

李文渊. 中国西北部成矿地质特征及找矿新发现[J]. 中国地质, 2015, 42(3): 365-380.

Li Wenyuan. Metallogenic geological characteristics and newly discovered orebodies in Northwest China[J]. Geology in China, 2015, 42(3): 365-380(in Chinese with English abstract).

中国西北部成矿地质特征及找矿新发现

李文渊

(国土资源部岩浆作用成矿与找矿重点实验室, 中国地质调查局西安地质调查中心, 陕西 西安 710054)

摘要:西北地区地处中亚构造域和特提斯构造域的交汇处, 中间夹有塔里木克拉通和华北克拉通的西段。地质历史上, 两个克拉通及其裂解的微陆块的形成和运动史, 基本约束了中国西北部的构造发展历程。围绕克拉通及微陆块的显生宙造山带基本是其周缘增生的结果, 由于大陆运移, 其他大陆边缘增生的产物, 在早三叠世(210 Ma)大陆汇聚中也添加了进来, 这些造山带及其陆块边缘的增生是西北各种内生金属矿床的重要形成背景。同时, 新元古代、晚古生代陆内与地幔柱有关的大火成岩省的发育, 为铜镍等重要矿床的形成提供了条件。此外, 在克拉通及其微陆块形成和后期的叠生盆地中, 形成了重要的沉积和沉积变质矿床。西北地区近年来重要找矿发现, 不断印证了西北克拉通边缘板块构造增生和板内幔源构造岩浆作用成矿的特点, 并对传统的地质背景构造认识提出了挑战。这其中, 最具经济价值和地质意义的是 3 个超大型金属矿床的发现: 西天山早石炭世阿吾拉勒火山-次火山岩浆喷溢型磁铁矿矿床、东昆仑早泥盆世夏日哈木岩浆深部熔离-贯入型铜镍矿床和西昆仑侏罗-白垩纪火烧云构造热液型铅锌矿床。阿吾拉勒磁铁矿矿床是中国首例火山-次火山岩浆喷溢型磁铁矿矿床, 可与智利的拉科超大型典型磁铁矿矿床对比, 且更具有经济价值, 该矿床的勘查和研究为深入理解中亚造山带天山及其邻区石炭纪裂谷型火山岩浆作用与成矿提供了研究的范例; 夏日哈木铜镍矿是中国近年来最重要的铜镍矿发现, 探明镍资源量已达百万吨以上, 该矿床的发现为查明中国早古生代末期新的岩浆铜镍成矿事件及其找矿潜力提供了研究新区; 火烧云铅锌矿床是新近发现的具有超大型资源潜力的铅锌矿床, 也是喀喇昆仑-三江造山带中蕴藏的中新生代巨型铅锌成矿带上最重要的成矿发现, 为深化研究青藏高原东北缘巨型铅锌成矿带的成矿物质来源和构造控矿机制提供了新的基地。

关键词:阿吾拉勒铁矿; 夏日哈木铜镍矿; 火烧云铅锌矿; 区域构造演化与成矿; 中国西北地区

中图分类号: P617; P56 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-3657(2015)-0365-16

Metallogenic geological characteristics and newly discovered orebodies in Northwest China

LI Wen-yuan

(Key Laboratory for the Study of Focused Magmatism and Giant Ore Deposits, MLR Xi'an Center of Geological Survey, CGS, Xi'an 710054, Shaanxi, China)

Abstract: Northwestern China lies in the intersection region between Central Asia and Tethyan tectonic domains, with Tarim craton

收稿日期: 2014-12-31; 改回日期: 2015-04-16

基金项目: 本文为国土资源部公益性行业科研专项(201511020)和地质大调查项目(12120114044401)资助成果。

作者简介: 李文渊, 男, 1962年生, 博士, 博士生导师, 研究员, 从事岩浆作用矿床及区域成矿研究; E-mail: xalwenyuan@126.com。

and western North China craton in the middle. The formation and motion of the two cratons and their cracked micromassif formed during geological evolution basically constrained the process of tectonic development in Northwest China. The Phanerozoic orogenic belt surrounding cratons and micromassif resulted from peripheral accreting, with the addition of other products of continental edge accreting during continental convergence at about 210 Ma because of continental migration. All orogenic belts and continental edge accretions constituted very important formation settings of endogenic metallic ore deposits in Northwest China. In recent years, the newly discovered ore deposits in Northwest China have confirmed the idea that magmatic mineralization resulted from craton edge tectonic accreting and intraplate mantle magmatism, which challenges traditional understanding of geological tectonic settings. Among these deposits, three large or superlarge deposits, i.e., early Carboniferous Awulale volcanic-subvolcanic magmatic outpouring type magnetite deposit of Western Tianshan Mountains, early Devonian Xiarihamu magmatic Ni-Cu sulfide deposit of eastern Kunlun Mountains and Jurassic-Cretaceous Huoshaoyun tectonic hydrothermal Pb-Zn deposit in western Kunlun Mountains, have especially important economic value and geological implications. Awulale is the first volcanic-subvolcanic magma outpouring type magnetite deposit in China, which is comparable with the Laco superlarge magnetite deposit in Chile, and hence the exploration and study of Awulale are of great importance for understanding deeply rifted volcanic magmatism and mineralization of Carboniferous in Tianshan and its adjacent areas of Central Asia Orogenic Belt. The Xiarihamu magmatic Ni-Cu sulfide deposit with one million tons of Ni metal is also very important, and its discovery provides a research area for magmatism and mineralization in the early Paleozoic Ni metallogenic event and its prospecting potential. The discovery of the Huoshaoyun Pb-Zn deposit with superlarge reserves is a very important discovery in Mesozoic giant Pb-Zn metallogenic belt of the Kunlun-Sanjiang orogenic belt. These discoveries supply new basis for the understanding of ore-forming material source and structural control of ore deposits in the giant Pb-Zn metallogenic belt on the northeastern margin of the Tibetan Plateau.

Key words: Awulale iron ore deposit; Xiarihamu magmatic Ni-Cu sulfide deposit; Huoshaoyun Pb-Zn ore deposit; regional tectonic evolution and mineralization; Northwest China

About the first author: LI Wen-yuan, male, born in 1962, doctor, senior researcher, mainly engages in the study of magmatic Ni-Cu sulfide deposits and assessment of mineral resources; E-mail: xlawenyuan@126.com.

西北地区包括陕、甘、宁、青、新五省区和内蒙的西段,面积约320万 km^2 ,为中国陆地面积的1/3。西北地广人稀,地质工作程度低,找矿潜力巨大,特别是新疆和青海,国土面积占中国陆地面积的1/4,但人口仅占中国人口的2%,大部分地区荒无人烟,亟待开展矿产勘查工作,以支撑国家的经济社会发展,更重要的是以有效开发国土,实现保疆戍边的国家战略目的。自2008年开展新疆358项目、青藏专项、找矿突破行动以来,带动了地方和社会资金的勘查投入,找矿取得了重大突破,重点是铁、铜、镍、铀、铅、锌、金、钾等国家紧缺矿产资源,以及煤、钨、钼等优势矿产,形成一批勘查开发基地。矿业已成为西北各省(区)重要的经济支柱产业,对各省(区)GDP的贡献在60%以上,而且呈不断增大的趋势。这些新的找矿发现,为西北地区的成矿条件和地质背景的研究提出了新的问题。

1 西北地区重要矿产新发现及其分布

1.1 中国西北部成矿构造地质背景

地质上,中国的西北部处于亚欧大陆的腹地,由特提斯构造域和中亚构造域南北夹持塔里木、华北克

拉通西段组成。这4个大的地质构造单元的构造演化,决定了中国西北部的成矿条件和成矿特色。

中国传统地质认识上,一直将塔里木与华北克拉通连为一体,一起形成、一同演化,构成了中国北方的基本构造格架组成^[1]。新元古代罗迪尼亚超大陆研究兴起,学者们开始提出塔里木与华北相互分离、各置一处的认识^[2]。与此同时,关于华北克拉通西段组成阿拉善微陆块,以及祁连山造山带中的中祁连微地块和塔里木克拉通有阿尔金构造相隔的柴达木微陆块归属,产生了新的认识(图1)。认为阿拉善、中祁连和柴达木是亲塔里木克拉通的,与华北克拉通无关^[3]。这些新认知,极大地活跃了对西北前寒武纪地质体构造演化的研究,与此同时,开始加强塔里木与华北克拉通内部的研究^[4-5]。

中亚构造域,也称中亚造山带(Central Asian Orogenic Belt, 简写CAOB)或阿勒泰造山带(Altaiids),西起欧亚边界的南北向乌拉尔构造带,呈旋卷的圆弧形向东延伸,一直延至中国东部的郯庐断裂。新疆北部的天山、准噶尔和阿尔泰及甘肃—新疆交界的北山隶属于中亚造山带的东中南部。关于中国境内中亚造山带的研究,主要是古亚洲洋的关闭时限的争议。主要有三叠纪初^[7]、石炭纪末^[8]

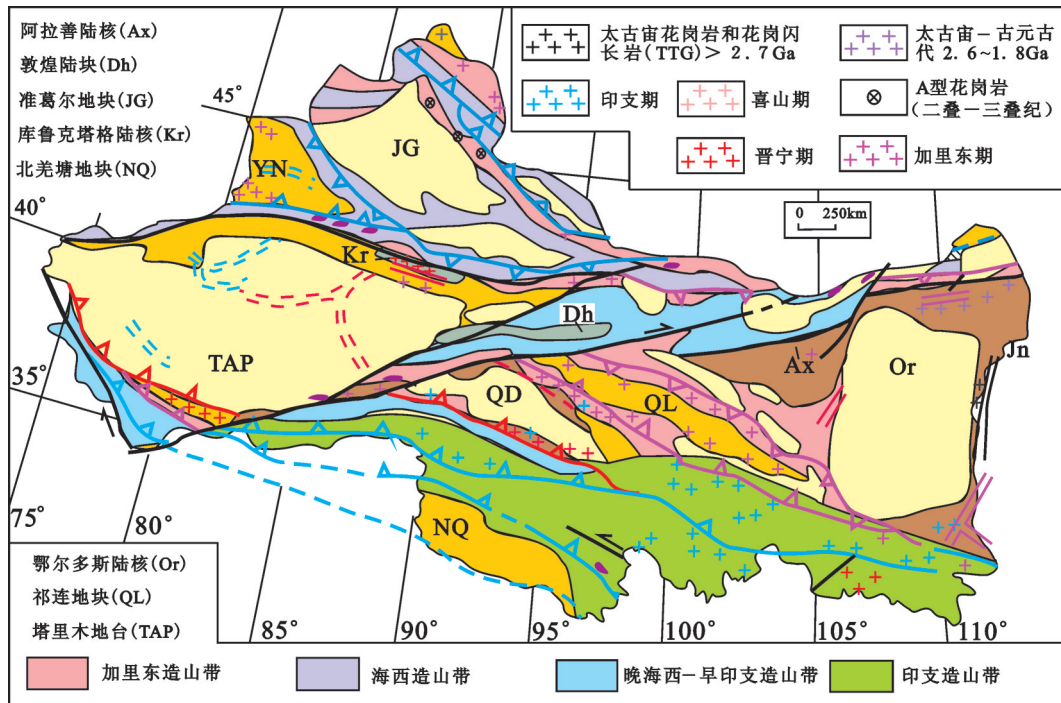


图1 西北地区大地构造单元略图^[6]

Fig.1 Sketch map showing tectonic units in Northwest China^[6]

和泥盆纪末闭合^{[9]3}种观点。在杨树峰等^[10]首次提出塔里木早二叠世大火成岩省认识的同时,夏林圻等^[9]提出了天山及其邻区石炭纪大火成岩省的观点,但存在较大争论。笔者等认为天山及其邻区石炭纪或许为地幔柱作用大火成岩省和板块消减岛弧岩浆岩并存的格局^[11]。

特提斯构造域,也称特提斯造山系(Tethyside Orogenic System),位于欧亚大陆南侧,由古特提斯洋和新特提斯洋闭合形成的造山带组成^[12]。其形成流行的观点,是从冈瓦纳大陆裂离的微陆块向北漂移,不断与欧亚大陆碰撞拼合,形成多期特提斯造山带,最终于古近纪(65 Ma)时亚洲大陆与印度大陆碰撞形成青藏高原。秦祁昆造山带,作为中央造山带的中西段,一直被作为一个独立的构造单元来研究,近年来,开始将其作为特提斯构造域的北带来认识。但显然,东、西昆仑、祁连和秦岭造山带的构造演化是不一致的^[13],特别是祁连山早古生代造山带是独特的,而早古生代时期的柴达木微陆块,它是塔里木克拉通中分裂出来的地质体,还是从南面冈瓦纳大陆裂离出来漂向北面欧亚大陆的微陆块,或者它与塔里木克拉通一起均属于冈瓦纳大陆的

分子,并未形成明确的意见。

1.2 中国西北部主要新发现矿产及其地质分布

近年来,西北地区已知最重要的矿床发现,主要为铁、镍、铜、铅锌、金、钨(锡)和钾盐等矿产(表1),主要发现于过去地质工作程度较低的地区,例如新疆的西天山、西昆仑、阿尔金、北山、青海的东昆仑和三江北带等海拔或人烟稀少的区域。同时,在工作程度较高的新疆东天山、甘肃和陕西交界的西秦岭也有重要的发现。

响应于构造单元的划分,进行成矿域和成矿区带的划分。如同构造单元的划分一样,每个构造单元其实是有地质历史阶段的,不同地质历史时期,其地质单元的属性及边界会有很大变化。同时地质认识的不同,也会产生不同的划分方案。相应的,关于成矿单元的划分,也存在多期不同成矿构造环境成矿叠加的问题。因此,成矿单元的划分也具有地质阶段性,综合的划分更多是为了方便找矿部署,并非深化成矿认识。本文无意于成矿单元划分的探讨。为了叙述上的方便,对应于构造单元的划分,我们将西北地区分属于中亚和特提斯2个成矿域,两大成矿域中间所夹持的塔里木和华北克拉通西段也作为独立的成矿

表1 西北地区发现重要矿产地一览

Table 1 Important ore deposits discovered in Northwest China

矿种	成矿类型	重要新发现矿产地	成矿时代
镍	岩浆熔离型	青海夏日哈木、新疆北山坡北、白鑫滩、路北	泥盆纪、二叠纪
铜	斑岩型	新疆东准琼河坝、哈腊苏、西准包古图	石炭纪
	砂卡岩型	青海祁漫塔格卡尔却卡、新疆西天山哈拉尕提	石炭纪、中生代
	块状硫化物型	新疆东天山卡勒塔格	石炭纪
	砂岩型	新疆西南天山萨热克	白垩纪
铁	火山岩型	新疆西天山阿吾拉勒	石炭纪
	BIF型、沉积变质型	新疆西昆仑塔什库尔干、新疆阿尔金喀拉大湾	古元古代
	砂卡岩型	青海肯德可克、尕林格	早古生代
铅锌	构造热液型	新疆火烧云、青海茶帕曲卡	侏罗纪、白垩纪
	MVT型	陕西扬子北缘马元、新疆东天山彩霞山	新元古代、志留纪
	Sedex型	新疆西南天山乌拉根、青海默哈拉亨	中生代
钼	斑岩-砂卡岩型	新疆东天山白山、东戈壁	石炭纪
钨(锡)	砂卡岩型	新疆祁漫塔格白干湖、甘肃祁连山小柳沟	早古生代
金	构造热液型	青海大场、五龙沟、甘肃大桥、新疆卡特巴阿苏、卡拉麦里	古生代、中新生代
钾盐	卤水型	新疆罗布泊、青海柴达木	新生代
铀	砂岩型	新疆西天山、鄂尔多斯盆地周缘	新生代

单元划出,分别予以叙述。

中亚成矿域横跨新疆北部、甘肃北端和内蒙西部,自北西向东南大致可划分为阿尔泰、西准噶尔、准噶尔盆地、东准噶尔、西天山、东天山和北山等6个重要成矿区(带)。其中,西天山成矿区最重要的发现是阿吾拉勒早石炭世火山-次火山岩浆喷溢型超大型磁铁矿矿床、卡特巴阿苏二叠纪低温热液型大型金矿床和哈拉尕提泥盆纪砂卡岩型大型铁铜矿床;东天山成矿带,以觉罗塔格为重要远景区,近年来找矿有不断发现,比较重要的有彩霞山新元古代MVT型大型铅锌矿床、卡勒塔格石炭纪VMS型大型铜多金属矿床、白鑫滩、路北早二叠世岩浆熔离型铜镍矿床、白山、东戈壁石炭纪斑岩-砂卡岩型大型钼矿床等;东准噶尔成矿区有晚古生代的琼河坝、哈腊苏斑岩型铜矿床,还有可能较晚的卡拉麦里金矿床,西准噶尔成矿区被关注的主要是包古图斑岩型铜矿床;北山成矿带工作程度较低,主要发现有坡北岩浆铜镍硫化物矿床,其中以坡一矿区最为重要,但总体上镍品位较低,需要加强深部熔离-贯入型富铜镍硫化物矿体的寻找(图2)。中亚成矿域,在中国西北部近年来重要的找矿发现集中于晚古生代,特别是石炭-二叠纪与岩浆作用有关的内生金属矿床,表现为一种集中爆发成矿特点,反映了特殊的成矿物质建造和成矿环境。石炭纪主要表现为与中酸性浅成侵入岩和多种成分喷出岩有

关的铜、钼、铁多金属矿床,早二叠世则主要为与镁铁-超镁铁质侵入岩有关的铜镍矿床。此外,上叠的中新生代吐哈盆地和西准噶尔盆地近年来已探明蕴藏有大规模的煤炭资源。

特提斯成矿域,包含有传统的特提斯和秦祁昆中央造山带的地域,自西而东可划分为西昆仑、阿尔金、东昆仑、祁连山、三江北带和秦岭等6个重要成矿区(带)。西昆仑成矿带最重要的发现是西段的塔什库尔干古元古代沉积变质型超大型铁矿床和东段的甜水海地区火烧云侏罗-白垩纪构造热液型超大型铅锌矿床,前者是西北地区仅次于西天山阿吾拉勒的重要铁矿发现,其成矿时代和成矿类型争议较大,就目前矿区勘查和区域填图结果来看,是类BIF铁矿,又遭受后期岩浆热液改造叠加砂卡岩型矿床,所以成矿时代也至少2期,不同矿段外生和内生成矿作用的强度不同,而后者则有可能是西北地区最重要的铅锌矿床发现,研究程度较低;阿尔金成矿带以北东段的喀拉大湾元古宙沉积变质型大型铁矿床和喀拉大板铅锌矿床的发现为典型代表;东昆仑成矿带,是西北地区近年来具有重要找矿发现的区带,以夏日哈木超大型岩浆铜镍硫化物矿床最为著名,此外发现了一批重要砂卡岩型铁矿床和构造蚀变岩型金矿床,例如肯德可克、尕林格铁矿床和大场、五龙沟金矿床等。东昆仑东端与阿尔金、西昆仑交汇的祁漫塔格三角区,由于以

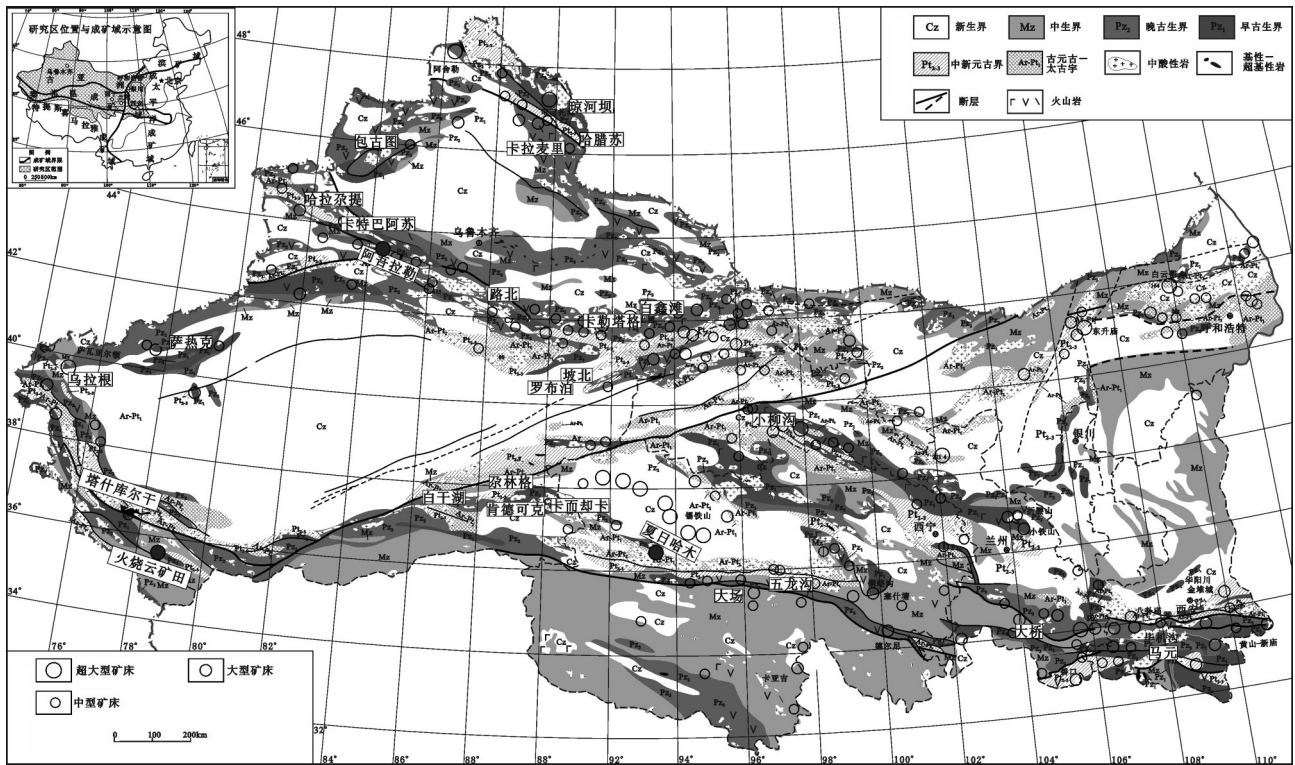


图2 西北地区新发现重要矿产地地质分布略图^[11]

Fig.2 Sketch map showing important ore deposits newly discovered in Northwest China^[11]

往地质工作程度很低,近年来地质调查有重要发现,比较重要的有白干湖志留纪砂卡岩型大型钨(锡)矿床和卡尔却卡中生代砂卡岩(-斑岩)型大型铜多金属矿床等,这些矿床的发现为进一步认识这一地区地质构造过程提供了新的视角;祁连山成矿带,是以往相对地质工作程度较高的地区,是中国最重要的早古生代的VMS型铜多金属矿床成矿带,近年来除了在北祁连西段发现小柳沟砂卡岩(-石英脉)型大型钨矿床外,主要是南祁连化隆地块上早古生代晚期与镁铁-超镁铁岩有关铜镍硫化物矿床的发现评价;秦岭成矿带最重要的发现是西秦岭一批大型-特大型金矿床的发现,比较重要的有甘肃大桥、阳山、寨上等,具典型的成矿特征,地层-构造-岩浆热液三位一体控矿,金矿富集部位“钙硅面”特点,反映其成矿的地球化学机理,另外在扬子克拉通北缘与秦岭交界的新元古代碳酸盐岩地层上发育有以马元为典型代表的志留纪MVT型大型铅锌矿床;三江带成矿带主要是铅锌矿床的发现,其中西段地球化学调查发现的中国最大的铅锌元素综合异常,已证实是由铅锌矿床引起,在青海南部已发现茶帕曲、卡默哈拉亨等具有大型-超大

型找矿前景的铅锌矿床。从上述可见,特提斯成矿域在中国西北部的找矿发现,主要表现为秦祁昆成矿系的多期次成矿和三江北带的中生代成矿的特点,秦祁昆成矿系从西到东主成矿时期和成矿类型差异明显,其实反映了不同的成矿演化环境。例如,西昆仑喀喇昆仑地块上的古元古代BIF成铁建造,在祁连和秦岭并无表现;东昆仑、南祁连发现的早古生代晚期铜镍矿产在东段的秦岭和西段的西昆仑尚无表现。

塔里木克拉通,作为中国前寒武纪成矿域的组成单元,强调了其前寒武纪成矿的特色。近年来的发现,则主要是其上叠盆地的成矿表现,比较重要的是西南边缘柯坪地块上的乌拉根 Sedex 型大型铅锌矿床和萨热克砂砾岩型大型铜矿床,形成于侏罗-白垩纪时期的河湖相;东北部罗布泊钾盐外围也有重要发现;靠近阿尔金构造带的克拉通东南缘探得迪木纳里克大型沉积变质型铁矿床。当然,最主要的发现还是中生界中新增的油气储量。

华北克拉通西段与塔里木克拉通类似,除了中生代油气和煤炭资源外,近年来最重要的勘查成果是盆地边缘砂岩型铀矿的发现。

西北地区近年来的重要找矿发现,从地质认识而言,当属西天山的阿吾拉勒铁矿、东昆仑的夏日哈木铜镍矿和西昆仑东段的火烧云铅锌矿最具有研究价值。

2 天山及其邻区石炭纪火山岩浆作用与阿吾拉勒铁矿发现

2.1 中亚造山带中南部成矿地质背景

传统上,将中亚造山带中南部中国境内段的地质构造单元主要作为塔里木和西伯利亚克拉通之间哈萨克斯坦板块来认识。认为古亚洲洋的演化、闭合的岩浆作用,控制了其内生成矿作用的发生和发育,并以晚古生代成矿为重要特点。但为什么主要在晚古生代成矿,特别是石炭—二叠纪的岛弧或活动陆缘大规模成矿呢?早古生代也存在俯冲的岛弧和活动陆缘环境,为什么成矿就少呢?这些问题一直是中国境内中亚造山带研究中,大家比较关注的问题。其实,就古板块构造研究的认识,已经存在很大分歧。天山造山带演化模式认为(图3-A):(1)晚奥陶世—志留纪到早泥盆世,为多岛—洋格局,自南而北为北塔里木陆缘—库米什洋盆—中天山岩浆弧—洋盆—哈尔克—党安弧—卡拉麦里洋,库米什洋壳向北俯冲于中天山岩浆弧之下,而卡拉麦里洋壳向南俯冲于哈尔克弧之下;(2)泥盆纪到早石炭世,为塔里木北缘—库米什洋盆(向北俯冲)—中天山地块—洋盆—康古尔弧前盆地与洋壳向北俯冲的增生杂岩—哈尔克弧—卡拉麦里洋(分别向南和向北俯冲)—南西伯利亚板块活动陆缘;(3)早中石炭世,哈尔克—党安弧裂解出小普弧内盆地;(4)晚石炭世,卡拉麦里洋消减闭合;(5)石炭纪末到二叠纪,洋盆均消减闭合^[7]。而研究奥陶纪到石炭纪中天山、伊犁地块和塔里木克拉通北部的构造演化则认为(图3-B):(1)470~430 Ma(中奥陶世—志留世),古天山洋壳向南俯冲于中天山活动弧之下,与塔里木陆块之间,有陆块—弧裂谷和A型花岗岩和碱性玄武岩发育;(2)425~390 Ma(中志留世—中泥盆世),中天山活动弧与塔里木陆块之间的裂谷发育为南天山弧后盆地,产生洋壳;(3)390~370 Ma(中晚泥盆世),南天山弧后盆地发育为南天山洋向南俯冲于塔里木陆块,于陆块南缘形成活动陆缘,中天山弧与哈萨克斯坦—伊犁早古生代弧之间的洋

向南俯冲于中天山弧之下;(4)370~330 Ma(晚泥盆世—早石炭世),伊犁中晚古生代弧与中天山弧之间洋闭合,中天山弧与塔里木陆块之间南天山洋也已消减闭合,但伊犁弧北的北天山洋依然存在,并向南俯冲于伊犁弧之下^[14]。关于晚寒武世到晚泥盆世阿尔泰造山带的构造演化,则研究认为(图3-C),在375 Ma(晚泥盆世)以前,南阿尔泰洋已经消减闭合,南阿尔泰洋是古亚洲洋于460~410 Ma(中奥陶世—早泥盆世)向北俯冲形成的边缘海,扩张发育成洋并于410~375 Ma(泥盆纪)时向阿尔泰微陆块下俯冲,形成了变质程度很高的康布铁堡组混杂岩^[15-16]。对西准噶尔—天山构造动力学关于碰撞前、碰撞中到后碰撞和伸张阶段的研究认为(图3-D):(1)409~355 Ma(泥盆纪),塔里木板块与西伯利亚板块之间是准噶尔板块,两侧分别是古亚洲洋和萨洋,向准噶尔板块和西伯利亚板块下俯冲,在准噶尔板块南端形成岛弧和弧后盆地;(2)355~310 Ma(石炭纪),古亚洲洋闭合,准噶尔南面的弧后盆地发育成为博格达裂谷,同时在塔里木北缘形成了阿奇山—雅满苏岛弧;(3)340~298 Ma(早石炭世中期—石炭世末),塔里木与西伯利亚板块之间表现为裂谷和伸张环境;(4)298~280 Ma(早二叠世),在原岛弧环境基础上,表现为裂谷伸张环境和地幔物质上涌的特点^[17]。

由上述可见,天山及其邻区石炭—二叠纪构造背景认识存在很大分歧,但伸张环境地幔物质的上涌已经被更多的人主张,特别是对塔里木早二叠世大火成岩省的研究^[18-20],得到了国际地学界的广泛认同,其波及范围肯定包括天山及邻区。但石炭纪构造环境仍是争论的焦点,夏林圻等认为天山及其邻区在石炭纪洋盆已经完全闭合(图4),大规模的岩浆作用是地幔柱大火成岩省的产物^[9]。

从石炭纪到早二叠世,近70 Ma的时间跨度里一直是地幔柱作用的大火成岩省,时间过于漫长,从地幔柱长期作用的认识出发,是可能的,但石炭纪和早二叠世是几次大火成岩省作用结果以及作用的范围和特点,至今并没有清楚的认识。夏林圻最近撰文^[21],认为以往的研究过于注重Nd、Ta亏损地球化学图解投图对岛弧玄武岩的判断,其实受岩石圈物质混染的大陆溢流玄武岩也具有Nd、Ta亏损的特点,但其Ti并不亏损。夏林圻的认识得到了

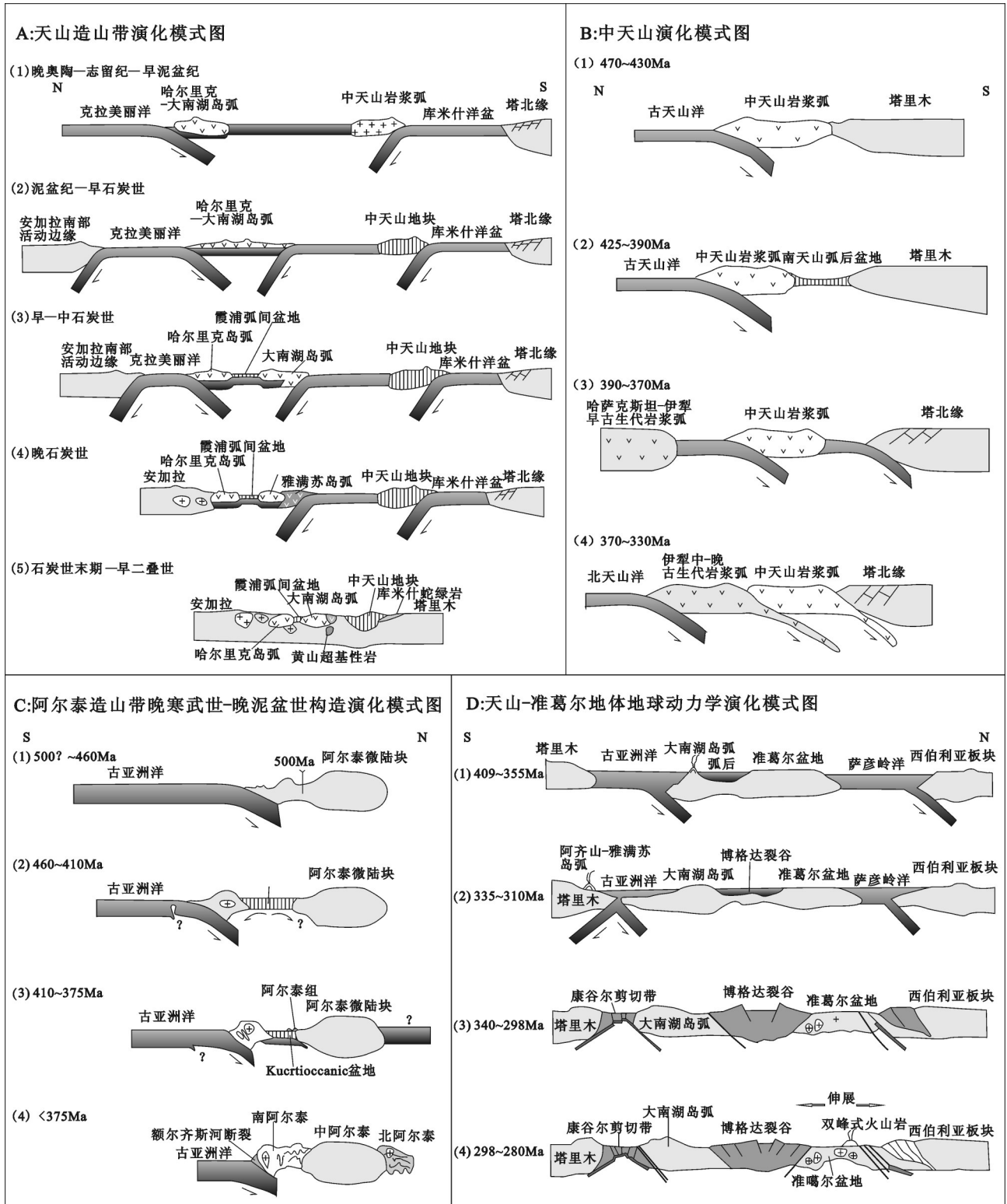


图3 中亚造山带中南部(新疆北部)构造演化模式^[15-17]

Fig.3 Tectonic evolution model for middle-south area of central Asia orogenic belt^[15-17]

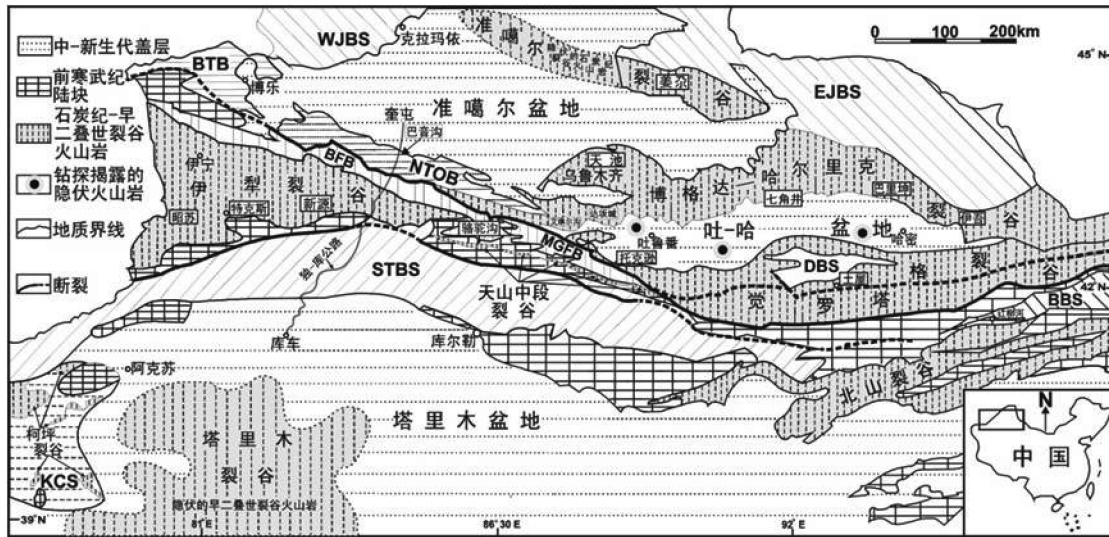


图4 天山及其邻区石炭-二叠纪岩浆作用分布图^[9]

Fig.4 The distribution of Carboniferous-Permian magmatic activities in Tianshan Mountains and its adjacent areas^[9]

地质界的关注。我们认为由于板块和地幔柱是地球上两种不同深度的地球动力学机制,板块俯冲消减作用发育时并不影响地幔柱作用,但地幔柱作用产生大规模岩浆作用侵入和喷发时必然对板块边缘岛弧火山岩和侵入体的形成发生重大改变,天山及其邻区石炭纪或许是板块岛弧岩浆作用与地幔柱大火成岩省作用呈彼此消长关系,完全可以共存,只是岛弧岩浆作用愈来愈弱罢了,而地幔柱相关的大火成岩省却一次次强烈爆发,直至早二叠世达到最高峰。

2.2 阿吾拉勒超大型铁矿基本特征及其成岩成矿环境

阿吾拉勒铁矿是目前新疆最重要的铁矿发

现。位于西天山,由8个大中型矿床组成。已控制铁矿石11亿t,远景30亿t,品位40%左右。新疆西天山新发现西天山阿吾拉勒超大型火山喷溢型铁矿,赋矿岩石为早石炭世大哈拉军山组中基性-中酸性火山岩,矿体主要为磁铁矿。矿床类型类似智利拉科铁矿,磁铁矿“矿浆”喷溢形成,受火山机构控制,有后期热液成因的黄铜矿等金属硫化物细脉叠加。已探得大型铁矿床4处(查岗诺尔、智博、备战、敦德),中型铁矿床4处(式可布台、松湖、尼新塔格、阿克萨依)(图5)。铁矿石品位在40%左右,控制铁矿石储量/资源量11亿t,远景在30亿t左右^[22]。

其中,查岗诺尔矿床勘探时间较早,现已探得铁矿石储量/资源量1.93亿t。矿区赋矿岩层自下而

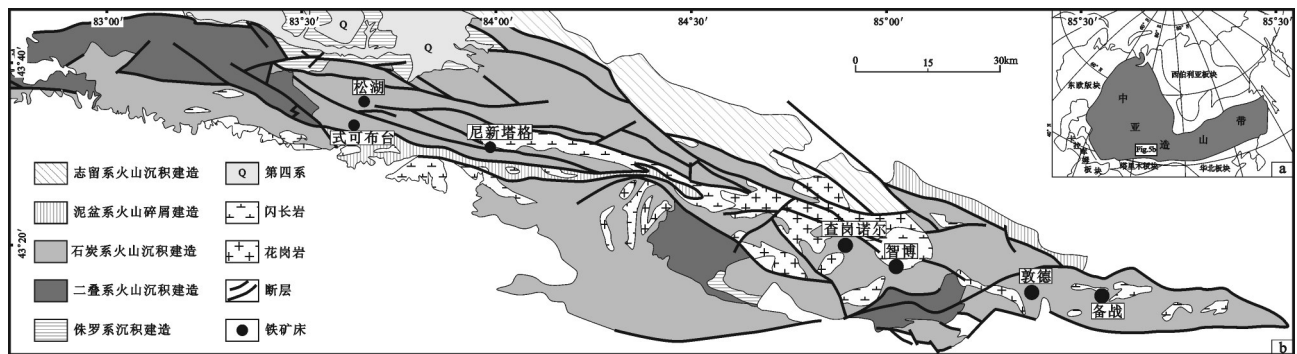


图5 阿吾拉勒铁矿区域地质及构造-火山建造图^[23]

Fig.5 Regional geology and tectonic-volcanic formation in the Awulale iron ore district^[23]

上:①石英角斑岩和凝灰熔岩;②凝灰质千枚岩和角斑质凝灰岩,发育有铁铜矿脉;③细碧岩、凝灰岩、火山角斑岩、集块岩等,赋存矿浆喷溢型铁矿石(图6-a)。另外,备战、智博铁矿也显示了“矿浆”喷溢型铁矿的特征,后期金属硫化物热液叠加也很显著。

智利拉科火山岩浆喷溢型铁矿床研究已经比较清楚,岩浆在深部经分异作用形成富铁熔浆,经火山喷发作用富铁熔浆喷溢到地表或火山颈中冷凝而形成的铁矿床(图6-b)。

大哈拉军山组火山岩喷发时代,阿吾拉勒为342 Ma、吐哈苏盆地 342~363 Ma、乌孙山—塔斯巴山 344~361 Ma、那拉提 353~368 Ma,形成于早石炭世的火山喷发。其火山喷发序列在区域有较大变化,以新勘探的智博矿床为例,ZK4003 钻孔柱状图显示,自下

而上,分别为:①灰绿色中基性凝灰岩,向上为英安岩;②中酸性凝灰岩,下部英安岩、流纹斑岩和角砾岩夹浸染状铁矿石;③玄武安山岩、安山岩,见斜长石斑晶,为主要磁铁矿矿石;④玄武安山岩;⑤流纹岩夹花岗斑岩;⑥英安岩;⑦中基性角砾岩、凝灰岩和熔岩互层;⑧安山岩和安山质火山集块岩。矿区侵出相流纹(斑)岩 LA-ICPMS 锆石 U-Pb 同位素测年为(330.1±2)Ma(MSWD=1.4),紫红色安山岩 LA-ICPMS 锆石 U-Pb 同位素测年为(339.3±4)Ma(MSWD=0.114)。玄武岩属于拉斑系列,微量元素地球化学投图,Nd、Ta 亏损,但 Zr/Y-Zr 图解绝大部分样品落入板内玄武岩范围。更为重要的是在西天山大哈拉军山组火山岩底部发现有疑似苦橄岩样品^[24],SiO₂含量 48.97%,MgO 12.67%,TiO₂ 0.80%,SiO_{2Primary} 47.8%~48.1%,

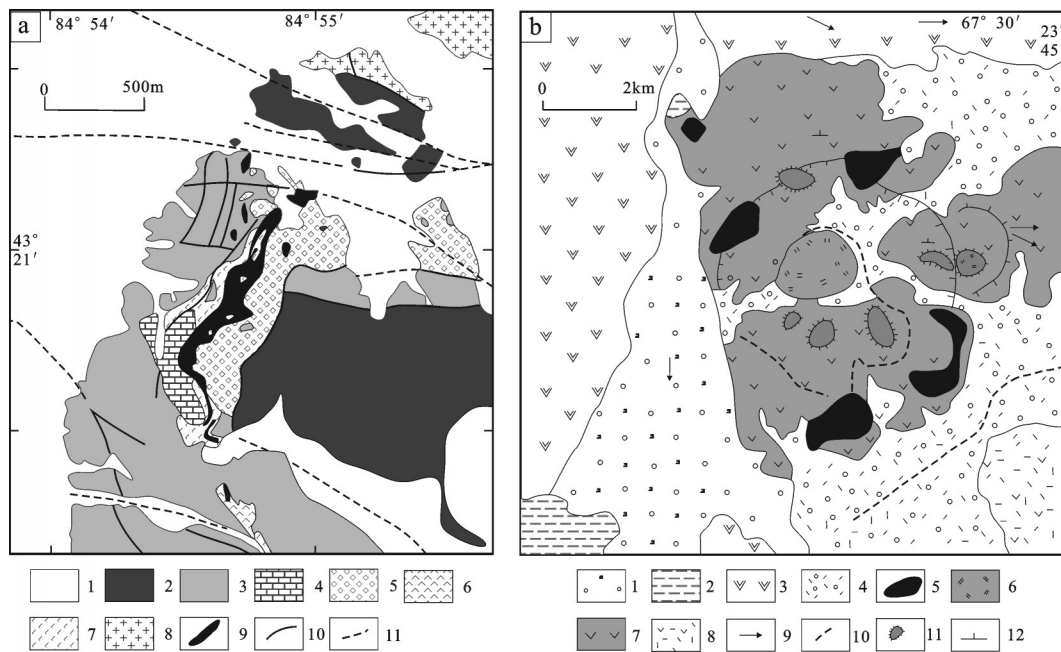


图6 阿吾拉勒查岗诺尔矿区和智利拉科矿区构造-火山建造图

a—阿吾拉勒查岗诺尔铁矿地质简图^[24]: 1—第四系;2—伊什基里克组;3—大哈拉军山组;4—大理岩;5—石榴子石片岩;6—绿帘石岩;7—阳起石岩;8—花岗岩;9—铁矿体;10—断层;11—隐伏断层
 b—智利拉科铁矿地质简图^[25]: 1—第四纪冰碛沉积;2—第四纪盐类沉积;3—第四纪安山岩;4—第四纪火山碎屑沉积;5—磁铁矿熔岩流;6—流纹英安岩;7—更新世安山岩;8—白垩纪-新近纪陆相沉积;9—熔岩流方向;10—断层;11—新小火山口;12—老破火山口

Fig.6 Tectonic-volcanic formation of the Laco magnetite ore deposit in Chile and the Chaganuoeer ore district of the Awulale iron belt in China

a—Sketch geological map of the Chaganuoeer iron deposit in the Awulale magnetite ore belt (after reference [24]):
 1—Quaternary; 2—Yishenjilike Formation; 3—Dahalajunshan Formation; 4—Marble; 5—Garnet schist; 6—Epidosite; 7—Actinolite; 8—Granite; 9—Fe orebody; 10—Fault; 11—Buried fault
 b—Sketch geological map of the Laco iron deposit in Chile (after reference [25]): 1—Quaternary moraine sediments; 2—Quaternary salt sediments; 3—Quaternary andesite; 4—Quaternary pyroclastic sediments; 5—Magnetite lava flow; 6—Inninnorite; 7—Pleistocene andesite; 8—Cretaceous-Paleogene continental sediments; 9—Lava flowing direction; 10—Fault; 11—Younger maar; 12—older caldera

$MgO_{Primary}$ 15.5~17.0, $TiO_{2Primary}$ 0.72~0.75, Tp 1473~1507, $P > 3.5 GPa$ 。西天山大哈拉军山组成铁火山岩,是早古生代的产物,其形成环境为大陆裂谷,幔源的火山岩岩浆遭受过岩石圈物质的混染,不排除有原岛弧火山岩建造基础的加入。

3 柴达木微陆块构造演化与夏日哈木铜镍矿床

3.1 柴达木微陆块与塔里木克拉通的关系

柴达木微地块与塔里木克拉通关系的研究,涉及对昆仑和阿尔金造山带的认识。昆仑地质演化已愈来愈倾向于两期大的构造拼合事件的认识^[23],即早古生代和中生代两期碰撞造山作用,并在位置上存在部分叠合。即在地质历史上,应该有两期大洋的形成和闭合。首先是在新元古代晚期到早古生代早期,塔里木—华北克拉通与柴达木—松潘—扬子克拉通之间存在西昆仑—阿尔金—祁连—北

秦岭洋,即库地—红柳沟—祁连山—丹凤洋。同时,在柴达木微地块与羌塘陆块(印度大陆)之间存在祁漫塔格洋(古东昆仑洋,图7中6、7蛇绿岩所代表的洋盆)。这些洋是原始大洋,还是由于罗迪尼亚超大陆的裂解而形成的次生大洋,并不十分清楚,如果西昆仑—阿尔金—祁连—北秦岭洋是大洋的话,祁漫塔格洋(古东昆仑洋)可能就是边缘海扩张后的有限洋盆。随着早古生代原始冈瓦纳大陆的形成,在中晚奥陶世—志留纪早期^[24-26],塔里木—华北克拉通与柴达木—松潘—扬子克拉通碰撞,形成西昆仑—阿尔金—祁连—北秦岭早古生代碰撞造山带。同时,柴达木微地块与羌塘陆块碰撞,形成古昆仑早古生代碰撞造山带(图7)。这时,柴达木微地块与塔里木克拉通已经连接在了一起,并且与羌塘陆块也碰撞而接为一体。东昆仑中带夏日哈木矿区发现的镁质橄榄岩和石榴石辉石岩,可能就是碰撞缝合带的产物。

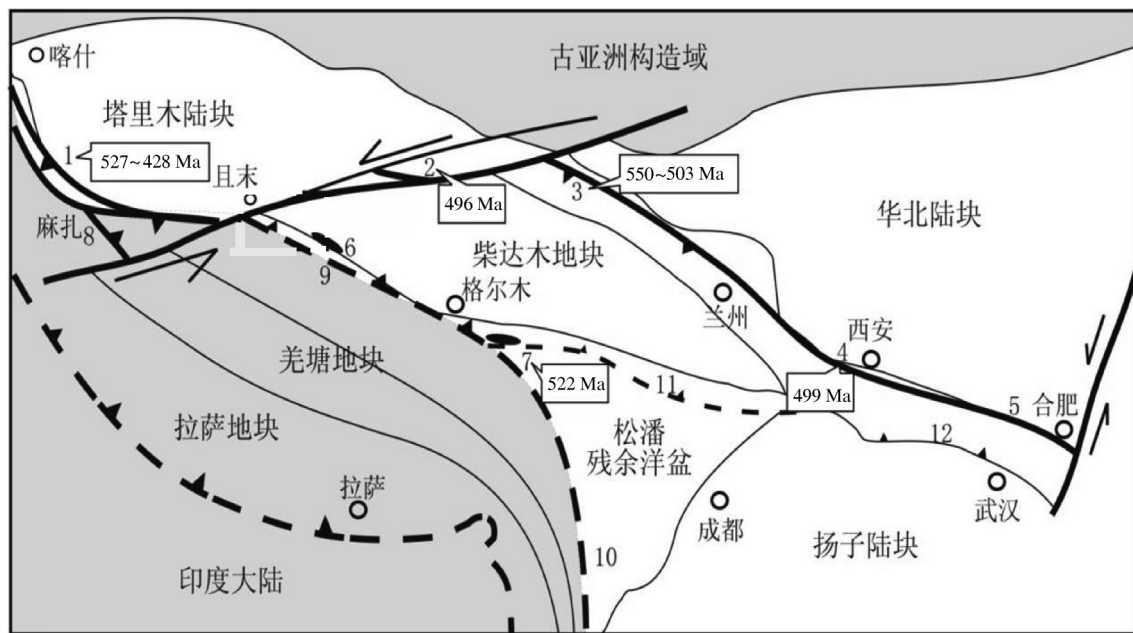


图7 柴达木微地块与塔里木克拉通构造关系图^[27]

- 1—西昆仑库地早古生代缝合带;2—阿尔金红柳沟—拉配泉早古生代缝合带;3—祁连山早古生代缝合带;4—北秦岭丹凤早古生代缝合带;5—大别山北早古生代缝合带;6—祁漫塔格早古生代蛇绿岩残片;7—布青山早古生代蛇绿岩残片;8—苏巴什晚古生代晚期—早中生代蛇绿岩带;9—木孜塔格—鲸鱼湖—阿尼玛卿晚古生代晚期—早中生代蛇绿岩带;10—金沙江中生代缝合带;11—勉略中生代缝合带;12—南秦岭—大别南中生代缝合带

Fig. 7 The tectonic relationship between Qaidam micromassif and Tarim craton

- 1—Western Kunlun Early Paleozoic suture zone; 2—Hongliugou-Lapeiquan Early Paleozoic suture zone in Altun; 3—Qilian Mountains Early Paleozoic suture zone; 4—North Qinling Mountain Early Paleozoic suture zone; 5—Northern Dabie Mountain Early Paleozoic suture zone; 6—Qimantag Early Paleozoic ophiolite fragments; 7—Buqingshan Early Paleozoic ophiolite fragments; 8—Subashen late Late Paleozoic—Early Mesozoic ophiolite belt; 9—Muzitage—Jingyuhu—Animaqing late Late Paleozoic—Early Mesozoic ophiolite belt; 10—Jinsha River Mesozoic suture zone; 11—Mianlue Mesozoic suture zone; 12—South Qinling—southern Dabie Mountain Mesozoic suture zone

随后,在早古生代末—晚古生代早期,冈瓦纳大陆开始裂解,松潘—甘孜为中心产生三叉裂谷系,致使柴达木南缘形成早泥盆世裂谷环境,为幔源镁铁—超镁铁质岩侵入提供了可能,导致夏日哈木等岩浆铜镍硫化物矿床的形成。也就是说夏日哈木是古特提斯洋演化开始大陆裂解的产物,并非是早古生代碰撞后拉伸环境而成,是一个新的构造演化体系开始时地幔部分熔融物质上涌形成。整个柴达木周缘、祁连山南缘早古生代末—晚古生代早期成铜镍镁铁—超镁铁质小岩体可能都是这一事件的响应。这样认识是有意义的,可帮助我们以较大的视野研究这期铜镍成矿事件的背景并指导找矿,但需要更深入的工作进行进一步论证。

这种裂解进一步演化,在塔里木—柴达木等连成的华夏大陆(劳亚陆块群的组成)与冈瓦纳大陆之间形成古特提斯洋。至中生代早期,响应于潘吉亚泛大陆汇聚,形成古特提斯印支碰撞造山带。叠合于早古生代造山带之上。新生代,印度大陆向欧亚大陆碰撞,远程效应,西昆仑在加里东造山带上发育成巍峨的山脉,东昆仑由于阿尔金断裂的左行走滑,而发育于中生代造山带之上。这种区域上的构造演化和相应的地质体配置,决定了柴达木微地块与塔里木克拉通之间的构造关系。早古生代早期柴达木微地块与塔里木克拉通之间隔洋相望,随着冈瓦纳大陆的形成拼接在了一起。而后,志留纪末—早泥盆世冈瓦纳大陆裂解,在塔里木—柴达木克拉通南侧形成裂谷伸张环境,进而扩张成了古特提斯洋。柴达木微地块古生代经历了先归属于南部冈瓦纳陆块群,后又归属于北部劳亚陆块群的过程。因此,早古生代末环柴达木微陆块周缘可能并不存在一种统一的构造裂解环境。

总之,塔里木克拉通与周边微陆块之间的关系,其实是对塔里木克拉通周缘及边界范围演化的认识,在地质历史上肯定是变化的。陆块间碰撞造山,是克拉通周缘增生或两个陆块进焊接为一体的过程,同时又是容易裂解的部位,比如新元古代塔里木克拉通与东北边阿拉善地块、敦煌地块之间的关系,早古生代与东南边柴达木微陆块之间的关系,以及晚古生代与北边天山构造带的关系等。塔里木克拉通已知最古老的岩石是3.2 Ga,经历2.53 Ga热事件后基底固化,在新元古代、早古生代末和晚古生代中晚期均有幔源

热事件发育^[28-29],反映了其破坏或重建的演化历程,同时提供了响应的成矿可能。

3.2 夏日哈木超大型铜镍矿床的成矿特征及其地质意义

夏日哈木超大型铜镍矿床位于青海省格尔木市拉陵灶火地区,距格尔木市约190 km,交通非常便利,已经过详查,获得镍金属资源量约110万t。含矿岩体产于东昆仑中变质基底古元古代金水口岩群中。2011年,青海省第五地质勘查院通过查证地质大调查项目获得的化探异常发现。岩体裸露于地表,露头有翠绿色镍华。矿区10 km²范围内大比例尺地质测量和异常查证,发现5个镁铁—超镁铁质岩体,分别为I号岩体(H26化探异常)、II号岩体(H27异常)、III号岩体(H25异常)、IV号和V号岩体(H28异常)。进一步填图发现,仅I号岩体和II号岩体(部分)由铁质系列的辉长岩和含矿辉长岩组成,其余3个岩体由镁质系列的橄榄岩和石榴石辉石岩组成(图8)。表明为2种类型镁铁—超镁铁质岩体,前者为利于形成岩浆铜镍硫化物矿体的幔源部分熔融岩浆分异的产物,而后者为蛇绿岩组成的残余地幔岩和经高压折返上升的岩石,难有铜镍硫化物矿体形成。反映了2种完全不同的地质构造背景。

I号岩体裸露部分呈北东向展布,长轴方向长约1300 m,短轴方向宽约500 m。岩体与围岩金水口岩群白沙河岩组黑云斜长片麻岩、云母二长片麻岩、斜长角闪岩和大理岩直接接触,南侧为第四系覆盖。出露岩体主体为矿化的二辉岩,两侧有不含矿的辉长岩分布,岩体向西隐伏,出现橄榄岩相,主矿体基本赋存于橄榄岩相中^[30]。从地表填图结果,结合钻岩心编录,应至少存在2期侵入事件,先期辉长岩相不含矿,后期二辉岩、二辉橄榄岩和辉长岩相含矿。而含矿岩相,又至少存在2次侵入和贯入作用,边深部的富矿岩相,基性程度高,是最晚的贯入相。镍平均品位0.7%,最高6.69%,铜0.3%,最高4.34%。主要矿石类型为海绵陨铁状矿石、浸染状矿石和块状矿石,品位降低呈稀疏浸染状矿石或星点状矿石。

赋矿的二辉橄榄岩中获得的LA-ICP-MS锆石U-Pb年龄(411.6±2.4)Ma,早期辉长岩中获得LA-ICP-MS锆石U-Pb年龄(431.3±2.1)Ma,表明为两期侵入的岩体。赋矿的二辉橄榄岩中橄榄石Ni含

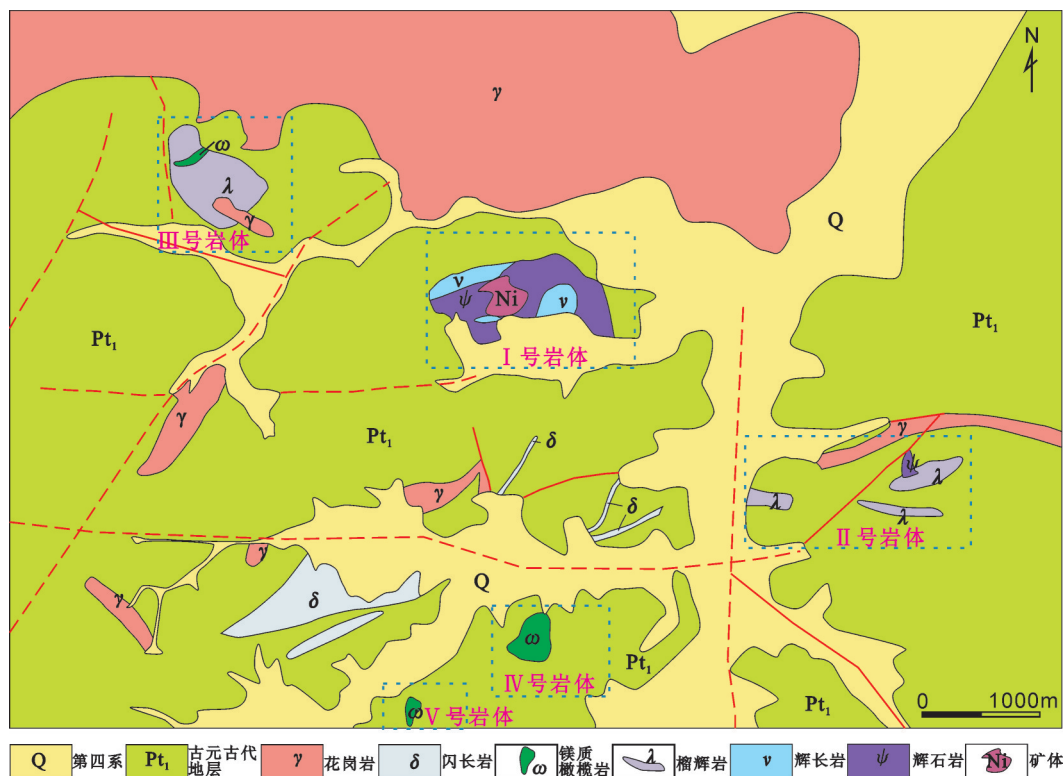


图8 夏日哈木铜镍矿床矿区地质图

Fig.8 Regional geological map of the Xiarihamu magmatic Ni-Cu sulfide deposit

量和橄榄石 F_0 关系图, 存在 Ni 含量 1000×10^{-6} ~ 1500×10^{-6} 和 2000×10^{-6} ~ 2800×10^{-6} 两种类型橄榄石, 反映了经过硅酸盐岩浆和硫化物液相不混溶后结晶形成的橄榄石 (Ni 亏损) 和未经历不混溶结晶橄榄石 (Ni 含量正常) 的特点。稀土元素配分曲线, 早期辉长岩与含矿的二辉橄榄岩、二辉岩和辉长岩差异明显, 前者为右倾型, 后者为轻微右倾平坦型, 显然代表了不同期次岩浆的侵入。与西北地区其他重要岩浆铜镍硫化物矿床相比, 大离子元素配分曲线, 与金川矿床相一致。但矿石中 Pt 金属元素含量明显低于其他矿床。原始岩浆为高 MgO 玄武岩, 为较高程度部分熔融和较高的熔融温度的产物。 $\delta^{34}\text{S}$ 值为较高的正值, 有地壳硫的加入^[31]。

夏日哈木超大型铜镍矿床的发现, 为中国铜镍矿的寻找提供了新区和新的时代类型。已知中国岩浆铜镍硫化物矿床主要形成于新元古代和晚古生代, 夏日哈木的发现, 表明早古生代末—晚古生代早期还存在一期重要的成镍事件 (图 9)。随着夏日哈木铜镍矿床的发现, 最近柴达木地块周缘陆续

又发现了石头坑德等一批铜镍矿床及矿点, 为该地区的进一步找镍突破提供重要靶区, 同时也对该地区岩浆铜镍矿床的成矿研究提供可能。

4 喀拉昆仑—三江造山带与火烧云超大型铅锌矿床的找矿潜力

4.1 特提斯构造域东北缘中生代构造演化与成矿特征

特提斯构造域也称阿尔卑斯—喜马拉雅造山系, 从欧洲的阿尔卑斯造山带到青藏喜马拉雅造山带, 直至东南亚, 范围长达几千千米, 总体上被认为是中生代冈瓦纳与劳亚之间的古特提斯和新特提斯洋闭合的结果, 所以称之为特提斯构造域^[33]。由于印度—欧亚大陆的持续碰撞, 印度板块俯冲于青藏之下, 导致岩石圈增厚而隆起, 并在中地壳发生部分熔融, 形成花岗质岩浆上侵和喷发。这种复杂的大陆动力学背景造就了青藏高原中生代独特的地质构造特征和成矿特色 (图 10)。近年来冈第斯、金沙江—红河斑岩铜矿带的发现最为人关

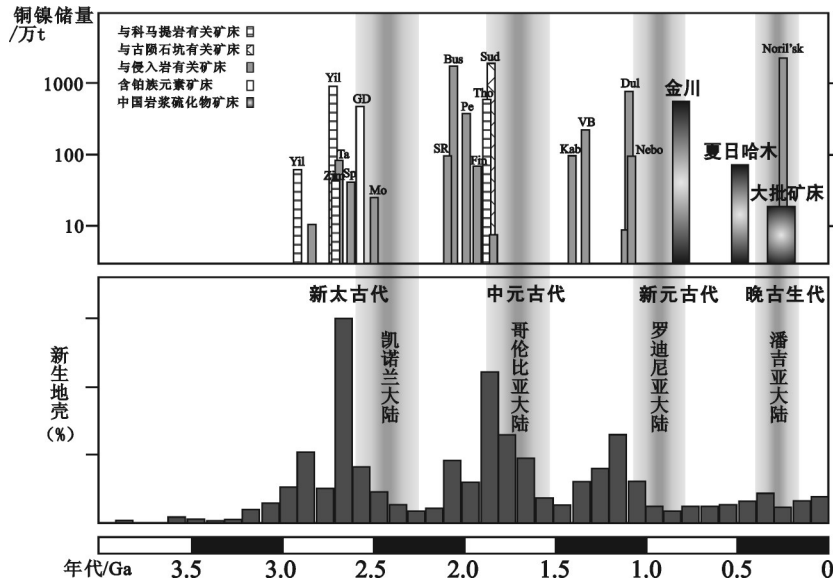


图9 世界上岩浆矿床与地壳生长的关系图^[32]

Fig.9 The relationship between magmatic deposits and crust accreting in the world

超大陆大致的汇聚裂解时间:凯诺兰大陆(Kenorland) 2.8~2.5 Ga (汇聚), 2.45~2.1 Ga (裂解); 哥伦比亚大陆(Columbia) 2.1~1.8 Ga, 1.6~1.3 Ga; 罗迪尼亚大陆(Rodinia) 1.3~1.1 Ga, 0.85~0.6 Ga; 潘吉亚大陆(Pangea) 0.6~0.3 Ga, 0.2~0.06 Ga (引自: Goldfarb et al., 2010). Ave—Avebury; Bus—布什维尔德矿床(Bushveld); Dul—德卢斯矿床(Duluth); Fin—Finnish Ni belt; GD—大岩墙矿床(Great Dyke); Kab—卡班加矿床(Kabanga); Mo—Monchegorsk; Nebo—Nebo-Babel; Pe—贝辰加(Pechenga); SP—Selebi Phikwe; SR—Santa Rita; Sud—萨德伯里(Sudbury); Ta—Tati; Tho—汤普森(Thompson); VB—沃尔斯贝(Voisey's Bay); Yil—Yilgarn; Zim—Zimbabwe

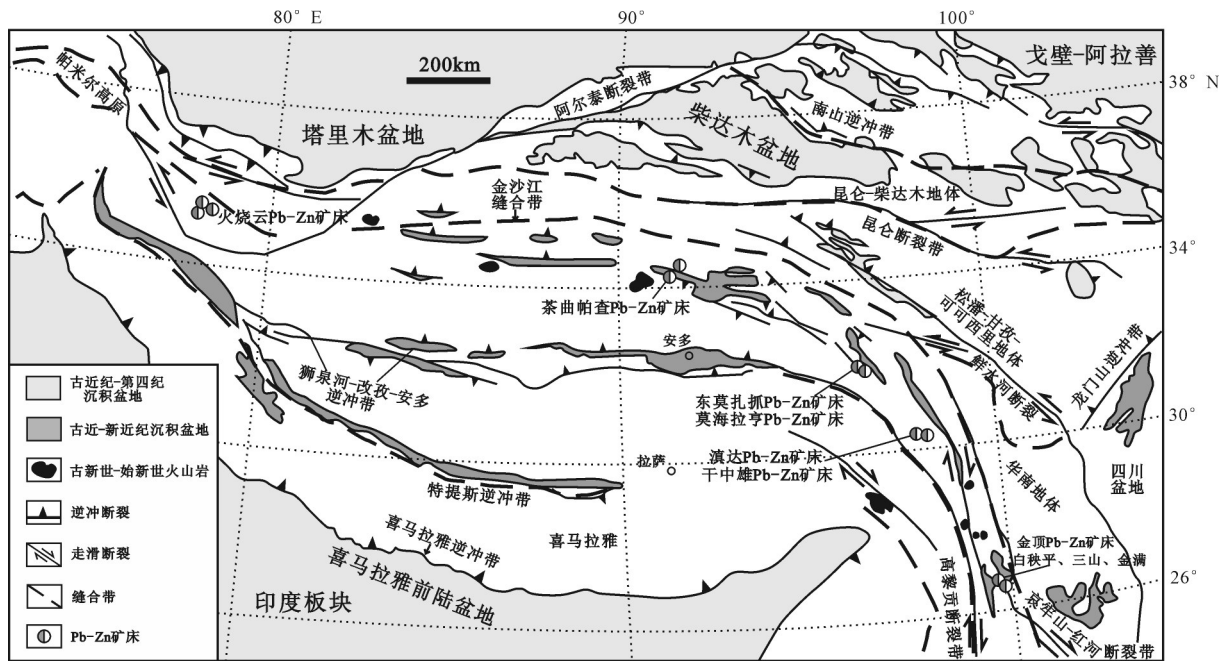


图10 喀喇昆仑—三江构造带中生代巨型铅锌成矿带分布示意图^[34]

Fig.10 Distribution of Mesozoic-Cenozoic Pb-Zn ore belts in Kunlun-Sanjiang tectonic domain^[34]

注,已探明一批大型—特大型斑岩型铜、铜金和铜钼矿床。沿欧亚大陆和冈瓦纳相对接的喀喇昆仑—三江构造带一系列大性超大型铅锌矿床的发现,

则是继斑岩铜矿被认识发现后,新的重要找矿发现。已展现出呈串珠状分布的特点,自南东向北西:兰坪盆地有金顶、白秧坪、三山和金满铅锌矿床

形成,昌都盆地有滇达和干中雄铅锌矿床,玉树盆地则发现有东莫扎抓和莫海拉亨铅锌矿床,而沱沱河盆地已发现茶曲帕查铅锌矿床,最近的勘查成果展示次铅锌成矿带已西延,在西昆仑的甜水海盆地已发现了具有大型—超大型规模前景的火烧云等铅锌矿床。目前尚无证据表明,这些矿床的形成与岩浆作用有关,多赋存于中新世的碳酸盐岩和碎屑岩中,与构造裂隙关系密切。成因认识颇多争论,有同生说和后生说。如此大规模的铅锌金属元素富集成矿,其成矿物质来源和成矿机理亟待研究。作为正处于两大陆结合位置的上叠沉积盆地,其成矿物质应该与深部有关。

4.2 火烧云超大型铅锌矿床的发现及其主要成矿特征

火烧云铅锌矿床,位于新疆喀喇昆仑山主脊北侧乔尔天山一带,直距新疆维吾尔自治区和田市南130 km,处于中印边界附近。矿区海拔5100~5820 m。2011年,新疆地矿局第八地质大队检查化探异常发现,2012—2014年进行了普查评价工作,显示了巨大的找矿远景。矿区地处羌塘地块北缘的喀喇昆仑中生代陆缘盆地中,沿区内北西向乔尔天山—岔路口断裂带两侧,已发现多处铅锌矿床(点),比较重要的有甜水海、多宝山、河尾滩、宝塔山、羚羊滩和克孜勒等。区域上主要出露有晚古生代和中生代地层,其中中侏罗统龙山组和上白垩统铁隆滩群灰岩、碎屑岩为主要含矿围岩。火烧云铅锌矿区主要出露有中侏罗统龙山组灰岩段、砂砾岩段、上三叠统克勒青河组砂岩段和第四系。其中中侏罗统龙山组灰岩段为赋矿地层,主要为一套灰白色、深灰色厚层、厚块状细晶亮晶灰岩。层间的断层破碎带或泥岩夹层与厚层状的白云质灰岩交界处为有利成矿部位。矿石多呈角砾状、网脉状、纹层状构造特征,矿体与碳酸盐岩层理近于平行产出。

据新疆地矿局第八地质大队地质普查资料介绍,火烧云铅锌矿地表矿体呈三层特点,自下而上:下层菱锌矿和白铅矿;中层硅锌矿和硅质岩;上层闪锌矿和方铅矿。现已圈定10余个铅锌矿体,矿体长几十至几百米,宽达几十米,最厚十余米,锌品位0.57%~5.27%,最高13.58%,铅品位0.38%~2.54%,最高6.69%。矿体内部有上、下分层现象,上贫下富,夹层发育,结构较复杂,与顶板围岩界线不清;

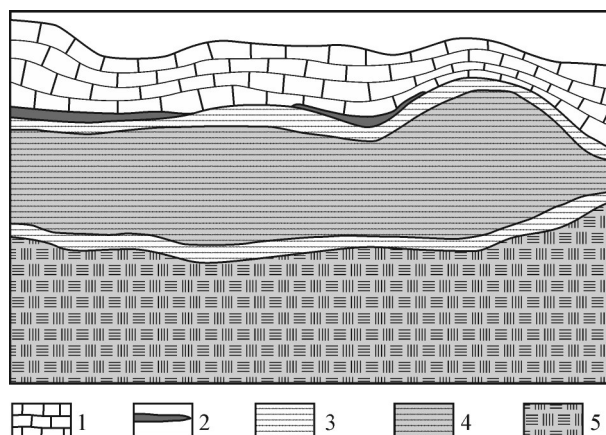


图11 火烧云矿区3层矿体产出特点

1—灰岩;2—硫化物型铅锌矿;3—硅质岩;4—硅酸盐型铅锌矿;
5—碳酸盐型铅锌矿

Fig. 11 Occurrence features of three-layer Pb-Zn orebodies in the Huoshayun deposit

1—Limestone; 2—Sulfide type Pb-Zn orebody; 3—Siliceous rock;
4—Silicate type Pb-Zn orebody; 5—Carbonate type Pb-Zn orebody

下部富矿层品位均匀、夹石夹层少,与底板围岩界线清晰(图11)。上下矿层之间界线也较为清晰。矿石常具有条带状、皮壳状、空穴蜂巢状构造,为沿张性空间贯入充填特征。氧化程度高、深度大,施工的见矿钻孔内基本均为氧化矿(菱锌矿+白铅矿)。富矿石铅锌碳酸盐矿物含量高,最富单样品中铅+锌金属含量达到66%。矿石矿物主要为菱锌矿、黄铁矿、白铅矿、闪锌矿和方铅矿。就目前初步勘查成果显示,西昆仑甜水海地区的铅锌矿具有巨大的找矿前景,亟待全面开展勘查和研究工作。

5 结 语

火烧云铅锌矿床是近两年的勘查成果,相应的深入研究和全面勘查工作尚未展开。就目前的勘查进展,矿体主要赋存于中侏罗统龙山组灰岩段中,之上为硅质的碎屑岩,显示了“钙硅面”不同介质环境卸载成矿和构造角砾胶结物成矿的特点,可能反映了非同生的矿床成因。但巨量成矿物质的来源和搬运、迁移与聚集成矿过程,则需要更大的视野来研究思考,并以此开拓我们的找矿思路。夏日哈木铜镍矿床是继20世纪60年代初金川超大型铜镍矿床发现后的又一重要发现,其不仅开拓了中国铜镍矿找矿的新区,而且发现了一期新的铜镍矿

成矿时期,即新元古代和晚古生代晚期外,早古生代末—晚古生代早期也是重要成镍时期,我们需要重视该期铜镍矿的寻找发现。阿吾拉勒磁铁矿床的发现和勘查丰富了中国的铁矿成矿类型,被大家较多争论的成矿构造环境,与整个天山及其邻区石炭纪火山岩的形成联系起来,以前多为岛弧火山岩的认识,现在则发现了更多裂谷火山岩的证据,并与地幔柱发生了联系,但这仍是一个需要被深入研究的问题。西北地区找矿新发现,为重新认识西北的地质构造特征及其演化提供了新的视角。以往看似明确的地质认识,新发现矿床所传达的成矿环境信息,需要我们重新研究思考和更大范围甚至以全球的视野来认识,其结果有助于指导我们有效地开展找矿勘查。当然,西北地区重要的找矿发现并不限于上述3个,其他重要的矿床还很多,并已构成了重要的勘查开发基地,例如西秦岭的大桥—寨上金矿基地,西昆仑的塔什库尔干BIF型铁矿等等,限于篇幅未多罗列。

致谢: 本文根据作者2013年在云南昆明召开的中国地质学会2013年年会大会报告和福建厦门召开的2014年全国矿床地质会议大会报告整理而成,同时也是近几年西北地区最重要的找矿发现。在论文图件的修饰和完善中,得到了张照伟博士、钱兵、李侃、尤敏鑫硕士和王博林、张志炳硕士生的帮助,在此表示感谢!

本专辑主要反映了中国西北部地质新认识与找矿新发现的相关内容,是围绕国土资源部岩浆作用成矿与找矿重点实验室两个重点研究方向新的认识与成果,也是中国地质调查局“九大计划”、尤其是“重要矿产资源调查计划”的部分成果,对相关研究人员的工作与努力在此表达诚挚的谢意!

参考文献(References):

- [1] 程裕淇. 中国区域地质概论[M]. 北京: 地质出版社, 1994.
Cheng Yuqi. Outline to the Regional Geology of China[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1994(in Chinese).
- [2] Li Z X, Bogdanova S V, Collins A S, et al. Assembly, configuration, and break-up history of Rodinia: a synthesis[J]. *Precambrian Research*, 2008, 160(1): 179-210.
- [3] 陆松年, 于海峰, 金巍, 等. 塔里木古大陆东缘的微小大陆块体群[J]. *岩石矿物学杂志*, 2002, 21(4): 317-326.
Lu Songnian, Yu Haifeng, Jin Wei, et al. Microcontinents on the eastern margin of Tarim paleocontinent[J]. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 2002, 21(4): 317-326(in Chinese with English abstract).
- [4] Zhang C L, Yang D S, Wang H Y, et al. Neoproterozoic mafic-ultramafic layered intrusion in Qurutagh of northeastern Tarim Block, NW China: Two phases of mafic igneous activity with different mantle sources[J]. *Gondwana Research*, 2011, 19(1): 177-190.
- [5] Zhao G C, Min S, Wilde S A, et al. Late Archean to Paleoproterozoic evolution of the North China Craton: key issues revisited[J]. *Precambrian Research*, 2005, 136: 177-202.
- [6] 王鸿祯, 何国琦, 张世红. 中国与蒙古之地质[J]. *地质前缘*, 2006, 13(6): 1-13.
Wang Hongzhen, He Guoqi, Zhang Shihong. The geology of China and Mongolia[J]. *Earth Science Frontiers*, 2006, 13(6): 1-13 (in Chinese with English abstract).
- [7] Xiao W J, Windley B F, Badarch G, et al. Palaeozoic accretionary and tectonics of the southern Altai: Implications for the lateral growth of Central Asia[J]. *Journal of the Geological Society, London*, 2004, 161: 339-342.
- [8] 李锦铁, 何国琦, 徐新, 等. 新疆北部及邻区地壳构造格架及其形成过程的初步探讨[J]. *地质学报*, 2006, 80(1): 148-168.
Li Jingyi, He Guoqi, Xu Xin, et al. Crustal tectonic framework of northern Xinjiang and adjacent regions and its formation[J]. *Acta Geologica Sinica*, 2006, 80(1): 148-168(in Chinese with English abstract).
- [9] Xia L Q, Xu X Y, Xia Z C, et al. Petrogenesis of Carboniferous rift-related volcanic rocks in the Tianshan, northwestern China[J]. *Geological Society of America Bulletin*, 2004, 116(3): 419-433.
- [10] Yang S F, Li Z L, Chen H L, et al. Permian large volume basalts in Tarim basin. Large Igneous Provinces Commission[DB/OL]. 2006, <http://www.largeigneousprovinces.org/06jun>.
- [11] 李文渊, 牛耀龄, 张照伟, 等. 新疆北部晚古生代大规模岩浆成矿的地球动力学背景和战略找矿远景[J]. *地质前缘*, 2012, 19(4): 41-50.
Li Wenyuan, Niu Yaoling, Zhang Zhaowei, et al. Geodynamic setting and further exploration of magmatism-related mineralization concentrated in the Late Paleozoic in the northern Xinjiang Autonomous Region[J]. *Earth Science Frontiers*, 2012, 19(4): 41-50(in Chinese with English abstract).
- [12] Şengör A M C. The Tethyside orogenic system: an introduction[J]. NATO ASI series. Series C, Mathematical and physical sciences, 1989, 259: 1-22.
- [13] Şengör A M C. Tectonic Evolution of the Tethyan Region[C]// Şengör A M C(eds.). London: Kluwer Academic Publishers, 1989: 1-22.
- [14] 李文渊, 张照伟, 高永宝, 等. 秦祁昆造山带重要成矿事件与构造响应[J]. *中国地质*, 2011, 38(5): 41-50.
Li Wenyuan, Zhang Zhaowei, Gao Yongbao, et al. Important metallogenic events and tectonic response of Qinling, Qilian and Kunlun orogenic belts[J]. *Geology in China*, 2011, 38(5): 41-50 (in Chinese with English abstract).

- [15] Wang B, Faure M, Jahn B M, Clazel D, et al. Paleozoic tectonics of the southern Chinese Tianshan: Insights from structural, chronological and geochemical studies of the Heiyingshan ophiolitic mélangé (NW China)[J]. *Tectonophysics*, 2011, 497: 85–104.
- [16] Wang T, Hong D, Jahn B, et al. Timing, petrogenesis, and setting of Paleozoic synorogenic intrusions from the Altai Mountains, Northwest China: Implications for the tectonic evolution of an accretionary orogen[J]. *The Journal of Geology*, 2006, 114(6): 735–751.
- [17] Yang F, Mao J, Liu F, et al. Geochronology and geochemistry of the granites from the Mengku iron deposit, Altai Mountains, northwest China: Implications for its tectonic setting and metallogenesis[J]. *Australian Journal of Earth Sciences*, 2010, 57(6): 803–818.
- [18] Zhou T F, Feng Y, Yu F, et al. Granites in the Sawuer region of the west Junggar, Xinjiang Province, China: Geochronological and geochemical characteristics and their geodynamic significance[J]. *Lithos*, 2008, 106: 191–206.
- [19] Zhou M F, Zhao J H, Jiang C Y, et al. OIB-like, heterogeneous mantle sources of Permian basaltic magmatism in the western Tarim Basin, NW China: Implications for a possible Permian large igneous province[J]. *Lithos*, 2009, 113(3): 583–594.
- [20] Su B X, Qin K Z, Sakyi P A, et al. U–Pb ages and Hf–O isotopes of zircons from Late Paleozoic mafic–ultramafic units in the southern Central Asian Orogenic Belt: Tectonic implications and evidence for an Early–Permian mantle plume[J]. *Gondwana Research*, 2011, 20: 516–531.
- [21] Tian W, Campbell I H, Allen C M, et al. The Tarim picrite–basalt–rhyolite suite, a Permian flood basalt from northwest China with contrasting rhyolites produced by fractional crystallization and anatexis[J]. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 2010, 160(3): 407–425.
- [22] Xia L Q. The geochemical criteria to distinguish continental basalts from arc related ones[J]. *Earth Science Reviews*, 2014, 139: 195–212.
- [23] Xiao W J, Huang B C, Han C M, et al. A review of the western part of the Altaid: A key to understanding the architecture of accretionary orogens[J]. *Gondwana Research*, 2010, 18: 253–273.
- [24] 蒋宗胜, 张作衡, 侯可军, 等. 西天山查岗诺尔和智博铁矿区火山岩地球化学特征、锆石 U–Pb 年龄及地质意义[J]. *岩石学报*, 2012, 28(7): 2074–2088.
Jiang Zongsheng, Zhang Zuoheng, Hou Kejun, et al. Geochemistry and zircon U–Pb age of volcanic rocks from the Chagangnuoer and Zhibo iron deposits, western Tianshan, and their geological significance[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2012, 28(7): 2074–2088(in Chinese with English abstract).
- [25] Frutos J. Tectonic and geochemical evidence concerning the genesis of El Laco magnetite lava flow deposits, Chile[J]. *Economic Geology*, 1975, 70(5): 988–990.
- [26] 肖序常, 何国琦, 徐新, 等. 中国新疆地壳结构与地质演化[M]. 北京: 地质出版社, 2010: 1–318.
Xiao Xuchang, He Guoqi, Xu Xin, et al. *The Crustal Structure and Geological Evolution of Xinjiang, China*[M]. Beijing: Geological Publishing House, 2010: 1–318(in Chinese).
- [27] 张建新, 孟繁聪. 南阿尔金含假蓝宝石高压基性麻粒岩及其意义[J]. *科学通报*, 2005, 50(2): 167–171.
Zhang Jianxin, Meng Fancong. The high–pressure and sapphire bearing mafic granulite and its significance in southern Alkin region[J]. *Chinese Science Bulletin*, 2005, 50(2): 167–171(in Chinese).
- [28] Song S G, Zhang L F, Niu Y L, et al. Evolution from Oceanic subduction to continental collision: A case study from the Northern Tibetan Plateau based on geochemical and geochronological data[J]. *Journal of Petrology*, 2006, 47: 435–455.
- [29] 陈丹玲, 孙勇, 刘良. 柴北缘野马滩超高压榴辉岩中副片麻岩夹层的锆石 U–Pb 定年及其地质意义[J]. *岩石学报*, 2008, 24(5): 1059–1067.
Chen Danling, Sun Yong, Liu Liang. Zircon U–Pb dating of paragneiss interbed in the UHP eclogite from Yematan area, the North Qaidam UHP terrane, NW China[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2008, 24(5): 1059–1067(in Chinese with English abstract).
- [30] 张建新, 李怀坤, 孟繁聪, 等. 塔里木盆地东南缘(阿尔金山)“变质基底”记录的多期构造热事件: 锆石 U–Pb 年代学的制约[J]. *岩石学报*, 2011, 27(1): 23–46.
Zhang Jianxin, Li Huaikun, Meng Fancong, et al. Polyphase tectonothermal events recorded in “metamorphic basement” from the Altyn Tagh, the southeastern margin of the Tarim of the Tarim basin, western China: Constraint from U–Pb zircon geochronology[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2011, 27(1): 23–46(in Chinese with English abstract).
- [31] Li C S, Zhang Z W, Li W Y, et al. 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*, 2015, 216–217: 224–240.
- [32] Maier W D, Groves D I. Temporal and spatial controls on the formation of magmatic PGE and Ni–Cu deposits[J]. *Miner Deposita*, 2011, 46(8): 841–857.
- [33] Sengör A M C, Natal'in B A. Turcic–type orogeny and its role in the making of the continental crust[J]. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 1996, 24(1): 263–337.
- [34] 侯增谦, 宋玉财, 李政, 等. 青藏高原碰撞造山带 Pb–Zn–Ag–Cu 矿床新类型: 成矿基本特征与构造控矿模型[J]. *矿床地质*, 2008, 27(2): 123–144.
Hou Zengqian, Song Yucai, Li Zheng, et al. 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*, 2008, 27(2): 123–144(in Chinese with English abstract).