

DOI: 10.12401/j.nwg.2023157

造山作用孕育“青海金腰带”

何书跃¹, 林贵^{1,*}, 钟世华^{2,3}, 白国龙¹, 张勇¹, 舒树兰⁴, 王丽君¹, 赵芙蓉¹

(1. 青海省第三地质勘查院, 青海 西宁 810029; 2. 中国海洋大学, 海底科学与探测技术教育部重点实验室, 山东 青岛 266100; 3. 中国海洋大学海洋地球科学学院, 山东 青岛 266100; 4. 青海省地质矿产勘查开发局, 青海 西宁 810008)

摘要: 青海省境内环绕柴达木盆地周边的金矿床十分发育, 是中国金矿的重要产地, 素有“金腰带”之称。通过对“青海金腰带”的区域地质、地球物理和地球化学特征分析, 认为青海“金腰带”的形成主要受两期造山作用控制。加里东期—华力西期, 柴达木陆块向北与欧龙布鲁克陆块碰撞, 导致原特提斯洋发生闭合, 形成柴北缘滩间山金矿田和赛坝沟金矿床; 印支期, 巴颜喀拉陆块向北与东昆仑陆块碰撞, 导致古特提斯洋发生闭合, 形成五龙沟、大场、沟里金矿田和满丈岗金矿床。综合前人研究成果, 笔者提出该地区金矿床的形成与壳幔相互作用密切相关, 幔源物质对金矿床的成矿流体及成矿物质均具有重要贡献, 主要金矿床的时空分布也与基性—超基性岩相关。因此, 基性—超基性岩发育的位置是在该地区寻找造山型金矿的有利地段。

关键词: 造山作用; 壳幔作用; 造山型金矿; 金腰带; 青海省

中图分类号: P618.51; P611

文献标志码: A

文章编号: 1009-6248(2023)06-0001-16

Geological Characteristics and Related Mineralization of “Qinghai Gold Belt” Formed by Orogeny

HE Shuyue¹, LIN Gui^{1,*}, ZHONG Shihua^{2,3}, BAI Guolong¹, ZHANG Yong¹, SHU Shulan⁴, WANG Lijun¹, ZHAO Furong¹

(1. The Third Geological Exploration Institute of Qinghai Province, Xining 810029, Qinghai, China; 2. Key Laboratory of Submarine Geosciences and Prospecting Techniques, Ministry of Education, Qingdao 266100, Shandong, China; 3. College of Marine Geosciences, Ocean University of China, Qingdao 266100, Shandong, China; 4. Bureau of Geology and Mineral Resources Exploration and Development of Qinghai Province, Xining 810008, Qinghai, China)

Abstract: The area surrounding the Qaidam basin, Qinghai Province, is characterized by occurrences of a large number of gold deposits, which is an importance source of gold deposits in China. This area is thus called the “Qinghai Gold Belt”. Based on regional geology, geophysical and geochemical features, this study reveals that the “Qinghai Gold Belt” was formed by two stages of orogenies. During the Caledonian–Hercynian, the collision between the Qaidam and Oulongbuluke blocks resulted in the closure of Proto–Tethys ocean, forming the Tanjianshan gold district and Saibagou gold deposit; during the Indosinian, the collision between the East Kunlun and Bayakara Block resulted in the closure of Proto–Tethys ocean, forming the Wulonggou, Dachang and Gouli gold districts and the Manzhanggang gold deposit. Combined with previously published data, it is de-

收稿日期: 2023-07-19; 修回日期: 2023-07-30; 责任编辑: 吕鹏瑞

基金项目: 国家自然科学基金重大研究计划项目(92062217), 青海省“昆仑英才·高端创新创业人才”项目(青地矿科[2022]32号)和“青海省乌兰县阿哈大洼地区1:2.5万地质矿产调查”(2022012015jc009)联合资助。

作者简介: 何书跃(1973–), 男, 正高级工程师, 从事地质矿产调查与研究。E-mail: hysysl@126.com。

*通讯作者: 林贵(1983–), 男, 工程师, 从事昆仑地区地质矿产调查与研究。E-mail: 136713227@qq.com。

duced that the formation of gold deposits in this area is closely related to crustal–mantle interaction, with mantle materials contributing a lot for the ore–forming fluids and materials. This is further demonstrated by the spatial and temporal correlation between gold deposits and mafic–ultramafic rocks. Therefore, the locations where mafic–ultramafic rocks occur are potential for the orogenic gold exploration.

Keywords: orogeny; crustal–mantle interaction; orogenic gold deposits; gold belt; Qinghai Province

青海省境内环绕柴达木盆地周边的金矿床十分发育,是中国金矿的重要产地,发育有全国第三大金矿床——大场金矿,同时在该地区也产有重达 23 kg 的狗头金,素有“金腰带”之称(Zhai et al., 2021; Xing et al., 2023; 谭文娟等, 2023)。截止目前,区内已探明金资源量约为 460 t, 约占青海省金矿总资源量 90%。金矿床集中产出在东昆仑的五龙沟–大场–沟里一带和柴北缘的滩间山–赛坝沟一带,延伸均在 500 km 以上,构成了 2 条引人注目的大型金成矿带(陈广俊, 2014; 张宇婷, 2018; 唐名鹰等, 2021),文中分别将其称之为“五龙沟–大场–沟里金腰带”和“滩间山–赛坝沟金腰带”。近年来,在“青海金腰带”的深部和空白区相继发现了新的矿体和矿点(潘彤等, 2022)。在滩间山金矿田中青龙沟金矿床 500 m 以下,新发现了资源量约 30 t 的大型矿体;在五龙沟金矿田百吨沟、红旗沟等矿床周边和深部也有新发现,新增加金资源量约为 20 t;在茫崖河东新发现 1 中型金矿(潘彤等, 2022)。可以预见,随着新一轮找矿突破战略行动任务的开展,在该地区还会有新的金矿床被发现。

相对于胶东地区等主要金矿分布区,目前“青海金腰带”的研究还十分薄弱。何种成矿地球动力学背景导致如此大量的金矿资源在此富集?不同产出位置、不同时代的金矿床在成因上有无异同?这些问题尚未解决。已有研究显示,金矿床的形成通常与幔源岩浆活动密切相关(Groves et al., 2016, 2020; Deng et al., 2020),如交代岩石圈地幔熔融产生的流体与壳源组分的相互作用被认为是华北克拉通北缘、东缘金爆发成矿的关键(翟明国等, 2004; 范宏瑞等, 2021; 白阳等, 2023),而“青海金腰带”的金矿床与幔源岩浆活动是否存在联系?幔源岩浆活动在“金腰带”的形成过程中发挥何种作用?对这些问题已往研究未曾重视。在区域地质调查基础上,综合已有的地球物理和地球化学资料,试图探讨“青海金腰带”的富集成矿机制和成矿特点,揭示成矿地球动力学背景,厘定金矿床成因,明确找矿方向,为找矿靶区圈定提供依据,从而实现该地区金资源的增储上产,更好地服务

“新一轮找矿突破战略行动”。

1 “青海金腰带”的区域地质概况

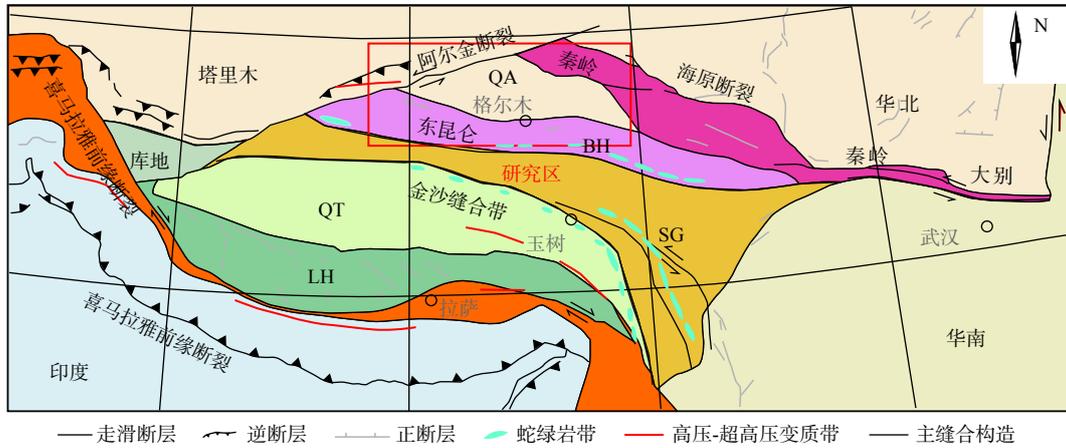
“青海金腰带”位于中国大陆中西部、华北克拉通南缘,呈 NWW–SEE 向展布, N–NE 侧与祁连造山带相接,南以康西瓦–修沟–磨子潭地壳对接带为界与北羌塘–三江造山系相邻,属于中央造山带(殷鸿福等, 1998; 姜春发, 2002)或中央造山系(张国伟等, 2003)的北段(图 1)。程裕淇等(1995)认为,该地区是由原特提斯洋、古特提斯洋在不同时期、不同位置更叠演变的记录,也是塔里木、华北、扬子和羌塘–唐古拉 4 个陆块在不同时期相互作用和叠加的结果。

柴达木盆地及周边的基底地层明显有别于华北克拉通,是泛华夏陆块群的成员,多部位不同程度裂解,表明克拉通成熟度低,这与华北克拉通成熟度高、完整性好的特点形成鲜明对照。前人研究发现,该地区发育大量的大洋中脊扩张型蛇绿岩、岛弧岩浆杂岩、弧后扩张脊蛇绿岩以及高压、超高压变质岩类、裂谷盆地等。这些地质记录表明在震旦纪—早古生代早期,该地区深部可能存在一个古地幔热柱(莫宣学, 2005),并在中奥陶世随着洋壳消减地幔热柱的能量耗散而转变为地幔冷柱。志留纪末,板块内各陆块拼合,成为东冈瓦纳大陆的一部,陆块的范围大体分布在东昆中断裂以北,由祁连、欧龙布鲁克、柴达木、东昆中陆块组成。随后,在晚二叠世—早中三叠世,巴颜喀拉洋闭合,巴颜喀拉陆块与昆仑陆块拼合。从印支晚期开始,该地区从挤压构造体制向伸展构造体制转化,岩石圈拆沉及幔源岩浆的底侵作用导致地幔物质上涌(Chen et al., 2023),发生广泛地壳–幔相互作用,形成一系列热液矿床(Zhong et al., 2021)。

据《中国区域地质志·青海卷》(祁生胜等, 2019)划分方案,从青海成矿规律及成矿特征出发,依据区域成矿的地质构造环境、矿床时空分布规律及区域成矿作用的性质、产物、强度等特点。此次工作将研究区大地构造单元划分为 3 个一级构造单元, 12 个二级

构造单元, 28 个三级构造单元(表 1, 图 2)。金矿床主要分别于秦祁昆造山系柴北缘造山带滩间山岩浆弧、

柴北缘蛇绿混杂岩带, 秦祁昆造山系东昆仑造山带昆北复合岩浆弧、鄂拉山岩浆弧以及北羌塘-三江造山



LH. 拉萨地块; QT. 羌塘地块; SG. 松潘-甘孜地块; BH. 巴颜喀拉地块; QA. 柴达木盆地

图 1 “青海金腰带”大地构造位置图(马昌前等, 2013)

Fig. 1 Tectonic map of the “Qinghai Gold Belt”

表 1 研究区构造单元划分表

Tab. 1 Division Table of tectonic units in the studying area

一级	二级	三级
秦祁昆造山系(I)	阿尔金造山带(I-1)	阿帕-茫崖蛇绿混杂岩带(I-1-1)($\epsilon-O$)
	北祁连造山带(I-2)	冷龙岭岛弧(I-2-3)(O)
	中-南祁连造山带(I-3)	达坂山-玉石沟蛇绿混杂岩带(I-2-4)($\epsilon-O$)
		中祁连岩浆弧(I-3-1)(O-S)
	全吉地块(I-4)	党河南山-拉脊山蛇绿混杂岩带(I-3-2)($\epsilon-O$)
		南祁连岩浆弧(I-3-3)(O-S)
	柴北缘造山带(I-5)	宗务隆山陆缘裂谷带(I-3-4)(C-P ₂)
	柴达木地块(I-6)	欧龙布鲁克被动陆缘(I-4-1)($\epsilon-O$)
东昆仑造山带(I-7)	滩间山岩浆弧(I-5-1)(O)	
	柴北缘蛇绿混杂岩带(I-5-2)($\epsilon-O$)	
	柴达木新生代断陷盆地(I-6-1)	
	祁漫塔格-夏日哈岩浆弧(I-7-1)(O-S)	
	十字沟蛇绿混杂岩带(I-7-2)($\epsilon-O$)	
西秦岭造山带(I-8)	昆北复合岩浆弧(I-7-3)(P ₅ , O-S, P-T)	
	鄂拉山岩浆弧(I-7-4)(T)	
康西瓦-修沟-磨子潭地壳对接带(II)	苦海-赛什塘蛇绿混杂岩带(I-7-5)(C-P ₂)	
	泽库复合型前陆盆地(I-8-1)(T)	
北羌塘-三江造山系(III)	昆南俯冲增生杂岩带(II-1)	纳赤台蛇绿混杂岩带(II-1-1)(P ₅ , $\epsilon-O$)
	阿尼玛卿-布青山俯冲增生杂岩带(II-2)	马尔争蛇绿混杂岩带(II-2-1)(C-P ₂)
	巴颜喀拉地块(III-1)	玛多-玛沁前陆隆起(III-1-1)(P-T ₁₋₂)
		可可西里前陆盆地(III-1-2)(T ₃)
	三江造山带(III-2)	歇武(甘孜-里塘)蛇绿混杂岩带(III-2-1)(T ₂₋₃)
		结古-义敦岛弧带(III-2-2)(T ₃)
		通天河(西金乌兰-玉树)蛇绿混杂岩带(III-2-3)(C-P ₂)
巴塘陆缘弧带(III-2-4)(T ₃)		
沱沱河-昌都弧后前陆盆地(III-2-5)(Mz)		
	开心岭-杂多陆缘弧带(III-2-6)(P ₁₋₂ -T)	
	乌兰乌拉湖蛇绿混杂岩带(III-2-7)(T ₂₋₃)	

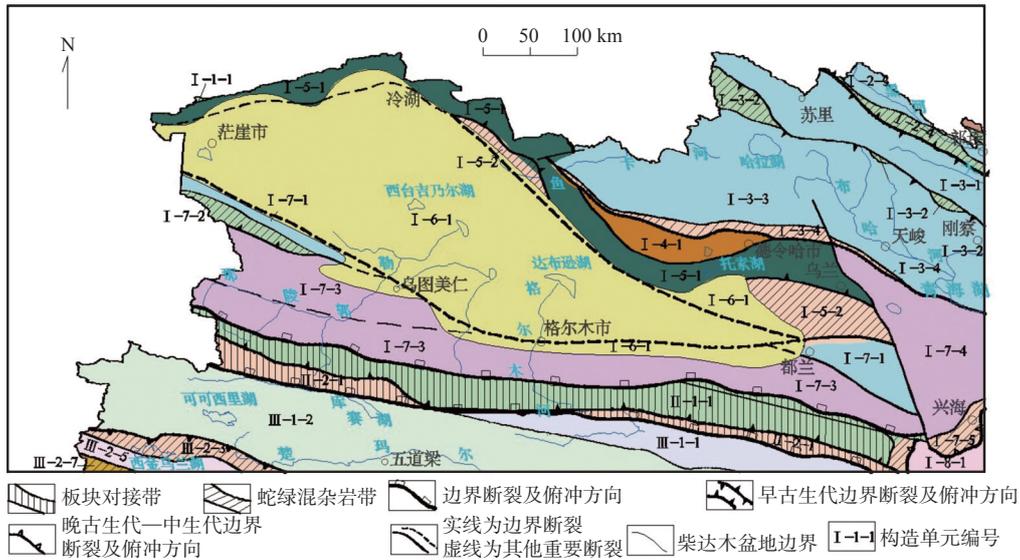


图2 “青海金腰带”构造单元图(构造单元编号对应的名称见表1)

Fig. 2 Tectonic unit map of the “Qinghai Gold Belt” (the corresponding names of the tectonic units same as the Table 1)

系巴颜喀拉地块中的的玛多-玛沁前陆隆起。

研究区内的断裂构造按照其成因和发育规模可以划分为3级,其中一级和二级断裂为岩石圈断裂或超岩石圈断裂,三级断裂为基底断裂和有特殊地质意义的其他重要断裂(图3)。这些断裂控制了沉积作用和基性—超基性岩浆活动等,使得构造单元的不同部位形成不同的沉积-岩浆组合,进而控制了矿产的时空分布。其中,柴北缘-夏日哈断裂控制了滩间山金矿田和赛坝沟金矿床的产出,昆中断裂控制了五龙沟和沟里金矿田矿床的产出,哇洪山断裂控制了满丈岗

金矿床的产出,而玛多-甘德断裂控制了大场金矿田的形成。此外,受深大断裂带或板块缝合带等控制,区内基性岩-超基性岩在柴北缘-沙柳河、南昆仑(布尔汉布达山)、布青山-阿尼玛卿山等地区零星出露。滩间山、五龙沟、大场、目前沟里金矿田和赛坝沟、满丈岗金矿床周边均发育基性-超基性岩脉群(图3),暗示深大断裂控制的幔源岩浆活动与金矿床形成有关。

研究区为秦祁昆构造域与特提斯超构造域的结合部位,主体属秦祁昆构造域。根据中国成矿区带划分原则,结合《中国地质矿产志·青海卷》(潘彤等,

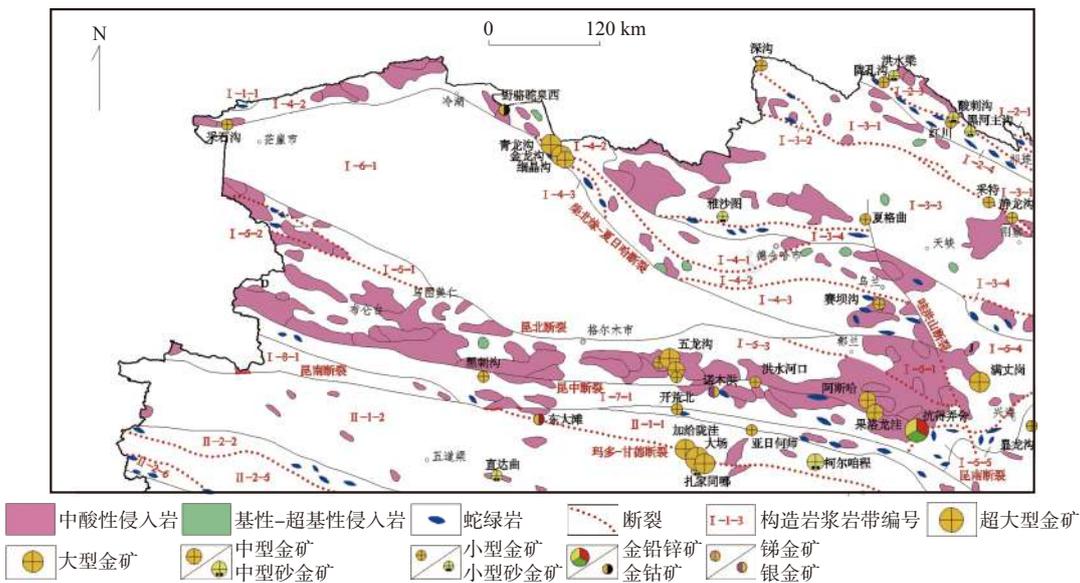


图3 “青海金腰带”侵入岩分布图

Fig. 3 Distribution map of intrusive rocks from the “Qinghai Gold Belt”

2022)成果和最新的物化探资料成果,将研究区成矿单元划分为阿尔金-祁连、昆仑、巴颜喀拉-松潘和喀喇崑 4 个 II 级成矿省,13 个 III 级成矿带(表 2,图 4)。

滩间山金矿田和赛坝沟金矿床三级成矿带属于柴北缘成矿带中的柴达木盆地北缘金成矿带,四级成矿亚带为绿梁山-阿尔茨托山 Cu-Pb-Zn-Au-Mn-Fe-Cr-Ti-稀有-U 成矿亚带。五龙沟金矿田和沟里金矿田三级成矿带属于东昆成矿带中的东昆仑金成

矿带,四级成矿亚带为伯喀里克-香日德 Au-Cu-Pb-Zn-Fe-Ni-Ag-W-Mo-石墨-萤石-玉石-煤-花岗岩成矿亚带。满丈岗金矿床三级成矿带属于东昆成矿带中的东昆仑金成矿带,四级成矿亚带为向前沟-满丈岗 Au-Ag-Fe-Cu-Pb-Zn-花岗岩成矿亚带。大场金矿田三级成矿带属于北巴颜喀拉成矿带中的北巴颜喀拉-马尔康金成矿带,四级成矿亚带为东大滩-年保玉则 Au-Sb-泥碳成矿亚带。

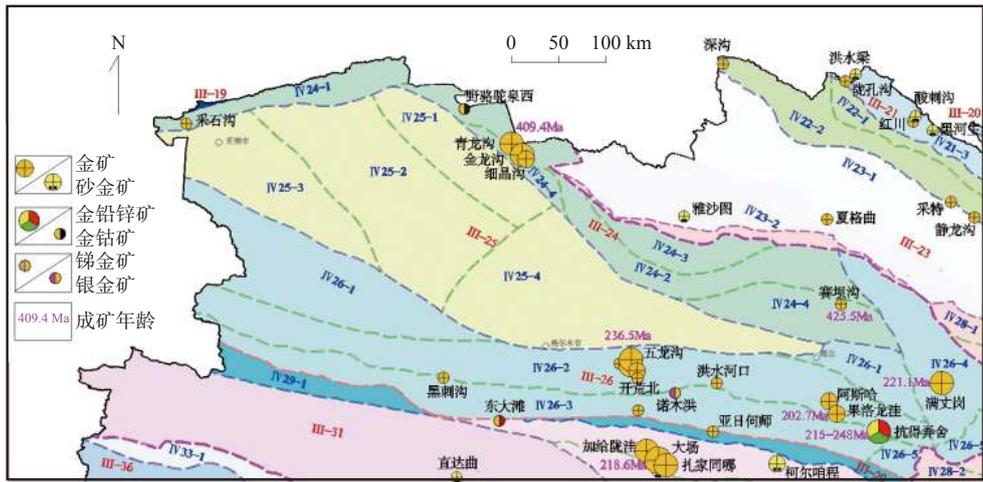


图 4 “青海金腰带”成矿带划分图(成矿单元编号对应的名称见表 2)

Fig. 4 Metallogenic unit map of the “Qinghai Gold Belt” (the corresponding names of the metallogenic units same as the Table 2)

2 金矿床地质、地球物理和地球化学特征

2.1 矿床地质特征

以昆南断裂为界,“青海金腰带”南、北分属特提斯和秦祁昆两大成矿域(表 2,图 4)。“青海金腰带”北部经历了前南华纪陆块增生和陆壳汇聚、原特提斯洋扩张与闭合、陆陆碰撞和中新代陆内构造发展的复杂演化过程。该地区在志留纪—泥盆纪和三叠纪均发育热液成矿作用,形成了五龙沟金矿田、滩间山金矿田、沟里金矿田、赛坝沟金矿床和满丈岗金矿床等。“青海金腰带”南部在晚古生代到新生代期间,主要经历了古、新特提斯洋扩张与闭合过程中,历经 2 次大规模的板块俯冲、碰撞。与“青海金腰带”北部不同,南部目前仅发现三叠纪大规模金成矿作用,产出大场金矿田等。砂金矿成矿时代都为第四纪(表 3,图 3)。成矿类型主要为浅成中-低温热液型和岩浆热液型为主,矿化较单一,以金为主,共生银铅锌。

“青海金腰带”内金矿集中产于造山带构造背

景,与活动大陆边缘(特别是岛弧)金矿床特征一致。金矿对围岩没有选择性,无特定的矿源层,但含矿地层和岩体中 Au 的含量较高。与金矿密切相关的岩浆岩主要为加里东期以及印支期中酸性花岗岩类和基性岩墙或岩脉,如赛坝沟金矿与加里东期花岗岩,五龙沟金矿与印支期花岗岩密不可分。构造对金矿床的形成至关重要,不同级别的构造对金矿床的控制作用不同。大型构造控制了金矿床物质(侵入岩体、成矿流体)的运移,大型构造不仅是金矿床的物质运移的通道,也是储矿空间,中小型构造一般仅是储矿构造,穹窿(式)构造、背斜(形)构造、构造混杂岩带和先存的韧性剪切带是有利的控矿构造。例如,甘德-玛多主干断裂及其次级断裂对大场金矿田的金矿床形成起到宏观控制作用,控制了成矿侵入体的来源、分布,控制了金矿床的储矿、控矿构造规模、特征及空间分布等;大型断裂的次一级或更次一级的构造具体控制者矿体的产出部位,如五龙沟地区 NW-NWW 向弧形构造系统、滩间山金矿田和赛坝沟金矿床的 NW-NWW 向构造系统等。此外,韧性剪切构造对岩浆热液型金矿床的形成也具有重要控

表 2 研究区成矿单元划分表

Tab. 2 Division of metallogenic units in the studying area

I级成矿域	II级成矿省	III级成矿带	IV级成矿亚带
编号	名称	编号	名称
		III-19	阿尔金成矿带(青海段)
		III-20	河西走廊Cu-U-煤成矿带(青海段)
	II-5阿尔金-祁连山(造山带)成矿省	III-21	北祁连Au-Cu-Pb-Zn-Fe-Cr-煤-石棉-硫铁矿成矿带(青海段)
		III-22	中祁连Au-Cu-煤-石英岩-大理岩-石灰岩-石膏-黏土成矿带(青海段)
		III-23	南祁连Au-Ni-Pb-Zn-磷-石灰岩-花岗岩-石英岩成矿带(青海段)
		III-24	柴达木盆地北缘Au-Pb-Zn-Ti-Mn-Fe-Cr-Cu-W-稀有-煤-石棉-滑石-硫铁矿-石灰岩-大理岩成矿带
I-2秦祁昆成矿域		IV-21-1	走廊南山北坡Cu-Cr-Fe-煤成矿亚带
		IV-21-2	走廊南山南坡Au-Fe-Cu-Pb-Zn-板岩成矿亚带
		IV-21-3	托米山-大坂山Au-Cu-Pb-Zn-Fe-Cr-石棉-煤-玉石成矿亚带
		IV-22-1	南杂日岛-花石峡W-Fe-煤炭-玄武岩-石英岩-石灰岩-白云岩成矿亚带
		IV-22-2	木里-海晏Au-Ag-Ti-煤-石灰岩-白云岩成矿亚带
		IV-23-1	哈拉湖-龙门Au-Pb-Zn-Fe-Cu-W-煤-石灰岩成矿亚带
		IV-23-2	居洪图-石乃亥Au-Cu-硼-脉石英成矿亚带
		IV-24-1	俄博梁石棉-Au-Cu-石油-煤-石墨-白云母成矿亚带
		IV-24-2	赛什腾山-布昂特山Au-Cu-Pb-Zn-Fe-Mn-稀有-煤-盐类-重晶石-绿松石-红蓝宝石-石灰岩-大理岩-蛇纹岩成矿亚带
		IV-24-3	欧龙布鲁克煤-磷-石灰岩-白云岩-(Fe-粘土)成矿亚带
		IV-24-4	绿梁山-阿尔茨托山Cu-Pb-Zn-Au-Mn-Fe-Cr-Ti-稀有-U-煤-石油-蛇纹岩-石灰岩成矿亚带
	II-6东昆仑(造山带)成矿省	IV-25-1	柴西北石油-天然气-钾盐-钠盐-镁盐-硼成矿亚带
		IV-25-2	柴中钾盐-钠盐-锂盐-石油-天青石-芒硝成矿亚带
		IV-25-3	昆北石油、天然气-硼-盐矿-芒硝成矿亚带
		IV-25-4	达布逊湖钾镁盐-盐矿-天然气-天然碱成矿亚带
		IV-26-1	祁曼塔格-都兰Ni-Fe-Cu-Pb-Zn-W-Sn-Co-Bi-Au-Ag-Mo-硅灰石-白云岩-石灰岩-顶岩气-重晶石-大理岩-石英-石墨-硫铁矿成矿带(青海段)
		IV-26-2	伯喀里克-香日德Au-Cu-Pb-Zn-Fe-Ni-Ag-W-Mo-石墨-萤石-玉石-花岗岩成矿亚带
		IV-26-3	东昆仑南部Cu-Au-Co-Ni-W-Fe-Mn-V-Mo-石墨-大理岩-玉石-石灰岩-煤成矿亚带
		IV-26-4	向前沟-满丈岗Au-Ag-Fe-Cu-Pb-Zn-花岗岩成矿亚带
		IV-26-5	智益-铜峪沟Cu-Pb-Zn-Ag-Sn-Hg-重晶石-萤石-白云母-煤成矿亚带
		IV-29-1	布喀大阪Au-石膏成矿亚带
		IV-29-2	布青山-积石山Cu-Co-Zn-Au-煤成矿亚带
	II-8巴颜喀拉-松潘成矿省	IV-30-1	东大滩-年保玉则Au-Sb-泥炭成矿亚带
		IV-30-2	雅拉达泽-班玛Au-泥炭成矿亚带
I-3特提斯成矿域		III-31	南巴颜喀拉-雅江砂金-Sb-石膏-水晶-粘土成矿带(青海段)
	II-9喀喇昆仑-三江成矿省	III-33	金沙江Fe-Ag-Cu-砂金-石灰岩-粘土成矿带(青海段)
		III-36	昌都-普洱Pb-Zn-Mo-Cu-Ag-Fe-砂金-煤-硫铁矿-盐类-石膏成矿带(青海段)

表3 研究区主要金矿床特征表

Tab. 3 Summary of the characteristics of the main gold deposits in the study area

序号	矿床名称	东经(E)	北纬(N)	类型	成矿时代	规模	含矿建造
1	祁连县陇孔沟金矿床	983 318	385 430	岩浆热液型	O	小型	阴沟群; 加里东期侵入岩
2	祁连县红川金矿床	992 139	383 005	岩浆热液型	O	小型	阴沟群; 加里东期侵入岩
3	天峻县深沟金矿床	970 340	390 540	岩浆热液型	O	小型	阴沟群; 加里东期侵入岩
4	天峻县夏格曲金矿床	981 726	373 515	岩浆热液型	S	小型	托赖岩群; 加里东期侵入岩
5	刚察县采特金矿床	994 700	374 300	岩浆热液型	T	小型	盐池湾群; 印支期侵入岩
6	刚察县静龙沟金矿床	1 000 330	373 330	岩浆热液型	T	小型	托赖岩群; 加里东期侵入岩
7	茫崖行委采石沟金矿床	903 231	382 420	岩浆热液型	S	小型	达肯大坂群; 加里东期侵入岩
8	冷湖行委野骆驼泉西金钴矿床	935 434	383 900	岩浆热液型	T	小型	达肯大坂群; 印支期侵入岩
9	大柴旦行委青龙沟金矿床	942 924	381 926	岩浆热液型	409.4 Ma (张德全等, 2005)	大型	万洞沟群; 华力西期侵入岩
10	大柴旦行委金龙沟金矿床	943 710	381 302	岩浆热液型	D	大型	万洞沟群; 华力西期侵入岩
11	大柴旦行委细晶沟金矿床	943 722	381 235	岩浆热液型	D	中型	万洞沟群; 华力西期侵入岩
12	乌兰县赛坝沟金矿床	982 550	364 555	岩浆热液型	425.5 Ma (张德全等, 2005)	小型	加里东期侵入岩
13	格尔木市黑刺沟金矿床	934 356	360 400	岩浆热液型	T	小型	中下三叠统洪水川组
14	都兰县打柴沟金矿床	954 819	361 323	岩浆热液型	S	小型	白沙河岩组; 加里东期侵入岩
15	都兰县五龙沟金矿床	955 556	361 230	岩浆热液型	236.5 Ma (丰成友等, 2002)	大型	白沙河岩组; 印支期侵入岩
16	都兰县岩金沟金矿床	955 616	361 544	岩浆热液型	T	大型	白沙河岩组; 印支期侵入岩
17	都兰县百吨沟金矿床	960 035	360 905	岩浆热液型	T	中型	丘吉东沟组; 印支期侵入岩
18	都兰县哈西哇金矿床	960 056	360 500	岩浆热液型	T	小型	印支期侵入岩
19	都兰县开荒北金矿床	960 122	354 629	岩浆热液型	T	小型	闹仓坚沟组; 印支期侵入岩
20	都兰县洪水河口金矿床	965 649	360 156	岩浆热液型	T	小型	白沙河岩组; 印支期侵入岩
21	都兰县阿斯哈金矿床	981 548	355 021	岩浆热液型	T	中型	白沙河岩组; 印支期侵入岩
22	都兰县果洛龙洼金矿床	982 053	354 259	岩浆热液型	202.7 Ma (肖晔等, 2014)	中型	白沙河岩组; 印支期侵入岩
23	兴海县满丈岗金矿床	993 530	355 854	岩浆热液型	T	大型	鄂拉山组; 侵入岩
24	都兰县亚日何师金矿床	965 356	353 400	岩浆热液型	T	小型	马尔争组
25	曲麻莱县加给陇洼金矿床	960 711	352 306	浅成中-低 温热液型	T	大型	昌马河组
26	曲麻莱县大场金矿床	961 526	351 734	浅成中-低 温热液型	218.6 Ma (张德全等, 2005)	超大型	昌马河组
27	格尔木市东大滩锑金矿床	942 353	353 948	浅成中-低 温热液型	T	小型	马尔争组
28	玛多县抗得弄舍金多金属矿床	985 001	353 200	浅成中-低 温热液型	215~248 Ma (秦燕等, 2023)	大型	红水川组; 印支期侵入岩
29	曲麻莱县扎加同哪金矿床	962 043	351 445	浅成中-低 温热液型	T	大型	昌马河组
30	曲麻莱县直达曲砂金矿床	935 453	350 640	砂矿型	Q	小型	
31	德令哈市雅沙图砂金矿床	963 429	373 803	砂矿型	Q	小型	
32	祁连县黑河主沟砂金矿床	993 543	382 429	砂矿型	Q	小型	
33	玛多县柯尔咱程砂金矿床	973 826	351 500	砂矿型	Q	中型	
34	曲麻莱县索哇日鄂曲砂金矿床	961 521	351 050	砂矿型	Q	小型	
35	祁连县洪水梁砂金矿床	984 057	385 812	砂矿型	Q	小型	
36	祁连县酸刺沟砂金矿床	992 340	383 303	砂矿型	Q	小型	

制作用,如五龙沟金矿田。该地区金矿床的围岩蚀变主要表现为硅化、黄铁绢英岩化和高岭土化等。

2.2 地球物理特征

“青海金腰带”的1:100万布格重力异常(图5)总体显示较大的负值,重力场表现为重力低(潘彤等,2022),反映了研究区巨厚的地壳结构,异常等值线总体呈NE、NWW向,与区域构造线方向基本一致。由剩余重力异常显示,柴北缘重力场在柴达木盆地北缘部分表现为明显的重力高异常带,走向近EW向,约在E 94°处开始转向NW走向,重力场值为 $-400 \times 10^{-5} \sim -385 \times 10^{-5} \text{ m/s}^2$,推测为柴达木盆地北缘结晶基底抬升。滩间山金矿田位于柴达木盆地北缘鱼卡一带,重力场表现为重力低。在近SN向重力异常梯级带上,重力场值为 $-390 \times 10^{-5} \sim -400 \times 10^{-5} \text{ m/s}^2$;赛坝沟金矿床位于柴达木盆地北缘乌兰一带,在近EW向的重力异

常梯级带上,重力场值为 $-430 \times 10^{-5} \sim -450 \times 10^{-5} \text{ m/s}^2$;五龙沟金矿田位于柴达木盆地南缘大格勒一带,在近EW向的重力异常梯级带上,重力场值为 $-420 \times 10^{-5} \sim -430 \times 10^{-5} \text{ m/s}^2$,沟里金矿田与五龙沟金矿田重力特征基本一致;满丈岗金矿床位于柴达木盆地东缘大河坝一带,在近N向的重力异常梯级带上,重力场值为 $-430 \times 10^{-5} \sim -450 \times 10^{-5} \text{ m/s}^2$,与赛坝沟金矿床位于相同的重力梯度带;大场金矿田位于盆地南缘麻多一带,在近EW向的重力异常梯级带上,重力场值为 $-490 \times 10^{-5} \sim -500 \times 10^{-5} \text{ m/s}^2$ 。通常认为,重力低异常反映了岛弧火山盆地的构造形态及其轮廓。从南至北金矿床重力值在 $-500 \times 10^{-5} \sim -385 \times 10^{-5} \text{ m/s}^2$ 之间逐渐变高,可能意味着结晶基底向北逐步抬升,岛弧火山盆地规模逐渐扩大,暗示地幔熔体逐步增多,金矿成矿能力可能得到增强。

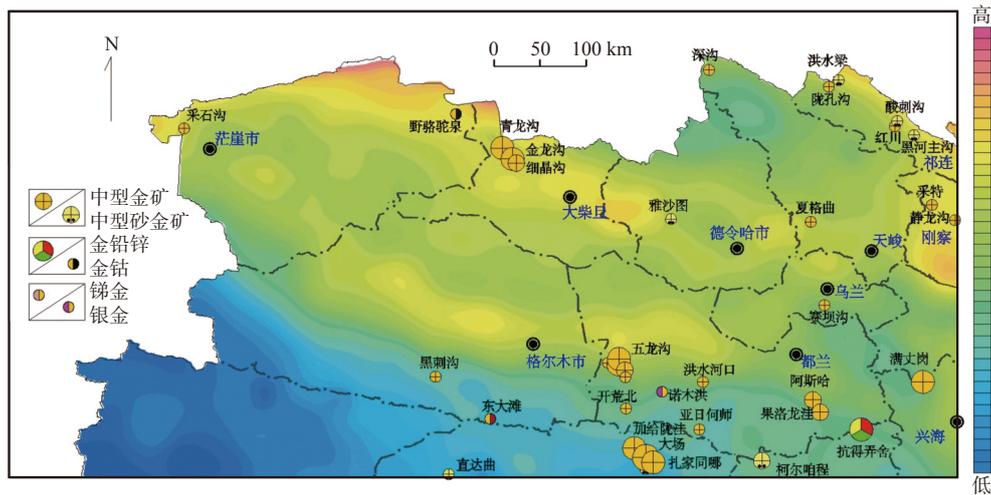


图5 “青海金腰带”布格重力异常图(据潘彤等,2022)

Fig. 5 Bug gravity anomaly map of the “Qinghai Gold Belt”

研究区航磁异常为串珠状、正负相间的条带状异常,近EW向展布,大约在E 94°处开始转向NW向,异常强度为 $-150 \sim 100 \text{ nT}$ (图6)。滩间山金矿田、五龙沟金矿田、沟里金矿田、大场金矿田和赛坝沟、满丈岗金矿床均位于串珠状、正负相间的条带状异常边缘,以NW-SE向展布为主(局部近NS向展布),异常强度为 $-50 \sim 100 \text{ nT}$ 。金矿床从南至北正磁异常值在 $-50 \sim 50 \text{ nT}$ 之间逐渐变高,也与重力异常反映的结晶基底向北逐步抬升,幔源物质逐渐增多,金矿成矿能力可能得到增强是一致的。

研究区莫霍面总体特征是南深北浅,西深东浅(图7);在缝合带附近莫霍面出现错断现象,断距可达10 km以上;在块体内部具有起伏不平的特点(潘

彤等,2022)。已发现的大型以上金矿床,大场金矿田最深约为66 km,上地幔顶部的速度为8 km/s;滩间山金矿最浅约为59 km,上地幔顶部的速度为7.8 km/s。

重磁和莫霍面等深特征表明,“青海金腰带”的金矿集中产出地段与地表断裂位置基本吻合;E 94°、E 98°位置受一系列SN向断裂错动,自西向东逐段向南位移。E 98°以西表现为十分醒目和完整的巨大重力梯度带,以东表现为等值线相对密集带。密度界面向下延伸53~60 km,沿断裂有连续性很好的条带状和串珠状航磁异常成带分布,磁力梯度带与重力梯度带大部分重合,磁场特征也呈现中间高两边低的特点,控矿断裂均位于莫霍面变异带上,断面都向北陡倾,切割莫霍面,且两侧速度结构差异明显,同一速度层

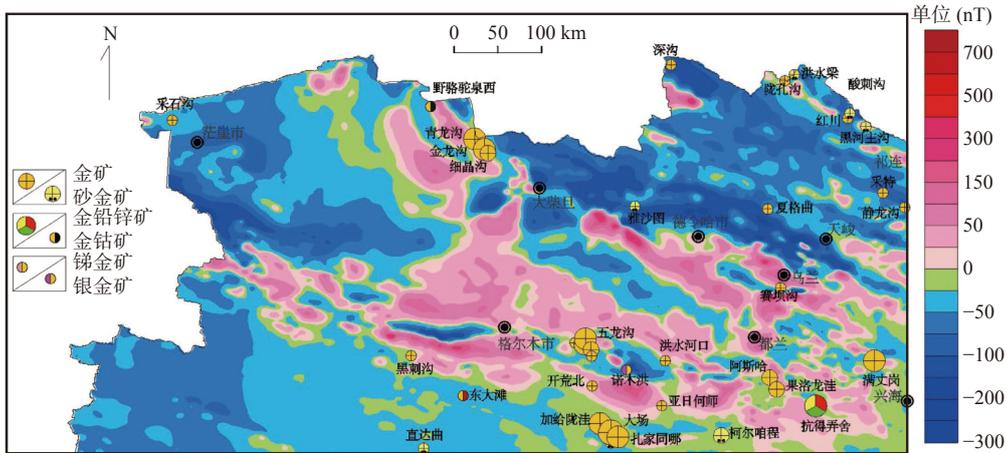


图 6 “青海金腰带”航磁异常图(据潘彤等, 2022)

Fig. 6 Aeromagnetic anomaly map of the “Qinghai Gold Belt”

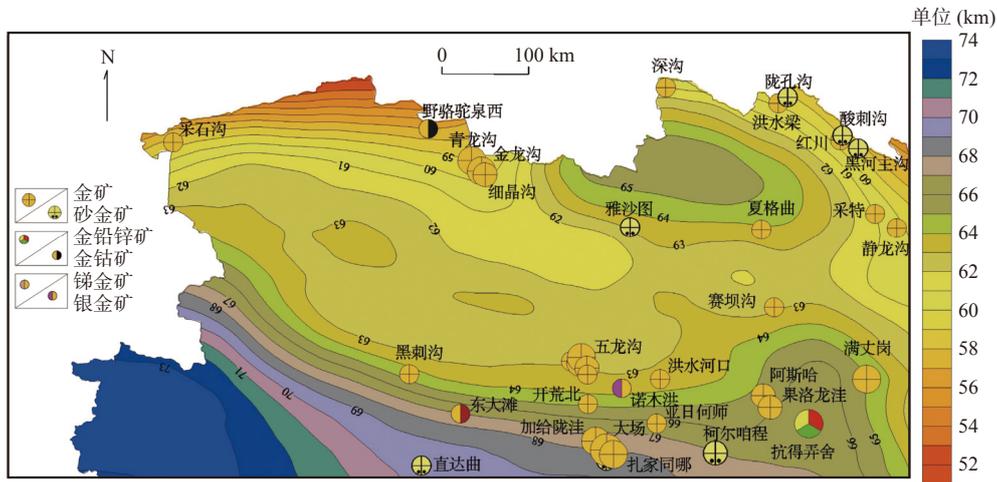


图 7 “青海金腰带”莫霍面等深图(据潘彤等, 2022)

Fig. 7 Moho bathymetric map of the “Qinghai Gold Belt”

产生错位。重力场北高南低,地壳厚度总体是北薄南厚,但不同地段又有差异。滩间山金矿田地壳最薄,地壳厚度约为 59 km;大场金矿田地壳最厚,约为 66 km。研究区重磁场特征和莫霍面结构特征等资料反映,北部秦祁崑成矿域是一个巨型的岩石圈尺度的不连续;南部的特提斯成矿域是一个大型的岩石圈尺度的不连续,成矿域内的金矿床分布与岩石圈不连续密切相关(图 7)。

2.3 1 : 20 万水系沉积物测量金地球化学特征

《中国矿产地志·青海卷》1 : 20 万地球化学特征显示(表 4)(潘彤等, 2022), Au 元素平均含量在巴颜喀拉地块显示为整体最低背景,局部强烈富集特征;在东昆仑造山带, Au 元素显示为整体低背景局部富集特征。在阿尔金-祁连造山带, Au 元素显示为整体中高背景,并在北祁连造山带显示出带状富集的特征。

总的来说,“青海金腰带”的金具由南向北、自西向东逐渐富集的特征。Au 元素异常展布方向与区域构造线北西方向一致,呈串珠状分布,金矿床一般位于 Au 元素地球化学异常内(Au 异常平均值为 $20 \times 10^{-9} \sim 100 \times 10^{-9}$),个别位于异常边部(Au 异常平均值小于 20×10^{-9});元素组合自南向北也具较明显的分带,南部大场矿田为 Au-As-Sb-Hg 组合→北部滩间山矿田为 Au-As-Sb 组合,暗示金矿床从南至北成矿温度有逐渐变高的趋势,地幔物质逐渐增多,幔源物质参与金矿成矿作用增大。与地球物理特征显示幔源物质变化的结果基本一致。

2.4 成矿流体和成矿物质来源

“青海金腰带”金矿床成矿流体的 δD 值为 $-48.6\% \sim -106\%$, $\delta^{18}O_{H_2O}$ 值为 $3.45\% \sim 19.7\%$ (表 5),表明与造山型金矿特征一致,“青海金腰带”金矿床的成矿

表4 研究区金地球化学参数特征表

Tab. 4 Characteristic table of gold geochemical parameters in the study area

元素	阿尔金-祁连地球化学省		东昆仑地球化学省		巴颜喀拉-松潘地球化学省	
	变化系数	相对丰度	变化系数	相对丰度	变化系数	相对丰度
Au	1.7	1.07×10^{-9}	3.4	1.05×10^{-9}	1.63	0.99×10^{-9}

流体来源以岩浆水+大气水(+变质水)组合为主(赵俊伟, 2008; 夏锐等, 2013; 陈广俊, 2014; 李金超, 2017; 戴荔果, 2019)。硫化物 S 同位素值为-4‰~10‰(表5), 表明 S 的来源具有以岩浆为主的壳幔混合源特征, 并且海水成因硫、表生成因硫对成矿过程的影响由柴北缘断裂至甘德-玛多断裂逐渐增强。硫化物 Pb 同位素变化范围也与造山型金矿十分类似, 并且表现出地幔铅由南向北逐渐增多的趋势, 其中($^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$)_i 值为 18.093~18.379, ($^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$)_i 值为 15.542~15.596, ($^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$)_i 值为 37.901~38.539。此外, 流体包裹体研究表明, “青海金腰带”由南向北, 成矿流体温度逐步增加、成矿压力逐渐减弱, 流体不混溶以及大气水加入成矿流体是造成金沉淀的主要机制。主成矿阶段成矿压力、成矿深度与估算的剥蚀深度对比分析表明, 巴颜喀拉、滩间山、五龙沟、沟里、赛坝沟和满丈岗地区仍具有良好的深部找矿潜力。

3 讨论

3.1 矿床成因

造山型金矿床的本质其实就是由造山作用(如地壳加厚、洋脊俯冲以及下地壳拆沉等)引起的地壳中的强大热流所诱发的大规模流体成矿事件(Goldfarb et al., 2005)。两次特提斯大洋板块的北向俯冲提供了地体北漂的驱动力, 俯冲板片断离导致板片拉力剧降甚至消失, 而洋脊推力和大尺度地幔流牵引力等诱发新的板块俯冲, 驱动原、古特提斯系统的持续、裂解-聚合。造山型金矿床成矿事件是陆缘增生或陆-陆型碰撞造山作用的结果(Groves et al., 2016, 2020), 其时间一般同步或滞后于造山事件, 不可能早于造山事件, 如中国西秦岭地区呈脉状产出于韧性剪切带中的金矿床以及中国青海东昆仑地区造山型金矿床都形成于造山事件之后(毛景文, 2001; 蔡光耀等, 2018)。造山型金矿床通常发育在造山带内部或受造山事件影响强烈的地区, 研究区内构造活动强烈而广泛(于森等, 2017; 牛警徽等, 2023)。

文中对比了“青海金腰带”主要金矿床与造山

型金矿的地质特征(表5)。可以看出, 研究区成矿流体具有中低温、低盐度的特点; 成矿深度、 δD 同位素和 S 同位素从南至北具降低趋势, 成矿温度、盐度、密度和压力从南至北具升高趋势, 成矿流体为幔源或演化的幔源初生水; 成矿物质具有深源性的特点, 推测为岩石圈地幔在后碰撞伸展阶段的受热再活化作用是金随幔源流体向地壳迁移的主要机制(表5)。总之, 研究区的金矿床与典型的造山型金矿特征基本一致, 认为研究区主要矿床具有典型的造山型金矿特征, 为造山型金矿。

研究表明, 在“青海金腰带”北部柴北缘地区, 地幔软流圈位于深部约为 59~61 km, 滩间山金矿田和赛坝沟金矿床形成于晚志留世—早泥盆世(400~430 Ma)(张德全等, 2005; 丰成友等, 2002), 并与区内中-基性岩脉具有密切的时空关系, 推测为原特提斯洋向北俯冲闭合(440 Ma)(曹泊等, 2019; 王秉璋等, 2022), 约 430 Ma 柴达木地块向北与欧龙布鲁克微陆块碰撞, 碰撞后伸展阶段(400~430 Ma)随着地幔物质上涌, 形成了滩间山金矿田和赛坝沟金矿床的主要金矿体; 金矿脉中石英流体包裹体 H-O 同位素, 含金黄铁矿 S 同位素组成揭示成矿流体以岩浆水为主, 具有壳-幔混合来源的特征; Pb 同位素组成显示成矿物质具有壳幔混源特征(戴荔果, 2019; 唐名鹰等, 2021)。总体上, 金矿具有基本一致的地质和地球物理特征, 反映了幔源岩浆对金矿床的成矿流体及成矿物质具有重要贡献, 金成矿过程与岩石圈上涌引起的壳幔相互作用有关。

“青海金腰带”南部地区, 地幔软流圈位于深部约 63~66 km, 五龙沟金矿田、沟里金矿田、满丈岗金矿床和大场金矿田形成于中晚三叠世(202.7~248 Ma)(张德全等, 2005; 秦燕等, 2023), 金矿床与壳幔混源的中酸性岩浆具有密切的时空关系, 推测 250 Ma 巴颜喀拉洋向北俯冲闭合, 巴颜喀拉陆块向北东昆仑陆块碰撞后伸展阶段的产物, 在 230 Ma 左右随着俯冲板片断裂, 地幔物质上涌, 形成了大场、五龙沟、沟里金矿田和满丈岗金矿床的主要金矿体; 金矿脉中石英流体包裹体 H-O 同位素, 碳酸盐矿物 C 同位素及含

表5 研究区金矿与造山型金矿的地质特征对比表
Tab. 5 Comparison table of geological characteristics between the gold deposits in the studying area and orogenic gold deposits

矿床特征	造山型金矿	淮间山金矿田 (青龙沟、金龙沟和细晶沟矿床)	五龙沟金矿田 (五龙沟、百吨沟和岩金沟矿床)	大场金矿田 (大场、加给龙洼和扎加同哪矿床)	沟里金矿田 (果洛龙洼、抗得弄舍和阿斯哈矿床)
构造位置	造山带	造山带(柴北缘)	造山带(东昆中)	造山带(北巴颜喀拉)	造山带(东昆中)
规模(金资源量)	小-超大型	超大型(106t)	大型(76.3t)	超大型(176.22t)	超大型(103.9t)
金平均品位(10 ⁻⁶)	不限	3.66~6.13	5.0~12.6	0.53~24.9	1.03~15.56
构造背景	活动大陆边缘带(转换挤压或伸展构造环境)	陆陆碰撞后伸展转换	陆陆碰撞后伸展转换	陆陆碰撞后伸展转换	陆陆碰撞后伸展转换
控矿构造	深大断裂及次级断裂	柴北缘断裂次级断裂NNW-NNW向断裂	昆中断裂北侧NW-NNW向断裂。	甘德-玛多断裂次级断裂NNW-NNW向断裂	昆中断裂北侧NNW-NNW向断裂
围岩	不限	万洞沟群含碳千枚岩, 破碎蚀变带	金水口岩群变质岩(片麻岩、石英片岩和大理岩)	三叠系巴颜喀拉山群变质碎屑岩	金水口岩群、纳赤台群变质碎屑岩
岩浆岩	中酸性侵入岩为主	39Ma中泥盆世花岗岩(李世金等, 2011), 后期闪长玢岩、花岗岩脉、细晶岩脉、花岗岩脉等	以加里东期花岗岩为主, 243~268 Ma基性脉岩群与深部的壳幔混合作用密切相关(张宇婷, 2018)	晚三叠世似斑状黑云母花岗岩、扎日加花岗岩体和早侏罗世龙然加日荷辉绿岩	华力西期花岗岩闪长岩、侏罗纪花岗岩
矿体	长度一般不超过2 Km	长为40~750 m, 最长为1 200 m; 平均厚度为2.0~19.5 m, Au品位为1.02~7.84 g/t, 见矿最大深度为560~970 m	长为40~960 m, 平均厚度为1.0~9.49 m, Au平均品位为1.09~24.39 g/t, 呈透镜状斜列式成群成带分布在NNW-NNW向剪切带和断裂系统中见矿最大深度为500~942 m	长为80~1826m, 呈似层状、似板状、透镜体状等, 平均厚为1.31~12.4 m, Au品位为1.02~13.59 g/t, 见矿最大深度为600~1062 m	长为100~460 m, 最长为1000 m; 平均厚度为4.0~20.5 m, Au品位为1.03~4.84 g/t, 见矿最大深度为760~920 m
矿石类型	多种类型	石英脉型和方解石型	蚀变岩型为主, 部分石英脉型	石英脉型为主, 少量蚀变岩型	石英脉型、蚀变岩型
成矿时代	一般晚于区域变质峰期	矿石绢云母Ar-Ar年龄: 409.4 Ma(张德全等, 2005)	矿石绢云母Ar-Ar年龄: 236 Ma(丰成友等, 2002)	矿石绢云母Ar-Ar年龄为218 Ma(张德全等, 2005)	矿石绢云母Ar-Ar年龄为215~248 Ma(秦燕等, 2023)
δ ³⁴ S(‰)	-5~10	5.31~10	1.1~5.9	-3.3~-4.7	-4~9
Pb同位素		(²⁰⁶ Pb/ ²⁰⁴ Pb) _f =18.476~19.293, (²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁴ Pb) _f =15.547~15.596, (²⁰⁸ Pb/ ²⁰⁴ Pb) _f =37.918~38.159	(²⁰⁶ Pb/ ²⁰⁴ Pb) _f =18.363~18.376, (²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁴ Pb) _f =15.606~15.590, (²⁰⁸ Pb/ ²⁰⁴ Pb) _f =38.297~38.539	(²⁰⁶ Pb/ ²⁰⁴ Pb) _f =18.338~18.379, (²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁴ Pb) _f =15.556~15.592, (²⁰⁸ Pb/ ²⁰⁴ Pb) _f =38.190~38.318	(²⁰⁶ Pb/ ²⁰⁴ Pb) _f =18.093~18.106, (²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁴ Pb) _f =15.542~15.563, (²⁰⁸ Pb/ ²⁰⁴ Pb) _f =37.901~37.919
δD(‰)	-40~-100	-48.6~-72	-85~-101	-64~-106	-61~-80
δ ¹⁸ O _{min} (‰)	-1.14~9.0	3.45~10.31	9.6~13.6	10.0~19.7	14.8~17.2
均一温度(℃)	200~500	120~380 (集中162.1~232.3)	141.2~450.9 (集中146.1~320.3)	159~349.2 (集中180~220.48)	160~340
盐度(%NaCl _{eqv})	≤10	6~8	2.87~12.6	2~5	1.9~13.99
密度(g/cm ³)		0.92~1.04	0.5~1.01	0.72~0.94	0.62~1.03
压力(MPa)	50~400	127.66~239.14	39.12~100.9	39.98~96.69	70~100
深度(Km)	2~20	1.23~2.46	7.6	6.21	4.77~7.65
资料来源	Groves et al., 1998; 卢焕章等, 2018	李世金, 2011; 戴荔果, 2019	赵俊伟, 2008; 李金超, 2017	赵俊伟, 2008; 夏锐等, 2013	陈广俊, 2014

金黄铁矿 H-O 同位素组成揭示成矿流体以岩浆水为主,具有壳-幔混合来源的特征;Pb 同位素组成显示成矿物质具有壳幔混源特征(赵俊伟, 2008; 陈广俊, 2014)。个别金矿床原位 S 同位素组成反映成矿流体经历了强烈的水-岩反应,从围岩中萃取了部分硫等成矿组分。总体上,金矿具有基本一致的地质和地球物理特征,反映了幔源岩浆对金矿床的成矿流体及成矿物质具有重要贡献,金成矿过程与岩石圈上涌引起的壳幔相互作用有关。

3.2 成矿动力学背景

综合文中讨论和前人认识,笔者认为“青海金腰带”两期金成矿作用形成和演化与成矿动力学背景密切相关。图 8 和图 9 分别总结了与两期成矿作用有关的成矿动力学背景演化过程。

(1) 加里东期—华力西期造山与成矿

早古代末研究区内柴北缘地区构造演化进入重要的转折期,区内大洋向相邻欧龙布鲁克发生俯冲,

并形成了相应弧盆体系和构造-岩浆-成矿作用。在 535 Ma 时(曹泊等, 2019),柴北缘洋洋壳俯冲作用过程中形成了高压-超高压变质带,产生大规模岛弧火山岩并伴随大量花岗岩岩浆活动,形成了一系列弧花岗岩和岛弧火山岩。这个期间,伴随火山同生断裂的发育演化,大规模的海底火山喷发活动携带大量的成矿物质发生热水喷流沉积成矿作用,在不同构造环境下形成了不同的块状硫化物矿床,如在弧后盆地环境下形成了锡铁山铅锌矿床,而在岛弧局部裂谷区形成了青龙滩含铜硫铁矿等。此阶段是区内重要的与海相火山岩有关的铜多金属成矿期,在区域上形成超大型喷流沉积锡铁山铅锌矿,同时也为区内后期热液型多金属矿成矿提供了初始矿源层。洋盆在志留纪发生闭合(~440 Ma),俯冲洋壳拖曳陆壳继续深俯冲,上述柴达陆块和欧龙布鲁克微陆块逐步拼接,在俯冲陆壳前缘形成了区域性的一系列韧性剪切构造带和超高压变质带,同时形成一些具碰撞性质的花岗岩(吴

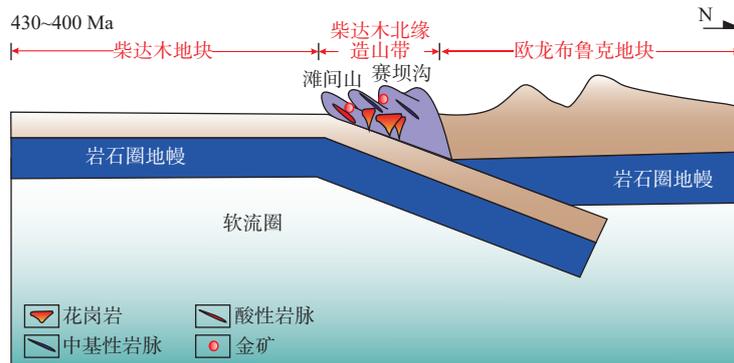


图 8 “青海金腰带”晚志留世—早泥盆世成矿示意图

Fig. 8 Metallogenic schematic diagram of late Silurian-early Devonian

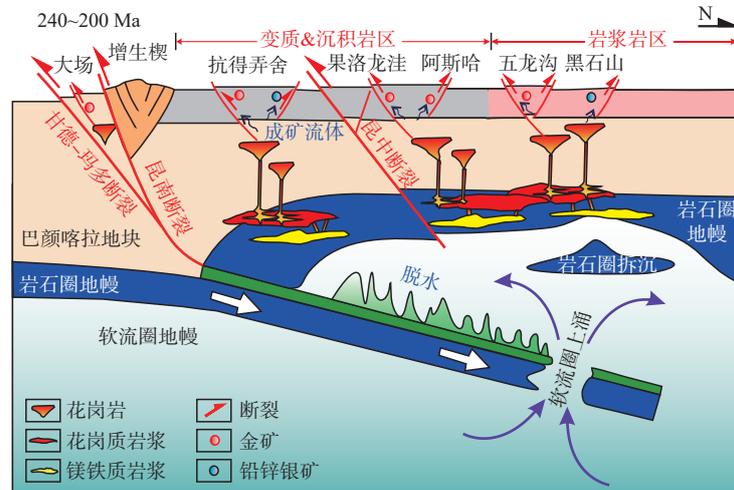


图 9 “青海金腰带”中晚三叠世成矿示意图(据井国正等, 2023 修改)

Fig. 9 Schematic diagram of middle and late Triassic mineralization

才来等, 2002)。该阶段成矿在区域上主要表现为产于超高压变质带内的与榴辉岩有关的金红石矿和热液金矿化, 主要表现为在韧性剪切带内形成的金矿化。该时期是区内金矿化的最主要成矿期, 形成了区内金矿化的容矿构造体系和提供成矿流体介质和成矿物源的岩浆活动, 主要表现为热液成矿作用, 形成了区内滩间山金矿田和赛坝沟金矿床。

区内在加里东期—华力西期, 经过了洋壳闭合俯冲、陆壳深俯冲碰撞过程 (Zhong et al., 2018), 完成了柴达木陆块和欧龙布鲁克地块的拼接, 从此进入一个新的演化阶段—陆内造山阶段。

(2) 印支期陆内造山与成矿

“青海金腰带”的南部特提斯成矿域金矿经历了印支期为主的金矿成矿作用。加里东期—华力西期柴达木陆块和欧龙布鲁克地块拼接完成后, 柴达木盆地及周缘进入了一个新的演化阶段——印支期陆内造山阶段。具体地, 在石炭纪—三叠纪, 研究区经历了古特提斯洋的裂解和俯冲消减, 巴颜喀拉地块与东昆仑地块碰撞; 早三叠世, 区内开始沉积巨厚的巴颜喀拉群碎屑复理石建造, 巴颜喀拉山群为半深海—深海环境下形成的浊积岩系。中三叠世末—晚三叠世, 布青山—阿尼玛卿洋壳俯冲消减, 洋盆逐渐消失 (刘战庆等, 2011; 岳远刚, 2014; 楚志强等, 2023)。最终, 巴颜喀拉地块与东昆仑地块发生陆陆斜向碰撞造

山作用。碰撞过程中, 由于俯冲板块发生断裂, 导致软流圈上涌, 加之岩石圈拆沉作用, 形成大量的具有壳幔混合特征的中酸性岩浆。这些岩浆可能富金, 并且其就位过程中, 会导致金进一步活化富集, 形成大场、五龙沟和沟里金矿田等。晚三叠世之后, 巴颜喀拉地区逐渐脱离海侵, 进入陆内发展阶段, 持续的挤压力导致巴颜喀拉地块向东昆南地块之下俯冲, 造成了昆南断裂北侧一系列岩浆活动, 并且使得巴颜喀拉地区的地层发生构造变形, 广泛形成各类褶皱和断裂构造, 构造线方向为 NW-SE, 产生甘德-玛多断裂, 诱发大场金矿田的形成。

综上所述, 研究区金矿的形成与志留纪—泥盆纪和三叠纪陆-陆碰撞引发的软流圈地幔上涌有关, 这与前人对造山型金矿成因的认识是一致的 (王策等, 2018; 汪在聪等, 2021)。金矿主要产于切穿地幔岩石圈的深大断裂及其次级断裂附近 (对围岩不具选择性), 重力梯度带和莫霍面畸变, 结晶基底抬升 (底部被侵蚀), 串珠状航磁异常带 (磁异常强度为 -50~50 nT) 和串珠状分布的 Au 元素异常带 (Au 元素平均值为 $20 \times 10^{-9} \sim 100 \times 10^{-9}$, Au-As-Sb-Hg 或 Au-As-Sb 元素组合) 内。因此, 在“青海金腰带”新一轮找矿战略突破行动中, 找矿方向应聚焦陆陆碰撞带中幔源岩浆发育、物化探异常地段, 如基性-超基性岩大量发育的德令哈、大场东、采特、祁漫塔格北和温泉地区等 (图 10)。

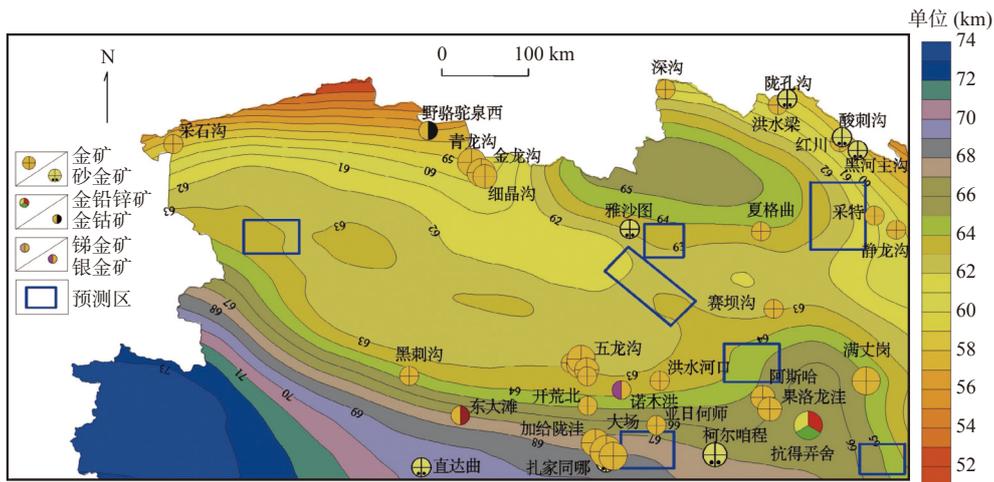


图 10 “青海金腰带”找矿有利地段图

Fig. 10 Map showing favorable locations for prospecting of the “Qinghai Gold Belt”

4 结论

(1) “青海金腰带”位于环柴达木盆地周边, 金

矿床在该地区广泛发育, 按照金矿床集中产出位置可以进一步分为“五龙沟-大场-沟里金腰带”和“滩间山-赛坝沟金腰带”, 找矿潜力巨大。

(2) “青海金腰带”发育 2 期造山型金成矿作用:

加里东期—华力西期金矿成矿作用与柴达木陆块和欧龙布鲁克陆块碰撞导致的原特提斯洋闭合,形成滩间山金矿田和赛坝沟金矿床等;印支期金矿巴颜喀拉陆块和东昆仑陆块碰撞导致的古特提斯洋闭合,形成五龙沟、沟里和大场金矿田等。“青海金腰带”南北成矿差异为不同时期陆陆碰撞造山作用导致。

(3)金矿床形成于深大断裂及其次级断裂附近(对围岩不具选择性),重力梯度带和莫霍面畸变,结晶基底抬升(底部被侵蚀),串珠状航磁异常带(磁异常强度为 $-50\sim 50$ nT)和串珠状分布的Au元素异常带(Au含量平均为 $20\sim 100$ g/t, Au-As-Sb-Hg或Au-As-Sb元素组合)内,与软流圈上涌导致的壳幔相互作用密切相关,基性-超基性岩广泛发育的位置是寻找造山型金矿的有利地段。

致谢:匿名评审专家提出了宝贵的意见与修改建议,在此致以诚挚的谢意。

参考文献(References):

- 白阳,张连昌,朱明田,等.华北克拉通北缘早白垩世金成矿与地幔物质的贡献[J].*岩石学报*,2023,39(1):217-235.
- BAI Yang, ZHANG Lianchang, ZHU Mingtian, et al. Contribution of mantle materials to Early Cretaceous gold mineralization in the northern margin of the North China Craton[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2023, 39(1): 217-235.
- 蔡光耀,安芳.造山型金矿床地质背景、地球化学特征和成矿模型研究综述[J].*地质科技情报*,2018,37(6):163-172.
- CAI Guangyao, AN Fang. Review of Geological Background Geochemical Characteristics and Ore-Forming Model of Orogenic Gold Deposits[J]. *Geological Science and Technology Information*, 2018, 37(6): 163-172.
- 曹泊,闫臻,付长奎,等.柴北缘赛坝沟增生杂岩组成与变形特征[J].*岩石学报*,2019,35(4):1015-1032.
- CAO Bo, YAN Zhen, FU Changlei, et al. Component and deformation of the Saibagou accretionary complex in the northern margin of the Qaidam block[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2019, 35(4): 1015-1032.
- 程裕淇,沈永和,张良臣,等.中国大陆的地质构造演化[J].*中国区域地质*,1995,(04):289-294.
- CHENG Yuqi, SHEN Yonghe, ZHANG Liangchen, et al. Tectonic constitution and evolution of the Chinese continent[J]. *Regional Geology of China*, 1995, (04): 289-294.
- 楚志强,曾小慧,马昌前,等.东昆仑造山带三叠纪富Nb基性岩墙的岩石成因及其对古特提斯洋俯冲过程的启示[J/OL].*矿物岩石地球化学通报*,2023:1-18. DOI:10.19658/j.issn.1007-2802.2023.42.060.
- CHU Zhiqiang, ZENG Xiaohui, MA Changqian et al. Petrogenesis of triassic Nb-rich mafic dykes in the east Kunlun Orogen: implications for the subduction of paleo-Tethyan Ocean [J/OL]. *Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry*, 2023: 1-18. DOI:10.19658/j.issn.1007-2802.2023.42.060.
- 陈广俊.青海东昆仑沟里地区及外围金矿成矿作用研究[D].长春:吉林大学,2014.
- CHEN Guangjun. Metallogenesis of gold deposits in Gouli regional and peripheral area of East Kunlun, Qinghai province[D]. Changchun: Jilin University, 2014.
- 戴荔果.青海省滩间山-锡铁山地区金铅锌成矿系统[D].武汉:中国地质大学,2019.
- DAI Li Guo. Metallogenic System of Au-Pb-Zn Deposit in Tanjianshan-Xitieshan Area in Qinghai Province[D]. Wuhan: China University of Geosciences, 2019.
- 范宏瑞,蓝廷广,李兴辉,等.胶东金成矿系统的末端效应[J].*中国科学:地球科学*,2021,64(9):1504-1523.
- FAN Hongrui, LAN Tingguang, LI Xinghui, et al. Conditions and processes leading to large-scale gold deposition in the Jiaodong province, eastern China[J]. *Science in China: Earth Sciences*, 2021, 64(9): 1504-1523.
- 丰成友,张德全,李大新,等.青海赛坝沟金矿地质特征及成矿时代[J].*矿床地质*,2002,21(1):45-52.
- FENG Chengyou, ZHANG Dequan, LI Daxin, et al. Geological Characteristics and Ore-forming Age of Saibagou Gold Deposit, Qinghai Province[J]. *Mineral Deposits*, 2002, 21(1): 45-52.
- 姜春发.中央造山带几个重要地质问题及其研究进展(代序)[J].*地质通报*,2002,21(8-9):453-455.
- JIANG Chunfa. Several important geological problems of the Central Orogenic Belt and the progress of their research (with preface)[J]. *Geological Bulletin of China*, 2002, 21(8-9): 453-455.
- 井国正,王晓云,张志强,等.东昆仑东段中-晚三叠世区域岩浆-热液成矿系统[J].*地质科技通报*,2023,42(1):89-111.
- JING Guozheng, WANG Xiaoyun, ZHANG Zhiqiang, et al. Middle-Late Triassic regional-scale magmatic system in the eastern segment of the East Kunlun[J]. *Bulletin of Geological Science and Technology*, 2023, 42(1): 89-111.
- 李金超.青海东昆仑地区金矿成矿规律及成矿预测[D].西安:长安大学,2017.
- LI Jinchao. Metallogenic regularity and metallogenic prognosis of Gold Deposit in the East Kunlun Orogen, Qinghai Province[D]. Xi'an: Chang'an University, 2017.
- 李世金.祁连山造山带地球动力学演化与内生金属矿产成矿作用研究[D].长春:吉林大学,2011.
- LI Shijin. Geodynamic Evolution of Qilian Orogenic Belt and Metal-

- logensis of Endogenous Metal Minerals [D]. Changchun: Jilin University, 2011.
- 刘战庆, 裴先治, 李瑞保, 等. 东昆仑南缘阿尼玛卿构造带布青山地区两期蛇绿岩的 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 定年及其构造意义[J]. *地质学报*, 2011, 85(2): 185-194.
- LIU Zhanqing, PEI Xianzhi, LI Ruibao, et al. LA-ICP-MS Zircon U-Pb Geochronology of the Two Suites of Ophiolites at the Buqingshan Area of the A'nyemaqen Orogenic Belt in the Southern Margin of East Kunlun and Its Tectonic Implication[J]. *Acta Geologica Sinica*, 2011, 85(2): 185-194.
- 卢焕章, 池国祥, 朱笑青, 等. 造山型金矿的地质特征和成矿流体[J]. *大地构造与成矿学*, 2018, 42(2): 244-265.
- LU Huanzhang, CHI Guoxiang, ZHU Xiaoqing, et al. Geological Characteristics and Ore Forming Fluids of Orogenic Gold Deposits[J]. *Geotectonica et Metallogenia*, 2018, 42(2): 244-265.
- 马昌前, 熊富浩, 张金阳, 等. 从板块俯冲到造山后阶段俯冲板片对岩浆作用的影响: 东昆仑早二叠世—晚三叠世镁铁质岩墙群的证据[J]. *地质学报*, 2013, 87(S1): 79-81.
- MA Changqian, XIONG Fuhao, ZHANG Jinyang, et al. Influence of subducted slabs on magmatism from plate subduction to post-tectonic stage: evidence from the Early Permian--Late Triassic Mg-Fe wall complex in East Kunlun[J]. *Acta Geologica Sinica*, 2013, 87(S1): 79-81.
- 毛景文. 西秦岭地区造山型与卡林型金矿床[J]. *矿物岩石地球化学通报*, 2001, 20(1): 11-13.
- MAO Jingwen. Geology, Distribution and Classification of Gold Deposits in the Western Qinling Belt, Central China[J]. *Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry*, 2001, 20(1): 11-13.
- 莫宣学, 董国臣, 赵志丹, 等. 西藏冈底斯带花岗岩的时空分布特征及地壳生长演化信息[J]. *高校地质学报*, 2005, 11(3): 281-290.
- MO Xuanxue, DONG Guochen, ZHAO Zhidan, et al. Spatial and temporal distribution and characteristics of Granitoids in the Gangdisê, Tibet and implication for crustal growth and evolution[J]. *Geological Journal of China Universities*, 2005, 11(3): 281-290.
- 牛警徽, 田福泉, 邱敦方, 等. 山东旧店金矿床花岗岩类锆石 U-Pb 年龄及对招平断裂带南段岩浆活动规律的约束[J]. *地质通报*, 2023, 42(5): 813-827.
- NIU Jinghui, TIAN Fuquan, Qiu Dunfang, et al. Zircon U-Pb age of granitoids in the Jiuding gold deposit, Shandong Province and its constraints on the magmatic activity patterns in the southern section of the Zhaoping fault[J]. *Geological Bulletin of China*, 2023, 42(5): 813-827.
- 潘彤, 王贵仁, 王福德, 等. 中国矿产地志·青海卷[R]. 青海: 青海省地质矿产勘查开发局, 2022.
- 祁生胜, 李五福, 于文杰, 等. 中国区域地质志·青海卷[R]. 青海: 青海省地质调查院, 2019.
- 秦燕, 王成辉, 王登红, 等. 中国金矿床成矿年代学研究进展[J]. *地球学报*, 2023, 44(4): 581-598.
- QIN Yan, WANG Chenghui, WANG Denghong et al. Metallogenic Chronology of Gold Deposits in China[J]. *Acta Geoscientica Sinica*, 2023, 44(4): 581-598.
- 唐名鹰, 何宗围, 朱德全, 等. 柴北缘赛坝沟金矿床硫、铅同位素组成: 对成矿物质来源的指示[J]. *矿床地质*, 2021, 40(1): 117-127.
- TANG Mingying, HE Zongwei, ZHU Dequan, et al. S and Pb isotopic compositions in Saibagou gold deposit on north margin of Qaidam Basin: An indication to the source of metallogenic materials[J]. *Mineral Deposits*, 2021, 40(1): 117-127.
- 谭文娟, 赵国斌, 魏建设, 等. 黄河流域矿产资源禀赋、分布规律及开发利用潜力[J]. *西北地质*, 2023, 56(2): 163-174.
- TAN Wenjuan, ZHAO Guobin, WEI Jianshe, et al. Characteristics, Distribution and Utilization Potential of Mineral Resources in the Yellow River Basin[J]. *Northwestern Geology*, 2023, 56(2): 163-174.
- 王秉璋, 付长垒, 潘彤, 等. 柴北缘赛什腾地区早古生代岩浆活动与构造演化[J]. *岩石学报*, 2022, 38(9): 2723-2742.
- WANG Bingzhang, FU Changlei, PAN Tong, et al. Early Paleozoic magmatism in the Saishiteng area, North Qaidam and their constraint on tectonic evolution[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2022, 38(9): 2723-2742.
- 王策, 李社, 李丽, 等. 青海抗得弄舍金铅锌多金属矿同位素地球化学特征及成因分析浅析[J]. *世界有色金属*, 2018, (9): 150+152.
- WANG Ce, LI She, LI Li, et al. The isotopic geochemical characteristics of kangdenongshe gold-lead-zinc polymetallic deposit in Qinghai Province and the discussion about the deposit genesis[J]. *World Nonferrous Metals*, 2018, (9): 150+152.
- 汪在聪, 王焰, 汪翔, 等. 交代岩石圈地幔与金成矿作用[J]. *地球科学*, 2021, 46(12): 4197-4229.
- WANG ZC, WANG Y, WANG X, et al. Metasomatized Lithospheric Mantle and Gold Mineralization[J]. *Earth Science*, 2021, 46(12): 4197-4229.
- 吴才来, Jone WOODEN, 杨经绥, 等. 祁连南缘花岗岩和榴辉岩之间的关系: 噶喇山花岗岩 SHRIMP 锆石年龄证据[J]. *地质学报*, 2002, 76(1): 106.
- WU Cailai, Jone Wooden, YANG Jingsui, et al. Relationship between granites and garnet from the southern Qilian margin: SHRIMP zircon age evidence from the Ouzhangshan granite[J]. *Acta Geologica Sinica*, 2002, 76(1): 106.
- 夏锐, 邓军, 卿敏, 等. 青海大场金矿田矿床成因: 流体包裹体地球化学及 H-O 同位素的约束[J]. *岩石学报*, 2013, 29(4): 1358-1376.
- XIA Rui, DENG Jun, QING Min, et al. The genesis of the Dachang gold ore field in Qinghai Province: Constraints on fluid inclu-

- sion geochemistry and H-O isotopes[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2013, 29(4): 1358–1376.
- 肖晔, 丰成友, 李大新, 等. 青海省果洛龙洼金矿区年代学研究
与流体包裹体特征[J]. *地质学报*, 2014, 88(5): 895–902.
- XIAO Ye, FENG Chengyou, LI Daxin, et al. Chronology and Fluid
Inclusions of the Guoluolongwa Gold Deposit in Qinghai
Province[J]. *Acta Geologica Sinica*, 2014, 88(05): 895–902.
- 殷鸿福, 张克信. 中央造山带的演化及其特点[J]. *地球科学*,
1998, 23(5): 3+5+7–8.
- YIN Hongfu, ZHANG Kexin. Evolution and characteristics of the
central orogenic belt[J]. *Earth Science*, 1998, 23(5): 3+5+7–8.
- 于森, 丰成友, 何书跃, 等. 祁漫塔格造山带——青藏高原北部
地壳演化窥探[J]. *地质学报*, 2017, 91(4): 703–723.
- YU Miao, FENG Chengyou, HE Shuyue, et al. The Qimantagh
Orogen as A Window to the crustal evolution of the northern
Tibetan Plateau[J]. *Acta Geologica Sinica*, 2017, 91(4):
703–723.
- 岳远刚. 东昆仑南缘三叠系沉积特征及其对阿尼玛卿洋闭合时
限的约束[D]. 西安: 西北大学, 2014.
- YUE Yanguang. Sedimentary characteristic of Triassic in southern
of the East Kunlun and the constraints on the closing time of
A'nimaqing Ocean[D]. Xi'an: Northwest University, 2014.
- 翟明国, 范宏瑞, 杨进辉, 等. 非造山带型金矿——胶东型金矿
的陆内成矿作用[J]. *地学前缘*, 2004, 11(1): 85–98.
- ZHAI Mingguo, FAN Hongrui, YANG Jinhui, et al. Large-Scale
Cluster of gold deposits in east Shandong: Anorogenic metallo-
genesis[J]. *Earth Science Frontiers*, 2004, 11(1): 85–98.
- 张德全, 党兴彦, 余宏全, 等. 柴北缘—东昆仑地区造山型金矿
床的 Ar-Ar 测年及其地质意义[J]. *矿床地质*, 2005, 24(2):
87–98.
- ZHANG Dequan, DANG Xingyan, SHE Hongquan, et al. Ar-Ar dat-
ing of orogenic gold deposits in northern margin of Qaidam and
East Kunlun Mountains and its geological significance[J]. *Min-
eral Deposits*, 2005, 24(2): 87–98.
- 张国伟, 董云鹏, 赖绍聪, 等. 秦岭-大别造山带南缘勉略构造带
与勉略缝合带[J]. *中国科学(D辑:地球科学)*, 2003,
33(12): 1121–1135.
- ZHANG Guowei, DONG Yunpeng, LAI Shaocong, et al. Mianliu
tectonic belt and Mianliu suture zone at the southern margin of
the Qinling-Dabie orogenic belt[J]. *Science in China (Series
D:Earth Sciences)*, 2003, 33(12): 1121–1135.
- 赵俊伟. 青海东昆仑造山带造山型金矿床成矿系列研究[D]. 长
春: 吉林大学, 2008.
- ZAO Junwei. Study on Orogenic Gold Mettallogenic Series in East-
ern Kunlun Orogenic Belt, Qinghai Province [D]. Changchun:
Jilin University, 2008.
- 张宇婷. 青海东昆仑中段五龙沟矿集区金矿成矿作用研究[D].
长春: 吉林大学, 2018.
- ZHAN Yuting. Research on metallogenesis of gold deposits in the
Wulongou Ore Concentration Area, central segment of the east
Kunlun Mountains, Qinghai Province[D]. Changchun: Jilin
University, 2018.
- Chen F L, Cui X Z, Lin S F, et al. The earliest Neo proterozoic Nb-
enriched mafic magmatism indicates subduction tec tonics in the
southwestern Yangtze Block, South China[J]. *Precambri an Re-
search*, 2023, 384: 106938.
- Deng J, Wang Q, Santosh M, et al. Remobilization of metasomatized
mantle lithosphere: a new model for the Jiaodong gold province,
eastern China[J]. *Mineralium Deposita*, 2020, 55: 257–274.
- Goldfarb R J, Barker T, Dube B, et al. Distribution, character, and
Genesis of gold deposits in metamorphic terranes[J]. *Economic
Geology*, 2005, 100: 1–45.
- Groves D I, Goldfarb R J, Gebre-Mariam M, et al. Orogenic gold de-
posits: A proposed classification in the context of their crustal
distribution and relationship to other gold deposit types[J]. *Ore
Geology Reviews*, 1998, 13: 7–272.
- Groves D I, Santosh M. The giant Jiaodong gold province: the key to
a unified model for orogenic gold deposits?[J]. *Geoscience
Frontiers*, 2016, 7(3): 409–417.
- Groves D I, Zhang L, Santosh M. Subduction, mantle metasomatism,
and gold: A dynamic and genetic conjunction[J]. *Bulletin*, 2020,
132(7–8): 1419–1426.
- Xing J, Wang J, Liu J, et al. Geochronology, pyrite trace elements,
and sulfur isotope geochemical characteristics of the Saibagou
gold deposit in the eastern part of the northern Qaidam
Basin[J]. *Frontiers in Earth Science*, 2023, 11: 1212856.
- Zhai W, Zheng S Q, Zhang L Y, et al. In situ pyrite sulfur isotope and
trace element analyses of the world-class Dachang gold deposit,
northern Qinghai-Tibetan Plateau: Implications for metallogen-
esis[J]. *Ore Geology Reviews*, 2021, 138: 104347.
- Zhong S, Feng C, Seltmann R, et al. Sources of fluids and metals and
evolution models of skarn deposits in the Qimantagh metallo-
genic belt: A case study from the Weibao deposit, East Kunlun
Mountains, northern Tibetan Plateau[J]. *Ore Geology Reviews*,
2018, 93: 19–37.
- Zhong S, Li S, Feng C, et al. Porphyry copper and skarn fertility of
the northern Qinghai-Tibet Plateau collisional granitoids[J].
Earth-Science Reviews, 2021, 214: 103524.