

DOI: 10.12401/j.nwg.2023017

黄河流域矿产资源禀赋、分布规律及开发利用潜力

谭文娟, 赵国斌, 魏建设, 王小红*, 姜寒冰, 彭素霞

(自然资源部岩浆作用成矿与找矿重点实验室, 中国地质调查局西安地质调查中心/
西北地质科技创新中心, 陕西 西安 710054)

摘要: 黄河流域横跨昆仑、秦岭、祁连造山带和华北克拉通 4 个大地构造单元, 以贺兰山-六盘山、太行山的深大断裂为分界。长期以来, 黄河流域为中国的社会经济发展提供了能源保障, 是中国的“能源流域”。流域内矿产资源丰富, 矿产种类较为齐全, 优势矿产以煤、石油、天然气、铝土矿、钼、金、铁、石灰岩、白云岩和石膏等为主, 集中发育于古生代和中生代。研究发现, 黄河流域内矿产资源呈现集中分布的特征, 主要分布在鄂尔多斯盆地及周缘、秦岭等地区, 涉及 11 个成矿区带, 已形成石油、天然气、煤炭、铝土矿、金、钼、铜、铅锌等 19 处矿产资源基地。通过找矿新发现, 流域内的页岩油、金矿、锂矿及氦气等战略性矿产资源表现出巨大的找矿潜力。改善能源开发布局, 推进能源资源综合利用, 合理开采页岩气、煤层气等非常规能源, 全面推动黄河流域高质量发展。

关键词: 矿产禀赋; 时空分布; 找矿突破; 绿色开发; 黄河流域

中图分类号: P612

文献标志码: A

文章编号: 1009-6248(2023)02-0163-12

Characteristics, Distribution and Utilization Potential of Mineral Resources in the Yellow River Basin

TAN Wenjuan, ZHAO Guobin, WEI Jianshe, WANG Xiaohong*, JIANG Hanbing, PENG Suxia

(Key Laboratory for the Study of Focused Magmatism and Giant Ore Deposits, MNR, Xi'an Center of China Geological Survey /
Northwest China Center for Geoscience Innovation, Xi'an 710054, Shaanxi, China)

Abstract: The Yellow River Basin spans the four tectonic units of the Kunlun, Qinling, Qilian orogenic belts and the North China Craton, and is bounded by the deep faults of the Helan Mountains, the Liupan Mountains and the Taihang Mountains. It is the “energy basin”. It provides energy support for the country's long-term economic and social development. The basin is rich in mineral resources, and the types of minerals are relatively complete. The dominant minerals are coal, oil, natural gas, bauxite, molybdenum, gold, iron, limestone, dolomite, gypsum, etc. The metallogenic age was concentrated in the Paleozoic and Mesozoic. The study found that the mineral resources are characterized by concentrated distribution. The mineral resources are mainly distributed in the Ordos Basin and its periphery, Qinling and other regions, involving 11 metallogenic belts, and 19

收稿日期: 2022-08-11; 修回日期: 2022-10-23; 责任编辑: 姜寒冰

基金项目: 中国地质调查局地质调查项目“西北地区铜镍稀有金属等矿产地质调查”(DD20221691), “全国海陆矿产资源图件编制更新”(DD20221696)-西北矿床数据采集分析及编图, “中国矿产地质志(DD20221695)-西北地区区域成矿规律研究与总结”联合资助。

作者简介: 谭文娟(1980-), 女, 高级工程师, 主要从事区域成矿规律研究和矿产资源潜力评价。E-mail: 781683087@qq.com。

* 通讯作者: 王小红(1978-), 女, 高级工程师, 主要从事矿产地质调查工作。E-mail: 29187125@qq.com。

mineral resource bases including coal, oil, natural gas, bauxite, gold, molybdenum, copper, lead and zinc have been formed. Through the discoveries in prospecting, strategic mineral resources such as shale oil, gold, lithium, and helium have shown great potential for prospecting. We should further optimize the layout of energy development and strengthen the integrated development and utilization of energy resources. The unconventional oil and gas resources like coalbed methane and shale gas are exploited. The above measures comprehensively promote the high-quality development of the Yellow River Basin.

Keywords: mineral characteristics; space-time distribution; breakthrough in prospecting; green development; Yellow River basin

矿产资源是国家经济、国防安全、社会运行与发展的物质保证,是工业及各方产业的“粮食”,矿产资源供应安全关系国家安全(张照伟等, 2022a)。黄河流域被誉为“能源流域”,为全面发展的能源供给体系提供物质保障,奠定关键基础,做出了突出贡献,支撑了中国经济社会发展。进入新时代,生态文明建设步入新阶段,资源、环境、人文和谐共生,绿色发展对黄河流域内的矿产资源勘查开发提出了新要求(张照伟等, 2022b)。为此,笔者系统梳理黄河流域内矿产资源特征,通过典型矿床和成矿带研究,总结成矿规律,旨在揭示黄河流域内矿产资源潜力,为黄河流域的矿产资源绿色高质量发展提供启示。

1 黄河流域概况

黄河是中国第二大河,发源于青藏高原巴颜喀拉山北麓海拔 4 500 m 的约古宗列盆地,呈“几”字形流经青海、四川、甘肃、宁夏、内蒙古、山西、陕西、河南和山东等 9 省(区),最终在山东垦利县注入渤海。黄河干流河道全长为 5 464 km,流域面积为 79.5 万 km²。黄河流域横贯中国东西,大部分区域位于中国西北地区。为中国长期以来的社会经济发展提供了重要的能源支撑,是主要的能源、化工、原材料和基础工业基地。

黄河流域幅员辽阔,地形地貌差别较大。从西往东横跨青藏高原、内蒙古高原、黄土高原和华北平原等四大地貌单元和中国地势三大台阶。流域地势西部高、东部低,西部的河源地区平均海拔 4 000 m 以上,主要是一系列高山,冰川地貌发育;中部海拔在 1 000~2 000 m,为黄土地貌,水土流失严重;东部地区海拔多不超过 50 m,主要由黄河冲积平原组成(图 1a)。

从源头到内蒙古托克托县河口镇这一段称为黄

河上游,汇入的较大支流有 43 条,径流量占全河的 60%。河口镇至河南郑州桃花峪为黄河中游,是黄河泥沙的主要来源区,汇入的较大支流有 30 条。自桃花峪到渤海称为黄河下游。下游河道为地上悬河,支流很少(图 1a)。

黄河流域穿流于昆仑山脉的巴颜喀拉山、祁连山脉、黄土高原、阴山山脉、太行山脉和华北平原之中。横跨昆仑、秦岭、祁连等造山带及华北克拉通 4 个大地构造单元,以贺兰山-六盘山和太行山的深大断裂为分界(图 2)。

黄河流域横跨特提斯、秦祁昆和滨太平洋三大成矿域(徐志刚等, 2008),涉及巴颜喀拉、东昆仑、西秦岭、柴北缘、南祁连、中祁连、北祁连、河西走廊、鄂尔多斯西缘、鄂尔多斯盆地、华北陆块北缘西段、华北陆块南缘、山西断隆和鲁西断隆等成矿区带(图 3)。

2 矿产资源禀赋

黄河流域内矿产资源丰富,矿产种类较为齐全。据不完全统计,超大型矿床 149 处,大型矿床 974 处,中型矿床 958 处。达到和超过中型规模的矿产就达 76 种,其中能源矿产 5 种、金属矿产 20 种、矿物类非金属矿产 24 种、岩土类非金属矿产 25 种、水气矿产 2 种(表 1)。黄河流域优势矿产是煤、石油、天然气、铝土矿、钼、金、铁、石灰岩、白云岩和石膏等,主要为沉积型的能源矿产和岩石类非金属矿产(图 1、图 4)。

2.1 能源矿产特征

黄河中上游流域油气、煤层气、页岩气、富氢天然气、天然气水合物与特种煤等清洁能源资源丰富,设有全国唯一国家级能源化工基地——陕北能源化工基地,基地内石油、天然气、煤炭、煤层气等资源丰富。煤炭探明储量为 1 505 亿 t,占全国总储量 20%;

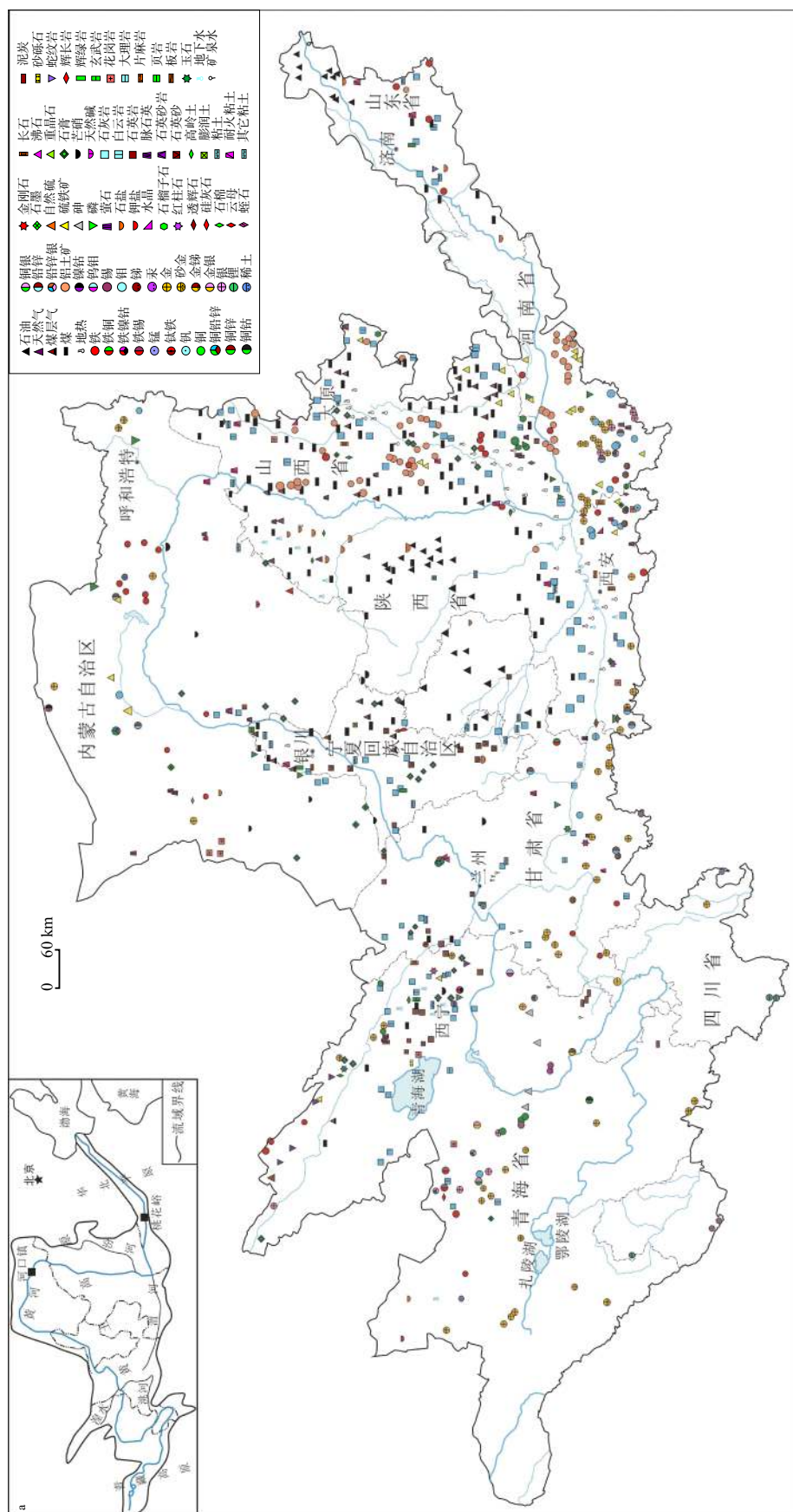
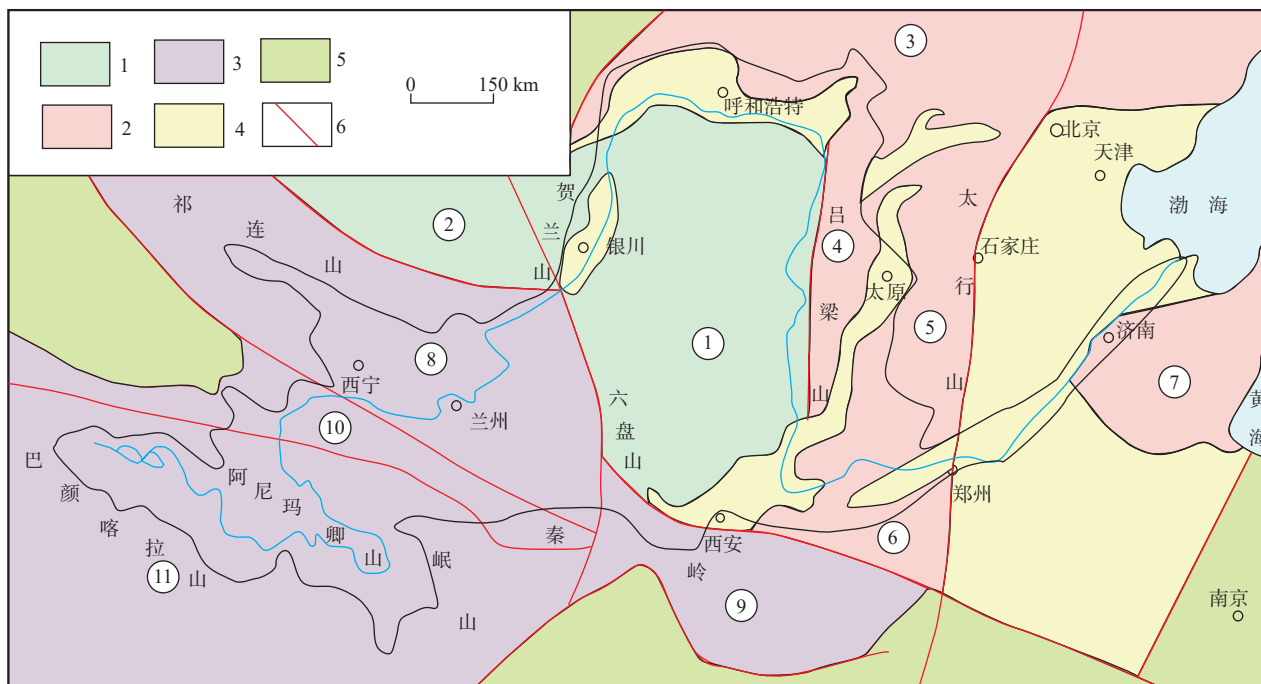


图1 黄河流域矿产分布简图

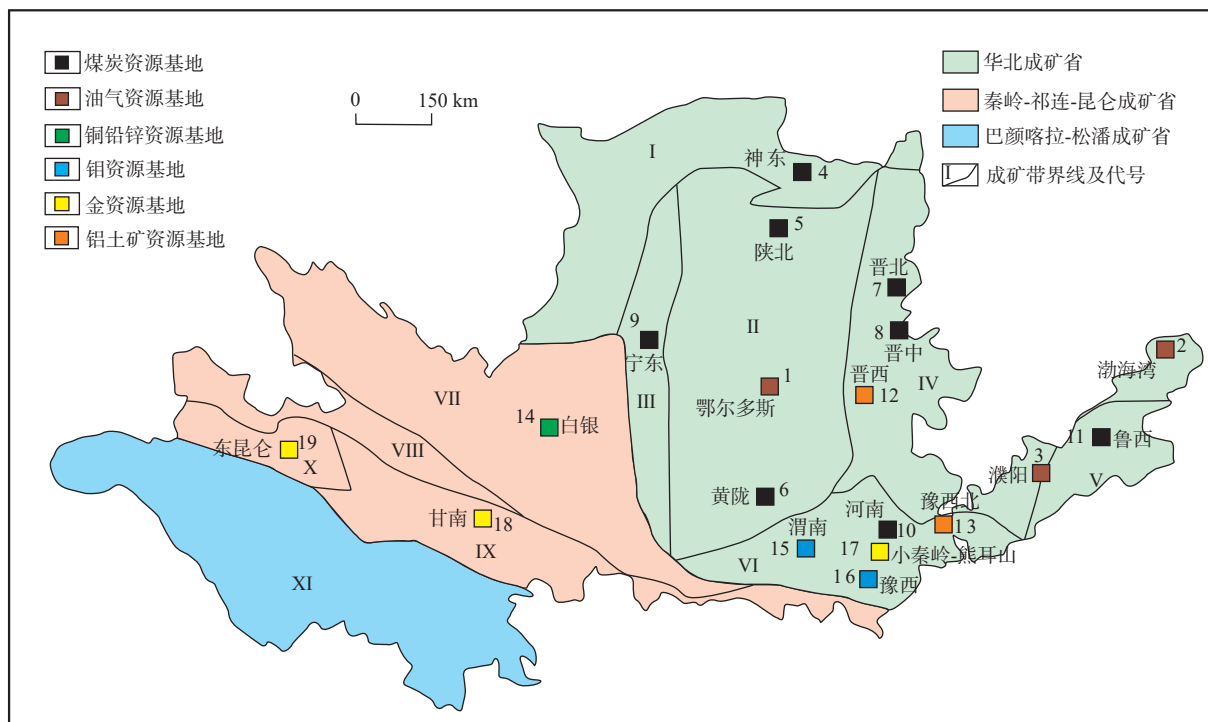
Fig. 1 Mineral distribution diagram in the Yellow river basin



- ①鄂尔多斯断块盆地；②阿拉善断块盆地；③阴燕隆起；④吕梁隆起；⑤太行隆起；⑥嵩山隆起；⑦泰山隆起；
⑧祁连褶皱带；⑨东秦岭褶皱带；⑩昆仑-西秦岭褶皱带；⑪巴颜喀拉褶皱带；1.断块盆地；2.隆起；3.褶皱带；
4.大陆裂谷；5.流域外围陆块；6.深断裂

图2 黄河流域断块体系略图(据戴英生, 1984 修改)

Fig. 2 Sketch map of the fault block system in the Yellow river basin



- I. 华北陆块北缘西段成矿带；II. 鄂尔多斯(盆地)成矿区；III. 鄂尔多斯西缘成矿带；IV. 山西(断隆)成矿带；V. 鲁西(断隆)成矿区；
VI. 华北陆块南缘成矿带；VII. 祁连成矿带；VIII. 柴达木北缘成矿带；IX. 西秦岭成矿带；X. 东昆仑成矿带；XI. 巴颜喀拉-松潘成矿带

图3 黄河流域成矿带划分及资源基地分布图

Fig. 3 The division of metallogenic belts and the distribution of resource bases in the Yellow river basin

表 1 黄河流域已发现矿产资源分类表

Tab. 1 Classification of discovered mineral resources in the Yellow river basin

	矿产分类	矿种数	矿种名称	矿产地(个)/ 中型以上
金属矿产	能源矿产	5	石油、天然气、煤、煤层气、地热	830
	黑色金属	4	铁、锰、钒、钛	82
	有色金属	11	铜、铅、锌、铝、镁、镍、钨、锡、钼、锑、汞	228
	贵金属	2	金、银	108
	稀有、稀土、分散元素	3	锂、铷、稀土	6
非金属矿产	矿物类非金属	24	金刚石、石墨、萤石、磷、自然硫、硫铁矿、砷、盐、钾盐、水晶、石棉、石膏、云母、石榴子石、红柱石、透闪石、透辉石、硅灰石、蛭石、沸石、长石、重晶石、芒硝、天然碱	240
	岩石类非金属	24	石灰岩、脉石英、泥灰岩、白云岩、石英岩、砂岩、天然石英砂、含钾岩石、高岭土、膨润土、陶瓷黏土、耐火黏土、其他黏土、砂砾石、泥炭、花岗岩、辉长岩、辉绿岩、玄武岩、蛇纹岩、大理岩、页岩、板岩、片麻岩	523
	其他非金属	1	玉石	2
	水气矿产	2	地下水、天然矿泉水	62
	合计	6		2 081

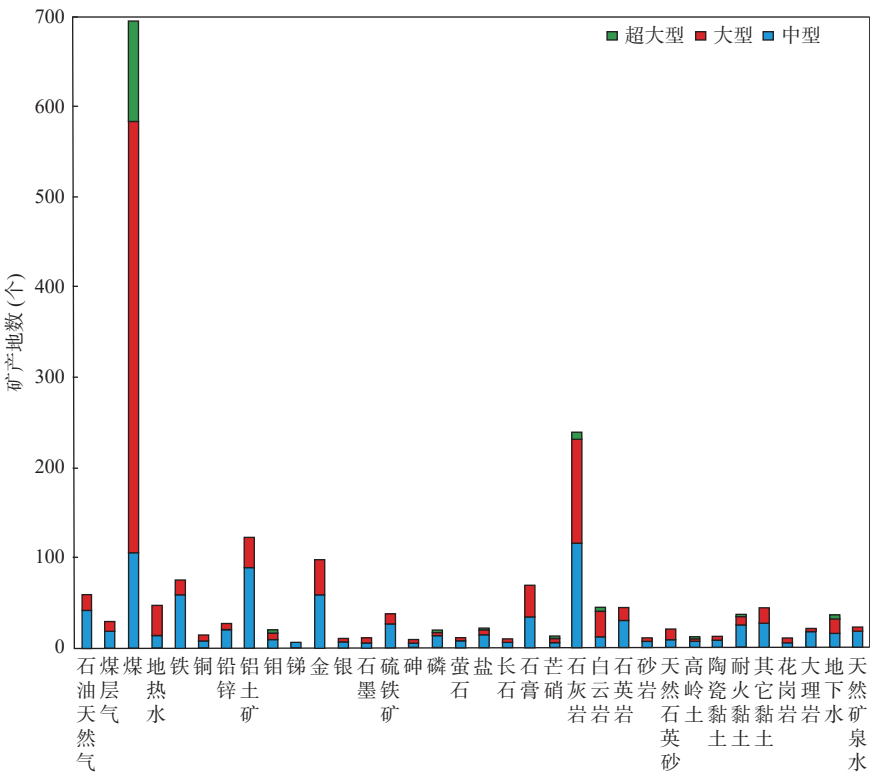


图 4 黄河流域主要矿产数量统计图

Fig. 4 Statistical map of mineral resources in the Yellow river basin

石油地质储量达 19.8 亿 t, 探明储量为 10 亿 t; 天然气探明储量达 1.18 万亿 m³; 埋藏 1 500 m 以浅的煤层气地质资源量为 2.3 万亿 m³。

黄河中上游流域油气资源丰富, 山西、陕西、甘肃、内蒙古、宁夏和青海等省(区)均有分布, 主要集

中在鄂尔多斯、渭河、河套、六盘山、银川、民和、西宁和共和等盆地, 纵向上主要分布在白垩系。煤层气主要赋存于石炭系—二叠系和侏罗系两套含煤岩系中, 这两套岩系是国内大型气田良好的生气源岩, 有数量较大的煤层气资源。煤层气开发利用主要在鄂

鄂尔多斯盆地和沁水盆地,其中,山西省是国内重要的煤层气产业化基地,已经形成沁水盆地、鄂尔多斯盆地东缘 2 个煤层气产业化基地。页岩气主要分布在陕西、青海、甘肃和宁夏 4 省(区),纵向上主要赋存在白垩系和石炭系—二叠系泥页岩中。煤炭资源主要分布在山西、陕西、内蒙古、宁夏、河南等省(区)石炭系—二叠系和侏罗系。其中,鄂尔多斯盆地埋深小于 2000 m 的煤炭资源总量为 19 765 亿 t,占全国煤炭资源总量 43.1%。另外,在渭河盆地与民和盆地发现了氮气的赋存,渭河盆地估算水溶氮气资源量达 21.30 亿 m^3 。氮气含量之高,世界罕见,有望取得氮气资源突破。陕西省已在华阴—潼关远景区内,设立了国内首个氮气探矿权,以建成国内氮气资源基地,进而布局关中地区涉氮高新技术产业为目标,打造“一热两气”特色品牌,转化资源优势为经济优势。天然气水合物主要存于黄河中上游流域的青藏高原冻土带,分布在南祁连盆地和木里盆地,赋存层位中侏罗统,资源巨大,地质资源量为 253×10^8 t 油当量(中国地质调查局西安地质调查中心等, 2021)。

黄河下游煤炭资源主要分布在鲁西地区,含煤岩系主要是石炭系和二叠系。包括兖州煤田、济宁煤田、肥城煤田、莱芜煤田和巨野煤田。其中,巨野煤田包括郛城、彭庄、赵楼、郭屯、万福、龙固等井田,是山东省内最大的全隐伏石炭纪—二叠纪煤田之一,全煤田累计探明储量为 63.98×10^8 t(张增奇等, 2015)。油气集中于河南濮阳的中原油田和山东东营胜利油田(宋明水等, 2021)。

2.2 金属矿产特征

黄河中上游流域优势矿种主要有金、铜、铅和锌。陕西东部—河南西部的小秦岭以及甘肃甘南地区的西秦岭,已发现了一批大中型金矿床,累计探明金资源储量上千吨,是国内重要的黄金生产基地。例如,甘肃玛曲县大水金矿、青海曲麻莱县大场金矿、陕西潼关县桐峪金矿、大王西峪金矿等。铜铅锌矿如甘肃白银矿田,位于黄河上游的甘肃白银市是国内唯一使用贵金属名称命名的城市,享有“铜城”称誉,是国内最早的有色金属生产基地,先后发现折腰山、火焰山、小铁山等多个铜多金属矿床,曾经创造了铜硫产量、产值、利税连续 18 年全国第 1 的辉煌业绩。山西境内累计查明铝土矿资源量为 16.41 亿 t,占全国的 41.57%,居全国第 1 位。河南境内铝土矿占全国的 16.70%,居全国第 2 位。截止 2020 年底,河南省钼保

有资源储量超过 900 万 t,占全国的 24.60%,居全国第 1 位,拥有“中国钼都”的称号。陕西渭南境内已探明钼金属储量占全国总储量的 13.6%,居全国第 2 位。地处华北陆块北缘核心部位的内蒙古阴山地区,也是铜、铅锌、金等矿产资源的重要分布区,在全国占有举足轻重的地位。截止 2020 年底,山西省、河南省冶镁白云岩保有资源储量位列全国前两位,占全国的 44.49%,另外在宁夏青龙山和贺兰山中段也有集中分布(王岩等, 2020)。

2.3 非金属矿产特征

非金属矿产中,以石灰岩矿产地数量最多,主要分布在鄂尔多斯盆地周缘,以及山东泰安市、济宁市一带,其次是石膏、石英岩、白云岩、硫铁矿、黏土类等。截至 2017 年底,山西耐火黏土矿床,累计查明资源储量约为 8.5 亿 t,占总资源储量的 79%,居全国首位。陕北地区以盐类、玻璃用石英砂岩和黏土类矿产为主,渭河以北的关中地区以石灰岩和黏土等建材矿产为主。贺兰山硅石量大质好,被规划为倾力打造国家级万吨多晶硅基地,以支撑石嘴山特大型太阳能电站的建设。石膏矿主要分布在宁夏海原县东北部及盐池县中部,山西晋中市—临汾市一带(王岩等, 2020)。

3 时空分布规律

3.1 时间演化规律

黄河流域矿产资源成矿期可划分为 5 个主要时期,即太古宙、元古宙、古生代、中生代、新生代,其中,最主要的为古生代和中生代(图 5)。古生代形成的矿床数量占总数的 53%,中生代形成的矿床数量占总数 26%(这里的总数指中型规模以上矿床 2 081 处)。

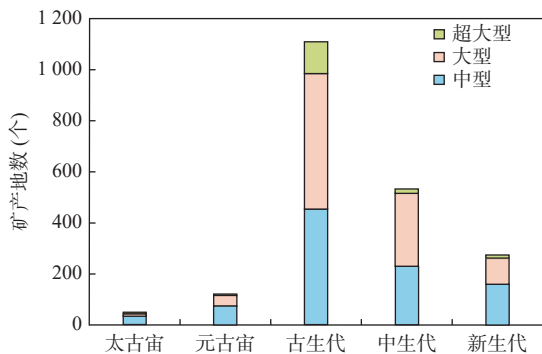


图 5 黄河流域各成矿时代形成的矿产地数量统计
Fig. 5 The number of ore deposits formed in each metallogenic epoch of the Yellow river basin

3.1.1 太古宙矿床

该时期形成的矿床数量最少,多为中型。超大型矿床1处、大型10处、中型37处,集中分布于华北陆块周缘,涉及内蒙古、山西、陕西、山东省(区),不仅沉积了大量的铁矿床,同时也形成一些大型石墨矿床。这些矿床多数产在新太古代绿岩带中,铁矿床在空间上、时间上与海底火山活动关系密切(沈保丰等, 2006)。该时期金属矿产以沉积变质型铁矿为主,代表性矿床有山东省平阴县洪范池铁矿(徐东来等, 2008);非金属矿产有磷、石墨、石棉、石榴子石、钾长石、脉石英、石英岩、白云岩、大理岩、片麻岩,代表性矿床有内蒙古查汗木胡鲁石墨矿(郑永涛等, 2016)、陕西崇阳沟石墨矿(寿立永, 2018)、甘肃余家峡白云岩矿、山西文家坡脉石英矿。

3.1.2 元古宙矿床

该时期形成的矿床超大型4处、大型42处、中型75处,分布于甘肃、内蒙古、宁夏、青海、山东、山西、陕西省(区)。古元古代是中国最早形成大规模铜矿的成矿时期,在华北陆块南缘古元古代中条裂谷中形成超大型的铜矿峪矿床及胡家峪、篦子沟等一批中、小型铜矿床,构成铜矿床集中区。矿床成因类型与裂谷拉伸作用有关,为受变质海相火山-斑岩型铜矿床。在中元古代狼山-白云鄂博裂谷的渣尔泰山群内,形成Sedex型铅锌块状硫化物矿床(沈保丰等, 2006)。该期金属矿产以铁、锰、铜、铅锌为主,代表性矿床有山西铜矿峪铜矿、内蒙古甲生盘铅锌硫矿床(付超等, 2010)、炭窑口铅锌多金属矿床(高兆富等, 2020)、山西尖山铁矿、狐姑山铁矿(温玉玲, 2014)。非金属矿产主要为石英岩,其次有石灰岩、白云岩、磷、硫铁矿、透辉石等,代表性矿床有内蒙古布龙图磷矿、宁夏柳条沟石英岩矿、青海大通县窑洞庄石英岩矿、湟中县门旦峡石灰岩矿等(郝汝铤等, 2012)。

3.1.3 古生代矿床

黄河流域1/2以上的矿床形成于古生代,该时期矿床的分布涵盖了黄河流域内的各个省(区),超大型127处、大型528处、中型456处。古生代时期,东部华北区经沉积加厚及固结硬化,使其稳固性得到进一步提高和巩固,达到了陆块的成熟阶段。华北煤矿、铝土矿大规模沉积成矿作用发生在晚石炭世至二叠纪。西部祁连造山带加里东期海相火山-岩浆成矿作用主要与北祁连早古生代裂解-汇聚活动过程有关,形成了包括早期陆缘弧环境下的Cu-Pb-Zn组合以

及中晚期岛弧环境下的Cu组合。西秦岭则以泥盆纪Pb、Zn热水沉积大规模成矿作用占主导。该时期能源矿产以煤为主,主要分布在山西省,含煤地层为石炭系—二叠系太原组和山西组,其中太原组为海陆交互相煤系,山西组为陆相沉积,盛产高变质烟煤,代表性矿田有宁武、河东、西山、霍西煤田。另外,位于鄂尔多斯地台南缘的渭北石炭系—二叠系煤田,与山西省含煤地层一致,绵延数百公里,素有“渭北黑腰带”之称(赵军龙等, 2006; 雷小乔, 2020)。金属矿产主要是山西、河南省的铝土矿,代表性矿床有河南巩义市涉村铝土矿(谢小芳, 2015)、山西省保德县塬则-石且河铝土矿区(郝俊林, 2015)。甘肃白银厂铜多金属矿田,包括折腰山、火焰山铜矿床及小铁山、铜厂沟、四个圈等锌铅铜矿床,是著名的铜多金属块状硫化物矿集区,赋矿地层为奥陶纪火山岩系。非金属矿产以石灰岩为主,其次为硫铁矿、花岗岩、耐火黏土、白云岩、高岭土、盐矿等。代表性矿床有甘肃麻尾山石灰岩矿(赵文博等, 2021)、陕西礼泉县任池石灰岩矿、延川县永坪地区石盐矿、榆林市镇川堡-绥德盐矿(吴欣等, 2016)、凤县九子沟磷灰石矿等(王强等, 2022)。

3.1.4 中生代矿床

该期矿床中有超大型13处、大型290处、中型229处。能源矿产以煤、石油为主,石油主要赋存于鄂尔多斯盆地陕北地区中生代三叠纪延长组及侏罗纪延安组含油地层中,天然气资源集中于鄂尔多斯盆地一级构造单元——伊盟隆起和陕北斜坡带,代表性油田长庆油田(罗安湘等, 2022)。主要含煤地层为三叠系瓦窑堡组和侏罗系延安组及直罗组(李增学等, 2006),两组均为陆相沉积,煤种以低变质烟煤为主,分布有陕西彬长、神府、黄陵煤田,甘肃炭山岭煤矿、窑街煤矿、靖远煤田、华亭煤田,宁夏灵武煤矿、鸳鸯湖煤矿、马家滩煤矿区,青海天峻县聚乎更煤矿、江仓煤矿区等。金属矿产以金、钼为主,其次为铁、铅、锌、铜、锑。小秦岭金钼矿带位于陕西省东部和河南省西部,地处华北地台西南缘的豫西断隆区,主体构造线为近东西向,已知金矿床在空间上多分布于燕山期花岗岩体外围。代表性矿床有河南文峪金矿(周振菊等, 2011)、上房沟钼矿(包志伟等, 2009)、陕西金堆城钼矿(袁海潮等, 2016)。西秦岭、东昆仑造山带分布的金矿床在成因上与造山热液流体和深源岩浆活动有关,受大型剪切带及其旁侧的褶皱、断裂构造控制。例如,陕西双王金矿、八卦庙金矿等(李永勤等,

2015)、甘肃大水金矿(李鸿睿等, 2019)、青海曲麻莱县大场金矿(刘应冬等, 2022)。非金属矿产以萤石、砷、大理岩为主, 代表性矿床有河南陈楼萤石矿(庞绪成等, 2019)、青海兴海县尕科合砷银铜矿、共和县沟后饰面用大理岩矿、洛南县长岭钾长石矿(张斌等, 2005)。

3.1.5 新生代矿床

该时期矿床中有超大型 4 处、大型 104 处、中型 161 处。能源矿产主要是油气、地热、泥炭, 渭河盆地是国内著名的地热资源开发地区, 现有各类地热井 480 余口, 分布于陕西关中地区西安、咸阳、宝鸡、渭南等城市, 用于温泉洗浴、饮用水源、供暖等。地热的广泛使用有效减少了煤炭的消耗(李正等, 2017)。金属矿产主要是分布于青海、内蒙古的砂金矿, 代表性矿床有青海称多县扎朵砂金矿床。非金属矿产以粘土类、石英砂、石膏、芒硝、盐矿为主, 代表性矿床有内蒙古达拉特芒硝矿床(徐德伟等, 2013)、宁夏石记场石膏矿(陆茂欣等, 2021)、石砚子石英砂矿, 青海

民和县新庄-马家丫石膏矿, 山东泰安市大汶口石膏矿等(张念朋, 2020)。另外, 地下水、矿泉水均发育。

3.2 空间分布规律

根据黄河流域矿产资源分布特征, 划分了 10 个资源集中区: ①兴海-玛沁-迭部区, 以金、银、汞为主。②西宁-兰州区, 石英岩、石灰岩、石膏资源为特色。③同心-灵武-石嘴山区, 以煤、煤层气、石灰岩、石膏为主。④内蒙古河套地区, 铁、铜、铅锌、金矿产区。⑤晋陕蒙接壤地区, 盛产石油、煤炭、铝土矿, 是能源资源集中分布区。⑥陇东地区, 以石油、煤炭为主。⑦晋中、晋南地区, 煤炭、铝土矿、石灰岩为主。⑧渭北区, 石灰岩、地热资源为主。⑨豫西-焦作区, 以钼、金、铝土矿为主。⑩下游地区主要为石油、煤炭、铁、石灰岩。

截止目前, 黄河流域已形成煤炭、石油、天然气、铝土矿、金、钼、铜、铅锌等 19 处矿产资源基地。其中, 油气资源基地 3 个, 煤炭资源基地 8 个, 有色金属资源基地 5 个, 贵金属资源基地 3 个(表 2、图 3)。

表 2 黄河流域矿产资源基地一览表

Tab. 2 List of mineral resources bases in the Yellow river basin

序号	省份	资源基地名称	主要矿产	主要油田、矿区(床)
1	陕西	鄂尔多斯油气资源基地	石油、天然气	长庆油田、延长油田等
2	山东	渤海湾油气资源基地	石油、天然气	胜利油田
3	河南	濮阳油气资源基地	石油、天然气	中原油田
4	内蒙古	神东煤炭资源基地	煤	神府、东胜矿区
5	陕西	陕北煤炭资源基地	煤	榆神、榆横矿区
6	陕西	黄陇煤炭资源基地	煤	彬长(含永陇)、黄陵、华亭矿区
7	山西	晋北煤炭资源基地	煤	大同、平朔、轩岗、朔南、河保偏、岚县矿区
8	山西	晋中煤炭资源基地	煤	太原西山、东山、汾西、离柳、霍州、霍东、乡宁、石隰矿区
9	宁夏	宁东煤炭资源基地	煤	鸳鸯湖、灵武、横城矿区
10	河南	河南煤炭资源基地	煤	鹤壁、焦作、平顶山矿区
11	山东	鲁西煤炭资源基地	煤	兖州矿区、巨野矿区
12	山西	晋西铝土矿资源基地	铝土矿	兴县、宁武-原平、汾阳-孝义、交口-汾西铝土矿区
13	河南	豫西北铝土矿资源基地	铝土矿	涉村、焦村、曹窑、竹园等铝土矿矿床
14	甘肃	白银铜铅锌资源基地	铜、铅、锌	折腰山、火焰山、小铁山等铜多金属矿床
15	陕西	渭南钼资源基地	钼	金堆城、黄龙铺、宋家沟等钼矿床
16	河南	豫西钼资源基地	钼	三道庄、上房沟、夜长坪、南泥湖、东沟、雷门沟等钼矿床
17	河南	小秦岭-熊耳山金资源基地	金	桐峪、大湖、上官、北岭等金矿床
18	甘肃	甘南金资源基地	金	早子沟、以地南、加甘滩、大水、拉尔玛等金矿床
19	青海	东昆仑金资源基地	金	大场、五龙沟、沟里等金矿床

目前, 全国共有 14 个大型煤炭资源基地, 而黄河流域就有陕北、神东、宁东、晋北、晋中、黄陇、河南和鲁西等 8 个国家级大型煤炭资源基地。2021 年, 黄

河流域煤炭产量为 17 亿 t, 约占全国煤炭年产量的 41.7%。2021 年, 黄河流域油气产量为 1.09 亿 t, 占全国油气(当量)年产量的 30%。其中, 鄂尔多斯盆地年

产量为 8 373 万 t, 渤海湾盆地年产量为 2 515 万 t。

4 矿产资源潜力与绿色开发

4.1 近期找矿进展

在鄂尔多斯盆地探明页岩油地质储量超过 10 亿 t, 成为国内目前探明储量规模最大的页岩油整装油田(翟剑, 2021)。渤海湾盆地首批预测页岩油地质储量为 4.58 亿 t(中国石油化工集团公司, 2021)。随着勘探投入和技术进步, 鄂尔多斯盆地和渤海湾盆地有望成为国内的页岩油生产基地。

随着资源的开发, 尽管区内地表和近地表的矿产资源已基本被控制, 但矿田深部仍具有较大的资源潜力。例如, 近年来, 甘肃白银矿田深部找矿取得重大进展, 新发现四方山铜铅锌矿床, 初步估算铜铅锌资源量为 45 万 t, 表明深部可能存在第二赋矿空间。

东昆仑都兰地区相继发现了大场、五龙沟、沟里金矿, 找出了一条青海省的“金腰带”, 该地区有望成为中国新“金都”。大场金矿田累计发现并控制金资源达 151 t, 金资源潜力可达 300 t, 有望成为青海省乃至全国重要的金矿开发基地; 五龙沟金矿田控制金资源量为 60 t, 金资源潜力可达 100 t, 有望达到超大型规模; 沟里金矿田累计控制金资源量为 58 t, 金资源潜力可达 100 t, 有望达到超大型规模。

中国西部的马尔康-雅江-喀喇昆仑巨型锂矿带, 近东西向展布, 长约 4 000 km, 是一条印支期稀有金属超常富集带(青海省地质调查院, 2021)。在该巨型锂矿带东段的川西地区发现了四川甲基卡锂铍矿床, 在西段的西昆仑地区新发现新疆大红柳滩、白龙山锂铍矿床, 均为规模巨大的伟晶岩型锂铍矿床。最近, 在马尔康-雅江-喀喇昆仑巨型锂矿带中部的青海巴颜喀拉地区, 发现与印支期锂、铍成矿相关的花岗岩-伟晶岩带。这是青海省首次发现此类型的矿床, 该地区有望成为国内稀有金属矿产资源基地之一。

黄河中上游流域的渭河盆地发现良好氦气显示, 在渭河盆地实施二维地震勘探与氦气调查井钻探工程, 验证壳源氦气弱源成藏理论, 实现氦气的重大突破。在鄂尔多斯及周缘盆地群开展中生界油页岩(页岩油气)、上古生界煤系气新类型、新领域油气资源调查及多种资源综合评价, 为黄河中上游发展提供能源资源保障(中国地质调查局西安地质调查中心等, 2021)。

青海共和盆地位于青藏高原东北缘秦岭-祁连-

昆仑造山带结合处, 是原特提斯与古特提斯体系叠置的区域。记录了复杂的构造、岩浆及变质作用事件, 是研究青藏高原东北缘秦岭-祁连-昆仑结合带盆-山耦合和构造演化的理想窗口。同时, 青海共和盆地热流值较高, 热异常明显, 平均地温梯度达 6.7~6.8 °C/100 m, 盆内温泉广泛出露, 地热能资源丰富。近年来, 在共和盆地恰卜恰地区已钻探了 10 余口地热深井及干热岩井。2017 年 8 月, 在共和盆地 GR1 井 3 705 m 井底深度钻获 236 °C 的高温干热岩体, 是国内首次钻获埋藏最浅、温度最高的干热岩体, 实现了干热岩勘查的重大突破, 显示了青海共和盆地干热岩地热资源的潜力(张森琦等, 2018; 贡晓瑞等, 2020)。

4.2 绿色开发利用

绿色开发利用是解决矿产资源的“节流”问题。国家要求绿色开发, 综合利用、“吃干榨尽”、“三废(废气、废液、废渣)”要资源化, 形成循环经济。例如, 煤矿开发的同时, 应综合利用共伴生资源(煤层气、煤矸石、油页岩、高岭土、硫铁矿、镓、锗等), 系统化设计, 协同兼顾, 要有合理工艺, 综合利用。

煤层气(瓦斯)是吸附于煤层中的天然气, 以往均未充分利用, 而是直接排入大气中, 既污染环境, 又浪费能源。近年来黄河流域的沁水盆地开始大规模实行先抽气后采煤工艺产业化, 做出良好典型示范, 应优先大力推广。相反, 含气量较为分散而开发成本较高的页岩气, 则应规划为后备能源较为恰当。

煤矸石是少量煤质与大量黏土质复合矿产, 在煤炭生产的采掘和洗选过程中产生排出, 以往也尚未充分利用, 而是当作废石, 既浪费能源, 又浪费黏土资源。生态环境治理中, 可以用于填充塌陷区、覆盖土壤绿化。近年, 有些矿山已开始探索煤矸石发电、制砖、做水泥配料等。《山西省煤炭清洁高效利用促进条例》将自 2023 年 1 月 1 日起施行, 条例中提到省人民政府应当制定煤矸石井下充填、地面回填等技术标准, 规范煤矸石综合利用。将煤矸石和粉煤灰用于绿色建材生产和工程建设的, 县级以上人民政府应当给予支持。另外, 陕煤韩城矿业近年来践行绿色发展理念, 贯彻黄河流域生态保护政策, 开展利用瓦斯发电、矿井水循环利用、矸石山综合治理等工程, 多措并举, 取得明显的经济效益和社会效益。

此外, 紧缺矿种钴很少形成独立矿床, 绝大部分都以伴生组分产于其他矿床中。过渡元素中, 依 Mn-Fe-Co-Ni-Cu 排列顺序, Co 与 Fe、Ni 元素都有地球化学亲缘关系, 基性-超基性岩型铜镍硫化物矿

石、海相火山岩型铜多金属块状硫化物矿石、各种铁铜矿和硫铁矿的原生矿石及氧化带、基性-超基性岩风化壳等,甚至硫铁矿煅烧制硫酸后的残渣,均应为找钴的良好对象。可有效解决钴的工业来源,提高综合利用技术,做到综合回收。

黄河流域矿产资源开发过程中,环境保护工作日益得到加强。2020 年 1 月,自然资源部发布了全国绿色矿山名录。黄河流域涌现出 100 余处绿色矿山(图 6),涉及石油、煤、铁、铜、铅锌、铝土矿、钼、金、硫铁矿、钾盐、石灰岩、大理岩和矿泉水等十余种矿产。

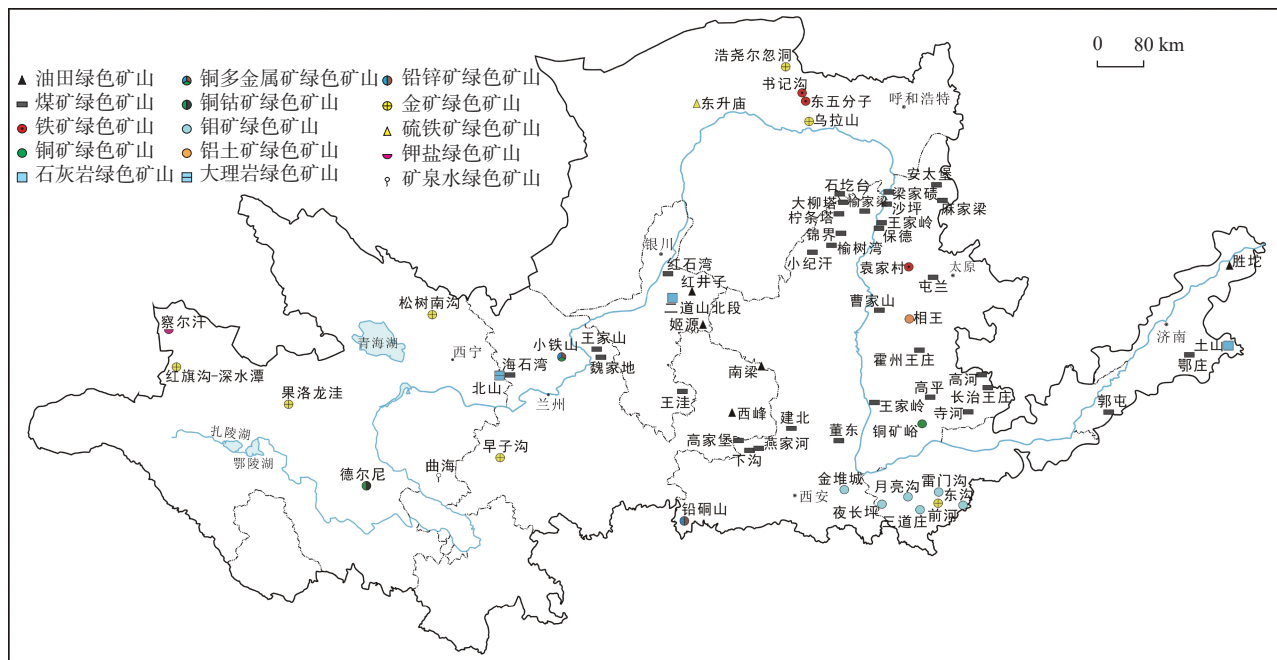


Fig. 6 Distribution map of green mines in Yellow river basin

5 结语

近年来,中国油气对外依存度不断提高,煤炭作为基础能源的地位短时间内无法取代。与此同时,信息技术的日新月异对新材料领域不断提出更高要求。素有“能源流域”之称的黄河流域在经济社会发展和生态安全方面具有重要的地位。

黄河流域水能、石油、煤炭、天然气、固体矿产等资源丰富,分布相对较集中。流域中上游资源集中地区,建设国家能源、战略性矿产资源接续地和产业基地,结合中上游水电开发,合理有序、综合利用能源和矿产资源,形成资源开发基地。

持续推动矿山绿色化、智能化发展,加快生产煤矿智能化改造。推进煤炭清洁高效利用,控制新增煤电规模,淘汰落后的煤电机组。加强能源资源一体化的开发利用,促进能源化工产业向精深加工、高端化发展。加大石油、天然气勘探力度,稳步推动煤层气、页岩气等非常规油气资源的开采利用。

参考文献(References):

- 包志伟,曾乔松,赵太平,等.东秦岭钼矿带南泥湖-上房沟花岗岩成因及其对钼成矿作用的制约[J].岩石学报,2009,25(10):2523-2536.
- BAO Zhiwei, ZENG Qiaosong, ZHAO Taiping, et al. Geochemistry and petrogenesis of the ore-related Nannihu and Shangfanggou granite porphyries from east Qinling belt and their constraints on the molybdenum mineralization[J]. Acta Petrologica Sinica, 2009, 25(10): 2523-2536.
- 戴英生.黄河流域地质构造的基本特征[J].人民黄河,1984,(3):20-26.
- DAI Yingsheng. Basic Characteristics of Geological Structures in the Yellow River[J]. Yellow River, 1984, (3): 20-26.
- 付超,王建平,彭润民,等.内蒙古甲生盘铅锌硫矿床铅同位素组成及其对成矿物质来源的示踪意义[J].中国地质,2010,37(6):1690-1698.
- FU Chao, WANG Jianping, PENG Runmin, et al. Lead isotope composition of the Jiashengpan lead-zinc-sulfur deposit in Inner Mongolia and its tracing significance for ore-forming materials[J]. Geology in China, 2010, 37(6): 1690-1698.
- 高兆富,朱祥坤,孙剑,等.内蒙古炭窑口硫化物矿床Fe、S同位

- 素组成及对硫化物成矿的制约[J]. 地球学报, 2020, 41(5): 675–685.
- GAO Zhaofu, ZHU Xiangkun, SUN Jian, et al. Fe-S Isotope Compositions of the Tanyaokou Sulfide Deposit in Inner Mongolia and Their Constraints on Sulfide Formations[J]. *Acta Geoscientica Sinica*, 2020, 41(5): 675–685.
- 郝汝铤, 鲁承桂, 梁栋, 等. 在青藏高原上规划建设的大型石灰石矿山—门旦峡石灰石矿山生产电石灰岩和水泥灰岩的设计与建设[J]. 中国水泥, 2012, (1): 80–85.
- HAO Ruting, LU Chenggui, LIANG Dong, et al. The extra-large limestone mine planning and construction on the Qinghai-Tibet Plateau: Production of electric limestone and cement limestone in Mendanxia Limestone Mine[J]. *China Cement*, 2012, (1): 80–85.
- 郝俊林. 山西省保德县塬则—石且河矿区铝土矿矿床地质特征[J]. 华北国土资源, 2015, 69(6): 51–55.
- HAO Junlin. Geological features of Yanze-Shiqiehe mining area in Baode County, Shanxi Province[J]. *Huabei Land and Resource*, 2015, 69(6): 51–55.
- 罗安湘, 喻建, 刘显阳, 等. 鄂尔多斯盆地中生界石油勘探实践及主要认识[J]. 新疆石油地质, 2022, 43(3): 253–260.
- LUO Anxiang, YU Jian, LIU Xianyang, et al. Practices and Cognitions of Petroleum Exploration in Mesozoic, Ordos Basin[J]. *Xinjiang Petroleum Geology*, 2022, 43(3): 253–260.
- 李增学, 李江涛, 韩美莲, 等. 鄂尔多斯盆地中生界聚煤规律及对多能源共存富集的贡献[J]. 山东科技大学学报: 自然科学版, 2006, 25(2): 1–5.
- LI Zengxue, LI Jiangtao, HAN Meilian, et al. On the Coal Accumulating Law of Mesozoic and Its Contribution to the Concentration of Multiple Energy Resources in Ordos Basin[J]. *Journal of Shandong University of Science and Technology (Natural Science)*, 2006, 25(2): 1–5.
- 李鸿睿, 韦乐乐, 严康, 等. 甘肃玛曲大水金矿床构造控矿特征及找矿预测[J]. 黄金, 2019, 40(4): 4–8.
- LI Hongrui, WEI Lele, YAN Kang, et al. Ore-controlling structures and ore prediction of Dashui Gold Deposit, Maqu, Gansu[J]. *Gold*, 2019, 40(4): 4–8.
- 李永勤, 王瑞廷, 丁坤, 等. 陕西凤县八卦庙金矿脆韧性剪切带控矿特征及成矿模式探讨[J]. 西北地质, 2015, 48(1): 101–108.
- LI Yongqin, WANG Ruiting, DING Kun, et al. Ore-controlling Characteristics and Metallogenic Model of Brittle Ductile Shear Zones of Baguamiao Gold Deposit in Fengxian County, Shaanxi[J]. *Northwestern Geology*, 2015, 48(1): 101–108.
- 李正, 贾海平, 张阳, 等. 渭河盆地地热资源类型[J]. 承德石油高等专科学校学报, 2017, 19(4): 1–5.
- LI Zheng, JIA Haiping, ZHANG Yang, et al. Types of Geothermal Resources in Weihe Basin[J]. *Journal of Chengde Petroleum College*, 2017, 19(4): 1–5.
- 雷小乔. 论鄂尔多斯盆地中央古隆起对石炭-二叠纪聚煤作用的控制[J]. 中国煤炭地质, 2020, 32(5): 1–6.
- LEI Xiaoqiao. Study on Central paleouplift Control on Permo-Carboniferous Coal Accumulation in Ordos Basin[J]. *Coal Geology of China*, 2020, 32(5): 1–6.
- 刘应冬, 承道明. 青海大场金矿矿集区成矿规律与找矿潜力[J]. 矿产综合利用, 2022, (1): 7–14.
- LIU Yingdong, CHENG Daoming. Metallogenic Regularity and Prospecting Potential of Dachang gold Ore Concentration Area in Qinghai Province[J]. *Multipurpose Utilization of Mineral Resources*, 2022, (1): 7–14.
- 陆茂欣, 李通, 杨凡燕, 等. 宁夏石记场石膏矿岩矿石类型及成因分析[J]. 现代矿业, 2021, 37(10): 39–44, 48.
- LU Maoxin, LI Tong, YANG Fanyan, et al. Ore Types and Genetic Analysis of Gypsum Rocks in Shijichang, Ningxia[J]. *Modern Mining*, 2021, 37(10): 39–44, 48.
- 庞绪成, 李文明, 刘纪峰, 等. 河南省嵩县陈楼萤石矿流体包裹体特征及其地质意义[J]. 河南理工大学学报: 自然科学版, 2019, 38(1): 45–53.
- PANG Xucheng, LI Wenming, LIU Jifeng, et al. Fluid inclusion and geological significance of Chenlou fluorite deposit in Songxian county, Henan province[J]. *Journal of Henan Polytechnic University (Natural Science)*, 2019, 38(1): 45–53.
- 翟剑. 鄂尔多斯盆地探明首个超 10 亿吨级页岩油大油田[N]. 科技日报, 2021.6.21, 第 01 版: 今日要闻.
- 青海省地质调查院. 地质新发现构成我国西部 4000 千米巨型锂矿带[EB/OL], 2021.12.
- 寿立永. 陕西省石墨矿成矿特征及成矿区带划分[J]. 西北地质, 2018, 51(3): 185–191.
- SHOU Liyong. Metallogenic Characteristics and Mineralization Zoning of Granite Deposits in Shaanxi Province[J]. *Northwestern Geology*, 2018, 51(3): 185–191.
- 宋明水, 王永诗, 郝雪峰, 等. 渤海湾盆地东营凹陷古近系深层油气成藏系统及勘探潜力[J]. 石油与天然气地质, 2021, 42(6): 1243–1254.
- SONG Mingshui, WANG Yongshi, HAO Xuefeng, et al. Petroleum systems and exploration potential in deep Paleogene of the Dongying Sag, Bohai Bay Basin[J]. *Oil & Gas Geology*, 2021, 42(6): 1243–1254.
- 沈保丰, 翟安民, 陈文明, 等. 中国前寒武纪成矿作用[M]. 北京: 地质出版社, 2006.
- 王岩, 王登红, 黄凡, 主编. 中国矿产地志·中国矿产地分省图集(2020)[M]. 北京: 地质出版社, 2020.9.
- 王强, 宋公社, 刘凯, 等. 陕西凤县九子沟磷矿中钨、稀土赋存特征研究[J]. 矿产保护与利用, 2022, 42(1): 138–143.
- WANG Qiang, SONG Gongshe, LIU Kai, et al. Study on the occurrence state of scandium and rare earths in Jiuzigou phosphate ore, Feng County, Shaanxi Province[J]. *Conservation and Utilization of Mineral Resources*, 2022, 42(1): 138–143.
- 温玉玲. 孤姑山铁矿床成矿地质条件与矿床成因探讨[J]. 山西冶金, 2014, 149(3): 29–33.
- WEN Yuling. Cause Analysis on Metallogenic geological Conditions and Deposit of Guhushan Iron Mine[J]. *Shanxi Metallurgy*, 2014, 149(3): 29–33.
- 吴欣, 蒋同昌, 李惠娟, 等. 陕北奥陶纪盐田成矿条件与地质特征[J]. 现代矿业, 2016, 564(4): 141–142+145.
- WU Xin, JIANG Tongchang, LI Huijuan, et al. Metallogenic condi-

- tions and geological characteristics of the Ordovician salt fields in Northern Shaanxi[J]. *Modern Mining*, 2016, 564(4): 141-142+145.
- 徐志刚, 陈毓川, 王登红, 等. 中国成矿区带划分方案[M]. 北京: 地质出版社, 2008.
- 徐东来, 胡艳霞. 平阴县洪范池铁矿地质特征[J]. *山东国土资源*, 2008, 24(1): 7-9.
- XU Donglai, HU Yanxia. Geological Characteristics of Hongfanchi Iron Deposit in Pingyin County of Shandong Province[J]. *Shandong land and resources*, 2008, 24(1): 7-9.
- 徐德伟, 魏小刚. 内蒙古达拉特旗德胜太芒硝矿床地质特征及成因分析[J]. *华南地质与矿产*, 2013, 29(3): 227-233.
- XU Dewei, WEI Xiaogang. Geological characteristics and ore genesis of Deshengtai mirabilite ore deposit in Dalad county, Inner Mongolia[J]. *Geology and Mineral Resources of South China*, 2013, 29(3): 227-233.
- 谢小芳. 巩义市涉村铝土矿地质特征及矿床成因[J]. *内蒙古科技与经济*, 2015, 334(12): 62-63.
- XIE Xiaofang. Geological features and genesis of Shacun Bauxite Mine in Gongyi City[J]. *Inner Mongolia Science Technology & Economy*, 2015, 334(12): 62-63.
- 袁海潮, 王瑞廷, 李伍义, 等. 金堆城超大型斑岩钼矿床地质特征及其找矿新发现[J]. *西北地质*, 2016, 49(1): 172-184.
- YUAN Haichao, WANG Ruiting, LI Wuyi, et al. Geological Characteristics and New Prospecting Discovery of the Jinduicheng Superlarge Porphyry Molybdenum Deposit[J]. *Northwestern Geology*, 2016, 49(1): 172-184.
- 负晓瑞, 陈希节, 蔡志慧, 等. 青海共和盆地东北部干热岩岩浆侵位结晶条件及深部结构初探[J]. *岩石学报*, 2020, 36(10): 3171-3191.
- YUN Xiaorui, CHEN Xijie, CAI Zhihui, et al. Preliminary study on magmatic emplacement and crystallization conditions and deep structure of hot dry rock in the northeastern Gonghe basin, Qinghai Province[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2020, 36(10): 3171-3191.
- 赵军龙, 谭成仟, 刘池阳, 等. 鄂尔多斯盆地油、气、煤、铀富集特征分析[J]. *石油学报*, 2006, 27(2): 58-63.
- ZHAO Junlong, TAN Chengqian, LIU Chiyang, et al. Enrichment features of oil, gas, coal and uranium in Ordos Basin[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2006, 27(2): 58-63.
- 赵文博, 罗小红. 甘肃石灰岩矿分布特征及资源潜力分析[J]. *中国非金属矿工业导刊*, 2021, 150(6): 9-12+8.
- ZHAO Wenbo, LUO Xiaohong. The Distribution of Limestone in Gansu Province and Its Resource Potential Analysis[J]. *China Non-metallic Minerals Industry*, 2021, 150(6): 9-12+8.
- 张增奇, 梁吉坡, 李增学, 等. 山东省煤炭资源与赋煤规律研究[J]. *地质学报*, 2015, 89(12): 2351-2362.
- ZHANG Zengqi, LIANG Jipo, LI Zengxue, et al. Research Coal Distributions and Coal-accumulation Regularities in Shandong Province[J]. *Acta Geologica Sinica*, 2015, 89(12): 2351-2362.
- 张照伟, 李文渊, 丰成友, 等. 中国钴-镍成矿规律与高效勘查技术[J]. *西北地质*, 2022a, 55(2): 14-34.
- ZHANG Zhaowei, LI Wenyuan, FENG Chengyou, et al. Study on Metallogenic Regularity of Co-Ni Deposits in China and Its Efficient Exploration Techniques[J]. *Northwestern Geology*, 2022a, 55(2): 14-34.
- 张照伟, 谭文娟, 王小红, 等. 西北地质调查与战略性矿产找矿勘查[J]. *西北地质*, 2022b, 55(3): 44-63.
- ZHANG Zhaowei, TAN Wenjuan, WANG Xiaohong, et al. Geological Survey and Prospecting of Strategic Minerals in Northwest China[J]. *Northwestern Geology*, 2022b, 55(3): 44-63.
- 张斌, 陈全树, 何文平, 等. 豫陕交界地区钾长石矿产地质特征及开发前景[J]. *西北地质*, 2005, 38(2): 82-85.
- ZHANG Bin, CHEN Quanshu, HE Wenping, et al. Characteristics and development prospect of potash feldspar ore in area on the boundary between Henan and Shaanxi[J]. *Northwestern Geology*, 2005, 38(2): 82-85.
- 张念朋. 山东大汶口盆地鲁能石膏矿地质特征及成因分析[J]. *中国非金属矿工业导刊*, 2020, 140(2): 39-41+48.
- ZHANG Nianpeng. Geological characteristics and genetic analysis of Luneng gypsum deposit in Dawenkou Basin, Shandong[J]. *China Non-metallic Minerals Industry*, 2020, 140(2): 39-41+48.
- 张森琦, 严维德, 黎敦朋, 等. 青海省共和县恰卜恰干热岩体地热地质特征[J]. *中国地质*, 2018, 45(6): 1087-1102.
- ZHANG Senqi, YAN Weide, LI Dunpeng, et al. Characteristics of geothermal geology of the Qiabuqia HDR in Gonghe Basin, Qinghai Province[J]. *Geology in China*, 2018, 45(6): 1087-1102.
- 郑永涛, 高洁, 孙莉, 等. 内蒙古阿拉善左旗查汗木湖鲁晶质石墨矿地质特征及找矿标志[J]. *地质学刊*, 2016, 40(4): 695-700.
- ZHENG Yongtao, GAO Jie, SUN Li, et al. Geological characteristics and prospecting indicators of the Chahanmuhulu crystalline graphite deposit in Alxa Left Banner of Inner Mongolia[J]. *Journal of Geology*, 2016, 40(4): 695-700.
- 中国地质调查局西安地质调查中心, 国家自然资源督察西安局, 中国黄河中上游流域自然资源图集[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 2021.
- 中国石油化工有限公司, 首批预测储量 4.58 亿吨胜利油田页岩油勘探开发获重大进展[EB/OL], 2021.11.
- 周振菊, 蒋少涌, 秦艳, 等. 小秦岭文峪金矿床流体包裹体研究及矿床成因[J]. *岩石学报*, 2011, 27(12): 3787-3799.
- ZHOU Zhenju, JIANG Shaoyong, QIN Yan, et al. Fluid inclusion characteristics and ore genesis of the Wenyu gold deposit, Xiaolinling gold belt[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2011, 27(12): 3787-3799.