

文章编号: 1004-4051(2024)04-0039-12

DOI: 10.12075/j.issn.1004-4051.20240477

中国硒矿的矿床类型、分布与资源潜力

王冠智^{1,2}, 刘家军^{1,2}, 柳振江^{1,2}, 汪 啸^{1,2}, 张 斌^{1,2},
王泽琳^{1,2}, 汪林炜^{1,2}

(1. 中国地质大学(北京)地质过程与矿产资源国家重点实验室, 北京 100083;
2. 中国地质大学(北京)地球科学与资源学院, 北京 100083)

摘要: 作为战略性新兴矿产之一的硒, 在电子、化工、医学、半导体、光伏、空间探测等产业的众多领域都有重要的应用。目前, 中国的硒资源供需矛盾十分突出, 摸清中国硒资源的家底, 合理利用和开发硒资源, 是保障国家硒资源战略安全, 推动相关产业高质量发展的关键。本文对中国 92 个硒矿床进行了资料收集与整理, 归纳总结了我国硒矿床的成因类型与时空分布特征, 分析了硒资源潜力。研究表明: 中国硒矿床的成因类型主要为岩浆熔离型、矽卡岩型、斑岩型、岩浆热液型、海相火山岩型、陆相火山岩型、浅成中低温热液型、化学或生物化学沉积型; 中国硒矿床自元古代到新生代均有产出, 但大部分集中在中生代, 其次是晚古生代和早古生代, 其他时代的硒矿床数量较少。根据中国硒矿床的矿床类型、分布特征, 划分南阿尔泰-北准噶尔、东天山、阿拉善、北祁连、西秦岭南亚带、东秦岭、湘鄂西-黔中南以及长江中下游共 8 个中国潜在硒矿资源矿集区。

关键词: 战略性矿产; 硒资源; 资源储量; 硒矿类型; 成矿时代

中图分类号: TD-0; P617 **文献标识码:** A

Types, distribution and resource potential of selenium deposits in China

WANG Guanzhi^{1,2}, LIU Jiajun^{1,2}, LIU Zhenjiang^{1,2}, WANG Xiao^{1,2}, ZHANG Bin^{1,2},
WANG Zelin^{1,2}, WANG Linwei^{1,2}

(1. State Key Laboratory of Geological Processes and Mineral Resources, China University of Geosciences(Beijing),
Beijing 100083, China;

2. School of Earth Sciences and Resources, China University of Geosciences(Beijing), Beijing 100083, China)

Abstract: Selenium is one of the strategic emerging minerals with significant applications in various industries, including electronics, chemicals, medicine, semiconductors, photovoltaics, and space exploration. However, there is a severe supply-demand contradiction in China's selenium resources. Further exploring the reserves of selenium resources and reasonably utilizing and developing of selenium resources are crucial for ensure the security of national selenium resources and promote related industries towards high-quality development. This paper compiles data on 92 selenium deposits in China, providing insights into its genetic types, spatiotemporal distribution characteristics, and resource potential. Genetic types of selenium deposits in China encompass magmatic molten, skarn, porphyry,

收稿日期: 2024-03-26 责任编辑: 刘硕

基金项目: 中国地质调查局地质调查项目“中国地质矿产志”资助(编号: DD20221695, DD20190379-87); 国家自然科学基金重大研究计划项目资助(编号: 92062219)

第一作者简介: 王冠智(1998—), 男, 博士研究生, 主要从事矿床学与矿床地球化学研究工作, E-mail: 1661893627@qq.com。

通讯作者简介: 刘家军(1963—), 男, 教授, 主要从事矿床学、矿床地球化学与区域成矿学的教学与科研工作, E-mail: liujiajun@cugb.edu.cn。

引用格式: 王冠智, 刘家军, 柳振江, 等. 中国硒矿的矿床类型、分布与资源潜力[J]. 中国矿业, 2024, 33(4): 39-50.

WANG Guanzhi, LIU Jiajun, LIU Zhenjiang, et al. Types, distribution and resource potential of selenium deposits in China[J]. China Mining Magazine, 2024, 33(4): 39-50.

magmatic hydrothermal, marine volcanic rock, continental volcanic rock, epi-medium-low-temperature hydrothermal, and chemical or biochemical sedimentary types. Selenium deposits in China formed from the Proterozoic period to the Cenozoic period, predominantly concentrated in the Mesozoic period, followed by late Paleozoic period and early Paleozoic period. In other periods, the number of selenium deposits is relatively scarce. There are eight potential selenium deposit districts include South Altay-North Junggar, Eastern Tianshan, Alxa, Northern Qilian, South Subzone of Western Qinling, Eastern Qinling, Western Hunan-Hubei and Central-Southern Guizhou, and Middle-Lower Yangtze Valley divided based on the types and distribution characteristics of selenium deposits in China.

Keywords: strategic mineral; selenium resource; resource reserve; type of selenium deposit; metallogenic period

硒是战略性新兴矿产之一,是典型的半金属元素,在电子、玻璃、陶瓷、冶金、化工、农业、医学以及其他新兴产业的众多领域都有着重要的应用和价值,并且硒在抗氧化、解毒排毒、防癌抗癌等维持人体健康方面也发挥着巨大的功效,具有广阔的消费领域和巨大的应用前景。2012—2022年,中国硒资源年产量逐年上升,在全球总产量的占比从 22.12% 上升到 40.63%,已经成为世界最大的硒生产国之一。国内硒资源市场需求旺盛,产量远远达不到国内硒消费量的需求,供需矛盾突出,近十年间硒的供需缺口 669~1 749 t^[2]。因此,加强硒矿的勘查开发是保障国家硒资源安全的重要任务。

本文通过对中国主要硒矿床矿产地、资源储量等资料进行收集和整理,对中国硒矿床的矿床类型、分布特征、潜在分布区,以及找矿预测进行初步总结归纳,为进一步摸清中国硒资源家底,合理利用和开发硒资源,保障国家硒资源战略安全,推动相关产业高质量发展提供重要依据。

1 中国硒矿资源现状

中国具有世界独特的硒资源分布特征,既有点状分布的富硒高硒区,又有连片的缺硒带^[1]。对含硒等稀散元素的矿床研究最早始于 20 世纪 50 年代对有色金属矿床的研究。自 20 世纪 80 年代中期以来,在湖北、贵州、甘肃、四川等地相继发现了一些含稀散元素的金属矿床。目前,在全国 23 个省(区)已探得硒矿产地 90 多处,其中以贵州、新疆、湖北、湖南、甘肃等省份硒矿数量较多,安徽、黑龙江、陕西、河北、内蒙古、青海、辽宁、四川、云南、福建、广西、吉林、山西、浙江、广东、江苏、山东等省(区)也有硒矿产出。

截至 2018 年底,中国累计探明硒资源储量达 1.84 万 t^[4],随着国内金属矿床的持续开采,硒资源的保有储量出现明显下降。按照自然资源部发布的数据,硒资源保有储量 2020 年为 6 051.79 t,2021 年仅存 3 362.08 t^[5],2022 年中国硒资源保有储量虽有所回升,达到 5 015.22 t,但也无法满足国内硒资源的市场需

求,中国硒资源依然存在着十分突出的供需矛盾。

2 中国硒矿类型

硒在地壳中的含量很低,克拉克值仅为 0.05×10^{-6} ,且多以分散状态存在,难形成独立硒矿床,目前,国内已知的唯一一个独立硒矿床为湖北恩施渔塘坝硒矿,是一个典型的沉积型独立硒矿床。大部分硒均是以伴生元素的形式赋存在其他元素矿床中,作为副产品随着冶炼的过程被综合回收利用,这些伴生硒矿床的硒资源储量约占我国硒资源总储量的 90% 以上。

中国硒矿床(几乎都是伴生硒矿床)的类型多种多样,目前,在工业上能被综合利用的硒矿类型仅有岩浆熔离型、矽卡岩型、斑岩型,这也是中国硒矿床的主要工业类型。对于中国的硒矿床,前人分别从成因、建造、工业等各个角度提出过不同的矿床分类方案^[4-7]。

根据矿床的产状、赋矿围岩、成因等性质,结合前人划分方案并按照硒矿床的主要成矿作用(岩浆作用、含矿流体作用、沉积作用等),将中国硒矿床进一步归纳为 8 种成因类型(表 1)。本次收集的 92 个硒矿床统计结果显示,浅成中低温热液型、矽卡岩型,以及海相火山岩型是我国硒矿床的主要成因类型,其他成因类型根据矿床数量占比依次为岩浆热液型、岩浆熔离型、斑岩型、化学或生物化学沉积型、陆相火山岩型。

2.1 岩浆熔离型

岩浆熔离型铜镍硫化物矿床是中国硒矿床的主要类型之一。矿床的成矿母岩多为辉长岩、辉长闪长岩等,矿体(层)多分布于侵入体的底部,延伸可以从几百平方米到数平方千米^[7]。这类矿床主要组分为镍、铜、硒等,伴生有益组分包括钴、铂、钯、镓等。常见矿物包括黄铜矿、黄铁矿、磁黄铁矿、镍黄铁矿,此外还伴生有磁铁矿、钛铁矿、砷黄铁矿、辉钴矿、针镍矿、碲金矿、碲银矿、碲镍矿等,部分矿床中还可见硒铋矿、硒铅矿等硒的独立矿物产出^[8-9]。

表1 中国硒矿床分类

Table 1 Classification of selenium deposits in China

矿床成因类型	矿产地	主要成矿期	主要分布地区
与岩浆作用有关	岩浆熔离型	朱布、金川、喀拉通克、黑山口北-早草湖、五星、赤柏松、后马场、黑山、红旗岭、黄山、白马寨	华力西期、加里东期、燕山期、晋宁期、喜马拉雅期、
	矽卡岩型	西石门、东方红、夏山、三矿沟、翠宏山、冬瓜山、符山、中关、明礼、杨家杖子、高尔旗、铜峪沟、塔儿山、黄龙铺、银水寺、铜官山	燕山期、印支期、华力西期
	斑岩型	石家湾、金堆城、玉海、大宝山、多宝山、鸡冠咀、铜山口、李家湾、铜山岭、新台门、布敦花	燕山期、加里东期
	岩浆热液型	峙门口、各皂、马拔、水岩坝、巷子口、康家湾、大垄、漂塘、小南山、王家庄、云台山、金山、彩花沟	燕山期、华力西期、加里东期、印支期
	海相火山岩型	小铁山、圭深、红透山、驼峰山、德尔尼、红沟、下沟-下柳沟、胡家峪、小热泉子、可可乃克、达坂城、阿舍勒、平水、青溪	加里东期、华力西期、燕山期、吕梁期、晋宁期
	陆相火山岩型	岭头坪、东流水、李伍	燕山期、吕梁期
与含矿流体作用有关	浅成中低温热液型	(晴隆)大厂、大水沟、纸房、龙塘坳、龙田冲、万山南区、岩屋坪、张家湾、客寨、东坪、徐家山、大铜厂、木瓜岭、大喇喇、荫溪桥、范家山、酒店塘、华阳川、拉尔玛	燕山期、晋宁期、加里东期、喜马拉雅期
与沉积作用有关	化学或生物化学沉积型	干坝沟-找龙坝、渔塘坝、白果园、天门山、德泽	加里东期、华力西期

硒的富集主要发生在岩浆分异作用过程中,当硫化物与硅酸盐岩浆分离,硒会随着硫一起转移,在硫化物熔体中富集。岩浆期后热液活动阶段是硒最主要的迁移活动阶段^[10]。这一阶段中,硒多以类质同象的形式赋存在黄铁矿、黄铜矿、磁黄铁矿、镍矿物等金属硫化物中,并且温度会影响硒类质同象的范围和程度,导致中高温硫化物比低温硫化物要更富集硒。

岩浆熔离型矿床的硒储量规模大小不等。甘肃金川铜镍硫化物矿床中硒储量达到8 177 t^[11],为大型规模;新疆哈密黄山铜镍矿床中硒储量373.64 t^[12],为中型规模。

2.2 矽卡岩型

矽卡岩型硒矿床的主矿种类型较多,包括铁矿、铅锌矿、铜矿、锡矿等,尤以铁矿、铜矿最为典型。矿石组分根据矿种的不同而不同,主要组分为铁、铜、钴、镍、铅、锌、硒等,同时伴生有益组分碲、镉、银、铋、铟、镓等。常见矿物包括黄铁矿、磁铁矿、黄铜矿、磁黄铁矿、闪锌矿、方铅矿等,此外还伴生有针铁矿、斑铜矿、辉铜矿、辉钼矿、赤铁矿、褐铁矿等多种矿物组合类型。

硒多以类质同象形式赋存在黄铜矿、黄铁矿等金属硫化物中,也可以硒铅矿、硒银矿等硒的独立矿物的形式产出。

矽卡岩型矿床硒储量规模以中型、小型为主。内蒙古高尔旗银铅锌矿床中含硒220.56 t^[13],为中型

规模。

2.3 斑岩型

斑岩型硒矿床在成因和空间上与中酸性花岗岩类侵入体等有较密切的联系,矿化作用多与区域内的破裂和共轭裂隙等有关,矿体多呈网脉状或者带状。该类矿床中硒主要以伴生元素出现于斑岩型的铜矿、钼矿等矿床中。

矿石主要组分为铜、钼、硒等,伴生的有益组分包括钴、金、铋等元素。主要矿物包括黄铁矿、黄铜矿、辉钼矿等,此外,还伴生有方铅矿、斑铜矿、闪锌矿、磁黄铁矿、磁铁矿、辉铋矿、白铁矿等多种矿物组合。

矿床中硒通常在成矿晚期矿物中比较富集,其矿化与黄铁矿、黄铜矿、辉钼矿等有密切联系。硒赋存方式以类质同象为主,也有部分以硒铅矿、硒银矿、硒铜银矿、红硒铜矿等独立硒矿物产出^[7,14]。

斑岩型矿床中硒的储量规模以小型为主,中型、大型较少。广东大宝山铜铅锌多金属矿床中硒储量1 380 t^[15],为大型规模;陕西金堆城钼矿床中硒储量429.17 t^[16],为中型规模。

2.4 岩浆热液型

岩浆热液型矿床通常是由成矿流体填充各构造裂隙或交代有利围岩而形成的,多产于构造-岩浆活动带,是中国硒矿床的重要类型之一。

矿石主要组分为铜、金、锡、铅、锌等元素,伴生硒、碲、镓、镉、铟等多种稀散元素,以及铋、银、

砷、汞、钨、钒等组分。主要矿物包括黄铁矿、黄铜矿、自然金、锡石等,伴生磁黄铁矿、闪锌矿、毒砂、斑铜矿、银金矿、辉铋矿、碲铋矿等矿物。

矿床中硒的赋存方式主要是以类质同象的形式赋存于硫化物晶格中,也存在硒银矿、硒铅矿等独立硒矿物。

岩浆热液型矿床中硒储量规模以小型、中型为主,大型较少。新疆彩花沟铜矿床中硒储量 548.12 t^[17],为大型规模;广西马拔铜矿床中硒储量 113.43 t^[18],为中型规模。

2.5 海相火山岩型

海相火山岩型矿床通常与火山成因的细碧角斑岩有关,矿体多呈层状、透镜状、板状产出于火山口附近或者距火山口一定距离处,成矿环境多与拉张汇聚或局部拉张汇聚环境有关^[19]。

矿石主要组分为铜、铅、锌等,伴生硒、金、银等有益组分。矿物主要为黄铁矿、闪锌矿、方铅矿、黄铜矿,次要矿物有毒砂、磁铁矿、辉铜矿、铜蓝、褐铁矿等。

海相火山岩型矿床中硒的赋存方式多以类质同象的形式赋存于黄铁矿、黄铜矿、方铅矿等金属硫化物中,也可以硒铅矿等独立矿物产出^[20]。矿床中硒的储量规模较大。新疆阿舍勒铜锌矿床中硒储量 1 504.2 t^[21],山西胡家峪铜矿床中硒储量 554.35 t^[22],均为大型规模。

2.6 陆相火山岩型

陆相火山岩型矿床多发育在陆相火山岩盆地内,与陆相火山岩-次火山岩在时间、空间和成因上密切相关。矿床中的主要组分为铜、铅、锌等,伴生硒、金、银、钴、镉、铋、钨等组分。常见矿物有黄铁矿、黄铜矿、磁黄铁矿、方铅矿、闪锌矿等,伴生磁铁矿、钛铁矿、方黄铜矿、辉钼矿、碲银矿、毒砂等矿物。

陆相火山岩型矿床中的硒主要以类质同象的形式赋存在金属硫化物中。这类硒矿床的矿床数量较少,硒储量规模不等,达到大型规模的矿床目前仅有四川李伍铜锌矿,硒储量为 524 t^[23]。

2.7 浅成中低温热液型

浅成中低温热液型的金、铜、汞、铋、铅锌甚至铀矿床中都普遍含硒。这类矿床的矿体多呈脉状、透镜状、似层状产于断裂和层间破碎带中。

矿石主要组分因主矿种而不同,常见的主要组分包括有金、铜、锌、汞、铋、铅、铀、硒等,伴生银、钒、砷、钡等多种元素组分。主要矿物及硒的赋存方式因主矿种而不同,常见矿物为黄铁矿、黄铜矿、

闪锌矿、方铅矿、辉铋矿、辰砂、雄黄等,还伴生自然汞、硫铜铋矿、银黝铜矿、辉铜矿、蓝铜矿等矿物组合。

在金-硒矿床中,硒可以独立矿物、类质同象以及微粉的形式存在^[6]。甘肃拉尔玛金矿,含矿岩系是寒武系的灰黑色碳硅质岩建造^[24],燕山期构造运动过程使矿区内热液活动频繁,导致有机质热解,并使富集在有机质中的硒发生活化和迁移,最终在构造有利部位沉淀并形成多种硒的独立矿物^[25]。目前,矿床中硒矿物有硒铅矿、硒汞矿、硒铋矿、硒镍矿、硒铜矿、硒硫铋矿、硒硫铋铜矿、白硒铁矿等,且辉铋矿、块硫铋铜矿、黄铁矿等矿物中也普遍具有较高的硒含量^[25-28]。

在汞-硒矿床中,辰砂常为硒的载体矿物,其次,在闪锌矿、辉铋矿、黑辰砂中也有硒的富集。辰砂的颜色、颗粒粗细等在一定程度上可以反映其硒含量的高低。同一类含硒矿物中,颜色越深,颗粒越粗,形成时期越早,成矿岩石构造部位越低,硒含量越高,反之则低^[29]。

在铀-硒矿床中,硒与铀的矿化范围接近一致^[30]。硒会与大多数钴、镍、砷的硫化物共生,并以类质同象的形式赋存在黄铁矿、方铅矿等金属硫化物中。

浅成中低温热液型矿床中硒储量规模多为中型、小型。湖南东坪汞银矿床中含硒 266.98 t^[31],四川大铜厂铜矿床硒储量 164.53 t^[32],贵州万山汞矿田万山南部矿区硒储量 367.39 t^[33],均为中型规模。

2.8 化学或生物化学沉积型

沉积型硒矿床包括化学沉积型和生物化学沉积型两种,根据产出形式可分为伴生硒矿床和独立硒矿床两种,其中伴生硒矿床可根据主矿种进一步分为银钒矿、铋矿等不同类型。独立硒矿床比较稀少,湖北渔塘坝硒矿是典型的独立硒矿床。

这类矿床通常以震旦系、寒武系、二叠系黑色岩系为主要赋矿岩层,且多伴随有热水沉积硅质岩层的出露。生物碎屑物质和深部循环热水为这类矿床提供了大部分硒的物质来源^[34-35]。矿床多呈层状、带状、星点状、脉状、透镜状等产出,常见元素组合包括银、钒、镍、钼等,伴生硒、铋、铁等有益组分。矿床中的主要矿物和组分包括 V₂O₅、黄铁矿、自然硒、蓝硒铜矿、方硒铜矿、硒银矿等,伴生黄铜矿、蓝铜矿、辉铋矿等多种矿物。

化学或生物化学沉积型矿床中硒在黑色页岩、有机质以及黏土矿物中均有富集,硒既可以独立矿物和类质同象形式赋存,还可以吸附形式富集。震旦纪、寒武纪和二叠纪富硒地层中的低等海生生物

及其死亡形成的腐泥型有机质可能对硒的富集有关键作用^[36]。矿床中硒储量规模多为中型、小型,少数为大型。湖北渔塘坝硒矿床硒储量 45.699 t^[37],为小型规模;湖北白果园银钒矿床硒储量 926.48 t^[38],为大型规模。

3 中国硒矿分布特征

3.1 空间分布特征

硒的稀疏特性决定了其很难形成独立矿床,目前,仅有玻利维亚的 Pacajake 硒矿^[39]和 El Dragón 硒矿^[40],以及我国湖北恩施渔塘坝硒矿等 3 处独立硒矿床。绝大部分硒以伴生形式产于铜、镍、金、铅、锌、

钨、钼、锑、汞、铀等矿床中。这些伴生硒矿床数量众多,在克拉通内部或造山带地区均有形成。

中国硒矿床空间上多分布在黄河以南的广大地区,并广泛分布在 4 个 I 级成矿域、12 个 II 级成矿省、37 个 III 级成矿带中(图 1)。中国硒矿床在古亚洲成矿域、秦祁昆成矿域、特提斯成矿域、滨太平洋成矿域等均有分布,并以准噶尔成矿省(II-2)、秦岭-大别(造山带)成矿省(II-7)、大兴安岭成矿省(II-12)、吉黑成矿省(II-13)、华北(陆块)成矿省(II-14)、扬子成矿省(II-15)以及华南成矿省(II-16)为主要硒矿床分布区。



图 1 中国独立及伴生硒矿床分布图

Fig. 1 Distribution of independent and associated selenium deposits in China

(注:底图来自自然资源部标准地图服务网站,审图号为 GS(2016)1607 号)

3.2 时间分布规律

对于硒矿床的成矿时代,主要通过赋矿地层时代、成矿岩体的成岩时代或伴生硒的主矿种的成矿时代来确定。本次研究共收集中国硒矿床 92 个,具有成矿时代信息的矿床共 68 个(图 2)。中国硒矿床的形成时代主要有元古代、早古生代、晚古生代、中生代、新生代,即从元古代到新生代均有产出,但大部分硒矿床形成时代集中在中生代,其次是晚古生代和早古生代,古元古代、中元古代、新元古代和新

生代形成的矿床数量较少。整体上,二叠纪、侏罗纪、白垩纪是中国硒矿床的 3 个成矿高峰期,其次有震旦纪、奥陶纪、志留纪和三叠纪。

4 中国硒矿资源预测

矿产预测类型的确定是开展矿产预测工作的基础,是沟通成矿规律与成矿预测方法的桥梁^[41]。对中国硒矿床的预测,主要通过选取较为典型的硒矿床,立足于矿床成矿时代、成矿位置与矿床成因这 3 个要素,并由此选择诸如大地构造背景、控矿构造、成

续表 2

地区	矿床式	矿床特征	预测类型	矿床规模	成矿时代	共生矿产	预测要素	参考文献
	小铁山式	矿床产于具双峰式细碧角斑岩海相酸性火山岩系中,矿体形成于奥陶纪陆缘岛弧环境,流体与对流海水混合促进矿床的形成	海相火山岩型	中型	早古生代	铜、铅、锌、硒	秦祁昆造山系;走廊南山岛弧;海相火山岩系	[48-50]
	彩花沟式	矿区地层主要为具海相火山岩-火山碎屑建造特征的下泥盆统阿尔彼什麦布拉克组。矿体形态呈层状、似层状或透镜状产于英安岩-流纹岩内	岩浆热液型	大型	晚古生代	铜、硒	塔里木北板块;海相火山岩-火山碎屑建造;下泥盆统	[17,51]
	阿舍勒式	矿体主要赋存于下-中泥盆统阿舍勒组中酸性-基性海相火山岩-火山碎屑沉积岩夹碳酸盐岩建造中,矿石类型分带明显,矿体具双层结构	海相火山岩型	大型	晚古生代	铜、锌、金、银、硒	阿尔泰造山带;火山沉积盆地;海相中酸性、基性火山岩;碳酸盐岩	[21,52-54]
	胡家峪式	矿体位于上玉坡-胡家峪背斜东翼,主要赋存于中条群篦子沟组中,矿床先后经历两期成矿作用,区内含矿层位自北向南有逐渐上移趋势	海相火山岩型	大型	古元古代	铜、金、硒	华北克拉通;中条群篦子沟组	[22,55-57]
华北地区	驼峰山式	二叠纪地层及燕山期火山-次火山热液活动为矿床提供成矿物质,成矿作用与韧性剪切糜棱岩化和后期火山-次火山岩相关	海相火山岩型	中型	中生代	铁、铜、金、银、硒	晚华力西地槽褶皱带;黄岗梁-甘珠尔庙成矿带;韧性剪切糜棱岩化;火山-次火山岩	[58-59]
	高尔旗式	矿床主要赋矿围岩为中下泥盆统泥鳅河组变质砂岩-粉砂岩,成矿物质主要源于变质砂岩及二长花岗岩	砂卡岩型	中型	晚古生代-中生代	铅、锌、银、硒	兴蒙造山带;东乌旗成矿带;中下泥盆统泥鳅河组;变质砂岩	[60-61]
东北地区	翠宏山式	成矿母岩为白岗质花岗岩,矿体呈似层状产于华力西期白岗质花岗岩与下泥盆统翠岗组白云岩、结晶灰岩接触带中	砂卡岩型	中型	中生代	钼、锌、铁、铅、钨、硒	华力西期;白岗质花岗岩;翠岗组碳酸盐岩	[62]
西南地区	万山式	矿体主要赋存在中寒武统地层中,多以层状、似层状整合或近于整合形式产出,主要矿物为辰砂及自然汞	浅成中低温热液型	大型	中生代	汞、铊、硒	湘黔汞矿带;寒武纪;碳酸盐岩;有机质;汞;辰砂	[33,63-64]
	铜山口岸式	矿体产于花岗闪长斑岩株与三叠系中-下统碳酸盐岩的接触带及其内外,受接触带和层间构造共同控制	斑岩-砂卡岩型	中型	中生代	铜、钼、银、碲、硒	扬子台褶皱带;砂卡岩;碳酸盐岩;晚中生代	[65-66]
	巷子口岸式	矿床具有多期成矿的特点,大冶群上段地层沉积过程富集金属组分,岩浆期后含矿热液交代,叠加富集成矿	岩浆热液型	中型	中生代	铜、硫铁矿、金、银、硒	花家湖向斜;三叠纪;多期成矿;大冶群	[67-68]
中南地区	徐家山式	矿体主要产于震旦系上统陡山沱组和灯影组含泥质、粉砂质及有机质碳酸盐岩中,主要以层状、似层状、透镜状等产出	浅成中低温热液型	小型	新元古代	铊、硒	下扬子台褶皱带;湘东-鄂东隆起带;陡山沱组;灯影组;有机质;碳酸盐岩	[69-70]
	白果园式	矿体产于震旦系上统陡山沱组顶部黑色页岩,矿床成矿作用与低温热水沉积-成岩作用相关	沉积型	大型	新元古代	银、钼、硒	扬子准地台;上扬子台坪;陡山沱组;黑色页岩;有机质	[71-73]
	渔塘坝式	矿体主要赋存在下二叠统茅口组上段黑色碳质硅质岩、碳质硅质页岩等组成的黑色岩系中。矿床成矿作用与生物作用和热水作用相关	沉积型	小型	晚古生代	硒、钼	扬子准地台;上扬子台坪;二叠纪;茅口组;黑色岩系;生物作用	[74-75]
	冬瓜山式	矿床位于长江中下游地区铜陵矿集区的狮子山矿田内,矿床成矿与燕山期中酸性侵入岩相关,区内断裂构造控制侵入岩体及矿体的形态	砂卡岩型	中型	中生代	铜、铁、金、银、钴、硒	长江中下游地区;铜陵矿集区;燕山期;中酸性侵入岩	[76-77]
华东地区	平水式	矿体多呈层状、似层状、脉状、透镜状产于平水群火山旋回第一旋回上部与第二旋回的间隙期内,直接容矿围岩为细碧角斑岩组合	海相火山岩型	中型	新元古代	铜、金、锌、硫、硒	钦杭结合带;江山-绍兴结合带;细碧角斑岩	[78-79]

续表 2

地区	矿床式	矿床特征	预测类型	矿床规模	成矿时代	共生矿产	预测要素	参考文献
大宝山式		矿体位于华夏板块罗霄褶皱带内,主要赋存在大宝山向斜核部。燕山早期出现与英安斑岩相关的铜矿化,燕山中期出现与花岗闪长斑岩相关的钨、钼矿化	斑岩-矽卡岩型	大型	中生代	铜、铅、锌、铁、钨、钼、硒	罗霄褶皱带;燕山期;英安斑岩;花岗闪长斑岩	[80-81]

5 中国硒矿潜在矿集区

潜在矿集区主要根据目前已发现的硒矿床的集中分布区域划分,是有可能在短时间内取得硒矿找矿突破进展的找矿重要方向。

根据中国 37 个大型、中型硒矿床以及部分典型小型硒矿床的分布特征及其所在的成矿区带对硒的潜在矿集区进行划分和命名,共圈定全国 8 个潜在的硒矿集区(图 3),分别为 Se-1(南阿尔泰-北准噶尔矿集区)、Se-2(东天山矿集区)、Se-3(阿拉善矿集区)、Se-4(北祁连矿集区)、Se-5(西秦岭南亚带矿集区)、Se-6(东秦岭矿集区)、Se-7(湘鄂西-黔中南矿集区)、Se-8(长江中下游矿集区)。这 8 个硒矿潜在矿集

区的估算硒资源总量达 19 215.94 t(表 3),其中以阿拉善矿集区和湘鄂西-黔中南矿集区的硒资源潜力最高。

6 中国硒矿资源找矿建议

1)我国独立硒矿床稀少且找矿难度大,伴生硒矿床数量众多,成因类型多样,特别是海相火山岩型、岩浆熔离型、斑岩型、矽卡岩型矿床中通常具有较大的硒资源储量,是伴生硒矿床的重要找矿类型。应进一步加强对不同成因类型硒矿床中硒的赋存形式与富集机制的研究,提高对硒元素地球化学性质和行为的认识,加强科技攻关,制定硒矿勘查开发的相关规范、政策,并实施必要的战略储备和资源管控,促进中国硒资源的勘探、开发和综合利用[82]。

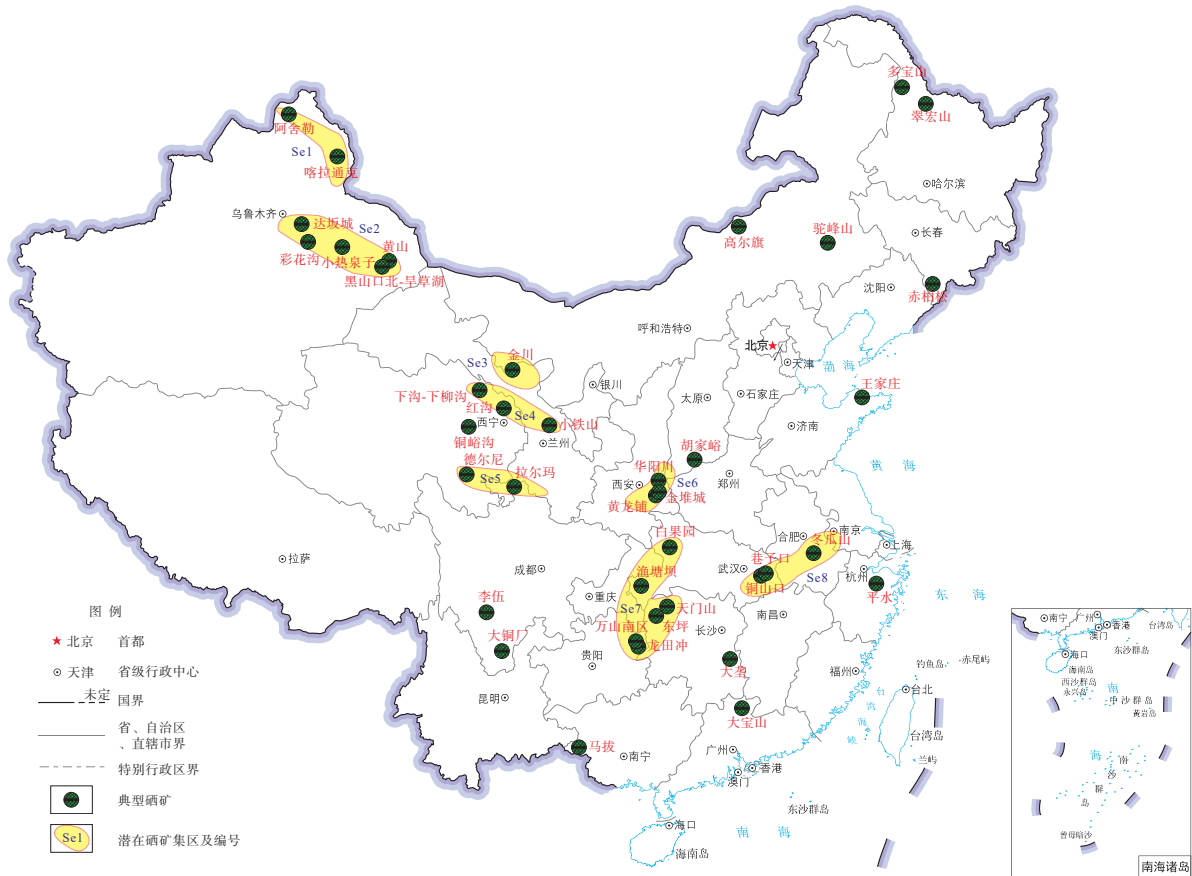


图 3 中国潜在硒矿集区分布图

Fig. 3 Distribution of potential selenium deposit districts in China

(注:底图来自自然资源部标准地图服务网站,审图号为GS(2019)1831号)

表 3 中国硒矿潜在矿集区估算资源量

Table 3 Estimated resources of potential selenium deposit districts in China

潜在矿集区名称	区内已发现硒矿床	估算资源量/t
南阿尔泰-北准噶尔	阿舍勒、喀拉通克	1 665.60
东天山	达坂城、彩花沟、小热泉子、黄山、玉海、 可可乃克、黑山口北-旱草湖	1 889.13
阿拉善	金川	8177.00
北祁连	小铁山、红沟、下沟-下柳沟	991.02
西秦岭南亚热带	德尔尼、拉尔玛、各皂	1 188.00
东秦岭	石家湾、东流水、黄龙铺、金堆城、华阳川	767.93
湘鄂西-黔中南	客寨、东坪、天门山、酒店塘、干坝沟-找龙坝、 渔塘坝、白果园、圭深、纸房、大碛喇、龙塘坳、 范家山、龙田冲、万山南区、岩屋坪、张家湾、荫溪桥	3 403.25
长江中下游	巷子口、鸡冠咀、铜山口、李家湾、徐家山、 峙门口、冬瓜山、铜官山	1 134.01
合计		19 215.94

2) 黑色岩系中的硒资源量相当可观。我国下震旦统大塘坡组、下寒武统太阳顶群或洞河口群及牛蹄塘组、奥陶系-志留系下统、下二叠统茅口组黑色岩系, 既是硒的矿源层, 又是硒的富集层位, 具有较好的共(伴)生硒矿资源的成矿条件和成矿潜力, 尤其是在许多沉积或沉积-改造型的矿床(Ni-Mo 矿床、V-Ag 矿床、Au-Cu-U 矿床、煤等)中, 硒均具有综合利用的价值。因此, 应重视黑色岩系中的共(伴)生硒资源的评价, 加强黑色岩系分布区硒的综合开发利用。

3) 未来对中国硒矿的找矿工作中应着重于硒的潜在矿集区, 并将传统的物探、化探与遥感、生物地球化学、大数据分析等技术方法相结合, 提高找矿效率和准确性。特别对于与硒具有密切联系或具有硒矿典型预测要素的其他矿种的勘查过程中, 应加强对硒元素的分析测试, 促进矿床共(伴)生硒资源的综合利用。

7 结 论

1) 中国硒矿床的成因类型主要为岩浆熔离型、矽卡岩型、斑岩型、岩浆热液型、海相火山岩型、陆相火山岩型、浅成中低温热液型、化学或生物化学沉积型等 8 个类型, 其中, 浅成中低温热液型、矽卡岩型以及海相火山岩型, 是中国硒矿床的主要成因类型。

2) 中国硒矿床广泛分布在 4 个 I 级成矿域、12 个 II 级成矿省、37 个 III 级成矿带中。矿床成矿时代自元古代到新生代均有产出, 但大部分硒矿床的形成时代集中在中生代, 其次是晚古生代和早古生代。二叠纪、侏罗纪、白垩纪是中国硒矿床的 3 个成矿高峰期。

3) 中国硒矿床预测类型包括岩浆熔离型、斑岩型、矽卡岩型、海相火山岩型、岩浆热液型、浅成中低温热液型、沉积型。根据中国硒矿床的类型、分布特征以及预测, 划定了南阿尔泰-北准噶尔、东天山、阿拉善、北祁连、西秦岭南亚热带、东秦岭、湘鄂西-黔中南以及长江中下游共 8 个硒矿潜在矿集区。

4) 对硒矿的找矿工作, 应依据圈定的中国硒矿潜在矿集区, 加强对海相火山岩型、岩浆熔离型、斑岩型、矽卡岩型等的伴生硒矿床以及黑色岩系中硒矿床的找矿和预测工作。

致谢: 在成文过程中得到中国地质科学院矿产资源研究所王登红研究员、李德先正高级工程师、黄凡研究员和王岩研究员等老师的指导与帮助, 在此表示衷心感谢。

参考文献 (References):

- [1] 刘家军, 王冠智, 汪啸, 等. 物以“硒”为贵, 人倚“硒”为福[J/OL]. 矿物岩石地球化学通报: 1-8[2024-03-13]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/52.1102.P.20240206.1350.002.html>.
LIU Jiajun, WANG Guanzhi, WANG Xiao, et al. Selenium: treasured by nature, embraced by humanity[J/OL]. Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry: 1-8[2024-03-13]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/52.1102.P.20240206.1350.002.html>.
- [2] 王登红. 试论稀散金属矿产与新质生产力[J/OL]. 中国矿业: 1-11[2024-04-01]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.3033.TD.20240308.1251.002.html>.
WANG Denghong. Discussion on the dispersed metals resources and new quality productivity[J/OL]. China Mining Magazine: 1-11[2024-04-01]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.3033.TD.20240308.1251.002.html>.
- [3] 臧华伟, 张泽洲, 龙泽东, 等. 中国硒资源利用中若干关键科学问题的探讨[J]. 生物技术进展, 2021, 11(4): 542-549.
ZANG Huawei, ZHANG Zezhou, LONG Zedong. Some key scientific

- ic questions in utilization of selenium resources in China[J]. *Current Biotechnology*, 2021, 11(4): 542-549.
- [4] 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 Binghan, DING Jianhua, YE Huishou, et al. Metallogenic regularity of selenium ore in China[J]. *Mineral Deposits*, 2020, 39(6): 1063-1077.
- [5] 彭大明. 中国硒矿资源概述[J]. *化工矿产地质*, 1997(1): 38-43.
PENG Daming. Selenium resources of China: an outline[J]. *Geology of Chemical Minerals*, 1997(1): 38-43.
- [6] 刘家军, 冯彩霞, 郑明华. 硒矿资源研究现状[J]. *世界科技研究与发展*, 2001(5): 16-21.
LIU Jiajun, FENG Caixia, ZHENG Minghua. The studying situation on selenium resource and its exploiting and utilizing prospect[J]. *World Sci-Tech R & D*, 2001(5): 16-21.
- [7] 涂光炽, 高振敏, 胡瑞忠, 等. 分散元素地球化学及成矿机制[M]. 北京: 地质出版社, 2004: 176-267.
- [8] 焦建刚, 汤中立, 闫海卿, 等. 金川铜镍硫化物矿床中富铜矿石铂族元素特征及矿床成因[J]. *西北地质*, 2012, 45(4): 242-253.
JIAO Jiangang, TANG Zhongli, YAN Haiqing, et al. PGE characteristics of Cu-rich ores in the Jinchuan Cu-Ni sulfide deposit and its genesis[J]. *Northwestern Geology*, 2012, 45(4): 242-253.
- [9] 李仔栓. 甘肃金川铜镍矿矿相学、成岩与成矿关系研究[D]. 北京: 中国地质大学(北京), 2018.
- [10] 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(3): 62-67.
YAO Linbo, GAO Zhenmin, LONG Hongbo. Dispersed element selenium: its geochemical cycle and enrichment[J]. *Geology-Geochemistry*, 1999(3): 62-67.
- [11] 金川集团股份有限公司. 甘肃省金昌市白家嘴子矿区镍铜矿资源储量核实报告[R]. 2017.
- [12] 新疆地矿局第6地质大队. 新疆哈密市黄山铜镍矿补充详查报告[R]. 全国地质资料馆, 2008.
- [13] 内蒙古自治区地质调查院. 内蒙古自治区阿巴嘎旗高尔旗矿区银铅锌多金属矿普查报告[R]. 全国地质资料馆, 2015.
- [14] 张伟, 王宏强, 邓晓东, 等. 鄂东南地区鸡冠嘴铜金矿床Au-Ag-Bi-Te-Se矿物学与金银富集机理[J]. *岩石学报*, 2016, 32(2): 456-470.
ZHANG Wei, WANG Hongqiang, DENG Xiaodong, et al. Mineralogy of the Au-Ag-Bi-Te-Se assemblages in the Jiguanzui Cu-Au skarn deposit, Daye District, Southeastern Hubei Province[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2016, 32(2): 456-470.
- [15] 广东省地质局705队. 广东韶关大宝山矿区多金属矿床地质勘探总结报告书[R]. 全国地质资料馆, 1958.
- [16] 陕西省地质局. 陕西省渭南县金堆城钼、硫矿床中分散元素(钼、硒)的评价和研究报告[R]. 全国地质资料馆, 1959.
- [17] 新疆有色矿业技术有限公司. 新疆托克逊县彩花沟钨铜硫铁矿资源储量核实报告[R]. 全国地质资料馆, 2015.
- [18] 北京勘察技术工程有限公司. 广西那坡县马拔矿区铜矿详查报告[R]. 全国地质资料馆, 2013.
- [19] 陈建平, 张莹, 王江霞, 等. 中国铜矿现状及潜力分析[J]. *地质学刊*, 2013, 37(3): 358-365.
CHEN Jianping, ZHANG Ying, WANG Jiangxia, et al. On present situation and potential analysis of copper resources in China[J]. *Journal of Geology*, 2013, 37(3): 358-365.
- [20] 邱正杰, 范宏瑞, 刘玄, 等. 华北克拉通南缘古元古代胡家峪铜矿床沉积-变质改造作用[J]. *矿床地质*, 2014, 33(S1): 553-554.
QIU Zhengjie, FAN Hongrui, LIU Xuan, et al. Sedimentary-metamorphic modification of the paleoproterozoic Hujiayu copper deposit in the Southern fringe of the North China Craton[J]. *Mineral Deposits*, 2014, 33(S1): 553-554.
- [21] 内蒙古赤峰地质矿产勘查开发院. 新疆哈巴河县阿舍勒铜锌矿2011年资源储量核实报告[R]. 全国地质资料馆, 2012.
- [22] 中国冶金地质总局第三地质勘查院. 山西省垣曲县胡家峪铜矿接替资源勘查(普查)报告[R]. 全国地质资料馆, 2011.
- [23] 国土资源部. 2011年全国矿产资源储量通报[R]. 2012.
- [24] 徐磊. 甘肃拉尔玛金矿床地质地球化学特征和成因[D]. 北京: 中国地质大学(北京), 2020.
- [25] 温汉捷, 裘榆卓. 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: 地球科学)*, 1999(5): 426-432.
WEN Hanjie, QIU Yuzhuo. A study of the organic/inorganic bounded form of elements and the occurrence of selenium in the Laerma Se-Au Deposit[J]. *Science in China(Series D)*, 1999(5): 426-432.
- [26] 刘家军, 郑明华, 刘建明, 等. 西秦岭寒武系层控金矿床中硒的矿化富集及其找矿前景[J]. *地质学报*, 1997(3): 266-273.
LIU Jiajun, ZHENG Minghua, LIU Jianming, et al. Selenium enrichment in Cambrian strata bound gold deposits in Western Qinling Mountains: Characteristics, origin and prospects[J]. *Acta Geologica Sinica*, 1997(3): 266-273.
- [27] LIU J, ZHENG M, LIU J, et al. Geochemistry of the La'erma and Qionqmo Au-Se deposits in the western Qinling Mountains, China[J]. *Ore Geology Reviews*, 2000, 17(1-2): 91-111.
- [28] 刘家军, 翟德高, 王大钊, 等. Au-(Ag)-Te-Se成矿系统与成矿作用[J]. *地学前缘*, 2020, 27(2): 79-98.
LIU Jiajun, ZHAI Degao, WANG Dazhao, et al. Classification and mineralization of the Au-(Ag)-Te-Se deposits[J]. *Earth Science Frontiers*, 2020, 27(2): 79-98.
- [29] 鲍振寰, 鲍珏敏. 湘西-黔东汞带硒的赋存特征[J]. *有色金属矿产与勘查*, 1995(1): 30-34.
BAO Zhenxiang, BAO Juemin. The Occurrences of selenium in the Western Hunan-Eastern Guizhou Mercury Ore Belt[J]. *Geological Exploration for Non-Ferrous Metals*, 1995(1): 30-34.
- [30] 陈露明, 张启发. 504铀矿床中硒的分布特征[J]. *铀矿地质*, 1996(2): 91-94.
CHEN Luming, ZHANG Qifa. The distribution features of selenium in uranium deposit No. 504[J]. *Uranium Geology*, 1996(2): 91-94.
- [31] 湖南省地质矿产厅405队. 湖南省保靖县东坪汞矿普查报告[R]. 全国地质资料馆, 1995.
- [32] 四川省冶金地质勘探公司603队. 四川省会理县大铜厂铜矿区鹿厂矿段详细勘探地质报告[R]. 全国地质资料馆, 1980.
- [33] 贵州省有色地质勘察局1总队. 贵州省万山汞矿南区深部普查地质报告[R]. 全国地质资料馆, 1993.
- [34] 姚林波, 高振敏. 恩施双河渔塘坝硒矿床成因探讨[J]. *矿物岩石地球化学通报*, 2000(4): 350-352.
YAO Linbo, GAO Zhenmin. Discussion about the origin of the Yutangba selenium deposit in Shuanghe of Enshi[J]. *Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry*, 2000(4): 350-352.

- [35] 温汉捷, CARIGNAN Jean, 胡瑞忠, 等. 湖北渔塘坝硒矿床中最大硒同位素分馏的发现及其指示意义[J]. 科学通报, 2007(15): 1845-1848.
WEN Hanjie, CARIGNAN Jean, HU Ruizhong, et al. Discovery and indication of the largest selenium isotope fractionation in the Yutangba selenium deposit of Hubei[J]. Chinese Science Bulletin, 2007(15): 1845-1848.
- [36] 温汉捷. 分散元素硒的有机成矿作用初析[J]. 地球学报, 1999(2): 78-82.
WEN Hanjie. A preliminary analysis of organic mineralization of the disperse element selenium[J]. Acta Geoscientica Sinica, 1999(2): 78-82.
- [37] 湖北省第二地质大队. 湖北省恩施市双河硒矿区渔塘坝矿段详查报告[R]. 全国地质资料馆, 1994.
- [38] 湖北省宜昌地质勘探大队. 湖北省兴山县白果园矿区白果园矿段、茅草坪矿段银钒矿补充详查地质报告[R]. 全国地质资料馆, 2007.
- [39] REDWOOD S D. Famous mineral localities: the Pacajake Selenium Mine, Potosi, Bolivia[J]. Mineralogical Record, 2003, 34(4): 339.
- [40] GRUNDMANN G, LEHRBERGER G, SCHNORRER-KÖHLER G. The El Dragón mine, Potosí, Bolivia[J]. Mineralogical Record, 1990, 21(1): 133-150.
- [41] 王登红, 赵如意, 陈毓川, 等. 中国金矿床的预测类型及其应用[J]. 矿床地质, 2023, 42(5): 945-954.
WANG Denghong, ZHAO Ruyi, CHEN Yuchuan, et al. Prediction types of gold deposits and its application in China[J]. Mineral Deposits, 2023, 42(5): 945-954.
- [42] 李钢柱, 雷玮琰, 张忠伟. 新疆喀拉通克铜镍硫化物矿床成岩成矿作用综述[J]. 中国矿业, 2011, 20(10): 52-56.
LI Gangzhu, LEI Weiyang, ZHANG Zhongwei. A summary of magma evolution and sulfide mineralization of the Kalatongke Cu-Ni sulfide deposit, Xinjiang, China[J]. China Mining Magazine, 2011, 20(10): 52-56.
- [43] 展新忠, 刘桂萍, 蔡宏明, 等. 新疆喀拉通克铜镍硫化物矿床成因及成矿模式[J]. 矿产与地质, 2015, 29(4): 420-426.
ZHAN Xinzong, LIU Guiping, CAI Hongming, et al. Genesis and metallogenic model of Cu-Ni sulfide deposits in Kalatongke of Xinjiang[J]. Mineral Resources and Geology, 2015, 29(4): 420-426.
- [44] 冯延清, 钱壮志, 段俊, 等. 新疆喀拉通克铜镍矿镁铁质岩体形成时代、成矿特征与深部找矿前景[J]. 矿床地质, 2017, 36(6): 1387-1401.
FENG Yanqing, QIAN Zhuangzhi, DUAN Jun, et al. Formation age, metallogenic features and exploration prospect in deep part of Kalatongke Cu-Ni deposits, Xinjiang[J]. Mineral Deposits, 2017, 36(6): 1387-1401.
- [45] 高亚林. 金川矿区地质特征、时空演化及深部找矿研究[D]. 兰州: 兰州大学, 2009.
- [46] 孙衍东. 陕西省金堆城斑岩型钼矿床矿物学及地球化学特征[D]. 北京: 中国地质大学(北京), 2017.
- [47] 冯彩霞, 刘家军, 刘桑, 等. 硒资源及其开发利用概况[J]. 地质与资源, 2002(3): 152-156.
FENG Caixia, LIU Jiajun, LIU Shen, et al. An outline of selenium resources and its exploitation and utilization[J]. Geology and Resources, 2002(3): 152-156.
- [48] 彭礼贵, 任有祥, 李智佩, 等. 甘肃白银厂铜多金属矿床成矿模式[M]. 北京: 地质出版社, 1995.
- [49] 李向民, 彭礼贵. 甘肃白银矿田矿床成矿模式[J]. 矿床地质, 2002, 21(S1): 417-420.
LI Xiangmin, PENG Ligui. Metallogenic model of Baiyin ore field, Gansu Province[J]. Mineral Deposits, 2002, 21(S1): 417-420.
- [50] 梁婉娟. 甘肃小铁山铅锌多金属矿床地质及地球化学特征研究[D]. 北京: 中国地质大学(北京), 2014.
- [51] 单小莉, 徐晟, 郑玉壮. 新疆彩花沟含铜黄铁矿床找矿模式的建立[J]. 新疆地质, 2009, 27(1): 32-37.
SHAN Xiaoli, XU Sheng, ZHEN Yuzhuang. Caihuagou copper pyrite has been comprehensive prospecting model in Xinjiang[J]. Xinjiang Geology, 2009, 27(1): 32-37.
- [52] 新疆地矿局第四地质大队. 新疆哈密巴河县阿舍勒铜矿深部找矿勘查报告[R]. 全国地质资料馆, 2016.
- [53] 孔繁良, 陈海军, 刘正荣, 等. 新疆阿舍勒矿集区深部构造反射地震成像应用研究[J]. 新疆地质, 2021, 39(4): 594-599.
KONG Fanliang, CHEN Haijun, LIU Zhengrong, et al. Research on the application of seismic imaging of deep tectonic reflection in Ashele ore concentration area, Xinjiang[J]. Xinjiang Geology, 2021, 39(4): 594-599.
- [54] 牛磊, 徐兴旺, 洪涛, 等. 新疆阿舍勒块状硫化物矿床预测准则与外围找矿预测[J]. 新疆地质, 2022, 40(1): 6-11.
NIU Lei, XU Xingwang, HONG Tao, et al. Prediction criteria and prospecting prediction of Ashele volcanogenic massive sulfide deposit in Xinjiang[J]. Xinjiang Geology, 2022, 40(1): 6-11.
- [55] 张艳平, 王勇. 胡家峪铜矿成矿地质特征及深部找矿预测[J]. 华北国土资源, 2017(3): 78-80.
ZHANG Yanping, WANG Yong. Metallogenic characteristics and deep prospecting prediction in Hujiayu Copper District[J]. Huabei Land and Resources, 2017(3): 78-80.
- [56] 覃志安, 薛克勤. 中条山地区地质特征及铜矿床类型[J]. 地质调查与研究, 2003(2): 108-113.
QIN Zhian, XUE Keqin. Geological features and copper deposit types in Zhongtiao Mountains[J]. Geological Survey and Research, 2003(2): 108-113.
- [57] 王子维. 中条地区胡家峪铜矿床地质特征及成矿动力学背景[D]. 长春: 吉林大学, 2014.
- [58] 张泰, 刘运纪. 内蒙古驼峰山含铜硫化物矿床地质特征及成因初探[J]. 化工矿产地质, 2002(1): 39-47.
ZHANG Tai, LIU Yunji. Geological characteristics and formation of Tuofengshan copper-bearing sulfide deposits of Inner Mongolia[J]. Geology of Chemical Minerals, 2002(1): 39-47.
- [59] 尹维青, 李生路, 刘成忠. 内蒙古驼峰山铜-金矿床地质、地球化学特征及成因分析[J]. 矿产与地质, 2005(2): 140-143.
YIN Weiqing, LI Shenglu, LIU Chengzhong. Geological and geochemical characteristics of Tuofengshan copper and gold deposit in Neimenggu and its genetic analysis[J]. Mineral Resources and Geology, 2005(2): 140-143.
- [60] 章培春. 内蒙古高尔旗铅锌银矿床地质特征及成因初探[D]. 北京: 中国地质大学(北京), 2015.
- [61] 王继春, 王银宏, 张梅, 等. 内蒙古高尔旗银铅锌矿区花岗岩的岩石成因: 地球化学、锆石 U-Pb 年代学及 Hf 同位素约束[J]. 现代地质, 2016, 30(5): 961-980.

- WANG Jichun, WANG Yinhong, ZHANG Mei, et al. The Granite petrogenesis in the area of the Gaoerqi lead-zinc-silver deposit, Inner Mongolia: constraints of geochemistry, zircon U-Pb geochronology and Hf Isotope[J]. *Geoscience*, 2016, 30(5): 961-980.
- [62] 陈贤. 黑龙江翠宏山铁多金属矿床成矿作用研究[D]. 北京: 中国地质大学(北京), 2015.
- [63] 张克学. 万山汞矿南区矿床地质特征、控矿规律及找矿模式[J]. *矿产与地质*, 2017, 31(5): 864-868.
- ZHANG Kexue. Geological characteristics, ore-controlling regularity and prospecting model of the Southern District of Wanshan mercury deposit[J]. *Mineral Resources and Geology*, 2017, 31(5): 864-868.
- [64] 陈铎, 李玲. 贵州万山汞矿地质特征及硫同位素组成和意义[J]. *四川有色金属*, 2018(4): 14-17.
- CHEN Xin, LI Ling. Geological characteristics and sulfur isotopic composition of Wanshan mercury deposit in Guizhou and its significance[J]. *Sichuan Nonferrous Metals*, 2018(4): 14-17.
- [65] 湖北省地矿局第1地质大队. 湖北省大冶县铜山口矿区铜矿深部详细普查地质报告[R]. 全国地质资料馆, 1979.
- [66] 朱乔乔, 谢桂青, 韩颖霄. 湖北大冶铜山口铜(钼)矿床中钨矿化特征及其地质意义[J]. *地球科学*, 2019, 44(2): 441-455.
- ZHU Qiaojiao, XIE Guiqing, HAN Yingxiao. Characteristics of tungsten mineralization from the Tongshankou Skarn-Porphyry Cu(Mo) Deposit in Daye, Hubei Province, and its geological implications[J]. *Earth Science*, 2019, 44(2): 441-455.
- [67] 湖北省鄂东南地质大队. 湖北省鄂城县巷子口矿区铜硫矿地质勘探报告[R]. 全国地质资料馆, 1983.
- [68] 湖北省鄂东南地质大队. 湖北省鄂州市巷子口铜、硫、铁矿核查区资源储量核查报告[R]. 全国地质资料馆, 2010.
- [69] 俞惠隆. 湖北徐家山辉锑矿的标型特征及其成因探讨[J]. *岩石矿物学杂志*, 1988(4): 361-367.
- YU Huilong. Typomorphic characteristics of stibnite from Xujiashan, Hubei Province with a discussion on its genesis[J]. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 1988(4): 361-367.
- [70] 沈能平, 彭建堂, 袁顺达, 等. 湖北徐家山锑矿床铅同位素组成与成矿物质来源探讨[J]. *矿物学报*, 2008(2): 169-176.
- SHEN Nengping, PENG Jiantang, YUAN Shunda, et al. Lead isotope compositions and its significance for ore-forming material of the Xujiashan antimony deposit, Hubei Province[J]. *Acta Mineralogica Sinica*, 2008(2): 169-176.
- [71] 陈超, 谢发鹏. 白果园黑色页岩型银钒矿床[J]. *矿床地质*, 1986(1): 53-62.
- CHEN Chao, XIE Fapeng. An account of the Baiguoyuan black shale type silver-vanadium deposit[J]. *Mineral Deposits*, 1986(1): 53-62.
- [72] 张乾, 董振生, 战新志. 鄂西白果园黑色页岩型银钒矿床地球化学特征[J]. *矿物学报*, 1995(2): 185-191.
- ZHANG Qian, DONG Zhensheng, ZHAN Xinzhi. Geochemical characteristics of Baiguoyuan black shale-type Ag-V deposit in Western Hubei Province[J]. *Acta Mineralogica Sinica*, 1995(2): 185-191.
- [73] 李方会, 杨刚忠, 姚燕, 等. 湖北省兴山县白果园银钒矿床基本特征及成矿模式[J]. *资源环境与工程*, 2014, 28(3): 246-251, 256.
- LI Fanghui, YANG Gangzhong, YAO Yan, et al. Basic characteristics and metallogenic model of Baiguoyuan silver-vanadium deposit in Xingshan County, Hubei Province[J]. *Resources Environment & Engineering*, 2014, 28(3): 246-251, 256.
- [74] 姚林波, 高振敏. 渔塘坝硒矿床稀土及微量元素特征[J]. *矿床地质*, 2002, 21(S1): 837-840.
- YAO Linbo, GAO Zhenmin. Characterization of rare earth and trace elements in Yutangba selenium deposit[J]. *Mineral Deposits*, 2002, 21(S1): 837-840.
- [75] 李静贤. 湖北渔塘坝硒矿床硒的赋存状态与矿床成因研究[D]. 北京: 中国地质大学(北京), 2014.
- [76] 安徽省地质矿产局321地质队. 安徽铜陵狮子山矿区冬瓜山铜矿床南段勘探地质报告[R]. 全国地质资料馆, 1995.
- [77] 徐晓春, 尹滔, 楼金伟, 等. 铜陵冬瓜山层控矽卡岩型铜金矿床的成因机制: 硫同位素制约[J]. *岩石学报*, 2010, 26(9): 2739-2750.
- XU Xiaochun, YIN Tao, LOU Jinwei, et al. Origin of Dongguashan stratabound Cu-Au skarn deposit in Tongling: restraints of sulfur isotope[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2010, 26(9): 2739-2750.
- [78] 陈辉. 钦杭成矿带北东段浙西北地区铜(金)成矿作用[D]. 南京: 南京大学, 2014.
- [79] 程飞. 探索含矿建造产状变化在深部找矿中的应用: 以平水铜矿为例[C]//资源利用与生态环境: 第十六届华东六省一市地学科技论坛论文集, 2020: 356-361.
- [80] 刘武生. 广东大宝山铜多金属矿地质特征与找矿方向[J]. *河南科技*, 2021, 40(28): 71-73.
- LIU Wusheng. Geological characteristics and prospecting direction of Dabaoshan Cu-polymetallic deposit in Guangdong Province[J]. *Henan Science and Technology*, 2021, 40(28): 71-73.
- [81] 张宏, 吴家旭, 董会. 广东大宝山斑岩型铜矿特征及其找矿前景分析[J]. *世界有色金属*, 2022(13): 73-75.
- ZHANG Hong, WU Jiaxu, DONG Hui. Analysis of porphyry copper mine in Dabaoshan Mountain, Guangdong[J]. *World Nonferrous Metals*, 2022(13): 73-75.
- [82] 梅燕雄, 裴荣富, 魏然, 等. 关键矿产与能源资源安全[J]. *中国矿业*, 2022, 31(11): 1-8.
- MEI Yanxiong, PEI Rongfu, WEI Ran, et al. Critical minerals and energy resources security[J]. *China Mining Magazine*, 2022, 31(11): 1-8.