分,其中铜 10 分、镍 9 分、岩金 9 分、钨 9 分、钼 8 分、铅锌 7 分、锑锡 6 分、硫铁 10 分、铁 8 分、铀 7 分、汞银 6 分、独立硒矿 10 分。

矿产规模:最高 5 分,其中特大型 5 分、大型 4 分、中型 3 分、小型 2 分、矿点 1 分。

成因类型:最高 15 分,其中夕卡岩型 15 分、沉积变质型 10 分、构造蚀变岩型 10 分、斑岩型 8 分、其他类型 5 分。

硫含量特征:高硫 0 分,低硫 5 分,不确定 1 分。

矿物特征:相关矿物以类质同象的主要矿物组合的最高为 5 分,如常见含硒的黄铁矿、辉钼矿、硫铁矿、硫钴矿、方铅矿、辉铋矿、黄铜矿、重晶石、赤铁矿、玉髓、石英、水云母及褐铁矿等,出现 1 种为 0.5 分。

有无硒矿矿化:见硒矿达到工业品位的 20 分,矿化品位的 18 分,不确定的 5 分。

地质因素:包括岩性组合与硒矿的关系(有利的 5 分、较有利的 3 分、不确定的 1 分),地质构造是否有利(有利 15 分、较有利 10 分、不确定 5 分)。

化探因素:有无硒土壤异常(附近有化探资料且经初步分析与成矿相关的 20 分,可能相关的 15 分,不确定的 5 分,作过相关化探工作无异常的 0 分)^{①②③④}。

2.3 伴生硒矿矿产地找矿潜力分析

结合硒的迁移富集特征,依据国内外伴生硒矿的成矿地质条件及成矿预测的必要条件、重要条件等将已发现的相关矿床进行综合评价,将其划分为硒矿找矿的高潜力矿床、中潜力矿床、低潜力矿床,依据实践经验“大型、中型矿床外围具有较大的找矿潜力,小型矿床次之,矿点矿化点更小”^[15]及其他相关条件确定伴生硒矿和独立硒矿的潜力分析评价权重值。

据全国矿产资源评价结果,对黑龙江现已发现的与硒伴生的矿产地或可能伴生的矿产地进行综合评分,总评分在 55 分以上(含 55 分)的为Ⅰ类高潜力伴生硒矿床,44~55 分(不含 55 分)为Ⅱ类中潜力伴生硒矿床,30~43.5 分的为Ⅲ类低潜力伴生硒矿床。对 884 处矿产地进行评价,共划分Ⅰ类矿床 57 处、Ⅱ类矿床 103 处、Ⅲ类矿床 125 处。由表 1 可看出:Ⅰ类高潜力矿床占全省矿床总比例仅为 6.45%,Ⅱ类、Ⅲ类分别占 11.65%和 14.14%。总体分析铜、金及多金属矿所占比例较大,煤及非金属矿受研究程度影响,其成矿潜力不确定性较大。

2.4 伴生硒矿预测潜力区分布面积及硒资源量预测

依据黑龙江省矿产资源潜力评价结果^⑤,分别选取Ⅰ类、Ⅱ类典型伴生硒矿 8 处和 7 处进行硒矿资源潜力区预测。Ⅰ类中已发现硒矿化的 5 处矿床可信度

①崔玉军,等.黑龙江省三江平原土壤碳库分布规律研究报告. 2012.

②崔玉军,等.黑龙江省多目标区域地球化学调查报告(宾县-延寿地区). 2010.

③崔玉军,等.黑龙江省区域生态地球化学评价报告(松嫩平原南部). 2010.

④崔玉军,等.黑龙江省多目标区域地球化学调查报告(海伦-庆安地区). 2014.

⑤黑龙江省地质调查研究院.黑龙江省矿产资源潜力评价报告. 2013.

为 1, 未发现硒矿化或未进行硒矿勘查工作的可信度为 0.7; II 类典型矿床预测区可信度均为 0.5. 由预测面积数乘以可信度得到可信面积, 预测黑龙江省伴生硒矿分布面积为 74 097.91 km². 预测增加资源量为 1 106.2 t. 详见表 2.

综合来看, 伴生硒矿预测潜力区面积较大, 其下游多发现有大面积分布的硒高值区(或异常区).

3 黑龙江省独立硒矿资源潜力区分析

3.1 独立硒矿资源潜力区确定及预测方法

结合国内外独立硒矿的成矿必要条件、控矿因素、控矿构造等特征综合分析, 黑龙江省独立硒矿资源具有一定的潜力. 形成独立硒矿的控矿地质体和必要条件为“含有黑色岩系的地层”, 如湖北渔塘坝、双河硒矿与碳酸盐台地海盆浅部沼泽环境的黑色碳质硅质相带

表 1 黑龙江省伴生硒矿资源潜力评价分类表

Table 1 Classification by potential evaluation of associated Se resources in Heilongjiang Province								
类别	矿产总数	占全省比例	铜矿	金矿	多金属矿	煤及非金属	硒矿化异常比例	评分
I	57	6.45%	5	3	16	33	11.23%	≥55
II	103	11.65%	6	11	18	68	1.4%	44~55
III	125	14.14%	7	54	59	5	0	30~44
合计	285	32.24%	18	68	93	106	12.63%	

注:黑龙江省矿产资源评价中总数为 884 处.

表 2 黑龙江省预测伴生硒矿潜力区及硒资源量预测结果

Table 2 Predicted associated Se potential areas and resources prediction in Heilongjiang Province							
矿床编号	类别	构造单元	预测面积/km ²	可信度	可信面积/km ²	预测矿石总量/t	预测资源量/t
104	I	多宝山岛弧(嫩江-黑河)	144.87	0.7	101.409		
245	I	呼玛弧后盆地	2 342.16	0.7	1 639.512		
176	I	伊春陆表海	6 849.73	1	6 849.73	72 639.75	145.3
251	I	伊春陆表海	14 234.46	1	14 234.46	2 598.68	5.2
276	I	铁力陆缘海	5 552.42	0.7	3 886.69		
389	I	铁力陆缘海	8 770.79	1	8 770.79	477 875.2	955.8
393	I	张广才岭火山弧	7 861.30	1	7 861.3		
121	II	多宝山岛弧(嫩江-黑河)	14 440.13	0.5	7 220.065		
119	II	多宝山岛弧(嫩江-黑河)	7 722.11	0.5	3 861.055		
192	II	太平沟俯冲带	4 179.34	0.5	2 089.67		
311	II	兴东变质基底	10 531.76	0.5	5 265.88		
289	II	完达山结合带(饶河)	14 886.61	0.5	7 443.305		
500	II	绥阳岩浆弧(宝清)	17 521.46	0.5	8 760.73		
合计			115 037.1		74 097.91	553 113.63	1 106.2

注:已发现硒的 I 类矿床,按铜镍矿床的硫化矿石中伴生硒矿品位 0.002%计算预测资源量. 表中数据分别引自黑龙江省矿产资源潜力评价报告表 7-2-35、7-4-63、7-4-64.

关系密切^[2,17]。据刘家军等^[1]介绍,伴生硒矿中的沉积型(黑色页岩、碳质硅岩、煤、磷块岩等矿床)与低硫煤矿相关。黑龙江省煤炭资源丰富,且多为低硫型,在特殊地质条件下硒能否独立成矿也值得研究,也可以将其作为硒独立成矿的必要条件来分析。迟凤琴等^[18]研究成果表明,小兴安岭黑河地区土壤中硒含量最高,变异系数较高。黑龙江省松嫩平原南部多目标区域地球化学图集表明,松嫩平原的边缘地带深层富硒土壤大面积分布^①,这也进一步说明松嫩平原的山前地带及上游山区发现硒矿的可能性较大。土壤化探异常可作为独立硒矿预测的附加条件。

依据上述必要条件和附加条件在地质图上筛选符合条件的基本潜力预测单元——含有黑色岩系组合填图单位,计算其面积;再依据土壤化探异常分布对其可信度进行评价。将可信度高的潜力区作为中大比例尺矿调或预查区部署的重要参考依据。作者在绥化北部从事富硒异常源追踪工作时,在富硒异常区上游嫩江组沉积地层中发现有富硒层位,富硒土壤与其关系密切^②,也进一步说明利用有无富硒土壤分布作为其可信度评价是合理的。

3.2 独立硒矿资源潜力预测

依据《黑龙江省岩石地层》^[19]资料对黑龙江省黑色岩系进行了初步统计(表3)。由表3可以看出:共有35个填图单位见有黑色岩系,结合地质与化探图分析,其中19个填图单位分布区下游均出现富硒土壤化

探异常,因此将其可信度确定为0.55。据黑龙江省潜力评价相关图件,应用GIS软件进行分类统计,35个与独立硒矿相关的黑色岩系总面积6 352.8 km²,可信面积为3 494.04 km²;煤系地层总面积为30 732.4 km²,可信面积因目前所取煤炭样品中未发现有硒矿化而难以确定。按可信面积预测,黑龙江省硒资源量(已探明资源量1 680 t^[20])增幅较大。

4 结论

1)经初步评价,黑龙江省伴生硒矿资源预测潜力区面积74 097.2 km²,独立硒矿预测潜力区面积6 352.8 km²(不含煤系地层,可信面积为3 494.04 km²)。

2)从相关构造单元分析,小兴安岭和完达山地区是寻找伴生硒矿的首选,地块接合部、构造拼贴带、混杂岩带、裂谷带等构造活动地带是寻找伴生硒矿的重要部位。找矿靶区或重点找矿工作区应放在这些构造单元中岩浆活动边缘与黑色岩系接触带附近。

3)独立硒矿控矿地质体主要为含黑色岩系的地层,控矿岩性为黑色碳质硅质岩、黑色碳质板岩。黑龙江省大面积的黑色岩系与富硒化探异常分布相关的地区是寻找独立硒矿的重要潜力区。在富硒化探异常区布置地质工作时,应增加硒矿的调查。

参考文献(References):

[1] 刘家军,冯彩霞,郑明华. 硒矿资源研究现状[J]. 世界科技研究与

表3 黑龙江省黑色岩系分布表

Table 3 Distribution of black rock series in Heilongjiang Province

类别	填图单位	位置	备注
硅质岩	大佳河组(T ₂ -J ₁ d)、大岭桥组(T ₃ J ₁ dl)、大民山组(D ₂ -s ₃ d)、哲斯组(P ₂ z)	完达山东部饶河-蛤蟆顶子,呼玛县五道沟和嫩江、德都	
碳质页岩	铅山组(Є ₃ q)、五星镇组(Є ₃ w)、宏川组(D ₂ hg)	伊春、铁力地区	发现有伴生硒矿床
碳质板岩	小北湖组(D ₂)、正沟岩组(Pt ₂ z)、三义沟组(Є ₃ s)、新兴岩组(Є ₃ -O)、根里河组(D ₂ -s ₃ g)、焦布勒石河组(Є ₃ j)	牡丹江宁安海林地区、张广才岭地区、呼玛、黑河、兴隆地区	张广才岭一带发现伴生硒矿床
煤	珍子山组(C ₃ P ₂ z)、七林河组(J ₂ q)、漠河组(J ₂ m)、滴道组(J ₃ dd)、穆棱组(K ₂ m)、城子河组(K ₂ c)、猴石沟组(K ₂ h)、九峰山组(K ₂ j)、西岗子组(K ₂ x)等共13个组	松嫩平原、三江平原及煤系盆地	
煤及油页岩	嫩江组(K ₂ nn)、虎林组(Eh)	松嫩平原山前地带、鸡虎盆地、依兰县等地	

注:此表依据1997年版黑龙江省岩石地层^[19]统计。

①崔玉军,等. 黑龙江省区域生态地球化学报告(松嫩平原南部). 2010.

②黑龙江省两大平原土壤环境调查绥化地区富硒异常追踪工作总结. 2016-2017.

- 发展, 2001, 23(5): 16-21.
- Liu J J, Feng C X, Zheng M H. The studying situation on selenium resource and its exploiting and utilizing prospect[J]. World Sci-Tech R & D, 2001, 23(5): 16-21.
- [2]李静贤, 刘家军. 硒矿资源研究现状[J]. 资源与产业, 2014, 16(2): 90-97.
- Li J X, Liu J J. Advances in selenium resource study[J]. Resources & Industries, 2014, 16(2): 90-97.
- [3]冯彩霞, 刘家军, 刘森, 等. 硒资源及其开发利用概况[J]. 地质与资源, 2002, 11(3): 152-156.
- Feng C X, Liu J J, Liu S, et al. An outline of selenium resources and its exploitation and utilization[J]. Geology and Resources, 2002, 11(3): 152-156.
- [4]姚林波, 高振敏, 杨竹森, 等. 渔塘坝硒矿床富硒硅质岩的成因[J]. 中国科学(D辑), 2002, 32(1): 54-63.
- Yao L B, Gao Z M, Yang Z S, et al. Genesis of Se-rich siliceous rocks in Yutangba selenium deposit[J]. Science in China (Series D), 2002, 32(1): 54-63. (in Chinese)
- [5]姚林波, 高振敏, 龙洪波. 分散元素硒的地球化学循环及其富集作用[J]. 地质地球化学, 1999, 27(3): 62-67.
- Yao L B, Gao Z M, Long H B. Dispersed element selenium: Its geochemical cycle and enrichment[J]. Geology-Geochemistry, 1999, 27(3): 62-67.
- [6]温汉捷, 裴愉卓. 拉尔玛硒-金矿床元素有机/无机结合态及硒的赋存状态研究[J]. 中国科学(D辑), 1999, 29(5): 426-432.
- Wen H J, Qiu Y Z. Organic and inorganic occurrence of selenium in Laerma Se-Au deposit[J]. Science in China Series D: Earth Sciences, 1999, 42(6): 662-669.
- [7]刘英俊, 曹励明. 元素地球化学导论[M]. 北京: 地质出版社, 1987: 244-257.
- Liu Y J, Cao L M. Introduction to elemental geochemistry [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1987: 244-257. (in Chinese)
- [8]Simon G, Essene E J. Phase relations among selenides, sulfides, tellurides, and oxides: I, Thermodynamic properties and calculated equilibria[J]. Economic Geology, 1996, 91(7): 1183-1208.
- [9]Simon G, Kesler S E, Essene E J. Phase relations among selenides, tellurides, and oxides: II, Applications to selenide-bearing ore deposits[J]. Economic Geology, 1997, 92(4): 468-484.
- [10]杨良策, 李明龙, 杨廷安, 等. 湖北省恩施市表层土壤硒含量分布特征及其影响因素研究[J]. 资源环境与工程, 2015, 29(6): 825-829, 848.
- Yang L C, Li M L, Yang T A, et al. Study on distribution characteristics of selenium content of surface soil and its influencing factors in Enshi City, Hubei Province [J]. Resources Environment & Engineering, 2015, 29(6): 825-829, 848.
- [11]梁有彬, 朱文凤, 王宗学. 我国黑色岩系中硒矿资源及其前景分析[J]. 矿产与地质, 1994(4): 266-272.
- Liang Y B, Zhu W F, Wang Z X. Analysis of selenium resources and its prospect in black rock series in China[J]. Mineral Resources and Geology, 1994(4): 266-272. (in Chinese)
- [12]彭大明. 中国硒矿资源概述[J]. 化工矿产地质, 1997, 19(1): 36-42.
- Peng D M. Selenium Resources of China: An Outline [J]. Geology of Chemical Minerals, 1997, 19(1): 36-42.
- [13]刘家军, 郑明华, 刘建明. 拉尔玛-邛莫层控金矿床中金-硒共生机理[J]. 矿床地质, 1998, 17(S1): 311-314.
- Liu J J, Zheng M H, Liu J M. Mechanism of gold-selenium symbiosis in Larma-Qiongmoguo stratabound gold deposit [J]. Mineral Deposits, 1998, 17(S1): 311-314. (in Chinese)
- [14]陈炳翰, 丁建华, 叶会寿, 等. 中国硒矿成矿规律概要[J]. 矿床地质, 2020, 39(6): 1063-1077.
- Chen B H, Ding J H, Ye H S, et al. Metallogenic regularity of selenium ore in China[J]. Mineral Deposits, 2020, 39(6): 1063-1077.
- [15]池顺都, 赵鹏大, 刘粤湘. 应用GIS研究矿产资源潜力——以云南澜沧江流域为例[J]. 地球科学, 1999, 24(5): 493-497.
- Chi S D, Zhao P D, Liu Y X. Mineral resources potential study by using GIS: With the case study on Lancangjiang River region [J]. Earth Science, 1999, 24(5): 493-497.
- [16]马江水, 尤福珍, 李仰春. 大兴安岭呼中地区矿产资源开发利用潜力分析[J]. 地质与资源, 2006, 15(1): 38-41.
- Ma J S, You F Z, Li Y C. Analysis on the developing potential of mineral resources in Huzhong, Daxinganling Region [J]. Geology and Resources, 2006, 15(1): 38-41.
- [17]宋成祖. 鄂西南渔塘坝沉积型硒矿化区概况[J]. 矿床地质, 1989, 8(3): 83-89.
- Song C Z. A brief description of the Yutangba sedimentary type selenium mineralized area in southwestern Hubei [J]. Mineral Deposits, 1989, 8(3): 83-89.
- [18]迟凤琴, 徐强, 匡恩俊, 等. 黑龙江省土壤硒分布及其影响因素研究[J]. 土壤学报, 2016, 53(5): 1262-1274.
- Chi F Q, Xu Q, Kuang E J, et al. Distribution of selenium and its influencing factors in soils of Heilongjiang Province, China [J]. Acta Pedologica Sinica, 2016, 53(5): 1262-1274.
- [19]黑龙江省地质矿产局. 黑龙江省岩石地层[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1997.
- Heilongjiang Bureau of Geology and Mineral Resources. Heilongjiang rock formation [M]. Wuhan: China University of Geosciences Press, 1997. (in Chinese)
- [20]吴荣庆. 保护利用我国硒矿资源[J]. 中国金属通报, 2009(14): 34-35.
- Wu R Q. Protection of selenium resources in China [J]. China Metal Bulletin, 2009(14): 34-35. (in Chinese)