

河北省成矿规律及新一轮找矿突破行动建议

——《中国矿产地质志·河北卷》研编

李 宾¹⁾, 宋立军^{1)*}, 马奎羽¹⁾, 黄 凡²⁾, 刘树兴¹⁾,
温延星¹⁾, 佟昕恩¹⁾, 王 婧¹⁾

1) 河北省地质调查院, 河北石家庄 050020;

2) 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

摘 要: 河北省成矿地质条件优越, 矿产资源丰富, 禀赋特点鲜明; 已发现矿产 115 种, 查明资源量矿产 94 种, 优势矿种为煤、石油、天然气、铁等 9 种。基于以往地质矿产资料与成果, 确定了河北省成矿单元为 4 个 III 级成矿带、10 个 IV 级成矿亚带、17 个 V 级矿集区。厘清了 III 级成矿单元矿产资源优劣顺序为华北陆块北缘成矿带→山西断隆成矿区→华北盆地(断拗)成矿带→突泉—翁牛特成矿带; 成矿强度排序前六的成矿时代依次为古近纪、石炭纪—二叠纪、新太古代、白垩纪、中元古代、奥陶纪; 矿床类型数量随地质年代呈现出由少到多的演化规律; 划分了 16 种成矿类型, 成矿强度较强的成矿类型是受变质型、岩浆热液型、陆相火山岩型和生物化学沉积型; 总结出成矿作用与矿化组合随成矿时代与成矿单元呈现出差异性。厘定出矿床成矿系列组 14 个, 矿床成矿系列 39 个, 矿床成矿亚系列 46 个, 矿床式或典型矿床 97 个; 建立了区域成矿谱系。基于上述成果, 初步完成了新一轮找矿突破战略行动成矿远景区优选与靶区圈定工作, 阶段性地总结了新一轮找矿突破工作经验。

关键词: 成矿规律; 成矿区带; 矿床成矿系列; 成矿谱系; 找矿突破; 河北省

中图分类号: P612 文献标志码: A doi: 10.3975/cagsb.2024.112211

Metallogenic Regularity of Hebei Province, and Suggestions for a New Round of Prospecting: Research and Compilation of “Geology of Mineral Resources of China • Hebei Volume”

LI Bin¹⁾, SONG Lijun^{1)*}, MA Kuiyu¹⁾, HUANG Fan²⁾, LIU Shuxing¹⁾,
WEN Yanxing¹⁾, TONG Xin'en¹⁾, WANG Jing¹⁾

1) Hebei Geological Survey Institute, Shijiazhuang, Hebei 050020;

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

Abstract: Hebei Province is endowed with superior geological conditions for mineralization and thus abundant mineral resources; 115 types of minerals have been discovered and 94 types of mineral resources have been identified with 9 types advantageous minerals including coal, oil, natural gas, and iron. Based on previous geological and mineral data, the ore-forming units in Hebei Province have been categorized into four grade III metallogenic belts, ten grade IV metallogenic sub belts, and seventeen grade V mining areas. The order of prospect value of mineral resources in level III mineralization units has been clarified as follows: North margin mineralization belt of the North China Block > Shanxi fault uplift mineralization area > North China Basin (fault depression) mineralization belt > Tuquan Wengniute mineralization belt. The top six mineralization periods in terms of mineralization intensity are the Paleogene, Carboniferous, Permian, Neoproterozoic, Cretaceous,

本文由中国地质调查局“中国矿产地质志”项目(编号: DD20221695; DD20190379; DD20160346)资助。

收稿日期: 2024-09-02; 改回日期: 2024-11-19; 网络首发日期: 2024-11-26。责任编辑: 张改侠。

第一作者简介: 李宾, 男, 1984 年生。硕士, 高级工程师。主要从事矿产勘查、区域成矿规律、地学数据处理方面的研究。E-mail: binli198408@126.com。

*通信作者: 宋立军, 男, 1966 年生。本科, 正高级工程师。主要从事矿产地质、地质大数据方面的研究。E-mail: 583913827@qq.com。

Mesoproterozoic, and Ordovician. The number of deposit types shows an evolutionary pattern from few to many with geological age. 16 types of mineralization have been classified, and the mineralization types with the stronger mineralization intensity are metamorphic type, magmatic hydrothermal type, terrestrial volcanic rock type, and biochemical sedimentary type. The mineralization process and mineral content differ based on the mineralization age and unit. 14 ore deposit series groups, 39 ore deposit series, 46 ore deposit sub series, and 97 ore deposit types or typical ore deposits have been identified. A regional mineralization lineage has been established. Based on the above achievements and other materials, a new round of prospecting has been preliminarily completed, including the selection of ore-forming prospecting areas and the delineation of target areas. The experience of the new round of prospecting has been summarized periodically.

Key words: metallogenic regularity; metallogenic belt; mineral deposit mineralization series; metallogenic lineage; breakthrough in mineral prospecting; Hebei Province

河北省地处古亚洲成矿构造域与滨西太平洋成矿构造域的复合地带,地壳发展演化历史为我国之最,南、北分属大兴安岭成矿省、华北成矿省,成矿地质条件优越(河北省区域地质矿产调查研究所,2017)。自中元古代以来,河北省长期处于华北陆块、兴蒙造山带构造格局控制下,经历了晋宁、加里东、华力西—印支、燕山及喜马拉雅等多期次的构造-沉积-岩浆-变质-成矿事件,特别是燕山期构造-岩浆成矿期,因陆块内收缩和欧亚板块与古太平洋板块作用,陆内活化造山强烈,形成多条重要成矿区带,形成众多的矿集区或矿田,如冀北金矿矿集区等。

河北省矿产资源禀赋好,发育煤、石油、天然气、铁、金、铀、水泥用石灰岩、饰面用大理岩、耐火用橄榄岩、石盐、沸石、碎云母、浮岩等我国重要矿产及其重要产地,也是全国矿产地质工作程度较高的地区之一;矿产资源赋存特点为:①矿产种类多,能源矿产、黑色金属、贵金属和非金属矿产具有明显优势。②矿产资源赋存相对集中,区位特征明显,如冀东地区主产煤、铁、金等,冀西主产煤、金、铁、石墨、铀等;冀北主产铁、钒钛、金、铅锌、银、萤石等;冀中主产石油、天然气、煤、石膏、岩盐等;冀南主产铁、铝土矿、煤、石膏、石灰岩、白云岩等;形成河北省北部有色金属、贵金属矿产资源丰富,中南部石油、天然气矿产资源丰富,煤、铁矿产资源全省分布的特征。③矿产资源储量主要集中分布在大中型矿床、重要矿集区。河北省已发现40个矿种的大型、超大型矿床226处,主要有煤、铁、金、石灰岩等,分布在张家口、承德、唐山、保定、邯郸等地区,如大型及以上铁矿产地保有资源量69.5亿t,占全省铁矿保有资源量的71.60%,主要分布在唐山、邯郸等地区(河北省自然资源厅,2023);矿产资源的空间分布格局为大型资源基地建设与综合利用奠定坚实基础。④多种成矿类型共生的复合型产地多,往往构成多位一体大型矿床,如保定市涿

源县木吉村铜钼矿为斑岩-矽卡岩型大型铜钼矿床,斑岩型铜(钼)矿体居中部,外围为矽卡岩型铜、铁多金属矿体。⑤多组分共伴生矿床多,特别是金属矿床,如铜矿有铁、金、银、铅锌、硫等伴生组分,金矿有银、铅锌、铜、硫等伴生组分,铅锌矿有银、金、铜、镓、硫、镉等伴生组分,这与多期次、多类型叠加成矿作用关系密切。⑥贫矿多,富矿少,如大宗矿产铁矿富铁矿少、资源储量占比低等。⑦重要矿产资源储量短缺或严重不足,如富铁、富铜、富磷、铝土矿、铬铁矿等,无法保障矿产资源安全。

截至2022年底,研编组统计河北省已发现矿产115种,其中有查明资源量的矿产94种,无查明资源量的矿产21种;列入《2022年河北省矿产资源储量表》的矿产94种,其中能源矿产2种,金属矿产23种,非金属矿产69种;共发现各类矿产地3144处(含超大型、大型、中型、小型、矿点),其中能源矿产地296处、金属矿产地1086处、非金属矿产地1273处、水气矿产地342处,超贫铁矿产地147处,上表矿产地1584处(能源矿产166处,金属矿产926处,非金属矿产492处);优势矿种为煤、石油、天然气、铀矿、金矿、铁矿、石灰岩、耐火橄榄岩、碎云母等9种;按矿床规模统计出超大型19处,大型207处,中型409处,小型996处,矿点988处,未分规模36处。矿产资源量位居全国前五位的矿种有38种,位居6~10位的有20种,其中河北省大宗重要矿产全国排名:铁矿第3位、冶金用白云岩第5位、石油第7位、钼矿第10位、金矿第18位、煤炭第13位、水泥用灰岩第14位、天然气第16位。上述矿种矿产资源量,为河北省乃至全国国民经济建设与高质量发展奠定了一定基础,并持续为国家能源资源安全贡献力量。

河北省矿业勘查开发利用历史悠久,有史可查的可上溯到公元前春秋战国时代,甚至更久远。1840—1949年西方列强掠夺矿产资源,使河北省铁

矿、煤矿、金矿等矿产开发利用取得了一定发展。中华人民共和国成立后,随全国地质工作大发展,河北省矿产资源勘查、开发与利用工作均取得了辉煌成绩。20世纪50年代是河北省矿产勘查的起步阶段;60年代是石油、铁矿、金矿等矿种重大突破阶段;70—90年代是地质矿产工作迅猛发展时期,新发现和提交矿产地近300处,发现和勘探了大批国内著名的矿产地,如保定市涞源县大湾钨矿等,勘探和发现了著名的涿鹿县矾山磷矿,结束了我国“北方无磷”的历史;进入21世纪的20年来,地质找矿取得了一系列重大成果,如涞源县木吉村大型铜(钼)矿阶段性详查和滦县司家营铁矿南区深部普查两个项目均取得重大找矿成果,新发现沧县石盐矿、阜平县赤瓦屋铜钼矿等多个矿产地,后期危机矿山资源接替资源勘查与找矿突破整装勘查也取得了一批成果,如宽城东梁金矿等勘查成果显著。近些年,河北省取得了一些区域成矿规律研究等方面的进展和成果,如:依据槽台演化-成矿观点开展的河北省重要成矿区带成矿系列专题研究,强调了大兴安岭—太行山成矿带的意义(章百明等,1996);简要总结了河北铁矿成矿规律,根据矿产预测类型完成了铁矿资源潜力预测(任树祥等,2010);按4个时段的构造背景与成矿作用,采用矿床成矿系列理论完成矿床成矿系列划分(王婧等,2023);在全国成矿单元划分基础上,结合最新研究成果,统一厘定了华北地区重要成矿单元(李俊建等,2021);探讨了大地构造相与成矿的关系,认为成矿作用是在一定的大地构造背景下发展演化的,并受到大地构造环境的制约(宋树军等,2023);以地质演化阶段为主线,较系统地研究了各地质阶段、各地质环境条件下的区域成矿规律,建立了矿床成矿系列(任树祥等,2015);河北省深部地质构造特征与区域成矿规律相互关系的初步研究(张尔匡等,1982)等。

《中国矿产地质志·河北卷》项目组,历经七年,协同有色、建材、石油、煤炭等行业部门,在中国地质科学院矿产资源研究所、河北省自然资源厅与河北省地矿局的领导、支持与指导下,集成与融合了河北省百年来矿产资源勘查、区域成矿规律研究成果,以矿床成矿系列理论为指导思想(陈毓川等,2006,2015,2016;王登红等,2020),通过省域、矿种、矿产地全覆盖的方式研编了《中国矿产地质志·河北卷》。该志书意义重大,全面反映了河北省矿产资源全貌和成矿规律,是河北省矿产勘查及研究成果的百科全书,是今后河北省矿产生产科研工作的工具书,为地质找矿新突破贡献矿产志新质生产力。本文重点以成矿时代为主线、以构造-成矿旋回为主体框架、突出大地构造演化与成矿关系的厘定准则,划定

了河北省矿床成矿系列,具体化了河北地史演化塑造的四维成矿体系,从成矿区带划分、矿产资源时空分布特征、矿床成矿系列、区域成矿谱系、成矿作用演化等方面全面总结了河北省区域成矿规律,为新一轮找矿突破战略行动提供基础支撑。

1 矿产资源空间分布规律

1.1 河北省成矿单元划分

地球成矿系统演化的不均一性形成矿产资源分布的不均衡性,不同成矿单元的区域成矿规律存在差异性,厘定成矿单元是系统性研究矿产资源区域成矿规律的基础(陈毓川等,2007)。河北省位于柴达木—华北板块→华北陆块,且华北陆块后期叠加了中生代大兴安岭—太行山板内造山带(岩浆活动带)(图1),南北跨华北陆块北缘、兴蒙造山带两个Ⅱ级构造单元,其深部地质结构与盖层系统差异均显著,成矿作用与成矿类型亦各具特色。根据《中国成矿区带划分方案》(徐志刚等,2008)与《河北省主要成矿区带矿床成矿系列及成矿模式》(章百明等,1996),河北省地处古亚洲成矿域与滨太平洋成矿域的复合地域(滨太平洋成矿域叠加在古亚洲成矿域之上);以区域地质构造特征、成矿构造环境及成矿作用为基础,划分为2个Ⅱ级成矿省、4个Ⅲ级成矿带、10个Ⅳ级成矿亚带、17个Ⅴ级矿集区(图2,表1)。

河北省域主体位于华北陆块成矿省(Ⅱ-14),仅在康保—围场深断裂以北属于大兴安岭成矿省(Ⅱ-12)。其中,突泉—翁牛特Pb、Zn、Ag、Fe、Sn、REE成矿带(Ⅲ-50),位于康保—围场深断裂以北区域,属华北陆块北侧兴蒙造山系,具古元古代基底(红旗营子群变质岩系)、中元古代(缺新元古代地层)—晚古生代稳定沉积盖层、中新生代盖层的三元结构;华北陆块北缘东段Fe-Cu-Mo-Pb-Zn-Au-Ag-Mn-U-磷-煤-膨润土成矿带(Ⅲ-57),是省内最大、最重要的Ⅲ级成矿带;北以康保—围场深断裂为界,南以燕山山前断裂及北京—涞水—涞源一线为界;地质构造十分复杂,呈北隆南拗、西拗东隆的格局特征,具三元结构,由结晶基底、中—新元古界及中—新生界三个构造层组成;山西断隆成矿区(Ⅲ-61),是大兴安岭—太行—雪峰巨型断裂带的组成部分,呈北北东向展布,深部构造属地幔陡坡带,具结晶基底(新太古界阜平群、赞皇岩群、五台群、滹沱群等)与盖层(中新元古界、古生界及中新生界地层)二元结构。

1.2 矿产资源空间分布规律

河北省区域成矿空间分布呈现成区、成带、分片相对集中的特征;按Ⅳ级成矿亚带分区统计矿产地规模与分布(图3,表2),矿产资源禀赋条件最优

越的IV级成矿亚带依次为马兰峪—绥中次级隆起
Au 成矿带 (III-57-③)、燕辽(拗陷、拉张)

Cu-Mo-Pb-Zn-Ag-Au-Fe-Mn-煤-石灰岩-耐火黏土成
矿亚带(III-57-②)、太行 Fe-Mn-铝土矿-石膏-煤-

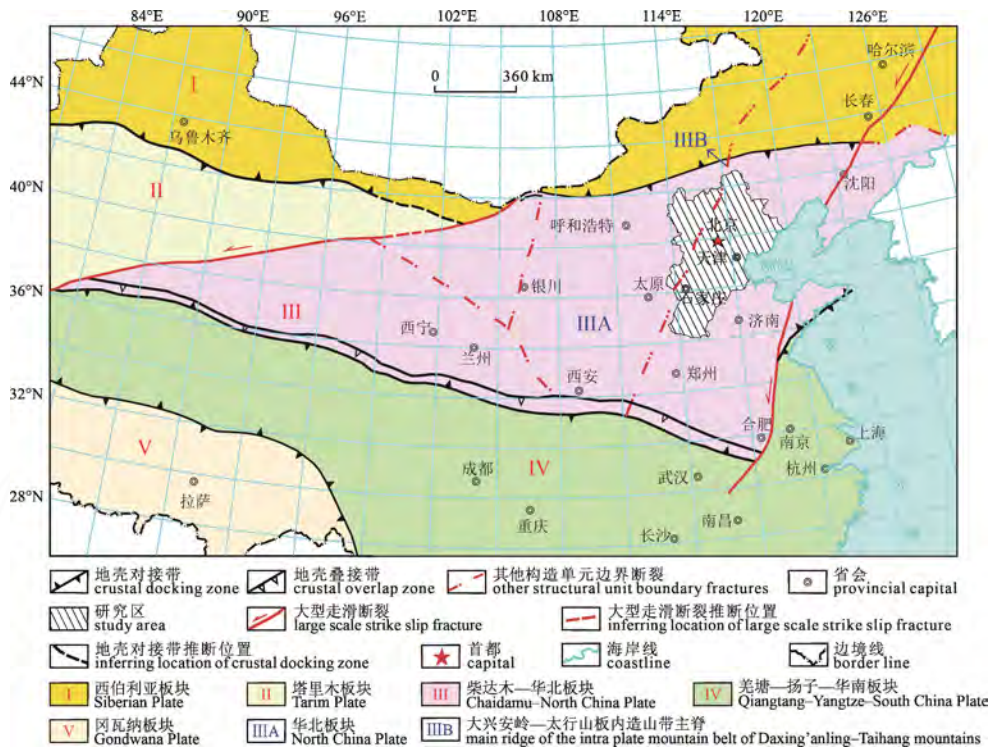


图 1 河北省大地构造位置简图(据河北省区域地质调查研究所, 2017)
Fig. 1 Schematic diagram of the location of geological structures in Hebei Province
(from Hebei Provincial Institute of Regional Geological Survey, 2017)

表 1 河北省成矿单元划分简表
Table 1 Summary of mineralization unit divisions in Hebei Province

II级成矿省	III级成矿带	IV级成矿亚带	V级矿集区
大兴安岭 成矿省 (II-12)	突泉—翁牛特 Pb-Zn-Cu-Mo-Au 成矿带(III-50)	卯都房子—毫义哈达 W-Pb-Zn-Cr-萤石成 矿亚带(III-50-③)	
		小东沟—小营子 Mo-Pb-Zn-Cu-萤石成矿亚 带(III-50-④)	围场棋盘山萤石-Ag-Mn 矿集区(III-50-④-1)
华北陆块 成矿省 (II-14)	华北陆块北缘东 段 Fe-Cu-Mo-Pb- Zn-Au-Ag-Mn-U- 磷-煤-膨润土 成矿带(III-57)	内蒙古隆起东段 Fe-Au-Ag-Pb-Zn-Mo-U-磷 -煤-膨润土-沸石-石墨成矿亚带(III-57-①)	张北—沽源 Pb-Zn-Ag-沸石-石墨矿集区(III-57-①-1) 丰宁—牛圈萤石 Mo-Ag-Pb-Zn 矿集区(III-57-①-2) 郭家屯—韩家店萤石-Pb-Zn-Ag 矿集区(III-57-①-3)
			崇礼—宣化 Au-Fe-石墨-煤矿集区(III-57-②-1)
			丰宁—隆化-Au-Fe-P-Pt-Pb-Zn-Ag 矿集区(III-57-②-2)
			平泉 Cu-Mo-Pb-Zn-煤-萤石-石灰岩矿集区(III-57-②-3)
			寿王坟—宽城 Cu-Mo-Pb-Zn-煤-萤石-石灰岩矿集区 (III-57-②-4)
			大河南—王安镇 Au-Cu-Pb-Zn-Fe-P 矿集区(III-57-②-5)
华北陆块 成矿省 (II-14)	山西断隆成矿区 (III-61)	马兰峪—绥中次级隆起)Au 成矿带 (III-57-③)	开平盆地煤-铝土矿-Mn-灰岩矿集区(III-57-②-6) 遵化—青龙 Au-Fe 矿集区(III-57-③-1) 迁安—滦县 Fe-石灰岩矿集区(III-57-③-2)
		恒山—五台山 Fe-金红石成矿亚带 (III-61-①)	阜平 Au-Ag-Mo 矿集区(III-61-①-1)
		吕梁 Fe-铝土矿-石膏-煤-煤层气成矿亚带 (III-61-②)	
		太行 Fe-Mn-铝土矿-石膏-煤-煤层气成矿亚 带(III-61-③)	井陉拗陷煤-铝土矿-S-石灰岩矿集区(III-61-③-1) 赞皇—武安拗陷煤-铝土矿-Fe 矿集区(III-61-③-2)
		冀中(断拗/盆地)石油-天然气-煤-煤层气- 石膏-石盐成矿亚带(III-62-①)	廊坊—任丘石油-天然气-煤-煤层气-膏盐矿集区 (III-62-①-1)
		黄骅(断拗/盆地)石油-天然气成矿亚带 (III-62-②)	黄骅石油-天然气矿集区(III-62-②-1)

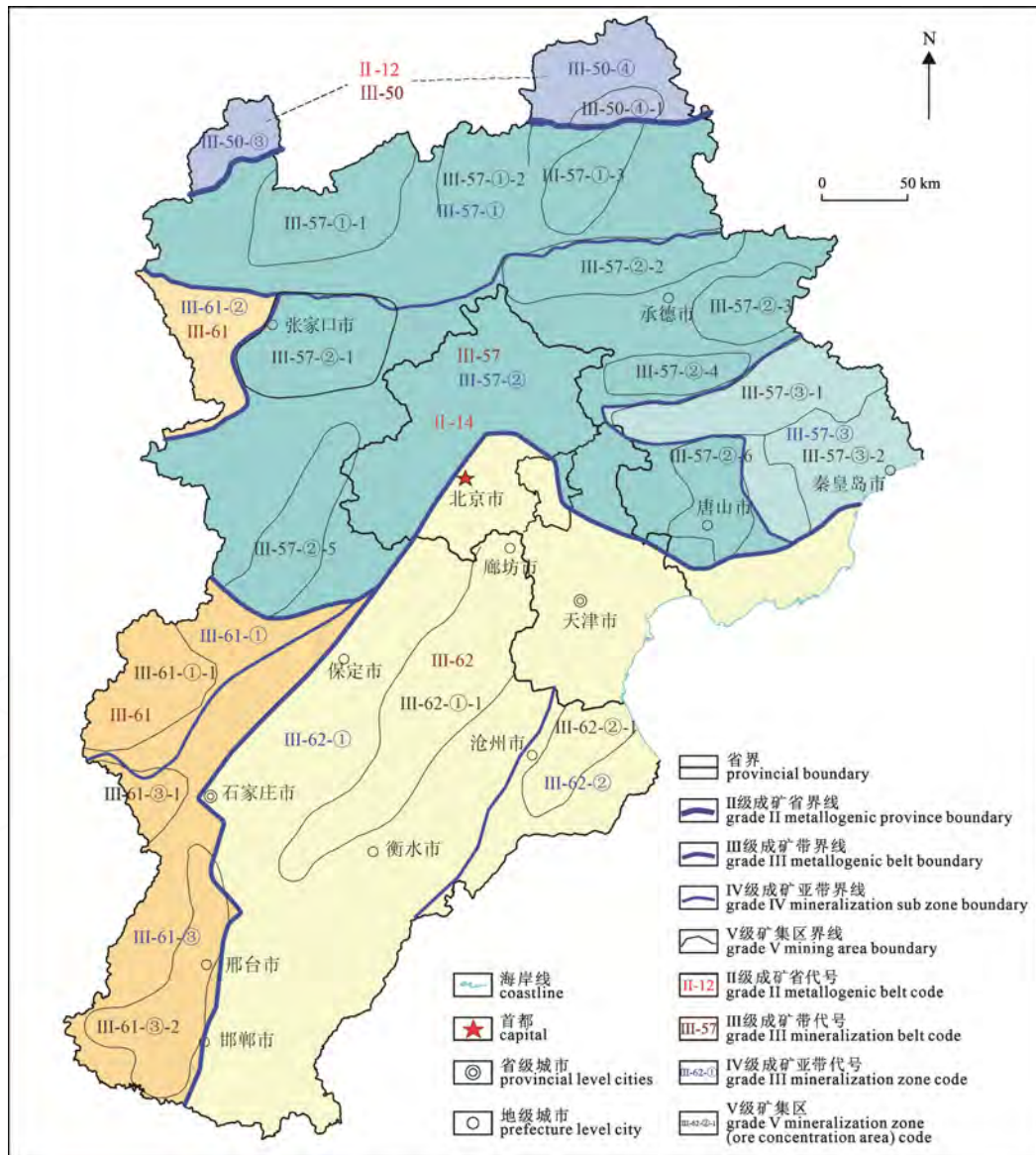


图2 河北省成矿单元划分简图

Fig. 2 Schematic diagram of the division of ore-forming units in Hebei Province

煤层气成矿亚带(III-61-③)、内蒙古隆起东段Fe-Au-Ag-Pb-Zn-Mo-U-磷-煤-膨润土-沸石-石墨成矿亚带(III-57-①)、冀中(断拗/盆地)石油-天然气-煤-煤层气-石膏-石盐成矿亚带(III-62-①)。经对IV级成矿亚带矿产资源归并至III级成矿带,矿产资源最丰富的III级成矿带为华北陆块北缘东段Fe-Cu-Mo-Pb-Zn-Au-Ag-Mn-U-磷-煤-膨润土成矿带(III-57),其次为山西断隆成矿区(III-61)、华北盆地(断拗)石油天然气成矿带(III-62),最差为突泉—翁牛特Pb-Zn-Cu-Mo-Au成矿带(III-50)。

2 矿产资源时间分布规律

2.1 成矿强度随时间演化规律

河北省矿产资源主要集中分布在大中型矿床。各矿种矿产资源量与矿床规模、矿产地数量高度相关,即成矿时代成矿强度由矿产资源量与矿产地

数量确定。根据河北省矿产资源特征与矿产地数据预处理结果,确定采用矿产地数量与矿床规模加权方式确定成矿时代成矿强度。其中,以《矿产资源储量规模划分标准》(DZ/T 0400-2022)各矿种大型储量规模边界数值进行资源量数据标准化,剔除量纲与量级影响,进行成矿时代成矿强度对比;根据矿产资源量主要集中在大中型矿床禀赋特征,以主成分分析思想为指导,矿产资源量数据统计仅包括小、中、大型(含超大型)矿产地资源量数据;为与矿产资源量标准化数据量级一致,采用矿产地数量占比百分值乘100标准化处理矿产地数量数据。

以发育矿产资源的成矿地质时代为横坐标,以按成矿时代不同矿产资源储量规模分类统计的矿产地数量为纵坐标,得出矿产地数量维度下成矿地质时代成矿强度的优劣(图4),前六个成矿时代依次

为白垩纪、新太古代、石炭纪—二叠纪、中元古代、侏罗纪、古元古代。剔除矿点后,成矿强度最好的六个成矿时代依次为新太古代、白垩纪、石炭纪—二叠纪、侏罗纪、中元古代、奥陶纪(表3)。这表明,剔除矿点后矿产地数量维度下成矿强度基本无变化;矿产资源量主要集中在大中型矿床上,矿点剔除突出了矿产资源量是影响成矿强度的主体因素,采用赋值法确定矿产地数量与资源量权重值。

综上,河北省成矿强度前六个成矿时代依次为古近纪、石炭纪—二叠纪、新太古代、白垩纪、中

元古代、奥陶纪;按地质年代由老到新呈现出弱→强的整体特征,且表现出7个依次循环出现的弱→强局部成矿强度特征。

2.2 矿产地数量随时间分布规律

以发现矿产地为统计样本,按主要成矿构造旋回为横坐标,以对应地质年代形成的矿产地数据为纵坐标,绘制河北省矿产地数量随时间演化与分布规律图(图5),得出矿产地数量随时间分布规律为:河北省成矿强度具不均衡性和双峰的特点,总体呈早晚强中间弱的变化规律。能源矿产在华力西期和

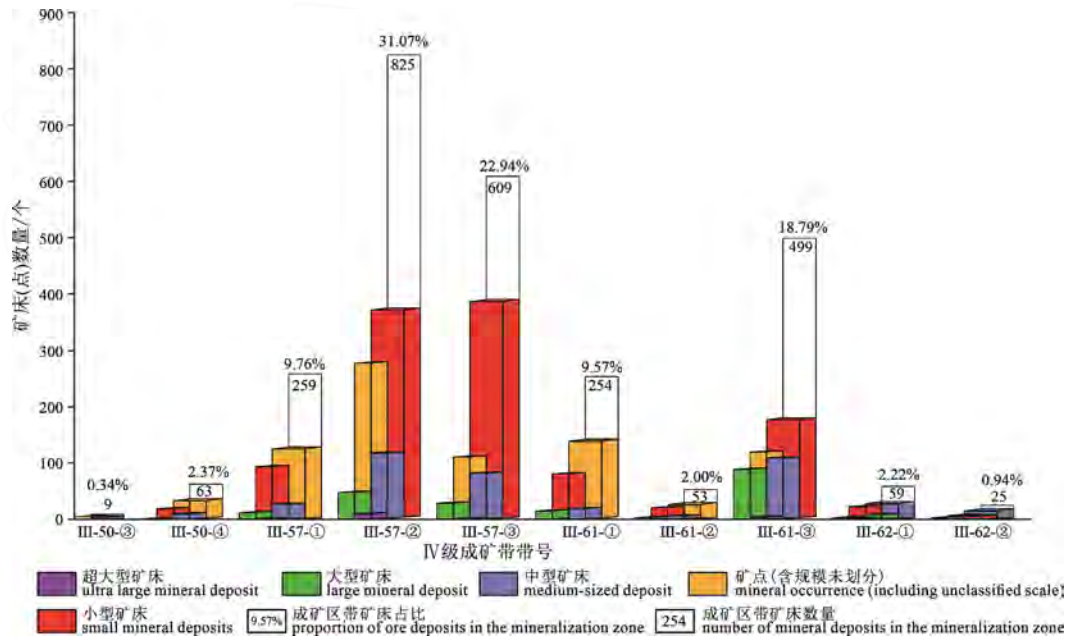


图3 河北省IV级成矿亚带成矿强度简图(不包括水气与超贫铁矿矿产)

Fig. 3 Schematic diagram of mineralization intensity in the level IV mineralization sub-zone of Hebei Province (excluding water gas and ultra poor iron ore minerals)

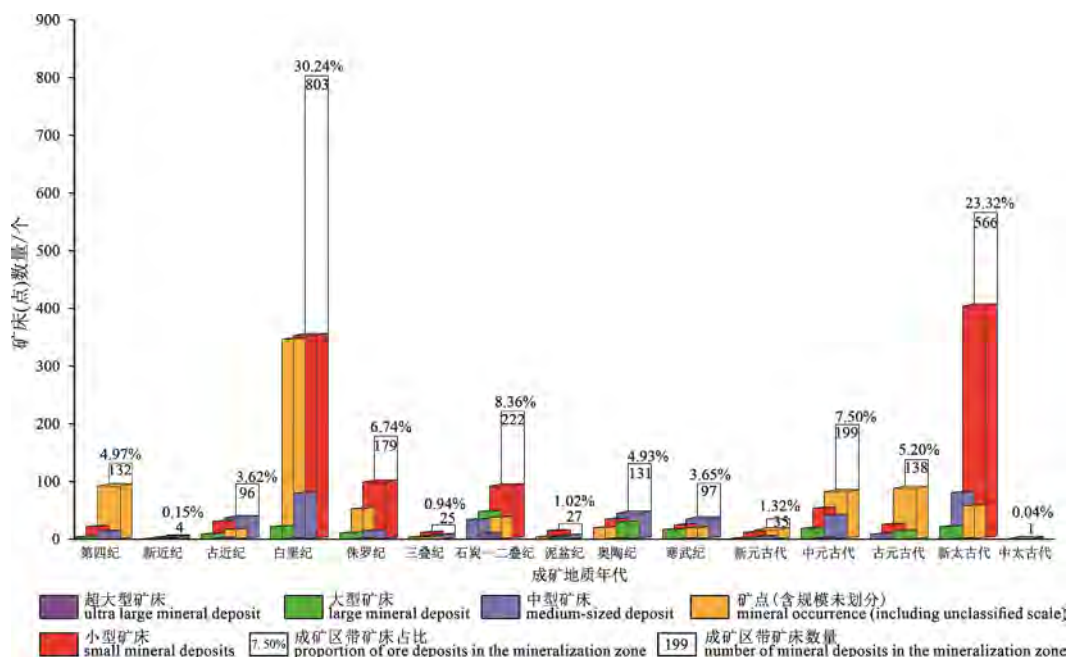


图4 河北省各地质时代成矿强度图(不包括水气与超贫铁矿矿产)

Fig. 4 Mineralization intensity map of various geological epochs in Hebei province (excluding water gas and ultra poor iron ore minerals)

表 2 河北省不同成矿单元成矿强度信息一览表
Table 2 Mineralization intensity information for different mineralization units in Hebei Province

II级成矿单元	III级成矿单元	IV级成矿单元	矿产规模/数量					III级带矿产占地占比/%	IV级带矿产占地占比/%	主要成矿类型及矿种	III级构造单元								
			合计	超大型	大型	中型	小型					矿点	未分						
大兴安岭成矿省(II-12)	突泉—翁牛特 Pb-Zn-Ag-Fe-Sn-REE 成矿带(III-50)	卯都房子—毫义哈达 W-Pb-Zn-Cr-萤石成矿亚带(III-50-③)							9	1	4	4	2.51	0.27	岩浆热液型、化学沉积型	铍矿、钨矿、煤、铅锌、镓	华北陆块北缘沉降(活动)带(P _{T2} -T ₂)		
		小东沟—小营子 Mo-Pb-Zn-Cu-萤石成矿亚带III-50-④							67	1	11	16	36	3	2.24	陆相火山型、化学沉积型	萤石、银、泥炭、珍珠岩		
		内蒙隆起东段																	
		Fe-Au-Ag-Pb-Zn-Mo-U-磷-煤-膨润土-沸石-石墨成矿亚带(III-57-①)							268	2	11	28	71	143	13	8.95	岩浆热液型、陆相火山岩型、机械沉积型、砂矿型	铀矿、浮岩、沸石、萤石、银、铅锌、页岩、煤、硅藻土、天然油石	华北陆块北缘隆起带(P _{T2} -T ₂)
		燕辽(拗陷、拉张) Cu-Mo-Pb-Zn-Ag-Au-Fe-Mn-煤-石灰岩-耐火黏土成矿亚带(III-57-②)							905	10	55	118	278	371	73	61.30	30.23	受变质型、化学沉积型、岩浆型、岩浆热液型、伟晶岩型、接触交代型、斑岩型、陆相火山型、变成型	铁矿、金矿、钼、铜、石棉、萤石、长石、磷、石墨、锌、金红石、硫铁矿、沸石、石灰岩、砂岩、煤、耐火黏土、白云岩、含钾页岩
华北陆块成矿省(II-14)	缘东段 Fe-Cu-Mo-Pb-Zn-Mn-U-磷-膨润土成矿带(III-57)	马兰峪—绥中次级隆起) Au 成矿带(III-57-③)							661	1	32	84	241	251	50	22.14	受变质型、岩浆热液型、化学沉积型、机械沉积型、岩浆型、接触交代型、砂岩型、伟晶岩型	铁矿、金矿、银矿、钼矿、铀矿、脉石英、长石、耐火黏土地、白云岩、页岩、石灰岩、花岗岩、硅灰石	
		恒山—五台山 Fe-金红石成矿亚带(III-61-①)							270	13	21	57	151	28	8.98	受变质型、岩浆型、化学沉积型、伟晶岩型、变成型、岩浆热液型	铁矿、金矿、水晶、滑石、砂线石、碎云母、硫铁矿、石灰岩、煤、长石、云母、辉绿岩、花岗岩	晋中南—邢台沉降(拗陷)区(P _{T2} -T ₂)	
		吕梁 Fe-铝土矿-石膏-煤-煤层气成矿亚带III-61-②							59	3	7	15	30	4	1.97	陆相火山岩型、受变质型、机械沉积型、岩浆型	煤、石墨、膨润土、辉绿岩、宝石用橄榄石	燕山—辽西裂陷带(P _{T2} -T ₂)	
		太行 Fe-Mn-铝土矿-石膏-煤-煤层气成矿亚带(III-61-③)							543	5	91	110	160	135	42	18.15	接触交代型、机械沉积型、化学沉积型、伟晶岩型、受变质型、变成型、岩浆型	铁矿、硫铁矿、蓝晶石、石榴子石、碎云母、大理岩、长石、石膏、石灰岩、砂岩、耐火黏土、铝土矿、煤、高岭土、白云岩、含钾页岩、辉绿岩	晋中南—邢台沉降(拗陷)区(P _{T2} -T ₂)
华北断块成矿省(II-16)	华北(断块/盆地)石油-天然气-煤-煤层气-石膏-食盐成矿亚带(III-62-①)	冀中(断块/盆地)石油-天然气-煤-煤层气-石膏-食盐成矿亚带(III-62-①)							161	2	38	33	38	1	49	5.37	化学沉积型、非岩浆-非变质作用成因不明型	石油、天然气、煤、食盐	华北断块盆地(E ₂ -Q)
		黄骅(断块/盆地)石油-天然气成矿亚带(III-62-②)							51	8	20	11	3	10	1.70	化学沉积型、非岩浆-非变质作用成因不明型	石油、天然气、煤、食盐		
		合计							2 997	20	2 53	433	891	1 127	272				

注：不包括超贫磁铁矿。

表 3 河北省成矿地质时代成矿强度信息表
Table 3 Mineralization intensity in Hebei Province during the geological age of mineralization

成矿地质时代	主要矿种	资源量维度		矿产地数量维度			综合成矿强度	
		标准化后 总资源量	成矿强 度排序	矿产地数量/个	占比/%	成矿强 度排序	加权 结果	排序
第四纪	天然石英砂、其他黏土、高岭土、陶瓷黏土、泥炭等	13.02	10	40(4, 14, 22)	2.20	10	8.69	10
新近纪	硅藻土	2.81	15	3(2, 0, 1)	0.17	14	1.75	14
古近纪	石油、石膏、石盐、浮岩、煤、凹凸棒石黏土等	148.00	1	79(11, 37, 31)	4.35	7	90.54	1
白垩纪	花岗岩、萤石、沸石、铁矿、煤、金矿、锌矿、银矿、脉石英、陶瓷黏土、铜矿、珍珠岩、长石、铅矿等	98.66	4	456(23, 80, 353)	25.11	2	69.24	4
侏罗纪	金矿、煤、膨润土、钼矿、花岗岩、耐火黏土、沸石等	37.77	9	126(12, 15, 99)	6.94	4	25.43	9
三叠纪	钼矿、砂岩、磷、花岗岩、银矿等	10.25	12	21(4, 5, 12)	1.16	12	6.61	12
石炭纪—二叠纪	煤、耐火黏土、陶瓷黏土、铝土矿、高岭土、砂岩等	143.17	2	184(58, 34, 92)	10.13	3	89.96	2
泥盆纪	金矿、铂矿等	11.08	11	23(3, 5, 15)	1.27	11	7.15	11
奥陶纪	石灰岩、石膏、白云岩等	66.93	6	111(31, 45, 35)	6.11	6	42.61	6
寒武纪	石灰岩、页岩、白云岩等	55.14	8	78(18, 35, 25)	4.30	8	34.80	8
新元古代	砂岩、页岩、板岩等	4.98	13	19(2, 5, 12)	1.05	13	3.41	13
中元古代	白云岩、砂岩、铁矿、含钾岩石、橄榄岩、锰矿、海泡石黏土、镁矿等	75.41	5	117(21, 42, 54)	6.44	5	47.82	5
古元古代	碎云母、大理岩、石墨、片麻岩、辉绿岩等	59.82	7	50(15, 9, 26)	2.75	9	37.00	7
新太古代	铁矿、碎云母、石墨、蓝晶石、白云岩、长石等	105.52	3	508(23, 81, 404)	27.97	1	74.50	3
中太古代	铁矿	3.88	14	1(1, 0, 0)	0.06	15	2.35	13

注：该表矿产地数据不包括水气与超贫铁矿矿产；矿产地数量一列，数据 40(4, 14, 22)表示矿产地总数(大型(含超大型)，中型，小型)；铀矿产地仅统计数量，无资源量数据；综合成矿强度计算，资源量权重赋值为 0.6，矿产地数量权重赋值为 0.4。

燕山期达到峰值；非金属矿产在晋宁期、加里东期和燕山期达到峰值，总体呈递增趋势；金属矿产表现为太古宙简单→元古代繁多→早古生代简单→晚古生代增多→中生代更多，即少→多→少→更多的变化规律，存在阜平—五台期和燕山期为 2 个成矿

高峰期。金属矿产、非金属矿、能源矿产均在燕山期大爆发成矿。

2.3 矿床类型随时间演化规律

河北省矿床类型已发现 16 类，分别为岩浆型、伟晶岩型、接触交代型、斑岩型、岩浆热液型、陆相火山岩型、海相火山岩型、沉积变质型(受变质型)、变成型、浅成中-低温热液型(及成因不明矿床)、风化型、砂矿型、机械沉积型、化学沉积型、蒸发沉积型及生物化学沉积型。通过绘制河北省不同矿床类型成矿强度图(图 6)，确定成矿强度最强的成矿类型依次为受变质型、岩浆热液型、陆相火山岩型和生物化学沉积型，亦为河北省最发育的矿床成矿类型。

按成矿时代梳理，从太古宙至中—新生代，矿床类型数量整体呈现出由少到多的演化规律，即：太古宙矿床类型是受变质型和受成型 2 类；古元古代矿床类型是受变质型和伟晶岩型 2 类，中元古代矿床类型是海相沉积型和岩浆型 2 类，新元古代矿床类型是海相沉积型 1 类，元古代矿床类型小计 5 类；早古生代矿床类型是海相化学沉积型和蒸发沉积型 2 类，

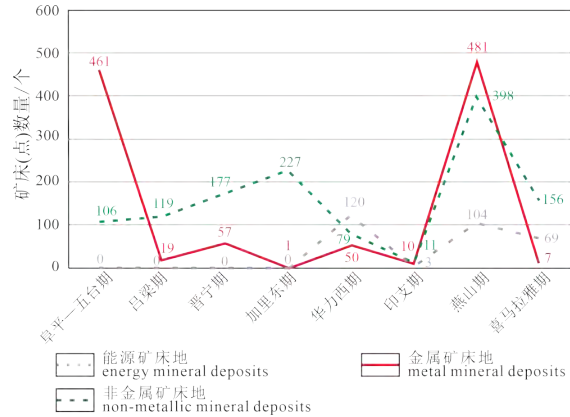


图 5 河北省矿产地数量随时间演化与分布规律图
(不包括水气与超贫铁矿矿产)
Fig. 5 Evolution and distribution of mineral resources in Hebei Province over time (excluding water, gas, and ultra poor iron ore minerals)

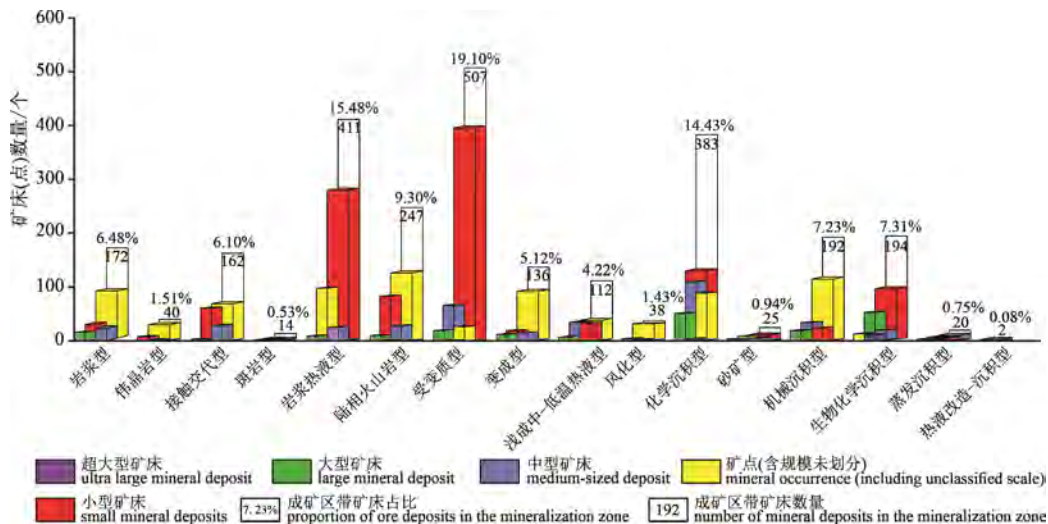


图6 河北省不同矿床类型成矿强度分布图(不包括水气与超贫铁矿矿产)

Fig. 6 Distribution map of mineralization intensity of different deposit types in Hebei province (excluding water, gas, and ultra poor iron ore minerals)

晚古生代矿床类型是岩浆型、岩浆热液型、蒸发沉积型、生物化学沉积型等 4 类, 古生代矿床类型小计 6 类; 中生代矿床类型是岩浆型、伟晶岩型、斑岩型、接触交代型、岩浆热液型、陆相火山岩型、陆相沉积型、生物化学沉积型等 8 类; 新生代矿床类型是生物化学沉积型、砂矿型、蒸发沉积型等 3 类。

3 区域成矿规律

3.1 矿床成矿系列

以矿床成矿系列理论为指导思想, 以迁西旋回、阜平旋回、五台旋回、吕梁旋回、晋宁旋回、加里东旋回、华力西旋回、印支旋回、燕山旋回、喜马拉雅旋回等 10 个构造成矿旋回的地质时代作为特定时间域, 以其所在的地质构造单元(相当于Ⅲ级构造单元, 或跨越或包含在老的构造单元内)为特定空间域, 以在该时空域中发生的沉积、岩浆、变质等成矿作用作为特定成矿作用, 系统梳理了时间、空间、成矿作用三大因素耦合演化形成的有成因联系的矿床自然组合体, 映像出四维空间演化形成的矿床自然分类, 即矿床成矿系列(表 4~表 7); 根据构造旋回不同演化阶段地质构造环境的差异性特征厘定了矿床成矿亚系列, 选择最具代表性矿床作为典型矿床或确定为矿床式; 按构造旋回, 归纳出河北省构造-成矿旋回的矿床成矿系列组; 共厘定出矿床成矿系列组 14 个, 矿床成矿系列 39 个, 矿床成矿亚系列 46 个, 典型矿床或矿床式 97 个。

按成矿作用划分的矿床成矿系列组合是: 与沉积作用有关的矿床成矿系列组合, 包括 14 个矿床成矿系列(占比 35.90%); 与岩浆作用有关的矿床成矿系列组合, 包括 11 个矿床成矿系列(占比 28.21%); 与变质作用有关的矿床成矿系列组合, 包括 7 个矿

床成矿系列(占比 17.95%); 非岩浆-变质的含矿流体及成因未定的矿床成矿系列组合, 包括 5 个矿床成矿系列(12.82%); 与表生作用有关的矿床成矿系列组合, 包括 2 个矿床成矿系列(占 5.13%)。

3.2 区域成矿谱系

成矿谱系是一定地质构造成矿演化过程与时空结构的序次表达, 是矿床成矿系列理论的组成部分, 是地质矿产研究人员宏观掌控特定构造旋回四维演化的纲领, 是应用“全位成矿、缺位找矿”的理论基础。成矿谱系图的编制, 按照矿床成矿系列的特定时间、特定空间域、特定的地质成矿作用、有成因联系的矿床组合四个维度表达, 形成以Ⅲ级构造单元和成矿旋回为横坐标、以成矿地质时代为左纵坐标、以作为成因联系的成矿地质环境为右纵坐标, 把矿床自然组合形成的唯一矿床成矿系列镶嵌于地球四维演化的空间坐标中, 以已发现的 115 个矿种成矿规律研究成果为基础数据, 编制了河北省区域成矿谱系图(图 7)。该图直观地反映出河北地质-构造-成矿作用的时空结构、分布和演化规律, 可视化地展示了河北矿床成矿系列时空演化特征与区域成矿规律。

3.3 成矿作用演化规律

河北省沉积成矿作用、岩浆成矿作用、变质成矿作用均较强烈, 三大成矿作用随时间演化规律如下:

沉积成矿作用(包括火山岩)按时间演化规律为: 中新元古代海相沉积成矿作用、三叠纪海相沉积成矿作用、晚古生代陆相沉积成矿作用、中-新生代陆内盆地沉积成矿作用。沉积相整体演化规律为洋→海→陆, 对应形成的沉积矿产组合为铜、金(矿源层)组合→铁、磷、滑石、铀、硫组合→铁、煤、海泡石、滑石、黏土、石膏组合→膏盐组合与风化壳型锰、锆、钛、铁、金组合。

表 4 突泉—翁牛特成矿带(III-50)矿床成矿系列简表
Table 4 Minerogenetic series of mineral deposits in Tuquan–Wengniute metallogenic belt (III-50)

旋回	矿床成矿系列组	矿床成矿系列	矿床成矿亚系列	主要矿种	矿床类型	典型矿床或矿床式
喜马拉雅	突泉—翁牛特成矿带(III-50)喜马拉雅构造-成矿旋回地热、泥炭矿床成矿系列组	突泉—翁牛特成矿带(III-50)喜马拉雅期与成因不明型成矿作用有关的地热矿泉水矿床成矿系列(50-H-F)		地热	成因不明型	御道口牧场地热田
		突泉—翁牛特成矿带(III-50)喜马拉雅期与生物化学沉积成矿作用有关的泥炭矿床成矿系列(50-Cz-S)		泥炭	生物化学沉积型	火泡子泥炭矿
燕山	突泉—翁牛特成矿带(III-50)燕山构造-成矿旋回萤石、铅锌、沸石矿床成矿系列组	突泉—翁牛特成矿带(III-50)燕山期与岩浆成矿作用有关的萤石、铅锌、沸石、珍珠岩矿床成矿系列(50-Y-I)	棋盘山火山盆地燕山晚期与火山-沉积成矿作用有关的萤石、银、沸石、膨润土、珍珠岩成矿亚系列(50-Y-I①)	萤石、沸石、珍珠岩	陆相火山岩型	桃山—燕格柏珍珠岩、广发永萤石矿、小扣花萤银矿
			康保岩浆岩区燕山期与岩浆热液成矿作用有关的铅锌、钨、铍矿床成矿亚系列(50-Y-I②)	铅锌	岩浆热液型	北沙城铅锌矿
		突泉—翁牛特成矿带(III-50)燕山期与岩浆热液成矿作用有关的金矿矿床成矿系列		金	岩浆热液型	朝阳湾金矿
		突泉—翁牛特成矿带(III-50)燕山期与生物化学沉积成矿作用有关的煤、油页岩矿床成矿系列(50-Mz-S)		油页岩	生物化学沉积型	御道口油页岩、小韦子沟煤矿
华力西	突泉—翁牛特成矿带(III-50)华力西构造-成矿旋回萤石、叶蜡石矿床成矿系列组	突泉—翁牛特成矿带(III-50)华力西期与岩浆成矿作用有关的萤石、铍、钨矿床成矿系列(50-V-I)	卯都房子—毫义哈达成矿亚带与华力西期岩浆热液成矿作用有关的萤石、钨、铍矿床成矿亚系列(50-V-I)	萤石	岩浆热液型	孔都沟萤石矿、兴隆村钨矿
			小东沟—小营子成矿亚带与华力西期火山喷发-沉积成矿作用有关的叶蜡石矿床成矿亚系列		陆相火山岩型	大局子叶蜡石

表 5 华北陆块北缘东段成矿带(III-57)矿床成矿系列简表
Table 5 Minerogenetic series of mineral deposits in the eastern section of the northern margin of the North China Block (III-57)

旋回	矿床成矿系列组	矿床成矿系列	矿床成矿亚系列	主要矿种	矿床类型	典型矿床或矿床式
喜马拉雅	华北陆块北缘东段成矿带(III-57)喜马拉雅构造-成矿旋回地热、浮岩、石英砂矿床成矿系列组	华北陆块北缘东段成矿带(III-57)喜马拉雅期与成因不明型成矿作用有关的矿泉水地热矿床成矿系列(57-H-F)		地热	成因不明型	唐三营镇汤沟门汤泉
		华北陆块北缘东段成矿带(III-57)喜马拉雅期与岩浆成矿作用有关的浮岩、玄武岩矿床成矿系列(57-H-I)	华北陆块北缘东段喜马拉雅晚期与溢流玄武岩等火山成矿作用有关的浮岩、铸石(玄武岩)、橄榄岩矿床成矿亚系列(57-H-I①)	橄榄岩、浮岩	陆相火山岩型	大麻坪橄榄石矿、张北十字街浮岩矿
		华北陆块北缘东段成矿带(III-57)喜马拉雅期与新生代沉积成矿作用有关的硅藻土、褐煤矿床成矿系列(57-Cz-S)	冀西火山盆地喜马拉雅期与生物化学沉积成矿作用有关的硅藻土、褐煤矿床成矿亚系列(57-H-S①)	硅藻土	生物化学沉积型	阳坡硅藻土矿、张北褐煤矿
		华北陆块北缘东段成矿带(III-57)喜马拉雅期与沉积成矿作用有关的砂金、石英砂矿床成矿系列(57-Cz-S)	滦河流域喜马拉雅期与机械沉积成矿作用有关的砂金、石英砂矿床成矿亚系列(57-H-S②)	砂金、石英砂	机械沉积型	马兰峪砂金矿
		华北陆块北缘东段成矿带(III-57)喜马拉雅期与表生成矿作用有关的高岭土、膨润土、蛭石、锰矿、陶瓷土、石英砂矿床成矿系列(57-H-H)	冀北喜马拉雅期与表生成矿作用有关的高岭土、膨润土、蛭石、锰矿、陶瓷土、石英砂矿床成矿亚系列(57-H-H①)	陶瓷黏土、石英砂	砂矿型	白土子陶陶瓷黏土、砂坨子石英砂、凤凰岭铸型用砂

续表 5

旋回	矿床成矿系列组	矿床成矿系列	矿床成矿亚系列	主要矿种	矿床类型	典型矿床或矿床式
燕山	华北陆块北缘东段成矿带(III-57)燕山构造-成矿旋回铁、金、银、铜、萤石矿床成矿系列组	华北陆块北缘东段成矿带(III-57)燕山期与岩浆成矿作用有关的金、银、铅锌、钼矿床成矿系列(57-Y-I)	华北陆块北缘隆起带燕山晚期与中、酸性侵入岩-次火山成矿作用有关的金、银、锰、铅锌、铜、镉、镓、钼、铀、钨矿床成矿亚系列(57-Y-I①)	金、银、锰、铅锌、铜、镉、镓、钼、铀	陆相火山岩型	张麻井式钼钼矿、蔡家营式铅锌矿
			华北陆块北缘隆起带燕山晚期与酸性侵入岩-火山成矿作用有关的铁、萤石、膨润土、沸石、珍珠岩矿床成矿亚系列(57-Y-I②)	铁、萤石、膨润土、沸石、珍珠岩	陆相火山岩型	独石口式沸石韩家店式萤石
			丰宁一大庙岩浆构造带燕山期与中酸性侵入岩-次火山成矿作用有关的金、铅锌、钼矿床成矿亚系列(57-Y-I③)	金	岩浆热液型	大营子金矿
			兴隆—平泉构造带燕山期与中酸性侵入岩等岩浆成矿作用有关的金、钼、硫铁矿、铜、萤石、长石矿床成矿亚系列(57-Y-I④)	铜、钼	岩浆热液型、斑岩型	小寺沟式铜钼矿、寿王坟式铜钼矿
			遵化—青龙构造岩浆带燕山期与酸性岩等岩浆成矿作用有关的金、铌、钽、钼矿、脉石英、硅灰石、长石、花岗岩石材矿床成矿亚系列(57-Y-I⑤)	金、花岗岩石材	岩浆热液型、岩浆型	峪耳崖式金矿金厂峪式金矿
			太行山北段燕山期与酸性岩等岩浆成矿作用有关金红石、铜、钼、铜、钼、铅、铅、锌、石棉、铁、金、银矿床成矿亚系列(57-Y-I⑥)	铜、钼、铅、锌	斑岩型、岩浆热液型	木吉村式铜钼矿、大湾式锌钼矿、镰巴岭式铅锌矿
		华北陆块北缘东段成矿带(III-57)燕山期与陆相火山-沉积成矿作用有关的煤、油页岩矿床成矿系列(57-Y-H)	丰宁—围场断陷盆地燕山晚期与火山-沉积成矿作用有关的煤、油页岩、耐火黏土矿床成矿亚系列(57-Y-H①)	煤、油页岩、耐火黏土	机械沉积、生物化学沉积型	大阁式油页岩、清泉油页岩
			张—宣断陷盆地燕山晚期与火山-沉积成矿作用有关的煤、高岭土、耐火黏土矿床成矿亚系列(57-Y-H②)	煤、高岭土、耐火黏土	生物化学沉积型、机械沉积型	下花园式煤矿
		华北陆块北缘东段成矿带(III-57)燕山期与不明流体成矿作用有关的铀、铜矿床成矿系列(57-Y-F)	青龙地区燕山期与不明流体成矿作用有关的铀、铜、冰洲石矿床成矿亚系列(57-Y-F①)	铀	成因不明型	干沟式铀矿
		华北陆块北缘东段成矿带(III-57)印支构造-成矿旋回金、银、铅锌、磷铁矿床成矿系列组	冀北印支期与中酸性侵入岩等岩浆成矿作用有关的钼、金、银、铅、锌、镉、铜、萤石矿床成矿亚系列(57-I-I①)	钼、银、铅、锌	岩浆热液型	撒岱沟门式钼矿、牛圈—营房式银铅锌矿
			冀北印支期与幔源碱性超基性岩侵入岩等岩浆作用有关的磷铁矿床成矿亚系列(57-I-I②)	磷	岩浆型	矾山式磷矿
华力西	华北陆块北缘东段成矿带(III-57)华力西构造-成矿旋回煤、铝土矿、耐火黏土矿床成矿系列组	华北陆块北缘东段成矿带(III-57)华力西期与沉积成矿作用有关的煤、耐火黏土、铝土矿矿床成矿系列(57-Pz ₂ -S)	晚古生代开平盆地与生物化学-沉积成矿作用有关的煤、耐火黏土、高岭土、铁矾土、砂岩、页岩矿床成矿亚系列(57-Pz ₂ -s①)	煤、耐火黏土、高岭土	沉积型	开平式煤、南关式耐火黏土
		华北陆块北缘东段成矿带(III-57)华力西期与岩浆成矿作用有关金、银、铜、镍矿床成矿系列(57-V-I)	燕辽裂陷带(崇礼—赤城)华力西期与中酸性侵入岩等岩浆热液成矿作用有关金、银、萤石矿床成矿亚系列(57-V-I①)	金、银	岩浆热液型	东坪式金矿、小营盘式金矿
			燕辽裂陷带(赤城—丰宁—平泉)华力西期与基性超基性岩等岩浆成矿作用有关的铜、镍、磷、铂、铂、磷铁、钴矿床成矿亚系列(57-V-I②)	铂、磷铁	岩浆型	红石砬式铂钼矿、马营磷铁矿

续表 5

旋回	矿床成矿系列组	矿床成矿系列	矿床成矿亚系列	主要矿种	矿床类型	典型矿床或矿床式
加里东		华北陆块北缘东段成矿带(III-57)加里东期与盖层沉积成矿作用有关的碳酸盐岩矿床成矿系列(57-Pz ₄ -S)	蓟县—唐山盆地加里东早期与沉积成矿作用有关的碳酸盐岩矿床成矿亚系列(57-Pz ₄ -S①)	白云岩、灰岩	化学沉积型	石井式白云岩、九里山式石灰岩
晋宁	华北陆块北缘东段成矿带(III-57)晋宁构造-成矿旋回铁、铅锌、锰矿床成矿系列组	华北陆块北缘东段成矿带(III-57)晋宁期与岩浆成矿作用有关的钒钛磁铁矿、磷矿、铬铁矿、蛇纹岩矿床成矿系列(57-J-I)	赤城—承德大庙构造带晋宁期与岩浆成矿作用有关的钒钛磁铁矿、磷矿、铬铁矿、蛇纹岩、镍矿床成矿亚系列(57-J-I①)	铁、钒钛	岩浆型	大庙式钒钛磁铁矿、罗锅子沟式铁磷矿
		华北陆块北缘东段成矿带(III-57)晋宁期与沉积成矿作用有关的铅锌、铁、锰矿等矿床成矿系列(57-Pt ₂ -S)	燕辽裂陷带(兴隆高板河一带)晋宁早期与海底火山-沉积成矿作用有关的铅、锌、硫铁矿床成矿亚系列(57-Pt ₂ -S①)	铅、锌、硫铁矿	化学沉积型	高板河式 S-Pb-Zn
			燕辽裂陷带晋宁早期与海相沉积成矿作用有关的铁、锰、锰硼矿、硫铁矿、页岩、海泡石黏土、含钾页岩、白云岩、天然油石矿床成矿亚系列(57-Pt ₂ -S②)	铁、锰、硫铁矿、海泡石黏土、白云岩	机械沉积型、化学沉积型、	宣龙式铁矿、秦家峪式锰矿、魏家井式白云岩、长疰式页岩、庞家堡式含钾页岩、刘备寨式海泡石黏土、火石营式天然油石
吕梁		华北陆块北缘东段成矿带(III-57)吕梁期与变质成矿作用有关的石墨、大理岩、铁矿床成矿系列(57-Pt ₁ -M)	张北—万隆店吕梁中期与变质成矿作用有关的石墨、大理岩、铁矿床成矿亚系列(57-Pt ₁ -M①)	石墨	受变质型	义哈德式石墨矿
五台		华北陆块北缘东段成矿带(III-57)五台期与变质成矿作用有关的石墨、铁矿床成矿系列(57-Ar ₃ ³ -M)	冀北古微陆块(赤城—滦平、青龙)五台期与变质成矿作用有关的石墨、铁矿床成矿亚系列(57-Ar ₃ ³ -M①)	铁、石墨	受变质型	柞栏杖子铁矿、周台子铁矿、龙关式石墨矿
阜平	华北陆块北缘东段成矿带(III-57)阜平构造-成矿旋回石墨、铁矿床成矿系列组	华北陆块北缘东段成矿带(III-57)阜平期与变质成矿作用有关的铁、石墨矿床成矿系列(57-Ar ₃ ¹ -M)	阳原—赤城地区阜平期与变质成矿作用有关的石墨、铁矿床成矿亚系列(57-Ar ₃ ¹ -M①)	石墨	受变质型	谷端庄式石墨矿
			冀东阜平早期与火山沉积—变质成矿作用有关的铁矿床成矿亚系列(57-Ar ₃ ¹ -M②)	铁	受变质型	水厂式铁矿、司家营式铁矿、石人沟式铁矿
迁西		华北陆块北缘东段成矿带(III-57)迁西期与变质成矿作用有关的铁矿床成矿系列(57-Ar ₂ -M)	迁安一带(III-57)迁西期与火山沉积-变质成矿作用有关的铁矿床成矿亚系列(57-Ar ₂ -M①)	铁	受变质型	杏山铁矿

表 6 山西断隆成矿区(III-61)矿床成矿系列简表
Table 6 Minerogenetic series of mineral deposits in the Shanxi Duanlong ore area (III-61)

旋回	矿床成矿系列组	矿床成矿系列	矿床成矿亚系列	主要矿种	矿床类型	典型矿床或矿床式
喜马拉雅	山西断隆成矿带(III-61)	山西断隆成矿带(III-61)喜马拉雅期与流体成矿作用有关的地热、水气矿床成矿系列(61-H-F)		地热、矿泉水	成因不明型	城南庄温塘、曲阳(嘉山)矿泉水
	喜马拉雅构造-成矿旋回地热、高岭土、瓷土矿床成矿系列组	山西断隆成矿带(III-61)喜马拉雅期与沉积成矿作用有关的泥炭、黏土矿床、膨润土矿床成矿系列(61-Cz-S)		泥炭、黏土	沉积型	井陘南平望水泥配料用黏土
		山西断隆成矿带(III-61)喜马拉雅期与表生成矿作用有关的高岭土、膨润土、锰矿、陶瓷土、石英砂矿床成矿系列(61-H-H)	易县—曲阳盆地喜马拉雅期与表生成矿作用有关的高岭土、蛭石、制陶用黏土矿床成矿亚系列(61-H-H①)	高岭土、瓷土	风化型	唐县南洪城瓷土
燕山	山西断隆成矿带(III-61)		涑水—涑源地区燕山期与中、酸性脉岩、花岗伟晶岩成矿作用有关的水晶、云母、宝石矿床成矿亚系列(61-Y-I①)	水晶、云母	伟晶岩型、岩浆热液型	龙王庄水晶矿
	燕山构造-成矿旋回金、银、铅、铜矿床成矿系列组	山西断隆成矿带(III-61)燕山期与岩浆成矿作用有关的铁、金、银、铅、铜矿床成矿系列(61-Y-I)	阜平隆起区燕山期与基性-中酸性侵入岩等成矿作用有关的金、银、滑石、石棉、水晶矿床成矿亚系列(61-Y-I②)	金	岩浆热液型	石湖式金矿
			太行山南段燕山期与基性-中酸性-碱性浅成侵入岩等岩浆成矿作用有关的铁、滑石、硫铁矿、云母、方解石矿床成矿亚系列(61-Y-I③)	铁、硫铁矿、滑石	矽卡岩型、接触交代型	邯邢式铁矿、三王村式硫铁矿、岭底式滑石

续表 6						
旋回	矿床成矿系列组	矿床成矿系列	矿床成矿亚系列	主要矿种	矿床类型	典型矿床或矿床式
华力西		山西(断隆)成矿带(III-61)华力西期与沉积成矿作用有关的煤、铝土矿、耐火黏土、制陶用黏土矿床成矿系列(61- P_{Z_2} -S)	太行山南段华力西晚期与生物化学-沉积成矿作用有关的煤、铝土矿、耐火黏土、高岭土、分散元素、轻稀土矿床成矿亚系列(61- P_{Z_2} -S①)	煤、耐火黏土	化学沉积型	邯邢式铝土矿、车辋口式高岭土
加里东		山西(断隆)成矿带(III-61)加里东期与沉积成矿作用有关的碳酸盐岩、石膏、页岩矿床成矿系列(61- P_{Z_1} -S)	邢台—邯郸盆地加里东早期与化学沉积成矿作用有关的碳酸盐岩、石膏、页岩、磷矿床成矿亚系列(61- P_{Z_1} -S①)	石膏、石灰岩	化学沉积型、	郭村式石膏、峰峰式石灰岩
晋宁		山西(断隆)成矿带(III-61)晋宁期与沉积成矿作用有关的铁、石英砂岩、磷块岩、含钾页岩等矿床成矿系列(61- P_{T_2} -S)	武安—涉县盆地晋宁晚期与机械、化学沉积成矿作用有关的白云岩、铁、石英砂岩、磷、含钾页岩、板岩矿床成矿亚系列(61- P_{T_2} -S①)	石英砂岩、白云岩	沉积型	万花山式石英砂岩
吕梁	山西断隆成矿带(III-61)吕梁构造-成矿旋回大理岩、碎云母矿床成矿系列组	山西(断隆)成矿带(III-61)吕梁期与变质成矿作用有关的大理岩、片麻岩、金红石、碎云母、矽线石矿床成矿系列(61- P_{T_1} -M)	太行山南段吕梁早中期与变质成矿作用有关的大理岩、片麻岩、金红石、碎云母、矽线石、石英岩、石墨矿床成矿亚系列(61- P_{T_1} -M①)	碎云母、矽线石	受变质型	杨砂侯式金红石、山门口式碎云母、罗圈式矽线石
		山西(断隆)成矿带(III-61)吕梁期与中性-基性岩浆成矿作用有关的磷、钒、铁、金红石、辉绿岩矿床成矿系列(61- P_{T_1} -I)	太行山南段吕梁期与岩浆成矿作用有关的铜、钒、钛、铁矿、辉绿岩、磷灰石矿床成矿亚系列(61- P_{T_1} -I①)	铁、磷	岩浆型	灵寿县瓦房台饰面用辉绿岩、牛下口磷(金红石)矿
五台	山西断隆成矿带(III-61)五台构造-成矿旋回铁、硫铁矿、长石矿床成矿系列组	山西(断隆)成矿带(III-61)五台期与变质成矿作用有关的铁矿、硫铁矿、大理岩矿床成矿系列(61- Ar_3^3 -M)	太行山南段五台期与变质成矿作用有关的铁矿、硫铁矿、大理岩矿床成矿亚系列(61- Ar_3^3 -M①)	铁矿、硫铁矿	受变质型	独山城式铁矿
		山西(断隆)成矿带(III-61)五台期与岩浆成矿作用有关的长石矿床成矿系列(61- Ar_3^3 -I)	太行山南段五台期与伟晶岩浆分异成矿作用有关的长石矿床成矿亚系列(61- Ar_3^3 -I①)	钾长石	岩浆型(混合岩化)	东玉女式长石矿
阜平		山西断隆成矿带(III-61)与阜平期变质成矿作用有关的铁、石榴石、菱镁矿、蓝晶石矿床成矿系列(61- Ar_3^1 -M)	山西断隆成矿带(III-61)赞皇隆起阜平期与变质成矿作用有关的硫铁、石榴石、菱镁矿、蓝晶石矿床成矿亚系列(61- Ar_3^1 -M①)	菱镁矿、蓝晶石	受变质型	卫鲁式蓝晶石、大河式菱镁矿、杏树台式硫铁矿

表 7 华北盆地成矿区(III-62)矿床成矿系列简表
Table 7 Mineralization series of mineral deposits in the North China Basin (III-62)

旋回	矿床成矿系列组	矿床成矿系列	矿床成矿亚系列	主要矿种	矿床类型	典型矿床或矿床式
喜马拉雅	华北盆地成矿区(III-62)喜马拉雅构造-成矿旋回石油天然气、石膏、石盐矿床成矿系列组	华北盆地成矿区喜马拉雅期与流体成矿作用有关的地热、矿泉水气矿床成矿系列(62- H -F)		矿泉水、地热	成因不明型	固安矿泉水、青县地热田
		华北盆地成矿区(III-62)喜马拉雅期与沉积成矿作用有关的石膏、石盐矿床成矿系列(62- Cz -S)	华北盆地喜马拉雅早期与蒸发-沉积成矿作用有关的石膏、石盐矿床成矿亚系列(62- Cz -S①)	石膏、石盐	化学沉积型	宁晋式石盐、双碑式石膏
		华北盆地成矿区(III-62)喜马拉雅期与生物化学沉积成矿作用有关的油气矿床成矿系列(62- H -S)。	华北盆地黄骅坳陷喜马拉雅期与生物化学沉积成矿作用有关油气矿床成矿亚系列(62- H -S②)	石油天然气	生物化学沉积型	大港油气田
			华北盆地冀中坳陷喜马拉雅期与生物化学沉积成矿作用有关的油气矿床成矿亚系列(62- H -S③)	石油天然气	生物化学沉积型	任丘油气田

注：表 4~表 7 中矿床成矿系列编号组成：Ⅲ级成矿区带编号-成矿旋回(时代)-成矿作用类型。 H 表示喜马拉雅期， Y 表示燕山期， I 表示印支期， V 表示华力西期， C 表示加里东期， J 表示晋宁期， P_{T_1} 表示吕梁期， Ar_3^3 表示五台期， Ar_3^1 表示阜平期， Ar_2 表示迁西期； I 表示岩浆作用， S 表示沉积作用， M 表示变质作用， F 表示含矿流体作用， H 表示表生作用。

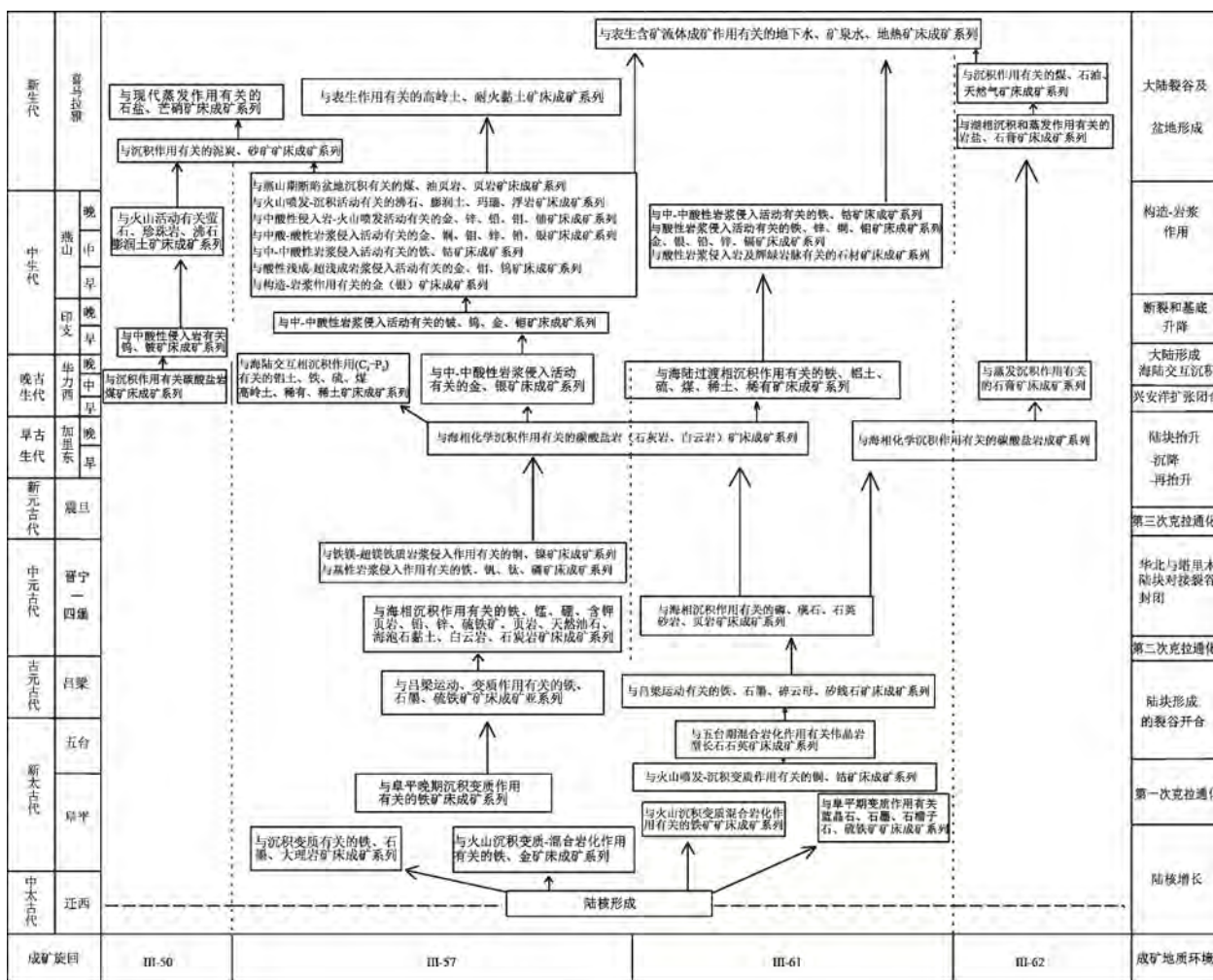


图7 河北Ⅲ级成矿带成矿谱系图

Fig. 7 Mineralization genealogy map of Hebei level III metallogenic belt

岩浆成矿作用随时间演化规律: 从太古代→中生代, 成矿岩浆岩类由幔源为主→幔源、壳源岩类为主→幔源、壳幔混源、壳源岩类并重; 矿化类型由岩浆型为主→岩浆型、热液型并重→热液型为主; 成矿空间分布为点状→带状→面状, 成矿强度增大。矿种变化为前寒武纪的铬、铂→铜、锌→铁钼、钛、磷、铜, 到晚古生代大陆边缘活动带的铬、铂、铁、磷、钒、钛、铜、镍→金(银), 中生代以来的铁、硫、金→铁、铜、钼、铅、锌、银、金→银、铅、锌、钼、铀、金、铁。

变质成矿作用随时间演化规律: 先后经历阜平→五台→吕梁期三个成矿期; 成矿构造环境演化规律为古陆核→古陆核增生→古陆形成; 阜平期形成矿种有铁、石墨、大理岩、蓝晶石、矽线石、刚玉、磷、硫铁矿、碎云母, 五台期形成矿种有铁、石墨、硫铁矿、石榴子石、长石, 吕梁期形成矿种有碎云母、矽线石、石墨、磷、金红石、铁。

3.4 矿化组合演化规律

不同地质时代不同大地构造-成矿演化阶段, 矿化组合特征敏感因素为不同源的岩体岩性, 矿化组合演化规律为: 幔源岩浆岩类岩石组合为基性、

超基性-中性-碱性岩类, 矿化组合为铬、铂、铁、磷、钒、钛(基-超基性)-铜、钴、镍(基性)-铁、硫、金(中-碱性); 壳源型岩浆岩类岩石组合为碱性-中酸性-酸性岩类, 成矿组合为金、银(碱性)-金、银、铜(中酸性)-银、铅、锌、铀、钼、金(酸性); 壳幔混源岩浆岩类岩石组合为基性-中性-中酸性-酸性、酸偏碱性, 矿化组合为铁、铜、钼、铅、锌、金(中基-中性)-铁、铜、钼、铅、锌、金、银(中-中酸性)-钼、铅、锌、银、锰(酸-酸偏碱性)。

从构造-成矿演化的地质时代角度看, 金属矿化组合整体呈现出: 早期黑色金属、铬、镍、铂族等亲幔源元素矿化组合→晚期有色、稀有、分散和铀等壳幔混源、壳源新中酸性岩浆元素矿化组合大规模成矿演化特点; 非金属矿产组合则呈现出由海相沉积型→陆相沉积型→表生作用型演化规律。

4 新一轮找矿突破建议

基于河北省“十三五”以来矿产勘查工作成果、河北省矿产资源潜力评价成果、矿产志研编成果等资料, 初步完成了新一轮找矿突破战略行动成矿远

景区优选与靶区圈定工作,根据新时代新形势新要求,阶段性地总结了新一轮找矿突破工作经验。

4.1 工作原则

遵循科学找矿主旨,突出强基固本、填平补齐地质工作原则,在重要成矿区带地段补齐 1:5 万区域地质调查(或矿产地质调查)、地球化学测量、地球物理测量和基础地质矿产数据库建库等工作,提高基础地质工作程度和调查精度,治理地质矿产数据孤岛化、碎片化(张旗等, 2017; 张志辉等, 2024),为全面地、系统地、科学地开展地质矿产问题研究、战略性矿产地质找矿工作奠定基础。

4.2 强化地质找矿新进展指引

“十三五”以来,河北省新发现怀安县朱家洼钼多金属矿、张北县义哈德石墨矿、兴隆县花市钼稀有金属矿、沧县岩盐矿、丰宁满族自治县窟窿山铍矿、张北县单晶河铁矿等重要固体矿产 21 处,其中最具成矿理论进展与地质找矿新进展的是丰宁满族自治县窟窿山铍矿。

该矿产地位于冀北窟窿山地区,最初勘查矿种为钼钽矿,后随地质勘查工作深入确定铍矿为主攻矿种;发育一套早白垩世火山-浅成侵入岩系,其中的碱长花岗岩及其围岩流纹斑岩属于 A 型花岗岩,形成于板内伸展拉张构造背景。野外调查和室内研究分析发现,铍矿化主要产于碱长花岗岩的蚀变带中,与铁锰矿化和铅锌矿化密切相关;蚀变岩中同时伴有 Rb、Nb、Pb、Zn 的矿化;铍矿物以日光榴石、硅铍石为主,含少量羟硅铍石。成矿类型确定为火山岩型铍矿床(陈振宇等, 2022),为河北省新成矿类型。以该发现为指引,以矿床成矿系列理论为指导,河北省地质调查院基于较系统的地球化学资料,开展了成矿构造背景、成矿时间、成矿作用等分析研究,认为乌龙沟—上黄旗构造岩浆岩带铍矿成矿条件优越,找矿潜力大。窟窿山铍矿成矿新类型的发现,打开了河北省铍矿勘查思路,指明了勘查方向。为了扩大找矿成果,河北省地质专项资金支持并部署了河北省丰宁—围场一带 1:25 万铍化探异常评价及靶区筛选项目,旨在系统评价乌龙沟—上黄旗火山岩型铍矿成矿带的成矿潜力,扩大找矿成果,推动地质找矿新突破。

4.3 重点工作部署

根据国家战略性矿种名录、紧缺矿种等,结合河北省矿产资源禀赋条件,突出河北省优势矿种,指出河北省重点勘查矿种为富铁矿、金矿、铜矿、铍矿、石墨、钼矿、锰矿等。基于河北省潜力评价项目成果、矿产志研编成果等资料,以矿床成矿系列理论为指导,初步完成了成矿远景区优选与靶区圈定工作,确定了石家庄市石湖金矿、唐山市滦县—滦南铁矿、唐山市

迁安铁矿、唐山市迁西金厂峪—峪儿崖金矿、承德市丰宁铍矿等 5 个重点矿产勘查部署建议区,建议部署时间为 1~3 年。其中,承德市丰宁铍矿矿产勘查部署建议区已发现新矿产地——窟窿山铍矿,通过成矿潜力分析与成矿区划研究,初步圈定找矿靶区 1 个、成矿远景区 6 个。建议按整体部署、综合勘查评价、绿色勘查、创新引领的原则,对上述区域开展科学找矿工作,采用多源数据方法、“三位一体”找矿预测地质模型(严光生等, 2023)等实施系统性地质勘查评价,为新一轮找矿突破战略行动提交勘查区块,推动已知矿产地的增储上产与找矿新突破。

河北省地质找矿工作,以矿床成矿系列理论为指导,“全位成矿、缺位找矿”为引领,以最新勘查成果与认识为指引,强化“三位一体”找矿预测地质模型应用,积极开展区划、矿床定位预测与科研等工作;注重矿床成矿作用与矿化组合研究,尤其是不同成矿地质单元的演化规律研究,强化矿床式在地质找矿中的“标样”运用,做好矿床成矿系列应用研究;深入开展新成矿理论、新成矿类型的研究,为扩大找矿成果夯实理论基础。

5 结论

(1)河北省矿产资源丰富,已发现矿种 115 个,矿产地 3 144 个。矿产资源具有分区分片集中分布、贫矿多富矿少、小型矿床多大型超大型矿床少、共生伴生矿种多单一矿种少等特征。

(2)河北省有太古宙—古元古代、印支—燕山与喜马拉雅三大成矿期。阜平—五台期和燕山期为成矿高峰期,矿产地数量最多;成矿强度最好的 6 个成矿时代依次为古近纪、石炭纪—二叠纪、新太古代、白垩纪、中元古代、奥陶纪;矿产资源最丰富的Ⅲ级成矿带为华北陆块北缘东段 Fe-Cu-Mo-Pb-Zn-Au-Ag-Mn-U-磷-煤-膨润土成矿带(Ⅲ-57),最优越的Ⅳ级成矿亚带为马兰峪—绥中次级隆起 Au 成矿带(Ⅲ-57-③)、燕辽(拗陷、拉张)Cu-Mo-Pb-Zn-Ag-Au-Fe-Mn-煤-石灰岩-耐火黏土成矿亚带(Ⅲ-57-②)。

(3)河北省三大成矿作用(沉积成矿作用、岩浆成矿作用与变质成矿作用)随时间演化特征规律明显,各具特色;矿床类型有 16 种,成矿作用最强的矿床类型有 4 种(沉积变质型、岩浆热液型、陆相火山岩型和生物化学沉积型);矿床类型数量,从太古宙至中—新生代呈现出由少到多的演化规律。

(4)河北省成矿单元为 2 个Ⅱ级成矿省、4 个Ⅲ级成矿带(区)、10 个Ⅳ级成矿亚带、17 个Ⅴ级矿集区;矿床成矿系列组 14 个,矿床成矿系列 39 个,矿床成矿亚系列 46 个,典型矿床或矿床式 97 个;河北省区域成矿谱系,更直观地反映了河北地质-构

造-成矿作用的时空结构、分布和演化规律。

(5)以矿产勘查新发现为指引,以矿床成矿新理论、成矿新类型为指导,加强区划研究与重点成矿远景区勘查工作部署,是实现新一轮找矿突破战略行动的有效抓手,如河北省丰宁窟窿山铍矿新矿产地的发现,拓展了找矿思路,明确了找矿方向,积极稳妥推进矿产勘查工作,聚焦扩大找矿成果,实现找矿新突破。

Acknowledgements:

This study was supported by China Geological Survey (Nos. DD20221695, DD20190379, and DD20160346).

参考文献:

- 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,2006.三论矿床的成矿系列问题[J].地质学报,80(10):1501-1508.
- 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.
- 陈振宇,李胜利,李晓峰,等,2022.冀北窟窿山火山岩型铍矿化的发现及其地质意义[J].岩石学报,38(7):1901-1914.
- 河北省地质调查院,2020.中国矿产地质志·河北卷[R].石家庄:河北省地质调查院.
- 河北省自然资源厅,2023.河北省矿产资源年报(2022)[R].石家庄:河北省自然资源厅.
- 河北省区域地质矿产调查研究所,2017.中国区域地质志(河北志)[M].北京:地质出版社.
- 李俊建,彭翼,张彤,等,2021.华北地区成矿单元划分[J].华北地质,44(3):4-24.
- 任树祥,贾正海,张贵宝,等,2010.河北省铁矿成矿规律研究及资源潜力预测[J].矿床地质,29(S1):103-104.
- 任树祥,张德生,宋立军,等,2015.河北省区域成矿规律研究[M].武汉:中国地质大学出版社.
- 宋树军,宋立军,陈志楠,2023.河北省大地构造相划分与成矿作用[J].中国地质调查,10(3):75-83.
- 王婧,温延星,宋立军,等,2023.河北省重要非金属成矿构造背景及成矿系列[J].中国地质调查,10(3):41-53.
- 王登红,陈毓川,徐志刚,等,2020.矿床成矿系列组-六论矿床的成矿系列问题[J].地质学报,94(1):18-35.
- 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.
- 严光生,叶天竺,庞振山,等,2023.成矿地质体找矿预测理论与方法[J].地质通报,42(6):857-882.
- 章百明,赵国良,马国玺,等,1996.河北省主要成矿区带矿床成矿系列及成矿模式[M].北京:石油工业出版社.
- 张尔匡,1982.河北省深部地质构造特征与区域成矿规律相互关系的初步研究[J].矿床地质,1(1):70-82.
- 张旗,周永章,2017.大数据时代对科学研究方法的反思[J].矿物岩石地球化学通报,36(6):881-885.
- 张志辉,左超群,2024.矿集区找矿预测大数据实体数据模型的界定与构建[J/OL].中国地质,1-20[2024-11-22].<http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.1167.P.20240702.1551.011.html>.

References:

- 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., 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, 2006. On minerogenetic(metallogenetic) series: Third discussion[J]. Acta Geologica Sinica, 80(10): 1501-1508(in Chinese with English abstract).
- CHEN Yuchuan, WANG Denghong, ZHU Yusheng, et al., 2007. China's metallogenic system and regional metallogenic evaluation[M]. Beijing: Geological Publishing House(in Chinese).
- CHEN Zhenyu, LI Shengli, LI Xiaofeng, et al., 2022. Discovery and prospecting potential of volcanic beryllium mineralization in Kulongshan, northern Hebei Province[J]. Acta Petrologica Sinica, 38(7): 1901-1914(in Chinese with English abstract).
- Hebei Geological Survey Institute, 2020. Geology of Mineral Resources in China Hebei Volume[R]. Shijiazhuang: Hebei Geological Survey Institute(in Chinese).
- Department of Natural Resources of Hebei Province, 2023. Annual Report on Mineral Resources in Hebei Province (2022)[R]. Shijiazhuang: Department of Natural Resources of Hebei Province(in Chinese).
- Hebei Provincial Institute of Regional Geological and Mineral Resources Survey, 2017. The Regional Geology of China, Hebei Province[M]. Beijing: Geological Publishing House(in Chinese).
- LI Junjian, PENG Yi, ZHANG Tong, et al., 2021. Division of metallogenic units in North China[J]. North China Geology, 44(3): 4-24(in Chinese with English abstract).
- REN Shuxiang, JIA Zhenghai, ZHANG Guibao, et al., 2010. Research on the Mineralization Law of Iron Ore in Hebei Province and Prediction of Resource Potential[J]. Mineral Deposits, 29(S1): 103-104(in Chinese with English abstract).
- REN Shuxiang, ZHANG Desheng, SONG Lijun, 2015. Research on Regional Mineralization Patterns in Hebei Province[M]. Wuhan: China University of Geosciences Press(in Chinese).
- SONG Shujun, SONG Lijun, CHEN Zhinan, 2023. Tectonic facies classification and mineralization of Hebei Province[J]. Geological Survey of China, 10(3): 75-83(in Chinese with English abstract).
- WANG Denghong, CHEN Yuchuan, XU Zhigang, et al., 2020. Minerogenetic series group: discussion on minerogenetic series(VI)[J]. Acta Geoscientica Sinica, 94(1): 18-35(in Chinese with English abstract).
- WANG Jing, WEN Yanxing, SONG Lijun, et al., 2023. Important nonmetallic metallogenetic tectonic setting and metallogenetic series in Hebei Province[J]. Geological Survey of China, 10(3): 41-53(in Chinese with English abstract).
- XU Zhigang, CHEN Yuchuan, WANG Denghong, et al., 2008. Division Plan for Mineral Regions in China[M]. Beijing: Geological Publishing House(in Chinese).
- YAN Guangsheng, YE Tianzhu, PANG Zhenshan, et al., 2023. Introduction of the theory and method of prospecting prediction of metallogenetic geologic body[J]. Geological Bulletin of China, 42(6): 857-882.
- ZHANG Baiming, ZHAO Guoliang, MA Guoxi, et al., 1996. The ore-forming series and models of mineral deposits in the main metallogenetic belts of Hebei Province[M]. Beijing: Petroleum Industry Press(in Chinese).
- ZHANG Erkuang, 1982. A preliminary study of the deep tectonic pattern in Hebei Province and its relations with regional mineralizations[J]. Mineral Deposits, 1(1): 70-82.
- ZHANG Qi, ZHOU Yongzhang, 2017. Reflections on the scientific research method in the era of big data[J]. Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry, 36(6): 881-885.
- ZHANG Zhihui, ZUO Qunchao, 2024. Definition and construction of data models of big data entity for prospecting prediction of ore concentration area[J/OL]. Geology in China, 1-20[2024-11-22].<https://link.cnki.net/urlid/11.1167.P.20240702.1551.011>