

# 东天山东段大型铜、镍、金矿床成矿规律研究、 靶区优选与隐伏矿定位预测的重要进展\*

## Advance in research on metallogenetic regularity, target selection and location prognosis for large-scale Cu, Ni and Au deposits at eastern Tianshan

秦克章<sup>1</sup>, 徐兴旺<sup>1</sup>, 梁光河<sup>1</sup>, 方同辉<sup>2</sup>, 丁奎首<sup>1</sup>, 三金柱<sup>1,3</sup>, 张连昌<sup>1</sup>,  
惠卫东<sup>3</sup>, 彭晓明<sup>3</sup>, 吴 华<sup>4</sup>, 程松林<sup>4</sup>, 许英霞<sup>1</sup>, 孙 赫<sup>1</sup>, 缪 宇<sup>1</sup>,  
莫新华<sup>4</sup>, 蔡新平<sup>1</sup>, 康 峰<sup>3</sup>, 张宝林<sup>1</sup>, 肖庆华<sup>1,3</sup>

(1 中国科学院矿产资源重点实验室, 中国科学院地质与地球物理研究所, 北京 100029; 2 北京矿产地质研究院 北京 100012; 3 新疆有色地勘局 704 大队, 新疆 哈密 839000; 4 新疆地质矿产局六大队, 新疆 哈密 839000)

QIN KeZhang<sup>1</sup>, XU XingWang<sup>1</sup>, LIANG Guanghe<sup>1</sup>, FANG TongHui<sup>2</sup>, DING KuiShou<sup>1</sup>, SAN Jinzhu<sup>1,3</sup>, ZHANG LianChang<sup>1</sup>, HUI WeiDong<sup>3</sup>, PENG XiaoMing<sup>3</sup>, WU Hua<sup>4</sup>, CHENG SongLin<sup>4</sup>, XU YingXia<sup>1</sup>, SUN He<sup>1</sup>, MIAO Yu<sup>1</sup>, MO XinHua<sup>4</sup>, CAI XinPing<sup>1</sup>, KANG Feng<sup>3</sup>, ZHANG BaoLin<sup>1</sup> and XIAO QingHua<sup>1,3</sup>

(1. Key Lab. of Mineral Resources, Institute of Geology and Geophysics, CAS, Beijing 100029, China; 2. Beijing Institute of Geology for Mineral Resources, Beijing 100012, China; 3 704 Geological Party, Xinjiang Geoexploration Bureau for Nonferrous Metals, Hami 839000, Xinjiang, China; 4 No.6 Geological Party, Xinjiang Bureau of Geology and Exploration, Hami 839000, Xinjiang, China)

**摘 要** 建立了东天山地区古生代构造演化成矿格架, 将该区镁铁质-超镁铁质岩体的分布新划分为 7 个带, 四项黑山发现寒武纪层状岩体, 拓展了找矿空间。确认新近发现的卡拉塔格红山为上金下铜的“紫金山式”铜金矿床, 成矿期为中生代, 红山矿床氧化带中付针绿矾等 7 种矿物属国内首次发现。红山矿区中深部具寻找大型斑岩铜金矿的潜力, 外围梅岭铜金矿区亦具有大型潜力。查明了白石泉-天宇镁铁质-超镁铁质岩体的期次与产状和空间形态。建立了图拉尔根铜镍矿区的构造格架, 确定了含矿岩体的侧伏方向, 浅层地震和大地电磁测深探查发现已知含矿岩体向深部变大, 在北侧还发现了新的矿致异常。经两万米钻探验证, 在预测区见矿厚度达 50~260 m, 岩体延深加大 (200 m→800 m)、延长变长 (600 m→1 300 m), 规模已到大型。

**关键词** 图拉尔根铜镍矿; 红山-梅岭铜金矿; 天宇铜镍矿; 定位预测; 东天山

“东天山东段大型铜矿床靶区优选与定位预测”课题, 系国家十五科技攻关新疆 305 项目与中国科学院知识创新工程方向新疆矿产项目配套支持、联合实施, 由中国科学院地质与地球物理研究所负责承担, 新疆有色地勘局 704 队、北京矿产地质研究院、新疆地矿局六大队合作完成。课题组研究人员以造山带成矿理论为指导, 瞄准制约东天山地区进一步找矿突破的关键科学问题, 以岩浆铜镍矿、斑岩铜矿-浅成低温铜金矿为主攻类型, 四年来开展了大量艰苦而有卓有成效的野外实地调查, 累计参加野外调查人员达 33 位, 对东疆地区共计 45 处矿床、矿点、29 处化探、物探异常进行了实地调查研究, 采集各类样品 1 350 件, 完成磁组构、X-光岩组、硅酸盐分析、微量与稀土、电子探针、X 衍射、扫描电镜、多种同位素测年、差热分析、单矿物微量元素、晶胞参数、铂族元素测试上千件。开展了系统的矿床学、矿田构造、岩石学、地球化学、矿物学系统研究以进行成矿条件分析和靶区优选, 引进多种高分辨率的高新技术地球物理方法, 完成浅层地震勘探剖面 4 条 7.3

\*本文得到中国科学院知识创新工程重要方向项目(KZCX3-SW-137)与国家“十五”科技攻关新疆305项目东天山东段铜矿专题(2003BA612A-06-07)的联合资助

第一作者简介 秦克章, 男, 1964 年生, 研究员, 博导, 从事造山带与成矿作用研究。kzq@mail.iggcas.ac.cn

km, 大地电磁测深 (MT) 剖面测量 9 条 88 个点, Eh-4 连续电导率剖面测量 4 条计 2 km 90 个点, 高密度电法剖面 3 条计 3 km 360 个点, 开展隐伏矿定位预测研究。提交找矿远景区 16 处, 勘查基地 3 处, 图拉尔根、红山—梅岭矿区探获经钻探验证的铜资源量 26.5 万吨, 镍 12 万吨, 钴 0.9 万吨, 金 17.3 t, 已超额完成课题任务指标。并在基础地质方面亦取得了一些重要的新认识。初步实现了“科研预测—工程验证—产业开发一体化”的战略思想。

## 1 初步建立了东天山地区古生代构造演化成矿格架, 增强了战略选区的针对性

作为区域成矿构造背景研究与编图的基础, 重新认识划分出一些新的重要构造单元, 如大南湖—头苏泉泥盆纪-石炭纪多期增生岛弧, 系形成斑岩铜矿和浅成低温金铜矿的最有利构造带; 小热泉子—梧桐窝子早石炭世弧内盆地、阿齐山—雅满苏早石炭世弧后盆地 (而不是前人认为的岛弧带), 有形成阿舍勒式大型块状硫化物矿床的可能(秦克章等, 2002); 两者之间的康古尔韧性剪切带不是所谓的俯冲碰撞带, 而是晚石炭世—早二叠世沿先期拉张断裂形成的大型变形变质带。在挤压-伸展转变期 (早二叠世) 韧性剪切型金矿和铜镍矿大规模成矿 (Qin et al., 2003), 东天山碰撞后松弛伸展、中生代陆内上叠盆地演化阶段发育充分, 与大型铜矿成矿关系密切。

## 2 发现东天山除已知的晚古生代外, 在中生代也有斑岩-浅成低温金铜矿成矿作用发生。

卡拉塔格地区红山金铜矿含矿斑岩所侵入的围岩—二长花岗岩黑云母 Ar-Ar 年龄为 217 Ma, 并且区域上发育有中生代火山活动, 推断其成矿也在中生代。因此可将东天山斑岩铜矿和浅成低温热液金铜矿的形成时代大体划分为 3 个时段: ①早石炭世岛弧区, 如土屋-延东斑岩铜矿 (356~341 Ma) (芮宗瑶等, 2002; Qin et al., 2003; Zhang et al., 2006); ②早二叠世 (碰撞造山晚期), 如石英滩金矿、三岔口铜矿 (280~270Ma) 和灵龙-赤湖斑岩铜矿; ③中生代, 以白山钼矿 (224~233 Ma, Zhang et al., 2005) 和红山铜金矿为代表, 形成于中生代陆内 (板内) 环境。从而大大拓展了找矿思路与找矿空间。

## 3 将东天山地区镁铁质—超镁铁质岩体的分布新划分为 7 个区带

从北往南为: ①侵位于泥盆系头苏泉组火山岩和元古代深变质岩中的牛毛泉—黑山峡—小石头南—台曼苏辉长岩-橄榄辉石岩带; ②沿大草滩断裂带及其次级断裂侵位的图拉尔根超基性岩带; ③葫芦—马蹄—四顶黑山超基性岩带; ④香山—黄山—狼井超基性岩带; ⑤土墩—二红洼-黄山南超基性岩集中区; ⑥侵位于中天山结晶基底的尾亚—白石泉—天宇超基性岩带; 以及⑦中天山地块西和鸳鸯滩一带呈环状出露的镁铁质-超镁铁质岩体。该划分拓展了找矿空间, 具有重要的区域成矿与找矿意义。

## 4 编制了 1/25 万东天山东段地区综合成矿预测图件

从北向南划分出 12 个矿化亚带。在区域成矿背景、含矿岩性发育程度、含矿构造与后期改造、剥蚀程度和地、物、化、遥综合分析的基础上, 优选出铜、铜金、铜镍找矿远景区 16 片: 其中一级远景区 5 处, 包括图拉尔根基性-超基性岩 Cu-Ni-Co、红山-梅岭斑岩-浅成低温 Cu-Au、天宇—白石泉基性-超基性岩 Cu-Ni-Co、小石头泉及外围斑岩-脉状-浅成低温 Cu-Au-Pb-Zn-Ag、香山西段基性—超基性岩 Cu-Ni-Co 找矿远景区; 二级远景区 11 处, 包括鸭子泉斑岩 Cu-Au、琼河坝 202 斑岩 Cu、双井子—马庄山 Au-Cu、大草滩斑岩-浅成低温 Cu-Au、银帮山、景峡海相火山岩块状硫化物 Cu、红坡北山浅成低温 Au 等找矿远景区。逐一分析了其成矿条件和主攻矿床类型。

## 5 基础地质理论与铜镍钴硫化物、铜金矿床氧化带硫酸盐矿物学研究进展

发现四顶黑山地区部分镁铁质-超镁铁质岩体具层状构造、为早寒武世 (角闪石 Ar-Ar 年龄 545 Ma) 层状杂岩体(徐兴旺等, 2006)。意味着本区除已知的二叠纪铜镍矿化外, 早寒武世可能也是东天山地区岩浆铜镍矿的成矿期之一。提出觉罗塔格构造带和准噶尔东缘大南湖组火山岩之下可能存在与中天山相连的统一的元古代变质基底 (Xu et al., 2003)。采用电子探针、扫描电镜、晶胞结构分析等先进微束分析手段, 系统查明了东天山主要铜镍矿床中 Ni、Co 的赋存状态与 PGE 含量, 及其磁黄铁矿、黄铜矿、镍黄铁矿、紫硫镍矿以及辉砷镍矿-镍辉砷钴矿硫化物矿物组合特征, 并通过 X-射线衍射法区分六方、单斜磁黄铁矿。

卡拉塔格红山铜金硫化物矿床氧化带特别发育, 硫酸盐矿物成分复杂, 种类繁多, 对原生矿化具指示意义。通过镜下鉴定和 X 射线粉晶分析、差热和加热失重分析、光谱和化学分析、晶体测角和 X 射线单晶等系统分析研究, 识别并确定氧化

带产出的矿物达 31 种, 其中发现镁叶绿矾( $\text{Mg, Al}(\text{Fe, Al})_4(\text{SO}_4)_6(\text{OH})_2 \cdot 20\text{H}_2\text{O}$ )有新晶体结构并做了精确测定, 纠正国外学者已发表成果中的错误, 高铁叶绿矾、付针绿矾、板铁矾、钾铁矾、钠镁矾、变纤钠铁矾、付基铁矾均属国内首次发现(许英霞等, 2006), 副针绿矾是世界上除智利外第二次报道的矿物。

## 6 卡拉塔格红山—梅岭铜金矿区的成矿条件研究与定位预测取得重要进展

卡拉塔格地区红山铜金矿化区系 1999 年发现、2000 年明确其找矿意义的新区(秦克章等, 2001)。近年来研究查明了红山—梅岭矿区的热液蚀变类型、组合、分带性与主要控矿因素, 明确其矿化类型为界于高硫化物浅成低温热液型与斑岩铜矿之间的过渡型(紫金山式), 红山钻探发现 40 m 厚的金矿体与 18 m 厚的铜矿体(上 Au 下 Cu), 扩大了其远景规模。专题 2004 年施工的 Eh-4 连续电导率剖面测量在 200~800 m 深度发现含高阻核的厚大倒立桶状低阻体, 上部 200 m 以上为不规则囊状中高阻体、中部埋深 200~400 m 是囊状的中低阻体(很可能是矿化体或矿化蚀变体)和下部埋深 400 m 以下的中高阻体。其中剖面 400 m 以下的筒状中高阻体可能为隐伏的斑岩体(强硅化核), 该矿区深部存在寻找斑岩型铜金矿的潜力。

东部梅岭化探异常区, 热液蚀变面积积达 10 km<sup>2</sup>。Eh-4 剖面测量发现延伸达 800 m 的较大隐伏低阻电性良导体。对 0 线剖面异常布置一深约 380 m 的验证钻孔中发现 80 余米厚的细脉-浸染状铜矿体(含 Cu0.7%~0.9%), 将发展为大型铜金矿区。大规模的勘探验证评价正在进行。

## 7 白石泉—天宇铜镍矿区的成矿条件研究与隐伏矿定位预测取得重要进展

白石泉铜镍矿和天宇铜镍矿是新疆地矿局六大队于 2002 年和 2004 年先后发现的、产于中天山元古代结晶基底中, 不同于北侧产于中生代韧性变形带中的已知铜镍矿床。2003—2005 年联合开展两矿区矿田构造、主侵入中心追索与深部找矿研究。浅层地震勘探二维反演剖面清楚地给出了白石泉矿区 1 000 m 深度的地质结构、岩体的产状及其与围岩的相互关系, 结合大地电磁测深(MT)测量, 进一步确定了含矿镁铁质-超镁铁质岩体的分布与产状(吴华等, 2006; 徐兴旺等, 2006)。钻探结果表明浅层地震勘探所揭示的隐伏地质体的结构是准确有效的, MT 结果给出了天宇矿区含矿岩体的总体产出趋势, 高密度电法测量结果与地表矿体及其延伸具较好的对应关系, 验证孔 Zk+10-1 中见矿厚度达 80 m, 为矿区深部探查提供了重要的依据。

## 8 图拉尔根铜镍矿区从矿点迅速发展大型矿床的成矿预测三部曲

图拉尔根铜镍矿区, 系新疆有色地勘局 704 队 2001 年秋天发现、2002 年开始评价的一个铜镍矿化角闪橄榄岩体, 地表长 740 余米(即位于 18~9 线之间), 宽 20~60 m, 浅表矿化较好, 但岩体很小、矿化规模很有限(三金柱等, 2003)。其深部能否变大、找矿远景如何? 乃是亟待解决的重大科学问题。2002 年伊始课题组即与 704 队紧密联合攻关, 4 年来围绕下述三大问题开展攻坚评价, 逐步深入扩大战果, 历经了成矿预测三部曲: ①已知含矿岩体地表规模较小, 向下能否变大变富? ②矿田范围内能否发现新的含矿岩体? ③是否存在岩浆熔离贯入富矿体?

2002 年首先通过 5 条构造岩剖面实测及磁组构测量、X 光岩组方法与显微构造变形研究, 识别并建立了矿区宽缓背斜构造格架, 其上叠加了 NEE 向韧性挤压带, 含矿岩体侵位于背斜的南翼, 矿体产于岩相接触带内侧脆韧性断裂破碎带。矿化岩体与片理大致同期产出(同构造岩体), 确定了岩体和矿体向南倾并向南西侧伏, 从而为矿区早期钻探布孔提供了科学依据。2002 年秋天钻探验证结果见矿厚度 31 m。发育有就地熔离贯入型、深熔贯入型和热液型 3 种类型矿化, 它们互相叠加组成复合型矿体(孙赫等, 2006)。指出深熔贯入型富矿虽厚度不大(0.5~1 m)但确已出现, 对寻找富大矿体具有指示意义, 尤其值得重视。

随后课题组于 2003—2004 年沿 12 线、5 线、21 线、41 线实施浅层地震和大地电磁测深探查, 给出了地下 1 000 m 深度内的地质体的精细结构, 新发现 3 个明显相连或断续相连的低阻异常体, 中部异常带对应于已知含矿岩体(I 号), 且向下规模变大。北部异常带是隐伏含矿超基性岩体的反应, 704 队所施工的大比例尺磁法及激电测量也与此吻合, 经追索新发现的辉长岩露头(II 号)向西延长达 1000 余米。南部异常带(III 号)则系隐伏岩体所引起。

与此同时, 704 队进行了系统的填图、槽探与钻探, 并引进西部矿业公司和新疆有色集团开展商业性地质勘查, 已实施 20000 余米钻探, 见矿厚度达 50~260 m, 平均 Ni、Cu 品位分别为 0.5%、0.3%, 部分地段发现了数十米厚的海绵陨铁状铜镍钴富矿石。该区由初期发现的单一小岩体含矿, 发展到该岩体深部延伸加大(200 m→800 m)、延长变长(740 m→1 300 m),

继而北侧发现新的含矿岩体与异常带,进而发展到南、北岩体之间在400 m的深部可能相连、并发现新的矿化基性岩体,目前已初步控制储量为:镍12万吨、铜8万吨、钴0.9万吨,规模已到大型。图拉尔根正在建设选矿厂即将开发,被称为近十年来新疆铜镍矿勘查的重大突破。

## 9 初步建立起适合本区矿床特点的隐伏矿定位预测高新技术方法体系

经过十五攻关的探索与实践,我们初步总结建立起一套适用新疆东天山特点的铜镍、铜金矿床的勘查技术方法体系。大地电磁测深MT法、连续电导率剖面测量(Eh-4)和高密度电法同属电法,主要用来探查一定深度隐伏地质体中异常电性体(可能的矿化体或矿体)的异常强度与分布。这几种方法的差别在于其最佳探测深度和分辨率。同一剖面电法勘探对比试验结果表明:高密度电法勘探深度浅,对超基性岩体在浅部的倾向和形态能准确描述,分辨率高,但探测深度有限,一般在200 m以内;大地电磁测深勘探深度可达2~3 km,对深部延伸的宏观形态可进行刻画,但分辨率较低;Eh-4方法在该区效果介于二者之间,有效深度在700~1 000 m,精度较高。地震勘探方法从反射形态结合已知地质认识,可以在宏观上预测基性、超基性岩体的延伸及分布形态,并能有效克服炭质干扰。用EH-4和大地电磁测深法来探查深部隐伏低阻电性异常体是可行和有效的。对浅层地震等高新技术金属探矿方法的首次进入本区,实践证明是可行的,开拓了其示范运用领域,并有很高的区域推广应用价值。

笔者强调地质、岩石、地球化学与地球物理新技术新方法的紧密结合,合理解释。所采用的地球物理方法均是与合作勘查单位共同商量,针对每一矿区的关键控矿因素与含矿岩石特点,精心布置剖面,精心施工,严格记录,编制软件,自主解释,及时反馈给勘查单位,双方共同就物探结果的解释进行反复探讨,并与验证钻孔和矿区其它物探成果仔细对照,逐步深化,不断逼近真实地质事实。这是本课题的另一显著特色,也是成矿预测取得突破的重要因素。

**致谢** 参加本研究工作的还有马天林、刘铁兵、李光明、王杰、李金祥、秦全兴、王旭昭、高君辉、肖骑彬、宋保昌等同志,在此一并致谢。

## 参 考 文 献

- 秦克章,方同辉,王书来,朱宝清,冯益民,于海峰. 2002. 东天山古生代板块构造分区、演化与成矿地质背景研究. 新疆地质, 20(4): 302~308.
- 秦克章,方同辉,王书来,等. 2001. 新疆吐哈盆地南缘古生代隆起—卡拉塔格铜金蚀变矿化区的发现及其成矿潜力[J]. 中国地质, 28(3): 16~23.
- 芮宗瑶,刘玉琳,王龙生,王义天. 2002. 新疆东天山斑岩型铜矿带及其大地构造格局. 地质学报, 1:83~94.
- 三金柱,田斌,雷军文,康峰,秦克章,徐兴旺. 2003. 新疆东天山新发现图拉尔根全岩矿化岩浆铜镍矿床. 矿床地质, 21(3): 270.
- 孙赫,秦克章,李金祥,徐兴旺,三金柱,丁奎首,惠卫东,许英霞. 2006. 东天山图拉尔根铜镍钴硫化物矿床岩相、岩石地球化学特征及其形成的构造背景. 中国地质, 33(3): 157~168.
- 吴华,徐兴旺,莫新华,梁光河,程松林,秦克章,李军,张宝林,王杰,肖骑彬,韩超举,金长明,李金祥. 2006. 东天山白石泉矿区地球物理多方法联合探查与隐伏铜镍矿定位预测. 中国地质, 33(3): 223~232.
- 徐兴旺,秦克章,三金柱,王瑜,惠卫东,康峰,毛骞,李金祥,孙赫,马玉光. 2006. 东天山四项黑山地区545 Ma层状镁铁质-超镁铁质岩体的发现及其大地构造学和成矿学意义. 岩石学报, 22(8): 569~580.
- 许英霞,丁奎首,秦克章,缪宇,方同辉,徐兴旺,孙赫. 2006. 新疆哈密红山Cu-Au矿床氧化带钾铁矾、板铁矾、副基铁矾的首次发现及其意义. 中国地质, 33(3): 149~156.
- Qin K Z, Zhang L C, Xiao W J, Xu X W, Yan Z and Mao J W. 2003. Overview of major Au, Cu, Ni and Fe deposits and metallogenic evolution of the eastern Tianshan Mountains, Northwestern China. In: Mao J W, Goldfarb and Seltmann, ed. Tectonic evolution and metallogeny of the Chinese Altay and Tianshan. London, 227~249.
- Xu X W, Ma T L, Sun L Q, Cai X P, et al. 2003. Characteristics and dynamic origin of the large-scale Jiaoluotage ductile compressional zone in the eastern Tianshan Mountains, China. J. Structural Geol., 25: 1901~1915.
- Zhang L C, Xiao W J, Qin K Z and Zhang Q. 2006. The adakite connection of the Tuwu-Yandong copper porphyry belt, east Tianshan, NW-China: Trace element and Sr-Nd-Pb isotope geochemistry. Mineralium Deposita, 41(2): 188~200.