

中国银矿成矿规律与百年勘查成果及 新一轮找矿突破行动建议

——《中国矿产地质志·银矿卷》研编

江彪¹⁾, 王登红^{1)*}, 王岩¹⁾, 刘榆¹⁾, 黄凡¹⁾, 王成辉¹⁾,
李楠²⁾, 武利文³⁾, 张彤³⁾, 唐增才⁴⁾, 叶泽富⁵⁾, 秦海燕⁵⁾,
靳皇玉²⁾, 冯德臣²⁾, 缪仁谷⁵⁾, 张荣臻⁶⁾

1)中国地质科学院矿产资源研究所 自然资源部成矿作用与资源评价重点实验室, 北京 100037;

2)吉林省地质调查院, 吉林长春 130061;

3)内蒙古地质调查研究院, 内蒙古呼和浩特 010020;

4)浙江省地质院, 浙江杭州 311203; 5)浙江省第十一地质大队, 浙江温州 325006;

6)河南省地质研究院, 河南郑州 450001

摘 要: 银是人类最早开发利用的元素之一, 随着社会的发展和科技的进步, 银的新材料属性日益突出。中国是银矿资源相对丰富的国家之一, 自 1990 年以来, 尤其是自 2010 年以来, 中国银矿找矿勘查取得较大突破, 新增银资源储量超过 55 000 t, 新发现银矿产地超过 53 处, 探获了包括双尖子山超大型银矿在内的大量银矿。中国银矿有 7 个主要矿床类型, 以热液型和陆相火山-次火山型最为重要, 资源储量分别为 161 271 t 和 48 870 t, 分别占总量的 49.5%和 15%。中国银矿主要产于中生代, 查明银资源储量为 26 6476 t, 占比达 74.25%; 空间上呈“东多西少”的分布格局。大兴安岭成矿带及其邻区查明银资源储量超过 86 000 t, 是中国最重要的银矿产区和找矿潜力区。运用成矿系列理论, 寻找新矿区或新类型银矿、老银矿区外围和深部以及在成矿带内找银矿等是中国银矿找矿勘查的重要方向。

关键词: 银矿; 成矿规律; 勘查成果; 找矿方向

中图分类号: P612 文献标志码: A doi: 10.3975/cagsb.2024.110602

Metallogenic Regularity, Centennial Exploration Results of Silver Deposit in China, and Suggestions for a New Round of Prospecting: Research and Compilation of “Geology of Mineral Resources of China • Silver Ore Volume”

JIANG Biao¹⁾, WANG Denghong^{1)*}, WANG Yan¹⁾, LIU Yu¹⁾, HUANG Fan¹⁾,
WANG Chenghui¹⁾, LI Nan²⁾, WU Liwen³⁾, ZHANG Tong³⁾, TANG Zengcai⁴⁾,
YE Zefu⁵⁾, QIN Haiyan⁵⁾, JIN Huangyu²⁾, FENG Dechen²⁾, MIAO Rengu⁵⁾, ZHANG Rongzhen⁶⁾

1) MNR Key Laboratory of Metallogeny and Mineral Assessment, Institute of Mineral Resources,
Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037;

2) Institute of Geological Survey of Jilin Province, Changchun, Jilin 130061;

3) Geological Survey Institute of Inner Mongolia, Hohhot, Inner Mongolia 010020;

4) Zhejiang Institute of Geosciences, Hangzhou, Zhejiang 311203;

5) No. 11 Geology Team of Zhejiang Province, Wenzhou, Zhejiang 325006;

6) Henan Academy of Geology, Zhengzhou, Henan 450001

本文由中国地质调查局“中国矿产地质志”项目(编号: DD20221695; DD20190379; DD20160346)和中央公益性科研院所基本科研业务费项目(编号: JKYZD202313)联合资助。

收稿日期: 2024-05-30; 改回日期: 2024-09-25; 网络首发日期: 2024-11-18。责任编辑: 张改侠。

第一作者简介: 江彪, 男, 1986 年生。博士, 副研究员。主要从事金属矿产成矿作用和成矿预测研究。E-mail: jiangbiao334223@163.com。

*通信作者: 王登红, 男, 1967 年生。博士, 研究员。主要从事矿产资源研究工作。E-mail: wangdenghong@vip.sina.com。

Abstract: Silver is one of the earliest elements utilized by humans, and with the development of society and advancement of technology, its new material properties have become increasingly prominent. China is one of the countries with relatively abundant silver ore resources. Since 1990, and especially since 2010, there have been significant breakthroughs in the exploration of silver ore in China, with more than 55 000 tons of new silver resource reserves added and more than 53 new silver deposits discovered, including a large amount of silver ore from the super-large Shuangjianzishan deposit. There are seven main types of silver deposits in China, with hydrothermal and continental volcanic-subvolcanic types being the most important, accounting for 49.5% and 15% of the total reserves with resources of 161 271 tons and 48 870 tons, respectively. The majority of China's silver deposits is from the Mesozoic era, with identified silver resources reserves of 266 476 tons, accounting for 74.25%; spatially, there is a distribution pattern of "more in the east, less in the west". The Great Xing'an Range metallogenic belt and its adjacent areas have identified silver resources reserves exceeding 86 000 tons, making it China's most important silver ore region and a potential area for exploration. Applying the theory of ore-forming series to find new mining areas or new types of silver deposit, the periphery and depth of old silver mining areas, and silver deposit within the silver-forming belts are important directions for the exploration of silver ore in China.

Key words: silver deposit; metallogenic regularity; exploration achievement; prospecting direction

《中国矿产地质志·银矿卷》是地质调查项目“中国矿产地质志”及国家出版基金联合资助,由陈毓川院士指导,江彪副研究员和王登红研究员主编,全国各行业部门、研究院所及高校的20位编委历时4年共同研编完成的。全书分上下两册,上、中、下三篇,正文包含14章,第一章到第三章为上篇“概述”,第四章到第九章为中篇“典型银矿分述”,第十章到第十四章为下篇“银矿成矿规律和成矿预测”。《中国矿产地质志·银矿卷》研编主要取得了以下几方面的成果:①汇集全国近1500处银矿床(点)的各类成果资料,查明了中国银矿资源的禀赋特征,系统总结了我国银矿的发现和勘查历史、科学研究成果、开发利用情况、生产和消费情况等;②提出了我国银矿类型划分的新方案。将我国银矿分为热液型、矽卡岩型、陆相火山-次火山型、海相火山沉积型、沉积型、沉积变质型和风化淋积型7种主要类型;③系统论述了我国银矿资源禀赋特征,深入揭示了我国银矿时空分布规律,详细解剖了我国90个典型银矿床成矿地质特征,是迄今为止解剖典型银矿床数量最多的专著;④首次在全国范围划分出17个成银带和27个银矿集区,阐述了成银带和银矿集区内的成矿特征和成矿规律,并指出了找矿前景和方向;⑤首次厘定了我国以银为主或以银为特色的38个矿床成矿系列(组)和59个亚系列,总结了银矿成矿系列的时空演化规律,探讨了构造演化历史与银成矿的关系等重要科学问题;⑥将中国银矿的主要成矿期划分为6个时期(晋宁—吕梁期、加里东期、海西期、印支期、燕山期和喜马拉雅期),明确了燕山期是我国银矿最重要的成矿期,并对各成矿期的银矿成矿规律进行了归纳总结;⑦系统梳理和总结了我国银矿床的地球化学特征,分析讨论了我国银矿的成矿物质和流体来

源、成矿条件和富集机制等科学问题;⑧建立了迄今为止信息最全面的“中国银矿一览表”、“国外主要银矿成矿特征一览表”等“数据集”;⑨编制了迄今为止涵盖银矿床数量最多、信息最全面的中国银矿资源分布图、成银带和银矿集区分布图、中国银矿成矿规律图等重要图件;⑩指出了我国银矿今后的勘查工作重点和找矿方向,为我国银矿勘查部署和决策提供了重要科学依据。

《中国矿产地质志·银矿卷》是第一部全国层面系统反映中国银矿资源状况、勘查成果、典型银矿床地质特征、成矿机理、成矿规律、成矿预测及相关研究成果的专业志书,达到了《国土资源“十三五”规划纲要》中要求的“编制矿产地质志,全面反映中国矿产勘查成果与成矿规律”的要求。该志书加强了对全国银矿产矿情的掌握,提升了我国银矿地质科学研究水平,发展了银矿成矿理论,实现了为矿产资源管理部门制定区域发展规划、银矿产勘查开发部署和决策服务,为提高银矿资源保障程度服务,为地矿界科研院所和高校教学服务的国家目标。

1 资源概况与勘查成果

中国银矿资源较为丰富,但在地区分布上不均衡,相对集中在华北、中南和西南大区(图1);大型、超大型银矿较少,中小型居多。中国利用银的历史悠久,但专门的银矿勘查工作直到20世纪80年代才开始,20世纪末以来尤其是2010年以来,在大兴安岭成矿带、华北陆块等地区取得了较为丰硕的找矿成果。

1.1 资源概况

据《中国矿产资源报告2022》和美国地质调查局(USGS)数据:2022年全球白银储量约为 55×10^4 t,主要分布在秘鲁、澳大利亚、中国、波兰、俄罗斯、



墨西哥、智利、美国、玻利维亚、印度、阿根廷等十几个国家。中国银储量为 7.1×10^4 t, 位居世界第 3 位。秘鲁和澳大利亚分别以 9.8×10^4 t 和 9.2×10^4 t 排在中国之前, 波兰和俄罗斯则分别以 6.5×10^4 t 和 4.5×10^4 t, 紧随中国之后。以上 5 个国家的银储量占全球 67% 以上。

1.1.1 资源结构

中国银矿可分为独立银矿、共生银矿及伴生银矿。独立银矿, 指银品位大于 150 g/t、具有独立开采价值的银矿床。共生银矿, 指银品位 100~150 g/t、与一种或多种矿产同步勘探、开采的矿床。伴生银矿, 指银品位小于 100 g/t、随主矿种的开采而综合回收的矿床。根据实际生产情况和经济效益, 上述指标可能会有很大变化, 如吉林山门银矿 2023 年开采的银矿体品位只有 40 g/t 左右, 这是因为矿石易选, 银仍可独立开发。从资源结构看, 截至 2022 年底, 独立银资源储量约占全国总量的 28%, 铅锌伴生银约占 38%, 铜伴生银约占 23%, 黄金伴生银约占 11%。可见, 独立银资源储量不足 1/3, 共伴生银资源占比超过 2/3, 表明共伴生银矿仍然是中国银矿的主要来源。中国银矿床中常见银矿物有 70 多种(不包括变种和待定名矿物), 具有重要经济价值、可用于生产白银的工业矿物约 20 种, 包括自然银、金银矿、辉银矿、深红银矿、淡红银矿、角银矿、脆银矿、六方锑银矿、锑银矿、硒银矿、碲银矿、辉硒银矿、硫锑铜银矿、砷硫锑铜银矿、硫银锡矿、硫锑砷银矿、黄银矿等。

1.1.2 资源分布

据《中国矿产地志·银矿卷》编委会(2021)统计, 全国查明银矿区 2 730 余处, 内蒙古、河南、山东、云南、新疆、广西、安徽分列 1 至 7 位, 银矿区数均超过 100 处(图 2a)。全国累计查明银资源储量超过 32×10^4 t, 分布在 30 个省(区)(表 1), 其中, 累计查明银资源储量超过 1×10^4 t 的省(区)依次是内蒙古、云南、江西、广东、西藏、河南、广西和安徽(图 2b), 合计查明资源储量 23×10^4 t, 占全国 70.7%; 查明资源储量为 $(0.5 \sim 1) \times 10^4$ t 的省(区)也有 8 个, 依次为湖南、山东、新疆、甘肃、福建、青海、河北和湖北, 合计查明资源储量 6.7×10^4 t, 占全国的 20.5%。上述 16 个省(区)合计查明资源储量 29.7×10^4 t, 占全国总量的 91.2%。中国银矿勘查工作总体程度较低, 在已知银矿的深部与周围还有很大的找矿空间。

1.2 勘查成果

中国银矿勘查开发在 20 世纪八九十年代取得了突破性成果, 不但勘探了当时最大的独立银矿

——广东富湾银矿(获 1998 年度国家科技进步一等奖), 还陆续建成河南破山、吉林山门等现代化银矿山。2012 年更是探获了包括亚洲最大银矿——内蒙古赤峰双尖子山银矿在内的一批大型以上规模独立银矿。但自 2013 年以来由于资金投入大幅度持续性下降等原因, 找矿进展放缓。

中国先民对银的认识和利用有着悠久的历史。白银在秦汉时期就用于制造贵重器皿和饰物。银在当时的技术条件下, 提炼困难, 有产地记载者也不多。中国古代银矿产地首推云南。中华人民共和国建国初期, 中国的银矿地质工作只在个别有色金属矿区较为系统地开展过。20 世纪 80 年代以前中国年产白银不足百吨, 也没有一座以采银为主的现代

表 1 中国银矿查明资源储量情况
Table 1 Identified resource reserves of silver deposits in China

地区	矿区数 /个	基础储量 /t	储量 /t	资源量 /t	查明资源 储量/t
全国	2 730	54 717.22	15 822.69	271 166.01	325 883.23
内蒙古	385	31 222.27	51.84	60 238.45	91 460.72
云南	188	5 002.01	1 557.00	32 990.20	37 992.21
江西	92	2 860.70	1 869.81	21 768.24	24 628.94
广东	91	500.25	212.34	18 312.21	18 812.46
西藏	40	2 148.70	/	15 871.75	18 020.45
河南	272	981.13	/	15 146.73	16 127.86
广西	155	708.03	326.43	11 756.46	12 464.49
安徽	153	880.00	324.27	9 932.59	10 812.59
湖南	87	766.49	591.36	8 604.09	9 370.58
山东	254	149.76	105.41	9 073.43	9 223.19
新疆	171	876.71	231.17	8 289.31	9 166.02
甘肃	91	490.80	207.82	8 646.95	9 137.75
福建	89	652.93	272.76	7 965.27	8 618.20
青海	74	744.79	/	7 730.02	8 474.81
河北	73	1 059.24	132.59	6 629.48	7 688.72
湖北	92	1 309.04	/	3 901.75	5 210.79
四川	65	737.62	/	3 847.04	4 584.66
黑龙江	39	723.71	0.74	3 674.93	4 398.64
浙江	62	593.72	55.28	3 458.19	4 051.91
吉林	71	547.52	234.60	3 029.68	3 577.20
山西	32	223.53	8.00	3 073.06	3 296.59
江苏	13	51.40	22.15	2 553.26	2 604.66
陕西	55	320.03	9 202.00	1 900.30	2 220.33
辽宁	36	875.19	231.00	1 216.11	2 091.30
贵州	32	62.75	37.12	518.44	581.19
海南	6	212.00	149.00	322.39	534.39
北京	2	/	/	418.74	418.74
上海	1	/	/	233.70	233.70
宁夏	6	/	/	56.81	56.81
重庆	3	16.90	/	6.43	23.33

注: 资料来源于《中国矿产地志·银矿卷》编委会, 2021; “/”表示未获取相关数据。

化矿山,甚至没有提交过一份独立银矿的储量报告(朱训等,1999)。中国经济建设中所需的银金属,主要靠有色金属副产品回收;不足之数,靠进口弥补。

中国银矿有组织的系统性的地质勘查工作起步较晚,直到20世纪70年代后期至80年代初才得以重视。1975年10月,冶金部和国家计委地质局印发《关于大力发展黄金、白银的报告》;1978年3月,经国务院批准,冶金部向全国印发了《关于加快金银铂族等贵金属生产发展的报告》;1982年,原地质部地矿司在广西博白召开了第一次地质部系统的全国银矿地质工作会议,首次提出了中国银矿床的分类和银矿地质勘查工作中银的一般评价指标,极大地推动了中国银矿地质勘查工作(黄崇轲等,2002);1985年8月30日,国务院下发《关于增产黄金、白银问题的通知》(朱训,2010),明确加强银矿地质勘查工作;1989年,国家计划委员会、财政部、中国人民银行和中国人民建设银行同意设立白银地质勘查基金,组成了白银地质勘查基金委员会,对银矿进行勘探储量承包。“八五”起,银首次被列为国家重点勘查矿种,白银地质勘查工作受到了空前重视。

这些政策和措施使得银矿勘查工作迅速发展,陆续发现和探明了一批银矿,银储量增长明显。1980年,投入银矿地勘事业费580万元,施钻36000m;到1990年,银矿年勘查费达9189万元,完成钻探工作量213456m,地勘费和钻探工作量都翻了几番。到1998年底,银储量和资源量(相当于过去A+B+C和D级)比1979年增长了3.4倍,尤其是以银为主的大型-超大型银矿床,由20世纪80年代以前仅有2个增加到了21世纪初期的20个(黄崇轲等,2002)。其中,广东富湾、江西冷水坑、云南白牛厂及白秧坪等银矿床,都是20世纪90年代发现或增储的大型、超大型银矿,同时还找到了一

批银矿远景区。

进入21世纪,中国银矿找矿工作仍不断取得重大突破。2011—2015年间(“十二五”)新发现银矿产地48处(中型14处,小型34处)。其中,内蒙古白音查干东山矿区新增银资源储量9446t,内蒙古花脑特地区新增银资源储量1173t,山西支家地铅锌银矿新增银资源储量2254t,江西朱溪矿区外围新增银资源储量1337t,青海那更康切尔沟地区新增银资源储量1329t,四川砂西银矿新增银资源储量863t,浙江寺前矿区新增银资源储量500t。2016年,新发现银矿产地2处(大型1处、中型1处),完成阶段性勘查的银矿产地19处(预查3处、普查7处、详查7处、勘探2处),青海那更康切尔沟地区新增银资源储量956t。2017年是中国银矿勘查历史上提交资源储量最多的一年,具有历史意义。其中,进展大的主要矿区有:内蒙古双尖子山银铅矿区(新增15129.3t)、云南北衙金矿万洞山矿段(3394.0t)、甘肃王家沟一带金矿(1440.0t)、江西铁路坎矿区(1133.0t)、内蒙古乌兰陶勒盖东矿区银锌铅矿(1114.7t)、内蒙古东塔矿区银锌银矿(961.7t)、云南上打等铜矿(955.0t)、云南班老铅锌矿(925.0t)、内蒙古额仁陶勒盖银矿区(961.7t)、内蒙古布敦乌拉银矿区(859.8t)、云南都龙矿区辣子寨矿段(822.7t)、内蒙古东升庙矿区(814.8t)、新疆维权矿区(773.0t)、江西张十八矿区(685.0t)、云南北衙矿区小米地多金属矿区(624.0t)(中华人民共和国自然资源部,2018)。2018年,新发现银矿产地1处(小型1处),完成阶段性勘查的银矿产地25处(预查1处、普查7处、详查6处、勘探11处),其中,山西化皮庙地区新增银资源储量128t,广东神背地段新增银资源储量70.2t。2019年,新发现中型银矿产地2处,完成阶段性勘查的银矿产地28处(普查

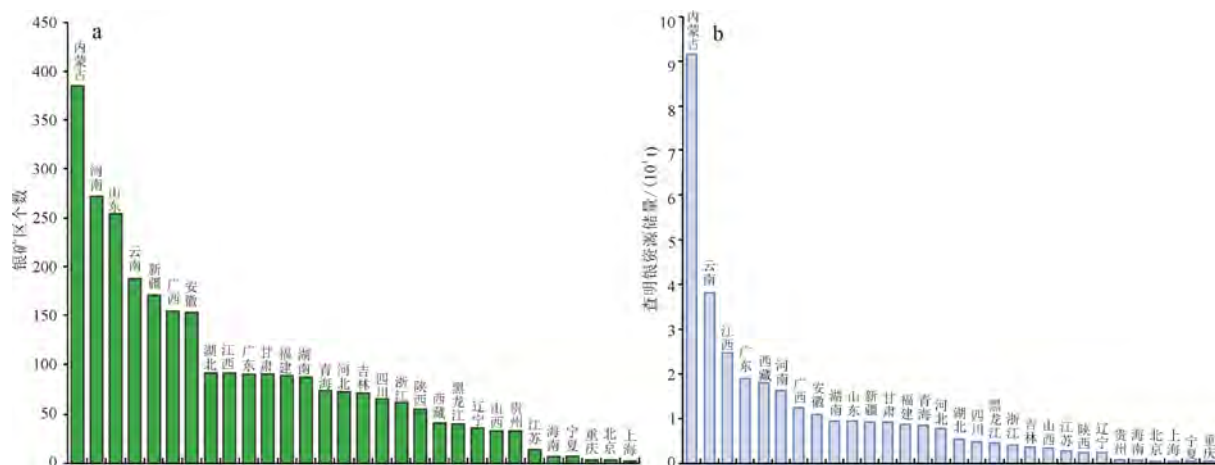


图2 中国查明银矿个数(a)及查明银资源储量的省份布情况(b)

(据《中国矿产地志·银矿卷》编委会,2021)

Fig. 2 Distribution of identified silver deposits (a) and silver resource reserves in China by province (b) (from the Editorial Committee of “Geology of Mineral Resources of China • Silver Ore Volume”, 2021)

10 处、详查 9 处、勘探 9 处), 其中, 黑龙江二道坎村新增银资源储量 1 535.7 t, 青海那更康切尔沟地区新增 1 336 t。2020 年, 完成阶段性勘查的银矿产地 16 处(普查 8 处、详查 4 处、勘探 4 处), 其中, 青海各玛龙地区新增银资源储量 320 t; 那更康切尔沟银多金属矿普查累计探获银资源储量 5 070 t, 达超大型银矿床规模。

大兴安岭中南段 2012 年以来新发现了双尖子山超大型银矿(银金属量超过 1.5×10^4 t)、复兴屯超大型银矿(银金属量超过 5 000 t)、花敖包特超大型银矿(银金属量超 6 000 t)、白音查干东山超

大型铅锌银锡锑矿(银金属量超过 8 000 t)、花脑特大型银矿、昌图锡力中型银锰矿等一批银矿床, 使得该地区迅速成为中国银矿的核心产区, 改变了中国银矿资源分布的新格局。西藏冈底斯成矿带也发现了一大批银矿产地, 如西藏自治区甲玛铜钼铅锌矿(伴生银)、西藏扎西康大型锑银多金属矿、西藏雄村大型铜(银)矿、西藏玉龙大型铜(银)矿等。此外, 河南洛宁老里湾(老李湾)大型银矿、广东云浮高枧大型银矿、云南鹤庆北衙与金矿共伴生的大型银矿等也都是进入 21 世纪以来新探获的重要银矿(表 2)。

表 2 中国主要银矿简表(据《中国矿产地质志·银矿卷》编委会, 2021)

Table 2 Simplified list of major silver deposits in China
(from the Editorial Committee of “Geology of Mineral Resources of China • Silver Ore Volume”, 2021)

行政区划	矿产地名称	重要经济矿种	银规模
内蒙古自治区锡林郭勒盟西乌珠穆沁旗	白音查干东山	锡银铜铅锌	超大型
内蒙古自治区锡林郭勒盟西乌珠穆沁旗	花敖包特	银铅锌	超大型
内蒙古自治区赤峰市巴林左旗	双尖子山	银铅锌	超大型
内蒙古自治区兴安盟科尔沁右翼前旗	复兴屯	银铅锌	超大型
江西省鹰潭市贵溪市	冷水坑	银铅锌	超大型
广东省韶关市仁化县	凡口	铅锌银	超大型
西藏拉萨市墨竹工卡县	甲玛	铜钼铅锌银	超大型
广东省佛山市高明区	富湾	银铅锌	超大型
青海省海西州都兰县	那更康切尔沟	银铅锌	超大型
云南省怒江州兰坪县	白秧坪	银铅锌	大型
青海省海西州大柴旦镇	锡铁山	铅锌银	大型
新疆维吾尔自治区巴音郭楞州若羌县	柯可卡尔德	钨银	大型
青海省海西州都兰县	哈日扎	银铅锌	大型
青海省海南州兴海县	铜峪沟	铜银	大型
四川省甘孜州白玉县	呷村	银铅锌	大型
西藏自治区昌都市江达县	玉龙	铜钼	大型
云南省怒江州兰坪县	金顶	铅锌银	大型
云南省普洱市澜沧县	老厂	银铅锌	大型
西藏自治区日喀则市谢通门县	雄村	铜银	大型
西藏自治区山南市隆子县	扎西康	铅锌锑银	大型
内蒙古自治区呼伦贝尔市新巴尔虎右旗	额仁陶勒盖	银	大型
内蒙古自治区呼伦贝尔市新巴尔虎右旗	甲乌拉	铅锌银	大型
内蒙古自治区呼伦贝尔市新巴尔虎右旗	查干布拉根	银铅锌	大型
内蒙古自治区呼伦贝尔市新巴尔虎右旗	乌努格吐山	铜钼	大型
黑龙江省黑河市嫩江县	多宝山	铜钼	大型
内蒙古自治区锡林郭勒盟东乌珠穆沁旗	1017 高地	银铅锌	大型
内蒙古自治区锡林郭勒盟东乌珠穆沁旗	乌兰陶勒盖东	银铅锌	大型
内蒙古自治区锡林郭勒盟东乌珠穆沁旗	花脑特	银铅锌	大型
内蒙古自治区赤峰市克什克腾旗	拜仁达坝	银铅锌	大型
内蒙古自治区赤峰市巴林左旗	白音诺尔	铅锌银	大型
内蒙古自治区赤峰市林西县	大井子	银铅锌铜锡	大型
内蒙古自治区兴安盟科尔沁右翼中旗	孟恩陶勒盖	银铅锌	大型
吉林省四平市	山门	银金	大型
辽宁省丹东市凤城市	青城子	铅锌银	大型
山西省大同市灵丘县	小青沟—流砂沟	银锰	大型
山西省大同市灵丘县	刁泉	银铜	大型

续表 2

行政区划	矿产地名称	重要经济矿种	银规模
山西省大同市灵丘县	硐沟	银锰	大型
山西省大同市灵丘县	支家地	银铅锌	大型
河南省洛阳市洛宁县	老里湾	银金	大型
河南省南阳市桐柏县	破山	银铅锌	大型
湖北省十堰市竹山县	银洞沟	银金	大型
陕西省商洛市柞水县	银硐子	银铅锌	大型
安徽省铜陵市铜官区	狮子山	铜银	大型
安徽省铜陵市铜官区	新桥	金银	大型
江西省九江市柴桑区	城门山	铜钼	大型
江西省上饶市德兴市	铜厂	铜银	大型
江西省上饶市德兴市	富家坞	铜银	大型
江西省上饶市德兴市	银山	铜铅锌	大型
江西省上饶市铅山县	天排山	铜硫	大型
江西省上饶市万年县	虎家尖	银金	大型
云南省大理州鹤庆县	北衙	金银	大型
云南省昆明市东川区	汤丹	铜银	大型
云南省昭通市鲁甸县	乐马厂	银	大型
广西壮族自治区河池市南丹县	大厂铜坑—长坡	锡锌	大型
广西壮族自治区河池市南丹县	巴力—龙头山	锡	大型
湖北省宜昌市兴山县	白果园	银钒	大型
广东省潮州市潮安县	厚婆坳	银锡	大型
福建省龙岩市武平县	悦洋	银铜金	大型
广东省梅州市梅县区	嵩溪	银锑	大型
湖南省郴州市苏仙区	柿竹园	钨锡钼铋	大型
湖南省郴州市苏仙区	枞树板	铅锌银	大型
江西省赣州市于都县	桥子坑	铅锌银	大型
湖南省郴州市桂阳县	宝山	铜铅锌	大型
广西壮族自治区南宁市隆安县	凤凰山	银	大型
广东省云浮市云安区	高枧	铅锌银	大型
广东省云浮市	大降坪	硫铁银	大型
云南省红河州蒙自市	白牛厂	银铅锌锡	大型
云南省文山州马关县	都龙	锡银	大型

2 主要类型与成矿特征

2.1 主要矿床类型

银矿类型较为复杂。按照《铜、铅、锌、银、镍、钼矿地质勘探规范(DZ/T0214-2020)》和《矿产资源工业要求手册》，中国银矿工业类型可分为碳酸盐岩型银(铅锌)矿、泥岩-碎屑岩型银矿、海相火

山岩和火山-沉积岩型银矿、千枚岩和片岩型银矿、陆相火山和次火山岩型银矿、脉状银矿 6 大类。综合考虑成因和工业类型，本文将银矿床(成因/工业)类型分为热液型、陆相火山-次火山型、矽卡岩型、海相火山沉积型、沉积变质型、沉积型和风化淋积型 7 种(表 3)，以热液型、陆相火山-次火山型和矽卡岩型最为重要。

表 3 中国主要银矿类型及其资源概况
Table 3 Major types of silver deposits in China and an overview of their resources

矿床类型	资源储量/t	资源储量占比/%	矿产地数	矿产地占比/%
热液型	161 271	49.5	1 775	65
陆相火山-次火山型	48 870	15.0	300	11
矽卡岩型	42 354	13.0	273	10
沉积变质型	22 806	7.0	82	3
沉积型	29 322	9.0	164	6
海相火山沉积型	19 548	6.0	109	4
风化淋积型	1 629	0.5	27	1

2.2 成矿地质特征

中国不同类型银矿在成矿构造背景、成矿条件、赋矿地质体、矿种组合、成矿时代等方面各有其特点(表 4), 阐明我国主要类型银矿成矿地质特征, 有利于宏观把握我国银矿的成矿特点, 对今后的成矿规律研究和找矿预测具有参考意义。

2.2.1 热液型银矿床

热液型银矿床包括岩浆热液型、浅成中低温含矿流体型、盆地热卤水型或成因不明流体型, 或者混合型等, 是广义的热液型矿床。该类型银矿在数量上占全部银矿的 65%, 探明资源储量占总量的 49.3%。热液型银矿主要成矿期为中生代, 其次为新生代和古生代。热液型银矿在硅铝质围岩中一般呈脉状、网脉状充填, 而在碳酸盐岩中呈不规则层状或团块状交代矿体, 伴有多种多样比较强烈的围岩蚀变。根据矿体形态可分为脉型和层控型两个亚类。脉型银矿主要分布在吉黑成矿省吉中—延边成矿带、喀喇昆仑—羌北成矿带、华北陆块南缘成矿带以及华北陆块北缘东段成矿带, 白乃庙—锡林浩特成矿带、突泉—翁牛特成矿带, 粤中成矿带、粤西—桂东南成矿带和昌都—普洱成矿带; 层控型主要分布于华南成矿省滇东南南部成矿带。层控型银矿如浙江银山和广东富湾(典型单银矿床); 脉型银矿如云南白秧坪等。

2.2.2 矽卡岩型银矿床

矽卡岩型银矿床的矿体一般赋存于各类侵入体的内外接触带。该类型银矿床数占全部银矿的 10%, 探明资源储量占总量的 13%。矽卡岩型银矿主要成矿期为中生代, 其次是新生代和古生代, 空间上主要分布于华北陆块北缘东段及南岭成矿带。典型矿床主要有花牛山、什多龙、维权、刁泉、哈达吐、银冶岭、八家子、焦里和茶地等。

2.2.3 沉积型银矿床

沉积型银矿主要指由外生成矿作用形成的银矿床, 包括由沉积成岩作用形成的银矿床。矿体多呈层状、似层状。该类型银矿在数量上占全部银矿的 6%, 探明资源储量占总量的 9%。其大地构造背景为被动陆缘褶皱带; 成矿地质环境为相对宁静的盆地拗陷带; 沉积岩相以潮下泻湖亚相与陆棚亚相为主; 赋矿建造为细碎屑岩和碳酸盐沉积建造; 成矿时代主要为元古宙, 其次为新生代; 主要分布在川滇黔地区、鄂西以及柞水—山阳地区, 代表性矿床如湖北的白果园、陕西的银洞子、四川的大铜厂等。

2.2.4 陆相火山-次火山型银矿床

陆相火山岩系指地台或褶皱区的钙碱性系列火山岩系, 包括喷溢于地表的火山熔岩、火山碎屑岩及火山碎屑沉积岩, 浅、超浅成次火山岩。围岩

中火山熔岩以安山岩居多, 次火山岩则以酸-超酸性斑岩居多。矿体赋存在火山岩中, 矿床规模多为中型, 分布于中生代火山断陷盆地或火山带中。矿体形态多呈脉状, 厚度由较稳定到不稳定, 矿石品位较富, 但矿化不均匀。该类型在世界上是最重要的银矿床类型, 在中国也很重要, 银矿床数占总数的 11%, 探明资源储量占总量的 15%。陆相火山-次火山型银矿床主要成矿期为中生代, 其次是新生代和古生代, 空间上主要分布于中国东部的新巴尔虎右旗—根河成矿带、华北陆块北缘东段成矿带、浙中—武夷山成矿带和浙闽粤沿海成矿带。代表性矿床如山西支家地和江西冷水坑。

2.2.5 沉积变质型银矿床

沉积变质型银矿床是指由沉积作用(含火山沉积作用)形成的, 经受区域变质作用而形成的银矿床。沉积变质型银矿床在中国具有较大的工业价值, 约占全部银矿数的 3%和资源储量的 7%。原矿体的产状、矿物组分、结构构造甚至品位等, 不同程度地受到改造, 表现为: ①具有片状、片麻状或重结晶粒状构造, 原生构造只作为残留体以变余构造保留下来; ②在变质过程中, 由于脱水而产生的热液促使成矿物质活化、迁移, 使其具有热液矿床的特点, 如发生围岩蚀变、矿体产状发生改变等。该类型银矿主要成矿期为古生代, 其次是中生代和元古宙, 主要分布于秦岭—大别成矿带、吉中—辽东成矿带、东南沿海成矿带和南岭成矿带, 代表性矿床如河南破山(可能有燕山期热液叠加成矿)和辽宁青城子。

2.2.6 海相火山沉积型银矿床

海相火山沉积型银矿床一般形成于岛弧、裂谷构造环境, 赋存于海相火山岩系中。海相火山岩系指发育于地槽褶皱区的海底火山喷溢系列岩石, 包括地槽早期发展的钠质细碧角斑岩建造及相对较晚发育的基性-酸性火山岩建造, 并包含与海底火山喷溢相伴生的硅质岩以及覆盖其上的碳酸盐岩、黏土等沉积岩。矿体受一定层位控制, 延伸较稳定; 呈似层状、脉状, 厚度稳定; 品位较富, 常共生铅、锌或金、铜。该类型银矿床数约占总数的 4%, 总资源储量的 6%。海相火山沉积型银矿床主要成矿期为古生代, 其次是中生代和元古宙, 主要分布于东秦岭成矿带和永安—梅州—惠阳成矿带, 另外西南三江义敦岛弧带也是该类型银矿床的重要分布区。代表性矿床式有湖北银洞沟和四川呷村。

2.2.7 风化淋积型银矿床

风化淋积型银矿体以层状、似层状赋存于新生代(第四纪)铁帽中, 银通常作为伴生有益元素产出。该类型银矿床约占总数的 1%, 总资源储量的 0.5%。

表 4 中国主要银矿床类型及代表性矿床特征简表(据《中国矿产地志·银矿卷》编委会, 2021 修改)
Table 4 Simplified table of main types of silver deposits and characteristics of representative deposits in China
(modified from the Editorial Committee of “Geology of Mineral Resources of China • Silver Ore Volume”, 2021)

矿床类型	代表性矿床	规模	金属组合	矿体形态	成矿年龄 /Ma	构造环境	赋矿地质体	有关岩浆(侵入)岩
热液型	吉林山门	大型	Ag-(Au)	脉状	146~122	古生代为优地槽褶皱带, 中生代为活化断陷带	寒武系—奥陶系变质流纹岩、英安岩、碎屑岩、大理岩	印支期石英闪长岩、二长花岗岩
	内蒙古拜仁达坝	大型	Ag-Pb-Zn	脉状	135~130	锡林浩特地块东南边缘, 显生宙复背斜南东翼	古元古界宝音图组黑云斜长片麻岩, 海西期闪长岩	海西期石英闪长岩、燕山期花岗岩
	河南铁炉坪	大型	Ag-Pb (Zn-Cu)	脉状、透镜状	147~145	东秦岭褶皱带内燕山期构造岩浆活化区	太华群角闪斜长片麻岩、斜长角闪岩	碱长花岗岩、二长花岗岩小斑岩体
	广东富湾	超大型	Ag-(Au)	似层状	66~64	华南褶皱系粤中凹陷, 三水断陷盆地	长坑滑脱断裂及梓门桥组内的次级滑脱断裂	新生代碱性岩
	云南白秧坪	大型	Ag-Pb、Zn、Cu(Co)	脉状	76~32	兰坪断凹	西矿段为侏罗系—白垩系碎屑岩建造, 东矿段为三合洞组碳酸盐岩建造	火山岩及少量基性酸性岩脉
	云南白牛厂	大型	Ag-Pb、Zn-Sn(Cu-Sb)	似层状, 脉状	89~87	滇东南褶皱带	田蓬组第二段台地浅水-深水相碎屑岩、碳酸盐岩及浊流沉积和热水硅化物硅质岩	海西期辉绿岩类和燕山期黑云母二长花岗岩钟及花岗斑岩脉
砂卡岩型	辽宁八家子	中型	Ag-Pb、Zn-(Mo-Mn)	脉状、囊状	150~130	燕山台褶带	中元古代碎屑岩及海相碳酸盐岩, Ag、Pb、Zn、Mo、Cu 丰度值高	黑云石英闪长岩、花岗岩, Ag、Pb、Zn、Mo、Cu 丰度值高
	山西刁泉	大型	Ag-Cu(Pb-Zn-Fe)	平面呈弧形, 剖面呈月牙形	132	山西台隆	寒武—奥陶系碳酸盐岩层	双峰式次火山岩小型侵入体
	江西焦里	中型	Ag-W-Pb、Zn	脉状	170	赣南隆起上犹断隆带	寒武系浅变质砂岩、粉砂岩夹结晶灰岩	似斑状中粒黑云母花岗岩、中细粒花岗岩
沉积型	陕西银洞子	大型	Ag-Pb(Zn-Cu-Fe)	层状, 似层状	378~342	中秦岭柞水-山阳泥盆系巨厚沉积区	泥盆系舒家坝群青石砭组	/
	湖北白果园	大型	Ag-V	层状	晚震旦世陡山沱期	扬子陆块鄂西北黄陵断穹	震旦系陡山沱组上部黑色页岩、泥岩、粉晶云岩含星点状黄铁矿岩层	/
	四川大铜厂	中型	Ag-Cu	似层状	白垩纪	康滇台隆会理断陷红盆区	白垩系上统红色紫色泥岩、砂泥岩、长石砂岩、细-中砾岩层	/
陆相火山-次火山型(含斑岩型)	内蒙古额仁陶勒盖	大型	Ag-Au-(Pb、Zn)	脉状、透镜状	139~120	额尔古纳兴凯褶皱带与大兴安岭海西褶皱带接壤带	中侏罗统塔木兰沟组火山岩	与成矿有关的石英斑岩 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄(138.6±2.3) Ma
	山西小青沟—支家地	大型	Ag-Pb-Zn-(Mn)	脉状、月牙状	150	燕山台褶皱带、山西台隆	中元古长城系白云岩	安山玢岩、花岗斑岩、石英斑岩
	江西冷水坑	超大型	Ag-Pb-Zn-(Au-Cu)-(Mn)	脉状、透镜状、层状、似层状	163~159	华南褶皱系、武夷山隆起	侏罗系打鼓顶组和鹅湖岭组火山岩及沉积岩	富钾碱长花岗斑岩、花岗斑岩
	浙江后岸	小型	Ag-(Cu-Pb-Zn-Au)	脉状	85~75	浙东南褶皱带浙东火山活动亚带拔茅破火山构造区	早白垩世火山-沉积建造、流纹英安质熔岩凝灰角砾岩	安山玢岩、安玄玢岩
沉积变质型	河南破山	大型	Ag-(Au)	似层状	1 112~881	秦岭褶皱带、淮阳地块	武当群鱼档河组、石英角斑岩、凝灰岩、变流纹斑岩	/
	辽宁青城子	大型	Pb-Zn-(Ag)	层状、似层状	234~233	辽东古元古代裂谷轴部凹陷带	早中元古代辽河群浪子山组和大石桥组地层	/
海相火山沉积型	湖北银洞沟	大型	Ag-Au-(Pb、Zn)	脉状	205	武当—淮阳地块	武当群鱼档河组、石英角斑岩、凝灰岩、变流纹斑岩	/
	广东嵩溪	大型	Ag-Sb (Pb、Zn)	顺层产出为主, 少数切层产出	172~139	粤东隆起, 永梅凹陷带	中下侏罗统火山岩夹细碎屑岩建造	/
	四川呷村	大型	Au-Ag-Zn-Pb-Cu(Hg)	上部为似层状、透镜状, 下部为脉状-网脉状	215	义敦岛弧优地槽褶皱带	双峰式火山岩带中的长英质火山岩及其有关的沉积岩系中	/
风化淋积型	安徽新桥	中型	Ag-Au-Fe(铁帽)	似层状	第四纪	扬子准地台、下扬子台坳东部	以黄铁矿为主的铜铁硫(铅锌)矿床, 铁帽型风化壳即由黄铁矿风化而成	/
	广东新榕	中型	Ag-Mn-Fe(Pb-Zn)	漏斗状、囊状、似层状	新生代	华南褶皱带, 云开隆起, 罗定推覆构造区	铁锰银主要源自云开群锰铝榴石片岩, 其次是泥盆系桂头组含锰千枚岩, 容矿地层为泥盆系棋梓桥组碳酸盐岩	/
	云南老厂	小型	Ag-Mn-Fe	层状、似层状	新生代	澜沧裂谷带	中、上石炭统碳酸盐岩	/

注: 据《中国矿产地志·银矿卷》编委会(2021)修改完善。

主要分布于长江中下游、粤西—桂东南及昌宁—澜沧成矿带。代表性矿床如广东新榕、安徽新桥。

3 时空分布规律

世界范围内的银矿主要形成于晚中生代—早第三纪。中国银矿主要形成于中生代和晚古生代,其次是新生代、元古宙、早古生代和太古宙。中生代银矿探明资源储量占全国银总资源储量的 68%。银矿在世界各地均有分布,主要集中于环太平洋成矿域、特提斯—喜马拉雅成矿域和古亚洲成矿域,以环太平洋成矿域东带的科迪勒拉山系最为丰富。中国银矿主要分布在大兴安岭地区,其次是西南三江和东南沿海地区,西部地区银矿相对较少。

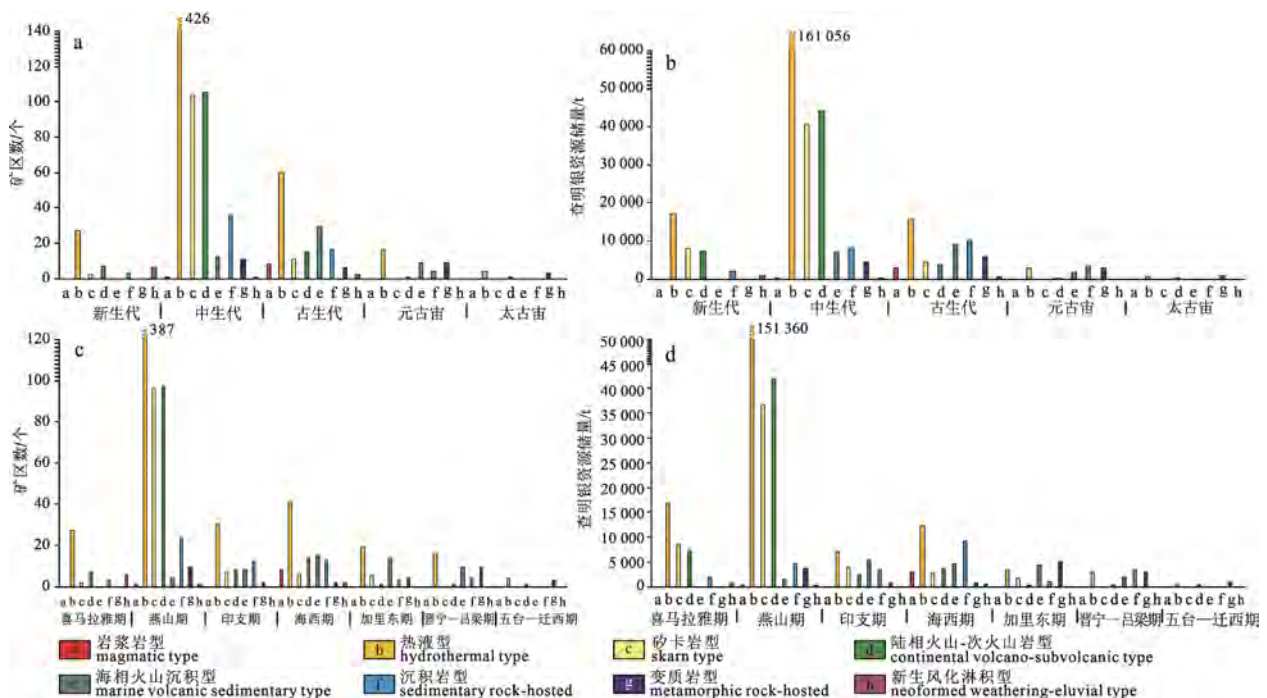
3.1 时间分布规律

中国银矿床主要形成于中生代,其探明储量占全国银矿总储量的 68%,其次是晚古生代,占 16%,新生代占 6%,元古宙占 5%,早古生代占 4%,太古宙占 0.26%(图 3a, b)。太古宙银矿床仅在桐柏—大别山和秦岭两地出现,如河南洛宁嵩坪沟独立银矿床和河南灵宝东闯金矿伴生有银;元古宙银矿床主要出现在三江南段,包括云南东川汤丹、因民等铜矿床中的伴生银;早古生代银矿床出现在赣东北—武夷山、西南三江、桐柏—大别、秦岭、祁连等银矿化富集区,代表性矿床有甘肃小铁山(共生银)、白银厂(伴

生银)、青海锡铁山(伴生银)、黑龙江多宝山等银矿床;晚古生代代表性矿床有河南破山银矿床(可能有燕山期成矿叠加);中生代银矿床分布广泛,典型矿床有内蒙古双尖子山、广西凤凰山等;新生代代表性银矿床如云南的兰坪金顶(伴生银)和鲁甸乐马厂及广东的富湾和新榕等矿床(王登红等, 2002, 2005)。

从构造旋回来看,从五台—迁西期→晋宁—吕梁期→加里东期→海西期→印支期→燕山期→喜马拉雅期,中国银矿区数(所占总数百分比)依次为 8(0.86%)、39(4.21%)、46(4.97%)、101(10.90%)、67(7.23%)、621(66.99%)和 45(4.85%),相应的查明银资源储量(所占总储量百分比)依次为 1 573 t (0.44%)、11 262 t (3.16%)、15 503 t (4.36%)、36 469 t (10.25%)、22 654 t (6.37%)、240 910 t (67.68%)和 27 585 t (7.75%)(图 3c, d)。

在不同地质时代(或大地构造旋回),银矿的成因类型也有显著变化。总趋势是,从太古宙→元古宙→古生代→中生代→新生代,早期沉积变质型银矿和海相火山沉积型银矿占重要地位,后期逐渐演化为以热液型、陆相火山-次火山型和矽卡岩型占主导地位(图 3a, b)。其中,海相火山沉积型银矿主要形成于古生代,矽卡岩型和陆相火山-次火山型银矿则以中生代(主要是燕山期)最为重要,风化淋积型银矿主要形成于新生代(喜马拉雅期)(图 3c, d)。



a—中国不同成因类型银矿区数量在各地质时代的分布; b—中国不同成因类型银矿查明银资源储量在各地质时代的分布; c—中国不同成因类型银矿区数量在各大构造旋回的分布; d—中国不同成因类型银矿查明银资源储量在各大构造旋回的分布。
a—distribution of the quantity of silver mining areas of different genetic types in China across geological eras; b—distribution of identified silver resource reserves in silver mines of different genetic types in China across geological eras; c—distribution of the quantity of silver mining areas of different genetic types in China across various geological tectonic cycles; d—distribution of identified silver resource reserves in silver mines of different genetic types in China across various geological tectonic cycles.

图 3 中国不同成因类型银矿数量和资源储量在各地质时代的分布

Fig. 3 Distribution of silver deposits of different genetic types and resource reserves in different geological times in China

3.2 空间分布规律

从全球来看,银矿分布并不均匀,以环太平洋成矿域、特提斯—喜马拉雅成矿域和古亚洲成矿域为主。在环太平洋成矿域东带的阿拉斯加—加拿大银成矿区、美国西部各州的银成矿区、墨西哥银成矿区、中美洲银成矿区、秘鲁银成矿区、智利—玻利维亚银成矿区等,集中了世界上最主要的银矿床(戴自希, 2002)。中国处在全球三大成矿域的交界部位,银的成矿条件优越,主要分布在大兴安岭(古亚洲成矿域)、西南三江(特提斯成矿域)和东南沿海地区(环太平洋成矿域)。中国东部银的探明储量占全国的 73%,中西部地区占 27%。大型和中型矿床的数量,东部分别是西部的 2.3 倍和 3.6 倍(《中国矿产地志·银矿卷》编委会, 2021)。华北—东北地区、西南地区和华南地区的银矿资源都较为丰富。西北相对较少,可能跟工作程度较低有关。

中国位于西伯利亚板块与印度板块之间相对活动的地带,西伯利亚、印度和华南三大板块的交汇处。构造类型的多样性和构造方向的多变性,促进了银及与之相伴的多种元素的富集,造就了银富集成矿的有利环境。中国古代大地构造演化的历史更为曲折,东部和中西部银矿的成矿环境有较大差异,西部银矿的成矿作用与板块构造(岛弧区、板块缝合带和造山带)有联系;东部地区与板内构造有直接的成因联系,陆内拗陷、陆内隆起、陆内活化区和陆缘火山侵入带等具有板内成矿的基本特征。有利于银成矿的构造环境包括碰撞造山带、俯冲带、裂谷带、岛弧带和弧间盆地等。

中国银矿主要产在褶皱隆起区与深大断裂的旁侧,平行的深断裂之间及地台边缘的拗陷断裂带和韧性剪切带中,紧密依存于中生代火山-次火山岩和酸性侵入岩分布区,其次为古火山-侵入岩分布区,元古宙地层中少见。构造对银矿的控制作用较为突出,表现为:银矿密集分布在老地块周边(如破山和银洞沟两个大型独立银矿床,赋存于两大地台边缘元古宙裂谷海相火山岩地层中),银矿带的产出受区域性褶皱断裂的控制(如郯庐断裂、大兴安岭—太行山东侧深断裂、九江—南京构造带、东南沿海陆相火山岩带中的余姚—政和—大埔—陆丰断裂和镇海—温州—长乐—南澳深断裂),盆地对银矿的产出也有控制作用(如广东三水盆地地部发育富湾超大型银矿,云南兰坪盆地有金顶铅锌银矿及白秧坪大型银多金属矿)。

中国中型以上银矿主要分布在突泉—翁牛特(III-50)、华北陆块北缘东段(III-57)、东秦岭(III-66)、桐柏—大别—苏鲁(III-67)、长江中下游(III-69)、南岭(III-83)等Ⅲ级成矿单元内。这些成矿区带主要分

布在大兴安岭、华北、秦岭—大别、扬子、华南等成矿省。基于Ⅲ级成矿带和银资源分布特征,全国可划分出 17 个成银带和 27 个银矿集区(图 4),其中大兴安岭中南段成银带、额尔古纳成银带、华北地台北缘—燕山成银带、三门峡—洛阳银矿集区、义敦—香格里拉成银带、兰坪银矿集区、赣东北银矿集区、永—梅—惠银矿集区、粤中—云开银矿集区占重要地位,尤其是大兴安岭中南段成银带,产出有双尖子山、白音查干东山、复兴屯等一大批超大型及大型银矿,是我国银资源最为丰富的成银带,并仍有巨大找矿潜力(《中国矿产地志·银矿卷》编委会, 2021)。

4 开发利用与找矿方向

银是人类最早发现和使用的金属之一,纯银为银白色。银的主要物理性质可以概括为“五高”与“五低”,即高的超热中子吸收能力、高的电导率、高的热导率、高的可见光反射率和高塑性,以及低的热中子吸收能力、低的力学强度、低的加工硬化率、低的再结晶温度和低的回复软化温度。在所有金属中,银具有最好的导电性、导热性和最高的反射性能。银的拉丁文名称 *argentum*, 意为白色;英文名称 *silver*, 光明之意,来自日耳曼语系的哥特语。银的元素符号为 *Ag*, 来自拉丁文字头缩写。在中国古代汉字中,银是一个会意字,左边为“金”,说明银属于金属;右边为“艮”,有相视、不相上下等意,即黄金和白银都属于贵金属,两者不相上下,并称金银。银在人类社会中有悠久的利用历史和广泛的用途。

4.1 开发利用

4.1.1 开发利用简史

中国先民很早就开始开采和利用白银。春秋时期,全国详知“银之山”10 处,唐代元和年间年产白银 10 万余两。宋元是中国古代银矿业继续发展时期,宋朝元丰年间,银矿场分布于 68 个州(京、府、军),元丰元年银的总收入量达 21 万余两。银在元代即作为一种主要货币,至元 31 年(公元 1294 年),除京师外各路交钞库所存“钞母”白银总数约 100 万两。但到了明、清和民国时期,银矿业的发展曾一度停滞不前,年产银量仅为 2~6 t。

中国银矿的地质工作始于 20 世纪初,但截至 1949 年,全国也只有十几处含银量高的铅锌生产矿区(如水口山、柴河、澜沧等)进行了浅部的银矿储量概算。中华人民共和国成立后,银矿业迅速发展,50 年代在对有色金属矿床进行大规模勘探的同时,对伴(共)生银矿开展了综合评价,60 年代后期逐步加强了对独立银矿的地质调查和科学研究,

至 70 年代末有 7 处大、中型银矿产地(山东十里堡、浙江银坑山、湖北银洞沟、陕西银洞子、河南破山、广东庞西洞、广西金山)经勘探转入工业评价。1950—1980 年, 年均增加的白银产量是 1949 年年产量的 3 倍。这些白银均来自有色金属矿山的综合回收。20 世纪 80 年代, 中国银矿地质勘查工作投入急剧增加, 独立银矿、共生银矿储量迅速增长。20 世纪 90 年代末, 生产银的骨干矿山有: 广东凡口、河南破山(桐柏银矿)、辽宁高家堡子、陕西银洞子(陕西银矿)、吉林山门、江西银路岭、湖北银洞沟(湖北银矿)、甘肃小铁山、河北丰宁牛圈、广西庞西洞(廉江银矿)、浙江银坑山、江西虎家尖(万年银矿)。最重要的银冶炼企业有 8 家: 沈阳冶炼厂、株洲冶炼厂、云南冶炼厂、韶关冶炼厂、白银有色金属公司、江西有色冶炼加工总厂、上海冶炼厂和昆明冶炼厂。其中沈阳冶炼厂产能最大, 年产白银达 200 t, 株洲冶炼厂、云南冶炼厂、韶关冶炼厂等的年生产能力也在百吨以上。至 20 世纪末, 中国银矿业得到迅速发展, 全国已有 26 个省、市、区找到了工业银矿床, 建成生产和综合回收白银的矿山与冶炼企业有 200 多个, 白银的产量也由 1949 年的 4.6 t 增至年产超千吨。独立银矿、共生银矿的开发

利用, 尤其是独立银矿的开发, 是银矿业迅速发展、增储上产的关键。

4.1.2 中国白银生产现状

进入 21 世纪, 银矿的开发利用有了长足发展。2010 年前后, 中国独立银矿骨干企业有 20 家左右, 其中产量较高的银矿山 8 个(即中国早期著名的八大银矿山): 河南破山、陕西银洞子、广东庞西洞、河北牛圈、湖北银洞沟、吉林山门、江西万年和江西冷水坑。综合回收银的矿山企业有 160 多家, 冶炼企业有 30 多个(朱训, 2010)。2013 年, 中国银产量达到 1.63×10^4 t。其中, 国内矿山供应量为 3 669 t, 占比 22.5%; 二次银资源回收量为 4 266 t, 占比 26.1%; 剩余的 8 398 t 全部来自进口的铜金矿、铅精矿、锌精矿和银精矿, 占比达到 51.4%。湖南、浙江、河南和云南是中国四大银生产省份(湖南 5 956 t、河南 1 412 t、浙江 1 159 t、云南 1 021 t), 合计占全国银产量的 67.6%。此外, 江西和山东的银产量分别为 1 000 t 和 751 t。2022 年, 中国银产量中超过 70% 来自铅锌、铜和金矿的副产品。

4.1.3 银的用途及发展趋势

约在 5 000~6 000 年前, 人类就已经认识自然银, 并且采集利用。在 16 世纪以前, 世界银矿的

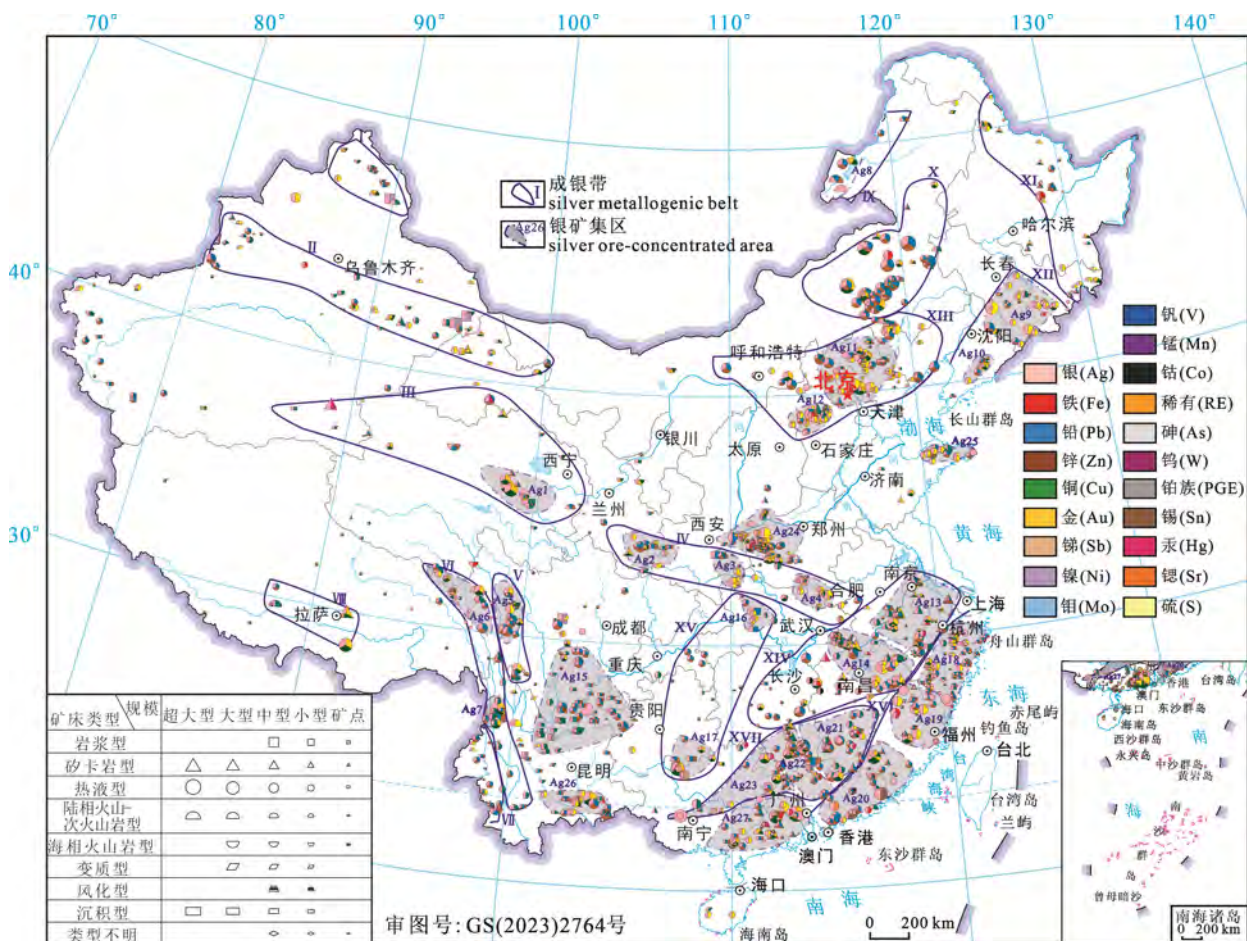


图 4 中国银矿成银带和银矿集区分布图

Fig. 4 Distribution of silver ore-forming belts and silver ore concentration area in China

采冶中心在地中海和亚洲地区,较大的银矿在希腊、西班牙、德国和中国,当时年均产银不足 200 t。到了中世纪以后,世界采银业的重心逐渐转到秘鲁、墨西哥、玻利维亚,继而发展到美国、智利、加拿大和澳大利亚,至今这些国家仍是世界主要产银国家。中国是世界上发现和开采利用银矿最早的国家之一,早在新石器时代晚期,中国先民就已认识并开发利用银矿(朱训, 1999)。无论在中国还是西方国家,最初银主要被用于货币和饰品。银作为历史上极其重要的货币原料,在人类文明进程中扮演过重要角色,甚至直接影响到人类文明史的演化和进程。尽管 21 世纪以来,数码相机取代了传统的胶片相机,使得银在摄影领域的应用一落千丈,但随着高新科技的发展,银在工业、农业、国防、医药特别是在电子以及其他高科技领域方面,仍是不可缺少、难以被取代的关键性原材料,并且日益凸显其重要性。以白银为新材料的大规模工业化生产的帷幕正徐徐拉开,银将会以崭新的身份和华丽的姿态,渗透到我们生活的方方面面(江彪等, 2022)。

4.2 找矿方向

自 1990 年以来,中国银矿找矿进展很大,这与对银矿成矿规律的深入研究密切相关。比如,在《中国矿床》(《中国矿床》编委会, 1994)中指出,中国还没有发现太古宙和新生代的具有工业意义的银矿床,但世界范围内第三纪银矿是非常重要的,诸如墨西哥的瓜纳华托及查卡太卡斯、美国的科姆斯托克、秘鲁的塞罗德帕斯克都是世界闻名的大型银矿或银金矿。通过加强对新生代银矿如广东富湾、云南白秧坪、西藏扎西康等独立或共伴生银矿的研究,中国新生代银矿无论是在矿产地数量还是在规模上都得以显著增长。近年来大兴安岭地区银矿找矿屡获突破,一跃成为中国最重要的银矿产区,青海省那更康切尔沟超大型独立银矿的探获,则为在“劣势地区”和“空白区”找银矿取得突破提供了新范例。结合银矿成矿地质条件和成矿规律,进一步明确找矿思路 and 方向,对支撑我国银矿新一轮找矿突破战略行动,保障银资源安全至关重要。

4.2.1 找矿思路和方向

中国银矿勘查工作自 2000 年以来,尤其是 2010 年以来,无论是在新矿区发现还是老矿区增储方面均获得诸多突破,探获了包括双尖子山超大型银矿在内的一批新的银矿产区,在山西灵丘支家地等老矿山的深部或外围也获得了增储,表明除了新区找矿外,在老矿区就矿找矿仍有广阔空间。由于银矿常与其他矿种共伴生,在非银主矿种分布区找银矿也是重要思路,最常见的就是在铅锌矿分布区找银矿,也可以在钨锡矿分布区(如南岭地区)、铜矿

分布区(如长江中下游铁铜成矿带)、汞锑矿分布区(如广西桂北南丹—河池成矿带)、铁-锰帽及其下部(如内蒙古额仁陶勒盖和河北相广银矿)、萤石矿分布区(如河南破山、浙江毫石银矿)、黑色岩系发育区(如中国南方的震旦系,湘、鄂、粤、桂、浙、滇、陕、豫等省的寒武系和泥盆系)及物化探异常区找银矿(江彪等, 2020)。

要充分运用矿床的成矿系列理论指导银矿找矿勘查工作。中国银矿成矿系列具有以与中生代岩浆热液作用相关的银成矿系列为主,时间上集中在中生代,空间上主要分布于北部和南部的特点,进而概括出三个重要的银矿找矿思路:①中生代有实力,新生代有潜力;②优势地区不放,劣势地区不忘;③老类型需重视,新类型勿轻视(江彪等, 2015)。

银属于活动性比较大的金属元素,其成矿与构造尤其是断裂带关系密切,在有利构造区寻找银矿具有良好前景。在中国,银矿主要分布在深大断裂和断裂的交汇区。在华南、华北等地的找矿工作中,沿小侵入体找矿和顺层位找矿,都发挥了重要作用。总结 20 年来银矿的找矿效果,构造对银矿的控制比地层更显重要,如受破碎带蚀变岩控制的有庞西垌、金山、张公岭、鸡冠石、铁炉坪等大中型独立银矿;受滑脱拆离面控制的有白牛厂、康家湾、富湾、嵩溪等大型或超大型独立和共伴生银矿;受推覆和逆冲断裂控制的有白秧坪、白洋厂、乐马厂、凤凰山等大型独立银矿。近年来在藏南地区也发现了如扎西康矿床等受断裂控制的银矿床,由于该地区构造带延伸长、分布范围广,加上工作程度尚低,完全有可能发现更多银矿床。独立银矿数量少,但易采选、经济价值大,是中国银矿的重要找矿方向。独立银矿床在各种构造环境和大部分矿床类型中都有发现,但多以低温($< 200\text{ }^{\circ}\text{C}$)成矿为显著特征,银主要以银的独立矿物形式存在,如内蒙古额仁陶勒盖、吉林山门和江西虎家尖,其银矿物的种类占自然界已发现银矿物的 20%;银矿物具有从深部到浅部温度降低、氧逸度升高的趋势,相应出现上部自然银、卤化银,下部硫化银的顺向分带趋势,这一特点有助于寻找独立银矿。此外,还应注意老资料再挖掘可为找矿突破提供新线索或新思路。例如,江西冷水坑矿田中的 Ag、Pb、Zn 都达超大型规模,世界罕见。该矿田的找矿突破正是通过对地方志、矿冶史、历年工程资料长达 26 年的不断审视和综合研究后取得的。

4.2.2 有潜力的银矿床类型、成矿期、找矿远景区和矿床

(1)有潜力的银矿床类型

热液脉型和陆相火山-次火山岩型银矿床是中国主要的银矿床类型,其次为海相火山沉积型,

它们仍是中国最有找矿潜力的银矿床类型。斑岩型、页岩型和矽卡岩型银矿床在中国的重要性并不显著(Jiang et al., 2015),但在世界上却很重要,可以形成大型甚至超大型银矿床。斑岩型银矿如玻利维亚的波托西(世界最大银矿,银金属量 19.56×10^4 t)和加拿大的基德克里克(19 560 t);页岩型银矿如澳大利亚的芒特艾萨(8 381 t)、希尔顿(6 660 t)、布罗肯希尔(7 500 t)、埃卢拉(3 780 t),墨西哥的圣巴巴拉(13 684 t),秘鲁的兰帕(2 239 t)等;矽卡岩型银矿如美国廷提克(7 590 t)、宾汉姆(3 827 t)、帕克城(8 000 t)、阿斯彭(3 151 t),墨西哥的圣欧拉里亚(> 10 000 t)、奈卡(3 200 t)、谢腊莫哈达(3 000 t)、贝拉德尼亚(2 500 t)、圣马丁(3 000 t)、Providencia(5 000 t)等(吴美德, 1991)。在一些容易被忽视的矿床类型中,也可能伴随有丰富的银资源。王登红(1995)曾指出,块状硫化物型贱金属矿床是银的重要来源,而且矿床规模越大,所含银也往往越多,例如基德克里克矿床含银 19 560 t。因此,加强银在块状硫化物矿床中赋存规律的研究,对于找矿和认识一些基础地质问题都是很重要的。上述事实表明,中国银矿研究和找矿工作应当重视新类型尤其是国外已经发现的可达大型规模的银矿床类型。同时也应加强对新矿石建造类型(含)银矿的研究,如 Ag-U 组合型矿石建造等。以上新类型银矿床可能会形成中国未来新的重要的银矿成矿系列。

(2)有潜力的银成矿期

中国银矿的成矿作用随地史演化而逐步增强,中生代达到顶峰,查明银资源储量为 266 476 t,占比达 74.25%。进入新生代以来银成矿作用有所减弱。但统计数据显示,在全球千吨级以上的 100 个主要银矿床中,包括全球最大的玻利维亚波托西(Potosi)银矿床(银金属量达到 195 600 t,相当于中国 40 个超大型银矿银金属量的总和)在内的新生代银矿床至少有 35 个(Jiang et al., 2015)。中国大型及以上银矿床中已有云南白秧坪银多金属矿和广东富湾银矿被确认属新生代成矿,位于西藏冈底斯成矿带的甲玛铜矿伴生银超过 13 500 t,属新近纪成矿(王登红等, 1999, 2011; 江彪等, 2014; 中国地质科学院矿产资源研究所, 2019)。在西南三江成矿带和冈底斯成矿带,还发育有一系列共伴生银矿床,单个规模虽不大,但累积起来亦相当可观。由于这两个成矿带的自然条件所限,勘查程度并不高,因此有望获得找矿突破。总而言之,中国新生代成银条件极其优越,新生代具有巨大的银矿成矿潜力和找矿前景,是重要的找矿方向。古生代是仅次于中生代的银矿成矿期。该期自震旦纪末直至二叠纪,在中国广大地域内,几乎每一个地质时代

都沉积了较厚的碳酸盐岩地层。在这一巨大旋回的碳酸盐建造中均有大、中型规模的银或银多金属矿床赋存,尤以泥盆纪—石炭二叠纪地层中银矿床的分布更为广泛,如陕西银洞子、四川大梁子、辽宁新民(泥盆纪)等矿床。古生代沉积型和沉积变质型银矿具有较大找矿潜力。

(3)有潜力的银找矿远景区和矿床

中国银矿床在空间分布上主要集中在北部和南部,中部地区较少,而北部又主要分布在东北和西北,南部较北方地区相对分散,但仍相对集中在西南和东南地区。2010 年以来,在包括大兴安岭中南段、华北陆块南缘、冈底斯—念青唐古拉和西南三江中南段等地区探获的银资源储量超过 65 000 t。其中,大兴安岭及其邻区查明银资源储量超过 86 000 t,也是近年来银矿发现最多的地区(Jiang et al., 2015, 2022),2012 年探获了双尖子山超大型独立银矿和白音查干东山超大型银锡多金属矿,2014 年探获花敖包特超大型银矿,2015 年探获花脑特大型银矿,2018 年又探获复兴屯超大型银矿。大兴安岭地区银矿成矿时代以燕山期为主,也有海西期的(如 1017 高地),矿床类型以岩浆热液脉型为主,也有斑岩型的(如拜仁达坝—维拉斯托);还有矽卡岩型+热液脉型的(如白音诺尔铅锌银矿床);矿种则以 Ag-Pb-Zn 组合为主(双尖子山矿床、拜仁达坝矿床等),还有 Cu-Mo-Ag 组合(乌努格吐山矿床)、Ag-Cu 组合(大井子矿床)、Sn-Ag 组合(维拉斯托矿床)及 Pb-Zn-Ag-Sn-Sb 组合(白音查干东山矿床)等。大兴安岭成矿带大型、超大型银矿床数量多、成矿时代跨度大、矿种组合多、探获资源储量大,今后仍有巨大的找矿前景(Jiang et al., 2022)。大型、超大型银矿的寻找仍是大兴安岭地区的重要方向,岩浆热液型及陆相火山-次火山岩型是主攻矿床类型。河南洛宁地区新近探获的老里湾银矿床被认为是河南省探获的首个大型独立斑岩型银矿床,对在该地区寻找同类型银矿床具有重要的指导意义。笔者专程考察过老里湾银矿床,该矿主要矿化类型为裂隙或节理等开放空间充填型硫化物脉,脉宽介于 3~10 cm,延伸较稳定,矿脉两侧蚀变向围岩方向显著弱化,在蚀变带范围内见有局部发育的浸染状矿化,而远离硫化物脉,则未见浸染型矿化。因此,老里湾银矿的矿床类型还有待确定,其找矿方向也有待进一步明确。在西藏冈底斯成矿带也探获了雄村和扎西康两个大型伴生银矿床。此外,还有一大批中小型伴生银矿,值得进一步工作。

另一方面,那些目前尚无重大银矿找矿发现或突破的所谓劣势地区、甚至是空白区也不应放弃,尤其是对那些有利于银成矿作用发生的地质单元和

成矿环境更要重点勘查。例如,西南三江成银带发育有白秧坪和呷村大型银矿,还有砂西、夏塞等一系列重要银矿。该区银矿成因类型多样,矿床规模可观,由于地处西南山区,且植被较为繁茂,地质找矿工作程度不高,因此尚有巨大的找矿潜力。又如,青海省一直未发现重要银矿床,但那更康切尔沟已经被证实为一个超大型独立银矿,为青海省这个银矿的“劣势地区”今后银矿找矿勘查打开了新局面。东北地区除了吉林四平山门银矿外,尚未发现其他大型独立银矿,属于银成矿的劣势地区。在通化市胜利村 2024 年的普查项目中发现了多个银化探异常区,多个捡块样分析结果显示 Ag 品位普遍高于 100 g/t, 刻槽样 Ag 品位最高达 1 568 g/t, 该区是否存在独立银矿,值得探究。此外,西藏和新疆等地区还存在大片找矿空白区,应加大找银矿的力度。再如,环太平洋成矿域是全球银矿的主要分布区(Jiang et al., 2015), 代表性矿床如新生代与安山岩-流纹岩系列的钙碱性火山岩有关的帕丘查(Pachuca)、瓜纳华托(Guanajuato)和塔约尔提塔(Tayoltita)等,而在一洋之隔的中国东南沿海地区,安山岩-流纹岩系列的钙碱性火山岩也十分发育,却“满天星星,不见月亮”。究其原因,可能是多方面的,如地壳中元素分布的不均一性、地幔柱活动的时间和方式不同导致的先成矿体遭破坏(王登红等, 2005)、具体成矿区域地质构造演化、成矿条件和成矿作用的差异性、勘查技术、手段、程度等的不足等等,但无论如何,加强东南沿海银成矿理论的研究和找矿勘查工作都是必要的,实现该地区银矿找矿突破也是完全可能的。

在一些已有矿床的深部或外围也有较大找银矿潜力。通过全国危机矿山接替资源找矿专项,在山西省灵丘县支家地铅锌银矿等矿区深部和外围取得找矿突破,共探获银资源量 1 万多 t(张大权, 2013)。江西银坑—青塘整装勘查区也新增资源储量银 1 040 t, 使银资源规模由中型升至大型。云南鹤庆北衙金矿 2013—2015 年整装勘查后新增银资源储量 2 541 t, 累计查明银资源储量 8 890 t, 达到超大型矿床规模。2012—2014 年,江苏栖霞山铅锌矿床经估算新增银资源量 1 113 t, 平均品位 319.73 g/t(《中国矿产地质志·银矿卷》编委会, 2021)。吉林四平山门银矿曾是我国八大现代银矿山之一,经过近 40 年的开采,已面临资源枯竭,亟需寻找接替资源。该矿主要为破碎蚀变带控矿,矿体具有分段集中,尖灭再现特点,目前该矿探采深度主要为 400 m 以浅,控矿破碎带和矿化蚀变延深稳定,有望在深部发现新的矿体,如若扩大探矿范围,

不排除找到新的控矿构造的可能性,危机矿山焕发新生是完全有望的。此外,在古矿深部和外围找银矿是最经济也最直接而有效的方法之一,古银矿采冶遗迹是矿体存在的重要标志,也是进一步找矿的重要指示。中国各地留有大量银矿遗迹,其深部或者邻区常常可以找到隐伏银矿体。中国不少独立银矿都是在古矿山深部或外围找到或增储的,除了云南乐马厂和河南破山,云南白牛厂也属此例。在云南、浙江等中国古银矿广泛分布地区,仍可能在古矿深边部和外围找到独立银矿,如浙江泰顺外岗银矿(明朝古银采冶遗址)的深部及洋边锡矿的外围都仍有良好的银矿找矿前景。还有一些独立银矿是在寻找其他矿时意外探获的,如广西凤凰山是找锰矿时发现的,广东嵩溪银铋矿是最初的铋矿最终被确定为了独立银矿,实现了矿种的“反客为主”;广东富湾银矿则是长坑金矿之下发现的独立银矿体。可见,即便是独立银矿,往往也是从其他矿种综合评价中最终探获的,因此,加强找矿勘查过程中以及已有矿山的多矿种组合评价甚为重要。

5 结语

无论是国外还是我国,银矿一直被当作铅锌矿等的共伴生矿种而未引起足够重视,银矿的理论研究和专门的勘查工作起步较晚,工作程度薄弱。《中国矿产地质志·银矿卷》是关于中国银矿的一部具有里程碑意义的集大成之作,但也是一个阶段性总结。我国银矿的理论研究和找矿勘查工作仍处于机遇和挑战并存的局面,大型、超大型银矿及独立银矿的数量逐渐增多,使得将银矿作为独立矿种进行专门性、针对性的研究成为可能和必要,需要在今后工作中不断开拓创新,探索前进。如银矿理论研究方面还有一些重大问题有待深入探讨,包括银的地球化学行为及其对成矿的影响,大型-超大型银矿的成矿背景和条件,独立银矿的成矿机制问题等。从国家层面部署来看,应当以《中国矿产地质志·银矿卷》为基础和契机,继续深化银矿理论研究和创新;设立银矿研究基金,开展与银矿相关的重大基础理论研究;创建国家级大型银资源基地;着力提升银资源的高效回收和综合利用水平;进一步加强银矿理论研究和找矿勘查方面的人才培养和专业化队伍建设,为银矿资源安全保障和银业可持续发展保驾护航。笔者研编《中国矿产地质志·银矿卷》也为抛砖引玉,希望更多学者贡献智慧,共同推动银矿理论研究和勘查事业发展。

致谢: 谨以此文敬贺陈毓川院士九十寿辰! 陈毓川院士追求真理和严谨治学的态度堪为楷模,对矿床

学的贡献有口皆碑,对矿业发展的推动有目共睹!祝陈毓川院士健康长寿!感谢审稿人提出的宝贵意见和建议!

Acknowledgements:

This study was supported by China Geological Survey (Nos. DD20221695, DD20190379, and DD20160346), and Central Public-interest Scientific Institution Basal Research Fund (No. JKYZD202313).

参考文献:

- 陈毓川,王登红,陈郑辉,2010b.重要矿产和区域成矿规律研究技术要求[M].北京:地质出版社.
- 陈毓川,王登红,李厚民,等,2010a.重要矿产预测类型划分方案[M].北京:地质出版社.
- 戴自希,2002.世界银矿资源潜力和可供性研究[M].北京:地震出版社.
- 翟裕生,姚书振,蔡克勤,2011.矿床学[M].北京:地质出版社.
- 黄崇轲,朱裕生,2002.中国银矿床及其时空分布[M].北京:地震出版社.
- 江彪,陈毓川,王成辉,等,2015.中国银矿床成矿系列与成矿谱系初探[J].矿床地质,34(6):1295-1308.
- 江彪,邓军,张长青,2014.西南三江地区沉积岩容矿型铅锌矿成矿特征和成矿规律[J].地质学报,88(12):2532-2544.
- 江彪,王登红,沙俊生,2022.银光闪烁 众里寻“她”[J].自然资源科普与文化,(1):14-17.
- 江彪,武广,陈毓川,等,2018.内蒙古巴林左旗双尖子山银多金属矿床微量稀土元素特征及其矿床成因制约[J].地质学报,92(4):769-786.
- 江彪,张通,陈毓川,等,2019.内蒙古赤峰双尖子山银多金属矿床成矿流体来源及金属沉淀机制探讨[J].地质学报,93(12):3166-3182.
- 江彪,张通,王登红,等,2020.中国银矿床地质控矿规律及若干找矿方向[J].地质学报,94(1):113-126.
- 《矿产资源工业要求手册》编委会,2012.矿产资源工业要求手册[M].北京:地质出版社.
- 马文文,江彪,陈毓川,等,2022.内蒙古双尖子山银多金属矿床大规模铜矿化的发现及意义[J].地球学报,43(4):521-526.
- 孙奎文,杨绍勋,刘艳林,2013.内蒙古自治区巴林左旗双尖子山矿区银铅矿勘探报告[R].赤峰:赤峰天通地质勘查有限公司.
- 王登红,1995.贱金属硫化物矿床中的贵金属[J].贵金属地质,4(1):50-56.
- 王登红,陈毓川,徐珏,等,1999.试论伴生矿床-以长坑金矿与富湾银矿为例[J].地球学报,20(S1):356-360.
- 王登红,陈毓川,徐珏,等,2005.中国新生代成矿作用[M].北京:地质出版社.
- 王登红,唐菊兴,应立娟,等,2011.甲玛与世界级铜矿的初步对比及下一步找矿工作建议[J].矿床地质,30(2):197-206.
- 王登红,杨建民,闫升好,等,2002.西南三江新生代矿集区的分布格局及找矿前景[J].地球学报,23(2):135-140.
- 吴穆生,2002.陕南秦岭山区古采洞(洞)之特征及找矿意义[J].陕西地质,20(1):79-85.
- 吴美德,1991.国外银矿及典型矿床[M].北京:中国地质矿产研究院.
- 姚磊,吕志成,叶天竺,等,2017.大兴安岭南段内蒙古白音查干 Sn 多金属矿床石英斑岩的锆石 U-Pb 年龄、地球化学和 Nd-Hf 同位素特征及地质意义[J].岩石学报,33(10):3183-3199.
- 有色金属矿产地质调查中心,2017.内蒙古自治区巴林左旗双尖子山银铅锌矿生产勘探报告[R].北京:有色金属矿产地质调查中心.
- 张大权,2013.中国主要类型银矿成矿规律与找矿方向[D].北京:中国地质科学院.
- 赵一鸣,吴良士,白鸽,等,2004.中国主要金属矿床成矿规律[M].北京:地质出版社.
- 中国地质科学院矿产资源研究所,2019.西藏自治区墨竹工卡县甲玛矿区铜多金属矿资源储量年度总结报告[R].北京:中国地质科学院矿产资源研究所.
- 《中国矿产地质志·银矿卷》编委会,2021.中国矿产地质志·银矿卷[M].北京:地质出版社.
- 《中国矿床》编委会,1994.中国矿床(宋叔和主编)(上、中、下册)[M].北京:地质出版社.
- 中华人民共和国冶金工业部,1978.关于加快金银铂族等贵金属生产发展的报告[R].北京:冶金工业出版社.
- 中华人民共和国冶金工业部和国家计委地质局,1975.关于大力发展黄金、白银的报告[R].北京:冶金工业出版社.
- 中华人民共和国自然资源部,2018.全国矿产资源储量通报[M].北京:地质出版社.
- 中华人民共和国自然资源部,2022.中国矿产资源报告 2021[M].北京:地质出版社.
- 中华人民共和国自然资源部,2023.2022 年全国矿产资源储量统计表[M].北京:地质出版社.
- 中华人民共和国自然资源部,2023.中国矿产资源报告 2022[M].北京:地质出版社.
- 朱训,1999.中国矿情·第二卷金属矿产[M].北京:科学出版社.
- 朱训,2010.中国矿业史[M].北京:地质出版社.

References:

- CHEN Yuchuan, WANG Denghong, CHEN Zhenghui, 2010b. Technical requirements for research on metallogenic regularity of important minerals and regions[M]. Beijing: Geological Publishing House(in Chinese).
- CHEN Yuchuan, WANG Denghong, LI Houmin, et al., 2010a. Classification scheme of important mineral prediction types[M]. Beijing: Geological Publishing House(in Chinese).
- China Non-ferrous Metals Resource Geological Survey, 2017. Production and exploration report of Shuangjianzishan silver lead zinc mine, Balin Left Banner, Inner Mongolia Autonomous Region[R]. Beijing: China Non-ferrous Metals Resource Geological Survey(in Chinese).
- DAI Zixi, 2002. Research on the potential and availability of world silver mineral resources[M]. Beijing: Seismological Press(in Chinese).
- HUANG Chongke, ZHU Yusheng, 2002. Silver deposits in China and their spatiotemporal distribution[M]. Beijing: Seismological Press(in Chinese).
- Institute of Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, 2019. Annual summary report of copper polymetallic ore reserves in Jiama Mining area, Mozhukongka County, Tibet Autonomous Region[R]. Beijing: Institute of Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences(in Chinese).
- JIANG Biao, CHEN Yuchuan, WANG Chenghui, et al., 2015. A preliminary study of minerogenetic series and mineralization pedigree of silver deposits in China[J]. Mineral Deposits, 34(6): 1295-308(in Chinese with English abstract).
- JIANG Biao, DENG Jun, ZHANG Changqing, 2014. Sediment-hosted lead-zinc deposits in Sanjiang Region, SW

- China: Characteristics and regional metallogeny[J]. *Acta Geologica Sinica*, 88(12): 2532-2544(in Chinese with English abstract).
- JIANG Biao, WANG Denghong, CHEN Yuchuan, et al., 2022. Classification, metallogenesis and exploration of silver deposits in Daxing'anling of Inner Mongolia and its adjacent areas[J]. *China Geology*, 5: 595-613.
- JIANG Biao, WANG Denghong, SHA Junsheng, 2022. The silver light twinkles as I seek "her" amidst the crowd[J]. *Scientific and Cultural Popularization of Natural Resources*, (1): 14-17(in Chinese).
- JIANG Biao, WU Guang, CHEN Yuchuan, et al., 2018. Constraint on the Genesis of the Shuangjianzishan Silver-polymetallic Deposit, Balinzuo Qi, Inner Mongolia: Evidence from Trace and Rare Earth Elements[J]. *Acta Geologica Sinica*, 92(4): 769-786(in Chinese with English abstract).
- JIANG Biao, ZHANG Daquan, WANG Denghong, et al., 2015. A preliminary review of metallogenic regularity of silver deposits in China[J]. *Acta Geologica Sinica (English Edition)*, 89(3): 1002-1020.
- JIANG Biao, ZHANG Tong, CHEN Yuchuan, et al., 2019. The source of ore-forming fluid and mechanism of metal precipitation in the Shuangjianzishan Ag-polymetallic deposit in Chifeng, Inner Mongolia[J]. *Acta Geologica Sinica*, 93(12): 3166-3182(in Chinese with English abstract).
- JIANG Biao, ZHANG Tong, WANG Denghong, et al., 2020. Factors controlling ore formation, regularity and some prospecting strategies for silver deposits in China[J]. *Acta Geologica Sinica*, 94(1): 113-126(in Chinese with English abstract).
- MA Wenwen, JIANG Biao, CHEN Yuchuan, et al., 2022. Discovery and Significance of Large-scale Copper Mineralization in Shuangjianzishan Silver-polymetallic Deposit, Inner Mongolia[J]. *Acta Geoscientica Sinica*, 43(4): 521-526(in Chinese with English abstract).
- Metallurgical Industry Department of the People's Republic of China, 1975. Report on the Development of Gold and Silver[R]. Beijing: Metallurgical Industry Press(in Chinese).
- Metallurgical Industry Department of the People's Republic of China, 1978. Report on Accelerating the Production Development of Precious Metals including Gold, Silver, and Platinum Group Metals[R]. Beijing: Metallurgical Industry Press(in Chinese).
- Ministry of Natural Resources of the People's Republic of China, 2018. National mineral resources reserves bulletin[R]. Beijing: Ministry of Natural Resources of the People's Republic of China(in Chinese).
- Ministry of Natural Resources of the People's Republic of China, 2022. China mineral resources 2021[R]. Beijing: Geological Publishing House(in Chinese).
- Ministry of Natural Resources of the People's Republic of China, 2023. Statistical table of national mineral resources reserves in 2022[R]. Beijing: Geological Publishing House(in Chinese).
- Ministry of Natural Resources of the People's Republic of China, 2022. China mineral resources 2021[R]. Beijing: Geological Publishing House(in Chinese).
- SUN Kuiwen, YANG Shaoxun, LIU Yanlin, 2013. Exploration Report of silver and lead ore in Shuangjianzishan Mining Area, Balin Left Banner, Inner Mongolia Autonomous Region (Mine Exploration Report)[R]. Chifeng: Chifeng Tiantong Geological Exploration Co., LTD(in Chinese).
- The Editorial Board of Mineral Deposits in China, 1994. Mineral Deposits in China (Volumes 1, 2, 3)[M]. Beijing: Geological Publishing House(in Chinese).
- The Editorial Board of the Handbook of Industrial Requirements for Mineral Resources, 2012. Mineral Resources Industry Requirements Manual[M]. Beijing: Geological Publishing House(in Chinese).
- The Editorial Committee of "Geology of Mineral Resources of China · Silver Mine Volume", 2021. Geology of mineral resources in China·Silver Mine Volume[M]. Beijing: Geological Publishing House(in Chinese).
- USGS (U.S. Geological Survey), 2023. Mineral Commodity Summaries[R]. Reston, VA, U.S.: 1-210.
- WANG Denghong, 1995. Precious metals in base metal sulfide deposits[J]. *Journal of Precious Metallic Geology*, 4(1): 50-56(in Chinese with English abstract).
- WANG Denghong, CHEN Yuchuan, XU Yu, et al., 1999. Discussion on Associated Deposits Examples from Changkeng Au Daposit and Fuwan Ag Deposit, Guangdong[J]. *Acta Geoscientica Sinica*, 20(S1): 346-350(in Chinese with English abstract).
- WANG Denghong, CHEN Yuchuan, XU Yu, et al., 2005. Cenozoic mineralization in China[M]. Beijing: Geological Publishing House(in Chinese with English Summary).
- WANG Denghong, TANG Juxing, YING Lijuan, et al., 2011. A preliminary comparison between Jiama and worldclass copper deposits and an analysis of the prospecting potential[J]. *Mineral Deposits*, 30(2): 197-206(in Chinese with English abstract).
- WANG Denghong, YANG Jianmin, YAN Shenghao, et al., 2002. Cenozoic ore concentration areas in the Sanjiang Region, SW China: Tectonic setting and exploration[J]. *Acta Geoscientica Sinica*, 23(2): 135-140(in Chinese with English abstract).
- WU Jiaosheng, 2002. The characteristics and its ore-finding significance of ancient-mining hole in qinling mountains, Southern Shaanxi[J]. *Geology of Shaanxi*, 20(1): 79-85(in Chinese with English abstract).
- WU Meide, 1991. Foreign silver ore and typical deposit[M]. Beijing: China Academy of Geology and Mineral Resources: 1-378(in Chinese).
- YAO Lei, LÜ Zhicheng, YE Tianzhu, et al., 2017. Zircon U-Pb age, geochemical and Nd-Hf isotopic characteristics of quartz porphyry in the Baiyinchagan Sn polymetallic deposit, Inner Mongolia, southern Great Xing'an Range, China[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 33(10): 3183-3199(in Chinese with English abstract).
- ZHAI Yusheng, YAO Shuzhen, CAI Keqin, 2011. Mineral deposits[M]. Beijing: Geological Publishing House(in Chinese).
- ZHANG Daquan, 2013. Metallogenic regularity and prospecting direction of main types of silver ore in China[D]. Beijing: Chinese Academy of Geological Sciences(in Chinese with English abstract).
- ZHAO Yiming, WU Liangshi, BAI Ge, et al., 2004. Metallogenic regularity of major metal deposits in China[D]. Beijing: Geological Publishing House(in Chinese with English abstract).
- ZHU Xun, 1999. China Minerals · Volume II Metal Minerals[M]. Beijing: Geological Publishing House(in Chinese).
- ZHU Xun, 2010. Mining history of China[M]. Beijing: Geological Publishing House(in Chinese).