

新疆博格达—哈尔里克一带金矿类型 及找矿方向研究

李平¹, 徐仕琪², 朱志新^{1,2}, 陈川¹, 赵同阳², 靳刘圆¹, 陈邦学¹

(1. 新疆大学地质与矿业工程学院, 新疆 乌鲁木齐 830000;

2. 新疆地质调查院, 新疆 乌鲁木齐 830011)

摘要: 结合新疆博格达—哈尔里克一带金矿的成矿特点, 将区内已发现的金矿划分为 4 个主要类型: 韧性剪切带型金矿、火山热液型金矿、岩浆热液型金矿以及沉积型金矿。通过分析大地构造环境、地层建造、断裂构造、侵入岩及化探异常等因素对该地区金矿的控矿作用, 总结区域金矿的成矿条件以及在时间和空间上的成矿规律和演化过程, 指明各类型金矿的控矿因素以及找矿标志, 为研究区今后的金矿勘查工作指明方向。

关键词: 金矿类型; 控矿因素; 找矿方向; 博格达—哈尔里克

中图分类号: P618.51 文献标识码: A 文章编号: 1009-6248(2013)04-0163-10

Metallogenic Types and Prospecting Direction of Gold Deposits in Bogda and Harlik Area, Xinjiang

LI Ping¹, XU Shi-qi², ZHU Zhi-xin^{1,2}, CHEN Chuan¹,
ZHAO Tong-yang², JIN Liu-yuan¹, CHEN Bang-xue¹

(1. *Geology and Mining Engineering College of Xinjiang University, Urumqi 830000, China;*

2. *Geological Research Academe of Xinjiang, Urumqi 830011, China*)

Abstract: Combined with the mineralization characteristics of gold deposits in Bogda and Harlik area of Xinjiang, the discovered gold deposits are divided into four main types: ductile shear zone type, volcanic hydrothermal type, magmatic hydrothermal type and sedimentary type gold deposits. The paper analyzed the ore-controlling roles of tectonic environments, stratigraphic construction, faults, intrusive rocks and geochemical anomalies in the region, and then summarized the mineralization conditions of gold deposits, together with the metallogenic regularity and evolution process in time and space, to indicate ore-controlling factors and prospecting criteria of various types of gold, and will show a way for gold exploration in the study area in the future.

Key words: gold deposit types; ore-controlling factors; prospecting direction; Bogda-Harlik

新疆博格达—哈尔里克成矿亚带是准噶尔成矿带的重要组成部分 (董连慧等, 2010), 包括博格达山、哈尔里克山等。地质调查工作开展相对较

早, 但由于工作条件所限, 以往工作程度相对较低。近年来, 随着工作重点的转移, 在该区相继完成了一批重要的区域地质调查、找矿勘查和综合研

收稿日期: 2013-03-18; 修回日期: 2013-07-13

基金项目: 十二五科技支撑计划重点项目“博格达—哈尔里克成矿带铜-金成矿条件研究及靶区评价”(2011BAB06B04-2) 与新疆中亚造山带大陆动力学与成矿预测实验室开放课题(XJDX1102-2011-04) 共同资助

作者简介: 李平 (1987-), 男, 新疆乌苏市人, 硕士研究生, 矿物学、岩石学、矿床学专业, 主要从事造山带、火山岩与成矿的研究。E-mail: liping3731@163.com

究类项目,取得了一些新的进展和成果。同时,也发现了一批重要的金属矿产。其中,以铜、金矿为主。例如,达坂城(马学玉,1994)、博斯塘的层控砂页岩型铜矿;琼祖尔开、双泉(徐斌等,2009)等韧性剪切带型金矿;阔木达坂、索尔巴斯陶(肖庆华,2001)火山热液型铜、金矿等。但笔者通过全面收集区内区域成矿规律研究地质成果及金矿床(点)资料,重点研究该区金矿类型、地质特征及其控矿因素,分析该区大地构造演化过程对金矿床形成的制约,进而总结区域金矿成矿规律,指明各类型矿床在实际地质勘查中的找矿标志。

1 区域成矿地质背景

从大地构造划分看,研究区位于天山-兴蒙造山系(I)准噶尔-吐哈地块(I-13)(潘桂棠等,2009),其北侧为早石炭世卡拉麦里蛇绿混杂岩带(汪帮耀等,2009),南侧为晚寒武世一早奥陶世康古尔塔格蛇绿混杂岩带(李文铅等,2008),就其古生代大地构造属性,由博格达晚古生代裂谷(顾连兴等,2000;2001a;王银喜等,2005)和哈尔里克古生代复合岛弧组成(马瑞士等,1993)。

1.1 哈尔里克古生代复合岛弧

区内出露最老的地层前震旦系小铺岩群

(AnZx)主要由结晶片岩、片麻岩、变粒岩斜长角闪岩和大理岩等组成。除寒武一下志留统未出露外,从上志留统到第四系均有分布,其中晚古生代地层最为发育(图1)。区内岩浆活动十分强烈、频繁,根据近年来的研究成果(李锦轶等,2002;曹福根等,2006;郭华春等,2006;汪传胜等,2009a;2009b;陈希节等,2010),将哈尔里克山地区古生代的构造演化大致划分为4个构造阶段:①早古生代(中奥陶世—早志留世)岛弧阶段。本阶段火山岩为一套海相安山质火山岩,形成于岛弧构造环境,很可能与其南侧康古尔塔格碰撞带前身洋盆向北的俯冲有密切关系(李锦轶等,2006);②中志留世—晚泥盆世弧后区演化阶段。根据前人研究,吐哈盆地南缘活动陆缘的弧岩浆前锋带具有向南迁移的特点,中志留世—晚泥盆世期间,弧岩浆前锋带很可能开始向南迁移到了大南湖一带;③石炭纪弧后伸展拉伸阶段。下石炭统姜巴斯套组(C_{1j})为一套酸性火山-陆源碎屑岩建造,且火山岩具有典型的双峰式组合特征,形成于卡拉麦里洋盆闭合碰撞造山后的拉张伸展环境(汪帮耀等,2011)。上石炭统居里得能组(C_{2j})为一套陆相沉积环境的火山-沉积建造,位于火山弧前和弧后的浅海地区;④二叠纪后碰撞演化阶段。该阶段岩浆侵入活动强烈,酸性岩体广泛分布。二叠纪以后,

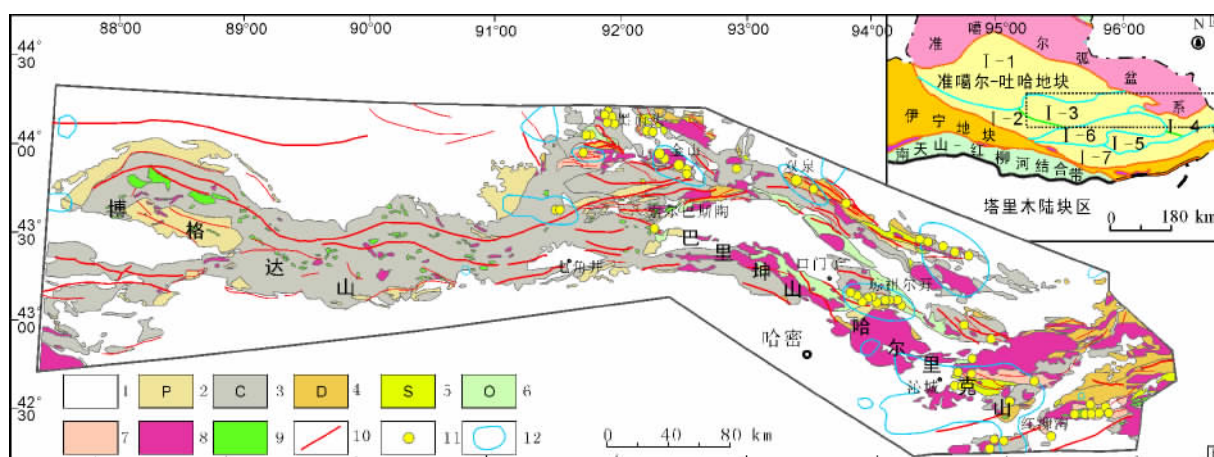


图1 博格达—哈尔里克地区大地构造图(a)和金矿(化)点分布图(b)

Fig. 1 Tectonic map (a) and distribution map (b) of gold deposits in Bogda-Harlik area

1. 中—新生界; 2. 二叠系; 3. 石炭系; 4. 泥盆系; 5. 志留系; 6. 奥陶系; 7. 前寒武系; 8. 中酸性侵入体; 9. 基性侵入体;
10. 主要断裂; 11. 金矿(化)点; 12. Au化探异常; I. 天山兴蒙造山系; I-1. 准噶尔地块; I-2. 依连哈比尔尕晚古生代裂陷槽; I-3. 博格达晚古生代裂谷; I-4. 哈尔里克古生代复合岛弧; I-5. 大南湖古生代岛弧; a. 大地构造位置(据成守德, 2010修改); b. 研究区地质简图(据1:20万、1:5万地质图修改)

该区进入后碰撞陆内演化阶段，下二叠统与下伏地层为不整合接触关系，为陆相中性火山岩建造或海相磨拉石建造，上二叠统为陆相碎屑岩。区内构造变形以发育北西向线（带）状的韧-脆性构造变形带为特征，并发育与火山机构有关的构造断裂系统，在哈尔里克北坡一带形成强应变构造带，为成矿热液的运移提供了很好的通道。

1.2 博格达晚古生代裂谷

博格达造山带主要出露石炭系，下石炭统火山岩主要是海相环境下的产物，东段七角井组（ C_1qj ）火山岩为块状、枕状玄武岩与流纹岩互层的双峰式火山岩建造（顾连兴等，2000；王银喜等，2006）；上石炭统柳树沟组（ C_2l ）大面积出露，为一套安山岩-玄武岩-英安质凝灰岩建造。该造山带侵入岩很少，除造山后期拉张环境下大量辉绿岩呈顺层贯入和岩株外，仅有个别花岗闪长岩和钾长花岗岩小岩体和岩株。根据花岗岩侵入活动、火山岩地质以及元素地球化学研究成果，认为博格达造山带是大陆裂谷环境（田黎萍等，2010；王方成等，2010；梁婷等，2011）。该裂谷拉张始于早石炭世（陈登超等，2010；王金荣等，2010），在七角井一带出现双峰式火山岩建造，向上为滨海相火山碎屑-陆缘碎屑岩，上石炭统一下二叠统为滨浅海相陆源碎屑岩夹中酸性火山岩，结束于晚石炭世末期，早二叠世进入后造山伸展的演化阶段（第鹏飞等，2010；熊发挥等，2011）。上二叠统为陆相含磷、油页岩的正常碎屑岩，中新世界不整合其上，为含煤建造和红层。该造山带构造挤压活动较弱，断裂构造发育，褶皱开阔，反映出急剧拉张后平稳隆起为

陆的天折裂谷特点（顾连兴等，2001b）。

2 金矿类型及特征

矿床分类是矿床学研究的重要内容之一，就金矿的分类而言，由于分类依据的原则和分类方法不同，前人的分类方案也不尽相同（伟永福等，1994；陈毓川等，2001；王有标等，2006）。这些方案分别从矿床成因、成矿物质来源、成矿大地构造背景、岩石建造以及工业类型等方面进行了分类。众所周知，金矿物质来源具有多源性，成矿作用也具复杂性和多期次、叠加改造的特点，绝大多数金矿并非单一成因。

在博格达-哈尔里克成矿带内，已知金矿产地57处，主要分布于研究区东部。例如，口门子韧性变形带、卡拉麦里变形带以及金山地区。其成矿时代主要集中于晚古生代（表1），成因类型复杂多样。笔者以成矿作用和成矿方式为基础，以控矿构造、含矿建造为依据，结合成矿环境，将该地区已发现的金矿床（点）分为4个主要类型：韧性剪切带型金矿、火山热液型金矿、岩浆热液型金矿以及沉积型金矿。

2.1 韧性剪切带型金矿

该类金矿成矿地质背景为晚石炭世—二叠纪碰撞造山期后的伸展张弛环境，含矿建造为蚀变凝灰岩-绢云母糜棱岩建造。典型矿床双泉金矿沿卡拉麦里-莫钦乌拉脆-韧性剪切带及次级剪切带分布，位于次级构造单元清水-南明水褶皱束中（路彦明等，2007），金矿体多赋存在蚀变糜棱岩及石英脉中；矿石结构多呈碎裂结构；糜棱结构，矿石构造

表1 博格达-哈尔里克地区金矿主要成因类型及成矿时代结构表

Tah 1 Major deposit genetic type and metallogenic epoch of gold deposit in Bogda-Harlik Area

矿床类型	含矿建造	成矿时代					代表性矿床
		总计	D	C	P	Q	
韧性剪切带型金矿	蚀变糜棱岩及石英脉	16	3	12	1	0	双泉、琼祖尔开、塔水、板房沟、白杨沟、冬窝子、一碗泉
火山热液型金矿	玄武岩-流纹岩-英安质凝灰岩	17	3	13	1	0	索尔巴斯陶、沙尔萨依、准巴斯陶、麻黄沟、阿克达坂
岩浆热液型金矿	含矿石英脉-黄铁矿绢英片岩	20	1	14	5	0	金山、金山金矿西、黑山头、头宫东金矿、沁城上庄子
沉积型金矿	第四系残坡积物、洪冲积物	4	0	0	0	4	白山头、塔水河塔勒、头宫东砂金矿点
总计		57	7(占12.28%)	39(占70.18%)	7(占12.53%)	4(占7.01%)	57处

呈细脉浸染状、条带状、网脉状；围岩蚀变主要有绿泥石化、硅化、黄铁矿化、毒砂化和绢云母化等，多形成强片理化、千枚岩化。其中，Au 与 As、Sb 等元素密切相关。

根据镜下观察细脉的穿插关系和结晶顺序，将双泉金矿的成矿过程分为 3 个成矿阶段：第 I 阶段为黄铁矿-毒砂阶段；第 II 阶段为金-石英-毒砂-黄铁矿阶段；第 III 阶段为石英多金属硫化物阶段（黄铜矿和黝铜矿）。其中，第 I、II 阶段为该矿区的主成矿阶段，测得毒砂与黄铁矿稳定共生的温度分别约为 330~450℃ 和 300~430℃（聂小勇等，2009）。毒砂和黄铁矿在热液成矿过程中与 Au 同时沉淀，其生成的温度范围（300~450℃）也能大致反映此阶段的成矿温度和成矿热液温度。

通过对双泉金矿的含金石英脉流体包裹体氢氧同位素的测试，其结果表明 $\delta D/(\text{‰})$ 的值为 -97 ， $\delta^{18}O_{H_2O}/(\text{‰})$ 的值为 8.8 ，表明成矿流体中水的来源主要为变质水（路彦明等，2007），成矿物质主要来源于下石炭统南明水组下亚组（ C_1n^3 ），岩性主要为粉砂岩和碳质粉砂岩，夹砾岩、长石砂岩、凝灰质砂岩和凝灰岩。利用 Ar-Ar 法获得 3 个绢云母矿物和 1 个含 Au 石英脉的等时线年龄，从而获得其主成矿期成矿时代为 $269 \pm 9 \text{ Ma} \sim 260 \pm 4 \text{ Ma}$ （徐斌等，2009）。

最近新发现的琼祖尔开金矿化点位于口门子-板房沟大断裂与孔库尔大断裂、南山口-板房沟大断裂的转折交汇部位，同时也是塔水-板房沟韧性剪切带与南部未变质变形地层的交界部位，不同构造线的地质体互相交织穿插，次级断裂较发育，热液活动强烈。金矿体主要发育在灰绿色糜棱岩化凝灰岩、黄铁矿化蚀变千糜岩和灰色黄铁矿化长英质超糜棱岩中。岩石风化面为褐红色，已普遍发生黄铁矿化、硅化和高岭土化，形成受糜棱面理控制的带状蚀变，硅化强烈地段黄铁矿化石英脉发育。石英脉呈中-细粒状，半透明-乳白色为多，颜色发暗（浅烟灰色-灰色）和杂色者都伴有黄铁矿化，部分石英脉具碎裂和网脉状重新胶结的现象，该类石英脉与矿化关系密切。

琼祖尔开一带的金矿化主要发育于塔水-板房沟韧性剪切带中，该剪切带所卷入的地层中晚奥陶世塔水组（ $O_{2-3}t$ ）的岩石普遍发生低绿片岩相的低温动力变质作用。主要变质岩石为绢云千枚岩、绿

泥千枚岩、绢云石英千枚岩、绢云绿泥千枚岩和绿泥石英千枚岩等。原岩为中性火山岩夹碎屑岩。韧性剪切作用又在上述变质岩石基础上叠加糜棱岩化作用，在后期的脆性变形中又伴生出许多沿构造走向的脆性断裂，为成矿流体的迁移提供了动力和通道，使 Au 元素在塔水组中富集。李锦轶（2003 年）在该区采集的绢云千枚岩，测得新生绢云母生成年龄为 296 Ma，可视为该剪切带的低温动力变质事件年龄。在该矿化点附近沿塔水-喀拉乌台克段具有相同地质条件的金矿化点还有 10 余处，矿化岩层均受强变形带和糜棱面理控制，并发生了强烈黄铁矿化和硅化等蚀变作用，属于韧性剪切变质变形作用伴生的加流体现象形成的水岩变质，具有多期次叠加的特征，具有很好的找矿前景。

2.2 火山热液型金矿

该类型金矿成矿地质背景为准噶尔洋壳早石炭世俯冲碰撞海-陆交互环境，含矿建造为安山岩-凝灰质砾岩、沉凝灰岩-玄武岩建造。区内火山岩-火山碎屑岩地层广泛分布，大多金矿产于其中。例如，索尔巴斯陶金矿。该矿区出露地层岩性主要为杏仁状玄武岩、玄武质安山岩、安山岩、火山角砾岩以及熔结凝灰岩。在矿区内见有一长轴北东-南西向的穹窿构造，断裂构造走向北东和北西为主，其次近南北向断裂以及环穹窿发育的环状断裂或放射状断裂。矿区出露的蚀变熔结凝灰岩全岩 Rb-Sr 等时线年龄为 $265 \pm 6.7 \text{ Ma}$ ，由于岩石遭受了强烈的硅化和黄铁矿化，该年龄只能作为矿区内一次热事件所发生的时间（李华芹等，2004）。

矿区内火山岩十分发育，主要为石炭纪火山岩，其环状、放射状构造形迹十分明显，已确定多处火山机构。索尔巴斯陶金矿处于火山机构的中心地带，且已发现与火山机构有关较好的矿化；矿体主要产于火山角砾岩和熔结凝灰岩中，矿体以含 Au 石英脉为主；矿体形态为脉状、透镜状、不规则状；主要蚀变类型有硅化、黄铁矿化、绢云母化、绿泥石化、高岭土化、碳酸盐化等。矿石矿物除自然金外，金属硫化物以黄铁矿为主，其次为毒砂、黄铜矿。同位素年代研究表明，含 Au 石英脉石英流体包裹体 Rb-Sr 等时线年龄为 $268 \pm 8.3 \text{ Ma}$ （李华芹等，2004），表明金矿成矿时代远晚于赋矿围岩地层，而与矿区出露的蚀变熔结凝灰岩的年龄

一致。

该类型的矿化点还有阿克达坂金矿化点。该矿点产于下石炭统姜巴斯套组第一岩性段内 (C_1j^1)。主要岩性为玄武岩、安山岩、火山角砾岩、凝灰岩和霏细岩等; 北西向断裂发育; 围岩为安山岩、中基性火山角砾岩, 具强烈的绿帘石化、绿泥石化, 受北西西断裂影响, 破碎强烈, 强硅化、褐铁矿化, 具较好的找矿指示意义。类似的还有准巴斯陶、麻黄沟、梧桐窝子泉北和沙尔萨依等金矿化点。

2.3 岩浆热液型金矿

该类型金矿成矿地质背景为晚石炭世—早二叠世碰撞造山挤压环境及造山期后伸展拉张环境, 含矿建造为含石英脉-黄铁矿绢英片岩。该类型矿床在研究区有较多分布, 其成矿时代集中于华力西中晚期, 多形成于板块缝合带和区域性断裂剪切带中, 赋矿围岩为石炭系安山岩-凝灰质细砂岩、花岗闪长岩、闪长岩。典型矿床金山金矿产于以华力西中期为主的石英闪长岩-花岗闪长岩(金山岩体)中酸性侵入体中; 金矿晚于岩体形成, 矿体形态多为脉状、透镜状; 主要围岩蚀变为硅化、绿泥石化、绢云母化、碳酸盐化和褐铁矿化。金矿主要产于石英脉体中, 以石英脉型金矿石为主, 品位不稳定, 当脉体破碎程度高, 呈角砾状, 碎裂状结构, 且被硫化物网脉胶结时, Au品位最富, 可达十几g/t。金主要以自然金产出, 大都呈被膜状、片状, 少量粒状, 一般成群出现于石英脆性裂隙之中或网脉状褐铁矿中, 分布极不均匀。在氧化矿石中, 当有大量孔雀石出现时, 往往可发现大量明金。主要金属矿物组合简单, 为自然金、黄铁矿、黄铜矿、孔雀石、褐铁矿; 其成矿物质主要来自于岩浆期后热液(肖庆华, 2001)。类似的沁城一带金矿化点多赋存于烟褐色、红褐色石英脉中, 矿化蚀变为褐铁矿化、黄钾铁矾化。该类型矿化点在区内广泛分布, 大多产于中酸性侵入岩体内或是岩体边部。随着接下来勘查找矿工作的进一步深入, 这类型金矿将会有所突破。同类型的还有金山金矿西、黑山头和黑山头金矿西等矿化点。

2.4 沉积型金矿

该类型金矿多分布于板块缝合线及俯冲带附近、深大断裂及不同时代的岛弧带内。这些部位构造岩浆活动强烈, 也是形成岩金矿(化)的有利地

段, 因而可为砂金提供丰富的物质来源。其形成同时还依赖于风化剥蚀条件、良好的搬运介质、水动力条件以及有利的沉积封存条件。

区内该类型矿床分布较少, 主要为冲洪积型和残坡积型砂金矿, 研究区内该类型矿床主要形成于第四系残坡积物中, 岩石由砾石、砂及黏土组成, 分选差, 磨圆度低, 多呈棱角-次棱角状, 少量次圆状, 杂乱堆积。矿体多呈透镜状、囊状, 规模小且不稳定, 品位的贫富悬殊也很大。典型矿床塔水河塔勒砂金矿点分布于沟谷中, 由洪水冲刷、搬运而形成的砂金矿床, 沿塔水河两侧岩石糜棱岩化强烈, 石英细脉发育, 其成矿物质主要来源于中上奥陶统大柳沟组第四段岩石风化剥蚀产物。该类型矿床在区内分布很少, 现已发现的只有白山头西砂金矿点和头宫东砂金矿点。

3 控矿因素分析

3.1 大地构造环境控矿

不同的大地构造环境产出不同类型的金矿, 不同的构造单元产有不同的矿床类型。博格达晚古生代经历了早石炭世拉张形成裂谷环境, 很快在晚石炭世转为碰撞挤压造山, 由于造山后期构造应力的释放, 在早二叠世晚期转入松弛伸展环境, 大规模断裂构造带形成, 同时伴随非造山期以碱性为主的岩浆活动。整个阶段岩浆活动频繁, 尤其是火山热液萃取了含Au丰度较高地层中的Au元素, 断裂构造又为成矿提供了通道, 这样的大地构造环境为成矿作用提供了有利条件。哈尔里克古生代复合岛弧在加里东期为康古尔塔格古洋盆或卡拉麦里古洋盆向北、向南俯冲时形成的岛弧环境, 到华力西期处于拉张和挤压、深部滑脱的构造环境, 有利于该区的成矿物质的形成、活化、迁移和富集成矿。

3.2 地层岩性建造控矿

地层对成矿的控制作用表现为含矿建造及地层岩石化学性质和物理性质对成矿的影响。区内泥盆纪和石炭纪火山活动最为强烈, 火山岩地层分布广泛。火山热液型金矿大多产于早石炭统火山岩系中, 含矿火山岩系为玄武-安山-流纹岩-沉凝灰岩建造和玄武-凝灰岩建造。矿源层大多是Au丰度高的凝灰质(细)砂岩和安山质火山碎屑岩等。例如, 索尔巴斯陶金矿。韧性剪切带型金矿的最佳层

位是中晚奥陶塔水组 ($O_{2-3}t$), 该组地层具有较高的 Au 元素异常, 地层中含有丰富的成矿物质, 后期的构造挤压环境使得成矿元素活化迁移, 在有利地段富集成矿。例如, 琼祖尔开金矿。

总体上, 博格达晚古生代裂谷在早石炭世拉张阶段形成与火山作用有关金 (铜) 矿床, 主要赋存于下石炭统双峰式火山岩建造内 (七角井组), 成矿与石炭纪火山喷发活动密切相关。矿床产于早石炭世火山活动中心地带, 主要受火山喷发沉积盆地及火山机构控制。哈尔里克古生代复合岛弧的老地层中晚奥陶塔水组 ($O_{2-3}t$) 中含有丰富的成矿物质, 在后期的岩浆活动、构造挤压作用下, 成矿元素被萃取出来形成矿化体, 为金矿体的形成提供了物质来源。

3.3 岩浆侵入作用控矿

岩浆侵入活动不仅能为矿体的形成提供温度、压力等成矿条件, 还能为成矿提供丰富的物质来源。研究区岩浆侵入活动剧烈而频繁, 各个时代侵入岩体形态、产状不一, 岩性复杂多样, 成因类型和岩石序列齐全。其中, 晚古生代是研究区岩浆作用最活跃的时期, 特别是石炭纪侵入岩更加发育, 也为成矿作用提供了物质来源和热力学动力。博格达造山带分布广泛的辉绿岩岩床及少量闪长岩-花岗闪长岩和钾长花岗岩岩株, 侵位于上石炭统, 其中, 辉绿岩顺岩层呈岩床产出, 遍布博格达山脉, 具典型辉绿结构、嵌晶辉长结构。闪长岩、花岗闪长岩、二长花岗岩和钾长花岗岩均为小岩株、岩枝状产出。哈尔里克地区以二长花岗岩为主, 侵入最新地层为上石炭统。

从目前收集的资料来看, 石炭纪主要岩体测年成果为小铺片麻状黑云母花岗岩锆石 311 ± 9 Ma (孙桂华等, 2007)、奥姆尔塔格碱性花岗岩 U-Pb 同位素年龄为 287.6 ± 2.1 Ma (汪传胜等, 2009)、小堡花岗岩体 U-Pb 同位素年龄为 297 ± 2 Ma 和 295 ± 2 Ma (陈希节等, 2010)。主要岩体测年成果表明侵入上石炭统的侵位时代主要集中在 $310 \sim 280$ Ma, 可视为后碰撞深成岩浆活动 (韩宝福等, 2006)。从宏观上看, 博格达-哈尔里克地区与金矿有关的岩浆岩主要集中于华力西中晚期的花岗岩、花岗闪长岩侵入体, 剧烈岩浆活动对已有矿化或矿源层进行热液改造和再次富集, 产于中酸性侵入体及其接触带中的石英脉型金矿成矿流体来源都

显示出了岩浆期后热液特征。岩浆侵入活动与金属矿成矿在空间、时间和成因上关系密切。

3.4 断裂构造控矿

成矿带受大的构造断裂带控制, 矿床多分布在大断裂附近, 矿床中的矿体则大多受次一级断裂控制, 这些断裂不仅存在于围岩接触带, 而且在岩体内部也有分布, 既可以为岩浆的侵入、含矿热液的流动提供通道, 又可以为成矿流体的热源、水源、矿源以及成矿物理化学条件变化、矿体定位等提供能量。

断裂构造能为岩浆期后热液, 火山期后热液及地下水热液的活动提供了十分便利的条件。各种热液的广泛活动有利于淬取中-基性火山岩中的成矿物质而形成含矿热液, 断裂构造为 Cu、Au 等成矿物质的迁移与富集提供了矿液运移的通道和矿质赋存的空间。例如, 阿克达坂金矿化点产于断裂破碎带中, 明显受断裂构造控制。

韧性剪切带形成于深部构造层次, 流体来源深, 温度压力高, 这种构造环境非常有利于高温、高压流体长期稳定的存在, 这种流体富含 Cl、I、F、B、 CO_2 、 H_2S 等, 具有高侵蚀性、强淋滤性和溶解造岩、造矿组分的能力。经历了高温卤水长时间的侵蚀、淋滤和溶解作用后, 原岩 (中-基性火山岩) 中 Au、Cu 等成矿物质大部分被淋滤出来, 多呈化合物形式存在于高温、高压流体 (卤水) 中。由于后期造山运动的影响, 使这些形成于深部的韧性剪切带及其含矿流体被抬升至浅部, 随着温度压力的降低, 物理化学条件的改变及地表水的参与, 含矿流体中的 Cu、Au 等成矿物质因失稳而沉淀, 形成铜、金矿。此外, 韧性剪切带内岩石较之围岩具有较大的渗透性, 有利于成矿物质的迁移与富集。因此, 口门子一带的铜、金矿 (化) 点多分布于强变形带-韧性剪切带中或其附近。目前, 已发现的韧性剪切带型金矿琼祖尔开金矿就产于口门子一带的塔水-板房沟韧性剪切带。已发现的双泉金矿、金窝子金矿和白杨沟金矿等也都分布在韧性剪切带地层中及其附近。

4 区域找矿方向

4.1 化探异常特征

目前, 收集的新疆 1:20 万水系化探成果表

明,在研究区内发育2处综合化探异常:博格达—七角井Cu、Au、Zn综合异常带和大南湖Cu、Ni、Au综合异常带。前者位于东天山博格达—七角井—白石头一带,以Cu、Au、Zn为主,异常规模及面积较小,分布零散,多呈单元异常分布,仅在部分地区形成多元素异常集中区。例如,七角井—吴家庄子Cu、Au、Ni、Sb、Pb异常集中区,是铜、金成矿远景地区。后者位于沙尔湖到庙尔沟一带,以Cu、Au为主,自西向东形成多元素异常集中区。例如,大南湖Cu、Ni、Au异常集中区,是铜、金、镍成矿远景地区。

近年的1:5万化探资料也表明(口门子幅,2012),区内Au元素平均含量高于新疆北部元素丰度值,且博格达—哈尔里克一带Au异常区大多数异常集中在中晚奥陶塔水组($O_{2-3}t$)中,Au、Ag、Cu、Pb、Zn元素平均丰度值均高于新疆北部元素丰度值。其中,Au元素为新疆北部元素丰度值的5.2~25.9倍。该组分布于天山庙—塔水—白杨沟、板房沟一带,其中北西向脆性断裂十分发育,受剪切变质变形作用影响,岩石的千枚岩化、糜棱岩化强烈,受深部变质流体的改造,一些地段硅化、黄铁矿化、碳酸盐化发育,形成北西走向的石英脉群。其中,有15个金矿(化)点和4个铜矿化点均发育在韧性剪切作用和其流体活动带中。该组地层在琼祖尔开一带处于几组断裂交汇和构造线转折部位,岩石组合在该地段火山岩、火山碎屑岩逐渐增多,正常碎屑岩明显减少,是火山活动强烈地区。上述几种地质条件的叠加,使得本区段的成矿作用更加明显,形成的矿(化)点更加集中。

由此可见,这些成矿元素丰富的地层在晚古生代吐—哈洋盆双向俯冲发生大规模火山活动,从火山活动过程中带来了大量的成矿物质,形成主要有泥盆纪和石炭纪火山岩地层组成的古生代岛弧。后期华力西中晚期岩浆热液活动中,热液沿构造裂隙运移,与围岩发生交代作用,并从围岩中汲取部分成矿物质,发生热液叠加作用,在构造裂隙中沉积形成矿化体,为金成矿提供了物质基础。

4.2 找矿方向

博格达—哈尔里克成矿带受控于晚古生代复杂的构造演化运动,为区内不同类型金矿的产出提供了良好的成矿地质背景。各类型金矿的控矿因素可归纳入下。

(1) 韧性剪切带型金矿:其有利控矿构造为塔水—板房沟韧性剪切带,成矿地质环境为晚石炭世—二叠纪碰撞造山及造山期后的伸展张弛环境,找矿标志为脆—韧性剪切带中蚀变糜棱岩及含石英英脉,断裂破碎带及韧性剪切带是找金的有利部位。在哈密地区口门子一带分布。已知金矿床琼祖尔开金矿点以及同类型十余处金矿化点均出露于此,且区域化探显示出该剪切带附近地层Au元素正异常较强,是今后寻找该类型金矿的有利地段。

(2) 火山热液型金矿:其成矿地质背景为准噶尔洋壳早石炭世俯冲碰撞海—陆交互环境,有利含矿建造为玄武岩—流纹岩—英安质凝灰岩建造,找矿标志为古火山机构中的火山—次火山岩。已知的索尔巴斯陶金矿产于该建造,该地层主要集中分布于博格达造山带东段七角井一带,是今后寻找该类型金矿的有利地段。

(3) 岩浆热液型金矿:其成矿地质背景为石炭纪—早二叠世陆陆碰撞造山挤压环境及造山期后伸展拉张环境,含矿建造为含石英英脉—黄铁矿绢英片岩,强绿泥石化、硅化、褐铁矿化的中—基性火山岩、黄钾铁钒化石英脉是找金的间接标志。有利成矿的侵入岩为华力西中晚期花岗岩、花岗闪长岩等酸性侵入体,矿床多产于岩体边部及侵入围岩地层的岩脉中,在哈密地区沁城一带分布广泛,且化探异常也显示出该地区是今后寻找该类型金矿的有利地段。

综上所述,矿床的形成与成矿地质环境及成矿作用密切相关,受各种地质条件控制,成矿具明显时空分布和有序演化规律。研究与厘定各类矿床识别标志及后期变化特征,有利于揭示区内不同类型矿床控矿规律,为该区下一步找矿工作指明了方向,具重要理论和实际指导意义。

参考文献 (References):

- 潘桂棠,肖庆辉,陆松年,等.中国大地构造单元划分[J].中国地质,2009,36(1):1-28.
- Pan Guitang, Xiao Qinghui, Lu Songnian, et al. Subdivision of tectonic units in China [J]. Geology in China, 2009, 36(1): 1-28.
- 汪帮耀,姜常义,李永军,等.新疆东准噶尔卡拉麦里蛇绿岩的地球化学特征及大地构造意义[J].矿物岩石,

- 2009, 29 (3): 74-82.
- Wang Bangyao, Jiang Changyi, Li Yongjun, et al. Geochemistry and tectonic implications of Karamaili ophiolite in east Junggar of XinJiang [J]. Journal of Mineralogy and Petrology, 2009, 29 (3): 74-82.
- 李文铅, 马华东, 王冉, 等. 东天山康古尔塔格蛇绿岩 SHRIMP 年龄、Nd-Sr 同位素特征及构造意义[J]. 岩石学报, 2008, 24 (4): 773-780.
- Li Wenqian, Ma Huadong, Wang Ran, et al. SHRIMP dating and Nd-Sr isotopic Tracing of Kangguertage ophiolite in eastern Tianshan, Xinjiang [J]. Acta Petrologica Sinica, 2008, 24 (4): 773-780.
- 顾连兴, 胡受奚, 于春水, 等. 东天山博格达造山带石炭纪火山岩及其形成地质环境[J]. 岩石学报, 2000, 16 (3): 305-320.
- Gu Lianxing, Hu Shouxi, Yu Chunshui, et al. Carboniferous volcanites in the Bogda orogenic belt of eastern Tianshan: their tectonic implications [J]. Acta Petrologica Sinica, 2000, 16 (3): 305-320.
- 顾连兴, 胡受奚, 于春水, 等. 博格达陆内碰撞造山带挤压-拉张构造转折期的侵入活动[J]. 岩石学报, 2001, 17 (2): 187-198.
- Gu Lianxing, Hu Shouxi, Yu Chunshui, et al. Intrusive activities during compression-extension tectonic conversion in the Bogda in tracontinental orogeny [J]. Acta Petrologica Sinica, 2001, 17 (2): 187-198.
- 顾连兴, 胡受奚, 于春水, 等. 论博格达俯冲撕裂型裂谷的形成与演化 [J]. 岩石学报, 2001, 17 (4): 585-597.
- Gu Lianxing, Hu Shouxi, Yu Chunshui, et al. Initiation and evolution of the Bogda subduction-torn-type rift [J]. Acta Petrologica Sinica, 2001, 17 (4): 585-597.
- 王银喜, 顾连兴, 张遵忠, 等. 博格达裂谷闭合和区域隆起的同位素年代学证据及地质意义[J]. 地球学报, 2005, 26 (增刊): 102-104.
- Wang Yinxi, Gu Lianxing, Zhang Zunzhong, et al. Isotopic Chronologic Evidence of Bogda Rift Closure and Regional Uplift and Its Geological Significance [J]. Acta Geoscientica Sinica, 2005, 26 (Sup.): 102-104.
- 马瑞士, 王赐银, 叶尚夫, 等. 东天山构造格架及地壳演化[M]. 南京: 南京大学出版社, 1993.
- Ma Ruishi, Wang Ciyin, Ye Shangfu, et al. The tectonic framework and crustal evolution of East Tianshan [M]. Nanjing University Publishing House, Nanjing, 1993.
- 孙桂华, 李锦轶, 高立明, 等. 新疆东部哈尔里克山闪长岩锆石 SHRIMP U-Pb 定年及其地质意义[J]. 地质论评, 2005, 51 (4): 463-469.
- Sun Guihua, Li Jinyi, Gao Liming, et al. Zircon SHRIMP U-Pb Age of a Dioritic Pluton in the Harlik Mountain, Eastern Xinjiang, and Its Tectonic Implication [J]. Geological Review, 2005, 51 (4): 463-469.
- 孙桂华, 李锦轶, 朱志新, 等. 新疆东部哈尔里克山片麻状黑云母花岗岩锆石 SHRIMP U-Pb 定年及其地质意义[J]. 新疆地质, 2007, 25 (1): 4-10.
- Sun Guihua, Li Jinyi, Zhu Zhixin, et al. Zircons Shrimp U-Pb Dating of Gneissoid-Biotitic Granite in Harlik Mountains, Eastern of Xinjiang and its Geological Implications [J]. Xinjiang Geology, 2007, 25 (1): 4-10.
- 赵明, 舒良树, 朱文斌, 等. 东疆哈尔里克变质带的 U-Pb 年龄及其地质意义[J]. 地质学报, 2002, 76 (3): 379-383.
- Zhao Ming, Shu Liangshu, Zhu Wenbin, et al. Zircon U-Pb Dating of the Rocks from the Harlik Metamorphic Belt in Eastern Xinjiang and Its Geological Significance [J]. Acta Geologica Sinica, 2002, 76 (3): 379-383.
- 李锦轶, 王克卓, 李文铅, 等. 东天山晚古生代以来大地构造与矿产勘查 [J]. 新疆地质, 2002, 22 (4): 295-230.
- Li Jinyi, Wang Kezhao, Li Wenqian, et al. Tectonic Evolution Since the Late Paleozoic and Mineral Prospecting in Eastern Tianshan Mountains, NW China [J]. Xinjiang Geology, 2002, 22 (4): 295-230.
- 曹福根, 涂其军, 张晓梅, 等. 哈尔里克山早古生代岩浆弧的初步确定——来自塔水河一带花岗质岩体锆石 SHRIMP U-Pb 测年的证据[J]. 地质通报, 2006, 25 (8): 923-927.
- Cao Fugen, Tu Qijun, Zhang Xiaomei, et al. Preliminary determination of the Early Paleozoic magmatic arc in the Harlik Mountains, East Tianshan, Xinjiang, China—Evidence from zircon SHRIMP U-Pb dating of granite bodies in the Tashuihe area [J]. Geological Bulletin of China, 2006, 25 (8): 923-927.
- 郭华春, 钟莉, 李丽群. 哈尔里克山口门子地区石英闪长岩锆石 SHRIMP U-Pb 测年及其地质意义[J]. 地质通报, 2006, 25 (8): 928-931.
- Guo Huachun, Zhong Li, Li Liqun. Zircon SHRIMP U-Pb dating of quartz diorite in the Koumenzi area, Harlik Mountains, East Tianshan, Xinjiang, China, and its geological significance [J]. Geological Bulletin of China,

- 2006, 25 (8): 928-931.
- 汪传胜, 顾连兴, 张遵忠, 等. 东天山哈尔里克山区二叠纪高钾钙碱性花岗岩成因及地质意义[J]. 岩石学报, 2009, 25 (6): 1499-1511.
- Wang Chuansheng, Gu Lianxing, Zhang Zunzhong, et al. Petrogenesis and geological implications of the Permian high-K calc-alkaline granites in Harlik Mountains of eastern Tianshan, NW China [J]. Acta Petrologica Sinica, 2009, 25 (6): 1499-1511.
- 汪传胜, 顾连兴, 张遵忠, 等. 新疆哈尔里克山二叠纪碱性花岗岩-石英正长岩组合的成因及其构造意义[J]. 岩石学报, 2009, 25 (12): 3182-3196.
- Wang Chuansheng, Gu Lianxing, Zhang Zunzhong, et al. Petrogenesis and tectonic implications of the Permian alkaline granite and quartz-syenite assemblage in Harlik Mountains, Xinjiang [J]. Acta Petrologica Sinica, 2009, 25 (12): 3182-3196.
- 陈希节, 舒良树. 新疆哈尔里克山后碰撞期构造-岩浆活动特征及年代学证据[J]. 岩石学报, 2010, 26 (10): 3057-3064.
- Chen Xijie, Shu Liangshu. Features of the post-collisional tectono-magmatism and geochronological evidence in the Harlik Mountains, Xinjiang [J]. Acta Petrologica Sinica, 2010, 26 (10): 3057-3064.
- 李锦轶, 王克卓, 孙桂华, 等. 东天山吐哈盆地南缘古生代活动陆缘残片: 中亚地区古亚洲洋板块俯冲的地质记录[J]. 岩石学报, 2006, 22 (5): 1087-1102.
- Li Jinyi, Wang Kezhao, Sun Guihua, et al. Paleozoic active margin slices in the southern Turfan-Hami basin: geological records of subduction of the Paleo-Asian Ocean plate in central Asian regions [J]. Acta Petrologica Sinica, 2006, 22 (5): 1087-1102.
- 汪帮耀, 姜常义, 李永军, 等. 新疆卡拉麦里姜巴斯套组火山岩地球化学特征与构造意义[J]. 地球科学与环境学报, 2011, 33 (3): 237-245.
- Wang Bangyao, Jiang Changyi, Li Yongjun, et al. Geochemical Characteristics and Tectonic Implications of Kalamaili Jiangbasitao Formation Volcanic Rock in Xinjiang [J]. Journal of Earth Sciences and Environment, 2011, 33 (3): 237-245.
- 王银喜, 顾连兴, 张遵忠, 等. 博格达裂谷双峰式火山岩地质年代学与 Nd-Sr-Pb 同位素地球化学特征[J]. 岩石学报, 2006, 22 (5): 1215-1224.
- Wang Yinxi, Gu Lianxing, Zhang Zunzhong, et al. Geochronology and Nd-Sr-Pb isotopes of the bimodal volcanic rocks of the Bogda rift [J]. Acta Petrologica Sinica, 2006, 22 (5): 1215-1224.
- 顾连兴, 于春水, 李宏宇, 等. 博格达上大河沿岩体铷-锶同位素年龄及其地质意义[J]. 矿物岩石地球化学通报, 2000, 19 (1): 19-21.
- Gu Lianxing, Yu Chunshui, Li Hongyu, et al. Rb-Sr Isotope Age of the Shangdaheyan Intrusion in the Bogda Orogenic Belt and its Geological Implications [J]. Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry, 2000, 19 (1): 19-21.
- 田黎萍, 王金荣, 汤中立, 等. 新疆博格达山东段早石炭世火山岩地球化学特征及其构造意义[J]. 兰州大学学报 (自然科学版), 2010, 46 (4): 30-41.
- Tian Liping, Wang Jinrong, Tang Zhongli, et al. Geochemical characteristic and tectonic significance of the early carboniferous volcanic rocks in eastern Bogda mountains of Xinjiang region [J]. Journal of Lanzhou University (Natural Sciences), 2010, 46 (4): 30-41.
- 王方成, 蔡晓菊. 新疆博格达山晚古生代花岗岩地球化学特征及构造意义[J]. 兰州大学学报 (自然科学版), 2010, 46 (5): 1-6.
- Wang Fangcheng, Cai Xiaojie. Geochemical characteristics and tectonic significance of the late Paleozoic granites in eastern Bogda mountains, Xinjiang [J]. Journal of Lanzhou University (Natural Sciences), 2010, 46 (5): 1-6.
- 梁婷, 郭新成, 高景刚, 等. 博格达山东段石炭纪火山岩地球化学及构造属性[J]. 新疆地质, 2011, 29 (3): 289-295.
- Liang Ting, Guo Xincheng, Gao Jinggang, et al. Geochemistry and Structure Characteristic of Carboniferous Volcanic Rocks in the Eastern of Bogda Mountain [J]. Xinjiang Geology, 2011, 29 (3): 289-295.
- 陈登超, 赵省民, 邓坚. 新疆东部博格达山北侧石炭系碎屑锆石 U-Pb 定年及其地质意义[J]. 地质学报, 2010, 84 (12): 1770-1780.
- Chen Dengchao, Zhao Shengmin, Deng Jian. U-Pb Dating of Carboniferous Sandstone Detrital Zircon from the North of the Bogda Mountains, Eastern Xinjiang, and Its Geological Significance [J]. Acta Geologica Sinica, 2010, 84 (12): 1770-1780.
- 王金荣, 李泰德, 田黎萍, 等. 新疆博格达造山带晚古生代构造-岩浆演化过程: 火山岩组合及地球化学证据[J]. 岩石学报, 2010, 26 (4): 1103-1115.
- Wang Jinrong, Li Taide, Tian Liping, et al. Late Paleozo-

- ic tectono-magmatic evolution in Bogda Orogenic Belt, Xinjiang: Evidence from geochemistry of volcanic rocks [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2010, 26 (4): 1103-1115.
- 第鹏飞, 李泰德, 王金荣, 等. 新疆博格达造山带东段二叠纪流纹岩地球化学特征及地质意义[J]. *兰州大学学报 (自然科学版)*, 2010, 46 (6): 8-19.
- Di Pengfei, Li Taide, Wang Jinrong, et al. Geological significance and geochemical characteristics of Permian rhyolite from the eastern section of Bogda orogenic belt, Xinjiang [J]. *Journal of Lanzhou University (Natural Sciences)*, 2010, 46 (6): 8-19.
- 熊发挥, 杨经绥, 贾毅, 等. 新疆博格达白杨沟的枕状熔岩: 岩石地球化学和 Sr-Nd-Pb 同位素特征[J]. *中国地质*, 2011, 38 (4): 838-854.
- Xiong Fahui, Yang Jingsui, Jia Yi, et al. The pillow lava of Baiyanggou in Bogda, Xinjiang: geochemical and Sr-Nd-Pb isotopic characteristics [J]. *Geology in China*, 2011, 38 (4): 838-854.
- 伟永福, 吕英杰, 江雄新, 等. 中国金矿床[M]. 北京: 地震出版社, 1994.
- Wei Yongfu, Lü Yingjie, Jiang Xiongxin, et al. Gold deposits in China [M]. Earthquake Publishing House, Beijing, 1994.
- 陈毓川, 李兆, 毋瑞身, 等. 中国金矿床及其成矿规律[M]. 北京: 地质出版社, 2001.
- Chen Yuchuan, Li Zhao, Wu Ruishen, et al. Gold deposits in China and its metallogenic regularity [M]. Geological Publishing House, Beijing, 2001.
- 王有标, 赵殿甲. 中国新疆金矿床 [M]: 北京: 地质出版社, 2006.
- Wang Youbiao, Zhao Dianjia. Gold deposits in Xinjiang, China [M]. Geological Publishing House, Beijing, 2006.
- 路彦明, 赵军, 陈祥, 等. 东准噶尔双泉地区韧-脆性剪切带与金矿成矿 [J]. *新疆地质*, 2007, 25 (2): 164-168.
- Lu Yanming, Zhao Jun, Chen Xiang, et al. The Relationship Between Ductile-Brittle Shear Zones and Mineralization of Gold Deposits in Shuangquan Area, Eastern Junggar [J]. *Xinjiang Geology*, 2007, 25 (2): 164-168.
- 聂晓勇, 宋谢炎, 薄科武, 等. 卡拉麦里金矿带典型矿床-双泉金矿的地质地球化学特征及成因[J]. *矿物岩石地球化学通报*, 2009, 28 (2): 169-176.
- Nie Xiaoyong, Song Xieyan, Bo Kewu, et al. The Geological-geochemical Characteristics and Genesis of Shuangquan Typical Gold Deposit in Kalameily Belt, East Junggar, Xinjiang [J]. *Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry*, 2009, 28 (2): 169-176.
- 徐斌, 路彦明, 顾雪祥, 等. 新疆奇台地区双泉金矿床的成矿时代 [J]. *地质通报*, 2009, 28 (12): 1871-1884.
- Xu Bin, Lu Yanming, Gu Xuexiang, et al. Metallogenic epoch of the Shuangquan gold deposit in Qitai area, Xinjiang, China [J]. *Geological Bulletin of China*, 2009, 28 (12): 1871-1884.
- 李华芹, 陈富文. 中国新疆区域成矿作用年代学[M]. 北京: 地质出版社, 2004.
- Li Huaqin, Chen Fuwen. Isotopic geochronology of regional mineralization in Xinjiang, NW China [M]. Geological Publishing House, Beijing, 2004.
- 肖庆华. 新疆哈密市金山金矿床成矿地质特征[J]. *新疆有色金属*, 2001, (S1): 46-49.
- Xiao Qinghua. The geological features of Jinshan Gold Deposit in Hami of Xinjiang [J]. *Nonferrous Metals*, 2001, (S1): 46-49.
- 韩宝福, 李建清, 宋彪, 等. 新疆准噶尔晚古生代陆壳垂向生长 (I) —后碰撞深成岩浆活动的时限[J]. *岩石学报*, 2006, 22 (5): 1077-1086.
- Han Baofu, Ji Jianqing, Song Biao, et al. Late Paleozoic vertical growth of continental crust around the Junggar Basin, Xinjiang, China (Part I): Timing of post-collisional plutonism [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2006, 22 (5): 1077-1086.