

# 中国金矿床的预测类型及其应用\*

王登红<sup>1</sup>, 赵如意<sup>2\*\*</sup>, 陈毓川<sup>3</sup>, 王成辉<sup>1</sup>

(1 自然资源部成矿作用与资源评价重点实验室, 中国地质科学院矿产资源研究所, 北京 100037; 2 东华理工大学, 核资源与环境国家重点实验室, 江西南昌 330013; 3 中国地质科学院, 北京 100037)

**摘要** 矿产预测类型是以“矿床式”为基础, 从预测的角度对矿产资源的一种分类, 是沟通成矿规律与成矿预测方法的桥梁。文章在《重要矿产预测类型划分方案》所划分 8 大类和 15 个亚类的基础上, 根据新的勘查和研究成果, 结合成矿条件, 对中国 6 大行政区域的金矿预测类型进行补充和调整, 并以预测区容矿建造为依据, 从时间全位的视角将中国金矿预测类型划分出 80 个矿床式。文章认为以“全位成矿”理念为指导, 以“矿床式”为基本单位的金矿成矿预测分类方案, 能够推动找矿思路从“由果及果”转变为“由因推果”。金矿预测过程中通过紧抓“深、浅、远、近”4 个条件, 即成矿物质的初始来源深、成矿岩体就位浅、流体运移距离远、风化剥蚀搬运近, 有助于开拓找矿思路。在特定区域开展中大比例尺金矿的成矿预测时, 既可以根据已知矿床的矿床式开展就矿找矿, 也可以根据成矿条件结合相邻地区已知金矿的成矿规律来发现新的矿床。

**关键词** 矿产预测类型; 金矿床; 矿床式; 全位成矿; 找矿思路

中图分类号: P618.51

文献标志码: A

## Prediction types of gold deposits and its application in China

WANG DengHong<sup>1</sup>, ZHAO RuYi<sup>2</sup>, CHEN YuChuan<sup>3</sup> and WANG ChengHui<sup>1</sup>

(1 Key Laboratory of Metallogeny and Mineral Resource Assessment, Institute of Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 10037, China; 2 State Key Laboratory of Nuclear Resources and Environment, East China University of Technology, Nanchang 330013, Jiangxi, China; 3 Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 10037, China)

### Abstract

Mineral prediction type is a kind of mineral resources classification from the perspective of prediction, which is based on the "deposit model", and it is a bridge between the metallogenic regularity and the methods of metallogenic prediction. This paper divides gold deposit prediction types into 80 deposit models by gold metallogenic conditions in 6 administrative regions of China from the view of holistic time, they are according to the lately achievement of prospecting and research, and base on the 8 categories and 15 subcategories in *The Classification Scheme for Prediction Types of Major Mineral Resource*. Taking the "deposit model" as basic unit, the classification scheme of gold mineralization prediction could convert the prospecting thought from "from the effect to the effect" to "from the cause to the effect", under the guidance of "holistic mineralization". It is helpful to expand the prospecting thinking by the following four conditions of "deep, shallow, far and near" in the process of gold ore prediction, that the initial source of ore-forming materials is from deep earth, the emplacement of ore-

\* 本文得到中国地质调查局中国矿产地质志项目(编号: DD20190173、DD20190379、DD20190379-99)、国家重点研发计划项目(编号: 2021YFC2901900)和东华理工大学博士启动基金(编号: 1410000495)共同资助

第一作者简介 王登红, 男, 1967 年生, 研究员, 主要从事成矿规律研究和稀有稀散稀土矿产调查评价工作。Email: wangdenghong@sina.com

\*\* 通讯作者 赵如意, 男, 1982 年生, 博士后, 矿物学、岩石学、矿床学专业, 主要从事岩浆岩与成矿规律研究和矿产勘查工作。Email: 93236749@qq.com

收稿日期 2022-03-28; 改回日期 2023-02-10。孟秋熠编辑。

forming magma-tic rocks is shallow, the distance of fluid migration is far, and the transport distance of the weathering and denudation is near. It is possible to conduct on-site ore exploration based on the known deposit types, and to discover new deposits based on the mineralization conditions and the mineralization patterns of known gold deposits in adjacent areas, when conducting mineralization prediction for medium to large scale gold deposits in specific regions.

**Key words:** mineral resource prediction type, gold deposit, deposit model, holistic mineralization, prospecting thought

矿产预测类型是从预测的角度对矿产资源进行的一种分类。中国23个重要矿种(铁、铜、铝、铅、锌、锰、镍、钨、锡、钾、金、铬、钼、铋、稀土、银、硼、锂、磷、硫、萤石、菱镁矿、重晶石)预测类型的划分方案已经正式出版(陈毓川等,2010),并在矿产资源潜力评价中得到了运用(王登红等,2013)。近十年来,中国金矿勘查和研究取得了较为突出的成果和进展,出现了一些具代表性的新的矿床式。为了更加有效地预测潜在金矿资源,准确指导找矿勘查,本文在介绍金矿预测类型的划分原则的基础上,遴选出更具代表性的矿床式来进行成矿预测工作并从“全位成矿、缺位找矿”理念出发,应用金矿预测类型“由因推果”预测找矿方向。

## 1 金矿预测类型的划分原则

自2006年“中国重要矿产资源潜力评价”项目实施以来,对于矿产预测类型的理解基本上定位于“从预测的角度对矿产资源的一种分类”。这种分类既考虑到所预测矿产资源可能出现的地质环境及其成因,也考虑到今后寻找这样的矿产所需要开展的具体工作,更考虑到如何把成矿规律的认识直接运用到成矿预测工作中去。矿产预测类型是在中国矿产资源潜力评价工作中提出来的,对于某一特定区域内可能存在的矿产资源的一种分类,既是一个分类体系也是一种工作方法。同一矿种可以存在多种矿产预测类型,不同矿种组合也可以归为同一预测类型;同一成因类型可能有多种预测类型,不同成因类型的组合也可能归属于同一预测类型。矿产预测类型的理论基础是“矿床式”,既基于典型矿床,又超越典型矿床的具体成矿条件而体现出可预见性;其最终目的是为了成矿预测,并可根据预测工作的尺度(对应于不同比例尺)而分层次、分级别地给出矿产预测类型的划分方案;其特点是,与矿床类型相比具有区域性但又不排斥一般性。总之,矿产预测类型是一个新事物,作为沟通成矿规律研究成果与成矿预测方法的桥梁

已经发挥了应有的作用,今后还需要不断深化研究,进一步成为连接“成矿体系”理论与找矿实践的纽带,成为联系“全位成矿”理论与“缺位找矿”理念之纽带(王登红等,2006;唐菊兴等,2012;赵如意等,2020)。

对金矿预测类型的划分不同于对成因类型的划分,也不同于对工业类型的划分,其主要依据不是全球性、中国性的通用的地质特征,而是依据具有区域性共性的成矿条件与预测要素,包括具体的控矿构造、容矿围岩、成矿岩体等,目的是为了增强可操作性,更好地服务于成矿预测和找矿工作的具体部署。

对金矿预测类型的划分,考虑到空间、时间和成因3大要素。划分预测类型的最终目的是为了找矿,而地质找矿的工作部署与实施是按照行政区域来划分的,所以在空间上,按中国6大片区划分。其中:西北片区包括陕西、甘肃、宁夏、青海、新疆5省(区),华北片区包括北京、天津、河北、山西、内蒙古5省(区、市),东北片区包括辽宁、吉林和黑龙江3省,西南片区包括重庆、四川、贵州、云南和西藏5省(区、市),中南片区包括河南、湖北、湖南、广东、广西、海南6省(区),华东片区包括山东、安徽、江苏、上海、浙江、江西、福建和台湾7省1市。在时间上,按太古代、古-中元古代、新元古代、早古生代、晚古生代、中生代、新生代7个时段划分。

鉴于金的特殊地球化学性质,金的成矿作用十分复杂。金几乎能在所有地质年代、各类岩石中赋存,也能参与各种地质作用,控矿条件更是复杂多样,以至于金矿床类型也复杂多样(陈毓川等,2001)。在空间上,中国金矿广泛分布,在中国各个省区均有产出,各个地区的成矿条件又差别很大(陈毓川等,2006),因此,金矿的预测类型也是各个矿种中最为复杂的。在划分金矿预测类型时,以矿床成矿系列理论为指导,以容矿岩石组合、含金建造为主要分类准则,兼顾矿床的成因类型和工业类型,综合金矿成矿地质背景和含金建造的历史演化、生成的大地构造背景及金与其他矿产共伴生组合的自然特征,强调实用性和可操作性。

## 2 中国金矿预测类型

按照上述原则,在中国重要矿产资源潜力评价项目执行过程中(2006年—2013年),中国金矿床被分为8大类和15个亚类型(陈毓川等,2010;王登红等,2013):花岗-绿岩型、火山岩型、岩浆热液型、微细浸染型、变质碎屑岩中热液型、古砾岩型、砂金型、风化壳型。相应地,其矿产预测类型也分为8大类和15个亚类型,其中岩浆热液型包括斑岩型、基性-超基性岩型、中酸性岩浆岩型及矽卡岩型、破碎蚀变岩型、石英脉型等6个亚型,火山岩型又分为海相和陆相火山岩型2个亚型,风化壳型分为淋滤型、土型、铁帽等3个亚型。该划分方案经过十多年的实践应用,取得了显著成效,但也存在明显的问题:从预测的角度,只要找到金矿即可,并不需要特别强调其成因类型,何况在矿还没有找到的情况下如何能知道其成因呢?!因此,宜从预测区的成矿条件来分析找矿前景,而成矿条件(即成因条件)也就是地层、构造、岩浆岩3大要素,物探异常、化探异常、重砂异常、遥感异常等均可以看作是成矿作用的产物(或衍生产物),是结果而不是原因。这样,对预测类型划分的原则和思路进行了调整,将矿床成矿系列的研究成果(实际上综合了各种成矿条件和已知矿床的具体体现)和预测区的具体地质条件作为确定预测类型的原则和前提,进而把在“矿产预测类型”概念提出之初“把预测工作落实到地质图图面”中的设想变为现实,因为地质图涵盖了地层、构造、岩浆岩这些基本要素。表1的设计也变为横坐标仍然是6大行政区而纵坐标按照地层序列(某种程度代表了成矿演化历史)组合起来的新格局新样式。

根据金矿找矿新进展,尤其是甘肃等重点省份发现了不少大型超大型金矿床的现实(王成辉等,2014),而且含矿的层位、成矿的时代趋于多样化,再结合西北、华北、东北、西南、中南和华东6大工作区的典型矿床及其相应的成矿条件,有必要遴选出更有代表性的矿床式来指导成矿预测工作。对中国金矿的预测类型提出了新的划分方案(表1)。在2010年的方案中(陈毓川等,2010),根据中国地质调查局的工作部署,河南和山东归属华北区,鉴于行政上河南属于中南地区而山东属于华东地区,因此,本文的金矿预测类型也将河南置于中南,将山东置于华东。与2010年的“金矿预测类型”(陈毓川等,2010)相

比,本文在西北片区去掉了尼玛式、望峰式、崖湾式、金庄式、原柳沟式、柯尔咱程式及东沟坝式,华北片区去掉了陈家杖子式、四五牧场式、下双台式、恩河哈达河式、内蒙古宝力格式和河南三合式,西南片区去掉了白羊乡式、广西黄凌式、四川大岩窝式、红河源式和两河式,华东片区去掉了浙江齐村式、江西铁门坎式和江西吴家式。在西北片区甘肃补充了拉尔玛式、李坝式、阳山式、寨上式、以地南式、大桥式、加甘滩式和早子沟式,青海补充了五龙沟式、果洛龙洼式、瓦勒根式、大场式和满丈岗式,陕西补充了双王式、金龙山式和庞家河式,新疆补充了索尔巴斯陶式、卡拉麦里式、哈图-包古图式、多拉纳萨依式、萨瓦亚尔顿式和卡特巴阿苏式;华北片区在内蒙古补充了毕力赫式、莲花山式、撰山子式、浩尧尔勿洞式及哈达门沟式,在河北补充了石湖式、东梁式、牛心山式、小营盘式和小营坊式,在山西补充了义兴寨式;东北片区在黑龙江补充了砂宝斯式、争光式、东安式,在吉林补充板庙子式、海沟式和小西南岔式,在辽宁补充了排山楼式和白云式;西南片区在贵州补充了烂泥沟式、紫木函式、泥堡式和戈塘式,在四川补充了梭罗沟式和张家坪子式,在西藏补充了马攸木式,在云南补充了北衙式、长安式、大坪式、老王寨式和老寨湾式;中南片区在广东补充了黄泥坑式和长坑式,在河南补充了槐树坪-前河式、元岭-南坪式、文峪式、祁雨沟式、老湾式、银洞坡式,在湖北补充了鸡冠咀式,在湖南补充了水口山式、万古-黄金洞式;华东片区在安徽补充了抛刀岭式,在山东补充了三山岛式、夏甸式、黑岚沟式、辽上式、归来庄式、宋家沟式、金青顶式。调整、补充之后,绝大多数省区都有各自的“找矿目标”——即预测类型,便于成矿预测有针对性地展开,既避免盲目性,也避免“坐井观天”“守株待兔”。

此外,作为共伴生产出的金矿床,由于金的找矿标志不如铁、铜、铅锌等主矿种的找矿标志那么明显,因此不单独在此提出共伴生金矿的预测类型,但应该作为“评价类型”留待进一步研究。如,新疆的阿舍勒铜矿、甘肃的白银厂铜矿、西藏的甲玛、江西的德兴等都伴生有大型以上规模的金资源,但预测此类矿床首先看重的是铜的成矿条件和预测标志,而不是金的预测标志,因此,在表2中以加括弧的方式表达。

## 3 各预测类型的代表性矿床式及其主要预测要素

为了打通成矿规律研究与成矿预测之间的壁垒,充分发挥矿床成矿系列理论在指导地质找矿过



表1 中国金矿预测类型划分方案(基于成因类型)

Table 1 The classification scheme for prediction types of gold deposits in China (based on genetic types)

金矿预测类型	西北区	华北区	东北区	西南区	中南区	华东区
花岗-绿岩型	大王西峪式、桐峪式	金厂峪式、韩家沟式、小营盘式、	东风山式、夹皮沟式、柏杖子式、老金厂式、二道甸子式、排山楼式、(小佟家堡子式)		大湖式、东闯式、文峪式、	黑岚沟-庄子式
火山岩(陆相+海相)型(包括斑岩型)	阿希式、(阿舍勒式)、索尔巴斯陶式、哈图式、(白银厂式)、果洛龙洼式、大场式、满丈岗式	义兴寨式、毕力赫式、(蔡家营式)	团结沟式、(多宝山式)、争光式、东安式、小西南岔式	(呷村式)	龙头山式	归来庄式、银山式、金瓜石式、紫金山式、铜井式、冶岭头式
岩浆热液(包括基性-超基性岩、中酸性岩及砂卡岩、破碎蚀变岩、石英脉)型	多拉纳萨依式、金川式、(煎茶岭式)、	峪耳崖式、东坪式、金厂沟梁式、牛心山式、石湖式、乌拉山式、莲花山式	海沟式、四道沟式、老柞山式、五龙式	(甲玛式)、(玉龙式)、(驱龙式)、北衙式、墨江金厂式、长安式、大坪式、马厂箐式	上官式、槐树坪式、祁雨沟式、前河式、老湾式、银洞坡式、鸡冠咀式、鸡笼山式、水口山式、抱伦式	焦家式、玲珑式、三山岛式、土堆-沙旺式、(德兴式)、抛刀岭式
碳酸盐岩为主沉积岩中微细浸染型	卡特巴阿苏式、八卦庙式、双王式、金场子式、阳山式、大桥式			东北寨式、梭罗沟式、水银洞式、板其式、戈塘式、紫木函式、嘎拉勒式	金牙式、凤山式、高龙式、长坑式	天马山式、新桥式
变质碎屑岩中热液型(含火山碎屑岩)	卡拉麦里式、萨瓦亚尔顿式、滩间山式、贾公台式、以地南式、早子沟式、拉尔玛式、寨上式、加甘滩式、瓦勒根式、庞家河式、金龙山式	朱拉扎嘎式、浩尧尔勿洞式、(东升庙式)、(铜矿峪式)、黄花山式	砂宝斯式、猫岭式、白云式	张家坪子式、泥堡式、烂泥沟式、马攸木式、老王寨式、老寨湾式	沃溪式、铲子坪式、淘金冲式、万古式、黄金洞式、河台式、黄泥坑式	金山式、银坑式
古砾岩型		老宝滩式	板庙子式			宋家沟式
砂金型	西岔河式、碧口式、扎朵式	金盆式	桦甸式、呼玛式、柳树河式	崩纳藏布式、嘉陵江式	汉江式、高都川式、湘江式	臧湾式、辛安河式
风化壳(包括淋滤及土型、铁帽)型				老万场式	蛇屋山式、湖南七宝山式	安徽黄狮涝山式

注:表中带括弧者共生金矿床。在《重要矿产预测类型划分方案》<sup>[2]</sup>的基础上,根据新的勘查成果和研究成果作了较大的修改补充。另外,表头的6大片区完全是按照中国传统划分的行政区划,不是构造单元,也不同于中国地质调查局6大区域地调中心所对应的区域,因此,河南归中南片区,山东归华东片区。

程的积极作用(陈毓川等,2015),本文将矿床成矿系列理论中的“矿床式”直接作为打通成矿规律研究成果与成矿预测之间壁垒的钥匙,即以“矿床式”作为中大比例尺成矿预测的类型。这是因为矿床式不但是典型矿床成矿理论研究的高度概括,每个矿床式都凝聚了特定地质条件下的成矿要素,而且适用于矿田、矿集区尺度的空间范围,恰好可以满足当前和今后相当长时期内成矿预测工作的现实需要。由于每一个矿田、矿集区的成矿地质条件具有共性,采用矿床式作为预测工作的核心,有助于在预测过程中强调成矿地质条件的共性和勘查模型的针对性,有助于把时间和精力用在对地球物

理、地球化学资料的深入分析上,有助于根据“就矿找矿”的原则迅速推广运用。因此,下文侧重于对每个矿床式(预测类型)的共性区域地质特征的概述,而不具体介绍地球物理异常、地球化学异常、自然重砂异常等方面的资料在成矿预测中的作用(但这绝不意味着忽视其重要性),对每个大区的主要预测类型按照不同含矿建造层的时代顺序来介绍。

### 3.1 西北的金矿预测类型

西北地区的砂金资源储量以陕西最多,岩金资源储量以甘肃最多,但是不论金矿的成矿密度还是成矿强度,青海省都遥遥领先。西北地区的金矿预测类型主要有:①沿大江大河上游尤其是源区分布

表 2 中国金矿预测类型划分方案(基于预测区容矿建造层)

Table 2 The classification scheme for prediction types of gold deposits in China (based ore bearing formations)

建造层	地层	西北	华北	东北	西南	中南	华东
新生界	Q	西岔河式、扎朵式、碧口式	金盆式	呼玛式、桦南式	崩纳藏布式、漳腊式、老万场式	蛇屋山式、汨罗江式	辛安河式、臧湾式
	N+E						金瓜石式
中生界	K			东安式	嘎拉勒式		宋家沟式、铜井式、紫金山式
	J			砂宝斯式			冶岭头式
	T	大场式、瓦勒根式、早子沟式、加甘滩式		团结沟式	东北寨式、梭罗沟式、张家坪子式、北衙式	鸡笼山式	
晚古生界	P	以地南式	毕力赫式、撰山子式		泥堡式、戈塘式、水银洞式、紫木函式、烂泥沟式	高龙式、金牙式、水口山式、长坑式	
	C	阿希式、哈图-包古式、卡拉麦里式、庞家河式、金龙山式、双王式八卦庙式、李坝式					新桥式
	D	多拉纳萨依式、磨上式、李坝式、阴山式			墨江金厂式、大坪式、马攸木式	龙头山式	天马山式
早古生界	S	萨瓦亚尔顿式、卡特巴阿苏式		小西南岔式	长安式	抱伦式	归来庄式、抛刀岭式
	O	果洛龙洼式		争光式	马厂箐式、老王寨式	老湾式	
	e	拉尔玛式				银洞坡式、黄泥坑式	
新元古界	Z	煎茶岭式				河台式	金山式
	Nh					铲子坪式	
	Qb	五龙沟式		板庙子式		万古-黄金洞式	
中元古界	Jx	滩间山式	浩尧尔勿洞式、峪耳崖式				
	Ch		朱拉扎嘎式、黄龙山式	柏杖子式		上宫式、前河式、沃溪式	
古元古界			乌拉山式	老柞山式、五龙式、白云式、猫岭式		文峪式、东川式、祁雨沟式	黑岚沟式
太古界	Ar	桐峪式、大王西峪式	莲花山式、金厂沟梁式、小营盘式、金厂峪式、小营坊式、湖式	排山楼式、夹皮沟式、老金厂式			三山岛式、焦家式、玲珑式、辽上式、金青顶式

注:红字正体—岩浆热液型、斑岩型、砂卡岩型;红色斜体—变质岩区后期岩浆热液型;灰底—围岩为碎屑岩;蓝底—围岩为碳酸盐岩;绿底—围岩为变质岩;白底—围岩为多岩性建造;黄底正体黑字—砂矿;黄底斜体黑字—风化壳型;其他黑字为中低温热液型。

的,产于新生界松散沉积物中的砂金矿床,包括额尔齐斯河流域的西岔河式砂金矿、长江上游源区(通天河流域)的扎朵式砂金矿、嘉陵江上游碧口式砂金矿、汉江上游月河恒口式砂金矿;② 新疆北部南阿尔泰成矿带产于泥盆系构造破碎带中的多拉纳萨依式金矿;③ 产于新疆西北部准噶尔盆地及周边地区石炭系韧性剪切带中的西准哈图-包古图式金矿、东准卡拉麦里式金矿;④ 产于新疆西天山石炭纪陆相火山岩中的阿希式金矿;⑤ 新疆西南天山产于早古

生界志留系浅变质碎屑岩中的微细粒浸染型金矿,也伴随有石英脉型和破碎带蚀变岩型,包括萨瓦亚尔顿式和卡特巴阿苏式金矿;⑥ 青海柴北缘西北部产于中元古界万洞沟群蚀变碎裂岩中的滩间山式金矿;⑦ 青海东昆仑产于早古生代那赤台群构造-热液蚀变岩中的果洛龙洼式金矿;⑧ 青海东部产于新元古界青白口系丘吉东沟组蚀变碎裂岩中的五龙沟式金矿;⑨ 产于青海东部—甘肃南部三叠系碎屑岩中的微细粒浸染型金矿,也有石英脉型金矿,构造和地层双

重控制,但真正的成矿机制可能离不开深部或者外围的印支晚期—燕山期的岩浆侵入及其相关的热液成矿作用。包括青海的大场式、瓦勒根式、满丈沟式金矿,甘肃的枣子沟式、加甘滩式金矿;⑩产于青海—甘肃毗邻区岩体外接触带下二叠统大关山组破碎带中的以地南式金矿;青海、甘肃和四川毗邻区产于寒武系太阳顶群碳硅泥岩中的拉尔玛式金矿;陕甘川交界处西秦岭与低温热液蚀变有关的产于泥盆系中的阳山式、李坝式、寨上式金矿及产于晚泥盆世大草滩组中的庞家河式金矿,区内往往出露岩浆岩体;陕甘川毗邻区产于震旦系断头崖组分布区与基性超基性岩有关的煎茶岭式金矿;产于甘肃东南部石炭系与三叠系硅化角砾岩中的大桥式金矿;陕西与河南毗邻区产于小秦岭太古界太华群石英脉中的桐峪式、大王西峪式金矿。

此外,西北地区古生代海相火山岩型块状硫化物矿床伴生的金也可以达到大型以上的规模,如新疆的阿舍勒和甘肃的白银厂铜多金属矿床(王登红,1995;田光礼等,2019)。

### 3.2 华北的金矿预测类型

由于内蒙古面积较大,华北地区的金矿产地数量、资源储量主要分布于内蒙古境内,但是河北省成矿强度较大,不论矿床数量还是资源储量,都显示了良好的找矿潜力。华北地区的金矿预测类型主要有:①黄河流域内蒙古大青山段支流金盆式砂金矿;②内蒙古西部产于中元古代渣尔泰山群阿古鲁沟组黑色岩系中的朱拉扎嘎式金矿;③内蒙古中部产于蓟县系白云鄂博群比鲁特组黑色岩系中的浩尧尔忽洞式金矿;④内蒙古中部产于古元古界乌拉山群硅化蚀变岩中的乌拉山-哈达门沟式金矿;⑤内蒙古中东部与冀西北毗邻区产于侵入到二叠系额里图组中加布切尔敖包燕山晚期钾长花岗斑岩岩体中的毕力赫式金矿;⑥内蒙古东部与辽西毗邻区黄铁矿石英脉中的撰山子式金矿;⑦内蒙古东部产于新太古界建平岩群小塔子沟组中与石英脉和蚀变岩有关的金厂沟梁式金矿;⑧冀西北地区产于侵入到新太古界桑干岩群涧沟河组中的水泉沟等碱性杂岩体中的东坪式金矿、小营盘式金矿和韩家沟式金矿;⑨京津冀毗邻区产于中元古界长城系中与石英脉有关的长城式(天津黄龙山)金矿;⑩冀东产于侵入到中元古界长城系高于庄组中的峪耳崖、亮甲台等岩体中的峪耳崖式金矿、东梁式金矿;⑪冀东地区,与新太古界八道河群王厂组中的金厂峪式金矿、太古界迁西

岩群中的下营坊式金矿、产于太古界迁西岩群及侵入到中-新元古界长城系中的牛心山复式杂岩体中的牛心山式金矿;⑫太行山西侧与燕山晚期次火山岩浆活动有关的义兴寨式金矿;⑬太行山东侧产于太古界阜平群团泊口组片麻岩中,与麻棚穹窿及燕山晚期岩浆活动有关的石湖式金矿。

此外,华北地区前寒武纪、古生代海相火山岩型块状硫化物矿床和斑岩型铜矿中伴生的金也可以达到大型以上的规模,如内蒙古的白乃庙式铜矿(聂凤军,1993;高旭等,2018)和山西的铜矿峪式铜矿(孙继源等,1995;李洪英等,2018)。

### 3.3 东北的金矿预测类型

东北三省是中国金矿成矿密度和成矿强度最大的地区,已查明岩金资源储量辽宁比黑龙江更具优势,但黑龙江砂金资源储量更为突出,且岩金找矿勘查程度低,极具找矿潜力。东北地区的金矿预测类型主要有:①沿黑龙江流域分布的呼玛式砂金矿和沿黑龙江支流松花江流域分布的桦南式金矿;②黑龙江北部产于黑龙江增生杂岩和早白垩世宁远村组火山岩中的东安式金矿和团结沟式斑岩型金矿;③黑龙江北部产于晚侏罗世—早白垩世二十二站组碎裂蚀变岩中的砂宝斯式金矿;④黑龙江东南角与吉林东北角毗邻区产于侵入到志留系五道沟群中的中酸性岩体中的小西南盆式金矿;⑤黑龙江北部产于侵入到中奥陶统多宝山组中的闪长岩体中的争光式金矿;⑥黑龙江佳木斯地块,与多期岩浆作用叠加有关,产于古元古界麻山群柳毛组大理岩、混合花岗岩中的老柞山式金矿;⑦吉中产于新太古界夹皮沟群太古宙花岗-绿岩带中与韧性剪切带有关的夹皮沟式金矿和老金厂式金矿;⑧吉南产于古元古界老岭岩群珍珠门岩组、新元古界青白口系钓鱼台组和南芬组硅化构造角砾岩中的板庙子式金矿;⑨辽西产于侵入到长城系串岭沟组、大红峪组和高于庄组中的富碱侵入岩中的柏杖子式金矿;⑩辽西产于太古界建平岩群大营子岩组热液蚀变韧性剪切带中的排山楼式金矿;辽东地区,与燕山期壳幔源基性-中酸性-碱性浅成超浅成侵入岩有关,产于辽河群大石桥组上部三段3~5层和盖县组中的白云式金矿、产于盖县组二段低绿片岩相中的猫岭式金矿以及产于侵入在古元古界辽河群中燕山期岩体内的五龙式金矿。

此外,东北地区太古宙海相火山岩型块状硫化物矿床及加里东期斑岩型铜矿中伴生的金也可以达到大型以上的规模,如辽宁的红透山式铜锌矿(Wang et



al., 2019)和多宝山式斑岩型铜矿(Long et al., 2022)。

### 3.4 西南的金矿预测类型

西南地区金的成矿密度以四川最大,成矿强度以贵州最大,但是岩金资源储量主要分布于云南和西藏,而砂金资源储量主要分布于四川和西藏。西南地区的金矿预测类型主要有:①西藏西部崩纳藏布式砂金矿、长江流域岷江上游漳腊式砂金矿、长江支流岷江流域的漳腊式砂金矿;②形成于炎热气候条件下,贵州南部产于风化壳中的老万场土型金矿;③西藏西部阿里与侵入到下白垩统捷嘎组中的闪长岩、花岗斑岩有关的嘎拉勒式金矿;④川西北产于上三叠统新都桥组硅化、黄铁矿化黑色碳质岩系中的东北寨式金矿;⑤西藏西部产于中泥盆统马攸木群硅化碎裂岩中的马攸木式金矿;⑥川西产于上三叠统曲嘎寺组中受韧性剪切带控制的梭罗沟式金矿;⑦川西产于二叠系峨眉山玄武岩组与三叠系之间的张家坪子式金矿;⑧滇西产于下三叠统一中三叠统青天堡组、北衙组中与新生代岩浆作用有关的北衙式金矿;⑨滇黔桂毗邻区产于晚古生代一早三叠世碳酸盐岩-碎屑岩建造中的水银洞式、泥堡式、戈塘式、紫木凶式、烂泥沟式卡林型金矿;⑩滇西产于新生代岩浆岩与早古生代碳酸盐岩-碎屑岩建造接触带的马厂箐式金矿;云南哀牢山成矿带产于上古生界火山凝灰岩-碎屑岩-碳酸盐岩建造中的墨江金厂式金矿;云南哀牢山成矿带产于下古生界碳酸盐岩建造中与新生代斑岩有关的大坪式金矿、长安式金矿;滇东南产于早古生界一晚古生界碳酸盐岩-碎屑岩建造中老寨湾式卡林型金矿。

此外,西南地区斑岩型、矽卡岩型铜多金属矿床中伴生的金也非常重要,规模可达大型、超大型,如西藏的驱龙、玉龙、甲玛等铜多金属矿床(唐菊兴, 2010;姚晓峰等, 2011;林彬等, 2021)。在川西呷村式海相火山岩型块状硫化物矿床中也伴生有金。

### 3.5 中南的金矿预测类型

中南地区以岩金为主,砂金矿床较少,河南是中南地区金矿成矿强度和成矿密度最大的省份。中南地区的金矿预测类型主要有:①长江支流汨罗江式砂金矿;②蛇屋山式风化壳型金矿;③豫西地区与燕山期岩浆-热液作用有关,产于中元古界熊耳群构造蚀变岩中的上宫式、前河式金矿及古元古界太华群韧性-脆性剪切带石英脉中的文峪式金矿、隐爆角砾岩筒中的祁雨沟式金矿等;④桐柏-大别成矿带中,与岩浆热液作用有关,产于下奥陶统一下泥盆统

信阳群龟山组韧性剪切带中的老湾式金矿、产于寒武系歪头山组背斜核部的银洞坡式金矿;⑤长江中下游成矿带鄂东南下三叠统大冶组分布区与中酸性侵入岩有关的鸡笼山式矽卡岩型铜金矿;⑥湘东北一赣西北地区,与燕山期花岗岩有关,产于新元古界青白口系冷家溪群韧性-脆性剪切带中的万古-黄金洞式金矿;⑦湘西产于南华系长安组蚀变碎裂岩中的铲子坪式金矿;⑧湘西产于新元古界板溪群层间断裂热液充填石英脉中的沃溪式金矿;⑨湖南衡阳盆地产于燕山期岩体外接触带的水口山式金矿;⑩广西西部产于晚古生代碳酸盐岩与中三叠统碎屑岩建造中的金牙式、高龙式卡林型金矿;广西东部大瑶山区产于燕山晚期次火山岩与下泥盆统莲花山组和寒武系黄洞口组内、外接触带的龙头山式金矿;粤西产于花岗闪长岩外接触带寒武系水石组破碎带蚀变岩中的黄泥坑式金矿;粤西产于震旦系变质岩中的河台式破碎带蚀变岩型金矿;广东中西部产于石炭系碳酸盐岩与三叠系碳质细碎屑岩不整合面下硅化蚀变岩中的长坑式金矿;海南产于印支期岩体外接触带志留系陀烈组构造碎裂蚀变碎屑岩中的抱伦式金矿。

### 3.6 华东的金矿预测类型

华东地区的金矿以岩金为主,且岩金主要分布在山东,是其他各省岩金资源储量之和的3倍多,砂金资源储量则主要分布于江西。华东地区的金矿预测类型主要有:①长江流域赣江支流臧湾式砂金矿、安徽铜陵铁帽式金矿;②山东胶莱盆地产于早白垩世莱阳群蚀变砾岩中宋家沟式金矿;③胶东西部产于新太古界胶东岩群中的焦家式破碎带蚀变岩型金矿;④胶东西部产于新太古界胶东岩群中的玲珑式石英脉型金矿;⑤胶东东部产于古元古代荆山群断裂带中交代充填的蚀变岩型和石英脉型黑岚沟式金矿、邓格庄式、辽上式、金牛山式金矿;⑥鲁西产于早古生代碎屑岩建造中与燕山晚期浅成-超浅成岩浆活动有关的归来庄式金矿;⑦长江中下游安徽铜陵产于晚古生代碳酸盐岩建造中的新桥式、天马山式含金硫铁矿床;⑧长江中下游产于早白垩世娘娘山组火山岩区的铜井式金矿;⑨长江中下游安徽铜陵产于侵入到早古生代志留系碎屑岩建造中的抛刀岭岩体中的抛刀岭式金矿;⑩赣东北产于双桥山群浅变质岩蚀变糜棱岩中的金山式金矿;浙西南产于古元古界八都群变质岩与上侏罗统磨石山群火山碎屑岩、熔岩中交代石英脉型的洽岭头式金矿;闽西产于燕山期蚀变火山岩中的紫金山式斑岩型铜金矿;台

湾北部新生代火山岩区的金瓜石式金矿。

此外,华东地区中生代矽卡岩型铜多金属矿床和斑岩型铜矿中伴生的金也可以达到大型以上的规模,如江西的德兴式铜矿、城门山式铜矿和安徽的铜官山铜多金属矿床(Jiang et al., 2020)。

## 4 讨论与结论

中华人民共和国成立之初,自苏联传入中国的传统地质找矿工作方法,从中-小比例尺地质填图入手,开展配套的遥感、物探、化探扫面,在物化探异常和矿化点查证过程中,开展槽探、井探、硐探和钻探,评估找矿潜力。这种“由果及果”、“就矿找矿”的思路,加上“发动群众报矿”的方针,在地质矿产工作几乎为零的新中国,起到了立竿见影的效果。随着中国地质调查局“摸清家底”战略实施,1:20万、1:5万区域地质填图逐步覆盖了中国主要成矿区带。地层、构造、岩浆岩较为全面、准确地表达在地质图上,这为矿床成矿系列研究奠定了基础,也为成矿预测“由因推果”提供了平台。“全位成矿”是矿床成矿系列理论的发展,在成矿预测工作中具有十分重要的意义。成矿作用是“能量守恒”定律下“物质不灭”的物理化学过程。我们可以从不同的视角从全位成矿的角落来厘定特定区域存在哪些金矿预测类型,如从成矿温度的角度:高温有镁铁-超镁铁岩浆型,中温有斑岩-矽卡岩型,中低温有石英脉型,低温有微细浸染型,常温有铁帽型和砂金型。

中国金矿预测类型划分方案(表2)从历史视角,审视了地球演化过程中地层、构造和岩浆岩的耦合关系及中国典型金矿类型的空间定位。在金矿预测过程中,对预测区的地质体按时间进行梳理。在太古代,金的亲铁性使其趋向富集于早期亏损地幔之中。较薄的地壳之上,含金的基性-超基性火山岩广泛发育。在同期热液作用下直接形成金矿床,或是为后期岩浆-热液作用萃取成矿物质,沿断层、韧性剪切带及岩体附近富集成矿提供了充足的成矿物质,如铜峪式、夹皮沟式、焦家式等金矿(黄志新, 2012)。在元古代,陆壳克拉通化形成稳定大陆,局部却开始出现陆内裂隙-闭合,双峰式火山作用形成金矿床或是其带来的金与海相碎屑岩、碳酸盐岩一起形成金背景值较高的中高级变质岩系,可为后期金成矿作用提供成矿物质或作为赋矿围岩,如乌拉山式(Liu et al., 2017)。古生代尤其是全球板块机制启动以来,洋中脊玄武岩尤其是来自地幔柱的大

洋板内玄武岩(辉长岩、橄榄岩等)金含量更高,海底火山口及与深部相连的断裂喷出的硫化物常伴生有金矿,如阿舍勒式(王登红, 1995)。洋壳在俯冲带附近刮削堆积形成的蛇绿构造混杂岩带是含金地质体、构造活动和岩浆作用集中部位,形成了滩间山式、墨江式金矿床(戴荔果, 2019)。俯冲板片脱水后,携带金、铜等物质的流体交代地幔楔,萃取成矿物质,并与中酸性岩浆一起高侵位形成斑岩型金(铜)矿床,如紫金山式(Zhao et al., 2022)。斑岩体的上覆中酸性火山岩(机构)、碎屑岩中发育隐爆角砾岩型、高硫低温浸染型、低温石英脉型、碎裂蚀变岩型等类型金矿,如争光式(Song et al., 2019)。当斑岩体外接触带为碳酸盐岩时形成矽卡岩型金矿,常伴生铜、铅、锌、银、钼等多金属矿,如北衙式、鸡笼山式(Zhou et al., 2023)。碳酸盐岩的远端大理岩中发育的金矿,常与铋、汞等伴生。再向碳酸盐岩的远端,由于岩浆热液作用变弱,大气降水作用逐渐增强,在碳酸盐岩中形成了阳山式、水银洞式等金矿(李璇等, 2021)。此外,受地幔柱作用,地幔物质部分熔融形成的镁铁-超镁铁质岩浆,经分离结晶形成含金的铜镍硫化物矿床,如金川式(韩一筱, 2021)。或是后期岩浆热液改造形成金矿床,如煎茶岭式(Yue et al., 2018)。古近纪以来,地球进入相对强氧化环境,许多硫化物因氧化形成铁帽,可溶物质的流失和新生矿物的沉淀,促进了金在沉淀物中富集成矿,如蛇屋山式(蔡鹏捷等, 2016)。新构造运动以来,许多河流的发源地,因快速隆升剥蚀速率较快,金在近源河道中沉淀成矿,如下盆河式、崩纳藏布式(王豪, 2014)。总之,金矿预测过程中要紧抓“深、浅、远、近”4个条件,即成矿物质初始来源深、成矿岩体就位浅、流体运移距离远、风化剥蚀搬运近来开拓思路。

金矿预测类型是对将来可能被找到的金矿进行的分类,既是对已知金矿床典型成矿特征的归纳总结,也是对预测工作区既有成矿条件的分析研判;既立足于现实进行就矿找矿,也有助于通过对区域(包括大比例尺的矿床和矿田范围)地质特征的研究,总结成矿规律,建立起“全位成矿”的理念,分析尚未发现的各种新类型矿床存在的可能性,从时间演化的完整性、延续性、不可逆性来明确特定空间位置矿体定位的必然性,进而实现“缺位找矿”的目标。显然,本文提出的金矿预测类型是在以往工作基础上的改进,但同样存在不足,有待于进一步完善,以期新一轮找矿突破战略行动的实施提供服务。



## References

- Cai P J, Xu R K, Zhu B J, Tao C C, Liao M X, Liu J, Wang H J, Lu R and Du W Y. 2016. Review and prospect of Shewushan lateritic gold deposit, Jiayu, Hubei Province[J]. *Geological Review*, 62(2): 289-397(in Chinese with English abstract).
- Chen Y C, Li Z D, Mu R S, Shen B F, Zou G H, Wang Q M, Lin W W, Li W K, Liu G Q, Ouyang Z Q, Meng F Y, Wang D H, Zhang Z C, Mao D B, Chen F W, Li J C and Li J J. 2001. The gold deposits and its mineralizing regularity in China[M]. Beijing, Geological Publishing House. 1-465(in Chinese).
- Chen Y C, Pei R F, Wang D H and Wang P A. 2015. Natural classification of mineral deposits: Discussion on minerogenetic series of mineral deposits(IV)[J]. *Mineral Deposits*, 37(5):519-527(in Chinese with English abstract).
- Chen Y C, Wang D H, Li H M, Xiong X X, Gao L, Xu Z G, Sheng J F, Xu J, Yuan Z X, Bai G, Zhu M Y, Rui Z Y, Ye H S, Liu X F, Zhang C Q, Chen Z H, Wang C H, Wang Y L, Ying L J and Zhang J. 2010. The prediction type classification of important resources[M]. Beijing, Geological Publishing House. 1-222(in Chinese).
- Chen Y C, Wang D H, Xu Z G and Zhu M Y. 2006. Preliminary study of Chinese mineralization system[J]. *Mineral Deposits*, 25(2): 155-163(in Chinese with English abstract).
- Dai L G. 2019. Metallogenic system of Au-Pb-Zn deposit in Tanjianshan-Xitieshan area in Qinghai Province[D]. Wuhan: China University of Geosciences. 1-251(in Chinese with English abstract).
- Gao X, Zhou Z H, Che H W, Ma X H, Ouyang H G, Chen B Q and Liu G D. 2018. Origin of intrusive rock and surrounding rock in Bainaimiao Cu-Au-Mo deposit, Inner Mongolia: Evidences from geochemistry and Hf isotope characteristics[J]. *Mineral Deposits*, 37(2): 420-440(in Chinese with English abstract).
- Han Y X. 2021. The comparative study on platinum group elements in Jinchuan and Xiarihamu magmatic Cu-Ni sulfide deposits[D]. Xi'an: Chang'an University. 1-180(in Chinese with English abstract).
- Huang Z X. 2012. Tectonics- fluids-mineralization system of Jiapigou gold belt in Jilin Province, China[D]. Beijing: China University of Geosciences. 1-245(in Chinese with English abstract).
- Jiang X Y, Deng J H, Luo J C, Zhang L P, Luo Z B, Yan H B and Sun W D. 2020. Petrogenesis of Early Cretaceous adakites in Tongguanshan Cu-Au polymetallic deposit, Tongling region, eastern China[J]. *Ore Geology Reviews*, 126: 103717.
- Li H Y, Luo W J, Sun J G, Yang L, Xie K Q, Zhou X P, Xue S S, Yin D W, Guo S L, Zhao F C, Lü F J and Chen Y P. 2018. Characteristics of ore-forming fluids of Tongkuangyu porphyry copper deposit in Zhongtiao Mountain, Shanxi Province[J]. *Mineral Deposits*, 37(5): 1091-1110(in Chinese with English abstract).
- Li X, Ye'erhanti, Ma W L and Ma J L. 2021. Stable isotope constraints of ore-forming materials and sources of ore-forming fluids in the Yangshan gold deposit, Wenxian County, Gansu Province[J]. *Journal of Lanzhou University: Natural Sciences*, 57(1): 1-7(in Chinese with English abstract).
- Lin B, Tang J X, Tang P, Zhou A R G L, Sun M, Qi J, Chen G L, Zhang Z K, Zhang Z B, Wu C N, Tian Z C, Dai J J, Yang Z K and Yao X F. 2021. Preliminary study of first 3000 m scientific drilling in Jiama porphyry metallogenic system, Tibet[J]. *Mineral Deposits*, 40(6):1119-1134(in Chinese with English abstract).
- Liu J H, Liu F L, Ding Z J, Liu P H, Chen J Q, Liu C H, Wang F, Yang H, Cai J and Shi J R. 2017. Late Neoproterozoic-Paleoproterozoic arc-continent accretion along the Khondalite Belt, western Block, North China Craton: Insights from granitoid rocks of the Daqingshan-Wulashan area[J]. *Precambrian Research*, 303:494-519.
- Long X Y, Tang J, Xu W L, Sun C Y, Luan J P and Guo P. 2022. A crustal growth model for the eastern Central Asian Orogenic Belt: Constraints from granitoids in the Songnen Massif and Duobaoshan terrane[J]. *Gondwana Research*, 107: 325-338
- Nie F J, Pei R F, Wu L S and Zhang H T. 1993. The Magmatism and metallogene of Bainaimiao area in Inner Mongolia[M]. Beijing: Beijing Science and Technology Publishing House. 1-239( In Chinese with English abstract).
- Song G X, Cook N J, Wang L, Qin K Z, Ciobanu C L and Li G M. 2019. Gold behavior in intermediate sulfidation epithermal systems: A case study from the Zhengguang gold deposit, Heilongjiang Province, NE-China.[J]. *Ore Geology Reviews*, 106: 446-462.
- Sun J Y, Ji S K and Zhen Y Q. 1995. The copper deposits in Zhongtiao rift valley[M]. Beijing: Geology Publishing House. 1-181( In Chinese with English abstract).
- Tang J X, Wang D H, Wang X W, Zhong K H, Ying L J, Zheng W B, Li F J, Guo N, Qin Z P, Yao X F, Li L, Wang Y and Tang X Q. 2010. Geological features and metallogenic model of the Jiama copper-polymetallic deposit in Tibet[J]. *Acta Geoscientia Sinica*, 31(4): 495-506(in Chinese with English abstract).
- Tang J X, Duo J, Liu H F, Lang X H, Zhang J S, Zheng W B and Ying L J. 2012. Minerogenetic series of ore deposits in the East part of the Gangdise metallogenic belt[J]. *Mineral Deposits*, 33(4): 393-410(in Chinese with English abstract).
- Tian G L, Chen S Y, Dong K, Zhao J N, Qin W and Chen J L. 2019. Elements migration and mass change calculations in alteration zones of Zheyaooshan VMS deposit, Baiyinchang, Gansu Province[J]. *Mineral Deposits*, 31(1): 90-100(in Chinese with English abstract).
- Wang C H, Xu J, Huang F, Chen Z H, Ying L J and Liu S B. 2014. Resources characteristics and outline of regional metallogeny of gold deposits in China[J]. *Acta Geologica Sinica*, 88(12):2316-2325(in Chinese with English abstract).
- Wang D H. 1995. The metallogenic mechanism and model of the Ashele volcanogenic massive sulfide copper deposit, Xinjiang[D]. Beijing: Chinese Academy of Geological Sciences. 1-134(in Chinese with English abstract).
- Wang D H, Chen Y C, Zhu Y S, Zhu M Y and Xu Z G. 2006. The construction of the Chinese ore-forming system based on minerogenetic series and its application[J]. *Mineral Deposita*, 25(Supp.):43-46(in Chinese).

- Wang D H, Chen Y C, Xu Z G, Sheng J F, Zhu M Y, Liu X F, Zhang C Q, Wang C H and Wang Y L. 2013. Prediction type of mineral resources and its application in the assessment work of mineral resources potential[J]. Journal of Jilin University( Earth Science Edition), 43(4): 1092-1110(in Chinese with English abstract).
- Wang H. 2014. The geological characteristics of Xiachahe gold deposit in Zhenyuan, Yunnan Province[J]. Mineral Deposits, 33(Supp.): 967-968(in Chinese).
- Wang L F, Wu X B, Zhang B Y, Li X F, Huang A S, Meng F and Dai P Y. 2019. Recognition of significant surface soil geochemical anomalies via weighted 3D shortest-distance field of subsurface orebodies: A case study in the Hongtoushan copper mine, NE China[J]. Natural Resources Research, 28(3):587-607.
- Yao X F, Wang Y, Chang Z S, Zheng W B, Ying L J, Deng S L and Tang X Q. 2011. Characteristics and the genesis implication of skarn in the Jiama copper-polymetallic deposit, Tibet, China[J]. Journal of Chengdu University of Thechnology (Science & Technology Edition), 38(6): 662-670(in Chinese with English abstract).
- Yue S W, Li D F, Bagas L, Fang J and Lin Z W. 2018. Geology and isotope systematics of the Jianchaling Au deposit, Shaanxi Province, China: Implications for mineral genesis[J]. Geosciences, 8(4):120-120.
- Zhao H X, Li B, Zhou YX, Zhu Z Y and Chen S M. 2022. Genesis of the giant Zijinshan epithermal Cu-Au deposit, Fujian Province, southeastern China: Cu-He-Ar isotope perspective[J]. Ore Geology Reviews, 148: 105047.
- Zhao R Y, Wang D H, Chen Y C, Leng C B, Qin J H and Zhao C H. 2020. Geological characteristics metallogeny and geospatial mineralization model of uranium in the Nanling metallogenic belt[J]. Acta Geologica Sinica, 94(1):149-160(in Chinese with English abstract).
- Zhou Y, Hou Z Q, Wang R, Xu B, Evans N J, He W Y, Zheng Y C and Zhou J X. 2023. Origin of biotite-rich xenoliths in the Eocene Beiya porphyry: Implications for upper-crustal Au remobilization and formation of giant porphyry Au systems in a collisional setting[J]. Lithos, 442-443.
- 白鹤, 朱明玉, 芮宗瑶, 叶会寿, 刘喜方, 张长青, 陈郑辉, 王成辉, 王永磊, 应立娟, 张建. 2010. 重要矿产预测类型划分方案[M]. 北京: 地质出版社. 1-222.
- 陈毓川, 裴荣富, 王登红, 王平安. 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.
- 高旭, 周振华, 车合伟, 马星华, 欧阳荷根, 陈宝全, 刘国东. 2018. 内蒙古白乃庙铜-金-钼矿床侵入岩和围岩成因: 岩石地球化学和 Hf 同位素的证据[J]. 矿床地质, 37(2):420-440.
- 韩一筱. 2021. 金川与夏日哈木岩浆铜镍硫化物矿床铂族元素对比研究[D]. 西安: 长安大学. 1-180.
- 黄志新. 2012. 吉林省夹皮沟金矿带构造-流体-成矿系统[D]. 北京: 中国地质大学(北京). 1-245.
- 李洪英, 骆文娟, 孙军刚, 杨磊, 谢坤琪, 周新鹏, 薛生升, 尹德威, 郭双龙, 赵凤春, 吕峰杰, 陈永平. 山西中条山铜矿峪斑岩型铜矿床成矿流体特征[J]. 矿床地质, 37(5):1091-1110.
- 李璇, 也尔哈那提, 马万里, 马锦龙. 2021. 甘肃文县阳山山金矿成矿物质和成矿流体来源的稳定同位素证据[J]. 兰州大学学报. 自然科学版, 57(1):1-7.
- 林彬, 唐菊兴, 唐攀, 周放日格勒, 孙渺, 祁婧, 陈国良, 张忠坤, 张泽斌, 吴纯能, 田志超, 代晶晶, 杨征坤, 姚晓峰. 2021. 青藏高原甲玛斑岩成矿系统首例 3000 m 科学钻探的初步认识[J]. 矿床地质, 40(6): 1119-1134.
- 聂洪军, 裴荣富, 吴良士, 张洪涛. 1993. 内蒙古白乃庙地区岩浆活动与金属成矿作用[M]. 北京: 北京科学技术出版社. 1-239.
- 孙继源, 冀树楷, 真允庆. 1995. 中条裂谷铜矿床[M]. 北京: 地质出版社. 1-181.
- 唐菊兴, 王登红, 汪雄武, 等. 2010. 西藏甲玛铜多金属矿床地质特征及其矿床模型[J]. 地球学报, 31(4): 495-506.
- 唐菊兴, 多吉, 刘鸿飞, 郎兴海, 张金树, 郑文宝, 应立娟. 2012. 冈底斯成矿带东段矿床成矿系列及找矿突破的关键问题研究[J]. 地球学报, 33(4): 393-410.
- 田光礼, 陈守余, 董凯, 赵江南, 覃伟, 陈俊霖. 2019. 甘肃白银厂折腰山 VMS 矿床蚀变带元素迁移及定律计算[J]. 矿床地质, 31(1):90-100.
- 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):2316-2325.
- 王登红. 1995. 新疆阿舍勒火山岩型块状硫化物铜矿床成矿机制与成模式[D]. 北京: 中国地质科学院. 1-134.
- 王登红, 陈毓川, 朱裕生, 朱明玉, 徐志刚. 2006. 以矿床成矿系列构筑中国成矿体系及其运用[J]. 矿床地质, 25(增刊): 43-46.
- 王登红, 陈毓川, 徐志刚, 盛继福, 朱明玉, 刘喜方, 张长青, 王成辉, 王永磊. 2013. 矿产预测类型及其在矿产资源潜力评价中的运用[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 43(4):1092-1110.
- 王豪. 2014. 云南镇沅下岔河金矿地质特征[J]. 矿床地质, 33(S1): 967-968.
- 姚晓峰, 王友, 畅哲生, 郑文宝, 应立娟, 邓世林, 唐晓倩. 2011. 西藏甲玛铜多金属矿砂卡岩特征及成因意义[J]. 成都理工大学学报(自然科学版), 38(6):662-670.
- 赵如意, 王登红, 陈毓川, 冷成彪, 秦锦华, 赵晨辉. 2020. 南岭成矿带铀矿地质特征、成矿规律与全位成矿模式[J]. 地质学报, 94(1): 149-160.

#### 附中文参考文献

- 蔡鹏捷, 许荣科, 朱本杰, 陶长才, 廖明迅, 刘嘉, 王红军, 卢锐, 杜文洋. 2016. 湖北嘉鱼蛇屋山红土型金矿研究回顾与展望[J]. 地质论评, 62(2):289-397.
- 陈毓川, 李兆鼎, 母瑞身, 沈保丰, 邹光华, 王全明, 林文蔚, 李文亢, 刘娟群, 欧阳宗圻, 孟繁义, 王登红, 张招崇, 毛德宝, 陈富文, 李景春, 李俊建. 2001. 中国金矿床及成矿规律[M]. 北京: 地质出版社. 1-465.
- 陈毓川, 王登红, 徐志刚, 朱明玉. 2006. 对中国成矿体系的初步探讨[J]. 矿床地质, 25(2):155-163.
- 戴荔果. 2019. 青海省滩间山-锡铁山地区金铅锌成矿系统[D]. 武汉: 中国地质大学. 1-251.
- 陈毓川, 王登红, 李厚民, 熊先孝, 高兰, 徐志刚, 盛继福, 徐珏, 袁忠信,