



西天山卡特巴阿苏金铜矿区成矿元素分布 及其勘查意义*

邢 令^{1,3}, 薛春纪^{2*,*}, 藏 梅⁴, 杨维忠¹, 赵晓波², 宋安强¹, 林泽华¹,
张 祺², 冯 博²

(1 新疆地矿局第一区域地质调查大队, 新疆 乌鲁木齐 830011; 2 中国地质大学 地球科学与资源学院 地质过程与矿产资源国家重点实验室, 北京 100083; 3 中国地质大学地球科学与资源学院, 北京 100083; 4 新疆工程学院采矿工程系, 新疆 乌鲁木齐 830023)

摘 要 卡特巴阿苏金铜矿床是近年在西天山新发现的大型金铜矿床, 资源储量有望继续扩大, 后续勘探方向亟待明确。文章对矿区地表 11 条探槽和主矿段已完成的 108 个钻孔中金、铜品位进行了统计分析。研究结果表明, 金铜成矿受构造断裂控制, 沿断裂破碎带走向自西向东, 成矿元素在平面和纵剖面中均显示 $\text{Cu-Au} \rightarrow \text{Au-Cu} \rightarrow \text{Au}(\text{Cu}) \rightarrow \text{Au}$ 的变化特征, 暗示成矿流体自南西流向北东, 成矿热源可能位于矿区 63~47 勘探线之间; 在 47 勘探线剖面中, 成矿元素自下而上显示 $\text{Au-Cu} \rightarrow \text{Au}(\text{Cu}) \rightarrow \text{Au}$ 的变化特征, 暗示成矿流体来自深部。结合在矿区 63~47 勘探线之间发现的与成矿有关的闪长岩小岩体, 以及大比例尺勘查地球化学测量所反映的矿区自南西至北东具有 $\text{W-Cu-Au} \rightarrow \text{Au-Cu-Bi-Mo} \rightarrow \text{Au}(\text{Cu})\text{-Pb-Zn} \rightarrow \text{Au-Ag}$ 的元素分布特征, 认为矿区成矿中心可能在 63~47 勘探线之间, 成矿流体由此沿断裂构造向北东方向迁移, 后续正确的地质勘查方向应在 63~47 勘探线间的深部。

关键词 地球化学, 元素分布, 勘查方向, 大型金铜矿, 卡特巴阿苏, 西天山

中图分类号: P618.41; P618.51

文献标志码: A

Element distribution of Katebasu gold-copper deposit in West Tianshan Mountains and its exploration significance

XING Ling^{1,3}, XUE Chunji^{2*,*}, ZANG Mei⁴, YANG Weizhong¹, ZHAO Xiaobo², SONG Anqiang¹,
LIN Zehua¹, ZHANG Qi² and FENG Bo²

(1 No. 1 Geological Surveying Institute of Xinjiang Surveys of Geology, Urumqi 830011, Xinjiang, China; 2 State Key Laboratory of Geological Processes and Mineral Resources; School of Earth Sciences and Resources, China University of Geosciences, Beijing 100083, China; 3 China University of Geosciences, Beijing 100083, China; 4 Mining Engineering Department of Xinjiang Institute of Engineering, Urumqi 830023, Xinjiang, China)

Abstract

The Katebasu large-sized gold-copper deposit was discovered recently in West Tianshan Mountains. Its re-

* 本文得到国家自然科学基金(编号: U1303292)、国家科技支撑计划(编号: 2011BAB06B02)、中国地质调查局发展研究中心基础公益类项目-新疆西天山那拉提一带铜金多金属矿整装勘查区矿产调查与找矿预测项目资助(编号: 0747-1661SITCN131-36)和中国地质调查局工作项目(编号: 1212011085069)资助

第一作者简介 邢 令, 男, 1985 年生, 高级工程师, 从事矿产勘查评价。Email: xingling-1124@163.com

** 通讯作者 薛春纪, 男, 1962 年生, 教授, 博士生导师, 从事矿床学、矿产普查与勘探专业教学和研究。Email: chunji.xue@cugb.edu.cn

收稿日期 2016-03-28; 改回日期 2017-05-07。秦思婷编辑。

serves are expected to further expand, and the follow-up exploration urgently needs clear direction. An analysis of copper grade statistics from 108 drill holes of chief ore block shows that gold and copper mineralization is controlled by the fracture. From west to east along the fracture, ore-forming elements in the plane and the vertical profile show variation of Cu-Au→Au-Cu→Au (Cu)→Au, which indicates that ore-forming fluid migrated from southwest to northeast, and the center of mineralization may be located between No.63 to No.47 exploration line. Along the exploration line profile, ore-forming elements show upward variation of Au-Cu→Au(Cu)→Au, suggesting that ore-forming fluids were derived from the depth. According to the discovery of the diorite intrusion related to the mineralization along No.63~No.47 exploration line of the deposit and large-scale geochemical exploration measurements, it is held that the ore deposit shows northeastward variation of W-Cu-Au→Au-Cu-Bi-Mo→Au(Cu)-Pb-Zn→Au-Ag in element distribution. The authors thus consider that metallogenic thermal center may be between No.63 and No.47 exploration line, that ore-forming fluids were transported from southwest to northeast along the fault, and that follow-up geological exploration should be focused on the depth between No.63 and No.47 exploration line.

Key words: geochemistry, element distributions, exploration orientation, large-sized Au-Cu deposit, Katbasu, West Tianshan Mountains

卡特巴阿苏大型金铜矿床位于西天山造山带, 该带横跨中亚和中国新疆, 属于巨型构造成矿带, 金铜多金属成矿潜力巨大(薛春纪等, 2014a; 2015; Goldfarb et al., 2014; Seltmann et al., 2014), 不乏世界级金铜多金属矿床(Wilde et al., 2001; Mao et al., 2004; Abzalov, 2007; Djenchuraeva et al., 2007; Liu et al., 2007; Xue et al., 2014; Zhao et al., 2015), 构成世人瞩目的“亚洲金腰带”(薛春纪等, 2014b)。“亚洲金腰带”是否东延进入中国新疆西天山备受关注(屈迅, 1998; 王军宁, 1999; 何政伟等, 2002; 吴山等, 2002; 杨建国等, 2004; 薛春纪等, 2014b)。新疆西天山卡特巴阿苏大型金铜矿床的发现(杨维忠等, 2013), 初步证实“亚洲金腰带”向东已延入中国新疆西天山。围绕卡特巴阿苏金铜矿床, 初步的矿床地质、赋矿岩石岩石学和地球化学、成岩成矿时代等研究(冯博等, 2014; 邢令等, 2015; 张祺等, 2015)表明, 矿床金铜资源储量扩大令人期待, 矿区后续地质勘查方向亟待明确。本文结合作者在矿区勘查的实践积累, 对探矿工程中金铜品位在平面和剖面中的分布开展统计分析, 对矿区大比例尺勘查地球化学数据进行挖掘, 试图揭示矿区元素分布规律, 旨在明确后续地质勘查方向。

木板块碰撞造山带西段的那拉提中天山构造带内(图1), 该构造带北以那拉提北缘断裂为界, 与伊犁地块相邻, 南以那拉提南缘断裂为界, 与塔里木板块相邻(董连慧等, 2010; 薛春纪等, 2014b)。

那拉提中天山构造带主要出露古元古界和上志留统。古元古界那拉提岩群为石英云母片岩、二云母片岩和片麻岩, 上志留统巴音布鲁克组为浅变质海相中基性-酸性火山岩、火山碎屑岩和陆缘碎屑岩-碳酸盐岩组合。那拉提中天山构造带内志留纪—二叠纪岩浆侵入活动强烈, 侵入体多呈不规则椭圆、扁圆形的岩基或大岩株产出, 岩体长轴方向与区域构造线方向一致, 岩性主要为二长花岗岩、钾长花岗岩、花岗闪长岩、闪长岩、石英闪长岩等(冯博等, 2014; 邢令等, 2015; 张祺等, 2015)。

矿区内大面积出露晚泥盆世中粗粒二长花岗岩, 其次为中粗粒钾长花岗岩, 岩体呈70°走向的带状侵入到上志留统巴音布鲁克组中基性火山岩和灰岩中(图2), 围岩发育角岩化、大理岩化、矽卡岩化、碳酸岩化等。受那拉提北缘断裂活动影响, 在岩体和地层中发育继承性北东东走向、张扭性特征明显的断裂破碎带, 断裂破碎带直接控制着金矿体的产出。矿体宏观产状为155~215°∠48~70°(图2)。

详查阶段卡特巴阿苏金铜矿区共圈定76个矿体, 受F₅和F₆断裂控制(图2)。其中, 代表性主矿体为I₄号矿体, 呈板状, 沿倾向、走向局部膨大、收缩而出现透镜状, 长度560 m, 平均斜深220 m, 最大斜深280 m, 平均厚度8.64 m, 厚度变化较小(厚度

1 矿区地质

卡特巴阿苏金铜矿床东南方向距新源县城约30 km, 在区域地质构造中位于哈萨克-伊犁板块与塔里

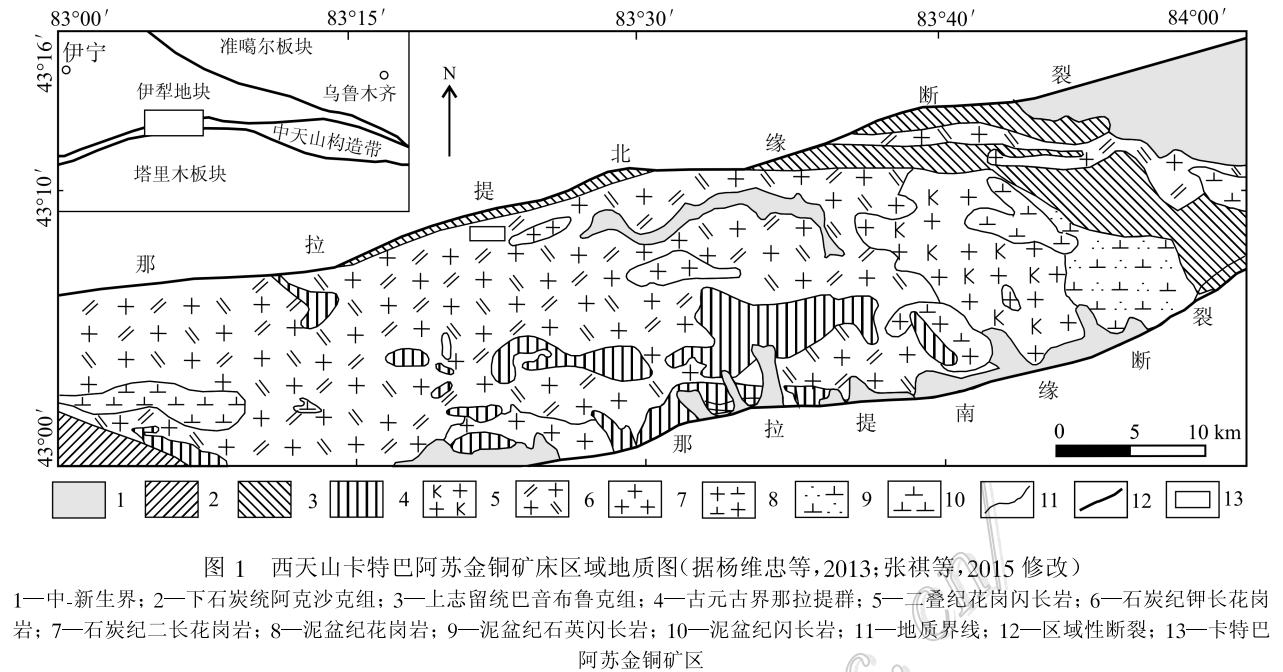


Fig. 1 Regional geological map of the Katbasu Au-Cu deposit, West Tianshan Mountains (modified after Yang et al., 2013; Zhang et al., 2015)

1—Mesozoic-Cenozoic; 2—Lower Carboniferous Akeshake Formation; 3—Upper Silurian Bayinbuluke Formation; 4—Lower Proterozoic Nalati Group; 5—Permian granodiorite; 6—Carboniferous alkali-feldspar granite; 7—Carboniferous Monzonitic granite; 8—Devonian granite; 9—Devonian Quartz diorite; 10—Devonian diorite; 11—Geological boundary; 12—Regional fault; 13—Katebasu gold deposit

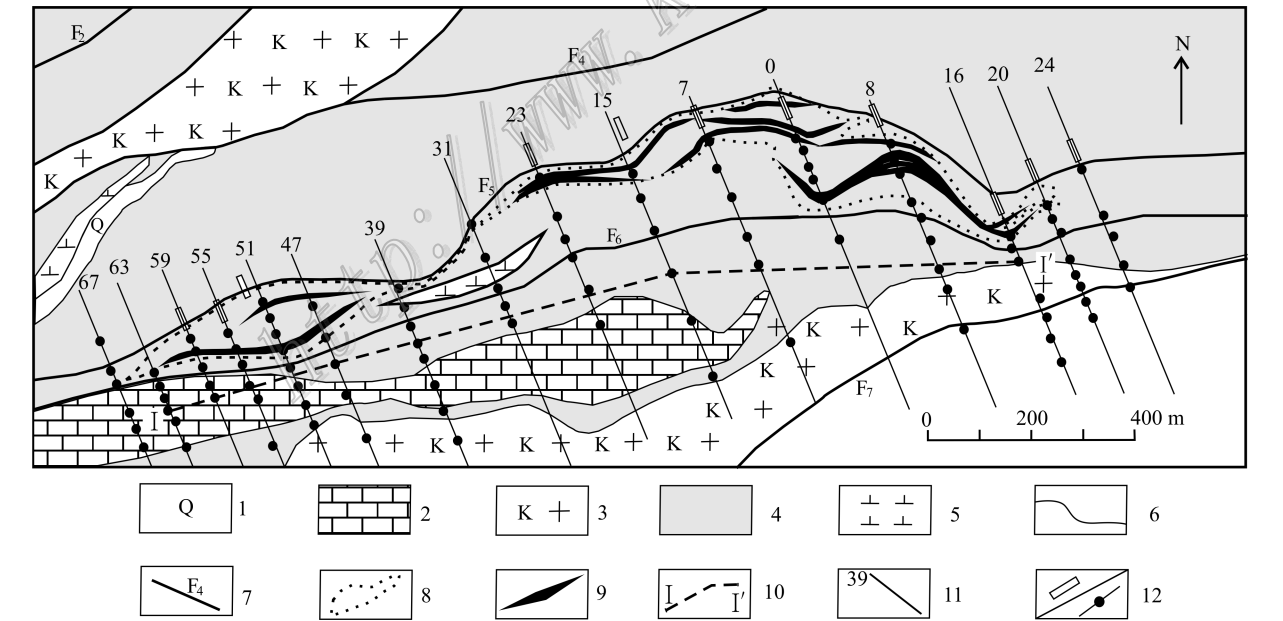


Fig. 2 Geological map of the Katbasu Au-Cu deposit, West Tianshan Mountains (modified after Yang et al., 2013; Zhang et al., 2015)

1—Quaternary alluvial materials; 2—Upper Silurian Bayinbuluke Formation limestone; 3—Carboniferous alkali-feldspar granite; 4—Carboniferous monzonitic granite; 5—Carboniferous diorite; 6—Geological boundary; 7—Fault and its serial number; 8—Mineralization belt; 9—Gold orebody; 10—Longitudinal section position in Fig. 5; 11—Exploration line and its number; 12—Trench and drill hole

变化系数 75.89%) ; I_4 号矿体产于二长花岗岩岩体内断裂破碎带中, 钾长石化、硅化、绢云母化、高岭土化、绿帘石化、碳酸盐化、绿泥石化及石英金属硫化物矿化等热液蚀变强烈, 绢云母化、硅化、高岭土化、碳酸盐化及金属硫化物矿化与金矿化关系密切; 矿体中心部位发育深灰色石英黄铁矿脉, 矿体与围岩界线模糊, 靠品位分析划定。

矿床成矿元素为 Au 和 Cu, Au 品位 1.00 ~ 382.39 g/t (平均 5.27×10^{-6}), 伴生 Cu 平均品位 0.06%。2 种成矿元素具空间分带性。矿石中金属硫化物主要为黄铁矿、黄铜矿, 微量闪锌矿、方铅矿、辉钼矿、针硫铋铅矿、针镍矿, 脉石矿物主要为长石、石英和绢云母, 少量方解石、绿泥石和白云石。矿石呈现脉状、细/网脉状、斑杂状、浸染状、角砾状和块状等构造、交代残余、半自形-他形粒状等结构, 金以自然金形式呈裂缝金、晶间金和包裹金产于半自形-他形黄铁矿中(张祺等, 2015), 少量与石英、绢云母、白云石、黄铜矿等连生, 微量包裹于黄铁矿内, 自然金粒度均小于 0.04 mm。金成色变化于 765‰ ~ 1000‰ 之间, 平均成色为 874‰, 属于含银自然金-自然金。矿石中金与金属硫化物含量呈正相关。矿床金资源储量大于 87 t, 共伴生铜资源储量约 5 万 t (杨维忠等, 2015)。

2 主要成矿元素分布特征

2.1 平面分布特征

对矿区主矿段 108 个钻孔及 11 条探槽中 1 万余件勘查样品的 Au、Cu 品位化学分析结果进行统计分析。对于勘查样品, 金品位分析采用聚胺脂泡沫塑料吸附、氢醌容量法测定; 针对部分金高含量样品(大于 10.0 $\mu\text{g/g}$) 采用活性炭吸附、氢醌容量法测定。铜品位分析, 采用火焰原子吸收分光光度法。对圈入矿体的单工程样品采用其品位 $\times$ 样品真厚度加权累加的方法, 计算出各单工程成矿元素的品位-厚度值, 在 Mapgis 下生成“成矿元素品位 $\times$ 矿体厚度”等值线图(图 3)。矿区内金矿化广泛而强烈, 分布面积大, 而铜矿化仅分布于矿区西部局部, 面积小。金矿化在矿化带东、西两端相对强烈, 由矿化带中心向外矿石品位逐渐降低(图 3a)。在矿化带的中西段, 可见金矿化分为南、北 2 条近平行的次级矿化带, 并分别与矿区的 F_5 和 F_6 断裂在空间上对应,

显示出 2 条断裂对金矿化的明显控制特征; 铜矿化主要分布于矿区西段 67 ~ 39 勘探线之间(图 3b), 铜矿化形态的斜“Z”字形也表现出受断裂控制的特征。对比图 3a 与图 3b 可以看出, 矿化带西端 Au 与 Cu 矿化中心重合, 并且 Au 的矿化范围大于 Cu 矿化范围, 表现出从矿化中心向外从 Cu-Au 变化为 Au 的元素分布趋势。图 3b 也反映出铜矿化受断裂构造控制, 由矿化中心向外品位逐渐降低的梯度变化。整体来看, 矿化带沿 F_5 和 F_6 断裂构造展布, 暗示成矿热液沿着断裂破碎带迁移, 在适当构造部位富集。从矿化强度来看, 矿区西端矿化强度明显强于东端, 在 63 ~ 47 勘探线之间大致形成 Au-Cu 矿化中心, 并由此向北东方向表现出 Cu-Au $\rightarrow$ Au(Cu) $\rightarrow$ Au 的元素分布趋势。该元素分布趋势与岩浆热液造成从相对高温到低温的元素分带特征相似。

2.2 剖面分布特征

为更好的研究矿床成矿元素在剖面上的分布特征, 选取矿区沿控矿构造走向及 47 号勘探线剖面为研究对象, 对矿床在剖面上的变化情况进行分析。

从 I-I 纵剖面(图 4)中的 4 个典型钻孔工程及其矿体分布可以看出, 矿区主要矿体产在 F_5 与 F_6 之间的断裂破碎带内, 从矿区西南段的 ZK6306 钻孔沿北东方向到 ZK1604 钻孔, 矿体埋藏深度逐步变小, Au 品位逐渐升高, 而 Cu 品位逐渐减低, 表现出 Cu-Au $\rightarrow$ Au-Cu $\rightarrow$ Au(Cu) $\rightarrow$ Au 的分布趋势。这与矿区平面上从西南端到东北端的元素分布特征相似(图 3)。

由矿床西段 47 勘探线成矿元素在垂向上的分布特征(图 5)可以看出, 自深部至浅部, Cu 品位明显降低, Au 品位先降低后升高, 表现为 Au-Cu $\rightarrow$ Au(Cu) $\rightarrow$ Au 的元素分布特征, 具有由 Au-Cu 向 Au 渐变过渡的趋势, 这种分布特征与 Au、Cu 在平面和 I-I 纵剖面中的 Au、Cu 分布特征相近。

3 矿区勘查地球化学

卡特巴阿苏大型金铜矿是在对 1:10 万地球化学异常点进行检查时发现的(杨维忠等, 2013), 普查-详查阶段对矿区开展了 1:2 万岩屑地球化学测量, 岩屑采样按照 200 m $\times$ 40 m 间距进行, 主要分析了 Au、Ag、Cu、Pb、Zn、W、Mo、Bi 等元素, 岩屑测量地球化学基本参数见表 1。

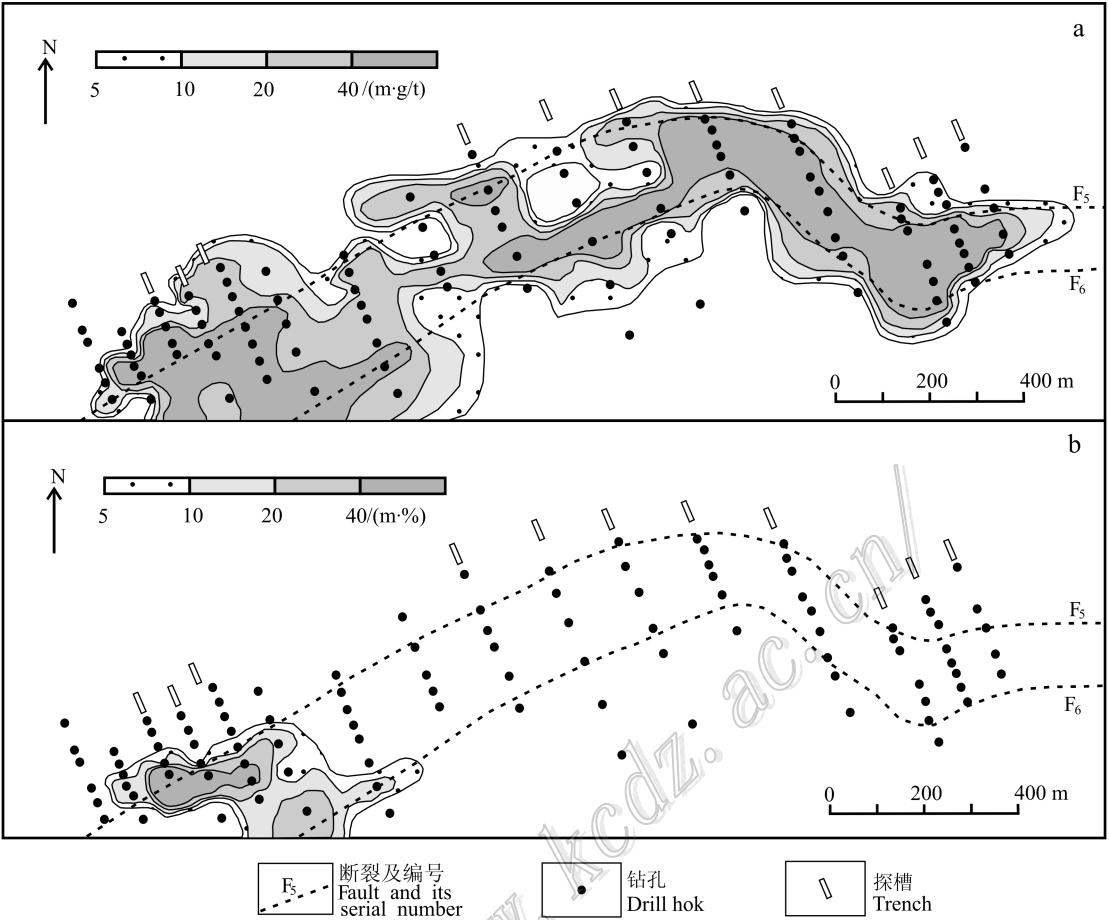


图 3 西天山卡特巴阿苏金铜矿区“成矿元素品位×矿体厚度”等值线平面投影图
a. Au 品位×矿体厚度等值线图；b. Cu 品位×矿体厚度等值线图
Fig. 3 Contour lines of Au and Cu elements grades multiplying thickness of the orebody in the Katbasu Au-Cu ore district, West Tianshan Mountains
a. Contour lines of Au×thickness of the orebody; b. Contour lines of Cu×thickness of the orebody

对矿区包括主矿化带,即图 2 和图 3 分布范围约 3.6 km² 的勘查地球化学数据进行处理,获得元素地球化学图(图 6)。矿区岩屑所测元素的异常,均沿北东东向连续或断续分布,在 F₅、F₆ 断裂破碎带影响范围内,反映出矿区内单元素异常受构造控制的特点。从不同元素来看,主矿化带的 Au、Cu、W 元素异常范围较广,Au 异常从矿区南西部到东北部均有分布,分布范围广且异常强度大,延伸较连续;Cu 异常自矿区南西部到东北部断续分布,平面上位于 Au 异常中心部位断续分布,Cu 异常在西段 47~63 勘探线间与 Au 异常套合好,强度高;W 元素作为高温热液指示元素,其异常呈北东向断续分布,在西段 47~63 勘探线之间强度最高;Mo、Bi 异常分布局限,

强度弱,与 W 异常在矿区东北段的弱异常区平面空间对应;Ag 异常相对弱,分布集中于矿区东段 04~20 勘探线之间,强度具东高西低特点,空间上位于矿区东段 Au 异常的中东部;Pb、Zn 异常最弱,空间上主要位于 Mo、Bi 异常东侧的 08~12 勘探线之间(图 6)。

矿区岩屑地球化学测量成果显示,元素地球化学异常沿控矿构造呈南西西-北东东向的带状分布,沿矿化带自南西→北东,具有较明显的地球化学分布变化特征,表现为矿区西南段 47~63 勘探线之间为 W-Cu-Au 异常,从南西到东北部元素组合表现为 W-Cu-Au→Au-Cu-Bi-Mo→Au(Cu)-Pb-Zn→Au-Ag 的分布特征,这种元素分布特征与热液从高温至低温元素异常分带序列相似,可能显示矿区西段的

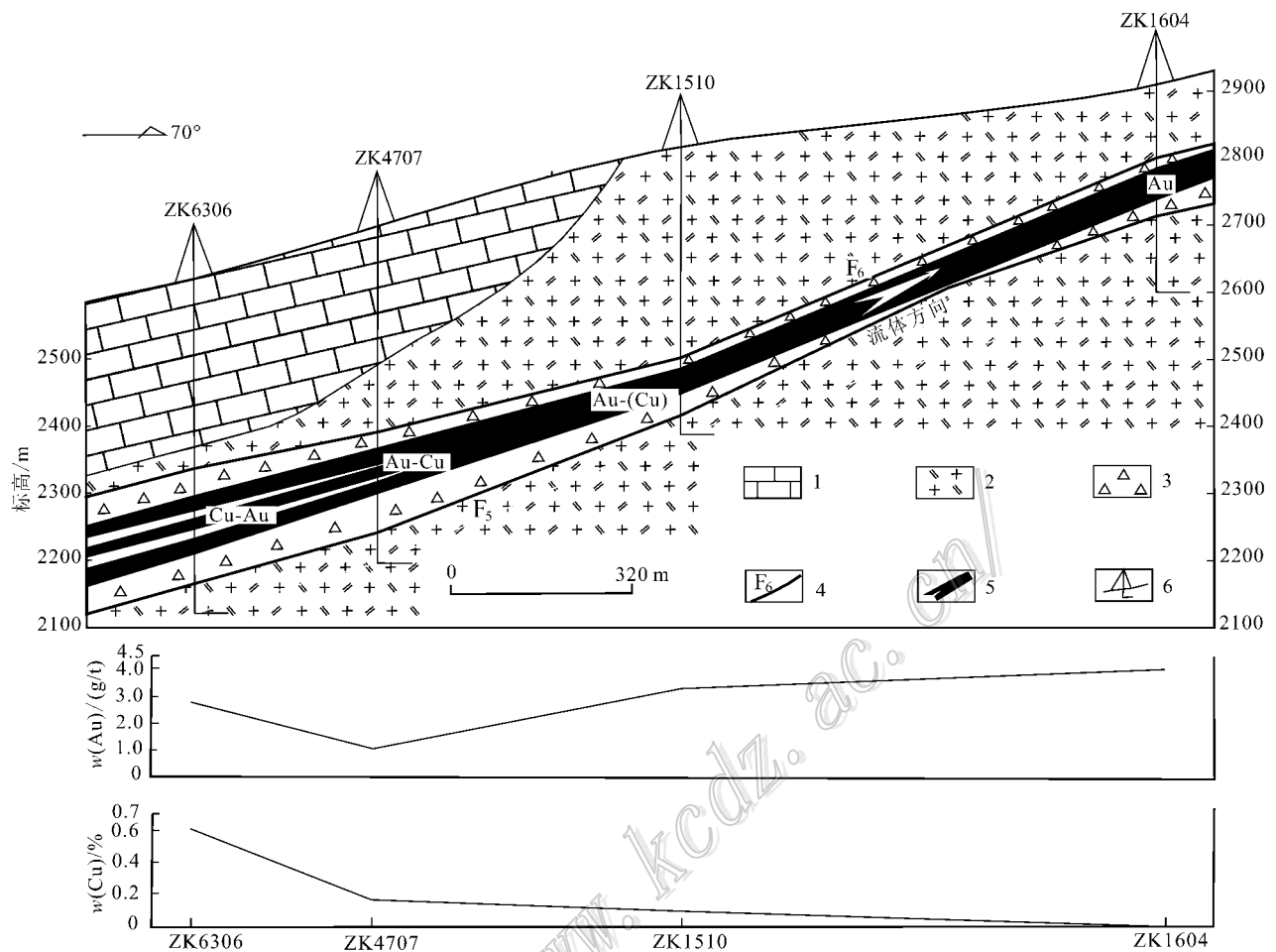


图 4 西天山卡特巴阿苏金铜矿区 I-I 纵剖面及对应 Au 、 Cu 元素分布

1—上志留统巴音布鲁克组灰岩；2—石炭纪二长花岗岩；3—断裂破碎带；4—断裂及编号；5—金铜矿体；6—钻孔位置

Fig. 4 I-I longitudinal section and its Au , Cu element distribution in the Katbasu $Au-Cu$ ore district, West Tianshan Mountains

1—Upper Silurian Bayinbuluke Formation limestone；2—Carboniferous monzonitic granite；3—Fracture zone；4—Fault and its serial number；5—Gold and copper orebody；6—Drill hole

表 1 西天山卡特巴阿苏金铜矿区岩屑测量地球化学参数
Table 1 Parameters of rock geochemical measurement in the Katbasu $Au-Cu$ ore district, West Tianshan Mountains

元素	异常下限	最大值	标准离差	变化系数
Au	8	>1500	69.34	10.39
Ag	0.15	1.78	0.092	1.24
Cu	120	11024	158.26	4.74
Pb	60	>796	32.3	1.51
Zn	150	699	48.13	0.86
W	5	47.61	1.84	0.75
Mo	6	29.65	1.19	0.99
Bi	3	95.84	3.39	3.33

注： Au 为 10^{-9} ，其他元素为 10^{-6} 。

47~63 勘探线之间存在成矿热源，这与矿区主要成矿元素 (Au 、 Cu) 平面分布特征 (图 2、图 3) 指示的矿化中心一致。

4 讨论

卡特巴阿苏金铜成矿受断裂构造控制，矿体主要产在矿区 F_5 和 F_6 两条主要断裂之间的破碎带中 (图 2~图 4)，伴随热液矿化蚀变过程，成矿热液沿构造裂隙充填沉淀形成石英硫化物脉/网脉，热液成矿特征明显 (薛春纪等，2014b；2015；杨维忠等，2015；张祺等，2015)。内生热液活动往往因温度等

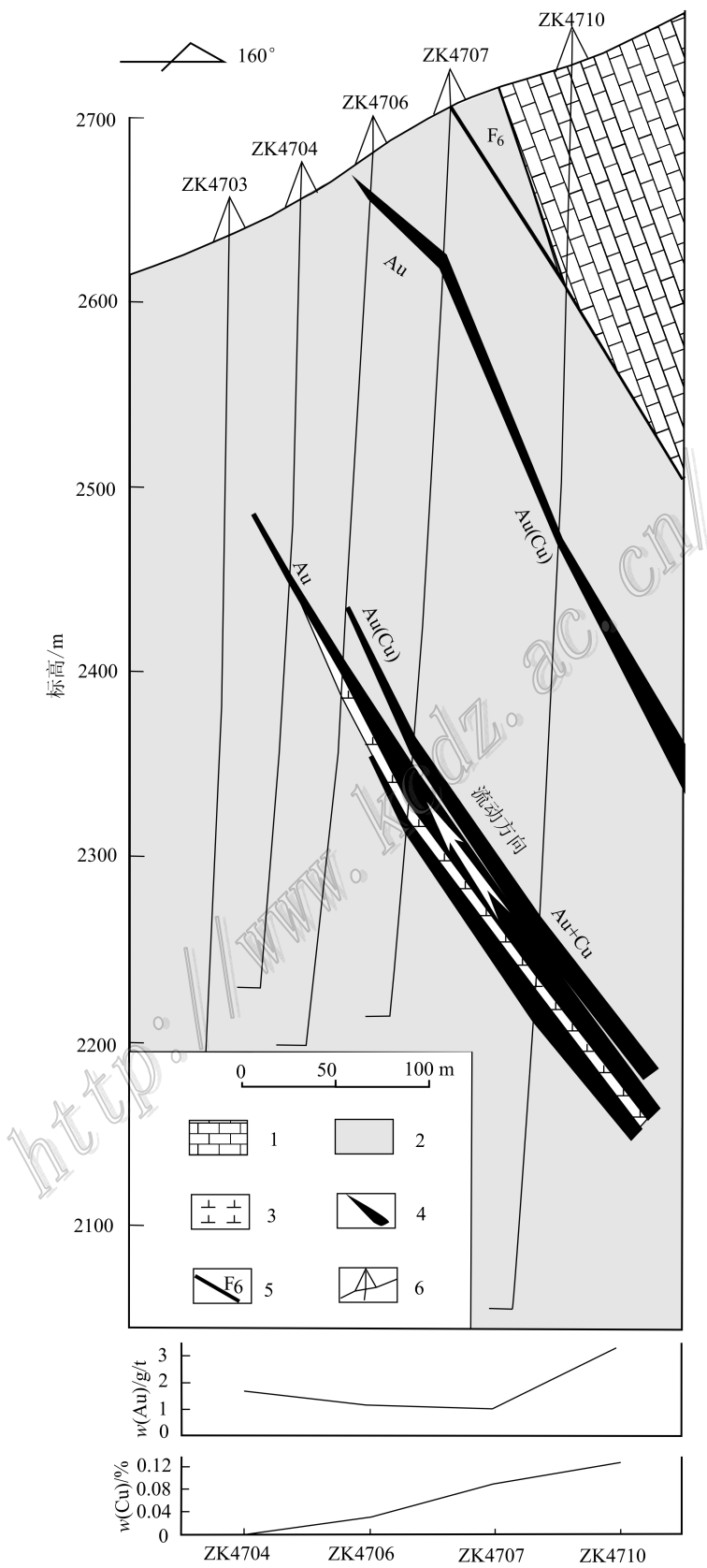


图 5 西天山卡特巴阿苏金铜矿区 47 勘探线剖面图及对应 Au、Cu 元素分布

1—上志留统巴音布鲁克组灰岩；2—石炭纪二长花岗岩；3—石炭纪闪长岩；4—金铜矿体；5—断裂及编号；6—钻孔

Fig. 5 Geological section along No. 47 exploration line and its Au, Cu element distribution in the Katbasu Au-Cu ore district, West Tianshan Mountains

1—Upper Silurian Bayinbuluke Formation limestone; 2—Carboniferous monzonitic granite; 3—Carboniferous diorite; 4—Gold and copper orebody; 5—Fault and its serial number; 6—Drill hole

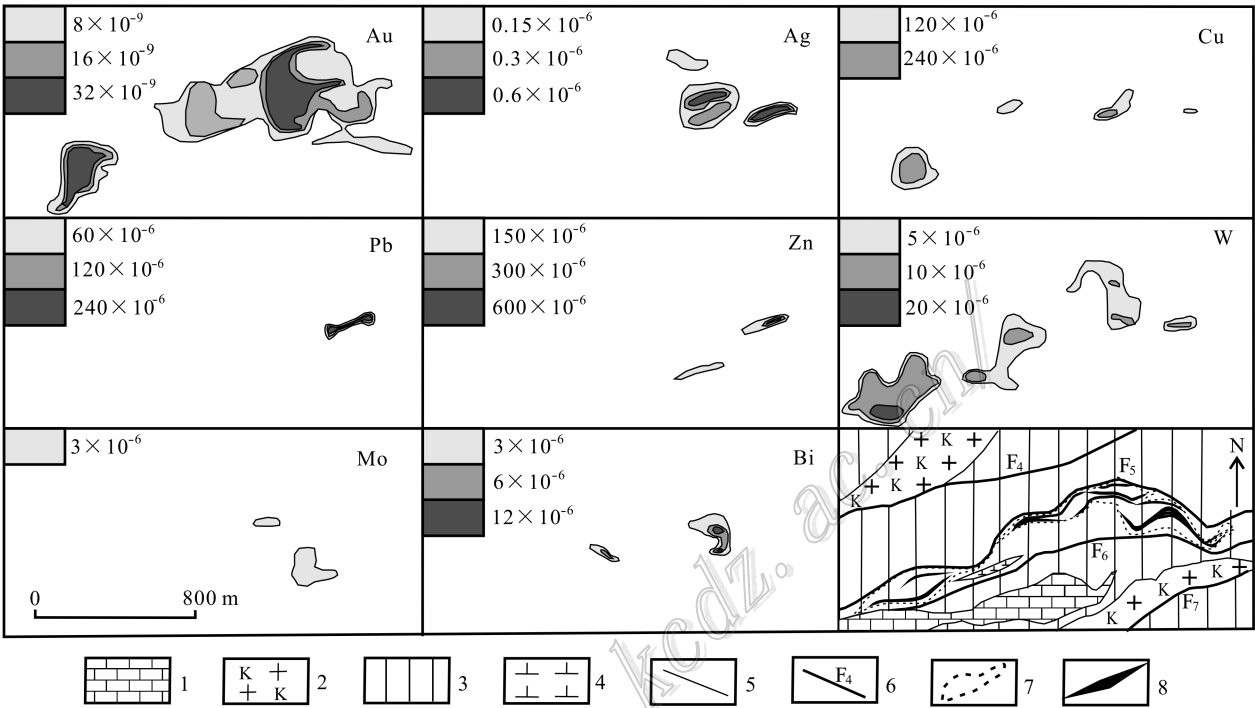


图 6 西天山卡特把阿苏金铜矿区岩屑地球化学异常剖析图

1—上志留统巴音布鲁克组灰岩; 2—石炭纪钾长花岗岩; 3—石炭纪二长花岗岩; 4—石炭纪闪长岩; 5—地质界线; 6—断裂;
7—矿化带; 8—金矿体

Fig. 6 Analysis of rock geochemical anomaly in the Katbasu Au-Cu ore district, West Tianshan Mountains

1—Upper Silurian Bayinbuluke Formation limestone; 2—Carboniferous Alkali-feldspar granite;

3—Carboniferous monzonitic granite; 4—Carboniferous diorite; 5—Geological boundary; 6—Fault; 7—Mineralization belt;
8—Gold orebody

物理化学条件改变,或处在热源不同位置等原因,造成热液晕,相关矿物和元素空间分布呈现某种变化或分带。通常 W-Sn-Mo-Bi 等元素相关热液矿物形成温度高,代表高温热液晕;Cu-Pb-Zn 等元素相关热液矿物形成于中温条件,通常代表中温热液晕;而与 Au-Ag-Hg-Sb-As 等元素相关矿物形成的温度低,经常被用来指示低温或远离热源的热液晕(薛春纪等,2006)。无论在平面(图 3)、纵剖面(图 4)、还是横剖面(图 5)中,卡特巴阿苏金铜矿区勘探工程资料表明,从西南段到东北段成矿元素具有 Cu-Au→Au-Cu→Au(Cu)→Au 的分布趋势,从下向上具有 Cu-Au→Au(Cu)→Au 的分布特点,走向及倾向剖面均反映出

矿区西部、深部金铜元素呈正相关、高品位产出,东部及浅部金品位稳定、铜品位降低的趋势(杨维忠等,2013;冯博等,2014;张祺等,2015);在矿区西南段的 63~47 勘探线之间,Au、Cu 矿化中心重叠且强度大,而在矿区东北部则没有出现明显的 Cu 矿化。成矿元素的分布特征显示,63~47 勘探线之间的地段可能是矿区矿化和热源中心,成矿流体由此从深部向浅部、从西南部向东北部斜向上迁移,并在此过程中发生蚀变和矿化。

大比例尺岩屑地球化学测量结果(图 6)表明,矿区从西南到东北部出现 W-Cu-Au→Au-Cu-Bi-Mo→Au(Cu)-Pb-Zn→Au-Ag 的元素分布趋势,是对上文

讨论的成矿元素分布趋势的明显印证。同时,新近在矿区 63~47 勘探线之间发现闪长岩岩株,研究证明成矿热液与闪长岩浆期后热液关系甚为密切(邢令等,2016),很可能该地段是热液蚀变矿化的中心。

5 结 论

卡特巴阿苏金铜矿床主成矿元素分布受控矿断裂破碎带控制;主成矿元素及勘查地球化学测量的元素分布规律均表明,成矿元素沿控矿构造自南西向北东、自深部向浅部具明显的由高温向低温的演化趋势。

主要成矿元素的空间分布特征暗示,矿区 63~47 勘探线之间是热液蚀变矿化中心,后续勘查的正确方向可能在矿区西南部 63~47 勘探线之间的深部。

References

Abzalov M. 2007. Zarnitangranitoid-hosted gold deposit, Tianshan belt, Uzbekistan[J]. *Econ. Geol.*, 102: 519-532.

Djenchuraeva R D, Borisov F I and Pak N T. 2007. Metallogeny and geodynamics of the Aktiuz-Boordu Mining district, northern Tianshan, Kyrgyzstan[J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 32: 280-299.

Dong L H, Qu X, Zhu Z X and Zhang L C. 2010. Tectonic evolution and metallogenesis of Xinjiang, China[J]. *Xinjiang Geology*, 28(4): 351-357 (in Chinese with English abstract).

Feng B, Xue C J, Zhao X B, Ding Z X, Zhang Q, Zu B, Yang W Z, Lin Z H and Chen W. 2014. Petrology, geochemistry and zircon U-Pb isotope chronology of monzogranite of the Katbasu Au-Cu deposit, western Tianshan, Xinjiang Province[J]. *Earth Science Frontiers*, 21(5): 187-195 (in Chinese with English abstract).

Goldfarb R J, Taylor R D and Collins G S. 2014. Phanerozoic continental growth and gold metallogeny of Asia[J]. *Gondwana Research*, 25(1): 48-102.

He Z W, Sun C M, Tao Z, Wu H, Liu X F, Wu S, Ding Y M, Liu X D, Peng F H and Wang X D. 2002. Metallogenic belt of gold and copper deposits in the western section of Tianshan in Xinjiang-ori-

tal prolongation of the Central Asia metallogenic zone[J]. *Journal of Chengdu University of Technology*, 29(1): 78-84 (in Chinese with English abstract).

Liu J J, Zheng M H and Cook N J. 2007. Geological and geochemical characteristics of the Sawaya'erdun gold deposit, southwestern Chinese Tianshan[J]. *Ore Geology Reviews*, 32: 125-156.

Mao J W, Konopelko D and Seltmann R. 2004. Postcollisional age of the Kumtor gold deposit and timing of Hercynian events in the Tianshan, Kyrgyzstan[J]. *Econ. Geol.*, 99(8): 1771-1780.

Qu X. 1998. Analysis on the gold exploration prospect and metallogenic background of nalati tectonic belt of western Tianshan mountain[J]. *Xinjiang Geology*, 16(4): 353-358 (in Chinese with English abstract).

Seltmann R, Porter T M and Pirajno F. 2014. Geodynamics and metallogeny of the Central Eurasian porphyry and related epithermal mineral systems: A review[J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 79: 810-841.

Wang J N. 1999. Analysis of gold-metallogenic conditions and prognosis of metallogenic prospect of western Tianshan, Xinjiang Autonomous Region[J]. *Uranium Geology*, 15(3): 168-171 (in Chinese with English abstract).

Wilde A R, Leyer P and Mernagh T. 2001. The giant Muruntau gold deposit: Geology, geochronologic and fluid inclusion constraints on ore genesis[J]. *Econ. Geol.*, 96: 633-644.

Wu S, He Z W, Sun C M, Tao Z, Wu H, Liu X F, Ding Y M, Liu X D, Peng F H and Wang X D. 2002. On Nalati tectonic belt of western Tianshan in China and its prospect[J]. *Journal of Chengdu University of Technology*, 29(3): 252-257 (in Chinese with English abstract).

Xing L, Yang W Z, Zang M, Lin Z H and Chen W. 2015. Zircon SHRIMP U-Pb dating of the monzonitic granite from Kateba'asu Au-Cu deposit and its geological implications in Xinjiang[J]. *Xinjiang Geology*, 33(1): 1-6 (in Chinese with English abstract).

Xing L, Zang M, Yang W Z, Song A Q, Lin Z H and Chen W. 2016. Discovery of the mineralization diorite in Kateba'asu gold-copper deposit, Xinjiang and its geological significance[J]. *Xinjiang Geology*, 34(2): 210-216 (in Chinese with English abstract).

Xue C J, Qi S J and Wui H M. 2006. Essential of mineral deposits[M].

- Beijing : Geological Publishing House. 1-132 (in Chinese with English abstract).
- Xue C J , Chi G X and Li Z D. 2014. Geology , geochemistry and genesis of the Cretaceous and Paleocene sandstone- and conglomerate-hosted Urogen Zn-Pb deposit , Xinjiang , China : A review[J]. Ore Geology Reviews , 63 : 328-342.
- Xue C J , Zhao X B , Mo X X , Chen Y J , Dong L H , Gu X X , Zhang Z C , Bakhtiar N , Nikolay P , Li Z D , Wang X L , Zhang Z G , Yaxiaer Y L K , Feng B , Zu B and Liu J Y. 2014a. Tectonic-metallogenic evolution of western Tianshan giant Au-Cu-Zn-Pb metallogenic belt and prospecting orientation[J]. Acta Geol. Sinica , 88 (12) : 2490-2531 (in Chinese with English abstract).
- Xue C J , Zhao X B , Mo X X , Dong L H , Gu X X , Bakhtiar N , Nikolay P , Zhang Z C , Wang X L , Zu B , Zhang Z G , Feng B and Liu J Y. 2014b. Asian gold belt in western Tianshan and its dynamic setting , metallogenic control and exploration[J]. Earth Science Frontiers , 21(5) : 128-155 (in Chinese with English abstract).
- Xue C J , Zhao X B , Zhang Z G , Mo X X , Gu X X , Dong L H , Zhao S M , Mi D J , Bakhtiar N , Nikolay P , Li Z D , Wang X L , Yaxiaer Y L K , Zu B and Feng B. 2015. Metallogenic environments , ore-forming types and prospecting potential of Au-Cu-Zn-Pb resources in western Tianshan Mountains[J]. Geology in China , 42(3) : 381-410 (in Chinese with English abstract).
- Yang J G , Yan Y Y , Xun X Y , Ma Z P , Zhao R F and Yao W G. 2004. Metallogenic regularity of southwest Tianshan Mountains in comparison with neighboring countries[J]. Mineral Deposits , 23 (1) : 20-30 (in Chinese with English abstract).
- Yang W Z , Xue C J , Zhao X B , Zhao S M , Wei J , Feng B , Zhou H , Lin Z H , Zheng H , Liu J W , Zhang Q and Zu B. 2013. The discovery of the Katebasu large Au-Cu deposit in Xinyuan County , western Tianshan , Xinjiang[J]. Geological Bulletin of China , 32 (10) : 1613-1620 (in Chinese with English abstract).
- Yang W Z , Xing L , Chen W , Lin Z H , Han J Q , Song A Q , Cai F J , Wang C , Yang J Q , Wang B , Liu W and Li T. 2015. Detailed survey report of Katebasu gold deposit in Xinjiang Province[R]. 118-136 (in Chinese).
- Zhang Q , Xue C J , Zhao X B , Feng B , Xing H , Mo X X , Zhao S M , Yang W Z and Xing L. 2015. Geology , geochemistry and metallogenic epoch of the Katebasu large-sized gold deposit , western Tianshan Mountains , Xinjiang[J]. Geology in China , 42(3) : 411-438 (in Chinese with English abstract).
- Zhao X B , Xue C J and Chi G X. 2015. Re-Os pyrite and U-Pb zircon geochronology from the Taldybulak Levoberezhny gold deposit : Insight for Cambrian metallogeny of the Kyrgyz northern Tianshan[J]. Ore Geology Reviews , 67 : 78-89.

附中文参考文献

- 董连慧 , 屈迅 , 朱志新 , 张良臣. 2010. 新疆大地构造演化与成矿[J]. 新疆地质 , 28(4) : 351-357.
- 冯博 , 薛春纪 , 赵晓波 , 丁振信 , 张祺 , 俎波 , 杨维忠 , 林泽华 , 陈威. 2014. 西天山卡特把阿苏大型金铜矿赋矿二长花岗岩岩石学、元素组成和时代[J]. 地学前缘 , 21(5) : 187-195.
- 何政伟 , 孙传敏 , 陶专. 2002. 新疆西天山西段金铜成矿带-中亚成矿域东延[J]. 成都理工学院学报 , 29(1) : 78-84.
- 屈迅. 1998. 西天山那拉提构造带成矿背景及找金前景分析[J]. 新疆地质 , 16(4) : 353-35.
- 王军宁. 1999. 新疆西天山金矿成矿条件分析及找矿远景预测[J]. 铀矿地质 , 15(3) : 168-171.
- 吴山 , 何政伟 , 孙传敏. 2002. 西天山那拉提构造带及其找矿前景[J]. 成都理工学院学报 , 29(3) : 252-257.
- 邢令 , 杨维忠 , 藏梅 , 林泽华 , 陈威. 2015. 新疆卡特巴阿苏金铜矿矿区二长花岗岩锆石 SHRIMP U-Pb 年龄及其地质意义[J]. 新疆地质 , 33(1) : 1-6.
- 邢令 , 藏梅 , 杨维忠 , 宋安强 , 林泽华 , 陈威 , 马玉霞. 2016. 新疆卡特巴阿苏金铜矿床全岩矿化小岩体的发现及地质意义[J]. 新疆地质 , 34(2) : 210-216.
- 薛春纪 , 祁思敬 , 隗合明. 2006. 基础矿床学[M]. 北京 : 地质出版社. 1-132.
- 薛春纪 , 赵晓波 , 莫宣学 , 陈毓川 , 董连慧 , 顾雪祥 , 张招崇 , Bakhtiar , Nikolay P , 李志丹 , 王新利 , 张国震 , 亚夏尔亚力坤 , 冯博 , 俎波 , 刘家瑛. 2014a. 西天山巨型金铜铅锌成矿带构造成矿演化和找矿方向[J]. 地质学报 , 88(12) : 2490-2531.
- 薛春纪 , 赵晓波 , 莫宣学 , 董连慧 , 顾雪祥 , Bakhtiar N , Nikolay P , 张招崇 , 王新利 , 俎波 , 张国震 , 冯波 , 刘家瑛. 2014b. 西天山“亚洲金腰带”及其动力背景和成矿控制与找矿[J]. 地学前缘 ,

21(5):128-155.

薛春纪,赵晓波,张国震,莫宣学,顾雪祥,董连慧,赵树铭,米登江,Bakhtiar N,Nikolay P,李志丹,王新利,烜波,亚夏尔亚力坤,冯博. 2015. 西天山金铜多金属重要成矿类型、成矿环境及找矿潜力[J]. 中国地质,42(3):381-410.

杨建国,闫晔轶,徐学义. 2004. 西南天山成矿规律及其与境外对比研究[J]. 矿床地质,23(1):20-30.

杨维忠,薛春纪,赵晓波,赵树铭,魏俊,冯博,周华,林泽华,郑宏,刘家伟,张祺,烜波. 2013. 新疆西天山新发现新源县卡特巴阿苏大型金铜矿床[J]. 地质通报,32(10):1613-1620.

杨维忠,邢令,陈威,林泽华,韩继全,宋安强,蔡富军,王超,杨建琪,王彬,刘伟,李通. 2015. 新疆新源县卡特巴阿苏矿区金(铜)矿床详查报告[R]. 118-136

张祺,薛春纪,赵晓波,冯博,邢浩,莫宣学,赵树铭,杨维忠,邢令. 2015. 新疆西天山卡特巴阿苏大型金矿床地质地球化学和成岩成矿年代[J]. 中国地质,42(3):411-435.

<http://www.kcdz.ac.cn/>