

河西走廊成矿带区域成矿规律及找矿方向

赵国斌¹⁾, 杨合群¹⁾, 余吉远¹⁾, 谭文娟¹⁾, 赵 民¹⁾, 余 超²⁾,
朱永新²⁾, 艾 宁³⁾, 向连格³⁾

1) 中国地质调查局西安地质调查中心, 陕西西安 710054; 2) 甘肃省地质调查院, 甘肃兰州 730000;

3) 宁夏回族自治区地质调查院, 宁夏银川 750021

摘 要: 河西走廊成矿带是分布于祁连地区最北部的Ⅲ级成矿单元(全国统一编号为Ⅲ-20), 目前共有 235 处矿产地, 形成了石油、煤、凹凸棒石黏土、萤石、石膏、芒硝、石灰岩、天然石英砂、铁、铜、金、钨等 40 余种矿产。该成矿带以沉积成矿作用为主, 其次为流体、岩浆、变质和表生成矿作用, 可分为 11 种矿床类型, 主要成矿期为华力西期、加里东期、燕山期和喜马拉雅期。河西走廊成矿带可进一步划分为 2 个成矿亚带, 分别为玉门—民乐成矿亚带和山丹—中卫—泾源成矿亚带。根据构造空间、成矿时间、成矿作用和矿种等四要素的耦合关系, 河西走廊成矿带厘定了 10 个矿床成矿系列, 包括 4 个沉积作用有关矿床成矿系列、3 个流体作用有关矿床成矿系列、1 个岩浆作用有关矿床成矿系列、1 个变质作用有关矿床成矿系列和 1 个表生作用有关矿床成矿系列。通过细分成矿时段和细化成矿地质作用, 进一步解析出 16 个矿床成矿亚系列, 并建立了 47 个矿床式。根据区内地质、矿产、物探、化探和遥感信息, 河西走廊成矿带共圈出 5 个综合预测区, 为下一步找矿工作指出了方向。

关键词: 成矿系列; 成矿规律; 找矿方向; 成矿带; 河西走廊

中图分类号: P612 文献标志码: A doi: 10.3975/cagsb.2022.101702

Metallogenic Regularity and Prospecting Direction in the Hexi Corridor Metallogenic Belt, China

ZHAO Guo-bin¹⁾, YANG He-qun¹⁾, YU Ji-yuan¹⁾, TAN Wen-juan¹⁾, ZHAO Min¹⁾, YU Chao²⁾,
ZHU Yong-xin²⁾, AI Ning³⁾, XIANG Lian-ge³⁾

1) Xi'an Center, China Geological Survey, Xi'an, Shaanxi 710054;

2) Geological Survey of Gansu Province, Lanzhou, Gansu 730000;

3) Geological Survey Institute of Ningxia Hui Autonomous Region, Yinchuan, Ningxia 750021

Abstract: The Hexi corridor metallogenic belt is a III-level metallogenic unit distributed in the north of the Qilian region (national number III-20). There are 235 mineral deposits in this metallogenic belt, comprising more than 40 types of minerals, including petroleum, coal, attapulgite clay, fluorite, gypsum, mirabilite, limestone, quartz sand, iron, copper, gold, and tungsten. The major mineralization process is sedimentation, followed by hydrothermalism, magmatism, metamorphism, and supergenesis. These deposits can be divided into 11 types, and the main metallogenic periods are Variscan, Caledonian, Yanshanian, and Himalayan. This metallogenic belt can be further divided into two metallogenic sub-belts: Yumen-Minle and Shandan-Zhongwei-Jingyuan. According to the coupling relationship of the four elements of tectonic space, metallogenic time, mineralization, and mineral species, 10 minerogenetic series of mineral deposits have been determined in the Hexi corridor metallogenic belt, including four minerogenetic series of mineral deposits related to sedimentation, three minerogenetic series of mineral deposits related to hydrothermalism, one minerogenetic series of mineral deposits related to magmatism,

本文由中国地质调查局项目“中国矿产地质志”(编号: DD20221695; DD20190379; DD20160346)和“祁连-秦岭铜镍钴金战略性矿产调查评价”项目(编号: DD20230334)联合资助。

收稿日期: 2022-08-16; 改回日期: 2022-10-07; 网络首发日期: 2022-10-18。责任编辑: 闫立娟。

第一作者简介: 赵国斌, 男, 1978 年生。硕士, 正高级工程师。主要从事成矿规律及矿产预测研究。E-mail: 531522461@qq.com。

one minerogenetic series of mineral deposits related to metamorphism, and one minerogenetic series of mineral deposits related to supergenesis. By subdividing metallogenic periods and mineralization, 16 minerogenetic subseries of mineral deposits and 47 deposit types were established. Based on the geological, mineral, geophysical, geochemical, and remote sensing information, five comprehensive prediction areas were delineated in the Hexi corridor metallogenic belt, which provide a direction for future prospecting work.

Key words: minerogenetic series of mineral deposits; metallogenic regularity; prospecting direction; metallogenic belt; Hexi corridor

河西走廊成矿带是我国重要成矿带之一,在全国成矿区带划分方案中编号为Ⅲ-20(徐志刚等, 2008),属于祁连地区最北部的一个Ⅲ级成矿单元(图1)。该成矿带已发现石油、煤、凹凸棒石黏土、萤石、石膏、芒硝、石灰岩、天然石英砂、铁、铜、金、钨等40余种矿产,各类矿产地共235处。从矿产分类来看,能源矿产有矿产地76处,金属矿产有矿产地56处,非金属矿产有矿产地103处;从规模来看,超大型2处、大型23处、中型29处、小型119处、矿点62处。尽管以往曾有学者(贾群子等, 2007; 谭文娟等, 2013)进行区域成矿规律研究,但有很多矿种尚未纳入其中。本文首次按照“矿种全覆盖”和“矿床类型全覆盖”原则,以成矿系列理论为指导(程裕淇等, 1979, 1983; 陈毓川等, 2006, 2015, 2016, 2020, 2022; 王登红等, 2020),全面归纳总结河西走廊成矿带区域成矿规律,并探讨找矿方向,这不仅对于丰富成矿理论具有科学意义,而且对于促进新一轮找矿突破战略行动也有实际应用价值。

1 区域成矿构造背景

河西走廊成矿带位于祁连山与合黎山—龙首山—大罗山—六盘山等山脉之间,西部以阿尔金山南缘断裂为界,北部以龙首山南缘断裂为界,东部以青铜峡—罗山—蒿店断裂为界,南部以北祁连北缘断裂为界(图1)。

黄汲清等(1965)将祁连山地区自北而南依次划分为走廊过渡带、北祁连加里东优地槽褶皱带、中祁连隆起带、南祁连加里东冒地槽褶皱带等构造单元;李春昱等(1975, 1978)提出祁连山地区存在古板块构造体制;夏林圻等(1998)提出北祁连存在早古生代沟弧盆体系;冯益民和何世平(1996)认为河西走廊及其南侧的走廊南山地处塔里木—中朝板块南缘早古生代活动陆缘,可划分为走廊南山岛弧和走廊弧后盆地两个构造单元。

本文认为河西走廊的大地构造位置称“弧后盆地”仅反映中晚奥陶世的背景,总体而言还是称“走廊过渡带”比较合适。因为该地带夹持于阿拉善陆块南缘、鄂尔多斯陆块西缘与北祁连造山带之间,最突出的特点就是过渡性。从寒武纪到奥陶纪早期,在北祁连由裂谷逐步扩张形成洋盆的过程,河西走

廊没有显著地深陷下去,而处于被动大陆边缘地带;奥陶纪中晚期北祁连洋壳向北俯冲,形成弧盆系的过程,河西走廊处在弧后-前陆盆地;志留纪末碰撞造山过程北祁连显著隆起,河西走廊却没有隆升上去,在泥盆纪处于山前凹陷;石炭纪再次受海侵,早石炭世为陆表海环境,晚石炭世为海陆交互环境;从二叠纪到第四纪,则一直处于陆内环境。

徐志刚等(2008)划分中国成矿区带的原则,一般是把地块及周缘的造山带分别视为Ⅲ级成矿区带。按照这样的思维,阿拉善地块和北祁连缝合带之间的地带划归“北祁连成矿带”即可,但实际却还增划了“河西走廊成矿带”,正是基于“走廊过渡带”的过渡性特点。

2 区域成矿规律

2.1 成矿空间结构及分布规律

根据河西走廊成矿带内的地质建造构造格局和成矿特征的差异,大致以甘肃省民乐县锯条山一带为界,从西到东划分为玉门—民乐成矿亚带(编号Ⅳ-20①)和山丹—中卫—泾源成矿亚带(编号Ⅳ-20②)(图1)。

(1) 玉门—民乐成矿亚带(Ⅳ-20①)

玉门—民乐成矿亚带主要出露新生界,西段见古生界和中生界。亚带内主要含矿地层有中一下奥陶统阴沟群、上石炭统羊虎沟组、下白垩统赤金堡组和新民堡群的下沟组\中沟组、古近系渐新统白杨河组、新近系中新统、第四系更新统\全新统。

该成矿亚带形成了石油、天然气、煤、地热、金、铜、盐、钾盐、石膏、芒硝、凹凸棒石黏土、膨润土、其它黏土、泥炭、地下水等15种矿产,以石油、凹凸棒石黏土、其它黏土、芒硝、泥炭等为主,主要形成于燕山期和喜马拉雅期。

该成矿亚带共发现各类矿床(点)27处,其中超大型1处(杨台洼滩凹凸棒石黏土矿床)、大型3处(正北山凹凸棒石黏土矿床,大草滩黏土矿床,盐池芒硝矿床)、中型8处(青西、鸭儿峡、老君庙、石油沟、白杨河、单北油田、掌形疙瘩、闫家河泥炭矿床)、小型12处(榆树沟山、阴洼沟、红柳沟、十八里沟、营房后、大磨子沟、羊肠子沟金矿床,狼家河沿、小华尖泥炭矿床,火烧沟膨润土矿床,正

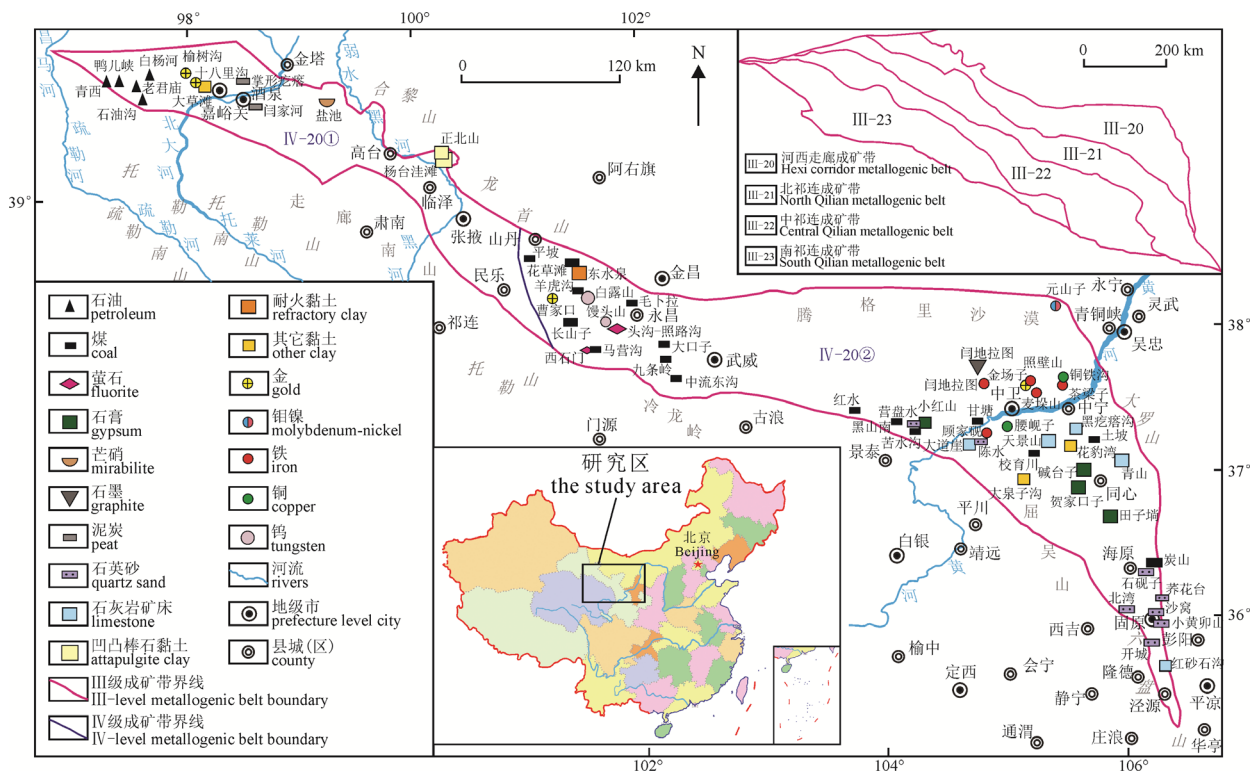


图1 河西走廊成矿带成矿单元划分及主要矿产分布略图

Fig. 1 Map of metallogenic units and distribution of major deposits in the Hexi corridor metallogenic belt

北山石膏矿床, 银达地热)、矿点 3 处。

(2) 山丹—中卫—泾源成矿亚带(IV-20②)

山丹—中卫—泾源成矿亚带主要含矿地质体有中—上寒武统徐家圈组、中—上寒武统大黄山组、上寒武统一下奥陶统狼嘴子组、中—下奥陶统天景山组、加里东晚期中酸性岩体、上泥盆统中宁组、下石炭统前黑山组、臭牛沟组、上石炭统羊虎沟组、太原组(甘肃境内二者已合并为羊虎沟组)、中侏罗统龙凤山组(甘肃境内名称)和延安组(宁夏境内名称)、燕山期侵入岩体、古近系渐新统清水营组、新近系中新统彰恩堡组和第四系。

该成矿亚带形成了煤、煤层气、油页岩、页岩气、地热、铁、铜、铅、锌、钼、镍、钴、钨、金、银、硫铁矿、磷、萤石、钾盐、重晶石、石膏、芒硝、石灰岩、石墨、大理岩、砂岩、石英砂、膨润土、陶瓷黏土、耐火黏土、其它黏土、高岭土、辉绿岩、花岗岩、观赏石、地下水等 36 种矿产, 以煤、萤石、石膏、石灰岩、石英砂、石墨、钨、铁、铜、金等矿产为主, 主要形成于华力西期、加里东期、喜马拉雅期和燕山期。

亚带内共发现各类矿床(点)208 处, 其中超大型 1 处(头沟—照路沟萤石矿床)、大型 20 处(炭山煤矿区、碱台子、贺家口子、田子塄石膏矿床, 闫地拉图石墨矿床, 米钵山、天景山白路泉北段、青圪塔南段、瀛龙山、园湾、青山石灰岩矿床, 东水泉耐火黏土矿床, 石砚子、北湾、梁家台、沙窝、

小黄峁山、开城石英砂矿床, 磨盘井辉绿岩矿床)、中型 21 处(花草滩、长山子煤矿, 炭山煤层气矿床, 西石门萤石矿床, 白露山钨矿床, 小红山、南泥沟石膏矿床, 陈水砂岩矿床, 营盘水、丁家二沟、杨家井、荞花台、太白山—青石峡口天然石英砂矿床, 黑疙瘩沟、大道崖—孙家沟、天景山白路泉南段、倒流水、红砂石沟、大道崖石灰岩矿床, 大泉子沟陶瓷黏土矿床, 花豹湾黏土矿床)、小型 107 处、矿点 59 处。

2.2 成矿时代结构及分布规律

为了便于研编《中国矿产地质志》及读者进一步进行全国性对比使用, 下面采取地学界通用地质时代中的“代”为时段来统计论述。

河西走廊成矿带成矿期主要为华力西期(晚古生代), 其次为加里东期(早古生代)、印支—燕山期(中生代)和喜马拉雅期(新生代)(图 2)。

(1) 加里东期: 以流体成矿作用、沉积成矿作用和岩浆成矿作用为主, 共形成有 47 处矿床(点), 其中超大型 1 处, 大型 7 处, 中型 5 处, 小型 21 处, 矿点 13 处。形成的主要矿种有萤石、石灰岩、辉绿岩、花岗岩、钨、金、钼镍、铜、铅锌、铁、重晶石、磷、碧玉观赏石。

(2) 华力西期: 以沉积成矿作用为主, 共形成有 84 处矿床(点), 其中大型 1 处, 中型 7 处, 小型 61 处, 矿点 15 处。形成的主要矿种有煤、石膏、石灰

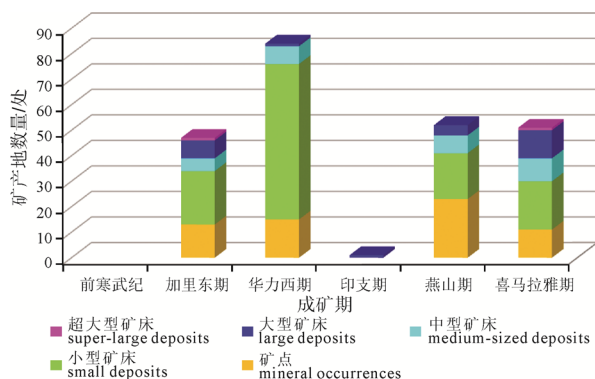


图2 河西走廊成矿带矿产时代分布结构图

Fig. 2 Statistical graph of metallogenic epochs in the Hexi corridor metallogenic belt

岩、耐火黏土、陶瓷黏土、铜、油页岩、页岩气等。

(3)印支—燕山期: 以沉积成矿作用为主, 共形成有 53 处矿床(点), 其中大型 4 处, 中型 8 处, 小型 18 处, 矿点 23 处。形成的主要矿种有煤、石油、石墨、其它黏土、砂岩、煤层气、铁、铜、金、重晶石、硫铁矿。

需要说明的是, 本文对油气和煤层气的成矿时代分别按相应的烃源岩和气源岩进行统计, 实际有漫长的后续演化过程, 具体见后文叙述。

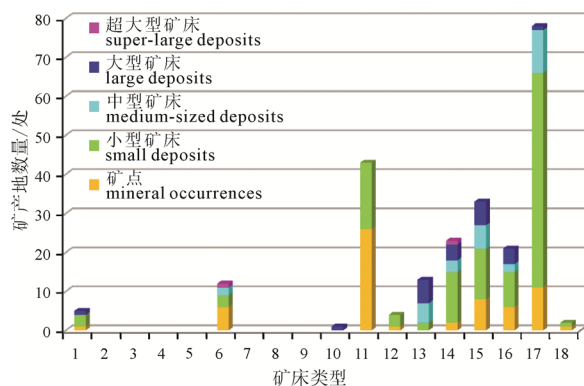
(4)喜马拉雅期: 以沉积成矿作用为主, 其次为流体成矿作用和表生风化成矿作用, 共形成有 51 处矿床(点), 其中超大型 1 处, 大型 11 处, 中型 9 处, 小型 19 处, 矿点 10 处。形成的主要矿种有凹凸棒石黏土、石膏、天然石英砂、芒硝、泥炭、其它黏土、膨润土、铁、地热、钾盐、钟乳石观赏石。

2.3 矿床类型结构及分布规律

“中国矿产地质志”矿床类型划分方案, 以矿床的成矿作用为主导, 突出了成矿主岩, 共划分了 18 种矿床类型。根据该方案, 河西走廊成矿带共划分出 11 种矿床类型, 以生物化学沉积型为主, 浅成中-低温热液型、化学沉积型、机械沉积型、蒸发沉积型、砂矿型和岩浆热液型次之, 岩浆型、变成型、风化型和叠加(复合/改造)矿床相对较少(图 3)。

生物化学沉积型矿床: 共发现 78 处矿产地, 大型 1 处(炭山煤矿区), 中型 11 处(青西、鸭儿峡、老君庙、石油沟、白杨河、单北油田、掌形疙瘩、闫家河泥炭、花草滩、长山子煤矿区、炭山煤层气), 小型 55 处(煤 52 处, 泥炭 2 处, 钼镍 1 处), 矿点 11 处(煤 8 处, 油页岩 2 处, 页岩气 1 处)。成矿时代主要为华力西期, 形成了煤、油页岩、页岩气等矿产; 其次为燕山期, 形成了石油、煤、煤层气等矿产; 加里东期形成了钼、镍等矿产, 喜马拉雅期形成了泥炭等矿产。

浅成中-低温热液型矿床: 共发现 43 处矿产地, 其中小型 17 处(榆树沟、阴洼沟、红柳沟、十八里



1—岩浆型; 2—伟晶岩型; 3—云英岩型; 4—接触交代型(矽卡岩型); 5—斑岩型; 6—岩浆热液型; 7—陆相火山岩型; 8—海相火山岩型; 9—受变质型; 10—变成型; 11—浅成中-低温热液型; 12—风化型; 13—砂矿型; 14—机械沉积型; 15—化学沉积型; 16—蒸发沉积型; 17—生物化学沉积型; 18—叠加(复合/改造)矿床。

1—magma type; 2—pegmatite type; 3—greisen type; 4—contact metasomatic type (skarn type); 5—porphyry type; 6—magmatic hydrothermal type; 7—continental volcanic rock type; 8—marine volcanic rock type; 9—metamorphic type; 10—high grade metamorphic type; 11—hypabyssal-medium-low temperature-hydrothermal type; 12—weathering type; 13—placer type; 14—mechanical deposition type; 15—chemical deposition type; 16—evaporative deposition type; 17—biochemical sedimentary type; 18—superimposed (composite/transformed) deposit.

图3 河西走廊成矿带矿床类型和矿产地数量统计图

Fig. 3 Statistical graph of deposit type and number in the Hexi corridor metallogenic belt

沟、营房后、大磨子沟、羊肠子沟金矿床, 银达、药王泉地热水, 斜壕重晶石矿床, 照壁山、石堆水铁矿床, 铜铁沟、大铜沟铜矿床, 金场子金矿床, 二人山铅银-硫铁矿床, 一条岭重晶石矿床), 矿点 26 处(地热水 1 处, 金 1 处, 铁 19 处, 铜 3 处, 重晶石 2 处)。形成的矿种有地热、金、硫铁矿、铁、铜、银、铅、锌、钴、重晶石等。主要成矿时代为燕山期, 其次为加里东期和喜马拉雅期。

化学沉积型矿床: 共发现 33 处矿产地, 其中大型 6 处(瀛龙山、天景山白路泉北段、园湾、米钵山、青圪塔南段、青山石灰岩矿床), 中型 6 处(黑疙瘩沟、大道崖—孙家沟、天景山白路泉南段、倒流水、红砂石沟、大道崖石灰岩矿床), 小型 13 处(顾家砚、麦垛山铁矿, 双圈、峡子沟铜矿, 夜猫子山、狐子疙瘩、天景梁、草帽子墩、天景山北段、银山、天景山刘岗井华安、石泉、千秋峡石灰岩), 矿点 8 处(铁矿 4 处, 磷 2 处, 石灰岩 1 处, 碧玉岩观赏石矿点 1 处)。成矿时代主要为加里东期和华力西期, 其次为喜马拉雅期和燕山期, 形成了石灰岩、铁、铜、磷等矿产。

机械沉积型矿床: 共发现 23 处矿产地, 其中超大型 1 处(杨台洼滩凹凸棒石黏土矿床), 大型 4 处(大草滩黏土矿床, 正北山凹凸棒石黏土矿床, 东水泉耐火黏土矿床, 石峁子林场石英砂岩矿床), 中型

3 处(陈水硅石矿床, 大泉子沟陶瓷黏土矿床, 花豹湾黏土矿床), 小型 13 处(陶瓷黏土 8 处, 其它黏土 4 处, 膨润土 1 处), 矿点 2 处(陶瓷黏土 2 处)。成矿时代主要为喜马拉雅期和华力西期, 前者形成了凹凸棒石黏土、其它黏土(水泥配料用黄土、水泥用黏土、砖瓦用黏土)以及膨润土, 后者形成了陶瓷黏土和耐火黏土。

蒸发沉积型矿床: 共发现 21 处矿产地, 其中大型 4 处(盐池芒硝矿床, 碱台子、贺家口子、田子端石膏矿床), 中型 2 处(小红山、南泥沟石膏矿床), 小型 9 处(正北山、甘塘、一碗泉、石门坎、宏佛寺、大茨脑、塌山洼、石峡口、双河湾石膏矿床), 矿点 6 处(石膏 4 处, 芒硝 1 处, 钾盐 1 处)。成矿时期主要为喜马拉雅期, 其次为华力西期, 形成的矿产有石膏、芒硝、钾盐等。

砂矿型矿床: 共发现 13 处矿产地, 均为天然石英砂矿床, 成矿时代为喜马拉雅期。其中, 大型 6 处(石砚子、北湾、梁家台、沙窝、小黄茆山、开城), 中型 5 处(营盘水、丁家二沟、杨家井、莽花台、太白山—青石峡口), 小型 2 处(高圪陵、石门子)。

岩浆热液型矿床: 共发现 12 处矿产地, 其中超大型 1 处(头沟—照路沟萤石矿床), 中型 2 处(西石门萤石矿床, 白露山钨矿床), 小型 3 处(大沙沟萤石矿床, 馒头山钨矿床, 曹家口金矿床), 矿点 6 处(铜 3 处, 铅锌 1 处, 萤石 2 处)。成矿时代均为加里东期, 形成的矿种有萤石、钨、铜、铅、锌、金、银。

变成型矿床: 目前仅发现 1 处大型矿产地(闫地拉图石墨矿床), 成矿时代主要为印支期区域变质, 其次为燕山期岩浆热叠加。

岩浆型矿床: 共发现 5 处矿产地, 其中大型 1 处(磨盘井辉绿岩矿床), 小型 3 处(明居吕山、樵蒿沟、鸡冠山花岗岩矿床), 矿点 1 处(北海子铜镍矿点)。形成的矿种为辉绿岩、花岗岩、铜镍, 成矿时代均为加里东期。

风化型矿床: 共发现 4 处矿产地, 其中小型 3 处(金场子膨润土矿床, 茶梁子铁钴矿床, 闫地拉图铁矿床), 矿点 1 处(马道梁铁钴矿点)。形成的矿种有铁、钴和膨润土, 成矿时代为喜马拉雅期。

叠加(复合/改造)矿床型矿床: 共发现 2 处矿产

地, 其中小型 1 处(腰峁子铜银矿床: 化学沉积+热液改造), 矿点 1 处(黄羊滩火车站北西米脂玉矿点: 化学沉积+地下水再造)。

3 矿床成矿系列

成矿系列是我国地质学家经过长期研究, 自主创新总结出来的成矿理论学说。程裕淇等(1979, 1983)初论和再论矿床的成矿系列问题, 奠定了成矿系列理论基础; 陈毓川等(2006, 2015, 2016, 2020, 2022)三论、四论、五论、七论、八论和王登红等(2020)六论矿床的成矿系列问题, 进一步完善了成矿系列理论体系, 成为国内地学界开展区域成矿规律研究的重要指导思想。

3.1 矿床成矿系列厘定

陈毓川等(2007)《中国成矿体系与区域成矿评价》曾论述: 矿床成矿系列指一定的地质历史时期或构造运动阶段, 在一定的地质构造单元及构造部位, 与一定的地质作用有关, 形成的一组具有成因联系的矿床的自然组合。

具体进行矿床成矿系列厘定时, 需要考虑四要素: 成矿空间、成矿时间、成矿作用、成矿矿种。这四要素, 缺一不可。本文将这种认识, 概括为如下公式来表达:

矿床成矿系列=(成矿空间)·(成矿时间)·(成矿作用)·(A 矿种+B 矿种+.....)

其中, 成矿空间、成矿时间、成矿作用为必要要素, 三者的耦合关系是矿床成矿系列的“骨架”, 只要改变一项, 即可变成不同的矿床成矿系列; 成矿矿种为重要要素, 是矿床成矿系列的“血肉”, 新增矿种只能丰富完善已建立的矿床成矿系列。

河西走廊成矿带(编号 III-20), 构造空间对应河西走廊过渡带; 成矿时间有早古生代(Pz₁)—晚古生代(Pz₂)—中生代(Mz)—新生代(Cz); 成矿作用有沉积作用(S)、岩浆作用(I)、变质作用(M)、流体作用(F)、表生作用(H)。根据现有地质矿产资料, 可归纳出成矿带、成矿时代、成矿作用耦合关系(表 1)。

将上述成矿带、成矿时代、成矿作用耦合关系再配上有关矿床(点)出现的具体矿种, 即可厘定出矿床成矿系列(表 2)。矿床成矿系列编号采用了表 1 所列的这种耦合关系代号, 具有唯一性, 不必再加

表 1 河西走廊成矿带·成矿时代·成矿作用耦合关系

Table 1 Coupling relationship between metallogenic epoch and mineralization of the Hexi corridor metallogenic belt

成矿时代	成矿作用				
	沉积作用	岩浆作用	变质作用	流体作用	表生作用
新生代(喜马拉雅期)	III20Cz-S			III20Cz-F	III20Cz-H
中生代(印支—燕山期)	III20Mz-S		III20Mz-M	III20Mz-F	
晚古生代(华力西期)	III20Pz ₂ -S				
早古生代(加里东期)	III20Pz ₁ -S	III20Pz ₁ -I		III20Pz ₁ -F	

序号进行区别。表1和表2中,III20为III-20的简化形式。

3.2 矿床成矿系列解析

通常,针对于地质构造区较大,形成时间相对较长,而不同地段或不同时段成矿的地质构造条件有一定差异的矿床组合构成的矿床成矿系列,考虑进一步划分矿床成矿亚系列。本文则探索通过细分成矿时段或细化成矿地质作用解析矿床成矿亚系列。例如,新生代细分古近纪、新近纪和第四纪;岩浆成矿作用细分火山成矿作用(或海相火山成矿作用、陆相火山成矿作用)、侵入岩浆成矿作用(或超基性岩侵入成矿作用、基性岩侵入成矿作用、中酸性岩侵入成矿作用)。多数情况下,一个矿床成矿系列可解析数个矿床成矿亚系列;个别情况下,一个矿床成矿系列仅包含一个矿床成矿亚系列。

最后,将矿床成矿亚系列之下一小组相同类型的矿床(点)总结为一个矿床式。矿床式命名方法:一般采用代表性矿床来命名(尚无矿床时暂用代表性矿点来命名);有时借助地域名称来命名;有时也借助含矿地层命名,例如,陈毓川等(2007)《中国成矿体系与区域成矿评价》一书中,对鄂尔多斯地区延安组的煤称“延安式煤”,瓦窑堡组的煤称“瓦窑堡式煤”(有些煤矿区,具有不同时代的煤,此命名法可分辨,并便于区域对比)。对于新生代陆域形成的地下水、矿泉水、地热水、热矿水,尝试采用大范围通用的名称,例如,溶滤式地下水、矿泉水,深部加热式地热水、热矿水。

按照上述方法厘定矿床成矿系列,然后进一步解析矿床成矿亚系列及矿床式,则必定有矿床成矿系列数目 $\leq$ 矿床成矿亚系列数目 $\leq$ 矿床式数目,即级别越低数目越多,符合绝大部分事物的一般规律。厘定解析结果,河西走廊成矿带(III-20)厘定矿床成矿系列10个,解析出矿床成矿亚系列16个和矿床式47个(表2)。

4 区域成矿模式及成矿演化

4.1 区域成矿模式

成矿模式的表达方法目前有很多种,典型矿床成矿模式和矿田成矿模式已经比较成熟,而对于一个成矿带的区域成矿模式表达形式仍需探讨,不少方法仅适合展示少数主要矿种及少数矿床类型,难以满足对矿种、成矿地质作用、成矿时代、成矿构造环境全面覆盖的需要,因此本文尝试采用单个成矿带中矿床成矿亚系列的成矿时代-成矿地质作用-构造环境综合图解,编制了河西走廊成矿带区域成矿模式图(图4)。

4.2 早古生代(加里东期)区域成矿演化

尽管北祁连早古生代早期拉张,中寒武世达到

裂谷-小洋盆,晚寒武世达到大洋(冯益民和何世平,1996;宋述光等,2009,2019;夏林圻等,2016),但是河西走廊该时期却处于缺乏岩浆活动的浅海及陆缘斜坡环境,形成“河西走廊寒武纪沉积作用有关钼、镍、磷矿床成矿亚系列”(表2,图4)。例如,中上寒武统徐家圈组赋存有镍钼矿床,伴生钼;上寒武统狼嘴子组下岩段赋存有磷块岩矿点。

进入奥陶纪,随着北祁连进入成熟洋盆演化期,而河西走廊却仍是陆缘环境。香山一带有少量幔源岩浆活动,形成“河西走廊加里东中期基性岩浆侵入作用有关辉绿岩矿床成矿亚系列”,多个辉绿岩床沿下一中奥陶统狼嘴子组上岩段顺层贯入,该地段辉绿岩同位素年龄482.4 Ma(宁夏回族自治区地质调查院,2017)。正是这期浅成侵入岩浆活动的热动力,驱动其上发生海底热液喷流沉积,形成下一中奥陶统狼嘴子组上岩段赋存的少量铁矿床及碧玉矿点;在浅海地带,化学沉积形成大量灰岩矿床。这两类沉积成矿共同构成“河西走廊奥陶纪沉积作用有关铁、碧玉、灰岩矿床成矿亚系列”(表2,图4)。

进入志留纪,祁连地区包括河西走廊处于碰撞造山构造环境,挤压造山热动力引发地壳花岗岩浆活动。在山丹—永昌一带,中酸性岩浆侵入中上寒武统大黄山组,岩体本身有的构成饰面板材用花岗岩矿床,接触带形成有金、银、钨、铜、铅、锌、萤石矿床,构成“河西走廊加里东晚期中酸性岩浆侵入作用有关金、银、钨、铜、铅、锌、萤石、花岗岩矿床成矿亚系列”。在嘉峪关西侧榆树沟一带,零星可见花岗斑岩脉侵入下一中奥陶统阴沟群构造裂隙,区域构造岩浆热动力驱动的热液活化金铜矿质充填断裂破碎带形成多个金矿床及少量铜矿点,构成“河西走廊加里东晚期热液对奥陶系作用有关金、铜矿床成矿亚系列”(表2,图4)。

4.3 晚古生代(华力西期)区域成矿演化

志留纪碰撞造山后,泥盆纪时高耸的古祁连山不断地遭受剥蚀、夷平,而河西走廊相对处于坳陷,晚泥盆世沉积由山麓-河湖相碎屑岩组成红色磨拉石建造,来自南侧蚀源区(白银厂一带)含铜多金属物质,在香山一带河流-湖泊环境沉积形成砂岩铜矿,共(伴)生银,其中机械沉积的砂粒属脉石,化学沉积的矿质呈胶结物存在。该时期成矿构成了“河西走廊泥盆纪沉积作用有关铜、银矿床成矿亚系列”(表2,图4)。

石炭纪全球性海平面相对上升,自早石炭世开始,秦岭海域的海水由东南方向进入本区形成祁连陆表海沉积盆地,沉积的前黑山组\臭牛沟组含有石膏、灰岩、黏土矿产;晚石炭世海侵范围扩大,但进退频繁,海陆交互环境沉积的羊虎沟组(包括

表 2 河西走廊成矿带矿床成矿系列一览表
Table 2 Checklist for minerogenetic series of mineral deposits in the Hexi Corridor Metallogenic Belt

矿床成矿系列及亚系列	矿床式	矿产地实例
III20Pz ₁ -S 河西走廊早古生代沉积作用有关钼、镍、铁、磷、碧玉、灰岩矿床成矿系列	河西走廊寒武纪沉积作用有关钼、镍、磷矿床成矿亚系列	徐家圈式钼镍 狼嘴子式磷
	河西走廊奥陶纪沉积作用有关铁、碧玉、灰岩矿床成矿亚系列	狼嘴子式铁碧玉 天景山式灰岩 米钵山式灰岩
		(蒙)阿拉善左旗元山子镍钼矿床 (宁)中卫市沙坡头区油井山、中宁县磨盘井磷矿点(赋存于狼嘴子组下岩段) (宁)中卫市沙坡头区顾家峴铁矿床(也称火山铁矿床), 狼嘴子—磨盘井一带碧玉矿点(赋存于狼嘴子组上岩段) (宁)中卫市沙坡头区天景山北段、天景山刘岗井华安、天景山白路泉北段和南段、银山灰岩矿床; 中宁县青圪塔南段、米钵山、瀛龙山、园湾、黑疙瘡沟、草帽子墩灰岩矿床; 吴忠市红寺堡区青山灰岩矿床; 青铜峡市卡子庙灰岩矿床; 固原市泾源县红砂石沟、秋千峡灰岩矿床; 原州区双井(蟠龙坡)灰岩矿点 (宁)青铜峡市沙坝沟灰岩矿床
III20Pz ₁ -I 河西走廊加里东期岩浆作用有关金、银、钨、铜、铅、锌、萤石、花岗岩、辉绿岩矿床成矿系列	河西走廊加里东期基性岩浆侵入作用有关辉绿岩矿床成矿亚系列	磨盘井式辉绿岩
	河西走廊加里东晚期中酸性岩浆侵入作用有关金、银、钨、铜、铅、锌、萤石、花岗岩矿床成矿亚系列	鸡冠山式花岗岩 照路沟式萤石 曹家口式金银铜铅锌 白露山式钨
		(宁)中卫市中宁县磨盘井辉绿岩矿床 (甘)山丹县鸡冠山、樵蒿沟、明居吕山花岗岩矿床 (甘)永昌县照路沟、头沟、西石门萤石矿床, 火烧沟、郝家湾、南泥塘子萤石矿点; 武威市大沙沟萤石矿床, 大泉沟萤石矿点 (甘)山丹县曹家口金银矿床及铜铅矿点; 永昌县绣花庙金矿点, 照路沟铜铅锌矿点、毛家圈铜矿点; 山丹县小柳沟铜铅矿点; 天祝县小石门沟铅锌矿点, 大口子南铜矿点 (甘)永昌县白露山钨矿床, 馒头山钨矿点
III20Pz ₁ -F 河西走廊加里东期流体作用有关金、铜矿床成矿系列	河西走廊加里东晚期热液对奥陶系作用有关金、铜矿床成矿亚系列	榆树沟山式金铜
III20Pz ₂ -S 河西走廊晚古生代沉积作用有关铜、银、灰岩、石膏、煤、黏土、油页岩、石英砂岩矿床成矿系列	河西走廊泥盆纪沉积作用有关铜、银矿床成矿亚系列	中宁式铜银
		前黑山式石膏 前黑山—臭牛沟式灰岩 臭牛沟式黏土
	河西走廊石炭纪沉积作用有关煤、黏土、油页岩、石英砂岩、灰岩、石膏矿床成矿亚系列	羊虎沟式煤 羊虎沟式黏土 羊虎沟式油页岩 羊虎沟式石英砂岩
		(宁)中卫市沙坡头区腰峁子、峡子沟(拐门沟)铜银矿床, 红佛寺铜矿点 (宁)中卫市小红山、甘塘、一碗泉、石门坎、宏佛寺、大茨脑石膏矿床; 青铜峡市夜猫子山石膏矿点; 吴中市红寺堡区康马头石膏矿点 (宁)中卫市倒流沟、石峡、石泉、天景梁、狐子疙瘩、大道崖—孙家沟水泥灰岩及大道崖饰面板材用灰岩矿床; 青铜峡市野猫子山水泥灰岩矿床。(甘)景泰县大安灰岩矿床, 山丹县毛湖墩沟灰岩矿点 (蒙)阿拉善左旗同地拉图高岭石黏土矿床、库井沟高岭石黏土矿点(铁钛超标暂归黏土大类) (甘)山丹县羊虎沟、东水泉、平坡、花草滩、大黄山煤矿区, 长山子煤矿区(该矿区既有羊虎沟煤)也有龙凤山组煤), 永昌县马营沟、上泉沟、红山窑、东石门、庙儿沟、毛卜拉、马家湾煤矿区; 肃南县冰沟井田, 武威市柴窝铺井田; 张掖市花草滩煤矿区; 景泰县红水、黑山、红山里、苦水沟煤矿区。(宁)中卫市碱沟山、上下河沿、小洞山、梁水园、土坡、线驮石、校育川、油井山、帽儿山、榆树台、大柳树、甘塘煤矿区。(蒙)阿拉善左旗喇嘛敖包、黑山煤矿区 (甘)山丹县东水泉耐火黏土矿床; 永昌县马家湾陶瓷黏土矿床。(宁)中卫市窑沟(上下河沿)、孙家沟、平滩湖黏土矿床; 海原县油井山炭巷沟陶瓷黏土矿床 (宁)中卫市上下河沿油页岩矿床; 海原县油井山油页岩矿点 (宁)中卫市香山乡陈水石英砂岩矿床。(甘)山丹县羊虎沟、平坡石英砂岩矿点; 永昌县新城子石英砂岩矿点
	河西走廊侏罗纪沉积作用有关石英砂岩、煤、油页岩矿床成矿亚系列	龙凤山—延安式煤油页岩石英砂岩 九条岭式煤 新民堡式黏土膨润土 新民堡式铀 玉门式油气(烃源岩)
	河西走廊白垩纪沉积作用有关黏土、膨润土、铀、油气(烃源岩)矿床成矿亚系列	
		(甘)山丹县长山子煤矿区(除羊虎沟组煤), 王开选、新河煤矿区; 武威市大口子煤矿区。(宁)固原市原州区炭山煤矿区及油页岩矿床、炭洞沟煤矿点, 石峁子林场玻璃用石英砂矿床; 中卫市下流水煤矿区、窑山煤矿点 (甘)肃南县九条岭煤矿区(赋矿地层为龙凤山组, 但额外叠加有燕山期岩浆热液煤变作用, 具特殊性) (甘)嘉峪关市大草滩铸型黏土、膨润土矿床; 张掖市平山湖黏土矿点; 玉门市孟家沙河、早峡沟口黏土矿化点 (甘)张掖市车场泉铀矿床(李建军, 2014)和红山铀矿床(李万华等, 2010) (甘)玉门市老君庙、石油沟、鸭儿峡、白杨河、单北、青西油气田

续表 2

矿床成矿系列及亚系列		矿床式	矿产地实例
III20Mz-F 河西走廊印支—燕山期流体作用有关铁、铜、金、银、铅、硫、重晶石矿床成矿系列	河西走廊燕山期热液对泥盆—石炭系作用有关铁、铜、金、银、铅、硫、重晶石矿床成矿亚系列	照壁山式铁	(宁)中卫市照壁山、新照壁山、石墩(堆)水铁矿床, 骆驼山、石门碛、驴尾巴湾、星铁山、大石头井沟、单梁山三角点、二人山、黄石坡沟、泉山井、碾屁山西端、锅底湖、白土井、石踪(堆)水、涩井沟、乌车梁、干沟、新水铁矿点; 吴忠市红寺堡区骡子沟铁矿点
		土窑—大铜沟式铜	(宁)中卫市沙坡头区照壁山(古老采铜矿遗迹), 大铜沟铜矿床; 中卫市中宁县土窑铜矿床, 红石堆铜矿点; 青铜峡市双圈(广武山)铜矿床; 吴忠市红寺堡区茶树沟铜矿床
		金场子—二人山式金银铅硫重晶石	(宁)中卫市沙坡头区金场子金矿床, 黄石坡沟金矿点、重晶石矿点, 二人山银铅硫矿床; 中宁县米地岭重晶石矿点; 青铜峡市一条岭重晶石矿床
III20Mz-M 河西走廊印支—燕山期变质作用有关石墨矿床成矿系列	河西走廊印支期区域变质\燕山期接触变质作用有关石墨矿床成矿亚系列	闫地拉图式石墨	(蒙)阿拉善左旗闫地拉图、库井沟石墨矿床(赋存于下石炭统), 石驼山—新工地、炭井沟石墨矿床(赋存于上石炭统)
III20Cz-S 河西走廊新生代沉积作用有关铁、石英砂、黏土、石膏、凹凸棒石、膨润土、黄土、芒硝、泥炭矿床成矿系列	河西走廊古近纪沉积作用有关石英砂、黏土、石膏、凹凸棒石矿床成矿亚系列	白杨河式黏土	(甘)肃南县大黄沟黏土矿床、窑泉、文殊沟黏土矿点; 玉门市火烧沟黏土矿点; 酒泉市大红山、小红泉黏土矿点
		白杨河式石膏凹凸棒石	(甘)临泽县杨台洼滩、正北山凹凸棒石、石膏矿床; 酒泉市炭山子石膏矿床
		寺口子—清水营式石英砂	(宁)固原市原州区梁家台、石砚子、石门子、沙窝、小黄茆山、开城、荞花台石英砂矿床(铸型用), 北湾、高圪陵石英砂矿床(玻璃用), 太白山—青石峡口石英砂矿床(水泥配料用)
		寺口子—清水营式黏土	(宁)海原县油井山黏土矿床; 固原市原州区黄卯山黏土矿床; 泾源县刘家沟黏土矿床(水泥配料用)
		清水营式石膏	(宁)中宁县贺家口子、碱台子石膏矿床, 百套子、下原套石膏矿点; 海原县田子塄、塌山洼、石峡口石膏矿床; 同心县南泥沟石膏矿床; 固原市原州区双河湾石膏矿床
	河西走廊新近纪沉积作用有关石英砂、黏土、膨润土矿床成矿亚系列	彰恩堡式石英砂黏土	(宁)青铜峡市火车站石英砂矿床, 同心县杨家井、丁家二沟石英砂矿床(铸型用); 同心县河西镇花豹湾黏土矿床(水泥用)
		疏勒河式膨润土	(甘)玉门市火烧沟膨润土矿床
		麦垛山式铁	(宁)中卫市沙坡头区麦垛山铁矿床, 泉山井南、正口子东北、跃进岗铁矿点; 中卫市中宁县旗杆石台子铁矿点
		肃州式泥炭	(甘)酒泉市肃州区闫家河、掌形疙瘩、狼家河、小华尖泥炭矿床
		盐池式硝盐	(甘)高台县盐池芒硝矿床(伴生盐、钾盐); 民勤县白土井钾盐矿点。(宁)吴忠市红寺堡区大盐池、大河子芒硝矿点
III20Cz-H 河西走廊新生代表生作用有关铁、膨润土矿床成矿系列	河西走廊第四纪沉积作用有关铁、黄土、芒硝、泥炭、石英砂矿床成矿亚系列	离石-马兰式黄土	(甘)永昌县白土滩黄土矿床; 嘉峪关市黄草营、新城堡、双井子黄土矿点(水泥配料)
		营盘水式石英砂	(宁)中卫市营盘水石英砂矿床
		茶梁子-闫地拉图式铁	(宁)中卫市茶梁子、马道梁铁矿点。(蒙)阿拉善左旗闫地拉图铁矿床, 通湖山、三陶盖、喇嘛窝铁矿点
III20Cz-F 河西走廊喜马拉雅期流体作用有关地热水、地下水、钟乳石、矿泉水矿床成矿系列	河西走廊第四纪表生风化作用有关铁、膨润土矿床成矿亚系列	金场子式膨润土	(宁)中卫市金场子膨润土矿床, 黄土坡沟膨润土矿点
		溶滤式地下水	(甘)嘉峪关市—酒泉市北大河滩水源地; 张掖市黑河滩水源地; 武威市石羊河滩水源地。(宁)中卫市黄河滩水源地; 中宁县泉眼山水源地; 海原县李家庄—闵家淌水源地, 固原市彭堡水源地; 同心县小红沟水源地, 红寺堡水源地
		溶滤式矿泉水	(宁)中卫市沙坡头区艾泉矿泉水
		溶滤式矿钟乳石(米脂玉)	(宁)中卫市中宁县黄羊滩火车站北西钟乳石(米脂玉)矿点
		深部加热式地热水	(甘)酒泉市地热田(例如, 酒泉市银达地热); 张掖市地热田。(宁)固原市泾源县楼房沟地热点; 中卫市沙坡头区黄石坡沟地热点
		深部加热式热矿水	(甘)武威市药王泉热矿水

以往划分的土坡组\太原组)有煤、油页岩、黏土、石英砂岩等矿产。该时期成矿构成了“河西走廊石炭纪沉积作用有关煤、黏土、油页岩、石英砂岩、灰岩、石膏矿床成矿亚系列”(表 2, 图 4)。其中, 煤伴生有煤层气、煤矸石等资源, 可供综合利用。

二叠纪本区为陆相环境, 成矿不明显。

4.4 中生代(印支—燕山期)区域成矿演化

河西走廊西段在侏罗纪上升隆起, 三叠系—二叠系—石炭系等依次遭到剥蚀, 志留系裸露地表; 而东段发生沉积间断后, 到中侏罗世早期重新发生下陷接受沉积, 属山间盆地和山前盆地沉积环境, 沉积形成中侏罗统龙凤山组(甘肃)—延安组(宁夏)

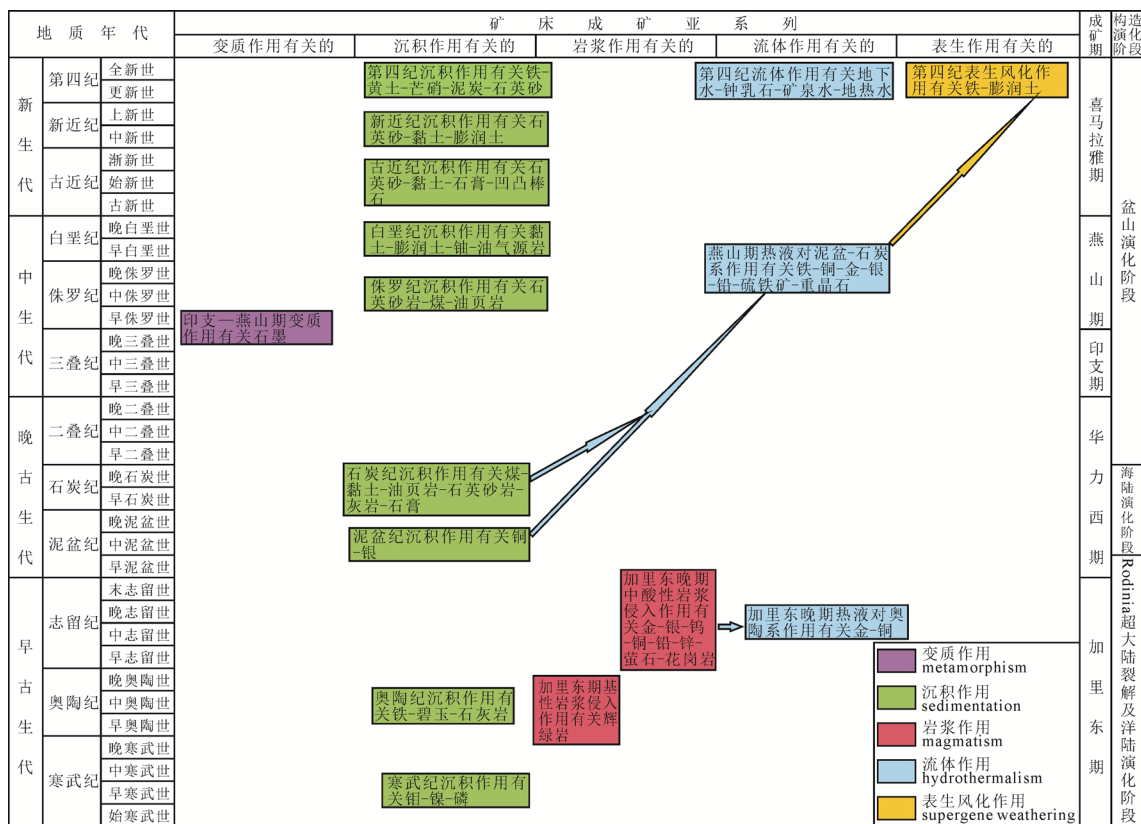


图 4 河西走廊成矿带区域成矿模式图

Fig. 4 Map of regional metallogenic models in the Hexi corridor metallogenic belt

赋存的石英砂岩、煤、油页岩矿，构成了“河西走廊侏罗纪沉积作用有关石英砂岩、煤、油页岩矿床成矿亚系列”（表 2，图 4）。同样，煤伴生有煤层气、煤矸石等资源，可供综合利用。

在早白垩世，河西走廊酒泉盆地出现湖群，接受了以还原条件为主还原与氧化条件交递的湖相、湖沼相黏土岩-泥质岩-碎屑岩沉积。油气烃源岩主要分布于下白垩统，自下而上由赤金堡组、新民堡群下沟组\中沟组组成，为一套还原环境下的灰黑色泥岩及其过渡岩类的浅湖-半深湖相沉积。此外，下沟组湖相泥岩局部构成黏土、膨润土矿床；同时下沟组盆地边缘扇三角洲相砂岩中富集了铀矿（李万华等，2010；李建军，2014）。该时期成矿构成“河西走廊白垩纪沉积作用有关黏土、膨润土、铀、油气（烃源岩）矿床成矿亚系列”（表 2，图 4）。应当指出，烃源岩还需经高温热解才能演化为油气藏。区内下白垩统自身厚约 2000~3000 m，其上又堆积了约 2000 m 古近—新近系碎屑岩，有利于油气转化和保存。

此外，河西走廊东段在印支—燕山期构造岩浆热动力再造成矿也很活跃。区内的泥盆-石炭系沉积物大量来自北祁连寒武—奥陶系多金属硫化物火山沉积岩系的剥蚀，比较富集铜、铅、锌、金、银、硫、重晶石等矿质；石炭系沉积岩系还比较富集炭质和铁质，常见菱铁矿结核、铁质结核、铁质条带。

这都为后期再造成矿提供丰富的矿质来源。例如卫宁北山一带，石炭系（臭牛沟组\羊虎沟组）富含炭质，在印支期强烈的区域性构造挤压发生褶皱过程，应力集中部位的热动力环境使炭质发生石墨化，形成含石墨石英岩或含石墨炭质板岩，到燕山期中酸性岩浆侵入的地段，石墨矿化进一步加强，形成石墨矿床，构成“河西走廊印支期区域变质\燕山期接触变质作用有关石墨矿床成矿亚系列”。根据已知资料，内蒙古阿拉善境内闫地拉图一带有闪长岩株，相邻宁夏中卫市地界有闪长玢岩脉，锆石 U-Pb 同位素年龄为 $(144.4 \pm 1.1) \sim (170.2 \pm 0.75)$ Ma（艾宁等，2011）。据航磁异常推断及地质分析，该地区在 1 km 左右的深度可能存在有较大的隐伏岩体（刘建兵等，2010；朱丹等，2015）。这种深部岩浆热可以驱动上部流体活动，在该区泥盆系、石炭系及附近断裂破碎带充填多种矿脉，构成“河西走廊燕山期热液对泥盆—石炭系作用有关铁、铜、金、银、铅、硫铁矿、重晶石矿床成矿亚系列”（表 2，图 4）。

4.5 新生代(喜马拉雅期)区域成矿演化

祁连山体北侧的河西走廊盆地，古近纪干旱气候的内陆河湖相沉积环境，形成内陆河湖相红色碎屑岩-膏岩建造，始新统火烧沟组\渐新统白杨河组（甘肃）和始新统寺口子组\渐新统清水营组（宁夏）中机械沉积型和蒸发沉积型矿产构成“河西走廊

古近纪沉积作用有关石英砂、黏土、石膏、凹凸棒石矿床成矿亚系列”(表 2, 图 4)。其中, 凹凸棒石是含水富镁铝的层状硅酸盐矿物, 化学式 $(\text{MgAl})[\text{Si}_4\text{O}_{10}](\text{OH})\cdot 4\text{H}_2\text{O}$, 其矿层多与石膏矿层互层共生, 推断内陆湖泊水分的不断蒸发, 沉淀形成石膏, 导致 Mg/Ca 增加, 陆源风化形成的黏土质矿物迁入时, 受富镁溶液作用转化为凹凸棒石。

新近纪仍然继承内陆河湖相沉积环境, 中新统彰恩堡组(新近系中—上新统疏勒河组中的机械沉积型矿产构成“河西走廊新近纪沉积作用有关石英砂、黏土、膨润土矿床成矿亚系列”(表 2, 图 4)。

第四纪内陆干旱-半干旱山间盆地沉积环境, 化学沉积型(铁)、生物化学沉积型(泥炭)、蒸发沉积型(芒硝)、风力机械沉积型(黄土)、水力机械沉积型(石英砂)矿产构成“河西走廊第四纪沉积作用有关铁、黄土、芒硝、泥炭、石英砂矿床成矿亚系列”; 卫宁北山一带的矿化构造破碎矿化蚀变带, 剥蚀暴露于近地表风化环境形成的风化壳矿产构成“河西走廊第四纪表生风化作用有关铁、膨润土矿床成矿亚系列”; 大气降水、地表水渗入地下经过溶滤作用, 溶滤去除泥沙, 且水质符合工农业生产和/或饮用水标准时, 可以作为普通的地下淡水资源; 有的地段下渗过程溶解了对人体健康有益的组分, 常可以形成饮用矿泉水; 碳酸盐岩溶洞中, 水中溶解的钙质析出可形成钟乳石; 渗流水和/或封闭水被深部热流加热, 则演化为地热水或可供医疗洗浴的热矿水。这一组产物构成“河西走廊第四纪流体作用有关地下水、钟乳石、矿泉水、地热水矿床成矿亚系列”(表 2, 图 4)。

已测得, 玉门踏实盆地的地下水 ^{14}C 年龄介于 1000~7000 a 之间; 酒泉盆地的地下水 ^{14}C 年龄介于 900~8300 a 之间(何建华等, 2018); 张掖盆地的地下水 ^{14}C 年龄多介于 800~9600 a 之间, 浅层潜水甚至小于 50 a(杨柯敏, 2015); 在酒泉与张掖盆地之间的莲花—明海一带的承压含水层中地下水 ^{14}C 年龄为 2338~5569 a, 但山前戈壁及河流附近深层承压水 ^{14}C 年龄甚至小于 50 a(陈宗宇等, 2004)。酒泉东盆地深度 1500~1950 m 地热水 ^{14}C 年龄 6700~42 500 a; 张掖—民乐盆地深度 1450~2600 m 地热水 ^{14}C 年龄 22 400~38 600 a(张凌鹏等, 2020)。

5 找矿方向

虽然河西走廊成矿带紧邻北祁连成矿带, 但其构造演化明显不同于北祁连, 具有过渡性特征, 形成的矿产也独具特色。因此, 研究河西走廊不同时期成矿地质背景和成矿规律, 对于进一步指导找矿具有重要的意义。

董福辰等(2018)在开展西北地区成矿预测工作过程中, 以成矿系列理论为指导, 以Ⅲ级成矿区(带)为单元, 运用矿床模型综合地质信息预测方法, 在典型矿床研究基础上, 建立矿产预测评价模型, 总结预测要素, 选择矿床式作为矿产预测类型, 全面利用地质、物探、化探、自然重砂、遥感等找矿信息, 根据相似类比原理和“求异”理论, 圈定不同类别的预测区, 并估算不同深度的预测资源量。按照该方法, 河西走廊成矿带共圈出 5 个综合预测区(图 5, 表 3), 其中 A 级 1 个(Ⅲ-20-1)、B 级 1 个(Ⅲ-20-2)、C 级 3 个(Ⅲ-20-3, Ⅲ-20-4, Ⅲ-20-5)。

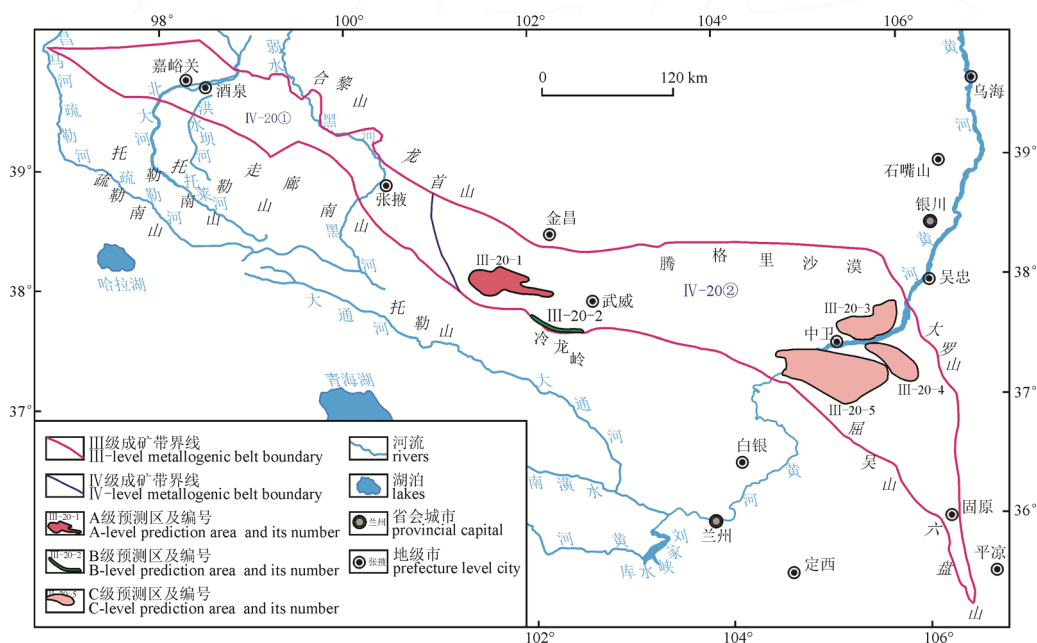


图 5 河西走廊成矿带成矿预测图

Fig. 5 Map of metallogenetic prognosis in the Hexi corridor metallogenetic belt

表 3 河西走廊成矿带综合预测区统计表
Table 3 Statistical table of comprehensive predicting areas in the Hexi corridor metallogenic belt

编号	名称	评价模型	矿种	单位	查明资源储量	500 m 以浅预测资源量	1000 m 以浅预测资源量	2000 m 以浅预测资源量	级别
III-20-1	甘肃省头沟—照路沟萤石矿综合预测区	岩浆热液型萤石矿	萤石	10 ³ t	1 874.00	1 560.00	1 560.00	1 560.00	A
III-20-2	甘肃省石灰窑—斜壕重晶石矿综合预测区	浅成中-低温热液型重晶石矿	重晶石	10 ³ t	140.00	184.00	184.00	184.00	B
III-20-3	宁夏二人山 Au-Fe-Cu-Ag 重晶石硫铁矿综合预测区	浅成中-低温热液型重晶石矿	重晶石	10 ³ t	334.60	1 641.60	1 641.60	1 641.60	C
		浅成中-低温热液型金矿	金	kg	1 866.00	9 330.00	14 930.00	14 930.00	
		浅成中-低温热液型硫铁矿	硫铁矿	10 ³ t	301.03	641.91	1 019.09	1 019.09	
		化学沉积型铁矿	铁	10 ³ t	1 484.00	44 773.57	60 739.00	60 739.00	
		化学沉积型铜(银)矿	金	t	7 700.00	121 900.00	121 900.00	121 900.00	
III-20-4	宁夏炭井子 Fe-Cu 综合预测区	浅成中-低温热液型银金铜矿床	银	t	13.19	101.06	104.07	104.07	C
		化学沉积型铁矿	铁	10 ³ t		1 853.33	2 514.20	2 514.20	
III-20-5	宁夏油井山 P-Fe-Cu-Ag 综合预测区	化学沉积型铜(银)矿	铜	t		196 500.00	196 500.00	196 500.00	C
		化学沉积型磷矿	磷矿	10 ³ t		14 526.10	14 526.10	14 526.10	
		化学沉积型铁矿	铁矿	10 ³ t		18 209.21	24 702.40	24 702.40	
		与中酸性、酸性浅成或超浅成侵入岩有关的斑岩型铜铅金银矿	铜	t	7 100.00	195 300.00	195 300.00	195 300.00	
			银	t	33.78	125.93	129.68	129.68	

此外,香山—卫宁北山地区寒武系中上寒武统徐家圈组黑色岩系具有寻找沉积型钼镍矿的远景。该层位目前已在卫宁北山东部大战场一带发现了内蒙古阿拉善左旗元山子钼镍矿床。根据区域化探资料,香山—卫宁北山地区发育强烈的钼异常,可开展沉积型钼镍矿找矿工作。河西走廊成矿带西段高台县盐池芒硝矿床共生有钾盐,东段民勤县境内发现白土井钾盐矿点,区内钾盐找矿潜力值得进一步研究。

6 结论

(1)河西走廊成矿带可划分为玉门—民乐和山丹—中卫—泾源 2 个成矿亚带,前者主要形成石油、凹凸棒石黏土、其它黏土、芒硝、泥炭、金等矿产,后者主要形成煤、萤石、石膏、石灰岩、石英砂、石墨、钨、铁、铜、金等矿产。

(2)河西走廊成矿带主要经历了早古生代、晚古生代、中生代和新生代 4 个阶段区域成矿演化;成矿期主要为华力西期,其次为加里东期、燕山期和喜马拉雅期。

(3)河西走廊成矿带发育沉积、岩浆、变质、流体和表生等 5 种成矿作用,以沉积成矿作用为主,其次为流体成矿作用;划分了 11 种矿床类型,以生物化学沉积型为主,浅成中-低温热液型、化学沉积型、机械沉积型、蒸发沉积型、砂矿型和岩浆热液

型次之。

(4)河西走廊成矿带厘定了 10 个矿床成矿系列,其中沉积作用有关矿床成矿系列 4 个,岩浆作用有关矿床成矿系列 1 个,变质作用有关矿床成矿系列 1 个,流体作用有关矿床成矿系列 3 个,表生作用有关矿床成矿系列 1 个;解析出 16 个矿床成矿亚系列和 47 个矿床式。

(5)河西走廊成矿带共圈定 5 个综合预测区,其中 A 级 1 个、B 级 1 个、C 级 3 个,指出了萤石、重晶石、硫铁矿、磷、钾盐、钼镍、铁、铜、金、银等矿产找矿方向。

Acknowledgements:

This study was supported by China Geological Survey (Nos. DD20221695, DD20190379, DD20160346, and DD20230334).

参考文献:

艾宁,任战利,李文厚,张连昌,黄世武. 2011. 宁夏卫宁北山地区矿床类型及成矿时代[J]. 矿床地质, 30(5): 941-948.
程裕淇,陈毓川,赵一鸣. 1979. 初论矿床的成矿系列问题[J]. 中国地质科学院院报, 1(1): 32-58.
程裕淇,陈毓川,赵一鸣,宋天锐. 1983. 再论矿床的成矿系列问题[J]. 中国地质科学院院报, (6): 1-64.
陈毓川,裴荣富,王登红. 2006. 三论矿床的成矿系列问题[J]. 地质学报, 80(10): 1501-1508.
陈毓川,王登红,朱裕生,徐志刚,任纪舜,翟裕生,常印佛,汤中立,裴荣富,滕吉文,邓晋福,胡云中,任天祥,沈保

- 丰,王世称,肖克炎,彭润民,钱壮志,梅燕雄,杜建国,施俊法,张晓华,朱明玉,徐珏,薛春纪. 2007. 中国成矿体系与区域成矿评价[M]. 北京:地质出版社:1-1005.
- 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.
- 陈毓川,裴荣富,王登红,黄凡. 2016. 矿床成矿系列——五论矿床的成矿系列问题[J]. 地球学报, 37(5): 519-527.
- 陈毓川,裴荣富,王登红,黄凡. 2020. 论地球系统四维成矿及矿床学研究趋向——七论矿床的成矿系列[J]. 矿床地质, 39(5): 745-753.
- 陈毓川,裴荣富,王登红,黄凡. 2022. 八论矿床的成矿系列[J]. 地质学报, 96(1): 123-130.
- 陈宗宇,聂振龙,张荷生,程旭学,赫明林. 2004. 从黑河流域地下水年龄论其资源属性[J]. 地质学报, (4): 560-567.
- 董福辰,谭文娟,姜寒冰,肖朝阳,王静雅,杨合群,谢群,冯京,杨生德,余超,郭立宏,艾宁,杨在峰,吴正寿,牛卯胜,陈艳,孟方,徐仕琪,赵呈祥,童晓华,李静,毛自力,田江涛,赵俊伟,王方成,张满社,王成,李凤鸣,郝伟杰,刘土改,张省举,王振藩,周刚,易平乾,张发荣,张开盾. 2018. 西北地区重要矿产资源潜力分析[M]. 武汉:中国地质大学出版社:1-291.
- 冯益民,何世平. 1996. 祁连山大地构造与造山作用[M]. 北京:地质出版社:1-135.
- 何建华,凌新颖,马金珠. 2018. 我国河西走廊典型盆地深层地下水 ^{14}C 年龄分布特征[J]. 甘肃水力水电技术, 54(2): 1-4.
- 黄汲清,张正坤,张之孟,陈国铭. 1965. 中国的优地槽和冒地槽以及它们的多旋回发展[M]. 北京:中国工业出版社:5-41.
- 贾群子,杨忠堂,肖朝阳,全守村,邹湘华,肖思云,王升勤,李宝强,李百祥,伍跃中,郭周平,段永民,苏亮红,雷学武,张转. 2007. 祁连山铜金钨铅锌矿床成矿规律和成矿预测[M]. 北京:地质出版社.
- 李春昱. 1975. 用板块构造学说对中国部分地区构造发展的初步分析[J]. 地球物理学报, 18(1): 52-76.
- 李春昱,刘仰文,朱宝清,冯益民,吴汉泉. 1978. 秦岭及祁连山构造发展史[J]. 西北地质, (4): 1-12.
- 李建军. 2014. 酒东盆地车场泉铀矿床地质特征及成因探讨[J]. 科技视角, (24): 65-66.
- 李万华,张树明,郭长林,安伟涛. 2010. 红山铀矿床砂岩灰白色蚀变特征及其找矿意义[J]. 矿床地质, 29(S1): 139-140.
- 刘建兵,张永庭,褚小东. 2010. 宁夏中宁县土窑铜矿床地质特征及找矿标志[J]. 宁夏工程技术, 9(1): 75-78.
- 宁夏回族自治区地质调查院. 2017. 中国区域地质志·宁夏志[M]. 北京:地质出版社.
- 宋述光,牛耀龄,张立飞,张贵宾. 2009. 大陆造山运动:从大洋俯冲到大陆俯冲、碰撞、折返的时限——以北祁连山、柴北缘为例[J]. 岩石学报, 25(9): 2067-2077.
- 宋述光,吴珍珠,杨立明,苏犁,夏小洪,王潮,董金龙,周辰傲,毕衡哲. 2019. 祁连山蛇绿岩带和原特提斯洋演化[J]. 岩石学报, 35(10): 2948-2970.
- 谭文娟,杨合群,姜寒冰,董福辰. 2013. 祁连成矿省成矿系列概论[J]. 地质科技情报, 32(3): 135-146.
- 王登红,陈毓川,徐志刚,黄凡,王岩,裴荣富. 2020. 矿床成矿系列组——六论矿床的成矿系列问题[J]. 地质学报, 94(1): 18-35.
- 夏林圻,夏祖春,徐学义. 1998. 北祁连山早古生代洋脊-洋岛和弧后盆地火山作用[J]. 地质学报, 72(4): 301-312.
- 夏林圻,李向民,余吉远,王国强. 2016. 祁连山新元古代中—晚期至早古生代火山作用与构造演化[J]. 中国地质, 43(4): 1087-1138.
- 徐志刚,陈毓川,王登红,陈郑辉,李厚民. 2008. 中国成矿区带划分方案[M]. 北京:地质出版社:1-138.
- 杨柯敏. 2015. 张掖盆地的地下水年龄分布特征研究[J]. 中国非金属矿工业导刊, (6): 30-32.
- 张凌鹏,丁宏伟,张家峰,王玉玺,田辽西. 2020. 甘肃省地热流体化学及环境同位素特征和形成年龄分析[J]. 干旱区地理, 43(6): 1496-1504.
- 朱丹,刘天佑,代小强. 2015. 宁夏卫宁北山金场子一二人山岩体重磁资料处理解释[J]. 工程地球物理学报, 12(6): 766-771.

References:

- AI Ning, REN Zhan-li, LI Wen-hou, ZHANG Lian-chang, HUANG Shi-wu. 2011. Metallogenic epoch and ore-forming types of ore deposits in Weiningbeishan area, Ningxia[J]. Mineral Deposits, 30(5): 941-948(in Chinese with English abstract).
- CHENG Yu-qi, CHEN Yu-chuan, ZHAO Yi-ming. 1979. Preliminary discussion on the problems of minerogenetic series of mineral deposits[J]. Bulletin of Chinese Academy of Geological Sciences, 1(1): 32-58(in Chinese with English abstract).
- CHENG Yu-qi, CHEN Yu-chuan, ZHAO Yi-ming, SONG Tian-rui. 1983. Further discussion on the problems of minerogenetic series of mineral deposits[J]. Bulletin of Chinese Academy of Geological Sciences, (6): 1-64(in Chinese with English abstract).
- CHEN Yu-chuan, PEI Rong-fu, WANG Deng-hong. 2006. On minerogenetic(metallogenetic) series: Third discussion[J]. Acta Geologica Sinica, 80(10): 1501-1508(in Chinese with English abstract).
- CHEN Yu-chuan, WANG Deng-hong, ZHU Yu-sheng, XU Zhi-gang, REN Ji-shun, ZHAI Yu-sheng, CHANG Yin-fo, TANG Zhong-li, PEI Rong-fu, TENG Ji-wen, DENG Jin-fu, HU Yun-zhong, SHEN Bao-feng, WANG Shi-cheng, XIAO Ke-yan, PENG Run-min, QIAN Zhuang-zhi, MEI Yan-xiong, DU Jian-guo, SHI Jun-fa, ZHANG Xiao-hua, ZHU Ming-yu, XU Jue, XUE Chun-ji. 2007. Metallogenic system and regional metallogenic evaluation in China[M]. Beijing: Geological Publishing House: 1-1005(in Chinese).
- CHEN Yu-chuan, PEI Rong-fu, WANG Deng-hong, WANG Ping-an. 2015. Natural classification of mineral deposits: Discussion on minerogenetic series of mineral deposits(IV)[J]. Mineral Deposits, 34(6): 1092-1106(in Chinese with English abstract).
- CHEN Yu-chuan, PEI Rong-fu, WANG Deng-hong, HUANG Fan. 2016. Minerogenetic series for mineral deposits: Discussion on minerogenetic series(V)[J]. Acta Geoscientica Sinica, 37(5): 519-527(in Chinese with English abstract).
- CHEN Yu-chuan, PEI Rong-fu, WANG Deng-hong, HUANG Fan. 2020. Four-dimensional metallogeny in earth system and study trends of mineral deposits: A discussion minerogenetic

- series(VII)[J]. *Mineral Deposits*, 39(5): 745-753(in Chinese with English abstract).
- CHEN Yu-chuan, PEI Rong-fu, WANG Deng-hong, HUANG Fan. 2022. A discussion on minerogenetic series of mineral deposits(VIII)[J]. *Acta Geologica Sinica*, 96(1): 123-130(in Chinese with English abstract).
- CHEN Zong-yu, NIE Zhen-long, ZHANG He-sheng, CHENG Xu-xue, HE Ming-lin. 2004. Groundwater renewability based on groundwater ages in the Heihe valley alluvial basin, northwestern China[J]. *Acta Geologica Sinica*, (4): 560-567(in Chinese with English abstract).
- DONG Fu-chen, TAN Wen-juan, JIANG Han-bing, XIAO Chao-yang, WANG Jing-ya, YANG He-qun, XIE Qun, FENG Jing, YANG Sheng-de, YU Chao, GUO Li-hong, AI Ning, YANG Zai-feng, WU Zheng-shou, NIU Mao-sheng, CHEN Yan, MENG Fang, XU Shi-qi, ZHAO Cheng-xiang, TONG Xiao-hua, LI Jing, MAO Zi-li, TIAN Jiang-tao, ZHAO Jun-wei, WANG Fang-cheng, ZHANG Man-she, WANG Cheng, LI Feng-ming, HAO Wei-jie, LIU Tu-gai, ZHANG Sheng-ju, WANG Zhen-fan, ZHOU Gang, YI Ping-qian, ZHANG Fa-rong, ZHANG Kai-dun. 2018. Potential analysis of important mineral resources in Northwest China[M]. Wuhan: China University of Geosciences Press: 1-291(in Chinese).
- FENG Yi-min, HE Shi-ping. 1996. Geotectonics and orogeny of the Qilian Mountains[M]. Beijing: Geological Publish House: 1-135(in Chinese).
- HE Jian-hua, LING Xin-ying, MA Jin-zhu. 2018. Carbon-14 age distribution characteristics of deep groundwater in typical basins of Hexi Corridor[J]. *Gansu Water Resources and Hydro-power Technology*, 54(2): 1-4(in Chinese).
- HUANG Ji-qing, ZHANG Zheng-kun, ZHANG Zhi-meng, CHEN Guo-ming. 1965. Eugeosyncline and miogeosyncline in China and their polycyclic development[M]. Beijing: China Industrial Press: 5-41(in Chinese).
- JIA Qun-zi, YANG Zhong-tang, XIAO Chao-yang, QUAN Shou-cun, ZOU Xiang-hua, XIAO Si-yun, WANG Sheng-qin, LI Bao-qiang, LI Bai-xiang, WU Yue-zhong, GUO Zhou-ping, DUAN Yong-min, SU Liang-hong, LEI Xue-wu, ZHANG Zhuan. 2007. The copper gold tungsten lead-zinc deposit metallogenic regularity and metallogenic prediction in Qilian Mts[M]. Beijing: Geological Publishing House(in Chinese).
- LI Chun-yu. 1975. Tectonic evolutions of some mountain ranges in China, as tentatively interpreted on the concept of plate tectonics[J]. *Acta Geophysica Sinica*, 18(1): 52-76(in Chinese with English abstract).
- LI Chun-yu, LIU Yang-wen, ZHU Bao-qing, FENG Yi-min, WU Han-quan. 1978. Tectonic development history of Qinling and Qilian Mountains[J]. *Northwestern Geology*, (4): 1-12(in Chinese).
- LI Jian-jun. 2014. Geological characteristics and genesis of Chechangquan uranium deposit in Jiudong basin[J]. *Scientific and Technological Visual Angle*, (24): 65-66(in Chinese).
- LI Wan-hua, ZHANG Shu-ming, GUO Chang-lin, AN Wei-tao. 2010. Grayish-white alteration characteristics of sandstone in Hongshan uranium deposit and its prospecting significance[J]. *Mineral Deposits*, 29(S1): 139-140(in Chinese).
- LIU Jian-bing, ZHANG Yong-ting, CHU Xiao-dong. 2010. Geology characteristics and prospecting mark of Tuyao copper deposit in Zhongning, Ningxia Province[J]. *Ningxia Engineering Technology*, 9(1): 75-78(in Chinese with English abstract).
- Ningxia Hui Autonomous Region geological survey institute. 2017. Regional geology of China, Ningxia[M]. Beijing: Geological Publishing House: 1-916(in Chinese with English abstract).
- SONG Shu-guang, NIU Yao-ling, ZHANG Li-fei, ZHANG Gui-bin. 2009. Time constraints on orogenesis from oceanic subduction to continental subduction, collision, and exhumation: An example from North Qilian and North Qaidam HP-UHP belts[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 25(9): 2067-2077(in Chinese with English abstract).
- SONG Shu-guang, WU Zhen-zhu, YANG Li-ming, SU Li, XIA Xiao-hong, WANG Chao, DONG Jin-long, ZHOU Chen-ao, BI Heng-zhe. 2019. Ophiolite belts and evolution of the Proto-Tethys Ocean in the Qilian Orogen[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 35(10): 2948-2970(in Chinese with English abstract).
- TAN Wen-juan, YANG He-qun, JIANG Han-bing, DONG Fu-chen. 2013. Introduction on metallogenic series of Qilian Metallogenic Province[J]. *Geological Science and Technology Information*, 32(3): 135-146(in Chinese with English abstract).
- WANG Deng-hong, CHEN Yu-chuan, XU Zhi-gang, HUANG Fan, WANG Yan, PEI Rong-fu. 2020. Minerogenetic series group: discussion on minerogenetic series(VI)[J]. *Acta Geologica Sinica*, 94(1): 18-35(in Chinese with English abstract).
- XIA Lin-qi, XIA Zu-chun, XU Xue-yi. 1998. Early Palaeozoic mid-ocean ridge-ocean island and back-arc basin volcanism in the North Qilian Mountains[J]. *Acta Geologica Sinica*, 72(4): 301-312(in Chinese with English abstract).
- XIA Lin-qi, LI Xiang-min, YU Ji-yuan, WANG Guo-qiang. 2016. Mid-Late Neoproterozoic to Early Paleozoic volcanism and tectonic evolution of the Qilian Mountain[J]. *Geology in China*, 43(4): 1087-1138(in Chinese with English abstract).
- XU Zhi-gang, CHEN Yu-chuan, WANG Deng-hong, CHEN Zheng-hui, LI Hou-min. 2008. The scheme of the classification of the minerogenetic units in China[M]. Beijing: Geological Publishing House: 1-138(in Chinese).
- YANG Ke-min. 2015. Research on distribution characteristics of Zhangye Basin groundwater age[J]. *China Non-metallic Minerals Industry*, (6): 30-32(in Chinese with English abstract).
- ZHANG Ling-peng, DING Hong-wei, ZHANG Jia-feng, WANG Yu-xi, TIAN Liao-xi. 2020. Hydrochemistry and environmental isotopic characteristics and formation ages analysis of geothermal fluids in Gansu Province[J]. *Arid Land Geography*, 43(6): 1496-1504(in Chinese with English abstract).
- ZHU Dan, LIU Tian-you, DAI Xiao-qiang. 2015. Processing and inversion of gravity and magnetic data in Jinchangzi-Errenshan rock in the north mountain of Weining area, Ningxia[J]. *Chinese Journal of Engineering Geophysics*, 12(6): 766-771(in Chinese with English abstract).
- ZHU Dan, LIU Tian-you, DAI Xiao-qiang. 2015. Processing and inversion of gravity and magnetic data in Jinchangzi-Errenshan rock in the north mountain of Weining area, Ningxia[J]. *Chinese Journal of Engineering Geophysics*, 12(6): 766-771(in Chinese with English abstract).