

DOI:10.19751/j.cnki.61-1149/p.2022.01.009

西秦岭成矿带矿床成矿系列概论

杨合群,赵国斌,姜寒冰,辜平阳,温志亮,李宗会

(中国地质调查局西安地质调查中心,陕西 西安 710054)

摘要:对西秦岭成矿带总结了 11 个矿床成矿系列:①早古生代沉积作用有关钼-钒-锰-磷-石煤-石灰岩矿床成矿系列。②晚古生代沉积作用有关铅-锌-铁-磷-石灰岩-白云岩-石膏-煤-黏土-砚石矿床成矿系列。③晚古生代岩浆作用有关铜-铅-锌-锡-铬-饰面超基性岩矿床成矿系列。④中生代沉积作用有关白云岩-石灰岩-煤-油页岩矿床成矿系列。⑤中生代变质作用有关大理岩-红柱石-饰面角岩矿床成矿系列。⑥中生代岩浆作用有关铁-铜-铅-锌-金-银-钼-钨-锡-铋-砷-饰面花岗岩矿床成矿系列。⑦中生代流体作用有关铁-铜-铅-锌-金-铋-汞-硫矿床成矿系列。⑧中生代晚期—新生代早期流体作用有关金-铀矿床成矿系列。⑨新生代沉积作用有关砂金-砂钨-黄土-石膏-盐-泥炭矿床成矿系列。⑩新生代表生作用有关铁-铅-锌矿床成矿系列。⑪新生代流体作用有关地下水-矿泉水-地热水矿床成矿系列。

关键词:成矿系列;成矿谱系;成矿带;西秦岭

中图分类号:P612

文献标志码:A

文章编号:1009-6248(2022)01-0114-15

Discussion on the Metallogenic Series of Mineral Deposits in the Metallogenic Belt of West Qinling, China

YANG Hequn, ZHAO Guobin, JIANG Hanbing, GU Pingyang, WEN Zhiliang, LI Zonghui

(Xi'an Center of China Geological Survey, Xi'an 710054, Shaanxi, China)

Abstract: Metallogenic series of mineral deposits in the metallogenic belt of west Qinling can be summarized in 11 aspects: ① Early Paleozoic sedimentation related to Mo-V-Mn-P-stonecoal-limestone metallogenic series of mineral deposits. ② Late Paleozoic sedimentation related to Pb-Zn-Fe-P-limestone-dolostone-gypsum-coal-clay-inkstone metallogenic series of mineral deposits. ③ Late Paleozoic magmatism related to Cu-Pb-Zn-Sn-Cr facing ultrabasic rock metallogenic series of mineral deposits. ④ Mesozoic sedimentation related to dolostone-limestone-coal-oil shale metallogenic series of mineral deposits. ⑤ Mesozoic metamorphism related to marble-andalusite-facing hornfels metallogenic series of mineral deposits. ⑥ Mesozoic magmatism related to Fe-Cu-Pb-Zn-Au-Ag- Mo-W-Sn-Sb-As facing granite metallogenic series of mineral deposits. ⑦ Mesozoic fluidization related to Fe-Cu-Pb-Zn-Au-Sb-Hg-S metallogenic series of mineral deposits. ⑧ Late fluidization related to Mesozoic- Early Cenozoic Au-U metallogenic series of mineral deposits.

收稿日期:2020-12-23;修回日期:2021-07-02;网络发表日期:2021-12-06;责任编辑:许英

基金项目:中国地质调查局“中国矿产地质志”项目(DD20160346,DD20190379)下属子项目“西北地区区域成矿规律研究与总结”。

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。

⑨Cenozoic sedimentation related to gold placer-wolfram placer-loess- gypsum-salt-peat metallogenetic series of mineral deposits. ⑩Cenozoic hypergenesis related to Fe-Pb-Zn metallogenetic series of mineral deposits. ⑪Cenozoic fluidization related to groundwater-mineral spring water-geothermal water metallogenetic series of mineral deposits.

Keywords: metallogenetic series; metallogenetic pedigree; metallogenetic belt; west Qinling

西秦岭地处于西秦岭造山带(图 1),夹持于古亚洲洋构造域、特提斯构造域和太平洋构造域三大构造域之间,经历漫长而复杂的地质演化过程,地质构造复杂,成矿条件优越,孕育了西秦岭成矿带。该成矿带内已发现的矿产主要有:能源矿产(油页岩、煤、铀、地热等),金属矿产(铁、锰、铬、钒,铜、铅、锌、钨、锡、钼、锑、汞,金、银等),非金属矿产(硫、砷、磷、萤石、盐、红柱石、长石、重晶石、石膏、芒硝,石灰岩、白云岩、耐火黏土、水泥配料用黄土、水泥配料用黏土、泥炭、花岗岩、大理石、

板岩、砚石等),水气矿产(地下水、矿泉水等)。在总结区域成矿规律时,已有学者(李永军等,2003;刘建宏等,2006)从成矿系列的角度进行了研究,但在空间范围仅重点覆盖西秦岭甘肃段,并有很多矿种尚未纳入其中。笔者试图全面消化西秦岭成矿带几十年来地质勘查及研究成果,重新归纳总结本区矿床成矿系列,并进行概略论述。研究区范围:北侧以鸳鸯镇-关子镇-唐藏缝合带为界,南侧以阿尼玛卿-勉略缝合带为界,西界在哇洪山-温泉断裂,东界在佛坪隆起西侧。

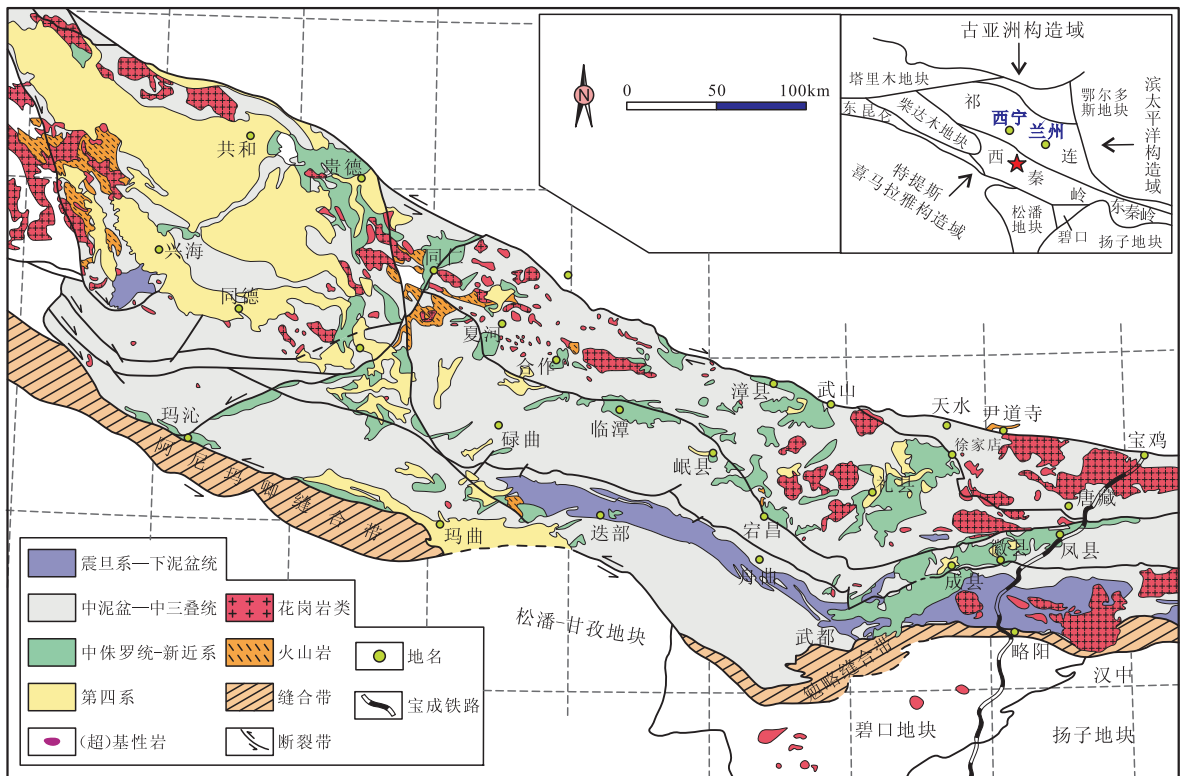


图 1 西秦岭大地构造位置及地质略图(据黄雄飞,2016,简化)

Fig. 1 Geotectonic location and geological sketch map of West Qinling

1 矿床成矿系列厘定

成矿系列是中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)三论、四论、五论和王登红等(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,其理论成为国内地质学界开展区域成矿规律研究的重要指导思想。厘定矿床成矿系列的4要素为:构造空间、成矿时间、成矿作用、元素或矿种。笔者采用的矿床成矿系列代号构成方法为:成矿带编号·成矿时代代号·成矿作用代号。

西秦岭成矿带在全国成矿区带划分方案中编号为Ⅲ-28,属于秦岭-大别成矿省的最西段(徐志刚等,2008)。其构造空间对应西秦岭造山带;成矿时间有早古生代(Pz_1)—晚古生代(Pz_2)—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)。根据西秦岭地质矿产资料,按成矿时代-成矿作用编制出成矿谱系(表1)。

表1 西秦岭成矿带成矿谱系表

Tab.1 Metallogenic pedigree of west Qinling metallogenic belt

成矿时代	沉积作用	岩浆作用	变质作用	流体作用	表生作用
新生代	Cz·S		Cz·F		Cz·H
	MzCz ₁ ·F				
中生代	Mz·S	Mz·I	Mz·M	Mz·F	
晚古生代	Pz ₂ ·S	Pz ₂ ·I			
早古生代	Pz ₁ ·S				

注:Cz, 新生代;Mz, 中生代;Pz₁, 早古生代;Pz₂ 晚古生代;
S, 沉积作用;I, 岩浆作用;M, 变质作用;F, 流体作用;
H, 表生作用。

按照上述4要素,西秦岭成矿带可以厘定出11个矿床成矿系列:①早古生代沉积作用有关钼-钒-锰-磷-石煤-石灰岩矿床成矿系列(Ⅲ-28·Pz₁·S)。②晚古生代沉积作用有关铅-锌-铁-磷-石灰岩-白云岩-石膏-煤-黏土-砚石矿床成矿系列(Ⅲ-28·Pz₂·S)。③晚古生代岩浆作用有关铜-铅-锌-锡-铬-饰面超基性岩矿床成矿系列(Ⅲ-28·Pz₂·I)。④中生代沉积作用有关白云岩-石灰岩-煤-油页岩矿床成矿系列(Ⅲ-28·Mz·S)。⑤中生代变质作用有关大理岩-红柱石-饰面角岩矿床成矿系列(Ⅲ-28·Mz·M)。⑥中生代岩浆作用有关铁-铜-铅-锌-金-银-钨-钨-锡-锑-砷-饰面花岗岩矿床成矿系列(Ⅲ-28·Mz·I)。⑦中生代流体作用有关铁-铜-铅-锌-金-锑-汞-硫矿床成矿系列(Ⅲ28·Mz·

F)。⑧中生代晚期—新生代早期流体作用有关金-钨矿床成矿系列(Ⅲ28·Mz₂Cz₁·F)。⑨新生代沉积作用有关砂金-砂钨-黄土-石膏-盐-泥炭矿床成矿系列(Ⅲ-28·Cz·S)。⑩新生代表生作用有关铁-铅-锌矿床成矿系列(Ⅲ-28·Cz·H)。⑪新生代流体作用有关地下水-矿泉-地热水矿床成矿系列(Ⅲ28·Cz·F)。

2 矿床成矿系列解析

上述厘定的11个矿床成矿系列仅仅是一种粗线条的归纳。现进一步细化成矿时代、成矿作用,解析出矿床成矿亚系列,并逐个予以概略论述。以下论述中,西秦岭北带指横穿同仁—礼县的东西向延伸地带,西秦岭南带指横穿碌曲—武都的东西向延伸地带。

2.1 早古生代沉积作用有关矿床成矿系列(Ⅲ-28·Pz₁·S)

早古生代沉积作用有关钼-钒-锰-磷-石煤-石灰岩矿床成矿系列,仅包含1个亚系列:志留纪沉积作用有关钼-钒-锰-磷-石煤-石灰岩矿床成矿亚系列。

2.1.1 成矿地质环境

早古生代,古秦岭洋南侧大陆边缘属于统一扬子基底基础上发展起来的被动大陆边缘。西秦岭北缘沿武山鸳鸯镇、天水关子镇、凤县唐藏一线断续存在早古生代洋壳蛇绿混杂岩残片。其中,已有的辉长岩锆石U-Pb年龄数据为[(518±2.9)Ma,(471±1.4)Ma,(457±3)Ma],表明洋盆主体发育于早古生代,向东连接东秦岭商丹带(梁文天等,2008)。

早古生代晚期,秦岭洋壳陆续向北俯冲消减。到志留纪末—泥盆纪初,秦岭洋盆基本闭合。缝合带之南的西秦岭保留有被动大陆边缘海相沉积建造;西秦岭北带仅零星出露顶上志留统林口组\海酒山组(成县吴家山地段,二者曾被称吴家山组)和顶上志留统太阳寺组及底寒武统罗汉寺岩组(两当太阳寺乡以北地区);西秦岭南带出露有少量震旦系白依沟群\寒武系太阳顶群(四川若尔盖县朗木寺一带)\奥陶系中下奥陶统拉路组\上奥陶统大堡组,大片的志留系白龙江群(甘肃迭部—武都—徽县一带)。

南带志留系起初被称为“白龙江系(白龙江群)”,出露有变砂岩、碳质板岩、碳硅质板岩、硅质

岩、硅质灰岩和灰岩等。近年来,将白龙江系(白龙江群)修订为下统迭部组(有的地段则细分为羊肠沟组\塔尔组\拉垅组\下地组)一中统舟曲组-顶上统卓乌阔组,各组均呈连续沉积,整合于上奥陶统大堡组之上。该时期本区沉积形成锰、钼钒、磷、石煤、石灰岩矿产,处于陆缘浅海环境。

2.1.2 矿产地实例

白龙江系(白龙江群)中有(陕)略阳县沙坝坪钼钒矿床,(甘)陇南市武都区灰崖子水泥灰岩矿床、赵河坝、柯岔沟石煤矿点,舟曲县庙儿沟钒矿点、灶音崖、石门坪石煤矿点,成县南陈家庄锰矿床、金家坪、石门沟、西沟里锰矿床、杨沟石煤矿点,徽县虞关磷矿点。

2.1.3 主要成矿作用

沉积成矿作用具体为化学和生物化学沉积成矿作用(锰矿、钼钒矿、磷矿、石煤、石灰岩)。其中,石灰岩富含生物碎屑,后期虽然遭受一定变质作用,但石灰岩尚未变为大理岩,因此仍按沉积成矿作用有关矿床成矿系列来论述。

2.2 晚古生代沉积作用有关矿床成矿系列(Ⅲ-28·Pz₂·S)

晚古生代沉积作用有关铅-锌-铁-磷-石灰岩-白云岩-石膏-煤-黏土-砚石矿床成矿系列,进一步可解析为下述 2 个矿床成矿亚系列。

2.2.1 泥盆纪沉积作用有关铅-锌-铁-磷-石灰岩-白云岩-石膏-砚石矿床成矿亚系列

(1)成矿地质环境。早古生代洋盆在志留纪末基本闭合,进入泥盆纪,西秦岭出现板内伸展作用,白龙江隆起的南北分别发育裂陷盆地。

西秦岭泥盆系盆地基底为志留系浅变质沉积地层,除了迭部等地段呈整合接触之外,多为平行不整合接触或微角度不整合接触。早泥盆世,西秦岭南带地层比较发育,迭部-洛大-南石门沟一带下泥盆统发育较全,以滨岸-陆棚碎屑岩和碳酸盐岩为主;北带西汉水小区和南带留坝一带仅见极少的近岸碎屑沉积。中泥盆世北部均被海水淹没,西汉水小区起初除吴家山古岛出露海面,环岛发育滨岸碎屑沉积之外,远离古岛的地段与南带的武都小区一样均为远岸-陆棚碎屑沉积;后来吴家山演变为古水下隆起,发育碳酸盐岩台地-生物礁沉积,武都小区则以碳酸盐岩缓坡型-台地-陆棚沉积为主;再后来沉积分异加剧,西汉水小区以深水盆地和重力流沉

积为特色,碳酸盐岩建隆和鲕粒滩移至徽成一带,而武都-舟曲-迭部一带仍以缓坡型台地沉积为主(杜远生 1995)。

西秦岭泥盆系:北带南部有西汉水群(下泥盆统安家岔组\中泥盆统黄家沟组\中一上泥盆统红岭山组\上泥盆统双狼沟组)。其北侧有中泥盆统舒家坝群,其上平行不整合覆盖上泥盆统大草滩群。南带有下泥盆统普通沟组、尕拉组\中一下泥盆统当多组\中泥盆统下吾那组、蒲莱组\中一上泥盆统擦阔台组\上泥盆统陡石山组。西秦岭泥盆纪裂陷海盆沉积环境形成了铅-锌-铁-磷-石灰岩-白云岩-石膏-煤-黏土-砚石矿床成矿亚系列。

(2)矿产地实例。普通沟组中有(甘)两当县广金无烟煤矿区,尕拉组中有(甘)迭部县当多-下吾那白云岩矿床、陇南市武都区下猴子石膏矿床。

当多组-下吾那组中有(甘)碌曲县马尔则岔、扎根恰热、尕海沟、且热加玛、割孔隆、且加木括合、噶尔括合、花尔干山、帕热-西帕热铁矿床,迭部县当多、黑拉、尼洛沟、牙那、牙列巴铁矿床及当多磷矿床,宕昌县李家石灰岩矿床。

大草滩群中有(甘)卓尼县洮砚乡洮砚石矿床,古道岭组中的(陕)凤县河口黄牛沟、磨沟石灰岩矿床。

西汉水群中有(甘)成县厂坝、李家沟、黄厂、毕家湾、焦沟、塔沟里、清水沟、甘蔗沟、熊家河、空子沟、薛家沟、徐明山、向阳山、甘沟铅锌矿床,毕家山铅锌矿床,庙沟铅锌矿床及重晶石矿床(即成县银洞湾重晶石矿床),徽县郭家沟、油露洞、杨家山、银洞湾、元坝子、柳林镇、张家山、洛坝、蔡家河铅锌矿床,西和县邓家山、尖崖沟、磨沟、人土山、页水河铅锌矿床,侯家村、上方家山、水贯子铅锌矿床,宕昌县开源铅锌矿床,礼县桐花沟-滩后头铅锌矿床,岷县半沟、耳阳沟铅锌矿床。

古道岭组-星红铺组中有(陕)太白县王家楞崖房沟铅锌矿床,双王钠长石矿床,凤县八方山-二里河、铅硐山-东塘子、谭家沟、峰崖、银洞梁、手搬崖、苇子坪洞沟、安沟、尖端山、核桃坝、长沟、洞沟、银母寺、大黑沟铅锌矿床,星红铺组中还有(陕)凤县九子沟铜矿床,甘沟、苇子坪、太山庙、岩前山、铜牌沟铜矿点。

(3)主要成矿作用。以沉积成矿作用为基础,后叠加了浅变质作用、热液作用等。例如,生物化学沉

积作用形成磷矿,化学沉积作用形成铁矿,2种作用都有形成石灰岩(后来局部受热动力形成有大理岩);蒸发沉积成矿作用形成石膏、白云岩;机械沉积成矿作用加上区域浅变质形成洮砚石;海底热液喷流沉积作用形成铅、锌矿层及金矿源层,叠加印支—燕山期热液改造作用,最终展现为层控热液型铅、锌、金矿(著名西成—凤太矿集区,可作为典型代表)。其中,金在泥盆纪尚未形成矿体。

2.2.2 石炭纪—二叠纪沉积作用有关铁—石灰岩—白云岩—黏土矿床成矿亚系列

(1)成矿地质环境。从泥盆纪开始的西秦岭伸展裂陷盆地至石炭纪时期,裂陷盆地呈线形,主要局限在西秦岭的南北边缘地带,沉积形成石灰岩、白云岩。二叠纪地层广泛分布,地层出露较齐全,由海相碳酸盐岩、碎屑岩夹火山岩组成,以潮下带碳酸盐岩为主,潮间带碎屑岩—碳酸盐岩次之,化石十分丰富,总体为稳定的浅海相沉积环境。西秦岭南带石炭系为碳酸盐岩建造,划分为下石炭统益哇沟组 and 上石炭统岷河组,二者整合产出,赋存有较多灰岩及少量白云岩矿产;西秦岭北带的下一中二叠统大关山组赋存有石灰岩、黏土及铁矿。

(2)矿产地实例。益哇沟组—岷河组中有(甘)成县牛斜山石灰岩矿床,迭部县九龙峡白云岩矿床,陇南市武都区桑家湾灰岩、白云岩矿床、姚寨沟、角弓南石灰岩矿床,徽县谈家庄、磨坝峡灰岩矿床,碌曲县郎木寺灰岩矿床,舟曲县洋布梁石灰岩矿床。

大关山组中有(甘)夏河县麻尾山水泥灰岩矿床,武山县马力、吉子坪、支锅峡、老虎嘴水泥石灰岩矿床,和政县亚子沟、水泥石灰岩矿床,临潭县大石山水泥石灰岩矿床,漳县樊家磨水泥灰岩矿床,和政县葱花岭耐火黏土矿床,卓尼县康县乡铁矿床。

(3)主要成矿作用。沉积成矿作用具体为化学沉积—生物化学沉积成矿作用(石灰岩、白云岩及铁矿)和机械沉积成矿作用(黏土)。

2.3 晚古生代岩浆作用有关矿床成矿系列(Ⅲ—28·Pz₂·I)

晚古生代岩浆作用有关铜—铅—锌—锡—铬—饰面超基性岩矿床成矿系列进一步可解析为下述2个矿床成矿亚系列。

2.3.1 晚古生代海相火山—沉积作用有关铜—铅—锌—锡矿床成矿亚系列

(1)成矿地质环境。西秦岭伸展裂陷盆地从泥

盆纪开始—石炭纪—二叠纪,局部地段出现基性火山岩,并有蛇绿岩组合出现,由裂谷转换为小洋盆。西秦岭西段,北缘有隆务峡—甘家小洋盆,西缘有苦海—赛什塘裂谷及初始洋盆,南侧有布青山—阿尼玛卿有限洋盆。其中,布青山(西支)、阿尼玛卿(东支)、苦海—赛什塘(北支)3条蛇绿构造混杂岩带构成三联结构几何形态。在石炭纪—二叠纪海相火山—沉积岩系中形成铜—铅—锌—锡矿床成矿亚系列。

(2)矿产地实例。石炭系火山—沉积岩地层中有(甘)卓尼县下拉地、窑沟、甲可山铅锌矿床,宕昌县塔儿里铅锌矿床;二叠系火山—沉积岩地层中有(青)兴海县铜峪沟铜矿床、赛什塘铜矿床(印支晚期叠加矿除外)、日龙沟锡铜矿床。

(3)主要成矿作用。岩浆成矿作用具体为海相火山—沉积成矿作用,其成矿机理具海底火山喷流成矿—沉积喷流成矿之间过渡的特点(青海兴海县铜峪沟铜矿床是喷流成矿特征保留较为明显的典型实例)。此外,上述矿产地中普遍叠加有晚期岩浆侵入作用或热液活化再造成矿作用(青海兴海县赛什塘铜矿床是晚期中酸性岩侵入作用叠加强烈的实例;甘肃卓尼县下拉地铅锌矿床是晚期热液活化强烈改造的实例)。

2.3.2 晚古生代镁质超基性岩侵入作用有关铬—饰面超基性岩矿床成矿亚系列

(1)成矿地质环境。在白水江—神河构造岩浆岩带,陕西留坝县姜窝子一带,出露有11处泥盆纪末期或石炭纪初期超基性小岩体,侵位于闸口石构造带志留系变质地层,与围岩呈底劈侵入关系,主要集中在楼房沟和南河两地段。岩性为蛇纹石化橄榄岩、蛇纹石化斜辉辉橄岩、滑石菱镁岩和蛇纹岩。主体岩石类型为蛇纹石化橄榄岩、灰白色透闪片岩、灰白色滑石菱镁岩等,形成镁质超基性岩侵入有关铬—饰面超基性岩矿床成矿亚系列。

(2)矿产地实例。华力西期超基性岩侵入体中有(陕)留坝县楼房沟铬铁矿及饰面超基性岩矿床。

(3)主要成矿作用。岩浆成矿作用具体为镁质超基性岩侵入成矿作用,主要形成铬铁矿、饰面超基性岩,伴生钼、钨等铂族元素。

2.4 中生代沉积作用有关矿床成矿系列(Ⅲ—28·Mz·S)

中生代沉积作用有关白云岩—石灰岩—煤—油页岩矿床成矿系列,进一步可解析为3个矿床成矿亚

系列。

2.4.1 三叠纪沉积作用有关白云岩-石灰岩矿床成矿亚系列

(1)成矿地质环境。西秦岭三叠系分布很广,与二叠系呈连续沉积。在西秦岭青海段,三叠系较好地连片分布,层序从下向上有中一下三叠统隆务河组、中三叠统古浪堤组、上三叠统日闹热组\华日组。向东进入甘肃境内,三叠系呈指状向东延伸,北带内仅零星分布,层序类似青海段。南带主要分布于白龙江复式背斜的两翼;北翼有下三叠统隆务河组,南翼有下三叠统扎里山组\马热松多组;中三叠统郭家山组\光盖山组;中一上三叠统大河坝组。无论怎样划分,中一下三叠统主体建造以细碎屑岩为主,夹灰岩、白云质灰岩、白云岩,南部相对北部而言,碳酸盐岩的比例更高,西段有少量海相火山岩。沉积环境有浅海陆棚、陆棚内缘斜坡、次深海盆地、次深海斜坡亚相;晚三叠世沉积环境演化为陆相盆地,并且有陆相火山岩显示,西段明显比东段发育。

(2)矿产地实例。隆务河组-扎里山组中有(青)贵德县乜龙寺灰岩矿床,(甘)临夏县铁寨乡三岔沟灰岩矿床,宕昌县新坪小型水泥灰岩矿床,(陕)略阳县吴家营、白石崖、蹇家坝石灰岩矿床。

隆务河组-马热松多组中有(甘)玛曲县忠克白云岩矿点,碌曲县孪儿娘白云岩矿点。

隆务河组中还有(青)循化县古昌板岩矿点。

(3)主要成矿作用。沉积成矿作用具体为化学沉积-生物化学沉积成矿作用,主要形成石灰岩,次为白云岩及黏土岩。黏土岩后期微弱变质为板岩,但矿产性质变化不大,这里仍归纳在沉积矿产中。

2.4.2 侏罗纪沉积作用有关煤-油页岩矿床成矿亚系列

(1)成矿地质环境。侏罗纪,西秦岭地区分布多个山间盆地,发育河流-湖沼相碎屑岩夹煤系地层,局部叠加有火山岩。侏罗系从下向上划分为:下侏罗统炭和里组,中侏罗统龙家沟组\郎木寺组,上侏罗统贾家河组。龙家沟组为一套含黄褐-灰-紫红色砾岩、灰色砂岩、页岩组成的含煤地层;郎木寺组为一套中酸性火山岩-火山碎屑岩-碎屑岩组成的含煤地层。实质上,煤-油页岩只与沉积岩有关,而与其夹杂的火山岩无关。

(2)矿产地实例。龙家沟组及郎木寺组中有(甘)陇南市武都区龙家沟煤矿区-油页岩矿床(草

湾、马池坝、石炭坡井田煤-油页岩、后沟、华桥子井田煤),宕昌县小石门煤矿区-油页岩矿点,舟曲县武坪、金钱沟煤矿区,两当县西坡煤矿区,碌曲县尕海、财宝山东煤矿区,(陕)凤县户家窑煤矿区。

(3)主要成矿作用。沉积成矿作用具体为生物化学沉积成矿作用,形成矿种主要为煤,次为油页岩。

2.4.3 白垩纪沉积作用有关煤矿床成矿亚系列

(1)成矿地质环境。白垩纪,西秦岭地区仍继承侏罗纪的几个山间盆地的格局。这些盆地内发育有山麓河湖相碎屑岩夹煤系地层,局部叠加有火山岩。下白垩统的主要岩石地层单位为东河群,从下向上分为田家坝组(以紫红色巨厚层砾岩为主的粗碎屑岩)\周家湾组(一套紫红-黄绿-灰绿色的杂色泥岩、粉砂岩夹砂岩、砾岩)\鸡山组(一套以灰绿-灰黑色为主的泥岩、粉砂岩夹砂岩、砂砾岩、砾岩及煤层或煤线的煤系地层)。但在郎木寺北财宝山一带,下部为含煤岩沉积组,上部为中酸性火山岩组,称后者为财宝山组。

(2)矿产地实例。鸡山组中有(甘)徽县马鞍山煤矿区,成县化垭煤矿区、郁家庄、冯坪煤矿点,(陕)凤县东沟河煤矿点。

(3)主要成矿作用。沉积成矿作用具体为生物化学沉积成矿作用,形成的矿种主要为煤。

2.5 中生代变质作用有关矿床成矿系列(Ⅲ-28·Mz·M)

中生代变质作用有关大理岩、红柱石、饰面角岩矿床成矿系列,仅包含一个亚系列:中生代接触变质作用有关大理岩-红柱石-饰面角岩矿床成矿亚系列。

(1)成矿地质环境。晚古生界(泥盆系、石炭系、二叠系),在中生代中酸性岩侵入作用热动力影响的地质构造环境,石灰岩局部变为大理岩,泥质岩石局部变为堇青石红柱石角岩。

(2)矿产地实例。中生代中酸性岩接触带赋存有(甘)成县寺儿沟大理岩矿床(泥盆系接触变质带),漳县宝珠寺板材大理岩矿床,和政县牛圈沟、铁沟-西沟、大峡沟北板材及工艺大理岩矿床(二叠系接触变质带),(陕)留坝县庙台子水泥用大理岩矿床(石炭系接触变质带),(甘)岷县李家山、方沟、偏林梁饰面角岩矿床,漳县马路里红柱石矿床和(陕)太白县浑水沟红柱石矿床(石炭系接触变质带)。

矿床;泽库县夏德日金锑矿床、多隆杂日色神金银铅矿床、夺确壳金锑银铜矿床、和日金矿床、多朗杂日寨锑银铅矿床,兴海县浪琴锑金矿床、吉浪滩铜矿床、杂科合锑银铜矿床,共和县泽很错沟脑东锑银矿床,(甘)夏河县年木耳铜锑矿床、卡加沙格铜锑矿床、早仁道、隆瓦寺院、杂恰勒布、桑曲、居乎其那沟-华尔赛梁、将其那梁、也赫杰、完安昂、直合完干金矿床,合作市早子沟金矿床,岷县寨上金钨矿床、锁龙、马坞金矿床,漳县瓦河沟金矿床,礼县李坝、王河、赵沟、阳坡、金山、马泉、大埝下、火吉坪、王家门上、崖湾金矿床和李子坪、杨家河铁矿床,宕昌县竹园北金矿床,西和县马家河、小东沟、三洋坝、四儿沟门金矿床和李家山铁矿床,成县小沟里金矿床,徽县九条沟、沙沟、土地沟金矿床和娘娘庙铁矿床,两当县金厂沟、花崖沟金矿床和改板沟铁矿床,(甘)玛曲县大水、贡北金矿床,碌曲县辛曲、忠曲金矿床。(陕)凤县八卦庙、丝毛岭、柴蚂、谭家沟、沈家湾、小梨园、佐家庄三台山金矿床,太白县双王、九平沟、古迹、老铁厂金矿床。已知青海加吾金锑钨矿区花岗闪长岩体锆石 U - Pb 年龄为 (224.1 ± 2.4) Ma (杨拴海, 2015), 花岗斑岩脉锆石 U - Pb 年龄为 (233.4 ± 4.3) Ma (王斌等, 2015); 杂科合铜银锑矿床西北部石英闪长岩体全岩 K - Ar 同位素年龄为 (222 ± 3) Ma (李文明等, 1996); 甘肃早子沟金矿区石英闪长玢岩及蚀变(矿化)闪长玢岩的锆石 U - Pb 年龄为 (215.5 ± 2.1) Ma 和 (216.6 ± 2.4) Ma (刘勇等, 2012)。根据同位素研究认为,成矿流体主要为岩浆水与大气降水的混合(刘东晓等, 2019)。寨上金钨矿床白钨矿等时线年龄 Sm - Nd 等时线年龄为 (222.6 ± 6.9) Ma (余超, 2015); 李坝、马坞、金山、马泉、崖湾金矿床相关的中川环状花岗杂岩体从外向内锆石 U - Pb 年龄依次为: 210 Ma、185 Ma、175 Ma、160 Ma (姜启明等, 2014); 李坝金矿中石英 Ar - Ar 等时线年龄为 (205.02 ± 3.53) Ma; 八卦庙金矿石英脉 Ar - Ar 等时线年龄为 (222.14 ± 3.45) Ma (冯建忠等, 2003); 小沟里金矿床附近花岗岩体单颗粒锆石 U - Pb 年龄为 (201.4 ± 0.9) Ma, 含金石英脉 Ar - Ar 等时线年龄为 (193.24 ± 0.93) Ma (冯建忠等, 2004); 双王金矿床附近有西坝二长花岗岩锆石 U - Pb 年龄为 (219 ± 1) Ma, 花岗闪长岩锆石 U - Pb 年龄为 (218 ± 1) Ma, 似斑状花岗岩锆石 U - Pb 年龄为 (214.9 ± 1.1) Ma (张帆等, 2009); 柴蚂金矿

床主成矿阶段白云石、方解石 Sm - Nd 等时线年龄为 (203.2 ± 1.6) Ma (刘协鲁等, 2014); 丝毛岭金矿床热液绢云母 Ar - Ar 坪年龄为 (211.9 ± 1.5) Ma (王义天等, 2014)。据李坝金矿床、小沟里金矿床、八卦庙金矿床稳定同位素地球化学研究, 石英包裹体流体氢氧同位素分布于岩浆水、变质水和大气降水的重叠过渡区(冯建忠等, 2004)。大水金矿床相关格尔特合岩体及岩脉的锆石 U - Pb 年龄分别为 (215.8 ± 1.3) Ma 和 (202.9 ± 1.5) Ma, 并研究认为早期成矿流体来源于岩浆水, 晚期成矿流体为岩浆水与大气降水的混合成矿流体(闫海卿等, 2014)。

(3) 主要成矿作用。岩浆成矿作用具体为中酸性岩浆侵入成矿作用形成岩浆型矿床(饰面花岗岩)、斑岩型-矽卡岩型-岩浆热液型矿床及岩浆热液参与的混合热液型矿床。主要矿种为铁、铜、金、钨、锑、砷, 次为钼、铅、锌、锡、饰面花岗岩。

2.7 中生代流体作用有关矿床成矿系列(Ⅲ 28 · Mz · F)

中生代流体作用有关铁-铜-铅-锌-金-锑-汞-硫矿床成矿系列仅包含 1 个矿床成矿亚系列: 三叠纪-侏罗纪热液有关铁-铜-铅-锌-金-锑-汞-硫矿床成矿亚系列。

(1) 成矿地质环境。中晚三叠世的印支运动使秦岭板块向北俯冲碰撞, 最终全面隆起成陆, 进入以块断裂陷、剪切平移作用为主的板内造山阶段。三叠纪后, 陆内造山活动依然活跃, 发生强烈的陆内俯冲。构造岩浆作用热动力加热驱动大气降水对流循环、活化已形成的各时代地质建造中多种成矿组分, 运移到有利构造空间沉淀成矿。成矿时代主要为三叠纪中晚期, 次为侏罗纪早期。

(2) 矿产地实例。古生界地质建造中断裂破碎带有(甘)迭部县洛大铁矿床、查居铁矿床(共生有硫铁矿床), 舟曲县柴马山、黑水沟铁矿床(泥盆系中), (甘)舟曲县坪定、羊里尾沟金矿床, 碌曲县青稞崖金矿床, 迭部县刀扎、桥头-沙日金矿床, 陇南市马家坝金矿床, 徽县通天坪、桃园金矿床, 老圣沟、黑火石金矿床, 两当县东河金矿床, 凤县青龙寺-尖峰垭金矿床, 康县尚家沟金矿床(泥盆系、石炭系为主, 次为志留系、二叠系), (甘)临潭县大沟顶锑矿床、临潭-卓尼县大寺坡锑矿床(二叠系中), 宕昌县安家山锑矿床(泥盆系中), 和政县吊滩鹿沟锑矿床(石炭-二叠系中), (陕)凤县尖峰垭锑矿床(泥盆系或石炭系

中),留坝县八卦山银锑矿(志留系中),(甘)徽县马家山汞矿床(泥盆系中),明家山汞矿床(志留系中),临潭县西沟河汞矿床(二叠系中)。

三叠系地质建造中断裂破碎带有(甘)夏河县加甘滩、索拉贡玛、拉古河、完肯金矿床,岷县鹿儿坝、簸箕沟、章哈寨、绿沙金矿床,卓尼县赛日欠金银铅锌矿床,礼县上坝金矿床,西和县大桥、兴隆金矿床,陇南市武都区安房坝金矿床,(青)泽库县瓦勒根金矿床,同德县石藏寺金锑矿床,(川)若尔盖县京格尔、阿细龙曲金矿床,九寨沟县马脑壳、两河口、幸福村金矿床,(甘)舟曲县博峪蜂园子金矿床,文县红岩沟一带花山金矿床,(甘)西和县崖湾锑矿床,礼县佐家、泰山锑矿床宕昌县大草滩、银铜梁、水眼头、肖家山锑矿床,岷县甘寨锑矿床,临潭县张旗、石沟子、口子下锑矿床,碌曲县美秀南锑矿床,卓尼县卡车锑矿床,(青)同德县穆黑、沙尔诺、山欠汞矿床,兴海县苦海汞矿床,河南省赫格楞汞锑矿床,(甘)临潭县林台子汞矿床。

(3)主要成矿作用。流体成矿作用具体为中低温热液成矿作用,形成的矿种主要为金、锑、汞、铅、锌,次为铁、硫。有的矿区可见中酸性岩脉,起热源作用,但尚需研究岩浆热液是否直接参与成矿。例如,加甘滩矿区发现1条花岗闪长岩脉;鹿儿坝矿区也发现1条闪长玢岩脉,锆石U-Pb同位素年龄为 (218.2 ± 2.33) Ma(刘云华等,2014);大桥矿区发现12条花岗闪长岩脉,锆石U-Pb年龄为 $(230.2 \pm 2.4) \sim (205.9 \pm 2.1)$ Ma(陕亮等,2016);瓦勒根矿区花岗斑岩脉锆石U-Pb年龄为 (237 ± 2) Ma(李德彪等,2014)。

2.8 中生代晚期—新生代早期流体作用有关矿床成矿系列(Ⅲ-28·M₂Cz₁·F)

中生代晚期—新生代早期流体作用有关金、铀矿床成矿系列可进一步解析为2个矿床成矿亚系列。

2.8.1 白垩纪—古近纪中低温热液作用有关金—铀矿床成矿亚系列

(1)成矿地质环境。西秦岭南带拉尔玛—益洼一带的寒武系—志留系为海底喷流和障壁海湾环境下形成的硅质岩和碳硅泥岩建造,是一套金铀多金属矿源层,产有中国典型的碳硅泥岩型金矿床和铀矿床。其中,赋存于寒武系含矿岩系中的矿床以金为主,以铀为辅;赋存于志留系含矿岩系中的矿床则主

要是铀矿床。印支—燕山期白龙江断裂带的多次活动导致复杂的构造变形和含矿岩系的破碎,为后续白垩纪—古近纪中低温热液活化金、铀富集成矿提供了良好条件。

(2)矿产地实例。寒武系中有(甘,川)碌曲县—若尔盖县拉尔玛金矿床,若尔盖县琼莫金矿床,牙相金矿点。通过对这些矿床氢、氧同位素组成的研究表明,热液活动形成金矿床(点)的流体为大气降水补给的地下水,而非岩浆水和变质水。大气降水补给的地下热液在环流过程中促使硅岩建造中的成矿物质发生活化、迁移和再聚集,并最终导致工业矿床的形成。金的成矿主要发生在中、新生代交替时期(137~47 Ma)(刘家军等,1998)

志留系中有(川)若尔盖县510、512、511、513、701、403、104铀矿床。已知热液成因沥青铀矿—方解石脉形成时代大致为130~45 Ma;后来氧化淋滤期金属沥青铀矿—硫化物细脉形成时代大致为25~14 Ma(钱法荣等,1996)。

(3)主要成矿作用。流体成矿作用具体为中低温热液对寒武系—志留系活化再造成矿作用,形成的矿种主要为铀,次为金。这期中低温热液成矿时代主要为白垩纪,可延续到古近纪。

在金、铀矿床形成之后,因地壳持续抬升,使包括金、铀矿体在内的地质体暴露于地表。新近纪富氧流体淋滤作用形成地表个别地段浅部鸡窝状的铀矿体,归属于古近纪—新近纪富氧溶液作用有关铀矿床成矿亚系列。

2.8.2 古近纪—新近纪富氧溶液作用有关铀矿床成矿亚系列

(1)成矿地质环境。新生代早期的古近纪—新近纪富氧地质体被剥蚀出露地表,从地表氧化向深部过渡为还原环境,有利于铀氧化活化—迁移渗滤再还原沉淀成矿。例如,西秦岭南带的若尔盖地区拉尔玛—益洼一带志留系近地表浅部鸡窝状铀矿体就是这种淋滤成因。再如,西秦岭北带中川一带,中生代中酸性岩浆热液活动,在花岗岩体内外预富集铀矿化物质,到新生代经长期剥蚀出露地表,在古近纪被富氧水活化迁移到低洼处沿断裂破碎带下渗,最终被还原沉淀成矿。

(2)矿产地实例。中川花岗岩体岩体内破碎带有(甘)吴茶坝(7902)铀矿床,岩体外破碎带有(甘)中川(7901)和范家坝(7903)铀矿床。已知中川环状

花岗杂岩体锆石 U-Pb 年龄从外向内为 210 Ma、185 Ma、175 Ma、160 Ma(姜启明等,2014)。研究认为,成矿物质铀主要来自中川花岗岩体,成矿前的中生代热液活动为铀成矿提供预富集。古近纪古新世末岩体剥蚀至近地表,岩体表层含铀富氧水不断向断裂破碎构造带中迁移下渗,并在地球化学栅(氧化-还原界面)处被捕获富集成矿。已测得矿床铀成矿年龄数据主要为 88 Ma、46 Ma、28 Ma,但主要成矿时代在喜山期(张玉龙,2007),判断年龄数据 88 Ma 仍是前期含铀热液预富集活动的信息显示。

(3)主要成矿作用。流体成矿作用具体为富氧溶液活化铀-渗滤还原再沉淀成矿的作用。富氧流体从浅部岩石氧化活化了 U 元素,就近迁移沿断裂破碎带下渗到还原环境再沉淀而成矿。这是 U 元素性质决定的:氧化条件 U 呈 6 价进入溶液,还原条件 U 呈 4 价发生沉淀。这显然不同于矿质升温溶解-降温再沉淀的热液矿床形成机理。

2.9 新生代沉积作用有关矿床成矿系列(Ⅲ-28· Cz·S)

新生代沉积作用有关砂金-砂钨-黄土-石膏-盐-泥炭矿床成矿系列,进一步可解析为 2 个矿床成矿亚系列。

2.9.1 古近纪沉积作用有关石膏-盐矿床成矿亚系列

(1)成矿地质环境。早白垩世末,经历了强烈而普遍的上升运动,处于剥蚀状态,使晚白垩世沉积很局限。到晚白垩世末-古近纪初又经历了不均衡的下降运动,到古新世-始新世时,在西秦岭山间洼地中,有以红色砾岩、砂砾岩、砂岩等为主的山麓-河流相快速堆积,因沉积环境不稳定,不利于盐类矿产的形成。始新世末,地壳总体缓缓下沉,使渐新世沉积范围有所扩大,西秦岭有礼县、临潭、徽县、漳县、合作、甘加、桑科等 10 余处山间洼地,活动性很小,为一套湖相红色粉砂质泥岩、泥岩建造。临潭洼地中为红色泥岩夹石膏层;其余小洼地中为红色泥岩、粉砂岩,局部夹似层状石膏;同时期,在漳县山间盆地形成岩盐。这些石膏-岩盐均为干旱气候环境的湖相蒸发沉积产物。

(2)矿产地实例。古近系上部层位赋存有(甘)临潭县红崖大型石膏矿床,漳县盐井镇盐矿床。

(3)主要成矿作用。沉积成矿作用具体为蒸发沉积成矿作用,形成的矿种主要为石膏,其次为盐。

2.9.2 第四纪沉积作用有关砂金-砂钨-黄土-泥炭矿床成矿亚系列

(1)成矿地质环境。喜山期新构造运动使西秦岭山脉长期隆起及构造阶地上升,凹陷区盆地沉积与水系切割,风化剥蚀与淋滤作用非常发育。岩金矿床或含 Au 岩石经过风化剥蚀,Au 元素可次生富集。本区西北部南高北低,属于黄河流域,河流向北流出西秦岭;东南部北高南低,属于长江流域的嘉陵江水系,河流向南流出西秦岭。区内砂金矿的富集分别受黄河上游水系和嘉陵江上游水系水动力控制,随河谷地形、地貌变化,多聚集于水动力条件降低(河床由窄变宽、地形由陡变缓、水流速度变慢)的地段,富集形成砂金矿床。石英脉型钨矿物有的经风化解离出来,也可聚集为砂钨矿床。泥炭主要形成于沼泽地带,西秦岭西段黄河上游水系沼泽泥炭很发育。本区早中更新世主要发育冰水-洪积、冲洪积及残坡积,到晚更新世开始出现风积黄土(马兰组黄土)。

(2)矿产地实例。第四系上更新统马兰组赋存有(甘)宕昌县牛头山黄土矿床,武都区桑家湾、白鹤桥黄土矿床(水泥配料),(陕)略阳县徐家坪黄土矿床(水泥配料)。

嘉陵江上游水系第四系全新统松散沉积物中有(甘)礼县田家河砂金矿床,西和县六巷河、朱家河砂金矿床,成县谭河、东河砂金矿床,舟曲县尖山子梁砂金矿床,徽县谈家庄砂金矿床,康县何湾砂金矿床,(陕)凤县凤州砂金矿床,留坝县西河砂金矿床,略阳县徐家坪-白水江、西汉水砂金矿床。

黄河上游水系第四系全新统松散沉积物中有(青)同德县上、下治地砂金矿点,兴海县唐乃亥、切毛龙洼、水塔拉、金矿沟砂金矿点,泽库县沙冬河、纳木加-岗莫勒砂金矿点,玛多县龙通沟砂金矿点,玛沁县雪山乡砂金矿点,(甘)岷县马坞、金厂沟、后治滩砂金矿点。此外,还有(青)同德县克穆达砂钨矿床赋存于克穆达石英脉型钨矿床下侧砂砾状堆积物中,砂矿中钨矿物与石英脉中的钨矿物相同,均为白钨矿。

黄河上游水系相关湿地沼泽中有(青)河南县青果阿日冬、浩钦沟-浩琼沟、达日宗沟、赫格楞、擦玛沟泥炭矿床,同仁县温库沟北东岔沟、尼马龙-其雄河泥炭矿床,(甘)岷县麻子川泥炭矿床。

(3)主要成矿作用。沉积成矿作用具体为水力

机械沉积作用(砂金、砂钨)、风力机械沉积作用(黄土)及生物化学沉积作用(泥炭)。

2.10 新生代表生作用有关矿床成矿系列(Ⅲ-28·Cz·H)

新生代表生作用有关铁-铅-锌矿床成矿系列仅包含1个矿床成矿亚系列:第四纪表生风化作用有关铁-铅-锌矿床成矿亚系列。

(1)成矿地质环境。古生代或中生代形成地质建造中的铁硫化物或铁铜硫化物矿体、铅锌硫化物矿体,在新生代剥蚀暴露于近地表风化环境,风化淋滤形成氧化物铁矿(褐铁矿为主)或碳酸盐铅锌矿(菱锌矿、白铅矿为主)。

(2)矿产地实例。志留系地表风化带有(甘)徽县包家沟、大河店铁矿床,舟曲县老红山、猫坪山后铁矿床,迭部县柯叉沟铁矿床,陇南市武都区区背沟铁矿床,(陕)留坝县光华山铁矿床,略阳白水江大滩-长峰、罗家山-铁炉沟、林口-白马、马鞍梁铁矿床。泥盆系地表风化带有(甘)徽县芋子滩、闻家楼铁矿床,(陕)略阳县白水江铁矿床。

铁铜硫化物氧化带有(甘)和政县铁沟铁矿床;铅锌硫化物氧化带有(甘)宕昌县代家庄铅锌矿床。

(3)主要成矿作用。表生成矿作用具体为表生风化成矿作用,形成的矿种主要为铁(褐铁矿),次为铅锌(菱锌矿、白铅矿)。

2.11 新生代流体作用有关矿床成矿系列(Ⅲ-28·Cz·F)

新生代流体作用有关地下水-矿泉水-地热水成矿系列仅包含一个亚系列:第四纪流体作用有关地下水-矿泉水-地热水矿床成矿亚系列。

(1)成矿地质环境。西秦岭地处内陆腹地,为温带半湿润气候。该区年平均气温为8.55℃,年平均降雨量为672.43 mm(杜华明等,2014),区内年降水量由东向西逐渐减少,蒸发量由东向西逐渐增加。地表水系以迭山-龙台山-火众山一线为分水岭,分属黄河流域和长江流域。主要构造体系有秦岭-昆仑纬向构造体系、武都山字型构造体系、青藏歹字型构造体系等,其不仅控制着本区地形地貌及河流流向,而且控制着地下水-矿泉水-地热水等水文系统。从元古界-新生界的沉积地层均有出露,岩浆岩主要以印支-燕山期酸性花岗岩为主,这些花岗岩构造裂隙发育,富含放射性元素,常为地热水富集地带

(徐凌云等,1997)。

(2)矿产地实例。地下水:(青)共和县切吉农业开发区水源地、新源水源地矿点,贵德县山坪、西海岗拉湾水源地矿点,贵南县茫拉河水源地矿点,循化县起台沟水源地矿点,同德县第二水源地矿点,同仁县黄南州隆务镇曲麻沟水源地矿点,河南县大雪垛、优干宁镇水源地矿点,兴海县子科滩镇水源地矿点,(甘)合作市格河谷、扎刹河谷水源地,漳县城区水源地,和政县城关镇三谷村水源地矿点,礼县城关镇东新街、雷王镇胡羊村水源地矿点,夏河县洒哈尔水源地,临潭县卓洛水源地,卓尼县城区水源地,岷县洮河岸边水源地和关上沟水源地矿点,西和县岷郡山、十里镇二郎坝水源地,成县孙家坝水源地,两当县水厂水源地,徽县伏家镇水源地,陇南市武都区钟楼滩、两水镇后坝水源地和角弓镇水源地矿点,玛曲县卓格尼玛泉水水源地,碌曲县玛艾水源地,舟曲县三眼峪水源地,迭部县哇坝河水源地,(陕)凤县县城水源地。

矿泉水:(青)河南县曲海饮用矿泉水,同仁县曲库乎饮用矿泉水,(甘)宕昌县韩家村九眼泉饮用矿泉水,夏河县拉卜楞饮用矿泉水,临潭县太平村香水泉饮用矿泉水,岷县龙潭饮用矿泉水。

地热水:(青)兴海县青根河温泉(30℃),青根河南温泉(62℃),兴海温泉乡温泉(61℃),共和县城QR1地热井(969 m井底70℃,井口40℃),R1地热井(1 203.48 m井底83℃,井口72.5℃),DR1地热井(1 455 m井底87℃,井口82℃)、贵德曲乃亥温泉(96.6℃),扎仓寺温泉(93.5℃),新街温泉(64℃),同仁县兰采温泉(69℃)、曲库呼温泉(48.5℃)和西卜沙温泉(44℃),(甘)武山县温泉(55.3℃),迭部县旺藏温泉(31℃)、达拉沟温泉。

已知沿断层上升的甘肃武山县温泉,地热水¹⁴C年龄变化于3 000~3 800 a,迭部县旺藏温泉和达拉沟温泉,地热水¹⁴C年龄分别为8 200 a和4 600 a(张凌鹏等,2020),青海扎仓寺热田地下深部热水年龄变化于6 160~28 550 a(郎旭娟等,2017)。

(3)主要成矿作用。流体成矿作用具体为地表水入渗地下循环,过滤掉泥沙,并且符合工农业生产用水标准和/或饮用水标准,同时日流量能满足一定的需求,即可作为普通地下水水源地;若循环过程溶解了对人健康有益的物质组分则形成矿泉水;若被地下热能加热则变为地热水。例如,分布有许多地

热水产地(温泉和地热井)的西秦岭贵德-共和盆地。在扎仓寺热田取 132 组地下热水样进行测试,据氢氧同位素研究显示,区内地热水的主要补给来源均为大气降水,地下热水径流方向由盆地周边山区向盆地中心汇流。地下热水年龄变化于 $(6.16 \pm 0.2) \sim (28.55 \pm 1.74)$ ka(郎旭娟等,2017);扎仓温泉的大气降水循环深度为 1 385 m,更深部在 2 927~3 705 m 钻探发现干热岩(唐显春等,2020),为 233.2~222.3 Ma 中晚三叠世花岗岩(张森琦等,2020)。

3 结论

综上所述,西秦岭成矿带(Ⅲ-28),已知成矿时代有早古生代(P_{z_1})—晚古生代(P_{z_2})—中生代(M_z)—新生代(C_z);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)。根据实际地质矿产资料,总结出 11 个矿床成矿系列:沉积作用有关的 4 个(Ⅲ-28· P_{z_1} ·S, Ⅲ-28· P_{z_2} ·S, Ⅲ-28· M_z ·S, Ⅲ-28· C_z ·S);岩浆作用有关的 2 个(Ⅲ-28· P_{z_2} ·I, Ⅲ-28· M_z ·I);变质作用有关的 1 个(Ⅲ-28· M_z ·M);流体作用有关的 3 个(Ⅲ-28· M_z ·F, Ⅲ-28· M_{z_2} · C_{z_1} ·F, Ⅲ-28· C_z ·F);表生作用有关的 1 个(Ⅲ-28· C_z ·H)。

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 Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing, Institute of

Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing. 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.

杜远生. 西秦岭造山带泥盆纪沉积地质学和动力沉积学研究:西秦岭中带泥盆纪小型克拉通盆地的沉积特征及盆地格局[J]. 岩相古地理,1995,15(5):55-70.

DU Yuansheng. Sedimentary Geology and Dynamic Sedimentology of the Devonian Strata in the West Qinling Orogenic Belt: Sedimentary Characteristics and Framework of the Small-scale Devonian Cratonic Basin in the Middle Belt of the West Qinling Orogenic Belt [J]. Sedimentary Facies and Palaeogeography, 1995, 15(5):55-70.

杜华明,延军平. 西秦岭地区气候变化特征与干旱灾害趋势[J]. 山地学报,2014,32(1):58-65.

DU Huaming, YAN Junping. Characteristics of Climatic Change and Trend of Aridity in West Qinling [J]. Mountain Research, 2014, 32(1):58-65.

冯建忠,汪东波,王学明,等. 甘肃礼县李坝大型金矿床成矿地质特征及成因[J]. 矿床地质,2003,22(3):257-263.

FENG Jianzhong, WANG Dongbo, WANG Xueming, et al. Geology and Metallogenesis of Liba Large-size Gold Deposit in Lixian, Gansu Province [J]. Mineral Deposits, 2003, 22(3):257-263.

冯建忠,汪东波,王学明,等. 陕西凤县八卦庙超大型金矿床成矿地质特征及成矿作用[J]. 地质学报,2003,7(3):387-398.

FENG Jianzhong, WANG Dongbo, WANG Xueming, et al. Geology and Metallogenesis of the Baguamiao Giant Gold Deposit in Fengxian, Shaanxi Province [J]. Acta

- Geologica Sinica, 2003, 7(3): 387-398.
- 冯建忠, 汪东波, 王学明, 等. 西秦岭三个典型金矿床稳定同位素地球化学特征[J]. 中国地质, 2004, 31(1): 78-84.
- FENG Jianzhong, WANG Dongbo, WANG Xueming, et al. Stable Isotope Geochemistry of Three Typical Gold Deposits in the West Qinling[J]. Geology in China, 2004, 31(1): 78-84.
- 黄雄飞. 西秦岭印支期花岗质岩浆作用与造山带演化[D]. 北京: 中国地质大学, 2016.
- HUANG Xiongfei. Indosinian Granitoid Magmatism and Orogenic Evolution in West Qinling, China[D]. Beijing: China University of Geosciences, 2016.
- 姜启明, 鲁挑建. 甘肃礼县中川地区金矿成岩和成矿年龄的 HSRIMP 厘定[J]. 地质科学, 2014, 49(4): 1184-1200.
- JIANG Qiming, LU Tiaojian. The Diagenetic and Metallogenetic Ages of Zhong Chuan gold Deposit in Li Country, Gansu Province: Constraints from SHRIMP U-Th -Pb Zircon Dating[J]. Chinese Journal of Geology, 2014, 49(4): 1184-1200.
- 梁天文, 张国伟, 鲁如魁, 等. 西秦岭北缘武山-鸳鸯镇构造带磁组构特征[J]. 地学前缘, 2008, 15(4): 298-306.
- LIANG Wentian, ZHANG Guowei, LU Rukui, et al. Magnetic Fabric Study of Wushan-Yuanyangzhen Tectonic Zone in the Northern Margin of West Qinling, China[J]. Earth Science Frontiers, 2008, 15(4): 298-306.
- 李永军, 陈永彬, 李英, 等. 西秦岭铁矿床成矿系列及其区域地质对比[J]. 长安大学学报(地球科学版), 2003, 25(1): 11-14.
- LI Yongjun, CHEN Yongbin, LI Ying, et al. The Iron Deposit Metallogenetic Series in the West Qinling and Its Significance in Regional Geological Comparison[J]. Journal of Chang'an University (Earth Science Edition), 2003, 25(1): 11-14.
- 刘家军, 郑明华, 周德安, 等. 拉尔玛金成矿带成矿流体氢氧同位素组成及其演化[J]. 长春科技大学学报, 1998, 28(1): 43-49.
- LIU Jiajun, ZHENG Minghua, ZHOU De'an, et al. The Components and Evolution of the Hydrogen and Oxygen Isotopes of Ore-forming Fluids from La'erma Gold Ore Belt[J]. Journal of Changchun University of Science and Technology, 1998, 28(1): 43-49.
- 刘家军, 刘建明, 周德安, 等. 西秦岭降扎地区金、铀矿床年代学对比研究[J]. 地质科学, 1998, 33(3): 300-309.
- LIU Jiajun, LIU Jianming, ZHOU De'an, et al. Comparative Chronological Study of the Gold and Uranium Deposits in Jiangzha, Western Qinling Mountains, China[J]. Scientia Geologica Sinica, 1998, 33(3): 300-309.
- 刘建宏, 张新虎, 赵彦庆, 等. 西秦岭成矿系列、成矿谱系研究及其找矿意义[J]. 矿床地质, 2006, 25(6): 727-734.
- LIU Jianhong, ZHANG Xinhui, ZHAO Yanqing, et al. A Study of Minerogenetic Series of West Qinling Region in Gansu Province and Its Ore-prospecting Significance[J]. Mineral Deposits, 2006, 25(6): 727-734.
- 刘巍, 郭丽爽, 廖延福, 等. 西秦岭中生代花岗岩锆石 U-Pb-Lu-Hf 同位素特征及地质意义[J]. 北京大学学报(自然科学版), 2020, 56(3): 436-448.
- LIU Wei, GUO Lishuang, LIAO Yanfu, et al. Zircon U-Pb-Lu-Hf Isotopic Characteristics and Geological Implications of Mesozoic Granites in Western Qinling[J]. Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinensis, 2020, 56(3): 436-448.
- 刘勇, 刘云华, 董福辰, 等. 甘肃枣子沟金矿床成矿时代精确测定及其地质意义[J]. 黄金, 2012, 11(33): 10-17.
- LIU Yong, LIU Yunhua, DONG Fuchen, et al. Accurate Dating of Mineralogenetic Epoch and Its Geological Significance in Zaozigou gold Deposit, Gansu Province[J]. Gold, 2012, 11(33): 10-17.
- 刘协鲁, 王义天, 胡乔青, 等. 陕西省凤太矿集区柴蚂金矿碳酸盐矿物的 Sm-Nd 同位素测年及意义[J]. 岩石学报, 2014, 30(1): 271-280.
- LIU Xielu, WANG Yitian, HU Qiaoqing, et al. Sm-Nd Isotopic Dating of Carbonate Minerals from the Chaima Gold Deposit in the Fengxian-Taibai Ore Concentration Area, Shaanxi Province and Its Implications[J]. Acta Petrologica Sinica, 2014, 30(1): 271-280.
- 刘东晓, 第鹏飞, 张鑫, 等. 甘肃早子沟金矿床成因——来自流体包裹体及 H-O-S 同位素的证据[J]. 兰州大学学报(自然科学版), 2019, 55(2): 168-175.
- LIU Dongxiao, DI Pengfei, ZHANG Xin, et al. Genesis of the Zaozigou gold deposit in Gansu Province: Evidences from Fluid Inclusions and H-O-S Isotopes[J]. Journal of Lanzhou University(Natural Sciences), 2019, 55(2): 168-175.
- 路英川, 刘家军, 张栋, 等. 西秦岭双册西砂卡岩型金铜矿床花岗闪长岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 定年、岩石成因和构造意义[J]. 岩石学报, 2017, 33(2): 545-564.
- LU Yingchuan, LIU Jiajun, ZHANG Dong, et al. Zircon U-Pb LA-ICP-MS Dating, Petrogenesis and Tectonic Im-

- plication of the Granodiorite at the Shuangpengxi Skarn Type Gold-copper Deposit, West Qinling[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2017, 33(2): 545-564.
- 路东宇, 叶会寿, 于森, 等. 西秦岭江里沟钨铜钼多金属矿床地质特征及辉钼矿 Re-Os 同位素年龄[J]. *地质学报*, 2015, 89(4): 731-746.
- LU Dongyu, YE Huishou, YU Miao, et al. Geological Features and Molybdenites Re-Os Isotopic Dating of the Jiangligou W-Cu-Mo Polymetallic Deposit, West Qinling [J]. *Acta Geologica Sinica*, 2015, 89(4): 731-746.
- 郎旭娟, 张发旺, 王贵玲. 贵德盆地热结构及地热成因机制 [J]. *地球学报*. 2017, 38(增 1): 43-46.
- LANG Xujuan, ZHANG Fawang, WANG Guiling. The Thermal Structure and Geothermal Genesis Mechanism in Guide Basin [J]. *Acta Geoscientica Sinica*. 2017, 38 (Suppl. 1): 43-46.
- 王义天, 李霞, 王瑞廷, 等. 陕西凤太矿集区丝毛岭金矿床成矿时代的 Ar-Ar 年龄证据[J]. *地球科学与环境学报*, 2014, 36(3): 61-72.
- WANG Yitian, LI Xia, WANG Ruiting, et al. Evidence of Ar-Ar Age for the Metallogenic Epoch of Simaoling Gold Deposit in Fengxian-Taibai Ore Cluster of Shaanxi [J]. *Journal of Earth Sciences and Environment*, 2014, 36(3): 61-72.
- 钱法荣, 周德安, 季洪芳. 西秦岭南亚带的碳硅泥岩型铀矿 [J]. *中国核科技报告*, 1996, (S1): 1-13.
- QIAN Farong, ZHOU Dean, JI Hongfang. The Siliceous-Calcareous-Argillaceous Rock Type Uranium Deposit in South Subzone of Western Qinling [J]. *China Nuclear Science and Technology Report*, 1996, (S1): 1-13.
- 闫海卿, 贺宝林, 刘巧峰, 等. 西秦岭大水金矿岩浆岩年代学、地球化学特征[J]. *地球科学与环境学报*, 2014, 36 (1): 98-110.
- YAN Haiqing, HE Baolin, LIU Qiaofeng, et al. Characteristics of Magmatic Geochronology and Geochemistry of Dashui Gold Deposit in West Qinling [J]. *Journal of Earth Sciences and Environment*, 2014, 36(1): 98-110.
- 张帆, 刘树文, 李秋根, 等. 秦岭西坝花岗岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年代学及其地质意义[J]. *北京大学学报(自然科学版)*, 2009, 45(5): 833-840.
- ZHANG Fan, LIU Shuwen, LI Qiugen, et al. LA-ICP-MS Zircon U-Pb Geochronology and Geological Significance of Xiba Granitoids from Qinling, Central China [J]. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinensis*, 2009, 45(5): 833-840.
- 陈永福, 张栋, 路英川, 等. 青海鄂拉山北段牦牛沟铜金矿辉钼矿 Re-Os 年龄及其地质意义[J]. *地球学报*, 2016, 37 (1): 69-78.
- CHEN Yongfu, ZHANG Dong, LU Yingchuan, et al. Re-Os Dating of Molybenite from the Maoniugou Cu-Au Ore Deposit in the Northern Part of the Ngola Mountain, Qinghai Province, and Its Geological Significance [J]. *Acta Geoscientica Sinica*, 2016, 37(1): 69-78.
- 邱昆峰, 李楠, Ryan DTAYLOR, 等. 西秦岭温泉钼矿床成矿作用时限及其对斑岩型钼矿床系统分类制约[J]. *岩石学报*, 2014, 30(9): 2631-2643.
- QIU Kunfeng, LI Nan, Ryan DTAYLOR, et al. Timing and duration of metallogeny of the Wenquan deposit in the West Qinling and its constrain on a proposed classification for porphyry molybdenum deposits [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2014, 30(9): 2631-2643.
- 唐显春, 王贵玲, 马岩, 等. 青海共和盆地地热资源热源机制与聚热模式[J]. *地质学报*, 2020, 94(7): 2052-2065.
- TANG Xianchun, WANG Guiling, MA Yan, et al. Geological model of heat source and accumulation for geothermal anomalies in the Gonghe basin, northeastern Tibetan Plateau [J]. *Acta Geologica Sinica*, 2020, 94 (7): 2052-2065.
- 王斌, 张栋, 路英川, 等. 青海加吾金矿床花岗斑岩脉锆石 U-Pb 年龄、Hf 同位素特征及其地质意义[J]. *矿物岩石*, 2015, 35(3): 52-60.
- WANG Bin, ZHANG Dong, LU Yingchuan, et al. Characteristics and Geological Significances of Zircon U-Pb Ages, Hf Isotope of Granite-porphry Vein in Jiawu Gold Deposits, Qinghai Province [J]. *Journal of Mineralogy and Petrology*, 2015, 35(3): 52-60.
- 王建中, 赵玉梅, 钱壮志, 等. 甘肃岷一礼成矿带钨矿地质特征及找矿方向[J]. *华东地质*, 2017, 38(4): 296-505.
- WANG Jianzhong, ZHAO Yumei, QIAN Zhuangzhi, et al. Geological features and prospecting direction of Tungsten deposits in the Min-Li metallogenic belt, Gansu Province [J]. *East China Geology*, 2017, 38 (4): 296-505.
- 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 Serries Group: Discassion Minerogenetic Serries (VI) [J]. *Acta Geologica Sinica*, 2020, 94 (1):

18-35.

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.

XU Zhigang, CHEN Yuchuan, WANG Denghong, et al. The Scheme of the Classification of the Minerogenetic Units in China [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2008.

徐凌云,姜桂华,李生永. 西秦岭地区热矿泉水成因及开发前景[J]. 勘察科学技术, 1997, (6): 9-12.

XU Lingyun; JIANG Guihua, LI Shengyong. Genesis and Prospect of Development of Hot Mineral Water in West Qinling District [J]. Site Investigation Science and Technology, 1997, (6): 9-12.

余超. 西秦岭寨上金矿床成矿特征与非线性成矿动力学研究[D]. 北京:中国地质大学, 2015.

YU Chao. Research on Metallogenic Character and Nonlinear Metallogenic Dynamics at the Zhaishang Gold Deposit, Western Qinling Mountains, China [D]. Beijing: China University of Geosciences, 2015.

杨拴海,李瑞保,王伟峰,等. 西秦岭西段曲如沟花岗闪长岩年代学、地球化学特征及构造意义研究[J]. 西北地质, 2015, 48(2): 57-72.

YANG Shuanhai, LI Ruibao, WANG Weifeng, et al. Geochronology, Geochemical Characteristics and Tectonic Significance of Qurugou Granodiorite in Western Section of West Qinling Orogen [J]. Northwestern Geology, 2015, 48(2): 57-72.

张玉龙,辛存林,席甲平. 甘肃省东部中川岩体内外带铀金成矿规律及其找矿判据[J]. 兰州大学学报(自然科学版), 2007, 43(6): 7-12.

ZHANG Yulong, XIN Cunlin, XI Jiaping. U-Au Metallogenic Pattern and Prospecting Criteria Inside and Outside Zone of Zhongchuan Rock Mass in East Gansu

Province [J]. Journal of Lanzhou University (Natural Sciences), 2007, 43(6): 7-12.

张涛,张德会,杨兵,等. 青海同仁县江里沟斑岩-矽卡岩型铜钨钼矿床辉钼矿 Re-Os 同位素年龄及其成矿意义 [J]. 地质学报, 2015, 89(2): 355-364.

ZHANG Tao, ZHANG Dehui, YANG Bing, et al. Re-Os Dating of Molybdenite from the Jiangligou Porphyry-Skarn Cu-W-Mo Deposit in Tongren, Qinghai Province and Its Metallogenic Significance [J]. Acta Geologica Sinica, 2015, 89(2): 355-364.

朱赖民,丁振举,姚书振,等. 西秦岭甘肃温泉钼矿床成矿地质事件及其成矿构造背景 [J]. 科学通报, 2009, 54(16): 2337-2347.

ZHU Laimin, DING Zhenju, YAO Shuzhen, et al. Ore-forming Event and Geodynamic Setting of Molybdenum Deposit at Wenquan in Gansu Province, Western Qingling [J]. Chinese Science Bulletin, 2009, 54(16): 2337-2347.

张森琦,吴海东,张杨,等. 青海省贵德县热水泉干热岩体地质-地热地质特征 [J]. 地质学报, 2020, 94(5): 1591-1605.

ZHANG Senqi; WU Haidong; ZHANG Yang, et al. Characteristics of regional and geothermal geology of the Reshuiquan HDR in Guide County, Qinghai Province [J]. Acta Geologica Sinica, 2020, 94(5): 1591-1605.

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.