



引文格式: 杨合群, 赵国斌, 李向民, 等. 中南祁连地区成矿谱系及成矿演化史[J]. 西北地质, 2025, 58(5): 87-98.
DOI: 10.12401/j.nwg.2024026

Citation: YANG Hequn, ZHAO Guobin, LI Xiangmin, et al. Metallogenic Pedigree and Metallogenic Evolution History of Central-South Qilian Region, China[J]. Northwestern Geology, 2025, 58(5): 87-98. DOI: 10.12401/j.nwg.2024026

中南祁连地区成矿谱系及成矿演化史

杨合群, 赵国斌*, 李向民, 王磊, 郭周平, 宋忠宝, 赵辛敏,
姜寒冰, 赵民, 高一杰, 高满新

(中国地质调查局西安地质调查中心, 陕西 西安, 710119)

摘要: 中南祁连地区分布有中祁连和南祁连两个成矿带。笔者对中祁连成矿带厘定矿床成矿系列 13 个, 细分矿床成矿亚系列 28 个; 南祁连成矿带厘定矿床成矿系列 12 个, 细分矿床成矿亚系列 23 个。以矿床成矿系列为基础, 建立了中南祁连地区的区域成矿谱系; 以矿床成矿亚系列为基础分别细化了各成矿带的成矿谱系; 按前寒武纪、早古生代、晚古生代、中生代和新生代等 5 个地质年代, 概述了区域成矿演化史, 并列举了沉积作用、岩浆作用、变质作用、流体作用、表生作用所形成的相关矿床实例, 有助于读者了解成矿规律总体格架, 查询所关注的具体矿床。

关键词: 成矿系列; 成矿谱系; 成矿演化史; 中南祁连

中图分类号: P612

文献标志码: A

文章编号: 1009-6248(2025)05-0087-12

Metallogenic Pedigree and Metallogenic Evolution History of Central-South Qilian Region, China

YANG Hequn, ZHAO Guobin*, LI Xiangmin, WANG Lei, GUO Zhouping, SONG Zhongbao, ZHAO Xinmin,
JIANG Hanbing, ZHAO Min, GAO Yijie, GAO Manxin

(Xi'an Center of China Geological Survey, Xi'an 710119, Shaanxi, China)

Abstract: the Central-South Qilian Area consist of two metallogenic belts: Central Qilian and South Qilian. There are 13 metallogenic series and 28 metallogenic subseries of mineral deposits in the metallogenic belt of Central Qilian, and 12 metallogenic series and 23 metallogenic subseries of mineral deposits in the metallogenic belt of South Qilian. Based on these metallogenic series of mineral deposits, the metallogenic pedigree in the Central-South of Qilian area was established. According to these metallogenic subseries of mineral deposits, the refined regional metallogenic pedigrees of the two belts were established. The regional metallogenic evolution history was summarized in sequence from Precambrian, Early Paleozoic, Neopaleozoic, Mesozoic to Cenozoic. In order to help readers not only understand the regional metallogenic evolution regulation, but also can query concrete deposits which they are interested in, a lot of deposit examples which related to sedimentation, magmatism, metamorphism and supergenesis are enumerated in this article.

收稿日期: 2022-09-10; 修回日期: 2023-06-23; 责任编辑: 吕鹏瑞

基金项目: 中国地质调查局项目“祁连-秦岭成矿带战略性矿产调查”(DD202402046), 中国矿产地志“西北地区区域成矿规律研究与总结”(DD20160346、DD20190379、DD20221695)联合资助。

作者简介: 杨合群(1953-), 男, 研究员, 从事成矿规律及矿产预测研究。E-mail: xayhequn@126.com。

* 通讯作者: 赵国斌(1978-), 男, 正高级工程师, 从事成矿规律研究、矿产预测及评价。E-mail: 531522461@qq.com。

Keywords: metallogenic series; metallogenic pedigree; metallogenic evolution; Central-South Qilian

中南祁连地区经历了复杂的地质演化过程,成矿条件较为优越,矿产资源较为丰富。根据全国成矿带划分方案(徐志刚等,2008),本区分布中祁连成矿带(Ⅲ-22)和南祁连成矿带(Ⅲ-23)两个关系密切的Ⅲ级成矿单元。在区域成矿规律方面,已有学者运用成矿系列理论进行研究(贾群子等,2007;丰成友等,2012;谭文娟等,2013;杨合群等,2022,2023;姜寒冰等,2023;陆茂欣等,2024),但尚未建立矿种全覆盖的区域成矿谱系。笔者按矿种和矿床类型全覆盖原则,重新对区内两个三级成矿单元分别厘定矿床成矿系列,并进一步细分了矿床成矿亚系列。在此基础上,建立区域成矿谱系及区带成矿谱系,概略论述区域成矿演化历史。

1 矿床成矿系列与区域成矿谱系

中国地质学家经过长期研究,建立了成矿系列理论(程裕淇等,1979,1983;陈毓川等,2006,2015,2016;王登红等,2020;杨合群等,2022,2023)。首先厘定矿床成矿系列,然后将矿床成矿系列放在大尺度区域地质构造格架中,即可构建区域成矿谱系。区域成矿谱系是指不同地质时期(地质年代或构造-成矿期)、各成矿单元矿床成矿系列的时空分布及其演化规律。

厘定矿床成矿系列依据四要素:成矿时间、成矿空间、成矿作用和成矿矿种(谭文娟等,2015;杨合群等,2022,2023;姜寒冰等,2023)。笔者将这种理念表达为:矿床成矿系列=成矿空间·成矿时间·成矿作用·(A矿种+B矿种+……)。

成矿时间一般以大地构造旋回为限或以“代”为基本时段;成矿空间采用三级构造单元或三级成矿单元范围;成矿作用划分为岩浆作用(I)、沉积作用(S)、变质作用(M)、流体作用(F)和表生作用(H)。需要指出的是,通常所说的岩浆热液作用归属岩浆作用,变质热液作用归属变质作用,非岩浆-非变质流体作用划归流体作用。根据上述方法,笔者在区内厘定了矿床成矿系列:中祁连成矿带13个,南祁连成矿带12个。在此基础上,按成矿时代-成矿区带格架构建了中南祁连区域成矿谱系(表1)。

2 矿床成矿亚系列与各区带成矿谱系

上面厘定的矿床成矿系列,仅是一种粗线条的归纳。通过细化成矿时段或者细化成矿地质作用,将矿床成矿系列细分为矿床成矿亚系列,可更清晰地刻画成矿规律。例如,新生代细分古近纪、新近纪和第四纪。岩浆作用细分火山岩浆作用(海相火山作用、陆相火山作用)、侵入岩浆作用(超基性岩侵入作用、基性岩侵入作用、中酸性岩侵入作用、碱性岩侵入作用、偏碱性岩侵入作用);变质作用细分区域变质(原岩为沉积岩的也称沉积变质)、接触变质及动力变质。一般一个矿床成矿系列常可解析多个矿床成矿亚系列;有时一个矿床成矿系列仅包含一个矿床成矿亚系列,前人通常是不再划分,但笔者认为仍有必要划分,因为矿床成矿系列用词比较概括,而矿床成矿亚系列用词比较具体。按照该原则,必定有矿床成矿系列数目≤矿床成矿亚系列数目,即级别越低数目越多,符合绝大部分事物的一般规律。

笔者将对各成矿带厘定的矿床成矿系列进一步细分为矿床成矿亚系列(中祁连28个,南祁连23个),然后综合成矿时代-成矿作用-构造演化阶段编制成矿带成矿谱系。也就是说,按照构造-成矿期、地质年代或构造旋回的先后顺序,将各成矿单元的成矿亚系列进行有序排列,构建区带矿床成矿亚系列的时空结构,即成矿带成矿谱系图:中祁连成矿谱系(图1)和南祁连成矿谱系(图2)。

3 区域成矿演化史

对中祁连成矿带(Ⅲ-22)和南祁连成矿带(Ⅲ-23),按前寒武纪、早古生代、晚古生代、中生代和新生代的顺序来论述区域成矿演化历史及其规律性。

3.1 前寒武纪成矿演化史

本区有地质资料记载的前寒武纪矿产,主要形成于古元古代、中元古代,而新元古代仅有很少。

3.1.1 古元古代成矿

古元古代表壳发生裂解,形成两种形式的盆地。
①表壳裂陷盆地,沉积了泥砂岩-中基性火山岩-碳酸

表1 中南祁连区域成矿谱系

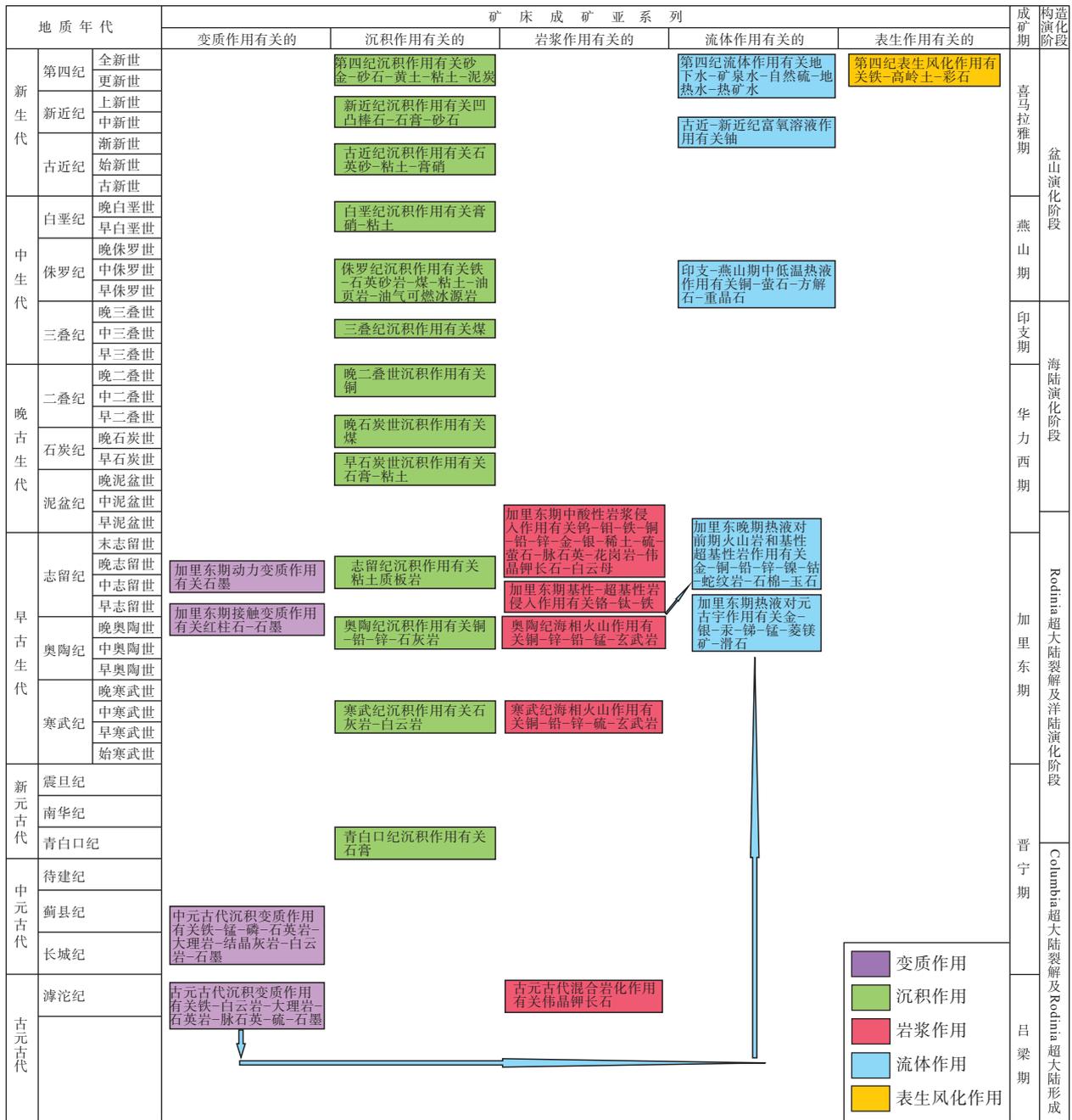
Tab. 1 Regional metallogenic pedigree of Central-South Qilian

地质年代(构造-成矿期)	成矿区带		构造环境
	中祁连成矿带(Ⅲ-22)	南祁连成矿带(Ⅲ-23)	
新生代(Cz) (喜马拉雅期)	Ⅲ22C ₂ -H中祁连新生代与表生作用有关的铁、高岭土矿床成矿系列	Ⅲ23C ₂ -H南祁连新生代与表生作用有关的铁、镍、蛭石矿床成矿系列	陆内盆山演化
	Ⅲ22C ₂ -F中祁连喜马拉雅期与流体作用有关的铀、自然硫、地下水、矿泉水、地热水、热矿水矿床成矿系列	Ⅲ23C ₂ -F南祁连喜马拉雅期与流体作用有关的硼、地下水、矿泉水矿床成矿系列	
	Ⅲ22C ₂ -S中祁连新生代与沉积作用有关的砂金、石英砂、砂石、黏土、膏硝、凹凸棒石、黄土、泥炭矿床成矿系列	Ⅲ23C ₂ -S南祁连新生代与沉积作用有关的砂金、砂钨、砂石、黏土、泥炭、膏硝盐矿床成矿系列	
中生代(Mz) (印支期—燕山期)	Ⅲ22M ₂ -F中祁连印支期—燕山期与流体作用有关的铜、萤石、方解石、重晶石矿床成矿系列	Ⅲ23M ₂ -S南祁连中生代与沉积作用有关的铁、灰岩、煤、油页岩、石膏、黏土矿床成矿系列	板内伸展海陆演化
	Ⅲ22M ₂ -S中祁连中生代与沉积作用有关的铁、石英砂岩、煤、黏土、油页岩、油气和天然气水合物(烃源岩)、膏硝矿床成矿系列		
晚古生代(Pz ₂) (华力西期)	Ⅲ22P ₂ -S中祁连晚古生代与沉积作用有关的铜、煤、石膏、黏土矿床成矿系列	Ⅲ23P ₂ -S南祁连晚古生代与沉积作用有关的铜、灰岩、石膏、石英砂岩矿床成矿系列	
早古生代(Pz ₁) (加里东期)	Ⅲ22P ₁ -F中祁连加里东期与流体作用有关的金、铜、铅、锌、镍、钴、银、汞、铋、锰、蛇纹岩、石棉、菱镁矿、滑石、玉石矿床成矿系列	Ⅲ23P ₁ -F南祁连加里东期与流体作用有关的金、铜、镍、铅、锌、铀、蛇纹岩、石棉、滑石、菱镁矿、重晶石、萤石、冰洲石矿床成矿系列	大陆裂解及洋陆演化
	Ⅲ22P ₁ -M中祁连加里东期与变质作用有关的红柱石、石墨矿床成矿系列	Ⅲ23P ₁ -M南祁连加里东期与变质作用有关的铁矿床成矿系列	
	Ⅲ22P ₁ -I中祁连加里东期与岩浆作用有关的铜、锌、铅、铬、钛、铁、锰、钨、钼、金、银、稀土、硫、萤石、脉石英、玄武岩、花岗岩、钾长石及白云母矿床成矿系列	Ⅲ23P ₁ -I南祁连加里东期与岩浆作用有关的铜、镍、铬、钨、金、铁、稀土、铀、磷、透辉石、玄武岩、花岗岩、脉石英矿床成矿系列	
	Ⅲ22P ₁ -S中祁连早古生代与沉积作用有关的铜、铅、锌、灰岩、白云岩、黏土质板岩矿床成矿系列	Ⅲ23P ₁ -S南祁连早古生代与沉积作用有关的灰岩矿床成矿系列	
新元古代 (Pt ₃)		Ⅲ23Pt ₃ -I南祁连新元古代与岩浆作用有关的铌、钽矿床成矿系列 Ⅲ23Pt ₃ -M南祁连新元古代与变质作用有关的铁矿床成矿系列	
前寒武纪	Ⅲ22Pt ₃ -S中祁连新元古代与沉积作用有关的石膏矿床成矿系列		
中元古代 (Pt ₂)	Ⅲ22Pt ₂ -M中祁连中元古代与变质作用有关的铁、锰、磷、石英岩、大理岩、结晶灰岩、白云岩、石墨矿床成矿系列		大陆地壳早期演化
古元古代 (Pt ₁)	Ⅲ22Pt ₁ -M中祁连古元古代与变质作用有关的铁、白云岩、大理岩、石英岩、脉石英、硫、石墨、钾长石矿床成矿系列	Ⅲ23Pt ₁ -M南祁连古元古代与变质作用有关的铁、石英岩、大理岩、石墨、钾长石和白云母矿床成矿系列	

盐岩建造的陆块,以马衔山岩群、化隆岩群等为代表。

②壳壳拗陷盆地,沉积了泥砂岩—碳酸盐岩建造的陆块,以湟源群为代表。该时期海、陆分明,陆块进入拼

合、联合期,总体是从成熟表壳裂解到初始陆壳的结晶基底统一形成期。此时期形成的矿产,后来普遍遭受到了中深程度变质,围岩以片岩—片麻岩为最常见



图内每个矿床成矿亚系列，前后省略“中祁连”和“矿床成矿亚系列”字样；混合岩化具超变质向岩浆作用过渡的特点

图1 中祁连成矿谱系

Fig. 1 Regional metallogenic pedigree of Central Qilian

的岩石类型。

(1) 中祁连成矿带

中祁连古元古代形成沉积变质作用有关铁、白云岩、大理岩、石英岩、脉石英、硫、石墨矿床成矿亚系列(例如, 青海乐都区大泉石沟铁矿床和德儿沟老虎咀、水泉沟、小泉石沟、大拉滩、老鸦峡大理岩矿床, 民和县平沟白云岩矿床和姜子沟大理岩矿床, 大通县下巴颜沟白云岩矿床, 互助县药水沟硫铁矿点, 海晏

县柳湾石英岩矿床, 湟源县塞尔石英岩矿床和申中石英岩矿点及脉石英矿点, 刘家台、尖咀子石墨矿点; 甘肃肃北县别盖白云岩矿床, 兰州市窑街二北沟大理岩矿床, 永靖县孔家山白云岩矿床); 局部达到超变质发生混合岩化, 形成混合岩化作用有关伟晶钾长石矿床成矿亚系列(例如, 青海省互助县下乐窝钾长石矿点)。

(2) 南祁连成矿带

南祁连古元古代, 形成沉积变质作用有关铁、石



图内每个矿床成矿亚系列，前后省略“南祁连”和“矿床成矿亚系列”字样；混合岩化具超变质向岩浆作用过渡的特点

图2 南祁连成矿谱系

Fig. 2 Regional metallogenic pedigree of South Qilian

英岩、大理岩、石墨矿床成矿亚系列(例如, 青海化隆县张连堡、合群峡、尕磨滩石英岩矿床, 沙路湾石英岩及石墨矿点, 尕儿郎寺大理岩矿点, 乙什扎铁矿点, 海晏县甘子河、温都口、曼曲石大理岩矿点); 也局部出现超变质发生混合岩化, 呈现变质作用向岩浆作用过渡的特点, 相关的伟晶岩脉形成钾长石白云母矿床成矿亚系列(例如, 青海尖扎县李家峡钾长石白云母

矿点)。

3.1.2 中元古代成矿

在初始结晶陆壳的基础上, 中元古代时期主要表现为活动陆缘和陆间裂谷裂陷的形式, 中元古代的湟中群(下部磨石沟组\上部青石坡组)、托勒南山群(下部南白河组\上部花儿地组)、兴隆山群、皋兰群、花石山群(青海下部克素儿组\上部北峡门组; 甘肃高家

湾组)的碎屑岩-中基性火山岩-碳酸盐岩建造及中基性、中酸性火山岩建造等,显示火山活动频繁。此时期形成的矿产,后来普遍遭受到中浅程度变质,围岩以板岩-千枚岩为最常见的岩石类型。

(1)中祁连成矿带

中元古代形成沉积变质作用有关铁、锰、磷、石英岩、大理岩、结晶灰岩、白云岩、石墨矿床成矿亚系列(例如,甘肃天祝县铁城沟铁矿床,榆中县麦地沟峡口门铁锰矿点;肃北县德勒诺尔铁矿床。青海西宁市湟中区黑沟峡磷矿床,海东市乐都区大峡磷矿床;甘肃天祝县古城先明峡、克拉斯古城磷矿床。青海大通县斜沟、窰沟、卧牛掌、花脖湾-门洞滩、柏木沟石英岩矿床,西宁市湟中区恰罗、金跃石英岩矿床,互助县扎坂山、夹道沟石英岩矿床,海东市乐都区马营乡湾塘、李家昂、下黑岭石英岩矿床和大沟石墨矿床,海晏县柳湾石英岩矿床,民和县宽都兰沟石英岩矿床,互助县扎坂山石英岩矿床;甘肃永登县将军岭、马荒滩、连城石砬沟石英岩矿床。肃北县老虎沟白云岩矿床,阿克塞县大鄂博图沟白云岩矿床,榆中县香水沟白云岩矿床;青海西宁市湟中区门旦峡大怀口、小石门白云岩矿床,互助县骑马沟、石湾、南门峡、安定村白云岩矿床,海晏县增木龙洼、上热水泉白云岩矿床,湟源县梁子白云岩矿床)。

应该指出,在中祁连中元古界的灰岩变质程度不高,既有结晶灰岩矿床(例如,甘肃榆中县高崖石峡子、石堡子、风泉沟鸡冠梁灰岩矿床;青海海东市乐都区老鸦峡灰岩矿床,湟源县巴汉北山灰岩矿床),也有大理岩矿点(例如,青海乐都区草尔蒲、娘娘山、大沟口大理岩矿点,互助县大沟上游、那龙滩大理岩矿点;甘肃榆中县黄崖口,永登县黑石头沟,皋兰县水阜、石涝池沟大理岩矿点)。这说明中祁连在中元古代之后,经受的区域变质作用相对较弱。

(2)南祁连成矿带

南祁连成矿带在中元古代成矿不显著。

3.1.3 新元古代成矿

新元古代早期陆壳转入稳定区沉积环境,主要表现为稳定陆缘的拗陷盆地沉积。青白口纪,各陆块联合形成超级大陆。本区青白口系龚盆群的碎屑岩-碳酸盐岩含石膏建造和中、细碎屑岩-泥砂岩建造,代表了盖层初始形成与发展时期。到南华纪,又表现出新一轮裂解的前兆,局部有海底喷流沉积成矿和碱性岩浆侵入成矿。

(1)中祁连成矿带

中祁连新元古代青白口纪,形成沉积作用有关石膏矿床成矿亚系列(例如,甘肃肃北县长头山石膏矿床)。

(2)南祁连成矿带

南祁连新元古代南华纪,形成沉积变质作用有关铁矿床成矿亚系列,在天峻一带海底喷流沉积形成铁硅质岩中铁矿,后来遭受了浅变质(例如,青海天峻县娘哲涅嘎铁矿床);还形成碱性岩浆侵入作用有关有铌钽矿床成矿亚系列(例如,甘肃省阿克塞县余石山铌钽矿床),已测得有关霓辉正长岩的铅石 U-Pb 年龄为(776.8±2.5)Ma(杨再朝等,2014)。

3.2 早古生代成矿演化史

地幔热柱持续作用下,中祁连与南祁连之间的党河-拉脊山一带,中寒武世拉张达到裂谷,晚寒武世达到小洋盆,但没有发展到像北祁连那样的成年洋盆。奥陶纪,洋盆逐步趋于闭合,北祁连洋盆的洋壳虽然向北俯冲显著,发育沟弧盆体系,但向南对中祁连地块也有俯冲作用;党河-拉脊山小洋盆的洋壳向南俯冲显著,发育党河南山岛弧,但向北对中祁连地块也有俯冲作用。中祁连地块受南北夹击作用可一直持续到志留纪,引发大量中酸性岩浆侵入活动,并且也有洋壳残块逆冲侵位。洋盆闭合过程,地幔热柱的余热又寻求新的释放口,从而另有地段出现局部拉张。例如,南祁连化隆地块在裕隆沟-拉水峡一带出现铁质基性超基性岩浆侵入活动,中祁连北缘达坂山一带出现双峰式岩浆喷发活动。

3.2.1 寒武纪成矿

(1)中祁连成矿带

在寒武纪时,中祁连地块的北部受到北祁连裂谷、洋盆演化的影响,寒武纪形成海相火山作用有关铜、铅、锌、硫、玄武岩矿床成矿亚系列(例如,青海大通县毛家沟、黑沟屏玄武岩矿床,互助县罗藏沟硫铁矿床;甘肃白银市强湾铜矿床,榆中县铁背沟铜矿床,黄崖口铅锌矿床);在浅海地带形成寒武纪沉积作用有关灰岩、白云岩矿床成矿亚系列(例如,青海大通县毛家沟、黑沟屏、西坡峡和互助县柏木峡光山灰岩矿床,互助县大前沟、罗藏沟、花石峡和尕磨沟白云岩矿点)。中祁连地块的南部受到党河-拉脊山裂谷、小洋盆演化的影响;晚寒武世,党河小洋盆蛇绿岩形成的铬铁矿;造山时,随蛇绿岩片逆冲至该地块南缘大阿尔吉一带古元古界之断裂带中保存下来,属于加里东

期基性-超基性岩侵入作用有关铬、钽、铁矿床成矿亚系列(例如, 甘肃肃北县大道尔吉铬铁矿床; 天祝县大滩钽铁矿床)。

(2) 南祁连成矿带

南祁连成矿带北缘拉脊山一带, 先形成海相火山作用有关铁、铜、玄武岩矿床成矿亚系列(例如, 青海化隆县庄子湾玄武岩矿床, 泥旦沟、尖科和水草滩铁矿点, 东沟铜矿点)。晚寒武世火山活动之后, 接着形成偏碱性基性超基性岩侵入作用有关铁、稀土、磷、透辉石矿床成矿亚系列(例如, 青海海东市平安区上庄铁磷透辉石矿床, 伴生稀土), 再后来形成镁质超基性岩侵入形成铬铁矿床成矿亚系列(例如, 青海海东市平安区德加、石坡沟铬铁矿点)。

在南祁连的浅海地带形成寒武纪沉积作用有关灰岩矿床成矿亚系列(例如, 青海海东市平安区天重峡、老虎沟、六台石和东沟马场灰岩矿点, 化隆县牛心山、本康沟、石头牙合和大加沿沟灰岩矿点)。

3.2.2 奥陶纪—志留纪成矿

(1) 中祁连成矿带

中祁连在奥陶纪时转化为岩浆弧, 这是因为南北两侧洋壳的俯冲, 在中祁连地块形成中酸性岩浆侵入作用有关铁、钨、钼、铅、锌、金、银、稀土、硫、萤石、脉石英、花岗岩、伟晶长石白云母矿床成矿亚系列(例如, 甘肃肃北县刃岗沟、清河铁矿床, 塔尔沟钨矿床, 石碛沟铅锌银矿床, 野马滩钨钼矿床, 肃南县疏勒山铅锌矿床, 阿克塞县雁丹图铅锌矿床及稀土矿点, 白银市后长川钨矿床, 皋兰县棺材涝池铜矿床, 临洮县何家山伊黎沟铜矿床, 东乡县白石峡、砂麻关脉石英矿床, 榆中县鲁家沟、金家圈伟晶白云母矿床; 青海互助县白家坡钨矿床, 上加克硫铁矿床, 尕什江铅锌矿床, 大通县卡里果玛钨钼矿床, 大黑山钨矿床和花石掌、其美丫豁、热水掌萤石矿床, 大三岔伟晶长石白云母矿床, 门源县红沟萤石矿床, 海晏县三联萤石矿床, 海东市乐都区引胜沟花岗岩矿点)。已测得塔尔沟钨矿床有关的中酸性岩体锆石 U-Pb 年龄为 (459.6 ± 2.5) Ma (毛景文等, 2000); 大黑山钨矿床有关的宝库河中酸性岩体锆石 U-Pb 年龄为 (450.2 ± 2.8) Ma (刘敏等, 2014)。中酸性岩体侵入引起围岩产生变质, 形成接触变质作用有关红柱石、石墨矿床成矿亚系列(例如, 青海海东市乐都区西马营红柱石矿床, 大沟石墨矿床; 互助县夹道沟红柱石矿床)。随着北侧的北祁连洋盆和南侧的党河-拉脊山小洋盆在中晚奥

陶世趋于逐步闭合, 地幔热能释放寻找新的释放地段。中晚奥陶世, 雾宿山一带裂谷形成海相火山作用有关锰矿床成矿亚系列(例如, 甘肃永靖县陈井乡年家湾、梯子崖-庙沟锰矿床)。晚奥陶世, 大坂山一带裂谷形成海相火山作用有关铜、锌、铅、锰、玄武岩矿床成矿亚系列(例如, 青海门源县红沟、松树南沟铜矿床, 中南沟铅锌矿床; 甘肃永靖县陈井乡年家湾、梯子崖-庙沟锰矿床, 陈井-牌路沟玄武岩矿点)。已测得红沟赋矿火山岩的锆石 U-Pb 同位素年龄为 (443.2 ± 1.2) Ma, 形成时代为晚奥陶世(王国强等, 2011)。这一时期, 在中祁连的浅海地带, 奥陶纪也形成沉积作用有关铜铅锌、灰岩矿床成矿亚系列(例如, 大梁组中祁连县龙哇俄当砂岩型铜铅锌矿床, 雾宿山组中的甘肃永靖县柏岭子大干沟灰岩矿床, 扣门子组中的青海门源县黄草坡灰岩矿床)。

志留纪碰撞造山, 形成动力变质作用有关石墨矿床成矿亚系列(例如, 甘肃肃北县拉排沟石墨矿点, 阿克塞县黑石头沟石墨矿点)。同时, 残余海盆形成沉积作用有关的黏土质矿床成矿亚系列(例如, 青海互助县柏木峡、水洞峡、大背沟陶粒板岩矿床), 变质很浅, 对黏土矿无实质改变, 因此仍划为沉积矿床)。

加里东中晚期俯冲及碰撞造山热动力及中酸性岩浆活动驱动的热液流体对前期地质体可进行再造成矿作用: 形成中低温热液对元古宇变质岩系作用有关金、银、汞、铋、锰、菱镁矿、滑石矿床成矿亚系列(例如, 青海天峻县深沟金铋矿床, 南白水河银矿床和汞铋矿点, 民和县西庄子沟锰矿点, 药水沟滑石矿点; 甘肃肃北县别盖、冬草沟菱镁矿床); 形成中低温热液对前期火山-沉积岩系和基性超基性岩作用有关金、铜、铅、锌、镍、钴、蛇纹岩、石棉、玉石矿床成矿亚系列(例如, 青海门源县松树南沟、中多拉、巴拉哈图、扎麻图金矿床, 大南沟铅锌银铜金矿点, 金子沟金铜矿点, 互助县龙王山铜矿点, 祁连县木里滩北山镍钴矿点, 武松塔拉玉石矿床; 甘肃肃北县大道尔吉蛇纹岩矿床, 阿克塞县大鄂博图沟口蛇纹岩)。已测得松树南沟金矿区侵入上奥陶统火山岩中可以提供热源的中酸性斑岩体, 锆石 U-Pb 年龄为 (442 ± 1) Ma (刘强等, 2019)。

(2) 南祁连成矿带

奥陶纪, 南祁连随着党河-拉脊山小洋盆闭合, 晚奥陶世地幔热能释放转移到化隆地块, 短期地出现新的张裂地段, 形成铁质基性超基性岩侵入作用有关铜

镍矿床成矿亚系列(例如,青海共和县裕龙沟铜镍矿床,化隆县拉水峡铜镍矿床),已测得有关裕龙沟岩体锆石 U-Pb 年龄(442.4±1.6)Ma(张照伟等,2012)。

加里东中晚期形成中酸性岩浆侵入作用有关钨、金、铜、花岗岩、脉石英等矿床成矿亚系列(例如,青海海晏县阿什加图花岗岩矿床,刚察县采特金矿床和泉吉、切吉沟脉石英矿点,天峻县维日可琼西金矿床;甘肃阿克塞县红庙沟金矿床,肃北县白石头钨矿点,贾公台、黑刺沟、乌力沟、东洞沟-狼查沟金矿床,甘肃积石山县大墩峡铜矿床)。已知贾公台-狼查沟一带金矿有关的中酸性斑岩体,略晚于该地段似斑状二长花岗岩体(锆石 U-Pb 年龄为 420.3±5.1 Ma)(戴霜等,2016)。

加里东中晚期形成中低温热液对前期地层作用有关金、铜、铅、锌、重晶石、萤石、冰洲石等矿床成矿亚系列和对前期基性超基性岩作用有关金、铜、镍、蛇纹岩、石棉、滑石、菱镁矿矿床成矿亚系列(例如,青海化隆县天重峡、泥旦沟金矿床,民和县硃门金矿床,刚察县静龙沟金铜矿床,天峻县哲合隆铅矿床,德令哈市莫和贝雷台铅锌矿床,海东市乐都区大麦沟脑金矿床,玉石台蛇纹岩矿床,塌丫豁石棉矿点,平安区元石山菱镁矿型镍矿石,西宁市湟中区吐鲁沟菱镁矿滑石矿点,贵德县俄加萤石矿床,尖扎县茨卡萤石冰洲石矿点,化隆县丹麻、塔洞萤石重晶石矿点)。此外,形成动力变质作用有关铁矿床成矿亚系列(例如,甘肃阿克塞县红柳沟铁矿床)。

3.3 晚古生代成矿演化史

中祁连山志留期末古陆形成之后,大部分地区隆升剥蚀,直到石炭纪海水再入侵形成陆表海沉积盆地;二叠纪南祁连及中祁连南部仍然为海,与北祁连-河西走廊已演化为陆有所不同。

3.3.1 泥盆纪成矿

(1) 中祁连成矿带

中祁连成矿带泥盆纪成矿不显著,目前仅发现一些矿点、矿化点(例如,青海海晏县高纳一带辉绿辉长岩墙中岩浆型钛矿点)。

(2) 南祁连成矿带

南祁连成矿带泥盆纪成矿也不显著。

3.3.2 石炭纪—二叠纪成矿

(1) 中祁连成矿带

中祁连早石炭世形成沉积作用有关石膏、黏土矿床成矿亚系列(例如,甘肃肃北县尧勒特石膏矿床;青

海天峻县考克赛石膏矿床和其它大坂黏土矿点,祁连县油葫芦东沟石膏矿床)。晚石炭世形成沉积作用有关煤矿床成矿亚系列(例如,青海天峻县考克赛、干沟、哈萨坟煤矿点)。

晚二叠世在海相砂岩中形成沉积作用有关的铜矿床成矿亚系列(例如,青海天峻县登陇、宁掌沟,刚察县铜山、外力哈达铜矿点)。

(2) 南祁连成矿带

南祁连早石炭世形成沉积作用有关石膏矿床成矿亚系列(例如,甘肃肃北县阿勒腾哈孜安、伊和阿尔嘎勒台、哈下头达坂、巴尔泽尔肯乌勒、沙尔浑迪石膏矿点;青海天峻县查干赛沟上游南、切吾捷尔沟南、哈拉湖东北石膏矿点,德令哈市巴音泽尔肯乌勒、璠滚诺尔湖东北石膏矿点);晚石炭世成矿不明显。

二叠纪形成沉积作用有关铜、灰岩、石英砂岩矿床成矿亚系(例如,青海刚察县刚察北山灰岩矿点,泉吉乡西南灰岩矿点,天峻县多隆恰如、日阿让曲、莫胡卡、达芒曲上游南、达芒曲砂岩铜矿点,刚察县伊克乌兰石英砂岩矿点)。

3.4 中生代成矿演化史

3.4.1 三叠纪成矿

早中三叠世,托勒南山-大通山作为分隔北部地层区和南部哈拉湖地层区及下日哈地层区的屏障依然存在,南海北陆的沉积格局仍然清楚。中三叠世晚期的构造运动,使南祁连地区相对隆升,基本结束了南海北陆的古沉积格局,南部隆升为物源区,沉积中心北移到大通山北缘一带,完成了海盆向陆盆的转化。

(1) 中祁连成矿带

中祁连晚三叠世,北部和东部为陆相沉积的南营儿群,形成三叠纪沉积作用有关煤矿床成矿亚系列(例如,青海祁连县多洛、红旗煤矿点);中祁连西部、南部则为海陆交互相-陆相沉积的默勒群,含不稳定薄煤层及煤线。

(2) 南祁连成矿带

南祁连早中三叠世继承二叠纪海相环境,海水自南向北侵入,海相沉积的郡子河群中形成三叠纪沉积作用有关灰岩矿床成矿亚系列(例如,青海天峻县天青山、将吾各什、南山灰岩矿床,刚察县达拉沟、尕曲灰岩矿床)。晚三叠世南祁连转为海陆交互相-陆相沉积的默勒群,偶见薄煤层及煤线。

3.4.2 侏罗纪-白垩纪成矿

早侏罗世以夷平作用为主,虽然气候温暖潮湿,

生成有含煤岩系, 但不太发育; 进入中侏罗世后, 由于早期剥蚀作用使得洼地得以填平补齐, 风化土壤又为植物繁衍提供了良好的场地, 形成厚大的煤系沉积, 并夹石英砂岩、菱铁矿、油页岩等矿产, 煤层伴生有煤层气, 局部地段有石油显示, 甚至形成小型油田。进入白垩纪逐渐变得炎热干旱, 最后蒸发沉积膏硝类。

(1) 中祁连成矿带

侏罗纪在窑街组中形成沉积作用有关铁、石英砂岩、黏土、煤、油页岩、油气及可燃冰(烃源岩)矿床成矿亚系列(例如, 甘肃天祝县炭山岭、小科石滩、下古城、大滩铁矿点; 兰州市窑街煤矿区及油页岩矿床, 阿干镇煤矿区, 煤山石英砂岩矿床, 榆中县水岔沟煤矿区, 天祝县炭山岭煤矿区、炭山岭油页岩矿床, 永登县大有煤矿区, 天祝县大滩煤矿区; 青海互助县小峡油页岩矿床、小峡煤井田及黏土矿点, 祁连县冬库、海德尔、默勒煤矿区, 天峻县江仓、聚乎更、瓦乎寺、孤山、多嗦公玛煤矿区, 刚察县外力哈达、热水煤矿区, 大通县大通、石山、大石湾、五峰煤矿区, 红河限石英砂岩矿床)。烃源岩后来经热演化形成油气(例如, 青海民和县虎头崖油田; 甘肃兰州市海石湾井田区油田), 在木里一带高寒环境下, 窑街组有机质产生的天然气有的后来上升至冻土层之下还形成天然气水合物, 也称可燃冰(例如, 青海天峻县聚乎更可燃冰矿床)。

白垩纪形成沉积作用有关膏硝、黏土矿床成矿亚系列: 早白垩世河口群中的黏土(例如, 青海大通县石板滩黏土矿点); 晚白垩世民和组中的钙芒硝及石膏矿(例如, 青海互助县硝沟钙芒硝矿床, 卅里铺钙芒硝矿床, 伴生石膏矿)。

印支期—燕山期还形成中低温热液作用有关铜、萤石、方解石、重晶石矿床成矿亚系列(例如, 甘肃临洮县叱马圈铜矿点, 蒋家山方解石矿床, 杨家后沟、大咀、二岭沟、上梁、红石崖、宽湾、茨泉子萤石矿点; 青海祁连县油葫芦东沟重晶石矿床)。已对红石崖矿区萤石进行裂变径迹法测年, 年龄值为 183.9~227.8 Ma (陈怀录等, 1987)。

(2) 南祁连成矿带

侏罗纪窑街组中形成沉积作用有关铁、煤、油页岩矿床成矿亚系列(例如, 青海海东市平安区东沟菱铁矿矿床, 天峻县雪霍立煤矿区; 甘肃阿克塞县向阳煤矿区, 肃北县半截沟油页岩矿点)。

白垩纪河口群中形成沉积作用有关石膏矿床成矿亚系列(例如, 甘肃阿克塞县克希且尔干德石膏矿点)。

3.5 新生代成矿演化史

古近纪—新近纪主要为磨拉石堆积的砾岩、砂岩、泥岩组合。第四纪山体进一步抬升, 不断遭受剥蚀, 沿山脉的南北两侧山麓形成冰积砾岩, 山间洼地冲、洪积。高山深盆环境悬殊, 成矿特点也就很不相同。

3.5.1 古近纪—新近纪成矿

(1) 中祁连成矿带

古近纪形成沉积作用有关石英砂、黏土、膏硝矿床成矿亚系列(例如, 甘肃皋兰县颜家坪咸水沟、毛刺硯石英砂矿床, 兰州市安宁区虎脖子嘴、仁寿山石英砂矿床; 青海海东市乐都区谢家崖湾石英砂矿床, 互助县水湾黏土矿床, 大通县新田堡黏土矿床, 西宁市北山寺石膏、钙芒硝矿床, 西宁市湟中区谢家石膏矿床, 海东市乐都区南山寺、裴家顶—药水沟、下沈家石膏矿床, 民和县新庄—马家 Y 豁石膏矿床)。新近纪形成沉积作用有关凹凸棒石、石膏、砂石矿床成矿亚系列(例如, 西宁市湟中区升平凹凸棒石矿床, 海东市平安区韭菜沟石膏矿床, 西宁市湟中区崖头建筑用砂砾石矿床)。此外, 古近纪—新近纪富氧溶液淋滤作用形成铀矿床成矿亚系列(徐新文等, 2020)。

(2) 南祁连成矿带

古近纪—新近纪形成沉积作用有关黏土、膏硝矿床成矿亚系列(例如, 青海化隆县工扎石膏矿床, 泥沟、双沟芒硝钙芒硝矿点, 尖扎县城郊黏土矿点)。

3.5.2 第四纪成矿

(1) 中祁连成矿带

第四纪形成沉积作用有关砂金、砂石、黄土、黏土、泥炭矿床成矿亚系列(例如, 青海海东市乐都区高庙砂金矿床和谢家崖湾型砂矿床, 互助县华林、五十村泥炭矿床和孙家村黏土矿点; 西宁市沈家寨、城西区后子河黄土矿床, 大通县毛家沟黄土矿床, 西宁市湟中区沙窝尔至塔沟、下坪—董家湾、海子沟—刘家沟黄土矿床; 甘肃天祝县炭山岭西台沟砂金矿床, 榆中县大虎山黄土矿床, 和政县大干沟黄土矿床, 兰州市马庄黄土矿床), 已测得本区黄土年龄为 2 090~80 ka (张惠昌等, 1991)。同时, 形成表生风化作用有关铁、高岭土、彩石矿床成矿亚系列(例如, 青海湟源县克索尔铁矿床, 互助县抓什科、加克娃麻高岭土矿点, 西宁市湟中区丹麻彩石矿点); 形成流体作用有关地下水、矿泉水、自然硫、地热水、热矿水矿床成矿亚系列(例

如,青海西宁市南川杜家庄、新安庄、沈家寨水源地,北川塔尔、堡子、长宁堡、石家庄水源地,西纳川多巴、丹麻寺水源地,徐家寨水源地,西宁市湟中区大华、青石坡和大源水源地;甘肃兰州市黄河谷马滩、崔滩、迎门滩水源地。甘肃永登县龙泉矿泉水,药水沟矿泉水,兰州市阿干镇青龙、七里河区石佛沟、龚家崖头、永安林场矿泉水,榆中县万眼泉、官滩沟、石门沟矿泉水,会宁县铁木山矿泉水,临夏县龙潭、五山池矿泉水,定西市杏园乡上茨沟泉矿泉水;青海海东市平安区上尧庄、冰岭、佛岭矿泉水,西宁市湟中区药水滩矿泉水,大通县药水庄矿泉水,刚察县热水矿泉水,海晏县甘子河矿泉水。青海西宁市湟中区药水滩温泉水,西宁市地热水;甘肃永登县药水沟、龙王沟温泉水,定西市西巩驿温泉水,兰州市地热水。青海天峻县硫磺山、哈仑乌苏自然硫矿床;甘肃肃北县干沟、包尔、查干布尔嘎斯、茶哈柏罗苏自然硫矿床)。甘肃永登县药水沟温泉热水年龄为 27 600~28 500 a;兰州—榆中盆地 1 403~2 508 m 深处地热水年龄为 36 300~48 400 a(张凌鹏等, 2020);西宁市杜家庄(DR2005)地热水年龄为 22 280 a,平安县三合镇(Zk10)地热水年龄为 25 500 a(张森琦等, 2007),西宁市湟中区药水滩温泉 1 号井地热水年龄为 47 605 a(李惠娣等, 2007)。

(2) 南祁连成矿带

南祁连第四纪形成沉积作用有关砂金、砂钨、砂石、黏土、泥炭、硝盐矿床成矿亚系列(例如,甘肃肃北县盐池湾乡腰三湾砂金矿床;青海大柴旦镇哈尔腾河砂金矿床,德令哈市依萨勒泽克雅沙图砂金矿床,尖扎县李家峡库区砂金矿床,化隆县科阳沟砂金矿床,海晏县白佛寺砂钨矿点,化隆县和循化县的泥炭;甘肃阿克塞县小苏干芒硝湖盐矿床钾盐矿点)。同时,形成生风化作用有关铁、镍、蛭石矿床成矿亚系列,镁质超基性岩前期受热液蚀变产生的含铁镍菱镁矿有的经风化淋滤成为铁镍矿(例如,青海海东市平安区元石山铁镍矿床),富含云母的地质体浅部有的经风化淋滤成为蛭石矿(例如,青海尖扎县李家峡蛭石矿点);形成流体作用有关硼、地下水、矿泉水矿床成矿亚系列(例如,青海天峻县新源镇水源地,刚察县沙柳河水源地和新水源地,化隆县下胡拉滩和群科科技园水源地,民和县七里寺矿泉水,化隆县昂思多矿泉水,海晏县荒草掌、甘子河矿泉水,德令哈市居红土硼矿床),已知居红土硼矿光释光年龄为(0.028±0.002) Ma、(0.029±0.002) Ma(齐路晶等, 2014)。

4 结论

(1) 对中祁连成矿带和南祁连成矿带厘定矿床成矿系列分别为 12 个和 10 个,在此基础上按成矿时代—成矿单元建立了中南祁连地区的成矿谱系。

(2) 进一步对两个成矿区带细分矿床成矿亚系列分别为 28 个和 23 个,据此又按成矿时代—成矿作用—地质构造环境分别细化了中祁连成矿谱系和南祁连成矿谱系。

(3) 依前寒武纪—早古生代—晚古生代—中生代—新生代由老到新的地质进程,概略论述了本区成矿演化史,逐次展示了依次形成的各矿床成矿亚系列,并例举有关各类代表性矿产地实例,使读者既可了解成矿规律总体格架,也可查询自己所关注的具体矿床(点)。总之,笔者以逐步深化的方式,展示了中南祁连地区矿床成矿系列、矿床成矿亚系列、矿床(矿点)与空间、时间、成矿作用及构造演化的密切关系。

参考文献(References):

- 程裕淇,陈毓川,赵一鸣. 初论矿床的成矿系列问题[J]. 地球学报, 1979, 1(1): 32-58.
- CHENG Yuqi, CHEN Yuchuan, ZHAO Yiming. Preliminary Discussion on the Problems of Minerogenetic Series of Mineral Deposits[J]. Acta Geoscientica Sinica, 1979, 1(1): 32-58.
- 程裕淇,陈毓川,赵一鸣,等. 再论矿床的成矿系列问题[J]. 地球学报, 1983, 5(2): 1-64.
- CHENG Yuqi, CHEN Yuchuan, ZHAO Yiming, et al. Further Discussion on the Problems of Minerogenetic Series of Mineral Deposits[J]. Acta Geoscientica Sinica, 1983, 5(2): 1-64.
- 陈毓川,裴荣富,王登红. 三论矿床的成矿系列问题[J]. 地质学报, 2006, 80(10): 1501-1508.
- CHEN Yuchuan, PEI Rongfu, WANG Denghong. On Minerogenetic (Metallogenetic) Series: Third Discussion[J]. Acta Geologica Sinica, 2006, 80(10): 1501-1508.
- 陈毓川,裴荣富,王登红,等. 论矿床的自然分类——四论矿床的成矿系列问题[J]. 矿床地质, 2015, 34(6): 1092-1106.
- CHEN Yuchuan, PEI Rongfu, WANG Denghong, et al. Natural Classification of Mineral Deposits: Discussion on Minerogenetic Series of Mineral Deposits (IV)[J]. Mineral Deposits, 2015, 34(6): 1092-1106.
- 陈毓川,裴荣富,王登红,等. 矿床成矿系列——五论矿床的成矿系列问题[J]. 地球学报, 2016, 37(5): 519-527.

- CHEN Yuchuan, PEI Rongfu, WANG Denghong, et al. Minerogenetic Series for Mineral Deposits: Discussion on Minerogenetic Series (V)[J]. *Acta Geoscientica Sinica*, 2016, 37(5): 519–527.
- 陈怀录, 张良旭, 吕鸿图. 马衔山萤石矿床萤石裂变径迹年龄的测定及成矿时代探讨[J]. *科学通报*, 1987, (14): 1087–1090.
- 戴霜, 刘博, 闫宁云, 等. 南祁连党河南山地区中酸性浅成侵入体和岩脉岩石地球化学特征及其与金矿成矿关系[J]. *地球科学与环境学报*, 2016, 38(6): 753–765.
- DAI Shuang, LIU Bo, YAN Ningyun, et al. Geochemical Characteristics of Intermediate-acid Hypabyssal Intrusions and Dykes in Danghenanshan Area of South Qilian and Its Implications on the Gold Mineralization[J]. *Journal of Earth Sciences and Environment*, 2016, 38(6): 753–765.
- 贾群子, 杨忠堂, 肖朝阳, 等. 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, 2007.
- 丰成友, 张德全, 贾群子, 等. 柴达木周缘金属矿床成因类型、成矿规律与成矿系列[J]. *西北地质*, 2012, 45(1): 1–8.
- FENG Chengyou, ZHANG Dequan, JIA Qunzi, et al. Genetic Types, Metallogenic Rules and Series of Metallic Deposits around Qaidam Basin[J]. *Northwestern Geology*, 2012, 45(1): 1–8.
- 刘敏, 张作衡, 向君峰, 等. 青海大黑山钨矿黑云二长花岗岩的锆石 U-Pb 同位素定年及岩石地球化学特征[J]. *岩石学报*, 2014, 30(1): 139–151.
- LIU Min, ZHANG Zuoheng, XIANG Junfeng, et al. Zircon U-Pb isotopic dating and litho-geochemical features of the biotite monzonitic granite in Daheishan tungsten deposit, Qinghai Province, China[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2014, 30(1): 139–151.
- 姜寒冰, 杨合群, 赵国斌, 等. 西秦岭成矿带区域成矿规律概论[J]. *西北地质*, 2023, 56(2): 187–202.
- JIANG Hanbing, YANG Hequn, ZHAO Guobin, et al. Discussion on the Metallogenic Regularity in West Qinling Metallogenic Belt, China[J]. *Northwestern Geology*, 2023, 56(2): 187–202.
- 刘强, 王冠, 王登科. 北祁连金矿区花岗闪长斑岩年代学及地质意义[J]. *四川地质学报*, 2019, 39(1): 15–21.
- LIU Qiang, WANG Guan, WANG Deke. Geochronology and Its Geological Significance for Granodiorite Porphyry in the Songshunangou Au Deposit, North Qilian Mountains[J]. *Acta Geologica Sichuan*, 2019, 39(1): 15–21.
- 李惠娣, 张森琦, 白嘉启, 等. 西宁药水滩地热田水化学特征及热水起源初探[J]. *地质学报*, 2007, 81(9): 1299–1304.
- LI Huidi, ZHANG Senqi, BAI Jiaqi, et al. Hydrochemistry and Origin of the Yaoshuitan Geothermal Field, Xining, Qinghai[J]. *Acta Geologica Sinica*, 2007, 81(9): 1299–1304.
- 毛景文, 张作衡, 简平, 等. 北祁连西段花岗质岩体的锆石 U-Pb 年龄报道[J]. *地质论评*, 2000, 46(6): 616–620.
- MAO Jingwen, ZHANG Zuoheng, JIAN Ping, et al. U-Pb Zircon Dating of the Yenuitan Granitic Intrusion in the Western Part of the North Qilian Mountains[J]. *Geological Review*, 2000, 46(6): 616–620.
- 陆茂欣, 向连格, 王红, 等. 宁夏区域成矿规律概论[J]. *西北地质*, 2024, 57(4): 229–239.
- LU Maoxin, XIANG Liange, WANG Hong, et al. Summary of Regional Metallogenic Regularity in Ningxia[J]. *Northwestern Geology*, 2024, 57(4): 229–239.
- 齐路晶, 郑绵平, 武国朋, 等. 柴达木盆地外生硼矿床成矿特征与找矿方向探讨——以雅沙图地区哈克盆地为例[J]. *科技导报*, 2014, 32(35): 50–60.
- QI Lujing, ZHENG Mianping, WU Guopeng, et al. Characteristics and Forming Process of Juhongtu Boron Deposit in Yashatu, Qinghai Province[J]. *Science & Technology Review*, 2014, 32(35): 50–60.
- QI Lujing, ZHENG Mianping, WU Guopeng, et al. Characteristics and Forming Process of Juhongtu Boron Deposit in Yashatu, Qinghai Province[J]. *Science & Technology Review*, 2014, 32(35): 50–60.
- 谭文娟, 杨合群, 姜寒冰, 等. 祁连成矿省成矿系列概论[J]. *地质科技情报*, 2013, 32(3): 135–146.
- TAN Wenjuan, YANG Hequn, JIANG Hanbing, et al. Introduction on Metallogenic Series of Qilian Metallogenic Province[J]. *Geological Science and Technology Information*, 2013, 32(3): 135–146.
- 谭文娟, 杨合群, 姜寒冰, 等. 鄂尔多斯地区成矿系列与地质建造的关系探讨[J]. *西北地质*, 2015, 48(2): 1–9.
- TAN Wenjuan, YANG Hequn, JIANG Hanbing, et al. Relationship of Metallogenic Series and Geological Formation in Ordos Area[J]. *Northwestern Geology*, 2015, 48(2): 1–9.
- 王登红, 陈毓川, 徐志刚, 等. 矿床成矿系列组——六论矿床的成矿系列问题[J]. *地质学报*, 2020, 94(1): 18–35.
- WANG Denghong, CHEN Yuchuan, XU Zhigang, et al. Minerogenetic Series Group: Discussion Minerogenetic Series (VI)[J]. *Geojournals*, 2020, 94(1): 18–35.
- 王国强, 李向民, 徐学义, 等. 青海门源地区红沟铜矿床含矿基性火山岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄[J]. *地质通报*, 2011, 30(7): 1060–1065.
- WANG Guoqiang, LI Xiangmin, XU Xueyi, et al. LA-ICP-MS U-Pb dating of zircons from basic volcanic rocks in the Honggou copper polymetallic deposit, Menyuan area, Qinghai[J]. *Geological Bulletin of China*, 2011, 30(7): 1060–1065.
- 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.
- 徐新文, 段建华, 路耀祖, 等. 西宁盆地砂岩型铀矿地质特征及找矿方向[J]. *地质找矿论丛*, 2020, 35(1): 15–24.
- XU Xinwen, DUAN Jianhua, LU Yaozu, et al. Geological Characteristics and Prospecting Direction of Sandstone Type Uranium Deposit in Xining Basin[J]. *Contributions to Geology and Mineral Resources Research*, 2020, 35(1): 15–24.
- 杨再朝, 校培喜, 高晓峰, 等. 阿尔金山东端余石山铀钼矿区霓辉正长岩的 LA-ICP-MS 定年及对成矿时代的制约[J]. *西*

- 北地质, 2014, 47(4): 187-197.
- YANG Zaichao, XIAO Peixi, GAO Xiaofeng, et al. LA-ICP-MS Dating of the Aegirine-Augite Syenite of Yushishan Nb-Ta Deposit in Eastern Altun and Its Constraints on the Metallogenic Age[J]. *Northwestern Geology*, 2014, 47(4): 187-197.
- 杨合群, 赵国斌, 陈高潮, 等. 鄂尔多斯地区成矿谱系及成矿演化史[J]. *西北地质*, 2023, 56(2): 175-186.
- YANG Hequn, ZHAO Guobin, CHEN Gaochao, et al. Metallogenic Pedigree and Metallogenic Evolution History in Ordos Area, China[J]. *Northwestern Geology*, 2023, 56(2): 175-186.
- 杨合群, 赵国斌, 姜寒冰, 等. 西秦岭成矿带矿床成矿系列概论[J]. *西北地质*, 2022, 55(1): 114-128.
- YANG Hequn, ZHAO Guobin, JIANG Hanbing, et al. Discussion on the Metallogenic Series of Mineral Deposits in the Metallogenic Belt of West Qinling, China[J]. *Northwestern Geology*, 2022, 55(1): 114-128.
- 张照伟, 李文渊, 高永宝, 等. 南祁连化隆地区小型侵入体铜镍成矿特征[J]. *西北地质*, 2012, 45(4): 192-203.
- ZHANG Zhaowei, LI Wenyuan, GAO Yongbao, et al. Ni-Cu Metallogenic Characteristics of Small Intrusions in Hualong, Southern Qilian Mountains[J]. *Northwestern Geology*, 2012, 45(4): 192-203.
- 张惠昌, 商曰媛, 武秀珍. 兰州地区黄土年代的划分及古气候特征[J]. *兰州大学学报(自然科学版)*, 1991, 27(3): 131-138.
- ZHANG Huichang, SHANG Riyuan, WU Xiuzhen. Division of Loess Time and Paleoclimatic Characteristics in Lanzhou Area[J]. *Journal of Lanzhou University (Natural Sciences)*, 1991, 27(3): 131-138.
- 张森琦, 李惠娣, 许国成, 等. 青海西宁城南新区杜家庄地热田地下水的地球化学特征[J]. *现代地质*, 2007, 21(1): 163-169.
- ZHANG Senqi, LI Huidi, XU Guocheng, et al. Geochemical Characteristics of Groundwater in the Dujiashuang Geothermal Field in the South of Xining, Qinghai[J]. *Geoscience*, 2007, 21(1): 163-169.
- 张凌鹏, 丁宏伟, 张家峰, 等. 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*, 2020, 43(6): 1496-1504.
- ZHANG Lingpeng, DING Hongwei, ZHANG Jiafeng, et al. Hydrochemistry and Environmental Isotopic Characteristics and Formation Ages Analysis of Geothermal Fluids in Gansu Province[J]. *Arid Land Geography*, 2020, 43(6): 1496-1504.