

doi: [10.12097/gbc.2024.06.031](https://doi.org/10.12097/gbc.2024.06.031)

## 青海省成矿规律初探

何书跃<sup>1</sup>, 白国龙<sup>1\*</sup>, 刘智刚<sup>1</sup>, 钟世华<sup>2</sup>, 张勇<sup>1</sup>, 刘永乐<sup>1</sup>, 舒树兰<sup>3</sup>, 王丽君<sup>1</sup>, 赵芙蓉<sup>1</sup>  
HE Shuyue<sup>1</sup>, BAI Guolong<sup>1\*</sup>, LIU Zhigang<sup>1</sup>, ZHONG Shihua<sup>2</sup>, ZHANG Yong<sup>1</sup>, LIU Yongle<sup>1</sup>,  
SHU Shulan<sup>3</sup>, WANG Lijun<sup>1</sup>, ZHAO Furong<sup>1</sup>

1. 青海省第三地质勘查院, 青海 西宁 810029;

2. 中国海洋大学, 山东 青岛 266100;

3. 青海省水文地质工程地质环境地质调查院, 青海 西宁 810001

1. *The Third Geological Exploration Institute of Qinghai Province, Xining 810029, Qinghai, China;*

2. *College of Marine Geosciences, Ocean University of China, Qingdao 266100, Shandong, China;*

3. *Qinghai Hydrogeological, Engineering Geological, and Environmental Geological Survey Institute, Xining 810001, Qinghai, China*

**摘要:**【研究目的】对青海省成矿规律目前尚未进行系统总结,青海省成矿规律和特征不明。【研究方法】在收集前人资料的基础上,系统总结了青海省主要矿床时空分布的特点和成矿规律,建立了青海省主要矿产的成矿模式。【研究结果】青海省矿产资源丰富,主要有镍、金、锂、银、铜、锌、铅等优势金属矿产。其形成时代主要为志留纪—泥盆纪、石炭纪—二叠纪、三叠纪、古近纪、新近纪及第四纪,形成的重要金属矿床类型有:①岩浆型铜镍钴矿床;②碳酸岩型铌矿床;③斑岩-矽卡岩型铜钼铅锌矿床;④造山型金矿床;⑤浅成低温热液型银矿床;⑥喷流沉积(SEDEx)型铜铅锌钴矿床;⑦密西西比河谷型(MVT)铅锌矿床等,其中岩浆型铜镍矿床、造山型金矿床发育世界级大型—超大型矿床。根据其形成的地质背景,划分了13个二级构造单元和6个成矿带,经历了5个时间段的构造演化。【结论】青海省经历了3期(原、古、新)特提斯洋演化与成矿作用,具复杂的成矿地质环境,成矿作用具多期次、多类型、多矿源的特征。

**关键词:**青海省;成矿规律;特提斯;矿产资源;成矿模式;成矿作用

**创新点:**首次梳理了青海省5个时间段构造演化与成矿作用关系,建立了成矿模式。首次提出了(原、古、新)特提斯洋演化是造成青海省成矿作用多期次、多类型、多矿源的主导因素。

中图分类号:P611; P617 文献标志码:A 文章编号:1671-2552(2025)04-0649-30

**He S Y, Bai G L, Liu Z G, Zhong S H, Zhang Y, Liu Y L, Shu S L, Wang L J, Zhao F R. The metallogenetic pattern of Qinghai Province. *Geological Bulletin of China*, 2025, 44(4): 649–678**

**Abstract:** [Objective] It is poorly studied regarding the metallogenetic patterns of Qinghai Province, and the metallogenetic laws and characteristics of Qinghai Province are unknown. [Methods] Based on the collection of previous data, this paper systematically summarizes the characteristics of the spatial and temporal distribution of the major mineral deposits in Qinghai Province and the metallogenetic pattern, and establishes the metallogenetic pattern of the major minerals in Qinghai Province. [Results] Qinghai Province is famous for its abundant mineral resources, mainly including Ni, Au, Li, Ag, Cu, Zn and Pb, all of which are superior metal minerals. The mineralization mainly occurred in Silurian–Devonian, Carboniferous–Permian, Triassic, Paleogene, Neogene and Quaternary. The types of ore deposits that form main superior metal minerals include magmatic Cu–Ni–Co deposits, carbonatite-type Nb deposits, porphyry–skarn-type Cu–Mo–Pb–Zn deposits, orogenic-type Au deposits, epithermal Ag deposits, sedimentary

收稿日期: 2024-06-16; 修订日期: 2024-08-12

资助项目: 青海省“昆仑英才·高端创新创业人才”项目《柴北缘地区金矿成矿系统及找矿突破》(编号: 青地矿科[2022]32号)、青海省地勘基金项目《青海省祁漫塔格地区铜镍钴矿找矿突破研究》(编号: 2024028ky002)

作者简介: 何书跃(1973-), 男, 正高级工程师, 从事地质矿产研究。E-mail: [hsyssl@126.com](mailto:hsyssl@126.com)

\* 通信作者: 白国龙(1985-), 男, 硕士, 高级工程师, 从事地质矿产研究。E-mail: [baigl1985@163.com](mailto:baigl1985@163.com)

exhalative (SEDEX) Cu–Pb–Zn–Co deposits, and Mississippi Valley Type (MVT) Pb–Zn deposits. Among these deposits, among which magmatic Cu–Ni deposits and orogenic-type Au deposits reached world-class large and super-large deposits. According to the geological environments of their formation, they are divided into 13 secondary tectonic units and 6 metallogenic provinces, which experienced the tectonic evolution of five periods. [Conclusions] The formation of mineral deposits, which were closely related to the evolution of Proto-, Paleo- and Neo-Tethys Oceans, These deposits formed under complex environments characterized by the metallogeny of multiple-stages, multiple ore types, and multiple sources of ore-forming materials.

**Key words:** Qinghai Province; metallogenic regularity; Tethys; mineral resource; mineralization model; metallogeny

**Highlights:** For the first time, the relationship between tectonic evolution and mineralization in five periods in Qinghai Province was sorted out, and the mineralization model was established. It is proposed that the evolution of the (Proto-, Paleo-, and Neo-) Tethys Ocean is the dominant factor causing multiple phases, types, and sources of mineralization in Qinghai Province.

青海省处于中央造山带,主要由秦祁昆造山系和北羌塘-三江造山系及康西瓦-修沟-磨子潭地壳对接带组成(祁生胜等,2019),并与华北板块、华南板块相邻,包括若干造山带和微陆块,地质构造十分复杂,由多个微陆块和其间有限洋盆组成原特提斯洋构造域、古特提斯洋构造域和喜马拉雅构造域叠加和转换区域,经历了各陆块从被动陆缘至活动陆缘的转换、洋盆闭合、陆块拼合等阶段,各陆块及之间的活动带有各自的特征(Pan et al., 2012; Chen et al., 2015; Zhong et al., 2018, 2021a, b)。通过区域动力学演化研究(祁生胜等,2013; 夏锐,2017),青海省主要经历古陆裂解、洋陆俯冲、陆陆碰撞、后造山等地质过程。自加里东造山旋回开始(洋盆打开)的岩石学记录,有蛇绿岩中的玄武岩、镁铁—超镁铁质侵入岩,及伴生的放射虫硅质岩、其他深水沉积岩等(Zhong et al., 2017);俯冲造山作用的岩石学记录,有岛弧与陆缘弧型的火山岩与花岗岩及沉积增生楔;碰撞—后碰撞作用的记录,有强过铝花岗岩与火山岩、高钾钙碱性花岗岩、钾玄岩系列岩石、高压—超高压变质岩等;造山末期—后造山事件的记录,有A型花岗岩、磨拉石建造等(莫宣学等,2007)。

青海省成矿单元主要由北部秦祁昆成矿域和南部特提斯成矿域组成(潘彤和王福德,2021),主要经历:①前南华纪古陆边缘环境的形成与成矿;②南华纪—泥盆纪,原特提斯洋的演化与成矿;③石炭纪—三叠纪,古特提斯洋的演化与成矿;④侏罗纪—白垩纪,新特提斯洋的演化与成矿及陆内造山与成矿;⑤第四纪,青藏高原碰撞隆升造山与成矿。在收集前人资料的基础上,本文系统总结了青海近年来的矿产资源研究进展,厘定了青海优势矿产资源的时空分布特征及构造环境协同演化规律和特征,提出了青海优势矿产的成矿模式,为该地区找矿勘查

特别是新一轮找矿突破提供理论指导。

## 1 青海省矿产特征

《中国矿产地志·青海卷》(潘彤等,2022)将青海成矿单元划分为秦祁昆成矿域(I-2)和特提斯成矿域(I-3)2个I级成矿域,祁连—阿尔金成矿省(II-5)、昆仑成矿省(II-6)、秦岭—大别成矿省(II-7)、巴颜喀拉—松潘成矿省(II-8)和三江—喀拉昆仑成矿省(II-9)6个II级成矿省,16个III级成矿带和41个IV级矿带(图1;表1)。

青海省共发现矿床(点)2587处,其中,超大型矿床29处,大型矿床83处,中型矿床190处,小型矿床487处,矿点1798处。青海省有18种矿床类型,主要类型为岩浆型、浅成中—低温热液型、造山型、斑岩-矽卡岩型、喷流沉积型、密西西比河谷型等(潘彤等,2022)。

在已探明的矿种保有资源储量中,有59个矿种居全国前十位,镁盐(氯化镁和硫酸镁)、钾盐、锂矿、锶矿、石棉矿、饰面用蛇纹岩、电石用灰岩、化肥用蛇纹岩、冶金用石英岩、玻璃用石英岩10种矿产居全国第一位,有26个矿种排在前三位。依靠优势矿产,先后兴建了一座座矿业城镇,主要有格尔木(石油、天然气、盐湖)、花土沟(石油)、察尔汗(盐湖)、茫崖(石棉)、冷湖(石油)、大柴旦(盐湖、贵金属)、锡铁山(有色金属)、夏日哈木(铜镍钴)等,促进了全省经济的发展。

在漫长的地史演化中,青海省矿床形成在时间上呈现阶段性、相似性和差异性,在空间分布上具有不均匀性,主要特征总结如下。

(1)青海省北部秦祁昆成矿域和南部特提斯成矿域在昆南断裂两侧的相汇及作用,形成了青海省独特的区域构造格局和成矿特色,南北构造演化与

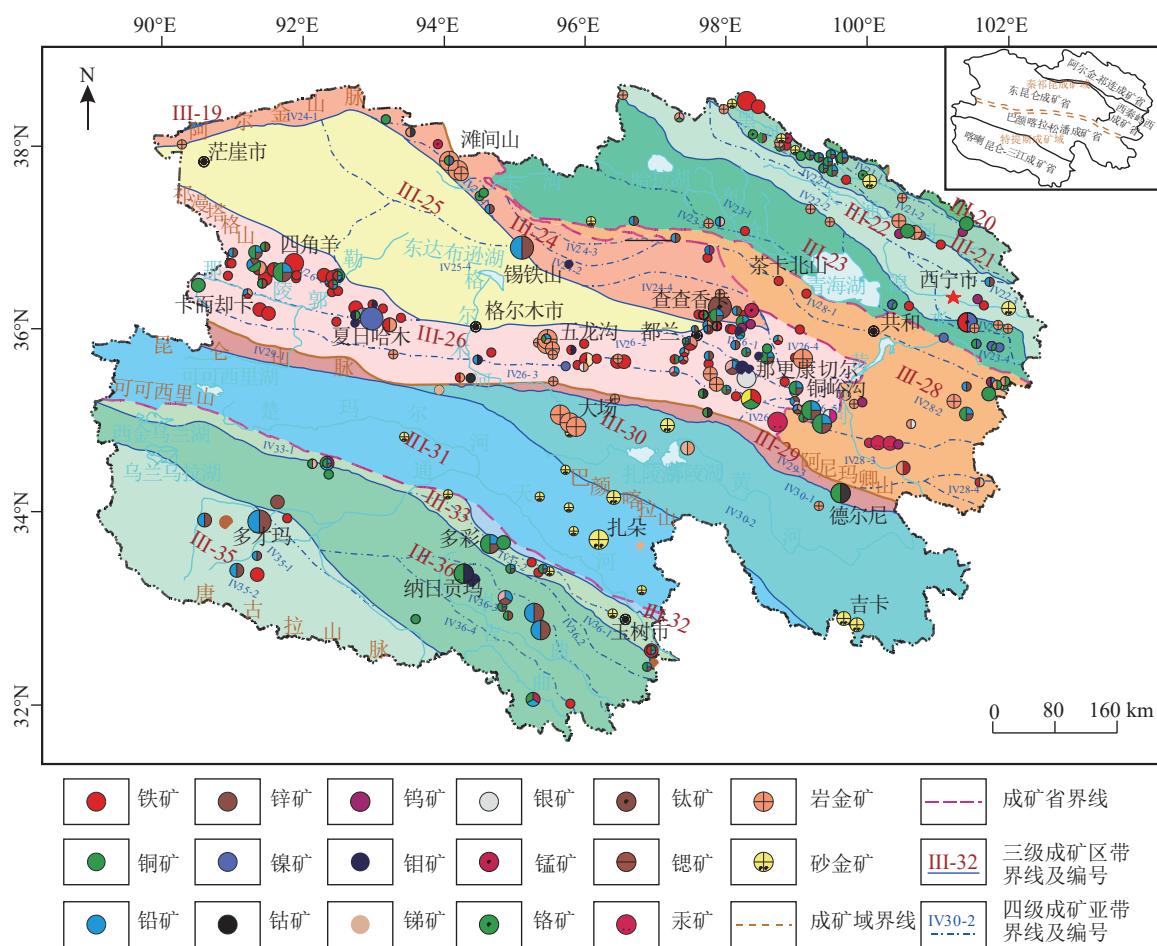


图1 青海省Ⅳ级成矿单元划分图(各单元的具体位置和范围详见图中标识,各级成矿带名称见表1)

Fig. 1 Class IV mineralization unit division map of Qinghai Province

成矿作用差异巨大,成矿特色鲜明。北部矿产多,南部矿产少,部分战略性矿产严重短缺,贫矿较多,富矿少;共生伴生矿产多,单一矿产少;大多数矿床开发利用条件较好。

北部成矿时间早,成矿时间主要集中在志留纪—泥盆纪、中晚三叠世、侏罗纪、古近纪—第四纪。金矿床主要沿柴北缘断裂和昆中断裂呈条带状产出(何书跃等,2023);银矿主要沿昆北断裂呈条带状分布于斑岩体边部及外围;铜镍钴矿主要产于昆北断裂东昆仑超高压变质带中(Song et al., 2016);铜铅锌银钼铜矿主要围绕印支期岩体与地层接触带分布(Zhong et al., 2021a, b);地热资源主要产于土尔根达坂-宗务隆山南缘带晚三叠世碰撞后伸展背景的复合式花岗岩体中;煤矿主要分布于侏罗纪地层中。

南部成矿时间晚,成矿时间主要集中在石炭纪—二叠纪、晚三叠世、古近纪、新近纪。全省最大的金矿床主要沿甘德-玛多断裂大致等距分布于次级

断裂带中(何书跃等,2023);铜钼矿主要沿乌丽-囊谦断裂呈团块状分布于古近纪—新近纪斑岩体边部及外围;铅锌矿主要位于三江特提斯北段沱沱河盆地,为沉积岩容矿型矿床,是与新生代印度-亚欧板块大陆碰撞-造山体系中逆冲推覆作用相关的矿床。

(2)成矿时间上,从北向南明显由老到新,从祁连-阿尔金成矿省的早中古生代较大规模成矿→昆仑成矿省的印支期大规模成矿→三江-喀喇昆仑成矿省的新近纪成矿,成矿强度也具有较明显的北强南弱特征。青海省的主要成矿时期为早志留世—早泥盆世、中晚三叠世、古近纪、新近纪和第四纪。大规模金属成矿作用主要发生在志留纪—泥盆纪、石炭纪—二叠纪、中晚三叠世、古近纪、新近纪和第四纪,古近纪—第四纪时期的高原隆升控制了三江地区斑岩型铜钼矿床和浅成中—低温热液型铅锌铜银矿床的形成,柴达木盆地在喜马拉雅期也控制了省内钾盐、碳酸锂、石油、天然气等非金属矿产的产出。

表 1 青海省Ⅳ级成矿单元划分  
Table 1 Class IV mineralization unit division of Qinghai Province

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)	—	—	
		III-21	北祁连Au-Cu-Pb-Zn-Fe-Cr-煤-石棉-硫铁矿成矿带(青海段)	IV-21-1 IV-21-2 IV-21-3	走廊南山北坡Cu-Cr-Fe-煤成矿亚带 走廊南山南坡Au-Fe-Cu-Pb-Zn-板岩成矿亚带 托来山-大坂山Au-Cu-Pb-Zn-Fe-Cr-石棉-煤-玉石成矿亚带	
I-2秦祁昆 成矿域	II-5阿尔 金-祁连 成矿省	III-22	中祁连Au-Cu-煤-石英岩-大理岩-石灰岩-石膏-粘土成矿带(青海段)	IV-22-1 IV-22-2 IV-22-3	南尕日岛-花石峡W-Fe-煤炭-玄武岩-石英岩-石灰岩-白云岩成 矿亚带 木里-海晏Au-Ag-Ti-煤-石灰岩-白云岩成矿亚带 大通-高庙Pb-Zn-W-煤-石膏-大理岩-石英岩-粘土成矿亚带	
		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)	IV-23-2 IV-23-3 IV-23-4	居洪图-石乃亥Au-Cu-硼-脉石英成矿亚带 拉脊山Au-Ni-Fe-Cu-磷-玉石成矿亚带 日月山-化隆Ni-Fe-Cu-萤石-石灰岩-石英岩成矿亚带	
		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	IV-24-1 IV-24-2 IV-24-3 IV-24-4	俄博梁石棉-Au-Cu-石油-煤-石墨-石墨-白云母成矿亚带 赛什腾山-布果特山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 欧龙布鲁克煤-磷-石灰岩-白云岩-(Fe-粘土)成矿亚带 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	
I-2秦祁昆 成矿域	II-6昆仑成 矿省	III-25	柴达木盆地Li-B-K-Na-Mg-盐类-石油-天然气-芒硝-天然碱成矿带	IV-25-1 IV-25-2 IV-25-3 IV-25-4	柴西北石油-天然气-钾盐-钠盐-镁盐-硼成矿亚带 柴中钾盐-钠盐-镁盐-锂盐-石油-天青石-芒硝成矿亚带 昆北石油、天然气-硼-盐矿-芒硝成矿亚带 达布逊湖钾镁盐-盐矿-天然气-天然碱成矿亚带	
		III-26	东昆仑Ni-Au-Fe-Pb-Zn-Cu-Ag-W-Sn-Co-Bi-Hg-Mn-玉石-萤石-硅灰石-页岩气-重晶石-大理岩-石灰岩-石墨-硫铁矿成矿带(青海段)	IV-26-1 IV-26-2	祁漫塔格-都兰Ni-Fe-Cu-Pb-Zn-W-Sn-Co-Bi-Au-Ag-Mo-硅灰石-白云岩-石灰岩-石墨成矿亚带 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	
II-6昆仑成 矿省	III-26		东昆仑Ni-Au-Fe-Pb-Zn-Cu-Ag-W-Sn-Co-Bi-Hg-Mn-玉石-萤石-硅灰石-页岩气-重晶石-大理岩-石灰岩-石墨-硫铁矿成矿带(青海段)	IV-26-3 IV-26-4 IV-26-5	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 向前沟-满丈岗Au-Ag-Fe-Cu-Pb-Zn-花岗岩成矿亚带 智益-铜峪沟Cu-Pb-Zn-Ag-Sn-Hg-重晶石-萤石-白云母-煤成矿亚带	
I-2秦祁昆 成矿域	II-7秦岭- 大别造山 带成矿省	III-28	西秦岭Au-Pb-Zn-Cu(Fe)-Hg-W-Sb-As-干热岩-石灰岩-大理岩-花岗岩-盐类-泥炭成矿带(青海段)	IV-28-1 IV-28-2 IV-28-3 IV-28-4	宗务隆Pb-Zn-Au-稀有-石灰岩-花岗岩-大理岩成矿亚带 青海南山-泽库Au-Ag-Cu-Pb-Zn-W-Sb-Fe-As-石墨-花岗岩-盐类-干热岩成矿亚带 苦海-作母沟Hg-Au-Pb-Zn-Sb-W-泥炭成矿亚带 西倾山Hg-Sb(Au)成矿亚带	

续表1

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
I -3特提斯 成矿域	II -8巴颜喀 拉-松潘成 矿省	III-29	阿尼玛卿Cu-Co-Zn-Au-煤-砂金- 石膏成矿带(青海段)	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	III-30	北巴颜喀拉-马尔康Au-Sb-砂金- 泥炭成矿带(青海段)	IV-30-1	东大滩-年保玉则Au-Sb-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)	IV-30-2	雅拉达泽-班玛Au-泥炭成矿亚带
	II -9喀喇昆 仑-三江 成矿省	III-32	义敦-香格里拉石膏-芒硝成矿带(青 海段)		
		III-33	金沙江Fe-Ag-Cu-砂金石灰岩-粘 土成矿带(青海段)	IV-33-1	西金乌兰-玉树Cu-Ag-Fe-砂金成矿亚带
		III-35	喀喇昆仑-羌北-Pb-Zn-Fe-Cu- 水晶-石膏成矿带(青海段)	IV-33-2	曲柔尕卡-赵卡隆Cu-Pb-Zn-Ag-Fe成矿亚带
I -3特提斯 成矿域	II -9喀喇昆 仑-三江成 矿省	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)	IV-35-1	纳保扎陇-郭纽曲Pb-Zn-Fe-Cu-石膏成矿亚带
				IV-35-2	各拉丹东-唐古拉山东Fe-Cu-水晶-石膏成矿亚带
				IV-36-1	下拉秀Pb-Zn-Cu成矿亚带
				IV-36-2	乌兰乌拉-乌丽-草曲Cu-煤-砂金-石膏成矿亚带
				IV-36-3	纳日贡玛-囊谦Pb-Zn-Mo-Cu-Ag-Fe-硫铁矿-盐类成矿亚带
				IV-36-4	旦荣-解嘎Ag-Cu-Pb-Zn-煤成矿亚带

(3)在成矿空间上,造山带产金属矿产,盆地中汇聚天然气、石油、煤、盐,该分布特点反映出造山带、山-盆控矿的规律特征。

(4)青海省受3期特提斯洋演化与成矿作用影响明显,具有复杂的成矿地质环境,成矿作用具有多期次、多类型、多矿源的特征(Song et al., 2016; Zhong et al., 2021a)。3期特提斯洋演化与成矿作用特征鲜明:北部阿尔金-祁连成矿省和柴北缘成矿带明显受控于原特提斯洋的演化,产出全省最大的锡铁山喷流沉积型铅锌矿和一系列金银铜铅锌矿床(冯志兴等,2020);中部东昆仑成矿省受控于原、古特提斯洋的演化,形成全国第二大的夏日哈木岩浆型铜镍钴矿、全省最大的那更康切尔沟银矿、大场金矿、茶卡北山锂铍矿和一系列金银铜铅锌矿产,以岩浆热液型和浅成中-低温热液型金银矿最发育,其次为多金属矿;南部特提斯洋的演化和印度-亚欧板块的碰撞-造山,形成了青海省最大的德尔尼喷流沉积铜钴矿、纳日贡玛大型斑岩型钼铜矿和逆冲推覆作用相关的沉积岩容矿的浅成中-低温热液型矿床——多才玛铅锌矿,以及一系列铜铅锌矿。

(5)优势资源的开发主要包括以盐湖化工、水

电、石油天然气、有色金属为主体的四大支柱产业和以冶金、医药、畜产品加工、建材为主体的四大优势产业。

(6)青海在成矿时空上具有独特的矿床工业类型,如泥盆纪—志留纪镁铁—超镁铁岩中的岩浆型铜镍钴矿、晚三叠世岩浆热液型金银矿、新近纪浅成中-低温热液型铅锌矿及斑岩型铜钼矿、第四纪盐类矿油气等(Song et al., 2016)。

## 2 时间成矿规律

由于秦祁昆成矿域和特提斯成矿域的造山期次不同,造山阶段各有特点,其成矿期、成矿作用亦明显不同,其构造环境演化经历了复杂、漫长的历程。从而出现了不同地质历史时期、不同成矿地质背景的构造-岩浆-成矿旋回(李荣社等,2008; Zhong et al., 2021a),在不同阶段也形成了不同类型的矿产。划分的5个主要成矿时间段分布规律如下。

### 2.1 前南华纪(约0.78 Ga)地壳形成与成矿

青海省结晶基底为新太古代—长城纪地质体,总体形成于吕梁期,属层状无序的塑性流变构造变形,南北差异明显。北部秦祁昆造山系普遍遭受了

角闪岩-麻粒岩相塑性流变构造变形,以发育条带状、条痕状、片麻状、片状构造为特点,形成一系列柔流褶皱,以及韧性剪切带等断裂构造变形;南部北羌塘-三江造山系遭受了角闪岩相塑性流变构造变形,以发育片麻状、片状构造为特点,形成一系列柔流褶皱、韧性剪切带等构造变形。最古老地层为新太古界—古元古界德令哈杂岩,陆松年等(2002)在德令哈杂岩的斜长角闪岩中测得的单颗粒锆石U-Pb年龄为 $2412\pm14$  Ma;王勤燕等(2008)在德令哈(岩浆源区)杂岩测得碎屑锆石U-Pb年龄为

$2474\pm59$  Ma,其余形成时代为古—中元古代长城纪(图2;表2)。1.8 Ga的哥伦比亚超大陆聚合与0.8 Ga的罗迪尼亞超大陆聚合基本形成了青海大陆地壳的主体。

涉及的结晶基底地层主要有德令哈杂岩、金水口岩群、托来岩群、化隆岩群、湟源岩群、吉塘岩群、宁多岩群、湟源岩群、小庙岩组、沙流河岩组,条痕状、片麻状等面理构造发生塑性流变褶皱、韧性剪切变形,为以陆源碎屑岩为主的活动性沉积建造。2500~780 Ma期间,青海省经历了3次克拉通化,分

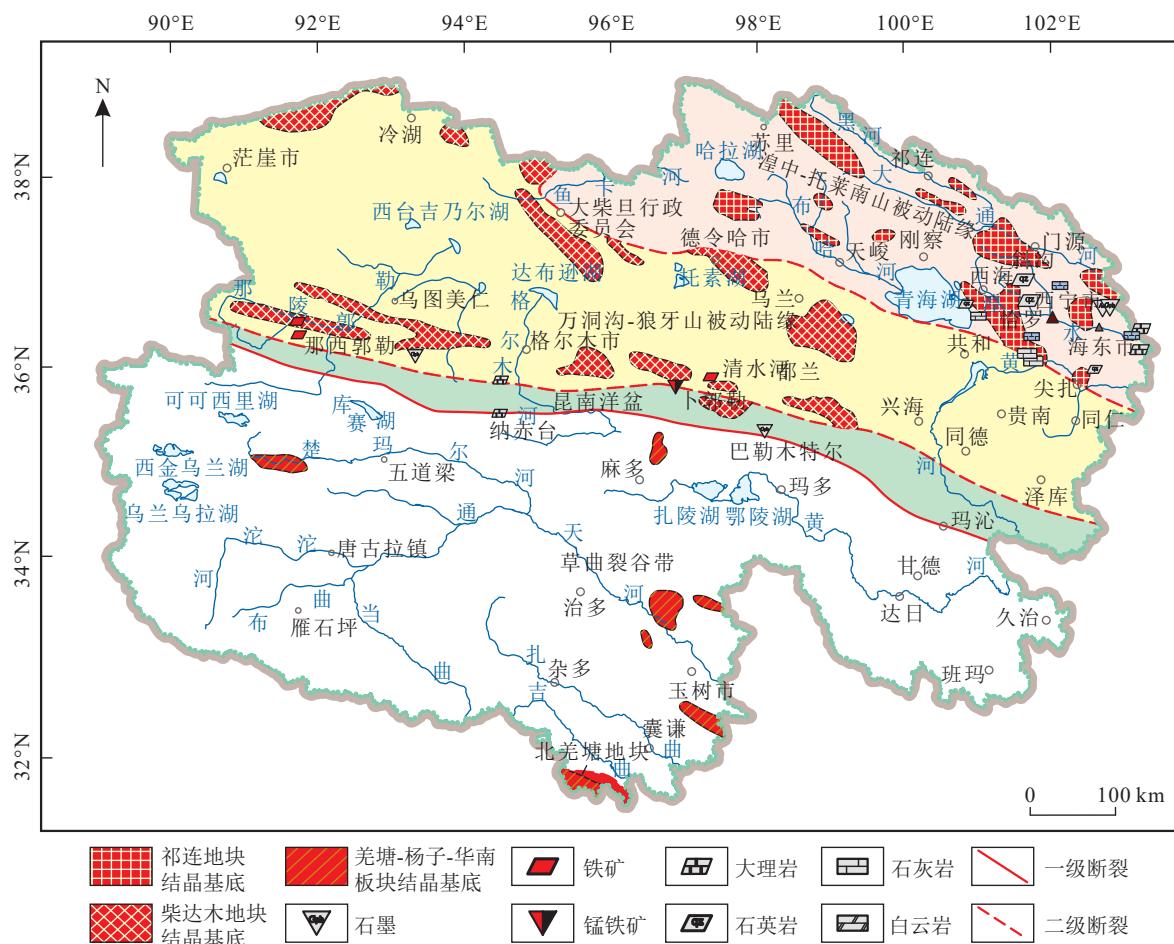


图2 青海省前南华纪矿产分布图

Fig. 2 Distribution of pre-Nanhuaian mineral deposits in Qinghai Province

表2 青海省前南华纪(2500~780 Ma)主要矿床成矿年代

Table 2 Age of mineralization of major pre-Nanhua Period (2500~780 Ma) deposits in Qinghai Province

序号	产地和地质体	相关矿产	岩(矿)石类型	测试对象和方法	年龄/Ma	资料来源
1	昆仑那西郭勒铁石墨矿	铁	花岗片麻岩	锆石U-Pb	2200	张鹏, 2018
2	昆仑哈利哈德山锰矿点	锰	花岗片麻岩-花岗岩-黑云花岗岩	锆石U-Pb	$938\pm22$	许娅玲等, 2011
3	乌兰县东南约13 km的莫河岩体		花岗闪长质-二长质花岗岩	锆石U-Pb	$2470\pm19$	李晓彦等, 2007

别为基诺兰超大陆、哥伦比亚超大陆和罗迪尼亚超大陆的组成部分。

2500 Ma 左右的五台运动(第一次克拉通化)将长英质岩浆焊合为一体,有可能成为基诺兰超大陆的组成部分。由于当时海、陆分界不明,地热梯度高,有益元素分布较均匀,未发生明显的分异,未发现有益金属元素聚集成矿现象。1600 Ma 左右,在青海省发生一期重要的构造运动(湟源运动),省内古大陆初步固结,结晶基底形成(第二次广泛克拉通化)。蓟县纪开始,随着刚性克拉通沿结晶基底中先存的北西西向(区域上还有北东向)弱化带裂解离散,省内第一盖层出现,至青白口纪汇聚重组,伴随古中国大陆最终固结,实现了第三次广泛的克拉通化,可能成为罗迪尼亚超大陆的组成部分(任纪舜等, 1999)。

在结晶初始陆壳的基础上,本期主要表现为活动陆缘和陆间裂陷,古元古代原始古陆被一系列强大的北东向左行韧性剪切带改造,并沿这些古元古代韧性剪切带发生大规模的左行走滑。这一分裂活动形成大陆裂谷并逐步演化为被动陆缘,形成以托赖岩群、化隆岩群、达肯大坂岩群、金水口岩群为代表的陆缘海或陆间海火山-沉积组合,产出以顺层掩卧褶皱、褶叠层为代表的固态塑性流变构造群落(祁生胜等, 2019)。

古元古代早期的拆离作用具有拉张剪切性质,分裂活动形成的大陆裂谷逐步演化为被动陆缘,反映地壳克拉通化的特征,并不同程度具裂陷火山活动,显示出热水沉积的特点,泥砂质沉积碎屑岩中有铁、磷、锰质沉积,碳酸盐岩建造中有炭质富集。沉积序列适宜于铁、磷、锰等沉积矿产发育,形成了沉积变型铁、锰、石墨、白云岩、重晶石矿床,伴随变形作用(潘彤等, 2022)。如那西郭勒沉积变型铁(石墨)矿床,是该区第一次大规模成矿作用的代表性矿床。因产于古元古代金水口岩群中碎屑岩和碳酸盐岩建造内,初步界定为古元古代成矿。

中—新元古代早期主要成矿时限为长城纪—青白口纪。在结晶初始陆壳的基础上,该时期主要表现为活动陆缘和陆间裂陷的形式,以垂向增生、陆缘增生为特征,整体为裂陷体制向亚板块体制过渡。主要表现为古中国大陆(哥伦比亚超大陆的组成部分)裂陷离散与古中国大陆汇聚重组最终固结,并成为罗迪尼亚超大陆的组成部分(祁生胜等, 2019)。

初始裂解作用物质记录包含了长城纪的火山岩和同时期的滨浅海被动大陆边缘沉积,东昆仑南坡为陆缘裂谷沉积。本时期在火山-沉积层序基性火山凝灰岩内,泥质沉积层内形成了铁铜矿床,如镜铁山大型铁铜矿床等,万宝沟群、沙松乌拉组为部分金矿床、矽卡岩型矿床的围岩。在蓟县纪,随着裂解作用的进一步加剧,出现了某些以蛇绿岩等为标志的有限洋盆,如清水泉-扎那合惹蛇绿岩,万宝沟洋岛海山、龙门山蛇绿岩,阿尔金蛇绿岩(1400~1100 Ma)等,其中昆中洋向北俯冲。与之相伴随的沉积响应在区内主要为狼牙山组碳酸盐岩沉积、花儿地组和花石山群碳酸盐岩沉积,万洞沟群陆缘裂谷相沉积,形成了相应的沉积变型铁矿,如都兰洪水河铁锰矿等(潘彤等, 2022)。青白口纪在祁连、柴北缘、东昆仑等地区的同位素年龄值多集中在 0.9 Ga 左右,该阶段以碰撞型花岗岩为主的岩浆岩侵位活动及绿片岩相变质作用,形成了低绿片岩相及片岩与中酸性侵入岩的接触变质带中的磷、红柱石矿。

## 2.2 南华纪—泥盆纪(780~359 Ma) 洋陆转换成矿作用阶段

南华纪—早古生代,随着罗迪尼亚超大陆裂解,原特提斯洋开启,大洋岩石圈消减,形成多岛洋的格局,青海省进入洋陆转换阶段,形成秦祁昆大洋体系,到志留纪—泥盆纪结束。泥盆纪是青海省地质构造发展的重要转换期,区域上,中—上泥盆统与下伏地层角度不整合接触,泥盆纪以后进入古特提斯洋演化阶段,石炭纪一二叠纪为俯冲阶段,晚二叠世—晚三叠世早期为古特提斯洋继续发展阶段,晚三叠世早期内部具有广泛的、穿时性的印支运动,使古特提斯洋最终消亡,在动力学上才达到完全焊合为一体的程度,至此,青海进入陆内发展阶段。

南华纪—早寒武世末,后期构造热事件一般称之为晚泛非事件,经历晚泛非/萨拉伊尔(兴凯)事件核心冈瓦纳形成,劳亚大陆东段西伯利亚大陆增生,古中国大陆解体为泛华夏陆块群,其构造体制为板内变形向板缘变形过渡。

寒武纪—泥盆纪,青海省经历了离散期、洋陆转换、陆陆汇聚和伸展过程,在各阶段形成了不同的成矿类型。寒武纪为东昆仑原特提斯洋形成和扩张的阶段(莫宣学等, 2007),总体处于伸展、裂解构造背景。秦祁昆地区由一系列海底裂谷进化为多岛洋,主域内的洋盆发展不均一,以东昆仑洋(原特提斯

洋)的规模较大,处于原特提斯洋外围的三江—羌塘地区,由于地质记录残留甚少,构造演化过程尚不清楚,可能为被动陆缘。这一时期,祁连形成的典型矿床为海相火山岩型铁矿(小沙龙铁矿)、金矿(扎麻图金矿床)、铜铅锌矿(下柳沟铜铅锌矿床),岩浆型铬矿(绿梁山落凤坡铬矿床)和化学沉积型的磷、白云岩、石英岩矿。中寒武世开始俯冲,由裂解离散转变为汇聚阶段,昆中洋向北俯冲,在祁连(走廊南山、达坂山和拉脊山)、柴北缘、祁漫塔格产生了一系列弧后小洋盆,其蛇绿岩多为SSZ型,在祁连、东昆仑出现洋岛海山。晚寒武世—奥陶纪(515~504 Ma),开始了洋陆消减,步入了汇聚重组(洋-陆转换)构造阶段弧盆系构造期。大规模的俯冲消减发生在奥陶纪,在祁连、柴北缘、东昆仑出现了大量奥陶纪俯冲期TTG、GG花岗岩组合,以及岛弧火山岩组合。祁连、东昆仑、柴北缘形成多个火山岩弧后盆地,发育浅海相碎屑岩-火山岩-碳酸盐岩建造,具有较高的Fe、Cu、Ag、Pb、Zn背景值,构成了区内重要的铁、银、多金属矿源层,也为火山喷流建造多金属矿床提供了成矿环境。晚奥陶世俯冲结束、碰撞开始。志留纪早期(439~416 Ma),除东昆仑地区那棱格勒河以北仍发育俯冲型花岗岩外,省内大部分地区进入弧-陆、陆-陆碰撞阶段。在祁连、东昆仑发育(含白云母)强过铝质碰撞型花岗岩组合(435~417 Ma)。在柴北缘、东昆仑地区出现了2条与大陆深俯冲有关的阿尔卑斯型超高压变质带(柴北缘沙柳河-带含柯石英榴辉岩高压变质带和东昆仑苏海图-温泉高压变质带)。志留纪时期,陆缘碰撞作用和弧盆系俯冲作用同时存在。南昆仑洋盆(原特提斯洋)闭合,发生强烈的碰撞造山,形成哈拉达乌环斑花岗岩带,昆南进入弧-陆碰撞阶段,形成与S型花岗岩有关的钨锡矿。在喀雅客登出现的志留纪花岗岩伴有钨锡矿化,可与新疆白干湖钨锡矿对比。志留纪整体处于碰撞造山过程,碰撞造山期的时限从早志留世一直延续到中泥盆世,随着一系列洋盆(或弧后洋盆)的关闭,在北祁连、拉脊山、柴北缘、祁漫塔格、东昆仑等地形成造山带。早泥盆世整体处于碰撞阶段。在整体挤压碰撞造山的环境下,局部地区进入伸展后造山环境,在东昆仑跃进山地区沿那棱格勒河断裂出现基性-超基性杂岩组合(许长坤等,2012),该岩石组合与夏日哈木、浪木日和阿克楚克赛铜镍矿密切相关。中晚泥盆世广泛的加里东造山运动,既是

上一旋回的结束,又是一个新的构造旋回的开始,代表秦祁昆多岛洋主域及北羌塘-三江被动陆缘结束发展,形成了原特提斯造山系。随着诸地块重新汇聚拼合,完成了大洋岩石圈构造体制向大陆岩石圈构造体制(板内伸展、陆内叠覆造山)的转变,包括青海省区在内的中国主体成为(北)大冈瓦纳大陆的组成部分。成矿作用与超大陆裂解-洋陆演化,构造体系和构造格局密切相关。超大陆裂解导致的洋陆演化,构造体系和构造格局密切相关(潘彤等,2022)。此阶段成矿作用主要发生在阿尔金-祁连成矿省。超大陆裂解导致的裂谷相双峰式火山岩建造,是铜铅锌多金属矿产的含矿建造,如祁连白柳沟多金属矿;而铬镍钴铂矿的形成则与板块体制下的扩张洋脊型蛇绿岩有关,如祁连玉石沟有与扩张洋脊型蛇绿岩相关的矿产生成;岛弧扩张及弧后扩张常形成火山岩型铜矿,如甘肃肃南九个泉铜矿等。该阶段是青海省境地质构造发展活跃时间,已进入更高级的地壳发展阶段,为构造-成岩-成矿的第二次高峰期,许多铜(镍)、钨、铅锌、金等矿床就是在该期形成,成矿环境多样,成矿矿种丰富,矿化程度强,矿化空间密集,形成一系列的大、中型矿床,主要形成岩浆型的元石山铁镍钴矿床、浅成中-低温热液型铜、岩浆热液型金矿、化学沉积型的石灰岩矿床、受变质型的板岩、岩浆型的上庄磷矿、化学沉积石灰岩等,其他地区因晚海西期-印支期叠覆造山改造,该时期矿床保存相对较少(表3;图3)。

南部三江-北羌塘造山系在南华纪-泥盆纪基本维持在海相环境,沉积了零星的碳酸盐岩和碎屑岩,总体可能为与秦祁昆活动陆缘配置的被动陆缘,未见具规模的矿床产出。

### 2.3 石炭纪—三叠纪(359~199.6 Ma)古特提斯洋演化与成矿

与全球陆块运动和古特提斯洋的演化相耦合,青海省北部从泥盆纪开始步入古特提斯洋演化的新阶段,是青海省另一个重要的构造-岩浆-成矿时期,主要受古特提斯洋发展、演化影响(Zhong et al., 2017)。经历了俯冲造山阶段、碰撞-后碰撞造山阶段及后造山阶段,其中俯冲造山和碰撞-后碰撞造山阶段形成的花岗岩分布范围广泛,与成矿关系最密切。古特提斯的裂解主要体现在东昆仑南,同时在北昆仑-祁连-秦岭外围地区有响应。随着裂解作用的增强,石炭纪-中二叠世出现了一系列小洋

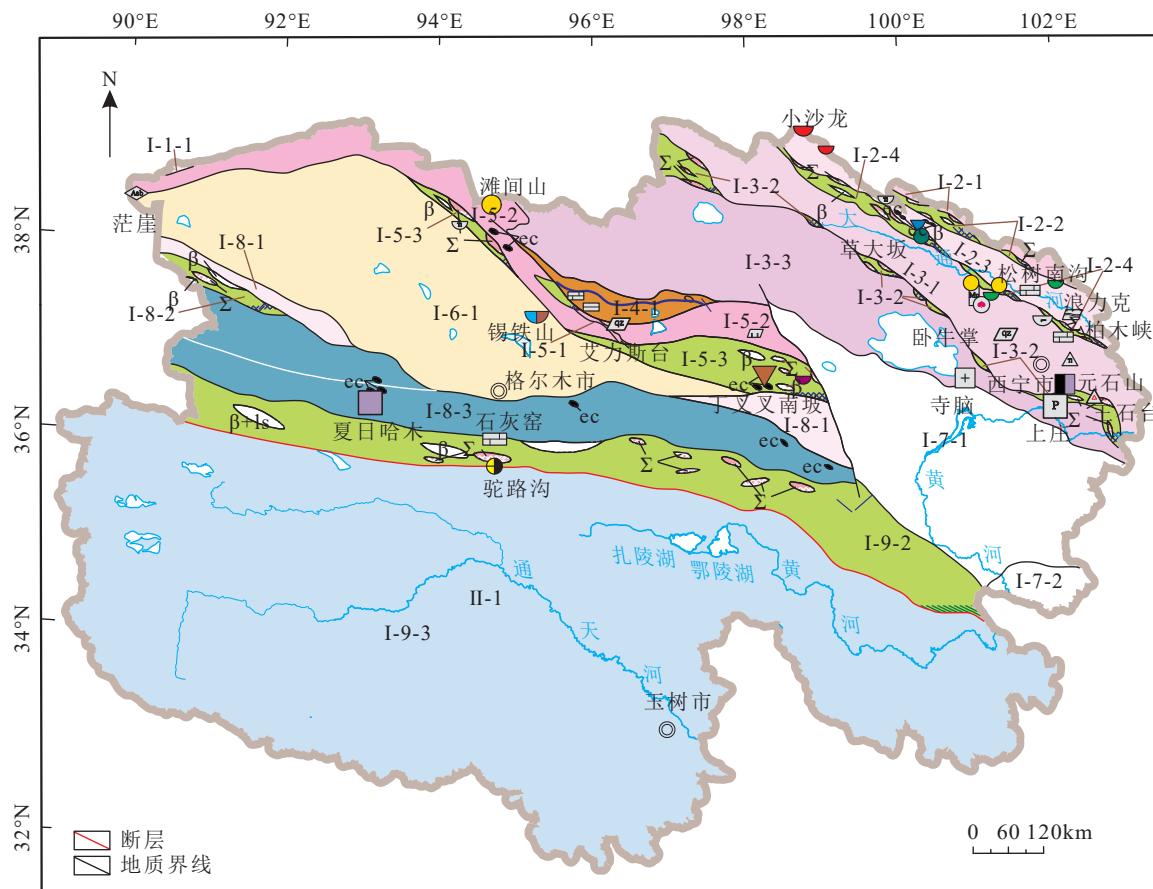
表3 青海省南华纪—泥盆纪(780~359.6 Ma)主要矿床成矿年代

Table 3 Age of mineralization of major Nanhua Period–Devonian (780~359.6 Ma) deposits in Qinghai Province

序号	产地和地质体	矿产	岩(矿)石	测试对象和方法	年龄/Ma	资料来源
1	昆仑青龙沟金矿床	金	蚀变岩型矿石	绢云母Ar-Ar	409.4±2.3	张德全等, 2005
2	昆仑赛坝沟金矿床	金	石英脉	绢云母Ar-Ar	425.5±2.1	张德全等, 2005
3	昆仑赛坝沟金矿床	金	黄铁绢英岩化蚀变糜棱岩金矿石	绢云母K-Ar	426±1.2	丰成友等, 2002
4	昆仑按纳格闪长岩体	金	闪长岩	锆石U-Pb	474.1±2.4	孔会磊等, 2014
5	昆仑按纳格金矿床	金	闪长玢岩脉	锆石U-Pb	478.3±5.7	孔会磊等, 2014
6	昆仑赛坝沟金矿床	金	蚀变糜棱岩型金矿石	绢云母Ar-Ar	426±2	丰成友等, 2002
7	昆仑驼路沟钴(金)矿床	钴	石英钠长石岩	锆石SHRIMP	468±9	丰成友等, 2005
8	昆仑驼路沟钴(金)矿床	钴金	石英钠长石岩	黄铁矿Re-Os	432±23	丰成友等, 2006
9	昆仑赛什腾山岩体	铜	石英闪长岩	锆石SHRIMP	465.4±3.5	吴才来等, 2008
10	昆仑大格勒铌矿	铌稀土	碳酸岩	锆石U-Pb	418、382	王秉璋等, 2024
11	昆仑雅克登塔格杂岩体	铜镍	二长花岗岩	锆石SHRIMP	394±13	谌宏伟等, 2006
12	昆仑喀雅克登塔格杂岩体	铜镍	辉长岩	锆石SHRIMP	403.3±7.2	谌宏伟等, 2006
13	昆仑夏日哈木	铜镍	榴辉岩	锆石U-Pb	415.0±5.5	潘彤等, 2020
14	昆仑夏日哈木	铜镍	闪长岩	锆石U-Pb	382.5±2.5	王冠, 2014
15	昆仑夏日哈木	铜镍	辉石岩	锆石U-Pb	393.5±3.4	王冠, 2014
16	昆仑夏日哈木	铜镍	辉长岩	锆石U-Pb	422±1	王冠, 2014
17	祁连下什堂岩体	镍	基性岩	锆石U-Pb	449.8±2.4	张照伟等, 2013
18	祁连金佛寺花岗岩	多金属	二长花岗岩	锆石U-Pb	424.1±3.3	吴才来等, 2010
19	祁连金佛寺花岗岩	多金属	二长花岗岩	锆石U-Pb	428.5±4.5	吴才来等, 2010
20	昆仑锡铁山铅锌矿区	铅锌	辉长岩	锆石U-Pb	514.7±1.1	廖宇斌等, 2020
21	祁连大黑山钨矿区	钨	黑云二长花岗岩	锆石U-Pb	450.2±2.8	刘敏等, 2017

盆, 洋盆的发展不均一, 除阿尼玛卿洋规模较大、发育时间较长外, 其他均为汇聚阶段的弧后小洋盆。以一套碳酸盐岩为主体的浅海—滨海相沉积物为主, 代表相对稳定的沉积环境(高永宝等, 2012)。至此, 青海北部进入陆表海。大规模的俯冲消减发生在二叠纪, 在东昆仑、西秦岭出露与俯冲有关的高镁-镁闪长岩组合、英云闪长岩-奥长花岗岩-花岗闪长岩组合、花岗闪长岩-花岗岩组合(280~252 Ma), 并在上述地区出现了岛弧火山岩组合: 如切吉组中的弧火山岩、浩特洛哇组中的弧火山岩。晚二叠世—早三叠世为俯冲造山期, 由于古特提斯洋向北俯冲, 陆壳碰撞并发生叠覆或陆内造山(丰成友等, 2011), 发育一套弧花岗岩类(莫宣学等, 2007); 从中二叠世开始, 造山带出现与俯冲有关的花岗岩, 形成中晚二叠世—早三叠世和中三叠世—晚三叠世2个不连续的与俯冲作用有关的构造岩浆期。中—晚三叠世为俯冲—碰撞—后碰撞阶段(莫宣学等, 2007), 由于俯

冲板片断离、地幔底侵古老陆壳形成壳源花岗质岩浆, 同时幔源基性岩浆与壳源花岗质岩浆发生不同程度的混合(罗照华等, 2002; 刘成东等, 2004; 莫宣学等, 2007; 高永宝等, 2012), 壳-幔大规模相互作用致使成矿集中爆发, 形成一系列与中酸性岩浆作用有关的斑岩型铜钼矿床、矽卡岩型铁多金属矿床及层控矽卡岩型铅锌矿床、热液型矿床点, 也形成了中低温热液型金银矿(化)等(郭广慧等, 2023; 刘嘉情等, 2023)。晚三叠世后碰撞阶段是青海省最大规模的一次金属矿成矿作用阶段, 期间有2个成矿高峰(230~215 Ma和240~230 Ma), 形成大量接触交代型铁金银多金属矿床(四角羊-牛苦头锌铁铅矿床、尕林格铁多金属矿床、海寺硅灰石铅锌矿床等一系列超大型、大型矿床)、岩浆热液型银多金属矿(那更康切尔超大型银矿)和浅成中—低温热液型金矿(大场超大型金矿、加给陇洼大型金矿)。晚三叠纪末期(约210 Ma)碰撞结束, 进入造山后伸展阶段, 并发育



矿种	类型	图例
铁	海相火山岩型	■
铁镍	岩浆型	■
铜	海相火山岩型	■
铅锌	海相火山岩型	■
镍	岩浆型	■
钴金	海相火山岩型	■
金	海相火山岩型	■
金	岩浆热液型	●
磷	岩浆型	■
萤石	岩浆热液型	●
石棉	浅成中-低温热液型	◆

矿种	类型	图例
滑石	接触交代型	◆
白云母	伟晶岩型	■
硫铁矿	海相火山岩型	■
玄武矿	海相火山岩型	■
透辉石	岩浆型	■
石灰石	蒸发沉积型	■
白云岩	化学沉积型	■
石英岩	受变质型	■
蛇纹岩	浅成中-低温热液型	◆
花岗岩	岩浆型	■
大理岩	受变质型	■
板岩	受变质型	■

图3 青海省南华纪—泥盆纪矿产分布图

Fig. 3 Mineral distribution map of Qinghai Province during the Nanhua Period to Devonian Period

I—塔里木板块; I-1—阿尔金早古生代; I-1-1—阿帕-茫崖蛇绿混杂岩带; I-2—北祁连造山带; I-2-1—宁禅弧后盆地; I-2-2—走廊南山蛇绿混杂岩带; I-2-3—冷龙岭岛弧; I-2-4—达坂山-玉石沟结合带; I-3—中祁连造山带; I-3-1—中祁连早古生代岩浆弧; I-3-2—党和南山-拉脊山结合带; I-3-3—南祁连岩浆弧; I-4—全吉地块; I-4-1—欧龙布鲁克被动陆缘; I-5—柴北缘造山带; I-5-1—阿木尼克弧后盆地; I-5-2—滩间山岩浆弧; I-5-3—柴北缘蛇绿混杂岩带; I-6—柴达木地块; I-6-1—柴达木隆起; I-7—西秦岭造山带; I-7-1—共和隆起; I-7-2—西倾山被动陆缘; I-8—东昆仑造山带; I-8-1—祁漫塔格-夏日哈岩浆弧; I-8-2—十字沟蛇绿混杂岩带; I-8-3—东昆中岩浆弧; I-9—昆南俯冲增生杂岩带; I-9-1—纳赤台蛇绿混杂岩带; II—扬子板块; II-1—巴颜喀拉-三江被动陆缘盆地

碱性花岗岩,伴生与其相关的稀有矿产,同期鄂拉山陆相火山岩的出现,说明本次造山基本结束,也形成了与该套陆相火山岩有关的铅锌银矿产。东昆仑地区分布有以晚三叠世陆相中酸性火山岩为主要组分

的地层,具有分段集中产出的特点,包含爆发相-喷溢相或溢流相-潜火山相或浅成侵入相的岩石序列和活动形式,火山口或火山机构分布较普遍;陆相火山活动作用形成的铜、铅、锌、金、铁等矿床、矿点、矿

化, 主要分布于鄂拉山、同仁一带, 如老藏沟、夏布楞、鄂拉山口等矿点, 成矿以铅、锌、银为主, 伴生锡、砷、锑等。受构造运动和岩浆活动影响, 该时期是矽卡岩型、岩浆热液型金銀多金属矿, 以及斑岩型钼、铜等矿的成矿时期(表 4; 图 4)。

南部三江-北羌塘造山系在早石炭世板内裂解达到鼎盛时期, 形成复杂的海陆构造格局, 石炭纪一二叠纪沉积了以杂多群、加麦弄群、开心岭群、乌丽群为代表的碎屑岩-碳酸盐岩夹含煤碎屑岩建造。而通天河—玉树一线于早石炭世裂陷加深, 出现了洋盆, 二叠纪转入俯冲消减, 形成通天河蛇绿混杂岩, 但未完全消亡, 进入残留洋演化的时期。石炭纪一二叠纪, 三江-北羌塘造山系与秦祁昆造山系联结到一起, 开始进入基本统一演化的阶段。在羌塘-三江板块东南部沿特提斯海域沉积了一套巨厚的巴颜喀拉山群浊流沉积相碎屑岩建造。早—中三叠世残留的洋壳仍在继续俯冲消减, 省内发育 2 条 SSZ 型蛇绿混杂岩带, 分别为歇武蛇绿混杂带和若拉岗日蛇绿混杂带。而羌塘-三江构造带岩浆活动相对较弱, 巴颜喀拉构造岩浆岩带发育玻合涌-玉树与俯冲有关的 TTG、扎日与俯冲有关的 TTG( $T_2$ )、魏雪山-年保玉则与俯冲有关的 TTG( $T_3$ ), 以及达日-久治碰撞型高钾花岗岩。晚三叠世早期发生了一次强烈的构造事件, 发育了广泛的角度不整合。省内主要表现为上三叠统甲丕拉组角度不整合在上三叠统巴塘群之上, 表明古特提斯洋于此时结束发展, 三江-北羌塘造山系与秦祁昆造山系真正结合为一体, 青海全省基本处于陆相环境。在同碰撞环境形成甲丕拉组中酸性凝灰岩和巴贡组玄武岩-安山岩-流纹岩, 在火山弧环境下形成鄂尔陇巴组玄武岩-安山岩-流纹岩。此阶段主要在巴颜喀拉山地区成矿, 以金为主, 伴生砷、锑等。受构造运动和岩浆活动影响, 该时期是浅成中-低温热液型金矿的成矿鼎盛时期。

#### 2.4 侏罗纪—白垩纪(199.6~65 Ma)陆内造山与成矿

侏罗纪南中国板块主体进入陆块间强烈的陆内叠覆造山阶段, 北中国板块于此时进一步受到陆内叠覆造山(走滑造山、推覆造山、隆升造山)的改造, 经多旋回缝合作用最终使南、北中国板块焊合为一体。白垩纪由于印度洋的强烈扩张和印度板块的快速向北漂移, 新特提斯洋开始俯冲消减, 一系列弧盆系形成。受其远程效应影响, 总体上已经焊合为一

体的包括省区在内的中国大陆, 受强烈的改造而进入陆内叠覆造山阶段, 同时伴有陆壳加厚背景下的岩浆底侵, 青藏高原开始逐渐形成, 从此青海省构造格局转换为陆内造山阶段, 全面结束海相沉积。省内北部处于强烈的陆内叠覆造山阶段, 主要表现为 3 个造山带和 2 个盆地(东昆仑山、祁连山、北山、柴达木盆地、河西走廊盆地)的盆山构造格局雏形萌生, 麦秀地区形成唯一的陆内裂谷碱性火山岩(112 Ma)(祁生胜等, 2019)。南部在巴颜喀拉、开心岭—杂多等地区, 形成了风火山群前陆盆地沉积。青海南部为广阔的滨浅海, 而青海北部为中低纬度温暖湿润的低海拔丘陵-平原, 河湖发育, 植被茂盛, 成为青海省最重要的聚煤期, 青海省最主要的煤炭资源(聚更乎、江仓、木里煤田等)即形成于该时期。

白垩纪新特提斯洋壳向北俯冲, 青藏高原开始隆升, 在 65~55 Ma, 新特提斯大洋闭合, 印度板块与亚洲板块发生碰撞, 青藏高原迅速崛起, 并发生大规模的岩石圈拆沉和减薄, 引发了大规模火山喷发, 在唐古拉山口、龙亚拉、木乃及昂普玛等地同时伴有碰撞环境下的高钾-钾玄质花岗岩组合(66.1~79.5 Ma), 为碰撞环境下的高钾-钾玄质花岗岩组合, 与该侵入岩体有关的矿产主要有水晶、铁、铅锌等, 成矿类型为接触交代型、岩浆热液型, 代表性矿产地有格尔木市吴曼通洞水晶矿床、囊谦县治金山铁矿床等(表 5; 图 5)。

#### 2.5 古近纪—第四纪高原隆升(65 Ma—)与成矿

古近纪(65 Ma—)以来, 印度板块与亚洲板块强烈碰撞, 南、北大陆拼为一体, 包括青海省在内的青藏高原的地壳结构和大陆构造格架基本形成。由于印度板块强烈的推挤, 在青藏高原东(北)缘产生了右旋走滑断裂系统和大型逆冲推覆构造系统, 控制了纳日贡玛等斑岩型矿床的产出(Hou et al., 2008; 王召林等, 2008; 杨志明等, 2008)。逆冲推覆构造作为青藏高原东北部的主要构造变形, 在玉树、沱沱河地区十分发育, 其通过一系列逆冲断层将中生代地层切割成依次叠置的构造岩片, 并推覆于前陆盆地沉积地层之上, 控制了三江北(青南)地区热液型铜铅锌银矿床的产出, 如玉树地区东莫扎抓大型铅锌矿床和莫海拉亨大型铅-锌矿床及沱沱河地区多才玛超大型铅锌等矿床(陈静等, 2012)。同时高原的隆升、压陷盆地的形成为石油、石膏、钾镁盐矿、砂金等矿产的形成和聚集提供了极有利的条件。



续表 4

序号	产地和地质体	相关矿产	岩(矿)石	测试对象和方法	年龄/Ma	资料来源
39	昆仑它温查汉西铁多金属矿床	铁多金属	花岗闪长斑岩	锆石U-Pb	236.0±2.3	杨涛等, 2018
40	昆仑瑙木浑金矿	金	石英闪长岩	锆石U-Pb	235.8±0.8	李金超等, 2017
41	昆仑瑙木浑金矿	金	矿石蚀变绢云母	绢云母 <sup>40</sup> Ar- <sup>39</sup> Ar	227.84±1.13	李金超等, 2017
42	昆仑虎头崖多金属矿	铅锌	黑云二长花岗岩体	锆石U-Pb	234.2±1.5	时超等, 2017
43	秦岭加吾金矿	金	花岗斑岩	锆石U-Pb	233.4±4.3	王斌等, 2014
44	昆仑托克妥Cu-Au(Mo)矿床	铜金(钼)	花岗闪长斑岩	锆石U-Pb	232.6±1.2	夏锐等, 2014
45	昆仑托克妥Cu-Au(Mo)矿床	铜金(钼)	含矿斑岩二长花岗斑岩	锆石U-Pb	232.49±0.93	夏锐等, 2014
46	昆仑野马泉铁锌多金属矿床	锌	磁铁矿共生的金云母	金云母Ar-Ar	222.0±1.3	刘建楠等, 2017
47	昆仑野马泉铁锌多金属矿床	锌	二长花岗岩	锆石U-Pb	229.5±2.2	刘建楠等, 2017
48	昆仑拉陵灶火中游钼矿	钼	含钼花岗岩体	锆石U-Pb	228.49±0.84	严玉峰等, 2012
49	昆仑西藏大沟金矿床	金	花岗闪长斑岩	锆石U-Pb	225.0-218.6	李金超等, 2018
50	昆仑阿斯哈金矿床	金	石英闪长岩	锆石U-Pb	232.6±1.4	岳维好等, 2019
51	昆仑阿斯哈金矿床	金	花岗斑岩	锆石 U-Pb	222.1±3.9	岳维好等, 2017
52	昆仑乌兰拜兴铁矿床	铁	乌兰拜兴石英闪长岩	锆石U-Pb	219.4±1.3	张勇等, 2018
53	昆仑小圆山铁多金属矿	铁多金属	斑状英云闪长岩	锆石U-Pb	217.7±1.1	孔会磊等, 2016
54	昆仑那更康切尔银矿床	银多金属	流纹斑岩	锆石U-Pb	217.4±3.1	国显正等, 2019
55	秦岭江里沟钨多金属矿床	钨多金属	矽卡岩型和斑岩型辉钼矿	辉钼矿Re-Os	217±1	路东宇等, 2015

进入第四纪, 青藏高原进入快速隆升, 2.6 Ma 青藏运动 B 幕发生, 临夏东山古湖形成, 高原升到海拔约 2000 m 的高度, 在高原强大的热力作用和动力作用下, 亚洲季风环流初步接近了现代格局, 显示东亚冬季风稳定出现, 中国广泛堆积的黄土地层便是有力的佐证, 最终在 2.6 Ma 的上新世末铸就了西高东低的地貌格局。青藏运动 C 幕于 1.7 Ma 发动, 临夏东山古湖消失, 黄河干流形成, 当时上源应在祁连山(湟水), 形成黄河的高阶地, 这一格局为黄河、长江等大型水系的形成(李吉均等, 1996)奠定了基础。昆仑-黄河运动(1.0~0.6 Ma), 昆仑山上升, 黄河切穿积石峡, 黄河中阶地形成, 共和运动 0.15 Ma 以来, 黄河低阶地形成, 黄河切穿龙羊峡, 共和组褶皱变形。通过 3 次明显的隆升过程, 青藏高原以平均每年 7 cm 的速度上升, 使高原面平均高度达到现今高度, 成为当今的“世界屋脊”。随着高原隆升, 各级盆地中沉积了钾镁盐、石膏等, 主要在柴达木盆地形成石油、石膏、钾镁盐矿、砂金等矿产(表 6; 图 6)。

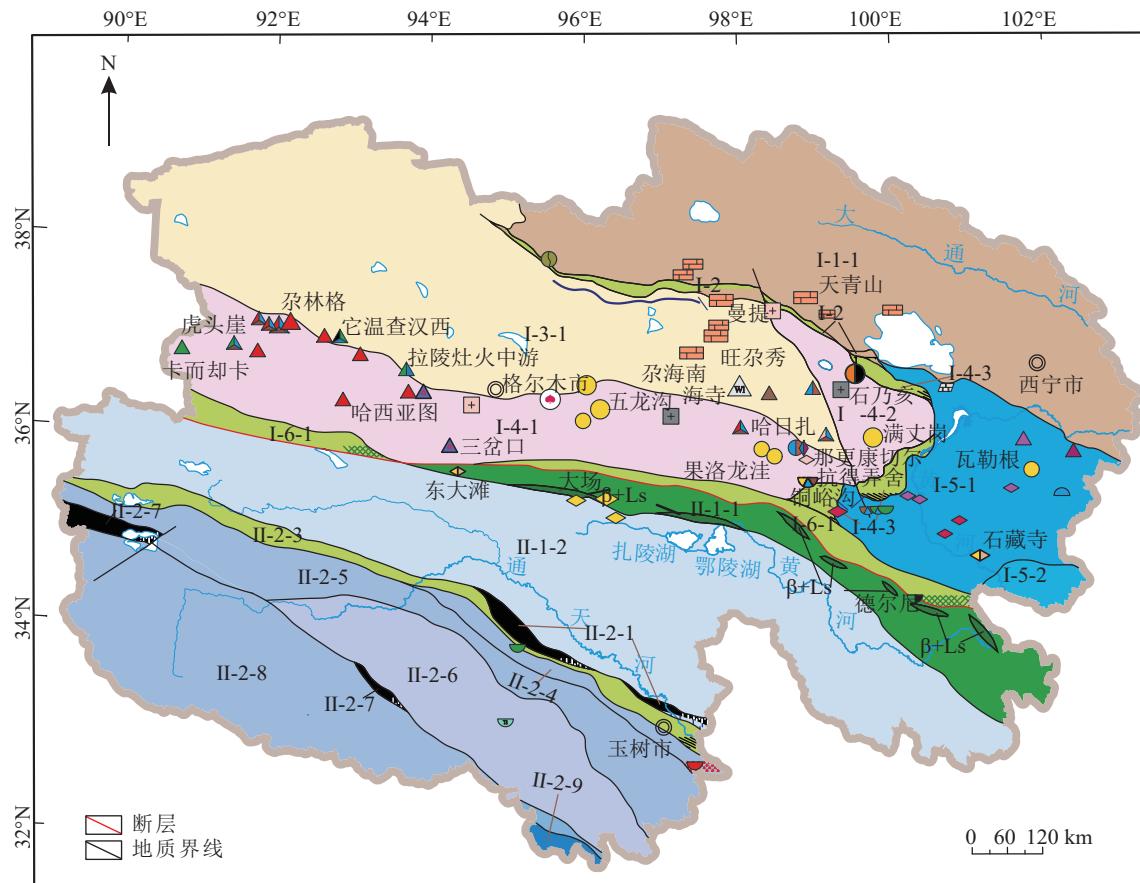
### 3 空间分布特征

两大成矿域进一步划分为 5 个主要成矿省, 由

北而南划分为阿尔金-祁连成矿省、昆仑成矿省、秦岭-大别成矿省、巴颜喀拉-松潘成矿省和喀喇昆仑-三江成矿省。其中, 阿尔金-祁连成矿省以煤、有色金属、石棉为主; 东昆仑成矿省柴北缘成矿带以贵金属、有色金属、煤炭、玉石为主, 柴达木盆地以石油、天然气、盐类矿产为主, 东昆仑成矿带以金、银、玉石及有色金属矿产为主; 喀喇昆仑-三江成矿省以铜、钼、铅、锌等有色金属矿产为主。

按矿产种类的区域分布, 大致有“北部煤, 南部有色金属, 西部盐类和油气, 中部有色金属、贵金属, 东部非金属”的特点; 北部矿产多, 南部矿产少; 矿种上, 矿产种类多, 共生伴生矿产多, 小矿多, 矿产地分布零散, 矿产资源储量相对集中。

青海全省已查明的矿产地和保有资源储量, 绝大部分分布在北纬 36°以北地区, 南部由于地质工作程度低, 大量的矿产资源尚未查明, 目前只有砂金、铜、钼、铅锌等少数矿产。北部地区的矿产资源又多集中分布于柴达木盆地及其周边, 该地区矿产优势突出, 集中了全省石油、天然气和盐湖矿产的全部, 铁、铜、镍、铅、锌、银、锂、锶、岩金、石棉等矿产的大部分, 是全省乃至全国重要的矿产资源富集区。



矿种	类型	图例
铁	海相火山岩型	■
	接触交代型	▲
铁铅锌	接触交代型	▲
铁铜钼	接触交代型	▲
铜	海相火山岩型	■
	接触交代型	▲
铜钴	海相火山岩型	■
铜铅锌	海相火山岩型	■
	接触交代型	▲
	铜钼	▲
铅	海相火山岩型	■
钨	接触交代型	▲

矿种	类型	图例
铅锌	接触交代型	▲
铅锌银	接触交代型	▲
锡	接触交代型	▲
锡铅锌	海相火山岩型	■
钼钨	斑岩型	◆
汞	浅成中-低温热液型	◆
金	浅成中-低温热液型	◆
金铅锌	岩浆热液型	●
金锑	海相火山岩型	■
银	浅成中-低温热液型	◆
铌钽	岩浆热液型	●

矿种	类型	图例
硫铁矿	海相火山岩型	■
	浅成中-低温热液型	◆
砷	接触交代型	▲
萤石	岩浆热液型	●
硅灰石	接触交代型	▲
石灰岩	蒸发沉积型	■
脉石英	岩浆热液型	●
粘土	机械沉积型	□
花岗岩	岩浆型	■
大理岩	受变质型	■
玉石	接触交代型	▲

图 4 青海省石炭纪—三叠纪矿产分布图

Fig. 4 Carboniferous-Triassic mineral distribution map of Qinghai Province

I -1—祁连上叠盆地; I -1-1—祁连陆表海盆地; I -2—宗务隆山陆缘裂谷; I -3—柴达木上叠盆地; I -3-1—柴达木陆表海盆地; I -4—东昆仑晚古生代-早中生代造山带; I -4-1—东昆中岩浆弧; I -4-2—鄂拉山岩浆弧; I -4-3—赛什塘-苦海蛇绿混杂岩带; I -5—西秦岭晚古生代-早中生代造山带; I -5-1—泽东复合型前陆盆地; I -5-2—西倾山-南秦岭被动陆缘; I -6—阿尼玛卿-布青山俯冲增生杂岩带; I -6-1—马尔争蛇绿混杂岩带; II -1—巴颜喀拉中生代造山带; II -1-1—玛多-玛沁前陆隆起; II -1-2—巴颜喀拉双向周缘前陆盆地; II -2—羌塘-三江古生代-中生代造山带; II -2-1—歇武(甘孜-理塘)蛇绿混杂岩带; II -2-2—结古-义敦岛弧带; II -2-3—通天河(西金乌兰-玉树)蛇绿混杂岩带; II -2-4—巴塘陆缘弧带; II -2-5—沱沱河-昌都弧后前陆盆地; II -2-6—开心岭-杂多陆缘弧带; II -2-7—若拉岗日-乌兰乌拉蛇绿混杂岩带; II -2-8—雁石坪弧后前陆盆地; II -2-9—北羌塘微地块

从表 7 和图 7 可以看出, 东昆仑成矿带(III-26)是青海省成矿强度最大的地区, 其次为中祁连成矿带(III-22), 再次为柴北缘成矿带(III-24), 北祁连成

矿带(III-21)矿产地和矿床总数超过全省的 10%, 为成矿作用最强的四大成矿带, 其他地区成矿作用相对较弱。

表5 青海省侏罗纪—白垩纪主要矿床成矿年代

Table 5 Age of mineralization of major Jurassic—Cretaceous deposits in Qinghai Province

序号	产地和地质体	相关矿产	年代	规模
1	祁连江仓煤矿区	煤、煤层气	侏罗纪	大型
2	昆仑鱼卡煤矿区	煤、煤层气	侏罗纪	大型
3	昆仑柏树山粘土矿床	粘土	侏罗纪	中型
4	昆仑吴曼通洞水晶矿床	水晶	白垩纪	超大型
5	昆仑团鱼山煤矿床	煤	侏罗纪	大型
6	祁连木里煤田哆嗦公马煤矿床	煤	侏罗纪	大型

#### 4 构造控矿作用

祁生胜等(2019)将布青山南缘超岩石圈断裂(F19)和东昆中超岩石圈断裂(F17)划分为一级构造分区的边界断裂(图8)。

布青山南缘断裂,为康瓦西-秀沟-磨子潭地壳对接带的南界断裂,是一条总体向北倾的华力西期—印支期超岩石圈断裂(裴先治等,2018)。该断裂向西与康西瓦-苏巴什断裂相接;向东与勉略断裂相连。

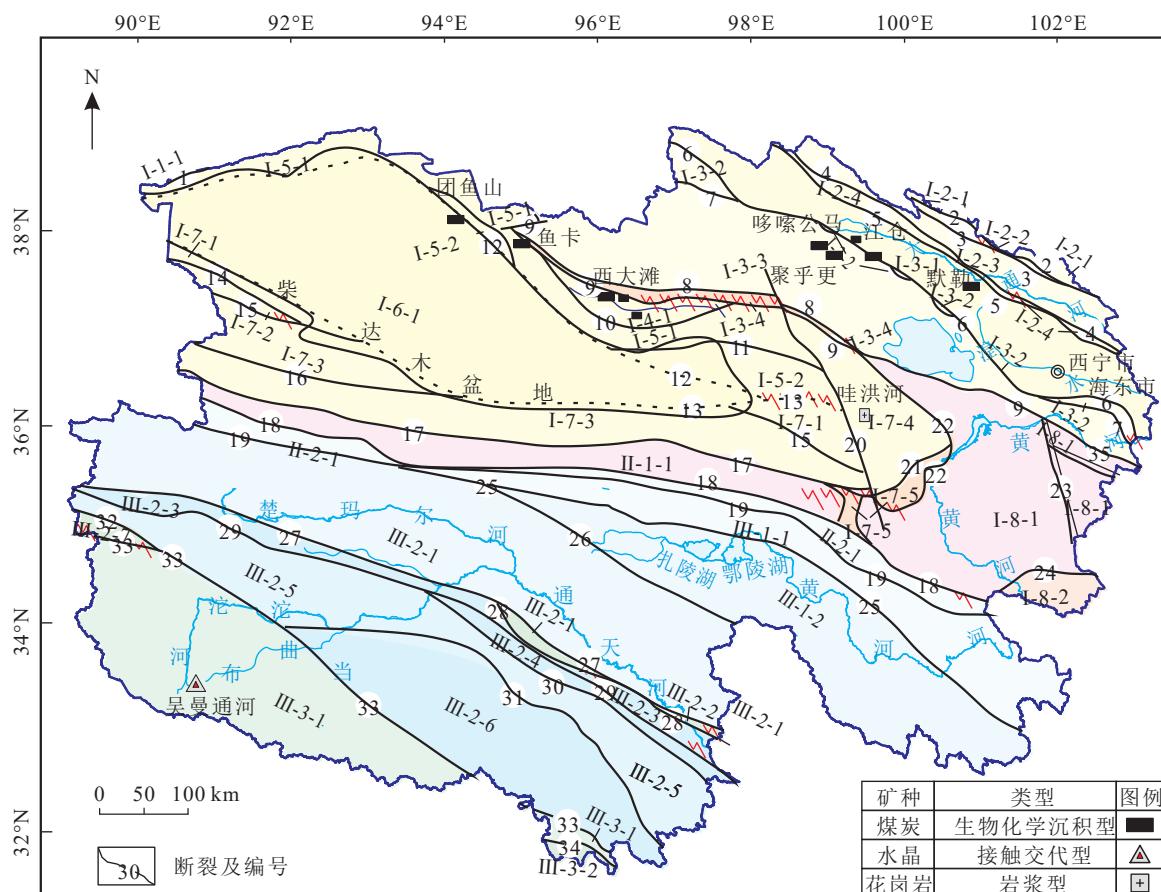


图5 青海省侏罗纪—白垩纪陆内造山阶段矿产分布图(据潘彤等,2022)

Fig. 5 Jurassic—Cretaceous mineral distribution map of Qinghai Province

I—塔里木板块; I-1—阿尔金造山带; I-1-1—阿帕-茫崖蛇绿混杂岩带; I-2—北祁连造山带; I-2-1—宁禅弧后盆地; I-2-2—走廊南山蛇绿混杂岩带; I-2-3—冷龙岭岛弧; I-2-4—达坂山-玉石沟结合带; I-3—中南祁连造山带; I-3-1—中祁连岩浆弧; I-3-2—党和南山-拉脊山蛇绿混杂岩带; I-3-3—南祁连岩浆弧; I-4—全吉地块; I-4-1—欧龙布鲁克被动陆缘; I-5—柴北缘造山带; I-5-1—阿木尼克弧后盆地; I-5-2—滩间山岩浆弧; I-5-3—柴北缘蛇绿混杂岩带; I-6—柴达木地块; I-6-1—柴达木新生代断陷盆地; I-7—东昆仑造山带; I-7-1—祁漫塔格-夏日哈岩浆弧; I-7-2—十字沟蛇绿混杂岩带; I-7-3—昆北复合岩浆弧; I-7-4—鄂拉山岩浆弧; I-7-5—苦海-赛什塘蛇绿混杂岩带; I-8—西秦岭造山带; I-8-1—泽库复合型前陆盆地; I-8-2—西倾山-男秦岭被动陆缘; II—康西瓦-修沟-磨子潭地壳对接; II-1—昆南俯冲增生杂岩带; II-1-1—纳赤台蛇绿混杂岩带; II-2—阿尼玛卿-布青山俯冲增生岩带; II-2-1—马尔争蛇绿混杂岩带; III—扬子板块; III-1—巴颜喀拉造山带; III-1-1—玛多-玛沁前陆隆起; III-1-2—可可西里前陆盆地; III-2—北羌塘-三江造山带; III-2-1—歇武(甘孜-理塘)蛇绿混杂岩带; III-2-2—结古-义敦岛弧; III-2-3—通天河(西金乌兰-玉树)蛇绿混杂岩带; III-2-4—巴塘陆缘弧带; III-2-5—沱沱河-昌都弧后前陆盆地; III-2-6—开心岭-杂多陆缘弧带; III-2-7—若拉岗日-乌兰乌拉蛇绿混杂岩带; III-3—北羌塘地块; III-3-1—雁石坪弧后前陆盆地; III-3-2—北羌塘微地块

表 6 青海省古近纪-第四纪主要矿床成矿年代

Table 6 Age of mineralization of Paleogene—Quaternary deposits in Qinghai Province

序号	产地和地质体	相关矿产	岩(矿)石类型	测试对象和方法	年龄/Ma	资料来源
1	三江风火山盆地风火山砂岩铜矿	铜	砂岩铜矿	磷灰石裂变径迹	22.5±2.3	杨祖龙等, 2008
2	三江纳日贡玛铜钼矿	铜钼	黑云母花岗斑岩	锆石U-Pb	40.8±0.4	郝金华等, 2012
3	三江陆日格斑岩钼矿	钼	硫化物矿石中	辉钼矿Re-Os	60.7±1.5	郝金华等, 2013
4	三江纳日贡玛铜钼矿	铜钼	花岗闪长斑岩	锆石U-Pb	41.44±0.23	宋忠宝等, 2011
5	三江纳日贡玛铜钼矿	铜钼	辉钼矿黄铜矿黄铁矿化	辉钼矿Re-Os	40.86±0.85	王召林等, 2008
6	三江东莫扎抓铅锌矿	铅锌	似层状和透镜体矿体	黄铁矿与方铅矿Rb-Sr	34.747±0.015	田世洪等, 2009
7	三江东莫扎抓铅锌矿	铅锌	似层状和透镜体矿体	闪锌矿Rb-Sr	35.015±0.034	田世洪等, 2009
8	三江东莫扎抓铅锌矿	铅锌	似层状和透镜体矿体	闪锌矿与黄铁矿Sm-Nd	35.74±0.71	田世洪等, 2009
9	三江东莫扎抓铅锌矿	铅锌	似层状和透镜体矿体	方解石Rb-Sr, Sm-Nd	35.4	田世洪等, 2011
10	三江莫海拉亨铅锌矿	铅锌	似层状和透镜体矿体	方解石、萤石Sm-Nd	33.72±0.46	田世洪等, 2009
11	三江莫海拉亨铅锌矿	铅锌	似层状和透镜体矿体	闪锌矿Rb-Sr	32.22±0.36	田世洪等, 2009
12	三江莫海拉亨铅锌矿	铅锌	似层状和透镜体矿体	闪锌矿与方铅矿Rb-Sr	33.949±0.022	田世洪等, 2009
13	三江莫海拉亨铅锌矿	铅锌	似层状和透镜体矿体	方解石Rb-Sr, Sm-Nd	34.3	田世洪等, 2011
14	三江囊谦多金属矿	铅锌银	钙碱性次粗面岩	斜长石Ar-Ar等	37.6±1.6	杨大雄等, 1988
15	昆仑—里坪	锂、卤水	石盐	石盐 <sup>230</sup> Th	0.73~0.72	陈安东等, 2017
16	昆仑—里坪	锂、卤水	石盐	石盐 <sup>230</sup> Th	0.58~0.57	陈安东等, 2017
17	昆仑—里坪	锂、卤水	石盐	石盐 <sup>230</sup> Th	0.73~0.72	陈安东等, 2017
18	昆仑—里坪	锂、卤水	石盐	石盐 <sup>230</sup> Th	0.18	陈安东等, 2017

是晚古生代北中国板块与南中国板块的分界断裂,也是秦祁昆成矿域与特提斯成矿域的分界断裂。地震测深反映花石峡南断裂深达 70 km,伸入地幔,为一岩石圈断裂,9 km 深度内断面北倾,9 km 以下有向南倾之势,但倾角较陡。

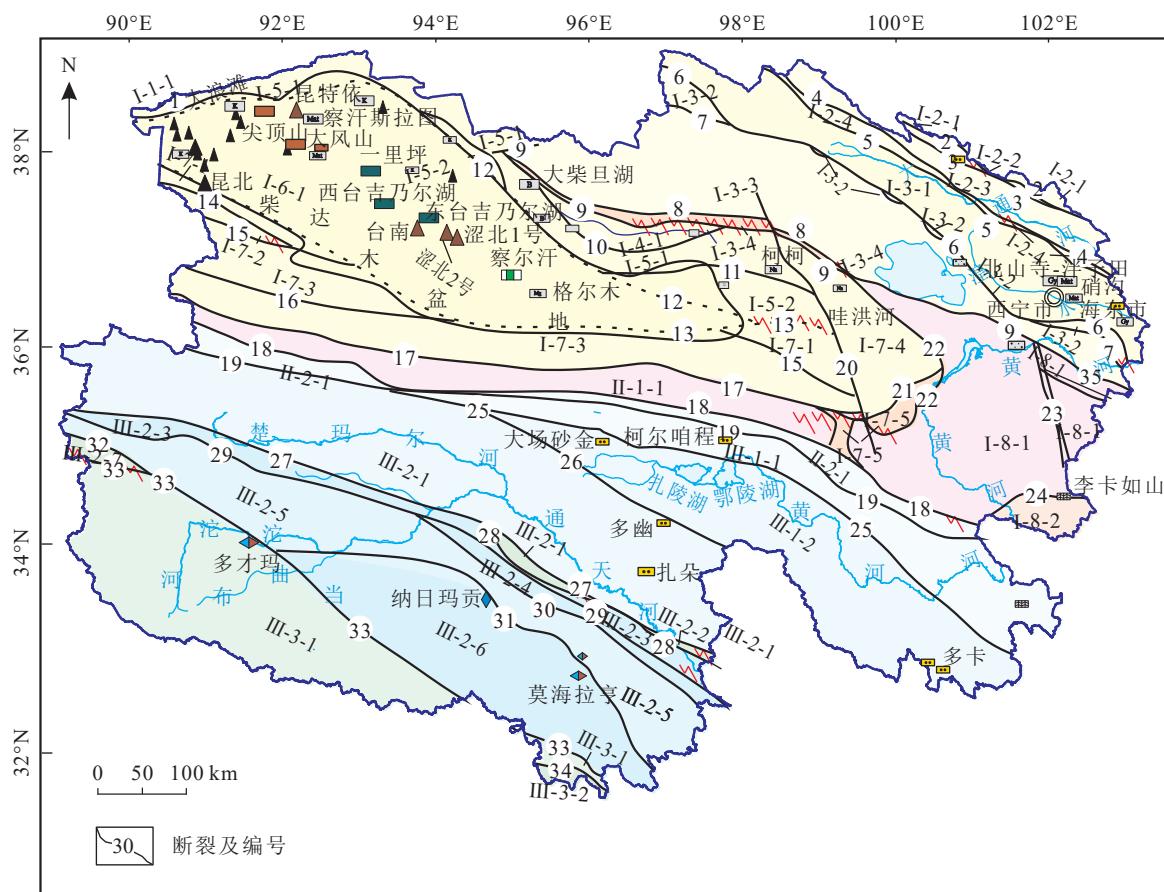
东昆中断裂,为康瓦西-秀沟-磨子潭地壳对接带一级构造分区的北界断裂,是一条总体向北倾的加里东期超岩石圈断裂(李碧乐等, 2012b)。该断裂东西向贯穿省内,东段隐伏于兴海—泽库一带,向西进入新疆后与奥依塔格-库地断裂相接,向东相当于省外商丹断裂。断裂北部重力异常高,南部重力异常低,显示大面积的宽缓负异常,为一条东西向延伸的线性正负异常分界带,也是长条状强磁性带与宽缓弱磁区的分界,地震测深反映断面向北陡倾下延切割莫霍面。

二级构造分区的边界断裂有 9 条(F1、F5、F9、F10、F12、F13、F18、F22、F27),其规模一般为岩石圈断裂或超岩石圈断裂,形成于加里东期和印支期。其中,托莱河-南门峡断裂(F5)为北祁连造山带与中南祁连造山带的边界断裂,控制了加里东期铜、

铅、锌、金、铬、石棉成矿带的展布;F9 和 F10 断裂为全吉地块的北南边界断裂,控制了伟晶岩型锂、铌、稀土矿展布;F12 和 F13 断裂是柴达木地块北南缘边界断裂,控制了造山型金矿、热液型铁锡矿和锡铁山铅锌矿展布(冯志兴等, 2020);F27 断裂为巴颜喀拉地块与北羌塘-三江造山带的南缘主边界断裂,控制了浅成低温热液型银铅锌矿的展布;昆南断裂(F18)在省内占有很重要的位置,为一套至今还在活动的断裂,为康瓦西-秀沟-磨子潭地壳对接带一级构造分区内部的岩石圈断裂。

F13 昆北断裂及次级断裂(F14、F15、F16)主要分布有乌兰乌珠尔铜银矿、虎头崖铅锌矿、尕林格铁铅锌钴金矿、野马泉铁铜铅锌矿床、牛苦头铅锌矿、哈西亚图金铁铜铅锌矿、夏日哈木铜钴镍矿等,该断裂控制了志留纪—泥盆纪岩浆熔离型铜镍钴成矿、矽卡岩型-热液型铜铅锌成矿和印支期热液型铁铜铅锌钴成矿及分布(Zhong et al., 2021a, b)。

三级构造分区的边界断裂,有 20 条(F2、F3、F4、F6、F7、F8、F11、F14、F15、F20、F21、F24、F25、F28、F29、F30、F31、F32、F33、F35),大部分为



矿种	类型	图例	矿种	类型	图例
天然气	生物化学沉积型	▲	镁盐	蒸发沉积型	Mg
石油	生物化学沉积型	▲	钾盐镁矿盐矿	蒸发沉积型	■
铅锌	浅成中-低温热液型	△	硼	蒸发沉积型	B
钼	斑岩型	◆	石膏	蒸发沉积型	Gy
砂金	砂矿型	●●	芒硝	蒸发沉积型	Mat
锂	蒸发沉积型	图例	粘土	机械沉积型	□
锶	蒸发沉积型	■■■	泥炭	生物化学沉积型	▨▨▨
盐矿	蒸发沉积型	Na	砂石	砂矿型	○○○
钾盐	蒸发沉积型	K			

图6 青海省古近纪—第四纪高原隆升阶段矿产分布图

Fig. 6 Paleogene—Quaternary mineral distribution map of Qinghai Province

I—塔里木板块; I-1—阿尔金造山带; I-1-1—阿帕-茫崖蛇绿混杂岩带; I-2—北祁连造山带; I-2-1—宁禅弧后盆地; I-2-2—走廊南山蛇绿混杂岩带; I-2-3—冷龙岭岛弧; I-2-4—达坂山-玉石沟结合带; I-3—中南祁连造山带; I-3-1—中祁连岩浆弧; I-3-2—党和南山-拉脊山蛇绿混杂岩带; I-3-3—南祁连岩浆弧; I-4—全吉地块; I-4-1—欧龙布鲁克被动陆缘; I-5—柴北缘造山带; I-5-1—阿木尼克弧后盆地; I-5-2—滩间山岩浆弧; I-5-3—柴北缘蛇绿混杂岩带; I-6—柴达木地块; I-6-1—柴达木新生代断陷盆地; I-7—东昆仑造山带; I-7-1—祁漫塔格-夏日哈岩浆弧; I-7-2—十字沟蛇绿混杂岩带; I-7-3—昆北复合岩浆弧; I-7-4—鄂拉山岩浆弧; I-7-5—苦海-赛什塘蛇绿混杂岩带; I-8—西秦岭造山带; I-8-1—泽库复合型前陆盆地; I-8-2—西倾山-男秦岭被动陆缘; II—康西瓦-修沟-磨子潭地壳对接; II-1—昆南俯冲增生杂岩带; II-1-1—纳赤台蛇绿混杂岩带; II-2—阿尼玛卿-布青山俯冲增生岩带; II-2-1—马尔争蛇绿混杂岩带; III—扬子板块; III-1—巴颜喀拉造山带; III-1-1—玛多-玛沁前陆隆起; III-2—北美塘-三江造山带; III-2-1—歇武(甘孜-理塘)蛇绿混杂岩带; III-2-2—结古-义敦岛弧; III-2-3—通天河(西金乌兰-玉树)蛇绿混杂岩带; III-2-4—巴塘陆缘弧带; III-2-5—沱沱河-昌都弧后前陆盆地; III-2-6—开心岭-杂多陆缘弧带; III-2-7—若拉岗日-乌兰乌拉蛇绿混杂岩带; III-3—北美塘地块; III-3-1—雁石坪弧后前陆盆地; III-3-2—北美塘微地块

蛇绿混杂岩带的边界断裂, 少量为区域性大断裂或走滑断裂, 多属加里东期、印支期表壳断裂。其中

F6、F7断裂是拉脊山蛇绿混杂岩带的边界断裂, F8断裂西段是宗务隆山陆缘裂谷带的北界, 其东段

表 7 青海省不同成矿带矿产地规模

Table 7 Statistics on the scale of mineralized sites in different metallogenic zones in Qinghai Province

成矿省	成矿带	矿点	小型	中型	大型	超大型	矿产地合计	占比/%	矿床合计	占比/%
II -5	III-20	9	5	1			15	0.58	6	0.76
	III-21	198	60	13	6		277	10.71	79	10.00
	III-22	212	66	44	24	6	352	13.61	140	17.72
	III-23	147	39	7	3	2	198	7.65	51	6.46
II -6	III-24	212	51	17	17	7	304	11.75	92	11.65
	III-25	12	32	19	12	9	84	3.25	72	9.11
	III-26	436	129	47	20	3	635	24.55	199	25.19
II -7	III-28	177	41	16	8	1	243	9.39	66	8.35
II -8	III-29	40	5			1	46	1.78	6	0.76
	III-30	68	16	6	3	1	94	3.63	26	3.29
	III-31	53	13	1	1		68	2.63	15	1.90
II -9	III-32	4					4	0.15	0	0.00
	III-33	21	10	5			36	1.39	15	1.90
	III-35	52	5	1		2	60	2.32	8	1.01
	III-36	154	11	4	2		171	6.61	17	2.15
合计		1795	483	181	97	31	2587	100.00	792	100.25
占比/%		69.39	18.67	7.00	3.75	1.20	100.00			

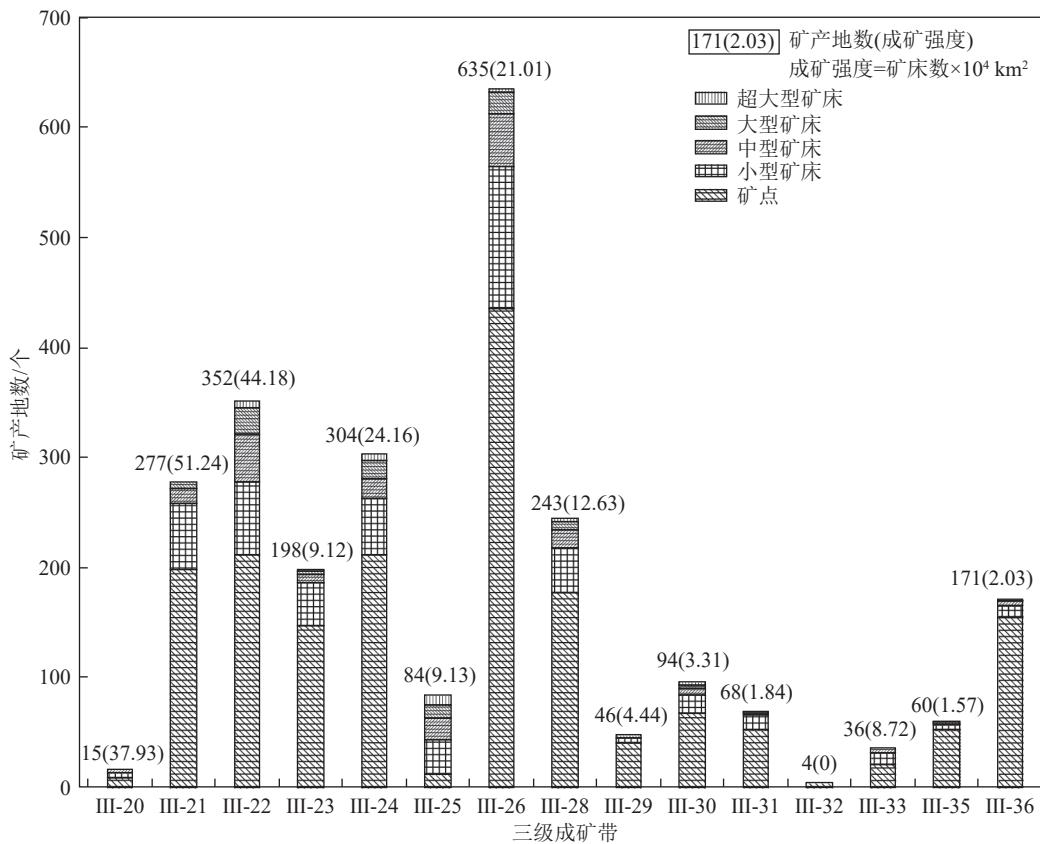


图 7 青海省成矿带成矿强度分布图

Fig. 7 Distribution of mineralization intensity in Qinghai Province metallogenic belt

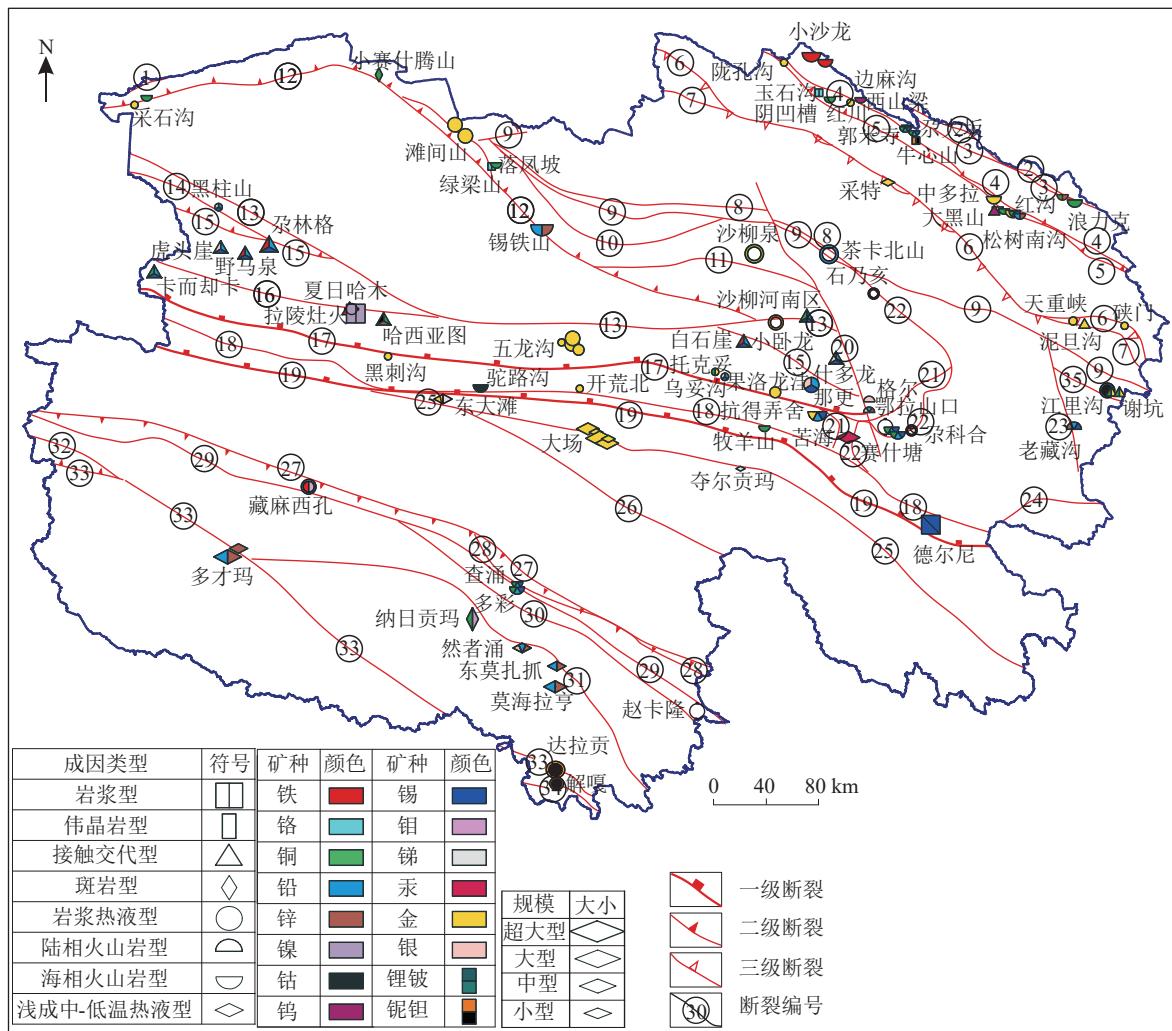


图8 断裂构造分布图

Fig. 8 Tectonic map of faults

- ①—阿尔金山主脊断裂;②—冷龙岭北缘断裂;③—宝库河-峨堡断裂;④—达坂山北缘断裂;⑤—托莱河-南门峡断裂;⑥—疏勒南山-拉脊山北缘断裂;⑦—拉脊山南缘断裂;⑧—宗务隆山-青海南山断裂;⑨—土尔根达坂-宗务隆山南缘断裂;⑩—丁字口(全吉山南缘)-德令哈断裂;⑪—赛什腾-旺尕秀断裂;⑫—柴北缘-夏日哈断裂;⑬—昆北断裂;⑭—莲花石-小狼牙山断裂;⑮—阿达滩-乌兰乌珠尔南缘断裂;⑯—那陵格勒河断裂;⑰—昆中断裂;⑱—昆南断裂;⑲—布青山南缘断裂;⑳—哇洪山-温泉断裂;㉑—温泉-祁家断裂;㉒—苦海-赛什塘断裂;㉓—麦秀断裂;㉔—泽曲-托叶玛断裂;㉕—昆仑山口-甘德断裂;㉖—卡巴纽尔多-鲜水河断裂;㉗—可可西里南缘断裂;㉘—当江-直门达断裂;㉙—西金乌兰湖北-玉树断裂;㉚—巴木曲-格拉断裂;㉛—乌丽-囊谦断裂;㉜—乌兰乌拉湖北缘-巴青断裂;㉝—乌兰乌拉湖南缘断裂;㉞—唐古拉山南缘断裂;㉞—尖扎滩-甘加断裂

为青海南山断裂,是中南祁连造山带与西秦岭造山带的区域性大断裂(Yuan et al., 2011)。F2 冷龙岭北缘断裂对区域地层、岩浆岩的分布等均具有明显的控制作用,同时对区域成矿也有一定的控制,它主要为成矿热液的运移提供了通道。成矿带的次级断裂构造等也多少受冷龙岭北缘断裂的控制。与区域深大断裂成矿有关的矿种主要有铜多金属、铀矿等,成矿类型有浅成中-低温热液型等。

宝库河-峨堡断裂(F3)以北主要分布有大小沙龙

式铁矿、郭米寺、尕大坂铜多金属矿床,该断裂控制了以寒武纪成矿为代表的海相火山岩型铅-锌-铜(金)矿床及铁矿分布。宝库河-峨堡断裂-托莱河-南门峡断裂(F5)之间,主要分布有奥陶纪成矿的阴凹槽铜锌矿、陇孔铁矿、红沟铜(金)矿及松树南沟金矿等,控制了阴沟群基性火山岩中铜多金属矿化,碎屑岩中形成铁、钴矿床,扣门子组火山熔岩形成铜多金属矿床(刘青松等,2017)。

土尔根达坂-宗务隆山南缘断裂(F9)、丁字口

(全吉山南缘)-德令哈断裂(F10)、柴北缘-夏日哈断裂(F12)等北西西向大型断裂总体控制了南祁连和柴北缘各类矿床点的分布。如奥陶纪海相火山岩受构造控制,主要发育在乌兰县周边及冷湖—大柴旦等一带,在该区形成了海相火山岩型铅锌、铜、锰等多金属矿产。泥盆纪中酸性岩体受构造控制,主要分布在赛什腾山、乌兰县以南等地,在该区形成了与岩浆作用有关的金、铁等矿产。

昆仑山口-甘德断裂(F25)控制了巴颜喀拉成矿带的大场金矿、加给龙洼金矿和东大滩金锑矿;乌丽-囊谦断裂(F31)、乌兰乌拉湖北缘-巴青断裂(F32)和乌兰乌拉湖南缘断裂(F33)控制了纳日贡玛斑岩型铜钼矿,然则涌、莫海拉亨、东莫杂抓和多才玛沉积岩容矿型铅锌矿,解嘎铅锌矿。

除上述一、二、三级构造分区边界断裂外,其他一些特殊构造属性的活动断裂等,有4条,即F16、F23、F26、F34断裂,大都属表壳断裂。如F16那陵郭勒河断裂是与夏日哈木中高压变质带有密切关系,控制了夏日哈木岩浆熔离型铜镍钴矿,F23断裂是麦秀白垩纪火山裂谷的重要界线,控制了老藏沟陆相火山岩型金铅锌矿([Song et al., 2016](#))。

## 5 构造演化与成矿作用

如前所述,青海省总体可划分为5个成矿构造演化旋回,即前南华纪基底演化、南华纪—泥盆纪原特提斯演化、石炭纪—三叠纪古特提斯演化、侏罗纪—白垩纪新特提斯演化和古近纪—第四纪高原碰撞隆升演化([潘彤等, 2022](#))。不同时期具有不同的成矿地质事件(作用),重要矿集区是由重大成矿地质事件的发生而形成的。

以昆南断裂为界,划分为秦祁昆成矿域和特提斯成矿域两大成矿域([钱壮志等, 2003; 李文渊等, 2011](#)),青海北部为秦祁昆成矿域,其发生与发展经历了前南华纪块增生和陆壳汇聚、新元古代—中生代板块构造作用和中新生代陆内构造发展的复杂演化过程。南部特提斯成矿域在晚古生代—新生代期间,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。根据青海省矿产的时、空分布规律和成矿作用的多期性、多旋回成矿特征,将青海省概括为前南华纪、南华纪—泥盆纪、石炭纪—三叠纪、侏罗纪—白垩纪和古近纪—第四纪五大成矿作用阶段([潘彤和王福德, 2021](#))。秦祁昆仑

成矿域南华纪—泥盆纪、石炭纪—三叠纪晚造山都有从早期扩张体制下形成的裂谷(或裂陷槽)发展为洋盆型地壳,从挤压体制下转化为汇聚型过渡壳,直到新生陆壳形成过程。

北部秦祁昆成矿域经历了5个主要成矿时间段的成矿作用([潘彤等, 2022](#)):前南华纪结晶基底和基底盖层形成,期间主要形成与沉积作用、变质作用有关的铁锰磷石墨大理岩石英岩矿产,少量伟晶岩型白云母、长石矿产;南华纪—泥盆纪主要经历了原特提斯洋的演化(裂谷→俯冲消减→碰撞→碰撞后),形成与基性—超基性岩有关的铜—镍—铬—铁—磷—钛—石榴子石—透辉石矿产、与中酸性侵入岩有关的铁—铜—金—铅—锌—铌—钽—钨—钼—玉石—萤石—长石等矿产、与海相火山岩有关的铁—锰—铜—金—铅—锌—钴—钒—钼—硫铁矿—玄武岩矿产、与含矿流体有关的铜—铅—锌—铁—锰—汞—石棉—滑石—蛇纹石等矿产,以及与沉积、变质作用有关的铁—锰—磷—铀—钛—石墨—板岩—石灰岩—大理岩—石榴子石等矿产;石炭纪—三叠纪主要经历了古特提斯洋演化(裂谷→俯冲→碰撞→碰撞后),形成与中酸性侵入岩有关的铁—金—银—铜—铅—锌—锂—铍—铌—钽—钨—钼—锡—砷—玉石—萤石—脉石英等矿产、与火山岩有关的铁—铜—铅—锌—锡—金—银—钴矿产、与含矿流体有关的铜—金—银—铅—锌—铀—砷—汞—石棉—冰洲石—硫铁矿等矿产,以及与沉积、变质作用有关的铁—铅—煤—钴—锰—天然气水合物—白云岩—石灰岩—粘土等矿产。目前尚未发现与基性—超基性岩有关的铜镍矿,从构造演化看,具备找矿潜力;侏罗纪—白垩纪经历特提斯陆内造山,主要形成与沉积、变质作用有关的煤—煤层气—油页岩—铁—铀—粘土—石膏—泥岩—彩石等矿产,其次为与海相火山岩有关的铜矿;第四纪为高原碰撞隆升造山,主要形成与沉积作用有关的钾—硼—锂—锶—镁—盐矿—砂金(铂)—石膏—天然气—石墨—板岩—石灰岩—大理岩—石榴子石等矿产,其次为与表生风化作用有关的高岭土—铁—锰—麦饭石—膨润土—绿松石等矿产([潘彤等, 2022](#))。

南部特提斯成矿域经历了3个主要成矿时间段的成矿作用([潘彤等, 2022](#)):石炭纪—三叠纪主要经历了古特提斯洋演化(裂解→俯冲消减),形成与海相火山岩有关的铁—铜—铅锌—银—钴—硫铁矿矿产、与中酸性侵入岩有关的铜—金—银—铅锌—铌—钽—钨—钼—水晶—电气石—重晶石—白云母等矿产、与含

矿流体有关的铜-铅锌-金-银-汞-石棉-萤石-蛇纹石等矿产,以及与沉积作用有关的铜锰煤天然气水合物石膏石灰岩等矿产;侏罗纪—白垩纪主要经历了特提斯洋演化,形成与中酸性侵入岩有关的铜钼铅锌铀水晶等矿产、与海相火山岩有关的铁矿、与含矿流体有关的铜钼铅锌水晶矿产和与沉积作用有关的铁锰煤铜锌钼石膏粘土等矿产;古近纪—第四纪为高原碰撞隆升造山,形成与含矿流体有关的铜铅锌铀银等矿产、与中酸性侵入岩有关的铜钼铅锌铀水晶矿产、与陆相火山岩有关的铜钼铅锌铀水晶矿产、与沉积作用有关的砂金泥炭锂盐盐矿粘土矿产、与风化作用有关的铅矿(潘彤等,2022)。

## 6 成矿模式

根据青海构造演化及其与成矿作用的关系初步建立成矿模式(图9)。前已所述,青海省主要经历了前南华纪(古元古代—青白口纪,2500~780 Ma)地壳形成阶段与成矿、南华纪—泥盆纪(780~359 Ma)洋陆转换成矿作用阶段、石炭纪—三叠纪(359~199.6 Ma)陆内演化与成矿、侏罗纪—白垩纪(199.6~65 Ma)陆内造山与成矿、古近纪—第四纪高原强烈隆升(65 Ma—)与成矿。主要为志留纪—泥盆纪、石炭纪一二叠纪、三叠纪、古近纪、新近纪及第四纪发生较大规模成矿作用(图9)。

阿尔金-祁连成矿省寒武纪—奥陶纪处于大洋环境并发生俯冲,期间幔源岩浆侵入于大陆基底岩块中,形成基性—超基性杂岩,形成岩浆型铜镍硫化物矿床(如元石山、拉水峡等)和非金属矿床磷、透辉石(如上庄),同时基性—超基性岩浆沿合适的通道上升,在一定的部位进行自变质作用,形成浅成中低温热液型矿床;中寒武世—晚奥陶世是该区最重要的成矿期,其成矿环境主要为洋脊、弧间裂谷、岛弧和弧前(后)盆地,形成与火山作用有关的铁、铜、铅锌(金、银)等硫化物矿产,在蛇绿混杂岩带形成与基性、超基性岩有关的铬、金、铂族等矿产;俯冲造成火山喷发,中酸性侵入岩形成岩浆热液型矿床(如钨铜铁金矿等)。奥陶纪末,洋盆闭合,志留纪进入碰撞造山,中酸性侵入岩则形成接触交代型钨、岩浆热液型金或浅成中低温热液型铅锌矿床。

昆仑成矿省在元古宙形成了统一的结晶基底,主要形成与沉积变质作用有关的铁-锰-石墨-大理岩-白云岩成矿系列;志留纪—泥盆纪,由同碰撞挤压体

制转变为碰撞后的伸展体制阶段,岩石圈伸展减薄,软流圈地幔物质上涌,超基性岩浆作用和中酸性岩浆十分发育,形成了与铁镁质超基性岩有关的镍-铜-钴-铁矿系列,典型矿床如夏日哈木;在早三叠世仍处于洋壳俯冲阶段,中三叠世处于陆(弧)陆初始碰撞阶段,晚三叠世转变为陆陆碰撞—碰撞后阶段(武若晨等,2017)。晚三叠世为东昆仑地区最重要的一次成矿期,此时花岗岩和陆相火山岩十分发育,相应地形成与岩浆作用有关的铁-金-银-多金属矿床成矿系列,成矿发生于碰撞—后碰撞构造背景,成矿类型有接触交代型、热液型、斑岩型和陆相火山岩型,典型矿床有野马泉铁铅锌矿床、四角羊-牛苦头锌铁铅矿床、它温查汉铁铅锌矿床、虎头崖铜铅锌矿床(马圣钞,2012)、卡而却卡铜铁锌矿床、那更康切尔银矿床(杨涛等,2017)、哈日扎铅锌矿床(宋忠宝等,2013)、五龙沟金矿床(马国栋等,2015)、鄂拉山口铅锌银矿床(韩晓龙等,2017)。

巴颜喀拉-松潘成矿省从石炭纪开始步入一个古特提斯洋演化阶段。晚石炭世—中二叠世,阿尼玛卿洋盆不断裂解扩张,洋盆逐渐成熟,随即进入弧盆系,形成与海相火山喷发有关的多金属矿床,如德尔尼铜(钴)矿床。中二叠世—中三叠统形成与岩浆型、岩浆热液型及沉积变质型矿产。晚三叠世洋盆关闭,巴颜喀拉地块与东昆仑地块发生斜向碰撞(杨经绥等,2005),并转入后碰撞造山阶段,该期碰撞造山事件最终形成了一系列由北北东向南南西的逆冲断层,并将不同时代、不同成因的构造岩块与马尔争组复理石浊积岩强烈构造混杂到一起,形成了布青山复合增生型构造混杂岩的基本构造格架,形成全省最大的大场金矿田。

喀喇昆仑-三江成矿省在早二叠世末开始大幅度俯冲消减,出现海相碳酸盐台地、岛弧、弧前盆地,出露弧后拉张环境下的碎屑岩-火山岩-碳酸盐岩建造,岛弧火山岩中赋存有铁、铅、锌、银矿。产出有色金属、贵金属、煤及石膏。中二叠世随着洋壳俯冲消减,形成活动大陆边缘弧盆体系。晚二叠世沉积了弧后盆地远弧带乌丽群,形成了煤矿及天然气水合物矿产,如乌丽煤矿、乌丽天然气水合物。晚二叠世,金沙江洋俯冲消减阶段,形成西金乌兰埃达克岩和杂多纪能基性—超基性岩,进入弧-陆碰撞发展阶段,发育陆缘火山弧及弧后前陆盆地,岛弧火山岩中发育海相火山岩型铜、铅、锌、银、硫铁矿矿床;在中

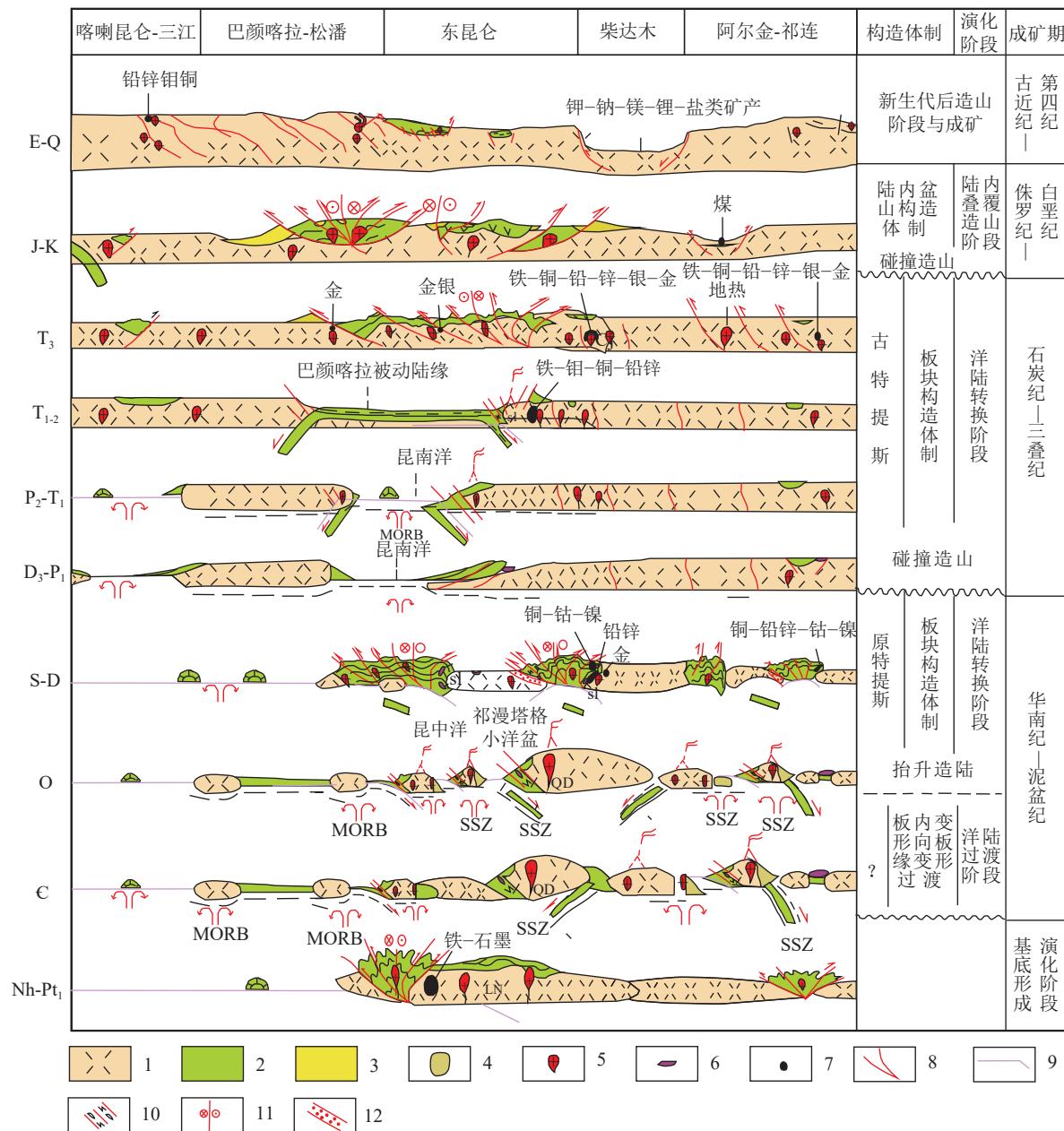


图 9 青海省大地构造演化与成矿示意图

Fig. 9 Schematic diagram of tectonic evolution and mineralization in Qinghai Province

1—陆壳; 2—洋壳; 3—SSZ 洋壳; 4—新生陆壳; 5—岩浆岩; 6—蛇绿岩; 7—不同矿种成矿作用; 8—深大断裂; 9—扩张洋盆; 10—洋陆转换; 11—拉分盆地或断陷盆地; 12—超高压变质带。E-Q—古近纪-第四纪; J-K—侏罗纪-白垩纪; T<sub>3</sub>—晚三叠世; T<sub>1-2</sub>—早-中三叠世; P<sub>2</sub>-T<sub>1</sub>—晚二叠世-早三叠世; D<sub>3</sub>-P<sub>1</sub>—晚泥盆世-早二叠世; S-D—志留纪-泥盆纪; O—奥陶纪; C—寒武纪; Nh-Pt<sub>1</sub>—南华纪-古元古代; MORB—洋中脊玄武岩; SSZ—俯冲蛇绿岩

三叠世末期义敦地块碰撞拼合, 形成金沙江缝合带, 多彩蛇绿岩形成于俯冲带环境(李善平等, 2010), 具有铜、铅、锌含矿特征, 如尕龙格玛铜-铅锌矿(吴碧娟, 2013)。白垩纪, 在唐古拉山一带发育正长花岗岩、二长花岗岩和石英二长岩岩株、岩枝等, 形成了

多个水晶矿(吴曼通洞水晶矿)及接触交代型铅锌矿。古近纪—第四纪青藏高原碰撞-隆升与成矿, 65 Ma 左右, 印度-欧亚大陆对接碰撞, 强烈的造山作用形成大规模的逆冲推覆、走滑构造和拉伸盆地, 形成复合造山叠加、改造和地壳的强烈增厚, 并伴随着强

烈的岩浆活动、引发了一次中—酸性岩浆活动,为本区成矿作用最强的时期,形成了斑岩型、接触交代型、热液型矿产,以纳日贡玛铜钼矿为代表(郝金华等,2012;栗亚芝等,2015)。在此构造背景下,也有与盆地流体活动有关的成矿,沉积岩作为容矿主岩,因此构成了一条上千千米的喜马拉雅期以沉积岩为容矿主岩的铅锌成矿带(侯增谦等,2008;宋玉财等,2011),带内形成多个浅成中—低温热液型矿床,如东莫扎抓、莫海拉亨铅锌矿床、楚多曲铅锌矿、扎拉夏格涌热液脉状铅-锌矿化(雍拥等,2011)、与闪长玢岩有关的玢岩型矿床(扎日根铁矿床)。

## 7 结 论

(1)青海省经历了3期(原、古、新)特提斯洋演化与成矿作用,具有复杂的成矿地质环境,成矿作用具有多期次、多类型、多矿源的特征。

(2)3期特提斯洋演化与成矿作用特征鲜明:北部阿尔金-祁连成矿省和柴北缘成矿带明显受控原特提斯洋演化,产出全省最大的锡铁山喷流沉积型铅锌矿和一系列金-银-铜-铅锌矿床;中部昆仑成矿省受控原、古特提斯洋演化,形成全国第二大的夏日哈木岩浆型铜镍钴矿、全省最大的那更康切尔沟银矿-大场金矿-茶卡北山锂铍矿和一系列金-银-铟-铜-铅锌矿产等,以岩浆型和浅成中—低温热液型金银矿最发育,其次为多金属矿;南部受特提斯洋演化、印度-亚欧板块碰撞造山作用影响,形成青海省最大的德尔尼中低温海底热液喷流沉积铜钴矿、纳日贡玛大型斑岩型钼铜矿和逆冲推覆作用相关的沉积岩容矿的浅成中—低温热液型矿床——多才玛铅锌矿,以及一系列铜铅锌矿。

(3)青海省特定的大地构造相形成一定建造构造中的矿产,一些矿床工业类型具有独特性,如泥盆纪—志留纪岩浆型铜镍钴矿和碳酸岩铌矿、晚三叠世中低温热液型金银矿和接触交代型昆仑玉、新近纪浅成中—低温热液型铅锌矿及斑岩型铜钼矿、第四纪盐类矿及油气等。

(4)成矿时间主要集中在志留纪—泥盆纪、中晚三叠世、侏罗纪、古近纪—第四纪。金矿床主要沿柴北缘断裂和昆中断裂呈条带状产出;银矿主要沿昆北断裂呈条带状分布于斑岩体边部及外围;铜-镍-钴-铌矿主要产于昆北断裂、东昆仑超高压变质带中;铜-铅锌-银-钼-铟矿主要围绕印支期岩体与地

层接触带分布;地热资源主要产于土尔根达坂-宗务隆山南缘带晚三叠世碰撞后伸展背景的复式花岗岩体内;煤矿主要分布于侏罗纪地层中。

## References

- Chen A D, Zheng M P, Shi L F, et al. 2017. Gypsum  $^{230}\text{Th}$  dating of the 15YZK01 drilling core in the Qaidam Basin: Salt deposits and their link to Quaternary glaciation and tectonic movement[J]. *Acta Geoscientica Sinica*, 38(4): 494–504 (in Chinese with English abstract).
- Chen H W, Luo Z H, Mo X X, et al. 2006. SHRIMP ages of Kayakedengtage complex in the East Kunlun Mountains and their geological implications[J]. *Acta Petrologica et Mineralogica*, (1): 25–32 (in Chinese with English abstract).
- Chen J, Pan T, Li S P, et al. 2012. Tectonic evolution and mineralization of the Tethys on the northeastern margin of the Qinghai-Tibetan Plateau[R]. *Qinghai Geological Survey* (in Chinese with English abstract).
- Chen X, Gehrels G, Yin A, et al. 2015. Geochemical and Nd-Sr-Pb-O isotopic constrains on Permo-Triassic magmatism in eastern Qaidam Basin, northern Qinghai-Tibetan Plateau: Implications for the evolution of the Paleo-Tethys[J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 114: 674–692.
- Cheng L, Ding Q F, Deng Y L, et al. 2019. Petrogenesis of the Middle Triassic diabase veins in Wulonggou ore concentrated areas within East Kunlun Orogen: Chronology, geochemistry and tectonic significance[J]. *Journal of Jilin University (Earth Science Edition)*, 49(6): 1628–1648 (in Chinese with English abstract).
- Feng C Y, Li D S, Qu W J, et al. 2009. Re-Os isotopic dating of molybdenite from the Suolajier skarn-type copper-molybdenum deposit of Qimantag Mountain in Qinghai province and its geological significance[J]. *Rock and Mineral Analysis*, 28(3): 223–227 (in Chinese with English abstract).
- Feng C Y, Wang X P, Shu X F, et al. 2011. Chronology and geological significance of the Qimantag Hutouya lead-zinc polymetallic mine, Qinghai[J]. *Journal of Jilin University (Earth Science Edition)*, 41(6): 1806–1817 (in Chinese with English abstract).
- Feng C Y, Zhang D Q, Dang X Y, et al. 2005. SHRIMP zircon U-Pb dating of quartz albite from the Tuolugou cobalt(gold) deposit, Golmud, Qinghai, China—Constraints on the age of the Naij Tal Group[J]. *Geological Bulletin of China*, 24(6): 501–505 (in Chinese with English abstract).
- Feng C Y, Zhang D Q, Qu W J, et al. 2006. Re-Os isotopic dating of pyrite in the Tuolugou SEDEX cobalt(gold) deposit, Golmud, Qinghai Province[J]. *Acta Geologica Sinica*, (4): 571–576 (in Chinese with English abstract).
- Feng C Y, Zhang D Q, She H Q, et al. 2002. Structural evolution of ductile shear belt and its constraints on gold mineralizations: Exemplified by Yeluotuoquan gold deposit, Qinghai Province[J].

- Mineral Deposits, 21(S1): 582–585 (in Chinese with English abstract).
- Feng Z X, Chen Z L, Li Z M, et al. 2020. Characteristics of ore-controlling structures and oreprospecting of the Xitieshan lead-zinc deposit, northern edge of the Qaidam basin, NW China[J]. Journal of Geomechanics, 26(3): 329–344 (in Chinese with English abstract).
- Gao Y B, Li W Y, Li K, et al. 2012. Chronology, Hf isotopes and geologic significance of granites associated with the Yemaquan iron ore mine, East Kunlun[J]. Mineral Deposits, 31(S1): 1021–1022 (in Chinese with English abstract).
- Guo G H, Zong S H, Li S Z, et al. 2023. Constructing discrimination diagrams for granite mineralization potential by using machine learning and zircon trace elements: example from the Qimantagh, East Kunlun[J]. Northwestern Geology, 56(6): 57–70 (in Chinese with English abstract).
- Guo X Q, Yan Z, Wang Z Q, et al. 2011. Geological characteristics and associated magmatic ages of the Xiekeng skarn-type Cu–Au deposit in the West Qinling terrane[J]. Acta Petrologica Sinica, 27(12): 3811–3822 (in Chinese with English abstract).
- Guo X Z, Xie W H, Zhou H B, et al. 2019. Zircon U–Pb chronology and geochemistry of the rhyolite porphyry in the Nagengkangqier silver polymetallic deposit, East Kunlun and their geological significance[J]. Earth Science, 44(7): 2505–2518 (in Chinese with English abstract).
- Han X L, Bao S D, Li D S. 2017. Geological characteristics and prospecting criteria of the Ag–Pb–Zn deposit in Qinghai mountain pass[J]. World Nonferrous Metals, (18): 109–111.
- Hao J H, Chen J P, Dong Q J, et al. 2012. Zircon LA–ICP–MS U–Pb dating for Narigongma porphyry molybdenite–copper deposit in southern Qinghai Province and its geological implication[J]. Geoscience, 26(1): 45–53 (in Chinese with English abstract).
- Hao J H, Chen J P, Dong Q J, et al. 2013. Early Paleocene diagenetic and metallogenetic events of the lurige porphyry molybdenum–copper deposit in southern Qinghai, China: Evidence from zircon LA–ICP–MS U–Pb and molybdenite Re–Os dating[J]. Acta Geologica Sinica, 87(2): 227–239 (in Chinese with English abstract).
- He S Y, Li D S, Li L L, et al. 2009. Re–Os age of molybdenite from the Yazgou copper (molybdenum) mineralized area in Eastern Kunlun of Qinghai Province and its geological significance[J]. Geotectonica et Metallogenesis, 33(2): 236–242 (in Chinese with English abstract).
- He S Y, Lin G, Zhong S H, et al. 2023. Geological characteristics and related mineralization of “Qinghai Gold Belt” formed by orogeny[J]. Northwestern Geology, 56(6): 1–16 (in Chinese with English abstract).
- Hou Z Q, Song Y C, Li Z, et al. 2008. Thrust-controlled, sediments-hosted Pb–Zn–Ag–Cu deposits in eastern and northern margins of Tibetan orogenic belt: Geological features and tectonic model[J]. Mineral Deposits, (2): 123–144 (in Chinese with English abstract).
- Jia Q Z, Du Y L, Zhao Z J, et al. 2013. Zircon LA–MC–ICPMS U–Pb dating and geochemical characteristics of the plagiogranite porphyry from Tanjianshan gold ore district in north margin of Qaidam Basin[J]. Bulletin of Geological Science and Technology, 32(1): 87–93 (in Chinese with English abstract).
- Jiao H L. 2016. Genesis of copper polymetallic deposits in Delni, Qinghai and direction of mineral search[D]. Master thesis of China University of Geosciences (Beijing) (in Chinese with English abstract).
- Jiao J G, Lu H, Sun Y L, et al. 2013. Re–Os dating for Delni Cu(Zn–Co) ore deposit in Qinghai Province[J]. Geoscience, 27(3): 577–584 (in Chinese with English abstract).
- Kong H L, Li J C, Li Y Z, et al. 2014. Geochemistry and zircon U–Pb geochronology of Annage diorite in the eastern section from east Kunlun in Qinghai Province[J]. Bulletin of Geological Science and Technology, 33(6): 11–17.
- Kong H L, Li J C, Li Y Z, et al. 2016. LA–MC–ICP–Ms zircon U–Pb dating and its geological implications of the tonalite from Xiaoyuanshan iron–polymetallic ore district in Qimantag Mountain, Qinghai Province[J]. Bulletin of Geological Science and Technology, 35(1): 8–16 (in Chinese with English abstract).
- Kou L L, Luo M F, Zong K H, et al. 2010.  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  dating of the No. I gold-bearing shear zone on the gold-ore collected belt of the Wulonggou, Qinghai, and its significance[J]. Xinjiang Geology, 28(3): 330–333 (in Chinese with English abstract).
- Li B L, Shen X, Chen G J, et al. 2012a. Geochemical features of ore-forming fluids and metallogenesis of vein I in Asiba gold ore deposit, Eastern Kunlun, Qinghai Province[J]. Journal of Jilin University (Earth Science Edition), 42(6): 1676–1687 (in Chinese with English abstract).
- Li B L, Sun F Y, Yu X F, et al. 2012b. U–Pb dating and geochemistry of diorite in the eastern section from eastern Kunlun middle uplifted basement and granitic belt[J]. Acta Petrologica Sinica, 28(4): 1163–1172 (in Chinese with English abstract).
- Li D B, Niu M L, Xia W J, et al. 2014. Petrology and LA–ICP–MS zircon U–Pb age of the ore-bearing porphyry in the Walegen gold deposit at the juncture of the Qinling–Qilian–Kunlun orogens[J]. Geological Bulletin of China, 33(7): 1055–1060 (in Chinese with English abstract).
- Li J C, Kong Hu L, Li Y Z, et al. 2017. Ar–Ar age of altered sericite, zircon U–Pb age of quartz diorite and geochemistry of the Naomuhun gold deposit, East Kunlun[J]. Acta Geologica Sinica, 91(5): 979–991 (in Chinese with English abstract).
- Li J C, Kong Hu L, Li Y Z, et al. 2018. Zircon U–Pb dating, geochemical characteristics and metallogenetic significance of gronodiorite porphyry from the Xizangdagou gold deposit in East Kunlun, Qinghai Province[J]. Journal of Geomechanics, 24(2): 188–198 (in Chinese with English abstract).
- Li J J, Fang X M, Ma H Z, et al. 1996. Late Cenozoic geomorphologic evolution of the upper Yellow River and uplift of the Tibetan Plateau[J]. Scientia Sinica(Terrae), (4): 316–322 (in Chinese with English abstract).
- Li R S, Ji W H, Yang Y C, et al. 2008. Geology of the Kunlun Mountains and adjacent areas[M]. Beijing: Geology Press (in Chinese).
- Li S J, Sun F Y, Feng C Y et al. 2008. Geochronological study on Yazigou polymetallic deposit in eastern Kunlun, Qinghai Province[J].

- Acta Geologica Sinica, (7): 949–955 (in Chinese with English abstract).
- Li S P, Pan T, Li Y X, et al. 2010. Geochemistry of the Duocai ophiolite in North Qiangtang Basin, Qinghai–Tibet Plateau: Environments for tectonics [J]. Geology in China, 37(6): 1592–1606 (in Chinese with English abstract).
- Li W L, Xia R, Qing M, et al. 2014. Re–Os molybdenite ages of the Shenduolong skarn Mo–Pb–Zn deposit and geodynamic framework, Qinghai Province [J]. Rock and Mineral Analysis, 33(6): 900–907 (in Chinese with English abstract).
- Li W Y, Zhang Z W, Gao Yo B, et al. 2011. Important metallogenic events and tectonic response of Qinling, Qilian and Kunlun orogenic belts [J]. Geology in China, 38(5): 1135–1149 (in Chinese with English abstract).
- Li X Y, Chen N S, Xia X P, et al. 2007. Onstraints on timing of the early–Paleoproterozoic magmatism and crustal evolution of the Oulongbuluke microcontinent: U–Pb and Lu–Hf isotope systematics of zircons from Mohe granitic pluton [J]. Acta Petrologica Sinica, 23(2): 513–522 (in Chinese with English abstract).
- Li Y Z, Kong H L, Nanka O W, et al. 2015. Analysis of matter source and metallogenic setting of metallogenic rock of Narigongma porphyry copper–molybdenum deposit in Qinghai Province [J]. Bulletin of Geological Science and Technology, 34(1): 1–9 (in Chinese with English abstract).
- Liao Y B, Li B L, Sun Y G, et al. 2020. Zircon U–Pb age, petrochemistry and Hf isotope characteristics of gabbro in Xiteshan Pb–Zn mining area in northern margin of Qaidam Basin [J]. World Geology, 39(3): 495–508 (in Chinese with English abstract).
- Liu C D, Mo X X, Luo Z H, et al. 2004. Crust–mantle magmatism mixing in East Kunlun: Evidence from zircon SHRIMP chronology [J]. Chinese Science Bulletin, (6): 596–602 (in Chinese with English abstract).
- Liu J N, Feng C Y, He S Y, et al. 2017. Zircon U–Pb and phlogopite Ar–Ar ages of the monzogranite from Yemaquan iron–zinc deposit in Qinghai Province [J]. Geotectonica et Metallogenia, 41(6): 1158–1170 (in Chinese with English abstract).
- Liu J N, Feng C Y, Qi F, et al. 2012. SIMS zircon U–Pb dating and fluid inclusion studies of Xiadeboli Cu–Mo ore district in Dulan County, Qinghai Province, China [J]. Acta Petrologica Sinica, 28(2): 679–690 (in Chinese with English abstract).
- Liu J Q, Zhong S H, Li S Z, et al. 2023. Identification of mineralized and barren magmatic rocks for the pophrury–skarn deposits from the Qimantagh, east Kunlun: Based on machine learning and whole–rock compositions [J]. Northwestern Geology, 56(6): 41–56 (in Chinese with English abstract).
- Liu M. 2017. Study on the petrogenesis and mineralization in the Dahei Mountain area, Qinghai [D]. China University of Geosciences (Beijing) (in Chinese with English abstract).
- Liu Q S, Yuan W M, Feng X, et al. 2017. Geochemistry and genetic significance of the Yins'aocao marine facies volcanic type Zn–Cu deposits in Oilian Mountains, Qinghai Province [J]. Northwestern Geology, 50(4): 105–114 (in Chinese with English abstract).
- Liu Y H, Mo X X, Zhang X T, et al. 2006. The geochemical characteristics and the meaning of skarn-type deposits in Yemaquan area, Eastern Kunlun [J]. Geology and Mineral Resources of South China, (3): 31–36 (in Chinese with English abstract).
- Lu D Y, Ye H S, Yu M, et al. 2015. Geological features and molybdenites Re–Os isotopic dating of the Jiangligou W–Cu–Mo polymetallic deposit, West Qinling [J]. Acta Geologica Sinica, 89(4): 731–746 (in Chinese with English abstract).
- Lu S N. 2002. Discussion on the new subdivision of the Neoproterozoic in China [J]. Geological Review, (3): 242–248 (in Chinese with English abstract).
- Luo Z H, Ke S, Cao Y Q, et al. 2002. Late Indosian mantle–derived magmatism in the East Kunlun [J]. Geological Bulletin of China, (6): 292–297 (in Chinese with English abstract).
- Ma G D, Han Y, Chen S L, et al. 2015. Metallogenic regularity of the gold–polymetallic deposits in Wulonggou Area, Qinghai Province [J]. Metal Mine, (10): 110–115 (in Chinese with English abstract).
- Ma S C. 2012. Zoning and genesis of alteration mineralization in the Hutouya Cu–Pb–Zn polymetallic deposit, Qimantag area, Qinghai [D]. Chinese Academy of Geological Sciences (in Chinese with English abstract).
- Mo X X, Luo Z H, Deng J F, et al. 2007. Granitoids and crustal growth in the East Kunlun orogenic belt [J]. Geological Journal of China Universities, (3): 403–414 (in Chinese with English abstract).
- Nanka O W, Jia Q Z, Li W Y, et al. 2014. LA–ICP–MS zircon U–Pb age and geochemical characteristics of quartz diorite from the Haxiyatu iron–polymetallic ore district in Eastern Kunlun [J]. Geological Bulletin of China, 33(6): 841–849 (in Chinese with English abstract).
- Nanka O W, Jia Q Z, Tang L, et al. 2015. Zircon U–Pb age and geochemical characteristics of granodiorite from the Haxiyatu iron–polymetallic ore district in Eastern Kunlun [J]. Geology in China, 42(3): 702–712 (in Chinese with English abstract).
- Pan G, Wang L, Li R, et al. 2012. Tectonic evolution of the Qinghai–Tibet plateau [J]. Journal of Asian Earth Sciences, 53: 3–14.
- Pan T, Wang F D. 2021. Exploration of Mineral Resources in Qinghai Province [J]. Qinghai Science and Technology, 28(6): 39–44 (in Chinese with English abstract).
- Pan T, Wang G R, Wang F D, et al. 2022. Annals of Geology of Mineral Resources of China–Qinghai Volume [R]. The Bureau of Geological Exploration and Development of Qinghai Province (in Chinese).
- Pan T, Zhang Y. 2020. Geochemical characteristics and metallogenic response of the eclogite from Xiarihamu magmatic Ni–Cu sulfide deposit in eastern Kunlun orogenic belt [J]. Geotectonica et Metallogenia, 44(3): 447–464 (in Chinese with English abstract).
- Pan X P, Li R S, Yu P S, et al. 2013. The age of country rocks of the Kendekeke Fe–Co polymetallic deposit in Qimantag area and its significance [J]. Acta Petrologica et Mineralogica, 32(1): 53–62 (in Chinese with English abstract).
- Pei X Z, Li R B, Li Z C, et al. 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, Li W F, Yu W J, et al. 2019. Regional Geological annals of China–Qinghai Volume[R]. The Qinghai Geological Survey Institute (in Chinese).
- Qi S S. 2013. Delineation of geotectonic units and characteristics of mineralization in Qinghai Province[J]. Management & Strategy of Qinghai Land & Resources, (5): 53–62 (in Chinese with English abstract).
- Qian Z Z, Tang Z L, Li W Y, et al. 2003. Metallogenic regularity of Qinling–Qilian–Kunlun metallogenic domain in Paleozoic[J]. Northwestern Geology, (1): 34–40 (in Chinese with English abstract).
- Ren J X, Niu G B, Liu Z G. 1999. Soft collision, superposition orogeny and polycyclic suturing[J]. Earth Science Frontiers, (3): 85–93 (in Chinese with English abstract).
- Shi C, Li R S, He S P, et al. 2017. A study of the ore-forming age of the Hutouya deposit and its geological significance: Geochemistry and U–Pb zircon ages of biotite monzonitic granite in Qimantag, East Kunlun Mountains[J]. Geological Bulletin of China, 36(6): 977–986 (in Chinese with English abstract).
- Song X Y, Yi J N, Chen L M, et al. 2016. The Giant Xiarihamu Ni–Co sulfide deposit in the East Kunlun Orogenic Belt, northern Tibet Plateau, China[J]. *Economic Geology*, 111: 29–55.
- Song Y C, Hou Z Q, Yang T N, et al. 2011. Sediment-hosted Himalayan base metal deposits in Sanjiang region: Characteristics and genetic types[J]. Acta Petrologica et Mineralogica, 30(3): 355–380 (in Chinese with English abstract).
- Song Z B, Jia Q Z, Chen X Y, et al. 2011. The petrogenic age of Narigongma granitic diorite–porphyry in the northern part of the Sanjiang region and its geological implications[J]. Acta Geoscientica Sinica, 32(2): 154–162 (in Chinese with English abstract).
- Song Z B, Zhang Y L, Chen X Y, et al. 2013. Geochemical characteristics of Harizha granite diorite–porphyry in East Kunlun and their geological implications[J]. Mineral Deposits, 32(1): 157–168 (in Chinese with English abstract).
- Sun X P, Xu X Y, Chen J L, et al. 2013. Geochemical characteristics and chronology of the Jiangligou granitic pluton in west Qinling and their geological significance[J]. Acta Geologica Sinica, 87(3): 330–342 (in Chinese with English abstract).
- Tian C S, Feng C Y, Li J H, et al. 2013.  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  geochronology of Tawenchahan Fe-polymetallic deposit in Qimantag Mountain of Qinghai Province and its geological implications[J]. Mineral Deposits, 32(1): 169–176 (in Chinese with English abstract).
- Tian C S, Zhang A K, Yuan W M, et al. 2014. Zircon fission fracturing evidence for tectonic events in the Hariza polymetallic ore district, eastern Kunlun Mountains, Qinghai–Tibet Plateau[J]. Geology and Exploration, 50(5): 833–839 (in Chinese with English abstract).
- Tian S H, Yang Z S, Hou Z Q, et al. 2009. Rb–Sr and Sm–Nd isochron ages of Dongmozhazhua and Mohailaheng Pb–Zn ore deposits in Yushu area, southern Qinghai and their geological implications[J]. Mineral Deposits, 28(6): 747–758 (in Chinese with English abstract).
- Tian S H, Yang Z S, Hou Z Q, et al. 2011. Confirmation of connection between Dongmozhazhua and Mohailaheng Pb–Zn ore deposits and thrust nappe system in Yushu area, southern Qinghai: Evidence from Rb–Sr and Sm–Nd isochron ages of macrocrystalline calcite[J]. Acta petrologica et Mineralogica, 30(3): 475–489 (in Chinese with English abstract).
- Wang B Z, Li W F, Jin T T, et al. 2024. Baddeleyite U–Pb geochronology of rare metal mineralized carbonatite and peridotite in Dagele area of east Kunlun orogen and its prospecting significance[J]. Earth Science, 49(4): 1245–1260 (in Chinese with English abstract).
- Wang B, Zhang D, Lu Y C, et al. 2014. Zircon U–Pb ages, Hf isotope characterization and geological significance of altered granite porphyry veins in the Gago gold mining area, Qinghai Province[J]. Mineral Deposits, 33(S1): 265–266 (in Chinese with English abstract).
- Wang C H. 2017. Geology and geochemistry of Kengdenongshe gold and polymetallic deposit in Maduo, Qinghai[D]. Master thesis of China University of Geosciences (Beijing) (in Chinese with English abstract).
- Wang G. 2014. Metallogenesis of Nickel deposits in Eastern Kunlun Orogenic Belt, Qinghai Province[D]. Doctoral thesis of Jilin University (in Chinese with English abstract).
- Wang Q Y, Chen N S, Li X Y, et al. 2008. LA–ICPMS zircon U–Pb dating of the basal Dakeng Osaka Complex and thermal events in the Quanji Massif[J]. Chinese Science Bulletin, (14): 1693–1701 (in Chinese with English abstract).
- Wang S, Feng C Y, Li S J, et al. 2009. Zircon SHRIMP U–Pb dating of granodiorite in the Kaerqueka polymetallic ore deposit, Qimantage Mountain, Qinghai Province, and its geological implications[J]. Geology in China, 36(1): 74–84 (in Chinese with English abstract).
- Wang Z L, Yang Z M, Yang Z S, et al. 2008. Narigongma porphyry molybdenite copper deposit, northern extension of Yulong copper belt: Evidence from the age of Re–Os isotope[J]. Acta Petrologica Sinica, 24(3): 503–510 (in Chinese with English abstract).
- Wu B J. 2013. Study on mineralization conditions and deposit genesis of Galonggema copper polymetallic mine, Qinghai Province[D]. Master thesis of Central South University (in Chinese with English abstract).
- Wu C L, Gao Y H, Wu S P, et al. 2008. Zircon SHRIMP U–Pb dating and petrogeochemical characterization of the granites in the western section of the Chai North Margin[J]. Scientia Sinica(Terra), (8): 930–949 (in Chinese with English abstract).
- Wu C L, Xu X Y, Gao Q M, et al. 2010. Early Palaeozoic granitoid magmatism and tectonic evolution in North Qilian, NW China[J]. Acta Petrologica Sinica, 26(4): 1027–1044 (in Chinese with English abstract).
- Wu R C, Gu X X, Zhang Y M, et al. 2017. The sedimentary geochemical records about the tectonic evolution of the East Kunlun Orogenic Belt from Early Paleozoic to Early Mesozoic[J]. Geoscience, 31(4): 716–733 (in Chinese with English abstract).
- Wu X K, Meng F C, Xu H, et al. 2011. Zircon U–Pb dating, geochemistry and Nd–Hf isotopic compositions of the Maxingdaban Late Triassic granitic pluton from Qimantag in the eastern Kunlun[J]. Acta Petrologica Sinica, 27(11): 3380–3394 (in Chinese with English abstract).

- Xia R, Qing M, Wang C M, et al. 2014. The genesis of the orge-bearing porphyry of the Tuoketuo porphyry Cu–Au(Mo) deposit in the east Kunlun, Qinghai Province: Constraints from zircon U–Pb geochronological and geochemistry[J]. Journal of Jilin University (Earth Science Edition), 44(5): 1502–1524 (in Chinese with English abstract).
- Xia R. 2017. Paleotethys orogenic process and gold mineralization in East Kunlun[D]. Doctoral thesis of China University of Geosciences (Beijing) (in Chinese with English abstract).
- Xiao Y, Feng C Y, Li D X, et al. 2014. Chronology and fluid inclusions of the Guoluolongwa gold deposit in Qinghai Province[J]. Acta Geologica Sinica, 88(5): 895–902 (in Chinese with English abstract).
- Xiao Y, Feng C Y, Liu J N, et al. 2013. LA–MC–ICP–MS zircon U–Pb dating and sulfur isotope characteristics of Kendekeke Fe–polymetallic deposit, Qinghai Province[J]. Mineral Deposits, 32(1): 177–186 (in Chinese with English abstract).
- Xu C K, Liu S B, Zhao Z J, et al. 2012. Metallogenic law and prospect direction of iron deposits in the East Kunlun metallogenic belt in Qinghai[J]. Acta Geologica Sinica, 86(10): 1621–1678 (in Chinese with English abstract).
- Xu Y L, Ba J, Wang Q Y, et al. 2011. LA–ICP–MS zircon U–Pb age of the Halihadeshan granite–gneiss in northeastern Dulan, Qinghai, and its tectonic implications[J]. Geological Bulletin of China, 30(7): 1037–1042 (in Chinese with English abstract).
- Yan Y F, Yang X S, Chen F B, et al. 2012. Characteristics of molybdenum–bearing granites in the middle reaches of the East Kunlun–Lalingzaohuo[J]. China Science and Technology Information, (18): 37–39 (in Chinese with English abstract).
- Yang D X, Wang P S. 1988. The determinations of plateau age by  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  dating on cenozoic calcalkalic trachytes of Nangqen Basin, northern Transverse Mountains[J]. Geology of the Tibetan Plateau, (00): 39–44 (in Chinese with English abstract).
- Yang J S, Xu Z Q, Li H B, et al. 2005. The paleo–Tethyan volcanism and plate tectonic regime in the A’nyemaqen region of East Kunlun northern Tibet Plateau[J]. Acta Petrologica et Mineralogica, (5): 369–380 (in Chinese with English abstract).
- Yang T, Zhang L, Zheng Z H, et al. 2018. Geological characteristics and genetic analysis of the Tawenchanhanxi Fe–polymetallic deposit, Qinhai Province[J]. Acta Petrologica et Mineralogica, 37(3): 467–484 (in Chinese with English abstract).
- Yang T, Zhou H B, Zheng Z H, et al. 2017. Geological characteristics and genetic type of the Nagengkangqier silver polymetallic deposit in East Kunlun[J]. Northwestern Geology, 50(4): 186–199 (in Chinese with English abstract).
- Yang Z L, Zhang D Q, She H Q, et al. 2008. Evidence from fission track thermochronology for the mineralization ages of sandstone copper deposits in the Fenghuoshan area, Qinghai[J]. Geology in China, (2): 293–297 (in Chinese with English abstract).
- Yang Z M, Hou Z Q, Yang Z S, et al. 2008. Genesis of porphyries and tectonic controls on the Narigongma porphyry Mo(Cu) deposit, southern Qinghai[J]. Acta Petrologica Sinica, 24(3): 489–502 (in Chinese with English abstract).
- Yong Y, Chen W, Zhang Y, et al. 2011. Zircon SHRIMP U–Pb dating and geochemistry of the Rangnianggongba gabbro in Yushu area, Qinghai Province[J]. Acta Petrologica et Mineralogica, 30(3): 419–426 (in Chinese with English abstract).
- Yu M, Feng C Y, Liu H C, et al. 2015.  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  geochronology of the Galinge large skarn iron deposit in Qinghai Province and geological significance[J]. Acta Geologica Sinica, 89(3): 510–521 (in Chinese with English abstract).
- Yuan D Y, Champagnac J D, Ge W P, et al. 2011. Late Quaternary right-lateral slip rates of faults adjacent to the lake Qinghai, northeastern margin of the Tibetan Plateau[J]. Canadian Mineralogist, 123: 2016–2030.
- Yue W H, Zhou J X, Gao J G, et al. 2017. Geochemistry, zircon U–Pb dating and Hf isotopic compositions of the granite–porphyry in Asiya gold ore district, Dulan County, Qinghai Province[J]. Geotectonica et Metallogenesis, 41(4): 776–789 (in Chinese with English abstract).
- Yue W H, Zhou J X. 2019. Geochemistry, zircon U–Pb age and Hf isotopic characteristics of the Asiya diorite in Dulan County, Qinghai Province[J]. Geological Bulletin of China, 38(2/3): 328–338 (in Chinese with English abstract).
- Zhang D Q, Dang X Y, She H Q, et al. 2005 Ar–Ar dating of orogenic gold deposits in northern margin of Qaidam and East Kunlun Mountains and its geological significance[J]. Mineral Deposits, (2): 87–98 (in Chinese with English abstract).
- Zhang P. 2018. Geological characteristics and genesis of the Naxigoule iron ore deposit in the East Kunlun orogenic belt[D]. Master thesis of Jilin University (in Chinese with English abstract).
- Zhang Y, He S Y, Liu Z G, et al. 2018. The mineralization period of the Wulanbaixing iron ore deposit in Qimantag: Evidence from zircon U–Pb dating of the quartz diorite, in Qinghai Province[J]. Geology in China, 45(6): 1308–1309 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Z W, Li W Y, Gao Y B, et al. 2013. U–Pb chronology and tectonic significance of magnesian–ferrous mafic rocks in the Hualong area, Qinghai Province[C]//China Geological Society Youth Working Committee. Proceedings of the First National Youth Geology Conference. Geological Reviews: 154–155 (in Chinese with English abstract).
- Zhao C S, Yang F Q, Dai J Z. 2006. Metallogenic age of the Kendekeke Co, Bi, Au deposit in East Kunlun Mountains, Qinghai Province, and its significance[J]. Mineral Deposits, 25(S1): 427–430 (in Chinese with English abstract).
- Zhong S, Feng C, Seltmann R, et al. 2017. Middle Devonian volcanic rocks in the Weibao Cu–Pb–Zn deposit, East Kunlun Mountains, NW China: Zircon chronology and tectonic implications[J]. *Ore Geology Reviews*, 84: 309–327.
- Zhong S H. 2018. Study on the genesis of copper–lead–zinc deposits in Weibao, Xinjiang[D]. Doctoral thesis of Chinese Academy of Geological Sciences (in Chinese with English abstract).
- Zhong S, Feng C, Seltmann R, et al. 2018. Geochemical contrasts between Late Triassic ore–bearing and barren intrusions in the Weibao



- 李文渊, 张照伟, 高永宝, 等. 2011. 秦祁昆造山带重要成矿事件与构造响应[J]. *中国地质*, 38(5): 1135–1149.
- 李晓彦, 陈能松, 夏小平, 等. 2007. 莫河花岗岩的锆石 U-Pb 和 Lu-Hf 同位素研究: 柴北欧龙布鲁克微陆块始古元古代岩浆作用年龄和地壳演化约束[J]. *岩石学报*, 23(2): 513–522.
- 栗亚芝, 孔会磊, 南卡俄吾, 等. 2015. 青海省纳日贡玛斑岩型铜钼矿床成矿岩体的物质来源及成矿背景分析[J]. *地质科技情报*, 34(1): 1–9.
- 廖宇斌, 李碧乐, 孙永刚, 等. 2020. 柴达木盆地北缘锡铁山铅锌矿区辉长岩锆石 U-Pb 年代、岩石地球化学和 Hf 同位素特征[J]. *世界地质*, 39(3): 495–508.
- 刘成东, 莫宣学, 罗照华, 等. 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*, (6): 596–602.
- 刘嘉情, 钟世华, 李三忠, 等. 2023. 基于机器学习和全岩成分识别东昆仑祁漫塔格斑岩-矽卡岩矿床成矿岩体和贫矿岩体[J]. *西北地质*, 56(6): 41–56.
- 刘建楠, 丰成友, 何书跃, 等. 2017. 青海野马泉铁锌矿床二长花岗岩锆石 U-Pb 和金云母 Ar-Ar 测年及地质意义[J]. *大地构造与成矿学*, 41(6): 1158–1170.
- 刘建楠, 丰成友, 亓锋, 等. 2012. 青海都兰县下得波利铜钼矿区锆石 U-Pb 测年及流体包裹体研究[J]. *岩石学报*, 28(2): 679–690.
- 刘敏. 2017. 青海大黑山地区成岩成矿作用研究[D]. 中国地质大学(北京)博士学位论文.
- 刘青松, 袁万明, 冯星, 等. 2017. 青海省祁连县山阴凹槽海相火山岩型锌铜矿床地球化学特征及其成因意义[J]. *西北地质*, 50(4): 105–114.
- 刘云华, 莫宣学, 张雪亭, 等. 2006. 东昆仑野马泉地区矽卡岩矿床地球化学特征及其成因意义[J]. *华南地质*, (3): 31–36.
- 陆松年. 2002. 关于中国新元古界划分几个问题的讨论[J]. *地质论评*, (3): 242–248.
- 路东宇, 叶会寿, 于森, 等. 2015. 西秦岭江里沟钨铜多金属矿床地质特征及辉钼矿 Re-Os 同位素年龄[J]. *地质学报*, 89(4): 731–746.
- 罗照华, 柯珊, 曹永清, 等. 2002. 东昆仑印支晚期幔源岩浆活动[J]. *地质通报*, (6): 292–297.
- 马国栋, 韩玉, 陈苏龙, 等. 2015. 青海五龙沟地区金多金属矿成矿规律[J]. *金属矿山*, (10): 110–115.
- 马圣钞. 2012. 青海祁漫塔格地区虎头崖铜铅锌多金属矿床蚀变矿化分带及成因[D]. 中国地质科学院硕士学位论文.
- 莫宣学, 罗照华, 邓晋福, 等. 2007. 东昆仑造山带花岗岩及地壳生长[J]. *高校地质学报*, (3): 403–414.
- 南卡俄吾, 贾群子, 李文渊, 等. 2014. 青海东昆仑哈西雅图铁多金属矿区石英闪长岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄和岩石地球化学特征[J]. *地质通报*, 33(6): 841–849.
- 南卡俄吾, 贾群子, 唐玲, 等. 2015. 青海东昆仑哈西雅图矿区花岗闪长岩锆石 U-Pb 年龄与岩石地球化学特征[J]. *中国地质*, 42(3): 702–712.
- 潘彤, 王福德. 2021. 青海省矿产资源探析[J]. *青海科技*, 28(6): 39–44.
- 潘彤, 王贵仁, 王福德, 等. 2022. 中国矿产地志·青海卷[R]. 青海省地质矿产勘查开发局.
- 潘彤, 张勇. 2020. 东昆仑夏日哈木铜镍矿区榴辉岩地球化学特征及成矿响应[J]. *大地构造与成矿学*, 44(3): 447–464.
- 潘晓萍, 李荣社, 于浦生, 等. 2013. 祁漫塔格地区肯德可克铁钴多金属矿围岩时代及其意义[J]. *岩石矿物学杂志*, 32(1): 53–62.
- 裴先治, 李瑞保, 李佐臣, 等. 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, 李五福, 于文杰, 等. 2019. 中国区域地质志·青海卷[R]. 青海省地质调查院.
- 祁生胜. 2013. 青海省大地构造单元划分与成矿作用特征[J]. *青海国土资源经略*, (5): 53–62.
- 钱壮志, 汤中立, 李文渊, 等. 2003. 秦祁昆成矿域古生代区域成矿规律[J]. *西北地质*, (1): 34–40.
- 任纪舜, 牛宝贵, 刘志刚. 1999. 软碰撞、叠覆造山和多旋回缝合作用[J]. *地学前缘*, (3): 85–93.
- 时超, 李荣社, 何世平, 等. 2017. 东昆仑祁漫塔格虎头崖铅锌多金属矿成矿时代及其地质意义——黑云二长花岗岩地球化学特征和锆石 U-Pb 年龄证据[J]. *地质通报*, 36(6): 977–986.
- 宋玉财, 侯增谦, 杨天南, 等. 2011. “三江”喜马拉雅期沉积岩容矿贱金属矿床基本特征与成因类型[J]. *岩石矿物学杂志*, 30(3): 355–380.
- 宋忠宝, 贾群子, 陈向阳, 等. 2011. 三江北段纳日贡玛花岗闪长斑岩成岩时代的确定及地质意义[J]. *地球学报*, 32(2): 154–162.
- 宋忠宝, 张雨莲, 陈向阳, 等. 2013. 东昆仑哈日扎含矿花岗闪长斑岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 定年及地质意义[J]. *矿床地质*, 32(1): 157–168.
- 孙小攀, 徐学义, 陈隽璐, 等. 2013. 西秦岭江里沟花岗岩体地球化学特征、年代学及地质意义[J]. *地质学报*, 87(3): 330–342.
- 田承盛, 丰成友, 李军红, 等. 2013. 青海它温查汉铁多金属矿床<sup>40</sup>Ar/<sup>39</sup>Ar 年代学研究及意义[J]. *矿床地质*, 32(1): 169–176.
- 田承盛, 张爱奎, 袁万明, 等. 2014. 青海东昆仑哈日扎多金属矿区构造活动的锆石裂变径迹定年分析[J]. *地质与勘探*, 50(5): 833–839.
- 田世洪, 杨竹森, 侯增谦, 等. 2009. 玉树地区东莫扎抓和莫海拉亨铅锌矿床 Rb-Sr 和 Sm-Nd 等时线年龄及其地质意义[J]. *矿床地质*, 28(6): 747–758.
- 田世洪, 杨竹森, 侯增谦, 等. 2011. 青海玉树东莫扎抓和莫海拉亨铅锌矿床与逆冲推覆构造关系的确定——来自粗晶方解石 Rb-Sr 和 Sm-Nd 等时线年龄证据[J]. *岩石矿物学杂志*, 30(3): 475–489.
- 王斌, 张栋, 路英川, 等. 2014. 青海省加吾金矿区蚀变花岗斑岩脉锆石 U-Pb 年龄、Hf 同位素特征及其地质意义[J]. *矿床地质*, 33(S1): 265–266.
- 王秉璋, 李五福, 金婷婷, 等. 2024. 东昆仑大格勒稀有金属矿化碳酸岩和橄榄岩斜锆石 U-Pb 年代学研究和找矿意义[J]. *地球科学*, 49(4): 1245–1260.
- 王春辉. 2017. 青海省玛多县坑得弄舍金多金属矿床地质地球化学特征[D]. 中国地质大学(北京)硕士学位论文.
- 王冠. 2014. 东昆仑造山带镍矿成矿作用研究[D]. 吉林大学博士学位论文.
- 王勤燕, 陈能松, 李晓彦, 等. 2008. 全吉地块基底达肯大坂岩群和热事件的 LA-ICPMS 锆石 U-Pb 定年[J]. *科学通报*, (14): 1693–1701.
- 王松, 丰成友, 李世金, 等. 2009. 青海祁漫塔格卡尔却卡铜多金属矿区花岗闪长岩锆石 SHRIMP U-Pb 测年及其地质意义[J]. *中国地质*, 36(1): 74–84.
- 王召林, 杨志明, 杨竹森, 等. 2008. 纳日贡玛斑岩铜矿床: 玉龙铜矿

- 带的北延——来自辉钼矿 Re-Os 同位素年龄的证据 [J]. 岩石学报, 24(3): 503–510.
- 吴碧娟. 2013. 青海省尕龙格玛铜多金属矿成矿条件与矿床成因研究 [D]. 中南大学硕士学位论文.
- 吴才来, 郭源红, 吴锁平, 等. 2008. 柴北缘西段花岗岩锆石 SHRIMP U-Pb 定年及其岩石地球化学特征 [J]. 中国科学 (D 辑), (8): 930–949.
- 吴才来, 徐学义, 高前明, 等. 2010. 北祁连早古生代花岗质岩浆作用及构造演化 [J]. 岩石学报, 26(4): 1027–1044.
- 吴祥珂, 孟繁聪, 许虹, 等. 2011. 青海祁漫塔格玛兴大坂晚三叠世花岗岩年代学、地球化学及 Nd-Hf 同位素组成 [J]. 岩石学报, 27(11): 3380–3394.
- 武若晨, 顾雪祥, 章永梅, 等. 2017. 东昆仑造山带早古生代—早中生代构造演化的沉积地球化学记录 [J]. 现代地质, 31(4): 716–733.
- 夏锐, 卿敏, 王长明, 等. 2014. 青海东昆仑托克妥 Cu-Au(Mo) 矿床含矿斑岩成因: 锆石 U-Pb 年代学和地球化学约束 [J]. 吉林大学学报 (地球科学版), 44(5): 1502–1524.
- 夏锐. 2017. 东昆仑古特提斯造山过程与金成矿作用 [D]. 中国地质大学 (北京) 博士学位论文.
- 肖晔, 丰成友, 李大新, 等. 2014. 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, 88(5): 895–902.
- 肖晔, 丰成友, 刘建楠, 等. 2013. 青海肯德可克铁多金属矿区年代学及硫同位素特征 [J]. 矿床地质, 32(1): 177–186.
- 许娅玲, 巴金, 王勤燕, 等. 2011. 青海都兰东北部哈莉哈德山花岗片麻岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄及构造意义 [J]. 地质通报, 30(7): 1037–1042.
- 许长坤, 刘世宝, 赵子基, 等. 2012. 青海省东昆仑成矿带铁矿成矿规律与找矿方向研究 [J]. 地质学报, 86(10): 1621–1678.
- 严玉峰, 杨雪松, 陈发彬, 等. 2012. 东昆仑-拉陵灶火中游含钼花岗岩的特征 [J]. 中国科技信息, (18): 37–39.
- 杨大雄, 王培生. 1988. 横断山北段囊谦盆地新生代钙碱性次粗面岩的  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  法坪年龄测定结果 [C]//青藏高原地质文集: 39–44.
- 杨经绥, 许志琴, 李海兵, 等. 2005. 东昆仑阿尼玛卿地区古特提斯火山作用和板块构造体系 [J]. 岩石矿物学杂志, (5): 369–380.
- 杨涛, 张乐, 郑振华, 等. 2018. 青海省它温查汉西铁多金属矿床地质特征及成因分析 [J]. 岩石矿物学杂志, 37(3): 467–484.
- 杨涛, 周洪兵, 郑振华, 等. 2017. 东昆仑那更康切尔银多金属矿床地质特征及成因类型 [J]. 西北地质, 50(4): 186–199.
- 杨志明, 侯增谦, 杨竹森, 等. 2008. 青海纳日贡玛斑岩铜 (铜) 矿床: 岩石成因及构造控制 [J]. 岩石学报, 24(3): 489–502.
- 杨祖龙, 张德全, 余宏全, 等. 2008. 青海省风火山地区砂岩铜矿成矿时代的裂变径迹热年代学证据 [J]. 中国地质, (2): 293–297.
- 雍拥, 陈文, 张彦, 等. 2011. 玉树地区让娘贡巴辉长岩锆石 SHRIMP U-Pb 测年和地球化学特征 [J]. 岩石矿物学杂志, 30(3): 419–426.
- 于森, 丰成友, 刘洪川, 等. 2015. 青海尕林格矽卡岩型铁矿  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  年代学及成矿地质意义 [J]. 地质学报, 89(3): 510–521.
- 岳维好, 周家喜, 高建国, 等. 2017. 青海都兰县阿斯哈金矿区花岗斑岩地球化学、锆石 U-Pb 年代学与 Hf 同位素研究 [J]. 大地构造与成矿学, 41(4): 776–789.
- 岳维好, 周家喜. 2019. 青海都兰县阿斯哈石英闪长岩岩石地球化学、锆石 U-Pb 年龄与 Hf 同位素特征 [J]. 地质通报, 38(2/3): 328–338.
- 张德全, 党兴彦, 余宏全, 等. 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, (2): 87–98.
- 张鹏. 2018. 东昆仑成矿带那西郭勒铁矿矿床地质特征及成因 [D]. 吉林大学博士学位论文.
- 张勇, 何书跃, 刘智刚, 等. 2018. 青海祁漫塔格乌兰拜兴铁矿床形成时代: 来自石英闪长岩锆石 U-Pb 定年证据 [J]. 中国地质, 45(6): 1308–1309.
- 张照伟, 李文渊, 高永宝, 等. 2013. 青海省化隆地区镁铁质杂岩体 U-Pb 年代学研究及构造意义 [C]//中国地质学会青年工作委员会. 第一届全国青年地质大会论文集. 地质论评: 154–155.
- 赵财胜, 杨富全, 代军治. 2006. 青海东昆仑肯德可克钴铋金矿床成矿年龄及意义 [J]. 矿床地质, 25(S1): 427–430.
- 钟世华. 2018. 新疆维宝铜铅锌矿床成因研究 [D]. 中国地质科学院博士学位论文.