

# 东昆仑造山带古特提斯演化及大规模金属成矿特色\*

丰成友<sup>1</sup>, 王辉<sup>2</sup>, 瞿泓滢<sup>3</sup>, 于森<sup>4</sup>, 钟世华<sup>5</sup>

(1 中国地质调查局, 北京 100037; 2 长安大学地球科学与资源学院, 陕西 西安 710054; 3 中国地质科学院矿产资源研究所, 北京 100037; 4 中南大学地球科学与信息物理学院, 湖南 长沙 410083; 5 中国海洋大学海洋地球科学学院, 山东 青岛 266100)

**摘要** 东昆仑造山带作为特提斯域内典型的增生型造山带, 最大限度地保存了古特提斯洋裂解扩张到消减闭合过程的物质记录, 是探索古特提斯演化与资源效应的理想研究区。文章以东昆仑造山带古特提斯构造演化过程为宏观视角, 综合近年带内勘查及研究新进展, 概括总结了不同造山阶段典型矿床的发育机制, 以期进一步凝练古特提斯成矿特色, 深化区域成矿规律。文章总结认为, 夏日哈木岩浆型 Ni-Co-Cu 矿(413~406 Ma)及新近发现的大格勒碱性岩-碳酸岩型 Nb 矿(约 418~382 Ma)是原/古特提斯转换时期碰撞后陆内张裂背景的产物, 标志着东昆仑原特提斯演化的结束与古特提斯体制的正式开启; 德尔尼块状硫化物型 Cu-Co-Zn 矿床(约 295 Ma)产于阿尼玛卿蛇绿岩套内, 是慢速-超慢速扩张洋中脊热液成矿系统的典型实例; 早石炭世至晚三叠世早期, 古特提斯阿尼玛卿洋先后经历低角度俯冲、俯冲回卷和高角度俯冲、地体拼贴导致地壳增厚与后碰撞(俯冲)伸展等过程。该阶段晚期(238~213 Ma)形成众多造山型 Au 矿、矽卡岩-斑岩型 Fe/Cu 多金属矿床及浅成低温热液型 Ag 矿床等, 与造山过程中周期性挤压-伸展环境产生的大规模岩浆活动密切相关。区别于安第斯、科迪勒拉及中亚等经典增生型造山带, 东昆仑带该时期并不发育典型的斑岩铜矿系统, 这可能因为受到相对低氧逸度、低水含量的岩浆性质的制约。晚三叠世晚期开始, 东昆仑造山带进入陆内伸展环境, 碱性 A1 型流纹岩(213~200 Ma)的发现标志着带内古特提斯构造体制的结束。受自然地理条件的限制, 东昆仑带总体矿产勘查和研究程度目前仍偏低, 已知矿床的深边部及外围地质找矿潜力和找矿空间依然较大, 古特提斯漫长的地质演化过程中中期造山伸展事件、复合成矿过程及其深部驱动机制仍需进一步理清。

**关键词** 东昆仑; 古特提斯; 构造演化; 增生造山; 成矿特色

中图分类号: P611

文献标志码: A

## Paleo-Tethys tectonic evolution and related large-scale metallogenic features in East Kunlun Orogen

FENG ChengYou<sup>1</sup>, WANG Hui<sup>2</sup>, QU HongYing<sup>3</sup>, YU Miao<sup>4</sup> and ZHONG ShiHua<sup>5</sup>

(1 China Geological Survey, Beijing 100037, China; 2 School of Earth Science and Resources, Chang'an University, Xi'an 710054, Shaanxi, China; 3 Institute of Mineral Resources, CAGS, Beijing 100037, China; 4 School of Geosciences and Info-Physics, Central South University, Changsha 410083, Hunan, China; 5 School of Ocean Geosciences, Ocean University of China, Qingdao 266100, Shandong, China)

### Abstract

The East Kunlun Orogenic Belt, which occurs as an accretionary orogen within the Tethyan domain, comprehensively preserves the material evidence from the rifting and expansion to the subduction and closure of the Pa-

\* 本文得到陕西省自然科学基金基础研究计划项目“铜同位素示踪富 CH<sub>4</sub> 斑岩系统中 Cu 的迁移-富集机制: 以赛什塘铜矿为例(编号: 2024JC-YBMS-206)”和中国地质调查局地质调查项目“中国钴矿产地地质总结研究(编号: DD20221695-45)”、“东昆仑祁漫塔格地区多旋回构造岩浆演化与多金属成矿(编号: 1212011085528)”联合资助

第一作者简介: 丰成友, 男, 1971 年生, 博士, 研究员, 博士生导师, 主要从事矿床地质、地球化学研究。Email: fengchy@cags.ac.cn

收稿日期: 2024-05-28; 改回日期: 2024-11-02。张绮玲编辑。

leo-Tethys Ocean, thereby serving as a suitable region for investigating the evolution of the Paleo-Tethys and its resource effect. This study adopts a macroscopic perspective on the tectonic evolution of the Paleo-Tethys within the East Kunlun Orogen, integrating recent exploration and research advancements to elucidate the ore-forming mechanisms across varied orogenic stages. The aim is to further refine our understanding on the Paleo-Tethys's metallogenic traits and deepen insights into regional ore-forming regularity. It is summarized that the Xiarihamu magmatic Ni-Co-Cu deposit (413~406 Ma) and the newly discovered Dagele alkaline rock-carbonatite Nb deposit (418~382 Ma) formed in a post-collisional intracontinental rifting setting during the Proto-Tethys to Paleo-Tethys transition period, which marks the end of Proto-Tethys evolution and the initiation of the Paleo-Tethys regime in East Kunlun. Additionally, the Dur' ngoi massive sulfide Cu-Co-Zn deposit (approximately 295 Ma), situated within the Anemaqen ophiolite belt, exemplifies a hydrothermal ore-forming system at slow to ultra-slow expanding mid-ocean ridges. Throughout the Early Carboniferous to early period of Late Triassic, the Paleo-Tethys Anemaqen Ocean underwent processes such as low-angle subduction, slab roll-back, high-angle subduction, and terrane accretion, which contributed to crustal thickening and post-collisional extension. During the terminal stage of this period (238~213 Ma), a series of orogenic Au deposits, skarn-porphyry Fe/Cu polymetallic deposits, and epithermal Ag deposits emerged, closely associated with the extensive magmatic activities driven by periodic compressive-extensive tectonic environments. Different from classical accretionary orogens such as the Andes, Cordillera, and Central Asia, no typical porphyry Cu systems developed in the East Kunlun Belt during this era, likely due to the relatively low oxygen fugacity and water content of magma. Since the Late Triassic period, the orogenic belt transitioned into an intracontinental extension setting, highlighted by the discovery of alkaline A1-type rhyolites (213~200 Ma), indicating the termination of the Paleo-Tethys tectonic regime. Hindered by geographical constraints, the overall level of mineral exploration and research in the East Kunlun belt remains inadequate, yet the known deposits still exhibit significant geological prospecting potential and spatial opportunities for future exploration. The multi-stage orogenic extension events, the complex ore-forming processes, and their deep-seated driving mechanisms throughout the protracted geological evolution of the Paleo-Tethys need further research.

**Key words:** East Kunlun Orogen, Paleo-Tethys, tectonic evolution, accretionary orogeny, ore-forming features

特提斯演化经历了显生宙以来多旋回的裂解扩张及增生、碰撞过程,形成了现今横亘欧亚大陆的巨型复合造山带(Şengör, 1979; Metcalfe, 2013; 许志琴等, 2013; 吴福元等, 2020)。特提斯成矿域与环太平洋成矿域和古亚洲成矿域并称为全球三大成矿域,成矿作用规模巨大且独具特色(陈毓川等, 2007)。近年来,围绕新特提斯增生-碰撞环境金属成矿理论研究取得重要创新与突破(侯增谦等, 2006; Yang et al., 2009; 唐菊兴等, 2012; 秦克章等, 2021; Deng et al., 2014; 2022; Moritz et al., 2019; Hou et al., 2022)。然而,对于漫长的古特提斯演化阶段,大规模金属成矿的特色及其与造山过程之间的耦合机制仍存在诸多的未解之谜。

东昆仑造山带位于青藏高原东北缘,具有多阶段复合的造山历史,传统观点认为东昆仑古特提斯

演化经历了裂解-俯冲-碰撞完整威尔逊造山旋回(姜春发等, 1992),然而越来越多的蛇绿岩、与俯冲相关的侵入岩和火成岩、沉积建造证据显示其形成主要受控于古特提斯洋的长期俯冲增生过程,属于典型的增生型造山带(李荣社等, 2008; 祁生胜, 2015; Dong et al., 2018; 2021; 2022; 董云鹏等, 2022; Wang et al., 2022)。作为增生型造山带,其最大限度保存了古特提斯造山过程的物质记录,是探索古特提斯成矿作用的理想地区。

东昆仑造山带也是中国西部重要的多金属成矿带和国内战略性矿产找矿行动部署的重点区带,近年来带内传统优势矿床类型,如造山型 Au 矿和矽卡岩型 Fe-Cu-Pb-Zn(-Co)矿床资源储量不断扩大,探明 Au 矿资源近 400 t;同时新的矿床类型也取得重要突破,如矽卡岩型 W-Sn 矿床(白干湖)、岩浆型 Ni-Co

硫化物矿床(夏日哈木)、热液脉型Ag矿床(那更康切尔和乌兰乌珠尔-十字嵩)、VMS型Au-Ag-Pb-Zn矿床(抗得弄舍)、碱性岩-碳酸岩型Nb-REE-P矿床(大格勒)等的发现,进一步丰富了造山带环境矿床成矿谱系。本文以东昆仑造山带古特提斯造山过程为宏观视角,综合近年带内勘查及研究新进展,总结不同造山阶段典型矿床的成矿特征,进而凝练古特提斯成矿特色,揭示古特提斯造山过程对大规模金属成矿的制约机制,深化区域成矿规律并探讨找矿前景。

### 1 成矿地质背景

东昆仑造山带位于青藏高原东北缘,是中国中央造山带的重要组成部分,东西延伸近1500 km,宽约50~200 km,南、北挟于巴颜喀拉造山带和柴达木地块之间,向西被阿尔金左行走滑断裂截切,与西昆仑造山带相隔,向东延伸至共和盆地与西秦岭造山带相接。关于东昆仑构造单元的划分已有较多论述(姜春发等, 1992; 许志琴等, 2007; 潘桂棠等, 2009),新近的研究基于祁漫塔格-香日德(QXM)、阿其克库勒湖-昆中(AKM)和木孜塔格-布青山-阿尼玛卿(MBAM)3条近东西向展布的蛇绿混杂岩带(Dong et al., 2018),将东昆仑造山带自北向南分为祁漫塔

格北带、东昆仑中部构造带(昆中带)和东昆仑南部构造带(昆南带)3个构造单元,3条蛇绿岩带分别对应着昆北、昆中及昆南3条区域性深大断裂(图1)。

祁漫塔格北带出露古-中元古代高级变质基底和奥陶系—侏罗系火山-沉积盖层,其中变质基底由古-中元古界金水口群白沙河组、长城系小庙群和蓟县系狼牙山组构成;奥陶系—志留系祁漫塔格群不整合于变质基底岩系之上,由变质中基性火山岩-碎屑岩夹碳酸盐岩组成,祁漫塔格群是带内矽卡岩型Fe/Cu多金属矿床的主要赋矿围岩(丰成友等, 2023);泥盆纪地层主要为上泥盆统牦牛山组,与下伏祁漫塔格群及基底岩系为不整合接触关系,为一套裂谷型磨拉石沉积建造(陈守建等, 2007);上覆石炭系大干沟组、缙敖苏组滨-浅海相碳酸盐岩夹碎屑岩沉积建造及三叠系鄂拉山组陆相火山岩。带内中酸性-基性岩浆岩分布广泛,中酸性侵入岩出露规模较大,时代主要为奥陶纪—泥盆纪和二叠纪—三叠纪(丰成友等, 2012; Yu et al., 2017),中-晚三叠世中酸性侵入体尤为发育,与区内铁、铜、钼、铅、锌等多金属成矿关系密切;基性-超基性岩零星分布,主要形成于中志留世—晚泥盆世和晚二叠世—晚三叠世。

昆中带与祁漫塔格北带具有相似的古-中元古代变质结晶基底(白沙河岩组和小庙岩组),沉积盖

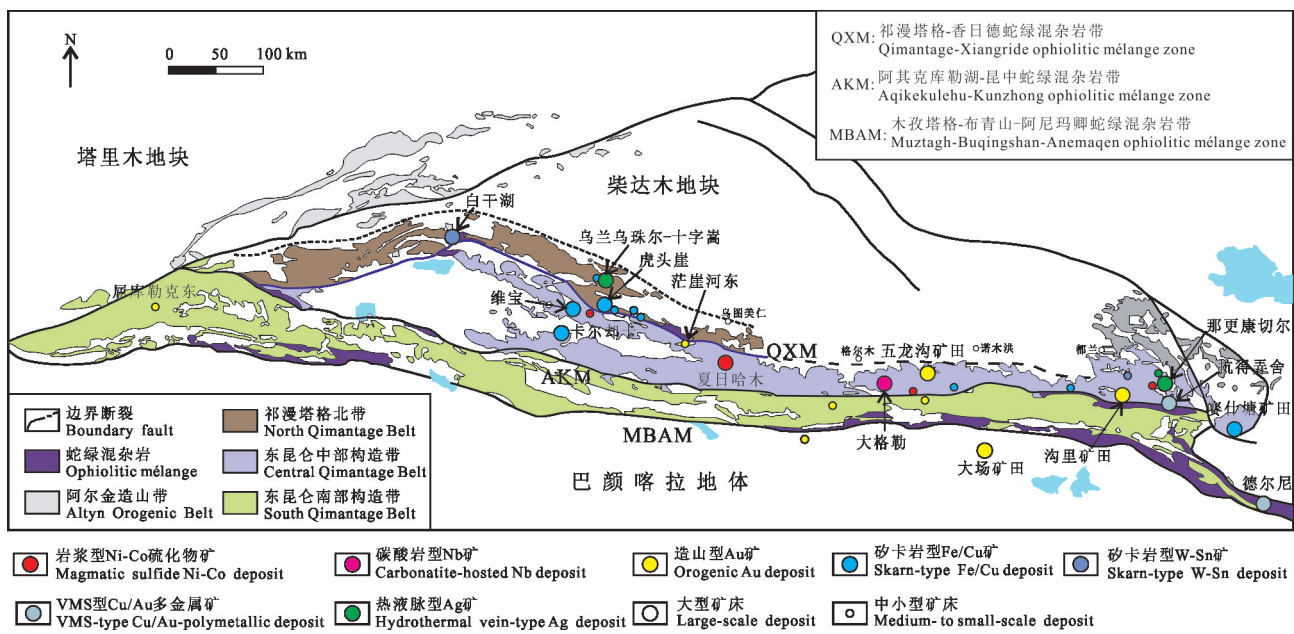


图1 东昆仑造山带构造简图与古特提斯阶段典型矿床分布图(修改自 Dong et al., 2018)

Fig.1 Tectonic outline of the East Kunlun Orogen and distribution of typical deposits formed during the Paleo-Tethys period (modified from Dong et al., 2018)



层包括下泥盆统卡拉楚卡组、中泥盆统布拉克巴什组、中-下泥盆统牦牛山组,石炭系一二叠系托库孜达坂组、哈拉郭勒组不整合覆盖于泥盆系及元古界基底之上,鄂拉山组火山岩广泛分布于昆中带的北部及东部地区(Dong et al., 2018)。昆中带幔源岩浆及壳-幔相互作用异常强烈,以产出大面积分布的壳-幔混合成因花岗岩为主要特征,多以大型复式岩基形式产出,主要形成于早古生代志留纪—泥盆纪(474~381 Ma)和晚古生代—早中生代时期(277~204 Ma)。昆中带志留纪—泥盆纪花岗岩类总体具有富钾特征,具有A型、I型及S型花岗质岩浆组合特征(Yu et al., 2020),与同期的镁铁质-超镁铁质岩构成了“双峰式”侵入岩;铁质-超镁铁质岩如夏日哈木、石头坑德、浪木日及阿克楚克赛等,是东昆仑岩浆型铜镍硫化物矿床最重要的成矿岩体(李良等, 2022)。

昆南带以不连续沉积的晚古生代—早中生代火山岩-碎屑岩-碳酸盐岩为主体,主要包括奥陶系—志留系纳赤台群、上石炭统一二叠统浩特洛洼组、中二叠统马尔争组、上二叠统格曲组、中-下三叠统洪水川组、上三叠统八宝山组等,受多期褶皱逆冲作用影响,地层普遍遭受后期改造,不同地层单元之间多以断层或不整合接触(李瑞保, 2012)。与祁漫塔格北带和昆中带明显不同,昆南带以中-新元古代万宝沟群为褶皱基底,古元古代苦海岩群以多个构造岩片的形式零星出露。昆南带侵入岩类零星分布,年龄主要以晚二叠世—早三叠世(269~203 Ma)为主;火山岩、火山碎屑岩以夹层的形式在奥陶系—志留系纳赤台群至晚三叠世八宝山组中均有分布,指示早古生代—中生代昆南带持续的火山活动(岳远刚, 2022)。

## 2 东昆仑古特提斯造山时空演化格架

东昆仑造山带具有多旋回复合造山演化历史,演化过程存在“开合构造”和“地体增生”等不同认识。姜春发等(1992)提出东昆仑造山带的形成经历了中-新元古代、早古生代和晚古生代3个阶段的“开合构造”,每个阶段地壳都是在分与合的“手风琴运动”中向前演化。李廷栋等(1996)提出东昆仑造山带的演化是“地体增生”模式,并认为南、北昆仑地体的拼合发生在石炭纪末—二叠纪初,中三叠世巴颜喀拉地体与南、北昆仑地体拼合。殷鸿福等(1997)

提出东昆仑造山带演化与经典的威尔逊旋回明显不同,其前造山阶段特点是多岛小洋盆,而造山阶段具有“软碰撞、构造迁移和多旋回”的长期洋-陆转换过程。从宏观的中央造山带演化视角来看,以东昆仑-阿尼玛卿-勉略-秦岭/大别/苏鲁缝合带为代表的古特提斯北支洋,具有“东早西晚”的剪式洋盆闭合形式(许志琴等, 2022),其东、西两侧闭合方式也存在明显差异,东段以华北、华南陆块间的陆-陆碰撞造山作用为特色,而西段表现为巴颜喀拉地体(古特提斯残留洋盆+巨厚三叠系浊积岩, Yin et al., 2000; 张雪亭等, 2005)向北增生、拼贴到昆南增生杂岩带边缘的过程。

上述研究奠定了东昆仑造山带演化过程的基本轮廓。近年来,随着东昆仑基础地质调查和研究工作不断深入,大批高精度定年和岩石地球化学数据极大地丰富了东昆仑造山带原-古特提斯的构造演化历史。莫宣学等(2007)将东昆仑带内的花岗岩划分为4个时段(前寒武纪、早古生代、晚古生代—早中生代和晚中生代—新生代),分别与4个造山旋回相对应。祁生胜(2015)在系统总结东昆仑火成岩岩石构造组合基础上,提出其是3个时期大洋(蓟县—青白口纪昆中洋、寒武纪—泥盆纪原特提斯洋、石炭纪—三叠纪古特提斯洋)不连续向北俯冲拼贴增生形成的增生造山带,它只经历了一个不连续的洋-陆转换汇聚重组的阶段,造山带南侧始终有大洋存在,并未真正经历多个造山旋回。针对东昆仑南缘木孜塔格、布青山、阿尼玛卿蛇纹混杂岩带的解剖也进一步证实,原古特提斯洋从寒武纪至中三叠世为连续演化的大洋(祁生胜, 2015; 裴先治等, 2018; Dong et al., 2018; 2022)。董云鹏等(2022)将东昆仑造山带构造演化可概括为早古生代—早泥盆世和早石炭世—三叠纪两阶段俯冲增生模式,其中原特提斯阶段俯冲导致祁漫塔格-香日德缝合带所代表的弧后盆地的打开和闭合,而古特提斯阶段昆仑洋早期沿阿其克库勒湖—昆中缝合带向北俯冲、后期俯冲后撤至木孜塔格-布青山-阿尼玛卿缝合带,二者之间形成了宽广的昆南增生杂岩带。

### 2.1 早—中泥盆世:古特提斯洋—陆构造体制启动

关于东昆仑原-古特提斯构造体制的转换过程与时限目前仍存在较大争议。例如,对于夏日哈木超大型硫化物矿床(413~406 Ma)的构造背景,存在岛弧(Li et al., 2015)、原特提斯碰撞后伸展(Song et al., 2016; Li et al., 2020)及古特提斯裂解(张照伟等,

2021)等不同观点。

近年来,基于中-晚泥盆世一系列碰撞后/造山带垮塌背景的镁铁质-超镁铁质岩(426~390Ma, Dong et al., 2020)、A型花岗岩(425~385 Ma, Chen et al., 2020)、牦牛山组裂谷型磨拉石(423~400 Ma, 陈守建等, 2007)及陆内张裂造山相关的花岗岩-混合岩-麻粒岩高温岩石组合(413~387 Ma, Wang et al., 2022; Gao et al.,

2023)及相关的巴肯型变质作用(410~400 Ma, 张强强等, 2023)等的发现,指示古特提斯洋-陆构造体制的启动更可能始于早-中泥盆世(图2a)。

### 2.2 早石炭世—中二叠世:古特提斯阿尼玛卿洋向北低角度俯冲

晚泥盆世开始,东昆仑南侧的阿尼玛卿洋盆开始正式转入古特提斯演化阶段。东昆仑造山带进入

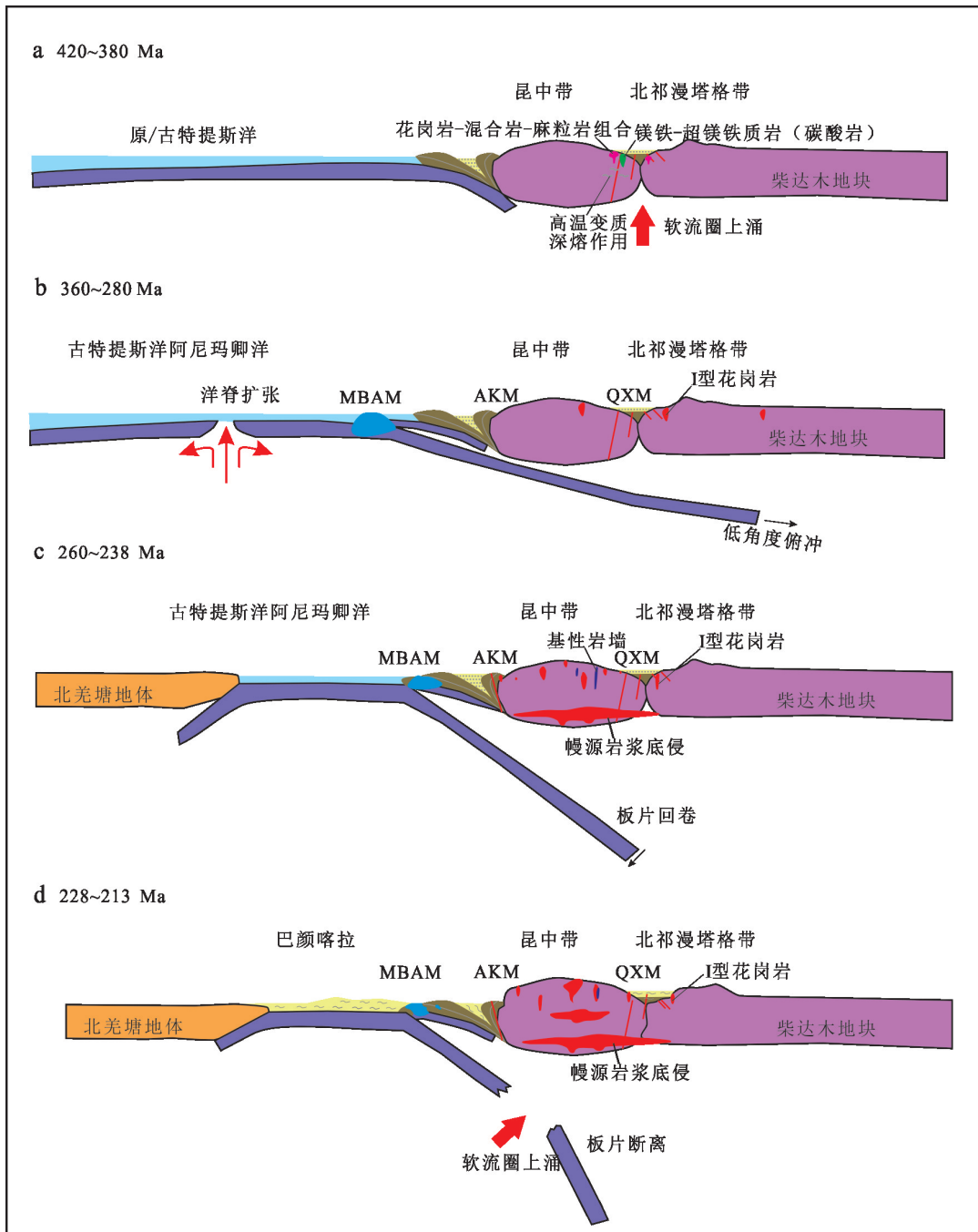


图2 东昆仑造山带古特提斯构造演化格架(据 Dong et al., 2022 修改)

Fig. 2 Paleo-Tethys tectonic evolution framework of the East Kunlun Orogen (modified after Dong et al., 2022)

近100 Ma的构造-岩浆活动的“沉寂期”。传统观点基于早石炭世—早二叠世缺少岩浆活动,认为此时东昆仑处于被动大陆边缘环境。近年来,越来越多具有弧岩浆地球化学特征的中酸性岩浆岩被发现,证明该阶段尽管岩浆活动较弱,但并不完全“沉寂”,该阶段岩体岩性以花岗闪长斑岩、花岗闪长岩和二长花岗岩为主(362~306 Ma, 王疆涛, 2017; Jiao et al., 2020; 邢浩等, 2021),同期的中酸性岩浆活动自东昆仑向北延伸到柴北缘地区(韩建军等, 2020; 李治华等, 2020),结合近期东昆仑西缘具有板片流体交代地幔楔特征的基性富闪深成岩(~335 Ma)的发现(Wang et al., 2022),表明阿尼玛卿洋的俯冲作用可能始于早石炭世,早石炭世—晚二叠世时期总体处于一个宽阔的、弧岩浆活动相对较弱的俯冲背景(图2b),这可能与阿尼玛卿洋低角度甚至平板俯冲有关(Yu et al., 2020; Zhong et al., 2021)。

### 2.3 晚二叠世—中三叠世:俯冲板片回卷及高角度俯冲

晚二叠世(~260 Ma)开始,东昆仑造山带花岗质岩浆活动逐渐增强,至早三叠世达到高峰,晚二叠世—中三叠世花岗岩(约260~238 Ma)构成了东昆仑巨型花岗岩带的主体(莫宣学等, 2007; 丰成友等, 2012; 熊富浩, 2014; 马昌前等, 2015; Dong et al., 2018; Yu et al., 2020)。该阶段花岗岩以闪长岩-英云闪长岩-花岗闪长岩为主,富含镁铁质暗色包体,为普通钙碱性-高钾钙碱性准铝质I型花岗岩(熊富浩, 2014; Xin et al., 2019; Yu et al., 2020),同期发育基性-超基性岩侵入体(胡朝斌等, 2018)、基性岩墙群(熊富浩, 2014),指示伸展背景下不同程度壳-幔相互作用的产物。

总体而言,从中二叠世到早三叠世花岗岩的 $w(\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O})$ 、 $w(\text{K}_2\text{O})$ 和 $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$ 比值明显增高,反映了岩浆弧成熟度逐渐增加(祁生胜, 2015)。从盆地沉积演化来看,在经历了早二叠世晚期—中二叠世长时间的沉积间断之后,在晚二叠世至早-中三叠世发生沉降、重新接受沉积,形成了格曲组、洪水川群等巨厚的碎屑岩-碳酸盐岩夹火山岩组合,显示出伸展弧前盆地沉积属性(闫臻等, 2008; 李瑞保等, 2015; 岳远刚, 2022)。在大洋板块俯冲的晚期阶段,两个汇聚板块之间的密度差别增大,虽然汇聚板块边缘岩石圈继续堆砌加厚,但是俯冲板片在重力作用下发生回卷,板块俯冲角度变陡,导致上覆逆冲板块的伸展和减薄,并伴随弧后裂隙、大

规模弧岩浆活动和新生地壳的形成(Cawood et al., 2009; Zheng et al., 2022)。因此,东昆仑造山带晚二叠世—中三叠世大规模弧岩浆活动伴随伸展弧前盆地的发育,代表了俯冲板片回卷导致的伸展构造背景(图2c)。

### 2.4 晚三叠世中早期:俯冲后期地壳增厚与伸展

晚三叠世中早期,东昆仑进入地体拼贴导致地壳增厚与后碰撞(俯冲)伸展背景。昆南构造带上三叠统八宝山组陆相磨拉石建造(<217 Ma, 岳远刚, 2014)、祁漫塔格北带及昆中带上三叠统鄂拉山组陆相火山岩系(228~217 Ma, Fan et al., 2022)与下伏地层之间的角度不整合,是东昆仑地区规模最大的角度不整合界面,代表晚三叠世早期东昆仑地区经历了区域性的挤压变形和抬升剥蚀事件。这次区域性的挤压事件,可能与阿尼玛卿洋盆闭合或俯冲停滞,巴颜喀拉地体与东昆仑之间发生“软碰撞”造山有关。强烈的挤压、逆冲推覆导致东昆仑中三叠统及下伏地层普遍发生弯滑褶皱变形,使得不同世代、不同成因的岩块和基质堆叠在一起,形成布青山构造混杂岩带,同时在昆南-阿尼玛卿缝合带形成近E-W向的左行走滑韧性剪切带(~240 Ma, 许志琴等, 2007)。

造山挤压背景下,中三叠世(~240 Ma)之后,东昆仑造山带经历短暂的岩浆沉寂期(238~230 Ma),该时期花岗岩岩性主要为花岗斑岩、二长花岗岩、钾长花岗岩,具有富硅、富钠和高的Rb/Sr比值,属于高分异、高钾钙碱性的弱过铝质I型花岗岩,不含或含极少量暗色微粒包体(熊富浩, 2014)。随后(~228 Ma),岩浆活动再次增强,持续至约213 Ma。该阶段花岗岩以(斑状或似斑状)石英闪长岩-花岗闪长岩为主,镁铁质暗色微粒包体发育,出现具有高Sr、低Yb和Y特征的埃达克质I型花岗岩(丰成友等, 2012; 熊富浩, 2014),伴随基性岩墙(228~226 Ma, 熊富浩, 2014)、少量A2型花岗岩(218~213 Ma, 高永宝等, 2014)及上三叠统鄂拉山组陆相火山岩的大规模喷发,标志着区域应力场从挤压转变为伸展,这可能是由于后碰撞(俯冲)阶段深部俯冲板片发生断裂,导致深部地幔岩浆再次上涌底侵至已经加厚的下地壳,发生强烈的壳幔相互作用,进而诱发大规模的岩浆活动(图2d)。

对比研究发现,晚三叠世花岗岩中暗色微粒包体无论数量还是形态大小,都显著小于晚二叠世—中三叠世花岗岩,表明这两个阶段壳幔岩浆混合的



方式和机制存在一定的差异(丰成友等, 2012; 罗明非等, 2014; Yu et al., 2020)。从地球化学特征上看, 晚三叠世火成岩类同样表现出俯冲作用的地球化学印迹, 这可能意味着在俯冲作用停止之后, 俯冲板片仍然对岩浆源区施加影响(熊富浩, 2014; 张明东等, 2018), 但也有研究者认为俯冲作用一直持续到晚三叠世(Liu, 2005; Ding et al., 2014; 祁生胜, 2015)。

## 2.5 晚三叠世晚期: 造山后陆内伸展

晚三叠世晚期(~213 Ma)之后, 东昆仑造山带进入相对稳定的陆内造山阶段, 再无大规模岩浆活动。

东昆仑东段香日德及克日地区 OIB 属性的碱性 A1 型火山岩(粗晶安山岩、流纹质熔结凝灰岩及高 Nb-Ta 流纹岩)喷发于 213~200 Ma(丁烁等, 2011; Zhu et al., 2022; Li et al., 2023), 其地球化学特征明显区别于弧岩浆性质的鄂拉山组火山岩(228~217 Ma)。此外, 在东昆仑西段祁漫塔格地区出露于沟子钾长花岗岩(~210 Ma, 钱兵等, 2015)、景忍二长花岗岩(~204 Ma, 刘云华等, 2006)等碱性 A1 型花岗岩, 结合同时代前陆盆地背景的八宝山组陆相磨拉石建造在昆南构造带的广泛分布(李瑞保, 2012; 岳远刚, 2022), 表明~213 Ma 之后, 东昆仑地区开始进入造山后陆内伸展阶段。

## 3 典型矿床成矿特征与发育机制

东昆仑古特提斯复杂造山环境中多阶段、不同程度的伸展作用, 导致丰富的幔源岩浆活动伴随多阶段的壳-幔相互作用, 形成了规模宏大的巨型岩浆岩带, 孕育了类型丰富、独具特色的大规模金属成矿作用。本文以古特提斯演化过程为主线, 聚焦于早-中泥盆世原/古特提斯转换、晚石炭世—早二叠世洋脊扩张、中-晚三叠世后碰撞 3 个主要成矿期, 以矿床成矿系列理论为指导(陈毓川等, 1998; 2020), 总结代表性矿床地质特征及发育机制, 结合近年主要找矿勘查进展, 梳理东昆仑带古特提斯大规模成矿作用特色。

### 3.1 原/古特提斯转换期幔源岩浆活动与金属成矿

早-中泥盆世是东昆仑原/古特提斯转换期, 是东昆仑幔源岩浆活动的高峰。该阶段成矿作用以夏日哈木超大型 Ni-Co 硫化物矿床及新近发现的大格勒碳酸岩型 Nb-P-REE 矿床的形成成为典型代表, 二者均位于昆中带内(图 1)。夏日哈木岩浆硫化物型矿床于 2011 年发现, 目前已探明 Ni 金属量 118 万 t, 平均

品位 0.68%, 是中国仅次于金川的第二大镍矿, 伴生 Co 金属量 4.29 万 t, 平均品位为 0.028%, Cu 金属量为 23.83 万 t, 平均品位 0.166%(张照伟等, 2021)。夏日哈木矿区共发现 5 个镁铁质-超镁铁质岩体, 呈岩盆或岩墙状侵入于古元古代金水口群变质岩系及新元古代片麻岩中。其中, I 号岩体是主要的赋矿岩体, 岩性主要为橄榄岩、橄辉岩、辉石岩及辉长岩, 矿体呈似层状、透镜状和不规则状产出岩体的中上部。I 号岩体不同岩相定年结果显示, 辉长岩类形成于 439~423 Ma(王冠等, 2014; Li et al., 2015), 而赋矿的橄榄岩和辉石岩年龄则集中于 413~406 Ma(张照伟等, 2015; Li et al., 2015; Song et al., 2016), 与硫化物矿石的 Re-Os 年龄((408±11) Ma, Li et al., 2020)在误差范围内基本一致。岩石地球化学研究显示早阶段辉长岩类显示更强的弧岩浆地球化学信息, 而赋矿的橄榄岩和辉石岩则具有更多源于俯冲熔体改造的软流圈地幔特征(李文渊等, 2022)。

大格勒碱性岩-碳酸岩型 Nb 矿床是东昆仑带近年发现的新类型矿种, 经初步评价, 目前共圈定碳酸岩脉 7 条, 估算 Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 资源量超过 10 万 t, 品位 0.092%~0.156%, 伴生 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 品位 3.8%~5.6%(王涛等, 2024a)。赋矿碱性岩-碳酸岩杂岩体呈小岩株状产出(图 3), 中心相为岩体中心碳酸岩相, 由内向外依次为中-粗粒橄榄石-辉石岩相、中粒角闪石-辉长岩相和角闪正长岩相, 岩性从内到外整体表现出超基性-基性过渡的特征(李积清等, 2024)。富铌矿物主要为铌铁矿族、铌钙矿、烧绿石、褐钨铌矿和铌易解石, 含铌矿物为含铌钛铁矿和斜锆石(金婷婷等, 2024)。斜锆石定年结果显示富 Nb 碳酸岩的成岩年龄为 382 Ma, 而橄榄岩和辉石岩的成岩年龄为 418 Ma(王秉璋等, 2024a)。同位素地球化学研究显示, 杂岩体内碳酸岩  $\epsilon_{Nd}(t)$  整体接近 -1.07~-0.33, 而 (<sup>87</sup>Sr/<sup>86</sup>Sr)<sub>t</sub> 值介于 0.703 718~0.703 964, 投点位于东非裂谷碳酸岩演化线范围内(王泰山等, 2024)。杂岩体内橄榄岩、辉石岩和角闪石岩也均具有相似的 Sr-Nd 同位素组成(李积清等, 2024), 指示均来自于相近的地幔源区。

夏日哈木岩浆型 Ni-Co-Cu 矿床和大格勒 Nb 矿的形成与伸展拉伸环境下的软流圈地幔物质上涌有关, OIB 性质的幔源岩浆成矿作用可能标志着原特提斯演化的结束与古特提斯构造体制的开启。同时, 软流圈地幔物质上涌导致较高地温梯度, 以及区域广泛的高温/低压变质作用及变质深熔作

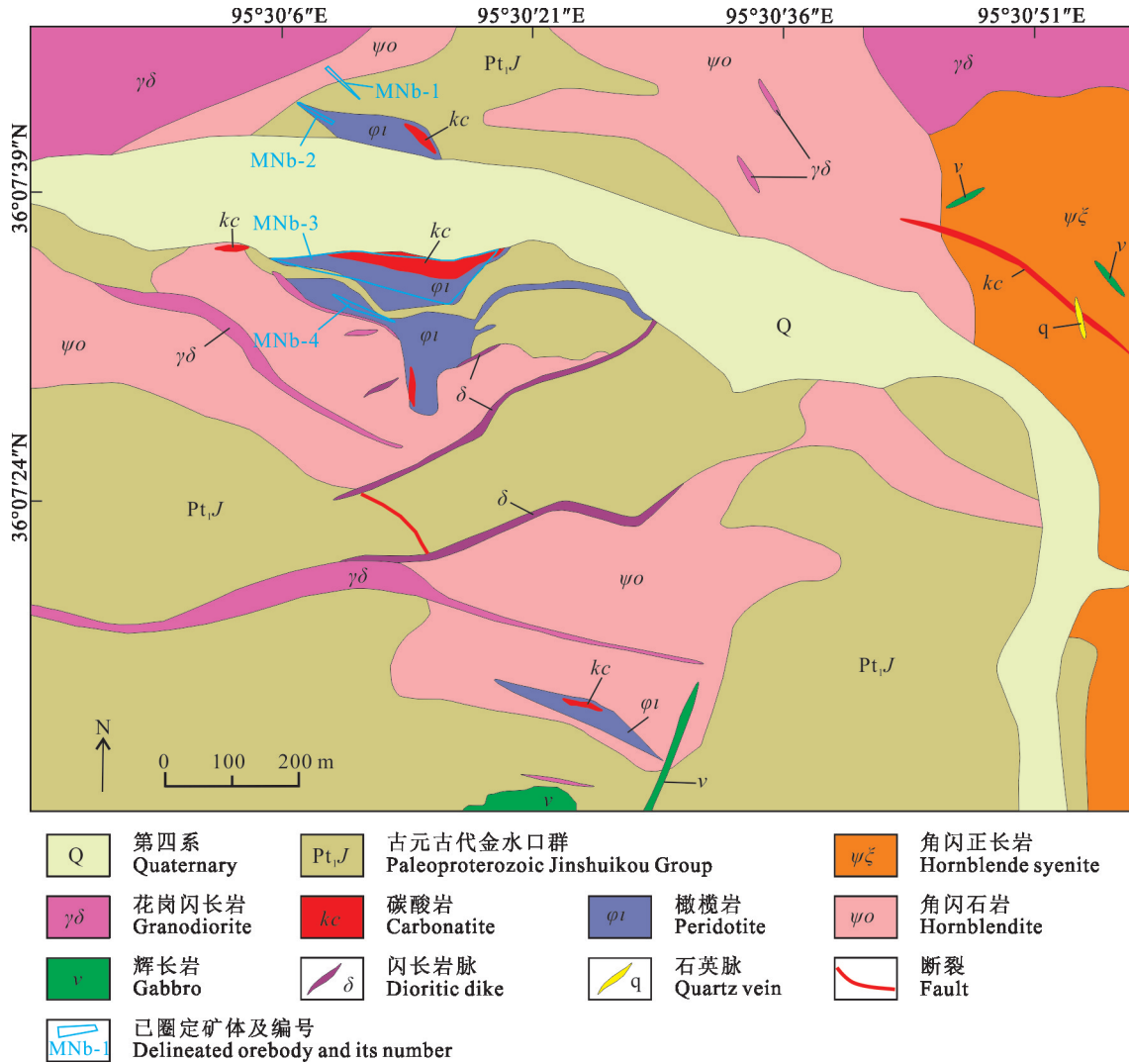


图 3 大格勒矿床地质图(据李积清等, 2024)

Fig. 3 Simplified geological map of the Dagele deposit (after Li et al., 2024)

用。该阶段除幔源岩浆成矿系统外,还发育有变质深熔作用形成的过铝质花岗岩相关的矽卡岩型 W-Sn 矿(如白干湖,丰成友等, 2013)和 Pb-Zn 矿(如夏日哈木 HS31 异常区, 413~414 Ma, 陈欣等, 2023)等。相近的成矿时代表明,上述截然不同的成矿系统可能为伸展构造背景下壳-幔不同端员的产物。

### 3.2 洋脊扩张期洋底热液喷流沉积成矿

晚泥盆世开始,东昆仑地区持续的伸展-拉张作用伴随南侧的阿尼玛卿洋盆洋脊不断扩张,随后于早石炭世洋盆开始向北俯冲缩减,该时期洋中脊环境发育喷流沉积成矿作用。阿尼玛卿蛇绿混杂岩带呈 NW 向或 NWW 向带状展布,长约 300 km,由近百个规模大小不一的基性-超基性岩体组成,包括变质橄榄岩、基性-超基性堆晶岩、辉绿岩墙群和玄武岩

等,以构造岩块、岩片的形式产于晚石炭世、早二叠世地层中,代表被构造肢解的古特提斯洋壳(杨经绥等, 2004)。赋矿的德尔尼蛇绿岩是阿尼玛卿蛇绿混杂岩带中规模最大的岩体,长达 17 km,宽 200~1000 m,蛇绿岩中的玄武岩全岩  $^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$  坪年龄为  $(345.3 \pm 7.9)\text{Ma}$ (陈亮等, 2001),深部玄武岩锆石 SHRIMP U-Pb 年龄为  $(308.2 \pm 4.9)\text{Ma}$ (杨经绥等, 2004),岩石地球化学研究显示玄武岩具有典型的 N-MORB 的稀土元素配分型式,指示晚石炭世成熟洋盆的存在(陈亮等, 2000)。

德尔尼矿床探明铜金属储量 54 万 t(平均品位 1.27%)、钴金属 2.9 万 t(0.09%)、锌 14.7 万 t(1.04%),伴生金 29.29 t(品位 0.43 g/t)、银 275.01 t(4.73 g/t)(焦洪林, 2016)。矿体呈似层状、透镜状赋存于蛇纹



石化橄榄岩内,岩体侵入于下二叠统碳质(砂)板岩中,受后期构造作用影响,矿体与围岩呈现同步褶皱形态;与矿体接触的蛇纹岩往往片理化,呈皮壳状包裹相对刚性的矿体,向外变质变形程度逐渐减弱为角砾状蛇纹岩(图4a~b)。矿石多以块状和条带状硫化物矿石为主,其中黄铁矿可达80%~90%,其次为磁铁矿、黄铜矿、磁黄铁矿、方铅矿、闪锌矿、铬铁矿等,脉石矿物多以碳酸盐类矿物为主,其次为重晶石、石膏和石英等。

德尔尼块状硫化物矿石 Re-Os 定年显示喷流沉积成矿作用发生于 295 Ma(焦建刚等, 2013),与赋矿蛇绿岩形成的时代相近。研究表明,德尔尼矿床的成矿作用以海底喷流沉积成矿为主,并经历了后期构造变形及热液叠加改造(宋忠宝等, 2007;焦建刚等, 2013)。矿体直接产于蛇绿岩内,与产于蛇绿岩套中的 VMS 型矿床(塞浦路斯型)存在明显区别。对比研究发现,德尔尼矿床成矿特征与慢速-超慢速扩张洋脊环境(如大西洋 Logatchev 热液区、Rainbow 热液区以及超慢速扩张的北极 Gakkel 洋脊)中正在形成的块状硫化物矿床特征相近,属于洋中脊超基性岩系统热液成矿作用的产物(李小虎等, 2014)。海底喷流成矿作用可能受到洋底核杂岩相关的低角度拆离断层的控制,这是矿体直接产于地幔超基性岩中的主要原因(张华添等, 2019)。

### 3.3 后俯冲期壳-幔岩浆混合与多金属成矿

晚二叠世开始,东昆仑造山带先后经历俯冲回卷和高角度俯冲、地体拼贴导致地壳增厚与后碰撞(俯冲)伸展等过程。造山过程汇总周期性挤压-伸展环境产生的大规模、幕式岩浆活动,以广泛发育壳-幔混合成因花岗岩为特色(刘成东等, 2004; 谌宏伟等, 2005; 陈国超等, 2013),构成了东昆仑巨型花岗岩带的主体(莫宜学等, 2007; 熊富浩, 2014; Yu et al., 2020)。该阶段晚期(238~213 Ma)形成众多造山型 Au 矿、矽卡岩-斑岩型 Fe/Cu 多金属矿床及浅成低温热液型 Ag 矿床等,代表东昆仑带古特提斯成矿作用的高峰。

造山型 Au 矿是东昆仑造山带的传统优势矿种,累计探明金储量近 400 t,以五龙沟金矿、大场金矿和沟里金矿集区等为代表。金矿体主要受各类韧-脆性断裂系统所控制,赋矿围岩从前寒武系变质基底(金水口群)到上三叠统浊积岩(巴颜喀拉群),再到泥盆纪-三叠纪的各类中酸性花岗岩类。金矿化类型多样,包括石英脉型、蚀变岩型等,部分矿床中显

示出多期次、多源性流体叠加成矿的特征(Zhai et al., 2021; Wu et al., 2021)。成岩成矿年代学研究表明这些金矿主要形成于 238~210 Ma(张德全等, 2005; 夏锐, 2017; Zhao et al., 2021),与东昆仑中-晚三叠世大规模岩浆活动的年龄一致(熊富浩, 2014)。综合典型金矿成矿特征,笔者初步认为古特提斯增生造山过程中多源性区域流体活动为金矿提供了良好的成矿物质基础,而大规模岩浆热液的叠加改造是带内大型金矿成矿的关键。

矽卡岩型 Fe/Cu 多金属矿床是东昆仑古特提斯阶段最主要的成矿类型,成矿作用时间上与中-晚三叠世大规模岩浆活动密切相关(丰成友等, 2011, 2012),空间上主要产于祁漫塔格地区和东昆仑最东端的鄂拉山地区。祁漫塔格地区的典型矿床有卡而却卡 Cu-Pb-Zn-Mo-Fe-Sn 多金属矿床、尕林格 Fe 多金属矿床、肯德可克 Fe 多金属矿床、虎头崖 Cu-Pb-Zn(Fe, Sn)矿床、野马泉 Fe 多金属矿床、四角羊 Pb-Zn 多金属矿床、维宝 Cu-Pb-Zn 多金属矿床等。有利赋矿地层有 3 套,由老到新包括中元古界冰沟群大理岩、片岩、硅质岩;奥陶系-志留系祁漫塔格群结晶灰岩、大理岩、镁质大理岩、硅质岩、火成岩,属海相火山-沉积岩系;石炭系结晶灰岩、石英砂岩等,其中以奥陶系和石炭系最为重要。与成矿有关的侵入岩为印支期(集中于 235~220 Ma)似斑状二长花岗岩、闪长岩和花岗闪长岩。鄂拉山地区是东昆仑带规模最大的 Cu 矿资源集中区,产出有铜峪沟 Cu 矿、赛什塘 Cu 矿、日龙沟 Cu-Sn 矿、索拉沟 Cu-Zn-Ag 矿等大中型矿床。矽卡岩及矿体主要呈层状、似层状位于中-晚三叠世中酸性侵入体与中-下三叠统的接触带或层间构造带(Wang et al., 2016; 2018)。东昆仑古特提斯阿尼玛卿洋壳俯冲停止之后的后俯冲(碰撞)背景下,幔源岩浆底侵形成壳-幔混合成因的 I 型花岗质岩浆作用,上侵至地壳浅部与钙质围岩发生交代作用,是上述矽卡岩 Fe/Cu 多金属矿床形成的主要机制。

浅成低温热液型 Ag 矿是东昆仑造山带近年取得的重要找矿突破,以那更康切尔大型银矿为典型代表。该矿床位于东昆仑造山带东段都兰地区,经详查,探明 Ag 储量达到 5070 t,平均品位 325 g/t(Chen et al., 2022)。银矿体呈脉状、透镜状赋存在古元古代界金水口群片麻岩和上三叠统鄂拉山组火山岩中,受 NW 向断裂构造控制(图 5)。主要矿石矿物包括自然银、辉银矿、银黝铜矿、黄铁矿、白铁矿、

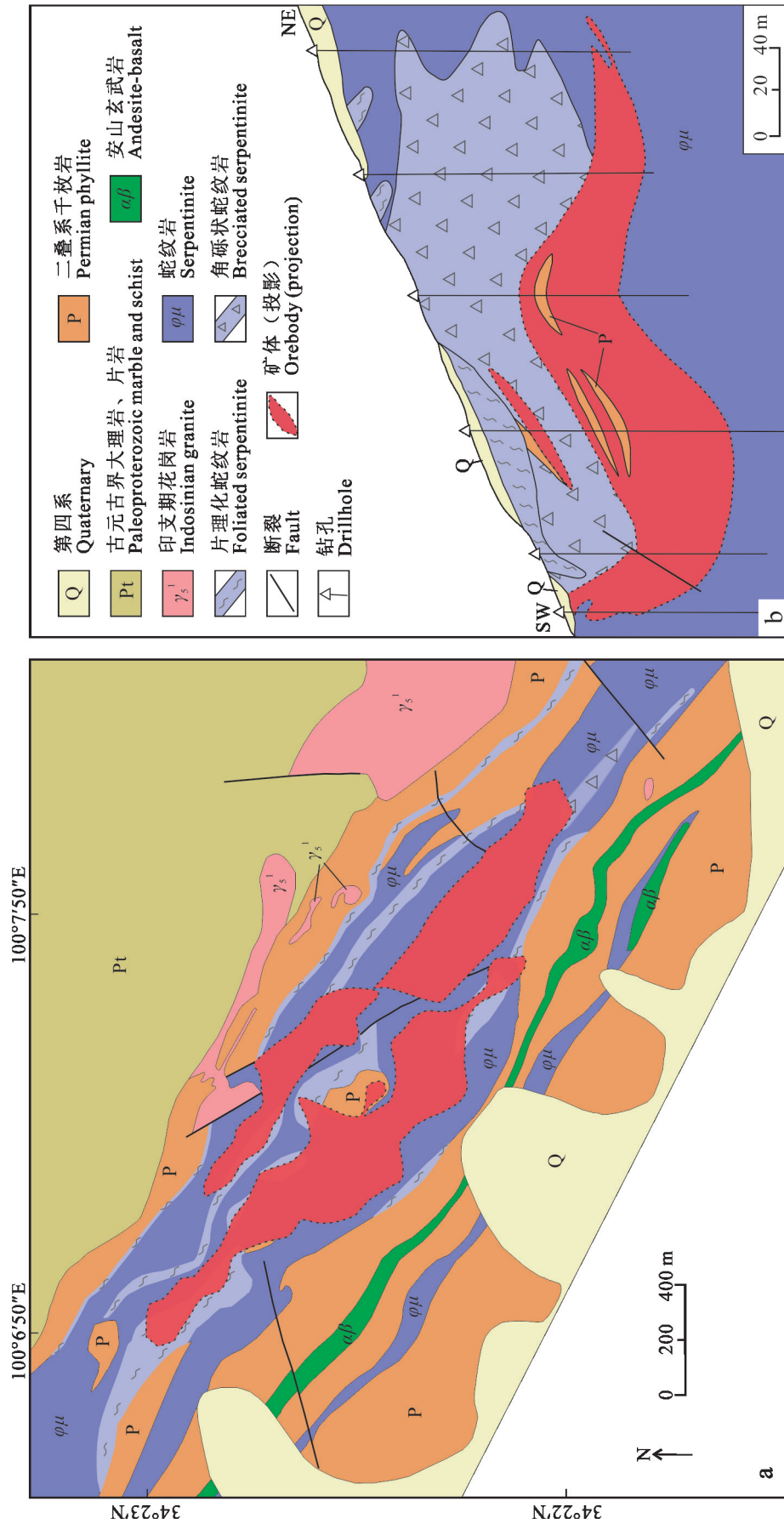


图 4 德儿尼矿床地质图(a, 据焦洪林, 2016)及 I 号矿体西段剖面图(b, 据章年生, 1995)

Fig. 4 Geological map (a, after Jiao, 2016) and cross-section map of west part of No. I orebody (b, after Zhang, 1995) of the Deerni deposit

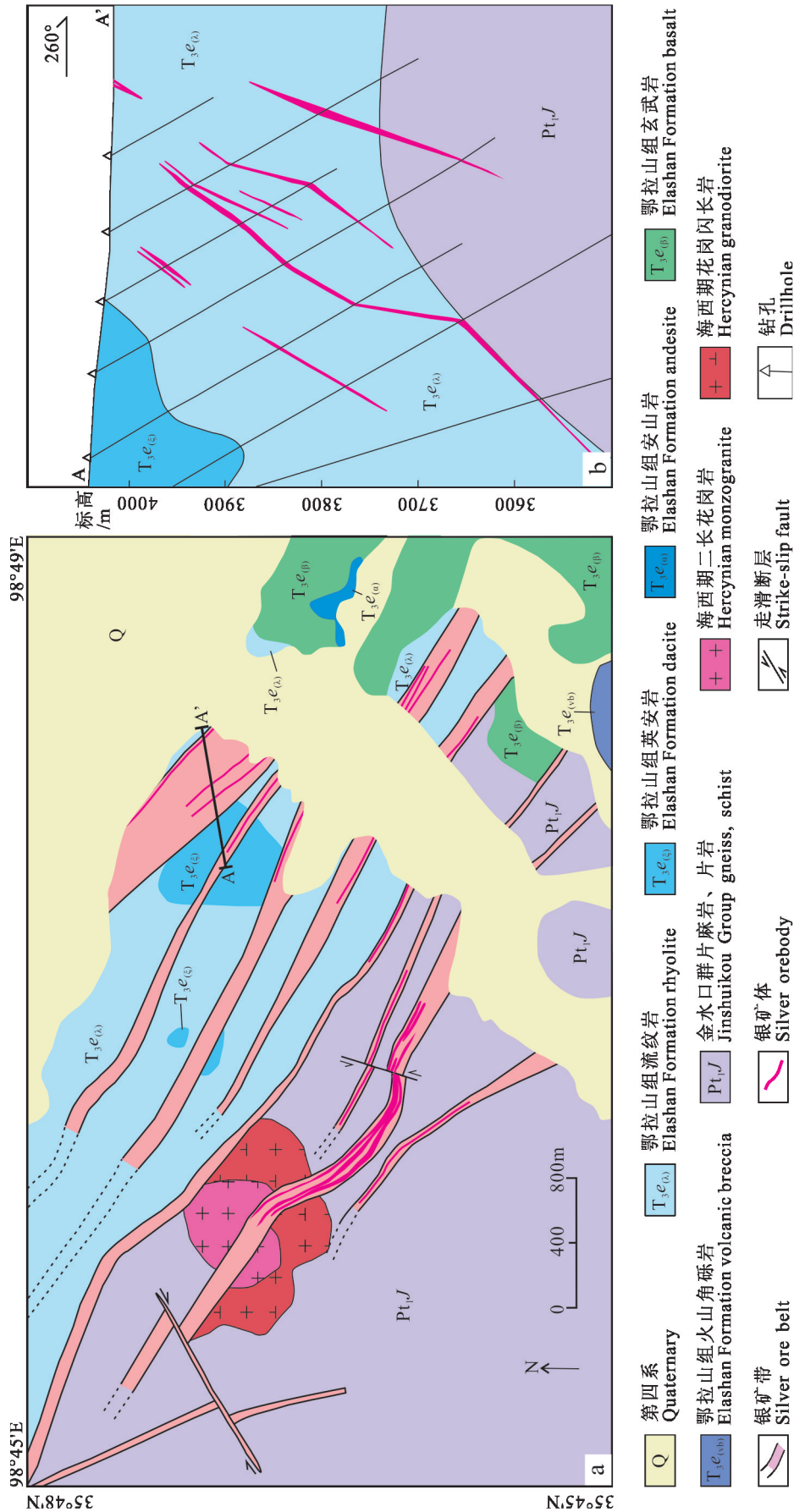


图5 那更康切尕矿床地质图(a, 据李敏同等, 2018)和代表性勘探线剖面图(b, 据 Zhang et al., 2023)

Fig.5 Geological map (a, after Li et al., 2018) and representative cross-section map (b, after Zhang et al., 2023) of the Nagengkangqeer deposit



磁黄铁矿、毒砂、方铅矿、闪锌矿、黝锡矿,脉石矿物为石英、萤石、石墨、Fe-Mn碳酸盐、方解石等。赋矿的鄂拉山组火山岩包括早阶段贫晶体的流纹岩及英安玢岩(228~220 Ma)和晚阶段富晶体的流纹英安岩(220~213 Ma)等组成,这些火山岩的喷发与幔源岩浆注入诱发长英质岩浆房晶体的多期活化作用有关(Chen et al., 2022)。对那更康切尔矿床成矿后方解石脉中方解石的LA-ICP-MS U-Pb定年显示其形成于(207±3)Ma(Zhang et al., 2023),进一步约束矿床成矿年龄可能在213~207 Ma之间。结合区域构造演化,笔者认为那更康切尔银矿可能与古特提斯演化阶段末期后碰撞向造山后陆内伸展过渡背景有关,长期存在的长英质岩浆房(>15 Ma)导致岩浆高度的分异演化,Ag在高分异的富F的岩浆-热液系统不断富集而成矿。

值得注意的是,与安第斯、科迪勒拉及中亚等增生造山带相比,东昆仑并不发育典型的斑岩铜矿系统。如赛什塘、卡而却卡、乌兰乌珠尔、加当根、托克妥、鸭子沟等矿床尽管也存在斑岩型矿化,但矿体规模均较小。Zhong等(2021)对祁漫塔格地区含矿母岩的岩浆性质进行了系统评价,显示成矿母岩氧逸度和含水量普遍较低;鄂拉山地区以赛什塘为代表的矽卡岩-斑岩型矿床发育大量磁黄铁矿及富CH<sub>4</sub>的还原性流体(王辉, 2016)。因此,东昆仑斑岩铜矿系统的发育可能受到相对还原的岩浆及流体性质的制约。相对低氧逸度的岩浆可能与古特提斯洋盆长期处于赤道附近且相对封闭、俯冲沉积物较还原有关,还原的俯冲沉积物随俯冲板片进入地幔楔,将形成低氧逸度的弧岩浆,进而抑制了俯冲阶段斑岩铜矿系统的发育(Richards et al., 2017)。

## 4 成矿潜力及找矿前景展望

尽管本世纪初十余年投入大量地质调查和矿产勘查开发工作,在东昆仑地区新发现及扩大了一批大中型金属矿产地和新的成矿类型,但因高海拔、深切割、难进入等因素,总体矿产勘查和研究工作程度较低,在交通不便的高海拔区、盆山结合带靠近盆地一侧的风成沙覆盖区、现有矿床深边部的地质找矿以及新类型找矿等方面仍具有巨大潜力,值得进一步开展深入研究。综合目前东昆仑找矿勘查和研究现状,笔者认为如下4种类型成矿作用值得进一步关注。

(1) 原/古特提斯转换期东昆仑造山带幔源岩浆

活动强烈,与镁铁-超镁铁质岩有关的岩浆硫化物矿床找矿尚有良好前景。早泥盆世夏日哈木超大型岩浆硫化物矿床的发现不仅开创了东昆仑地区岩浆硫化物矿床找矿的先河,也取得了造山带环境下对岩浆硫化物矿床成矿的新认识。自该矿床发现以来,先后在区域上又发现了冰沟南、石头坑德、尕牙合东沟、阿克楚克塞、浪木日、希望沟等与镁铁-超镁铁质岩有关的岩浆型镍钴铜矿床及矿(化)点,构成沿NWW向构造带展布、长逾600 km的岩浆硫化物成矿带,而且研究发现基性-超基性岩浆侵入活动及金属硫化物成矿作用具有多期多阶段性(李良等, 2022),表明该区具有优越的岩浆硫化物矿床成矿条件和良好的找矿前景、巨大的资源潜力,应加强面上整体研究和空-地-井多方法手段找矿勘查工作,夯实东昆仑镍钴铜岩浆硫化物资源基地,为我国战略性矿产资源保障提供支撑。

(2) 原/古特提斯转换期壳-幔相互作用机制及相关壳源岩浆成矿潜力需要进一步评价。近年来,除发现泥盆纪过铝质花岗岩有关的矽卡岩型W-Sn(白干湖)及Pb-Zn(夏日哈木矿区HS31异常区)等矿床外,在金水口地区还发现有与泥盆纪过铝质花岗岩紧密共生的多条Li、Be矿化的伟晶岩(王秉璋等, 2024b);针对昆仑河地区的过铝质花岗岩的调查评价,显示其中发育良好的Li、Be和Sn金属元素的地球化学异常(王涛等, 2024b),指示东昆仑具有良好的稀有金属找矿前景。因此,应进一步加强该期过铝质花岗岩岩体地质学、岩石学、岩石地球化学及含矿性研究,对拓展区域找矿方向、丰富成矿规律认识具有十分重要的意义。

(3) 古特提斯演化过程中斑岩成矿系统的成矿环境及潜力需要进一步研究。与岩浆作用有关的斑岩-矽卡岩-浅成低温热液型矿床共为同一成矿系统,前已述及,东昆仑带尽管缺乏典型的斑岩铜矿,但发育众多的矽卡岩型Fe/Cu多金属矿床,新近浅成低温热液型Ag矿也取得较大找矿突破。古特提斯演化过程对东昆仑斑岩-矽卡岩-浅成低温热液型成矿系统发育的控制机制尚需进一步的评价。受自然地理条件限制,这些矿床总体的勘查程度仍然较低,已知矿区的深部和外围找矿潜力仍较大。此外,祁漫塔格带矽卡岩型Fe/Cu多金属矿床多数伴生一定含量的Co资源,如肯德可克、牛苦头和尕林格等,其找矿的前景和资源综合利用的价值需要进一步评价。

(4) 东昆仑西段的造山型金矿的成矿与找矿工

作值得关注。目前,东昆仑带发现的造山型 Au 矿主要分布于东昆仑东部地区。新近在东昆仑祁漫塔格地区发现了库德尔特中型金矿(张勇等, 2023)、具有大型远景规模的茫崖河东金矿(李少南等, 2024), 在祁漫塔格新疆段的阿确墩地区发现了豹子沟金矿(李猛等, 2020)、屈库勒克东 Au-Sb 矿(Xing et al., 2023)等, 暗示东昆仑西段具有造山型金矿成矿与找矿潜力, 值得予以关注。

## 5 结 论

(1) 东昆仑造山带保存了古特提斯洋从裂解扩张到消减闭合过程的完整物质记录, 多阶段的挤压-伸展构造背景伴随强烈的幔源岩浆活动及壳-幔相互作用形成种类丰富、独具特色的大规模金属成矿带。

(2) 原/古特提斯转换阶段陆内张裂背景软流圈物质上涌形成夏日哈木岩浆型 Ni-Co-Cu 矿及大格勒碱性岩-碳酸岩型 Nb 矿, 幔源岩浆活动上侵同时诱发中上地壳物质变质深熔作用, 形成过铝质岩浆, 显示出良好的稀有金属及铅锌成矿潜力。

(3) 古特提斯阿尼玛卿洋脊扩张阶段, 洋底热液成矿系统形成德尔尼块状硫化物型 Cu-Co-Zn 矿床; 洋壳俯冲停止之后的后俯冲(碰撞)伸展阶段是东昆仑成矿作用的高峰, 形成众多造山型 Au 矿床、矽卡岩-斑岩型 Fe/Cu 多金属矿床及浅成低温热液型 Ag 矿床。

(4) 东昆仑带目前总体矿产勘查和研究程度仍偏低, 已知矿床的深部及外围地质找矿潜力和找矿空间依然较大, 古特提斯漫长的地质演化过程中多期造山伸展事件、复合成矿过程及其深部驱动机制仍需进一步理清。

**致 谢** 谨以此文敬贺陈毓川院士 90 大寿暨从事地质工作 70 年, 对陈院士为我国地质科学研究和地质找矿工作做出的卓越贡献致以崇高的敬意, 衷心感谢陈院士长期以来对本研究团队在东昆仑造山带开展金属矿床成矿作用、找矿评价及区域成矿规律研究的关心和指导。

## References

Cawood P A, Kröner A, Collins W J, Kusky T M, Mooney W D and

- Windley B F. 2009. Accretionary orogens through Earth history[J]. Geological Society, London, Special Publications, 318(1): 1-36.
- Chen G C, Pei X Z, Li R B, Li Z C, Pei L, Liu Z Q, Chen Y X and Liu C J. 2013. Late Triassic magma mixing in the East Kunlun orogenic belt: A case study of Helegang Xilikete granodiorites[J]. *Geology in China*, 40(4): 1044-1065(in Chinese with English abstract).
- Chen H W, Luo Z H, Mo X X, Liu C D and Ke S. 2005. Underplating mechanism of Triassic granite of magma mixing origin in the East Kunlun Orogenic Belt[J]. *Geology in China*, 32(3): 386-395(in Chinese with English abstract).
- Chen J J, Fu L B, Wei J H, Selby D, Zhang D H, Zhou H Z, Zhao X and Liu Y. 2020. Proto-Tethys magmatic evolution along northern Gondwana: Insights from Late Silurian-Middle Devonian A-type magmatism, East Kunlun Orogen, northern Tibetan Plateau, China [J]. *Lithos*, 356: 105304.
- Chen L, Sun Y, Liu X M and Pei X Z. 2000. Geochemistry of Darni ophiolite and its tectonic significance[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 16(1): 106-110(in Chinese with English abstract).
- Chen L, Sun Y, Pei X Z, Gao M, Feng T, Zhang Z Q and Chen W. 2001. Northernmost paleo-tethyan oceanic basin in Tibet: Geochronological evidence from  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  age dating of Dur'ngoi ophiolite[J]. *Chinese Science Bulletin*, 46(5): 424-426(in Chinese with English abstract).
- Chen S J, Li R S, Ji W H, Zhao Z M, Meng Y and Shi B D. 2007. The deposition characteristics and tectono-paleogeographic environment of Kunlun orogenic belt in Late Devonian[J]. *Geotectonica et Metallogenia*, 31(1): 44-51(in Chinese with English abstract).
- Chen X D, Li B, Yu M, Zhang W D and Zhu L. 2022. Generation of crystal-rich rhyodacites by fluid-induced crystal-mush rejuvenation: Perspective from the Late Triassic Nageng (sub-) volcanic complex of the East Kunlun Orogen, NW China[J]. *Chemical Geology*, 599: 120833.
- Chen X, Wang H, Mao J W, Yu M, Qiao J F and Wang Z A. 2023. Genesis and geological significance of hydrothermal Pb-Zn orebodies in Xiarihamu mining area, East Kunlun Mountains, China[J]. *Earth Science Frontiers*, 30(2): 347-369(in Chinese with English abstract).
- Chen Y C, Pei R F, Song T R, Qiu X P. 1998. Preliminary study on minerogenetic series in China[M]. Beijing: Geological Publishing House(in Chinese).
- Chen Y C, Wang D H, Zhu Y S, Xu Z G, Ren J S, Zhai Y S, Chan Y F, Tang Z L, Pei R F, Teng J W and Deng J F. 2007. Chinese mineralization system and assessment of regional mineralization[M]. Beijing: Geological Publishing House(in Chinese).
- Chen Y C, Pei R F, Wang D H and Huang F. 2020. Four-dimensional metallogeny in earth system and study trends of mineral deposits: A discussion on minerogenetic series (VII)[J]. *Mineral Deposits*, 39(5): 745-753(in Chinese with English abstract).
- Deng J, Wang Q F, Li G J and Santosh M. 2014. Cenozoic tectono-magmatic and metallogenic processes in the Sanjiang region, southwestern China[J]. *Earth-Science Reviews*, 138: 268-299.

- Deng J, Wang Q F, Sun X, Yang L, Groves D I, Shu Q H, Gao L, Yang L Q, Qiu K F, Wang C M and Dong C Y. 2022. Tibetan ore deposits: A conjunction of accretionary orogeny and continental collision[J]. *Earth-Science Reviews*, 235: 104245.
- Ding Q F, Jiang S Y and Sun F Y. 2014. Zircon U-Pb geochronology, geochemical and Sr-Nd-Hf isotopic compositions of the Triassic granite and diorite dikes from the Wulonggou mining area in the eastern Kunlun Orogen, NW China: Petrogenesis and tectonic implications[J]. *Lithos*, 205: 266-283.
- Ding S, Huang H, Niu Y L, Zhao Z D, Yu X H and Mo X X. 2011. Geochemistry, geochronology and petrogenesis of East Kunlun high Nb-Ta rhyolites[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 27(12): 3603-3614(in Chinese with English abstract).
- Dong J L, Song S G, Su L, Allen M B, Li Y G and Wang C. 2020. Early Devonian mafic igneous rocks in the East Kunlun Orogen, NW China: Implications for the transition from the Proto-to Paleo-Tethys oceans[J]. *Lithos*, 376: 105771.
- Dong Y P, He D F, Sun S S, Liu X M, Zhou X H, Zhang F F, Yang Z, Cheng B, Zhao G C and Li J H. 2018. Subduction and accretionary tectonics of the East Kunlun orogen, western segment of the Central China Orogenic System[J]. *Earth-Science Reviews*, 186: 231-261.
- Dong Y P, Sun S S, Santosh M, Zhao J, Sun J P, He D F, Shi X H, Hui B, Cheng C and Zhang G W. 2021. Central China Orogenic Belt and amalgamation of East Asian continents[J]. *Gondwana Research*, 100: 131-194.
- Dong Y P, Hui B, Sun S S, Yang Z, Zhang F F, He D F, Sun J P and Shi X H. 2022. Multiple orogeny and geodynamics from Proto-Tethys to Paleo-Tethys of the Central China Orogenic Belt[J]. *Acta Geologica Sinica*, 96(10): 3426-3448(in Chinese with English abstract).
- Dong Y P, Sun S S, Santosh M, Hui B, Sun J P, Zhang F F, Cheng B, Yang Z, Shi X H, He D F, Yang L, Cheng C, Liu X M, Zhou X H, Wang W and Qi N. 2022. Cross orogenic belts in Central China: Implications for the tectonic and paleogeographic evolution of the east Asian continental collage[J]. *Gondwana Research*, 109: 18-88.
- Fan X Z, Sun F Y, Xu C H, Wu D Q, Yu L, Wang L, Yan C and Bakht S. 2022. Volcanic rocks of the Elashan Formation in the Dulan-Xiangride Basin, East Kunlun Orogenic Belt, NW China: Petrogenesis and implications for Late Triassic geodynamic evolution[J]. *International Geology Review*, 64(9): 1270-1293.
- Feng C Y, Zhao Y M, Li D X, Liu J N, Xiao Y, Li G C and Ma S C. 2011. Skarn types and mineralogical characteristics of the Fe-Cu-polymetallic skarn deposits in the Qimantage area, western Qinghai Province[J]. *Acta Geologica Sinica*, 85(7): 1108-1115(in Chinese with English abstract).
- Feng C Y, Wang S, Li G C, Ma S C and Li D S. 2012. Middle to Late Triassic granitoids in the Qimantage area, Qinghai Province, China: Chronology, geochemistry and metallogenic significances[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 28(2): 665-678(in Chinese with English abstract).
- Feng C Y, Li G C, Li D X, Zhou A S and Li H M. 2013. Ore-controlling structure and  $^{40}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}$  geochronology of Kekekaerde tungsten-tin deposit in Qimantage area, Xinjiang[J]. *Mineral Deposits*, 32(1): 207-216(in Chinese with English abstract).
- Feng C Y, Li D X, Zhang D Q, Li D S and Zhang D Q. 2023. Geology and poly-metallic mineralization in Qimantage area, East Kunlun Orogen[M]. Beijing: Geological Publishing House. 1-319(in Chinese).
- Gao Y B, Li W Y, Qian B, Li K, Li D S, He S Y, Zhang Z W and Zhang J W. 2014. Geochronology, geochemistry and Hf isotopic compositions of the granitic rocks related with iron mineralization in Yemaquan deposit, East Kunlun, NW China[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 30(6): 1647-1665(in Chinese with English abstract).
- Gao Y J, Liu Y G, Zhang J W, Kong H L, Chen A P and Kou S L. 2023. Post-UHP tectonic evolution of the East Kunlun Orogenic Belt, northern Tibetan Plateau: Insight from the regional-scale crustal anatexis[J]. *International Geology Review*, 65(4), 585-606.
- Han J J, Song C Z, He J, Qi C W, Han X and Liu H W. 2020. Zircon U-Pb Age, Geochemical and geological characteristics of the dioritic-granitic intrusive rocks in the Niubiziliang area, northern Qaidam Basin[J]. *Geotectonica et Metallogenia*, 44(1): 157-170(in Chinese with English abstract).
- Hou Z Q, Mo X X, Yang Z M, Wang A J, Pan G T, Qu X M and Nie F J. 2006. Metallogenesis in the collisional orogen of the Qinghai-Tibet Plateau: Tectonic setting, tempo-spatial distribution and ore deposit types[J]. *Geology in China*, 33(2): 340-351(in Chinese with English abstract).
- Hou Z Q, Wang Q F, Zhang H J, Xu B, Yu N, Wang R, Groves D I, Zheng Y C, Han S C, Gao L and Yang L. 2022. Lithosphere architecture characterized by crust-mantle decoupling controls the formation of orogenic gold deposits[J]. *National Science Review*, 10: nwac257.
- Hu C B, Li M, Zha X F, Gao X F and Li T. 2018. Genesis and geological significance of Late Paleozoic mantle-derived magmatism in Qimantag, East Kunlun: A case study of intrusion in Yingzhua-gou[J]. *Earth Science*, 43(12): 4334-4349(in Chinese with English abstract).
- Jiang C F, Yang J S, Feng B G and Chai Y C. 1992. Opening-closing tectonics of Kunlun mountains[M]. Beijing: Geological Publishing House(in Chinese with English abstract).
- Jiao D Y, Liu C F, Liu W C, Su H, He J L, Zhao Z X, Ye B Y and Xu X. 2020. Petrogenesis and tectonic significance of the Late Devonian-Early Carboniferous Jianxiashan pluton in the western domain of the eastern Kunlun Orogen, northern Tibetan Plateau[J]. *Geological Journal*, 55(9): 6198-6215.
- Jiao H L. 2016. A study of ore-genesis and prospecting direction of the De'erni copper deposit, Qinghai Province[D]. Supervisor: Di Y J. Beijing: China University of Geosciences (Beijing). 1-65(in Chinese with English abstract).
- Jiao J G, Lu H, Sun Y L, Huang X F and Duan J. 2013. Re-Os dating



- for Demu Cu(Zn-Co) ore deposit in Qinghai Province China and its geological implication [J]. *Geoscience*, 27(3): 577-584(in Chinese with English abstract).
- Jin T T, Wang B Z, Wang T, Li W F, Liu J D, Yuan B W, Fu C L, Li Y L, Zhang X Y, Han X L, Zheng Y and Cao J S. 2024. Mineralogical characteristics of the Nb-riched carbonatite in the Dagele area, East Kunlun[J]. *Geotectonica et Metallogenia*, 48(1): 82-96(in Chinese with English abstract).
- Li C S, Zhang Z W, Li W Y, Wang Y L, Sun T and Ripley Edward M. 2015. Geochronology, petrology and Hf-S isotope geochemistry of the newly-discovered Xiarihamu magmatic Ni-Cu sulfide deposit in the Qinghai-Tibet plateau, western China[J]. *Lithos*, 216-217: 224-240.
- Li H R, Qian Y, Sun F Y, Sun J L and Wang G. 2020. Zircon U-Pb dating and sulfide Re-Os isotopes of the Xiarihamu Cu-Ni sulfide deposit in Qinghai Province, northwestern Geology[J]. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 57(8): 885-902.
- Li J Q, Wang T, Wang B Z, Li W F, Wang T S, Xue W Z, Li Y L, Li Q, Jin T T and Yuan B W. 2024. Mineralogy, geochemistry, and Sr-Nd isotopic characteristics of the niobium rich peridotite in the Dagele area, East Kunlun[J]. *Geotectonica et Metallogenia*, 48(1): 114-124(in Chinese with English abstract).
- Li L, Sun F Y, Li S J, Li B L, Qian Y, Wang C, Zhao T F, Yu L, Wang G, Huo L, Wang L, Zhang Y J, Wang L L, Li H R, Yan J M, Li Y J, Zhang D X, Yang Y Q and Wang W. 2022. Metallogenic geological conditions and regularity of magmatic Cu-Ni sulfide deposits in the East Kunlun metallogenic belt[J]. *Journal of Jilin University (Earth Science Edition)*, 52(5): 1461-1496(in Chinese with English abstract).
- Li M, Hu C B, Zha X F, Gao X F, Ren G L, Li T and Yao Z L. 2020. On the discovery and prospecting significance of the Baozigou gold deposit in the western part of East Kunlun, Xinjiang[J]. *Northwestern Geology*, 53(3): 169-174(in Chinese with English abstract).
- Li M T, Chen X D, Xu Y P, Xie W H, Zhou H B, Sun C B and Liu H. 2018. Characteristics of silver minerals of Nagengkangqieergou silver deposit in eastern Kunlun Orogenic Belt and a brief analysis of the precipitation mechanism of ore-forming elements[J]. *Geological Review*, 64(3): 723-736(in Chinese with English abstract).
- Li R B. 2012. Research on the Late Paleozoic-Early Mesozoic Orogeny in East Kunlun Orogen[D]. Supervisor: Pei X Z. Xi'an: Chang'an University. 1-173(in Chinese with English abstract).
- Li R B, Pei X Z, Li Z C, Pei L, Chen Y X, Liu C J, Chen G C and Liu T J. 2015. The depositional sequence and prototypic basin for Lower Triassic Hongshuichuan Formation in the eastern segment of East Kunlun Mountains[J]. *Geological Bulletin of China*, 34(12): 2302-2314(in Chinese with English abstract).
- Li R S, Ji W H and Yang Y C. 2008. Kunlun mountain and its adjacent area geology[M]. Beijing: Geological Publishing House. 1-400(in Chinese with English abstract).
- Li S N, Wang H, Xie H L, Han Y, Chen S L, Wang, B, Du S P, Ma H Y, Ma W J and Ma Z Y. 2024. Discovery of large prospective gold deposit (10t) in the Qimantage area, East Kunlun Orogen [J/OL]. *Geology in China*, <https://link.cnki.net/urlid/11.1167.P.20240514.0929.004> (in Chinese).
- Li T D and Xiao X C. 1996. Geotectonic analysis of the Tibetan Plateau: Structure, formation and evolution of the Tibetan Plateau lithosphere[J]. *Geological Bulletin of Ministry of Geology and Mineral Resources, PRC*(5), 20: 6-20 (in Chinese).
- Li W Y, Zhang Z W, Wang Y L, Zhang J W, You M X, Zhang Z B and Namkha N. 2022. Tectonic transformation of Proto-and Paleo-Tethys and the metallization of magmatic Ni-Cu-Co sulfide deposits in Kunlun Orogen, Northwest China[J]. *Journal of Earth Sciences and Environment*, 44(1): 1-19(in Chinese with English abstract).
- Li X H, Chu F Y, Lei J J, Yu X and Zhang P P. 2014. The copper isotopic composition of sulfide ores and deposit genesis of the Dur'ngoi Cu(Zn-Co) deposit in Qinghai Province, China[J]. *Earth Science Frontiers*, 21(1): 196-204(in Chinese with English abstract).
- Li Z C, Pei X Z, Pei L, Liu C J, Xu L L, Li R B, Lin H, Wang M, Ji S, Qin L, Yang Y J, Wang M, Zhao S W and Chen Y X. 2023. Petrogenesis and geochronology of A1-type rhyolites in the late Late Triassic of the East Kunlun Orogenic Belt: Constraints on the end of the Paleo-Tethys Orogenic Event[J]. *Minerals*, 13(2): 290.
- Li Z H, Li B L and Li P. 2020. Zircon U-Pb geochronology, geochemistry, and Hf isotope of the granite porphyry in the Dushugou gold deposit, Tanjianshan area, North Qaidam[J]. *Acta Geologica Sinica*, 94(12): 3625-3642(in Chinese with English abstract).
- Liu C D, Mo X X, Luo Z H, Yu X H, Chen H W, Li S W and Zhao X. 2004. Crust-mantle magma mixing in East Kunlun: Evidence from zircon SHRIMP chronology[J]. *Chinese Science Bulletin*, 49(6): 596-602(in Chinese with English abstract).
- Liu H T. 2005. Petrology, geochemistry and geochronology of Late Triassic volcanics, Kunlun Orogenic Belt, western China: Implications for tectonic setting and petrogenesis[J]. *Geochemical Journal*, 39(1): 1-20.
- Liu Y H, Mo X X, Yu X H, Zhang X T and Xu G W. 2006. Zircon SHRIMP U-Pb dating of the Jingren granite, Yemaquan region of the East Kunlun and its geological significance[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 22(10): 2457-2463(in Chinese with English abstract).
- Luo M F, Mo X X, Yu X H, Li X W, Huang X F and Yu J C. 2014. Zircon LA-CP-MS U-Pb age dating, petrogenesis and tectonic implications of the Late Triassic granites from the Xiangride area, East Kunlun[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 30(11): 3229-3241(in Chinese with English abstract).
- Ma C Q, Xiong F H, Yin S, Wang L X and Gao K. 2015. Intensity and cyclicity of orogenic magmatism: An example from a Paleo-Tethyan granitoid batholith, eastern Kunlun, northern Qinghai-Tibetan Plateau[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 31(12): 3555-3568(in Chinese with English abstract).
- Metcalfe I. 2013. Gondwana dispersion and Asian accretion: Tectonic and palaeogeographic evolution of eastern Tethys[J]. *Journal of*

- Asian Earth Sciences, 66: 1-33.
- Mo X X, Luo Z H, Deng J F, Yu X H, Liu C D, Chen H W, Yuan W M and Liu Y H. 2007. Granitoids and crustal growth in the East-Kunlun Orogenic Belt[J]. Geological Journal of China Universities, 13 (3): 403-414(in Chinese with English abstract).
- Moritz R and Baker T. 2019. Metallogeny of the Tethyan orogenic belt: From Mesozoic magmatic arcs to Cenozoic back-arc and postcollisional settings in Southeast Europe, Anatolia, and the lesser Caucasus: An introduction[J]. Economic Geology, 114(7): 1227-1235.
- Pan G T, Xiao Q H, Lu S N, Deng J F, Feng Y M, Zhang K X, Zhang Z Y, Wang F G, Xing G F, Hao G J and Feng Y F. 2009. Subdivision of tectonic units in China[J]. Geology in China, 36(1): 1-28(in Chinese with English abstract).
- Pei X Z, Li R B, Li Z C, Liu C J, Chen Y X, Pei L, Liu Z Q, Chen G C, Li X B and Wang M. 2018. Composition feature and formation process of Buqingshan composite accretionary Mélange belt in southern margin of East Kunlun Orogen[J]. Earth Science, 43(12): 4498-4520(in Chinese with English abstract).
- Qi S S. 2015. Petrotectonic assemblages and tectonic evolution of the East Kunlun Orogenic Belt in Qinghai Province[D]. Supervisor: Deng J F. Beijing: University of Geosciences (Beijing). 1-334(in Chinese with English abstract).
- Qian B, Gao Y B, Li K, Zhang Z W, Zhou A S and Wu Y S. 2015. Zircon U-Pb-Hf isotopes and whole rock geochemistry constraints on the petrogenesis of iron rare metal mineralization related alkaline granitic intrusive rock in Yugouzi area, eastern Kunlun, Xinjiang[J]. Acta Geologica Sinica, 31(9): 2508-2520(in Chinese with English abstract).
- Qin K Z, Zhao J X, He C T and Shi R Z. 2021. Discovery of the Qiongjiagang giant lithium pegmatite deposit in Himalaya, Tibet, China[J]. Acta Petrologica Sinica, 37(11): 3277-3286(in Chinese with English abstract).
- Richards J P and Şengör A M C. 2017. Did Paleo-Tethyan anoxia kill arc magma fertility for porphyry copper formation[J]? Geology, 45 (7): 591-594.
- Şengör A M C. 1979. Mid-Mesozoic closure of Permo-Triassic Tethys and its implications[J]. Nature, 279: 590-593.
- Song X Y, Yi J N, Chen L M, She Y W, Liu C Z, Dang X Y, Yang Q A and Wu S K. 2016. The giant Xiarihamu Ni-Co sulfide deposit in the East Kunlun Orogenic Belt, northern Tibet plateau, China[J]. Economic Geology, 111(1): 29-55.
- Song Z B, Wang X, Ren Y X, Li Y Z, Wang K, Chen X Y, Chen B, Wang S Q, GAO Y B and Li L. 2007. Superimposed mineralization of Deerni Co-Cu deposit, East Kunlun Mountains, NW China[J]. Northwestern Geology, 40(4): 1-6(in Chinese with English abstract).
- Tang J X, Duo J, Liu H F, Lang X H, Zhang J S, Zheng W B and Ying L J. 2012. Minerogenetic series of ore deposits in the East part of the Gangdise Metallogenic Belt[J]. Acta Geoscientica Sinica, 33 (4): 393-410(in Chinese with English abstract).
- Wang T D, Li W F, Wang B Z, Wang T, Li J Q, Xue W W, Li Y L, Lin Y H, Wang C T, Zhang X L, Cao J S, Yuan B W, Zheng Y, Li Q, Zhang X Y, Zhao Z Y, Jin T T, Ma L and Han X L. 2024. Geochemical characteristics and genesis of the niobium-rich carbonate in the Dagele area, East Kunlun[J]. Geotectonica et Metallogenia, 48(1): 97-113(in Chinese with English abstract).
- Wang B Z, Wang Q, Wang C T, Li W F, Li Y L, Jin T T and Liu J D. 2024a. Discovery and significance of rare and REE mineralized alkaline complex in Dagele area of East Kunlun[J]. Geotectonica et Metallogenia, 48(1): 61-86(in Chinese with English abstract).
- Wang B Z, Pan T, Li W F, Xu G, Liu J D, Zhang X Y, Wang C T and Jin T T. 2024b. Petrogenesis of layered Devonian granites in the Jinshukou area of East Kunlun and its prospecting significance[J]. Acta Petrologica Sinica, 40(3): 827-863(in Chinese with English abstract).
- Wang G, Sun F Y, Li B L, Li S J, Zhao J W and Yang Q A. 2014. Zircon U-Pb geochronology and geochemistry of diorite in Xiarihamu ore district from East Kunlun and its geological significance[J]. Journal of Jilin University(Earth Science Edition), 44 (3): 876-891(in Chinese with English abstract).
- Wang H. 2016. Petrogenesis, metallogeny and tectonic settings of the Saishitang Cu deposit in Qinghai Province, China[D]. Supervisor: Feng C Y. Beijing: Chinese Academy of Geological Sciences. 1-168 (in Chinese with English abstract).
- Wang H, Feng C Y, Li D X, Li C, Ding T Z and Liao F Z. 2016. Geology, geochronology and geochemistry of the Saishitang Cu deposit, East Kunlun Mountains, NW China: Constraints on ore genesis and tectonic setting[J]. Ore Geology Reviews, 72: 43-59.
- Wang H, Feng C Y, Li R X and Li D X. 2018. Geological characteristics, metallogenesis, and tectonic setting of porphyry-skarn Cu deposits in East Kunlun Orogen[J]. Geological Journal, 53: 58-76.
- Wang J T. 2016. Geochronology, geochemistry and tectonic significance of the Pingchangliang and Dashagou plutons, West segment of East Kunlun Orogen[D]. Supervisor: Dong Y P. Xi'an: Northwest University. 1-60(in Chinese with English abstract).
- Wang P, Zhao G C, Liu Q, Yao J L and Han Y G. 2022. Evolution of the Paleo-Tethys Ocean in eastern Kunlun, North Tibetan Plateau: From continental rift-drift to final closure[J]. Lithos, 422: 106717.
- Wang Q, Zhao J, Zhang C L, Yu S Y, Ye X T and Liu X Q. 2022. Paleozoic post-collisional magmatism and high-temperature granulite-facies metamorphism coupling with lithospheric delamination of the East Kunlun Orogenic Belt, NW China[J]. Geoscience Frontiers, 13: 101271.
- Wang T, Wang B Z, Yuan B W, Li Y L, Li J Q, Zhai G L, Ma L, Li W F, Han X L, Feng J P, Wang T S and Han J. 2024a. Exploration progress and prospecting prospect of alkaline rock-carbonate-type niobium deposit in the Dagele area, East Kunlun[J]. Geotectonica et Metallogenia, 48(1): 50-60(in Chinese with English abstract).
- Wang T, Wang B Z, Chen J, Zhang J M, He J, Jing T T and Li W F. 2024b. Genesis and prospecting significance of Caledonian peraluminous granite in Kunlunhe area, East Kunlun[J]. Acta Petrologica Sinica, 40(2): 571-590(in Chinese with English abstract).

- Wu F Y, Wan B, Zhao L, Xiao W J and Zhu R X. 2020. Tethyan geodynamics[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 36(6): 1627-1674(in Chinese with English abstract).
- Wu J J, Zeng Q D, Santosh M, Fan H R, Wei Z H, Yang K F, Zhang Z M, Li X H and Liang G Z. 2021. Intrusion-related orogenic gold deposit in the East Kunlun Belt, NW China: A multiproxy investigation[J]. *Ore Geology Reviews*, 139: 104550.
- Xia R. 2017. Paleo-Tethys orogenic process and gold metallogenesis of the East Kunlun[D]. Supervisor: Deng J. China University of Geosciences (Beijing). 1-206(in Chinese with English abstract).
- Xin W, Sun F Y, Zhang Y T, Fan X Z, Wang Y C and Li L. 2019. Mafic-intermediate igneous rocks in the East Kunlun Orogenic Belt, northwestern China: Petrogenesis and implications for regional geodynamic evolution during the Triassic[J]. *Lithos*, 346: 105159.
- Xing H, Ismaili I, Bai X, Zhang W P and Lin R X. 2021. Chronology, geochemistry and geological significance of Luoyanshan granodiorite porphyry in the West section of East Kunlun[J]. *Xinjiang Geology*, 39(1): 1-9(in Chinese with English abstract).
- Xing L, Li W, Yang F, Zhao X, Symons D T, Seltmann R and Liu B. 2023. Contribution of carbonaceous strata to intrusion-related Au mineralization: Evidence from trace elements and S-Pb isotopes in pyrite from the Qukulekedong Au-Sb deposit, East Kunlun, NW China[J]. *Gondwana Research*, 122: 23-40.
- Xiong F H. 2014. Spatial-temporal pattern, petrogenesis and geological implications of Paleo-Tethyan granitoids in the East Kunlun Orogenic Belt (Eastern Segment)[D]. Supervisor: Ma C Q. Whhan: China University of Geosciences. 1-174(in Chinese with English abstract).
- Xu Z Q, Yang J S, Li H B, Zhang J X and Wu C L. 2007. Orogenic plateau-the Qinghai-Tibet plateau land body split, collision orogenic and uplift mechanism[M]. Beijing: Geological Publishing House. 1-458(in Chinese with English abstract).
- Xu Z Q, Yang J S, Li W C, Li H Q, Cai Z H, Yan Z and Ma C Q. 2013. Paleo-Tethys system and accretionary orogen in the Tibet Plateau[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 29(6): 1847-1860(in Chinese with English abstract).
- Xu Z Q, Li G W, Zhang Z M, Li H B, Wang Y J, Peng M, Hu X M, Yi Z Y and Zheng B H. 2022. Review ten key geological issues of the Tibetan Plateau—Commemoration of the centennial anniversary of *Acta Geologica Sinica*[J]. *Acta Geologica Sinica*. 96(1): 65-94(in Chinese with English abstract).
- Yan Z, Bian Q F, Korchagin O A, Pospelov I I, Li J L and Wang Z Q. 2008. Provenance of Early Triassic Hongshuichuan formation in the southern margin of the East Kunlun Mountains: Constrains from detrital framework, heavy mineral analysis and geochemistry[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 24(5): 1068-1077(in Chinese with English abstract).
- Yang J S, Wang X B, Shi R D, Xu Z Q, Wu C L. 2004. The Dur'ngoi ophiolite in East Kunlun, northern Qinghai-Tibet Plateau: A fragment of paleo-Tethyan oceanic crust[J]. *Geology in China*, 31(3): 225-239(in Chinese with English abstract).
- Yang Z M, Hou Z Q, White N C, Chang Z S, Li Z Q and Song Y C. 2009. Geology of the post-collisional porphyry copper-molybdenum deposit at Qulong, Tibet[J]. *Ore Geology Reviews*, 36(1-3): 133-159.
- Yin A and Harrison T M. 2000. Geologic evolution of the Himalayan-Tibetan orogen[J]. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 28(1): 211-280.
- Yin H F and Zhang K X. 1997. Characteristics of the eastern Kunlun Orogenic Belt[J]. *Earth Science*, 22(4): 3-6(in Chinese with English abstract).
- Yu M, Dick J M and Feng C. 2020. The tectonic evolution of the East Kunlun Orogen, northern Tibetan Plateau: A critical review with an integrated geodynamic model[J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 191: 104168.
- Yu M, Feng C Y, Santosh M, Mao J W, Zhu Y F, Zhao Y M, Li D X and Li B. 2017. The Qiman Tagh Orogen as a window to the crustal evolution in northern Qinghai-Tibet Plateau[J]. *Earth-Science Reviews*, 167: 103-123.
- Yue Y G. 2014. Sedimentary characteristic of Triassic in southern of the East Kunlun and the constraints on the closing time of A'nimaqing Ocean[D]. Supervisor: Dong Y P. Xi'an: Northwest University. 1-57(in Chinese with English abstract).
- Yue Y G. 2022. Accretionary orogenesis of Carboniferous Triassic in the southern belt of East Kunlun Orogen. Supervisor: Dong Y P. Xi'an: Northwest University. 1-199(in Chinese with English abstract).
- Zhai W, Zheng S Q, Zhang L Y, Sun X M, Liang J L, Fu B, Zhao J W, Guo H H, Zhang Y, Han S Y and Wang W B. 2021. In situ pyrite sulfur isotope and trace element analyses of the world-class Dachang gold deposit, northern Qinghai-Tibetan Plateau: Implications for metallogenesis[J]. *Ore Geology Reviews*, 138: 104347.
- Zhang D Q, Dang X Y, She H Q, Li D X, Feng C Y and Li J W. 2005. Ar-Ar dating of orogenic gold deposits in northern margin of Qaidam and East Kunlun Mountains and its geological significance[J]. *Mineral Deposits*, 24(2): 87-98(in Chinese with English abstract).
- Zhang H T and Li J H. 2019. Impacts of serpentinization on ultramafic rock-hosted hydrothermal system along Mid-Ocean ridges: Insight from Dur'ngoi copper massive sulfide deposit, Tibetan Plateau[J]. *Geotectonica et Metallogenia*, 43 (1): 111-122(in Chinese with English abstract).
- Zhang M D, Ma C Q, Wang L X, Hao F H, Zheng S J and Zhang L. 2018. Subduction-type magmatic rocks in post-collision stage: Evidence from Late Triassic diorite-porphyrity of Naomuhungou area, East Kunlun Orogen[J]. *Earth Science*, 43(4): 1183-1206(in Chinese with English abstract).
- Zhang Q Q, Gao X Y, Chen R X and Zheng Y F. 2023. Metamorphic evolution of the East Tethys tectonic domain and its tectonic implications[J]. *Science China Earth Sciences*, 66(12): 2686-2711(in Chinese with English abstract).
- Zhang W S. 1995. A specific type of massive sulphide deposits—De'erni copper deposit[J]. *Acta Geologica Gansu*, 4(2): 22-31(in Chinese with English abstract).



- nese with English abstract).
- Zhang X M, Li Y J, Zhang S T, Li W W, Xu C W, Kamradt A, Borg G and Wei J H. 2023. Geochronology, pyrite trace elements, and in-situ S isotopes of the giant Nagengkangqie' er silver deposit in the Eastern Kunlun Orogenic Belt, Northern Tibetan Plateau[J]. *Ore Geology Reviews*, 105696.
- Zhang X T, Wang B Z, Yu J, Wang P J, Ding X Q, Gu F B and Zhang X T. 2005. Sedimentary characteristics of the Bayan Har remnant ocean basin, northwestern China[J]. *Geological Bulletin of China*, 24(7): 613-620(in Chinese with English abstract).
- Zhang Y, Zhang A K, He S Y, Liu Z G, Liu Y L, Zhang P and Sun F F. 2023. Age, petrogenesis and tectonic significance of granodiorite in Kudeerte gold deposit, Qimantage area, East Kunlun[J]. *Gold Science and Technology*, 31(1): 1-14(in Chinese with English abstract).
- Zhang Z W, Li W Y, Qian B, Wang Y L, Li S J, Liu C Z, Zhang J W, Yang Q A, You M X and Wang Z A. 2015. Metallogenic epoch of the Xiarihamu magmatic Ni-Cu sulfide deposit in eastern Kunlun orogenic belt and its prospecting significance[J]. *Geology in China*, 42(3): 438-451(in Chinese with English abstract).
- Zhang Z W, Qian B, Wang Y L and Li W Y. 2021. Geological characteristics and prospecting potential of magmatic Ni-Cu sulfide deposits in Northwest China[J]. *Northwestern Geology*, 54(1): 82-99 (in Chinese with English abstract).
- Zhao H S, Wang Q F, Groves D I and Deng J. 2021. Progressive spatial and temporal evolution of tectonic triggers and metasomatized mantle lithosphere sources for orogenic gold mineralization in a Triassic convergent margin: Kunlun-Qinling Orogen, central China[J]. *GSA Bulletin*, 133(11-12): 2378-2392.
- Zheng Y F, Chen Y X, Chen R X and Dai L Q. 2022. Tectonic evolution of convergent plate margins and its geological effects[J]. *Science China Earth Sciences*, 65(7): 1247-1276.
- Zhong S H, Li S Z, Feng C Y, Liu Y J, Santosh M, He S Y, Qu H Y, Liu G Y, Seltmann R, Lai Z Q, Wang X H, Song Y S and Zhou J. 2021. Porphyry copper and skarn fertility of the northern Qinghai-Tibet Plateau collisional granitoids[J]. *Earth-Science Reviews*, 214: 103524.
- Zhu Y X, Wang L X, Ma C Q, He Z X, Deng X and Tian Y. 2022. Petrogenesis and tectonic implication of the Late Triassic A1-type alkaline volcanics from the Xiangride area, eastern segment of the East Kunlun Orogen(China)[J]. *Lithos*, 412: 106595.
- 岩<sup>40</sup>Ar-<sup>39</sup>Ar 年龄:青藏最北端古特提斯洋盆存在和延展的证据[J]. *科学通报*, 46(5): 424-426.
- 陈守建, 李荣社, 计文化, 赵振明, 孟勇, 史秉德. 2007. 昆仑造山带晚泥盆世沉积特征及构造古地理环境[J]. *大地构造与成矿学*, 31(1): 44-51.
- 陈欣, 王辉, 毛景文, 于森, 乔建峰, 王治安. 2023. 东昆仑夏日哈木矿区热液型铅锌矿体成因及地质意义[J]. *地学前缘*, 30(2): 347-369.
- 陈毓川, 裴荣富, 宋天锐, 邱小平. 1998. 中国矿床成矿系列初论[M]. 北京: 地质出版社.
- 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. 2007. 中国成矿体系与区域成矿评价[M]. 北京: 地质出版社.
- 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.
- 谌宏伟, 罗照华, 莫宣学, 刘成东, 柯珊. 2005. 东昆仑造山带三叠纪岩浆混合成因花岗岩的岩浆底侵作用机制[J]. *中国地质*, 32(3): 386-395.
- 丁烁, 黄慧, 牛耀龄, 赵志丹, 喻学惠, 莫宣学. 2011. 东昆仑高 Nb-Ta 流纹岩的年代学、地球化学及成因[J]. *岩石学报*, 27(12): 3603-3614.
- 董云鹏, 惠博, 孙圣思, 杨钊, 张菲菲, 何登峰, 孙娇鹏, 史小辉. 2022. 中国中央造山系原-古特提斯多阶段复合造山过程[J]. *地质学报*, 96(10): 3426-3448.
- 丰成友, 赵一鸣, 李大新, 刘建楠, 肖晔, 李国臣, 马圣钊. 2011. 青海西部祁漫塔格地区砂卡岩型铁铜多金属矿床的砂卡岩类型和矿物学特征[J]. *地质学报*, 85(7): 1108-1115.
- 丰成友, 王松, 李国臣, 马圣钊, 李东生. 2012. 青海祁漫塔格中晚三叠世花岗岩: 年代学、地球化学及成矿意义[J]. *岩石学报*, 28(2): 665-678.
- 丰成友, 李国臣, 李大新, 周安顺, 李洪茂. 2013. 新疆祁漫塔格柯可卡尔德钨锡矿床控矿构造及<sup>40</sup>Ar-<sup>39</sup>Ar 年代学研究[J]. *矿床地质*, 32(1): 207-216.
- 丰成友, 李大新, 张德全, 李东生, 张大权. 2023. 东昆仑祁漫塔格成矿带地质与多金属成矿[M]. 北京: 地质出版社. 1-319.
- 高永宝, 李文渊, 钱兵, 李侃, 李东生, 何书跃, 张照伟, 张江伟. 2014. 东昆仑野马泉铁矿相关花岗质岩体年代学、地球化学及 Hf 同位素特征[J]. *岩石学报*, 30(6): 1647-1665.
- 韩建军, 宋传中, 何俊, 祁昌炜, 韩旭, 刘会文. 2020. 柴北缘牛鼻子梁地区闪长-花岗质岩体锆石 U-Pb 年龄、地球化学特征及地质意义[J]. *大地构造与成矿学*, 44(1): 157-170.
- 侯增谦, 莫宣学, 杨志明, 王安建, 潘桂棠, 曲晓明, 聂凤军. 2006. 青藏高原碰撞造山带成矿作用: 构造背景、时空分布和主要类型[J]. *中国地质*, 33(2): 340-351.
- 胡朝斌, 李猛, 查显锋, 高晓峰, 李婷. 2018. 东昆仑祁漫塔格晚古生代末期幔源岩浆活动成因及地质意义: 以鹰爪沟岩体为例[J]. *地球科学*, 43(12): 4334-4349.
- 姜春发, 杨经绥, 冯秉贵, 柴耀楚. 1992. 昆仑开合构造[M]. 北京: 地质出版社.
- 焦洪林. 2016. 青海德尔尼铜多金属矿床成因及找矿方向[D]. 导师:

#### 附中文参考文献

- 陈国超, 裴先治, 李瑞保, 李佐臣, 裴磊, 刘战庆, 陈有炘, 刘成军. 2013. 东昆仑造山带晚三叠世岩浆混合作用: 以和勒冈希里克特花岗岩闪长岩体为例[J]. *中国地质*, 40(4): 1044-1065.
- 陈亮, 孙勇, 柳小明, 裴先治. 2000. 青海省德尔尼蛇绿岩的地球化学特征及其大地构造意义[J]. *岩石学报*, 16(1): 106-110.
- 陈亮, 孙勇, 裴先治, 高明, 冯涛, 张宗清, 陈文. 2001. 德尔尼蛇绿

- 狄永军. 北京: 中国地质大学(北京). 1-65.
- 焦建刚, 鲁浩, 孙亚莉, 黄喜峰, 段俊. 2013. 青海德尔尼铜(锌钴)矿床 Re-Os 年龄及地质意义[J]. 现代地质, 27(3): 577-584.
- 金婷婷, 王秉璋, 王涛, 李五福, 刘建栋, 袁博武, 付长垒, 李玉龙, 张新远, 韩晓龙, 郑英, 曹锦山. 2024. 东昆仑大格勒富铋碳酸岩矿物学特征[J]. 大地构造与成矿学, 48(1): 82-96.
- 李积清, 王涛, 王秉璋, 李五福, 王泰山, 薛万文, 李玉龙, 李青, 金婷婷, 袁博武. 2024. 东昆仑大格勒地区富铋橄榄岩矿物学、地球化学及 Sr-Nd 同位素特征[J]. 大地构造与成矿学, 48(1): 114-124.
- 李良, 孙丰月, 李世金, 李碧乐, 钱焯, 王超, 赵拓飞, 禹禄, 王冠, 霍亮, 王力, 张雅静, 王琳琳, 李浩然, 闫佳铭, 李予晋, 张得鑫, 杨延乾, 王维. 2022. 东昆仑成矿带岩浆铜镍硫化物矿床成矿地质条件与成矿规律[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 52(5): 1461-1496.
- 李猛, 胡朝斌, 查显锋, 高晓峰, 任广利, 李婷, 姚志亮. 2020. 东昆仑西段新疆阿确墩地区豹子沟金矿的发现及其找矿意义[J]. 西北地质, 53(3): 169-174.
- 李敏同, 陈晓东, 许远平, 谢万洪, 周洪兵, 孙崇波, 刘宏. 2018. 东昆仑那更康切尕沟银矿床银矿物特征及成矿元素沉淀机制浅析[J]. 地质论评, 64(3): 723-736.
- 李荣社, 计文化, 杨永成. 2008. 昆仑山及邻区地质[M]. 北京: 地质出版社.
- 李瑞保. 2012. 东昆仑造山带(东段)晚古生代-早中生代造山作用研究[D]. 导师: 裴先治. 西安: 长安大学. 1-173.
- 李瑞保, 裴先治, 李佐臣, 裴磊, 陈有焯, 刘成军, 陈国超, 刘图杰. 2015. 东昆仑东段下三叠统洪水川组沉积序列与盆地构造原型恢复[J]. 地质通报, 34(12): 2302-2314.
- 李少南, 王辉, 谢海林, 韩玉, 陈苏龙, 王斌, 杜生鹏, 马海云, 马文君, 马忠英. 2024. 东昆仑祁漫塔格地区新发现一处大型远景金矿床(10吨)[J/OL]. 中国地质, <https://link.cnki.net/urlid/11.1167.P.20240514.0929.004>.
- 李廷栋, 肖序常. 1996. 青藏高原地体构造分析—青藏高原岩石圈结构构造和形成演化[J]. 中华人民共和国地质矿产部地质专报(五), 20: 6-20.
- 李文渊, 张照伟, 王亚磊, 张江伟, 尤敏鑫, 张志炳, 南卡俄吾. 2022. 东昆仑原、古特提斯构造转换与岩浆铜镍钴硫化物矿床成矿作用[J]. 地球科学与环境学报, 44(1): 1-19.
- 李小虎, 初凤友, 雷吉江, 余星, 张平萍. 2014. 青海德尔尼铜(锌钴)矿床硫化物 Cu 同位素组成及矿床成因探讨[J]. 地学前缘, 21(1): 196-204.
- 李治华, 李碧乐, 李鹏. 2020. 柴北缘滩间山地区独树沟金矿花岗岩斑岩锆石 U-Pb 年代学、地球化学和 Hf 同位素[J]. 地质学报, 94(12): 3625-3642.
- 刘成东, 莫宣学, 罗照华, 喻学惠, 谌宏伟, 李述为, 赵欣. 2004. 东昆仑壳-幔岩浆混合作用: 来自锆石 SHRIMP 年代学的证据[J]. 科学通报, 49(6): 596-602.
- 刘云华, 莫宣学, 喻学惠, 张雪亭, 许国武. 2006. 东昆仑野马泉地区景忍花岗岩锆石 SHRIMP-U-Pb 定年及其地质意义[J]. 岩石学报, 22(10): 2457-2463.
- 罗明非, 莫宣学, 喻学惠, 李小伟, 黄雄飞, 于峻川. 2014. 东昆仑香日德地区晚三叠世花岗岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 定年、岩石成因和构造意义[J]. 岩石学报, 30(11): 3229-3241.
- 马昌前, 熊富浩, 尹焯, 王连训, 高珂. 2015. 造山带岩浆作用的强度和旋回性: 以东昆仑古特提斯花岗岩类岩基为例[J]. 岩石学报, 31(12): 3555-3568.
- 莫宣学, 罗照华, 邓晋福, 喻学惠, 刘成东, 谌宏伟, 袁万明, 刘云华. 2007. 东昆仑造山带花岗岩及地壳生长[J]. 高校地质学报, 13(3): 403-414.
- 潘桂棠, 肖庆辉, 陆松年, 邓晋福, 冯益民, 张克信, 张智勇, 王方国, 邢光福, 郝国杰, 冯艳芳. 2009. 中国大地构造单元划分[J]. 中国地质, 36(1): 1-28.
- 裴先治, 李瑞保, 李佐臣, 刘成军, 陈有焯, 裴磊, 刘战庆, 陈国超, 李小兵, 王盟. 2018. 东昆仑南缘布青山复合增生型构造混杂岩带组成特征及其形成演化过程[J]. 地球科学, 43(12): 4498-4520.
- 祁生胜. 2015. 青海省东昆仑造山带火成岩岩石构造组合与构造演化[D]. 导师: 邓晋福. 北京: 中国地质大学(北京). 1-334.
- 钱兵, 高永宝, 李侃, 张照伟, 周安顺, 吴玉诗. 2015. 新疆东昆仑于沟子地区与铁-稀有多金属成矿有关的碱性花岗岩地球化学、年代学及 Hf 同位素研究[J]. 岩石学报, 31(9): 2508-2520.
- 秦克章, 赵俊兴, 何畅通, 施睿哲. 2021. 喜马拉雅琼嘉岗超大型伟晶岩型锂矿的发现及意义[J]. 岩石学报, 37(11): 3377-3386.
- 宋忠宝, 王轩, 任有祥, 栗亚芝, 王凯, 陈向阳, 陈博, 王升勤, 高永宝, 李丽. 2007. 东昆仑德尔尼矿床中矿床(体)的叠加成矿作用研究[J]. 西北地质, 40(4): 1-6.
- 唐菊兴, 多吉, 刘鸿飞, 郎兴海, 张金树, 郑文宝, 应立娟. 2012. 冈底斯成矿带东段矿床成矿系列及找矿突破的关键问题研究[J]. 地球学报, 33(4): 393-410.
- 王秉璋, 王强, 王春涛, 李五福, 李玉龙, 金婷婷, 刘建栋. 2024a. 东昆仑大格勒泥盆纪正长岩岩石成因和地质意义[J]. 大地构造与成矿学, 48(1): 61-86.
- 王秉璋, 潘彤, 李五福, 许光, 刘建栋, 张新远, 王春涛, 金婷婷. 2024b. 东昆仑金水口泥盆纪层状花岗岩成因和找矿意义[J]. 岩石学报, 40(3): 827-863.
- 王冠, 孙丰月, 李碧乐, 李世金, 赵俊伟, 杨启安. 2014. 东昆仑夏日哈木矿区闪长岩锆石 U-Pb 年代学、地球化学及其地质意义[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 44(3): 876-891.
- 王辉. 2016. 青海赛什塘铜矿成矿作用与构造背景[D]. 导师: 丰成友. 北京: 中国地质科学院. 1-168.
- 王疆涛. 2017. 东昆仑西段平长梁岩体和大沙沟岩体年代学、地球化学及其构造意义[D]. 导师: 董云鹏. 西安: 西北大学. 1-60.
- 王泰山, 李五福, 王秉璋, 王涛, 李积清, 薛万文, 李玉龙, 林艳海, 王春涛, 张鑫利, 曹锦山, 袁博武, 郑英, 李青, 张新远, 赵志逸, 金婷婷, 马林, 韩晓龙. 2024. 东昆仑大格勒富铋碳酸岩地球化学特征及成因初探[J]. 大地构造与成矿学, 48(1): 97-113.
- 王涛, 王秉璋, 袁博武, 李玉龙, 李积清, 翟国良, 马林, 李五福, 韩晓龙, 封建平, 王泰山, 韩杰. 2024a. 东昆仑大格勒地区碱性岩-碳酸岩型铋矿勘查进展及找矿前景[J]. 大地构造与成矿学, 48(1): 50-60.
- 王涛, 王秉璋, 陈静, 张金明, 何皎, 金婷婷, 李五福. 2024b. 东昆仑昆仑河泥盆纪过铝质花岗岩成因和找矿意义[J]. 岩石学报, 40(2): 571-590.
- 吴福元, 万博, 赵亮, 肖文交, 朱日祥. 2020. 特提斯地球动力学[J]. 岩

- 石学报, 36(6): 1627-1674.
- 夏锐. 2017. 东昆仑古特提斯造山过程与金成矿作用[D]. 导师: 邓军. 北京: 中国地质大学(北京). 1-206.
- 邢浩, 艾萨·伊斯马伊力, 摆翔, 张鹏伟, 蔺如喜. 2021. 东昆仑西段落雁山花岗闪长斑岩年代学、地球化学特征及地质意义[J]. 新疆地质, 39(1): 1-9.
- 熊富浩. 2014. 东昆仑造山带东段古特提斯域花岗岩类时空分布、岩石成因及其地质意义[D]. 导师: 马昌前. 武汉: 中国地质大学. 1-174.
- 许志琴, 杨经绥, 李海兵, 张建新, 吴才来. 2007. 造山的高原—青藏高原的陆体拼合、碰撞造山及隆升机制[M]. 北京: 地质出版社.
- 许志琴, 杨经绥, 李文昌, 李化启, 蔡志慧, 闫臻, 马昌前. 2013. 青藏高原中的古特提斯体制与增生造山作用[J]. 岩石学报, 29(6): 1847-1860.
- 许志琴, 李广伟, 张泽明, 李海兵, 王岳军, 彭森, 胡修棉, 易治宇, 郑碧海. 2022. 再探青藏高原十大关键地质科学问题——《地质学报》百年华诞纪念[J]. 地质学报, 96(1): 65-94.
- 闫臻, 边千韬, Korchagin O A, Pospelov I I, 李继亮, 王宗起. 2008. 东昆仑南缘早三叠世洪水川组的源区特征: 来自碎屑组成、重矿物和岩石地球化学的证据[J]. 岩石学报, 24(5): 1068-1078.
- 杨经绥, 王希斌, 史仁灯, 许志琴, 吴才来. 2004. 青藏高原北部东昆仑南缘德尔尼蛇绿岩: 一个被肢解了的古特提斯洋壳[J]. 中国地质, 31(3): 225-239.
- 殷鸿福, 张克信. 1997. 东昆仑造山带的一些特点[J]. 地球科学, 22(4): 3-6.
- 岳远刚. 2014. 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]. 导师: 董云鹏. 西安: 西北大学. 1-57.
- 岳远刚. 2022. 东昆仑南部构造带石炭-三叠纪增生造山作用[D]. 导师: 董云鹏. 西安: 西北大学. 1-199.
- 张德全, 党兴彦, 余宏全, 李大新, 丰成友, 李进文. 2005. 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, 24(2): 87-98.
- 张华添, 李江海. 2019. 蛇纹岩化对洋中脊超基性岩热液硫化物成矿的影响: 来自青藏高原德尔尼铜矿床的启示[J]. 大地构造与成矿学, 43(1): 111-122.
- 张明东, 马昌前, 王连训, 郝峰华, 郑少杰, 张磊. 2018. 后碰撞阶段的“俯冲型”岩浆岩: 来自东昆仑瑙木浑沟晚三叠世闪长玢岩的证据[J]. 地球科学, 43(4): 1183-1206.
- 张强强, 高晓英, 陈仁旭, 郑永飞. 2023. 东特提斯构造域变质演化及其构造启示[J]. 中国科学: 地球科学, 53(12): 2723-2749.
- 张雪亭, 王秉璋, 俞建, 王培俭, 丁西岐, 古风宝, 张显廷. 2005. 巴颜喀拉残留洋盆的沉积特征[J]. 地质通报, 24(7): 613-620.
- 张勇, 张爱奎, 何书跃, 刘智刚, 刘永乐, 张鹏, 孙非非. 2023. 东昆仑祁漫塔格地区库德尔特金矿区花岗闪长岩的时代、成因及其构造意义[J]. 黄金科学技术, 31(1): 1-14.
- 张照伟, 李文渊, 钱兵, 王亚磊, 李世金, 刘长征, 张江伟, 杨启安, 尤敏鑫, 王治安. 2015. 东昆仑夏日哈木岩浆铜镍硫化物矿床成矿时代的厘定及其找矿意义[J]. 中国地质, 42(3): 438-451.
- 张照伟, 钱兵, 王亚磊, 李文渊. 2021. 中国西北地区岩浆铜镍矿床地质特点与找矿潜力[J]. 西北地质, 54(1): 82-99.
- 章午生. 1995. 块状硫化物矿床的一个特殊类型: 德尔尼铜矿[J]. 甘肃地质学报, 4(2): 22-31.