

中国金矿成矿规律与百年勘查成果及 新一轮找矿突破行动建议

——《中国矿产地质志·金矿卷》研编

王登红, 秦锦华*, 王成辉, 刘善宝, 江彪

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: 中国金矿成矿地质条件优越, 成矿期次、分布和矿床类型极其复杂。中国金矿矿床类型包括 2 个一级类型, 6 个二级类型和 13 个三级类型; 时间分布上, 包括以燕山期为主的 7 个主要成矿期, 并记录了复杂的多期复合叠加成矿作用; 在空间上, 金矿在不同构造单元具有显著的空间差异, 以与岩浆作用有关的金矿分布最为广泛, 花岗-绿岩型金矿主要分布于太古宙克拉通-元古宙变质岩分布区(华北克拉通、滨太平洋域), 产于沉积建造中的金矿床局限于黔桂滇交界、粤中地区、川西地区和秦岭地区。近年来, 随着采选冶技术的进步、市场价格的变化和深部找矿的新发现, 中国金矿勘查取得了一些突破性进展, 一方面是一些低于 1 g/t 的低品位金矿也能得以开发, 另一方面是 1 000 m 深度以下的金矿也能被陆续探明, 再一方面是斑岩型、矽卡岩型、浅成低温热液型铜多金属矿床中金的规模越来越大并得以开发利用, 形成了多个千吨级金资源基地。这些新进展新趋势, 也指明了新一轮找矿行动的方向, 既要继续寻找大型-超大型金矿床, 加强矿集区勘查与产业基地建设, 也要加强共生伴生矿床中低品位金的综合回收和尾矿的综合利用。其中, 最为关键的是要突破现有思维格架, 重点聚焦非传统矿床类型、成矿期次、找矿空间。

关键词: 金矿; 成矿规律; 成矿类型; 找矿思路; 勘查成果

中图分类号: P618.2 文献标志码: A doi: 10.3975/cagsb.2024.092401

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

WANG Denghong, QIN Jinhua*, WANG Chenghui, LIU Shanbao, JIANG Biao

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

Abstract: There are superior geological conditions, extremely complex metallogenic stages, distributions and deposit types for gold in China. There are 2 first-order types, 6 second-order types and 13 third-order types for Chinese gold deposits. Temporally, 7 ore-forming periods dominated by Yanshanian stage are included, and long-term complex compound superimposed mineralization processes are recorded. Spatially, there are significant spatial differences in the distribution of gold type assemblages in different tectonic units, among which the gold deposits related to magmatism are the most widely distributed, and the granite-greenstone type gold deposits are mainly distributed in the distribution areas of Archean craton-Proterozoic metamorphic rocks (North China Craton and marginal-Pacific ocean region). Gold deposits in sedimentary formations are confined to the border of Guizhou, Guangxi and Yunnan, central Guangdong, western Sichuan and Qinling Mountains. Recently, with a

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

收稿日期: 2024-07-09; 改回日期: 2024-09-19; 网络首发日期: 2024-09-27。责任编辑: 张改侠。

第一作者简介: 王登红, 男, 1967 年生。博士, 研究员, 博士生导师。主要从事矿产资源研究。E-mail: wangdenghong@sina.com。

*通信作者: 秦锦华, 男, 1992 年生。博士, 副研究员。主要从事多金属矿产及其成矿规律研究。E-mail: qjh1992@qq.com。

series of advances in the technologies of mining, dressing and smelting, changes in market prices and new discoveries in deep prospecting, China has made some breakthroughs in gold exploration. Some low-grade gold deposits with grades lower than 1 g/t can be developed, and gold deposits deeper than 1 000 m can be discovered. Moreover, the scale of gold identified in porphyry, skarn and epithermal copper polymetallic deposits has become progressively larger, and these resources could be developed and utilized, forming several thousand ton gold resource bases. These new developments and new trends provide specific directions of new round of prospecting action. It is necessary to continue to search for large to super-large scale gold deposits, strengthen the exploration of ore concentration areas and the construction of industrial bases, and also improve the comprehensive recovery of low-grade gold in associated deposits and the comprehensive utilization of tailings. Among these, the most critical involves breaking through existing ways of thinking, focusing on non-traditional deposit types, metallogenic stages, and prospecting space.

Key words: gold deposit; metallogenic regularity; mineralization types; prospecting thought; exploration results

金矿是中国的优势矿种,但也是紧缺的战略性资源。对其开展成矿规律和找矿勘查研究具有重要的现实意义。本文在系统梳理中国金矿地质资料的基础上,全面地归纳了中国金矿主要成矿特征、成矿规律和近百年勘查成果,并在充分经验总结的基础上,理论与实践相结合,为新一轮找矿行动中金矿的找矿突破和开发利用提供思路 and 方向。

1 中国金矿资源概况

截至 2022 年底,我国已发现金矿床(点)共计 5 349 处,其中岩金矿床(点)(含伴共生金矿床) 4 191 处,砂金矿床(点)1 158 处,遍布全国 30 个省(市、区),累计探明金矿资源储量超过 2.1×10^4 t(表 1)。我国金矿资源在各省均有产出(图 1),金矿床数量较多的省份依次是新疆、西藏、青海、黑龙江、四川、山东、甘肃、内蒙古等,西北地区金矿床数量较多,也与其面积较大相关。金矿资源具有以下特点:(1)规模及资源量分布极不均匀,主要集中在几个产金大省,尤以山东为最,其金资源储量 5 491.35 t,约占全国的 26%,我国金资源储量超千吨的省份除山东外,还有河南、甘肃、内蒙古、云南,该 5 省金资源储量占全国金资源储量的 48%;(2)大型金矿床数量少但资源相对集中,中、小型金矿数量占全国的 54.5%,矿点数量占全国的 41.53%,但二者的金储量仅占全国金矿储量的 32.87%;(3)伴生金比例较大,其探明储量约占我国金储量的 30%以上,保有储量约为 27.9%;(4)品位总体上不高,矿石品质较差,以中低品位为主;(5)地质勘探程度相对较低,绝大多数为普查和详查,中西部地区新发现的矿床多为普查,提交的多为科研储量。在找矿突破战略行动的第一阶段(2011—2013 年),我国新增金矿资源储量达 2 395 t,这表明我国金矿找矿工作仍具有巨大潜力;(6)勘探深度较小,一般小于 600 m,而国外金矿探采已达 2 000~4 000 m,甚至超过 4 000 m。我国除了面上勘查工作程度

表 1 中国各省(市、区)金矿规模数量与储量
Table 1 Deposit scale, quantity and reserves of gold in provinces (cities and districts) of China

省份	资源 储量/t	矿产 地数	岩金	砂金	超大型	大型	中型	小型	矿点
安徽	444	83	80	3		5	16	61	1
北京	29	24	24				2	9	13
福建	410	95	79	16	1		7	19	68
甘肃	1 195	291	263	28	2	9	31	185	64
广东	155	112	83	29		3	5	12	92
广西	551	167	160	7		9	11	127	20
贵州	686	75	72	3	2	6	4	59	4
海南	115	28	27	1		1	4	17	6
河北	533	253	247	6		10	6	233	4
河南	1 334	161	157	4	2	12	24	103	20
黑龙江	770	338	127	211	1	15	42	147	133
湖北	311	71	64	7		4	5	62	
湖南	597	156	112	44		9	17	51	79
吉林	642	232	188	44		7	26	87	112
江苏	28	21	21				1	7	13
江西	566	97	71	26	2	5	15	45	30
辽宁	649	207	182	25	1	5	10	181	10
内蒙古	1 178	261	226	35	1	15	27	157	61
宁夏	5	9	7	2				3	6
青海	607	354	254	100		12	17	73	252
山东	5 491	293	281	12	7	29	60	131	66
山西	208	153	144	9		1	7	64	81
陕西	840	168	131	37	1	8	25	100	34
四川	527	302	238	64		7	42	103	150
台湾	111	16	4	12	1				15
天津	2	3	3					1	2
西藏	1 221	498	191	307	4	12	19	48	415
新疆	914	666	569	97	1	7	32	228	398
云南	1 022	156	132	24	2	7	18	97	32
浙江	42	59	54	5		1		22	36
总计	21 183	5 349	4 191	1 158	28	199	473	2 432	2 217

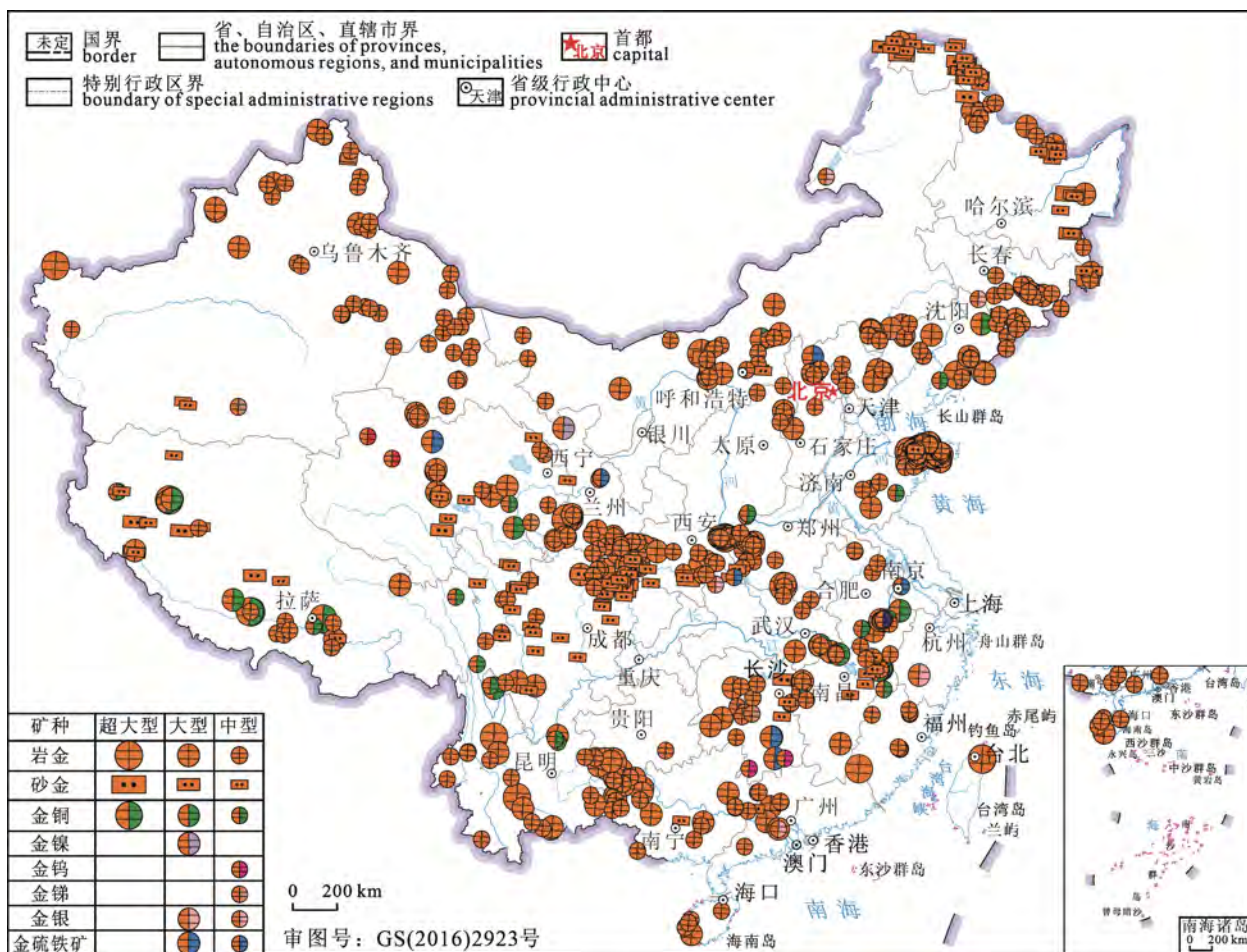


图1 中国金矿分布略图

Fig. 1 Distribution schematic of gold deposits in China

较低之外,可能与向深部大胆勘查的思路不够开拓有关;(7)资源占用率很高,但利用效率低。绝大多数探明金矿已被占用,很多中小型矿山为地方或乡镇企业所有,管理水平低下,采富弃贫、乱采乱挖、资源浪费现象较普遍。后备资源储备严重不足,其危机程度不亚于锂铍等战略性新兴产业种。

2 中国金矿成矿规律

2.1 中国金矿成矿类型

金地球化学性质独特,广泛参与到各种地质过程并富集于不同的构造背景、地质条件、赋矿岩石之中,具有极其复杂的成矿类型。对金的工业类型划分,李舒等(1999)提出了11种类型的划分方案。在2002年国土资源部《岩金矿地质勘查规范》中,划分出破碎带蚀变岩型、含金石英脉型、斑岩型、矽卡岩型、角砾岩型、硅质岩层中的含金铁建造型、含金火山岩型和微细粒浸染型8大类。对于成因类型,其划分方案也更为复杂多样。近百年的勘查开发和理论研究诞生了岩浆成矿作用和温度深度、矿体形态和矿化类型、含金矿石建造、构造环境和金成矿作用、元素地球化学组合、容矿围岩或含矿建

造、成矿地质作用、成矿物质来源等等为依据的一系列划分方案(Lindgren, 1933; 郑明华, 1983; 涂光炽, 1990; 刘英俊等, 1991; Robert et al., 2007)。

中国金矿床的类型最为齐全,几乎世界上所有已知金矿床成因类型在中国均有发现,而且往往在同一个矿集区就可以见到多种类型(包括多种不同元素组合类型、多种围岩产出类型、多种成因类型、多种工业类型)的金矿同时存在的情况。以金矿基本成矿特征为基础,通过归纳和系统总结已有研究和最新进展,并结合《中国矿产地质志》矿床类型(工业/成因)划分方案规范要求,此次研究将中国金矿床分为内生金矿和外生金矿2个一级类型、6个二级类型、13个三级类型(表2)。根据对中国227个大型、超大型金矿床统计,包括岩浆型1处,伟晶岩型1处,矽卡岩型8处,斑岩型19处,非岩浆成因的热液型金矿39处,叠加型13处,风化型2处,陆相火山岩型11处,海相火山岩型7处,砂矿型26处,变成型1处,岩浆热液型99处。

2.2 中国金矿的空间分布规律

中国金矿的空间分布极不均匀。从全球性成矿域来看,古亚洲成矿域古隆起区广泛分布的前寒

武纪变质岩系是中国东部地区重要的成矿条件,发育夹皮沟、金厂峪金矿等;滨太平洋成矿域产出金矿资源占中国岩金总储量的 30%以上,大量发育产于前寒武纪基底中生代上叠式火山断陷盆地边缘的火山岩型和次火山岩型金矿、复成热液型金矿及以中生代岩浆热液成矿作用为主形成的金矿。在特提斯—喜马拉雅成矿域,古生代蛇绿混杂岩和中酸性侵入岩,古生代—中生代海相火山岩、泥砂质碎屑岩、碳酸盐岩以及新生代的酸性-碱性次火山岩均赋存有不同类型不同规模的金矿化。中国金矿发育的另一大特色为“过渡地带”成矿,在东

西过渡、三大成矿域的交汇地带,发育了以印支期褶皱造山带为特色的松潘—甘孜地区和右江流域的滇黔桂金三角。

总体上来看,中国金矿具有空间分布广泛、但又趋于集中产出的特点,胶东、小秦岭、滇黔桂是最重要的矿集区。我国金矿的空间分布规律表现为:(1)金矿成矿省、成矿带(Ⅱ级和Ⅲ级成矿单元)的分布明显受区域成矿构造带、尤其是北西西向、北北东向构造带的控制;含金建造广泛发育,尤其是叠加有中生代岩浆岩的含金建造分布区,为金矿的集中产出奠定了基础。太古界中-基性火山岩系、元古宙

表 2 中国金矿(成因/工业)类型的划分
Table 2 Classification of gold deposits (genetic/industrial) in China

一级分类	二级分类	三级分类	四级分类	典型金矿床(含共生伴生金矿)
内生金矿	岩浆作用金矿	岩浆型金矿	岩浆熔离型	甘肃金川式岩浆型铜镍硫化物矿床中伴生金
		伟晶岩型金矿		内蒙古哈达门沟, 海南抱板
		矽卡岩型金矿	接触带矽卡岩型	湖北鸡冠咀、鸡笼山, 湖南宝山, 西藏甲玛、马攸木
		斑岩型金矿	角砾岩化斑岩型	河南祁雨沟
			细脉浸染状斑岩型	江西德兴, 西藏玉龙, 黑龙江团结沟、多宝山, 甘肃贾公台, 安徽抛刀岭, 吉林小西南岔, 内蒙古毕力赫, 云南马厂箐、长安
			岩体中的石英脉型	河北东坪, 山东玲珑
		岩浆热液型金矿	岩体中的破碎带蚀变岩型	辽宁五龙
			接触带的石英脉型	
			接触带的破碎带蚀变岩型	山东焦家、三山岛
			围岩中的破碎带蚀变岩型	
		陆相火山岩型金矿	浅成热液型	新疆阿希
	台湾金瓜石, 福建紫金山			
	河南上官, 江苏铜井			
	海相火山岩型金矿	火山喷气-沉积型块状硫化物矿床中伴生金矿	辽宁红透山, 甘肃白银厂, 新疆阿舍勒	
	变质作用金矿	受变质型金矿	四川呷村, 甘肃小铁山	
变成型金矿		黑龙江东风山, 山西柏枝岩		
		低级变质火山沉积岩中的层状金矿床	辽宁南龙王庙、排山楼, 内蒙古十八顷壕	
		中级变质绿岩带脉型金矿床	吉林夹皮沟	
含矿流体作用金矿(非岩浆-非变质)	浅成中-低温热液型及成因不明金矿	高级变质绿岩带的脉型金矿	河北金厂峪、小营盘	
		细碎屑岩-碳酸盐岩中的微细浸染型金矿	贵州紫木函, 广西高龙、金牙, 四川东北寨, 贵州册亨、板其, 甘肃拉尔玛	
		变质碎屑岩中脉型金矿	辽宁猫岭、四道沟, 湖南沃溪	
外生金矿	表生作用金矿	风化型金矿	热泉型金矿	云南腾冲, 西藏羊八井
			红土型金矿	湖北蛇屋山, 贵州老万场
	沉积作用金矿	砂矿型(机械沉积型)金矿	铁帽型金矿	安徽新桥, 江西吴家湾
			新生代江河湖海残坡积、洪冲积型未固结砂金矿	青海扎朵, 陕西恒口, 甘肃碧口, 内蒙古古利库、石哈河, 黑龙江呼玛、桦南, 吉林柳树河子, 西藏崩纳藏布, 四川漳腊, 贵州架底, 湖南汨罗江
			新生代以前的砂砾岩型金矿	吉林黄松甸子, 黑龙江小金山
叠加(复合/改造型)金矿				黑龙江老柞山, 安徽天马山, 海南戈枕

含金浅变质岩系、古生代—三叠纪含金沉积岩系、显生宙侵入-火山岩系及中、新生代含金砂砾岩系最为重要；(2)成矿时代和成矿空间具有显著的集中性，乃至可形成以金为主的相对独立的矿床成矿系列，而金矿成矿系列的客观存在为矿集区的圈定奠定了理论基础；基于金矿带的空间展布、成矿时代、构造格架、沉积、变质与岩浆建造特征、金矿床类型等因素，全国范围内可分出 55 个金矿集中区(图 2，表 3)。这一级别的金矿成矿单元相当于三级或四级构造单元，无论在其控矿地质特点上，还是在金矿类型等方面都表现出较大的同一性，往往组成相同、相近的成矿系列或金属矿化组合；(3)不同类型金矿床空间分布特征呈现出显著差异。花岗-绿岩型金矿主要分布于华北陆台高级变质区和花岗-绿岩带组成的太古宙克拉通内，尤其是华北陆台的北缘，以及滨西太平洋构造域部分地槽区元古宙变质岩出露部分(如佳木斯地块)；岩浆作用形成的金矿往往分布于大陆板块边缘活动带、中生代断陷盆地边缘火山岩浆带以及陆内深大断裂带；通常，区域性深大断裂为其导岩构造，次级断裂或裂隙带为其控矿构造；两组或多组方向构造的复合交汇部位是成岩成矿的有利部位；产于沉积建造中的金矿床主要分布于华南褶皱系

的右江褶皱带和粤中(南)坳陷区、松潘—甘孜褶皱系雅江褶皱带及秦岭褶皱系武当—淮阳前寒武系隆起。

2.3 中国金矿成矿时代分布规律

中国金矿成矿起步早，时间跨度大，具有多期次、多旋回成矿的鲜明特点，且不同于国外以前寒武纪为主的特点，而是“后来居上”，整体可总结为：“一老一新成矿、东西南北有别、多期叠加成矿、成岩成矿存时差”。金矿包括 7 个主要成矿期，即新太古代—古元古代(五台期, Ar_3/Pt_1 , >1 800 Ma)、中元古代—新元古代(Pt_1/Pt_2 , 四堡—雪峰期, 1 800~800 Ma; Pt_3 , 晋宁—兴凯期, 800~500 Ma)、早古生代(加里东期, Pz_1 , 500~400 Ma)、晚古生代(华力西期, Pz_2 , 400~250 Ma)、早中生代(印支期, Mz_1 , 250~200 Ma)、晚中生代(燕山期, Mz_2 , 200~65 Ma)和新生代(喜马拉雅期, Kz , <65 Ma)。燕山期是我国金矿成矿的高峰期(主要集中于 105~145 Ma)，燕山期形成的金矿达 1 450 处，累计探明的资源储量达 13 031.36 t，占全部储量的矿产地数的 46.6%、探明资源储量的 62.4%。尤其是燕山期的超大型金矿的数量占全部超大型金矿的一半以上，而资源储量占 72.2%(表 4)，其次为印支期；喜马拉雅期金矿不断被发现，也是我国金矿重要的成矿期之一(图 3)。



图 2 中国金矿空间分布规律图
Fig. 2 Spatial distribution regularities map of gold deposits in China

表3 中国金矿主要成矿单元及集中区一览表
Table 3 Main ore-forming units and concentration areas of gold deposits in China

编号	金矿矿集区名称	所在的Ⅲ级成矿单元	代表性矿床(以大型为主)
AuJ01	阿尔泰	Ⅲ01、Ⅲ02、Ⅲ03	多拉纳萨依
AuJ02	西准噶尔	Ⅲ04①	齐依求I号
AuJ03	东准噶尔	Ⅲ04②	卡拉麦里I号
AuJ04	东天山巴里坤	Ⅲ06	索尔巴斯陶
AuJ05	西天山	Ⅲ09	阿希
AuJ06	西天山那拉提	Ⅲ10、Ⅲ11①	卡特巴阿苏
AuJ07	南天山	Ⅲ12③	萨瓦亚尔顿
AuJ08	康古尔—镜儿泉—北山	Ⅲ8①	康古尔、野马泉西
AuJ09	阿拉善	Ⅲ18	朱拉扎嘎
AuJ10	白云鄂博—商都	Ⅲ58	浩尧尔忽洞、哈达门沟、长胜渠、石哈河
AuJ11	白乃庙—锡林浩特	Ⅲ49	毕力赫、巴彦哈尔敖包
AuJ12	五台—太行	Ⅲ57、Ⅲ61	义兴寨、小营盘、东坪、石湖、韩家沟
AuJ13	华北地台北缘中段	Ⅲ50、Ⅲ51、Ⅲ57①、Ⅲ57②	撰山子、莲花山、柴胡栏子、金厂沟梁
AuJ14	燕辽	Ⅲ57②、Ⅲ57③	峪耳崖、牛心山、下营坊、东梁、金厂峪
AuJ15	额尔古纳	Ⅲ46、Ⅲ47①	砂宝斯、老沟河、阿里亚河、古莲河、大林河
AuJ16	漠河—黑河	Ⅲ46、Ⅲ47②、Ⅲ48①、Ⅲ52①	查拉班河、达拉罕、韩家园子、兴隆沟、多宝山、争光、古利库
AuJ17	北大兴安岭—张广才岭	Ⅲ52①、Ⅲ53	东安、团结沟
AuJ18	佳木斯	Ⅲ53	桦南、老柞山、雷锋沟
AuJ19	延边	Ⅲ52②	小西南岔、柳树河子
AuJ20	华北地台北缘东段	Ⅲ55①、Ⅲ55②、Ⅲ56①、Ⅲ56②	夹皮沟、老金厂、板庙子、二道甸子
AuJ21	辽东	Ⅲ56②、Ⅲ56③、Ⅲ56④	白云、五龙、四道沟
AuJ22	柴达木北缘	Ⅲ24	青龙沟、金龙沟
AuJ23	巴颜喀拉	Ⅲ26②、Ⅲ29、Ⅲ30①	五龙沟、大场、加给陇洼、扎家同哪、岩金沟
AuJ24	兴海—玛曲	Ⅲ26②、Ⅲ26③、Ⅲ28②	满丈岗、抗得弄舍
AuJ25	西秦岭	Ⅲ24、Ⅲ28、Ⅲ30①	以地南、早子沟、拉尔玛、加甘滩、大水
AuJ26	陕甘川	Ⅲ23、Ⅲ28、Ⅲ30①、Ⅲ73	李坝、大桥、煎茶岭、八卦庙、阳山、双王、庞家河
AuJ27	陕南风县—镇安	Ⅲ66②	金龙山、恒口
AuJ28	豫西灵宝(崤山)	Ⅲ63②	大湖—灵湖、涣池峪—藏马峪、东闯—金渠、文峪、大王西峪、桐峪
AuJ29	小秦岭—熊耳山	Ⅲ63②、Ⅲ63③、Ⅲ66①	东湾—赵岭、槐树坪、上宫、元岭—南坪、祁雨沟
AuJ30	桐柏	Ⅲ63④	老湾、银洞坡
AuJ31	鲁西	Ⅲ64	归来庄
AuJ32	胶西北	Ⅲ65	焦家、玲珑、三山岛、夏甸、大尹格庄、台上一水旺庄、玲南
AuJ33	胶莱	Ⅲ67②	邓格庄、西涝口、土堆—沙旺、蓝家庄、宋家沟、辽上、金牛山、金青顶
AuJ34	藏西北	Ⅲ40、Ⅲ41、Ⅲ43、Ⅲ44	江模、萨弄浦、马攸木
AuJ35	藏西南措勤—纳木错	Ⅲ41	崩纳藏布
AuJ36	藏西南日喀则	Ⅲ43、Ⅲ44	雄村、则莫多拉、朱诺
AuJ37	喜马拉雅	Ⅲ43、Ⅲ44、Ⅲ45①	邦布、甲玛
AuJ38	川西南木里—冕宁	Ⅲ31、Ⅲ32②、Ⅲ75①、Ⅲ76	梭罗沟、张家坪子
AuJ39	哀牢山北段	Ⅲ75①	北衙、马厂菁
AuJ40	哀牢山中段	Ⅲ34、Ⅲ36②	老王寨、金厂
AuJ41	哀牢山南段	Ⅲ75②	大坪、长安
AuJ42	滇黔桂	Ⅲ77①、Ⅲ83③、Ⅲ88、Ⅲ89	烂泥沟、水银洞、老寨湾、紫木幽、戈塘、泥堡、金牙、丫他
AuJ43	大瑶山	Ⅲ83③、Ⅲ87	龙头山、福六岭、深泥田
AuJ44	雪峰山	Ⅲ77②、Ⅲ78、Ⅲ86①	沃溪、铲子坪、淘金冲
AuJ45	江南古陆中段	Ⅲ70	黄金洞、万古、汨罗江
AuJ46	湘中南	Ⅲ70、Ⅲ83②	康家湾、宝山、龙王山
AuJ47	粤西	Ⅲ83②、Ⅲ83③、Ⅲ84、Ⅲ85①	黄泥坑、河台、长坑
AuJ48	琼西南	Ⅲ90	抱伦
AuJ49	湘鄂赣	Ⅲ69④、Ⅲ69⑤	蛇屋山、鸡笼山、鸡冠咀—桃花嘴
AuJ50	安庆—铜陵	Ⅲ69④	凤凰山、天马山、抛刀岭、狮子山(冬瓜山)
AuJ51	赣东北	Ⅲ71	铜厂、银山、金山、富家坞、石坞
AuJ52	赣南东段	Ⅲ83①	牛形坝
AuJ53	浙西南	Ⅲ81	横坑头、治岭头
AuJ54	闽西南	Ⅲ82	紫金山
AuJ55	台东北	Ⅲ79	金瓜石

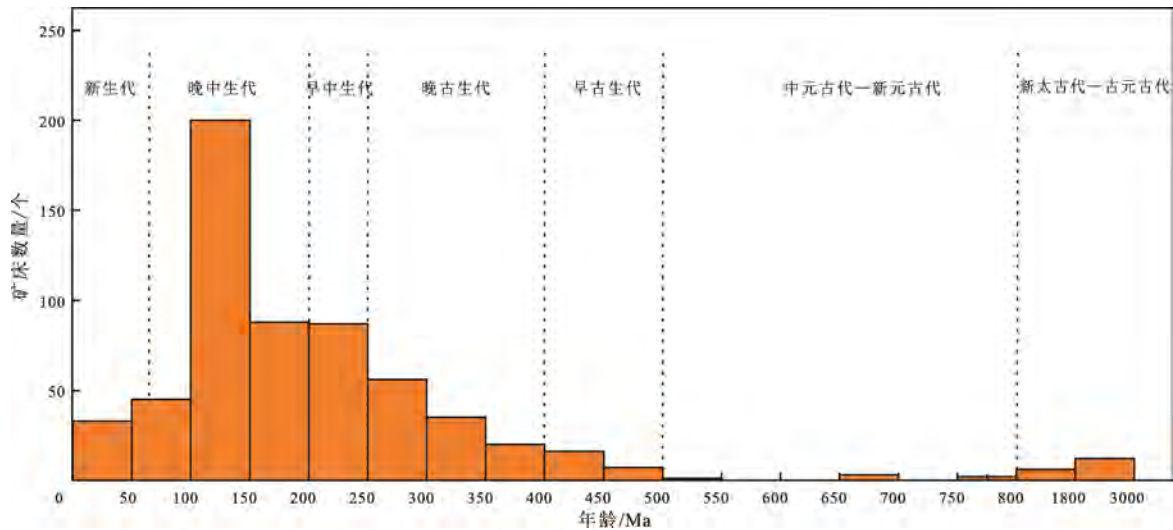


图 3 中国大型、超大型金矿成岩成矿年龄直方图
Fig. 3 Rock- and ore-forming age histograms of large and super-large scale gold deposits in China

表 4 中国不同成矿期金矿资源量及矿产地数统计表
Table 4 Statistics of gold resources and number of ore areas in different mineralization periods in China

规模	超大型		大型		中型		小型		总计	
成矿期	资源储量/t	矿床数	资源储量/t	矿床数	资源储量/t	矿床数	资源储量/t	矿床数	资源储量/t	矿床数
喜马拉雅期	1 090	7	651	35	536	126	366	464	2 660	1 371
燕山期	5 143	15	4 570	116	2 047	217	1 354	1 103	13 183	2 020
印支期	526	4	879	19	495	48	403	335	2 308	716
华力西期	151	1	780	19	442	49	326	316	1 713	762
加里东期			334	6	151	12	137	110	624	224
晋宁—兴凯期					35	3	21	25	56	42
四堡—雪峰期			69	1	18	2	10	7	96	17
五台—吕梁期	215	1	122	3	83	12	68	60	490	152
时代不明					32	4	21	12	54	45
合计	7 124	28	7 404	199	3 838	473	2 705	2 432	21 183	5 349

(1)金矿成矿的不同时代的分布规律

新太古代—古元古代时期(五台—吕梁期, ~1 800 Ma)形成的金矿床主要分布于华北地台北缘, 矿源层均为太古宙绿岩建造(陈毓川等, 2001)。该期发育花岗-绿岩带型金矿。成矿与以基性为主的火山-沉积活动及其后来的构造-变质改造过程密切相关, 形成华北地台中太古代(3.2~2.8 Ga)陆核发育阶段形成的 Fe、石墨、Au 矿床成矿系列组、华北地台中东部(辽吉、冀东、鲁西花岗-绿岩带中)与新太古代前期(2.8~2.7 Ga)构造旋回有关的 Fe、Cu、Zn、Au 多金属矿床成矿系列组及华北地台中西部(鲁西、五台、色尔滕山、中条地区花岗-绿岩带中)与新太古代后期(2.7~2.5 Ga)构造旋回有关 Fe、Cu、Au、非金属矿床成矿系列组等, 代表性的金矿床有金厂峪、夹皮沟、红透山等(张秋生等, 1991; Lin et al., 1995; 陈江峰等; 2004; 喻钢等, 2005; 刘军等, 2018); 中元古代—新元古代早期

(四堡—雪峰期, 1 800~800 Ma)金矿同样以花岗-绿岩带金矿为代表, 但整体矿化强度较弱, 分布不广, 主要产于吉黑褶皱系佳木斯地块, 其赋矿地层为古元古界东风山群, 为一套变质的火山-沉积岩系。成矿与区域变质作用有关, 经历了区域进化变质及构造变形成矿阶段、变质热液成矿阶段和区域退化变质成矿阶段, 形成了铁硅质建造中的金矿床, 属火山喷气-变质成因, 代表矿床有东风山、五里浸、德兴金山等(伍勤生等, 1989; 王秀璋等, 1999; 毛光周等, 2008; 乔建新等, 2016); 新元古代(晋宁—兴凯期, 800~500 Ma)金矿床较少, 均为成因待查明的热液型矿床。其中与岩浆作用有关的金矿床, 主要分布于扬子地台龙门—大巴台缘褶皱带黄陵隆起区, 其赋矿地层为古—中元古代变质岩系, 成矿与元古宙黄陵花岗岩有关; 早古生代(加里东期, 500~400 Ma)的金矿床主要分布于祁连褶皱系和华南褶皱系武夷—云开隆起区, 前者赋

矿地层为早古生代浅变质火山岩系,成矿作用与超基性岩浆系列和偏碱性玄武岩浆系列有关,代表性矿床如甘肃白银厂。后者主要与加里东期花岗岩类有关,如湾岛金矿、沃溪金矿、万古金矿、古袍金矿等。另有部分分布于柴北缘—祁连地区(贾台金矿、双口山金矿、青龙沟金矿等)、华北地台北缘(白乃庙金矿、白音宝力道金矿等)、新疆阿尔金(太平沟金矿);晚古生代(华力西期, 340~255 Ma)的金矿床主要产于海西褶皱带,分布在中国北部的华北陆台北缘、内蒙古—大兴安岭褶皱系、天山褶皱系、阿尔泰褶皱系和准噶尔褶皱系内。成矿作用主要与华力西期幔源或壳幔混源基性-中酸性火山-侵入作用有关。赋矿地层包括元古宙变质岩和古生代沉积岩及火山岩。矿床(化)类型以火山岩型为主;早中生代金矿分布范围集中于西秦岭、东昆仑和天山—北山成矿带。西秦岭造山带以印支期岩浆岩和大金矿发育为特征,且往往记录了燕山期的信息,如早子沟、加甘滩、大桥、八卦庙、李坝、双王金矿等(王相, 1996; 张广辉等, 2013; Liu et al., 2015; 柯昌辉等, 2020)。有些矿床的成矿年龄甚至可以从印支期延续到新生代,比如马脑壳金矿和拉尔玛金-铀矿(周德安, 1993; Zhou et al., 1996; 季宏兵等, 1999; 付绍洪等, 2004);燕山期为最主要的成金期,以岩浆热液成矿为主,并有古老地层的参与(陈毓川等, 2001; 王彦斌等, 2014)。此外,燕山期与岩浆作用有关的金矿化往往会重叠于早已形成的花岗-绿岩带金矿及华力西期与岩浆作用有关的金矿之上而形成叠加型金矿。如黑龙江老柞山金矿,矿床存在两个内生成矿期,早期成矿与华力西期岩浆活动有关,晚期矿化与燕山晚期中酸性岩浆作用有关(李晓敏等, 2001; 李怡欣等, 2011);新生代(喜山期)的金矿化一般认为强度较弱,已知金矿床总数(包括砂金矿)和储量均占全国总数的不到 5%(陈毓川等, 2001)。主要分布于滨西太平洋成矿域中国东南沿海岛弧区的台湾褶皱系、特提斯成矿域三江褶皱系和喜马拉雅褶皱系的雅鲁藏布江优地槽褶皱带内。成矿时代以喜马拉雅期为主,部分为燕山晚期,成矿年龄值多为 30~70 Ma(温春齐等, 2004; 范小平等, 2005; 江思宏等, 2008)。

(2) 金成矿的长期继承与叠加再造

金元素在地壳和地幔中丰度均低且分散,要形成大规模的工业富集,往往要经过长期的、多种地质成矿作用、多期次叠生才有可能。从矿床成矿系列角度来看,以华北陆台北缘、华北陆台成矿区、祁连—秦岭、华南褶皱系等为代表的成矿(区)带中,发育 4~5 个矿床成矿系列,并常出现较多的矿床(化)类型、多期(次)成矿的金矿密集区,表现了金矿的多

旋回构造-岩浆-成矿特点。其中,以华北陆台北缘金成矿带最为典型,金的成矿作用从太古代花岗绿岩建造金矿源层的形成开始,经历了新太古—古元古代(花岗-绿岩带)成矿、华力西期成矿,再到燕山期成矿(成矿高峰期),经历了漫长的地质发展时期。这一成矿特点与华北陆台北缘地质发展史上出现的多旋回构造-岩浆活动是息息相关的。从同位素年代学数据来看,大量金矿床的成矿年龄具有多期次特征,且时间跨度很大。广东河台金矿经历了加里东期至燕山晚期 370 Ma 的漫长过程(王鹤年等, 1992; 王登红等, 2014);吉林夹皮沟金矿经历了 3.1~2.8 Ga 期间矿源层形成期、2.5 Ga 矿源层中的金活化分配成矿期(三道岔金矿)、2.5~0.15 Ga 期间碱交代和热变质成金期(红旗沟金矿、二道甸子金矿)。这充分的证实了不同时代的叠加、改造和再造在金矿成矿过程中的重要意义。同时,即便是在成矿期(燕山期)也往往有早、晚或早、中、晚之分,如山东焦家含金黄铁绢英岩中早期和晚期矿化蚀变水云母的 Rb-Sr 年龄分别为(105±7) Ma 和(88.1±0.1) Ma(骆万成等, 1987)。李英等(1990)通过铅同位素研究,揭示华北地台南缘地壳中铅同位素经历了 4 个热演化阶段: 2 600 Ma 前为地幔系统, 2 600~1 000 Ma 为“幔质”地壳系统, 1 000~700 Ma 为热液对流系统, 700~200 Ma 出现岩浆-地壳混合系统。

2.4 我国金矿的谱系特征

我国金矿成矿谱系特征表现为成矿强度老弱新强、叠加成矿的时间跨度大、新生代金矿的资源潜力也大(图 4)。其成矿演化规律表现为: ①在矿产地数量和资源量方面,燕山期金矿列于各时代金矿之首,其次为印支期、华力西期、喜马拉雅期、加里东期、五台—吕梁期、晋宁—雪峰期,华力西期和喜马拉雅期金矿所占比重明显上升; ②在成矿作用性质上,新太古—古元古代主要为与古老花岗岩-绿岩带有关的变质热液成矿作用;中—新元古代成矿期兼有变质热液成矿作用和岩浆热液成矿作用;古生成矿期主要是岩浆热液成矿作用;中生代成矿期则以岩浆热液成矿作用为主导,兼有地下热(卤)水溶滤成矿作用;新生代成矿期主要为岩浆热液成矿作用和表生成矿作用; ③在空间分布上,新太古—古元古代金矿床主要分布于华北陆台尤其是其北缘;中—新元古代金矿化强度较弱,分布不广;早古生代金矿主要分布于柴达木北缘、祁连和武夷—云开及周边地区,在华北地台北缘、新疆阿尔金、东天山和西天山也存在加里东期金矿;华力西期金矿在西北地区分布较广泛,主要集中在新疆等地;印支期成金强度不大,主要分布在西秦岭、东昆仑和天山—北山成矿带,华南地区也有少量分布;燕

山期金矿分布在我国各个成矿区带,以华北地台北缘和华北地台东部最为广泛而强烈;西南三江褶皱

系和喜马拉雅褶皱系、雅鲁藏布江优地槽褶皱带是新生代金矿的集中产地。

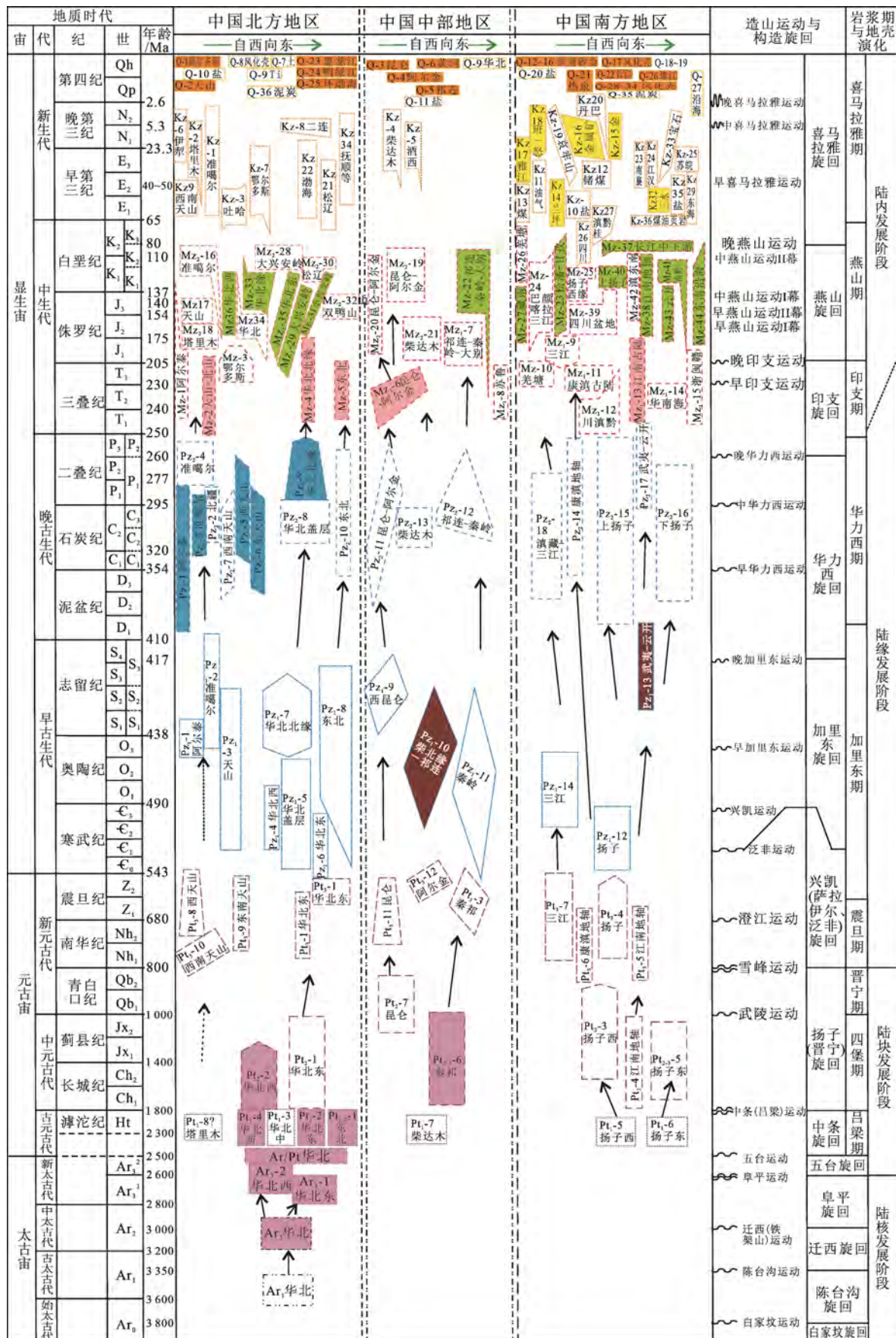


图4 中国金矿成矿谱系图

Fig. 4 Metallogenic pedigree chart of gold mineralization in China

3 百年金矿勘查成果

我国金矿地质工作起步较早, 古人也做了大量有益探讨和研究, 但未能建立完整的科学体系, 与金矿相关的地质科学一直没有得到充分发展。近百年来, 针对于金矿的找矿勘查和理论研究取得了前所未有的进展和突破, 分别在金矿床的类型、规模和数量上实现了一次次的重大突破。

3.1 中华人民共和国成立以前的金矿勘查阶段

早在 1906 年, 顾琅和鲁迅出版的《中国矿产志》便对中国境内 120 余处金矿的分布概况进行了论述。1910—1931 年, 顾琅、卫勒、姚业经、王维燮、刘祖彝、胡哲如、王缙云、赫文汇、沈承珩、胡博渊、傅玉律、翁文灏、江祖蕓、雪卢等无数地质前辈对华北地区、东北地区的金矿开展了基础地质研究和一系列勘查工作。1931—1939 年, 国民党中央政府资源委员会开始组织力量对金矿进行专门的地质调查, 并先后在各地设立过 14 个省或地区性的金矿探矿队, 以调查中国西南、中南和西北各省的金矿。在此期间, 我国老一辈地质学家如翁文灏、谢家荣、谭锡畴、侯德封、尹赞勋、冯景兰、夏湘蓉、喻德渊、刘国昌、郭文魁、王晓春、高振西、李承三、刘祖彝、田奇瑞及程裕淇等人在极度困难的条件下, 先后在一些产金区开展了矿床地质研究工作, 其中有冯景兰、郭文魁、刘国昌等对胶东地区金矿的成矿规律研究; 曹世禄、李捷等对鄂豫交界地带砂金矿床分布规律的研究; 王晓青、喻德渊、吴京、刘国昌、廖士范、胡博渊等对湘西、黔东南金矿的研究; 刘祖彝等对西南地区金矿的研究; 李承三、姚文光等对广东金矿的研究; 高振西、王植等对广西金矿的研究, 等等。此阶段在金矿床分布、矿床地质特征、成矿地质背景等方面积累的资料, 为中华人民共和国成立后的金矿勘查和开发事业奠定了良好的基础。

3.2 中华人民共和国成立以后的金矿勘查阶段

中华人民共和国成立以来, 我国在金矿找矿勘查方面取得了巨大成就, 发现了大量重点矿床, 建立了一批重点金矿矿集区(产金基地), 在取得丰硕找矿成果的同时, 极大地丰富了金矿成矿理论。1950—1970 年, 谢家荣、侯德封、冯景兰、郭文魁、马杏垣、业治铮、赵家驹等分别对山东、辽宁、黑龙江等地的金矿进行了调查研究。山东地质局第六地质队、河南省地质局区测队等等开展了系统的勘查工作, 先后发现了小秦岭金矿田、团结沟斑岩型金矿床、胶东新城、焦家、三山岛特(超)大型破碎蚀变岩型金矿床、山东蓝山金矿、浙江冶岭头火山

岩型金矿床等等。在理论方面, 中国的地质学家们在金矿地质研究中, 深入探索了金矿的成因和找矿规律, 厘定了四种主要的金矿成因类型/工业类型, 九个成矿期和三大成矿域, 并提出了“结构控矿、热液控矿、岩浆控矿”等金矿成矿理论, 推动了金矿地质理论的发展。20 世纪 80 年代以来, 中国金矿有组织的大规模勘查取得了极大的发展, 通过“七五”、“八五”计划期间的工作, 我国建立了胶东、小秦岭、阴山—燕辽、辽吉东部、黑龙江砂金、川陕甘三角区砂(岩)金、鄂皖赣伴生金七大黄金生产基地, 探获的数千吨黄金, 拓展了粤西—海南、川黔滇三角区、新疆等地的黄金产业, 奠定了中国现代黄金产业的资源基础。此后, 中国金矿的勘查工作一直处于世界前列, 已发现的金矿类型是世界上最多的, 查明的资源储量无论是单个矿床还是全国总量也都一直在增长。进入 21 世纪以来的 20 多年间, 探获的金矿资源储量显著增长(增加了 3.6 倍), 工作程度总体上也明显提高, 但矿产地数量(不计矿化点)增加缓慢, 这也意味着找矿尤其是发现新的矿产地的难度越来越大, 突破口主要在老矿区增储和向深部进军。1997—2007 年间, 我国黄金保有储量增长速度相对较慢, 主要原因是大型-超大型金矿及可供开采的露天矿很少, 而难选冶金矿相对偏多。但随着科技的不断发展和黄金需求转暖, 我国金矿勘探工作取得了新进展。2006 年, 我国在滇黔桂和陕甘宁等地区探明黄金储量超过 650 t。2008 年, 山东省地矿局地质六队在焦家金矿成矿带深部发现特大型金矿, 矿床类型为破碎蚀变岩型, 探明金储量达 103 t, 潜在经济价值超过 200 亿元, 拉开了金矿深部找矿的序幕。截至 2022 年底, 全国发现金矿产地 5 343 处, 其中砂金 1 158 处, 岩金与土型金矿 4 185 处; 超大型金矿 23 处(含超大型砂金矿床 1 处), 大型 189 处, 中型 466 处, 小型 2 446 处, 矿点 2 219 处, 探获的资源储量合计 22 330 t。尤其是山东焦家和三山岛这两个超过千吨的金矿资源基地的找矿勘探取得持续突破, 显著提升了中国金矿的资源保障程度, 也标志着中国金矿的勘查能力上升到了一个新的高度(表 5)。

4 中国金矿开发利用及新一轮找矿突破方向

4.1 继续寻找大型-超大型金矿床

中国金矿的找矿方向主要是大型超大型矿床, 尤其是新区新类型的大型超大型金矿。中国有悠久的采金历史, 古人留下的采金坑、挖金洞、淘金遗迹遍布全国各地, 特别是中华人民共和国成立后新

发现了一大批金矿床,为社会主义建设做出了重要贡献,但金矿资源仍满足不了国民经济建设日益发展和人民群众日益增长的需要。大型、超大型金矿因为其规模大,矿山服务年限长,产业集中度高,能够解决大问题,一直是地质找矿工作者梦寐以求的目标。从国外典型金矿的找矿效果看,1 000 m 以深,甚至于 2 000~3 000 m,仍然具有大型、超大型的资源潜力,如澳大利亚卡尔古利、巴西莫劳—维洛、加拿大波丘潘、印度科拉尔、美国的霍姆斯塔克等矿床。鉴于我国金矿目前勘查深度普遍低于 1 000 m,仅有极少量矿床达到 2 000 m,可以预见,深部大量的资源仍处于“待勘探”状态,因此,深部找矿至关重要,“向深部进军”无疑也是中国今后金矿找矿的重要方向。对于大型-超大型矿深部找矿,首先要加强基础地质工作,不断深入地开展成矿规律研究,积极拓展找矿的新领域;其次要着眼于控矿构造的总体,不能只限于地表含金石英脉的规模,需建立“控矿系统”概念。此外,严把勘探工程的质量,夯实基础地质资料,避免人为漏矿。

表 5 胶东地区 2005—2018 年查明的大型、超大型金矿床一览表

Table 5 Large and super-large gold deposits identified in the Jiaodong area during 2005 to 2018

序号	矿床名称	矿床类型	品位 (g/t)	矿床规模
1	莱州市三山岛北部海域	蚀变岩型	4.44	超大型 (>350 t)
2	莱州市西岭	蚀变岩型	4.22	
3	莱州市纱岭	蚀变岩型	2.94	
4	莱州市南吕—欣木	蚀变岩型	2.41	超大型 (100~200 t)
5	莱州市新立深部	蚀变岩型	2.95	
6	莱州市朱郭李家	蚀变岩型	3.37	
7	莱州市胶家深部	蚀变岩型	3.60	
8	莱州市曲家	蚀变岩型	3.33	
9	招远市东风深部	蚀变岩型	2.75	大型 (20~100 t)
10	招远市夏甸深部	蚀变岩型	3.36	
11	莱州市前陈	蚀变岩型	4.85	
12	莱州市寺庄深部	蚀变岩型	4.35	
13	莱州市新城深部	蚀变岩型	3.62	
14	莱州市上庄深部	蚀变岩型	4.48	
15	招远市水旺庄	蚀变岩型	3.58	
16	招远市台上深部	蚀变岩型	3.42	
17	招远市岭南	蚀变岩型	3.16	
18	招远市尹格庄深部	蚀变岩型	3.10	
19	牟平辽上深部	蚀变岩型	3.33	
20	栖霞市笄山村—西陡崖	蚀变岩型	2.68	

4.2 加强矿集区勘查与产业基地建设

矿集区,一般指矿产资源集中产出的区域,本意上并无特定的地质条件的要求,但是,要让矿产资源集中到某一空间,则是离不开地质条件的限定的。相对来说,成熟矿集区内矿床尺度的研究和勘查工作相对系统,开展进一步工作并实现找矿突破难度较大。因此,加强矿集区尺度的成矿特征和成矿规律研究至关重要。金矿矿集区往往受到区域性构造条件的制约以及构造与岩浆岩或其他地质要素的共同制约,具体包括:①深大断裂是大型或超大型金矿产出的有利场所,尤其是不同方位交叉深大断裂的更次一级断裂和交会部位;②在稳定地块或地台边缘的活化地区,尤其是区域性大断裂带的附近,以及较晚期侵入的局部深熔型花岗岩或花岗闪长岩体附近,或糜棱岩带和基性岩脉比较发育的地区,是寻找大型或超大型金矿的重要地带;③在大地构造上属于地槽区或地台区的活化地区,尤其应注意各种凹陷及盆地中的中基性火山岩、次火山岩的活动特点和分布范围;④不同性质大地构造单元接壤或过渡地带,或一些长期隆起的地区,是找大型或超大型金矿的重要找矿方向。比如中朝准地台,北与内蒙古地槽褶皱带、南与秦岭地槽褶皱带、东与吉黑地槽接壤地带,再如胶辽台隆、铁岭—靖宇隆起、佳木斯隆起、燕山隆起、内蒙地轴、五台西断隆、小秦岭地轴等,还有扬子准地台和准噶尔、塔里木盆地的周边地带;⑤前寒武纪分布的老变质岩区是寻找大型或超大型金矿的重要方向。这些太古宙或古元古代的变质岩地层,其原岩多为富含铁镁硅酸盐岩系的中基性火山岩,一般含金量较高,是形成金矿的极有利地段。矿集区往往也是矿业产业发展的基地,基于资源条件和基础设施的优势,加大这些地区的勘查,发现新矿床,巩固资源基础,可以做到矿业基地的绿色可持续发展。

4.3 加强共伴生矿床中低品位金的综合回收

我国共伴生金矿很多,而且金的资源储量也不小,综合回收可以提高资源回收率、大大提高经济效益,也有助于绿色生态文明矿山的建设。比如,山东莱州三山岛金矿是我国大型金矿床之一,1984 年基建,1989 年投产,生产能力达到 7 200 t/d (郭彬, 2011)。多年来,矿山通过不断扩大生产规模,降低矿床工业指标,积极投入地质探矿,大幅度增加资源储量等多种途径,依托低品位区域多指标、多次的矿体圈定和资源量评估,充分发掘了伴生金矿的潜在工业价值,延长了矿山服务年限。目前,综合回收低品位金矿资源的技术方法越来越成熟(童运福等, 1996; 张曼等, 2022; 代豪等, 2022;

汪圣虎等, 2022)。比如, 四川若尔盖巴西金矿采用氰化法、硫脲法、溴法、硫代硫酸盐法、石硫合剂法 5 种方法进行了提金试验和制粒氰化法提金, 回收率得以提升; 湖北通过柱浸来提高蛇屋山低品位金矿的开发效果; 新疆某矿先将低品位浸金溶液磁化, 以降低去离子水的表面张力; 将滴淋堆浸金的浸出率由 58.04% 提高至 62.21%; 内蒙古某金矿在选矿过程中采用油酸来降低尾矿中的金品位。因此, 加强共伴生矿床中低品位金的综合回收可以充分盘活现有资源, 对资源保护与节约有重要的意义, 对矿业企业经济效益有实际意义。

4.4 加强尾矿资源的综合利用

随着黄金的不断开采, 黄金尾矿的堆积量逐年增加, 不仅浪费大量土地、破坏周边环境, 而且危害人体健康。随着环境保护、耕地保护要求越来越严, 尾砂被用于回填的现象也越来越普遍。如山东仓上金矿采用上向分层尾砂充填法采矿, 产生了很好的示范引领作用; 陕西八卦庙金矿空场采矿之后以废石、尾砂、水泥进行固结, 等等(孙乐雨, 1992; 何秋生等, 2009)。如何在回填之前就充分回收其中的有用金属元素和非金属矿物, 一直受到高度重视。此外, 氰化尾渣的安全处理处置始终是黄金行业关注的热点问题, 而黄金尾矿中 Au、Ag、Cu、Pb 等金属元素, 石英和长石等非金属矿物, 以及硅铝氧化物和硅酸盐类物质具有回收利用价值和广泛的工业用途。因此, 黄金尾矿的综合利用对于黄金行业的健康发展和自然资源保护具有重要意义。

4.5 拓展非传统金矿类型、期次和找矿空间

(1) 中国金矿类型繁多, 成矿作用丰富, 结合不同空间区域的地层、构造及岩浆岩体有关的典型矿床作为矿床式, 选择合适的“矿产预测类型”, 对于成矿预测来说更有现实意义。比如, 沿着郯庐断裂带两侧, 与燕山期岩浆作用有关的金矿床, 不但出现在胶东的花岗-绿岩带, 也出现在辽东地区, 甚至出现在渤海湾中。因此, 在胶东寻找岩浆热液型金矿就可以参考玲珑式和焦家式金矿的成矿要素, 在辽东寻找岩浆热液型金矿则需要参考五龙式金矿的成矿要素, 在渤海湾寻找岩浆热液型金矿则需要参考三山岛北部海域超大型金矿的成矿要素, 进而确定各自的预测要素, 包括围绕不同的岩体、选择不同的导矿构造和容矿构造及不同的围岩岩性来部署找矿工作。此外, 虽然发现新的矿床工业类型难度大, 但发现新的矿石类型的可能性还是很大的, 而不同类型的矿石才是工业开采的具体对象。比如, 石英脉型金矿已经众所周知, 那么, 是否还存在方解石脉型金矿、萤石脉型金矿、重晶石脉型金矿呢? 答案是肯定的。如产于氟镁石型矿石中偏岩子金矿

就是自然金, 而与重晶石矿化共存的有新疆阿合奇县的布隆金矿、青海的抗得弄舍金矿、吉林的板庙子金矿、山西的耿庄金矿等(杨富全等, 2004; 黄菲等, 2005; 何财福, 2013; 陈煜嵩等, 2020)。

(2) 中国金矿主要形成于中生代, 尤其是燕山期。但是, 越来越多的资料表明, 中生代的印支期、古生代的加里东期也很重要, 而新生代可能是中国能够取得找矿突破的重要找矿方向。除了台湾的金瓜石金矿之外, 云南的北衙金矿也是喜马拉雅期形成的, 而西藏的喜马拉雅期金矿(包括伴生在斑岩型铜矿中的金矿以及共生在浅成低温热液型铜矿中的金矿)十分重要。台湾金瓜石金矿控制的金资源储量为 110.929 t(金品位 2.48~7.2 g/t), 实际上可能远不止 110 t; 云南北衙金矿控制的金资源储量为 317.741 t(金品位 2.48~7.2 g/t), 还有扩大的空间; 西藏墨竹工卡县甲玛铜矿中的伴生金达 174.540 t(金品位 0.37 g/t)。此外, 西藏芒康县巴达铅银矿中共生金矿达 51.73 t(金品位 1.35 g/t, 陆彦, 2024)。

(3) 非传统找矿空间探索方面, 三山岛北部海域超大型金矿勘查实践也为拓展找矿领域提供了重要参考。三山岛北部海域金矿床位于胶东西北部三山岛成矿带北段, 是一个严格受断裂控制的超大型破碎蚀变岩型金矿床, 矿体全部赋存于滨海海域之下。海域金矿在哪找, 怎么找, 是困扰海上找矿取得突破的重要难题。在综合分析研究海域金矿成矿规律及矿体空间分布、富集规律与预测找矿潜力的基础上, 开展了一次系统的由预查开始直接进入详查的勘查活动。在勘查过程中, 采用拼装式插桩海上钻探平台进行海上大规模钻探施工, 该钻探平台具有安全稳固、可操作性强、周期短、可施工深孔及质量可靠等优点(张军进等, 2016)。山东莱州三山岛北部海域金矿钻探工程项目从 2012 年开始, 至 2015 年底结束。历时两年半, 施工陆地与海上钻孔 138 个, 总工作量 15 万余米, 先后取得如下重要成果: ①提交了当年国内最大规模金矿床和最大金单矿体; ②首开中国浅海海域金矿勘查的先河, 解决了海上金矿勘查的关键技术难题, 克服了海域金矿海上勘查难度大的问题; ③丰富了胶东金矿成矿规律研究内容, 有效应用新型找矿方法, 对中国今后海底固体矿产勘查具有一定的借鉴意义和勘查示范作用。

5 结论

(1) 中国金矿类型齐全, 按成矿作用可划分出 2 个一级类型, 6 个二级类型和 13 个三级类型。其中与岩浆作用有关的金矿分布最为广泛, 类型多

样。花岗-绿岩型金矿主要分布于华北陆台高级变质区和花岗-绿岩带组成的太古宙克拉通以及滨西太平洋构造域部分地槽区元古宙变质岩出露部分,产于沉积建造中的金矿床主要分布于黔桂滇交接的三角区、粤中地区、川西地区和秦岭地区。中国金矿包括 7 个主要成矿期,其中以燕山期为最主要的成矿期,且单个矿床普遍表现为多期复合叠加成矿作用。

(2)近百年来,金矿勘查取得了令人瞩目的成就。建国前,一系列的基础研究和初步勘查工作为后续金矿的大规模勘探奠定了基础;建国后的勘探工作取得了大量突破性进展,发现和查明了大量大型规模及以上的金矿床,并逐步向多个千吨级资源基地迈进。

(3)新一轮找矿行动,针对于金矿找矿勘查和开发利用,继续寻找大型-超大型金矿床是首要目标,同时要结合矿集区勘查与产业基地建设,并注重共伴生矿床中低品位金的综合回收和尾矿的综合利用。在新一轮的找矿勘查中,尤其需重点拓展金矿的非传统类型、非传统期次和非传统的找矿空间。

Acknowledgements:

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

参考文献:

- BACHE J J, 1988. 世界金矿床—地质分类和定量分类[M]. 俞如龙,译. 全国金矿地质工作领导小组办公室,地质矿产部四川省地质矿产局: 1-137.
- 陈江峰,喻钢,薛春纪,等, 2004. 辽东裂谷带铅锌金银矿集区 Pb 同位素地球化学[J]. 中国科学(D 辑: 地球科学), 34(5): 404-411.
- 陈煜嵩,董晓杰,刘正宏,等, 2020. 克拉通破坏型金矿成矿机制: 吉南板庙子金矿床闪长玢岩与重晶石流体包裹体、H-O-S 同位素证据[J]. 岩石学报, 36(8): 2537-2557.
- 陈毓川,王登红, 2001. 喜马拉雅期内生成矿作用的研究概况与意义[C]//陈毓川,王登红,喜马拉雅期内生成矿作用研究. 北京: 地震出版社: 1-3.
- 陈毓川,王登红,李厚民, 2010. 重要矿产预测类型划分方案[M]. 北京: 地质出版社.
- 代豪,萨伍提·阿卜杜热伊木,孙春宝,等, 2022. 磁化浸金溶液提高某低品位金矿石滴淋堆浸效果研究[J]. 金属矿山, (3): 105-110.
- 范小平,多吉,温春齐,等, 2005. 西藏马攸木金矿床含金脉石英的 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 快中子活化定年及其地质意义[J]. 沉积与特提斯地质, 25(4): 33-36.
- 付绍洪,顾雪祥,王乾,等, 2004. 黔西南水银洞金矿床载金黄铁矿标型特征[J]. 矿物学报, 24(1): 75-80.
- 郭彬, 2011. 山东莱州三山岛金矿低品位资源综合利用[J]. 矿产保护与利用, 31(1): 27.
- 何财福, 2013. 青海抗得弄舍重晶石型金多金属矿床成矿地质特征[D]. 北京: 中国地质大学(北京).
- 何秋生,侯满堂, 2009. 陕西八卦庙金矿床深部矿体形态变化分析[J]. 陕西地质, 27(1): 19-26.
- 黄菲,金成洙,边为民,等, 2005. 重晶石巨晶中 $\text{FeS}_2\text{-Fe}(\text{Ni, Co})\text{S}_2$ 晶须微观形貌多样性及研究意义——以山西耿庄金矿为例[J]. 地学前缘, 12(2): 142.
- 季宏兵,王世杰,文锦明, 1999. 川西北地区马脑壳金矿床的成矿年代学[J]. 矿物岩石地球化学通报, 18(2): 27-30.
- 江思宏,聂凤军,刘翼飞, 2008. 西藏马攸木金矿床的矿床类型讨论[J]. 矿床地质, 27(2): 220-229.
- 柯昌辉,王晓霞,杨阳,等, 2020. 西秦岭地区脉岩成因与金成矿关系——来自李坝金矿年代学、地球化学及 Nd-Hf-S 同位素的约束[J]. 矿床地质, 39(1): 42-62.
- 李舒,李景春,邵军, 1999. 中国金矿床工业类型及其特征[M]. 北京: 地震出版社.
- 李晓敏,周喜文,魏存弟, 2001. 老柞山金矿床成矿时代研究[J]. 地质找矿论丛, 16(2): 131-134, 139.
- 李怡欣,聂喜涛,张朋,等, 2011. 老柞山金矿床的成矿时代与成矿背景[J]. 矿物学报, 31(S1): 612.
- 李英,任崔锁, 1990. 华北地台南缘铅同位素演化[J]. 长安大学学报(地球科学版), 12(2): 1-11.
- 刘军,王树岭,李铁刚,等, 2018. 辽宁省五龙金矿床成岩成矿年代学及同位素地球化学特征[J]. 矿床地质, 37(4): 712-728.
- 刘英俊,季峻峰,孙承轅,等, 1991. 湖南黄金洞元古界浊积岩型金矿床的地质地球化学特征[J]. 地质找矿论丛, 6(1): 1-13.
- 陆彦, 2024. 西藏矿产地质(中国矿产地质志·西藏卷普及本)[M]. 北京: 地质出版社.
- 骆万成,伍勤生, 1987. 应用蚀变矿物测定胶东金矿的成矿年龄[J]. 科学通报, 32(16): 1245-1248.
- 毛光周,华仁民,龙光明,等, 2008. 江西金山金矿成矿时代探讨——来自石英流体包裹体 Rb-Sr 年龄的证据[J]. 地质学报, 82(4): 532-539.
- 乔建新,赵文平,崔建军, 2016. 陕西南郑五里浸金矿地质特征及矿床成因[J]. 地质调查与研究, 39(2): 118-122.
- 孙乐雨, 1992. 上向分层尾砂充填法在仓上金矿的新应用[J]. 黄金, 13(7): 17-19.
- 童运福,罗梅, 1996. 四川若尔盖巴西金矿堆浸尾矿提金工艺研究[J]. 物探化探计算技术, 18(S5): 133-136.
- 涂光炽, 1990. 我国原生金矿类型的划分和不同类型金矿的远景剖析——在广西矿物岩石地球化学学会成立大会上的报告[J]. 矿产与地质, 4(1): 1-10.
- 汪圣虎,徐花婷, 2022. 油酸在内蒙古金矿中降低尾矿品位选矿试验研究[J]. 新疆有色金属, 45(2): 83-84.
- 王登红,李华芹,屈文俊,等, 2014. 全国成岩成矿年代谱系[M]. 北京: 地质出版社.
- 王鹤年,杨建文,陈辉琪, 1992. 广东庞西洞银矿床的地球化学研究[J]. 矿床地质, 11(2): 179-187.
- 王相, 1996. 秦岭造山与金属成矿[M]. 北京: 冶金工业出版社.
- 王秀璋,梁华英,程景平, 1999. 夹皮沟金矿床的成矿时代讨论[J]. 大地构造与成矿学, 23(4): 361-367.
- 王彦斌,刘敦一,蒙义峰,等, 2014. 安徽铜陵新桥铜-硫-铁-金矿床中石英闪长岩和辉绿岩锆石 SHRIMP 年代学及其意义[J]. 中国地质, 31(2): 169-173.
- 温春齐,多吉,温泉,等, 2004. 西藏马攸木金矿区黑云母的 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 法定年[J]. 矿物岩石, 24(2): 53-56.
- 伍勤生,刘青莲, 1989. 金山成矿年龄测定及矿床成因探讨[C]//第四届全国同位素地质年代和同位素地球化学讨论会论文(摘要)汇编.

杨富全, 毛景文, 王义天, 2004. 新疆阿合奇县布隆石英-重晶石脉型金矿成矿机理探讨[C]//第二届全国成矿理论与找矿方法学术研讨会.

喻钢, 杨刚, 陈江峰, 等, 2005. 辽东猫岭金矿中含金毒砂的 Re-Os 年龄及地质意义[J]. 科学通报, 50(12): 1248-1252.

张广辉, 韦龙明, 2013. 陕西八卦庙金矿床形成时代刍议[J]. 矿物学报, 33(S2): 632.

张军进, 丁正江, 刘殿浩, 等, 2016. 山东莱州三山岛北部海域超大型金矿勘查实践与找矿成果[J]. 黄金科学技术, 24(1): 1-10.

张曼, 殷跃, 刘健, 等, 2022. 金矿尾矿中多金属综合回收实验研究[J]. 赤峰学院学报(自然科学版), 38(3): 6-9.

张秋生, 杨振升, 高德玉, 等, 1991. 冀东金厂峪地区高级变质区地质与矿床[M]. 北京: 地质出版社.

郑明华, 张斌, 张占鳌, 等, 1983. 我国金矿床类型的初步划分[J]. 成都地质学院学报, 10(1): 27-42.

周德安, 1993. 西秦岭南亚热带硅灰泥岩型金矿床的成矿时代研究[J]. 黄金, 14(10): 9-12.

祖一, 1959. 怎样找金矿[M]. 北京: 地质出版社.

References:

- BACHE J J, 1988. Gold Deposits of the World-Geological Classification and Quantitative Classification[M]. Translated by YU Rulong, Office of the National Gold Mine Geology Working Leading Group, Sichuan Provincial Geology and Mineral Resources Bureau of Geology and Mineral Resources: 1-137(in Chinese).
- CHEN Jiangfeng, YU Gang, XUE Chunji, et al., 2004. Pb isotope geochemistry of Pb-Zn-Au-Ag ore concentration areas in Liaodong rift zone[J]. Science in China Series D: Earth Sciences, 34(1): 1-8(in Chinese).
- CHEN Yuchuan, WANG Denghong, LI Houmin, et al., 2010. Classification scheme of important mineral prediction types[M]. Beijing: Geological Publishing House: 1-222(in Chinese).
- CHEN Yuchuan, WANG Denghong, 2001. General situation and significance of research on endogenetic mineralization in Himalayan period[C]//CHEN Yuchuan, WANG Denghong. Study on Endogenous Mineralization in Himalayan Period. Beijing: Seismological Press: 1-3(in Chinese).
- CHEN Yusong, DONG Xiaojie, LIU Zhenghong, et al., 2020. Metallogenic mechanism of decratonic gold deposit: Evidence from diorite porphyrite and fluid inclusions, H-O-S isotope composition of barite in banmiaozhi gold deposit, southern Jilin Province[J]. Acta Petrologica Sinica, 36(8): 2537-2557(in Chinese with English abstract).
- DAI Hao, SAWUTI A, SUN Chunbao, et al., 2022. Study on improving the effect of drip and heap leaching of a low-grade gold mines with magnetized gold leaching solution[J]. Metal Mine, (3): 105-110(in Chinese with English abstract).
- FAN Xiaoping, DUOJI, WEN Chunqi, et al., 2005. $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ fast-neutron activation dating and geological significance of quartz from the gold-bearing quartz veins in the Mayum gold deposit, Xizang[J]. Sedimentary Geology and Tethyan Geology, 25(4): 33-36(in Chinese with English abstract).
- FU Shaohong, GU Xuexiang, WANG Qian, et al., 2004. The typomorphic characteristics of gold-bearing pyrites from Shuiyindong gold deposit, sw Guizhou[J]. Acta Mineralogica Sinica, 24(1): 75-80(in Chinese with English abstract).
- GUO Bin, 2011. Comprehensive utilization of low-grade resources in Sanshandao gold mine, Laizhou, Shandong Province[J]. Mineral Protection and Utilization, 31(1): 27(in Chinese).
- HE Caifu, 2013. The metlogenic geological characteristics kangdenongshe barite type gold-polymetallic deposit, Qinghai[D]. Beijing: China University of Geosciences (Beijing): 44(in Chinese with English abstract).
- HE Qiusheng, HOU Mantang, 2009. Conformational changes of orebodies at the depth of the baguamiao gold deposit in Shaanxi province[J]. Geology of Shaanxi, 27(1): 19-26(in Chinese with English abstract).
- HUANG Fei, GAO Shang, LIU Jia, et al., 2013. The characteristics and genetic significance of giant barite crystal with FeS₂ whiskers girdle found in the Gengzhuang gold deposit, Shanxi Province, China[J]. Earth Science Frontiers, 20(3): 110-117(in Chinese with English abstract).
- HUANG Fei, JIN Chengzhu, BIAN Weimin, et al., 2005. Micro-morphological diversity of FeS₂-Fe(Ni, co)S₂ whiskers in barite megacrysts and its research significance—Taking Gengzhuang gold mine in Shanxi as an example[J]. Earth Science Frontiers, 12(2): 142(in Chinese).
- JI Hongbing, WANG Shijie, WEN Jinming, 1999. The metallogenic chronology for the manaoke gold deposit in the Northwestern Sichuan Province[J]. Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry, 18(2): 95-98(in Chinese with English abstract).
- JIANG Sihong, NIE Fengjun, LIU Yifei, 2008. Discussion on genetic type of Mayum gold deposit in Tibet[J]. Mineral Deposits, 27(2): 220-229(in Chinese with English abstract).
- KE Changhui, WANG Xiaoxia, YANG Yang, et al., 2020. Petrogenesis of dykes and its relationship to gold mineralization in the western Qinling Belt: Constraints from zircon U-Pb age, geochemistry and Nd-Hf-S isotopes of liba gold deposit[J]. Mineral Deposits, 39(1): 42-62(in Chinese with English abstract).
- LI Shu, LI Jingchun, SHAO Jun, 1999. Industrial types and characteristics of gold deposits in China[M]. Beijing: Seismological Press(in Chinese).
- LI Xiaomin, ZHOU Xiwen, WEI Cundi, 2001. Study on the metallogenetic epoch of Laozuoshan gold deposit[J]. Contributions to Geology and Mineral Resources Research, 16(2): 131-134, 139(in Chinese).
- LI Ying, REN Cuisuo, 1990. The evolution of lead isotope in the southern margin of North China platform[J]. Journal of Chang'an University (Earth Science Edition), 10(2): 1-11(in Chinese with English abstract).
- LI Yixin, NIE Xitao, ZHANG Peng, et al., 2011. Metallogenic age and background of Laozuoshan gold deposit[J]. Acta Mineralogica Sinica, 31(S1): 612(in Chinese).
- LIN Chuanyong, HE Yongnian, CHEN Xiaode, et al., 1995. Relationship between ductile shear zone and gold mineralization. Taking Jinchangyu gold mine, Eastern Hebei Province, China[J]. Science China, 4: 466-477.
- LINDGREN W, 1933. Mineral Deposit (4th ed)[M]. New York: Mc Graw-Hill Book Company: 878-894.
- LIU Jiajun, LIU Chonghao, CARRANZA E J M, et al., 2015. Geological characteristics and ore-forming process of the gold deposits in the western Qinling region, China[J]. Journal of Asian Earth Sciences, 103: 40-69.
- LIU Jun, WANG Shuling, LI Tiegang, et al., 2018. Geochronology and isotopic geochemical characteristics of Wulong gold deposit in Liaoning Province[J]. Mineral Deposits, 37(4): 712-728(in Chinese with English abstract).

- LIU Yingjun, JI Junfeng, SUN Chengyuan, et al., 1991. Geological and geochemical characteristics of Huangjindong turbidite-hosted gold deposit, Hunan Province[J]. Series of Geological Prospecting Theories, 6(1): 1-13(in Chinese with English abstract).
- LU Yan, 2024. Mineral Geology of Tibet (Mineral Geology of China, Tibet Volume Popularized Edition)[M]. Beijing: Geological Publishing House(in Chinese).
- LUO Wancheng, WU Qinsheng, 1987. Determination of metallogenic age of Jiaodong gold deposit by altered minerals[J]. Chinese Science Bulletin, 32(16): 1245-1248(in Chinese).
- MAO Guangzhou, HUA Renmin, LONG Guangming, et al., 2008. Discussion on the mineralogenetic epoch of the Jinshan gold deposit, Jiangxi Province—Based on the quartz fluids inclusion Rb-Sr dating[J]. Acta Geologica Sinica, 82(4): 532-539(in Chinese with English abstract).
- QIAO Jianxin, ZHAO Wenping, CUI Jianjun, 2016. Study on the geology and genesis of the Wulijin gold deposit in Nanzheng region, Shaanxi province[J]. North China Geology, 39(2): 118-122(in Chinese).
- ROBERT F, BROMMECKER R, BOURNE B T, et al., 2007. Models and exploration methods for major gold deposit types[J]. Ore Deposits and Exploration Technology, (48): 692-711.
- SUN Leyu, 1992. New application of upward slicing and filling by tailing in Chuang-Shang Gold Mine[J]. Gold, 13(7): 17-19(in Chinese with English abstract).
- TONG Yunfu, LUO Mei, 1996. Experiment of gold-retrieve in the heal-linchingtailing of Baxi gold-deposits in roergai Sichuan[J]. Computing Techniques for Geophysical and Geochemical Exploration, 18(S1): 133-136(in Chinese with English abstract).
- TU Guangchi, 1990. Classification of Primary Gold Deposits in China and Prospect Analysis of Different Types of Gold Deposits—Report at the Founding Meeting of Guangxi[J]. Mineral Resources and Geology, 4(1): 1-10(in Chinese).
- WANG Denghong, LI Huaqin, QU Wenjun, et al., 2014. Chronological pedigree of diagenesis and mineralization in China[M]. Beijing: Geological Publishing House(in Chinese).
- WANG Henian, YANG Jianwen, CHEN Huiqi, 1992. Geochemical studies of the Pangxidong silver deposit in Guangdong Province[J]. Mineral Deposits, 11(2): 179-187(in Chinese with English abstract).
- WANG Shenghu, XU Huating, 2022. Experimental study on beneficiation of oleic acid to reduce tailings grade in a gold mine in Inner Mongolia[J]. Xinjiang Nonferrous Metals, 45(2): 83-84(in Chinese).
- WANG Xiang, 1996. Qinling orogeny and metal mineralization[M]. Beijing: Metallurgical Industry Press(in Chinese).
- WANG Xiuzhang, LIANG Huaying, CHENG Jingping, 1999. A preliminary discussion on metallogenic age of the Jiapigou gold deposit in Northern China[J]. Geotectonica et Metallogenia, 23(4): 361-367(in Chinese with English abstract).
- WANG Xueming, WANG Dongbo, SHAO Shicai, et al., 2001. The genesis of albite in the baguamiao gold deposit, Shaanxi Province[J]. Mineral Deposits, 20(3): 223-228(in Chinese with English abstract).
- WANG Yanbin, LIU Dunyi, MENG Yifeng, et al., 2004. SHRIMP U-Pb geochronology of the Xinqiao Cu-S-Fe-Au deposit in the Tongling ore district, Anhui[J]. Chinese Geology, 31(2): 169-173(in Chinese with English abstract).
- WEN Chunqi, DUO Ji, WEN Quan, et al., 2004. $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ dating of biotite in andernite from Mayoumu gold ore area in Tibet, China[J]. Journal of Mineralogy and Petrology, 24(2): 53-56(in Chinese with English abstract).
- WU Qinsheng, LIU Qinglian, 1989. Dating of metallogenic age and discussion on genesis of Jinshan deposit[C]//Compilation of Papers (Abstracts) of the Fourth National Symposium on Isotopic Geochronology and Isotopic Geochemistry(in Chinese).
- YANG Fuquan, MAO Jingwen, WANG Yitian, 2004. Discussion on metallogenic mechanism of Bulong Shi Ying-barite vein type gold deposit in Akqi County, Xinjiang[C]//The second national symposium on metallogenic theory and prospecting methods(in Chinese).
- YU Gang, YANG Gang, CHEN Jiangfeng, et al., 2005. Re-Os age and geological significance of gold-bearing arsenopyrite in Maoling gold deposit, eastern Liaoning Province[J]. Science Bulletin, 50(12): 1248-1252(in Chinese).
- ZHANG Guanghui, WEI Longming, 2013. Discussion on the formation age of Baguamiao gold deposit in Shaanxi Province[J]. Acta Mineralogica Sinica, 33(A2): 632(in Chinese).
- ZHANG Jianze, 2015. Study on genesis and geological and geochemical characteristics of banmiaozhi gold deposit in Baishan city, Jilin Province[D]. Changchun: Jilin University(in Chinese with English abstract).
- ZHANG Junjin, DING Zhengjiang, LIU Dianhao, et al., 2016. Exploration practice and prospecting results of super-large gold mine of Sanshandao northern sea area in Laizhou City, Shandong Province[J]. Gold Science and Technology, 24(1): 1-10(in Chinese).
- ZHANG Man, YIN Yue, LIU Jian, et al., 2022. Experimental study on comprehensive recovery of polymetallic from gold mine tailings[J]. Journal of Chifeng University (Natural Science Edition), 38(3): 6-9(in Chinese with English abstract).
- ZHANG Qiusheng, YANG Zhensheng, GAO Deyu, et al., 1991. Geology and mineral deposits in advanced metamorphic areas in Jinchangyu area, eastern Hebei Province[M]. Beijing: Geological Publishing House(in Chinese).
- ZHENG Minghua, ZHANG Bin, ZHANG Zhanao, et al., 1983. A preliminary classification on the types of gold deposits in China[J]. Journal of Chengdu Institute of Geology, 10(1): 27-42(in Chinese with English abstract).
- ZHOU Dean, GRAHAM S A, 1996. The Songpan-Ganzi complex of the West Qinling Shan as a Triassic remnant ocean basin[J]. World and Regional Geology, 1(8): 281-299.
- ZHOU Dean, 1993. Study on the metallogenetic era of the silicated mudstone type gold deposit in South Subzone of West Qinling[J]. Gold, 14(10): 9-12(in Chinese with English abstract).
- ZU Yi, 1959. How to find a gold mine[M]. Beijing: Geological Publishing House(in Chinese).