

乌兹别克斯坦穆龙套金矿床研究进展

孟广路, 王 斌, 李宝强, 曹积飞, 范堡程

(中国地质调查局西安地质调查中心, 西安 710054)

摘要:中亚南天山是世界重要的金成矿带, 分布有乌兹别克斯坦的穆龙套、吉尔吉斯斯坦的库姆托尔、塔吉克斯坦的吉拉乌、中国新疆的萨瓦亚尔顿等一系列大型—超大型金矿床。选择乌兹别克斯坦穆龙套金矿床这一亚洲最大的金矿床, 在收集前人研究资料及成果基础上对矿床产出环境、地质特征、找矿理论方法进行了总结, 认为穆龙套超大型金矿床是长期的、复杂的地质事件综合作用的产物, 南天山断裂交汇部位及存在隐伏岩体的部位是寻找此类矿床的有利部位, 并通过穆龙套矿床找矿实例说明岩石次生晕地球化学测量方法是寻找此类矿床的有效勘查方法; 以期对我国南天山成矿带寻找“穆龙套型”金矿床提供有益的参考。

关键词:南天山; 乌兹别克斯坦; 穆龙套金矿床; 勘查方法

中图分类号: P618.51

文献标志码: A

文章编号: 1000-7849(2013)05-0160-07

穆龙套金矿床(Muruntau gold deposit)位于乌兹别克斯坦克共和国克孜勒库姆(Kyzylkum)沙漠中, 地理坐标为北纬 $41^{\circ}15'$, 东经 $64^{\circ}14'$, 已探明金储量大于 4 300 t, 占乌兹别克斯坦金总储量的 60.6%~71.6%, 金品位为 $2 \times 10^{-6} \sim 3 \times 10^{-6}$, WO_3 矿石量为 65 000 t, WO_3 平均品位为 0.05%, 是世界超大型金矿床之一, 也是亚洲最大的金矿床^[1-4]。

穆龙套金矿床发现于 1956 年, 经快速勘探后于 1967 年开始正式露天开采, 1967—1995 年已生产金 1 186 t^[5-6]。在 20 世纪 50 年代初, 乌兹别克斯坦地质部在中克孜尔库姆地区开展了大比例金矿普查工作。1956—1957 年在塔姆德套山(Tamdytau)东南进行了地质普查工作, 并广泛运用了地球物理和地球化学综合方法, 发现了大面积金和砷异常晕, 以及金含量较高的矿点。1958 年, 在穆龙套矿床范围内的探槽中发现了第一条石英脉, 不仅在石英脉中可见金属矿化, 而且在围岩中也有金属矿化, 随后开展了一系列工作, 发现了金矿体。1960 年发现了具有经济价值的中部矿段^[7-9]。1958—1969 年进行了大规模勘探, 编制了大比例尺地质图件, 详细研究了矿石的矿物组合、围岩蚀变、矿体形态、矿化分布规律和控矿因素, 建立了确定金矿化目标体地质位置的地质—地球物理勘探方法组合; 最后开展了详细的(1:5 000~1:10 000)成矿预测, 发现了一批新的金、银、钨矿化点^[10-11]。

1964 年前苏联政府决定成立矿山开采企业, 随后开始矿山大规模建设, 到 1967 年已开始进行露天

开采。1969 年 7 月 21 日, 在穆龙套矿床获得了首块金锭。1972 年矿山年矿石处理能力达 15.3 Mt, 1975 年矿石处理能力为 23.5 Mt, 到 1981 年矿石处理能力已达 37.6 Mt。1983 年开始对贫矿石和表外矿石进行堆浸金实验研究, 到目前为止, 低品位含砷高的氧化矿石(金品位 $< 2 \times 10^{-6}$ 的地表氧化矿石)仍是矿山选冶的一大难题, 堆浸回收率仅为 50%。至今, 对矿床边部和深部的找矿勘探工作仍在进行, 在深部和外围均查明了新的金富集地段, 金的储量仍在不断增长, 远景储量已达 5 000 t 以上^[12-13]。

1 区域地质特征

中亚天山构造带从西到东横跨乌兹别克斯坦、哈萨克斯坦、吉尔吉斯斯坦等国, 向东延入中国新疆境内。新疆以西的部分, 按构造和成矿带习惯分为北天山、中天山和南天山; 塔拉斯—捷尔斯科伊断裂(尼古拉耶夫线)以北为北天山, 基本为加里东构造带; 费尔干纳—伊内利切克断裂以南为南天山, 系华力西构造带; 这两带之间为中天山, 为遭受古生代构造—岩浆活动改造的前寒武纪地块。南天山是世界著名的 Au-Hg-Sb 稀有金属成矿带, 北西向塔拉斯—费尔干纳断裂将南天山成矿带分为东、西两段, 穆龙套金矿位于西南天山成矿带西端(图 1)。

1.1 区域地层

穆龙套金矿的赋矿地层为厚约 5 km 的 $\epsilon-O$ 别索潘组, 为一套大陆坡沉积的陆源碎屑建造, 以细

收稿日期: 2013-01-14 编辑: 刘江霞

基金项目: 中国地质调查局项目“全球巨型成矿带区域构造与成矿地质背景对比研究”(1212011220905)

作者简介: 孟广路(1978—), 男, 工程师, 主要从事中亚地质矿产研究、找矿勘查及地球化学工作。E-mail: 729931061@qq.com

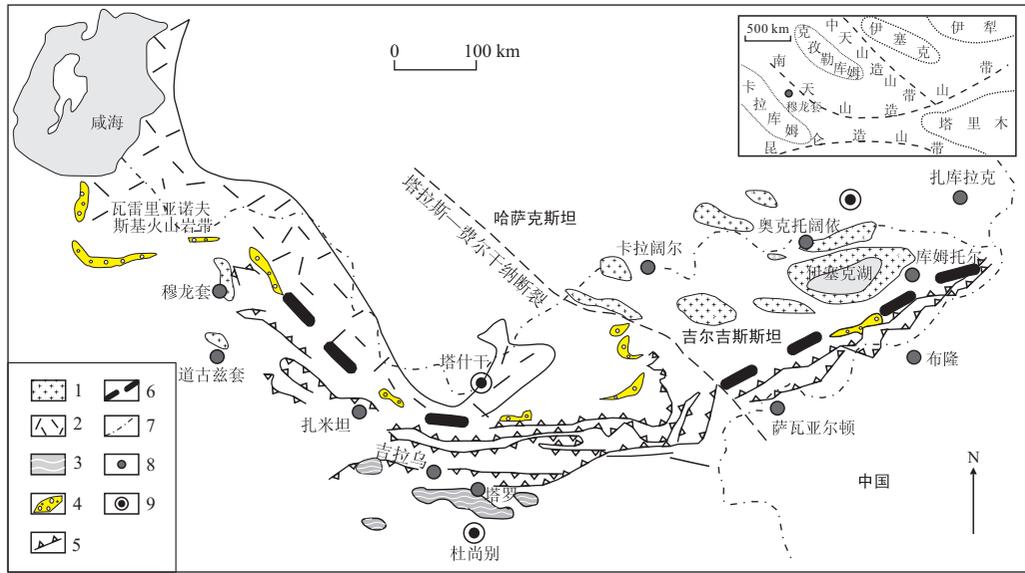


图 1 南天山成矿带主要金矿床分布图(据文献[14]修改)

Fig.1 Major gold deposits distribution in South Tianshan metallogenic belt

1. 海西花岗岩侵入杂岩体; 2. 泥盆纪-石炭纪大陆边缘火山岩带; 3. 前寒武纪地体; 4. 蛇绿岩; 5. 海西褶皱-断裂带; 6. 缝合带; 7. 国界; 8. 矿床名称; 9. 地名。

碎屑岩为主(片岩和变粉砂岩)并夹有变凝灰岩及中、酸性火山岩碎屑为其重要岩性特征,以金含量高和富含碳质为其地球化学特点^[13]。根据其年龄、颜色、碎屑的粒度可分成 4 个段,从老到新依次为 bS₁、bS₂、bS₃ 和 bS₄。

(1)bS₁ 灰色别索潘段,由铁质绢云母绿泥石云母片岩构成,呈淡黄褐色-绿色,原岩为夹灰岩和黏土层的粉砂岩。底部见长英质火山岩小透镜体,褶皱发育。

(2)bS₂ 黑色别索潘段,以富含云母的暗色区别于 bS₁ 灰色别索潘段,主要为变质粗砂岩和砾岩,是别索潘组中唯一没有火山物质和燧石质的层位。Rb-Sr 全岩等时线年龄为 403 Ma^[15]。

(3)bS₃ 杂色别索潘段,为一被糜棱岩分割为上、下盘的构造透镜体,风化露头为红色、绿色等形成的混合色,是穆龙套金矿的主要含矿地层。主要由赤铁矿千枚岩、碳质变质粉砂岩和变质凝灰岩,及少量的含放射虫燧石、绢云母片岩及绿片岩组成。

(4)bS₄ 绿色别索潘段,以石英质砂岩为主,含变质粉砂岩、黏土岩和变质砂岩透镜体,黏土矿物变质成绿泥石和绢云母。Rb-Sr 全岩等时线年龄为 393 Ma^[15]。

1.2 区域构造

穆龙套矿田 NE 侧为卡拉库姆板块和中哈萨克斯坦-北天山板块的碰撞缝合带。沿缝合带发育大量的 NWW 向剪切带,又被 NE 走向的剪切带所错断。矿田范围内断裂构造极为发育,穆龙套金矿附

近有两条重要的剪切带:桑格龙套-塔姆德套剪切带和穆龙套-一道古兹套剪切带。金矿体的产出严格受控于剪切带及衍生的韧性-脆性断裂系统。桑格龙套-塔姆德套为一组 NWW 走向的宽缓断裂,穆龙套-一道古兹套断裂穿切桑格龙套-塔姆德套断裂带和穆龙套矿区,走向 NEE 向,延伸超过 40 km。由于剪切带的相互作用,在塔姆德套东南端形成了 Z 型褶皱,穆龙套金矿就产出在其核部位置(图 2)。乌兹别克斯坦的另外两个大型金矿——阿曼台套(Aman-taitau)和道古兹套也产在这个剪切带中^[14]。

1.3 区域岩浆岩

距穆龙套金矿床 SE 方向约 7 km 处出露萨尔多林斯基(Sardarinski)斑状花岗闪长岩,Rb-Sr 等时线年龄为(286.2±1.8) Ma^[17]。穆龙套矿田内岩

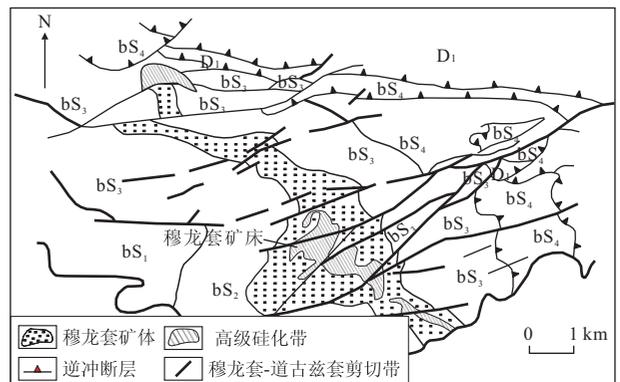


图 2 穆龙套矿区地质图(据文献[16]修改)

Fig.2 Geological map of the Muruntau mining area

浆岩出露地表,主要为小规模岩墙,呈NE向和近EW向展布,岩性主要有斜长花岗斑岩、正长斑岩、闪长玢岩、煌斑岩、石英斑岩。发育于桑格龙套—塔姆德套剪切带南部、平行于穆龙套—道古兹套剪切带呈NE向煌斑岩的Rb-Sr年龄约为273 Ma,闪长岩Rb-Sr等时线年龄为286 Ma^[15]。钻孔资料显示,穆龙套矿床下部存在大规模的隐伏花岗岩体,井深4 005 m处花岗岩体的Rb-Sr等时线年龄为(287.1±4.6) Ma^[15]。萨尔达林斯基斑状花岗闪长岩、穆龙套白岗岩以及闪长岩岩墙(脉)年龄均为286 Ma左右,因此可能属同一期岩浆活动的产物。

2 矿床地质特征

2.1 矿体特征

穆龙套矿田矿化范围大,在140 km²范围内分布有多个金矿、银矿、钨矿。其中穆龙套金矿床金矿区面积约40 km²,矿化带长12 km。矿床总体为一规模巨大、构造复杂向东微倾的陡立柱状矿体。赋矿围岩为下古生界别索潘组含碳质黑色岩系,金主要赋存在石英脉中,与毒砂、黄铁矿、白钨矿等伴生^[17]。

前苏联学者按金矿化产出类型将矿体分成两类^[18]:①大脉型,含金石英脉产于近直立裂隙中,厚0.5~20 m,长100~300 m,最长700 m,Au平均品位在10×10⁻⁶以上。该类矿体中Au占矿床总储量

的12%~15%。②网脉型,为矿区主要金矿化类型。由含金石英细脉、石英-硫化物细脉、石英-方解石细脉、石英-微斜长石细脉、石英-电气石脉交错发育构成,发育有平缓顺层和陡倾切层两种脉体,规模巨大,品位较低,一般为3×10⁻⁶~5×10⁻⁶。

Wilde等^[19]结合流体包裹体特征,将石英脉进一步分成4类:①早期水平石英脉,由许多毫米到数厘米宽的脉组成似层状带,常发生石香肠化或褶皱,原生包裹体温度为410~500℃,与区域变质温度一致;②网状脉,任意方向上不连续的几微米到几厘米宽的脉遍布整个矿床,是穆龙套金矿最丰富的石英脉类型,包裹体形成温度约430℃;③中部矿脉(母脉),走向延伸数米,沿倾向呈连续几厘米到几米宽的脉,被前人称为“母脉”,为矿区主要含金矿石(Au平均品位3.5×10⁻⁶~11×10⁻⁶),包裹体成分主要为CO₂,含少量CH₄和N₂,均一温度为150~350℃;④晚期富银矿脉,宽仅数毫米,形成含硫盐和碲化物的富银矿物组合,硫化物呈细粒浸染状沿裂隙发育,形成硫化物脉、硫化物石英脉、硫化物方解石脉等细脉,包裹体爆裂温度为150~200℃。

2.2 矿石特征

穆龙套金矿床矿石类型多样,乌兹别克斯坦地质学家将其分为混合矿石、石英质矿石、石英片岩矿石、硅化片岩矿石、细脉状和大脉状矿石。各类矿石化学成分见表1^[13]。

表1 矿石化学成分^[13]

Table 1 Chemical composition of the ore

| 矿石成分 | $w(\text{Au})/10^{-6}$ | SiO ₂ | TiO ₂ | Al ₂ O ₃ | Fe ₂ O ₃ | FeO | MnO | MgO | CaO | Na ₂ O | K ₂ O | H ₂ O |
|--------|------------------------|------------------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|------|------|------|------|-------------------|------------------|------------------|
| | | $w_B/\%$ | | | | | | | | | | |
| 混和矿石 | 4.5 | 75.75 | 0.32 | 8.80 | 1.01 | 2.62 | 0.09 | 1.96 | 1.84 | 3.12 | 0.42 | 3.12 |
| 石英质矿石 | 53.5 | 95.20 | 0.05 | 0.30 | 0.44 | 1.41 | 0.05 | 0.10 | 0.60 | 0.16 | 0.30 | 0.08 |
| 石英片岩矿石 | 9.6 | 76.30 | 0.55 | 7.13 | 1.90 | 2.10 | 0.05 | 1.20 | 1.70 | 1.31 | 3.59 | 0.08 |
| 硅化片岩矿石 | 12.5 | 79.01 | 0.40 | 7.80 | 0.44 | 2.88 | 0.05 | 1.10 | 1.68 | 1.40 | 3.40 | 0.20 |
| 细脉状矿石 | 5.1 | 82.00 | 0.32 | 5.06 | 2.21 | 1.70 | 0.07 | 1.00 | 1.82 | 1.00 | 2.10 | 0.28 |

各类矿石的 $w(\text{SiO}_2)$ 均大于75%,矿石中的金主要呈自然金,占全部金的90%以上,呈鳞片状产在石英中。自然金粒度很细,肉眼难以见到。除独立产出的自然金外,尚有7%左右的金赋存在硫化物中。矿床中硫化物分布很广,但总量较少,以黄铁矿和毒矿为主,占硫化物总量的99%。白钨矿也较多见,其他金属矿物有方铅矿、闪锌矿、黄铜矿、辉钼矿、辉铋矿等。上述硫化物呈细粒浸染状沿裂隙发育,形成硫化物脉、硫化物石英脉、硫化物方解石脉等多种细脉或网脉。

2.3 控矿构造

穆龙套金矿床产出于NWW向的桑格龙套—塔姆德套剪切带和NEE向穆龙套—道古兹套剪切带的交汇部位,金矿体的产出严格受控于剪切带及

衍生的韧性—脆性断裂系统。主要有3组构造裂隙带:①NW向片理—流劈理构造带,该带呈NW向发育在中部,长10余公里,宽约1 km,带内岩石片理化和流劈理发育,岩石强烈破碎成角砾岩、糜棱岩,该带又称“千枚糜棱岩”带,主要金矿体都产在该构造带;②EW向构造裂隙带,由若干EW向或NEE向雁列状裂隙带组成,带内裂隙多属张性裂隙,常被石英脉、电气石脉或石英电气石脉充填;③SN向剥离构造带,主要发育在西部,由近于平行的SN向或NE向剥离构造带组成,带中有含金石英脉产出(图2)。

2.4 蚀变特征

穆龙套金矿中热液蚀变发育,主要蚀变类型有硅化、黑云母化、绿泥石化、钾长石化、钠长石化、绿帘石

化、碳酸盐化、电气石化、泥化等。石英-黑云母-钾长石蚀变交代岩与网脉状金矿化关系极为密切,发育在受NWW向桑格龙套-塔姆德套剪切带控制的片理-流劈理构造带中。地表常见电气石-钠长石脉、石英-方解石脉、绿泥石化、黑云母化,深部见葡萄石-沸石脉。穆龙套金矿核部热液蚀变矿物由绿泥石、绢云母和残余钠长石组成,沿NE向延伸约2 km(宽约1 km),受NE向穆龙套一道古兹套剪切带控制。

3 矿床成因

3.1 成矿物质来源

对杂色别索潘段、灰色别索潘段的地球化学分析结果表明,杂色别索潘段含量超过地壳平均克拉克值的出现频率Au为61%,As为85.5%,灰色别索潘亚组分别为22%~26%和11%~13%,75%的金来自于杂色别索潘段。中子活化法确定的金的背景含量,杂色别索潘段岩石中的金含量为地壳平均克拉克值两倍以上,而其下部地层中大部分接近或低于地壳平均克拉克值^[18]。这说明杂色别索潘段应为穆龙套金矿金的矿源层。

3.2 成矿流体来源

Wilde等^[19]对穆龙套金矿床石英中流体包裹体成分的研究表明,流体中主要气相组分为CO₂,还有丰富的CH₄和N₂,穆龙套高品位矿石中Pt、Pd品位分别为 0.10×10^{-6} 和 0.132×10^{-6} ,指示成矿作用中有地幔物质的加入。Graupner等^[20]对与金矿化有直接联系的高温热液矿物(毒砂、石英和白钨矿等)的流体惰性气体、碳同位素和卤素的研究表明,流体中的绝大多数He来自地壳,惰性气体主要来自大气。Morelli等^[21]对毒砂钨初始比值和流体包裹体氦同位素的研究表明,非放射性成因Os和³He/⁴He值均比地壳的高,说明穆龙套金矿成矿流体中Os和He部分来自岩浆,指示主要成矿阶段有原生流体加入。

3.3 成矿时代

穆龙套金矿赋存于隐伏岩体的接触变质带上,许多研究者对岩体年龄及矿床金矿化年龄进行了大量研究。例如,Kempe等^[22]对含金矿脉中早期白钨矿的Sm-Nd分析表明,成矿时代约为275 Ma。Wilde等^[19]测得含金石英脉中绢云母的⁴⁰Ar/³⁹Ar坪年龄为245~220 Ma。Morelli等^[21]所获得的来自露天矿井的3个粗粒毒砂样品(1个来自近垂直网状石英细脉,2个来自南断层带陡倾斜的石英-毒砂细脉;毒砂中存在自然金包裹体)的Re-Os等时线年龄约为290 Ma,明显比含金矿脉中早期白钨矿和绢云母年龄偏老,而与穆龙套金矿床附近北塔姆

德花岗岩锆石年龄(293~286 Ma)^[23]、萨尔达林斯基斑状花岗闪长岩年龄 $[(286.2 \pm 1.8) \text{Ma}]$ ^[15]及穆龙套深部隐伏花岗岩体年龄 $[(287.1 \pm 4.6) \text{Ma}]$ ^[15]、矿区内闪长岩岩墙(脉)年龄(286 Ma)^[17]相吻合。因此可以认为穆龙套金矿主成矿阶段的年龄为287~275 Ma,自花岗岩类岩浆作用开始,矿化作用至少持续了10 Ma以上。而254~220 Ma的⁴⁰Ar/³⁹Ar坪年龄可能为更晚一期变质作用的反映。

3.4 矿床成因

穆龙套金矿是世界上最早发现的黑色岩系型金矿,在其发现后的几十年中,关于其成因的争论一直不断,主要有热液成因模式、壳-幔热液交代成因模式和变质-热液改造成因模式3种观点。目前变质-热液改造成因模式为多数学者所认同,该模式认为金来自初始的沉积,后在沉积及区域变质、动力变质和热液蚀变作用中,金又在岩层内发生重新分配并富集,从而形成网状矿床。

通过对穆龙套金矿床地质特征、地球化学特征的分析,认为将其归为“与黑色岩系有关的韧性剪切带型金矿”较“黑色岩系型金矿”更为确切,结合区域大地构造环境认为矿床的形成主要受3个方面因素的控制。

(1)有利的大地构造环境对穆龙套矿床金的初始富集起到了决定性作用。成矿物质来源于金含量高和富含碳质的别索潘组黑色岩系。岩相研究表明形成于寒武纪-奥陶纪的别索潘组为一套类复理石陆源碎屑沉积建造,属被动大陆边缘型沉积,具有有利于金初始富集的大地构造环境。

(2)桑格龙套-塔姆德套剪切带和穆龙套一道古兹套剪切带严格控制着金矿的最终就位。早二叠世开始卡拉库姆板块与中哈萨克斯坦-北天山板块发生陆陆碰撞作用,在SN向的碰撞挤压作用下形成了NWW向低角度的桑格龙套-塔姆德套剪切带。碰撞作用进一步发展,构造应力由早期的以SN向挤压为主转化为以EW向伸展为主,形成了一系列产状较陡、延伸较大的NE向张性断层,构成穆龙套一道古兹套剪切带,由于两组剪切带的叠加而在交汇部位产生了由不同方向的剪节理、张节理组成的网状节理,这使得穆龙套矿区内的断裂构造极为发育,主断裂和各方向的次级断裂在矿区内形成连通网,形成有利于成矿热水溶液运移的通道,并为后期成矿热液沉淀提供了良好空间,控制着金矿的最终就位。

(3)晚海西期约290 Ma的区域花岗岩浆作用所形成的隐伏花岗岩体是成矿的关键条件,含矿流体主要来自于矿床下的高温变质作用和花岗岩化作用区。地球化学研究表明,穆龙套金矿床的成矿流体部分来自岩浆,成矿过程中有地幔物质加入。在

碰撞作用下,深部的花岗质岩浆沿 NE 向张性断层上升,上侵的花岗质岩浆不仅提供了部分成矿物质,而且为地壳中成矿物质和流体混杂提供了场所,同时在岩浆热能驱动下成矿热液与大气降水发生对流循环,形成以岩浆期后热液为主的成矿流体。成矿流体沿断层上升,最终进入剪切带内的似层状节理和网状节理中沉淀、就位和成矿,同时与围岩发生水-岩反应,使围岩发生硅化、黄铁矿化和绢云母化等。

结合前人对穆龙套金矿床成矿时代的研究,笔者认为穆龙套金矿这一世界级超大型矿床的形成绝非单一地质作用的结果,应是长期的、复杂的地质事件综合作用的产物。

4 找矿模型

4.1 地质找矿标志

(1)黑色岩系地层 矿区内含矿建造具有黑色岩系特征,岩石组合为一套浅变质砂岩、粉砂岩和泥岩,富含有机碳,为一套处于宁静还原环境的滨浅海相、陆相富含碳质的细碎屑岩建造。找矿应重点寻找富含碳质的细碎屑岩,目标地层应以古生界为主。

(2)韧性剪切构造 矿区内韧性剪切构造对成矿起了决定性作用,不仅起到导矿作用,而且还起到容矿作用。尤其是在构造交汇及脆、韧性多期转换的地带对成矿最为有利,是找矿的重点部位。

(3)隐伏花岗岩体 花岗质岩浆活动不但提供部分成矿物质,且岩浆期后热液成为成矿流体的主要来源;此外,岩浆热液活动为区域流体对流循环提供动力,同时花岗岩体也成为地壳中物质和流体混杂的场所。因此,在黑色岩系分布地区寻找可能存在的隐伏岩体,是寻找此类矿床的关键。

(4)蚀变标志 赋矿岩石以变形强、变质弱的区域低温动力变质热液作用为特征,有利的成矿地段岩石经历了动力变质作用,其标志是具明显的硅化、黄铁矿化、绢云母化、绿泥石化、碳酸盐化以及弱石墨化。

(5)碳酸盐化带 碳酸盐化带的存在指示着地壳深部富含 CO₂ 流体的大量流动,是中温中深成金矿化的重要指示。

(6)地表氧化铁帽带 在矿体上部的地表见有氧化形成的黄褐色铁染、黄钾铁矾的铁帽带,是直接找矿标志。

4.2 地球物理与地球化学找矿标志

1956—1957 年 Ю. H. 莫尔德维采夫、П. B. 合拉梅尼格、С. И. 鲁克雅诺夫在塔姆德套山东南开展了地质普查工作,广泛运用了地球物理和地球化学

综合方法,发现了大面积的金和砷异常晕以及金含量较高的矿点^[8],最终导致了穆龙套金矿床的发现。岩石次生晕地球化学测量的地球化学特征^[24]显示,穆龙套矿田存在大面积的 Au, W, Ag 和 As 异常(图 3),中等 Au 和 As 异常分布面积较大,异常套合性好,浓集中心明显,金矿床和矿点均位于金高异常区。W 异常分布面积小于 Au 和 As 异常,但与金高异常分布区重叠。Ag 异常主要分布在矿田西

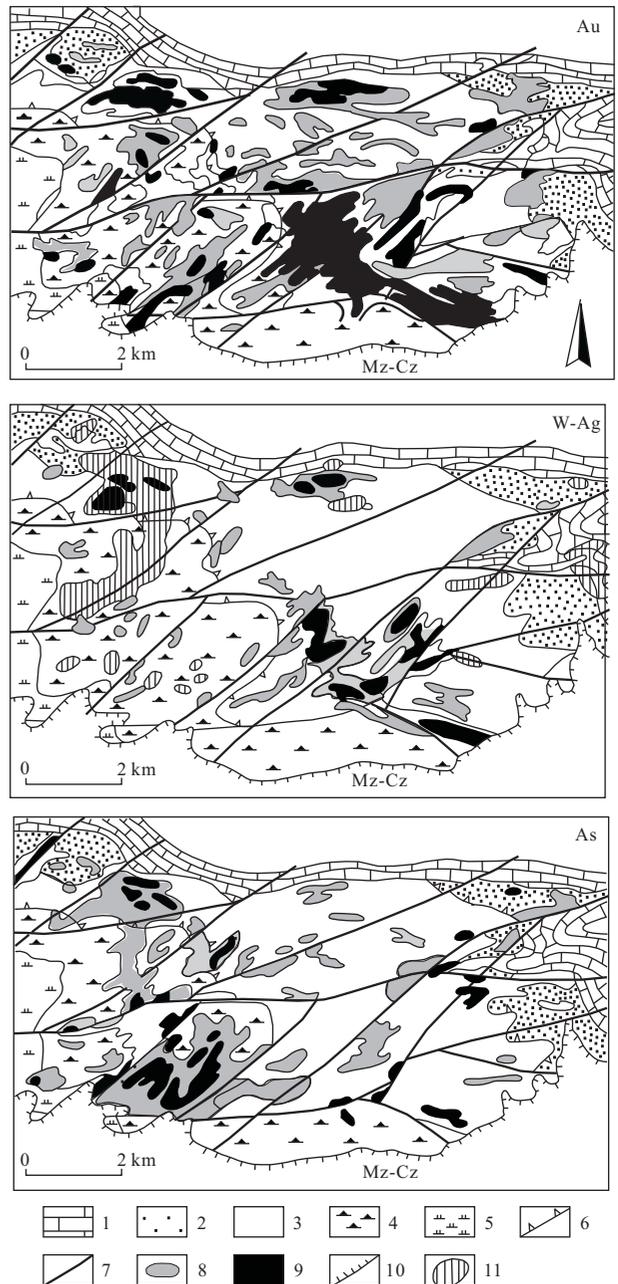


图 3 穆龙套金矿田 Au, W, Ag 和 As 岩石地球化学晕^[24]
Fig. 3 Rock geochemical halo of Au, W, Ag and As in the Murlong套 gold field

1. 碳酸盐岩; 2~5. 别索潘组: 2. 绿色别索潘组; 3. 杂色别索潘组; 4. 灰色别索潘组; 5. 下部别索潘组; 6. 逆断层和拆离带; 7. 交叉断裂; 8. 中等 Au, As 和 W 异常; 9. 高的 Au, As 和 W 异常; 10. 古生代岩石出露界线; 11. 低-中等 Ag 异常。

部,且 Au、W 和 Ag 异常三者的套合性好。Au、W、Ag 和 AS 地球化学晕圈与矿化和隐伏花岗岩体之上的岩墙群以及与矿化有关的蚀变相吻合。因此,圈定 Au、W、Ag 和 As 地球化学异常是勘查“穆龙套型”金矿床快速并有效的方法之一。

此外,矿床地球物理特征表现为明显的低重力异常特征^[25],图4是在高精度的重力测量中,根据围岩与矿体之间的密度差计算得出的重力场值与矿体的对应关系图。穆龙套矿床大规模的交代蚀变岩石及在含矿断裂带中发育的蚀变岩石,是引起重力场值降低的主要原因。

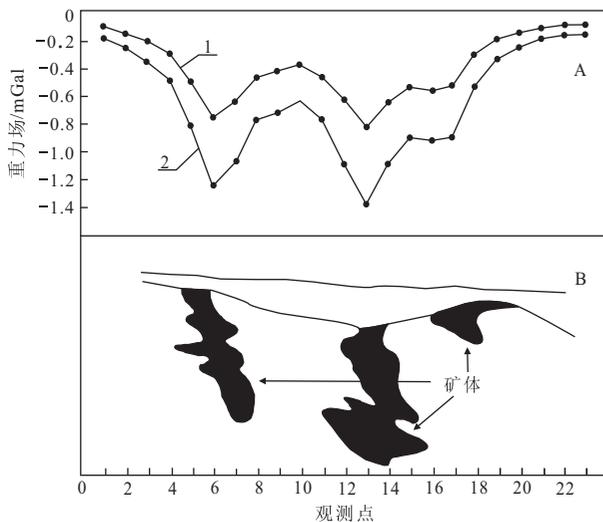


图4 计算的乌兹别克斯坦穆龙套剖面的重力场值(A)和矿体(B)的关系^[25]

Fig. 4 Relationship between calculation of the gravitational field value(A) and the ore bodies(B) in Muruntau

1. 根据围岩剩余密度为 0.06 g/cm^3 计算的结果;2. 根据围岩剩余密度为 0.1 g/cm^3 计算的结果。

5 结论

(1)穆龙套超大型金矿床是长期的、复杂的地质事件综合作用的产物,主成矿阶段的年龄为 $287 \sim 275 \text{ Ma}$,说明矿化作用至少持续了 10 Ma 以上。

(2)构造对矿床起着严格的控制作用。穆龙套金矿床位于 NW 向桑格龙套—塔姆德套剪切带和 NE 向穆龙套—一道古兹套剪切带的交汇叠加部位,矿体受剪切带、断裂破碎带控制,这不仅为成矿物质的运移提供了良好的通道,并且为成矿流体的沉淀、富集提供了理想场所。

(3)隐伏花岗岩体是成矿的关键条件。深部上侵的花岗质岩浆不仅提供了部分成矿物质,而且为地壳中成矿物质和流体混杂提供了场所。在岩浆热能驱动下成矿热液与大气降水发生对流循环,形成

了以岩浆期后热液为主的成矿流体。

(4)南天山地区 NW 向与 NE 向断裂的交汇部位以及可能存在隐伏花岗岩体的地区是寻找“穆龙套型”金矿床的有利部位;岩石次生晕地球化学测量方法是寻找“穆龙套型”金矿的有效勘查方法。

参考文献:

- [1] 应汉龙. 穆龙套金矿床的形成模式[J]. 黄金科学技术, 1997, 5(1): 35.
- [2] 张瑞江. 新疆境内穆龙套型金矿的找矿方向[J]. 国土资源遥感, 2007, 74(4): 106-110.
- [3] 刘春涌. 乌兹别克斯坦穆龙套特大型金矿床[J]. 中亚信息, 2004(9): 22-24.
- [4] Frimmel H E. Earth's continental crustal gold endowment[J]. Earth and Planetary Science Letters, 2008, 267(1/2): 45-55.
- [5] Golovanov I M, Seltmann R, Kremenetsky A A. The porphyry Cu-Au/Mo deposits of Central Eurasia: 2. The Almalyk (Kal'makyr-Dalnee) and Saukbulak Cu-Au porphyry systems, Uzbekistan[C]//Porter T M. Super porphyry copper & gold deposits: A global perspective. Adelaide: PGC Publishing, 2005: 513-523.
- [6] Heinhorst J, Lehmann B, Seltmann R. New geochemical data on granitic rocks of Central Kazakhstan[C]//Shatov V, Seltmann R, Kremenetsky A, et al. Granite-related ore deposits of central Kazakhstan and adjacent areas. St. Petersburg: Glagol Publishing House, 1996: 55-65.
- [7] Larsen L M, Pedersen A K. Processes in high-Mg, high-T magmas: Evidence from olivine, chromite and glass in Palaeogene picrites from West Greenland. [J]. Journal of Petrology, 2000, 41: 1071-1098.
- [8] Misra K C. Understanding mineral deposits[M]. London: Kluwer Academic Publishers, 2000.
- [9] Seltmann R, Porter T M. The porphyry Cu-Au/Mo deposits of Central Eurasia: 1. Tectonic, geologic & metallogenic setting and significant deposits[C]//Porter T M. Super porphyry copper & gold deposits: A global perspective. Adelaide: PGC Publishing, 2005: 467-512.
- [10] Laurent-Charvet S, Charvet J, Shu L S, et al. Palaeozoic late collisional strike-slip deformations in Tianshan and Altay, eastern Xinjiang, NW China [J]. Terra Nova, 2002, 14(4): 249-256.
- [11] Moghazi A M. Geochemistry and petrogenesis of a high-K calc-alkaline Dokhan volcanic suite, South Safaga area, Egypt: The role of late Neoproterozoic crustal extension[J]. Precambrian Research, 2003, 125: 161-178.
- [12] 李恒海, 邱瑞照, 谭永杰, 等. 中亚五国矿产资源勘查开发指南[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 2010.
- [13] 蔡宏渊, 郑跃鹏, 李福春. 穆龙套金矿地质考察[J]. 矿产与地质, 1993, 38(7): 408-413.
- [14] 谭娟娟, 朱永峰. 穆龙套金矿地质和地球化学[J]. 矿物岩石地球化学通报, 2008, 27(4): 391-398.
- [15] Kostitsyn Y A. Rb-Sr isotopic study of the Muruntau deposit: Magmatism, metamorphism and mineralization[J]. Geochemistry International, 1996, 34: 1009-1023.
- [16] Drew L J, Berger B R, Kurbanov N K. Geology and structural evolution of the Muruntau gold deposit, Kyzylkun desert, Uz-

- bekistan[J]. *Ore Geology Review*, 1996, 11: 175-196.
- [17] Bagdasaryan A G, Fedyanin A S, Shemetov P A. Estimate of the formation time and other parameters of a disruption structure in openpit walls in terms of Muruntau openpit[J]. *Journal of Mining Science*, 2009, 45(2): 146-151.
- [18] 李富春. 穆龙套金矿田地质特征[J]. *贵金属地质*, 1996, 5(3): 228-233.
- [19] Wilde A R, Leyer P, Mernach T, et al. The giant Muruntau gold deposit: Geologic, geochronologic, and fluid inclusion constraints on ore genesis[J]. *Economic Geology*, 2001, 96: 633-644.
- [20] Graupner T, Niedermann S, Kempe U, et al. Origin of ore fluids in the Muruntau gold system: Constraints from noble gas, carbon isotope and halogen data[J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 2006, 70: 5356-5370.
- [21] Morelli R, Creaser R A, Seltmann R, et al. Age and source constraints for the giant Muruntau gold deposit, Uzbekistan, from coupled Re-O-He isotopes in arsenopyrite[J]. *Geology*, 2007, 35(9): 795-798.
- [22] Kempe U, Belyatsky B V, Krymsky R S, et al. Sm-Nd and Sr isotope systematics of scheel-ite from the giant Au(-W) deposit Muruntau(Uzbekistan): Implications for the age and sources of Au mineralization[J]. *Mineralium Deposita*, 2001, 36: 379-392.
- [23] Kempe U, Seltmann R, Graupner T, et al. SHRIMP U-Pb zircon dating of Hercynian granite magmatism in the Muruntau gold district(Uzbekistan)[C]// Khanchuk A I. Metallogeny the Pacific northwest tectonics, magmatism and metallogeny of active continental margins. Vladivostok: Proceedings of the Interim IAGOD, 2004: 210-214.
- [24] Shayakubov T, Islamov F, Kremenetsky A, et al. Au, Ag and Cu deposits of Uzbekistan[C]// Anon. Excursion Guidebook, International Field Conference of IGCP-373, Excursion B6 of the Joint SGA-IAGOD Symposium. London, Tashkent: [s. n.], 1999: 1774
- [25] 施峻法, 唐金荣, 周平, 等. 找矿模型与矿产勘查[M]. 北京: 地质出版社, 2010.

Research Progress of the Muruntau Gold Deposit in Uzbekistan

MENG Guang-lu, Wang Bin, LI Bao-qiang, CAO Ji-fei, FAN Bao-cheng

(Xi'an Center of China Geological Survey, Xi'an 710054, China)

Abstract: The South Tianshan in central Asia is one of the world's major gold metallogenic belts, where distributes a series of large-ultra-large gold deposits, such as the Muruntau deposit in Uzbekistan, the Kumtor deposit in Kyrgyzstan, the Jilau deposit in Tajikistan and the Sawayaerdun deposit in Xinjiang, China. The Muruntau gold deposit in Uzbekistan, the largest gold deposit in Asia, is selected as the research object in this paper. On the base of collecting the previous research data and achievements, the discovery history, output environment, geological characteristics and prospecting theory methods of the Muruntau gold deposit have been summarized. It is believed that the fault intersections and concealed rock-mass are the favorable positions for prospecting the Muruntau-type deposit. The prospecting examples of Muruntau deposit proved that the regional geochemical exploration method is the effective exploration method for finding the Muruntau-type deposit. The aim of this paper is to provide the meaningful information for prospecting the Muruntau-type deposit in the South Tianshan, China.

Key words: South Tianshan; Uzbekistan; Muruntau gold deposit; exploration method