新疆北部大地构造演化阶段与斑岩–浅成低温热液矿床的构造环境类型

王玉往　王京彬　龙灵利　邹　滔　王莉娟

(北京矿产地质研究院,北京 100012)

提要:本文系统总结了新疆北部斑岩–浅成低温热液矿床的成矿时代,按构造环境将该类矿床归为三大类型:洋–陆俯冲型、碰撞造山型、板内型,其中碰撞造山型又可分为碰撞型和后碰撞型。4 类矿床的差别主要在于矿床金属元素组合,以及同期相伴出现的矿床类型不同:俯冲型斑岩矿床以斑岩 Cu–Au 矿–浅成低温热液 Au 矿组合为主,以伴有海相火山岩有关的 VMS 矿床和铁矿为特征;碰撞型和后碰撞型矿床以斑岩 Cu–Mo–Au 组合为主,伴有构造蚀变岩型复合/叠加的浅成低温热液型 Au 矿出现;板内型矿床以斑岩型单 Mo(或 Mo–Re)组合为主。斑岩矿床与浅成低温热液矿床虽为同一成矿系统,但二者基本不共生,且后者成矿时代一般晚于前者 10~20 Ma。斑岩–浅成低温热液矿床的含矿岩石和成矿特征并不随构造环境类型不同而出现特征性差别。不同时期的斑岩矿床在分布上具有继承性和"同位成矿"特点,并表现出一定的分带性,从早到晚逐渐由靠近缝合带向外扩展、由线型分布逐渐趋于面型分布。

关　键　词:斑岩铜(钼)矿床;构造环境;成矿时代;矿床组合;新疆北部

中图分类号:P54;P611　　**文献标志码**:A　　**文章编号**:1000–3657(2012)03–0695–22

新疆北部斑岩铜(钼)矿(包括斑岩铜矿、斑岩钼矿、斑岩铜金矿、斑岩铜钼金矿等,下同)发育,是全球三大斑岩铜矿带之一的中亚成矿带的一部分,在近 20 年来找矿取得了重大突破。前人在矿床的成矿地质特征、成矿年代和成矿类型、成矿背景、成矿机制、含矿斑岩的地质地球化学等诸多方面开展了深入研究,积累了丰富的资料,并在区域成矿规律、成矿特点和成矿动力学背景等方面进行了总结和探讨[1–13]。然而,由于该区板块构造复杂,(早)古生代以前具明显的多陆块拼贴特点,之后的碰撞–后碰撞构造–岩浆作用发育,并显示出多构造单元(多成矿区带)、多构造阶段、多元素类型的产出特征,使人们对于斑岩矿床构造背景/成矿环境类型的认识存在很大分歧。

世界上早期发现和研究的斑岩铜(钼)矿主要在环太平洋成矿带,因此建立了比较完善和成熟的斑岩铜(钼)矿床成矿模式[14–18]。然而近年来,中国矿床学家发现,国内的斑岩铜(钼)矿床主要产于大陆环境,其成矿特征和成矿机制与弧环境下的斑岩铜(钼)矿床有明显的区别[19–22],并总结出大陆环境的斑岩铜钼矿床可产于四大类型构造环境,即:晚碰撞走滑环境、后碰撞伸展环境、后造山伸展环境和非造山崩塌环境[20]。新疆北部已发现斑岩矿床时代从晚志留世(如蒙西铜钼矿辉钼矿 Re–Os 年龄 412 Ma[23])到中三叠世(如白山钼矿辉钼矿 Re–Os 年龄 225–229 Ma[24–26]),跨越了多个大地构造演化阶段,其成矿地质背景和构造属性有待深入系统的讨论。

由于斑岩铜(钼)矿与浅成低温热液金(银)矿成生关系密切,二者常在同一构造环境相伴产出,本文将其一起讨论。在收集和研究前人资料基础上,笔者在对新疆北部构造演化阶段进行了系统分析,通过对各成矿带、矿化集中区斑岩–浅成低温热液矿床成矿年龄和构造背景的梳理,结合本文补充的部分

收稿日期:2011–11–18;**改回日期**:2012–02–08

基金项目:国家重点基础研究发展规划项目(2007CB411304 和 2001CB409806)资助。

作者简介:王玉往,男,1965 年生,博士,教授级高工,主要从事矿床地质及成矿预测研究;E–mail:wyw@cnncm.com。

地球化学测试数据,重点对 15 个代表性矿床及其有关含矿岩石和成矿物质来源特征进行了整理和对比,对新疆北部斑岩矿床产出的构造环境类型进行划分,以期对深刻认识本区该类矿床的成矿背景、成矿规律和找矿工作有所启示。

1 新疆北部大地构造演化阶段

斑岩矿床的产出特征与大地构造背景密切有关。新疆北部(大致北纬 40°以北),一般指天山(包括东天山和西天山)、准噶尔和阿尔泰地区,属于中亚造山带的一部分。该区地跨西伯利亚、哈萨克斯坦和塔里木三大一级板块构造,其演化历史以弧、增生杂岩、海山和大洋高原的增生为主,并以多块体拼贴碰撞为主要形式,这种复杂的增生过程被认为与古亚洲洋的闭合有关[27-30]。纵观该区的构造演化历史,特别是与斑岩-浅成低温热液矿床形成有关的地质历史,大致经历了 3 个造山-成矿演化阶段:即石炭纪以前的古洋陆格局演变阶段、石炭纪晚期—二叠纪的碰撞/后碰撞阶段和三叠纪以后的中新生代盆山耦合阶段。从整个早—晚古生代古地磁资料的整理结果[31]显示:西伯利亚克拉通与塔里木克拉通的古地磁极指示的相向运动,在泥盆纪—石炭纪(400~308 Ma)出现转折,而在二叠纪末—三叠纪初(250~240 Ma)趋于稳定(而与现今古纬度相仿)。这可能暗示了板块拼合作用的起点和终点。

1.1 北疆地区主要缝合带及洋盆闭合时限

由于新疆北部斑岩矿床大部分形成于泥盆纪—石炭纪[11],该时期正是北疆地区板块构造活动高峰期,也是洋陆格局转变的重要时期。新疆北部晚古生代多块体的拼合并不是同时完成的,各洋盆闭合的时限也因此不同。

额尔齐斯蛇绿混杂岩带(科克森套—乔夏哈拉带),是准噶尔板块和西伯利亚板块之间的缝合带,向西与哈萨克斯坦查尔斯克蛇绿岩带相接,向东经乔夏哈拉、布尔根蛇绿岩与南蒙古蛇绿岩带相接,构成了一条规模巨大的蛇绿混杂岩带。该缝合带所代表的洋盆(斋桑洋),其洋壳俯冲可能从早志留世就已经开始,并可能延续到晚泥盆世。科克森套地区库尔吐班套蛇绿岩(辉长岩中锆石 U-Pb 年龄 364 Ma[32])和布尔根蛇绿岩(拉斑玄武岩 SHRIMP 锆石年龄 352 Ma[33])的形成时代在晚泥盆世末—早石炭世初,为该区洋盆打开时间。在吐尔库班套地区,早石炭世纳林卡拉组(C_1n)底部的磨拉石建造不整合在同碰撞期片麻状花岗岩之上;在那林卡拉地区,富含珊瑚、菊石的下世炭统那林卡拉组(C_1n)(相当于维宪阶顶部层位)底部发育厚 170 m 余的花岗质底砾岩,与下伏中泥盆统蕴都喀拉组呈角度不整合接触[34]。以上证据表明额尔齐斯洋盆关闭的时间在早石炭世。

东准噶尔卡拉麦里蛇绿岩带和西准噶尔的达拉布特蛇绿岩带,其两侧的构造-建造特点基本相似,不具有划分板块构造边界的意义,可能为准噶尔早泥盆世再生洋盆的洋壳残片。在卡拉麦里山见维宪阶南明水组沉积不整合在蛇绿岩套之上[35],其南麓双井子一带相应层位的松喀尔苏组(C_1s)为巨厚砂砾岩建造夹煤线,微角度不整合在塔木岗组(D_3t)之上;西准噶尔,不整合在克拉玛依蛇绿岩带之上的火山磨拉石建造中辉石安山岩的锆石 SHRIMP U-Pb 年龄为 336 Ma[36];不整合在白碱滩蛇绿岩之上的火山岩 SHRIMP U-Pb 年龄 329 Ma[37]。因此,准噶尔洋盆闭合时间为早石炭世[37]。

北天山古洋盆的关闭时间,一直存在较大的争议。北天山蛇绿混杂岩带沿北天山北缘断裂两侧呈 NWW-SEE 向展布,向东可断续延入东天山干沟一带。其中巴音沟蛇绿岩中辉长岩和斜长花岗岩的锆石 U-Pb 年龄为 344 Ma[38]和 325 Ma[39],是北天山洋目前发现的最年轻的蛇绿岩;侵入其中的四棵树花岗岩体具钉合岩体意义,岩体中部花岗闪长岩的锆石 U-Pb 年龄为 316 Ma[40],表明该洋盆关闭的时间在早晚石炭世之间(316~325 Ma)。

塔里木板块被动陆缘与其以北的联合拼贴体的碰撞发生在晚石炭世晚期。南天山蛇绿岩带是新疆北部一条具板块边界意义的巨型蛇绿岩带,沿蛇绿岩带北缘发育有高压-超高压变质岩,其中西南天山榴辉岩锆石变质边的 U-Pb 年龄为 319 Ma[41],与高俊等(2006)测得蓝片岩 Rb-Sr 等时线年龄(302~313 Ma)[42] 和西邻吉尔吉斯斯坦阿特巴什榴辉岩 Sm-Nd 等时线年龄(319±4 Ma)[40],均指示与碰撞相关的变质作用发生在晚石炭世;而该蛇绿岩带最早的钉合岩体为 300 Ma[40],推测南天山洋的闭合时限应在 319~300 Ma。

可见,新疆北部晚古生代多块体的拼合并不是同时的,洋盆闭合时间似有由北向南逐渐变新之势。总体上在伊犁—中天山微板块以北,洋盆的相继闭合时间在晚泥盆世末到早石炭世末。新疆北部广泛

发育的 D/C 区域性不整合[43]及区域变形和变质作用等,可能代表了这次相继拼贴事件的产物。由于拼贴碰撞的时间不同, 其后碰撞的发生时间各区段也不尽相同。塔里木板块被动陆缘与其以北的联合拼贴体发生在晚石炭世晚期的碰撞, 造就了北疆地区统一的新陆壳。

1.2 后碰撞的起始时限

按照 Liegeois(1998)的定义[44],后碰撞发生在主碰撞之后, 通常为陆内环境, 但仍有较大的地体位移。值得说明的是,板块构造运动由洋-陆俯冲,到陆-陆碰撞, 再转换为后碰撞的过程是一个连续演化过程。关于后碰撞构造阶段的岩浆活动特点,许多学者认为该以发育碱性-过碱性杂岩[34, 45~46]、典型的"双峰"岩石组合[46~47]、含有一定量的幔源或壳源的新生组分[44,48]为特点。新疆北部早石炭世和早二叠世均发育双峰式火山岩, 特别是早二叠世天山—准噶尔等地区裂陷盆地中陆相偏碱性玄武质-碱性长英质火山喷发, 以及以喀拉通克和黄山—香山为代表的含铜镍矿的基性-超基性侵入杂岩带的形成,标志着后岩浆碰撞活动强烈的特征。该区碱性岩类(包括碱性花岗岩、富碱花岗岩、A_2 型花岗岩)主要形成于晚石炭世和早二叠世: 卡拉麦里地区碱性花岗岩类的锆石 U-Pb 年龄在 302~314 Ma[49~51],哈尔里克小铺地区碱性花岗岩、基性岩墙群时代在 290~270 Ma[52];西准噶尔大红山富碱花岗岩的 U-Pb 锆石年龄(305±4)Ma[37];萨吾尔地区恰其海和阔依塔斯 A_2型花岗岩锆石 U-Pb 年龄分别为 291 Ma 和 298 Ma[53];西天山达巴特 A_2 型花岗岩锆石 U-Pb 年龄为 289 Ma[54]。综上所述,新疆北部各地块进入后碰撞构造阶段的时间基本限定在晚石炭世—早二叠世。

当汇聚的大陆板块完全焊接在一起, 开始围绕一个统一的旋转轴运动时,就进入了板内构造体制,标志着后碰撞阶段的结束[44]。新疆北部自三叠纪之后再无大规模的岩浆活动, 特别是火山活动基本绝迹;古地磁资料显示[31]在这一时期之后,西伯利亚和塔里木板块活动基本趋于同步。标志着大致在早三叠世开始,整个新疆北部进入板内阶段。

2 新疆北部斑岩-浅成低温热液矿床的时空分布和构造类型

新疆北部斑岩-浅成低温热液矿床矿集中分布于以下 8 个成矿带(或矿集区):东准噶尔造山系北缘的卡拉先格尔—索尔库都克斑岩铜钼矿带、东准噶尔造山系东南部的琼河坝铜钼金矿带、东准噶尔卡拉麦里金矿带、西准噶尔地块东缘的包古图铜钼金矿带、西准噶尔北部的萨吾尔金铜矿集区、吐哈地块南缘的东天山铜钼金矿带、伊犁地块北缘的博罗霍洛铜钼金矿带、伊犁地块中部的阿吾拉勒铜金矿带(图 1)。

区内主要斑岩-浅成低温热液矿床的产出时代如表 1,主要有晚志留世、晚泥盆世、早石炭世、晚石炭世、二叠纪和三叠纪等几个时期(表 1)。

2.1 卡拉先格尔—索尔库都克铜钼成矿带

该成矿带可分为东、西 2 个矿化集中区:

东部的卡拉先格尔斑岩铜矿矿集区主要有希勒克特喀腊苏和玉勒肯喀腊苏 2 个中型铜矿, 卡拉先格尔、乌伦布拉克小型铜矿,以及喀腊萨依等矿点,成矿组合以单 Cu 为主, 玉勒肯喀腊苏伴生 Au、Mo。与斑岩期成矿有关的斑岩体为花岗闪长斑岩、石英闪长斑岩、二长花岗斑岩等,侵入于中泥盆世及其之前的含火山岩地层, 成岩成矿为中—晚泥盆世(同位素年龄集中在 374~381 Ma,表 1)。该矿集区夹于布尔根—科克森套蛇绿岩(352~364 Ma[32, 33])和库尔提蛇绿岩(372 Ma[99])之间,形成于蛇绿岩之前,紧邻布尔根蛇绿岩(北部)同火山期发育富 Nb 玄武岩[100]和苦橄岩[101],应属洋壳俯冲作用形成的大洋岛弧环境。与该成矿带同期相伴的还形成了阿尔泰山南缘的 VMS 型矿床(阿舍勒、可可塔勒、铁木尔特等)和海相火山成因铁矿床(蒙库、阿巴宫、乔夏哈拉等),一起构成同期的沟-弧-盆成矿体系,是额尔齐斯洋向北侧西伯利亚板块俯冲的产物。该成矿带向东可能与蒙古的欧玉陶勒盖—查干苏布尔加斑岩铜矿大型矿集区(365~373 Ma[102~105])属同期构造成矿带。

西部的索尔库都克—希勒库都克矿集区, 以希勒库都克斑岩中型 Mo-Cu 矿床为代表, 并产有希 II 区等铜钼矿点。含矿斑岩为英安斑岩、流纹斑岩、花岗斑岩, 成岩成矿时代在早石炭世末—晚石炭世初(326~329 Ma,表 1),与该矿集区索尔库都克矽卡岩型 Cu-Mo 矿(323 Ma❶)同时代产出。额尔齐斯缝合带中国境内尚未发现钉合岩体, 哈萨克斯坦 Zhilandy 和 Tochka 两个"钉合岩体"的锆石 U-Pb 年龄分别为 307 Ma 和 299 Ma [40];但库尔吐班套蛇

❶973 项目"陆缘增生过程与成矿物质富集"课题(2007CB411302)2011 年年度汇报资料.

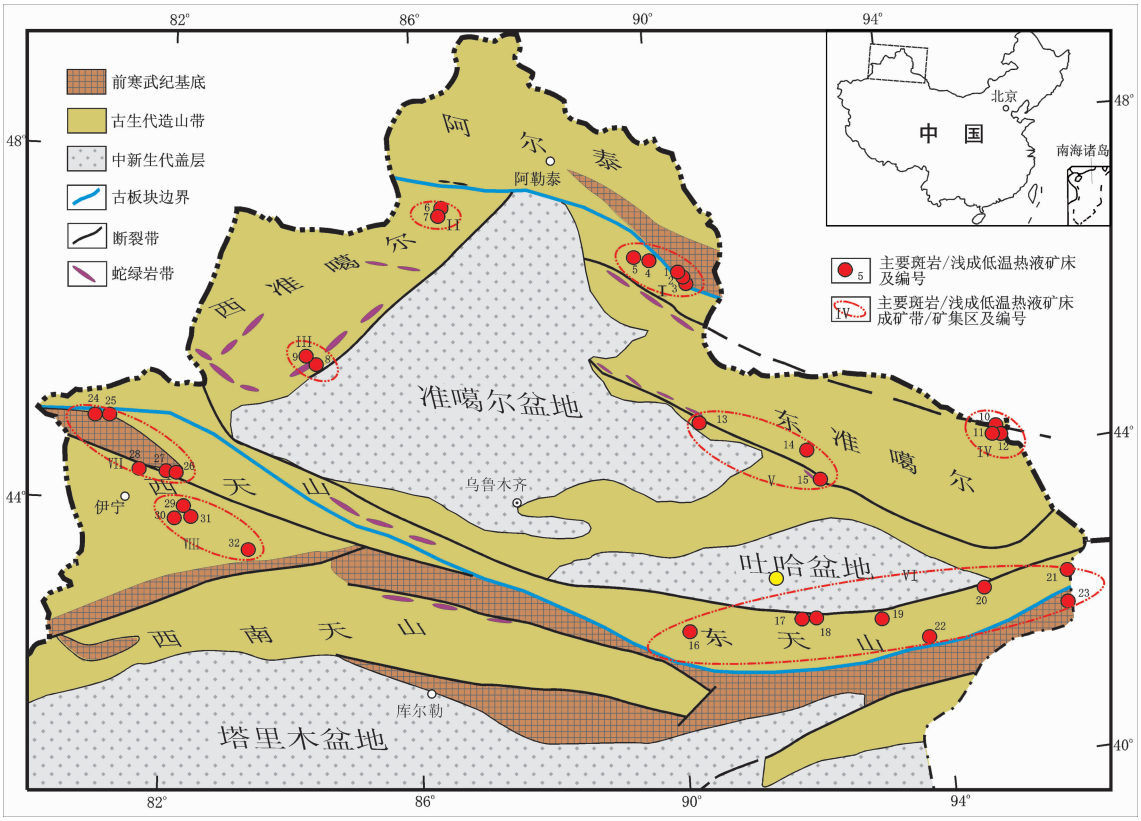

图 1 新疆北部主要斑岩–浅成低温热液矿床分布图

矿床编号:1—玉勒肯哈腊苏 Cu 矿;2—哈拉苏 Cu 矿;3—卡拉先格尔 Cu 矿;4—希勒库都克 Mo–Cu 矿;5—索尔库都克 Cu–Mo 矿;6—布尔克斯岱 Au 矿;7—阔尔真阔腊 Au 矿;8—包古图 Cu–Mo(Au)矿;9—阿达依 Cu 矿;10—云英山–蒙西 Cu–Mo 矿;11—北山 Au 矿;12—和尔赛 Cu–Mo 矿;13—金山沟 Au 矿;14—双峰山 Au 矿;15—索尔巴斯套 Au 矿;16—石英滩 Au 矿;17—延东–延西 Cu 矿;18—土屋 Cu 矿;19—赤湖 Cu–Mo 矿;20—三岔口 Cu–Mo 矿;21—白山 Mo 矿;22—东戈壁 Mo 矿;23—马庄山 Au 矿;24—汗吉尕 Cu 矿;25—达巴特 Cu–Mo 矿;26—肯登高尔 Cu–Mo 矿;27—莱历斯高尔 Mo–Cu 矿;28—阿希 Au–Ag 矿;29—莫斯早特 Cu 矿;30—109Cu–Ag 矿;31—群吉 Cu 矿;32—乔霍特 Cu 矿。成矿带/矿集区编号:Ⅰ—卡拉先格尔–索尔库都克;Ⅱ—萨吾尔;Ⅲ—包古图;Ⅳ—琼河坝;Ⅴ—卡拉麦里;Ⅵ—东天山;Ⅶ—博罗霍洛;Ⅷ—阿吾拉勒

Fig.1 Distribution of major porphyry–epithermal deposits in northern Xinjiang

Serial number of ore deposit: 1–Yelekenkalasu copper deposit; 2–Kalansu copper deposit; 3–Kalaxiangeer copper deposit; 4–Xilekuduke molybdenum–copper deposit; 5–Suerkuduke copper–molybdeum deposit; 6–Buerkesidai gold deposit; 7–Kuoerzhenkuola gold deposit; 8–Baogutu copper–molybdenum deposit; 9–Adayi copper deposit; 10–Yunyinghsan–Mengxi copper–molybdenum deposit; 11–Beishan gold deposit; 12–Heersai copper–molybdenum deposit; 13–Jinshangou gold deposit; 14–Shuangfengshan gold deposit; 15–Suoerbasitao gold deposit; 16–Shiyingtan gold deposit; 17–Yandong–Yanxi copper deposit; 18–Tuwu copper deposit; 19–Chihu copper–molybdenum deposit; 20–Sanchakou copper–molybdenum deposit; 21–Baishan molybdenum deposit; 22–Donggebi molybdenum deposit; 23–Mazhuangshan gold deposit; 24–Hanjiga gold deposit; 25–Dabate copper–molybdenum deposit; 26–Kendenggaoer copper–molybdenum deposit; 27–Lailisigaoer molybdenum–copper deposit; 28–Axi gold–silver deposit; 29–Mosizaote copper deposit; 30–109 copper–silver deposit; 32–Qunji copper deposit; 32–Qiaohuote copper deposit.Serial number of metallogenic belt / ore concentration area: Ⅰ–Xilekuduke–Suerkuduke; Ⅱ–Sawueq; Ⅲ–Baogutu; Ⅳ–Qiongheba; Ⅴ–Kalamaili; Ⅵ–East Tianshan; Ⅶ–Bolohuolo; Ⅷ–Awulale

绿岩混杂岩带片麻状花岗岩的 U–Pb 锆石年龄为 355 Ma[32],可能代表蛇绿岩俯冲至消减带就位时的年龄,推测该洋盆闭合时代可能较早,据地层角度不整合推测[34],可能在早石炭世。因此,该区斑岩–矽卡岩矿床形成于碰撞–后碰撞环境, 明显晚于卡拉先格尔地区的俯冲型斑岩铜矿(374~381 Ma),空间位置也略远离布尔根(—额尔齐斯—科克森套)蛇绿岩带, 为额尔齐斯洋盆闭合后准噶尔陆块与西伯利亚板块碰撞(在准噶尔一侧)的产物。

2.2 东天山斑岩–浅成低温热液型铜钼金矿成矿带

东天山古生代造山带夹于吐哈地块和中天山地块之间,在空间上可分为北(吐哈盆地南缘)、中(康

表 1 新疆北部部分斑岩–浅成低温热液矿床的成岩成矿年代

Table 1 Rock–forming and ore–forming epochs of part of porphyry–epithermal deposits in northern Xinjiang

成矿区带(矿集区)	矿床名称	主要矿种（规模）	成岩年龄/Ma	成矿年龄/Ma
Ⅰ. 卡拉先格尔–索尔库都克	喀腊苏	Cu（中型），伴生 Au	375.2、381[7, 55]	376.9、378.3[7, 56]
	卡拉先格尔	Cu（小型）	390.2、393.3[57]	
	玉勒肯喀腊苏	Cu（中型），伴生 Au、Mo	381.6[58]	373.9[13]
	喀腊萨依	Cu（矿点）	376[55]	
	希勒库都克	Mo-Cu（中型）	329.2[59]	327.1[59]
Ⅱ. 萨吾尔	阔尔真阔腊	Au（中型）	347[60]	332、333[61]
	布尔克斯岱	Au（中型）	347[60]	336、337[61]
	罕哲尕能	Cu-Au（小型）	335、345[62]	
Ⅲ. 包古图	包古图 Cu 矿	Cu-Au-Mo（大型），伴生 Ag	311.4[63]，309.9[64]，312.3[65]	310、316.0[65, 66]
	阿达依	Cu-Mo（矿点）		312 ❶
Ⅳ. 琼河坝	蒙西	Cu-Mo（中型）	411.7[67] 、412.7[68]	411.6[23]
	和尔赛	Cu-Mo（小型）	404.9、411.1[69]	
	淖毛湖北山	Au（小型）		346[67]
Ⅴ. 卡拉麦里	双峰山	Au（中型）	C1（火山岩）	274[70]
	金山沟	Au（中型）	C1（火山岩）	267[71]
Ⅵ. 东天山	土屋	Cu（特大型），伴生 Au、Ag	333～356[72, 73]	322.7～347[73-75]
	延东	Cu(特大型)，伴生 Au、Mo、Ag	333、338.3[72, 76]	322.7[74]
	延西	Cu-Mo（小型），伴 Au、Ag		326.2[77]
	赤湖	Cu-Mo（小型）	322[78]，329.44、330.22[79]	
	三岔口	Cu-Mo（中型）	278[80]，276[81]	
	马庄山	Au（大型）	301～303[82]	298[82]
	石英滩	Au(-Ag)中型	261～293[83]，287[84]	244、276、288[83]
	白山	Mo（大型）	239[85]	225～233[24]，229[85]，227.8[86]
	东戈壁	Mo（特大型）	228[87]	
Ⅶ. 博罗霍洛	莱历斯高尔	Mo-Cu（小型）	362、350±15[88]，346[89]	359、379.9[88, 90]
	3571	Cu（小型），伴生 Ag	354[89]	
	阿希	Au-Ag	363.2[91]	340[83]
	肯登高尔	Cu-Mo（小型）	314[92]	313.9[92]
	科克赛	Cu-Mo（矿点）	317 ❷	
	达巴特	Cu-Mo（小型）	315.9、278.7[93]，288.9[54]	301±20[94]
Ⅷ. 阿吾拉勒	莫斯早特	Cu（小型）	256[95]，248±12[83]	242.6[83]
	群吉萨依	Cu（小型）	260.8、274.68[83]	255[96]
	圆头山	Cu（矿点）	290[97]	
	松树沟	Cu-Au（矿点）	298[98]	286[98]

古尔塔格)、南(阿齐山–雅满苏)3 个构造–地层(岩浆)–成矿带[106],经历了泥盆纪古大洋形成、早石炭世俯冲造山、晚石炭世—早二叠世碰撞造山、中晚二叠世陆内逆冲变形等构造阶段[107],而该区零星出现的三叠纪岩浆活动和成矿事件，可能属于印支期克拉通内部调整阶段的产物[108],由于缺少广泛和大面积地质体(尤其火山岩)出露,本文赞同其隶属板内构造阶段的认识。该区斑岩–浅成低温热液矿床也分别属于上述 3 个成矿带不同构造演化阶段。

吐哈盆地南缘的土屋—延东斑岩铜矿矿集区:是目前新疆最大的斑岩铜矿矿集区,包括土屋、延东 2 个超大型铜矿和延西、赤湖、玲珑等小型铜(钼)矿、矿点,成矿组合以单 Cu 为主,可伴生 Au、Ag、Mo。与斑岩期成矿有关的斑岩体为斜长花岗斑岩、闪长斑岩等,侵入于早石炭世及其以前的地层,成岩成矿时代为早石炭世 (同位素年龄集中在 325~356 Ma,表 1),伴生一套与洋壳俯冲有关的岛弧岩浆岩组合埃达克岩–高镁安山岩–富 Nb 玄武岩组合[109]。早石炭世的康古尔洋盆可能存在向北和向南的双向俯冲[107],土屋—延东斑岩铜矿的形成被认为是康古尔洋向北俯冲的产物[110],小热泉子矿床的早期 VMS 矿化(339 Ma[111])应为与之配套的弧内盆地形成[112];向南俯冲则可能造成阿齐山—雅满苏地区海相火山沉积–同期(或后期)岩浆热液叠加的铁(铜)矿(如

❶973 项目“陆缘增生过程与成矿物质富集”课题(2007CB411302)2011 年年度汇报资料.

❷国家三〇五项目“大型斑岩型铜(钼、金)矿床预测和靶区评价技术与应用研究”(2006BAB07B01)课题 2011 年年度总结报告.

雅满苏铁矿、沙泉子铁铜矿等),由于形成于海水较浅的滨海环境,VMS 矿床不发育。

晚石炭世之后,该区抬升为陆相沉积,大面积 I 型花岗岩分布,表明洋盆已经闭合进入碰撞-后碰撞时期[106,107];该期主要在缝合带南侧形成了一套浅成低温热液型 Au 矿(如石英滩、马庄山等),其成矿作用与早期火山活动之后的次火山岩浆热液活动有关,成矿年龄普遍晚于成岩年龄和同阶段斑岩矿床(可达 10~20 Ma,与国内外该类矿床特点一致),成矿时代在 244~298 Ma(表 1);三岔口小型铜钼矿床也形成于该构造期,其含矿的花岗闪长斑岩同位素年龄在 276~278 Ma(表 1),矿区发育同期的碱长花岗岩;该成矿带北侧吐哈盆地内卡拉塔格地区的红山矿床,为一小型斑岩-(高硫化)浅成低温热液型铜金矿床[113],也可能是这一时期(或者更晚的板内期)岩浆活动的产物。之后,由于陆内俯冲推覆和走滑剪切构造运动,形成一系列剪切带与浅成低温热液型复合的金矿带(康古尔、红石等剪切带型 Au 矿,时限较宽,主成矿阶段为 261.0~252.5 Ma[114]),与稍早的浅成低温热液金矿具有时间、空间和物质来源方面的继承性。

该成矿带印支期形成了颇具特色的斑岩钼矿成矿集中区,目前已发现白山、东戈壁 2 处大型、超大型 Mo 矿床,是新疆北部最具找矿潜力的斑岩钼矿成矿带。其成矿元素组合以单钼(或铼钼)为特点,不伴生铜和金,成矿与斑状花岗岩、二长花岗斑岩有关,成岩成矿时代均为早三叠世(225~229 Ma,表 1),属板内构造阶段的产物[86],空间上出现在阿齐山—雅满苏(即南带)的南部,更加远离缝合带和靠近中天山古陆。

2.3 西天山博罗霍洛斑岩-浅成低温热液型铜-钼-金矿成矿带

该成矿带至少存在 3 期斑岩-浅成低温热液成矿作用:

晚泥盆世末—早石炭世成矿期,已发现的主要有莱历斯高尔、东图津等小型斑岩铜钼矿床和 3 571 等矿点,并发现有哈勒尕提矽卡岩型铜矿,在吐拉苏盆地则产有新疆最大的阿希—伊尔曼德浅成低温热液型金矿矿集区。该期成矿元素组合为 Cu-Au-Mo,含矿斑岩为花岗闪长斑岩、花岗斑岩、石英闪长玢岩等,成岩成矿年龄集中在 340~362 Ma(表 1),与巴音沟蛇绿岩中辉长岩(344 Ma[38])同期或略早,阿希金矿区还发育有与洋壳俯冲有关的岛弧岩浆岩组合(埃达克岩-高镁安山岩组合)[109]。矿床的形成应与巴音沟洋向南俯冲有关[4],矿床出产于缝合带的南侧,即主动大陆边缘一侧。与之相伴产出的阿吾拉勒地区的海相火山沉积-同期(或后期)岩浆热液叠加的铁(铜)矿(如备战、查岗诺尔、智博等铁矿),与东天山地区雅满苏带铁矿形成环境类似,即由于处于海水较浅的滨海环境,VMS 矿床不发育。

晚石炭世成矿期,产有科克赛、肯登高尔等小型铜钼矿床,成矿元素组合为 Cu-Mo,含矿斑岩为花岗闪长斑岩,成岩成矿年龄集中在 314~317 Ma(表 1)。明显晚于巴音沟蛇绿岩,亦略晚于四棵树“钉合岩体”(316 Ma[40]),应为碰撞-后碰撞期形成。

该矿集区稍晚还产出了达巴特小型斑岩铜钼矿床,含矿的花岗斑岩 U-Pb 同位素年龄为 279 Ma[93]、289 Ma[54],成矿时代为(301±20)Ma[94],与成岩年龄在误差范围内一致,表明成岩成矿时代应为早二叠世。达巴特含矿斑岩为花岗斑岩、流纹斑岩,具有 A_2 型花岗岩特征[93],其出现标志着该矿床的形成已进入后碰撞阶段。值得注意的是,在缝合带北侧的阿拉套山地区,产出了一套与 S 型有关的 W-Sn 矿(如喀孜别克、祖鲁洪等),成岩成矿年龄在 260~290 Ma[115-116],略晚于 A_2 型岩浆活动之后,属于后碰撞阶段地壳熔融作用的产物。

2.4 西天山阿吾拉勒次火山热液-(准)斑岩型铜成矿带

该成矿带矿床主要分布于西天山地块中部的阿吾拉勒地区,产有群吉、群吉萨依、莫斯早特、穷布拉克、圆头山、松树沟等小型铜矿或矿点,含矿岩体为花岗(闪长)斑岩、石英钠长斑岩、闪长玢岩、辉绿玢岩等,同期碱性玄武岩、碱长花岗岩类发育,矿床属与早期火山作用有关的次火山热液-(准)斑岩型铜矿,成岩成矿时代为二叠纪(同位素年龄在 256~298 Ma,表 1),晚于该区达巴特 A_2 型花岗岩出现,应属后碰撞构造阶段的产物。

2.5 西准噶尔北部萨吾尔浅成低温热液-浅成岩构造蚀变岩型金(铜)矿集区

该矿集区主要产有阔尔真阔腊、布尔克斯岱等2个中型金矿,并发现有罕哲尕能斑岩铜金(钼)小型矿床[62]。其中阔尔真阔腊为浅成低温热液型 Au 矿[60-61,144],而相邻的布尔克斯岱 Au 矿,笔者考查研究结果认为属浅成低温热液型与构造蚀变岩型金矿

的复合型。含矿斑岩有花岗斑岩、英安斑岩、石英斑岩、花岗闪长岩、闪长玢岩等,均侵入于中泥盆统萨吾尔山组(D_2s),成岩成矿为早石炭世(同位素年龄集中在 332~347 Ma,表 1)。

该矿集区位于科克森套缝合带南部,其成矿时代晚于吐尔库班套蛇绿岩(355 Ma[32]),而早于阔依塔斯、恰其海等 A 型碱长花岗岩(291~298 Ma[53]),与塔尔哈巴台山—萨吾尔山一系列钙碱性系列的 I 型花岗岩(347~321 Ma[40])同期,应为碰撞期构造活动的产物。

2.6 西准噶尔包古图斑岩铜(金钼)矿集区

矿集区产有包古图大型铜矿和阿达依等矿点,以及包古图 Au 矿等,成矿与闪长斑岩、花岗闪长斑岩有关,成矿元素组合为 Cu-Mo-Au,成岩成矿时代为晚石炭世(同位素年龄在 310~318 Ma,表 1),明显晚于西准噶尔地区最年轻的克拉玛依蛇绿岩(332 Ma[36]),亦晚于侵入西准噶尔增生杂岩中最新的花岗岩(锆石 U-Pb 年龄为 318 Ma[40]),说明该区矿床不是产于俯冲环境,而是形成于洋盆闭合之后的碰撞-后碰撞期。该成矿期在西邻哈萨克斯特境内产出有科翁腊德、阿克斗卡(成矿花岗闪长斑岩锆石 SHIRMP 年龄(327.5±1.9)Ma[117]、博尔雷(辉钼矿 Re-Os 年龄(315.6±5.9)Ma[117]等巨型斑岩铜钼矿床,是中亚造山带最重要的斑岩铜钼矿成矿带之一。

2.7 东准噶尔琼河坝铜(钼金)矿集区

该区为近年来找矿发现较多的成矿集中区,目前已发现有蒙西中型铜钼矿,以及和尔赛、铜华岭、琼河坝、桑南等小型斑岩型铜矿或矿点,以及淖毛湖北山等浅成低温热液 Au 矿、宝山等矽卡岩或海相火山岩型 Fe(-Cu)矿。斑岩矿床以 Cu-Mo 组合为主,含矿斑岩为闪长玢岩、花岗闪长斑岩、英云闪长斑岩、二长花岗斑岩等,成岩成矿时代为早泥盆—晚志留世(同位素年龄集中在 405~412 Ma,表 1)。矿床的形成可能与扎河坝蛇绿岩洋盆(形成时间较长,晚期的部分熔融年龄在 400~406 Ma[118])的闭合有关。

2.8 卡拉麦里浅成低温热液(金)成矿带

该矿集区产有双峰山、金山沟 2 个中型金矿和索尔巴斯套小型金矿,均为低硫化型浅成低温热液金矿,矿化均产于侵入到下石炭统巴塔玛依内山组的次火山流纹斑岩、花岗斑岩中,成矿与早期火山机构有密切空间关系。该类矿床的成矿年龄在 267~274 Ma(表 1),明显晚于卡姆斯特碱性花岗岩带(302~314 Ma[49-51])出现,应属板块拼贴完成、后碰撞伸展之后形成,与东天山地区的石英滩(244~288 Ma,表 1)、马庄山(298 Ma,表 1)等浅成低温热液金矿、西天山阿吾拉勒地区次火山热液-(准)斑岩型 Cu 矿(243~286 Ma,表 1)的时代相仿,表明该期这类与次火山岩有关的矿床具面型分布特征。

综上所述,新疆北部斑岩-浅成低温热液型矿床明显产于 4 类(或 3 类)构造环境:俯冲期(Cu-Au 型为主,可出现/伴生 Mo)、碰撞-后碰撞期(Cu-Mo-Au 型)、板内期(单 Mo 型),其中碰撞-后碰撞期可进一步分为碰撞期和后碰撞期,二者为连续演化、界线不截然清晰。各构造类型矿床主要特点如表 2。在某一成矿带或矿集区,从早到晚,有从 Cu-Au 到 Mo 的演化趋势;它们均沿早期缝合带分布,但分布上有从早到晚逐渐向其中一侧扩展、由线型分布向面型分布扩展的趋势。

3 四类斑岩-浅成低温热液矿床的对比

3.1 有关岩石特征

新疆北部斑岩-浅成低温热液矿床有关岩石主要为酸性岩类,但也有部分为中(-中酸)性的闪长

表 2 新疆北部斑岩-浅成低温热液矿床的构造类型及特点

Table 2 Tectonic type and characteristics of porphyry-epithermal deposits in northern Xinjiang

构造类型(期)	主要构造/岩浆活动阶段标志	矿床系列特点	相伴出现的矿床组合	矿床实例
俯冲型	与蛇绿岩同期或略早,早于钉合岩体	斑岩 Cu(-Au-Mo)-浅成低温热液 Au(-Ag)	VMS 型(同期或略早)、海相火山喷流沉积-叠加型铁铜(稍晚)	卡拉先格尔、喀腊苏、玉勒肯喀腊苏,土屋、延东、延西、蒙西、和尔赛、莱厉斯高尔、3571;淖毛湖、阿希
碰撞型	与钉合岩体同期,早于碱性岩	斑岩 Cu-Mo-Au-浅成低温热液 Au	浅成低温热液与脉岩构造蚀变岩复合型 Au 矿	包古图、阿达依,希勒库都克、索尔库都克;阔尔真阔腊
后碰撞型	晚于 A_2 型花岗岩,早于大面积区域火山活动停止	斑岩 Mo-Cu-次火山热液 Cu-浅成低温热液 Au	碱性岩有关 Sn 矿(较早)、S 型花岗岩有关 W-Sn 矿,剪切带型 Au 矿(较晚)	达巴特,三岔口,莫斯早特、群吉;石英滩、马庄山,金山沟、索尔巴斯套
板内型	晚于火山活动休止	斑岩 Mo	(可伴有造山型 Au 矿、与 S 型花岗岩有关的 W-Sn 矿)	白山、东戈壁

(玢)岩、花岗闪长斑岩,西天山阿吾拉勒地区的次火山热液型铜矿还有辉绿(玢)岩等基性岩类(图 2)。各构造期矿床的岩石演化序列不尽相同:俯冲期常有从酸性向中性、基性岩演化趋势,如蒙西矿区早期为花岗闪长岩,之后为含矿的花岗闪长斑岩(习惯上称为斜长花岗斑岩)、二长花岗斑岩,更后期有辉长岩、闪长岩、闪长玢岩、钾长花岗斑岩等岩株及辉绿岩与闪长玢岩等脉岩[23]。碰撞和后碰撞期矿床一般具有基性-中性-酸性的变化规律,含矿岩石一般为演化晚期的小岩体,如希勒库都克矿床,矿区发育一系列脉岩,从早到晚有辉绿岩、安山玢岩、闪长岩、英安斑岩、流纹斑岩、正长岩等,矿化与英安-流纹斑岩脉/岩株有关[119]。板内期斑岩 Mo 矿床的岩性单一,均为酸性的花岗斑岩类,无明显演化特征。

选择新疆北部不同构造阶段的 13 个典型矿床,与蒙古查干苏布尔加晚泥盆世斑岩铜钼矿(辉钼矿 Re-Os 等时线年龄 370 Ma[104, 105])和阿林诺尔早三叠世斑岩 Mo-Cu 矿床(辉钼矿 Re-Os 等时线年龄 227.7±3.1 Ma[120],但可能为俯冲期产物[121])一起,共收集 15 个典型矿床相关岩石地球化学数据,重新用相同标准处理、计算和作图(图 3~5)。

在岩石类型上,区内主要矿床含矿岩石组合多为酸性岩(即花岗岩类,图 3-a),蒙西、包古图、马庄山的部分样品落入石英闪长岩、闪长岩区,喀腊苏、查干苏布尔加部分样品落入正长岩区;在 SiO_2-K_2O 图上(图 3-b),多数样品为高钾、中钾钙碱性系列,喀腊苏、查干苏布尔、莱历斯高尔、石英滩、马庄山等矿区部分样品可落入钾玄岩区,而土屋、三岔口、白山等可落入拉斑玄武岩系列;绝大多数矿区岩石均表型为准铝质和过铝质的 I 型和 S 型花岗岩类(图 3-c、d),莱历斯高尔、达巴特等地区可出现 A 型花岗岩;在埃达克岩类判别图上(图 3-e、f),土屋、查干苏布尔加的样品落入埃达克岩区,蒙西、包古图、希勒库都克、三岔口、莫斯早特等矿区也有部分样品落入埃达克岩区,而喀腊苏、莱历斯高尔、达巴特、石英滩、马庄山、双峰山等地区则无样品落入埃达克岩区。由此可见,不同构造阶段各斑岩-浅成低温热液矿床的岩石类型、系列等特征并不一致,表现出不同的岩石地球化学特征,但并不随构造阶段演化出现规律性变化。

同样,不同构造阶段矿床的岩石微量元素和稀土元素特征也未表现出明显的差别,如稀土配分曲线(图 4)多为向右缓倾斜,铕异常也不十分明显。较为明显的差别是达巴特、双峰山和东戈壁矿区,表现为稀土配分曲线较平缓、负铕异常较强烈的特征,可能与 A 型花岗岩有一定关系。

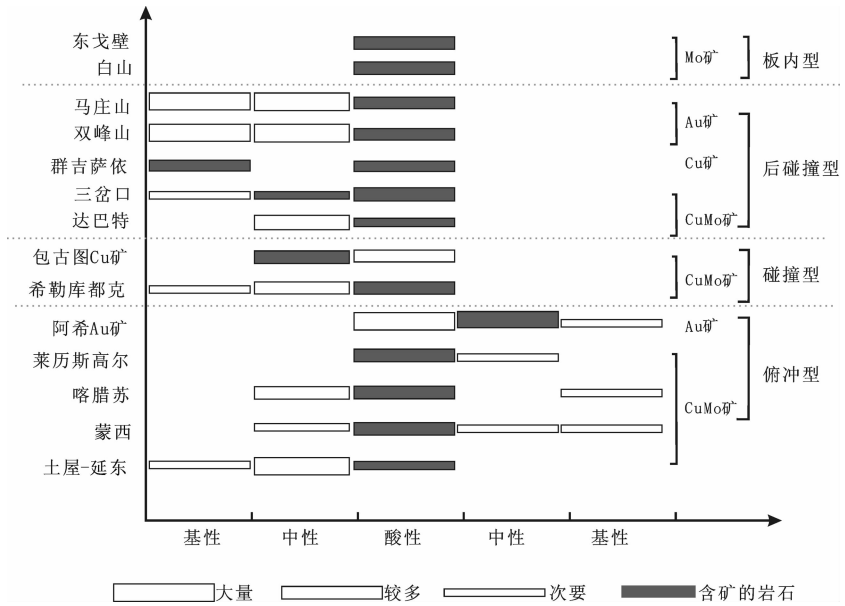

图 2 北疆地区部分斑岩-浅成低温热液矿床含矿岩系组合示意图

Fig.2 Sketch map showing host rock association of part of porphyry-epithermal deposits in northern Xinjiang

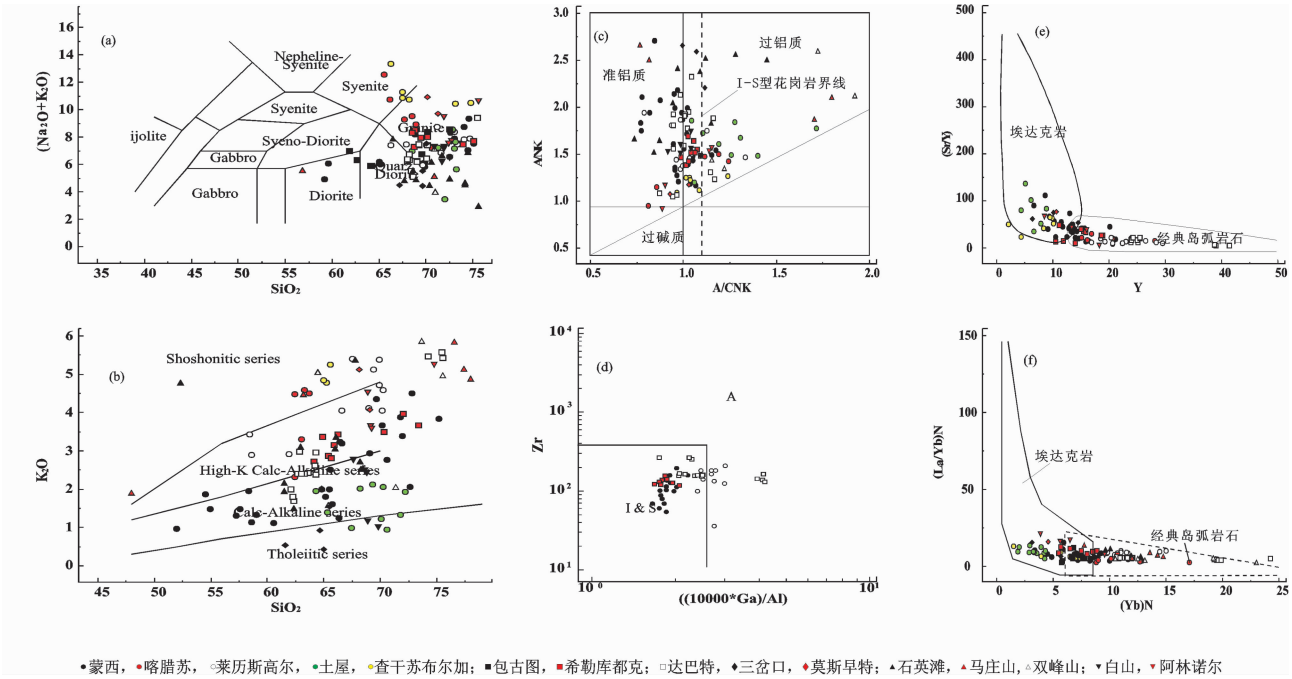

图 3　新疆北部斑岩-浅成低温热液矿床相关岩石地球化学图解

(底图分别据:a—Middlemost (1994)[122];b—Rollinson (1993)[123];c—Maniar and Piccoli (1989)[124];d—Whalen et al. (1987)[125];e—Defant and Drummond (1990)[126];f—Drummond et al., 1996[127]

各矿床原始数据来自文献[23, 59, 89, 93, 105, 121, 128-136])

Fig.3　Petro-geochemical diagrams of related rocks of porphyry-epithermal deposits in northern Xinjiang

(Base map after: a- Middlemost (1994) [122]; b- Rollinson (1993) [123]; c- Maniar and Piccoli (1989) [124]; d- Whalen et al. (1987) [125]; e- Defant and Drummond (1990) [126]; f- Drummond et al., 1996[127]. Data source of each deposit from references [23, 59, 89, 93, 105, 121, 128-136])

一系列构造环境判别图(图 5)显示,除莱历斯高尔、达巴特地区的岩石落入后碰撞花岗岩区外,其余均为"火山弧"花岗岩(图 5-b~5-f),显然与实际产出背景不能吻合;在 Bechelor(1985)的 R_1-R_2 图上(图 5-a),石英滩等地区样品竟落入"幔源"花岗岩,而三叠纪的白山花岗岩竟落入"碰撞前"花岗岩区。可见,经典的构造环境判别图不宜直接简单应用于新疆北部斑岩-浅成低温热液矿区的岩石。

3.2　成矿物质来源特征

由于矿床的一般地质特征,如矿体、矿石、矿化阶段、矿化分带、围岩蚀变、流体包裹体及成矿物理化学条件等,与矿床类型、围岩条件、成矿机制,以及成矿深度等因素密切相关[2,4,6,7,11,13],而与不同构造阶段并无直接关系,本节只讨论有关的成矿物质来源特征。

从可收集到的矿石 S、Re 同位素资料 (图 7)来看, 主要成矿物质硫和 Re 的来源仍不随构造阶段演化而变化。各矿床硫同位素的变化范围不大,表明来源单一,但可偏离 0 值较大范围,说明成矿均存在地幔以外的硫源加入。辉钼矿 Re 的含量似乎与不同构造块体有一定关系, 西天山地区俯冲期的莱历斯高尔、碰撞期的肯登高尔、后碰撞期的达巴特,均显示出低 Re 特点(均<100×10^{-6},达巴特<10×10^{-6}),主要为地壳来源, 而准噶尔地块周边的其他各构造阶段矿床 Re 含量多>100×10^{-6}(部分样品大于 $1\,000\times10^{-6}$),应属于壳幔混合来源。

不同构造阶段矿床的矿石铅同位素特征如图 7, 大多数矿床样品点落在地幔和造山带增长线之间, 表明这类斑岩-浅成低温热液矿床矿石铅是地幔铅和地壳铅的混合物,与含矿岩浆来源一致。阿希金矿和三岔口铜钼矿的 $^{207}Pb/^{204}Pb$ 值变化较大,表明铅混合的均一性较差。矿床铅同位素特征也并不随构造阶段演化而出现相应的变化。

4　相关问题的讨论

(1)由于新疆北部的地质构造以多块体拼贴为特征,不同块体具有不同的构造-岩浆演化路线,各

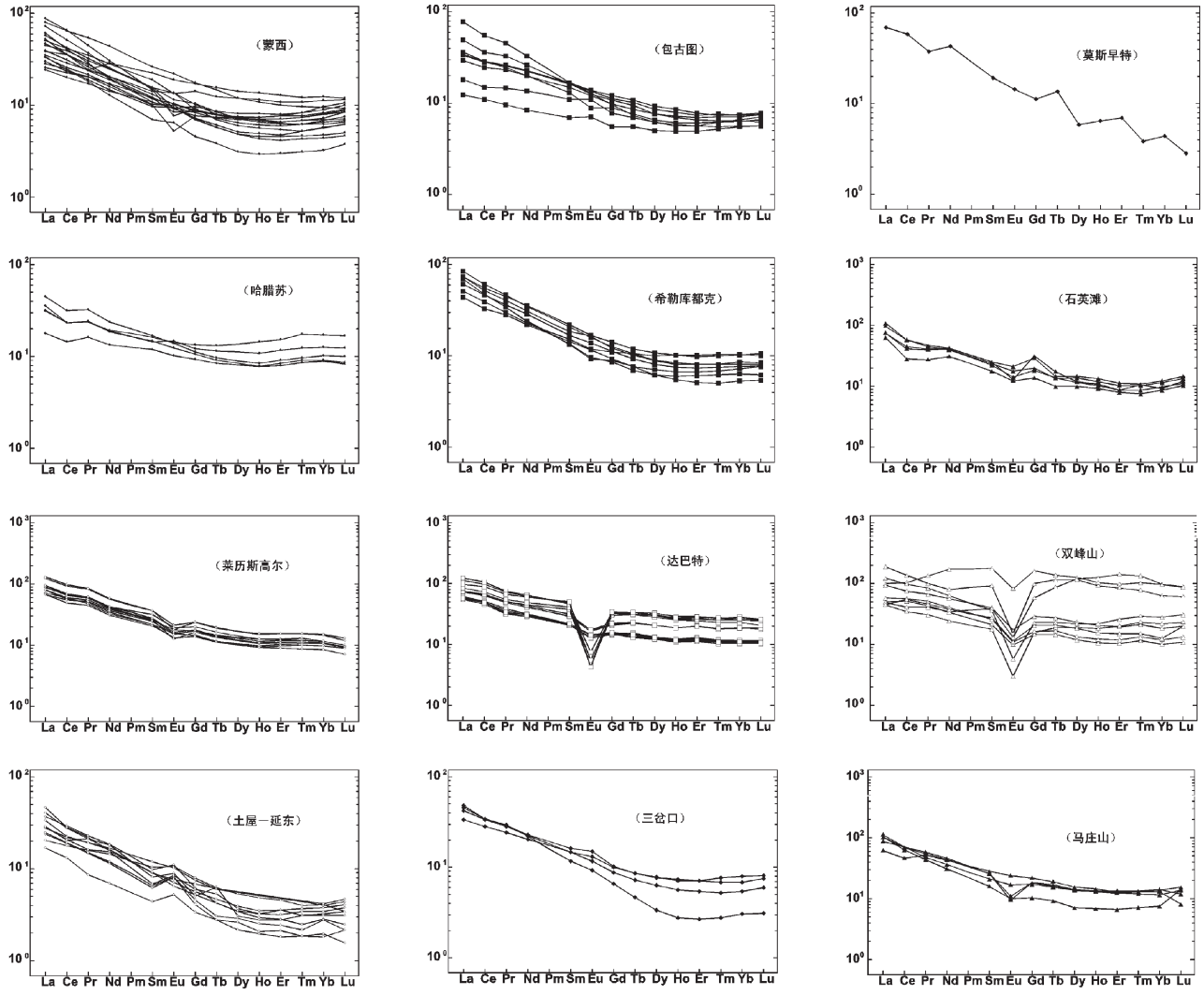

图 4 新疆北部斑岩–浅成低温热液矿床相关岩石稀土配分曲线

（稀土标准化值据 Boynton(1984)[137]。原始数据来源同图 3）

Fig.4 Chondrite normalized REE patterns of related rocks of porphyry–epithermal deposits in northern Xinjiang

(Chondrite–normalized values after Boynton (1984) [137];data from the same sources as in Fig. 3)

块体之间构造事件并不同步。同时,由于构造–岩浆活动易于在早期构造部位继续活动,因而不同构造期的斑岩矿床在分布多表现为继承性和在同一成矿带“同位成矿”特点,即沿板块缝合带两侧分布特征。如东天山地区,沿康古尔缝合带两侧分别产出了土屋—延东早石炭世岛弧型斑岩铜矿、二叠纪后碰撞斑岩 Cu 矿(三岔口等)和浅成低温热液–造山型 Au 矿(石英滩等)、三叠纪板内型斑岩钼矿;(东)准噶尔北缘,沿额尔齐斯缝合带南侧产出了卡拉先格尔中—晚泥盆世岛弧型斑岩铜矿、希勒库都克石炭纪碰撞型斑岩–矽卡岩 Mo–Cu 矿、二叠纪后碰撞浅成低温热液–造山型(和/或构造蚀变岩型)Au 矿,等等。

(2)成矿演化与基底有关,成矿物质来源和岩浆源区能反映出基底的不同。前面对 4 个构造期的 15 个斑岩、浅成低温热液矿床的含矿斑岩进行岩石地球化学整理结果表明, 几乎所含矿斑岩都有 Nd、Ta、Ti 亏损,都落入“岛弧花岗岩”区;关于岩石系列,既有钙碱性系列,也有高钾钙碱性系列,少数还表现出钾玄岩系列特征;均可以有埃达克质岩石。对比分析岩石的 Sr、Nd 同位素(图 8)发现,含矿岩石的地球化学特征可能与地壳基底有一定关系。如西天山地区的分别代表俯冲期的莱历斯高尔、碰撞期

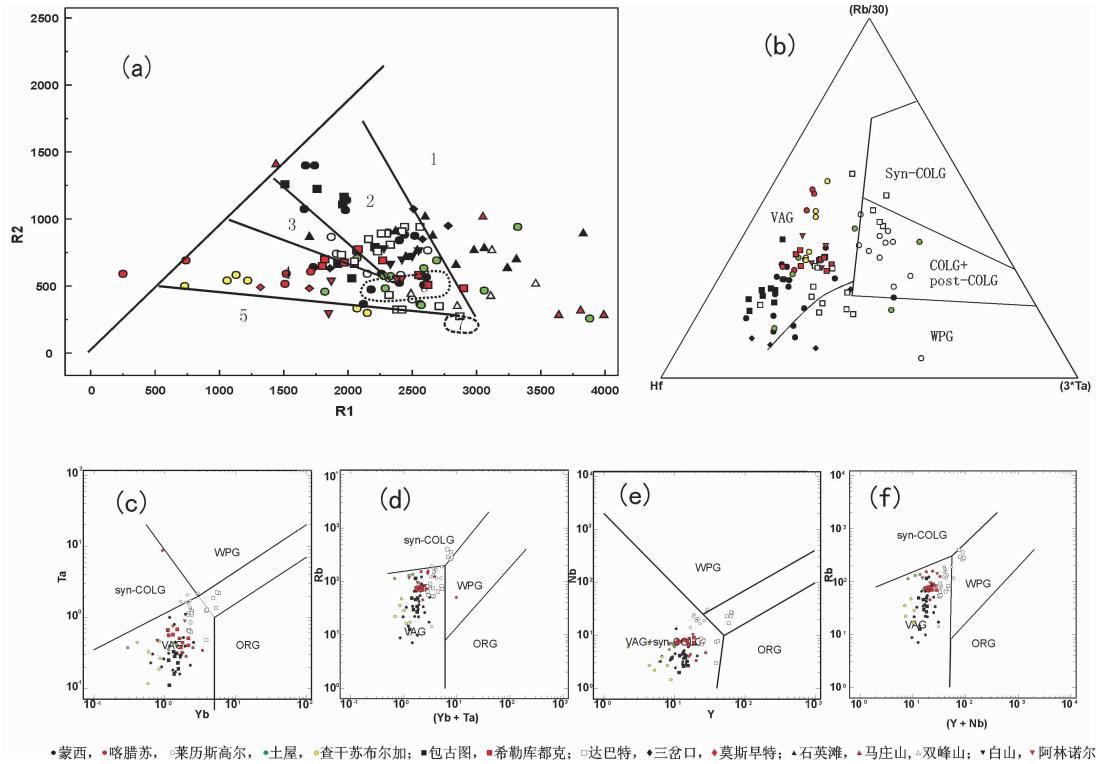

图 5　新疆北部斑岩-浅成低温热液矿床岩石构造环境判别图

底图分别来自:a—Bechelor(1985) [123];b—Harris et al. (1986) [138];c、d、e、f—Pearce et al. (1984) [139]。原始数据来源同图 3。图 5-a:1—地幔分异,2—碰撞前,3—碰撞后,4—造山晚期,5—非造山,6—同碰撞,7—造山后;图 b~f:VAG—火山弧花岗岩;COLG—碰撞花岗岩;ORG—洋脊花岗岩;WPG—板内花岗岩

Fig.5　Maps for discriminating tectonic settings of related rocks of porphyry-epithermal deposits in northern Xinjiang

Base maps after: a- Bechelor (1985) [123]; b- Harris et al. (1986) [138]?; c, d, e and f- Pearce et al. (1984) [139]; data from the same sources as in Fig. 3. In map 5a: 1-Mantle differentiation, 2-Pre-collision, 3-Post-collision, 4-Late orogen, 5-Orogen, 6-Syn-collision, 7-Post-orogen. In maps 5b to 5f: VAG- Volcanic arc granite, COLG- Collision granite, ORG- Ocean ridge granite, WPG- Intraplate granite

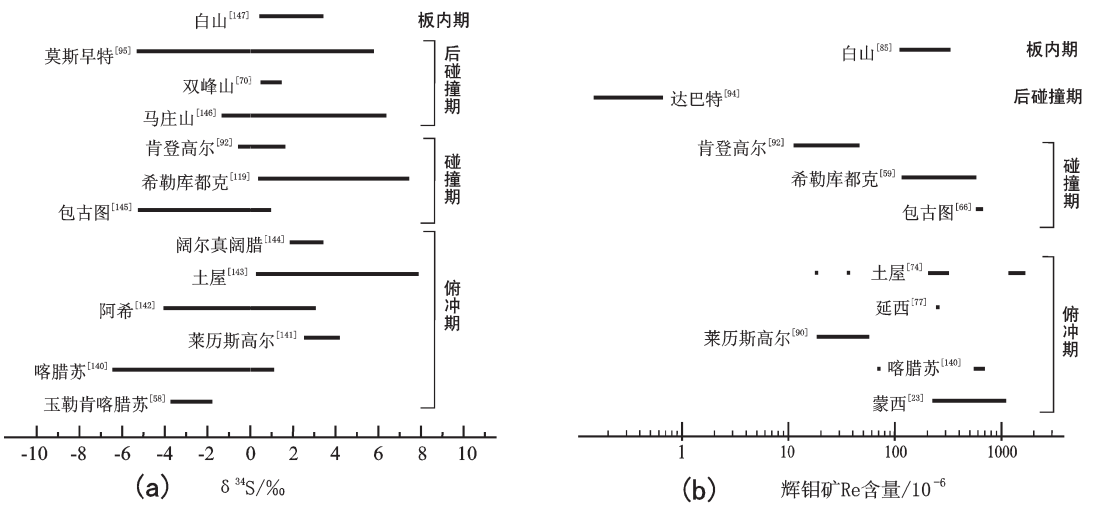

图 6　新疆北部部分斑岩-浅成低温热液矿床的硫同位素(a)和辉钼矿 Re 含量(b)

(矿床名称后的[ ]为文献来源)

Fig.6　Sulfur isotopic data (a) and Re content of molybdenite (b) from some porphyry-epithermal deposits in northern Xinjiang

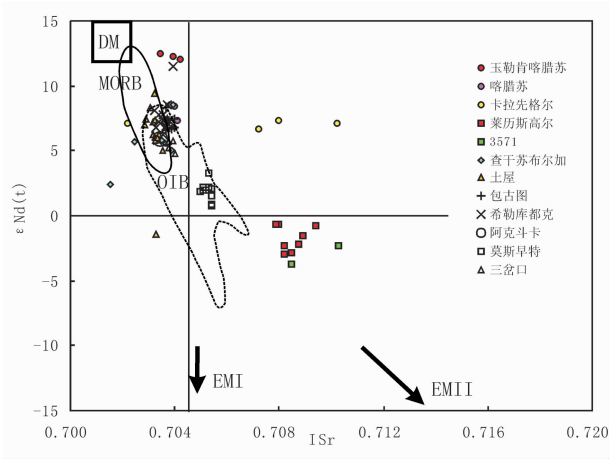

图 7 新疆北部部分斑岩-浅成低温热液矿床的铅同位素组成
(资料来源:喀腊苏[148],土屋[149],莱历斯高尔[92],3571[140],阿希[150],北山[151],包古图[152],三岔口[153],莫斯早特[95],双峰山[70],马庄山[154],白山[155])

Fig.7 Lead isotopic composition of part of porphyry-epithermal deposits in northern Xinjiang
(Data source: Kalasu[148], Tuwu[149], Lailisigaoer[92], 3571[140], Axi[150], Beishan [151], Baogutu[152], Sanchakou[153], Mosizaote[95], Shuangfengshan[70], Mazhuangshan[154], Baishan[155])

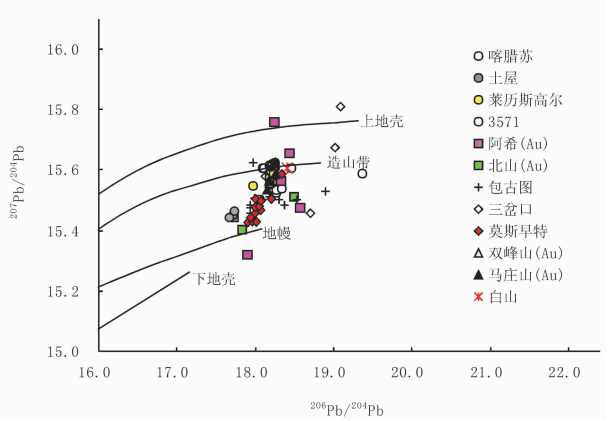

图 8 新疆北部斑岩-浅成低温热液矿床含矿岩石的 Sr-Nd 同位素相关图解
(DM、MORB、OIB、EMI、EMII 引自 Zindler and Hart, 1986[156];原始数据来源:玉勒肯喀腊苏[58],喀腊苏[55,58],卡拉先格尔[128],莱历斯高尔[89,141],3571[89,141],查干苏布尔加[105],土屋[74],包古图[130,157],希勒库都克(本文未发表数据),莫斯早特[95],三岔口[80])

Fig.8 Sr-Nd isotopic composition of porphyry-epithermal deposits in northern Xinjiang
(DM, MORB, OIB, EMI, EMII after Zindler and Hart, 1986[156]; Data source: Yulekenkalasu[58], Kalasu[55, 58], Kalaxiangeer[128], Lailisigaoer[89,141], 3571[89,141], Tsagaan Suvarga[105], Tuwu[74], Baogutu[130,157], Xilekuduke (unpublished data of this paper), Mosizaote[95], Sanchakou[80])

的达巴特、后碰撞期的莫斯早特,比其他地区同构造期的岩石具有相对较弱的地幔物质添加,如莱历斯高尔含矿斑岩的微量元素表现为"后碰撞"和板内构造环境特征,其 ε Nd 值表现为负值,辉钼矿 Re 值低于其他地区 1~5 个数量级。这可能反映出西天山地块的结晶基底与准噶尔、东天山北缘等基底的差异。

(3)关于找矿潜力。以前认为斑岩铜(钼)矿主要发育于到岛弧(陆缘弧)环境,西藏、秦岭等地区矿床的发现和研究,使人们认识到大陆环境斑岩矿床的重要性。新疆北部不仅俯冲期斑岩铜矿普遍发育,近年来的找矿发现表明,碰撞期和板内期的斑岩矿床同样有巨大找矿潜力,尤其是东天山地区以东戈壁、白山为代表的斑岩 Mo 矿的发现,可能表明阿齐山—雅满苏成矿带南缘为一巨大的印支期 Mo 成矿带。该区目前发现的后碰撞期斑岩铜矿相对较少、规模较小,值得开展"缺位"找矿。另外需要注意的是,该期斑岩成矿作用可能伴有同期的与 S 型花岗岩浆作用有关的 W-Mo-Sn 矿,在该区西邻的哈萨克斯坦境内和东邻的蒙古境内这类矿床较多,如哈萨克斯坦的东科翁腊德矿床(Re-Os 年龄 295 Ma[117])和阿克沙套矿床(Re-Os 年龄 289 Ma[117])均为特大型石英脉-云英岩型钨钼矿床,其成矿时代晚于邻近的碰撞型斑岩铜钼矿床(如科翁腊德、博尔雷等);境内的阿拉套山地区、东天山地区、西准噶尔南部也相继发现有同类小型矿床或矿化,应重视和加强该类型矿床的找矿。

5 结 论

(1)新疆北部与斑岩矿床形成有关的大地构造演化可分为 4 个阶段,分别以蛇绿岩形成前后、钉合岩体和区域不整合出现,碱性岩或 A_2 型花岗岩出现,区域火山活动绝迹为标志,不同构造区块的演化阶段并不同步,大致为早石炭世以前的洋陆俯冲阶段、晚石炭世的碰撞阶段、二叠纪的后碰撞阶段,以及早三叠世以后的板内阶段。

(2)该区斑岩-浅成低温热液矿床可产于上述 4 个构造演化阶段,按构造环境类别可分别称为俯冲型、碰撞型、后碰撞型和板内型。4 类矿床的差别主要在于矿床金属元素组合,以及同期相伴出现的矿床类型不同:俯冲型斑岩矿床以 Cu-Au 组合为主,以伴有海相火山岩有关的 VMS 矿床和铁矿为特征;碰撞型和后碰撞型矿床以 Cu-Mo-Au 组合为主,浅成低温热液型 Au 矿常有构造蚀变岩型叠加

或复合;板内型矿床以单 Mo(或 Mo-Re)组合为主。斑岩矿床与浅成低温热液矿床虽为同一成矿系统,但二者在矿区范围内基本不共生,且区域上后者成矿时代一般晚于前者 10~20 Ma。不同时期的斑岩矿床在分布上具有继承性和"同位成矿"特点,并表现出一定的分带性,从早到晚逐渐由靠近缝合带向外扩展、由线型分布逐渐演化为面型分布。

(3)不同斑岩矿床的含矿岩石组合、岩石地球化学特征和成矿物质来源等均存在一定差别,但未表现出随构造环境类型的不同而出现特征性差别。

致谢:作者在研究与成文过程中得以与肖文交、李锦轶、秦克章、高俊、聂凤军、武广、莫江平、宋谢炎等专家与同行进行有益的讨论,并得到他们良好的建议与启迪,审稿人秦克章研究员对本文进行了详细审阅,并提出诸多建议性修改意见,在此一并向他们表示衷心感谢!

参考文献(References):

[1] 刘德权, 唐延龄, 周汝洪. 新疆斑岩铜矿的成矿条件和远景[J]. 新疆地质, 2001, 19(1):43-48.
Lin Dequan, Tang Yanling, Zhou Ruhong. The metallogenic environment and potential of the porphyry copper in Xinjiang [J]. Xinjiang Geology, 2001, 19 (1):43-48 (in Chinese with English abstract).

[2] 王志良, 毛景文, 张作衡, 等. 西天山古生代铜金多金属矿床类型、特征及其成矿地球动力学演化 [J]. 地质学报, 2004, 78(6):836-847.
Wang Zhiliang, Mao Jingwen, Zhang Zuoheng, et al. Types, characteristics and metallogenic geodynamic evolution of the paleozoic polymetallic copper-gold deposits in the western Tianshan mountains [J]. Acta Geologica Sinica, 2004, 78 (3):836-847 (in Chinese with English abstract).

[3] Qin K Z, Sun S, Li J L, et al. Paleozoic epithermal Au and porphyry Cu deposits in North Xinjiang, China:epochs, features, tectonic linkage and exploration significance [J]. Resource Geology, 2002, 52(4):291-300.

[4] 王志良, 毛景文, 张作衡, 等.新疆天山斑岩铜钼矿地质特征、时空分布及其成矿地球动力学演化 [J]. 地质学报, 2006, 80 (7):943-955.
Wang Zhiliang, Mao Jingwen, Zhang Zuoheng, et al. Geology, time-space distribution and metallogenic geodynamic evolution of porphyry copper (molybdenum) deposits in the Tianshan Mountains [J]. Acta Geologica Sinica, 2006, 80(7):943-955 (in Chinese with English abstract).

[5] 张连昌, 夏斌, 牛贺才, 等. 新疆晚古生代大陆边缘成矿系统与成矿区带初步探讨[J]. 岩石学报, 2006, 22(5):1387-1398.
Zhang Lianchang, Xia Bin, Niu Hecai, et al. Metallogenic systems and belts developed on the late Paleozoic continental margin in Xinjiang [J]. Acta Petrologica Sinica, 2006, 22 (5):1387-1398(in Chinese with English abstract).

[6] 庄道泽, 姜云辉, 张红喜. 新疆斑岩铜矿成矿特征与综合找矿方法[J]. 新疆地质, 2007, 25(1):40-48.
Zhuang Daoze, Jiang Yunhui, Zhang Hongxi. The characteristics of porphyry copper deposit of Xinjiang and the suggested combination of exploration methods [J]. Xinjiang Geology, 2007, 25 (1):40-48 (in Chinese with English abstract).

[7] 吴淦国, 董连慧, 薛春纪, 等. 新疆北部主要斑岩铜矿带 [M]. 北京:地质出版社, 2008:345.
Wu Ganguo, Dong Lianhui, Xue Chunji, et al. The Main Porphyry Copper Ore Belts in Northern Xinjiang, China [M]. Beijing: Geological Publishing. House, 2008:1 -345 (in Chinese with English abstract).

[8] 董连慧, 徐兴旺, 屈迅, 等. 初论环准噶尔斑岩铜矿带的地质构造背景与形成机制[J]. 岩石学报, 2009, 25(4):713-737.
Dong Lianhui, Xu Xingwang, Qu Xun, et al. Tectonic setting and formation mechanism of the circum-Junggar porphyritic copper deposit belts [J]. Acta Petrologica Sinica, 2009, 25(4):713-737 (in Chinese with English abstract).

[9] 冯京, 徐仕琪, 赵青, 等. 新疆斑岩型铜矿成矿规律及找矿方向[J]. 新疆地质, 2010, 28(1):43-51.
Feng Jing, Xu Shiqi, Zhao Qing, et al. Metallogenesis regularity of porphyry copper in Xinjiang and vectors for prospecting [J]. Xinjiang Geology, 2010, 28 (1):43-51 (in Chinese with English abstract).

[10] 屈迅, 徐兴旺, 董连慧, 等. 新疆东准噶尔斑岩铜矿主要构造类型[J]. 新疆地质, 2010, 28(1):32-37.
Qu Xun, Xu Xingwang, Dong Lianhui, et al. Tectonic types of porphyry copper deposit in eastern Junggar, Xinjiang [J]. Xinjiang Geology, 2010, 28(1):32-37(in Chinese with English abstract).

[11] 申萍, 董连慧, 冯京, 等. 新疆斑岩型铜矿床分布、时代及成矿特点[J]. 新疆地质, 2010, 28(4):358-364.
Shen Ping, Dong Lianhui, Feng Jing, et al. Distribution, age and metallogenic characteristics of the porphyry copper deposits in Xinjiang, China [J]. Xinjiang Geology, 2010, 28 (4):358-364 (in Chinese with English abstract).

[12] 王军, 李廷栋, 耿树方, 等. 新疆东准噶尔地区斑岩铜矿地质特征与成因[J]. 地球学报, 2010, 31(3):423-433.
Wang Jun, Li Tingdong, Geng Shufang, et al. Geological characteristics and genesis of porphyry copper deposits in east Junggar region [J]. Acta Geoscientica Sinica, 2010, 31(3):423-433 (in Chinese with English abstract).

[13] 杨富全, 闫升好, 刘国仁, 等. 新疆准噶尔斑岩铜矿地质特征及成矿作用[J]. 矿床地质, 2010, 29(6):956-971.
Yang Fuquan, Yan Shenghao, Liu Guoren, et al. Geological characteristics and metallogenesis of porphyry copper deposits in Junggar, Xinjiang [J]. Mineral Deposits, 2010, 29(6):956-971 (in Chinese with English abstract).

[14] Sillitoe R H. A plate tectonic model for the origin of porphyry copper deposits [J]. Econ. Geol., 1972, 67(2):184-197.

[15] Mitchell A H G. Metallogenetic belts and angle of dip of Benioff zones [J]. Nature, 1973, 245:49-52.

[16] Sillitoe R H. Characteristics and controls of the largest porphyry copper-gold and epithermal gold deposits in the circum-Pacific region [J]. Australian Journal of Earth Sciences, 1997, 44 (3):373-388.

[17] Hedenquist J W, Richards J P. The influence of geochemical techniques on the development of genetic models for porphyry copper deposits [J]. Reviews in Economic Geology, 1998, 10: 235-256.

[18] Cooke D R, Hollings P, Walsh J L. Giant porphyry deposits: Characteristics, distribution, and tectonic controls [J]. Econ. Geol., 2005, 100(5):801-818.

[19] Hou Z Q, Ma H W, Zaw K, et al. The Himalaya Yulong porphyry copper belt: product of large-scale strike-slip faulting in eastern Tibet[J]. Economic Geology, 2003, 98:125-145.

[20] 侯增谦, 潘小菲, 杨志明, 等. 初论大陆环境斑岩铜矿[J]. 现代地质, 2007, 21(2):332-351.
Hou Zengqian, Pan Xiaofei, Yang Zhiming, et al. Porphyry Cu-(Mo-Au) deposits not related to oceanic-slab subduction: Examples from Chinese porphyry deposits in continental settings [J]. Geoscience, 21(2):332-351(in Chinese with English abstract).

[21] 杨志明, 侯增谦. 初论碰撞造山环境斑岩铜矿成矿模型[J]. 矿床地质, 2009, 28(5):515-538.
Yang Zhiming, Hou Zengqian. Porphyry Cu deposits in collisional orogen setting: A preliminary genetic model [J]. Mineral Deposits, 2009, 28(5):515-538(in Chinese with English abstract).

[22] 侯增谦, 杨志明. 中国大陆环境斑岩型矿床: 基本地质特征、岩浆热液系统和成矿概念模型[J]. 地质学报, 2009, 83(12):1779-1817.
Hou Zengqian, Yang Zhiming. Porphyry deposits in continental settings of China: geological characteristics, magmatic-hydrothermal system, and metallogenic model [J]. Acta Geologica Sinica, 2009, 83(12):1779-1817(in Chinese with English abstract).

[23] 屈迅, 徐兴旺, 梁广林, 等. 蒙西斑岩型铜钼矿地质地球化学特征及其对东准噶尔琼河坝岩浆岛弧构造属性的制约 [J]. 岩石学报,2009, 25(4):765-776.
Qu Xun, Xu Xingwang, Liang Guanglin, et al. Geological and geochemical characteristics of the Mengxi Cu-Mo deposit and its constraint to tectonic setting of the Qiongheba magmatic arc in eastern Junggar [J]. Acta Petrologica Sinica, 2009, 25(4):765-776 (in Chinese with English abstract).

[24] Zhang L C, Xiao W J, Qin K Z, et al. Re-Os isotopic dating of molybdenite and pyrite in the Baishan Mo-Re deposit, eastern Tianshan, NW China, and its geological significance [J]. Mineralium Deposita, 2005, 39:960-969.

[25] 李华芹, 陈富文, 李锦轶, 等. 再论东天山白山铼钼矿区成岩成矿时代[J]. 地质通报, 2006, 28(8):916-922.
Li Huaqin, Chen Fuwen, Li Jinyi, et al. Age of mineralization and host rocks in the Baishan rhenium-molybdenum district, East Tianshan, Xinjiang, China:Revisited [J]. Geological Bulletin of China, 2006, 25(8):916-922 (in Chinese with English abstract).

[26] 张达玉, 周涛发, 袁峰, 等. 新疆东天山地区白山钼矿床的成因分析[J]. 矿床地质, 2009, 28(5):663-672.
Zhang Dayu, Zhou Taofa, Yuan Feng, et al. A genetic analysis of Baishan molybdenum deposit in East Tianshan area, Xinjiang [J]. Mineral Deposits, 2009, 28(5):663-672 (in Chinese with English abstract).

[27] Coleman R G. Continental Growth of Northwest China [J]. Tectonics, 1989, 8:621-635.

[28] Sengör A C, Natal'in B A, Burtman V S. Evolution of the Altaid tectonic collage and Palaeozoic crustal growth in Eurasia [J]. Nature, 1993, 364:299-306.

[29] 肖序常, 汤耀庆, 冯益民, 等. 新疆北部及邻区大地构造 [M]. 北京:地质出版社, 1992:169P.
Xiao Xuchang, Tang Yaoqing, Feng Yimin, et al. Tectonic Evolution of Northern Xinjiang and Its Adjacent Regions [J]. Beijing:Geological Publishing House, 1992:1-169 (in Chinese).

[30] Windley B F, Alexeiev D, Xiao W J, et al. Tectonic models for accretion of the Central Asian Orogenic Belt [J]. Journal of the Geological Society of London, 2007, 164:31-47.

[31] Xiao W J, Windley B F, Huang B C, et al. End-Permian to mid-Triassic termination of the accretionary processes of the southern Altaids: Implications for the geodynamic evolution, Phanerozoic continental growth, and metallogeny of Central Asia [J]. Int. J. Earth Sci., 2009, 98:1189-1217.

[32] 王玉往, 王京彬, 王莉娟, 等. 新疆吐尔库班套蛇绿混杂岩的发现及其地质意义[J]. 地学前缘, 2011,18(3):151-165.
Wang Yuwang, Wang Jingbin, Wang Lijuan, et al. Discovery of Tuerkubantao ophiolitic mélange in Xinjiang and its significance [J]. Earth Science Frontier, 2011, 18(3):151-165 (in Chinese with English abstract).

[33] 吴波, 何国琦, 吴泰然, 等. 新疆布尔根蛇绿混杂岩的发现及其大地构造意义[J]. 中国地质, 2006, 33(3):476-486.
Wu Bo, He Guoqi, Wu Tairan, et al. Discovery of the Buergen ophiolitic mélange belt in Xinjiang and its tectonic significance [J]. Geology in China, 2006, 33(3):476-486 (in Chinese with English abstract).

[34] 王京彬, 徐新. 新疆北部后碰撞构造演化与成矿 [J]. 地质学报, 2006, 80(1):23-31.
Wang Jingbin, Xu Xin. Post-collisional tectonic evolution and metallogenesis in northern Xinjiang, China [J]. Acta Geologica Sinica, 2006, 80(1):23-31 (in Chinese with English abstract).

[35] 李锦轶, 朱宝清, 冯益民. 南明水组和蛇绿岩之间不整合关系的确认及其意义[J]. 中国区域地质, 1989, 8(3):250-255.
Li Jinyi, Zhu Baoqing, Feng Yimin. Discovery of the unconformity between the Nanmingshui Formation and ophiolites and their significance [J]. Regional Geology of China, 1989, 8 (3):250-255

(in Chinese with English abstract).

[36] 徐新, 何国琦, 李华芹, 等. 克拉玛依蛇绿混杂岩带的基本特征和锆石 SHRIMP 年龄信息[J]. 中国地质, 2006, 33:470-475.
Xu Xin, He Guoqi, Li Huaqin, et al. Basic characteristics of the Karamay ophiolitic mélange, Xinjiang, and its zircon SHRIMP dating [J]. Geology in China, 2006, 33:470-475 (in Chinese with English abstract).

[37] 徐新, 周可法, 王煜. 西准噶尔晚古生代残余洋盆消亡时间与构造背景研究[J]. 岩石学报, 2010, 26(11):3206-3214.
Xu Xin, Zhou Kefa, Wang Yu. Study on extinction of the remnant oceanic basin and tectonic setting of west Junggar during Late Paleozoic [J]. Acta Petrologica Sinica, 2010, 26 (11): 3206-3214(in Chinese with English abstract).

[38] 徐学义, 李向民, 马中平, 等. 北天山巴音沟蛇绿岩形成于早石炭世: 来自辉长岩 LA-ICPMS 锆石 U-Pb 年龄的证据[J]. 地质学报, 2006, 80(8):1168-1176.
Xu Xueyi, Li Xiangmin, Ma Zhongping, et al. LA-ICPMS zircon U-Pb dating of gabbro from the Bayingou ophiolite in the northern Tianshan Mountains [J]. Acta Geologica Sinica, 2006, 80: 1168-1176 (in Chinese with English abstract).

[39] 徐学义, 马中平, 夏林圻, 等. 北天山巴音沟蛇绿岩斜长花岗岩锆石 SHRIMP 测年及其意义 [J]. 地质论评, 2005, 51 (5):523-527.
Xu Xueyi, Ma Zhongping, Xia Linqi, et al. SHRIMP dating of plagiogranites from Bayingou ophiolite in the northern Tianshan Mountains [J]. Geological Review, 2005, 22:523-527 (in Chinese with English abstract).

[40] 韩宝福, 郭召杰, 何国琦. "钉合岩体"与新疆北部主要缝合带的形成时限[J]. 岩石学报, 2010, 26(8):2233-2246.
Han Baofu, Guo Zhaojie, He Guoqi. Timing of major suture zones in North Xinjiang, China: Constraints from stitching plutons [J]. Acta Petrologica Sinica, 2010, 26(8):2233-2246 (in Chinese with English abstract).

[41] Su W, Gao J, Klemd R, et al. U-Pb zircon geochronology of Tianshan eclogites in NW China: Implication for the collision between the Yili and Tarim blocks of the southwestern Altaids [J]. European Journal of Mineralogy, 2010, 22(4):doi:10. 1127/0935-1221/2010/0022-2040.

[42] 高俊, 龙灵利, 钱青, 等. 南天山:晚古生代还是三叠纪碰撞造山带? [J]. 岩石学报, 2006, 22(5):1049-1061.
Gao Jun, Long Lingli, Qian Qing, et al. South Tianshan: A Late Paleozoic or a Triassic orogen? [J]. Acta Petrologica Sinica, 2006, 22: 1049-1061 (in Chinese with English abstract).

[43] 夏林圻, 夏祖春, 徐学义, 等. 天山石炭纪大火成岩省与地幔柱[J]. 地质通报, 2004, 23(9/10):903-910.
Xia Linqi, Xia Zuchun, Xu Xueyi, et al. Carboniferous Tianshan igneous megaprovince and mantle plume [J]. Geol. Bull. Chin., 2004, 23(9/10):903-910(in Chinese with English abstract).

[44] Liegeois LP. Preface——some words on the post-collisional magmatism [J]. Lithos, 1998, 45:15-17.

[45] Jung S, Mezger K, Masberg P, et al. Petrology of an intrusion-related high-grade migmatite:Implications for partial melting of metasedimentary rocks and leucosome-forming processes [J]. J. Metamorphic Geol., 1998, 16:425-445.

[46] Crawford A J, Corbett K D, Everard J. Geochemistry and tectonic setting of a Cambrian VMS-rich volcanic belt:The Mount Read volcanics, W Tasmania [J]. Econ. Geol., 1992, 87:597-619.

[47] Hou Z Q, Wang L Q, Khin Z, et al. Post-collisional crustal extension setting and VHMS mineralization in the Jinshajiang orogenic belt, S.W. China [J]. Ore Geol. Rev., 2003, 22:177-199.

[48] Hou Z Q, Gao Y F, Qu X M, et al. Origin of adakitic intrusives generated during mid-Miocene east west extension in southern Tibet [J]. Earth & Planet. Sci. Lett., 2004, 220:139-155.

[49] 苏玉平, 唐红峰, 丛峰. 新疆东准噶尔黄羊山碱性花岗岩体的锆石 U-Pb 年龄和岩石成因[J]. 矿物学报, 2008, 28(2):117-126.
Su Yuping, Tang Hongfeng, Cong Feng. Zircon U-Pb age and petrogenesis of the Huangyangshan alikal inegranite Body in east Junggar, Xinjiang [J]. Acta Mineralogica Sinica, 2008, 28(2):117-126 (in Chinese with English abstract).

[50] 唐红峰, 屈文俊, 苏玉平, 等. 新疆萨惹什克锡矿与萨北碱性 A 型花岗岩成因关系的年代学制约 [J]. 岩石学报, 2007, 23(8): 1989-1997.
Tang Hongfeng, Qu Wenjun, Su Yuping, et al. Genetic connection of Sareshike tin deposit vitcl the alkaline A-type granites of Sabei body in Xinjiang:constraint from isotopic ages [J]. Acta Petrologica Sinica, 2007, 23(8):1989-1997 (in Chinese with English abstract).

[51] 林锦富, 喻亨祥, 余心起, 等. 新疆东准噶尔萨北富碱花岗岩 SHRIMP 锆石 U-Pb 测年及地质意义 [J]. 岩石学报, 2007, 23 (8): 1876-1884.
Lin Jinfu, Yu Hengxiang, Yu Xinqi, et al. Zircon SHRIMP U-Pb dating and geological implication of the Sabei alkali-rich granite from Eastern Junggar of Xinjiang, NW China [J]. Acta Petrologica Sinica, 2007, 23(8):1876-1884 (in Chinese with English abstract).

[52] 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-colisional tectono-magmatism and geochronological evidence in the Harlik Mt., Xinjiang [J]. Acta Petrologica Sinica, 2010, 26(10):3057-3064 (in Chinese with English abstract).

[53] 周涛发, 袁峰, 范裕, 等. 西准噶尔萨吾尔地区 A 型花岗岩的地球动力学意义:来自岩石地球化学和锆石 SHRIMP 定年的证据[J]. 中国科学(D 辑), 2006, 36 (1):39-48.
Zhou Taofa, Yuan Feng, Fan Yu, et al. Geodynamic signifieance of the A-type granites in the Sawuer region in west Junggar, Xinjiang: Rock geochemistry and SHRIMP zircon age evidence [J]. Science in China (Serie D), 2006, 36(1):39-48 (in Chinese).

[54] 唐功建, 陈海红, 王强, 等. 西天山达巴特 A 型花岗岩的形成时代与构造背景[J]. 岩石学报, 2008, 24(5): 947-958.

Tang Gongjian, Chen Honghai, Wang Qiang, et al. Geochronological age and tectonic background of the Dabate A-type granite pluton in the west Tianshan [J]. Acta Petrologica Sinica, 2008, 24(5):947-958 (in Chinese with English abstract).

[55] 张招崇, 阎升好, 陈柏林, 等. 新疆东准噶尔北部俯冲花岗岩的 SHRIMP U-Pb 锆石定年 [J]. 科学通报, 2006, 51 (13):1565-1574.

Zhang Zhaochong, Yan Shenghao, Chen Belin, et al. SHRIMP zircon U-Pb dating for subduction-related granitic rocks in the northern part of east Junggar, Xinjiang [J]. Chinese Science Bulletin, 2006, 51(13): 1565-1574 (in Chinese).

[56] 杨富全, 阎升好, 屈文俊, 等. 新疆哈腊苏铜矿床 I 号矿化带流体包裹体和碳氢氧同位素地球化学 [J]. 地学前缘, 2010, 17(2): 359-374.

Yang Fuquan, Yan Shenghao, Qu Wenjun, et al. The fluid inclusions and C, H and O isotopic geochemistry of the mineralized zone No.1 at the Halasu copper deposit, Xinjiang. Earth Science Frontiers [J]. 2010, 17(2):359-374(in Chinese with English abstract).

[57] 相鹏, 张连昌, 吴华英, 等. 新疆青河卡拉先格尔铜矿带 II-III 矿区含矿斑岩锆石年龄及地质意义 [J]. 岩石学报, 2009, 25(6): 1474-1483.

Xiang Peng, Zhang Lianchang, Wu Huaying, et al. Ages of the zircons from ore-bearing porphries in Ⅱ - Ⅲ ore area of Kalaxianger porphyry copper ore belt in Qinghe, Xinjiang and its geological significance [J]. Acta Petrologica Sincia, 2009, 25(6): 1474-1483 (in Chinese with English abstract).

[58] 赵战锋, 薛春纪, 张立武, 等. 新疆青河玉勒肯哈腊苏铜矿区酸性岩锆石 U-Pb 法定年及其地质意义 [J]. 矿床地质, 2009, 28(4):425-433.

Zhao Zhanfeng, Xue Chunji, Zhang Liwu, et al. U-Pb dating of zircons from acid intrusions in Yulekenhalasu copper deposit of Qinghe, Xinjiang, and its geological significance [J]. Minaral Deposits, 2009, 28(4):425-433(in Chinese with English abstract).

[59] 龙灵利, 王京彬, 王玉往, 等. 新疆富蕴地区希勒库都克铜钼矿床含矿斑岩的年代学与地球化学特征 [J]. 地质通报, 2009, 28(12):1841-1851.

Long Lingli, Wang Jingbin, Wang Yuwang, et al. Geochronology and geochemistry of the ore-bearing porphyry in Xilekuduke Cu-Mo deposit, Fuyun area, Xinjiang, China [J]. Geological Bulletin of China, 2009, 28(12):1840-1851(in Chinese with English abstract).

[60] 贺伯初, 谭克仁, 吴堑虹. 北疆吉木乃布氏金矿慢源岩岩浆岩时代及 Sr、Nd 同位素证据 [J]. 大地构造与成矿学, 1994, 18(3): 219-228.

He Bochu, Tan Keren, Wu Qianhong. Ages And Sr, Nd Isotopic evidences of mantle source magmatite in the Bu′S gold deposit, Jimunai County, northern Xinjiang [J]. Geotectonica et Metallogenia, 1994, 18 (3):219-228 (in Chinese with English abstract).

[61] Shen Ping, Shen Yuanchao, Zeng Qingdong,et al. $^{40}Ar-^{39}Ar$ age and geological significance of the Sawuer gold belt in northern Xinjiang, China [J]. Acta Geologica Sinica, 2005, 79:276-285.

[62] 郭正林, 李金祥, 秦克章, 等. 新疆西准噶尔罕哲尕能 Cu-Au 矿床的锆石 U-Pb 年代学和岩石地球化学特征：对源区和成矿构造背景的指示[J]. 岩石学报, 2010, 26(12):3563-3578.

Guo Zhenglin, Li Jinxiang, Qin Kezhang, et al. Zircon U-Pb geochronology and geochemistry of Hanzheganeng Cu-Au deposit in West Junggar, Xinjiang: Implications for magma source and metallogenic tectonic setting [J]. Acta Petrologica Sinica, 2010, 26 (12): 3563-3578(in Chinese with English abstract).

[63] 刘玉琳, 郭丽爽, 宋会侠, 等. 新疆西准噶尔包古图斑岩铜矿年代学研究[J]. 中国科学(D 辑), 2009, 39(10):1466-1472.

Liu Yulin, Guo Lishuang, Song Huixia, et al. Geochronology of Baogutu porphyry copper deposit in western Junggar area, Xinjiang of China [J]. Science in China (Series D), 2009, 52(10):1543-1549 (in Chinese).

[64] 唐功建, 王强, 赵振华, 等. 西准噶尔包古图成矿斑岩年代学与地球化学：岩石成因与构造、铜金成矿意义[J]. 地球科学, 2009, 34(1):56-74.

Tang Gongjian, Wang Qiang, Zhao Zhenhua, et al. Geochronology and geochemistry of the ore-bearing porphyries in the Baogutu area (western Junggar): Petrogenesis and their implications for tectonics and Cu-Au mineralization [J]. Earth Science——Journal of China University of Geosciences, 2009, 34 (1):56-74(in Chinese with English abstract).

[65] 申萍, 沈远超, 潘成泽, 等. 新疆哈图-包古图金铜矿集区锆石年龄及成矿特点[J]. 岩石学报, 2010, 26(10):2875-2893.

Shen Ping, Shen Yuanchao, Pan Chengze, et al. Zircon age and metallogenic characteristics of the Hatu-Baogutu Au-Cu metallogenic concentric region in Xinjiang [J]. Acta Petrologica Sinica, 2010, 26(10):2875-2893 (in Chinese with English abstract).

[66] 宋会侠, 刘玉琳, 屈文俊, 等. 新疆包古图斑岩铜矿矿床地质特征[J]. 岩石学报, 2007, 23(8):1981-1988.

Song Huixia, Liu Yulin, Qu Wenjun, et al. Geological characters of Baogutu porphyry copper deposit in Xinjiang, NW China [J]. Acta Petrologica Sinica, 2007, 23 (8):1981-1988 (in Chinese with English abstract).

[67] 王登红, 李华芹, 应立娟, 等. 新疆伊吾琼河坝地区铜、金矿成矿时代及其找矿前景[J]. 矿床地质, 2009, 28(1):73-82.

Wang Denghong, Li Huaqin, Ying Lijuan, et al. Copper and gold metallogenic epoch and prospecting potential in Qiongheba area of Yiwu County, Xinjiang [J]. Mineral Deposits, 2009, 28(1):73-82 (in Chinese with English abstract).

[68] 张永,梁广林,屈迅,等. 东准噶尔琼河坝岛弧早古生代岩浆活动的锆石 U-Pb-Hf 同位素证据[J]. 岩石学报,2010,26(8):2389-2398.

Zhang Yong, Liang Guanglin, Qu Xun, et al. Evidence of U-Pb age and Hf isotope of zircons for Early Paleozoic magmatism in the Qiongheba arc, East Junggar [J]. Acta Petrologica Sinica, 2010, 26 (8):2389-2398 (in Chinese with English abstract).

[69] 程松林, 王世新, 冯京, 等. 和尔赛斑岩型铜矿床地质特征及找矿标志[J]. 新疆地质, 2010, 28(3):254-259.
Cheng Songlin, Wang Shixin, Feng Jing, et al. Geological characteristics and prospection standards of the He'ersai copper deposit, Xinjiang [J]. Xinjiang Geology, 2010, 28 (3):254-259(in Chinese with English abstract).

[70] 郦今敖, 莫江平, 彭晓明, 等. 新疆双峰山浅成低温热液金矿床特征与成矿机制[J]. 新疆地质, 2004, 22(2):164-169.
Li Jinao, Mo Jiangping, Peng Xiaoming, et al. The geologic features and metallogenic mechanism of epithermal gold deposit in Shuangfengshan, Xinjiang [J]. Xinjiang Geology, 2004, 22(2):164-169(in Chinese with English abstract).

[71] 陈仁义. 新疆东准噶尔铜金矿床类型及其时空分布 [J]. 矿床地质, 1995, 14(3):228-234.
Chen Renyi. Types and space-time distribution of copper-gold deposits in east Junggar, Xinjiang [J]. Mineral Deposits, 1995, 14 (3): 228-234(in Chinese with English abstract).

[72] 陈富文, 李华芹, 陈毓川, 等. 东天山土屋—延东斑岩铜矿田成岩时代精确测定及其地质意义[J]. 地质学报, 2005, 79(2):256-261.
Chen Fuwen, Li Huaqin, Chen Yuchuan, et al. Zircon SHRIMP U-Pb dating and its geological significance of mineralization in Tuwu-Yandong porphyry copper mine, east Tianshan Mountains [J]. Acta Geologica Sinica, 2005, 79(2):256-261 (in Chinese with English abstract).

[73] 秦克章. 新疆北部中亚型造山与成矿作用[D]. 北京:博士后研究工作报告, 2000:194.
Qin Kezhang. Metellogeneses in Relation to Central Asia Sytle Orogeny of Northern Xinjiang [D]. Beijing:Post-doctor Report, 2000:1-130 (in Chinese with English abstract).

[74] 芮宗瑶, 王龙生, 王义天, 等. 东天山土屋和延东斑岩铜矿床时代讨论[J]. 矿床地质, 2002, 21(1):16-21.
Rui Zongyao, Wang Longsheng, Wang Yitian,et al. Discussion on metallogenic epoch of Tuwu and Yandong porphyry copper deposits in eastern Tianshan Mountains, Xinjiang [J]. Mineral Deposits, 2002, 21(1):16-21(in Chinese with English abstract).

[75] 秦克章, 方同辉, 王书来, 等. 东天山古生代板块构造分区、演化与成矿地质背景研究[J]. 新疆地质, 2002, 20(4):302-308.
Qin Kezhang, Fang Tonghui, Wang Shulai, et al. Plate tectonics division, evolution and metallogenic settings in eastern Tianshan Mountains, NW China [J]. Xinjiang Geology, 2002, 20 (4):302-308(in Chinese with English abstract).

[76] 郭谦谦, 潘成泽, 肖文交, 等. 哈密延东铜矿床地质和地球化学特征[J]. 新疆地质, 2010, 28(4):419-426.
Guo Qianqian, Pan Chengze, Xiao Wenjiao, et al. Geological and geochemical characteristics of the Yandong porphyry copper deposits in Hami, Xinjiang [J]. Xinjiang Geology, 2010, 28(4): 419-426 (in Chinese with English abstract).

[77] 张达玉, 周涛发, 袁峰, 等. 新疆东天山地区延西铜矿床的地球化学、成矿年代学及其地质意义 [J]. 岩石学报, 2010, 26(11): 3327-3338.
Zhang Dayu, Zhou Taofa, Yuan Feng, et al. Geochemical characters, metallogenic chronology and geological significance of the Yanxi copper deposit in eastern Tianshan, Xinjiang [J]. Acta Petrologica Sinica, 2010, 26 (11):3327-3338 (in Chinese with English abstract).

[78] 吴华, 李华芹, 陈富文, 等. 东天山哈密地区赤湖钼铜矿区斜长花岗斑岩锆石 SHRIMP U-Pb 年龄 [J]. 地质通报, 2006, 25(5): 550-552.
Wu Hua, Li Huaqin, Chen Fuwen, et al. Zircon SHRIMP U-Pb dating of plagiogranite porphyry in the Chihu molybdenum-copper district, Hami, East Tianshan [J]. Geological Bulletin of China, 2006, 25(5): 549-552(in Chinese with English abstract).

[79] 刘德权, 陈毓川, 王登红, 等. 土屋—延东铜钼矿田与成矿有关问题的讨论[J]. 矿床地质, 2003, 22(4):334-344.
Liu Dequan, Chen Yuchuan, Wang Denghong, et al. A discussion on problems related to mineralization of Tuwu-Yandong Cu-Mo orefield in Hami, Xinjiang [J]. Mineral Deposits, 2003, 22(4):334-344 (in Chinese with English abstract).

[80] 李华芹, 陈富文, 路远发, 等. 东天山三岔口铜矿区矿化岩体 SHIRMP U-Pb 年代学及锶同位素地球化学特征研究 [J]. 地球学报,2004, 25(2):191-195.
Li Huaqin, Chen Fuwen, Lu Yuanfa, et al. Zircon SHRIMP U-Pb age and strontium isotopes of mineralized granitoids in the Sanchakou copper polymetallic depoist, East Tianshan Mountains [J]. Acta Geoscientica Sinica, 2004, 25 (2):191-195 (in Chinese with English abstract).

[81] 郎智君, 师波, 李天德. 新疆哈密三岔口铜矿成因探讨 [J]. 新疆地质, 1992, 10(3):244-252.
Lang Zhijun, Shi Bo, Li Tiande. Geneiss of copper deposit in Sanchakou, Hami, Xinjiang [J]. Xinjiang Geology, 1992, 10(3): 244-252 (in Chinese with English abstract).

[82] 李华芹, 陈富文, 蔡红, 等. 新疆东部马庄山金矿成矿作用同位素年代学研究[J]. 地质科学, 1999, 34(2):251-256.
Li Huaqin, Chen Fuwen, Cai Hong, et al. Study on isotopic chronology of the Mazhuangshan gold mineralization, eastern Xinjiang [J]. Scientia Geologica Sinica, 1999, 34 (2):251-256(in Chinese with English abstract).

[83] 李华芹, 谢才富, 常海亮, 等. 新疆北部有色贵金属矿床成矿作用年代学[M]. 北京:地质出版社, 1998, 264P.
Li Huaqin, Xie Caifu, Chang Hailiang, et al. Study on Metallogenetic Chronology of Nonferrous and Precious Metallic Ore Deposits in North Xinjiang, China [M]. Beijing:Geological Publishing House, 1998: 1-264 (in Chinese with English abstract).

[84] 薛春纪, 姬金生, 张连昌, 等. 新疆西滩金矿床同位素年代学研究[J]. 西安工程学院学报, 1999, 2(4):6-10.
Xue Chunji, Ji Jinsheng, Zhang Lianchang, et al. Research on isotopic chronology of Xitan gold deposit Xinjiang [J]. Journal of Xian Engineering University, 1999, 2 (4):6-10 (in Chinese with

English abstract).

[85] 李华芹, 陈富文, 李锦轶, 等. 再论东天山白山钨钼矿区成岩成矿时代[J]. 地质通报, 2006, 25(8):916-922.
Li Huaqin, Chen Fuwen, Li Jinyi, et al. Age of mineralization and host rocks in the Baishan rhenium-molybdenum district, East Tianshan, Xinjiang, China: Revised [J]. Geological Bulletin of China, 2006, 25(8):916-922(in Chinese with English abstract).

[86] 张达玉, 周涛发, 袁峰, 等. 新疆东天山地区白山钼矿床的成因分析[J]. 矿床地质, 2009, 28(5):663-672.
Zhang Dayu, Zhou Taofa, Yuan Feng, et al. A genetic analysis of Baishan molybdenum deposit in East Tianshan area, Xinjiang [J]. Mineral Deposits, 2009, 28(5):663-672 (in Chinese with English abstract).

[87] 黄超勇, 郎岩峰, 董理践, 等. 东天山东戈壁特大型钼矿床地质特征及成因研究[J]. 中国钼业, 2011, 35(3):8-17.
Huang Chaoyong, Lang Yanfeng, Dong Lijian, et al. Geological characteristics and genesis research of the Dornogobi oversize molybdenum deposit in eastern Tianshan [J]. China Molybdenum Industry, 2011, 35(3):8-17(in Chinese with English abstract).

[88] 李华芹, 王登红, 万阈, 等. 新疆莱历斯高尔铜钼矿床的同位素年代学研究[J]. 岩石学报, 2006, 22(10):2437-2443.
Li Huaqin, Wang Denghong, Wan Yu, et al. Isotopic geochronology study and its significance of the Lailisigao'er Mo deposit, Xinjiang [J]. Acta Petrologica Sinica, 2006, 22(10):2437-2443(in Chinese with English abstract).

[89] 张东阳, 张招崇, 艾羽, 等. 西天山莱历斯高尔一带铜(钼)矿成矿斑岩年代学、地球化学及其意义[J]. 岩石学报, 2009, 22(10):2437-2443.
Zhang Dongyang, Zhang Zhaochong, Ai Yu, et al. Geochronology, geochemistry of the ores-bearing Porphyries in the Lailisigao'er region, western Tianshan: Implications for their tectonic setting and mineralization [J]. Acta petrologica Sinica, 2009, 25(6):1319-1331(in Chinese with English abstract).

[90] 朱明田, 武广, 解洪晶, 等. 新疆西天山莱历斯高尔斑岩型铜钼矿床辉钼矿 Re-Os 同位素年龄及流体包裹体研究 [J]. 岩石学报,2010, 26(12):3667-3682.
Zhu Mingtian, Wu Guang, Xie Hongjing, et al. Re-Os isotopic geochronology and fluid inclusion study of the Lailisigao'er porphyry Cu-Mo deposit in western Tianshan, Xinjiang, NW China [J]. Acta Petrologica Sinica, 2010, 26 (12):3667-3682 (in Chinese with English abstract).

[91] 翟伟, 孙晓明, 高俊, 等. 新疆阿希金矿床赋矿围岩-大哈拉军山组火山岩 SHRIMP 锆石年龄及其地质意义[J]. 岩石学报, 2006, 22(5):1399-1404.
Zhai Wei, Sun Xiaoming, Gao Jun, et al. SHRIMP dating of zircons from volcanic host rocks of Dahalajunshan Formation in Axi gold deposit, Xinjiang, China, and its geological implications [J]. Acta Petrologica Sinica, 2006, 22 (5):1399-1404 (in Chinese with English abstract).

[92] 贾志业, 薛春纪, 屈文俊, 等. 新疆肯登高尔铜钼矿地质和 S、Pb、O、H 同位素组成及 Re-Os 测年 [J]. 矿床地质, 2011, 30(1):74-86.
Jia Zhiye, Xue Chunji, Qu Wenjun, et al. Geology, S, Pb, O and H isotopic compositions and Re-Os chronology of Kendenggaoer Cu-Mo deposit in Xinjiang [J]. Mineral Deposits, 2011, 30(1):74-86(in Chinese with English abstract).

[93] 张作衡, 王志良, 左国朝, 等. 西天山达巴特矿区火山岩的形成时代、构造背景及对斑岩型矿化的制约[J]. 地质学报, 2008, 82(11):1494-1503.
Zhang Zuoheng, Wang Zhiliang, Zuo Guochao, et al. Ages and tectonic settings of the volcanic rocks in Dabate ore district in West Tianshan Mountains and their constraints on the porphyry-type mineralization [J]. Acta Geologica Sinica, 2008, 82(11):1494-1503 (in Chinese with English abstract).

[94] 张作衡, 毛景文, 王志良, 等. 新疆西天山达巴特铜矿床地质特征和成矿时代研究[J]. 地质论评, 2006, 52(5):683-659.
Zhang Zuoheng, Mao Jingwen, Wang Zhiliang, et al. Geology and metallogenetic epoch of the Dabate porphyry copper deposit in West Tianshan Mountains, Xinjiang [J]. Geological Review, 2006, 52(5): 683-659(in Chinese with English abstract).

[95] 赵振华, 熊小林, 王强, 等. 新疆西天山莫斯早特石英钠长斑岩铜矿床——一个与埃达克质岩石有关的铜矿实例[J]. 岩石学报, 2004, 20(2):249-258.
Zhao Zhenghua, Xiong Xiaolin, Wang Qiang, et al. A case study on porphyry Cu deposit related with adakitic quartz albite porphyry in Mosizaote, Western Tianshan, China [J]. Acta Petrologica Sinica, 2004, 20(2):249-258(in Chinese with English abstract).

[96] 尹意求, 陈维民, 莫江平, 等. 新疆尼勒克县群吉萨依铜矿的含矿隐爆角砾岩筒之发现及其地质找矿意义 [J]. 矿产与地质, 2005, 19(3):246-252.
Yin Yiqiu, Chen Weimin, Mo Jiangping, et al. Discovery of copper-bearing cryptoexplosion breccia pipe in Qunjisayi copper deposit in Nileke County, Xinjiang and its significance [J]. Mineral Resources and Geology, 2005, 19 (3):246-252 (in Chinese with English abstract).

[97] 韩长江. 新疆尼勒克县圆头山铜矿地质特征及成因初探[J]. 新疆有色金属, 2007, (增刊):35-39.
Han Changjiang. Geological characteristics and origin of Yuantoushan Cu deposit in Nileke, Xinjiang [J]. Xinjiang Nonferrous Metals, 2007, (supp.):35-39(in Chinese).

[98] 高景刚. 新疆北部主要斑岩铜矿带成矿条件及遥感找矿定位研究[D]. 西安:长安大学博士学位论文, 2008:1-130.
Gao Jinggang. The Study on the Mineralization Condition of the Major Porphyry Copper Mineral Belt and Remote Sensing Prospecting Localization in Northern Xinjiang, China [D]. Xi'an: Doctoral Dissertation of Chang'an University, 2008:1-130 (in Chinese with English abstract).

[99] 张海祥, 牛贺才, Kentaro T, 等. 新疆北部阿尔泰地区库尔提蛇绿岩中斜长花岗岩的 SHRIMP 年代学研究[J]. 科学通报, 2003,

48(12):1350-1354.
Zhang Haixiang, Niu Hecai, Kentaro T, et al. Zircon SHRIMP U-Pb dating on plagiogranite from Kuerti ophiolite in Altay, North Xinjiang [J]. Chinese Science Bulletin, 2003, 48(12):1350-1354 (in Chinese).

[100] 张海祥, 牛贺才, 于学元, 等. 准噶尔板块东北缘富铌玄武岩的发现及其地质意义[J]. 地质找矿论丛, 2003, 18(1):71-72.
Zhang Haixiang, Niu Hecai, Yu Xueyuan, et al. Discovery of Nb-rich basalt at the northeast margin of Junggar plate and the geological significance [J]. Contributions to Geology and Mineral Resources Research, 2003, 18(1):71-72(in Chinese with English abstract).

[101] 张招崇, 闫升好, 陈柏林, 等. 阿尔泰造山带南缘中泥盆世苦橄岩及其大地构造和岩石学意义[J]. 地球科学, 2005, 30(3):289-297.
Zhang Zhaochong, Yan Shenghao, Chen Bailin, et al. Middle Devonian picrites of south margin of Altay orogenic belt and implications for tectonic setting and petrogenesis [J]. Earth Sciencs, 2005, 30(3):289-297 (in Chinese with English abstract).

[102] Kirwin D J, Forster C N, Kavalieris I, et al. The Oyu Tolgoi copper-gold deposit, South Gobi, Mongolia [C]//Seltmann R, Gerel O, Kirwin D J (eds.). Geodynamics and Metallogeny of Mongolia with A Special Emphasis on Copper and Gold Deposits. IAGOD Guidebook Series 11, London, 2005:155-174.

[103] Lamb M A, Cox D. New $^{40}Ar/^{39}Ar$ age data and implications for porphyry copper deposits of Mongolia [J]. Economic Geology, 1998, 98:524.

[104] Watanabe Y, Stein J. Re-Os ages for the Erdenet and Tsagaan Suvarga porphyry Cu-Mo deposits, Mongolia, and tectonic implications [J]. Economic Geology, 2000, 95:1537.

[105] 侯万荣, 聂凤军, 江思宏, 等. 蒙古国查干苏布尔加大型铜-钼矿床地质特征及成因[J]. 地球学报, 2010, 31(3):307-320.
Hou Wanrong, Nie Fengjun, Jiang Sihong, et al. The Geology and ore-forming mechanism of the Tsagaan Suvarga large-size Cu-Mo porphyry deposit in Mongolia [J]. Acta Geoscientica Sinica, 2010, 31(3):307-320(in Chinese with English abstract).

[106] 王京彬, 王玉往, 何志军. 东天山大地构造演化的成矿示踪[J]. 中国地质, 2006, 33(3):461-469.
Wang Jingbin, Wang Yuwang, He Zhijun. Ore deposits as a guide to the tectonic evolution in the East Tianshan Mountains, NW China [J]. Geology in China, 2006, 33 (3):461-469 (in Chinese with English abstract).

[107] 木合塔尔·扎日,吴兆宁,吴昌志,等. 东天山板块缝合区(带)的构造演化与多金属矿床成矿的关系[J]. 地球科学—中国地质大学学报, 2010, 35(2):245-253.
Muhetaer Zari, Wu Zhaoning, Wu Changzhi, et al. Relationship between tectonic evolution and polymetallic mineralization of the east Tianshan plate suture zone [J]. Earth Science—Journal of China University of Geosciences, 2010, 35 (2):245-253 (in Chinese with English abstract).

[108] 朱永峰. 新疆的印支运动与成矿 [J]. 地质通报, 2007, 26(5):510-519.
Zhu Yongfeng. Indosinian movement and metallogeny in Xinjiang, Chian [J]. Geological Bulletin of China, 2007, 26(5):510-519(in Chinese with English abstract).

[109] 王强, 赵振华, 许继峰, 等. 天山北部石炭纪埃达克岩-高镁安山岩-富 Nb 岛弧玄武质岩: 对中亚造山带显生宙地壳增生与铜金成矿的意义[J]. 岩石学报, 2006, 22(l):11-30.
Wang Qiang, Zhao Zhenhua, Xu Jifeng, et al. Carboniferous adakite-high Mg andesite - Nb-enriched basaltic rock suites in the Northern Tianshan area: Implications for Phanerozoic crustal growth in the Central Asia Orogenic Belt and Cu-Au mineralization [J]. Acta Petrologica Sinica, 2006, 22(1):11-30(in Chinese with English abstract).

[110] Han C M, Xiao W J, Zhao G C, et al. Geological characteristics and genesis of the Tuwu porphyry copper deposit, Hami, Xinjiang, Central Asia [J]. Ore Geology Reviews, 2006, 29(1):77-94.

[111] 陈文明. 新疆小热泉子铜(锌)矿床同位素研究[J]. 地球学报, 1999, 20(4):349-356.
Chen Wenming. 1999. A study of the isotopic composition of the Xiaorequanzi copper and zinc deposit in Xinjiang, China [J]. Acta geoscientia sinica, 20 (4):349-356 (in Chinese with English abstract).

[112] 秦克章, 彭晓明, 三金柱, 等. 东天山主要矿床类型、成矿区带划分与成矿远景区优选[J]. 新疆地质, 2003, 21(2):143-150.
Qin Kezhang, Peng Xiaoming, San Jinzhu, et al. Types of major ore deposits, division of metallogenic belts in eastern Tianshan, and discrimination of potential prospects of Cu, Au, Ni mineralization [J]. Xinjiang Geology, 2003, 21 (2):143-150 (in Chinese with English abstract).

[113] 许英霞, 秦克章, 丁奎首, 等. 东天山红山高硫型浅成低温铜-金矿床:中生代成矿与新生代氧化的 K-Ar、Ar-Ar 年代学证据及其古构造和古气候意义 [J]. 岩石学报, 2008, 24 (10):2371-2383.
Xu Yingxia, Qin Kezhang, Ding Kuishou, et al. Geochronology evidence of Mesozoic metallogenesis and Cenozoic oxidation at Hongshan HS-epithermal Cu-Au deposit, Kalatage region, eastern Tianshan, and its tectonic and paleoclimatic significances. Acta Petrologica Sinica, 24 (10):2371-2383 (in Chinese with English abstract).

[114] 陈文, 张彦, 秦克章, 等. 新疆东天山剪切带型金矿床时代研究[J]. 岩石学报, 2007, 23(8):2007-2016.
Chen Wen, Zhang, Yan, Qin Kezhang, et al. Study on the age of the shear zone-type gold deposit of east Tianshan, Xinjiang, China [J]. Acta Petrologica Sinica, 2007, 23 (8):2007-2016(in Chinese with English abstract).

[115] 兰天佑, 岳书仓. 新疆喀孜别克锡矿床地质地球化学研究[J]. 合肥工业大学学报, 1994, 17(1):160-164.
Lan Tianyou, Yue Shucang. Studies on geology and geochemistry

of the Kezbike tin deposit in Xinjiang [J]. Journal of Hefei University of Technology, 1994, 17(1):160-164(in Chinese with English abstract).

[116] Wang K R, Zhou Y Q. Abstracts of the 28th International Geological Congress [C]//Washington D.C., 1989, Vol.3:324.

[117] 陈宣华, 屈文俊, 韩淑琴, 等. 巴尔喀什成矿带 Cu-Mo-W 矿床的辉钼矿 Re-Os 同位素年龄测定及其地质意义 [J]. 地质学报,2010, 84(9):1333-1348.
Chen Xuanhua, Qu Wenjun, Han Shuqin, et al. Re-Os Dating of Molybdenites from the Cu-Mo-W Deposits in the Balkhash Metallogenic Belt, Kazakhstan and Its Geological Significance [J]. Acta Geologica Sinica, 2010, 84(9):1333-1348 (in Chinese with English abstract).

[118] Jian P, Liu D Y, Shi Y R, et al. SHRIMP dating of SSZ ophiolites from northern Xinjiang Province, China: Implications for generation of oceanic crust in the Central Asian orogenic belt [C]//Sklyarov EV (ed.). Structural and Tectonic Correlation across the Central Asia Orogenic Collage:North-Eastern Segment. Guidebook and Abstract Volume of the Siberian Workshop IGCP-480: Irkutsk, Institute of the Earth Crust, Siberian Branch of Russian Academy of Sciences, 2005:246-251.

[119] 王玉往, 王京彬, 王书来, 等. 新疆希勒库都克铜钼矿床地质特征和成因探讨[J]. 新疆地质, 2010, 28(4):370-376.
Wang Yuwang, Wang Jingbin, Wang Shulai, et al. Geological characteristics and genesis of the Xilekuduke Cu-Mo deposit, Xinjiang [J]. Xinjiang Geology, 2010, 28(4):370-376 (in Chinese with English abstract).

[120] 薛静, 聂凤军, 戴塔根, 等. 蒙古国阿林诺尔钼矿床辉钼矿 Re-Os 同位素年龄及地质意义[J]. 地球学报, 2010, 31(3):350-356.
Xue Jing, Nie Fengjun, Dai Tagen, et al. Re-Os isotopic dating of molybdenite from the Arynnuur Mo deposit in Mongolia and its geological implications [J]. Acta Geoscientica Sinica, 2010, 31(3):350-356 (in Chinese with English abstract).

[121] 刘翼飞, 聂凤军, 江思宏, 等. 蒙古国阿林诺尔钼矿床赋矿花岗岩年代学及地球化学特征[J]. 地球学报, 2010, 31(3):343-349.
Liu Yifei, Nie Fengjun, Jiang Sihong, et al. The geochronology and geochemical features of ore-hosting granite in the Arynnuur molybdenum deposit, Mongolia [J]. Acta Geoscientica Sinica, 2010, 31(3):350-356(in Chinese with English abstract).

[122] Middlemost E A K. Naming materials in the magma/igneous rock system [J]. Earth Sci. Rev., 1994, 37:215-224.

[123] Rollinson H R. Using Geochemical Data: Evaluation, Presentation, Interpretation [M]. England:Longman Scientific & Technical, Harlow, 1993:1-352.

[124] Maniar P D, Piccoli P M. Tectonic discrimination of granitoids Geological Society of America Bulletin [J]. GSA Bulletin, 1989, 101:635-643.

[125] Whalen J B, Currie K L, Chappell B W. A-type granite: Geochemical characteristics discrimination and petrogenesis [J]. Contrite. Mineral. Petrol., 1987, 95:407-419.

[126] Defant M J, Drummond M S. Derivation of some modern arc magmas by melting of young subducted lithosphere [J]. Nature, 1990, 374:662-665.

[127] Drummond M S, Defant M J, Kepezhinskas P K. Petrogenesis of slab-derived trondhjemite-tonalite-dacite/adakite magmas. Transactions of the Royal society of Edinburgh [J]. Earth Sciences, 1996, 87:205-215.

[128] 万博, 张连昌. 新疆阿尔泰东南缘卡拉先格尔铜矿带含矿斑岩地球化学及其成矿意义[J]. 中国地质, 2006, 33(3):618-625.
Wan Bo, Zhang Lianchang. Geochemistry of ore-bearing porphyries in the Kalaxianger copper belt on the southeastern margin of the Altay Mountains, Xinjiang [J]. Geology in China, 2006, 33(3):618-625(in Chinese with English abstract).

[129] 张连昌, 秦克章, 英基丰, 等. 东天山土屋-延东斑岩铜矿带埃达克岩及其与成矿作用的关系[J]. 岩石学报, 2004, 20(2):259-268.
Zhang Lianchang, Qin Kezhang, Ying Jifeng, et al. The relationship between ore-forming processes and adakitic rock in Tuwu-Yandong porphyry copper metallogenic belt, eastern Tianshan Mountains [J]. Acta Petrologica Sinica, 2004, 20(2):259-268(in Chinese with English abstract).

[130] 张连昌, 万博, 焦学军, 等. 西准包古图含铜斑岩的埃达克岩特征及其地质意义[J]. 中国地质, 2005, 33(3):626-631.
Zhang Lianchang, Wan Bo, Jiao Xuejun, et al. Characteristics and geological significance of adakitic rocks in copper-bearing porphyry in Baogutu, western Junggar [J]. Geology in China, 2005, 33(3):626-631 (in Chinese with English abstract).

[131] 刘策. 鄯善县石英滩金矿区火山岩与金成矿关系研究[D]. 乌鲁木齐:新疆大学硕士学位论文, 2009:1-54.
Liu Ce. Volcanic Rocks around The Shiyingtan Gold Mine, Shanshan and the Relationship to the Gold Mineralization [D]. Urumqi: Master Dissertation of Xinjiang University, 2009:1-54 (in Chinese with English abstract).

[132] 周济元, 曾长华, 崔炳芳, 等. 新疆哈密马庄山金矿区次火山岩及其地球化学特征[J]. 火山地质与矿产, 1998, 19(2):93-104.
Zhou Jiyuan, Zeng Changhua, Cui Bingfang, et al. The subvolcanic rock and its geochemical features of Mazhuangshan goldfield in Hami, Xinjiang Province [J]. Volcanology & Mineral Resources, 1998, 19 (2): 93-104 (in Chinese with English abstract).

[133] 席小平. 双峰山金矿床地质特征及成因探讨 [J]. 矿产与地质, 1999, 13(1):28-33.
Xi Xiaoping. Geological features and genetic study of Shuang Feng Shan gold deposit [J]. Mineral Resources and Geology, 1999, 13(1):28-33(in Chinese with English abstract).

[134] 秦克章, 张连昌, 丁奎首, 等. 东天山三岔口铜矿床类型、赋矿岩石成因与矿床矿物学特征 [J]. 岩石学报, 2009, 25 (4):845-861.
Qin Kezhang, Zhang Lianchang, Ding Kuishou, et al. Mineralization type, petrogenesis of ore-bearing intrusions and mineralogical characteristics of Sanchakou copper deposits in eastern Tianshan [J]. Acta Petrologica Sinica,2009, 25(4):845-861 (in Chinese with English abstract).

[135] 吴明仁, 楼法生, 肖晓林, 等. 新疆尼勒克南部地区花岗斑岩锆

石 U-Pb 年龄[J]. 资源调查与环境, 2006, 27(1):1-6.
Wu Mingren, Lou Fasheng, Xiao Xiaolin, et al. Zircon U-Pb ages of granite porphyry in the South Nileike, Xinjiang [J]. Resources Survey & Environment, 2006, 27 (1):1-6 (in Chinese with English abstract).

[136] 卫管一, 许国琳. 新疆白山地区碰撞带花岗岩的地球化学特征[J]. 矿物岩石, 1997, 17(4):33-38.
Wei Guanyi, Xu Guoling. Geochemical characteristics of the granites in collision belt from the Baishan region of Xinjiang [J]. J. Mineral. Petrol., 1997, 17(4):33-38(in Chinese with English abstract).

[137] Boynton W V. Cosmochemistry of the rare earth elements [J]. Meteorite studies Dev. Geochem, 1984, 2:63-114.

[138] Harris N B W, Pearce J A, Tindle A G. Geochemical characteristics of collision-zone magmatism [C]//Coward M P, Reis A C (eds.). Collision Tectonies. Spec. Publ. Geol. Soc. Lond., 1986:67-81.

[139] Pearce J A, Harris N B W, Tindle A G. Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks [J]. Journal of Petrology, 1984, 25:956-983.

[140] 涂其军. 新疆阿尔泰南缘东段喀腊苏斑岩铜矿成矿特征研究[D]. 西安:长安大学硕士学位论文, 2007:1-70.
Tu Qijun. Metallogenic Characteristic Study of The Halasu Porphyry Copper Deposit in The Eastern Part of Southern Altay, Xinjiang [C]. Xi'an: Master Dissertation of Chang'an University, 2007:1-70 (in Chinese with English abstract).

[141] 薛春纪, 陈波, 贾志业, 等. 新疆西天山莱历斯高尔-3571 斑岩铜钼矿田地质地球化学和成矿年代 [J]. 地学前缘, 2011, 18(1):149-165.
Xue Chunji, Chen Bo, Jia Zhiye, et al. Geology, geochemistry and chronology of Lailisigaoer - 3571 porphyry Cu-Mo ore-field, western Tianshan, Xinjiang [J]. Earth Science Frontiers, 2011, 18(1):149-165 (in Chinese with English abstract).

[142] 翟伟, 孙晓明, 苏丽薇, 等. 新疆阿希金矿: 古生代的低硫型浅成低温热液金矿床[J]. 地学前缘, 2010, 17(2):266-285.
Zhai Wei, Sun Xiaoming, Su Liwei, et al. Axi gold deposit: A Paleozoic low-sulfidation type of epithermal gold deposit in Xinjiang, China [J]. Earth Science Frontiers, 2010, 17(2):266-285 (in Chinese with English abstract).

[143] 李智明, 赵仁夫, 霍瑞平, 等. 新疆土屋-延东铜矿田地质特征[J]. 地质与勘探, 2006, 42(6):1-4.
Li Zhiming, Zhao Renfu, Huo Ruiping, et al. Geological characters of Tuwu-Yandong copper deposit in Xinjiang [J]. Geology and Prospecting, 2006, 42 (6):1-4 (in Chinese with English abstract).

[144] 尹意求, 陈大经, 安银昌, 等. 新疆萨吾尔山阔尔真阔腊浅成低温热液型金矿床[J]. 有色金属矿产与勘查, 1996, 5(5):278-283.
Yin Yiqiu, Chen Dajing, An Yinchang, et al. Characteristics of the Kuoerzhenkuola epithermal gold deposit in Sawuershan, Xinjiang [J]. Geological Exploration for Non-ferrous metals, 1996, 5(5):278-283 (in Chinese with English abstract).

[145] 张志欣, 杨富全, 闫升好, 等. 新疆包古图斑岩铜矿床成矿流体及成矿物质来源——来自硫、氢和氧同位素证据[J]. 岩石学报, 2010, 26(3):707-716.
Zhang Zhixin, Yang Fuquan, Yan Shenhao, et al. Sources of ore-forming fluids and materials of the Baogutu porphyry copper deposit in Xinjiang: Constraints from sulfur-hydrogen-oxygen isotopes geochemistry [J]. Acta Petrologica Sinica, 2010, 26(3):707-716 (in Chinese with English abstract).

[146] 郭晓东, 金宝义, 徐燕夫, 等. 新疆东部马庄山金矿地质特征及矿床成因[J]. 黄金地质, 2002, 8(1):21-25.
Guo Xiaodong, Jin Baoyi, Xu Yanfu, et al. Geological features and genesis of Mazhuangshan gold deposit in eastern Xinjiang [J]. Gold Geology, 2002, 8 (1):21-25 (in Chinese with English abstract).

[147] 聂凤军, 江思宏, 张义, 等. 中蒙边境及邻区斑岩型铜矿床地质特征及成因[J]. 矿床地质, 2004, 23(2):176-189.
Nie Fengjun, Jiang Sihong, Zhang Yi, et al. Geological features and origin of porphyry copper deposits in China-Mongolia border region and its neighboring areas [J]. Mineral Deposits, 2004, 23(2):176-189(in Chinese with English abstract).

[148] 闫升好, 滕荣丽, 张招崇, 等. 新疆阿尔泰山南缘卡拉先格尔斑岩铜矿带成因再认识——来自哈腊苏铜矿硫-铅-氢-氧同位素和 $^{40}Ar-^{39}Ar$ 年龄的约束[J]. 矿床地质, 2006, 25(3):292-301.
Yan Shenghao, Teng Rongli, Zhang Zhaochong, et al. New understanding on origin of Kalaxiangeer copper deposit on southern margin of Altay Mountain, Xinjiang: Constraints from S-Pb-H-O isotope geochemistry and $^{40}Ar-^{39}Ar$ age of Halasu copper deposit [J]. Mineral Deposits, 2006, 25 (3):292-301 (in Chinese with English abstract).

[149] 侯广顺, 杨贺杰. 东天山土屋斜长花岗斑岩的成因——来自围岩的证据[J]. 四川有色金属, 2009, (2):5-8.
Hou Guangshun, Yang Hejie. The petrogenesis of Tuwu plagiogranite porphyry from east Tianshan:Evidence from wallrock [J]. Sichuan Nonferrous Metals, 2009, (2):5-8 (in Chinese with English abstract).

[150] 毋瑞身, 田昌烈, 杨芳林, 等. 新疆阿希地区金矿概论 [J]. 贵金属地质, 1996, 5(1):5-21.
Wu Ruishen, Tian Changlie, Yang Fanglin, et al. The outline of gold deposits in Axi area, Xinjiang [J]. Journal of Precious Metallic Geology, 1996, 5(1):5-21(in Chinese with English abstract).

[151] 刘家远. 新疆东准噶尔与中酸性浅成岩建造有关的金矿床系列[J]. 地质找矿论丛, 2006, 21(2):75-79.
Liu Jiayuan. Gold deposit series related to intermediate-acidic hypabyssal magmatic formation in east Junggar [J]. Contributions to Geology and Mineral Resources Research, 2006, 21 (2):75-79 (in Chinese with English abstract).

[152] 关维娜. 新疆包古图大型斑岩铜钼矿床成矿流体地球化学作用及演化[D] . 乌鲁木齐:新疆大学硕士学位论文, 2010:51.
Guan Weina. Geochemistry and Evolution of Ore-Forming Fluids at Baogutu Porphry Copper Deposit, Xinjiang [D]. Urumqi: Master Dissertation of Xinjiang University, 2010:1-51 (in Chinese with English abstract).

[153] 孙燕, 肖渊甫, 李凤春, 等. 新疆三岔口铜矿床成矿流体性质及成因[J]. 地质与勘探, 2009, 45(3):235-239.

Sun Yan, Xiao Yuanfu, Li Fengchun, et al. The mineralizing fluid characteristics and genesis of the Sanchakou copper deposit in Xinjiang [J]. Geology and Exploration, 2009, 45 (3):235-239(in Chinese with English abstract).

[154] 陈世忠, 周济元, 顾连兴, 等. 新疆哈密马庄山金矿成矿流体成因及金沉淀机制的探讨[J]. 矿床地质, 2000, 19(3):193-200.
Chen Shizhong, Zhou Jiyuan, Gu Lianxing, et al. Genesis of ore-forming fluids and precipitation mechanism of gold in the Mazhuangshan gold deposit, Hami, Xinjiang [J]. Mineral Deposits, 2000, 19(3):193-200(in Chinese with English abstract).

[155] 周济元, 张斌, 张朝文, 等. 东天山古大陆及其边缘银、铼、钼、金和铜矿地质特征[M]. 北京:地质出版社, 1996:105-133.
Zhou Jiyuan, Zhang Bin, Zhang Chaowen, et al. Geology of the Silver, Rhenium-Molybdenum, Gold and Copper Deposits in the Eastern Tianshan and Its Adjacent Regions [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1996:105-133(in Chinese).

[156] Zindler A, Hart S. Chemical geodynamics [J]. Annual Review of Earth Planet Science, 1986, 14:493-571.

[157] 魏少妮, 朱永峰. 新疆包古图中酸性岩浆侵位的 P-T-f_{O_2} 条件及岩体地球化学研究[J]. 地质学报, 2010, 84(7):1017-1029.
Wei Shaoni, Zhu Yongfeng. Emplacement of the intermediate and acid magmatic rocks in Xinjiang: Constraints from the P-T-f_{O_2} and geochemistry [J]. Acta Geologica Sinica, 2010, 84 (7):1017-1029(in Chinese with English abstract).

Tectonic evolution stages of northern Xinjiang and tectonic types of porphyry-epithermal deposits

WANG Yu-wang, WANG Jing-bin, LONG Ling-li, ZOU Tao, WANG Li-juan

(*Beijing Institute of Geology for Mineral Resources, Beijing* 100012, *China*)

Abstract: The metallogenic ages of porphyry-epithermal deposits in northern Xinjiang are systemically summarized in this paper. Based on tectonic setting, the ore deposits can be classified into three types, i.e., ocean-continent subduction, collision orogen composed of collision sub-type and post-collision sub-type, and intra-continent. The main differences of the four type/sub-type deposits lie in metal element assemblages of the ore deposits and the associated deposit types in the same period. Ocean-continent subduction type porphyry deposits are mainly characterized by Cu-Au association, accompanied by VMS deposits as well as iron deposits related to submarine volcanism; collision type deposits and post-collision type deposits are characterized by Cu-Mo-Au association, accompanied by orogenic gold deposits; intra-continent type deposits are characterized by single metal element Mo (or Mo-Re association). Porphyry deposits and epithermal deposits belong to the same metallogenic system, but they do not coexist, and metallogenic age of the latter is later than the former by about 10Ma to 20Ma. The host rocks and metallogenic characteristics of different types of porphyry-epithermal deposits don't show symbolic difference. Porphyry deposits in different metallogenic epochs show genetic and regional "isospatial metallogenesis" characteristics and zoned distribution; from early to late the deposits expanded gradually from the position close to the suture belt outwards, and from linear distribution to planar distribution.

Key words: porphyry copper (molybdeum) deposit; tectonic setting; metallogenic age; ore deposit association; northern Xinjiang

---

About the first author: WANG Yu-wang, male, born in 1965, professor, engages in the study of mineral deposits and metallogenic prognosis; E-mail: wyw@cnncm.com.