

doi:10.3799/dqkx.2015.085

新疆库鲁克塔格成矿带主要矿床类型及成矿系列划分

曹晓峰¹,王祥东¹,吕新彪^{1,2*},袁 迁¹,汪一凡²,刘 文²,申 文³

1. 中国地质大学资源学院,湖北武汉 430074
2. 中国地质大学地质调查研究院,湖北武汉 430074
3. 湖北省国土资源厅,湖北武汉 430071

摘要: 库鲁克塔格是新疆前寒武纪出露较全的地区,然而该区域成矿规律研究程度非常低. 通过对研究区已有资料进行总结分析,系统阐述研究区矿床类型,并对其成矿系列进行划分. 研究区从太古代到早古生代形成了7个主要的岩浆构造演化阶段:古太古代陆核形成阶段(3.3~3.0 Ga)、新太古代—古元古代陆壳增生改造阶段(2.6~2.3 Ga)、古元古代中晚期陆壳改造阶段(2.1~1.8 Ga)、中元古代晚期—新元古代早期造山运动阶段(1.1~0.86 Ga)、新元古代中期后碰撞伸展阶段(830~800 Ma)、新元古代中晚期陆内裂解阶段(770~600 Ma)和早古生代造陆运动阶段. 成矿作用主要发生在古元古代、新元古代及早古生代. 依据各构造演化阶段、含矿建造特征及矿床成因特征,将库鲁克塔格成矿作用类型总结为以下6个主要成矿系列,即形成于古元古代陆壳增生改造环境下的Fe-P-Cu-Au系列、新元古代俯冲碰撞环境下的Cu-Au系列、新元古代后碰撞环境下的Cu-Mo-Au-Fe-P-REE系列、新元古代裂解环境下的Cu-Ni系列、早古生代沉积盆地中Ag-V-Mo-Au-U-P系列和早古生代俯冲岛弧环境下的Cu-Au系列.

关键词: 库鲁克塔格;构造;矿床;成矿系列.

中图分类号: P612 **文章编号:** 1000-2383(2015)06-1017-17 **收稿日期:** 2015-02-03

Tectonic Evolution and Formation of Major Ore Deposits in Kuluketage Metallogenic Belt, Xinjiang

Cao Xiaofeng¹, Wang Xiangdong¹, Lü Xinbiao^{1,2*}, Yuan Qian¹, Wang Yifan², Liu Wen², Shen Wen³

1. Faculty of Earth Resources, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China
2. Institute of Geological Survey, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China
3. Department of Land and Resources of Hubei Province, Wuhan 430071, China

Abstract: Kuluketage block is one of the best areas for Precambrian geology studies in Xinjiang, however, the regional metallogeny of the research area is still too poor. In this paper, all the published literatures are summarized. Then, the geology of main ore deposits and the classified metallogenic series in this block are systematically described. The following seven tectono-thermal periods are distinguished: Archean crust nucleus growing stage (3.3—3.0 Ga), Neoarchean-Paleoproterozoic crust growth and transformation stage (2.6—2.3 Ga), middle-late Paleoproterozoic crust transformation stage (2.1—1.8 Ga), Late Mesoproterozoic to Early Neoproterozoic orogeny stage (1.1—0.86 Ga), Middle Neoproterozoic orogenic extensional stage (830—800 Ma), middle-late Neoproterozoic intracontinental breakup stage (770—630 Ma) and Early Paleozoic land building stage. Mineralization mainly occurred at Paleoproterozoic, Neoproterozoic and Early Paleozoic. According to the ore-forming

基金项目:“十二·五”国家科技支撑计划项目(No. 2011BAB06B04-05);中国博士后科学基金委特别资助项目(No. 2013T60758);中国博士后科学基金面上资助项目(No. 2012M521492);中国地质大学(武汉)中央高校基本科研业务费专项资金资助项目(Nos. CUG120840, CUG120702, CUG120296).

作者简介:曹晓峰(1985—),男,副教授,博士,从事矿床成因和成矿规律相关的教学和研究工作. E-mail: cao079@qq.com

* **通讯作者:**吕新彪(1962—), E-mail: Lvxb_01@163.com

引用格式:曹晓峰,王祥东,吕新彪,等,2015. 新疆库鲁克塔格成矿带主要矿床类型及成矿系列划分. 地球科学——中国地质大学学报,40(6): 1017—1033.

tectonic settings, ore-bearing rock formations and ore deposit genesis, six typical metallogenic series are identified in our study, including Fe-P-Cu-Au metallogenic series formed at Paleoproterozoic crust growth and transformation stage, Cu-Au metallogen-ic series formed at Early Neoproterozoic orogeny stage, Cu-Mo-Au-Fe-P-REE metallogenic series formed at Neoproterozoic post-collision stage, Cu-Ni metallogenic series formed at Neoproterozoic rifting stage, Ag-V-Mo-Au-U-P metallogenic series formed at Early Paleozoic sedimentary basin and Cu-Au metallogenic series formed at Early Paleozoic arc subduction stage.

Key words: Kuluketage; tectonics; ore deposits; metallogenic series.

库鲁克塔格前寒武纪地块位于东天山南缘,属于塔里木克拉通东北部边缘隆起带(冯本智等, 1995; 李铨等, 2002),西北邻接南天山褶皱系,东邻中天山地块及北山褶皱系,南部为塔里木盆地坳陷带,以孔雀河断裂和辛格尔断裂为其南北边界(图 1a, 1b). 该区前震旦纪、震旦纪及下古生代地层发育良好,震旦纪地层发育尤为完整. 岩浆活动主要形成于前寒武纪,太古代至新元古代岩浆活动均有分布,以新太古代至古元古代和新元古代岩浆活动最为发育,中元古代库鲁克塔格相对稳定(Lu *et al.*, 2008; Long *et al.*, 2010, 2011, 2012; Shu *et al.*, 2011; Zhang *et al.*, 2013). 此外,在库鲁克塔格东部边缘还存在早古生代岩浆活动(曹晓峰, 2012). 冯本智等(1995)最早对本区进行了成矿单元划分,将地质构造复杂的边缘地区作为一级成矿单元. 再根据矿床所处相似的大地构造位置,地质条件及成矿条件划分了 3 个二级成矿单元:(1)库鲁克塔格元古宙金、铜—古生代有色金属、钒(银)成矿带;(2)兴地断裂带南侧元古宙铜镍成矿带;(3)天山南缘古生代多金属成矿带. 之后,董连慧等(2010)将库鲁克塔格成矿带划分为新疆 24 个三级成矿单元中的塔里木陆块北缘隆起成矿带中的库鲁克塔格 Cu-Ni-Pb-Zn-Au-Fe-REE-蛭石—磷矿带. 由于研究程度低,研

究资料缺少,这些成矿带的划分主要基于构造单元和成矿元素组合,对库鲁克塔格地区找矿工作没有形成更细致的指导. 随着近年来库鲁克塔格地质勘查工作的进展,一些典型矿床研究工作获得了较大的进步,如目前正在开采的永恒 BIF 型铁矿床(董连慧等, 2012)、大平梁铜铅多金属矿床(Cao *et al.*, 2010)和且干布拉克蛭石—铁—磷矿床(姜常义等, 2005; 孙宝生和黄建华, 2007)等. 然而该区区域成矿规律研究程度非常之低,矿床类型之间的联系及成矿环境与岩石建造对成矿的控制作用尚缺少总结,因而有必要进行阶段性总结,为该区进一步找矿完善理论指导.

成矿系列研究是近 30 年来矿床学研究的一项重要进展. 成矿系列是指在一定地质时期和一定地质环境中,在一定的主导地质成矿作用下形成的,在时间、空间和成因上都有密切联系,但具体生成条件有差别的一组矿床类型的组合. 成矿系列研究并强调矿床成因与岩石建造之间的联系,认为其是成矿系统的一个重要组成部分,对于指导找矿勘探、矿床评价等均具有实用价值(翟裕生等, 1996). 本文在综合前人工作成果及作者研究进展的基础上,阐述了库鲁克塔格地区主要矿床类型,并尝试建立了不同成矿环境下对应的成矿系列.

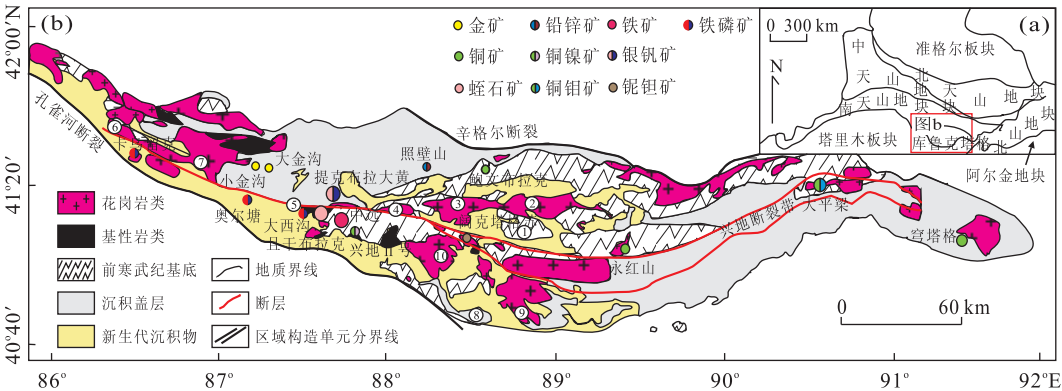


图 1 库鲁克塔格区域地质简图及主要矿床分布

Fig. 1 Regional geological sketch map and main ore deposits distribution of Kuluketage

据西安地质矿产研究所,中国天山及邻区地质图 1: 100 万, 2007. ①滩中山;②托克拉克布拉克;③阿斯干;④兴地;⑤中途站;⑥红柳沟;⑦西山口;⑧却尔却克山;⑨雅尔当山;⑩太阳岛

1 成矿地质背景

库鲁克塔格地区位于塔里木盆地的东北部位,由前震旦纪强烈变质、褶皱变形的基底岩系和变质、变形微弱的震旦系和古生界盖层组成,形成典型的双层结构(冯本智等, 1995). 基底岩系广泛分布于库鲁克塔格全区,主要由一套经历过中高级变质作用的千枚岩、片岩、片麻岩、花岗片麻岩、角闪片岩、斜长角闪岩、大理岩、基性超基性岩和花岗岩组成;沉积盖层则主要分布于库鲁克塔格东南缘及兴地以北地区,由震旦系粗碎屑岩、冰碛岩、中基性火山岩及古生界稳定沉积碎屑岩和碳酸盐岩组成.

贯穿本区的兴地深大断裂为一条宽度 2~3 km,长度大于 600 km、近东西走向、南倾、倾角60°~70°的长期活动断裂构造(李相然, 1994; 孙晓猛等, 2006; 邓兴梁等, 2008). 该断裂带形成于吕梁期,历经晋宁期、加里东期、海西期和喜马拉雅期多次活动,并且具有压性、扭性和张性 3 种性质,控制着该区岩浆岩的分布和成矿作用. 特别是在晋宁期强烈活动,导致一系列基性—超基性岩和花岗岩沿着断裂带多次侵位分布,是区域内重要的控岩和控矿断裂(冯本智等, 1995; 李华芹和陈富文, 2004).

库鲁克塔格经历了 4 次重要的构造运动(冯本智等, 1995; 胡霁琴和韦刚健, 2006),前 3 次比较强烈,有区域变质、变形、岩浆侵入和地形隆起,而第 4 次构造运动主要表现为隆起和沉积缺失. 第 1 次构造运动称为辛格尔运动,发生在太古代末期,有大量花岗岩的侵入,形成时代≥25 亿年(Hu and Rogers, 1992; 胡霁琴和韦刚健, 2006; Long *et al.* , 2011; Zhang *et al.* , 2012a). 辛格尔运动以后,从大量火山喷发和花岗质岩石侵入的晚太古代全构造活

动状态进入相对稳定的、以沉积作用为主的元古宙发展时期. 第 2 次构造运动发生在早元古代与中元古代之间(2. 10~1. 80 Ga),称为兴地运动(Cao *et al.* , 2010; Zhang *et al.* , 2007, 2012a). 兴地运动造成中元古代波瓦姆群与下伏古元古代兴地塔格群不整合,在波瓦姆群底部发育数十米厚的底砾岩,兴地运动使本区进一步稳定,波瓦姆群、爱尔基干群和帕尔岗塔格群以浅水碳酸盐盆地和成熟度高的碎屑岩为主;第 3 次构造运动发生在中元古代与新元古代之间,称为塔里木运动(1. 10~0. 86 Ga),它是塔里木地块最终克拉通化的一次构造运动(Shu *et al.* , 2011; Zhang *et al.* , 2012b). 这次运动使前库鲁克塔格群受到区域热动力变质,地层变形强烈,有同造山期花岗岩侵入,且由于造山运动影响而造成明显的不整合. 塔里木运动后沉积了巨厚的库鲁克塔格群;第 4 次构造运动即为元古宙末期西大山抬升运动,造成库鲁克塔格群与上覆寒武系之间缺失梅树村阶和笼竹寺阶的早寒武世地层(冯本智等, 1995).

太古代至新元古代岩浆岩广泛发育于库鲁克塔格地块,并在库鲁克塔格东南缘存在早古生代岩浆活动(曹晓峰等, 2012). 其中最古老的岩石是位于研究区中部辛格尔南的太古代托格拉克布拉克群,其 Sm-Nd 同位素等时线年龄为 3. 30 Ga(Hu and Rogers, 1992). 最新的 SHRIMP 和 LA-ICP-MS 测试分析表明在库尔勒铁门关和且干布拉克的 TTG 和富钾花岗岩的形成年龄集中在 2. 65~2. 53 Ga(Long *et al.* , 2010, 2011; Zhang *et al.* , 2012a). 这一期岩浆活动的锆石 Hf 同位素模式年龄及全岩 Nd 模式年龄则普遍分布在 3. 30~3. 00 Ga.

古元古代早期岩浆活动强烈并与新太古代岩浆活动形成连续的构造热事件(Shu *et al.* , 2011; Ge

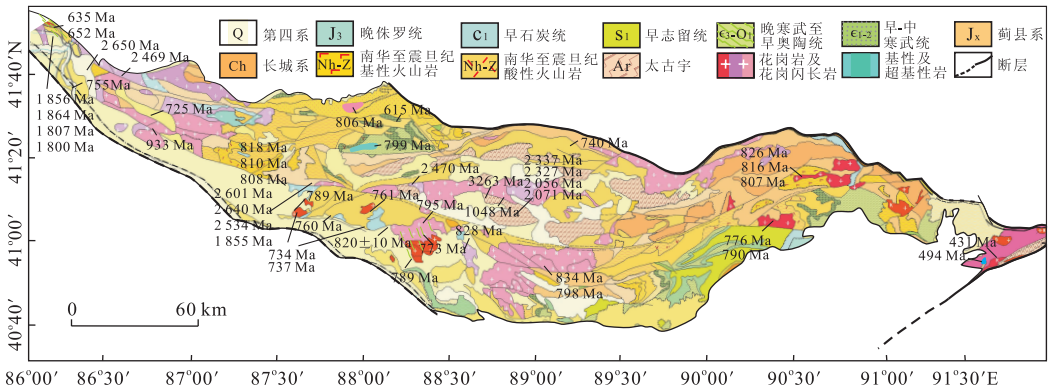


图 2 库鲁克塔格岩浆岩及其年龄分布(曹晓峰等, 2012)
Fig. 2 Magmatic rocks distribution and their ages

et al., 2012a, 2012b; Xu *et al.*, 2013). 古元古代晚期至中元古代库鲁克塔格相对较稳定, 普遍发育一套滨浅海相碎屑岩—碳酸盐岩沉积. 新元古代岩浆岩则广泛分布于库鲁克塔格地块, 既存在大量的酸性岩浆活动, 也存在基性超基性岩浆活动(图 2).

库鲁克塔格地块经历了 7 个构造岩浆演化阶段(曹晓峰等, 2012): (1) 古太古代陆核形成阶段(3.3~3.0 Ga, 如辛格尔南 3.3 Ga 的斜长角闪岩及库鲁克塔格地区花岗岩中捕获的太古代继承锆石); (2) 新太古代—古元古代陆壳增生改造阶段(2.6~2.3 Ga, 表现为广泛分布的 TTG 花岗片麻岩类岩石及斜长角闪岩); (3) 古元古代中晚期陆壳改造阶段(2.1~1.8 Ga, 表现为连续的变质事件及中酸性岩浆活动及地层的强烈褶皱变形, 该期岩浆活动形成的岩浆岩往往具有较老的 Nd 模式年龄, 具有明显的改造特征); (4) 中元古代晚期—新元古代早期造山运动阶段(1.1~0.86 Ga, 伴随着造山运动出现新元古代地层的褶皱变形及中酸性岩浆侵入活动); (5) 新元古代中期后碰撞伸展阶段(830~800 Ma, 表现为富钾花岗岩及类埃达克岩的大规模出露和偏碱性基性超基性岩的侵入); (6) 新元古代中晚期陆内裂解阶段(770~600 Ma, 表现为拉斑质基性—超基性岩、基性脉岩、双峰式火山岩及深水沉积作用); (7) 早古生代造陆运动表现为沉积间断特征. 本区成矿作用主要发生在古元古代、新元古代及早古生代.

2 主要矿床类型

库鲁克塔格成矿带属于新疆 24 个Ⅲ级成矿单元中的塔里木陆块北缘隆起成矿带中的库鲁克塔格 Cu-Ni-Pb-Zn-Au-Fe-REE-蛭石—磷矿带(董连慧等, 2010). 该成矿带位于塔里木陆块北缘, 属陆缘隆起带. 本地区呈隆、坳相间, 隆起带有太古界托格拉克布拉克杂岩(或群), 下元古界兴地塔格群, 中元古界长城系波瓦姆群、蓟县系爱尔基干群, 上元古界青白口系帕尔岗塔格群; 坳陷带由南华系和震旦系库鲁克塔格群(由下而上为贝义西组、照壁山组、阿勒通沟组、特瑞爱肯组、扎摩克提组、育肯沟组、水泉组和汉格尔乔克组)、下古生界寒武系(与震旦系平行不整合)、奥陶系和志留系(与下伏中奥陶统平行不整合接触)组成. 花岗岩类侵入岩广泛分布于库鲁克塔格各区, 而镁铁—超镁铁杂岩主要沿兴地深大断裂分布. 矿产以铜、镍、金、铅、锌、铁、稀土金属、蛭

石、磷矿为主, 并有稀有金属、铀、石墨等. 铜镍矿为镁铁—超镁铁岩型, 主要有兴地塔格Ⅱ号铜镍矿床; 金矿为蚀变岩型和热液石英脉岩型, 如永红山铜金矿床和大、小金沟金矿床; 铜矿为矽卡岩型、层控型和岩浆热液型, 如大平梁、鲍温布拉克和穹塔格铜矿床; 铅锌矿为中低温热液型, 如照壁山铅锌矿床和西山铅锌矿床; 铁矿为沉积变质型, 如阿斯廷布拉克、中远、永恒和布亚提布拉克铁矿床; 蛭石为镁铁—超镁铁岩—碳酸岩型, 如且干布拉克蛭石磷灰石稀土矿床; 稀土金属矿为碱性岩型, 如阔克塔格西稀土铈钽矿床; 磷块岩及银钒矿为寒武纪沉积型, 如西山布拉克、木穹库杜克、且干布拉克大阪等矿床. 典型矿床地质特征如下.

2.1 尉犁县小金沟金矿床

矿区出露地层为古元古界兴地塔格群上亚群, 主要由黑云母变粒岩和石榴石浅粒岩组成. 本区广泛发育早元古代二长花岗岩, 按产状和组构不同分为 2 种: 片麻状中细粒二长花岗岩与中粗粒蓝石英二长花岗岩. 岩体与变质围岩呈渐变到侵入接触, 由变质围岩重熔产生, 中粗粒蓝石英二长花岗岩单颗粒锆石 U-Pb 年龄为 $1\,930.1 \pm 3.6$ Ma 和 $1\,962.2 \pm 1.6$ Ma (杨天奇, 1992). 区内断裂构造发育, 按构造层次划分, 不仅有地壳深部层次的构造(如 EW 向的韧性剪切带), 而且有地壳浅部的 NW 向脆性剪切带和各种断层带分布(图 3). 矿区共发现 64 条石英脉, 大致分为 3 种类型: ①含金石英细脉型, 产于斑点状石榴黑云变粒岩中, 受 NW 向断裂带与 EW 向韧性剪切带复合部位控制. 矿化岩石破碎, 裂隙发育, 含金石英细脉沿裂隙分布, 构成脉带, 一般含金 $0.5 \times 10^{-6} \sim 5 \times 10^{-6}$, 最高可达 69.75×10^{-6} ; ②含金石英大脉型, 是区内常见的矿化类型, 分布广, 但矿脉的规模或品位变化皆大, 受 EW、NW 向等韧性剪切带、断裂带及交叉部分所控制, 金品位范围为 $3 \times 10^{-6} \sim 5 \times 10^{-6}$, 最高可达 10×10^{-6} ; ③硅化蚀变岩带中含金石英脉型, 主要产于 EW 向的片理化带中, 围岩硅化强烈, 构成强硅化带, 石英脉中金赋存于褐铁矿化发育的裂隙或晶洞中, Au 最高含量 9.35×10^{-6} .

矿体主要产于围岩地层中, 并受断裂和蓝石英二长花岗岩接触带控制. 石英脉氢氧同位素数据表明其主要来自岩浆热液, 部分含金石英脉与变质热液活动有关, 该矿床属于热液石英脉型矿床(冯本智等, 1995).

2.2 阿斯廷布拉克铁矿床

矿区出露地层为古元古代兴地塔格群下、中亚

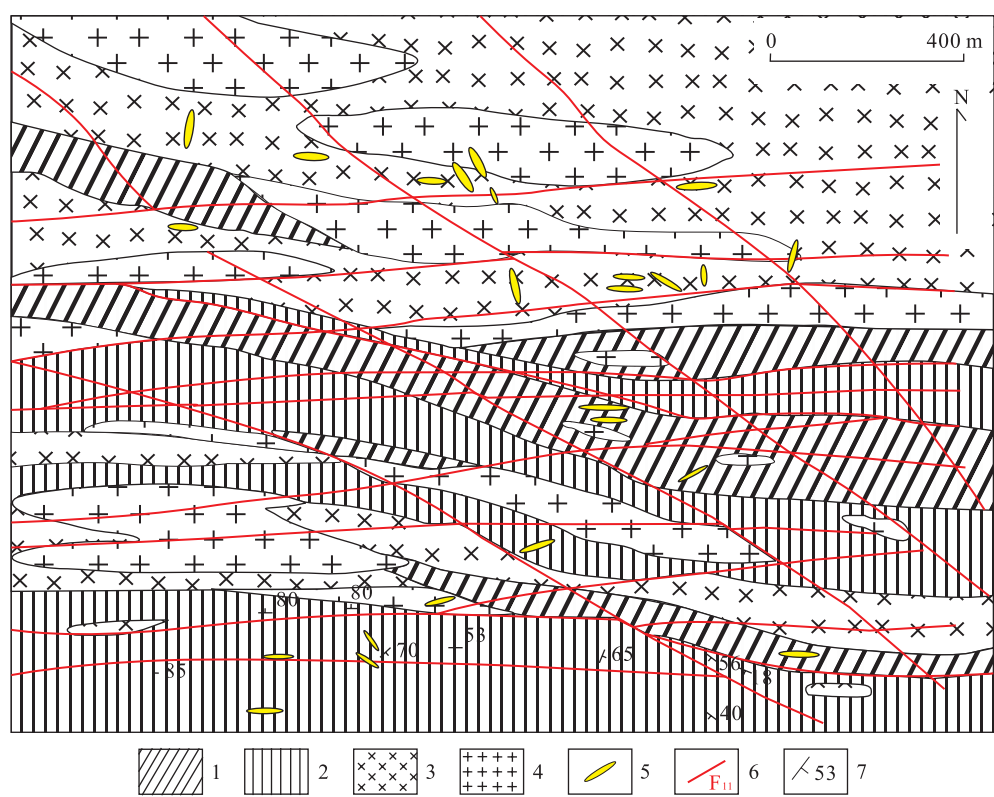


图 3 小金沟金矿床矿区地质图(冯本智等, 1995)

Fig. 3 Geological map of Xiaojingou gold deposit

1. 黑云母变粒岩;2. 石榴石浅粒岩;3. 片麻状二长花岗岩;4. 中-粗粒二长花岗岩;5. 含金石英脉;6. 断裂带及其编号;7. 片理产状(°)

群,矿体赋存于中亚群下部石英岩层位中. 下亚群为灰色黑云母石英片岩夹石英岩透镜体. 中亚群底部为含矿层位,岩性由下而上为石英岩夹灰色黑云母石英片岩透镜体,铁质石英岩、含铁石英岩及铁矿层,灰绿色黑云母透闪石片岩、黑云母透闪石阳起石片岩及中厚层块状大理岩. 侵入岩为肉红色黑云母花岗岩及灰色细粒闪长岩. 矿区褶皱构造发育,断裂主要为北东向和近东西向,在矿区西部有少量北西向断裂. 地层受北东向断裂控制明显,发生明显的剪切位移(图 4). 铁质石英岩、含铁石英岩沿走向稳定,延伸远,一般厚 17~35 m,在褶曲围斜处,厚度增大. 矿体呈扁豆状、香肠状、似层状产于背斜翼部的含铁石英岩和铁质石英岩中. 矿体产状与含铁围岩产状一致,与围岩为渐变过渡关系,矿石类型为浸染状,由磁铁矿和赤铁矿组成. 属于沉积变质型铁矿,经历了沉积作用、变质作用和表生作用. 其含铁矿石石英岩中变质锆石 SIMS U-Pb 年龄显示该套石英岩的变质年龄为 $1\,953.9 \pm 4.2\text{ Ma}$,属古元古代(董连慧等, 2012),结合其含矿建造为古元古代兴地塔格群形成于约 $2\,399.0 \pm 63.0\text{ Ma}$ (胡蔼琴等, 1997),可以确定该矿床于古元古代兴地塔格群形成

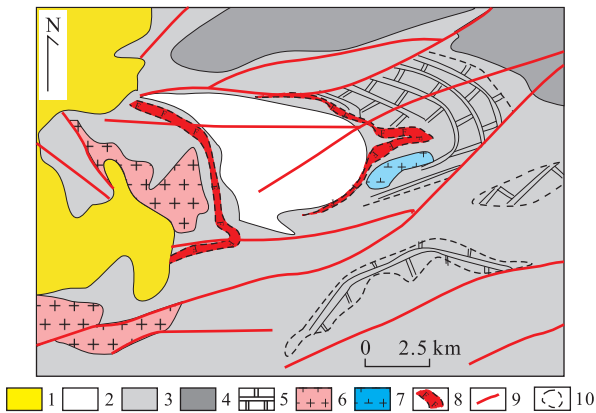


图 4 阿斯廷布拉克矿区地质图

Fig. 4 Geological map of Astingbulake iron ore deposit
新疆维吾尔自治区地质局区域地质调查大队, 兴地幅 1: 20 万区域矿产图, 1982. 1. 第四系;2. 兴地塔格群下亚群;3. 兴地塔格群中亚群;4. 兴地塔格群上亚群;5. 大理岩;6. 花岗岩;7. 闪长岩;8. 铁矿体;9. 断裂;10. 岩性界限

时发生铁质沉积,并在 $1\,953.9 \pm 4.2\text{ Ma}$ 变质变形改造,导致矿物颗粒变大,矿体变富.

2.3 鲍温布拉克铜矿床

该矿床产于古元古代兴地塔格群辛格尔组变质岩系中,该组主要岩性为大理岩、云母石英片岩和石

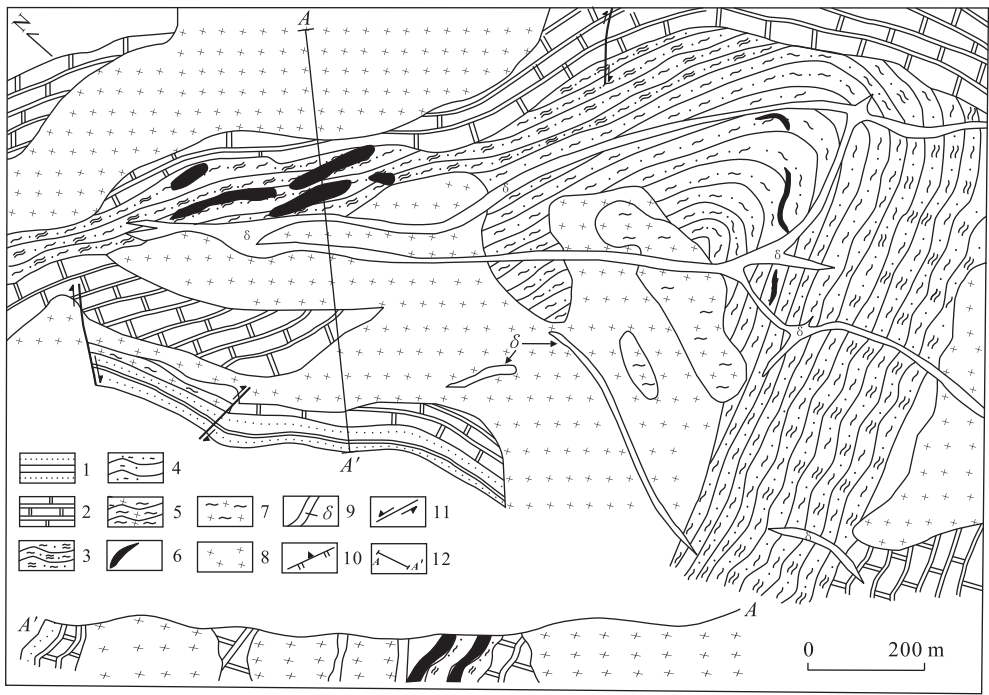


图 5 鲍温布拉克铜矿地质简图(冯本智等,1995)

Fig. 5 Geological map of Baowenbulake copper ore deposit

1. 石英岩;2. 大理岩;3. 二云母石英片岩;4. 黑云石英片岩;5. 绢云石英片岩;6. 铜矿体;7. 花岗岩麻岩;8. 角闪片麻岩;9. 闪长岩、辉绿岩脉;10. 逆断层;11. 平推断层;12. 剖面位置

英岩,岩层产状为倾向 210° , 倾角变化较大,一般为 $30^{\circ}\sim 60^{\circ}$ 。岩浆岩在矿区分布面积较广,约占矿区面积的 $1/3$,根据野外产状、相互关系可分为同构造期花岗岩、辉长岩,构造期后闪长岩、辉绿岩(图 5)。区内断层及节理较发育,可分为 3 组,其产状约为: $210^{\circ}\angle 56^{\circ}$, $120^{\circ}\angle 32^{\circ}$, $30^{\circ}\angle 50^{\circ}$ 。前者与片理基本一致,后两者交切成 X 形,这些裂隙多为成矿后形成,与晚期热液矿化有一定关系。

铜矿化产于黑云石英片岩所夹的大理岩透镜体中,矿体为含铜大理岩透镜体。按矿床分布情况分东、西 2 个矿区,具有 3 种类型矿化:(1)磁铁矿型含铜大理岩:仅分布于东矿区,矿化大理岩以含有大量磁铁矿为特征,局部含量高达 40% 以上,其次为黄铜矿、黄铁矿;脉石矿物主要为方解石、菱铁矿,其次有黑云母、绿泥石、透闪石等。变晶结构为主,少量交代结构,条带状构造明显。(2)硫化物型含铜大理岩:仅分布于西矿区,矿化大理岩在矿化特征上无磁铁矿存在,主要金属矿物为黄铁矿、白铁矿,其次为黄铜矿、斑铜矿;脉石矿物主要为方解石,其次为石英、菱铁矿、白云母等。多为条带状构造,局部有团块状构造。硫化物在富硫化物条带中,常呈星点状分布于方解石粒间,多为变晶结构,局部见有交代现象。(3)含铜石英脉:两矿区均有分布,主要金属矿物为黄铜

矿、辉铜矿,少量黄铁矿;脉石矿物主要为石英。其多呈单脉产于矿化大理岩透镜体中,斜切硫化物条带,局部亦见有平行硫化物条带的。在含铜大理岩附近片岩中的石英脉往往不见矿化。

本矿床沉积特征较为突出,矿化严格产于大理岩透镜体中,矿石内平行条带状构造发育且与层面产状一致,矿化与围岩整合,矿石具有变晶结构,表明其与围岩同样遭受了区域变质作用。铜的来源可能与兴地旋回的火山活动有关,在含铜大理岩的下部层位中,夹多层变质的基性火山岩(已变质为斜长角闪岩)。且矿石硫同位素组成较富重硫,说明海水提供了主要的硫源。因而,其成因属于古元古代沉积变质层控型铜矿,后期可能叠加了热液作用改造(冯本智等,1995)。

2.4 大西沟铁磷矿床

大西沟杂岩体分布在北西西向兴地深大断裂的南侧,受该断裂的次级断裂控制明显。根据 1:1 万高精度地面磁法测量推测与钻孔揭露,该杂岩体呈隐伏一半隐伏状产出,北西—南东向展布,杂岩体长约 2.1 km,最宽约 900 m,地表分成东、西两部分(图 6)。岩体主要由斜长岩构成,是矿区分布最普遍的岩石类型,占岩体面积的 80% 以上;辉石角闪石岩呈零星出露,主要分布在矿区西南部;此外,在矿区的

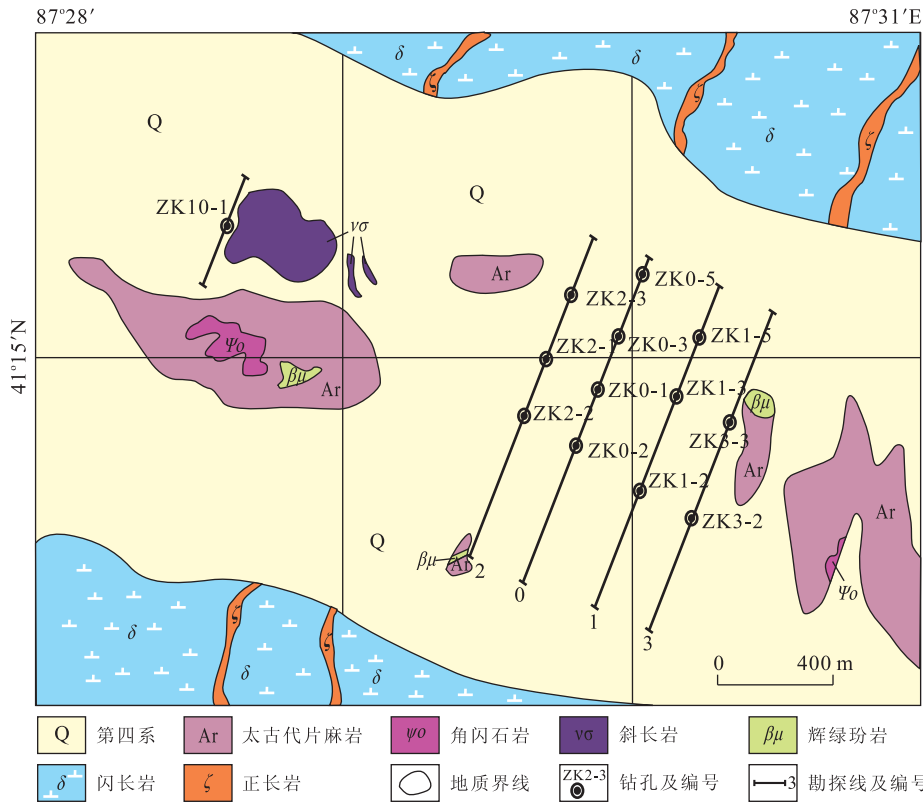


图 6 大西沟铁磷矿区地质简图(夏学惠等,2010)

Fig. 6 Geological sketch of Daxigou Fe-P ore deposit

西部与东南部还产有宽数十米,长数百米的辉绿岩脉。

相对于典型的辉长岩及斜长岩的化学成分,大西沟杂岩体具有低硅、高钛、高碱、高铁和高磷特征。铁磷矿体主要赋存在基性杂岩体的蚀变斜长岩中。矿区以铁磷矿为主,伴生钛,含矿岩石类型以钠黝帘石化斜长岩为主。自上而下按一定标高可圈出 5 个较大矿体,矿体多呈似层状和透镜状。矿体长 228~850 m 不等,厚度变化在 16.68~49.60 m,矿体厚度沿走向变化较大,沿倾向变化不大。未矿化斜长岩类 $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ 质量分数为 5.80%~2.88%,且 $\text{Na}_2\text{O} > \text{K}_2\text{O}$,里特曼指数为 12.9~1.86,表现为碱性序列向亚碱性序列变化,FeO 比 Fe_2O_3 含量高。磁铁矿矿化斜长岩具有非常低的硅含量,岩体碱质含量仍较高, $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ 质量分数为 2.76%~1.84%, $\text{Na}_2\text{O} > \text{K}_2\text{O}$, Fe_2O_3 比 FeO 含量高的多,且矿化斜长岩比非矿化斜长岩 CaO 和 P_2O_5 高。矿石中主要有用组分为 Fe、P、Ti,呈独立矿物磁铁矿、磷灰石和钛磁铁矿赋存在矿石中。TFe 平均质量分数为 14.15%~20.92%, P_2O_5 平均质量分数为 2.53%~6.83%, TiO_2 平均质量分数为 4.23%~8.10%。矿石中其他主要化学成分平均质量分数分

别为: SiO_2 (40.68%)、 Al_2O_3 (10.59%)、MnO (0.18%)、MgO (4.66%)、CaO (8.23%)、 K_2O (0.74%)、 Na_2O (2.56%)、 CO_2 (2.55%) (夏学惠等,2010)。

其成矿机制为原始玄武质岩浆,因富含磷、钛、碱和挥发分,在其上升侵位过程中,随着温压条件的下降,达到了体系的共结点,导致成矿物质与斜长岩的熔离,而铁磷矿往往与富硅及挥发分的(辉石)斜长岩相伴生(曹晓峰,2012)。赋矿斜长岩锆石 LA-ICP-MS U-Pb 定年结果表明其形成于 1818.0 ± 9.0 Ma (Yuan *et al.*, 2014)。国内类似矿床为形成于~1.7 Ga 的河北大庙斜长岩型 Fe-Ti-P 矿床(胡世玲等,1990;赵太平等,2004)。大西沟铁磷矿床与同一航磁异常带上的其他铁磷矿床差别较大,表现为其赋矿岩石为斜长岩,而其他矿床赋矿岩石主要为角闪石岩、辉石角闪石岩,且大西沟矿区岩石组合类型相对于其他铁磷矿床要少的多,在成矿时代上大西沟形成于约 1.8 Ga,而其他铁磷矿床如多斯克铁、卡乌留克等磷矿床形成于 800~830 Ma (内部资料),后者形成于新元古代中期后碰撞伸展阶段(830~800 Ma,表现为富钾花岗岩及类埃达克岩的大规模出露和偏碱性基性超基性岩的侵入,曹晓峰等,2012)。

2.5 阿斯坦布拉克铜(金)矿床

矿床位于兴地 NWW 方向 50 km 的奥尔堂附近. 矿区内石英脉分布广泛, 其中有的含 Au, 有的含 Cu(Au), 后者可构成小型铜矿床.

本区石英脉主要分布于新元古代帕尔岗群地层之内, 产于帕尔岗群下组的千枚岩、千枚状粉砂岩和白云质结晶灰岩中, 变质砂岩里的石英脉数量相对较少. 含金石英脉群出露地段在构造上为东西向背斜, 轴面近直立, 两翼陡倾, 枢纽向西倾伏. 帕尔岗群下组基本都有含金石英脉分布, 但阿斯坦布拉克一带是含金石英脉分布最为密集的地段, 成群成带出现, 密集处可达 50~100 条/km². 按产状及矿化性质的不同, 将含金石英脉分两大类, 产于变砂岩—千枚岩中的含金石英脉群和产于白云质结晶灰岩中的含铜(金)石英脉.

产于变砂岩—千枚岩中的石英脉群: 这类石英脉群, 沿围岩千枚理或斜切千枚理产出. 二者从分布及其他特征上都有所不同. 沿千枚理产出的石英脉是石英脉的最主要组成部分, 矿化相对较好. 呈北西—南东方向产出, 走向 125°左右, 多数近于直立. 一般宽 20~40 cm(少数达 1.5 m), 长 20~80 m(有的达百余米). 此类石英脉以含菱铁矿为主, 其次含有不等量的黄铁矿. 黄铁矿呈星点状、浸染状或集合体形式分布于石英脉中. 多数因风化作用被褐铁矿所代替, 只在晶体中心局部残留有新鲜黄铁矿. 黄铁矿 90% 以上为立方体晶形, 褐铁矿保持黄铁矿的假像存在. 石英脉中的部分褐铁矿还可能来自菱铁矿的氧化, 呈菱铁矿、铁方解石的假像存在. 在规模较大的石英脉中, 矿化表现出明显的不均匀性. 在脉体的边部矿化比较集中, 在中部则表现为较弱的矿化. 小的脉体中矿化较好, 有的硫化物或铁碳酸盐呈团块状均匀地分布于脉体中. 有的呈浸染状或沿裂隙分布. 在矿化石英脉的细小支脉中, 矿化程度均高于主脉. 除菱铁矿、黄铁矿及褐铁矿化外, 还见到石英脉中含有磁铁矿、黄铜矿和方铅矿, 但这种石英脉数量极少. 斜切千枚理产出

的石英脉矿化较弱, 只出现轻微的褐铁矿及菱铁矿化. 从外表看是一组白色的石英脉. 这类石英脉的形成较前一种晚, 不但斜切了千枚理, 也切穿了早期石英脉. 走向以 65°为主, 倾角一般在 60°左右, 一些地方沿千枚理方向也有白色石英脉出露.

产于白云质灰岩中的含铜石英脉: 石英脉中以富碳酸盐为主, 此外还含黄铜矿、辉铜矿、孔雀石、蓝铜矿及少量的黄钾铁矾和黄铁矿等. 石英脉的直接围岩为白云质结晶灰岩, 多数矿脉交代灰岩明显, 与之接触关系不清, 所以称之为含铜白云质结晶灰岩(图 7).

多数石英脉中的流体包裹体较小, 一般小于 2~3 μm, 个别大者可达 10~30 μm, 多为气液两相包裹体, 气液比多在 5%~15%, 反映当时的结晶作用比较缓慢而且温度很低, 获得其均一温度为 110~130 ℃. 石英脉氢氧同位素也反映了成矿流体以变质热液为主, 并有地下水参与. 石英脉中黄铁矿和黄铜矿硫同位素组成变化范围为 4.9‰~17.8‰, 也反映了围岩硫来源的特征. 从石英脉的野外产状、岩石学及稀土、氢氧硫稳定同位素及流体包裹体等诸方面证明了石英脉属于新元古代早期低温变质热液成因(冯本智等, 1995). 其成矿过程为帕尔岗群岩层在新元古代变质及构造变形过程中, 伴随着大规模褶曲、断裂及劈理、千枚理等构造的产生, 形成大量的变质水析出, 并有地下水参与, 构成含矿溶液. 在应力作用下, 矿化热液朝低压带流动, 进入裂隙中, 随着温压条件的改变, 发生铜金的沉淀, 形成含金及含铜金石英脉.

2.6 大平梁铜钼多金属矿床

大平梁矿区矿化范围东西长 3 km, 南北宽 1 km. 矿区出露地层为青白口系, 主要由变质浅海相陆源碎屑岩夹碳酸盐岩及大理岩组成. 根据岩性组合及岩石特征可分为 2 个岩性段, 即以变质碎屑岩为主的第 2 岩性段与以大理岩为主的第 3 岩性段(图 8). 区内断层主要为近东西向、北东、南西走向

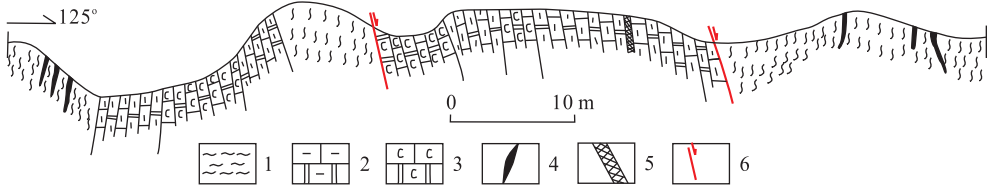


图 7 尉犁县阿斯坦布拉克铜矿剖面(冯本智等, 1995)
Fig. 7 Profile of Asitanbulake copper deposit at Yuli county
1. 黑色千枚岩; 2. 白云质结晶灰岩; 3. 含铜石英脉; 4. 褐铁矿脉; 5. 矿体; 6. 实测断层

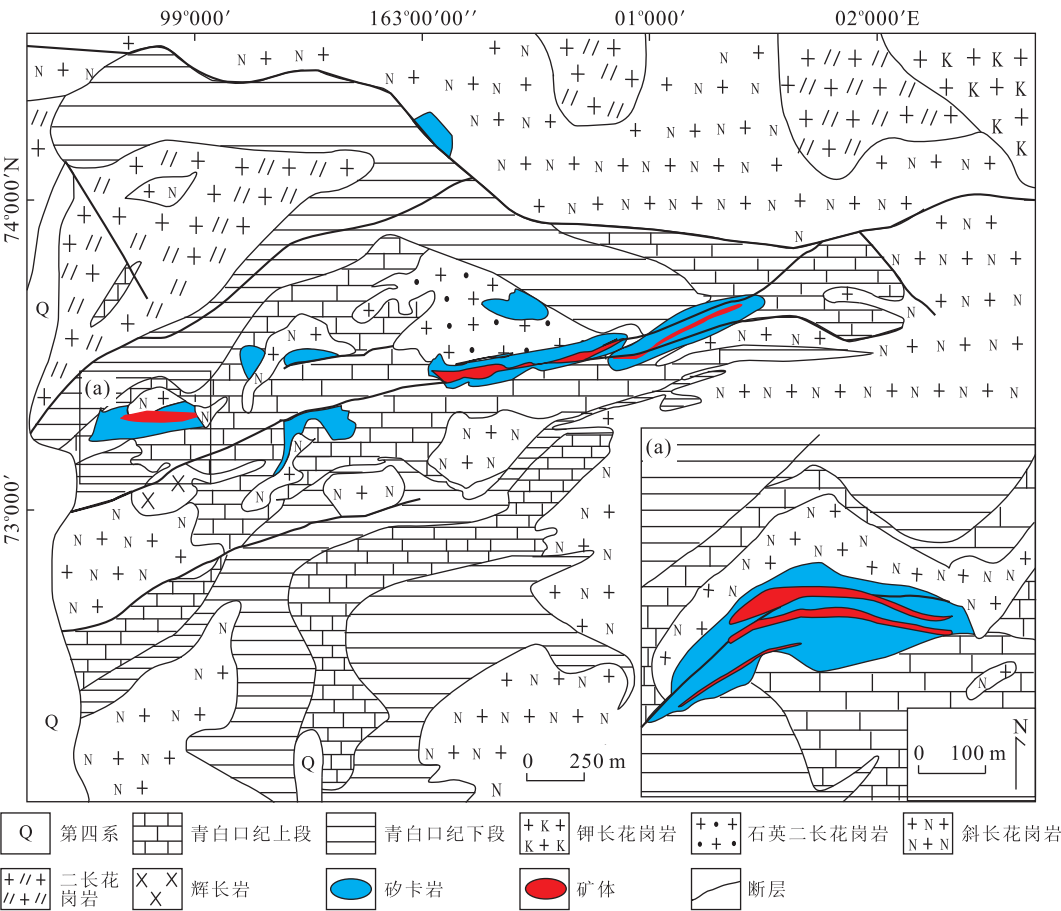


图 8 大平梁矿区地质(据新疆物化探大队矿区填图资料,2006)
Fig. 8 Geological map of Dapingliang ore deposit

及少量北西向,主要为高角度逆断层. 岩浆活动强烈,以花岗岩类规模最大,其次为辉长岩及各类岩脉. 花岗岩主要有 3 期:第 1 期为斜长花岗岩,第 2 期为二长花岗岩,第 3 期为钾长花岗岩. 大平梁矿体即分布于侵入岩与围岩接触带的矽卡岩中,具有明显受断裂控制的特征,矿化带顶底板围岩为侵入岩和碳酸盐岩,个别地段在接触带附近的蚀变侵入岩中也有较强矿化. 3 个主矿体 L7、L2、L6 自西向东沿 NEE 向主断裂展布(图 8). L7 矿体长约 379 m,宽约 8.5 m,Cu 平均品位 1.34%;L2 矿体长约 740 m,宽约 3.4 m,Cu 平均品位 0.65%;L6 矿体长约 444 m,宽约 2.5 m,Cu 平均品位 0.69%.

辉钼矿 Re-Os 同位素测年获得大平梁铜钼多金属矿床 Re-Os 等时线年龄为 829.4 ± 9.5 Ma(Cao *et al.*, 2010),成矿物质及流体主要来自岩浆流体,围岩成矿物质对成矿贡献不大,大气降水提供成矿物质沉淀和富集的地球化学反应条件(曹晓峰等, 2010). 成矿与新元古代后碰撞产生的富钾埃达克质花岗岩有关(Cao *et al.*, 2011). 富钾埃达克岩熔体

侵位于 826 Ma(Cao *et al.*, 2011),携带了大量的成矿元素,岩体富水,呈氧化状态,这些富含成矿元素的熔体,在演化的晚期释放了大量富含成矿元素的流体,在与围岩大理岩接触时,发生围岩交代作用,形成早期矽卡岩及磁铁矿化,导致流体性质发生改变,在晚阶段形成铜钼金矿化.

2.7 兴地 II 号铜镍矿床

兴地 II 号基性—超基性岩体侵位于古元古界兴地塔格群绢云母石英片岩中,东部与该群的大理岩和二云母石英片岩呈侵入接触关系,围岩具有热接触变质带,岩体南部被第四系覆盖. 兴地 II 号岩体平面上呈椭圆形,东西长度为 5.8 km,南北宽 2~3 km,出露面积约 10 km². 岩体可以进一步划分为 4 个岩相带:中部为二辉橄榄岩相,向外依次变为辉石岩相、辉长苏长岩相和辉长岩相. 此外,局部可见少量的角闪岩团块及辉绿岩脉. 辉长岩多分布于该岩体的边部,向内部逐渐过渡为辉长苏长岩. 已发现的矿体多数为单孔或单剖面控制的矿体,根据见矿情况及岩相分布规律,大致推测矿体的空间形态呈似

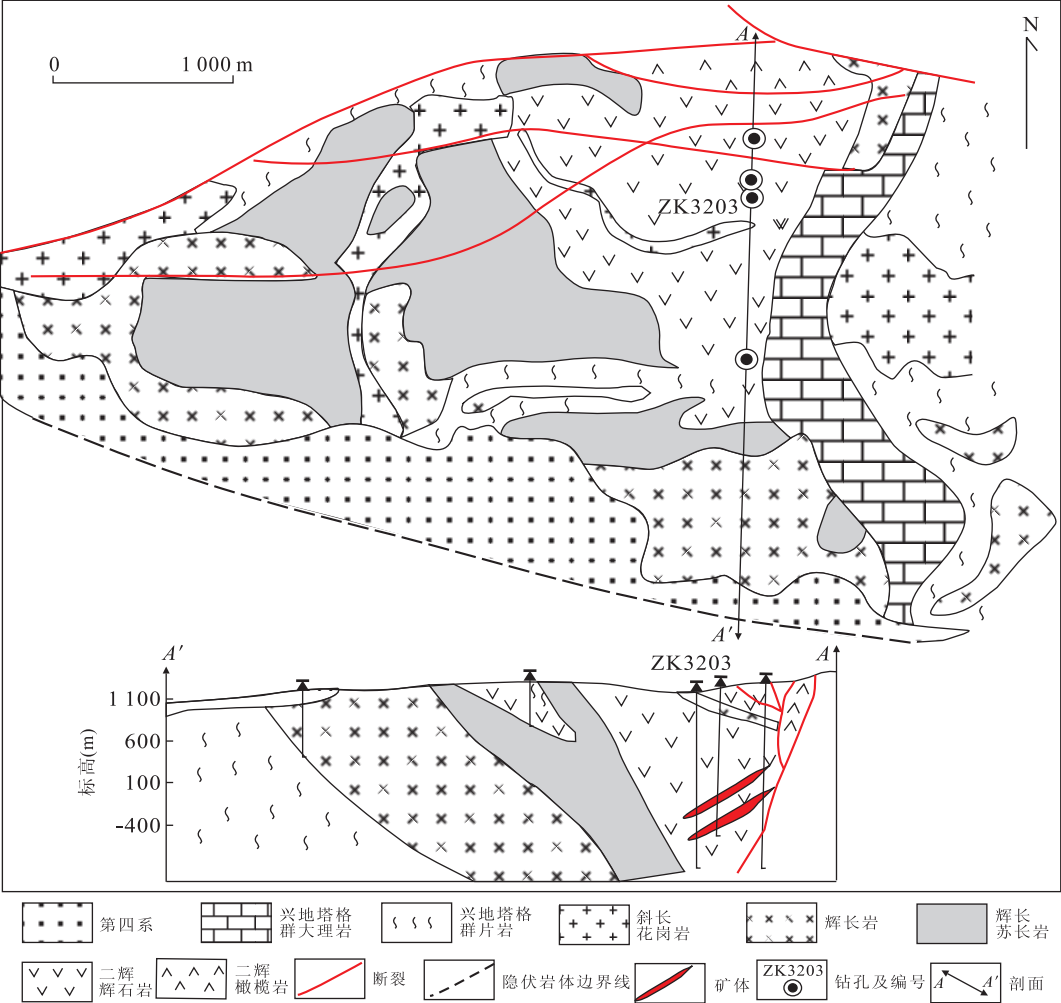


图 9 兴地Ⅱ号铜镍矿床平面和剖面(李华芹和陈富文,2004)

Fig. 9 Geological plan and profile of Xingdi No. II Cu-Ni deposit

层状、透镜状及脉状。其形态及产状基本上受岩相控制,铜镍矿体向岩相带中心倾斜,赋存于岩体内的橄榄岩相带底部或者辉石岩相与橄榄岩相的交界部位(图 9)。

兴地Ⅱ号杂岩体是一个同源深源岩浆经多次分异、多期侵入形成的基性超基性杂岩体,深部分异较强烈,无论是地质背景条件,还是岩体本身的岩石化学特征以及已发现的矿化线索,都表明其有利于形成铜镍矿床。辉长岩锆石 SHRIMP U-Pb 年龄和 Sm-Nd 等时线年龄分别为 760.0 ± 6.0 Ma (Zhang *et al.*, 2011) 和 761.2 ± 31.2 Ma (Cao *et al.*, 2012),表明该矿床成岩成矿时代为南华纪。岩体的稀土元素含量低($\sum \text{REE} = 10.73 \times 10^{-6} \sim 77.44 \times 10^{-6}$),轻稀土元素 $(\text{La}/\text{Yb})_{\text{N}} = 4.06 \sim 7.73$ 和大离子亲石元素 (Cs、Rb、Sr、Ba) 富集,高场强元素亏损,尤其是亏损 Nb、Ta、Ti、P 等,多数岩石显示出正铕异常 ($\text{Eu}/\text{Eu}^* = 0.90 \sim 2.46$)。岩相学及地球

化学特征表明,岩浆运移过程中主要发生了橄榄石、斜方辉石、单斜辉石的分离结晶作用以及斜长石的聚集/堆晶。原生岩浆为富镁拉斑玄武岩,岩浆源区为富集型岩石圈地幔,岩浆上升侵位过程中局部遭受了陆壳的同化混染(夏昭德等,2009)。辉长岩 $\epsilon_{\text{Nd}}(t) = -7.6 \sim -2.8$ 和 $(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})_i = 0.7059 \sim 0.7095$ 表明岩体在伸展环境下起源于交代岩石圈地幔,这种富集地幔可能起源于俯冲板片熔融形成的流体交代作用,且被认为与地幔柱有关,与甘肃金川超大型铜镍硫化物矿床具有相类似的成矿动力学背景,均为 Rodinia 超大陆裂解的产物 (Zhang *et al.*, 2011)。

2.8 且干布拉克大阪银钼矿

该矿床产于寒武系下统西山布拉克组(Є_1x)之中,该组与下伏震旦系汉戈尔乔克组(Z_2h)灰绿色冰碛岩为假整合接触。西山布拉克组主要由黑色、暗灰色硅质岩及灰—黑色的页岩、碳酸盐岩组成,并夹有

多层基性—中性火山岩。从所处地质构造位置及主要岩石组合来看,该岩系应属稳定型黑色硅质岩—碳质页岩建造,建造厚度变化大,由几十米到近千米之间。

含矿建造的底部主要为黑色燧石岩、含碳粉砂质页岩,向上逐渐过渡为暗色—黑色的灰岩,其中含有大量的三叶虫、腕足类、古杯类、海绵骨针等化石。银钒矿层常分布于建造的下部或中部,顶部者较少。矿层下盘岩石常有火山岩出现,岩性从超基性—酸性,这是建造内存在银钒矿层的重要标志(图 10)。银钒矿层之下常见的火山岩有蚀变玄武岩、玻屑凝灰岩、玻屑熔结凝灰岩,有时还见有英安岩、玄武粗安岩、苦橄玢岩、玻基辉橄岩。火山岩分布面积广,延长达几公里,厚由几米到几十米,最厚可达 60 多米。这一特点清楚表明建造内的硅质岩、银钒矿层与海底火山喷发有密切的成因联系,建造应属海底热水沉积建造(冯本智等,1995)。

矿体呈层状,常呈多层出现;规模大小不一,延长由 100 多米到数百米。最长达 1 000 m 以上,厚度由 1 m 以上到 10 多米,最厚达 30 多米。矿层底板常为燧石岩夹黑色页岩,或黑色泥岩或暗色粉砂质页岩,顶板多为燧石岩、黑色泥岩。矿层本身即为含矿的燧石岩或黑色页岩,或含粉砂质页岩,或蚀变玄武岩等。因此,矿层与上下围岩之间是渐变的,据化验资料圈定矿体。

目前对矿石中 有用矿物的研究不够,是否存在独立的含有益元素的矿物还不清楚,有些元素 V、Ag、Mo 等多以原子状态赋存于有关岩石之中。根据从围岩内所挑选出的人工重砂样品的电子探针研究所提供的资料(冯本智等,1995):Mo 在黄铁矿中含量较高,没有发现独立矿物,可能在黄铁矿中呈类质同像状态存在;V 主要含于钛铁矿、磁铁矿中,也未见到独立矿物;Ag 大部分矿物中含量都很低,较难确定它的存在形式。总之,由上述结果说明,Ag、V、Mo 等元素经有机质、凝灰质吸附作用,以原子形式赋存于岩石之中。

2.9 穹塔格铜金矿

穹塔格矿区主体上呈南北展布,南北长约 1.8 km,东西宽约 1.0 km。矿区内主要地层为前寒武纪兴地塔格群上亚群的一套变质岩系,以变质砂岩、片岩、夹大理岩为主;次为不整合覆盖其上的第三系红层及第四系坡积物及风成砂土(图 11)。

矿区内断裂主要以北东向断裂为主,伴随有部分北西向次级断裂,主要为高角度逆断层。矿区岩石

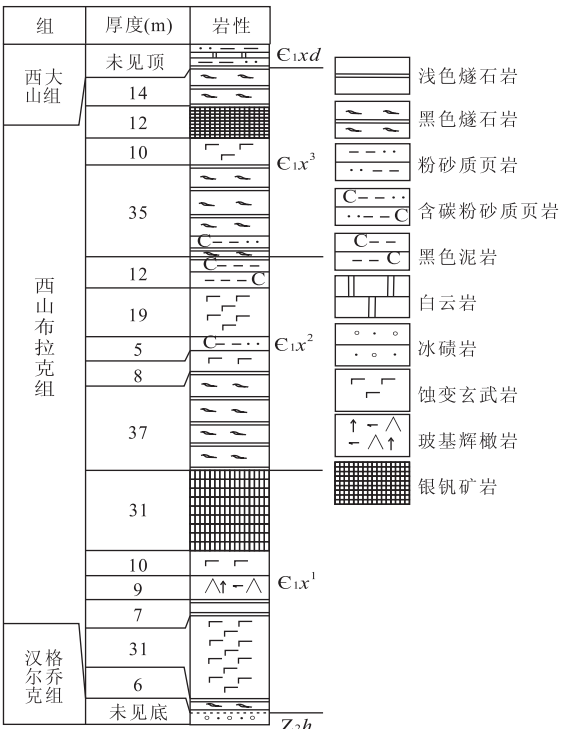


图 10 且干布拉克大坂银钒矿床地层柱状图(冯本智等, 1995)

Fig. 10 Stratigraphic column of Qieganbulakedaban Ag-V ore deposit

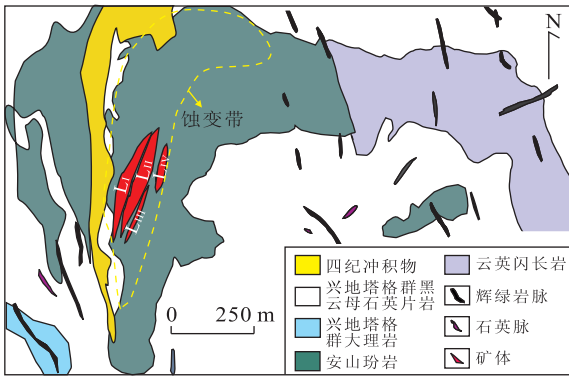


图 11 穹塔格铜金矿区地质

Fig. 11 Geological map of Qiongtage Cu-Au ore deposit at southeast Kuluketage, Xinjiang

据新疆地矿局物化探大队,新疆若羌县穹塔格铜金矿风险勘查设计书,2007

片理化程度非常高,区域变质作用强烈。岩浆岩较为发育并广泛分布,具有多期次多类型特征,岩石主要类型云英闪长岩、安山玢岩、花岗斑岩、石英脉及多期次辉绿岩脉,且分布不均匀。

矿区矿体主要分为 L_1 、 L_{II} 、 L_{III} 和 L_{IV} 共 4 个矿化带,其中 L_1 、 L_{II} 两个矿化带为低品位矿体, L_{IV} 为地表矿化带。 L_1 、 L_{II} 和 L_{III} 矿化带总体走向 20° ,西倾,总体

倾角 55° . L_1 和 L_{II} 控制矿体长 ~ 500 m, L_{III} 矿化带控制矿体长 ~ 300 m. L_{IV} 矿化带总体走向 10° , 西倾, 总体倾角 57° , 控制矿体长 ~ 200 m. 4 个矿化带中铜最高品位为 0.71% , 普遍在 0.4% 左右. 4 个矿化带组成一条弧形的大型蚀变区域(图 11). 矿体主要出露在安山玢岩中, 主要的控矿因素是岩浆控矿. 矿化带顶底板为安山玢岩, 矿化蚀变形成的金属矿物主要有黄铜矿、黄铁矿、磁铁矿, 氧化矿物为斑铜矿、铜蓝、孔雀石、褐铁矿, 非金属矿物主要有黑云母、绢云母、绿帘石、绿泥石, 伴随部分石英、斜长石、方解石. 矿石构造以细脉浸染状构造、稀疏浸染状构造、稠密浸染状构造、条带状及块状构造产出. 获取的安山玢岩的锆石 U-Pb 年龄为 494.2 ± 3.9 Ma(未发表), 为寒武纪晚期岩浆侵入作用形成, 其岩石地球化学显示该岩体形成于寒武纪俯冲岩浆弧环境. 穹塔格矿床为岩浆弧环境下的岩浆热液型铜金矿床.

3 成矿系列划分

同一矿化地区, 不仅有同种矿化或者相似矿种矿化共生的可能, 而且在同矿种所存在的地区也有不同的成因类型或者不同的工业类型共同存在的可能. 由于各元素的地球化学性质及成矿作用的连续性和重复性的关系, 某些矿种与矿种之间, 或某些矿床类型与矿床类型之间, 往往存在共生的规律. 从自然作用的实质看, 矿床是建造中的特殊岩相, 矿产的形成环境与建造的形成环境是共同的, 两者的成因也有一致性, 因而成矿系列是同一建造有成因联系的各种矿床类型构成的四维整体(翟裕生等, 1996). 通过对库鲁克塔格构造演化的认识总结, 划分出每一构造演化阶段下, 不同岩石建造中形成的一套具有成因联系的矿床类型组合, 从而形成特定构造环境下的成矿系列. 典型矿床及区域构造演化表明, 库鲁克塔格地区成矿作用主要发生在古元古代、新元古代及早古生代. 古元古代发生了强烈的陆壳增生改造作用(高振家, 1990; 冯本智等, 1995; 胡嵩琴等, 1997; 郭召杰等, 2003; 胡嵩琴和韦刚健, 2006; Shu *et al.*, 2011), 具角闪岩相—高角闪岩相中高温、中压区域变质作用, 形成斜长角闪岩、片麻状石英闪长岩和绿帘钠长角闪岩及混合岩化现象(冯本智等, 1995). 伴随着该期地质事件, 发生了与变质沉积岩有关的沉积变质型铁矿床(阿斯坦布拉克、中远和布亚提布拉克), 与构造有关的糜棱岩化和碎裂化的条带状(石榴)混合片麻岩中的石英脉型金矿床(大、小

金沟), 产于兴地塔格群大理岩中的层控型和热液叠加型铜矿床(鲍温布拉克), 以及与钙碱性和高钾钙碱性中基性岩浆岩有关的岩浆型铁磷矿床(大西沟), 形成了古元古代 Cu-Au-Fe-P 成矿系列. 中元古代库鲁克塔格地块以稳定碳酸盐岩沉积作用为主, 成矿作用不发育. 新元古代本区发生了强烈的构造岩浆活动. 研究结果表明库鲁克塔格地块新元古代成矿动力学背景经历了俯冲碰撞阶段($1.10 \sim 0.86$ Ga)、后碰撞阶段($830 \sim 800$ Ma)和裂解阶段($774 \sim 735$ Ma)(曹晓峰等, 2012). 该期构造环境下的成矿作用广泛, 与早期俯冲碰撞阶段有关的成矿作用有产于新元古代帕尔岗群千枚岩中的变质热液型铜金矿床(阿斯坦布拉克)(冯本智等, 1995), 形成了新元古代俯冲碰撞阶段的铜金成矿系列; 与后碰撞阶段下地壳重熔形成的埃达克岩有关的矽卡岩型铜钼铁多金属矿床(大平梁)(Cao *et al.*, 2010, 2011), 形成了新元古代后碰撞阶段铜钼铁成矿系列; 与后碰撞环境下富集地幔物质上侵形成的偏碱性基性超基性岩和正长岩有关的铁磷—蛭石—稀土元素矿床(奥尔塘、卡乌留克、且干布拉克)(夏学惠等, 2008, 2009, 2010; Zhang *et al.*, 2007, 2011; 孙宝生和黄建华, 2007; 姜常义等, 2005; 袁家忠等, 2010; 郝国庆, 2011), 形成了新元古代后碰撞铁磷—蛭石—稀土元素成矿系列; 与裂解环境下拉斑质基性超基性岩有关的铜镍矿床(兴地 II)(夏昭德等, 2009; Zhang *et al.*, 2007, 2011, 2013; 袁英霞等, 2002; 洛长义等, 1998; Cao *et al.*, 2012), 形成了新元古代裂解环境下的铜镍成矿系列. 自震旦纪后本区进入了深水沉积阶段, 形成大型的沉积凹陷, 如满加尔和英吉苏凹陷, 不同时期分别形成滨浅海相和深海沉积相地层, 岩浆活动微弱(段吉业等, 2005; 蔡志慧等, 2011; 许志琴等, 2011), 但在该陆块与其他构造带接壤的边缘部位由于受其他构造带影响, 也出现了岩浆活动, 如在库鲁克塔格东南缘与北山接壤处出露有寒武纪中基性侵入岩及奥陶纪富钾花岗岩(校培喜等, 2006; 曹晓峰, 2012). 因而, 库鲁克塔格在其内部块体和东南边缘存在早古生代两期重要的成矿事件, 一期为块体内寒武系早期与深水沉积盆地沉积的西大山组黑色、暗灰色硅质岩、磷块岩及黑色页岩有关的银钒钼铀磷矿化(提克布拉大黄和且干布拉克大阪)(冯本智等, 1995); 另一期为块体东南边缘存在寒武纪晚期与俯冲环境下形成的中酸性侵入岩有关的岩浆热液型铜金矿化(穹塔格)(曹晓峰, 2012), 形成了早古生代与黑色岩系有关的

表 1 库鲁克塔格地区主要成矿系列及其对应的矿床类型

主要成矿系列	矿床类型	主要矿床(点)	典型矿床地质特征
古元古代陆壳增生改造环境下的 Fe-P-Cu-Au 系列	与兴地塔格群变质沉积岩有关的 BIF 型铁矿	阿斯廷布拉克	矿体受区域地层控制,呈条纹状、互层状产于古元古代兴地塔格群石英岩中,一般厚约 17~35 m,矿石矿物为磁铁矿和赤铁矿,矿床沉积时代约 2 399 Ma,变质时代为 1 954 Ma
	与兴地塔格群构造变质作用有关的石英脉型金矿	大、小金沟	矿体受岩体与地层接触带控制,矿化产于石英脉中,主要矿物为黄铁矿、方铅矿、自然金、磁铁矿、褐铁矿和方解石.研究表明成矿热液主要来自岩浆岩,经岩体锆石 U-Pb 测年获得其形成时代约为 1 930 Ma
	与钙碱性高钾钙碱性中基性岩浆岩有关的岩浆型铁磷矿	大西沟	铁磷矿体主要赋存在蚀变斜长岩中.主要有用组分为 Fe、P、Ti,呈独立矿物磁铁矿、磷灰石和钛磁铁矿赋存在矿石中.矿体多呈似层状和透镜状,锆石 U-Pb 测年获得其形成时代约为 1 818 Ma
	与兴地塔格群变质及热液活动有关的层控型铜矿床	鲍温布拉克	本矿床沉积特征较为突出,矿化严格产于大理岩透镜体中,矿石内平行条带状构造发育且与层面产状一致,矿化与围岩整合,矿石具有变晶结构,其与围岩同样遭受了区域变质作用
新元古代俯冲碰撞环境下的 Cu-Au 系列	与新元古代帕尔岗群有关的变质热液型铜金矿	阿斯坦布拉克	含铜(金)石英脉主要分布于新元古代帕尔岗群下组的千枚岩、千枚状粉砂岩中,沿千枚理或斜切千枚理产出,部分产于白云质结晶灰岩中与围岩呈过渡关系.产于白云质灰岩中的含铜石英脉以富碳酸盐为主,含黄铜矿、辉铜矿、孔雀石、蓝铜矿及少量的黄钾铁矾和黄铁矿等.石英脉的直接围岩为白云质结晶灰岩,多数矿脉交代灰岩明显,与之接触关系不清,所以称之为含铜白云质结晶灰岩
新元古代后碰撞环境下的 Cu-Mo-Au-Fe-P-REE 系列	与富钾花岗岩有关的砂卡岩型铜钼铁矿床	大平梁	矿体产于岩体与围岩接触带形成的砂卡岩中,成矿物质及流体主要来自矿区出露的岩体,早期形成石榴石透辉石砂卡岩及磁铁矿化,到晚阶段形成绿帘石、绿泥石、石英方解石蚀变,并伴随铜钼金矿化.辉钼矿 Re-Os 同位素获得其形成时代为 829.4±9.5 Ma
	与碱性岩、偏碱性基性超基性岩有关的铁磷稀有稀土矿床	且干布拉克	杂岩体从早到晚岩浆侵入顺序为橄榄岩—黑云母透辉岩—碳酸岩.杂岩体发生两类矿化,一类是以金云母和蛭石为代表的非金属矿化,一类是以磷灰石和磁铁矿为代表的铁磷稀土矿化.前者存在于蚀变橄榄岩和蚀变透辉石岩中,后者存在于透辉石岩和碳酸岩中.其锆石 U-Pb 及岩石矿物 Rb-Sr,Sm-Nd 获得的成矿时代为 800~820 Ma
新元古代裂解环境下的 Cu-Ni 系列	与新元古代拉斑质基性超基性岩有关的铜镍矿床	兴地 II 号	杂岩体岩相分明,由内向外依次为二辉橄榄岩相、辉石岩相、辉长苏长岩相和辉长岩相.矿体的空间形态呈似层状、透镜状及脉状.其形态及产状基本上受岩相控制,铜镍矿体向岩相带中心倾斜,赋存于岩体内的橄榄岩相带底部或者辉石岩相与橄榄岩相的交界部位.锆石 U-Pb 定年获得其成矿时代约为 760 Ma
早古生代沉积盆地中 Ag-V-Mo-Au-U-P 系列	与寒武纪早期黑色岩系有关的银钼金铀磷矿床	且干布拉克大阪	该矿床产于寒武系下统西大山组,含矿建造的底部主要为黑色燧石岩,含碳粉砂质页岩,向上逐渐过渡为暗色—黑色的灰岩.矿层下盘岩石常有火山岩出现,岩性从超基性岩—酸性岩,这是建造内存在银钼矿层的重要标志.成矿元素赋存于黄铁矿、钛铁矿、磁铁矿等矿物中,未见有独立矿物出现
早古生代俯冲岛弧环境下的 Cu-Au 系列	与中酸性侵入岩有关的岩浆热液型铜金矿	穹塔格	矿体出露在安山玢岩中,矿化蚀变形成的金属矿物主要有黄铜矿、黄铁矿、磁铁矿,氧化矿物为斑铜矿、铜蓝、孔雀石、褐铁矿.矿石构造以细脉浸染状构造、稀疏浸染状构造、稠密浸染状构造、条带状及块状构造产出.获取的安山玢岩的锆石 U-Pb 年龄为 494.2±3.9 Ma

银钼金磷成矿系列和与俯冲环境下形成的中酸性岩有关的热液铜金成矿系列.综合可知,在库鲁克塔格地区主要存在古元古代、新元古代及早古生代 3 个

时期的重要成矿事件,并进一步根据构造环境和含矿岩石建造分为 6 个成矿系列,其对应的矿床类型和典型矿床、矿点见表 1.

4 结论

库鲁克塔格地块经历了从太古代到早古生代以来四大构造运动,形成了 7 个主要的岩浆构造演化阶段.其中,古元古代、新元古代及早古生代对应的成矿作用最为强烈,而中元古代由于主要以稳定碳酸盐岩沉积作用为主,构造岩浆活动不强,对应的矿化作用不明显.通过对本区主要典型矿床的地质特征及成因进行总结,并结合该区构造演化历史,分析得出了本区 6 个主要成矿系列:(1)古元古代陆壳增生改造环境下的 Fe-P-Cu-Au 系列;(2)新元古代俯冲碰撞环境下的 Cu-Au 系列;(3)新元古代后碰撞环境下的 Cu-Mo-Au-Fe-P-REE 系列;(4)新元古代裂解环境下的 Cu-Ni 系列;(5)早古生代沉积盆地中 Ag-V-Mo-Au-U-P 系列;(6)早古生代俯冲岛弧环境下的 Cu-Au 系列.

致谢:感谢匿名评委专家耐心审稿及其提出建设性意见,同时对编委在本文的审阅及修改中给予的帮助表示诚挚的谢意!

References

- Cai, Z. H., Xu, Z. Q., Tang, Z. M., et al., 2011. The Crustal Deformation during the Early Paleozoic Period and the Timing of Orogeny in Kuruketage Area on the Northeast Margin of Tarim Basin. *Geology in China*, 38(4): 855—867 (in Chinese with English abstract).
- Cao, X. F., 2012. Neoproterozoic-Early Paleozoic Tectono-thermal Events and Mineralization of Kuluketage Block, Xinjiang (Dissertation). China University of Geosciences, Wuhan (in Chinese with English abstract).
- Cao, X. F., Gao, X., Lü, X. B., et al., 2012. Sm-Nd Geochronology and Geochemistry of a Neoproterozoic Gabbro at Kuluketage, North-Western China. *International Geology Review*, 54(8): 861—875.
- Cao, X. F., Lü, X. B., Gao, X., et al., 2012. Magmatic Activities and Tectonic Evolution of Xinjiang Precambrian Kuluketage Block, NW China. *Xinjiang Geology*, 30(4): 384—391 (in Chinese with English abstract).
- Cao, X. F., Lü, X. B., Lei, J. H., et al., 2010. Geological Characteristics and Ore Genesis of Neoproterozoic Dapingliang Copper Multi-Metal Deposit at Eastern Kuluketage, Xinjiang. *Mineral Deposits*, 29 (Suppl. 4): 167—168 (in Chinese).
- Cao, X. F., Lü, X. B., Lei, J. H., et al., 2010. The Age of the Neoproterozoic Dapingliang Skarn Copper Deposit in Kuruketage, NW China. *Resource Geology*, 60(4): 397—403.
- Cao, X. F., Lü, X. B., Liu, S. T., et al., 2011. LA-ICP-MS Zircon Dating, Geochemistry, Petrogenesis and Tectonic Implications of the Dapingliang Neoproterozoic Granites at Kuluketage Block, NW China. *Precambrian Research*, 186(1—4): 205—219.
- Deng, X. L., Shu, L. S., Zhu, W. B., et al., 2008. Precambrian Tectonism, Magmatism, Deformation and Geochronology of Igneous Rocks in the Xingdi Fault Zone, Xinjiang. *Acta Petrologica Sinica*, 24(12): 2800—2808 (in Chinese with English abstract).
- Dong, L. H., Feng, J., Liu, D. Q., 2010. Research for Classification of Metallogenic Unit of Xinjiang. *Xinjiang Geology*, 28(1): 1—15 (in Chinese with English abstract).
- Dong, L. H., Xu, X. W., Zhao, S. M., 2012. Discovery and Significance of 1.95 Ga BIF in the Kuluketage Area, Xinjiang. *Xinjiang Geology*, 30(4): 371—376.
- Duan, J. Y., Xia, D. X., An, S. L., 2005. Deep-Water Sedimentation and Sedimento-Tectonopaleogeography of the Neoproterozoic-Early Palaeozoic Aulacogen in Kuruketage, Xinjiang, China. *Acta Geologica Sinica*, 79(1): 7—14 (in Chinese with English abstract).
- Feng, B. Z., Zhou, Y. W., Chi, S. F., et al., 1995. Presinian Geology, Precious and Nonferrous Metal Deposits in Kuruketage Area, Xinjiang Uygur Autonomous Region, China. Geological Publishing House, Beijing (in Chinese).
- Gao, Z. J., 1990. Second Discussion about Stratigraphy Problems of the Precambrian of Tianshan Region. *Xinjiang Geology*, 8(1): 80—90 (in Chinese with English abstract).
- Ge, R. F., Zhu, W. B., Wu, H. L., et al., 2012a. The Paleozoic Northern Margin of the Tarim Craton: Passive or Active? *Lithos*, 142—143: 1—15. doi. org/10. 1016/j. lithos. 2012. 02. 010
- Ge, R. F., Zhu, W. B., Zheng, B. H., et al., 2012b. Early Pan-African Magmatism in the Tarim Craton: Insights from Zircon U-Pb-Lu-Hf Isotope and Geochemistry of Granitoids in the Korla Area, NW China. *Precambrian Research*, 212/213: 117—138.
- Guo, Z. J., Zhang, Z. C., Liu, S. W. et al., 2003. U-Pb Geochronological Evidence for the Early Precambrian Complex of the Tarim Craton, NW China. *Acta Petrologica Sinica*, 19(3): 537—542 (in Chinese with English abstract).
- Hu, A. Q., Rogers, G., 1992. Discovery of 3.3 Ga Archaean Rocks in North Tarim Block of Xinjiang, Western Chi-

- na. *Chinese Science Bulletin*, 37(18): 1546—1549.
- Hu, A. Q., Wang, Z. G., Tu, G. C., et al., 1997. Geological Evolution and Rock-Ore Forming Regularity. Science Press, Beijing (in Chinese).
- Hu, A. Q., Wei, G. J., 2006. On the Age of the Neo-Archean Qingir Gray Gneisses from the Northern Tarim Basin, Xinjiang, China. *Acta Geologica Sinica*, 80(1): 126—134 (in Chinese with English abstract).
- Hu, S. L., Wang, S. S., Sang, H. Q., et al., 1990. The Isotopic Ages and REE Geochemistry of Damiao Anorthosite and Their Geological Implication. *Scientia Geologica Sinica*, (4): 332—343 (in Chinese with English abstract).
- Jiang, C. Y., Lu, D. R., Bai, K. Y., et al., 2005. Metasomatism Products of Continental Lithosphere Mantle—Roseite Deposits, Qieganbulake. *Acta Petrologica Sinica*, 21(1): 201—210 (in Chinese with English abstract).
- Li, H. Q., Chen, F. W., 2004. Isotopic Geochronology of Regional Mineralization in Xinjiang, NW China. Geological Publishing House, Beijing (in Chinese with English abstract).
- Li, Q., Yu, H. F., Xiu, Q. Y., 2002. On Precambrian Basement of the Eastern Tianshan Mountains, Xinjiang. *Xinjiang Geology*, 20(4): 346—351 (in Chinese with English abstract).
- Li, X. R., 1994. Structural Deformation of Xingdi Fault in the Northern Margin of Tarim Basin. *Xinjiang Geology*, 12(3): 209—218 (in Chinese with English abstract).
- Long, X. P., Sun, M., Yuan, C., et al., 2012. Zircon REE Patterns and Geochemical Characteristics of Paleoproterozoic Anatectic Granite in the Northern Tarim Craton, NW China; Implications for the Reconstruction of the Columbia Supercontinent. *Precambrian Research*, 222—223: 474—487.
- Long, X. P., Yuan, C., Sun, M., et al., 2010. Archean Crustal Evolution of the Northern Tarim Craton, NW China; Zircon U-Pb and Hf Isotopic Constraints. *Precambrian Research*, 180: 272—284.
- Long, X. P., Yuan, C., Sun, M., et al., 2011. The Discovery of the Oldest Rocks in the Kuluketage Area and Its Geological Implications. *Science in China (Series D)*, 54(3): 342—34.
- Lu, S. N., Li, H. K., Zhang, C. L., et al., 2008. Geological and Geochronological Evidence for the Precambrian Evolution of the Tarim Craton and Surrounding Continental Fragments. *Precambrian Research*, 160(1—2): 94—107.
- Luo, C. Y., Yang, H. Q., Zhu, B. Q., et al., 1998. On the Zonation of Basic-Ultrabasic Complex in Xingdi, Xinjiang. *Northwest Geoscience*, 19(1): 52—58 (in Chinese with English abstract).
- Shu, L. S., Deng, X. L., Zhu, W. B., et al., 2011. Precambrian Tectonic Evolution of the Tarim Block, NW China; New Geochronological Insights from the Quruqtagh Domain. *Journal of Asian Earth Sciences*, 42: 774—790.
- Sun, B. S., Huang, J. H., 2007. Sm-Nd Isotopic Age of Qieganbulak Ultrabasic-Carbonatite Complex in Xinjiang, China and Its Geological Significance. *Acta Petrologica Sinica*, 23(7): 1611—1616 (in Chinese with English abstract).
- Sun, X. M., Wang, P. J., Liu, P. J., et al., 2006. Structural Features and Tectonic Evolutionary History of Xingdi Fault. *Xinjiang Geology*, 24(4): 348—352 (in Chinese with English abstract).
- Xi, G. Q., 2011. Geological and Magnetic Signature of Kawuliuke Tag District. *Geology of Chemical Minerals*, 33(2): 108—113 (in Chinese with English abstract).
- Xia, X. H., Tan, Y. J., Wu, Y. L., et al., 2008. Ore-Forming Conditions and Prospectings of Iron and Phosphorite in Kuluketage Area, Xinjiang Province. *Geology of Chemical Minerals*, 33(2): 91—98 (in Chinese with English abstract).
- Xia, X. H., Yuan, J. Z., Xi, G. Q., et al., 2009. The Feasibility Study and Metallogenic Prediction of Endogenesis Phosphorite Resources in the Northern Edge of Talimu Platform. *Geology of Chemical Minerals*, 31(3): 129—158 (in Chinese with English abstract).
- Xia, X. H., Yuan, J. Z., Xi, G. Q., et al., 2010. Geochemistry of Complex Rocks and Characteristics of Daxigou Iron-Phosphorite Deposits, Xinjiang. *Journal of Jilin University (Earth Science Edition)*, 40(4): 879—885 (in Chinese with English abstract).
- Xia, Z. D., Shi, F. P., Hu, X. J., et al., 2009. Geochemistry and Petrogenesis of Xingdi No. 2 Mafic-Ultramafic Intrusion in the Kuluketage Area, Xinjiang. *Acta Petrologica Sinica*, 25(4): 805—816 (in Chinese with English abstract).
- Xiao, P. X., Huang, Y. H., Wang, Y. X., et al., 2006. Geochemical Characteristics and Isotope Dating of Moyite at the Southeastern Margin of the Kuruktag Block, Xinjiang, China. *Geological Bulletin of China*, 25(6): 725—729 (in Chinese with English abstract).
- Xu, Z. Q., He, B. Z., Zhang, C. L., et al., 2013. Tectonic Framework and Crustal Evolution of the Precambrian Basement of the Tarim Block in NW China; New Geo-

- chronological Evidence from Deep Drilling Samples. *Precambrian Research*, 235: 150—162.
- Xu, Z. Q., Li, S. T., Zhang, J. X., et al., 2011. Paleo-Asian and Tethyan Tectonic Systems with Docking the Tarim Block. *Acta Petrologica Sinica*, 27(1): 1—22 (in Chinese with English abstract).
- Yang, T. Q., 1992. The Metallogenic Model and Prospect of the Dajingou-Xiaojingou Auriferous Province in the Kurukertag Area, Xinjiang. *Journal of Changchun University of Earth Sciences*, 22(3): 290—296 (in Chinese with English abstract).
- Yuan, J. Z., Xia, X. H., Xi, G. Q., et al., 2010. Geological Characteristics and Prospecting Significance of Magnetite-Apatite Deposit of Aertang Area in Sinkiang. *Geology of Chemical Minerals*, 32(2): 105—111 (in Chinese with English abstract).
- Yuan, Q., Cao, X. F., Lü, X. B., 2014. Petrology and Zircon U-Pb Dating Combined with Hf Isotope Study of Granitic Rocks from the Kuluketage Block (Tarim Craton, NW China). *Journal of Geosciences*, 59(3): 275—290.
- Yuan, Y. X., Pan, Z. X., Qian, Y. Z., 2002. Cu, Ni-Bearing Property Evaluation of Xingdi Complex No. 2 in Kuruketage, Xinjiang. *Xinjiang Geology*, 20(1): 49—52 (in Chinese with English abstract).
- Zhai, Y. S., Yao, S. Z., Cui, B., et al., 1996. Research on Metallogenic Series. China University of Geosciences Press, Wuhan (in Chinese).
- Zhang, C. L., Li, H. K., Santosh, M., et al., 2012a. Precambrian Evolution and Cratonization of the Tarim Block, NW China: Petrology, Geochemistry, Nd-Isotopes and U-Pb Zircon Geochronology from Archaean Gabbro-TTG-Potassic Granite Suite and Paleoproterozoic Metamorphic Belt. *Journal of Asian Earth Sciences*, 47: 5—20.
- Zhang, C. L., Zou, H. B., Wang, H. Y., et al., 2012b. Multiple Phases of the Neoproterozoic Igneous Activity in Quruqtagh of the Northeastern Tarim Block, NW China: Interaction between Plate Subduction and Mantle Plume? *Precambrian Research*, 222—223: 488—502.
- Zhang, C. L., Li, X. H., Li, Z. X., et al., 2007. Neoproterozoic Ultramafic-Mafic-Carbonatite Complex and Granitoids in Quruqtagh of Northeastern Tarim Block, Western China: Geochronology, Geochemistry and Tectonic Implications. *Precambrian Research*, 152(3—4): 149—169.
- Zhang, C. L., Yang, D. S., Wang, H. Y., et al., 2011. Neoproterozoic Mafic-Ultramafic Layered Intrusion in Quruqtagh of Northeastern Tarim Block, NW China: Two Phases of Mafic Igneous with Different Mantle Sources. *Gondwana Research*, 19(1): 177—190.
- Zhang, C. L., Zou, H. B., Li, H. K., et al., 2013. Tectonic Framework and Evolution of the Tarim Block in NW China. *Gondwana Research*, 23: 1306—131.
- Zhao, T. P., Chen, F. K., Zhai, M. G., et al., 2004. Single Zircon U-Pb Ages and Their Geological Significance of the Damiao Anorthosite Complex, Hebei Province, China. *Acta Petrologica Sinica*, 20(3): 685—690 (in Chinese with English abstract).

附中文参考文献

- 蔡志慧, 许志琴, 唐哲民, 等, 2011. 塔里木盆地东北缘库鲁克塔格地区的早古生代地壳变形以及造山时限. *中国地质*, 38(4): 855—867.
- 曹晓峰, 2012. 新疆库鲁克塔格新元古代—早古生代构造热事件与成矿(博士学位论文). 武汉: 中国地质大学.
- 曹晓峰, 吕新彪, 高翔, 等, 2012. 新疆库鲁克塔格前寒武纪地块岩浆热事件及构造演化. *新疆地质*, 30(4): 384—391.
- 曹晓峰, 吕新彪, 雷建华, 等, 2010. 新疆库鲁克塔格东缘新元古代大平梁铜多金属矿床地质特征及成因探讨? *矿床地质*, 29(增刊): 167—168.
- 邓兴梁, 舒良树, 朱文斌, 等, 2008. 新疆兴地断裂带前寒武纪构造岩浆变形作用特征及其年龄. *岩石学报*, 24(12): 2800—2808.
- 董连慧, 冯京, 刘德权, 等, 2010. 新疆成矿单元划分方案研究. *新疆地质*, 28(1): 1—15.
- 董连慧, 徐兴旺, 赵树铭, 2012. 新疆库鲁克塔格 1.95 Ga 磁铁矿石岩建造(BIF)发现及意义. *新疆地质*, 30(4): 371—376.
- 段吉业, 夏德馨, 安素岚, 2005. 新疆库鲁克塔格新元古代—早古生代裂陷槽深水沉积与沉积—构造古地理. *地质学报*, 79(1): 7—14.
- 冯本智, 周裕文, 迟仕福, 等, 1995. 新疆库鲁克塔格地区前震旦纪地质与贵重、有色金属矿床. 北京: 地质出版社.
- 高振家, 1990. 再论天山地区前寒武纪地层问题. *新疆地质*, 8(1): 80—90.
- 郭召杰, 张志诚, 刘树文, 等, 2003. 塔里木克拉通早前寒武纪基底层序与组合: 颗粒锆石 U-Pb 年龄新证据. *岩石学报*, 19(3): 537—542.
- 胡藹琴, 王中刚, 涂光炽, 等, 1997. 新疆北部地质演化及成岩成矿规律. 北京: 科学出版社.
- 胡藹琴, 韦刚健, 2006. 塔里木盆地北缘新太古代辛格尔灰色片麻岩形成时代问题. *地质学报*, 80(1): 126—134.
- 胡世玲, 王松山, 桑海清, 等, 1990. 大庙斜长岩同位素地质年龄、稀土地球化学及其地质意义. *地质科学*, 4: 332—343.
- 姜常义, 卢登蓉, 白开寅, 等, 2005. 大陆岩石圈地幔交代作用的产物——且干布拉克蛭石矿床. *岩石学报*, 21(1):

201—210.

李华芹,陈富文,2004. 中国新疆区域成矿作用年代学. 北京:地质出版社.

李铨,于海峰,修群业,2002. 东天山前寒武纪基底若干问题的讨论. 新疆地质,20(4): 346—351.

李相然,1994. 塔里木盆地北缘兴地断裂构造变形特征. 新疆地质,12(3): 209—218.

洛长义,杨合群,朱宝清,等,1998. 论新疆兴地基性超基性杂岩分带性. 西北地质科学,19(1): 52—58.

孙宝生,黄建华,2007. 新疆且干布拉克超基性岩—碳酸岩杂岩体 Sm-Nd 同位素年龄及其地质意义. 岩石学报,23(7): 1611—1616.

孙晓猛,王璞珺,刘鹏举,等,2006. 兴地断裂构造特征及其演化历史. 新疆地质,24(4): 348—352.

郝国庆,2011. 卡乌留克塔格地区地质及磁异常特征. 化工矿产地质,33(2): 108—113.

夏学惠,谭云基,武奕立,等,2008. 新疆库鲁克塔格地区铁磷矿成矿条件及找矿预测. 化工矿产地质,33(2): 91—98.

夏学惠,袁家忠,郝国庆,等,2009. 塔里木地台北缘内生磷矿预测及资源远景评价. 化工矿产地质,31(3): 129—158.

夏学惠,袁家忠,郝国庆,等,2010. 新疆大西沟杂岩体地球化学及铁磷矿床特征. 吉林大学学报(地球科学版),40(4): 879—885.

夏昭德,石福品,胡秀军,等,2009. 新疆库鲁克塔格地区兴地Ⅱ号镁铁—超镁铁质岩体的地球化学特征与岩石成因. 岩石学报,25(4): 805—816.

校培喜,黄玉华,王育习,等,2006. 新疆库鲁克塔格地块东南缘钾长花岗岩的地球化学特征及同位素测年. 地质通报,25(6): 725—729.

许志琴,李思田,张建新,等,2011. 塔里木地块与古亚洲/特提斯构造体系的对接. 岩石学报,27(1): 1—22.

杨天奇,1992. 新疆库鲁克塔格地区大、小金沟金矿化区成矿作用模式及找矿. 长春地质学院学报,22(3): 290—296.

袁家忠,夏学惠,郝国庆,等,2010. 新疆奥尔塘铁磷矿地质特征及找矿意义. 化工矿产地质,32(2): 105—111.

袁英霞,潘朝霞,钱玉珍,2002. 新疆库鲁克塔格兴地Ⅱ号岩体铜镍含矿性评价. 新疆地质,20(1): 49—52.

翟裕生,姚书振,崔彬,等,1996. 成矿系列研究. 武汉:中国地质大学出版社.

赵太平,陈福坤,翟明国,等,2004. 河北大庙斜长岩杂岩体锆石 U-Pb 年龄及其地质意义. 岩石学报,20(3): 685—690.