

潘彤. 青海省柴达木南北缘岩浆熔离型镍矿的找矿——以夏日哈木镍矿为例[J]. 中国地质, 2015, 42(3): 713–723.

Pan Tong. The prospecting for magmatic liquation type nickel deposits on the southern and northern margin of Qaidam Basin, Qinghai Province: A case study of the Xiarihamu Ni–Cu sulfide deposit [J]. Geology in China, 2015, 42(3): 713–723(in Chinese with English abstract).

青海省柴达木南北缘岩浆熔离型镍矿的找矿 ——以夏日哈木镍矿为例

潘 彤

(青海省地质矿产勘查开发局, 西宁 810001)

摘要: 夏日哈木铜镍矿是在东昆仑造山带首次被发现的岩浆熔离型矿床, 该类型矿床是青海省铜镍矿勘查研究方向之一。笔者通过夏日哈木镍矿成矿特征研究认为: 碰撞伸展环境是夏日哈木超大型镍–钴硫化物矿形成的基本条件, 成岩成矿年龄集中于早泥盆世, 岩体侵入于古元古代金水口白沙河组, 参与后期混染成矿作用。对柴达木南北缘岩浆熔离型镍矿的成矿条件分析发现: 泥盆纪热事件显示柴达木盆地南、北缘在该期均发生了碰撞伸展作用和成矿作用, 镁铁质–超镁铁质岩均侵入古老地层, 地层硫参与成矿作用; 成矿镁铁质–超镁铁质岩体与物探磁异常, Ni、Co、Cu 组合异常相对应。综合分析, 柴达木南北缘岩浆熔离型镍矿的找矿潜力大, 提出了今后柴达木南北缘岩浆熔离型镍矿勘查重点是柴达木南缘的昆中岩浆弧带、柴达木北缘高压变质岩带、欧龙布鲁克陆块。

关键词: 夏日哈木镍铜矿; 柴达木南北缘; 找矿方向

中图分类号: P618.63 文献标志码: A 文章编号: 1000–3657(2015)03–0713–11

The prospecting for magmatic liquation type nickel deposits on the southern and northern margin of Qaidam Basin, Qinghai Province: A case study of the Xiarihamu Ni–Cu sulfide deposit

PAN Tong

(Bureau of Geology and Mineral Exploration and Development of Qinghai Province, Xining 810001, Qinghai, China)

Abstract: The Xiarihamu Cu–Ni sulfide deposit is a magmatic liquation type deposit discovered for the first time in East Kunlun orogenic belt. This kind of ore deposits is one of the research directions of prospecting for Cu–Ni deposits in Qinghai Province. Based on a study of the metallogenic characteristics of the Xiarihamu Cu–Ni sulfide deposit, the authors hold that the collisional extension environment constituted the basic condition for the formation of the Xiarihamu superlarge Cu–Ni sulfide deposit, the rock–forming and ore–forming processes took place exclusively in early Devonian, and the rock body was emplaced in Paleoproterozoic Baishahe Formation of Linshuihou, with the addition of the later hybridization mineralization. Based on an analysis of the metallogenic conditions of the magmatic liquation type Ni deposits on the southern and northern margin of Qaidam

收稿日期: 2015–02–11; 改回日期: 2015–04–03

基金项目: 国土资源部公益性行业科研专项“东昆仑地区多金属成矿系列与找矿突破”(201211037)资助。

作者简介: 潘彤, 男, 1966 年生, 教授级高级工程师, 矿床学专业, 长期从事区域成矿规律的研究和生产管理工作; E-mail: pant66@163.com。

Basin, the authors have also found that the Devonian thermal event indicated that collisional extension occurred on both the southern margin and the northern margin in this period, the ore-forming mafic-ultramafic rocks on both margins intruded into old strata, stratigraphic sulfur took part in the ore-forming process, and the ore-forming mafic-ultramafic rock bodies are consistent with the geophysical magnetic anomalies as well as Ni, Co, Cu combinational anomalies. An integrated analysis shows that the prospecting potential for magmatic liquation type Ni deposits on the southern and northern margin of Qaidam Basin is great. It is also pointed out that the key prospecting targets in this region is the central kunlun magma arc belt on the southern margin of Qaidam Basin, the high-pressure metamorphic belt on the northern margin of Qaidam Basin, and the Olongbuluck landmass.

Key words: Xiarihamu Ni-Cu sulfide deposit; northern and southern margin of Qaidam Basin; prospecting direction

About the first author: PAN Tong, male, born in 1966, senior engineer, engages in the study of regional metallogenic regularity and production management; E-mail: pant66@163.com.

2008年青海省地质调查院完成的“青海1:5万拉陵灶火地区地质矿产调查”圈出以铜、铅、锌、钼、钨、镍、金、银为主的综合异常34处。2010年青海省第五地质勘查院对以镍元素为主的HS26号化探异常查证,在东昆仑造山带首次发现超大型岩浆熔离型铜镍矿床,目前区内共圈出铜镍钴矿体10条估算镍资源量达到107万t,并伴生于一定的铜、钴矿资源量。在2013年于青海省格尔木召开的夏日哈木找矿研讨会上,以汤中立院士为代表的专家指出:“夏日哈木镍铜矿发现是突破性的进展,该矿床储量不只是这些”。近年在柴达木南北缘均有新的铜镍硫化物矿床找矿线索,这也昭示着该类型矿床在南北缘镍矿具有巨大的成矿潜力,因此,柴达木南北缘地区成矿规律的总结,成矿环境的进一步分析,对寻找该类型矿床具有重大指导意义,在此背景下,通过野外调查、资料分析开展柴达木南北缘岩浆熔离型镍矿的找矿方向研究工作。

1 柴达木盆地南北缘成矿地质概况

青海省柴达木南北缘地处秦祁昆成矿域西段,北与古亚洲成矿域相连,南与古特提斯成矿域相接,研究区从南华纪到泥盆纪的经历超大陆裂解、洋盆的形成、消减、闭合及造山后伸展等方面的地质构造演化,在经历了加里东末期的碰撞造山之后,进入板内伸展环境,这个阶段大致从晚泥盆世开始一直持续到早中三叠世陆内造山作用以前,形成板内裂陷盆地,甚至包括新生的小洋盆。晚泥盆世的粗碎屑沉积可能为碰撞造山后伸展环境下的产物(柴达木南、北缘耗牛山组)。柴达木南北缘地质构造复杂,成矿地质条件优越,矿床成因以喷流-沉积型多金属矿、岩浆熔离型铜-镍矿、沉积型铁

矿、层控型铅锌矿及热液型多金属矿为主。

2 夏日哈木镍矿成矿特征

2.1 矿床概况

夏日哈木镍矿区采用物探和地质相结合的综合找矿手段开展勘查工作,共圈出铜镍钴矿体10条,矿体一般长80~1200m,厚度3.0~281.81m,镍品位 $0.3 \times 10^{-2} \sim 4.87 \times 10^{-2}$,钴品位 $0.012 \times 10^{-2} \sim 0.16 \times 10^{-2}$,铜品位为 $0.2 \times 10^{-2} \sim 4.34 \times 10^{-2}$ 。其中M1矿体最大,矿体多呈厚大似层状、透镜状,少数漏斗状和不规则状矿体呈上悬式位于岩体中上部,矿体主要赋存于橄榄岩相、辉石岩相和苏长岩相中。

矿石矿物主要为:磁黄铁矿、镍黄铁矿、黄铜矿、黄铁矿、铬尖晶石、紫硫镍矿,地表孔雀石和镍华呈薄膜状分布。脉石矿物主要为斜方辉石、普通辉石、滑石、橄榄石、蛇纹石、透辉石等。

矿石具有他形粒状、半自形-自形粒状和海绵陨铁结构;块状、海绵陨铁状、浸染状、斑杂状构造。其中以海绵陨铁状和浸染状构造矿石为主,斑杂状、星点状矿石次之,细脉状矿石很少,这些特征表明矿床属典型的岩浆熔离型硫化物矿床。

2.2 成矿镁铁-超镁铁岩体的岩石学特征

2.2.1 时空展布

夏日哈木镍钴矿矿区已发现镁铁-超镁铁岩体5个(图2),

除1个镁铁-超镁铁岩体外,其余4个与1:5万水系综合异常相对应。I号岩体分布于矿区中北部HS26异常区,从地表出露到目前深部工程控制的杂岩体来看,长约1.76km,宽约700m,面积为1.23km²,平面上呈椭圆状近东西向展布,剖面上呈一平缓“岩盆状”。岩体基本由橄榄岩、二辉橄榄

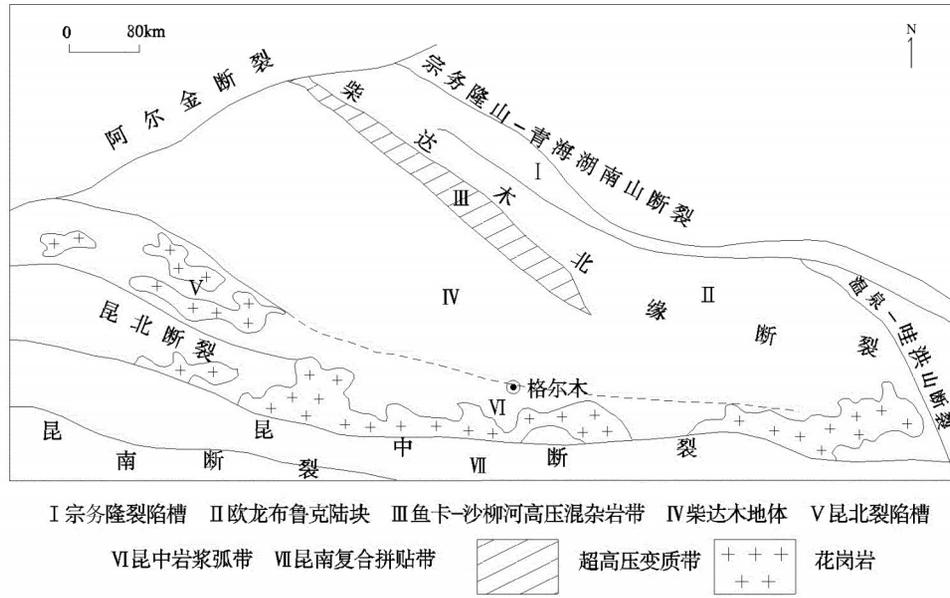


图1 青海省柴达木南北缘地质略图(据辛后田^[1]改编)

Fig.1 Simplified geological map of the southern and northern margin of Qaidam Basin in Qinghai Province (modified after Xin Houtian^[1])

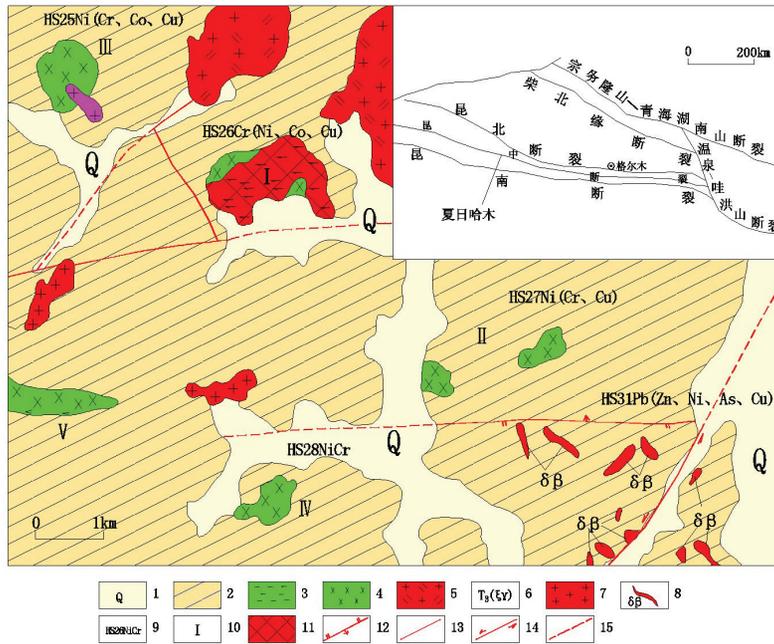


图2 夏日哈木矿区地质草图^①

1—第四系;2—古元古界金水口群白沙河岩组;3—辉石岩;4—辉长岩;5—三叠纪似斑状二长花岗岩;6—三叠纪正长花岗岩;7—花岗岩;8—黑云母闪长岩;9—1:5万水系异常位置;10—岩体编号;11—矿体;12—逆断层;13—性质不明断层;14—走滑平移断层;15—推测断层

Fig.2 Sketch geological map of the Xiarihamu ore district^①

1—Quaternary;2—Baishahe Formation of Palaeoproterozoic Jinshuikou Group;3—Pyroxenite;4—gabbro;5—Triassic monzogranite;6—Triassic syenogranite;7—Granite;8—Biotite diorite;9—Anomaly location of 1:50000 stream sediment survey;10—Serial number of rock body;11—Orebody;12—Reversed fault;13—Unknown fault;14—Strike-slip fault;15—Inferred fault

①青海省第五地质勘查院.青海省格尔木市夏日哈木HSS2号异常区铜镍矿普查报告,2013.

岩、辉橄岩和辉石岩组成,岩体普遍具碳酸盐化、孔雀石化、镍化。Ⅱ号岩体分布于HS27异常区,岩体主要由中粗粒的辉石岩和辉长岩组成。Ⅲ号岩体分布于HS25异常区,岩体形态呈近圆的岩瘤状,岩体主要由中细粒的蛇纹岩和石榴石辉石岩组成,根据地槽探揭露蛇纹岩普遍具有弱镍矿化,偶见辉石岩铜镍矿化。Ⅳ号岩体分布于HS28异常区,岩体主要由辉石岩组成,通过地槽探揭露发现异常基本由蛇纹岩和少量的辉石岩引起,蛇纹岩、辉石岩具有弱镍矿化。

2.2.2 围岩

铜镍硫化物矿床主要产于镁铁质—超镁铁质杂岩体中,该岩体侵位于古元古代金水口白沙河组,岩性为黑云斜长片麻岩、云母二长片麻岩、斜长角闪岩、大理岩等。区内东西向、北东向断裂控制着岩浆岩的分布。

2.2.3 岩相

夏日哈木地区镁铁质—超镁铁质杂岩体岩相分异较明显,岩体岩性主要是辉石岩相、橄辉岩相、辉长岩相及少量的花岗岩脉,夏日哈木矿区镍矿体主要赋存于辉石岩相与橄辉岩相中,辉长岩相基本不含矿。底部为橄辉岩、向上依次为辉橄岩、橄辉岩、辉石岩、辉长岩,为一层状镁铁质—超镁铁质杂岩体。由于硫化物比重较大,形成以后往往会向下沉降与早期分离结晶的橄辉石共存,橄辉岩相可作为找矿标志。

2.2.4 岩石学地球化学特征

夏日哈木铜镍矿 m/f 比值(2.3~5.8),为铁质拉斑玄武岩系列^[2], Li Chusi 研究得出其母岩浆和原生岩浆中 MgO 值分别为 9.8%, 12.74%^[3], 由此,夏日哈木铜镍矿母岩浆为高镁玄武岩浆。矿区各种岩石均富集 LREE 和大离子亲石元素,亏损 Nb、Ta、Ti、P,钽、锶同位素属富集型地幔范畴。含矿岩体岩石和矿石的 PGE 总量偏低,以 PPGE(Pt、Pd) 为主,IPGE(Ir、Ru、Rh) 含量较低;岩石和矿石具有相似的 PGE 分配模式,显示二者应属于同一岩浆演化的产物。根据 PGE 不亏损的大陆拉斑玄武岩初始岩浆推算,夏日哈木矿床的母岩浆明显亏损 PGE,而硫化物的深部熔离可能是导致母岩浆亏损 PGE 的主要原因^[4]。夏日哈木 Cu/Pd 比值远高于原始地幔的 Cu/Pd 比值表明原生岩浆在早期演化过程中曾发生过硫化物深部熔离作用,超镁铁岩经历过富硫化物物质的

交代作用^[5]。当然,熔离成矿过程中地壳混染也是一个必要条件,既可以降低幔源岩浆温度而且会降低岩浆中 FeO 活度,从而导致岩浆达到硫饱和。

2.3 成矿时代

夏日哈木铜镍矿岩主要由斜方辉橄岩、橄辉斜方辉石岩、辉石岩、辉长岩组成,不同学者研究结论为,在辉长岩中获得了成矿年龄为(393.5±3.4) Ma^[6],宋谢炎等获得了锆石 SHRIMP 年龄 410 Ma^[7],说明其成矿年龄为早泥盆世。

2.4 成矿构造地质背景

不同的地质背景决定了不同的岩石建造可以形成不同类型的矿床,同一类型的矿床也可以产出在不同的地质背景中。但是一定的地质环境中只能形成与该环境相关的矿床,大型—超大型铜镍岩浆硫化物矿床主要可分为陆内裂谷溢流玄武岩型、陆内热点或陨石引发型、克拉通边缘深大断裂型和造山带碰撞期后伸展构造阶段型 4 类^[8]。通过对祁漫塔格晚志留世花岗岩研究,为具有 A 型花岗岩特征的花岗岩、高钾钙碱性 I 型花岗岩及过铝质花岗岩^[9],应为同碰撞挤压造山作用向后碰撞区域拉伸构造体制的转换时期。对夏日哈木—苏海图早古生代榴辉岩研究,得出中晚泥盆世东昆仑祁漫塔格地区进入陆内伸展阶段区域构造由志留纪—早泥盆世的碰撞挤压体制转变为后造山伸展环境^[10]。结合在祁漫塔格地区耗牛山组充填序列反映下粗上细,砾石成分杂,磨圆分选较好、交错层发育,为山麓—河流相沉积的碎屑岩建造^[11],属于板内伸展阶段的产物,强烈的陆相中酸性(局部基性)火山岩为晚泥盆纪板内伸展体制下的产物。柴达木克拉通边缘碰撞伸展环境是夏日哈木超大型镍—钴硫化物矿形成的先决条件。

3 柴达木南北缘岩浆熔离型镍矿的找矿条件分析

3.1 成矿构造背景条件

柴达木南、北缘在南华—震旦纪 Rodinia 超大陆裂解在新元古代的解体。

晚寒武世至早奥陶世柴达木盆地南、北缘残留多条早古生代蛇绿混杂岩带,如托莫尔日特蛇绿混杂岩中的斜长花岗岩 Rb—Sr 等时线年龄为(447±2) Ma,地球化学特征表明为边缘海盆蛇绿岩^[12],祁漫

塔格镁铁质—超镁铁质岩带十字沟块层状玄武岩中获得(468±54) Ma的Sm-Nd等时线年龄值,小西沟辉绿岩中获得(449±34) Ma的Sm-Nd等时线年龄值,该时期主要是早古生代洋盆形成^①。

柴北缘碰撞型火山岩分布在赛什腾—乌兰一带西北部的赛什腾山,对大柴旦两组花岗岩进行SHRIMP锆石U-Pb定年,分别得到(446.3±3.0) Ma及(408.6±4.4) Ma、(403.3±3.5) Ma、(401.8±3) Ma,前一组年龄反映了陆块碰撞时代,第二组年龄为陆壳深俯冲后的折返时代^[13]。

柴南缘碰撞型火山岩分布在昆仑河上中游,东沟黑云母二长花岗岩U-Pb定年获得(410±1.8) Ma,地球化学显示为碰撞型花岗岩^②,祁漫塔格地区侵入滩间山群的花岗岩锆石U-Pb法获得(418±0.6) Ma,为偏铝质的钙碱性,属同碰撞花岗岩^③。因此,晚古生代以来,为古特提斯洋不断的俯冲、大陆板块碰撞拼合、造山后的板块拆沉和张弛等一系列的成矿过程^[14],拼贴后发生的伸展作用阻碍了浅部洋壳的进一步俯冲,但深部的俯冲板片仍在继续向下俯冲,导致俯冲板片的断离作用,形成板片窗,引起深部软流圈的上涌,地幔部分熔融形成的含矿岩浆上涌,在地壳松弛薄弱部位上侵入深部岩浆房,在岩浆上升过程中以及在深部岩浆房混入了一定量的地壳物质,在硅酸盐岩浆分异过程发生了硫化物的熔离,分异程度不同的镁铁—超镁铁含矿岩浆沿深大断裂侵位浅部岩浆房,随温度的下降,导致硅酸盐矿物分离结晶和硫化物进一步熔离,经减压熔融形成镁铁质—超镁铁质岩浆活动,幔源岩浆深部熔离和向上贯入形成夏日哈木超大型铜镍硫化物矿床,为造山带碰撞期后伸展构造阶段成矿。柴达木南、北缘成矿镁铁质—超镁铁质岩均侵入古老地层,与古元古代地块具有明显的亲缘性,地层硫参与成矿活动,是形成超大型铜镍硫化物不可缺少的条件之一。

3.2 泥盆纪热事件

泥盆纪柴达木盆地南、北缘热事件为:柴南缘碰撞型花岗岩年龄主要集中在410~420 Ma之间,比柴北缘碰撞型花岗岩年龄集中在450 Ma晚30 Ma。泥盆纪柴达木盆地南、北缘是由早古生代的原

特提斯洋域向晚古生代的古特提斯洋域不同体制构造转化的关键时期,即发生了碰撞伸展期。

柴北缘花岗质侵入岩广泛发育,主要岩体有赛什腾山、噶喇山、鱼卡、绿梁山、大柴旦、柴达木山、锡铁山及野马滩等。其中泥盆纪年龄集中在两期,第一期在408~397 Ma,主要为花岗闪长岩、英云闪长岩及二长花岗岩,属钙碱性,轻稀土富集型,为陆壳重熔型花岗岩,结合都兰含柯石英糜棱岩化花岗质片麻岩中白云母Ar-Ar坪年龄(401.5±0.5) Ma^[15]及锡铁山花岗质糜棱岩化片麻岩中白云母Ar-Ar年龄(405.7±0.8) Ma^[16],此阶段为经历超高压变质作用的板块折返产生部分熔融形成的花岗质岩浆。第二期年龄集中在375~372 Ma,岩性主要为正长斑岩、二长花岗岩,属碱性系列次铝、过铝质岩石,零星分布于绿梁山及阿木尼克山一带,是超高压变质作用的块体折返后,通过拉伸、滑塌、伸展重新调整,引起部分熔融形成的岩浆岩。大柴旦巴嘎柴达木湖东南的小岩SHRIMP锆石U-Pb年龄为(374.5±1.6) Ma,具有S型花岗岩的属性,大头羊沟岩体SHRIMP锆石U-Pb年龄为(372±2.7) Ma,具有I型花岗岩属性^[13],均代表碰撞隆起后造山带上不同块体之间的伸展、滑塌的时限。

柴南缘泥盆纪侵入岩在昆中断裂带南北均有出露,分布于祁漫塔格南部地区的岩体规模较大,喀雅克登塔格岩体分布于布喀达坂峰北,为石英闪长岩及二长花岗岩,属钙碱性系列,呈轻稀土富集型,为偏铝质及过铝质花岗岩,具S型、I型花岗岩的双重特征,为向造山后伸展崩塌阶段转变时期的产物。阿克楚克赛石英闪长岩锆石离子探针测得(407.7±7.5) Ma的年龄,伯喀里克似斑状二长花岗岩锆石离子探针法测得(408.3±5.3) Ma的年龄^④。喀雅克登塔格杂岩体中的辉长岩,为造山后伸展构造环境,SHRIMP单颗粒锆石年龄为(403.3±7.2) Ma^[17]。巴音郭勒辉长岩体锆石离子探针测得(386.9±2.6) Ma及(386.4±3.2) Ma的年龄反映此时已经进入造山后伸展阶段。

综上所述,柴达木盆地南、北缘早泥盆世开始进入造山后阶段,柴北缘存在408~397 Ma及375~

①青海省地质调查院. 1:25万布喀达坂峰幅,2003.

②青海省地质调查院. 1:25万库朗米其提幅,2003.

③陕西省地质调查院. 1:25万阿牙克库木湖幅,2003.

372 Ma 的两期热事件,与之对应柴南缘集中在 408~400 Ma 及 386~362 Ma,前一期代表碰撞后板块折返调整阶段,后一期为造山后伸展阶段。

从夏日哈木矿区辉长岩形成时期早,而辉石岩的年龄代表了成岩成矿年龄,即成矿时期为泥盆纪。因此主成矿期泥盆纪与强烈伸展期相对应,中晚志留世至中泥盆世可能为一连续的岩浆型铜镍硫化物矿床成矿过程,中泥盆世达到成矿高峰时期;总体上,挤压作用由强变弱,伸展作用由弱变强。伸展作用持续的时间长,挤压作用持续时间相对较短,柴达木南北缘泥盆纪碰撞伸展作用是成矿的重要时点。

3.3 柴周缘镁铁质—超镁铁质分布及成矿

柴周缘镁铁质—超镁铁质岩体,从古元古代到晚古生代广泛发育,柴达木北缘主要出露于西部的绿梁山和东部的沙柳河地区,主要岩石类型有变质纯橄岩、蛇纹石化单辉橄岩、蛇纹岩、辉长岩;沙柳河地区的托莫尔日特蛇绿岩中的斜长花岗岩 Rb-Sr 等时线年龄为 $(447 \pm 22) \text{ Ma}^{[12]}$ 。阿尔金地区为以牛鼻子梁岩体为代表的镁铁质—超镁铁质层状岩体,具有橄岩相、辉石岩相和辉长岩相等多种岩石类型,主要造岩矿物为橄岩、单斜辉石、角闪石、斜长石等^[18]。昆北裂陷槽,以志留—奥陶纪镁铁质—超镁铁质岩主要分布于昆北断裂附近;昆中岩浆弧带西段,主要分布有古元古代镁铁质—超镁铁质岩,岩性主要为角闪辉长岩和斜长岩,少量苏长岩、橄岩辉长岩,超镁铁质岩性为蚀变橄岩,以夏日哈木为代表的形成于泥盆纪镁铁—超镁铁质侵入岩体,分布于巴音郭勒一带的层状辉长岩体,具大陆拉斑玄武岩特征,来自较富集地幔源区,为伸展环境下的产物。

辉长岩和橄岩锆石离子探针测得 $(386.9 \pm 2.6) \text{ Ma}$ 及 $(386.4 \pm 3.2) \text{ Ma}$ 的年龄^①;昆中东段镁铁—超镁铁质岩主要出露于吐木勒克、诺木洪郭勒、乌妥、清水泉、阿尼玛卿等地,岩石类型主要有变质橄岩,镁铁—超镁铁质堆晶岩,非席状辉绿岩墙群等,以镁铁—超镁铁质堆晶岩占多数,火山岩组合中玄武岩锆石 U-Pb 年龄为 $(401 \pm 6) \text{ Ma}^{②}$ 。清水泉以西约 15 km 的可可沙发现了一套镁铁超镁铁质杂岩,锆石 U-Pb 同位素测年,获得 $(509.4 \pm 6.8) \text{ Ma}$ 同

位素年龄^[9];昆南复合拼贴带主要分布有与万宝沟玄武岩伴生的中元古代晚期镁铁质岩、印支早期镁铁质—超镁铁质岩。

牛鼻子梁铜镍矿床^[20]、夏日哈木铜镍矿^[4]成矿镁铁质—超镁铁质岩体应为铁质系列,赋矿岩相为橄岩相、辉石岩相,据此,柴达木地块周缘具备形成镍铜硫化物岩浆矿床条件,即鱼卡—沙柳河高压混杂岩带(包括阿尔金地区)、欧龙布鲁克陆块和昆北裂陷槽、昆中岩浆弧带、昆南复合拼贴带,时代以泥盆纪为主,次为奥陶纪(图3)。

3.4 区域成矿物探、化探条件

青海省柴达木南北缘 1:5 万航空磁法测量结果显示(图4),柴达木盆地周缘的 ΔT 航磁异常呈明显北西向的环带状展布,自东至西环带夹持范围逐渐变宽,以鱼卡—开木棋地区分布的北北东向宽缓正异常为界形成两个环带状正磁异常带。整体北西向展布的南部强正异常带与东昆仑岩浆弧带对应,线性展布的航磁异常梯级带与深大断裂的关系密切,北西向展布的北部强正异常带与柴北缘岩浆弧带对应,东部北东向强正磁异常带与秦祁昆结合带对应,中部大范围分布的北东向低缓正磁异常带显示了深部可能存在大规模的隐伏侵入岩体和断裂带,西部北西向正磁异常带与祁漫塔格岩浆弧带对应。这些正磁异常带在延展方向上基本以串珠状分布,正磁异常与岩浆活动关系密切,强正磁异常基本对应出露的岩浆岩,弱正磁异常反映了深部隐伏的岩浆岩,为寻找各类金属矿产最重要的区域。夏日哈木铜镍矿床位于北西西向展布的南部强正异常带和柴达木盆地中部北东向低缓正磁异常带(深部可能存在大规模的隐伏侵入岩体和断裂带)的结合部,即北西向构造带和北东向构造带的交汇部位为寻找岩浆熔离型铜镍矿床的有利部位。从磁异常形态分析,东昆仑成矿带上夏日哈木西北部约 20 km、夏日哈木南西部约 20 km;柴北缘的南八仙南部约 15 km、俄博梁北东方向约 10 km 各有一处与夏日哈木地区异常特征非常相似的航磁异常。这些地区是寻找岩浆熔离型铜镍矿的有利靶区。

3.2.2 区域地球化学特征

根据青海省矿产资源潜力评价资料^③,在柴达

①青海省地质调查院. 1:25 万布喀达坂峰幅, 2003.

②青海省地质调查院,中国地质大学(武汉). 1:25 万阿拉克湖幅, 2003.

③青海省地质矿产勘查开发局. 青海省矿产资源潜力评价报告. 2013.

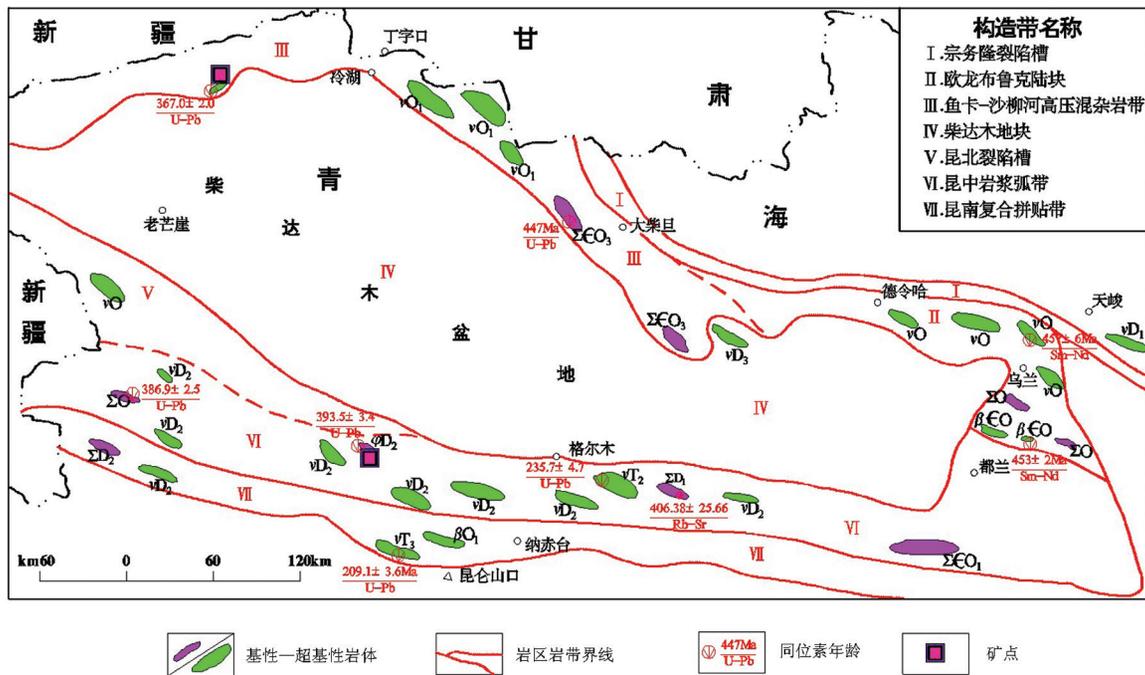


图3 柴周缘镁铁质-超镁铁质岩分布图

Fig. 3 Distribution of mafic-ultramafic rocks on the south and north margin of Qaidam Basin in Qinghai Province

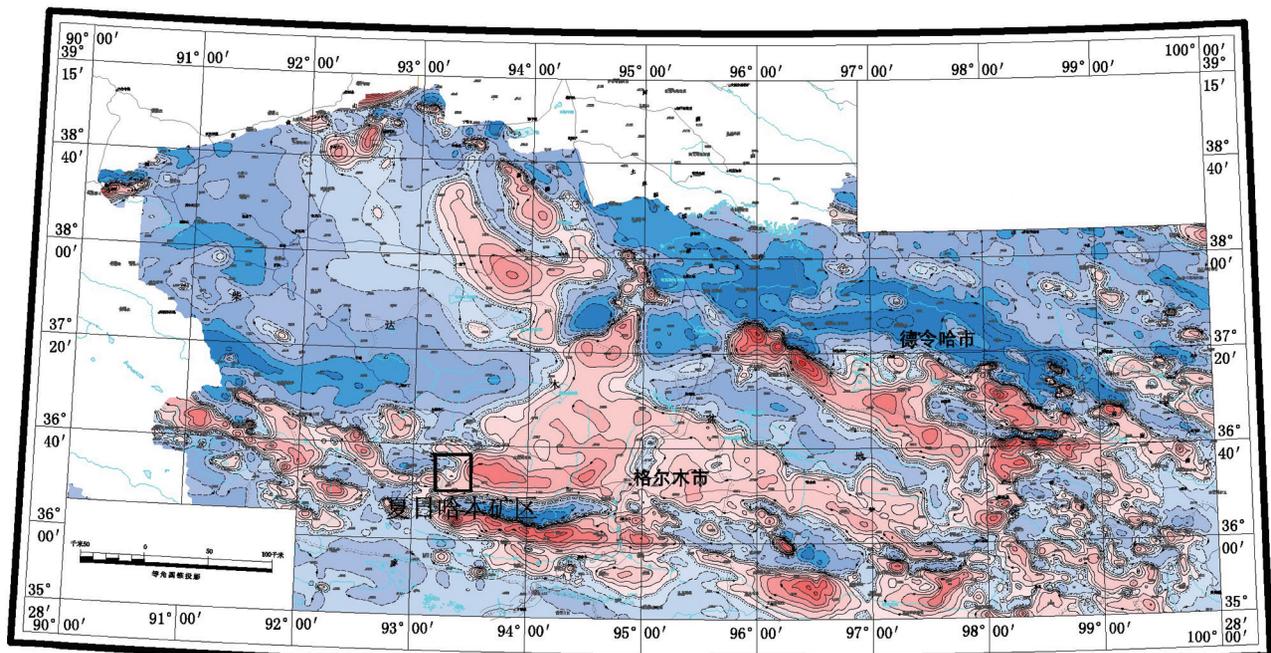


图4 青海省柴达木南北缘1:5万航磁异常图

Fig. 4 1:50000 aeromagnetic anomaly map of the southern and northern margin of Qaidam Basin in Qinghai Province

木南北缘地区区域化探特征为:

1) 柴达木北缘

(1) 元素丰度(X)特征:带内Ba、Au、Cd、Cr、Pb、Bi、Ni、V、Ag元素呈高含量、高背景分布, SiO₂、Be、Co、Al₂O₃、Fe₂O₃、Sn、Cu、Sb、As等元素呈低背景低含量分布。变异系数: $CVI > 1.00$ 的元素有: Cd、Bi、Pb、Zn、W、Au、Cr、Mo、Ni、Ag、Hg。

(2) 离散特征: 矿带内个别元素的含量变化极大, 大部分元素的元素含量变化不大。变异系数: $CVI > 1.00$ 的元素有: Cd、Bi、Pb、Zn、W、Au、Cr、Mo、Ni、Ag、Hg, $CVI = 0.5 \sim 1.0$ 的元素有: Sb、CaO、MgO、As、Cu、B、Mn、Ti、V、Co、Sn、Th、Nb、Fe₂O₃、P, $CVI = 0.1 \sim 0.5$ 的元素有: F、Na₂O、Li、Sr、U、Ba、La、Zr、Rb、K₂O、Y、Be、Al₂O₃、SiO₂。矿带内Bi、Cd、Zn元素的变异系数居全省之首。高背景、高含量或低含量低背景的元素在其变异系数达到显著变化程度时, 其成矿可能性都是较大的, 应该引起高度重视。

2) 柴达木南缘地区

(1) 元素丰度(X)特征: 该带内Sb、Cd、W、Mo、Sn、Au、Pb、Hg、Cu、Ba、Ni、As等元素呈高含量、高背景分布, Li、Co、B元素在矿带内呈低背景低含量分布。矿带内Sn的平均含量高居全省首位, 呈高背景、高含量分布的元素较多, 呈低含量低背景分布的元素比较少。

(2) 离散特征: 以变异系数 CVI 来衡量元素含量变化的大小, 矿带内有关元素的变异系数是: $CVI > 1.00$ 的元素有: Hg、Au、Sb、Bi、Cd、As, $CVI = 0.5 \sim 1.0$ 的元素有: Bi、Cd、As、W、Ag、Pb、Sn、Cu、Cr、CaO、MgO、Mo、Ni、B、Zn, $CVI = 0.3 \sim 0.5$ 的元素有: Th、Co、Ba、F、Zr、V、Rb、Sr、Nb、La、U、Ti。

柴达木北缘, 柴达木南缘成矿带内Sb、Cd、W、Mo、Sn、Au、Pb、Hg、Cu、Ba、Ni、As等元素呈高含量。 $CVI > 1.00$ 的元素有: Cd、Bi、Pb、Zn、W、Au、Cr、Mo、Ni、Ag、Hg; 与基性-超基性岩相关的元素Ni、Co具有一定面积的分布, 柴达木北缘Ni、Cu、Cr变异系数高于柴达木南缘成矿带, 高背景、高含量其变异系数达到显著变化程度时, 其成矿可能性都是较大的, 因此, 柴达木北缘寻找岩浆熔离型镍矿潜力。柴达木南北缘几个异常亚带, 丁字口-滩涧山-锡铁山Cu、Ba、Sr、Ni、Mo异常亚带, 柴北缘小赛什腾山地区Cu、Co、V、Mo、Ni异常分布, 东昆仑

Cu、Au、Bi、As、Sb、Sn、Y、W、Pb、Cd异常区; 祁曼塔格地区Cu、Sn、Bi、Pb、Sb、Y异常亚区基本上与祁曼塔格; 东昆仑带磁铁山至布青山段有Au、As、Sb、Ni、Cu、Ti、Cr、Cd、U、Ba; 都兰-鄂拉山地区作为主元素出现频数较大的有Bi、W、Au、Cu、Ag、Sn、Sb、As、Pb、Hg、Ni。布尔汗布达山督冷沟地区为Cu、Ni、Cr组合元素, 异常面积达2000多平方千米。有相应的基性-超基性岩体分布, 存在寻找与之有关矿产(铜-镍块状硫化物矿床)的成矿地球化学条件。做为主要成矿元素镍的富集趋势非常明显(图5), 在柴达木南缘一带呈不连续的串珠状, 柴达木南缘东段、柴达木北缘富集区面积达万余平方千米, 为青海最为醒目的镍富集区, 有相应的基性-超基性岩体分布, 是一个潜力大的找矿靶区。

4 柴达木周缘镍矿找矿方向

从基性、超基性岩体分布特征来看, 结合成矿大地构造背景、泥盆纪构造热事件, 柴达木地块周缘是岩浆熔离型铜镍矿有利找矿地区, 结合1:5万物化探资料, 目前的最有可能突破地区应是昆中岩浆弧带, 以夏日哈木以西地区镁铁质-超镁铁质杂岩体以及以东的都兰地区, 昆北裂隙槽、昆南复合拼贴带, 鱼卡-沙柳河高压混杂岩带(包括阿尔金地区)中的镁铁质-超镁铁质岩体均为与蛇绿岩套相关的镁质橄榄岩、欧龙布鲁克陆块的镁铁质-超镁铁质岩体多为铁质系列。其中昆中岩浆弧带, 以夏日哈木以西地区、鱼卡-沙柳河高压混杂岩带(含牛鼻子梁铜镍矿周围)、欧龙布鲁克陆块找矿潜力最大。

5 结 论

(1) 柴达木盆地南、北缘在中志留世至中泥盆世之间, 碰撞造山作用加剧, 在柴北缘、昆中及祁曼塔格形成缝合带, 早、中泥盆世沉积因造山隆升而缺失。晚泥盆世柴北缘形成耗牛山组、柴南缘形成哈尔扎组及黑山组的造山后伸展磨拉石沉积。因此在时间上, 主成矿期泥盆世与强烈伸展期相对应, 中晚志留世至中泥盆世可能为一连续的岩浆型铜镍硫化物矿床成矿过程, 中泥盆世达到成矿高峰时期, 中晚志留世至中泥盆世岩浆熔离镍矿的重要时期。

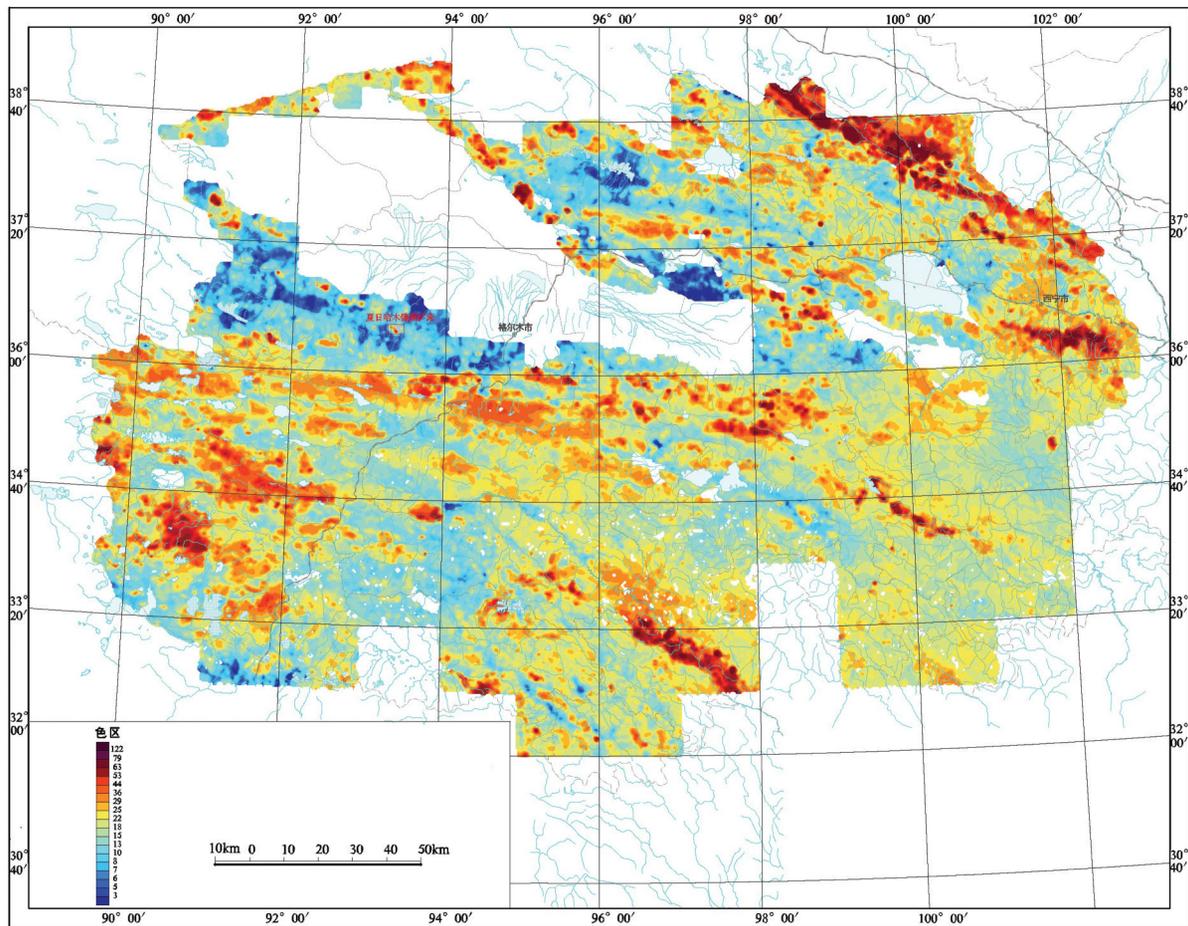


图5 柴达木南北缘镍元素地球化学图

Fig.5 Geochemical anomaly map of the southern and northern margin of Qaidam Basin

(2)铜镍硫化物矿床与基性、超基性岩体在成因上、空间上密切相关,铜镍成矿物质大部分来源于地幔,这些蛇绿混杂岩的玄武质岩石表现出了典型的MORB特征^[21],由基性、超基性侵入于古老地层,地壳混染也是一个必要条件,既可以降低幔源岩浆温度而且会降低岩浆中FeO活度,从而导致岩浆达到硫饱和。全球一些大型—超大型镍矿床形成过程中地壳混染起到了重要作用。

(3)柴达木盆地南、北缘伸展期均有镁铁质—超镁铁质岩形成,结合柴达木北缘,柴达木南缘元素组合好,镍元素呈高含量, $CVI > 1.0$,并有一定的矿化线索,柴达木南缘的昆中岩浆弧带、柴达木北缘高压变质岩带、欧龙布鲁克陆块是今后岩浆熔离型镍矿找矿的重点区域。

致谢:在成文过程中,吉林大学李壁乐教授提供了有关测试数据,青海省地质调查院祁生胜教授级高级工程师提供了基础地质有关资料,青海省第三地质勘查院王俊祥教授级高级工程师提供了物探资料,青海省地质矿产勘查开发局李占业物探高级工程师给与物探解释,青海省第五地质勘查院许光教授级高级工程师提供了化探资料,夏日哈木项目组提供了野外工作支持。青海省地质研究所舒树兰完成全部图件制作,修改过程中得到王学明副主编细致指点,在此一并表示感谢!

参考文献(References):

[1] 辛后田,王惠初,周世军.柴北缘的大地构造演化及其地质事件群[J].地质调查与研究,2006,29(4):311-318.

Xin Houtian, Wang Huichu, Zhou Shijun. Geological events and

- tectonic evolution of the north margin of the Qaidam Basin[J]. Geological Survey and Research, 2006, 29(4): 311-318(in Chinese with English abstract).
- [2] 王玉往, 王京彬. 与镁铁-超镁铁质岩石有关的矿床类型[J]. 中国地质, 2006, 33(3): 656-665.
Wang Yuwang, Wang Jingbin. Ore deposit types related to mafic-ultramafic rocks[J]. Geology in China, 2006, 33(3): 656-665(in Chinese with English abstract).
- [3] Li Chusi, Zhang Zhaowei, Li Wenyuan, et al. Geochronology, petrology and Hf-S isotopes of the newly-discovered, world-class Xiarihamu magmatic Ni-Cu deposit in the Qinghai-Tibet plateau, western China[J]. Lithos, 2015, 216-217, 224-240.
- [4] 杜玮, 凌锦兰, 周伟, 等. 东昆仑夏日哈木镍矿床地质特征与成因[J]. 矿床地质, 2014, 33(4): 713-726.
Du Wei, Ling Jinlan, Zhou Wei, et al. Geological characteristics and genesis of Xiarihamu nickel deposit in East Kunlun[J]. Mineral Deposits, 2014, 33(4): 713-726(in Chinese with English abstract).
- [5] 牛晓露, 杨经绥, 陈松永, 等. 雅鲁藏布江西段东波超镁铁岩体经历了俯冲带流体的改造: 来自铅族元素的证据[J]. 中国地质, 2013, 40(3): 756-766.
Niu Xiaolu, Yang Jingsui, Chen Songyong, et al. The reformation of the Dongbo ultramafic rock mass in the western part of the Yarlung Zangbo suture zone by subduction-related fluids: Evidence from the platinum-group elements(PGE)[J]. Geology in China, 2013, 40(3): 756-766(in Chinese with English abstract).
- [6] 李世金, 孙丰月, 高永旺, 等. 小岩体成大矿理论指导与实践——青海东昆仑夏日哈木铜镍矿找矿突破的启示及意义[J]. 西北地质, 2012, 45(4): 185-191.
Li Shijin, Sun Fengyue, Gao Yongwang, et al. The theoretical guidance and the practice of small intrusions forming large deposits[J]. Northwestern Geology, 2012, 45(4): 185-191(in Chinese with English abstract).
- [7] 宋谢炎, 易俊年, 陈列锰, 等. 青海省中昆仑夏日哈木超大型镍-钴硫化物矿床发现的意义[J]. 矿床地质, 2014, 33(增刊): 31-32.
Song Xieyan, Yi Junnian, Chen Liemeng, et al. Found significance of Xiarihamu super-large Ni-Co sulfide deposit in central Kunlun orogenic belt, Qinghai Province[J]. Mineral Deposits, 2014, 33(Supp.): 31-32(in Chinese).
- [8] 秦克章, 汪东波, 王之田. 中国东部铜矿床类型、成矿环境、成矿集中区与成矿系统[J]. 矿床地质, 1999, 18(4): 359-371.
Qin Kezhang, Wang Dongbo, Wang Zhitian. Types geological background, metallogenic provinces and ore-forming systematics of major copper deposits in Eastern China[J]. Mineral Deposits, 1999, 18(4): 359-371(in Chinese with English abstract).
- [9] 郝娜娜, 袁万明, 张爱奎, 等. 东昆仑祁漫塔格晚志留世-早泥盆世花岗岩: 年代学、地球化学及形成环境[J]. 地质论评, 2014, 60(1): 201-215.
Hao Nana, Yuan Wanmin, Zhang Aikui, et al. Late Silurian to Early Devonian granitoids in the Qimantage area, East Kunlun Mountains: LA-ICP-MS zircon U-Pb ages, geochemical features and geological setting[J]. Geological Review, 2014, 60(1): 201-215 (in Chinese with English abstract).
- [10] 祁生胜, 宋述光, 史连昌, 等. 东昆仑西段夏日哈木-苏海图早古生代榴辉岩的发现及意义[J]. 岩石学报, 2014, 30(11): 3345-3356.
Qi Shengsheng, Song Shuguang, Shi Lianchang, et al. Discovery and its geological significance of Early Paleozoic eclogite in Xiarihamu-Suhaitu area, western part of the East Kunlun[J]. Acta Petrologica Sinica, 2014, 30(11): 3345-3356(in Chinese with English abstract).
- [11] 张雪亭, 杨生德. 青海省板块构造研究——1:100万青海省大地构造图说明书[M]. 北京: 地质出版社, 2007: 1-178.
Zhang Xueting, Yang Shengde. Plate Tectonics Research in Qinghai Province—the Specification of 1:1000000 Scales Tectonic Map of Qinghai Province[M]. Beijing: Geological Publishing House, 2007: 1-178(in Chinese).
- [12] 韩英善, 彭深. 托莫尔日特蛇绿混杂岩带地质特征及其构造意义[J]. 青海地质, 2000, 1: 18-25
Han Yingshan, Peng Chen. Geological characteristics of Tuomoerrite ophiolite mélange belt and its tectonic significance[J]. Qinghai Geology, 2000, 1: 18-25(in Chinese with English abstract).
- [13] 吴才来, 郗源红, 吴锁平, 等. 柴达木盆地北缘柴旦地区古生代花岗岩锆石 SHRIMP 定年[J]. 岩石学报, 2007, 23(8): 1861-1875
Wu CaiLai, Gao Yuanhong, Wu Suoping, et al. Zircon SHRIMP U-Pb dating of granites from the Da Qaidam area in the north margin of Qaidam basin, NW China[J]. Acta Petrologica Sinica, 2007, 23(8): 1861-1875(in Chinese with English abstract).
- [14] 潘彤, 拜永山, 等. 青海省东昆仑有色、贵金属矿成矿系列研究[M]. 北京: 地质出版社, 2011: 1-250
Pan Tong, Bai Yongshan, et al. Study on the Metallogenic Series of Nonferrous and Noble metal Deposits in Eastern Kunlun Orogenic Belt[M]. Beijing: Geological Publishing House, 2011: 1-250(in Chinese).
- [15] 杨经绥, 宋述光, 许志琴, 等. 柴达木盆地北缘早古生代高压-超高压变质带中发现典型超高压矿物柯石英[J]. 地质学报, 2001, 75(2): 175-179.

- Yang Jing sui, Song Shuguang, Xu Zhiqin, et al. Discovery of coesite in the North Qaidam Early Paleozoic Ultrahigh- high pressure(UHP- HP) MetamorPhic Belt, NW China[J]. Acta Petrologica Sinica, 2001, 75(2): 175-179(in Chinese with English abstract).
- [16] 许志琴, 杨经绥, 吴才来, 等. 柴北缘超高压变质带形成与折返的时限及机制[J]. 地质学报, 2003, 77(2): 163-176
- Xu Zhiqin, Yang Jingsui, Wu Cailai, et al. Timing and machanism of formation and exhumation of the Qaidam ultra- Pressure Metamorphic belt[J]. Acta Geologica Sinica, 2003, 77(2): 163-176(in Chinese with English abstract).
- [17] 谌宏伟, 罗照华, 莫宣学, 等. 东昆仑喀雅克登塔格杂岩体的 SHRIMP 年龄及其地质意义[J]. 岩石矿物学杂志, 2006, 25(1): 25-32.
- Chen Hongwei, Luo Zhaohua, Mo Xuanxue, et al. SHRIMP ages of Kayakedengtage complex in the East Kunlun Mountains and their geological implications[J]. Acta Petrologica Mineralogica, 2006, 25(1): 25-32(in Chinese with English abstract).
- [18] 钱兵, 张照伟, 张志炳, 等. 柴达木盆地西北缘牛鼻子梁镁铁-超镁铁质岩体年代学及其地质意义[J]. 中国地质, 2015, 42(3): 482-493.
- Qian Bing, Zhang Zhaowei, Zhang Zhibing, et al. Zircon U-Pb geochronology and its geological significance of Niubiziliang mafic-ultramafic intrusion in the northwest margin of Qaidam Block, Qianghai[J]. Geology in China, 2015, 42(3): 482-493(in Chinese with English abstract).
- [19] 冯建赞, 裴先治, 于书伦, 等. 东昆仑都兰可可沙地区镁铁-超镁铁质杂岩的发现及其 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄[J]. 中国地质, 2010, 37(1): 28-38.
- Feng Jianyun, Pei Xianzhi, Yu Shulun, et al. The discovery of the mafic-ultramafic melange in Kekesha area of Dulan County, East Kunlun region, and its LA- ICP- MS zircon U- Pb age[J]. Geology in China, 2010, 37(1): 28-38(in Chinese with English abstract).
- [20] 赵双喜, 王永刚, 黎存林, 等. 柴达木盆地西北缘牛鼻子梁铜镍矿矿床特征及其发现意义[J]. 西北地质, 2012, 45(1): 202-210.
- Zhao Shuangxi, Wang Yonggang, Li Cunling, et al. The copper-nickle mine features of Niubiziliang in north- west margin of Chaidamu basin, and discoveable significance[J]. Northwestern Geology, 2012, 45(1): 202-210(in Chinese with English abstract).
- [21] 秦克章, 田野, 姚卓森, 等. 新疆喀拉通克铜镍矿田成矿条件、岩浆通道与成矿潜力分析[J]. 中国地质, 2014, 41(3): 912-935.
- Qin Kezhang, Tian Ye, Yao Zhuosen, et al. Metallogenic conditions, magma conduit and exploration potential of the Kalatongk Cu-Ni orefield in Northern Xinjiang[J]. Geology in China, 2014, 41(3): 912-935(in Chinese with English abstract).