

内蒙古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·内蒙古卷》研编

张 彤^{1, 2)}, 敖 嫩^{1, 2)}, 邵和明³⁾, 武利文^{1, 2)},
李雪娇^{1, 2)}, 李四娃¹⁾, 巩智镇⁴⁾, 李 杨^{1, 2)}

- 1) 内蒙古自治区地质调查研究院, 内蒙古呼和浩特 010020;
2) 内蒙古自治区岩浆活动成矿与找矿重点实验室, 内蒙古呼和浩特 010020;
3) 内蒙古自治区地质矿产勘查开发局, 内蒙古呼和浩特 010020;
4) 内蒙古自治区测绘地理信息中心, 内蒙古呼和浩特 010020

摘 要: 内蒙古地域辽阔, 横跨古亚洲成矿域、滨太平洋成矿域和秦祁昆成矿域三大成矿域, 成矿条件优越, 矿产资源丰富。长期以来, 以陈毓川院士为首的科研团队在内蒙古开展了一系列成矿规律研究工作, 指导找矿勘查取得了一批重要成果, 不仅总体提升了地质矿产研究水平, 更是为内蒙古经济社会健康发展提供了坚实的矿产资源支撑和保障。本文简要回顾了陈毓川院士在内蒙古开展地质矿产工作历程及所取得的主要成果, 并以《中国矿产地质志·内蒙古卷》研编工作为基础, 系统总结了百年来内蒙古矿产勘查成果、矿产资源的总体特征及优势矿产分布情况; 首次建立了矿种全覆盖的内蒙古矿床(成因/工业)类型三级分类体系, 总结了每种矿床类型的总体成矿地质特征。将内蒙古划分为 6 个成矿省、16 个三级成矿带、35 个四级成矿亚带, 重新厘定出 42 个矿床成矿系列, 总结了矿床成矿系列的时空分布特征, 建立了重要成矿省的区域成矿谱系, 探讨了区域构造演化与成矿作用的关系。创新性提出矿化强度/成矿强度评价指标, 提出Ⅲ级成矿区带找矿方向, 并综合考虑成矿地质条件、矿产资源潜力等因素, 圈定出 10 个找矿远景区、30 个找矿靶区, 提出了新一轮找矿突破行动矿产勘查部署建议。

关键词: 内蒙古; 成矿规律; 成矿系列; 勘查成果; 找矿建议

中图分类号: P612 文献标志码: A doi: 10.3975/cagsb.2024.122411

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

ZHANG Tong^{1, 2)}, AO Nen^{1, 2)}, SHAO Heming³⁾, WU Liwen^{1, 2)},
LI Xuejiao^{1, 2)}, LI Siwa¹⁾, GONG Zhizhen⁴⁾, LI Yang^{1, 2)}

- 1) Geological Survey Institute of Inner Mongolia, Hohhot, Inner Mongolia 010020;
2) Inner Mongolia Key Laboratory of Magmatic Mineralization and Ore-Prospecting, Hohhot, Inner Mongolia 010020;
3) Inner Mongolia Bureau of Geology and Mineral Exploration and Development Bureau,
Hohhot, Inner Mongolia 010020;
4) Inner Mongolia Surveying, Mapping and Geoinformation Center, Hohhot, Inner Mongolia 010020

Abstract: In this article, we review the research conducted by Academician CHEN Yuchuan on the mineralization laws in Inner Mongolia that provide a basis for the deployment, planning, and construction of important energy

本文由中国地质调查局“中国矿产地质志”项目(编号: 1212011220369; 1212011440301)资助。

收稿日期: 2024-06-27; 改回日期: 2024-12-15; 网络首发日期: 2024-12-26。责任编辑: 张改侠。

第一作者简介: 张彤, 女, 1968 年生。博士, 正高级工程师。主要从事成矿规律研究、矿产资源潜力评价、地学数据库建设等工作。

E-mail: zhangtnm@126.com。

resource bases for mineral exploration in Inner Mongolia. Overall, this work has improved the level of geological and mineral research and contributed to notable social and economic benefits. After the establishment of the People's Republic of China, a large number of mineral deposits of significant industrial importance were discovered and identified, providing solid mineral resource support and guarantee for the healthy economic and social development of Inner Mongolia. Inner Mongolia has a vast territory spanning three major mineralization domains, namely, the ancient Asian, Pacific coast, and Qin-Qi-Kun mineralization domains. It comprises 6 mineralization provinces, 16 tertiary mineralization belts, and 35 quaternary mineralization sub-belts, and has particularly favorable mineralization conditions, and accordingly represents an important energy and strategic mineral resource raw material base in China. Inner Mongolia can also be divided into 42 mineralization series, and a mineralization lineage reflecting the relationship between geological movements and mineralization processes has been established. In this review, we summarize the mineralization laws according to geological age, and taking into account factors such as geological conditions for mineralization and the potential of mineral resources, we propose measures for the deployment of a new round of mineral exploration operations.

Key words: Inner Mongolia; metallogenic regularity; mineralization series; exploration results; mining suggestions

陈毓川院士曾经指出“矿产资源是国家经济社会发展的物质基础,我国处于工业化中后期发展阶段,矿产资源需求量处于增长时期,需求的量大、矿种多。掌握全国的所有矿产的家底,是国家与人民十分需要的大事”(王登红等,2014)。

自 2006 年起,陈毓川院士作为内蒙古自治区特聘院士开展了一系列综合研究项目,多次赴内蒙古开展野外调查工作(表 1,图 1),不仅在理论上有所创新,显著提高了内蒙古基础地质与综合研究水平,而且为内蒙古矿产勘查部署及规划提供了重要依据,同时提交了经验证已达大中型矿床规模的矿产地和可供进一步勘查的靶区多处,取得了多方面的经济社会效益,整体提升了内蒙古成矿规律研究水平,为内蒙古矿产勘查、资源开发及中国北方重要能源资源开发基地建设提供了基础。这些矿产资源勘查开发基地的逐步形成,将进一步为内蒙古社会和经济发展做出更大的贡献。

2014—2023 年由自然资源部(原国土资源部)统

筹推进,陈毓川院士、王登红研究员任总主编的《中国矿产地质志》编撰工作是百年志书重大工程,《中国矿产地质志·内蒙古卷》是项目成果之一,是内蒙古自治区第一部较全面的地质矿产成果与综合研究志书,首次实现了自治区已发现矿种、矿产地全覆盖。通过深入研究内蒙古区域地质成矿条件、成矿区带、成矿系列及成矿谱系,综述了各矿种及矿床成矿系列的时、空演化和区域成矿作用演化规律,提升了内蒙古区域成矿的研究水平。项目成果不仅是一部资料全面、系统、翔实的矿产地质文献,也是中央和地方政府各部门对矿产资源领域决策的重要参考资料,亦是地质工作者的工具书和国民矿情普及读物之一,将服务于全民。

内蒙古自治区(简称内蒙古)位于中国北部边疆,东、南、西三面与黑龙江、吉林、辽宁、河北、山西、陕西及宁夏、甘肃等八省(区)毗连,北部与蒙古、俄罗斯两国为邻。全区东西长 2 400 km,南北宽 1 700 km,面积 118.3×10⁴ km²,占全国陆域总面积的 12.3%。

表 1 陈毓川院士指导的内蒙古地质勘查基金项目一览表

Table 1 List of Inner Mongolia Geological Exploration Fund Projects guided by Academician CHEN Yuchuan

序号	项目名称	内蒙古地勘基金 项目编号	取得成果
1	内蒙古重要矿产资源潜力评价及区域成矿规律研究	2006-02-YS01	项目研究坚持理论创新与找矿预测评价相结合的原则,在理论上有创新,提交了经验证已达大中型矿床规模的矿产地一处和可供有进一步勘查的靶区多处,是运用成矿系列理论研究区域成矿规律开展矿产资源潜力评价并取得找矿成效的一个范例,总体达到了国际先进水平
2	内蒙古自治区兴和县曹四夭超大型钼矿床成矿规律研究	2012-03-YS01	以板块构造理论和矿床成矿系列理论为指导思想,建立了曹四夭斑岩型钼矿床成矿模式和找矿模型,厘定了集宁南部地区中生代矿床成矿系列。强调产、学、研紧密结合,切实解决了曹四夭矿床勘查中的找矿实际问题,在矿区外围发现了大沙沟铅锌银矿点,指出了找矿方向
3	内蒙古锡林浩特市—巴林左旗铜多金属矿成矿规律与选区研究	2015-01-YS01	通过深入研究矿床区域大地构造背景,总结了大兴安岭南段中生代内生金属矿床区域成矿规律,建立了成矿模式和找矿模型;提交了经验证可供进一步勘查的矿产地 4 处,提出了浅覆盖区找矿方法技术建议。矿床成矿系列理论在该地区的区域成矿规律研究和找矿应用方面成效显著,具有创新性
4	内蒙古自治区巴林左旗双尖子山超大型银铅锌矿床成矿机制与找矿预测	2020-YS03	对矿床地质条件、成矿阶段、成矿时代、成矿流体与物质来源、矿床时空演化规律进行了综合分析研究,揭示了成矿物质特征,查明了流体机制,建立了成矿模式,在矿区外围圈定了找矿靶区,指导了企业矿山深部找矿方向,实现矿集区深部新矿种、新类型的找矿突破

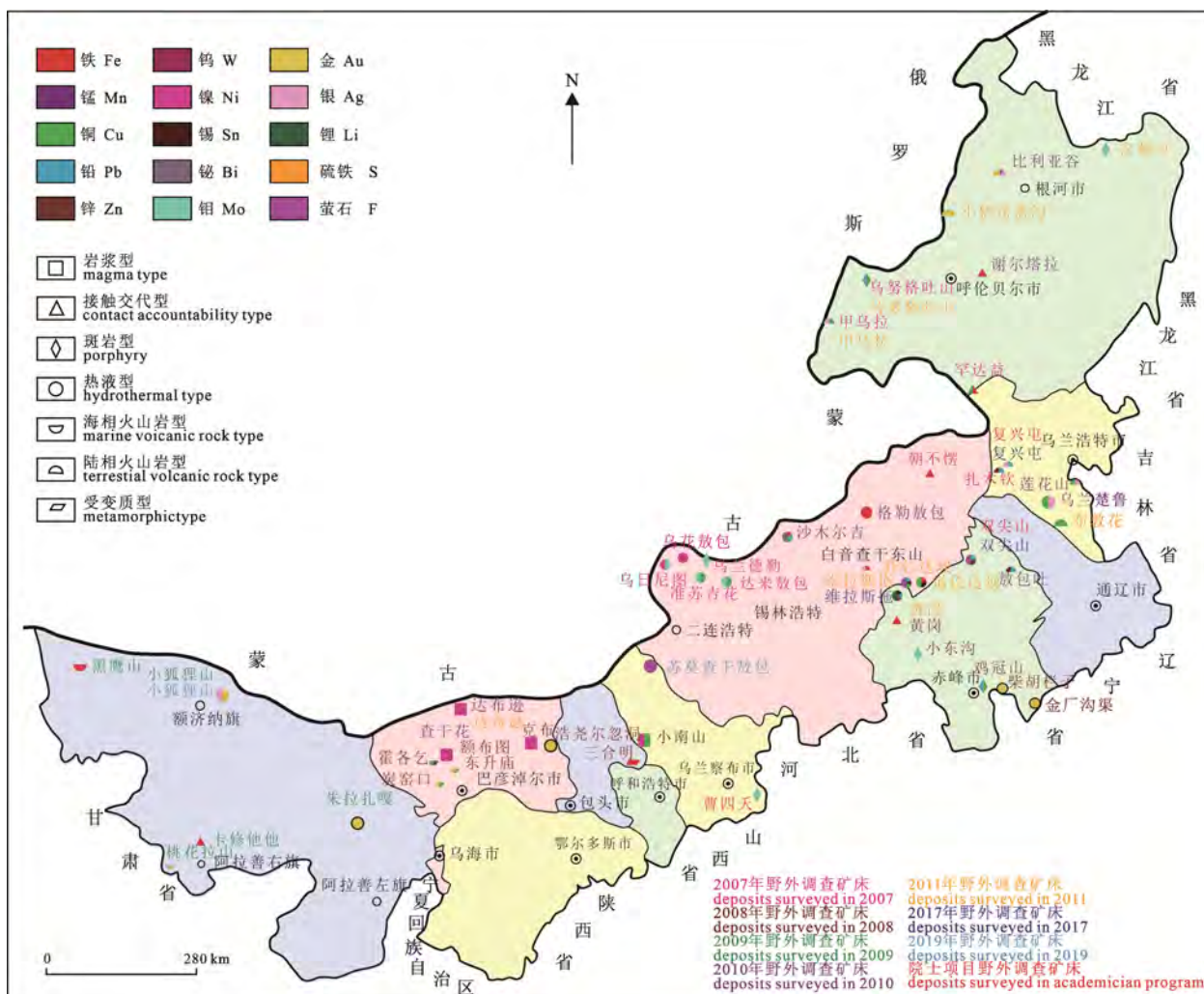


图1 陈毓川院士在内蒙古野外调查矿床分布图

Fig. 1 Distribution map of mineral deposits surveyed by Academician CHEN Yuchuan in Inner Mongolia

内蒙古全区人口 2 534 万, 分布着 49 个民族, 设 9 市 3 盟。地形以高原为主, 其次为山地和平原。大兴安岭、阴山、贺兰山蜿蜒相连, 与内蒙古高原、河套平原呈带状镶嵌排列。内蒙古高原是我国第二大高原, 平均海拔在 1 000 m 以上。大兴安岭呈南北向延伸, 是内蒙古高原与松辽平原的分水岭。东西向的阴山山脉由大青山、乌拉山、色尔腾山和狼山组成, 西南部为贺兰山。鄂尔多斯高原位于内蒙古南部, 与晋陕黄土高原相连。在鄂尔多斯高原和阴山山地之间, 是由黄河冲积而成的河套平原。

全区水系分布具有东密西疏的特点。黄河在内蒙古境内流经 778 km, 嫩江、额尔古纳河、西辽河等河流分布在内蒙古东部, 较大的淡水湖有呼伦湖、达里诺尔湖、岱海、乌梁素海、居延海等。

内蒙古上下高效统筹经济社会发展, 持续加大政策落实力度, 加快推动高质量发展。2022 年, 内蒙古人均地区生产总值达到 96 474 元, 2023 年内蒙古生产总值 24 627 亿元, 人均地区生产总值超过全国平均水平。

1 内蒙古资源概况与勘查成果

1.1 内蒙古矿产资源概况

1.1.1 内蒙古矿产资源分布

内蒙古自治区地处古亚洲成矿域和滨太平洋成矿域两大成矿域, 前者呈近东西向带状分布, 后者呈北东向叠加在前者之上。西南端有一小部分跨入秦祁昆成矿域。区内地层发育较齐全, 地质构造复杂, 岩浆活动强烈, 成矿地质条件优越。

各矿产大类齐全, 有能源矿产、黑色金属矿产、有色金属矿产、贵金属矿产、非金属矿产和水气矿产, 截至 2022 年底, 已查明矿产 142 种, 其中已开发利用的有 113 种; 区内共发现矿产地 3 396 处, 其中已开发利用的有 1 133 处。

从成矿区域上, 矿产资源集中分布于“四带”和“三盆”内(图 2)。“四带”指华北陆块北缘成矿带(包括东段和西段)、突泉—翁牛特旗成矿带、东乌旗—嫩江成矿带和新巴尔虎右旗—根河成矿带, 蕴藏了内蒙古两大稀土稀有矿床, 90%以上的有色

金属储量和 80%以上的铁矿石储量。“三盆”即鄂尔多斯盆地、二连盆地(群)和海拉尔盆地(群), 集中了全区 90%以上的煤炭资源, 亦是石油、天然气和铀矿的主要产地。

从地域分布上, 东部区以有色多金属为主, 其次为能源和非金属矿产; 中部区以能源、黑色金属、有色金属、贵金属、稀有稀土为主, 其次是非金属矿产; 西部区以能源、非金属矿产为主, 其次为金属矿产(图 2)。

总体上内蒙古自治区矿产资源的主要特点表现为: 以煤和石油、天然气为主的能源矿产品种较齐全、储量丰富, 是国家重要的能源基地; 稀土资源得天独厚, 为世界最大的稀土原料生产和供应基地; 有色金属矿产资源分布集中、储量丰富, 具有规模化开发的地理条件; 非金属矿产种类繁多, 分布广。

全区按矿床规模统计, 超大型矿床和大型矿床主要集中在煤炭及非金属矿产中, 有色金属、非金属、黑色金属矿产地数量虽多, 但以小型矿床或矿点为主(表 2)。

1.1.2 内蒙古优势矿产资源

内蒙古有 19 个单矿种保有资源储量全国排名第 1 名, 18 个单矿种保有资源储量全国总资源储量排名第 2 名(图 3)。

表 2 内蒙古矿产地规模一览表
Table 2 List of mineral production areas in Inner Mongolia

矿产大类	超大型 /个	大型 /个	中型 /个	小型 /个	矿点 /个
能源矿产	44	91	202	164	47
黑色金属	1	1	22	495	95
有色金属矿产	10	28	124	200	341
贵金属矿产	1	16	31	231	99
三稀矿产		1	1	2	1
工业矿物	16	22	59	43	127
工业岩石	22	46	102	365	113
水气矿产					233
合计	94	205	541	1 500	1 056

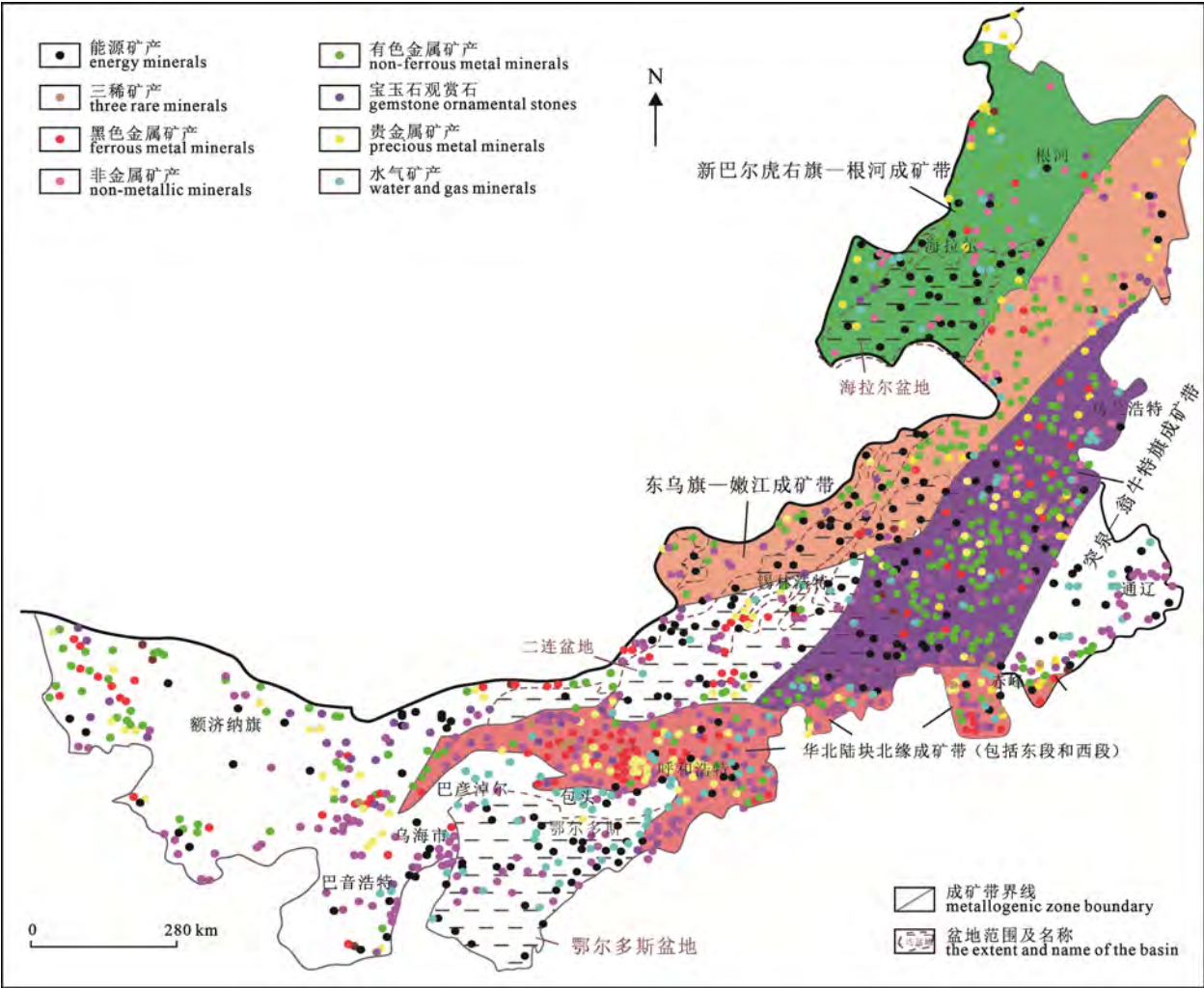


图 2 内蒙古主要成矿带及矿产大类分布图
Fig. 2 Distribution of the main metallogenic zones and mineral categories in Inner Mongolia

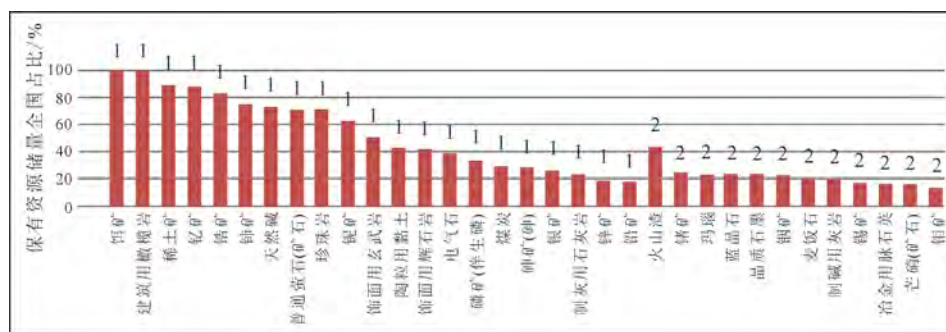


图3 内蒙古部分主要矿种保有资源储量全国占比及排名(截至2022年底)

Fig. 3 National proportion and ranking of retained resource reserves of some major mineral species in Inner Mongolia (as of the end of 2022)

内蒙古优势矿产资源情况如下(张彤等, 2023):

(1)煤炭: 截至2022年底, 全区煤炭保有资源储量居全国第1位, 占全国总量的29.69%。全区可划分为八个煤炭聚集区, 分别为鄂尔多斯盆地(北缘)、海拉尔盆地群、二连盆地群、阴山地区、阿拉善地区、大兴安岭中段、大兴安岭南段、松辽盆地西部煤炭聚集区。主要煤田有东胜煤田、准格尔煤田、胜利煤田、白音华煤田、陈巴尔虎煤田、伊敏煤田、大雁煤田等。内蒙古煤炭具有煤品优良、储量大、煤层稳定、埋藏浅等特点, 可作为动力煤、化工原料和清洁煤炭基地。

(2)天然气: 截至2022年底, 内蒙古已探明的天然气田30处, 可采储量位居全国第3位, 对内蒙古乃至全国经济社会发展具有重要作用。天然气田分布在5个盆地中, 自西向东分别为银额盆地、鄂尔多斯盆地、二连盆地、松辽盆地和海拉尔盆地。集中分布在鄂尔多斯盆地, 探明气田储量全区占比99.42%。

(3)铀矿: 铀矿查明资源储量位居全国前列, 全国最大的地浸砂岩型铀矿田打破了我国无世界级大铀矿局面(西部资源, 2012), 从此我国长期以来核能工业发展的铀矿瓶颈终于解开。目前内蒙古共探明铀矿产地25处, 其中超大型铀矿床2个, 大型铀矿床8个, 中型铀矿床6个, 小型铀矿床9个。已建成投产通辽市钱家店“绿色”环保型的地浸铀矿山1处。这对我国立足国内提高铀资源供应, 提高核电发展资源保障能力具有重大意义。

(4)石油: 截至2022年底, 内蒙古探明油田34处, 含油盆地的分布与天然气具有相同的范围, 累计探明石油地质储量位居全国第11位。内蒙古石油主要形成于古生代海陆交互相和中生代陆相烃源岩中。二连盆地、松辽盆地和海拉尔盆地成藏时代主要为白垩纪, 少量为侏罗纪、二叠纪; 银额盆地、鄂尔多斯盆地石炭—二叠纪、侏罗纪、白垩纪均有石油成藏。全区很多凹陷仅做了前期评价或圈闭预

探工作, 还有很多中小型凹陷未进行系统的石油勘探工作, 随着新的油田不断发现和开发, 内蒙古将成为我国石油生产重要的接续基地。

(5)铁矿: 全区累计查明铁矿保有资源储量居全国第6位, 占全国总量的5.13%。主要有白云鄂博超大型铁镍稀土矿床、三合明大型铁矿床、温都尔庙白云敖包大型铁矿床、黄岗大型铁锡矿。白云鄂博铁镍稀土矿床的勘探开发, 在发展国民经济和增强民族团结方面均有重要的作用, 既保证了国家的工业布局和包钢集团的原料基地, 也促进了城市建设的迅速发展。

(6)铜矿: 铜保有资源量居全国第5位, 占全国总量的5.16%。内蒙古铜矿类型主要有斑岩型、海相火山岩型、陆相火山岩型及岩浆热液型。铜矿资源主要分布在呼伦贝尔市、赤峰市、巴彦淖尔市、锡林郭勒盟和乌兰察布市, 五个盟市铜金属资源储量合计占全区铜金属保有资源储量的92.82%。有国内著名的乌努格吐山、霍各乞、白乃庙等大型铜多金属矿床。

(7)铅锌矿: 铅、锌保有资源量均居全国第1位, 分别占全国总量的18.17%和19.62%, 对中国铅锌矿产量增长贡献也最大。铅锌矿资源主要分布在赤峰市、巴彦淖尔市、呼伦贝尔市、锡林郭勒盟, 四个盟市铅、锌资源储量合计占全区铅、锌保有资源储量的80%和92%。主要有东升庙多金属矿床、霍各乞铜多金属矿床、炭窑口多金属矿床、甲生盘铅锌硫矿床、白音诺尔铅锌矿床、双尖子山银铅锌矿床、浩布高多金属矿床、拜仁达坝锌多金属矿床、维拉斯托锌多金属矿床、甲乌拉银铅锌矿床、三河铅锌矿床、花敖包特银铅锌矿床、阿尔哈达银铅锌矿床等大型矿床, 并建有大型矿山。建有20多家铅锌冶炼企业, 是内蒙古自治区矿业的支柱产业。

(8)锡矿: 锡保有资源量居全国第2位, 占全国总量的17.64%。林西县大井锌多金属矿床是自治区第一座锡矿山, 据考察大井古铜矿遗址距今有

2 700 多年的历史,是中国迄今发现的最早的一处集采矿、冶炼、铸造等全工序的古铜锡矿遗址。进入 21 世纪,内蒙古锡矿勘查取得了重大进展,发现了西乌珠穆沁旗道伦达坝中型铜钨锡矿、克什克腾旗维拉斯托大型锡多金属矿、克什克腾旗老盘道背后中型锡铜矿、西乌珠穆沁旗白音查干东山超大型银锡多金属矿等。

(9) 钼矿: 钼保有资源量居全国第 2 位, 占全国总量的 14.14%。发现的超大型钼矿主要有鄂伦春自治旗岔路口钼矿床、兴和县曹四夭钼矿床、东乌珠穆沁旗迪彦钦阿木钼多金属矿床、乌奴格吐山铜钼矿床等。区内钼矿的开发利用只是采、选, 所有矿山均建有选矿厂, 生产钼精矿, 无深加工产品, 工业附加值低。

(10) 金矿: 金保有资源量居全国第 4 位, 占全国总量的 5.76%。主要分布在赤峰市、巴彦淖尔市、包头市和阿拉善盟。内蒙古具有悠久的采金历史, 据历史资料记载, 赤峰市南部, 如金厂沟梁早在 700 年前的元世祖忽必烈至元年间, 就有人淘砂取金, 在其附近先后探明红花沟、金厂沟梁、莲花山、安家营子、柴胡栏子等大中型金矿; 清朝初期, 就在呼伦贝尔市大量开采黄金, 曾有六厂三十六矿之称。目前全区探明乌拉特中旗浩尧尔忽洞超大型金矿床 1 处, 大型矿床 10 处, 包括阿拉善左旗朱拉扎嘎金矿床、包头市九原区哈德门沟—乌拉山金矿床、苏尼特右旗毕力赫金矿床、敖汉旗金厂沟梁金矿床等。

(11) 银矿: 银保有资源量居全国第 1 位, 占全国总量的 25.80%。大型及以上规模的银多金属矿床集中分布在内蒙古东部大兴安岭成矿带中, 包括巴林左旗双尖子山银铅锌矿床、西乌珠穆沁旗白音查干东山银锡多金属矿床、西乌珠穆沁旗花敖包特银多金属矿床、克什克腾旗拜仁达坝银多金属矿床、科尔沁右翼前旗复兴屯银铅锌矿床、新巴尔虎右旗额仁陶勒盖银矿床、新巴尔虎右旗甲乌拉银铅锌矿床等。

(12) 稀土矿: 稀土保有资源量居全国第 1 位, 占全国总量的 89.01%。白云鄂博矿区保有稀土资源储量占全区总量的 99.47%。白云鄂博矿区稀土矿产量一直居世界第一, 经过半个多世纪的开发, 成为国际上名副其实的“稀土之都”。该矿床对发展我国稀土工业, 振兴内蒙古的经济, 具有深远意义, 也为我国带来巨大的资源效益。

(13) 普通萤石: 普通萤石矿石保有资源量居全国第 1 位, 占全国总量的 70.95%。四子王旗苏莫查干敖包超大型萤石矿床为沉积改造型矿床, 产于中下二叠统大石寨组的结晶灰岩及大理岩层中, 矿体严格受碳酸盐岩层控制。阿巴嘎旗巴彦图嘎李瑛萤

石矿床为岩浆热液充填型矿床, 主要由于区域性大断裂构造引起的中、酸性岩浆活动萤石矿体的形成。

(14) 芒硝矿: 芒硝矿石保有资源量居全国第 2 位, 占全国总量的 16.26%。具有矿床规模大、储量高、矿石品位高、芒硝纯度高、矿层埋藏浅、易于开采等特点。达拉特旗达拉特芒硝矿床和土默特右旗双龙芒硝矿床两个矿床的资源储量占全区总资源储量的 95.83%, 另有阿拉善右旗雅布赖盐湖池、杭锦旗盐海子等芒硝矿床。

(15) 天然碱矿: 天然碱保有资源量居全国第 1 位, 占全国总量的 77.66%。内蒙古地处高原, 气候干旱, 内陆或断陷盆地发育, 大中小碱湖星罗棋布, 利于形成碱矿资源, 为国内现代陆相盐类矿床的主要分布地区。内蒙古对天然碱的开采较石盐之开采为晚, 鄂尔多斯地区的察汗淖、纳林淖、哈马太等碱湖是从清朝光绪二十年左右开始开采。苏尼特右旗查干诺尔天然碱矿是著名的大型天然碱矿床, 阿拉善右旗塔木素为近年新发现的超大型天然碱矿床。

(16) 石墨矿: 晶质石墨保有资源量居全国第 2 位, 占全国总量的 22.76%。晶质石墨主要分布在巴彦淖尔市、阿拉善盟和包头市。产于新太古界的晶质石墨具有片度大, 品位高的特点。兴和县黄土窑石墨矿床是内蒙古石墨矿最早发现和勘查开采的矿产地, 近年来在石墨勘查方面取得了重大进展, 新发现具有工业价值的阿拉善左旗查汗木胡鲁、阿拉善左旗库井沟、阿拉善右旗扎木敖包等石墨矿床。

(17) 锆矿: 锆保有资源量居全国第 2 位, 占全国总量的 23.77%。内蒙古锡林郭勒盟胜利煤田乌兰图嘎锆矿床为全国最大的锆矿, 是被誉为“锆谷”的我国最大的锆业生产基地, 高品位的锆与煤炭共生, 主要利用煤发电后的烟尘提取锆。

1.2 内蒙古百年勘查成果

内蒙古自治区于 1947 年 5 月 1 日成立, 是我国成立最早的一个少数民族自治区。成立以来, 内蒙古的经济建设有了突飞猛进的发展, 而内蒙古地质矿产事业的发展, 对促进、繁荣内蒙古经济起了重要的基础、先行和支柱作用, 这也包含着内蒙古各族人民的祖先在内蒙古自治区成立以前的漫长岁月里, 在认识矿产、矿业开发、矿产加工和冶炼等方面所做出的贡献。发现和查明的矿产资源, 是几代地质工作者跋山涉水、艰辛工作的成果。

1.2.1 20 世纪勘查成果

清末民初, 地质科学引入我国, 国内一些有志之士, 创办地质教育, 培养地质科学技术人才, 建立地质工作机构。由于他们的不断努力, 在新中国成立前, 地质基础理论的某些领域已在我国奠定了

相当的基础。如 1915—1925 年间翁文灏、王竹泉曾到大青山石拐沟一带进行煤炭资源调查; 1920 年谢家荣曾到呼伦贝尔盟扎赉诺尔一带做煤田地质调查并估算了煤储量; 1927 年丁道衡参加中瑞西北考察团去西北考察, 发现了白云鄂博铁矿, 对铁矿储量做了概略估计。

中华人民共和国成立后, 国家把地质矿产事业列为国民经济建设和社会发展的先行及基础性工作, 为地质矿产工作的发展开辟了广阔的道路, 同时步入了一个新的历史时期。中华人民共和国成立后到 20 世纪 90 年代初, 内蒙古地矿事业在曲折的道路上胜利前进, 通过大规模开展的地质矿产普查与勘探, 逐步发现和查明了大量具有重大工业意义的矿产地。勘查与开发建设了乌海市桌子山煤田、呼伦贝尔盟伊敏河、霍林河、准格尔、东胜等特大型、大型煤田; 在海拉尔盆地、松辽盆地及二连盆地发现、勘查并建成多处百万吨产能的原油生产基地; 在鄂尔多斯盆地(内蒙古境内)发现和探明了靖边大型气田, 并发现了苏里格气田; 建国初期发现和查明了白云鄂博特大型铁钼稀土矿床、达茂旗三合明大型铁矿床、赤峰南部的红花沟金矿床、金厂沟梁金矿床等; 20 世纪 80 年代至 90 年代初发现和查明了乌拉特后旗霍各乞铜多金属矿床、东升庙铅锌多金属矿床、新巴尔虎右旗乌奴格吐山铜钼矿床、巴林左旗白音诺铅锌矿床、克什克腾旗黄岗铁锡矿床、包头九原区哈达门沟大型金矿床以及四子王旗苏莫查干敖包超大型萤石矿床等, 对振兴内蒙古经济、满足国家对煤炭能源的需要以及发挥地质工作的经济效益和社会效益等均产生了显著效果(《中国矿床发现史·内蒙古卷》编委会, 1996)。

1.2.2 21 世纪勘查成果

随着中国经济的迅速发展, 对矿产品需求不断加大, 促进了矿业的发展。矿产勘查工作遵循地质工作规律和市场经济规律, 充分发挥市场配置资源的决定性作用。

2000—2013 年是内蒙古地质矿产行业发展的鼎盛期。主要得益于这一时期矿产品价格走高, 国家实施西部大开发的发展战略及一系列政策驱动, 在国家和内蒙古自治区政策和资金支持下, 矿产勘查掀起了一个高潮。在国家及省级公益基金引领下, 大量民营资本投入找矿勘查工作中, 煤炭、铀、银、铅锌、钼、锡、锂、金、铜、石墨等大宗及新兴战略性矿产勘查取得了历史性的重大突破, 地质找矿重大突破在内蒙古遍地开花、硕果累累, 资源储量成倍或数倍增长(高征西, 2023)。

进入 21 世纪, 在鄂尔多斯盆地北缘、二连盆地

群、海拉尔盆地群累计查明的煤炭资源储量成倍增长, 使自治区煤炭保有资源储量居全国首位; 新发现和查明二连盆地群努和廷、松辽盆地钱家店、鄂尔多斯盆地皂火壕、纳岭沟等多处超大型铀矿床, 实现了铀矿找矿新突破; 探明和开发建设了海拉尔盆地贝尔、乌尔逊油田, 松辽盆地科尔沁、奈曼等油田, 二连盆地群乌里雅斯太等油田以及鄂尔多斯盆地苏里格、大牛地等超大型气田; 新发现和查明巴林左旗双尖子山银铅锌矿床、科右前旗复兴屯银铅锌矿床、西乌旗白音查干东山银锡钨多金属矿床、克什克腾旗维拉斯托锡锂多金属矿床等十余处超大型银、铅锌、钼、锡、锂等矿床及阿拉善左旗查汗木胡鲁、乌拉特中旗大乌淀等多处超大型石墨矿床, 实现了大宗及新兴战略性矿产找矿新突破; 地热资源勘查实现重大突破, 在河套盆地、西辽河平原、鄂尔多斯盆地成功施工地热深井, 对内蒙古自治区能源结构调整和大气污染治理发挥重要作用。总体为自治区经济社会健康发展提供了坚实的矿产资源支撑和保障; 水资源调查工作主要在缺水城镇探明可持续开发利用的大、中型水源地, 在人畜饮水严重缺水地区开展找水工作, 助力了精准扶贫工作, 为自治区脱贫攻坚落实和地方人民群众生活水平改善提供了保障。

1.2.3 矿业在内蒙古经济发展中的作用

矿业经济在自治区国民经济中占有重要地位, 已成为自治区国民经济的支柱产业, 在自治区社会和经济发展中做出了巨大贡献。全区能源矿产在矿业生产总值占绝对地位, 是自治区矿业主要经济指标之一。自治区矿产资源的勘查成果以及后续的开发, 不仅为社会发展生产力提供了矿物原料, 而且带动了新兴城市的发展, 促进了铁路公路交通建设, 对繁荣自治区经济产生了巨大的社会效益。其中最突出的是包头市、乌海市、霍林格勒市等矿业城市的建设、发展和繁荣, 煤炭、石油、天然气、铁矿以及建筑和化工等矿产的勘查和开发利用起到了先行和决定性作用。

目前, 通过几代地矿工作者进行的矿产勘查、矿山建设及资源开发, 自治区境内已形成多处中国北方重要能源资源开发基地, 包括: 巴彦淖尔铜铅锌多金属、包头—白云鄂博铁-稀土-金、赤峰北部银铅锌铜多金属、呼伦贝尔铜铅锌银多金属及赤峰南部黄金、鄂尔多斯盆地(内蒙古境内)煤炭-天然气-铀矿、二连盆地盆地煤炭-油气-铀矿、海拉尔盆地煤炭-石油及松辽盆地(内蒙古境内)煤炭-石油-铀矿能源资源开发基地。自治区仍有多处中国北方最有前景的矿产资源勘查开发基地, 包括北山金-铜-铁-

稀有金属、阿拉善金-铁-石墨、东乌旗有色金属-黑色金属以及大兴安岭中段有色金属-贵金属矿产资源勘查开发基地。这些矿产资源勘查开发基地的逐步形成,将进一步为自治区社会 and 经济发展做出更大的贡献。

2 内蒙古主要矿床类型与成矿特征

2.1 主要矿床类型

内蒙古共有内生矿产地 2 195 处,外生矿产地 968 处,叠加(复合/改造)矿产地 233 处,合计 3 396 处。其中,内生成矿作用形成的金属矿床无论是数量上还是资源储量上在内蒙古自治区占有绝对的优势,在陆块区形成层位稳定、规模大的受变质型铁矿床、变成型石墨矿床等,在岩浆岩分布区形成数量多、矿种丰富的岩浆型、岩浆热液型、陆相火山岩型、海相火山岩型、接触交代型(矽卡岩)型矿床。外生成矿作用形成的矿床以生物化学沉积作用形成的能源矿产为主,主要是在不同时期的聚煤盆地中形成的各类能源矿产,以及在新生代盆地、河流中形成的蒸发沉积型盐类矿床及机械沉积型金矿床。地下水归入叠加(复合/改造)矿床。

根据《中国矿产地质志省级矿产地质志研编技术要求》,系统梳理内蒙古各矿种组合矿床(成因/工业)类型划分及代表性矿床情况见表 3。

2.2 成矿地质特征

2.2.1 内生矿床

内蒙古内生金属矿产地 1 937 处,占全区矿产地的 70.60%。内生成矿作用(尤其是来自深源的有益组份的成矿作用)的强弱同莫霍面的埋深、地壳的厚度以及壳界面的起伏状态有关。内蒙古莫霍面埋深的总态势是南部(陆块区)深,北部(造山带)浅,东部(含大兴安岭火山岩带)浅,中西部深,而地壳的厚度状况则与之相反。此外在东部大兴安岭东坡及狼山—贺兰山西坡存在一条重力梯度带,即地幔的陡坡地带(幔坎),在大兴安岭中脊所在的幔坳上也存在地幔斜坡。由于莫霍面的埋深是东浅西深、北浅南深,因此,与侵入岩有关的内生金属成矿作用以大兴安岭燕山期最强,其岩浆来自较浅的上地幔-下地壳,大兴安岭本身的矿化强度因地壳厚度的差异呈现南强北弱的趋势。

2.2.1.1 岩浆作用矿床

内蒙古境内在古亚洲成矿域、滨太平洋成矿域有不同时期的岩浆作用矿床分布,形成了与岩浆作用有关的矿床 1 623 处。其中岩浆型矿产地 116 处,主要形成铬铁矿、铜镍矿、铌钽矿、花岗岩、辉绿岩、麦饭石等矿种,包含黄花滩镍铜矿床、达布逊

镍矿床、特里木图饰面石材花岗岩矿床等;伟晶岩型矿产地 40 处,主要形成云母、长石、宝石等矿产地,以土贵乌拉白云母矿床、高家夭白云母矿床为代表;接触交代型(矽卡岩型)矿产地 138 处,主要形成铁、铜、铅锌、锡、石榴石、红柱石等矿产地,以黄岗锡铁多金属矿床、浩布高锌多金属矿床、朝不楞锌铁矿床为代表;斑岩型矿产地 55 处,主要形成钼、铜、金、锡等矿种,以迪彦钦阿木钼多金属矿床、岔路口钼矿床、毕力赫金矿床为代表;岩浆热液型矿产地 887 处,主要形成铁、铅锌、钼、铜、钨、锡、金、银、钛铁、锂、铍、萤石、脉石英、磷、玉石、观赏石等矿种,以双尖子山银铅锌矿床、拜仁达坝银多金属矿床为代表;陆相火山岩型矿床 298 处,主要形成铅锌银、铜、锡、金、钼、锰、铀、凝灰岩、膨润土、珍珠岩、沸石、高岭土、观赏石等矿种,以复兴屯银铅锌矿床、额仁陶勒盖银矿床等为代表;海相火山岩型矿床 89 处,主要形成铁、铅锌、铜、稀土、铌、硫铁矿等矿种,以白云鄂博铁铌稀土矿床、东升庙硫锌多金属矿床、霍各乞铜多金属矿床、查干哈达庙铜硫矿床等为代表。

2.2.1.2 变质作用矿床

内蒙古跨越塔里木、西伯利亚及华北三大板块,区域变质岩系非常发育,从南到北,从东到西都有不同时代,不同变质程度,不同变质作用类型变质岩系分布。太古宙、古元古代中高级变质岩系主要分布于南部的华北陆块区,北部和西部的造山带也有出露。中—新元古代中低级变质岩系在陆块区和造山带均有分布,古生代低级变质岩系则广泛分布于各个大地构造单元。变质成矿作用与变质岩系的分布密切相关,以太古宙、元古宙最为强烈。

内蒙古共有变质作用矿床 581 处。其中受变质型矿产地 516 处,主要形成铁、锰、石墨、石榴石、红柱石、蓝晶石等矿产,太古宙色尔腾山岩群和古元古代宝音图群在区域变质作用下形成石榴石矿床,古元古代集宁岩群和乌拉山岩群中赋存有石墨矿体、铁矿,新元古代形成了以锰、铁为主的矿层,代表性矿床有黄土窑石墨矿床、查汗木胡鲁石墨矿床、苏木挺高勒红柱石矿床、查什太蓝晶石矿床、东加干锰矿床、乔二沟锰矿床等;变成型矿产地 65 处,主要形成铁、金等矿产,产于华北板块北缘的古老隆起区,是与前寒武纪变质火山岩硅铁质建造有关的条带状(条纹状)铁矿床,含矿岩系原岩为前寒武纪含铁石英岩和基性-中酸性火山岩系,受后期混合岩化及其他变质作用改造,成矿时代为太古宙、古元古代,铁矿赋存在色尔腾山岩群和乌拉山岩群中,代表性矿床有壕赖沟铁矿床,三合明铁矿床、

书记沟铁矿床、新地沟金矿床、十八顷壕金矿床。

2.2.1.3 含矿流体作用矿床(非岩浆-非变质作用矿床)

该类型矿床共有 92 处,主要形成铀及浅成-中低温热液型蛇纹岩、高岭土、冰洲石矿产。含矿流体作用铀矿床主要分布于鄂尔多斯盆地内。控矿因素主要有构造、岩性岩相、古层间氧化带、还原气体渗入作用,代表性矿床主要有杭锦旗大营铀矿床;浅成-中低温热液型蛇纹岩均产于区域超基性杂岩体内,而超基性岩体均受到区域性构造的控制;高岭土矿床多为喷发沉积的中酸性火山碎屑岩经后期

火山活动过程中发生脱玻化作用,蚀变形成高岭石;冰洲石矿体多分布在花岗岩体与大理岩接触带附近的大理岩溶洞中。代表性矿床主要有:苏尼特左旗乌兰敖包钙镁磷肥用蛇纹岩矿床、扎鲁特旗富裕屯高岭土矿床、阿拉善右旗桃葫芦山冰洲石矿床。

2.2.2 外生作用矿床

2.2.2.1 沉积作用矿床

内蒙古共有沉积作用形成的矿产地 867 处。其中砂矿型矿产地 86 处,主要形成金、铂、砂矿等矿产,主要形成于山麓堆积物和沿河流的冲积物及

表 3 内蒙古矿床(成因/工业)类型划分表
Table 3 Classification of the types of mineral deposits in Inner Mongolia

一级分类	二级分类	三级分类	矿产地数量/个	矿种	代表矿床
内生矿床	岩浆作用矿床	1.岩浆型矿床	116	铁矿、铬矿、钛矿、铂钨矿、镍矿、铜矿、铌钽矿、稀土矿、橄榄岩、花岗岩、辉长岩、辉绿岩、麦饭石、玄武岩、宝玉石	黄滩镍铜矿床、达布逊镍矿床、特里木图饰面石材花岗岩矿床
		2.伟晶岩型矿床	40	长石、脉石英、云母、白云母、观赏石、宝玉石	土贵乌拉白云母矿床
		4.接触交代型矿床	138	铁矿、铜矿、铅矿、锌矿、钨矿、锡矿、铋矿、钼矿、金矿、银矿、石墨矿、砷矿、萤石矿、石榴子石矿、红柱石矿	黄岗锡铁多金属矿床、浩布高锌多金属矿床、朝不楞锌铁矿床
		5.斑岩型矿床	55	钨矿、锡矿、铜矿、钼矿、铅矿、锌矿、银矿、金矿	迪彦钦阿木钼多金属矿床、毕力赫金矿床
		6.岩浆热液型矿床	887	铁矿、锰矿、金矿、银矿、铜矿、钼矿、铅矿、锌矿、钨矿、锡矿、铋矿、铷矿、铍矿、硫矿、萤石、脉石英、重晶石、磷、云母、制陶用黏土	双尖子山银铅锌矿床、拜仁达坝银多金属矿床
		7.陆相火山岩型矿床	298	锰矿、铜矿、钼矿、铅矿、锌矿、锡矿、钨矿、铋矿、金矿、银矿、沸石、高岭土、火山渣、凝灰岩、膨润土、玄武岩、叶蜡石、铀矿、观赏石、玉石、制陶用黏土	白云鄂博矿区白云鄂博铁铌稀土矿床、东升庙硫铁矿锌多金属矿床、复兴屯银铅锌矿床、三河铅锌矿床、额仁陶勒盖银矿床
		8.海相火山岩型矿床	89	铁矿、锰矿、铌(稀土)矿、铜矿、铅矿、锌矿、镍矿、钼矿、金矿、银矿、硫矿、电气石	
	变质作用矿床	9.受变质型矿床	516	铁矿、锰矿、钛矿、钒矿、铜矿、铅矿、锌矿、金矿、石墨、蓝晶石、方解石、泥灰岩、砂岩、石英岩、大理岩、板岩、玉石、观赏石	三合明铁矿床、磨石山钛矿床
		10.变成型矿床	65	石墨、石榴子石、碎云母、宝石、玉石	查汗木胡鲁石墨矿床
	含矿流体作用矿床(非岩浆-非变质作用矿床)	11.浅成中-低温热液型矿床及成因不明矿床	92	铀矿、叶腊石、明矾石、方解石、冰洲石、高岭土、蛇纹岩	努和廷铀矿床、大营铀矿床、代兰塔拉铁矿床
外生矿床	表生作用矿床	12.风化型矿床	8	蛭石矿、铁(磷)矿、镍(钴)矿、钛铁矿、镁矿、观赏石	文圪乞蛭石铁矿床、嘎罗索钛铁矿床
	沉积作用矿床	13.砂矿型矿床	86	铂矿、金矿、砂岩、砂矿	阿里亚河砂金矿床、塔木素铀矿床
		14.机械沉积型矿床	63	锰矿、铜矿、观赏石、石英砂、页岩、砂矿、砂岩、其他黏土、耐火黏土、制陶用黏土	红崖山水泥配料黏土矿床、西桌子山水泥厂南山黏土矿床
		15.化学沉积型矿床	42	铁矿、锰矿、沸石、泥灰岩、白云岩、高岭土、耐火黏土、铁矾土、膨润土	龙泉沟高岭土矿床
		16.蒸发沉积型矿床	53	镁矿、盐矿、钾盐矿、芒硝矿、天然碱、天青石、石膏、石灰岩、白云岩、观赏石	苏级石膏矿床、达拉特芒硝矿床
		17.生物化学沉积型矿床	615	石油、天然气、页岩气、油页岩、油砂、煤、煤层气、铀矿、锆矿、石灰岩、泥炭矿、磷矿、硅藻土、其他黏土、观赏石	乌兰图嘎煤锆矿床、高头窑煤炭矿区、大疙瘩山水泥用石灰岩矿床
	18.叠加(复合/改造)矿床		233	地热水、矿泉水、地下水	呼和浩特地下水水源地、阿尔山地热田、沐沦罕珠天然饮用矿泉水水源地

河床、河漫滩中,代表性砂金矿床有吉兴沟、恩和哈达、古利库等砂金矿床、金盆砂金矿床、阿尔腾敖包砂铂、金矿床等;机械沉积型矿产地 63 处,形成的矿种主要有耐火黏土、其他黏土、砂岩、观赏石等矿产,代表性矿床有红崖山水泥配料黏土矿床、西桌子山水泥厂南山黏土矿床;化学沉积型矿产地 42 处,主要形成铁、锰、硫、白云岩、高岭土、耐火黏土、膨润土等矿产,代表矿床主要有雀儿沟铁矿、西磁窑沟铁矿、军马场锰矿、戚家沟硫铁矿床、拉草山白云岩矿床、桑林坡高岭土矿床、窑沟耐火黏土矿床、白音查干膨润土矿床等;蒸发沉积型矿产地 53 处,形成的矿种主要有天然碱、钾盐、芒硝、石膏等盐类矿产,分布于盐湖区呼伦贝尔高原盐湖区、锡林郭勒—乌兰察布高原盐湖区、鄂尔多斯高原盐湖区、阿拉善高原盐湖区内,代表性矿床有吉兰泰、雅布赖和额吉淖尔盐湖等;生物化学沉积型矿产地 615 处,形成的矿种主要为煤、石油、天然气、油页岩、石灰岩、泥炭、磷、硅藻土、观赏石等,内蒙古生物化学沉积型能源矿产有煤、石油、天然气、油页岩,成矿时代多,主要分布在海拉尔盆地、二连盆地群、鄂尔多斯盆地、阿拉善盆地内,有伊敏煤炭矿区、大牛地气田、巴格毛德油页岩矿床、新巴尔虎右旗贝尔油气田等。

2.2.2.2 表生作用矿床

该类型矿床在内蒙古分布很少,仅有 8 处矿产地,包括文圪圪超大型蛭石矿床、嘎罗索大型钛铁矿床、白音胡硕中型镍钴矿床、索伦山小型镁矿床及观赏石矿点。

2.2.3 叠加(复合/改造)矿床

将地下水、矿泉水、地热水归入此类矿床类型。内蒙古共有地下水 121 处,矿泉水 99 处,地热水 13 处。

3 矿床时空分布成矿规律

3.1 内蒙古成矿单元划分

在全国统一Ⅲ级成矿区带划分(徐志刚, 2008)的基础上,内蒙古自治区横跨古亚洲成矿域(I-1)、秦祁昆成矿域(I-2)和滨太平洋成矿域(叠加在古亚洲成矿域之上)(I-4)三大成矿域,共涉及到大兴安岭成矿省、华北地台成矿省、准噶尔成矿省、塔里木成矿省、阿尔金—祁连成矿省、吉黑成矿省等 6 个Ⅱ级成矿省和 16 个Ⅲ级成矿带。

在Ⅲ级成矿(区)带内,在成矿规律研究、成矿系列划分的基础上,根据矿床的分布、矿床类型、成矿时代,充分考虑其成矿地质条件,结合区域构造、区域岩浆岩、区域地层等进行合理划分Ⅳ级成矿亚带。其边界以明显的地层、构造和岩体及相关的成矿作用为区别标准。尽量将同一成矿作用下,

由于主导控矿因素不同所形成的不同类型、不同矿种组合的矿床分布区域,主要依据各种断裂构造,结合地层和侵入岩的分布情况,划分Ⅳ级成矿亚带。内蒙古共划分出 35 个Ⅳ级成矿亚带(图 4)。

3.2 内蒙古矿床成矿系列

成矿系列理论是我国地质学家程裕淇、陈毓川等于 1979 年提出并发展起来的。是矿床地质科学中研究区域成矿规律的一种学术思想,用系统论、活动论观点研究在地质历史发展各阶段、各特定地质构造环境中成矿作用的过程及形成的矿床组合自然体。通过对时空域中形成的矿床组合自然体及其时空结构、分布规律及矿床之间联系、成矿的地质构造环境、成矿过程、演化规律,大时段、大地域内由众多矿床成矿系列组成的成矿体系的研究、探索和掌握,指导区域找矿,提高找矿效率,并在此过程中进一步提高对区域和全球成矿规律的认识(程裕淇等, 1979, 1983; 陈毓川, 1994; 陈毓川等, 2001, 2006, 2015, 2016, 2020, 2022)。

3.2.1 内蒙古矿床成矿系列划分

根据矿床成矿系列的定义及《中国成矿体系与区域成矿评价》(陈毓川等, 2007)中厘定的中国矿床成矿系列,结合前人成果,根据内蒙古自治区大地构造演化与成矿的特点,按照沉积作用、岩浆作用、变质作用、表生作用、含矿流体作用,从成矿区(带)、成矿时代着手研究矿床成矿系列,内蒙古自治区共划分 42 个矿床成矿系列(表 4)。

3.2.2 内蒙古矿床成矿系列时空分布规律

前寒武纪包括太古宙陆核形成时期(>25 Ga)、古元古代原始陆块形成时期(18~25 Ga)、中新元古代古中国大陆形成时期(1 800~800 Ma),主要形成与变质作用、岩浆作用(包括喷流沉积作用及海相火山沉积作用)有关的矿床成矿系列;寒武纪—二叠纪末为古亚洲洋演化阶段,保存有古亚洲洋发生、发展和消亡的地质记录,除形成与岩浆作用(包括海相火山作用)有关的成矿系列外,在弧盆系及陆块北缘形成大量与超基性、基性、中酸性侵入岩浆作用有关的成矿系列,分别为洋中脊扩张、板块俯冲、碰撞环境;早三叠世之后,内蒙古的中东部进入滨太平洋构造发展阶段,主体为与中酸性、碱性火山-侵入岩浆作用有关的成矿系列。

与沉积作用有关的矿床成矿系列主要分布在陆块内部相对稳定的环境,时代由前寒武纪至中生代逐步递增;与岩浆作用有关的成矿系列在中元古代集中分布在裂谷区内,华力西期分布范围广,矿化强度较高,但成矿强度中等,中生代主要分布在大兴安岭地区,数量最多,岩浆成矿作用也最为强烈,成矿强度高;与变质作用有关的矿床成矿

系列分布在华北陆块上,成矿时代主要集中在前寒武纪;与含矿流体作用有关的矿床成矿系列主要为形成U矿的矿床成矿系列,时代集中在中生代;表生作用只在局部分布,仅在新生代划分1个矿床成矿系列,且成矿作用不强烈(图5)。

3.3 重要成矿省成矿谱系

区域成矿谱系(邵和明等, 2016)是研究一个特定的区域经历的全部地质历史过程中成矿作用的演化过程及成矿产物的时空分布、内在联系的规律。探讨构成一个区域内的各个成矿旋回和其中某个成矿旋回内形成的矿床和矿床成矿系列之间的关系。它指示区域内成矿物质在区域地质构造不断演化过程的行为,成矿物质的组合变化、分散或富集的规律以及区域成矿的继承性或突变性。

根据内蒙古III级成矿区带划分及主要矿床成矿系列,结合内蒙古大地构造单元,建立区域成矿谱系,有助于研究内蒙古地质环境及其演化与成矿区带、矿床成矿系列之间的联系,从而揭示不同成矿区带成矿物质在区域地质构造不断演化过程中的行

为,及其成矿物质运移的规律,反映区域成矿的继承性或突变性。

大兴安岭成矿省主要位于内蒙古境内,也是内蒙古最重要的成矿省,下面以大兴安岭成矿省成矿谱系(图6)为例,简述地质运动及成矿作用过程之间的联系(武广等, 2014, 2022, 2023)。

古元古代初,西伯利亚陆块南缘开裂扩张,首次形成大洋,形成的兴华渡口群、宝音图群,为中基性火山岩及陆源碎屑岩建造和碳酸盐建造,形成原始古陆。该时期在大兴安岭成矿省内未形成有价值的矿产。

晋宁—四堡运动使古陆基底与中新元古界发生拉张,在形成的燕山—辽西裂谷内分布有与中元古代岩浆作用有关的Fe、Ni、Cu、Pb、Zn、硫铁矿、稀土、辉长岩、蛇纹岩、萤石、观赏石矿床成矿系列。震旦旋回由额尔古纳河组构成,为陆源碎屑岩建造和碳酸盐建造,首次出现大陆离散,陆块沿德尔布尔断裂向北俯冲消减,形成古亚洲洋弧盆系。

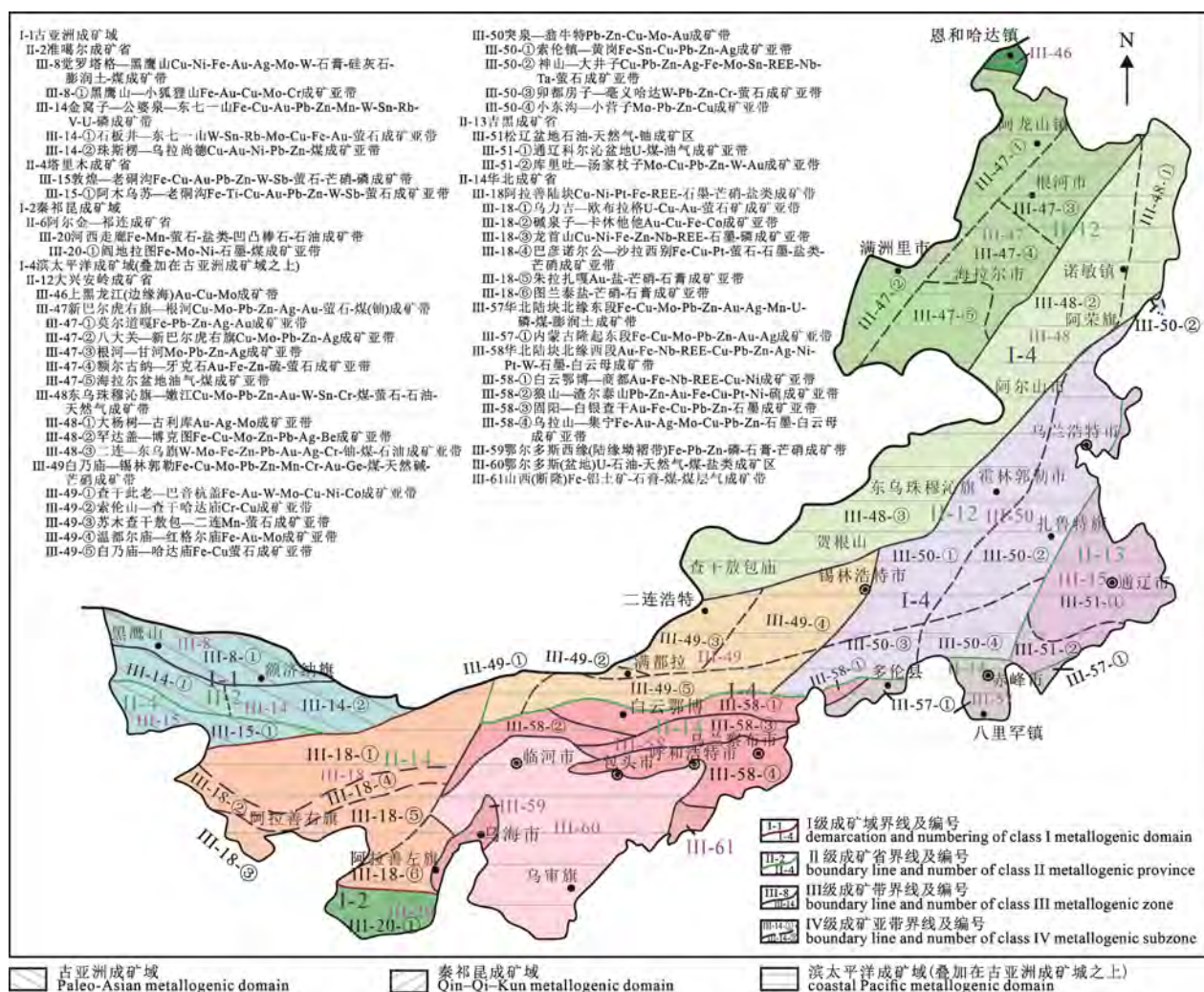


图4 内蒙古自治区III级成矿带、IV级成矿亚带划分图

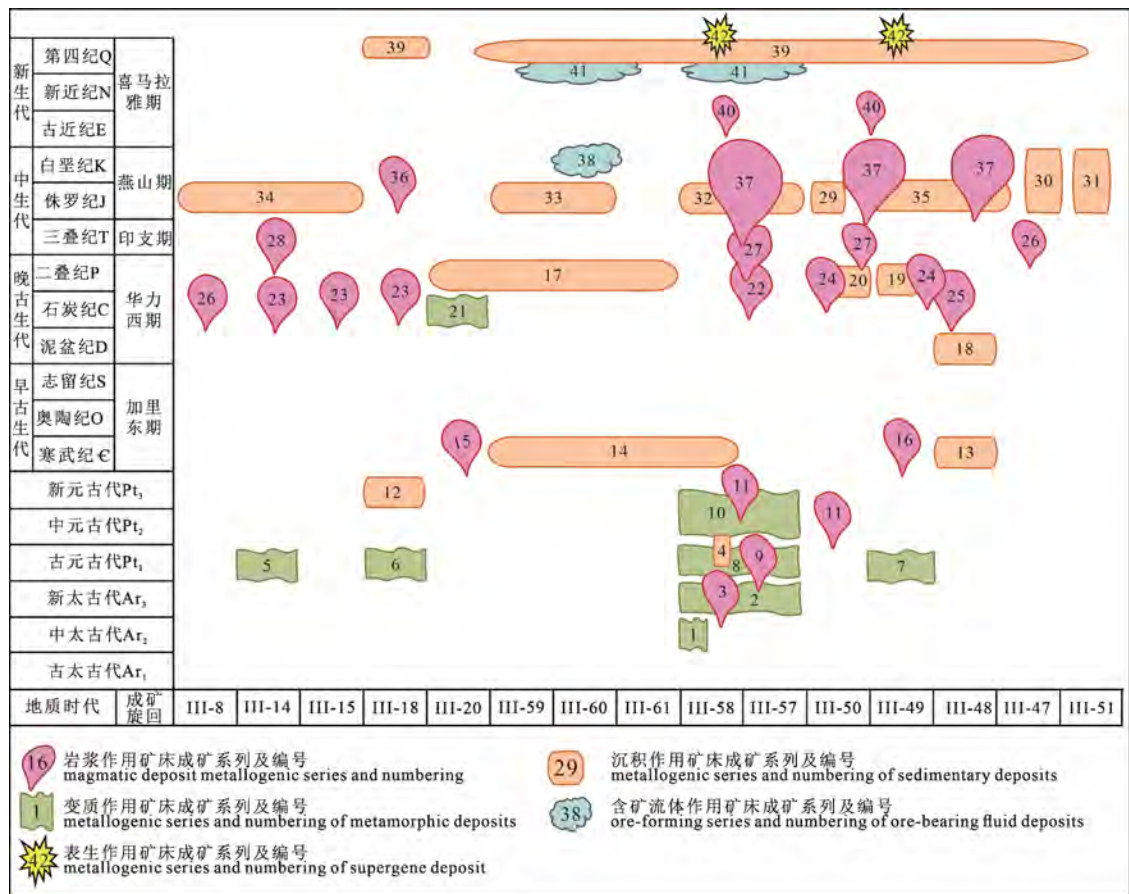
Fig. 4 Classification of level III and IV metallogenic subzones in Inner Mongolia

表 4 内蒙古矿床成矿系列一览表
Table 4 List of the metallogenic series of mineral deposits in Inner Mongolia

序号	成矿系列名称	主要矿种	矿床类型	矿床式
1	华北陆块北缘与中太古代变质作用有关的铁矿床成矿系列	铁	受变质型	红花沟式 Fe、马圈沟式 Fe、壕赖沟式 Fe
2	华北陆块北缘与新太古代变质作用有关的铁、铜、磷、金、锰、石英岩、碎云母矿床成矿系列	铁、金	受变质型	三合明式 Fe、新地沟式 Au、十八顷壕式 Au、下湾子式 Fe
3	华北陆块北缘与中新太古代岩浆作用有关的花岗岩、辉绿岩、磷、磷灰石、镍矿床成矿系列	花岗岩	岩浆型	五道沟式花岗岩
4	华北陆块北缘与古元古代沉积作用有关的镁、石灰岩、白云岩矿床成矿系列	大理岩、灰岩、白云岩	沉积变质型	头道营子式大理岩、巴彦希别式 Mg、桃儿湾式白云岩
5	北山地区与古元古代变质作用有关的铁、铜矿床成矿系列	铁	受变质型	赛音呼都格式 Fe、盐碱洼式 Fe
6	龙首山地区与古元古代变质作用有关的铁、锌、石墨矿床成矿系列	铁、石墨	受变质型、变成型	三个井式 Fe、查汗木胡鲁式石墨
7	宝音图地区与古元古代变质作用有关的铁、石英岩、石榴子石矿床成矿系列	石英岩、白云岩	受变质型	查干敖包式石英岩、东加干式 Fe-Mn
8	华北陆块北缘与古元古代变质作用有关的金、铁、钛、石墨、石英岩、大理岩、石榴子石矿床成矿系列	金、铁、石墨、石英岩	变成型、受变质型	小壕赖式 Fe、黄土窑式石墨、磨石山式 Ti、好来村式石英岩、查汗木胡鲁式石墨
9	华北陆块北缘与古元古代岩浆作用有关的铁、镍、铜、磷、稀土、脉石英、白云母、辉绿岩、辉石岩、辉长岩、长石、云母、蛭石、萤石、石榴子石成矿系列	铁、磷、白云母、长石	岩浆热液型	白彦花式 Fe、三道沟式 P、土贵乌拉式白云母
10	华北陆块北缘与中新元古代变质作用有关的铁、磷、钒、锰、石墨、石英岩、蓝晶石、砂岩、石榴子石矿床成矿系列	晶质石墨	变成型	哈日楚鲁式石墨、查什太式蓝晶石
		铁、磷、锰、石英岩	受变质型	韩庆沟式 Fe、布龙土式 P、乔二沟式 Fe-Mn、
11	华北陆块北缘与中元古代岩浆作用有关的铁、锰、铌、铜、铅、锌、硫、磷、硫铁矿、稀土、脉石英、红柱石、蓝石棉矿床成矿系列	铁、铌、稀土	海相火山岩型	白云鄂博式 Fe-Nb-稀土
		铁、铜、铅、锌、硫铁矿	海相火山岩型	东升庙式 Zn-Fe-Pb、霍各乞式 Cu、炭窑口式硫铁矿、西德岭山式 Fe
		锌	海相火山岩型	小营子式 Zn
12	龙首山地区与中新元古代沉积作用有关的铁、磷、镁、锰、砂岩、石灰岩、白云岩矿床成矿系列	石灰岩、镁、白云岩	沉积变质型	青井子式 P、大沟井式 V
13	阿尔山—阿荣旗与早古生代沉积作用有关的铁、石灰岩、大理岩矿床成矿系列	灰岩	生物化学沉积型	苏河格勒式
14	华北陆块北缘与早古生代沉积作用有关的铁、磷、镁、锰、盐、硬石膏、石灰岩、白云岩、板岩、砂岩矿床成矿系列	灰岩、白云岩	生物化学沉积型	敖包特式灰岩、卡布其式灰岩、石碑式灰岩
15	河西走廊与加里东期岩浆作用有关的金、锌、铅、钛、铬、钴、镍、铁、铜、钼、萤石、脉石英、花岗岩矿床成矿系列	镍	岩浆型、岩浆热液型、海相火山岩型	元山子式 Ni-Mo
16	乌力吉—白乃庙与加里东期岩浆作用有关的银、铅、锌、镍、钴、铁、铜、凝灰岩矿床成矿系列	铜	海相火山岩型、岩浆型	白乃庙式铜、达布逊镍
		铁	岩浆热液型	白云敖包式铁、白音宝力道式铁、
17	鄂尔多斯盆地与晚古生代沉积作用有关的铁、页岩、页岩气、铁矾土、铝土矿、制陶用黏土、耐火黏土、高岭土、煤、天然气、煤层气、石油成矿系列	高岭土、煤炭、天然气	生物化学沉积型	准格尔式煤炭、苏里格式天然气、大青山式煤炭、脑包湾沟式高岭土
18	乌奴尔地区与泥盆纪沉积作用有关的石灰岩矿床成矿系列	石灰岩	化学沉积型	乌奴耳式灰岩
19	努鲁儿虎山—阿木山地区与晚古生代沉积作用有关的石灰岩矿床成矿系列	石灰岩	化学沉积型	青龙山式灰岩
20	锡林浩特—林西及乌兰浩特与晚古生代沉积作用有关的锰、石灰岩、页岩、其它黏土矿床成矿系列	灰岩	化学沉积型	呼格吉勒图式灰岩、龙泉沟式高岭土
21	河西走廊与华力西期变质作用有关的金、铁、板岩、方解石、高岭土、大理岩、石墨矿床成矿系列	石墨	变成型	库井沟式石墨、闫地拉图式石墨
22	华北陆块北缘与华力西期岩浆作用有关的金、银、铅、锌、铜、镍、钨、钼、锰、铁、铬、钼、钡、石榴子石、花岗岩、脉石英、萤石矿床成矿系列	金、锌、萤石	岩浆热液型	巴音杭盖式金、西水泉式锌、浩尧尔忽洞式金
		镍	岩浆型	索伦山式镍、小南山式镍、六一式硫铁矿

续表 4

序号	成矿系列名称	主要矿种	矿床类型	矿床式
23	北山—雅布赖山与华力西期岩浆作用有关的金、砷、钼、锰、钨、铜、镍、钴、铅、锌、铁、钛、铬、锑、萤石、脉石英、辉长岩、花岗岩矿床成矿系列	金钨铜铁铬	岩浆型、岩浆热液型、接触交代型、斑岩型、海相火山岩型	朱拉扎嘎式金、老铜沟式金、卡休他他式铁、黑鹰山式铁、百合山式铬
24	满都拉—阿荣旗与华力西期岩浆作用有关的金、铁、铜、铅、锌、银、钼、钨、锰、镍、硫、萤石、麦饭石、电气石、辉绿岩、石榴子石、脉石英矿床成矿系列	萤石、铜镍	岩浆热液型	西里庙式锰、罕达盖林场式铜、吉林宝力格式银、苏莫查干敖包式萤石、东七一山式萤石
25	与华力西期岩浆作用有关的铬、铁、蛇纹岩矿床成矿系列	铬、铁	岩浆型	索伦山式铬、赫格敖拉式铬
26	额尔古纳地区与印支期岩浆作用有关的金、银、铅、锌、铜、钼、花岗岩矿床成矿系列	银铅锌铜钼	斑岩型	甲乌拉式铅锌银、乌努格吐山式铜钼、三河式铅锌
27	阴山—燕山与印支期岩浆作用有关的金、钨、钼、锑、钨、铁、铜、铅、锌、银、铷、钽、萤石、花岗岩、闪长岩、制陶用黏土、石榴子石、辉绿岩矿床成矿系列	钼铜	斑岩型、岩浆型	车户沟式铜钼、查干花式钼
		金钨	岩浆热液型	金厂沟梁式金
28	额济纳旗—阿拉善左旗与印支期岩浆作用有关的金、银、铅、锌、钨、砷、锑、钨、钼、钴、铜、铋、铁、铷、铈、硫、萤石、花岗岩矿床成矿系列	金钼铜	岩浆热液型	月牙山式金、阿木乌素式锑
29	扎鲁特旗与中生代沉积作用有关的煤炭、膨润土矿床成矿系列	煤炭	生物化学沉积型	塔布花式煤炭
30	海拉尔盆地与中生代沉积作用有关的煤、煤层气、天然气、石油、油页岩矿床成矿系列	煤炭	生物化学沉积型	贝尔式石油、伊敏式煤炭
31	通辽盆地与中生代沉积作用有关的煤炭、油页岩、石油、天然气矿床成矿系列	煤炭、石油	生物化学沉积型	科尔沁式石油、绍根式煤炭
32	华北陆块北缘与中生代沉积作用有关的磷、铜、泥炭、泥灰岩、制陶用黏土、煤、石油、天然气、油页岩矿床成矿系列	煤炭	生物化学沉积型	平庄式煤炭、猴头沟式泥灰岩
33	鄂尔多斯盆地与中生代沉积作用有关的煤、耐火黏土、沸石、砂岩、石膏、高岭土、油砂、油页岩、制陶用黏土矿床成矿系列	煤炭、耐火黏土	生物化学沉积型	东胜式煤炭、潮水式煤炭、板户梁式沸石
34	北山地区与中生代沉积作用有关的煤、石油、石膏矿床成矿系列	煤	生物化学沉积型	北山式煤炭
35	二连浩特盆地群与中生代沉积作用有关的锗、铂、煤、石油、煤层气、天然气、油砂、油页岩、制陶用黏土矿床成矿系列	煤炭、石油	生物化学沉积型	白彦花式煤炭、阿尔善式石油、巴格毛德式油页岩、图牧吉式油砂、霍林河式煤炭、白音华式煤炭、乌兰图嘎式锗
36	狼山地区与燕山期岩浆作用有关的金、银、铅、锌、锰、萤石、膨润土矿床成矿系列	萤石	岩浆热液型	查汗通根式萤石
37	大兴安岭地区与燕山期岩浆作用有关的铜、钼、铅、锌、银、金、铁、锡、铍、铋、锂、钨、锰、铈、钽、铀、萤石、橄榄岩、麦饭石、花岗岩、膨润土、沸石、珍珠岩、凝灰岩、脉石英、制陶用黏土、重晶石矿床成矿系列	铁铜铅锌银锡钼金	陆相火山岩型、岩浆热液型、斑岩型、接触交代型	黄岗式铁锡、朝不楞式锌铁铅、毛登式锡、沙麦式钨、扎木钦式锌、陈家杖子式金、毕力赫式金、迪彦钦阿木式钼、额仁陶勒盖式银、查干布拉根式银、白音诺尔铅锌、维拉斯托锡锂、道伦达坝式铜、二道河式铅锌
		稀土、铍钽	岩浆型	八〇一式铈稀土、加不斯式钽、赵井沟式铈钼
38	鄂尔多斯—通辽地区与中生代含矿流体作用有关的冰洲石、高岭土、叶腊石、明矾石、铀矿床成矿系列	铀	含矿流体作用	大营式铀、皂火壕式铀、塔木素式铀
39	与新生代沉积作用有关的砂金、硼、溴、天青石、盐、钾盐、芒硝、黏土、石膏、砂矿、天然碱、石英砂、硅藻土、煤、泥炭、膨润土、其它黏土、砂岩、油砂、油页岩矿床成矿系列	砂金	机械沉积型	赛乌素式金、恩和哈达河式金、金盆式金
		盐-钾盐-芒硝	蒸发沉积型	吉兰泰式盐、达拉特式芒硝、苏级式石膏、白音查干式膨润土
40	乌拉特后旗—白音察干与喜马拉雅期岩浆作用有关的玄武岩、火山渣、膨润土矿床成矿系列	火山渣、玄武岩	陆相火山岩型	沙帽山式火山渣、七十二号村式玄武岩
41	乌拉特后旗—二连浩特与喜马拉雅期含矿流体作用有关的冰洲石、铀矿床成矿系列	铀	含矿流体作用	巴彦乌拉式铀
42	阴山地区与新生代表生作用有关的蛭石、镁、铁、镍矿床成矿系列	蛭石、铁	风化型	文圪乞式蛭石



矿床成矿系列编号见表 4, 下文同。

The numbering of metallogenic series of mineral deposits is shown in Table 4, and the same applies to the following text.

图 5 内蒙古矿床成矿系列时空分布图

Fig. 5 Spatial and temporal distributions of the mineralization series of mineral deposits in Inner Mongolia

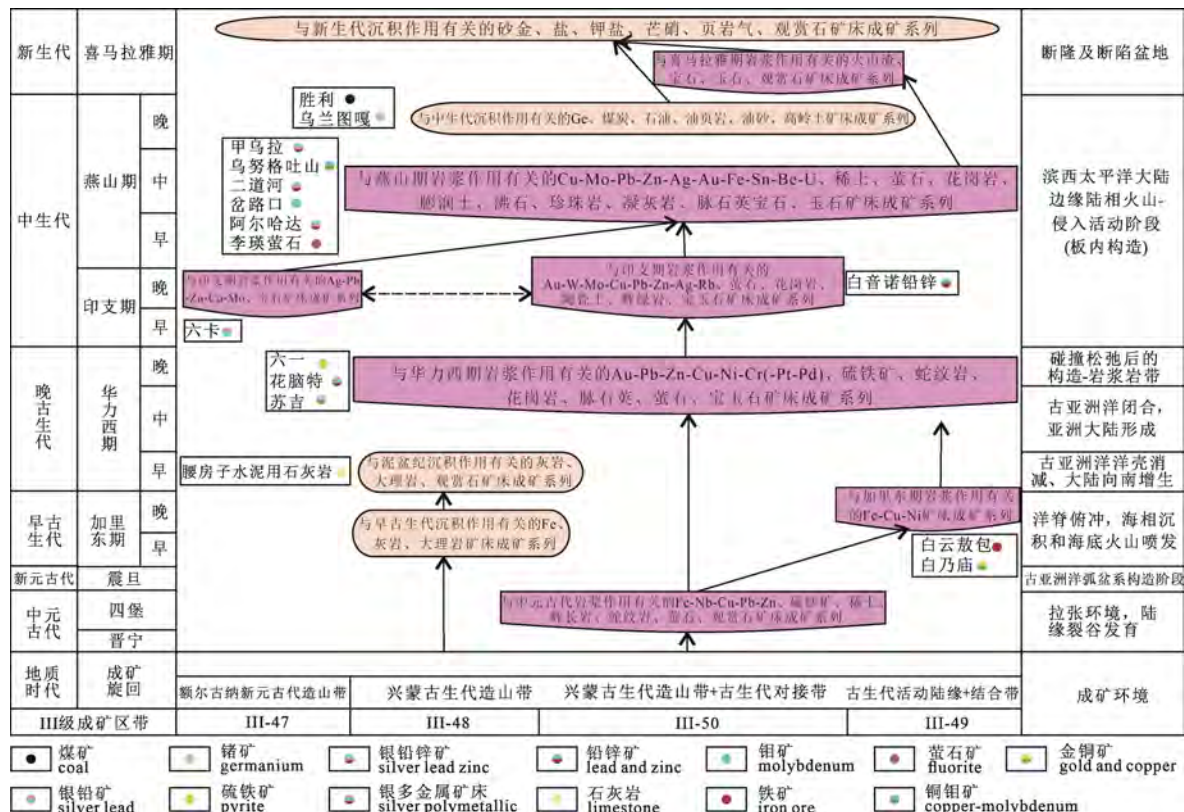


图 6 大兴安岭成矿省成矿谱系图

Fig. 6 Metallogenic genealogy of the Daxing'anling metallogenic province

加里东旋回,西伯利亚板块东南处于活动大陆边缘,虽有拉张和闭合,但总体属海相沉积和海底火山喷发,以陆缘海、海盆沉积和大陆边缘裂谷沉积为主,具岛弧型和海底火山喷岩类特征,在阿尔山—阿荣旗局部范围内形成与早古生代沉积作用有关的 Fe、灰岩、大理岩矿床成矿系列,乌力吉—白乃庙奥陶纪岛弧带,由于洋脊俯冲或后碰撞岩石圈拆沉形成铜多金属矿床,构成乌力吉—白乃庙与加里东期岩浆作用有关的 Fe、Cu 矿床成矿系列,加里东旋回由于地块边缘出现俯冲消减与华北陆块向北增生,成矿省以南出现陆块边缘增生带。

进入华力西旋回,开始了古亚洲洋沟-弧-盆构造发展、古亚洲洋洋壳消减、西伯利亚大陆向南增生及古亚洲洋封闭、亚洲大陆形成的成矿旋回发展阶段。早泥盆世沉积有火山喷发-沉积建造,在乌奴尔地区下泥盆统泥鳅河组近岸浅海相生物礁灰岩中形成与沉积作用有关的灰岩-大理岩-观赏石矿床成矿系列,在阿木山组碳酸盐岩-碎屑岩建造中形成与海相沉积作用有关的灰岩-大理岩矿床成矿系列。从华力西早期至晚期,随着后碰撞作用的构造-岩浆带的形成,区域成矿作用逐步增强,在满都拉—锡林浩特—乌兰浩特—二连浩特—贺根山—东乌珠穆沁旗—阿荣旗—牙克石—额尔古纳形成与岩浆作用有关的 Au、Fe、Cu、Pb、Zn、Ag、Cr、Ni、Be、硫铁矿、萤石、蛇纹岩、石榴子石、脉石英、玉石矿床成矿系列。

印支旋回,成矿省内板块拼接一体后,受滨西太平洋构造-岩浆作用的影响,山间盆地中陆相中、酸性火山喷发,组成火山活动中酸性火山喷发和喷发间歇期的湖相沉积建造。在额尔古纳地区形成与印支期岩浆作用有关的 Ag、Pb、Zn、Cu、Mo、宝石矿床成矿系列。此外,印支期岩浆作用在赤峰—阿尔山地区有零星分布,但成矿作用较弱,与印支期岩浆作用有关的 Au、W、Mo、Cu、Pb、Zn、Ag、Rb、萤石、花岗岩、陶瓷土、辉绿岩等矿床成矿系列主体分布在华北成矿省阴山—燕山地区,在大兴安岭成矿省内分布较少。

进入燕山旋回后,早燕山亚旋回构造线方向已转为北东、北北东向,发育相应的一系列陆内断陷盆地。盆地内强烈的火山喷发,形成陆相火山岩建造、陆屑含煤建造,形成与中生代沉积作用有关的煤炭-石油-油砂-油页岩-观赏石矿床成矿系列及与燕山期变质作用有关的隐晶质石墨矿床成矿系列;中燕山亚旋回组成中基性-中酸性-基性火山喷发旋回建造和酸性及碱性花岗岩岩浆侵入活动,成矿作用强,形成大兴安岭地区与燕山期岩浆作用有关的

Cu、Mo、Pb、Zn、Ag、Au、Fe、Sn、Be、U、萤石、花岗岩、膨润土、沸石、珍珠岩、凝灰岩、脉石英矿床成矿系列。

喜马拉雅旋回以垂直升降活动为主,形成上叠盆地为膏盐和泥质建造,有裂谷性质的基性火山喷发。形成与喜马拉雅期岩浆作用有关的火山渣、宝石、玉石、观赏石矿床成矿系列。在新生代盆地及河谷形成与新生代沉积作用有关的砂金、盐、钾盐、芒硝、页岩气、观赏石矿床成矿系列及与喜马拉雅期含矿流体作用有关的铀矿床成矿系列。

4 新一轮找矿建议

4.1 III级成矿区带找矿方向

以III级成矿区带为单元对矿化强度、成矿强度进行对比分析(图7)。矿化强度采用III级成矿区带单位面积内矿产地(包括矿床、矿点)数量的多少;成矿强度为III级成矿区带单位面积内已查明矿床的各矿种资源量在全区占比的加权平均。

(1)从矿化强度来看,III-59 鄂尔多斯西缘成矿带、III-57 华北陆块北缘东段成矿带、III-61 山西(断隆)成矿带、III-58 华北陆块北缘西段成矿带的矿化强度明显高于其他成矿带;从成矿强度看,III-58 华北陆块北缘西段成矿带、III-50 突泉—翁牛特成矿带、III-18 阿拉善陆块成矿带、III-61 山西(断隆)成矿带的成矿强度高于其他成矿带。

III-61 山西(断隆)成矿带、III-59 鄂尔多斯西缘(陆缘拗陷带)成矿带因所占面积小而导致成矿强度、矿化强度较高,暂不列入讨论。

III-50、III-57、III-58 的矿化强度、成矿强度均优于其他区带。III-50 内分布有双尖子山、复兴屯、花敖包特、拜仁达坝、黄岗等超大型 Ag-Pb-Zn-Sn 多金属矿床及数量较多的大中型多金属矿床,资源储量占比较高;III-57 成矿带内形成的矿产以火山热液型金矿、岩浆热液型萤石矿、沉积变质型铁矿为主,矿产地分布较密集,形成了金厂沟梁金矿床、撰山子金矿床、莲花山金矿床、柴胡栏子金矿床等大型金矿床;III-58 主要是中元古代裂谷形成的 Cu-Pb-Zn-Fe-Nb-稀土-硫铁矿-萤石等矿床成矿系列及与古元古代变质作用有关的 Fe-P-Au、石墨等矿床成矿系列的分布区,Cu、Pb、Zn、Au、Fe、Nb、稀土、硫铁矿等资源储量占比均较高。以上区带中矿床数量多,形成的矿床规模大,资源储量大,成矿带面积较大,为内蒙古重要成矿区带,也是内蒙古自治区重要金属矿产资源基地,是投入矿产勘探工作的主要地区。

(2)从成矿强度(C)与矿化强度(C')的比值(图8)

看, III-8、III-14、III-18、III-48、III-51、III-60 比值较高, 成矿强度是矿化强度的 3 倍以上。

III-51、III-60 为松辽盆地区和鄂尔多斯盆地, 以能源矿产为主, 矿床类型主要为沉积型, 层位较稳定, 矿产地多为已查明矿床, 超大型煤矿、铀矿、盐类多位于两个区带内, 尤其是鄂尔多斯盆地内, 不仅有众多超大型煤矿床, 还分布有靖边超大型天然气、大牛地超大型天然气、大营超大型铀矿及达拉特、塔然高勒超大型芒硝矿床、苏级超大型石膏矿床等, 形成的矿产资源量占比高, 成矿强度高于矿化强度, 是寻找沉积型矿产的有利地区。

III-8、III-14 是甘一蒙北山的最东端, 区域上有大中型变质型铁矿、海相火山岩型铁矿、热液型钨锡多金属矿、斑岩型铜矿、热液型金矿、沉积型钒铀磷矿等矿产分布。区带基础地质、矿产勘查工作程度较低, 发现的矿产地数量相对较少, 矿化强度较弱, 造成 C/C' 值较高; III-18 内也是工作程度较低、发现的矿产地数量相对较少的地区, 且镁、石墨、花岗岩及盐类矿产资源量在自治区所占比重较

大, C/C' 值明显高于其他成矿区带。由于以上成矿区带内基础地质工作程度低、矿产勘查工作仅在局部开展, 具有较大的找矿远景, 建议加大基础地质工作及矿产勘查工作投入。

4.2 服务新一轮找矿建议

为实现《内蒙古自治区战略性矿产找矿行动“十四五”实施方案》总体目标, 在《中国矿产地质志·内蒙古卷》研编、内蒙古矿产资源潜力评价及常态化成果等研究工作基础上, 需紧密围绕国家当前急需与长远需求的战略性矿产, 结合《内蒙古自治区战略性矿产找矿行动“十四五”实施方案》基础调查区、重点调查区、重点勘查区、重要矿山深部等“四区”, 综合考虑成矿地质条件、矿产资源潜力(张彤等, 2018)、经济技术条件、地理及交通条件、政策法规、环境问题等因素, 并根据经济社会发展需求, 对重点成矿区带的空间布局提出工作部署建议, 对未来重要矿产资源探明趋势及资源基地战略布局进行分析与规划, 为全面支撑新一轮找矿突破战略行动取得实效, 推进大型矿产资源勘查开发基地建设提供依据。

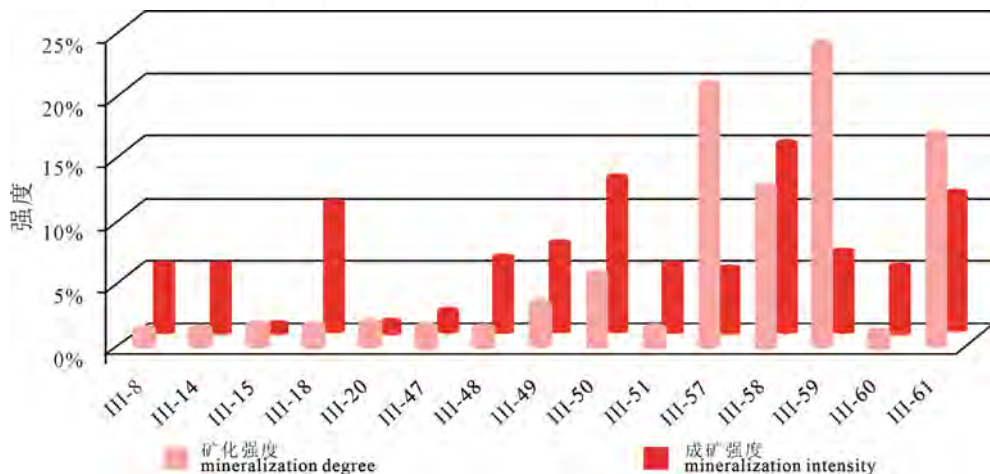


图7 内蒙古成矿区带矿化强度-成矿强度结构图

Fig. 7 Structure of mineralization intensity in Inner Mongolia metallogenic belt

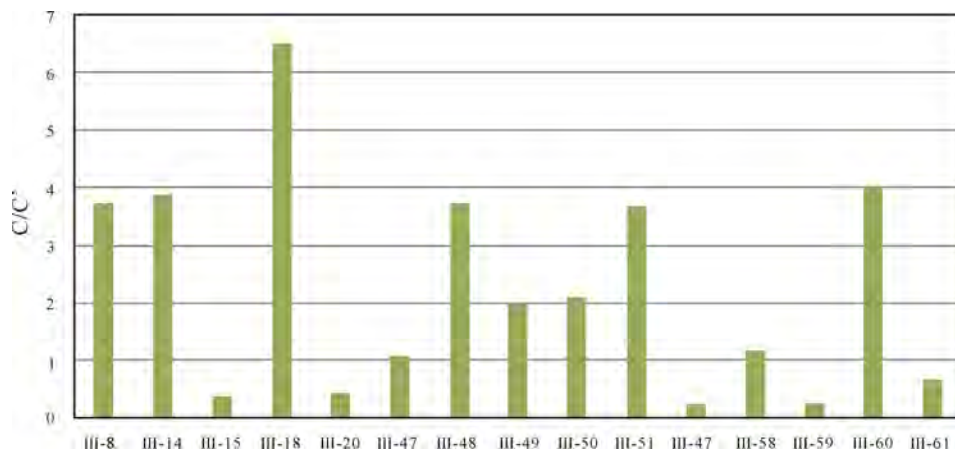


图8 内蒙古三级成矿区带成矿强度(C)/矿化强度(C')图

Fig. 8 Mineralization intensity (C)/mineralization intensity (C') of the third-level mineralization zone in Inner Mongolia

根据已发现矿床的密集分布区及其成矿地质背景、成矿条件、资源状况,以重要成矿带为背景,圈定了10个找矿远景区,30个找矿靶区(图9),为地质找矿提供依据,指明找矿方向。

(1)海拉尔盆地、二连盆地、鄂尔多斯盆地找矿远景区(远景区编号8、9、10)是能源矿产勘查工作重点区域,晚古生代的山西组、太原组,中生代的五当沟组、下花园组、红旗组、延安组、阜新组、大磨拐河组、伊敏组等是主要的含煤沉积建造。除常规能源矿产外,还应加大开展非常规能源、清洁能源的勘查工作力度,为产业发展提供资源保障,积极开展天然气、地热、浅层地温能、铀等清洁能源的开发利用。内蒙古清洁能源矿产丰富,主要有煤层气、地热、铀、页岩气等,具备设置新能源矿产资源基地的良好条件,但由于工作程度低,建议进一步加强勘探开发工作。

(2)华北地台及北缘成矿带(远景区编号6、7)共圈定找矿靶区11处,已发现的矿床类型主要为沉积

变质型铁矿床、石墨矿床、陆缘裂谷环境形成的海相火山喷流沉积型铅锌铜矿床、铁铌稀土矿床、层控型金矿床及不同时期岩浆热液作用形成的萤石矿床,建议在该区域内打造能源矿产、黑色金属、三稀矿产及石墨、磷、萤石等资源基地。

(3)新巴尔虎右旗—根河成矿带、东乌珠穆沁旗—嫩江成矿带、白乃庙—锡林郭勒成矿带、突泉—翁牛特成矿带,以上远景区位于大兴安岭成矿省内,构成了大兴安岭成矿省的主体,共圈定找矿靶区17处。矿产资源丰富,矿种以锌、铅、银、金、铜为主,其次是钼、萤石、铁、锡和钨等。矿床类型以岩浆热液型、陆相火山岩型、砂矿型和浅成中-低温热液型为主,其次是接触交代型、斑岩型、岩浆型、海相火山岩型。成矿时代以白垩纪、侏罗纪、第四纪为3个成矿高峰期,其次是晚古生代、三叠纪。建议在以上远景区内寻找与中生代内生成矿作用有关的铜、锡、钼、铅锌等有色金属、三稀矿产、萤石等矿产,打造内蒙古有色金属资源基地及新增三稀矿产资源基地。

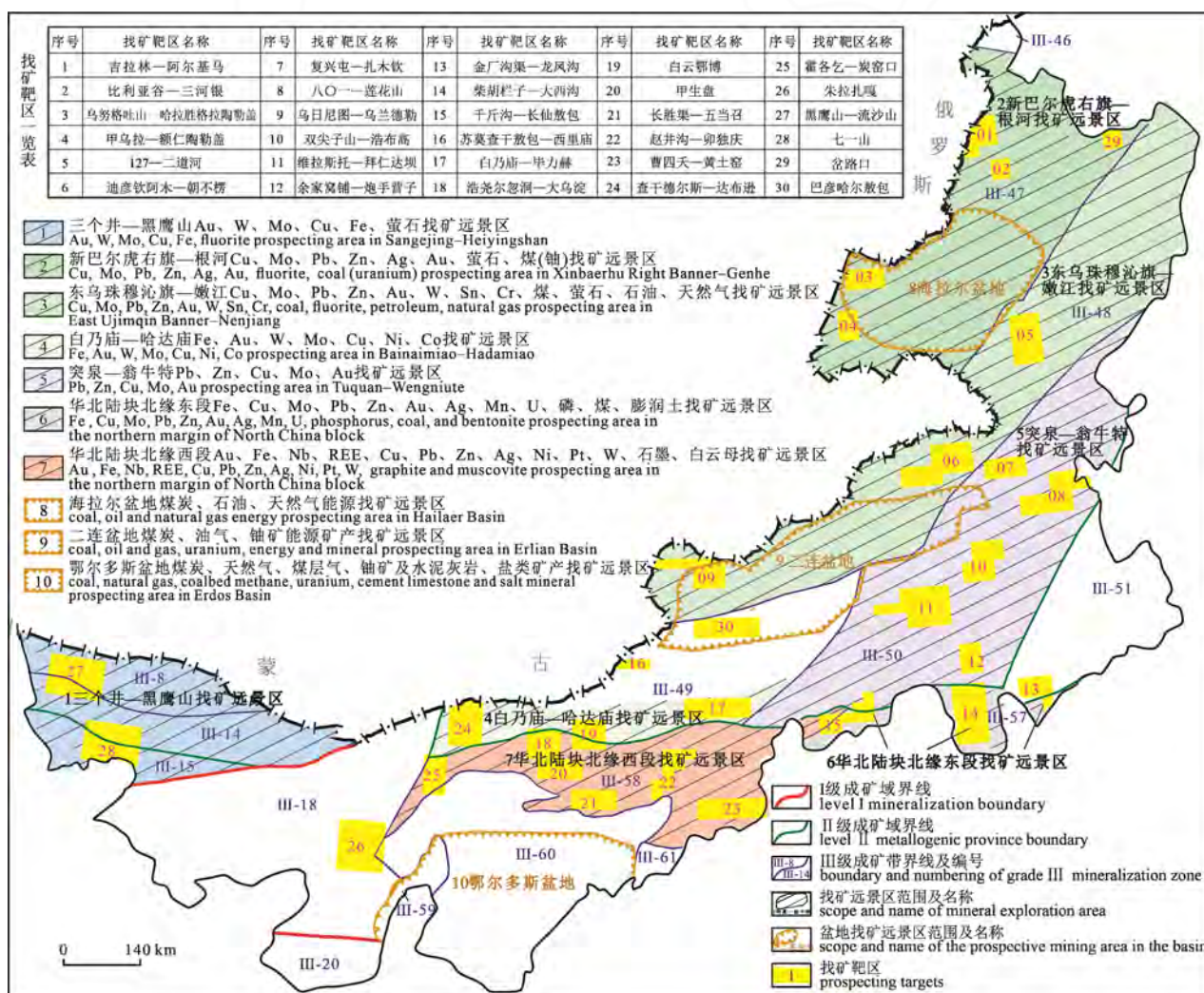


图9 内蒙古新一轮找矿突破行动部署建议图

Fig. 9 Suggestions for the deployment of a new round of breakthrough mining operations in Inner Mongolia

(4)三个井—黑鹰山找矿远景区(远景区编号 1)是北山成矿带的最东端, 有较大的成矿潜力, 圈定找矿靶区 2 处, 主要矿种有铁、铜、铅、锌、金、钼、钨, 伴生有银、砷、镍、钴、锡、铍、钽、铷、镓, 矿床类型以岩浆型、岩浆热液型、接触交代型、海相火山岩型等为主。该区域内地质勘查工作程度较低, 建议在该区域内加强基础地质工作, 着力在铜、铁、金、钨、钼、铋等矿种实现找矿突破。

5 结语

内蒙古自治区迄今成立 70 余年, 从成立之初的“手无寸铁”, 到发现了举世瞩目的白云鄂博铁铈稀土矿床, 从探明了资源储量居全国首位的煤炭资源, 再到新发现的世界级铀矿床, 几代地质矿产工作者历寒暑、沐风雨, 砥砺前行、默默奉献, 探明了丰富的矿产资源, 为自治区乃至全国经济社会发展作出了巨大贡献。陈毓川院士在成矿规律研究方面给予了极大的关注, 2007—2020 年十四年间, 多次亲临内蒙古, 深入典型矿床进行现场指导, 在内蒙古矿产地质研究方面倾注了大量的精力和心血, 在陈毓川院士九十寿诞之际, 谨以此文向陈院士及为内蒙古地质矿产事业作出贡献的先辈们致敬!

意难忘·陈毓川院士历遍北疆

一十四载, 冒风雨酷暑, 历遍北疆。翻山越峻岭, 下井探盲矿。建理论、寻矿藏, 求精务实效, 八番论、成矿系列, 矿界传扬。

大兴安岭北坡, 阿拉善荒漠, 历尽风霜。白音查干东, 毛登双尖山, 典型矿, 见成效, 找矿心愿偿。盼康复, 老骥伏枥, 体健安康!

Acknowledgements:

This study was supported by China Geological Survey (Nos. 1212011220369 and 1212011440301).

参考文献:

- 陈毓川, 1994. 矿床的成矿系列[J]. 地学前缘, 1(3): 90-94.
- 陈毓川, 裴荣富, 王登红, 2006. 三论矿床的成矿系列问题[J]. 地质学报, 80(10): 1501-1508.
- 陈毓川, 裴荣富, 王登红, 等, 2015. 论矿床的自然分类——四论矿床的成矿系列问题[J]. 矿床地质, 34(6): 1092-1106.
- 陈毓川, 裴荣富, 王登红, 等, 2016. 矿床成矿系列——五论矿床的成矿系列问题[J]. 地球学报, 37(5): 519-527.
- 陈毓川, 裴荣富, 王登红, 等, 2020. 论地球系统四维成矿及矿床学研究趋向——七论矿床的成矿系列[J]. 矿床地质, 39(5): 745-753.
- 陈毓川, 裴荣富, 王登红, 等, 2022. 八论矿床的成矿系列[J]. 地质学报, 96(1): 123-130.
- 陈毓川, 王登红, 2001. 喜马拉雅期内生矿作用研究[M].

北京: 地震出版社.

- 陈毓川, 王登红, 朱裕生, 等, 2007. 中国成矿体系与区域成矿评价[M]. 北京: 地质出版社.
- 程裕淇, 陈毓川, 赵一鸣, 1979. 初论矿床的成矿系列问题[J]. 中国地质科学院院报, 1(1): 32-58.
- 程裕淇, 陈毓川, 赵一鸣, 等, 1983. 再论矿床的成矿系列问题[C]//中国地质科学院文集: 66.
- 高征西, 2023. 中国矿产地质志-内蒙古卷, 内蒙古矿产地质: 内蒙古卷 内蒙古矿产地质: 普及本[M]. 北京: 地质出版社.
- 邵和明, 张履桥, 2016. 内蒙古自治区主要成矿区(带)和成矿系列[M]. 武汉: 中国地质大学出版社.
- 王登红, 王成辉, 邢树文, 等, 2014. 中国矿产地质志·矿产地名录卷[M]. 北京: 地质出版社.
- 武广, 王国瑞, 刘军, 等, 2014. 大兴安岭北部主要金属矿床成矿系列和区域矿床成矿谱系[J]. 矿床地质, 33(6): 1127-1150.
- 武广, 杨飞, 李睿华, 等, 2023. 大兴安岭南段小孤山锡铋矿床锡石 U-Pb 年龄、流体包裹体和 H-O-S-Pb 同位素特征[J]. 岩石学报, 39(6): 1579-1599.
- 武广, 张彤, 陈志勇, 等, 2022. 大兴安岭南段锡多金属矿床成矿时代、成因和成矿模式[J]. 西部资源, (5): 10-16.
- 西部资源, 2011. 旧中国时期内蒙古自治区地质工作概况[J]. 西部资源, (5): 26.
- 西部资源, 2012. 我国发现国内最大的世界级铀矿[J]. 西部资源, (6): 27.
- 徐志刚, 陈毓川, 王登红, 等, 2008. 中国成矿区带划分方案[M]. 北京: 地质出版社.
- 张彤, 李四娃, 等, 2023. 中国矿产地质志·内蒙古卷[M]. 北京: 地质出版社.
- 张彤, 许立权, 闫洁, 等, 2018. 内蒙古自治区重要矿产预测研究[M]. 武汉: 中国地质大学出版社.
- 《中国矿床发现史·内蒙古卷》编委会, 1996. 中国矿床发现史·内蒙古卷[M]. 北京: 地质出版社.

References:

- CHEN Yuchuan, 1994. Metallogenic series of ore deposits[J]. Earth Science Frontiers, 1(3): 90-94(in Chinese).
- CHEN Yuchuan, PEI Rongfu, WANG Denghong, 2006. On minerogenetic (metallogenetic) series: Third discussion[J]. Acta Geologica Sinica, 80(10): 1501-1508(in Chinese with English abstract).
- CHEN Yuchuan, PEI Rongfu, WANG Denghong, et al., 2015. Natural classification of mineral deposits: Discussion on minerogenetic series of mineral deposits(IV)[J]. Mineral Deposits, 34(6): 1092-1106(in Chinese with English abstract).
- CHEN Yuchuan, PEI Rongfu, WANG Denghong, et al., 2016. Minerogenetic series for mineral deposits: Discussion on minerogenetic series(V)[J]. Acta Geoscientica Sinica, 37(5):

- 519-527(in Chinese with English abstract).
- CHEN Yuchuan, PEI Rongfu, WANG Denghong, et al., 2020. Four-dimensional metallogeny in earth system and study trends of mineral deposits: A discussion on minerogenetic series(VII)[J]. *Mineral Deposits*, 39(5): 745-753(in Chinese with English abstract).
- CHEN Yuchuan, PEI Rongfu, WANG Denghong, et al., 2022. Eight Discussions on the Mineralization Series of Mineral Deposits[J]. *Geological Journal*, 96(1): 123-130(in Chinese with English abstract).
- CHEN Yuchuan, WANG Denghong, 2001. Research on the Formation and Mineralization during the Himalayan Period[M]. Beijing: Earthquake Publishing House(in Chinese).
- CHEN Yuchuan, WANG Denghong, ZHU Yusheng, et al., 2007. Chinese Mineralization System and Assessment of Regional Mineralization[M]. Beijing: Geological Publishing House(in Chinese).
- CHENG Yuqi, CHEN Yuchuan, ZHAO Yiming, 1979. Preliminary discussion on the problems of minerogenetic series of mineral deposits[J]. *Acta Geoscientica Sinica*, 1(1): 32-58(in Chinese with English abstract).
- CHENG Yuqi, CHEN Yuchuan, ZHAO Yiming, et al., 1983. Further Discussion on the Mineralization Series of Mineral Deposits[C]//Collected Works of the Chinese Academy of Geological Sciences: 66(in Chinese).
- Editorial Committee of the Inner Mongolia Volume of the History of Mineral Deposit Discoveries in China, 1996. History of Mineral Deposit Discoveries in China: Inner Mongolia Volume[M]. Beijing: Geological Publishing House(in Chinese).
- GAO Zhengxi, 2023. China Mineral Geology, Inner Mongolia Volume, Popular Edition[M]. Beijing: Geological Publishing House(in Chinese).
- SHAO Heming, ZHANG Lǔqiao, 2016. Main Metallogenic Areas (Belts) and Metallogenic Series in Inner Mongolia Autonomous Region[M]. Wuhan: China University of Geosciences Press(in Chinese).
- WANG Denghong, WANG Chenghui, XING Shuwen, et al., 2014. Mineral Geology of China: Geographical Names of Mineral Resources Volume[M]. Beijing: Geological Publishing House(in Chinese).
- Western Resources, 2011. Overview of Geological Work in Inner Mongolia Autonomous Region during the Old China Period[J]. *Western Resources*, (5): 26(in Chinese).
- Western Resources, 2012. China found the largest world-class uranium mine in China[J]. *Western Resources*, (6): 27(in Chinese).
- WU Guang, WANG Guorui, LIU Jun, et al., 2014. Metallogenic series and ore f pedigree of main ore deposits in northern Great Xing'an Range[J]. *Mineral Deposits*, 33(6): 1127-1150(in Chinese with English abstract).
- WU Guang, YANG Fei, LI Ruihua, et al., 2023. Cassiterite U-Pb age, fluid inclusion and H-O-S-Pb isotope geochemistry of the Xiaogushan Sn-Zn deposit in the southern Great Xing'an Range, NE China[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 39(6): 1579-1599(in Chinese with English abstract).
- WU Guang, ZHANG Tong, CHEN Zhiyong, et al., 2022. Metallogenic age, genesis and metallogenic model of tin polymetallic deposits in southern Daxing'anling[J]. *Western Resources*, (5): 10-16(in Chinese).
- XU Zhigang, CHEN Yuchuan, WANG Denghong, et al., 2008. Scheme of the Classification of the Minerogenetic Units in China[M]. Beijing: Geological Publishing House(in Chinese).
- ZHANG Tong, LI Siwa, et al., 2023. Mineral Geology of China, Inner Mongolia Volume[M]. Beijing: Geological Publishing House(in Chinese).
- ZHANG Tong, XU Liquan, YAN Jie, et al., 2018. Study on Prediction of Important Mineral Resources in Inner Mongolia Autonomous Region[M]. Wuhan: China University of Geosciences Press(in Chinese).