

doi: 10.12029/gc20220410

付超,党智财,李俊建,周淑敏,倪振平,彭翼,宋立军,张彤,侯占国. 2022. 华北地区金矿成矿规律及资源潜力[J]. 中国地质, 49(4): 1179–1197.
Fu Chao, Dang Zhicai, Li Junjian, Zhou Shumin, Ni Zhenping, Peng Yi, Song Lijun, Zhang Tong, Hou Zhanguo. 2022. Regional metallogeny and resource potential of gold deposits in North China[J]. Geology in China, 49(4): 1179–1197(in Chinese with English abstract).

华北地区金矿成矿规律及资源潜力

付超¹,党智财¹,李俊建¹,周淑敏²,倪振平³,彭翼⁴,宋立军⁵,张彤⁶,侯占国⁷

(1. 中国地质调查局天津地质调查中心,天津 300170;2. 青海大学地质工程系,青海 西宁 810016;3. 山东省地质调查院,山东 济南 010020;4. 河南省地质调查院,河南 郑州 450007;5. 河北省地质调查院,河北 石家庄 050081;6. 内蒙古自治区地质调查院,内蒙古 呼和浩特 010020;7. 山西省地质调查院,山西 太原 030006)

摘要:【研究目的】金矿是华北地区的优势矿种之一,资源丰富、类型多样。开展华北地区金矿资源特征与成矿规律研究,对于进一步开展金矿勘查工作部署具有重要意义。【研究方法】本文系统收集和整理了已有金矿地质资料,全面总结了华北地区金矿资源禀赋、矿床类型、时空分布规律、控矿因素、成矿演化及资源潜力。【研究结果】从矿床成因角度,华北地区金矿类型可划分为花岗-绿岩型、火山岩型、岩浆热液型、变质碎屑岩中热液型、砂金型和风化壳型等 6 大类;从矿产预测角度,可划分为 44 个矿产预测类型,其中与岩浆岩、火山岩、绿岩建造有关金矿类型最为重要。根据金矿演化规律,将华北地区金成矿划分为五台-吕梁期、华力西期、印支期、燕山期、喜马拉雅期等 5 个主成矿期,其中燕山期为金矿爆发期。金矿主要产于华北克拉通边缘、裂谷带及造山带内,形成于大陆裂谷、岛弧(火山弧)、活动大陆边缘等构造环境。【结论】本文在华北地区划分出 47 处金矿重要找矿远景区,并提出加强重要找矿远景区及矿集区深部金矿资源勘查是实现找矿突破的重要途径。

关键词:金矿;资源特征;矿床类型;成矿规律;资源潜力;华北地区

创新点:全面系统地梳理、总结了华北地区金矿资源特征、矿床类型、时空分布规律及资源潜力,划分了 47 处金矿重要找矿远景区。

中图分类号:P618.51 文献标志码:A 文章编号:1000-3657(2022)04-1179-19

Regional metallogeny and resource potential of gold deposits in North China

FU Chao¹, DANG Zhicai¹, LI Junjian¹, Zhou Shumin², NI Zhenping³, PENG Yi⁴, SONG Lijun⁵,
ZHANG Tong⁶, HOU Zhanguo⁷

(1. Tianjin Center of China Geological Survey, Tianjin 300170, China; 2. Department of geological engineering, Qinghai University, Xining 810016, Qinghai, China; 3. Geological Survey of Shandong Province, Jinan 250013, Shandong, China; 4. Geological Survey of Henan Province, Zhengzhou 450007, Henan, China; 5. Geological Survey of Hebei Province, Shijiazhuang 050081, Hebei, China; 6. Inner Mongolia Bureau of Geological Survey, Hohhot 010020, Inner Mongolia, China; 7. Geological Survey of Shanxi Province, Taiyuan 030006, Shanxi, China)

收稿日期:2021-05-06;改回日期:2022-07-13

基金项目:中国地质调查局项目(DD20190379-31、1212011121029、200110200038、DD20190155)、国家重点研发计划“深地资源勘查开采”重点专项课题(2016YFC0600107、2018YFC0603805-1)、青海大学中青年科研基金(2016-QGY-2)资助。

作者简介:付超,男,1986年生,高级工程师,主要从事矿产资源调查评价、区域成矿学研究工作;E-mail:fuchaocugb@163.com。

通信作者:党智财,男,1989年生,高级工程师,主要从事区域成矿学研究和矿产勘查工作;E-mail:dangzhicai@163.com。

Abstract: This paper is the result of mineral exploration engineering.

[Objective] Gold deposit is one of the dominant minerals in North China, which is rich in resources and diverse in types. It is of great significance to carry out the research on the characteristics of gold resources and metallogenic regularity for further deployment of gold exploration in North China. **[Methods]** Based on the systematic collection of the previous gold research results in this area, the resource endowment, types of deposits, characteristics of spatiotemporal distribution and ore controlling, metallogenic evolution and potentiality have been summarized comprehensively. **[Results]** Firstly, according to the genetic type of the deposit, six types of deposits can be divided in North China, including the types of granite greenstone, volcanic, magmatic hydrothermal, metaclastic hydrothermal, placer and weathering crust. Secondly, it can be divided into 44 types of mineral prediction, among which the types of magmatic rocks, volcanic rocks and greenstones are the most important. Besides, statistics precise chronology data of gold deposits indicate that there are 5 periods of gold mineralization in the geological history in North China. These periods are Wutai-Lüliang, Variscan, Indosinian, Yanshanian and Himalayan. The Au mineralization during Yanshanian period is the strongest one. The gold deposits are mainly occurred in the margin of North China Craton, rift zones and orogenic belts, which formed in continental rift, island arc (volcanic arc) and active continental margin environments. **[Conclusions]** The comprehensive analysis shows that 47 important gold prospecting prospects can be divided in North China, and deep exploration and peripheral investigation in important prospective areas and ore concentration areas should be strengthened to achieve a breakthrough in gold prospecting.

Key words: gold deposits; resources characteristics; deposit types; regional metallogeny; resource potential; mineral exploration engineering; North China

Highlights: This paper comprehensively summarizes the resource endowment, types of deposits, characteristics of spatiotemporal distribution and metallogenic potentiality, and divides 47 important prospecting prospects in North China.

About the first author: FU Chao, male, born in 1986, senior engineer, mainly engaged in the mineral exploration and regional metallogenic research; E-mail: fuchaocugb@163.com.

About the corresponding author: DANG Zhicai, male, born in 1989, senior engineer, mainly engaged in the mineral exploration and regional metallogenic research; E-mail: dangzhicai@163.com.

Fund support: Supported by the projects of China Geological Survey (No.DD20190379-31, No.1212011121029, No.200110200038, No.DD20190155), the National Key Research and Development Program of China (No.2016YFC0600107, No.2018YFC0603805-1) and Qinghai University Young and Middle-aged Scientific Research Fund (No.2016-QGY-2).

1 引 言

金作为一种重要的贵金属矿产,是国民经济和社会发展的重要支柱,被自然资源部“十三五”全国矿产资源规划列为重点关注的战略性资源^①,也是保障国家能源资源安全的关键矿产。金矿是华北地区的优势矿种之一,近年来华北地区各地勘和科研队伍在金矿深部勘查、外围找矿、资源潜力评价等方面取得了重大进展(李俊建等,2016;于学峰等,2016,2019;宋明春等,2019,2020),如胶东金矿集区累计发现大中型及以上金矿床达百余处,累计探明金资源储量逾5000 t,形成了世界级的巨型金成矿带(宋明春等,2015;丁正江等,2015;张丕建等,2015;宋英昕等,2017);小秦岭—熊耳山地区实现金矿找矿突破,相继形成了文峪、大湖、上官等重要黄金产地(李俊建等,2016)。此外,百家争鸣的成矿学研究(翟明国等,2004;陈衍景等,2004,

2010;杨立强等,2014;朱日祥等,2015; Song et al., 2015; Li et al., 2015; Yang et al., 2016a, b; 范宏瑞等, 2016; Groves and Santosh, 2016, 2019; Deng et al., 2018; 杨萌萌, 2018)深入剖析了华北典型金矿集区的成矿环境和成因机制,极大丰富了区域成矿模式和找矿预测模型,积极推动了华北地区金矿找矿突破。同时,丰富的成矿理论和科学数据为华北金成矿作用的规律性总结带来了机遇。在前人工作基础上,本文尝试对华北地区金矿资源禀赋、矿床类型、时空特征、控矿因素、成矿演化、资源潜力等要素进行梳理,以期进一步深化华北地区金矿赋存规律认识、明确金矿找矿方向,为今后华北地区金矿勘查工作部署提供有益参考。

2 金矿资源特征

2.1 矿床分布

华北地区金矿资源丰富,成矿条件优越,类型

众多。截至2016年,华北地区累计查明金矿产资源储量逾7000 t^{①②③④},金矿集中分布特征明显,大中型矿床林立(图1)。其中,山东省以大型—超大型金矿众多而闻名于世,矿床集中产出于胶西北的莱州、招平地区,胶莱盆地北缘的栖霞、海阳等地,以及郯庐断裂带以西的平邑、沂南、兰陵、莱芜一带。河南省金矿集中分布在豫西南小秦岭、熊耳山、桐柏地区。河北省主要分布在冀东迁西、遵化、宽城、青龙,冀东北的平泉、丰宁,冀西北宣化、崇礼、赤城,冀西灵寿、易县。山西省金矿集中区分布于省境东北部及西南部,东北部以内生岩金矿集中产出,并与银、铜、钼、多金属相共生为其特征,西南部以铜矿伴金为特色。内蒙古自治区地域辽阔,已探明的金产地多沿华北陆块北缘深断裂带、临河—固阳—察右中旗深断裂带以及石崩大断裂带、额尔古纳河大断裂带之两侧分布。京津地区仅在蓟县东北部下营—朱耳峪一带零星出露金矿点。

2.2 矿床数量和规模

华北地区金矿床数量和规模以山东省为最,河南、内蒙古、河北、山西等次之。截止2016年,全区累计查明金矿床数569个^{②③④},其中大型及以上金矿床63个、中型金矿床140个、小型金矿床369个。2011年实施找矿突破战略行动以来^⑤,山东省新发现大型及以上金矿产地18处、中型45处,新增资源储量(333及以上类别)1838.4 t;河南省新发现大型金矿产地4处、中型10处,新增金(含共伴生)资源储量(333及以上类别)349.89 t;内蒙古自治区新发现大型金矿产地1处、中型5处,新增金资源储量(333及以上类别)287.57 t;河北省新发现小型矿产地7处,新增资源储量(333及以上类别)87.83 t;山西省新提交小型矿产地3处,新增资源储量(333及以上类别)8.95 t。华北地区无论金矿床个数还是资源储量规模,均显示了良好的找矿潜力,其中以胶东地区最具代表性。

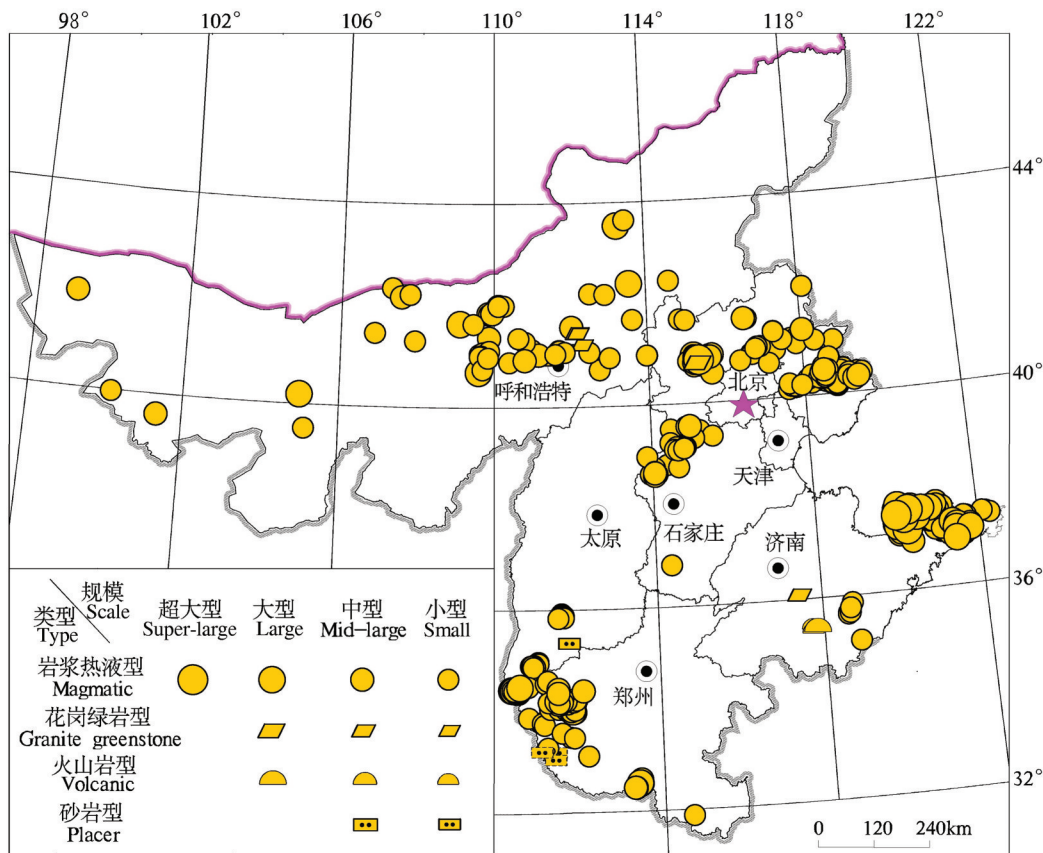


图1 华北地区金矿床分布图
Fig.1 Map of distribution for Au deposits in North China

胶东作为华北甚至中国金矿的集中发育区,位于金矿攻深找盲及深部勘查示范的前沿,矿床数量和规模均占绝对优势,目前累计探明金矿产地200余处(宋明春等,2015;宋英昕等,2017),资源储量大于100 t的超大型金矿床16个(浅部6个、深部10个),20~100 t的大型金矿床26个(浅部17个、深部9个),5~20 t的中型金矿床67个(浅部49个、深部18个)。破碎带蚀变岩型、石英脉型金矿资源储量占比达96%以上(于学峰等,2016),集中分布于三山岛、焦家、招平、西林—陡崖、牟平—即墨、金牛山等6条控矿断裂带;近年来,辽上、笏山—西陡崖等大型金矿的发现(廖明伟等,2014;李国华等,2017),进一步丰富了胶东地区金矿床类型和找矿方向。

3 金矿床类型

3.1 金矿床成因类型

华北地区金矿床复杂多样,关于矿床类型的探索和认识也在不断发展。前人根据构造背景、赋矿地质体、控矿构造、矿化类型、成矿流体等要素特征,提出了绿岩带型(沈保丰等,1997)、岩浆热液型(朱奉三等,1980;吕古贤等,2016)、造山型(Zhou and Lu, 2000; Goldfarb et al., 2001; Qiu et al., 2002; 陈衍景等, 2004)、华北克拉通破坏型(朱日祥等, 2015)、胶东型(杨立强等, 2014; Li et al., 2015)、热隆—伸展成矿(宋明春等, 2020)等多种型的金矿床类型,极大丰富了华北地区金成矿规律研究方向,拓展了金矿床成因类型的划分思路。在前人工作基础上,本文采用全国重要矿产预测类型划分方案(陈毓川等, 2015),将华北地区金矿床成因划分为6大类:花岗—绿岩型、火山岩型、岩浆热液型、变质碎屑岩中热液型、砂金型和风化壳型。

3.1.1 花岗—绿岩型

华北克拉通作为世界著名的古老克拉通之一,花岗—绿岩型金矿具有重要地位。华北地区该类型金矿主要分布于内蒙古大青山东段、鲁中新泰—蒙阴一带、沂沭断裂带沂南—沂水地区、冀东遵化—宽城、山西五台—代县一带等,形成了新地沟、金厂峪、小营盘、化马湾等金矿床。该类型矿床具有矿体规模大、品位低的特点。含矿岩石为绿泥石英片岩,顶底板为薄层大理岩。矿体呈层状、似层状、脉状、似脉状及透镜状,与容矿围岩呈渐变过渡关系,

矿体产状与岩层产状一致,多数分布在褶皱翼部近核部附近;部分与印支期岩浆热液活动密切相关,如金厂峪金矿床(Song et al., 2016)。成矿时代为1988~1991 Ma(李俊建等, 2005)。

3.1.2 火山岩型

火山岩型金矿与中生代火山活动、尤其是晚侏罗世火山活动有着密切的联系。主要形成于火山爆破角砾岩筒内,与火山机构关系密切。矿体赋存在火山岩内,可见玉髓状非晶质胶体石英、碳酸盐、萤石、冰长石等低温矿物及角砾状、梳状、晶洞晶簇状构造,蚀变现象为典型的青磐岩化,具有浅成低温热液的特征,有良好的成矿地质条件和进一步找矿前景。可划分为“隐爆角砾岩型、碳酸盐岩微细浸染型”等亚类。

隐爆角砾岩型:该类型金矿主要产出于鲁西、冀东等地。矿床形成于中生代燕山早期,成矿作用与二长闪长质、二长正长质岩石的隐爆角砾岩及粗面斑岩有关。金矿体主要为脉状或筒状;呈脉状者产于杂岩体边部的脉状隐爆侵入角砾岩带中,呈筒状者产于隐爆角砾岩内。典型矿床如归来庄金矿、唐杖子金矿、阳高堡子湾金矿等,成矿时代集中于161~180 Ma(郭少丰等, 2009; 于学峰, 2010; 朱金, 2014)。

碳酸盐岩微细浸染型:类卡林型金矿,主要分布于平邑县铜石地区的南部,在沂源南部的金星头地区也有分布。金矿床形成与层状侵入的燕山早期正长斑岩、闪长玢岩密切相关。矿体主要呈层状、似层状、透镜状赋存于碳酸盐岩层位内。矿石类型以原生矿石为主,主要有萤石化、硅化灰质白云岩、萤石化硅化角砾岩等。典型矿床为磨房沟金矿,与成矿密切相关的浅成岩浆岩 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年龄为188.4~189.8 Ma(林景任等, 1996)。

3.1.3 岩浆热液型

与中生代燕山期花岗岩有关的岩浆热液型金矿是华北地区最重要的金矿类型,主要分布在胶东、小秦岭、冀东以及五台山—恒山等金矿集中区。该类型又可细分为含金石英脉型、破碎蚀变岩型、斑岩型、矽卡岩型、蚀变层间角砾岩型、黄铁矿碳酸盐脉型、次火山热液型等亚类,每个矿床类型区域分布及矿产地质特征各具特点。

含金石英脉型:华北地区最常见的金矿类型。矿体形态变化多端,呈脉状、透镜状、扁豆状,多数

受区域性断裂及次级断裂控制,具有膨胀、收缩、分枝复合、尖灭再现或尖灭侧现等现象。含金石英脉多含一定的硫化物,并且形成不同硫化物组合的石英脉矿石,金品位变化较大。华北地区分布广泛,如山东玲珑、大柳行金矿,河南文峪、桐峪金矿,山西义兴寨金矿,内蒙古哈达门沟金矿等,成矿时代集中于115~126 Ma(杨进辉等,2000;毛景文,2000,2003;王义文等,2002;陈衍景等,2004;范宏瑞等,2005;李俊建等,2005;李洪奎等,2013)、208~242 Ma(卢欣祥等,2008;宋扬等,2011)。

破碎蚀变岩型:华北地区资源量最为丰富的金矿床类型,分布广泛。主要指赋存于主断裂面两侧均匀破碎的碎裂岩、碎斑岩中的细粒浸染状金矿床。矿体产状与控矿断裂产状一致,多呈似层状、透镜状、脉状,与围岩没有明显分界。主要矿石类型有浸染状黄铁绢英岩型、细脉状黄铁绢英质碎裂花岗岩型、网脉状黄铁绢英岩质碎裂花岗岩型。典型矿床有山东焦家金矿、三山岛金矿、河南上宫金矿等,成矿时代集中于110~123 Ma(杨进辉等,2000;毛景文等,2000,2003;王义文等,2002;陈衍景等,2004;李洪奎等,2013;宋明春等,2015,2018)、208~222 Ma(卢欣祥等,2008)。

斑岩型:华北地区斑岩型金矿主要分布在内蒙古中部哈达庙—毕力赫一带,其他地区多以伴生金形式产出,大地构造位置多位于岛弧、火山弧及活动大陆边缘。如内蒙古哈达庙、毕力赫等斑岩型金矿,分布在锡林浩特岩浆弧内,大面积分布的燕山期闪长玢岩、石英闪长岩和花岗闪长岩提供了热源,白乃庙群、温都尔庙群通过深熔作用提供金矿物质来源(郝百武,2011;朱平平,2017);花岗斑岩与石英闪长岩的接触带上,岩浆的冷凝收缩产生大量的张裂隙构造,特别是岩浆期后构造活动使这样的张裂隙系统更为发育,为含矿热液的上升和沉淀富集创造了良好的条件,同时广泛发育的硅化、电气石化、绢英岩化和黄铁矿化,形成了中温热液斑岩型金矿床,成矿时代约272 Ma(鲁颖淮等,2009;葛良胜等,2012)。

矽卡岩型:该类型金矿主要分布于沂沭断裂带以西的沂南—沂源地区,在平邑铜石及苍山龙宝山等地也有矿点分布。该类型矿床规模较小,一般与铁、铜伴生。矿体主要发育在燕山晚期中偏碱性或中酸性

侵入杂岩体与寒武纪灰岩的接触带及两侧矽卡岩带内,其产状受控于接触带的产状。矿体多呈透镜状、囊状、脉状、扁豆状及似层状等,矿石类型主要为矽卡岩型铜金矿石。代表型矿床(点)有沂南金场、铜井、马旺等,成矿时代为121~128 Ma(胡芳芳等,2010;王永等,2011;李洪奎等,2011;田京祥等,2015)。

蚀变层间角砾岩型:主要分布于胶东半岛东部蓬家乔一带。金矿体受层间断裂、裂隙控制,与层间滑脱构造所在的层位有关,呈似层状、透镜状。矿石自然类型主要有含金—黄铁矿(白云大理岩)型、含金—黄铁矿化、硅化(构造角砾岩)型、黄铁矿化绢云母化碎裂状砾岩等,氧化矿石主要为黄铁矿化绢云母化碎裂状砾岩。典型矿床如蓬家乔金矿,成矿时代为117.3~118.4 Ma(Zhang et al., 2003)。

黄铁矿碳酸盐脉型:主要分布于胶东半岛东部的郭城—崖子一带,其他地区分布较少。主要指以前寒武纪变质基底及中生代侵入岩为容矿围岩,在构造控制下发生破碎及强交代蚀变,以含黄铁矿碳酸盐为主的载金矿物,呈细脉—微细脉沿张性裂隙充填富集而形成的金矿床。该类型金矿具有鲜明的特点(孙玉龙等,2011;Tan et al., 2015, 2018;李国华等,2017),即金矿物赋存于黄铁矿碳酸盐脉中,沿控矿构造内蚀变碎裂岩、碎裂状蚀变岩裂隙充填成矿,对围岩无选择性,明显有别于其他成因的碳酸盐类型金矿。典型矿床为辽上金矿,黄铁矿 Rb—Sr 年龄(105.5±9)Ma、含矿白云石 Sm—Nd 年龄(104.8±5.1)Ma(Li et al., 2020)。

次火山热液型:该类型金矿在华北地区分布广泛,在豫西、冀东、鲁西等地区均有产出,金成矿与燕山期中酸性浅成—超浅成侵入岩或角砾岩密切相关,控矿构造以断裂为主。矿体形态为脉状、扁豆状、长透镜状等,金属矿物主要有黄铁矿、黄铜矿、方铅矿、磁黄铁矿、闪锌矿等,矿石结构多为晶粒结构、交代结构,构造多见细脉状、致密块状、斑杂条带状,蚀变类型有黄铁矿化、硅化、绢云母化等。典型矿床如祈雨沟金矿床等,成矿时代为127~130 Ma(Qi et al., 2019)。

3.1.4 变质碎屑岩中热液型

该类型金矿主要发育在中—新元古界的变质碎屑岩中,赋矿岩石为碎屑浊积岩建造,可呈现热水沉积的某些特征(刘友梅等,1996)。矿床具明显

层控性,矿体多呈层状、似层状,少量为薄层状、透镜体状,与围岩产状相近;矿石类型主要有微细粒浸染状、脉状-网脉状;围岩蚀变简单,多为绿片岩相的中低温蚀变组合,如硅化、绢云母化、黄铁矿化、碳酸盐化、绿泥石化等(王秀璋等,1995),可见到同期或期后岩浆热液活动。该类型矿床主要分布于华北陆块北缘西段,典型矿床为朱拉扎嘎金矿床,成矿时代为279.7~280 Ma(李俊建等,2010)。

3.1.5 砂金型

在华北地区分布广泛,主要为砂金矿床,具有以下分布、富集特征:(1)严格受物质来源及有利地貌控制,即山间碟形、勺形洼地出水口附近的冲沟,以及第四系堆积地貌区。(2)与河谷的宽窄、谷底的起伏有关,河谷转弯处,缓坡沉积物堆积岸、河谷变宽处,沉积陡崖侵蚀岸,河谷出口处,均为砂金分布与富集地区。(3)部分砂金矿与冰碛层有关,距含金冰碛层由近到远,砂金品质由富变贫。(4)受外部营力作用控制,含金砂砾层的砾级越粗或分选性越差,砂金品位有变富的趋势。典型矿床如内蒙古金盆金矿、山西料堰砂金矿等,主要形成于喜马拉雅期。

3.1.6 风化壳型

该类型金矿在华北地区分布较局限,多以中-小型规模为主,主要指经过氧化、次生富集作用在风化壳中形成的金矿床,原生的金矿集中区以及含金的铁铜多金属矿化集中区是形成该类型金矿的主要地质背景。矿体在剖面上具有明显的分带性,由上至下为氧化带→次生富集带→过渡带→原生金矿带(曹月怀等,2010),典型矿床如内蒙古吉宝力格、河南三合金矿床。

3.2 金矿产预测类型

金矿产预测类型指为成矿预测而划分的、具有区域性特点的矿床类型(王成辉等,2014;陈毓川等,2015)。根据全国重要矿产预测类型划分方案(陈毓川等,2015),以矿床式为理论依据,以矿床成因类型划分为基础,华北地区可进一步划分为44个主要的金矿产预测类型(表1),其中以与岩浆岩、火山岩、花岗-绿岩建造有关的金矿类型最为重要。

4 金矿成矿规律

4.1 金矿时间分布规律

华北地区金矿存在着多个成矿时代和成矿期

次,不同成矿期形成不同类型的金矿床。通过梳理华北767个不同规模金矿床(点)的时间演化规律,将其划分为5个主成矿期(表2):五台-吕梁期(新太古代-古元古代)、华力西期(泥盆纪-二叠纪)、印支期(三叠纪)、燕山期(侏罗纪-白垩纪)和喜马拉雅期(新生代),其中以燕山期、华力西期最为重要,华北地区已发现的金矿大多产于该成矿爆发期。此外,五台-吕梁期、印支期在华北陆块北缘也为重要的成矿时期,形成有一系列大中型金矿床。各成矿期的主要特点如下:

(1)五台-吕梁期:分布于华北陆块北缘及鲁西地区,主要形成花岗-绿岩带型金矿及变质型铜矿伴生金。金矿床皆以太古宙绿岩建造为原始矿源层,多产于前寒武纪变质基底中,主要为构造控制的含金石英脉和硅化带金矿,部分为受层位控制的层状硫化物浸染金矿床(王成辉等,2014)。如化马湾式花岗-绿岩带型金矿。

(2)华力西期:在华北陆块北缘成矿带分布广泛,主要形成岩浆热液型、火山岩型、斑岩型金矿床,多与细碎屑岩-碳酸盐岩建造、变质表壳岩建造、中酸性-酸性深成侵入岩建造或铁镁质基性-超基性侵入岩建造密切相关,常见Ag、Cu、Mo、Hg、Sb、As等元素共生。如浩尧尔忽洞热液型金银矿、毕力赫斑岩型金矿等。

(3)印支期:该期形成的金矿床分布较局限,在华北陆块南缘小秦岭-熊耳山成矿带(卢欣祥等,2008)和华北陆块北缘中西段集中产出,以岩浆热液型、与次火山岩有关的热液型金矿为主要类型,多与印支期中酸性侵入岩或次火山岩关联密切,如河南省上宫金矿、金洞盆金矿、大湖金矿,内蒙古自治区巴音温都尔金银矿、乌拉山金银矿等。此外,亦有学者在冀东成矿带金厂峪金矿床识别出印支期金成矿作用(Song et al., 2016)。

(4)燕山期:华北地区金矿大爆发时期,是华北金矿分布格局形成的关键时间段。该成矿期金矿床广泛分布,大型-超大型金矿床林立,形成了胶东、小秦岭-桐柏-熊耳山等一系列重要金矿集区。在中国东部燕山期大规模构造-岩浆活动背景下,金的矿床类型十分丰富,其中以岩浆-热液型金矿床尤为发育,其成因与燕山期中酸性岩浆活动紧密相关,如胶东三山岛金矿、焦家金矿、玲珑金矿,

表1 华北地区金矿产预测类型一览
Table 1 Prediction types of gold deposits in North China

编号	矿床式	成矿期	所属成矿带		主要预测要素	全国预测模型
			III级	IV级		
1	三个井式	华力西晚期	III-14 磁海—公婆泉 Fe-Cu-Au-Pb-Zn-Mn-W-Sn-Rb-V-U-磷成矿带	III-14-1 石板井—东七—山 W-Sn-Rb-Mo-Cu-Fe-Au-Cr-萤石成矿亚带	海西晚期云冈长岩体外接触带,北西西向压扭性断裂,重力异常,磁异常,化探异常,遥感异常	与岩浆岩有关热液型
2	老硐沟式	华力西晚期	III-18 阿拉善(隆起) Cu-Ni-Pt-Fe-REE-P-石墨-芒硝-盐类成矿带	III-14-2 阿木乌苏—老硐沟 Au-W-Sb-萤石成矿亚带	蓟县系白云石大理岩、黑云二长花岗岩、花岗闪长岩形成的砂卡岩带,断裂,重力异常,磁异常,化探异常,遥感异常	与岩浆岩有关热液型
3	碱泉子式	华力西晚期	III-18 阿拉善(隆起) Cu-Ni-Pt-Fe-REE-P-石墨-芒硝-盐类成矿带	III-18-1 碱泉子—卡休他 Au-Cu-Fe-Co成矿亚带	西向层间挤压破碎带,重力、高磁、化探、遥感异常	与岩浆岩有关热液型
4	朱拉扎嘎式	晋宁—震旦期	III-18 阿拉善(隆起) Cu-Ni-Pt-Fe-REE-P-石墨-芒硝-盐类成矿带	III-18-4 图兰泰—朱拉扎嘎 Au-盐-芒硝-石膏成矿亚带	新元古界蓟县系阿古鲁组,北北西向叠加褶皱构造,隐伏岩体,重力异常,磁异常,化探异常,遥感环要素	沉积建造型
5	巴音杭盖式	华力西中期	III-49 白乃庙—锡林郭勒 Fe-Cu-Mo-Pb-Zn-Mn-Cr-Au-Ge-煤-天然碱-芒硝成矿带	III-49-2 查干北老—巴音杭盖 Fe-Au-W-Mo-Cu-Ni-Co成矿亚带	古元古界宝音图群变质岩系,华力西期花岗岩侵入岩体,北西—南东向断裂,重力异常,磁异常,化探异常	与岩浆岩有关热液型
6	巴音温都尔式	印支期	III-49 白乃庙—锡林郭勒 Fe-Cu-Mo-Pb-Zn-Mn-Cr-Au-Ge-煤-天然碱-芒硝成矿带	III-49-5 温都尔庙—红格尔庙 Fe-Au-Mo成矿亚带	加里东晚期—印支期三叠纪中酸性侵入岩与围岩接触带,韧性剪切带,重力异常,磁异常,化探异常,遥感异常	与岩浆岩有关热液型
7	白乃庙式	华力西早期	III-49 白乃庙—锡林郭勒 Fe-Cu-Mo-Pb-Zn-Mn-Cr-Au-Ge-煤-天然碱-芒硝成矿带	III-49-6 白乃庙—哈达庙 Cu-Au-萤石成矿亚带	上志留统白乃庙群第一岩段,海西晚期的酸性侵入岩,东西向深大断裂,磁异常,重力异常,化探异常	与岩浆岩有关热液型
8	毕力赫式	华力西晚期	III-49 白乃庙—锡林郭勒 Fe-Cu-Mo-Pb-Zn-Mn-Cr-Au-Ge-煤-天然碱-芒硝成矿带	III-49-6 白乃庙—哈达庙 Cu-Au-萤石成矿亚带	燕山期侵入岩、次火山岩及其内外接触带,北西向、东西向断裂破碎带,重力异常,磁异常,化探异常,遥感异常	与火山岩有关斑岩型
9	唐杖子式	燕山早期	III-57 华北陆块北缘东段 Fe-Cu-Mo-Pb-Zn-Ag-Mn-磷-煤-膨润土成矿带	III-57-1 冀北隆起东段 Fe-Cu-Mo-Pb-Zn-Au-Ag-萤石成矿亚带	燕山期隐耀角砾岩筒,近东西向断裂带,花岗斑岩体,重力异常,磁异常,化探异常,遥感异常	与火山岩有关热液型
10	金庄式	燕山期	III-57 华北陆块北缘东段 Fe-Cu-Mo-Pb-Zn-Ag-Mn-磷-煤-膨润土成矿带	III-57-2 张承凹陷 Au-Cu-Mo-Pb-Zn-Fe-煤成矿亚带	长城系地层,含矿玢岩、细晶岩,赤城—古北口断裂,化探异常	与岩浆岩有关热液型
11	峪儿崖式	燕山期	III-57 华北陆块北缘东段 Fe-Cu-Mo-Pb-Zn-Ag-Mn-磷-煤-膨润土成矿带	III-57-2 张承凹陷 Au-Cu-Mo-Pb-Zn-Fe-煤成矿亚带	中浅成、超浅成中酸性侵入岩体,崎峰寨断裂,石窑背斜,矿化蚀变,化探异常	与岩浆岩有关热液型
12	下双台式	燕山期	III-57 华北陆块北缘东段 Fe-Cu-Mo-Pb-Zn-Ag-Mn-磷-煤-膨润土成矿带	III-57-2 张承凹陷 Au-Cu-Mo-Pb-Zn-Fe-煤成矿亚带	围岩太古宙密云岩群,变质侵入岩体,构造破碎带,含矿石英脉,断裂,化探异常	与岩浆岩有关热液型
13	黄花山式	燕山期	III-57 华北陆块北缘东段 Fe-Cu-Mo-Pb-Zn-Ag-Mn-磷-煤-膨润土成矿带	III-57-2 张承凹陷 Au-Cu-Mo-Pb-Zn-Fe-煤成矿亚带	燕山晚期中酸性岩体,构造破碎带,化探、重砂异常	与岩浆岩有关热液型
14	大营子式	华力西晚期	III-57 华北陆块北缘东段 Fe-Cu-Mo-Pb-Zn-Ag-Mn-磷-煤-膨润土成矿带	III-57-2 张承凹陷 Au-Cu-Mo-Pb-Zn-Fe-煤成矿亚带	元古宙—太古宙变质闪长岩及闪斜片麻岩,燕山期南脉顶花岗岩杂岩体,北东、北北东、北西向构造,化探异常	花岗—绿岩型
15	小营盘式	华力西期	III-57 华北陆块北缘东段 Fe-Cu-Mo-Pb-Zn-Ag-Mn-磷-煤-膨润土成矿带	III-57-2 张承凹陷 Au-Cu-Mo-Pb-Zn-Fe-煤成矿亚带	太古宙桑干群角闪斜长变粒岩,北东向构造,化探异常	花岗—绿岩型
16	孔各庄式	燕山期	III-57 华北陆块北缘东段 Fe-Cu-Mo-Pb-Zn-Ag-Mn-磷-煤-膨润土成矿带	III-57-2 张承凹陷 Au-Cu-Mo-Pb-Zn-Fe-煤成矿亚带	长城系巨厚白云岩,化探异常	沉积建造型
17	大石峪式	燕山期	III-57 华北陆块北缘东段 Fe-Cu-Mo-Pb-Zn-Ag-Mn-磷-煤-膨润土成矿带	III-57-2 张承凹陷 Au-Cu-Mo-Pb-Zn-Fe-煤成矿亚带	太古宙黑云斜长片麻岩、斜长角闪岩,燕山期大石峪石英闪长岩、花岗复式岩体,化探异常	与岩浆岩有关热液型
18	金厂峪式	吕梁期/印支期	III-58 华北陆块北缘西段 Au-Fe-Nb-REE-Cu-Pb-Zn-Ag-Ni-Pt-W-石墨-白云母成矿带	III-57-3 冀东隆起 Fe-Au-Mn-煤-铝土矿-石灰岩成矿亚带	太古宙斜长角闪岩、斜长角闪片麻岩、变粒岩,北北东向韧性剪切带,燕山早期青山口花岗岩长岩,化探异常	花岗—绿岩型
19	峪耳崖式	燕山期	III-58 华北陆块北缘西段 Au-Fe-Nb-REE-Cu-Pb-Zn-Ag-Ni-Pt-W-石墨-白云母成矿带	III-57-3 冀东隆起 Fe-Au-Mn-煤-铝土矿-石灰岩成矿亚带	长城系碳酸盐岩,中生代峪耳崖花岗岩,北东向断裂,化探异常	与岩浆岩有关热液型
20	长城式	四堡期	III-58 华北陆块北缘西段 Au-Fe-Nb-REE-Cu-Pb-Zn-Ag-Ni-Pt-W-石墨-白云母成矿带	III-57-3 冀东隆起 Fe-Au-Mn-煤-铝土矿-石灰岩成矿亚带	长城系、仰县系厚碎屑岩,构造破碎带,化探异常	沉积建造型
21	浩亮尔忽洞式	华力西期	III-58 华北陆块北缘西段 Au-Fe-Nb-REE-Cu-Pb-Zn-Ag-Ni-Pt-W-石墨-白云母成矿带	III-58-1 白云鄂博—商都 Au-Fe-Nb-REE-Cu-Pb-Zn-Ag-Ni成矿亚带	白云鄂博群比鲁特岩组,三叠纪中酸性侵入岩,构造破碎带和片理化带,重力异常,磁异常,化探异常,遥感异常	与岩浆岩有关热液型
22	赛乌素式	华力西期	III-58 华北陆块北缘西段 Au-Fe-Nb-REE-Cu-Pb-Zn-Ag-Ni-Pt-W-石墨-白云母成矿带	III-58-1 白云鄂博—商都 Au-Fe-Nb-REE-Cu-Pb-Zn-Ag-Ni成矿亚带	元古宙白云鄂博群尖山岩组第二段,哈拉忽尔苏背斜及 EW、NW 向断裂,重力异常,航磁异常,化探异常	与岩浆岩有关热液型

续表1

编号	矿床式	成矿期	所属成矿区带		主要预测要素	全国预测模型
			III级	IV级		
23	十八头滩式	印支期	III-58-4 乌拉山—集宁 Fe-Au-Mo-Cu-Pb-Zn-石墨-白云母成矿亚带		新太古代色尔腾山群柳树沟岩组, 蚀变闪长岩、花岗岩, 北西西向断裂, 重力异常, 化探异常	与岩浆岩有关热液型
24	新地沟式	吕梁期	III-58-4 乌拉山—集宁 Fe-Au-Mo-Cu-Pb-Zn-石墨-白云母成矿亚带		色尔腾山岩群柳树沟岩组, 北西向带状展布的脆韧性剪切带, 重力异常, 磁异常, 化探异常, 遥感异常	花岗-绿岩型
25	乌拉山式	印支期	III-58-4 乌拉山—集宁 Fe-Au-Mo-Cu-Pb-Zn-石墨-白云母成矿亚带		新太古界乌拉山(岩)群, 石英脉, 钾长石化构造蚀变岩带, 磁异常, 重力异常, 化探异常	与岩浆岩有关热液型
26	金盆式	喜馬拉雅期	III-61 山西(断拗)Fe-铝土矿-石膏-煤-煤层气成矿带		白垩系下统含金砾岩层、二道洼群中的分散含金石英脉、侏罗系含金砾岩等多源补给	与表生作用有关砂金型
27	石湖式	燕山期	III-61 山西(断拗)Fe-铝土矿-石膏-煤-煤层气成矿带		中新太古代片麻岩, 燕山期麻棚花岗岩体, 化探异常	花岗-绿岩型
28	文峪式	燕山期	III-63 华北陆块南缘Au-Mo-W-Pb-Zn-Ag-Fe-Cu-U-萤石-重晶石-磷-铝土矿-耐火黏土-硫铁矿-煤成-石油-天然气成矿带		新太古代太华群深变质岩系, 燕山期黑云母二长花岗岩, 物化探、遥感异常	与岩浆岩有关热液型
29	上宫式	印支期	III-63 华北陆块南缘Au-Mo-W-Pb-Zn-Ag-Fe-Cu-U-萤石-重晶石-磷-铝土矿-耐火黏土-硫铁矿-煤成-石油-天然气成矿带		新太古代太华群变质岩系、中元古代熊耳群火山岩系, 北东向断裂, 物化探、遥感异常	与岩浆岩有关热液型
30	祁雨沟式	燕山早期	III-64 鲁西(断隆、含淮北)Fe-Cu-Au-铝土矿-煤-金剛石成矿带		新太古代太华群变质岩系, 早白垩世侵入角砾岩体, 物化探、遥感异常	与火山岩有关热液型
31	归来庄式	燕山期	III-64 鲁西(断隆、含淮北)Fe-Cu-Au-铝土矿-煤-金剛石成矿带		正长斑岩、二长斑岩、二长闪长玢岩、隐爆-侵入角砾岩, 潜火山作用形成环状、放射状断裂及隐爆角砾岩带, 化探、重砂异常	与火山岩有关热液型
32	磨坊沟式	燕山期	III-65 胶东(次级隆起)Au-Fe-Mo-菱铁矿-滑石-石墨成矿带		二长闪长质-二长正长质岩石、寒武朱砂洞组白云岩段, 化探异常	与岩浆岩有关热液型
33	化马湾式	前吕梁期	III-65 胶东(次级隆起)Au-Fe-Mo-菱铁矿-滑石-石墨成矿带		太古宙绢英片岩、绢云片岩、二云片岩、糜棱岩, 化探异常	花岗-绿岩型
34	焦家式	燕山期	III-65 胶东(次级隆起)Au-Fe-Mo-菱铁矿-滑石-石墨成矿带		中生代玲珑花岗岩、郭家岭花岗岩闪长岩、北东-北北东向构造, 化探、重砂异常	与岩浆岩有关热液型
35	玲珑式	燕山期	III-65 胶东(次级隆起)Au-Fe-Mo-菱铁矿-滑石-石墨成矿带		中生代玲珑花岗岩、郭家岭花岗岩闪长岩、北东-北北东向构造, 化探、重砂异常	与岩浆岩有关热液型
36	蓬家布式	燕山期	III-65 胶东(次级隆起)Au-Fe-Mo-菱铁矿-滑石-石墨成矿带		盆缘脆性断裂构造-层间滑脱断裂构造, 北东向重力缓梯级带	与岩浆岩有关热液型
37	辽上式	燕山期	III-65 胶东(次级隆起)Au-Fe-Mo-菱铁矿-滑石-石墨成矿带		中生代玲珑花岗岩、古元古代散牛山花岗岩、古元古代荆山群大理岩, 北东向构造, 物化探异常	与岩浆岩有关热液型
38	高庄式	燕山早期	III-66-1 北秦岭 Fe-Cu-Pb-Zn-Ag-Mo-Au-Sb-Nb-Ta-Li-非金属成矿亚带		早古生代二郎坪群细碧-角斑岩建造, 北东向初-脆性剪切带, 激电异常, 化探异常	与岩浆岩有关热液型
39	许窑沟式	燕山中期	III-66-1 北秦岭 Fe-Cu-Pb-Zn-Ag-Mo-Au-Sb-Nb-Ta-Li-非金属成矿亚带		早古生代二郎坪群细碧-角斑岩建造, 燕山期散虎顶花岗岩, 北西西向剪切带	与岩浆岩有关热液型
40	银洞坡式	燕山期	III-66-2 桐柏北部(北秦岭)成矿亚带		早古生代变基性岩, 早白垩世梁湾二长花岗岩, 朱庄背斜倾伏部位, 重磁异常, 化探异常, 遥感异常	与岩浆岩有关热液型
41	老湾式	燕山期	III-66 东秦岭 Fe-Au-Ag-Mo-Cu-Pb-Zn-Sb-非金属成矿带		中元古代龟山岩组斜长角闪片岩、绢云石英片岩、北西西向韧性剪切构造, 燕山期老湾花岗岩体, 重磁异常, 化探异常	与岩浆岩有关热液型
42	祈子堂式	燕山早期	III-66-3 南秦岭 Au-V-金红石-石墨-蓝石棉-虎睛石成矿亚带		早古生代白云石大理岩, 重砂异常, 化探异常	沉积建造型
43	蒲塘式	燕山早期	III-66-3 南秦岭 Au-V-金红石-石墨-蓝石棉-虎睛石成矿亚带		燕山期花岗岩斑岩和隐爆角砾岩体, 化探异常	与火山岩有关热液型
44	金牛山式	燕山期	III-67 桐柏—大别—苏鲁 Au-Ag-Mo-Pb-Zn-Fe-Cu-萤石-金红石-白云母-石墨成矿带		中生代玲珑花岗岩、郭家岭花岗岩闪长岩, 北东-北北东向构造, 化探、重砂异常	与岩浆岩有关热液型

表2 华北地区金矿产地成矿期统计

Table 2 Statistics of metallogenic period of gold deposits in North China

矿产地规模	五台— 吕梁期	华力西期	印支期	燕山期	喜马拉雅期
超大型		1		16	
大型	1	4	1	40	
中型	4	14	4	102	
小型	16	49	15	272	5
矿点	21	16	2	179	5

小秦岭文峪金矿、祁雨沟金矿等均属此类。此外,该成矿期亦常见Mo、W、Cu、Ag、Pb、Zn、Sb、铝土、重晶石、萤石等富集成矿。

(5)喜马拉雅期:为外生金矿主要成矿期。主要成因类型为沉积型金矿,亚类主要有近代冲积地砂金矿、现代洪积砂金矿等。

4.2 金矿空间分布规律

华北地区地域辽阔,出露地层齐全,由于多期次构造运动和频繁的岩浆活动影响,致使本区形成极为复杂的构造格架,特别是华力西期—燕山期大规模的酸性、中酸性岩浆岩广泛分布,是形成金矿产的重要因素。矿床多沿深大断裂带分布,受断裂控制明显。根据其成矿特征可以概括为克拉通区域和弧盆区,各地区受不同的构造演化制约,成矿环境也各有特点。

4.2.1 华北陆块北缘

(1)巴彦花镇—呼和浩特以北—卓资县地区:含金地质体主要为乌拉山岩群黑云角闪斜长片麻岩、黑云二长片麻岩、混合岩夹磁铁石英岩透镜体。受区域深大断裂的次一级构造所派生的容矿断裂带(群)控制,与多期次混合热液作用过程中的钠质和钾质交代密切相关,成矿是在晚期的硅化、钾长石化阶段,成矿时代为印支期—燕山早期的钾长花岗岩脉和石英脉,形成乌拉山式热液型金矿床。

(2)大余太—固阳—武川以东地区—察右中旗:区域上分布新太古界色尔腾山岩群,其原岩建造由中基性火山岩及陆源碎屑岩、碳酸盐岩组成,火山活动提供了金物质来源和沉积环境的变迁形成金的矿源层,经变形变质作用及多期成矿作用形成不同类型的金矿床。新太古代末期至古元古代早期的韧性剪切变形变质带控制形成了新地沟式变质热液型金矿床,燕山早期中粒钾长花岗岩侵入色尔腾山岩群形成

十八顷壕式破碎蚀变岩型金矿。

(3)朱拉扎嘎地区:区域上分布的阿古鲁沟组一段中部为金元素含量较高的变质钙质粉砂岩、变质钙质石英粉砂岩,由于岩石疏松多孔,有利于矿液的运移和储集。新元古代在含矿层附近侵入的隐伏闪长岩体提供了热源,使得金元素在阿古鲁沟组一段中富集成矿,形成朱拉扎嘎式沉积—热液改造型金矿。

(4)乌拉特中旗—达茂旗地区:白云鄂博群在区域上为富铁及贵金属层位。加里东晚期,受构造应力的作用,白云鄂博群褶皱变形,形成紧密的线型褶皱和深大断裂带。华力西期构造作用使该区断裂活动加剧,发生大面积的岩浆侵入。富含金属硫化物的含金成矿热液沿构造断裂通道向上迁移,在比鲁特岩组第一、二岩段,以硫化物—石英细脉的形式沿岩层的片理、层理和裂隙沉淀,富集形成浩尧尔忽洞式层控型金矿;华力西期的“S”型重熔型花岗岩在含金丰度值较高的尖山组中形成赛乌素式热液型层控内生型金矿。

(5)冀东地区:金矿床多受EW向、NNE向深大断裂控制,赋存于遵化—迁西—青龙近东西向太古宙花岗—绿岩带,与中生代中酸性岩体关系密切,集中分布于丰宁—平泉、马兰峪—青龙等地区,产出有多个大中型金矿床,如金厂峪、牛心山、峪耳崖金矿等。按围岩类型可分为3类(朱卫平等,2012):I产于基底太古宙变质岩中的金矿—金厂峪式金矿;II产于中生代花岗岩中的金矿—峪耳崖式金矿;III产于元古宇长城系和蓟县系碳酸盐岩中的金矿—长城式金矿。

(6)冀西、冀南地区:金矿密集分布在小营盘—东坪、大河南—王安镇、灵寿—阜平等地,产出有小营盘、东坪、石湖、柴厂等金矿床。赋矿围岩主要为太古界桑干群的绿岩建造,受NW向深大断裂两侧的次级构造裂隙控制,与华力西期水泉沟二长杂岩体关系密切,具有良好的找矿远景。

4.2.2 大兴安岭弧盆系

(1)白乃庙地区:白乃庙群地层含金丰度值较高,金矿来自基性—中酸性火山岩及其碎屑岩中。海西晚期岩浆活动强烈,受南北向挤压应力作用形成东西向片理化带,受强烈动力变质及热液蚀变作用,形成含金石英脉—破碎蚀变带,在其中形成白乃庙式热液型金矿。

(2)巴音温都尔地区:华力西期—印支期,区域构造活动强烈,挤压应力较强,在大石寨组中形成韧性剪切带,提供了良好的流体通道,是金的运移、沉淀、富集的有利空间,并对金的活化和富集起着热力和动力作用,由于断裂长期多次活动伴随岩浆上侵,金在断裂中运移、富集、沉积成矿,形成巴音温都尔式热液型金矿。

(3)毕力赫—大兴安岭地区:该区域由于古亚洲构造域与环太平洋构造域的叠加、复合和转换,使大兴安岭地区的成矿地质条件优越,成矿期次多、强度大,矿床类型也复杂多样,区域成矿特征十分复杂。燕山期是该区的主要成矿期,晚侏罗世—早白垩世的岩浆、火山活动受北东向、北北东向断裂的控制,在不同地区形成了与岩浆、火山活动有关的不同类型的金矿床:毕力赫式斑岩型金矿床、四五牧场、小伊诺盖沟式热液型金矿床。

4.2.3 额济纳旗—北山弧盆系

在海西晚期岩体的侵入及构造作用下,圆藻山群下岩组大理岩、钙质白云质大理岩,被海西晚期黑云二长花岗岩、斑状二长花岗闪长岩及大量的闪长玢岩脉、斜长花岗斑岩脉等沿近EW向、NW—NNW向断裂侵入,在裂隙及破碎带处形成热液蚀变岩型金多金属矿体,后经长期氧化—淋滤,原生含金硫化物分解,金析出后随流体向下迁移而再次富集,形成次生淋滤富集带,而形成老硐沟式热液—氧化淋滤型金矿;下石炭统白山组由于斜长花岗岩体的侵入形成矿化蚀变带,矿化带中压扭性断裂裂隙发育,沿层间断裂裂隙发生强烈而普遍的蚀变,在蚀变带中多形成三个井式热液型金矿,在同期侵入的石英闪长岩、花岗斑岩内形成碱泉子式岩浆热液型金矿。

4.2.4 胶东隆起区

区内广泛分布前寒武纪变质基底岩系、燕山期多次岩浆侵入岩,以及中生代NNE向、NE向等不同方位、不同序次的断裂构造(于学峰等,2016)。金矿床集中分布于NNE向主干断裂与EW向基底构造带的交汇处,NNE向构造叠置在基底近EW向压性构造体系之上,区域上呈现出南北成列(矿带),东西成行、交汇集中成片(矿田)的金矿分布规律。

在空间分布上,特大型、大型金矿床主要集中于莱州—招远地区的三山岛断裂、焦家断裂、招平断裂,以及栖霞—乳山地区的西林—陡崖断

隆、金牛山断裂;其他规模的金矿床多数分布于燕山晚期郭家岭岩体与玲珑超岩体接触带1~3 km范围内。在招远以南,莱西、平度以北地区,尽管未出露郭家岭超单元的岩体,却有燕山晚期脉岩群分布,金矿产出于玲珑岩体低序次的构造破碎带和栖霞TTG岩系的接触带;牟平、乳山地区金矿多分布于玲珑岩体NE向断裂带之内;栖霞地区金矿则多分布于TTG岩系的NE向脆性断裂构造之中(Song et al.,2021)。

在金矿床类型上,胶西北地区以破碎蚀变岩型金矿床占绝对优势,逐渐向东及同一区域的东北方向,石英脉型金矿逐渐增多,尽管二者往往间或出现,但其规律性较为明显。如在西南部有仓上、三山岛、焦家、寺庄、马塘、夏甸、大尹格庄等众多破碎蚀变岩型金矿,也分布有少量的大庄子、旧店等石英脉型金矿;逐渐向北及向东,多以石英脉型金矿为主,如玲珑、九曲金矿等;再向东至蓬莱、栖霞以及牟平—乳山地区,(硫化物)石英脉型、层间角砾岩型金矿较为发育。

在垂向上,破碎带蚀变岩型金矿类型和石英脉型金矿类型在同一矿床、同一矿体内出现并不常见。近年来,随着金矿深部勘查的深入,在玲珑金矿田深部逐渐呈现“石英脉型—石英脉型+破碎蚀变岩型—破碎蚀变岩型”的转变特征,对探讨胶东金矿床成因和找矿预测模型具有新的指示意义。

4.2.5 鲁西断隆区

鲁西地区矿床的分布受绿岩带、区域韧性剪切带、断裂带和TTG岩系的控制,如李家庄矿点受香山韧性剪切带控制,化马湾金矿、埠洼金矿分别受西南峪韧性剪切带和盘车沟韧性剪切带的控制,岳家庄金矿受关山头断裂及其次级构造的控制等等。沂沭断裂带内金矿床严格受韧性剪切带与绿岩分布范围的限制,金矿体仅分布于绿岩建造和糜棱岩范围,如龙泉站金矿床,矿体仅分布于250 m以浅绿岩建造范围之内,弱片麻状花岗闪长岩侵位的深部未见任何金矿体。同时,鲁西金矿体的分布、赋存受局部有利构造部位控制;如韧性剪切带的膨胀部位,构造片岩带、糜棱岩带、碎裂岩带、蚀变带等,都是矿体赋存的有利部位。此外,部分岩体的接触带往往也有矿体赋存,如TTG岩系与绿岩带残留体的接触带、TTG岩系与中生代侵入岩的接触带等等。

4.2.6 山西断坳区

在山西断坳区,金矿主要分布于受深断裂控制的Ⅱ级大地构造单元的接合部位,及其近旁的构造岩浆岩发育的活动带上,以及集中产于Ⅲ级构造单元的相对隆起坳断之中,如天镇断拱、五台山断拱、中条山断拱、霍山断拱和吕梁山断拱等。区内各类型金矿在空间分布上各有其规律性,其中岩浆热液型金矿的分布规律性相对更为明显,呈现带状、环状分布,格子状布局,以及等距性展布的规律,而在矿田范围内有较明显的水平和垂直分带现象。金矿集中分布在恒山—五台山区、中条山地区和塔尔山—二峰山地区,其地质条件具有下列共同点:①前长城系古老变质岩大面积分布,尤以上太古界绿岩带最为发育;②断裂构造发育,断裂规模较深较大,长期活动、多次活动,应力性质多次变换;③火山活动强烈。其中几个重要类型金矿床分布规律如下:

(1)岩浆热液型:集中分布于古老变质岩系中或其上覆盖层区内;呈带(线)状分布。在金矿集中区(恒山—五台山区、中条山区等)分布有一系列金矿田,金矿(化)多以燕山期次火山杂岩为中心,呈不均匀的星团状集中产出,分布在几组断裂交叉部位,呈现明显带状,大致等间距产出,与燕山期岩浆岩分布格局相一致。

(2)花岗—绿岩带型:主要分布于恒山—五台山地区的东腰庄及康家沟一带,产于五台群变质岩中,与变质岩的空间展布基本一致。

(3)砂金型:主要为近代砂金矿,集中分布于恒山、五台山、中条山区。

4.2.7 华北陆块南缘

区内金矿的成矿特征主要体现在以下方面:(1)金矿集中分布在幔坳区的边缘;(2)金矿对围岩无选择性;(3)金矿区普遍发育燕山期花岗岩体和煌斑岩等基性岩脉;(4)穹隆(式)构造、背斜(形)构造、构造混杂岩带和先存的韧性剪切带是有利的控矿构造;(5)金矿体呈脉状、不规则状赋存于各种脆性断裂或侵入角砾岩中,多期活动的断裂在成矿期往往为正断层性质;(6)围岩蚀变在以铝硅酸盐矿物为主的岩石中表现为硅化、绢云母化、高岭石化,在镁铁质岩石中表现为绿泥石化、绿帘石化等;(7)已获得的成矿年龄数据以中生代为主(陈衍景和富士谷,1992;毛景文等,2000;卢欣祥等,2008)。小

秦岭、熊耳山为该区重要的两个金矿集区,成矿深度大(逾10 km),与剥蚀程度相对低、金矿分布少的崮山相比,深度剥蚀是金矿大规模出露的必要条件。

总体来看,华北地区金矿呈现不同成矿期次、不同类型金矿和不同组合的成矿系列在同一地区相并存的规律。

4.3 华北金矿主要控矿因素

华北地区金矿床控矿要素集中在以下几个方面:(1)金矿集中产出于克拉通边缘、裂谷带及造山带内,具有大陆裂谷、岛弧(火山弧)、活动大陆边缘等构造特征。(2)金矿对围岩无选择性,没有确切的证据表明存在某个特定的矿源层,但含矿地层和岩体中金的克拉克值均具有较高的含量,且标准离差和变异系数都较大。(3)与金矿最为密切相关的岩浆岩主要为燕山期、华力西期、加里东期以及吕梁期中酸性花岗岩类和煌斑岩等基性岩墙或岩脉,如胶东金矿与晚侏罗—早白垩世的玲珑、郭家岭花岗岩密不可分。(4)构造对金矿床的形成至关重要,不同级别的构造对金矿床的控制作用不同。巨型、大型构造控制了金矿床物质(侵入岩体、成矿流体)的运移,大型构造不仅是金矿床的物质运移通道,也是有利的储矿空间,中小型构造一般仅是储矿构造,穹隆(式)构造、背斜(形)构造、构造混杂岩带和先存的韧性剪切带是有利的控矿构造。如郯庐断裂及其主干断裂对金矿床形成起到宏观控制作用,控制了成矿侵入体的来源、分布,控制了金矿床的储矿、控矿构造规模、特征及空间分布等;真正对金矿体的形成、分布及控制的构造是次一级或更次一级的构造系统,如胶西北地区NNE—NE向弧形构造系统、鲁西南铜石地区的NW向构造系统等。此外,韧性剪切构造对花岗—绿岩带型金矿床的形成具有重要控制作用,如金厂峪式金矿、化马湾式金矿等。(5)围岩蚀变在以铝硅酸盐矿物为主的岩石中表现为硅化、黄铁绢英岩化、高岭土化等,在基性岩石中表现绿泥石化、绿帘石化等。上述特征因素基本控制了华北地区金矿床的时空分布规律和产出特征,是探讨华北地区金成矿作用特征和成矿规律的基本要素。

4.4 华北克拉通演化与金成矿作用

华北克拉通作为全球最古老的陆核之一,不仅保留了前寒武纪克拉通演化的重要记录,也经历了中生代至早新生代克拉通的重大破坏(赵越等,

2017; Zhu and Xu, 2019; 杨帆, 2019; 相振群等, 2020), 是金矿床发育最为重要的地质背景, 其中关键演化期有: (1) 新太古代的地壳增生期。该时期为火山-沉积作用阶段, 大量的金质从地幔的深处, 随同超基性-基性火山作用一起喷出地表, 形成原始的含金建造, 出现局部的富集地段, 为形成金矿床提供了一定的金的物质来源, 其中较为重要的岩石组合为超镁铁质-镁铁质火山岩、条带状铁建造、含炭质的泥质岩和某些安山质-长英质火山岩。在构造岩浆活动的晚期阶段, 受剪切带或断裂的控制, 并伴随着线型的退变质作用, 形成构造晚期的

脉状和细脉浸染状金矿床。(2) 元古宙陆块碰撞后的剪切作用和旋转运动, 产生大量韧性剪切变形带, 对金的富集具有重要作用, 局部形成较贫的鲁西、冀东、冀北以及内蒙古大青山等地的花岗-绿岩型金矿床。与此同时, 鲁东地区也发生大量褶皱和韧性剪切变形构造, 形成褶皱造山带, 形成的规模及对金成矿的控制不及鲁西地区。(3) 加里东期及晚华力西期, 伴随着古亚洲洋的伸展、闭合, 在华北陆块北缘形成了一系列岩浆热液型金矿床, 多分布于深大断裂的两侧, 受其次级断裂的影响, 形成脉状、不规则状矿体。(4) 燕山期为华北地区最重要的

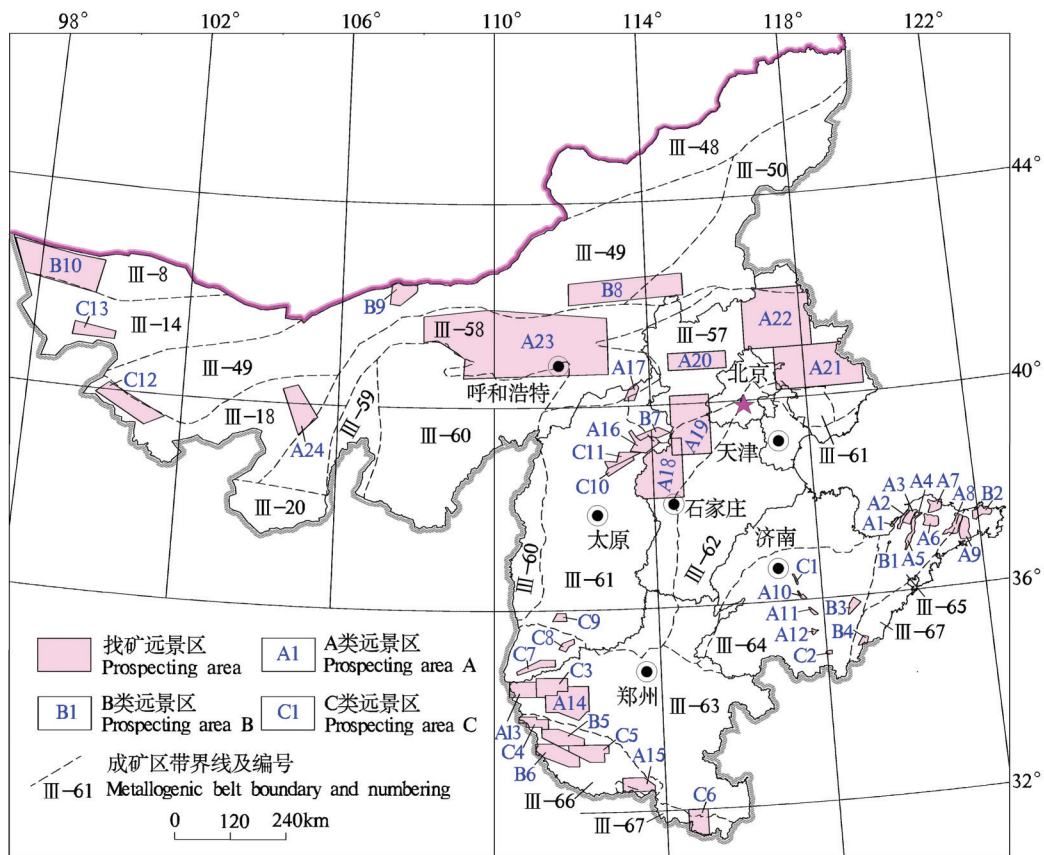


图2 华北地区金找矿远景区分布图(远景区编号同表3)

III-8 觉罗塔格-黑鹰山成矿带; III-14 磁海-公婆泉成矿带; III-18 阿拉善成矿亚带; III-20 河西走廊成矿带; III-48 东乌珠穆沁旗-嫩江成矿带; III-49 白乃庙-锡林郭勒成矿带; III-50 突泉-翁牛特成矿带; III-57 华北陆块北缘东段成矿带; III-58 华北陆块北缘西段成矿带; III-59 鄂尔多斯西缘成矿带; III-60 鄂尔多斯成矿带; III-61 山西成矿带; III-62 华北盆地成矿带; III-63 华北陆块南缘成矿带; III-64 鲁西成矿带; III-65 胶东成矿带; III-66 东秦岭成矿带; III-67 桐柏-大别-苏鲁成矿带

Fig.2 Map of distribution for Au prospecting prospect in North China

III-8 Jueluotage-Heiyingshan metallogenic belt; III-14 Cihai-Gongpoquan metallogenic belt; III-18 Alashan metallogenic subzone; III-20 Hexi Corridor metallogenic belt; III-48 Dongwuzhumuqin-Nenjiang metallogenic belt; III-49 Bainaimiao-Xilinguole metallogenic belt; III-50 Tuquan-Wengniute metallogenic belt; III-57 The eastern part of the northern margin of North China block; III-58 The western part of the northern margin of North China block; III-59 Western margin of Ordos metallogenic belt; III-60 Ordos metallogenic belt; III-61 Shanxi metallogenic belt; III-62 North China Basin metallogenic belt; III-63 The southern margin of North China block; III-64 Western Shandong metallogenic belt; III-65 Jiaodong metallogenic belt; III-66 East Qinling metallogenic belt; III-67 Tongbai-Dabie-Sulu metallogenic belt

表3 华北地区金找矿远景区划分

Table 3 List of gold prospecting prospect areas in North China

编号	远景区名称	类别	主攻矿床类型	代表性矿床(点)
A1	仓上一三山岛远景区	A	与岩浆岩有关热液型	仓上、三山岛
A2	焦家—金城远景区	A	与岩浆岩有关热液型	焦家、金城
A3	蚕庄—金岭远景区	A	与岩浆岩有关热液型	灵山沟、金岭
A4	玲珑远景区	A	与岩浆岩有关热液型	玲珑
A5	招平远景区	A	与岩浆岩有关热液型	大尹格庄、夏甸
A6	栖霞远景区	A	与岩浆岩有关热液型	马家窑
A7	蓬莱南部远景区	A	与岩浆岩有关热液型	大柳行、掩口
A8	牟平—即墨远景区	A	与岩浆岩有关热液型	辽上、郭城
A9	牟平—乳山远景区	A	与岩浆岩有关热液型	金青顶、邓格庄
A10	化马湾—旧关远景区	A	花岗—绿岩型	化马湾
A11	岳家庄—埠洼远景区	A	花岗—绿岩型	岳家庄
A12	平邑铜石南部远景区	A	与火山岩、岩浆岩有关热液型	归来庄、磨坊沟
A13	小秦岭远景区	A	与岩浆岩有关热液型	小秦岭金矿田
A14	熊耳山远景区	A	与火山岩有关热液型	祈雨沟金矿
A15	桐柏北部远景区	A	与岩浆岩有关热液型	银洞坡金矿
A16	义兴寨远景区	A	与岩浆岩有关热液型	义兴寨金矿
A17	阳高远景区	A	与岩浆岩有关热液型	阳高堡子湾金矿
A18	阜平远景区	A	与岩浆岩有关热液型	石湖
A19	涞易远景区	A	与岩浆岩有关热液型	孔各庄
A20	张家口远景区	A	与岩浆岩有关热液型	东坪
A21	遵化宽城远景区	A	与岩浆岩有关热液型、花岗—绿岩型	金厂峪
A22	围场远景区	A	与岩浆岩有关热液型、花岗—绿岩型	大营子
A23	十八顷壕—乌拉山远景区	A	与岩浆岩有关热液型	十八顷壕、乌拉山
A24	朱拉扎嘎远景区	A	沉积建造型	朱拉扎嘎
B1	平度黑羊山远景区	B	与岩浆岩有关热液型	大庄子
B2	威海—荣成远景区	B	与岩浆岩有关热液型	范家埠
B3	龙泉站—南小尧远景区	B	与岩浆岩有关热液型	龙泉站、南小尧
B4	莒县南部远景区	B	与岩浆岩有关热液型	东书院
B5	米坪—夏馆远景区	B	与岩浆岩有关热液型	许窑沟
B6	西峡远景区	B	与岩浆岩有关热液型	蒲塘
B7	料堰远景区	B	砂金型	料堰
B8	白乃庙—毕力赫远景区	B	与火山岩有关热液型	白乃庙
B9	巴音杭盖远景区	B	与岩浆岩有关热液型	巴音杭盖
B10	三个井远景区	B	与岩浆岩有关热液型	三个井
C1	莱芜大槐树远景区	C	与岩浆岩有关热液型	李家庄
C2	苍山龙宝山远景区	C	与岩浆岩有关热液型	龙宝山
C3	崮山远景区	C	与岩浆岩有关热液型	半宽
C4	卢氏南部远景区	C	与岩浆岩有关热液型	石门
C5	镇平北部远景区	C	沉积建造型	祈子堂
C6	周党—新县远景区	C	与岩浆岩有关热液型	凉亭
C7	盐湖远景区	C	与岩浆岩有关热液型	盐湖
C8	垣曲远景区	C	砂金型	忘仙
C9	襄汾—浮县远景区	C	与岩浆岩有关热液型	尧都、襄汾
C10	五台远景区	C	花岗—绿岩型	李家寨
C11	代县远景区	C	花岗—绿岩型	小板峪
C12	碱泉子远景区	C	与岩浆岩有关热液型	碱泉子
C13	老硐沟远景区	C	与岩浆岩有关热液型	老硐沟

金矿爆发期,受燕山期造山运动及环太平洋构造—岩浆活动影响,深部含金热液进一步活化,中酸性含矿岩浆沿断裂带上升,构成燕山早期第一次金成矿作用,形成了多条岩浆热液型金矿带。(5)白垩纪由于太平洋板块对欧亚板块由NW向转为NNW俯冲,导致郯庐断裂发生大幅度左行平移,断裂两侧伴生形成大量次级断裂,构成羽状、棋盘格状断裂系统和多层次拆离滑脱构造系统,发育了与岩石圈减薄有关的大规模岩浆作用,在110~125 Ma左右胶东半岛发生了大规模金成矿事件,形成一系列岩浆热液型、火山岩型金矿床。

5 金矿资源潜力与找矿方向

华北是中国重要的黄金生产基地,探明储量约占全国的50%^①,金矿资源丰富、类型多样、分布广泛,具备优越的成矿条件和找矿前景。依据华北已知金矿床分布、与金矿有关的重要物化探异常、成矿地质条件等要素,在全区划分出47个重要金找矿远景区(图2,表3),集中分布于阿拉善、十八顷壕—乌拉山、白乃庙—毕力赫、冀东、冀西北、五台—太行、胶东、鲁西、小秦岭—熊耳山,以及卢氏—桐柏北等成矿有利地段。

目前,华北地区金矿找矿方向集中在已知矿床的边部、外围及深部、工作程度较低的中西部地区、以及新类型金矿床的找寻等方面(山西省地质调查院^②,2013;内蒙古自治区地质调查院^③,2013;彭翼等,2015;任树祥等,2015;倪振平等,2016),金矿床的勘探开发深度集中在1000 m以浅,而3000 m以浅区段的资源潜力尚不明朗。近年来,随着勘查技术水平的不断提升,胶东等重要矿集区金矿深部勘查取得了显著成效,尤其是地质、物化探、遥感、深部钻探、三维建模等方法组合的综合运用,成为实现金矿找矿突破的重要手段。因此,在重要成矿区带、矿集区加强金矿深部勘查,完善三维地质结构与预测模型,评价深部与外围资源潜力,是支撑和丰富国家级黄金资源基地建设的有效途径。华北地区金矿找矿依然大有可为,而提升深部资源勘查能力和规律认识是关键。

6 结 论

(1)华北地区金矿类型多样,内生、外生、变质

金矿兼具,岩金、砂金、伴生金矿并存,总体呈现不同成矿期次、不同类型、不同组合的成矿系列在同一地区相并存的规律。

(2)从矿床成因角度,华北地区金矿可划分为花岗—绿岩型、火山岩型、岩浆热液型、变质碎屑岩中热液型、砂金型和风化壳型等6大类型;从矿产预测角度,可划分为44个主要预测类型,其中与岩浆岩有关、与火山岩有关、与沉积建造有关的金矿类型最为重要。

(3)根据金矿演化规律,华北地区金成矿期可划分为五台—吕梁期、华力西期、印支期、燕山期、喜马拉雅期等5个主要阶段,燕山期为金矿爆发期。

(4)华北克拉通演化构成了金成矿作用最重要的地质背景,各地区受不同的构造演化制约,成矿环境也各有特点;金矿集中产出于华北克拉通边缘、裂谷带及造山带内,具有大陆裂谷、岛弧(火山弧)、活动大陆边缘等构造特征;多期次构造运动和频繁的岩浆活动,特别是华力西期—燕山期大规模的酸性、中酸性岩浆活动,是金矿床形成的重要控制因素。

(5)华北地区金找矿方向集中在已知金矿床的边部、外围及深部,资源潜力巨大。在华北金矿资源禀赋、矿床类型、时空特征、控矿因素、成矿演化、资源潜力等要素分析基础上,在全区划分出47处重要找矿远景区。

致谢: 本文是“华北地区矿产资源潜力评价”项目组集体劳动的成果,在此对项目组全体成员致以诚挚的敬意,对工作中给予大力支持的各省级地勘单位、科研院所致以衷心感谢。

注释

- ① 国土资源部. 2016. 全国矿产资源规划(2016—2020)[R].
- ② 中国地质调查局发展研究中心. 2016. 全国找矿突破战略行动五年阶段性目标评估报告[R].
- ③ 中国地质调查局天津地质调查中心. 2013. 华北地区重要矿种区域成矿规律研究成果报告[R].
- ④ 中国地质调查局天津地质调查中心. 2013. 华北地区重要矿种区域成矿预测研究成果报告[R].
- ⑤ 自然资源部. 2019. 中国矿产资源报告[R].
- ⑥ 山西省地质调查院. 2013. 山西省重要矿种区域成矿规律与矿产预测成果报告[R].
- ⑦ 内蒙古自治区地质调查院. 2013. 内蒙古自治区重要矿种区域成矿规律研究报告[R].

References

- Cao Yuehuai, Dong Fangling, Xu Qingfeng, Cheng Shule. 2010. Study on geological characteristics and genesis of Sanhe gold deposit in Luanchuan, Henan[J]. *Mineral Resources and Geology*, 24(5):414–418(in Chinese with English abstract).
- Chen Yanjin, Franco Pirajno, Lai Yong, Li Chao. 2004. Metallogenic time and tectonic Setting of the Jiaodong gold province Eastern China [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 20(4): 907–922(in Chinese with English abstract).
- Chen Yanjing, Fu Shigu. 1992. *Metallogenic Regularity of Gold Deposits in Western Henan*[M]. Beijing: Seismological Press, 72–155 (in Chinese).
- Chen Yanjing. 2010. Indosinian tectonic setting, magmatism and metallogenesis in Qinling Orogen, central China[J]. *Geology in China*, 37(4): 854–865(in Chinese with English abstract).
- Chen Yuchuan, Wang Denghong, Xu Zhigang. 2015. The Important Minerals and Regional Metallogenic Regularity in China[M]. Beijing: Geological Press, 118–137 (in Chinese).
- David I Groves, Santosh M. 2016. The giant Jiaodong gold province: The key to a unified model for orogenic gold deposits? [J]. *Geoscience Frontiers*, 7: 409–417.
- Deng Jun, Wang Changming, Leon Bagas, Santosh M, Enya Yaoa. 2018. Crustal architecture and metallogenesis in the south–eastern North China Craton[J]. *Earth–Science Reviews*, 182:251–272.
- Ding Zhengjiang, Sun Fengyue, Liu Fulai, Liu Jianhui, Peng Qiming, Ji Pan, Li Bile, Zhang Pijian. 2015. Mesozoic geodynamic evolution and metallogenic series of major metal deposits in Jiaodong Peninsula, China[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 31(10): 3045–3080 (in Chinese with English abstract).
- Fan Hongrui, Fengkai, Li Xinghui, Hu Fangfang, Yang Kuifeng. 2016. Mesozoic gold mineralization in the Jiaodong and Korean Peninsulas[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 32(10): 3225–3238(in Chinese with English abstract).
- Fan Hongrui, Hu Fangfang, Yang Jinhui, Shen Kun, Zhai Mingguo. 2005. Fluid evolution and large–scale gold metallogeny during Mesozoic tectonic transition in the eastern Shandong Province[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 21(5):1317–1328(in Chinese with English abstract).
- Ge Liangsheng, Zhang Wenzhao, Qing Min, Hao Baiwu. 2012. Geological Characteristics and Genesis of Intrusion–related Bilihe Large Gold Deposit, Inner Mongolia[J]. *Gold Science and Technology*, 20(5):1–15(in Chinese with English abstract).
- Goldfarb R J, Groves D I, Gardoll S. 2001. Orogenic gold and geologic time: A global synthesis [J]. *Ore Geology Reviews*, 18(1): 1–75.
- Groves D I, Santosh M, Deng J, Wang Q F, Yang L Q, Zhang L. 2019. A holistic model for the origin of orogenic gold deposits and its implications for exploration [J]. *Mineralium Deposita*, 1–18.
- Guo Shaofeng, Tang Zhongli, Luo Zhaohua, Zhao Wenhao. 2009. Zircon SHRIMP U–Pb dating and geological significance from granite bodies in Tangzhangzi and Niuxinshan, eastern Hebei Province, China[J]. *Geological Bulletin of China*, 28(10):1458–1464(in Chinese with English abstract).
- Hao Baiwu. 2011. *Tectonic Magmatic Evolution and Gold Mineralization in Hadamiao Area, Inner Mongolia*[D]. Kunming: Kunming University of Science and Technology, 1–99(in Chinese with English abstract).
- Hu Fangfang, Wang Yong, Fan Hongrui, Zheng Xiaoli, Jiao Peng. 2010. Geochronology and ore–forming fluids in the Jinchang skarn goldcopper deposit, Yinan County, western Shandong Province[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 26(5): 1503–1511(in Chinese with English abstract).
- Li Guohua, Ding Zhengjiang, Song Mingchun, Li Junjian, Li Xiuzhang, Ji Pan, Zhang Pijian, Wang Zhixin. 2017. The Liaoshang Pyrite–carbonate Veined Deposit: A new type of gold deposit in Jiaodong peninsula[J]. *Acta Geoscientia Sinica*, 38(3):423–429(in Chinese with English abstract).
- Li Hongkui, Geng Ke, Li Yifan, Zhuo Chuanyuan. 2011. Zircon SHRIMP U–Pb age of Tongjing gold deposit in Yinan County, Shandong and its geological significance[J]. *Mineral Deposits*, 30(3):497–503(in Chinese with English abstract).
- Li Hongkui, Shi Wenge, Li Yifan, Li Luyi, Han Daicheng, Cao Lili, Liu Jimei. 2013. Study on Gold Mineralization Ages in Jiaodong Area, Shandong Province[J]. *Gold Science and Technology*, 21(3): 1–9(in Chinese with English abstract).
- Li Junjian, Dang Zhicai, Fu Chao, Xiao Keyan, Ding Jianhua, Zhao Zelin, Ren Shuxiang, Hou Zhanguo, Fang Tongming, Yang Junquan, Li Lei. 2016. Geological characteristics and mineral resource potential of the Jin–Ji Al–Fe–Au–Pb–Zn–Ag–Cu–Coal metallogenic belt in the North China Block[J]. *Acta Geologica Sinica*, 90(7):1482–1503(in Chinese with English abstract).
- Li Junjian, He Yuliang, Fu Chao, Zhang Yanqi, Peng Yi, Cui Laiyun, Zhao Zelin, Dang Zhicai, Zeng Xianyou, Wang Jizhong, Li Zhongming, Chen Anshu, Yang Junquan, Li Lei. 2016. Geological characteristics and mineral resource potential of the Yuxi Au–Mo–W–Pb–Zn–Ag–Fe–Bauxite–Graphite metallogenic belt in Western Henan[J]. *Acta Geologica Sinica*, 90(7):1504–1524(in Chinese with English abstract).
- Li Junjian, Luo Zhen kuan, Liu Xiaoyang, Xu Weidong, Luo Hui. 2005. Geodynamic setting for formation of large–superlarge gold deposits and Mesozoic granites in Jiaodong area[J]. *Mineral Deposits*, 24(4):361–372(in Chinese with English abstract).
- Li Junjian, Zhai Yusheng, Yang Yongqiang, Wang Yanbin, Li Chengdong, Cui Laiwang, Zhou Hongying, Liu Xiaoyang, Li Xiaoxue, Li Sheng. 2010. Re–discussion on the metallogenic age of Zhulazhaga gold deposit in Alashan Area, Inner Mongolia: Evidence from zircon U–Pb SHRIMP age[J]. *Earth Science*

- Frontiers,17(2):178–184(in Chinese with English abstract).
- Li Junjian, Zhang Pengpeng, Li Guohua, Liu Wengang, Zhao Zhelin, Li Xiuzhang, Ding Zhengjiang, Fu Chao, Tang Wenlong, Dang Zhicai, Tian Jiepeng. 2020. Formation of the Liaoshang gold deposit, Jiaodong Peninsula, eastern China: Evidence from geochronology and geochemistry[J]. Geological Journal, 55(8): 5903–5913.
- Li Junjian, Zhou Xuewu, Shen Baofeng, Hu Fengxiang, Sang Haiqing, Liu Xiaoyang, Wang Jianmin, Li Tiejun. 2005. Metallogenic age of the Xindigou greenstone belt–type gold deposit in the Daqingshan area, Central Inner Mongolia[J].Geology and Prospecting, 41(5):1–4(in Chinese with English abstract).
- Li Lin, Santosh M, Li Shengrong. 2015. The “Jiaodong type” gold deposits: Characteristics, origin and prospecting[J]. Ore Geology Reviews, 65: 589–611.
- Liao Mingwei, Chen Yuhan, Xie Junmin. 2014. Geological characteristics and deep gold prospecting of Hushan–Xidouya gold deposit in Qixia city of Shandong Province[J]. Land and Resources in Shandong Province, 30(4): 21–26(in Chinese with English abstract).
- Lin Jingqian, Tan Dongjuan, Jin Ye. 1996. 40Ar/39Ar ages of Mesozoic igneous activities in Western Shandong[J].Acta Petrologica et Mineralogica, 15(3): 22–29(in Chinese with English abstract).
- Liu Youmei, Yang Weihua.1996.Metallogenic model and prospecting direction of metamorphic clastic rock type gold deposits[J]. Geology and Geochemistry, (1):25–30(in Chinese with English abstract).
- Lü Guxian, Li Hongkui, Ding Zhengjiang, Han Fangfa, Li Bohui.2016. Hydrothermal alteration metallogenesis in the determination zone of a “magmatic core complex” upheaval–detachment structure, Jiaodong[J]. Geoscience, 30(2): 247–262(in Chinese with English abstract).
- Lu Xinxiang, Li Mingli, Wang Wei, Yu Zaiping, Shi Yongzhi.2008. Indosinian movement and metallogenesis in Qinling orogenic belt[J]. Mineral Deposits, 27(6): 762–773(in Chinese with English abstract).
- Lu Yinghuai, Li Wenbo, Lai Yong. 2009. Time and tectonic setting of hosting porphyry of the Hadamiao gold deposit in Xianghuangxi, Inner Mongolia[J]. Acta Petrologica Sinica, 25(10): 2615–2620(in Chinese with English abstract).
- Mao Jingwen, Wang Zhiliang.2000.A preliminary study on time limits and geodynamic setting of large–scale metallogeny in East China[J]. Mineral Deposits, 19(4): 289–296(in Chinese with English abstract).
- Mao Jingwen, Zhang Zuoheng, Yu Jinjie, Wang Yitian, Niu Baogui.2003.Geodynamic background of Mesozoic large scale mineralization in North China and its adjacent areas: implications from precise dating of metal deposits[J]. Sciencein China(Series D), 33(4): 289–299(in Chinese with English abstract).
- Ni Zhenping, Tian Jingxiang, Wang Laiming, Li Qingping. 2016. Regional Metallogenic Regularity of Important Mineral Resources in Shandong Province[M]. Jinan: Shandong Science and Technology Press,1–440 (in Chinese).
- Peng Yi, He Yuliang. 2015. Regional Metallogenic Regularity in Henan Province[M]. Wuhan: China University of Geosciences Press,1–341 (in Chinese).
- Qi Nan, Wang Pin, Yu Jie, Chen YanJing. 2019. Geochronology and origin of the Qi189 porphyry gold deposit in Qiyugou Orefield, Qinling Orogen, China[J]. Ore Geology Reviews,114:1–16.
- Qiu Y M, Groves D I, McNaughton N G, Wang L G, Zhou T H. 2002. Nature, age and tectonic setting of granitoid–hosted, orogenic gold deposits of the Jiaodong Peninsula, eastern North China Craton, China[J]. Mineralium Deposita, 37(3/4):283–305.
- Ren Shuxiang, Zhang Desheng, Song Lijun. 2015.Study on Regional Metallogenic Regularity in Hebei Province[M]. Wuhan: China University of Geosciences Press,1–206 (in Chinese).
- Shen Baofeng, Mao Debao, Li Junjian. 1997.Type and geological character of Chinese greenstone belts gold deposits[J]. Progress in Precambrian Research, 20(4):1–12(in Chinese with English abstract).
- Song Mingchun, Li Sanzhong, M. Santosh, Zhao Shujuan, Yu Shan, Yi Peihou, Cui Shuxue, Lü Guxian, Xu Junxiang, Song Yingxin, Zhou Mingling. 2015. Types, characteristics and metallogenesis of gold deposits in the Jiaodong Peninsula, Eastern North China Craton[J]. Ore Geology Reviews. 65:612–625.
- Song Mingchun, Lin Shaoyi, Yang Liqiang, Song Yingxin, Ding Zhengjiang, Li Jie, Li Shiyong, Zhou Mingling.2020.Metallogenic model of Jiaodong Peninsula gold deposits[J].Mineral Deposits,39 (2):215–236(in Chinese with English abstract).
- Song Mingchun, Song Yingxin, Ding Zhengjiang, Li Shiyong.2018. Jiaodong gold deposits: Essential characteristics and major controversy[J].Gold Science and Technology, 26(4): 406–422(in Chinese with English abstract).
- Song Mingchun, Song Yingxin, Ding Zhengjiang, Wei Xufeng, Sun Shaoli, Song Guozheng, Zhang Junjin, Zhang Pijian, Wang Yongguo. 2019. The discovery of the Jiaojia and the Sanshandao giant gold depositsin Jiaodong Peninsula and discussion on the relevant issues[J]. Geotectonica et Metallogenia, 43(1): 92–110(in Chinese with English abstract).
- Song Mingchun. 2015.The main achievements and key theory and methods of deep–seated prospecting in the Jiaodong gold concentration area, Shandong Province[J]. Geological Bulletin of China, 2015, 34(9): 1758–1771(in Chinese with English abstract).
- Song Mingchun, Ding Zhengjiang, Zhang Junjin, Song Yingxin, Bo Junwei, Wang Yuqun, Liu Hongbo, Li Shiyong, Li Jie, Li Ruixiang, Wang Bin, Liu Xiangdong, Zhang Liangliang, Dong Leilei, Li Jian, He Chunyan, 2021. Geology and mineralization of the Sanshandao

- supergiant gold deposit (1200 t) in the Jiaodong Peninsula, China: A review, *China Geology*, 4: 686–719. doi: 10.31035/2021070.
- Song Yang, Jiang Sihong, Bagas Leon, Li Chao, Hu Jianzhong, Zhang Qing, Zhou Wei, Ding Haiyang. 2016. The geology and geochemistry of Jinchangyu gold deposit, North China Craton: Implications for metallogenesis and geodynamic setting[J]. *Ore Geology Reviews*, 73: 313–329.
- Song Yang, Wang Ruijiang, Nie Fengjun, Hu Jianzhong, Shi Chenglong, Zhang Song. 2011. The discovery of the Indosinian metallogenesis in the Jinchangyu gold deposit and its geological significance [J]. *Acta Geoscientica Sinica*, 32(1): 125–128(in Chinese with English abstract).
- Song Yingxin, Song Mingchun, Ding Zhengjiang, Wei Xufeng, Xu Shaohui, Li Jie, Tan Xianfeng, Li Shiyong, Zhang Zhaolu, Jiao Xiumei, Hu Hong, Cao Jia. 2017. Major advances on deep prospecting in Jiaodong gold ore cluster and its metallogenic characteristics[J]. *Gold Science and Technology*, 25(3): 4–18(in Chinese with English abstract).
- Sun Yulong, Yin Guopeng, Qiu Jieling, Wang Xueqian, Tang Junzhi. 2011. Study on mineralization genesis and ore-searching direction of the Liaoshang gold deposit in eastern Shandong Province[J]. *Geology and Exploration*, 47(2): 209–215(in Chinese with English abstract).
- Tan Jun, Wei Junhao, He Huaiyu, Su Fei, Li Yanjun, Fu Lebing, Zhao Shaoqing, Xiao Guangling, Zhang Fei, Xu Jiafu, Liu Yan, Finlay M Stuart, Zhu Rixiang. 2018. Noble gases in pyrites from the Guocheng–Liaoshang gold belt in the Jiaodong Province: Evidence for a mantle source of gold [J]. *Chemical Geology*, 480: 105–115.
- Tan Jun, Wei Junhao, Li Yanjun, Fu Lebing, Li Hongmei, Shi Wenjie, Tian Ning. 2015. Origin and geodynamic significance of fault-hosted massive sulfide gold deposits from the Guocheng–Liaoshang metallogenic belt, eastern Jiaodong Peninsula: Rb–Sr dating, and H–O–S–Pb isotopic constraints[J]. *Ore Geology Reviews*, 65: 687–700.
- Tian Jingxiang, Li Xiuzhang, Song Zhiyong, Li Handong, Huang Yongbo, Zhu Decheng. 2015. Environment, formation age and material sources of Mesozoic gold deposits in Western Shandong: A Synthesis[J]. *Acta Geologica Sinica*, 89(8): 1530–1537(in Chinese with English abstract).
- Wang Chenghui, Xu Yu, Huang Fan, Chen Zhenghui, Ying Lijuan, Liu Shanbao. 2014. Resources characteristics and outline regional metallogeny of gold deposits in China[J]. *Acta Geologica Sinica*, 88(12): 2315–2325(in Chinese with English abstract).
- Wang Xiuzhang, Cheng Jingping, Liang Huaying, Xia Ping, Shan Qiang. 1995. Three stage metallogenic model for gold deposits of metamorphic fine–clastic rock type[J]. *Mineral Deposits*, 14(4): 322–328(in Chinese with English abstract).
- Wang Yiwen, Zhu Fengsan, Gong Runtan. 2002. Study on the metallogenic chronology of gold deposits in Jiaodong gold concentration zone[J]. *Gold Geology*, 8(4): 48–55(in Chinese with English abstract).
- Wang Yong, Fan Hongrui, Hu Fangfang, Lan Tingguang, Jiao Peng, Wang Shiping. 2011. Zircon U–Pb ages and geochemistry of elements and isotopes of the diorite from Tongjing, Yinan, western Shandong Province[J]. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 30(4): 553–566(in Chinese with English abstract).
- Xiang Zhenqun, Lu Songnian, Li Huaikun, Tian Hui, Liu Huan, Zhang Kuo. 2020. Mesoproterozoic magmatic events in the North China Craton Xiang [J]. *Geological Survey and Research*, 43(2): 137–152 (in Chinese with English abstract).
- Yang Fan. 2019. Mesozoic Cenozoic Magmatism and Thermal Evolution of the North China Craton[D]. Beijing: China University of Geosciences, 1–334 (in Chinese with English abstract).
- Yang Jinhui, Zhou Xinhua. 2000. The age and metallogenic age of Rb–Sr isochronic lines of Linglong gold ore and gold bearing minerals in Jiaodong area[J]. *Chinese Science Bulletin*, 15(14): 1547–1553 (in Chinese with English abstract).
- Yang Liqiang, Deng Jun, Guo Ruipeng, Guo Linnan, Wang Zhongliang, Chen Binghan, Wang Xudong. 2016. World-class Xincheng gold deposit: An example from the giant Jiaodong gold province[J]. *Geoscience Frontiers*, 7: 419–430.
- Yang Liqiang, Deng Jun, Wang Zhongliang, Zhang Liang, Guo Linnan, Song Mingchun, Zheng Xiaoli. 2014. Mesozoic gold metallogenic system of the Jiaodong gold province, eastern China[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 30(9): 2447–2467(in Chinese with English abstract).
- Yang Liqiang, Deng Jun, Wang Zhongliang, Zhang Liang, Richard J. Goldfarb, Yuan Wanming, Roberto F. Weinberg, Zhang Ruizhong. 2016. Thermochronologic constraints on evolution of the Linglong Metamorphic Core Complex and implications for gold mineralization: A case study from the Xiadian gold deposit, Jiaodong Peninsula, Eastern China[J]. *Ore Geology Reviews*, 72: 165–178.
- Yang Mengmeng. 2018. Geological Features and Metallogenic regularity of the gold deposit in Hawagou, Quwo country, Shanxi province[J]. *Geological Survey and Research*, 41(2): 102–107(in Chinese with English abstract).
- Yu Xuefeng, Song Mingchun, Li Dapeng, Tian Jingxiang, Wang Laiming. 2016. Breakthroughs and prospect of gold deposits in Shandong Province[J]. *Acta Geologica Sinica*, 90(10): 2847–2862 (in Chinese with English abstract).
- Yu Xuefeng, Yang Deping, Li Dapeng, Shan Wei, Xiong Yuxin, Chi Naijie, Liu Pengrui, Yu Leiheng. 2019. Mineralization characteristics and geological significance in 3000 m depth of Jiaojia gold metallogenic belt, Jiaodong Peninsula[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 35(9): 2893–2910(in Chinese with English abstract).

- Yu Xuefeng. 2010. Metallogenic Regularity and Prospecting Direction of Gold Deposits in Guihuizhuang Orefield, Pingyi, Shandong Province[D]. Jinan: Shandong University of Science and Technology, 1-222(in Chinese with English abstract).
- Zhai Mingguo, Fan Hongrui, Yang Jinhui, Miao Laicheng. 2004. Large-scale cluster of gold deposits in East Shandong: Anorogenic Metallogenesis[J]. *Earth Science Frontiers*, 11(1): 85-98(in Chinese with English abstract).
- Zhang Lianchang, Liu Tiebing, Shen Yuanchao, Zeng Qingdong, Li Guanming. 2003. Structure, isotopes, and $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ dating of the Pengjiakuang gold deposit, Mesozoic Jiaolai basin, eastern China[J]. *International Geology Review*, 45(8): 691-711.
- Zhang Pijian, Liu Dianhao, Li Guohua, Ding Zhengjiang, Li Yong, Yang Guofu, Li Ping. 2015. Gold metallogenic features and prospecting in the margin of the Mesozoic Basins, Jiaodong Peninsula[J]. *Geological Survey and Research*, 38(4): 273-276, 283(in Chinese with English abstract).
- Zhao Yue, Zhai Mingguo, Chen Hong, Zhang Shuanhong. 2017. Paleozoic-early Jurassic tectonic evolution of North China Craton and its adjacent orogenic belts[J]. *Geology in China*, 44(1): 44-60 (in Chinese with English abstract).
- Zhou T H, Lu G X. 2000. Tectonics, granitoids and mesozoic gold deposits in east Shandong, China[J]. *Ore Geology Reviews*, 16(1/2): 71-90.
- Zhu Fengsan. 1980. Preliminary study on metallogenesis of migmatitic-hydrothermal gold deposits: Taking gold deposits in Zhaoye area as an example[J]. *Geology and Prospecting*, (7): 1-10 (in Chinese with English abstract).
- Zhu Jin. 2014. Metallogenic Age, Genetic Model and Prospecting of Guihuizhuang Cryptoexplosive Breccia Type Gold Deposit in Pingyi County, Shandong Province[D]. Beijing: China University of Geosciences, 1-78 (in Chinese with English abstract).
- Zhu Pingping. 2017. Metallogenic Potential of Magmatic Related Gold Deposits in Daxinganling area[D]. Wuhan: China University of Geosciences, 1-212(in Chinese with English abstract).
- Zhu Rixiang, Fan Hongrui, Li Jianwei, Meng Qingren, Li Shengrong, Zeng Qingdong. 2015. Decratonic gold deposits[J]. *Science China: Earth Sciences*, 45(8): 1153-1168(in Chinese).
- Zhu Rixiang, Xu Yigang. 2019. The subduction of the west Pacific plate and the destruction of the North China Craton[J]. *Science China(Earth Sciences)*, 62(9): 1340-1350(in Chinese).
- Zhu Weiping, Xu Luping, Zhang Wan, Li Yinghui, Zhao Baimin, Tong Jing, Wang Yan. 2012. Main mineral types and their distribution in Eastern Hebei Province[J]. *Mineral Deposits*, 31(S1): 85-86(in Chinese with English abstract).
- 陈衍景, Franco PIRAJNO, 赖勇, 李超. 2004. 胶东矿集区大规模成矿时间和构造环境[J]. *岩石学报*, 20(4): 907-922.
- 陈衍景, 富士谷. 1992. 豫西金矿成矿规律[M]. 北京: 地震出版社, 72-155.
- 陈衍景. 2010. 秦岭印支期构造背景、岩浆活动及成矿作用[J]. *中国地质*, 37(4): 854-865.
- 陈毓川, 王登红, 徐志刚. 2015. 中国重要矿产和区域成矿规律[M]. 北京: 地质出版社, 118-137.
- 丁正江, 孙丰月, 刘福来, 刘建辉, 彭齐鸣, 纪攀, 李碧乐, 张丕建. 2015. 胶东中生代动力学演化及主要金属矿床成矿系列[J]. *岩石学报*, 31(10): 3045-3080.
- 范宏瑞, 冯凯, 李兴辉, 胡芳芳, 杨奎锋. 2016. 胶东-朝鲜半岛中生代金成矿作用[J]. *岩石学报*, 32(10): 3225-3238.
- 范宏瑞, 胡芳芳, 杨进辉, 沈昆, 翟明国. 2005. 胶东中生代构造体制转折过程中流体演化和金的大规模成矿[J]. *岩石学报*, 21(5): 1317-1328.
- 葛良胜, 张文钊, 卿敏, 郝百武. 2012. 内蒙古毕力赫与侵入体有关的大型金矿床地质特征及成因研究[J]. *黄金科学技术*, 20(5): 1-15.
- 郭少丰, 汤中立, 罗照华, 赵文浩. 2009. 冀东唐杖子、牛心山花岗岩体锆石 SHRIMP U-Pb 定年及其地质意义[J]. *地质通报*, 28(10): 1458-1464.
- 郝百武. 2011. 内蒙古哈达庙地区构造-岩浆演化与金成矿作用研究[D]. 昆明: 昆明理工大学, 1-99.
- 胡芳芳, 王永, 范宏瑞, 郑小礼, 焦鹏. 2010. 鲁西沂南金场砂卡岩型金铜矿床矿化时代与成矿流体研究[J]. *岩石学报*, 26(5): 1503-1511.
- 李国华, 丁正江, 宋明春, 李俊建, 李秀章, 纪攀, 张丕建, 王志新. 2017. 胶东新类型金矿—辽上黄铁矿碳酸盐脉型金矿[J]. *地球学报*, 38(3): 423-429.
- 李洪奎, 耿科, 李逸凡, 嵯传源. 2011. 沂南县铜井金矿床锆石 SHRIMP U-Pb 年龄及其地质意义[J]. *矿床地质*, 30(3): 497-503.
- 李洪奎, 时文革, 李逸凡, 李璐邑, 韩代成, 曹丽丽, 刘继梅. 2013. 山东胶东地区金矿成矿时代研究[J]. *黄金科学技术*, 21(3): 1-9.
- 李俊建, 党智财, 付超, 肖克炎, 丁建华, 赵泽霖, 任树祥, 侯占国, 方天明, 杨俊泉, 李磊. 2016. 华北陆块晋冀 Al-Fe-Au-Pb-Zn-Ag-Cu-煤成矿带主要地质成矿特征及潜力分析[J]. *地质学报*, 90(7): 1482-1503.
- 李俊建, 何玉良, 付超, 张彦启, 彭翼, 崔来运, 赵泽霖, 党智财, 曾宪友, 王纪中, 李中明, 陈安蜀, 杨俊泉, 李磊. 2016. 豫西 Au-Mo-W-Pb-Zn-Ag-Fe-铝土矿-石墨成矿带主要地质成矿特征及潜力分析[J]. *地质学报*, 90(7): 1504-1524.
- 李俊建, 罗镇宽, 刘晓阳, 徐卫东, 骆辉. 2005. 胶东中生代花岗岩及大型—超大型金矿床形成的地球动力学环境[J]. *矿床地质*, 24(4): 361-372.
- 李俊建, 翟裕生, 杨永强, 王彦斌, 李承东, 崔来旺, 周红英, 刘晓阳, 刘晓雪, 李生. 2010. 再论内蒙古阿拉善朱拉扎嘎金矿的成矿时代: 来自锆石 SHRIMP U-Pb 年龄的新证据[J]. *地学前缘*, 17(2):

附中文参考文献

- 曹月怀, 董方灵, 徐青峰, 程书乐. 2010. 河南栾川三合金矿床地质特征及矿床成因研究[J]. *矿产与地质*, 24(5): 414-418.

- 178-184.
- 李俊建,周学武,沈保丰,胡凤翔,桑海清,刘晓阳,王建民,李铁军.2005.内蒙古中部大青山新地沟绿岩带型金矿的成矿时代[J].地质与勘探,41(5):1-4.
- 廖明伟,陈玉蕊,谢军民.2014.山东省栖霞市笏山—西陡崖金矿地质特征及深部找矿远景[J].山东国土资源,30(4):21-26.
- 林景仟,谭东娟,金焯.1996.鲁西地区中生代火成活动的 $40\text{Ar}/39\text{Ar}$ 年龄[J].岩石矿物学杂志,15(3):22-29.
- 刘友梅,杨蔚华.1996.变质碎屑岩型金矿床的成矿模式及找矿方向[J].地质地球化学,1:25-30.
- 卢欣祥,李明立,王卫,于在平,时永志.2008.秦岭造山带的印支运动及印支期成矿作用[J].矿床地质,27(6):762-773.
- 鲁颖淮,李文博,赖勇.2009.内蒙古镶黄旗哈达庙金矿床含矿斑岩体形成时代和成矿构造背景[J].岩石学报,25(10):2615-2620.
- 吕古贤,李洪奎,丁正江,韩方法,李勃辉.2016.胶东地区“岩浆核杂岩”隆起-拆离带岩浆期后热液蚀变成矿[J].现代地质,30(2):247-262.
- 毛景文,王志良.2000.中国东部大规模成矿时限及其动力学背景的初步探讨[J].矿床地质,19(4):289-296.
- 毛景文,张作衡,余金杰,王义天,牛宝贵.2003.华北及邻区中生代大规模成矿的地球动力学背景:从金属矿床年龄精测得到启示[J].中国科学(D辑:地球科学),33(4):289-299.
- 倪振平,田京祥,王来明,李庆平.2016.山东省重要矿产区域成矿规律[M].济南:山东科学技术出版社,1-440.
- 彭翼,何玉良.2015.河南省区域成矿规律[M].武汉:中国地质大学出版社,1-341.
- 任树祥,张德生,宋立军.2015.河北省区域成矿规律研究[M].武汉:中国地质大学出版社,1-206.
- 沈保丰,毛德宝,李俊建.1997.中国绿岩带型金矿床类型和地质特征[J].前寒武纪研究进展,20(4):1-12.
- 宋明春,林少一,杨立强,宋英昕,丁正江,李杰,李世勇,周明岭.2020.胶东金矿成矿模式[J].矿床地质,39(2):215-236.
- 宋明春,宋英昕,丁正江,李世勇.2018.胶东金矿床:基本特征和主要争议[J].黄金科学技术,26(4):406-422.
- 宋明春,宋英昕,丁正江,魏绪峰,孙绍立,宋国政,张军进,张丕建,王永国.2019.胶东焦家和三山岛巨型金矿床的发现及有关问题讨论[J].大地构造与成矿学,43(1):92-110.
- 宋明春.2015.胶东金矿深部找矿主要成果和关键理论技术进展[J].地质通报,34(9):1758-1771.
- 宋扬,王瑞江,聂凤军,胡建中,石成龙,张松.2011.冀东金厂峪金矿区印支期成矿作用的发现及地质意义[J].地球学报,32(1):125-128.
- 宋英昕,宋明春,丁正江,魏绪峰,徐韶辉,李杰,谭现峰,李世勇,张照录,焦秀美,胡弘,曹佳.2017.胶东金矿集区深部找矿重要进展及成矿特征[J].黄金科学技术,25(3):4-18.
- 孙玉龙,殷国鹏,邱介玲,王学乾,唐俊智.2011.胶东辽上金矿床成因与找矿方向研究[J].地质与勘探,47(2):209-215.
- 田京祥,李秀章,宋志勇,刘汉栋,黄永波,祝德成.2015.鲁西中生代金矿形成时代、物质来源及问题讨论[J].地质学报,89(8):1530-1537.
- 王成辉,徐珏,黄凡,陈郑辉,应立娟,刘善宝.2014.中国金矿资源特征及成矿规律概要[J].地质学报,88(12):2315-2325.
- 王秀蝉,程景平,梁华英,夏萍,单强.1995.变质细碎屑岩型金矿床的三阶段成矿模式[J].矿床地质,14(4):322-328.
- 王义文,朱奉三,宫润潭.2002.胶东金矿集中区金矿成矿年代学研究[J].黄金地质,8(4):48-55.
- 王永,范宏瑞,胡芳芳,蓝廷广,焦鹏,王世平.2011.鲁西沂南铜井闪长质岩体锆石U-Pb年龄、元素及同位素地球化学特征[J].岩石矿物学杂志,30(4):553-566.
- 相振群,陆松年,李怀坤,田辉,刘欢,张阔.2020.华北克拉通中元古代岩浆事件群[J].地质调查与研究,43(2):137-152.
- 杨帆.2019.华北克拉通中生代岩浆作用及热演化史[D].北京:中国地质大学,1-334.
- 杨进辉,周新华.2000.胶东地区玲珑金矿矿石和载金矿物Rb-Sr等时线年龄与成矿时代[J].科学通报,15(14):1547-1553.
- 杨立强,邓军,王中亮,张良,郭林楠,宋明春,郑小礼.2014.胶东中生代金成矿系统[J].岩石学报,30(9):2447-2467.
- 杨萌萌.2018.山西省曲沃县哈蛙沟金矿床地质特征及成矿规律浅析[J].地质调查与研究,41(2):102-107.
- 于学峰,宋明春,李大鹏,田京祥,王来明.2016.山东金矿找矿突破进展与前景[J].地质学报,90(10):2847-2862.
- 于学峰,杨德平,李大鹏,单伟,熊玉新,迟乃杰,刘鹏瑞,于雷亨.2019.胶东焦家金矿带3000m深部成矿特征及其地质意义[J].岩石学报,35(9):2893-2910.
- 于学峰.2010.山东平邑归来庄矿田金矿成矿作用成矿规律与找矿方向研究[D].济南:山东科技大学,1-222.
- 翟明国,范宏瑞,杨进辉,苗来成.2004.非造山带型金矿——胶东型金矿的陆内成矿作用[J].地学前缘,11(1):85-98.
- 张丕建,刘殿浩,李国华,丁正江,李勇,杨国福,李平.2015.胶东中生代盆地边缘区金矿成矿特征和找矿方向[J].地质调查与研究,38(4):273-276+283.
- 赵越,翟明国,陈虹,张拴宏.2017.华北克拉通及相邻造山带古生代—侏罗纪早期大地构造演化[J].中国地质,44(1):44-60.
- 朱奉三.1980.混合岩化热液金矿床成矿作用初步研究——以招掖地区的金矿床为例[J].地质与勘探,7:1-10.
- 朱金.2014.山东省平邑县归来庄隐爆角砾岩型金矿成矿年代、成因模式与找矿研究[D].北京:中国地质大学,1-78.
- 朱平平.2017.大兴安岭地区与岩浆岩有关金矿床的成矿潜力[D].武汉:中国地质大学,1-212.
- 朱日祥,范宏瑞,李建威,孟庆任,李胜荣,曾庆栋.2015.克拉通破坏型金矿床[J].中国科学:地球科学,45(8):1153-1168.
- 朱卫平,徐路平,张婉,刘英会,赵百民,佟晶,王艳.2012.冀东地区主要矿产类型及其分布规律[J].矿床地质,31(S1):85-86.