新疆准噶尔东北缘蕴都卡拉金铜钴矿床地质特征 及前景分析

朱伯鹏,张汉清,秦纪华,何立新,何斌,赵继峰,杨建红 新疆维吾尔自治区地质矿产勘查开发局第四地质大队,新疆阿勒泰,836500

内容提要:新疆准噶尔东北缘蕴都卡拉矿床是世界上少见的金铜钴组合,位于新疆阿尔曼太金、铜、铁、铬成矿带,主要赋存于泥盆纪中基性火山岩及后期侵位的石炭系闪长岩中。矿区韧脆性剪切变形强烈,矿化蚀变发育,主要为黄铜矿化、黄铁矿化、碳酸盐化、硅化、蛇纹石化、绿泥石化。矿体主要分布于中泥盆统北塔山组玄武岩和闪长岩中的黄铜矿化—黄铁矿化—硅化带中。矿体呈脉状、似层状和不规则状。矿床处于航磁异常和 Au、Cu、Ag、Mo、Cr、Ni、Co等元素组成的化探异常中,异常带呈北西—南东向延伸,对矿床勘查具有较好的指示作用。本文研究了矿床的地质特征,总结了找矿方法,构建了综合找矿模型,提出了进一步找矿方向,以期为矿区进一步勘查提供依据。

关键词:蕴都卡拉;金铜钴矿床;地质特征;找矿方向

新疆准噶尔是中亚造山带的重要组成部分,也 是新疆重要成矿带之一,主要形成斑岩型(如包古 图铜矿、玉勒肯哈腊苏铜矿、苏云河钼矿等;杨富全 等,2012;钟世华等,2015;Shen Ping et al., 2018)、 矽卡岩型(如索尔库都克钼矿)、浅成低温热液型金 矿(如双峰山金矿、金山沟金矿, Yang Fuquan et al., 2009)、与岩浆热液有关的脉状金矿(如包古图地区 金矿,安芳等,2007)、造山型金矿(如野马泉金矿、 双泉金矿,苏虎等,2015)、IOCG 型铁铜金矿(如乔 夏哈拉,应立娟等,2009)、岩浆型(如萨尔托海铬铁 矿)和云英岩—石英脉型锡矿(如贝勒库都克,杨福 全等,2008)。准噶尔地区金矿主要分布于卡拉麦 里构造带附近,其次是西准噶尔包古图地区。2016 ~2018年新疆维吾尔自治区地质矿产勘查开发局第 四地质大队通过大比例尺化探、物探和地质勘查手 段发现了新疆准噶尔东北缘蕴都卡拉金铜钴矿床 (图 1a),目前正在预查阶段,估算资源量金达到大 型,铜和钴达到中型。

金、铜、钴矿均为战略性矿产,钴还是新兴能源材料,钴由于其优良的物理、化学和机械性能成为航空航天、石油化工、玻璃制造、医药领域、高能锂电池的重要原材料。近年来随着新能源电池行业迅猛发展,全球对于钴的需求也日益增大,钴市场价格不断

飙升,钴已经成为全球矿业公司追逐的热点矿种。 钴除形成独立钴矿外,经常与其他成矿元素共伴生 形成多金属矿,如 Cu—Co 矿、Fe—Co、Ag—Bi—Co 砂、Ag—Cu—Co 砂、Cu—Ni—Co、Cu—Co—Ag—Ni、 Fe—Cu—Au—Co 矿等,但形成 Au—Cu—Co 组合在 世界上有文献报道的矿床非常少见,仅有加拿大 Werner Lake(Pan et al., 2000)和西天山昭苏的卡 拉盖雷铜金钴矿(郭鹏志等,2012a,b)。蕴都卡拉 矿床是少见的金铜钴矿,并且达到大型规模,其发现 具有重要理论和现实意义,也是研究 Au、Co 和 Cu 共生机制和成矿过程的理想对象。由于蕴都卡拉金 铜钴矿目前正在勘查,研究工作还未开展,对于矿床 特征、矿床成因、成矿潜力等科学问题急需要解决。 本文在野外地质调查和勘查基础上,初步对该矿床 的地质特征、地球物理、地球化学、找矿标志、勘查技 术方法应用等进行了初步总结,确定了矿床成因类 型,建立了综合找矿模式,提出进一步找矿勘查方 向,以期为准噶尔成矿规律总结和矿区进一步勘查 提供依据。

1 成矿背景

1.1 成矿地质条件

蕴都卡拉金铜钴矿床位于准噶尔东北缘扎河坝

注:本文为国家自然科学基金资助项目(编号:41972079)和新疆富蕴县蕴都卡拉一带金铜多金属矿预查项目(编号:A17-3-XJ002)的成果。

收稿日期;2019-08-14;改回日期;2019-12-05;责任编辑;章雨旭。Doi; 10. 16509/j. georeview. 2020. 01. 010

作者简介:朱伯鹏,男,硕士,1986年生,矿物学,岩石学、矿床学专业,主要从地质矿产研究工作; Email:304620724@qq.com。

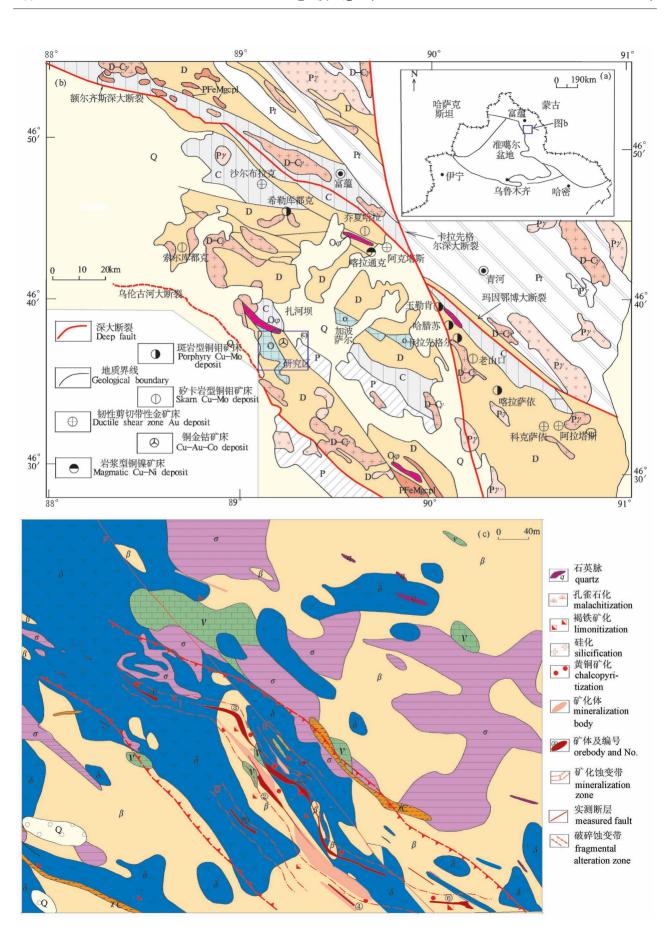


图 1 (a) 新疆准噶尔东北缘蕴都卡拉矿区地理位置[底图据: http://bzdt.ch. mnr. gov. cn/]; (b) 东准噶尔北缘区域 地质图(据冯京和张招崇,2009,修编); (c) 蕴都卡拉矿区地质简图(据新疆地矿局第四地质大队[●])

Fig. 1 (a) Geographical location of the Yundukala Au—Cu—Co deposit [Base map from: http://bzdt.ch.mnr.gov.cn/]; (b) regional geological map of the northern margin of the East Junggar Basin(revised from Feng Jing and Zhang Zhaochong, 2009&); (c) Geological map of the Yundukala Au—Cu—Co deposit in the northeastern margin of Junggar, Xinjiang (revised from the Fourth Geological Brigade, the Xinjiang Bureau of Geology and Mineral Resources (a)

Pγ—二叠纪花岗岩;P-FeMgcpl—二叠纪超镁铁质—镁铁质杂岩类;Oφ—蛇绿岩

(c) 图中: Q—第四系; β —玄武岩; σ —橄榄岩; ν —辉长岩; δ —闪长岩; XC—碳酸岩

In fig. (b) Q—Quaternary; P—Permian; C—Carboniferous; D—Devonian; O—Ordovician; Pt—Neoproterozoic; D—C γ —Devonian—Carboniferous granites; P γ —Permian granites; P-FeMgcpl—Permian super magnesium ferrite complex rock; O ϕ —ophiolite

In fig. (c) Q—Quaternary; β —basalt; σ —peridotite; ν —gabbro; δ —diorite; χ C—carbonate

地区,额尔齐斯断裂以南,乌伦古断裂北侧的阿尔曼 太古生代褶皱带内(何国琦等,2001)(图 1b)。

古生代火山岩在准噶尔东北缘出露广泛(于学 元等,1995),而在扎河坝地区主要发育泥盆纪中基 性玄武岩、玄武安山岩和安山岩。该区发育的泥盆 系从老到新为中泥盆统北塔山组和蕴都卡拉组,上 泥盆统卡希翁组和江孜尔库都克组,以及之上的石 炭系一二叠系,包括姜巴斯套组和巴塔玛依内山组 (图 1b)。中泥盆统北塔山组为该区最老的火山岩 地层,包括三个亚组,但本区仅出露上亚组,主要为 火山碎屑岩并夹有少量灰岩和含铁硅质岩。覆盖在 北塔山组之上的蕴都卡拉组及上泥盆统卡希翁组和 江孜尔库都克组,主要由玄武岩、安山岩以及火山碎 屑岩组成,局部可见灰岩透镜体。近年来,对扎河坝 地区泥盆纪至石炭纪火山岩的研究取得了许多新的 成果(李锦轶,1995;许继峰等,2001;简平等,2003; Wang et al., 2003; 张海祥等, 2004; 袁超等, 2006; 龙 晓平等, 2006; 张招崇等, 2007; Zhang et al., 2008, 2009:张元元等,2009)。北塔山组中发现的高锶低 钇中酸性岩(Aidakite)和富铌玄武岩(许继峰等, 2001:张海祥等,2004)表明该区中泥盆世可能处于 与消减带有关的构造环境。

扎河坝地区是准噶尔东北缘的一个重要的构造单元,其紧邻扎河坝—阿尔曼太缝合带(图 1b),区内构造活动比较强烈,主要褶皱构造为北西—南东向的复背斜,发育有扎河坝—阿尔曼太蛇绿岩带。简平等(2003)获得扎河坝蛇绿岩的层状辉长岩和斜长岩中锆石的 SHRIMP 年龄为 489 Ma 和 481 Ma,表明扎河坝蛇绿岩形成于奥陶纪。张元元(2010)对扎河坝蛇绿岩中斜长花岗岩采用 SHRIMP U-Pb 方法测定年龄为 496 Ma,证实扎河坝蛇绿岩

形成于晚寒武世—早奥陶世。

区域岩浆侵入活动强烈,岩石类型主要有辉长岩、闪长岩、石英闪长岩、二长花岗岩、花岗斑岩、钾长花岗岩等。最新资料显示该地区岩浆侵入活动的时代主要为石炭纪和早二叠世[•]。

2 矿床地质特征

2.1 矿区地质

出露地层主要为中泥盆统北塔山组,北西—南东向展布,呈带状、断块状展布,呈断层接触。中泥盆统北塔山组以基性—中基性火山岩、火山碎屑岩及火山碎屑沉积岩为主;主要岩性为玄武岩、凝灰岩,局部夹少量含角砾凝灰岩、凝灰质砂岩、玄武质沉凝灰岩(图 1c)。

矿区处于区域性乌伦古大断裂以北,受其影响, 区内发育一系列北西向、近东西向的次级断裂,沿断裂带岩石普遍发生碎裂岩化、片理化,片理近顺层发育。北西向次级断裂与地层走向基本一致,多倾向北东,倾角50°~80°,是乌伦古断裂随剪切变形的发展而形成的北西向次生同向断层。

侵入岩主要有闪长岩,其中闪长岩与矿化关系最为密切,金铜钴矿化主要赋存于闪长岩内外接触带中。闪长岩主要侵位于北塔山组中基性火山岩中,呈北西向不规则岩株、岩枝、岩脉状,部分地段与地层断层接触。矿区内闪长岩体地表出露宽度 20~500 m,延长约 0.2~3 km,总体走向 110°~120°,整体倾向北东,倾角 50°~80°,主要受北西向断裂控制,具较强的碎裂岩化。

2.2 矿体特征

2.2.1 矿化带特征

矿区圈出3条矿化蚀变带,主要分布于闪长岩

和北塔山组玄武岩中,矿化为薄膜状、细脉状、团块状的孔雀石化,粉末状、薄膜状褐铁矿化,局部可见少量团斑状辉铜矿。矿化蚀变带走向 280~310°,倾向 NW,倾角 60°~80°,长 300~1500 m,宽约 40~135 m(图 1c)。 I 号矿化带规模最大,位于矿区南东部,北西向带状展布,呈舒缓波状,长约 1500 m,宽50~200 m,总体走向 310°,倾向北东。出露岩性为闪长岩、玄武岩,具钾长石化、青磐岩化等蚀变,片理化、碎裂岩化等构造形变发育。岩石中可见薄膜状孔雀石、粉末状褐铁矿、星点状—斑点状—浸染状或块状黄铜矿及块状或团斑状辉铜矿分布,圈出 1、6号金矿体和 3 号铜金钴矿体,其中单矿体长 200~1500 m,宽 4~30 m,控制延深 300 m。

Ⅱ号矿化蚀变带位于矿区中部,北西向带状展布,长度大于200 m,宽度大于20 m,出露岩性为闪长岩。节理发育,沿节理面可见星点状—薄膜状孔雀石、星点状绿帘石、星点状褐铁矿分布,圈出2号铜金矿(化)体,矿体长大于200 m,宽3 m。

Ⅲ号矿化蚀变带位于矿区中偏南部,北西向带状展布,长度大于 1500 m,宽度大于 100 m,出露岩性为闪长岩。节理发育,沿节理面分布有星点状—斑点状—薄膜状孔雀石、星点状绿帘石、薄膜状褐铁矿,圈出 4 号铜金矿(化)体和 5 号铜金矿化体,前者长大于 1400 m,宽 10~35 m,后者长大于 200 m,宽 2 m。

2.2.2 矿体特征

矿区共圈定铜金钴矿体 1 条、铜金矿体 2 条、, 金矿体 3 条,其中 3 号为铜金钴矿体,2、4 号为铜金 矿体,1、5、6 号为金矿体。

3号铜金钴矿体长度大于1000 m,宽5~30 m,赋矿岩性为闪长岩和玄武岩,矿体形态受闪长岩—玄武岩接触带及构造破碎带控制,走向300°~320°,呈脉状、似层状,"S"型舒缓波状北西向延伸,具分枝复合、膨缩变化,沿走向、倾向厚大富矿体向北东近直立倾伏。矿化为星点状—薄膜状孔雀石,斑点状、细脉状、稀疏浸染状、稠密浸染状和致密块状辉铜矿、黄铁矿、黄铜矿和辉砷钴矿等。铜品位0.2%~16%,金品位0.1~21g/t,钴品位0.011%~0.78%;通过钻探初步勘查该矿体在深部北西—南东向稳定延伸,圈出长度大于1000 m,视厚度10~76 m的铜金钴矿体(图1c)。

2号铜金矿体长大于200 m,厚度3 m,赋矿岩性为孔雀石化、褐铁矿化、绿帘石化玄武岩,矿体走向约313°,呈脉状,矿化为星点状—薄膜状孔雀石,

斑点状、细脉状、浸染状黄铁矿、黄铜矿等。铜品位 0.2%~2.04%,金品位 0.55~3 g/t。4号铜金矿体长度大于1100 m,宽度 10~35 m,赋矿岩性为玄武岩,矿体走向约315°,呈脉状,矿化为星点状—薄膜状孔雀石,细脉状、浸染状黄铁矿、黄铜矿等。铜品位 0.2%~1.1%,金品位 0.15~0.5 g/t,铜品位大于0.5%矿体达到 50 m,通过钻孔勘查在 4号铜金矿体深部见累计厚度大于50 m 的铜金矿(化)体(伴生钴),呈脉状。Cu 品位 0.13%~2.6%,伴生 Au 品位 0.14~0.5 g/t,伴生钴品位 0.011%。

1号金矿体长度大于 200 m,厚度 9 m,赋矿岩性闪长岩及与蛇纹石化橄榄岩,矿体走向约 310°,呈脉状、似层状。矿化为细脉状、浸染状黄铁矿。金品位 1~5.58 g/t。5号金矿体赋矿岩性破碎蚀变(褐铁矿化、硅化)闪长岩,由 VI-1、VI-2、VI-3 三条金矿体组成,单矿体宽度 1.2~21.2 m,长度大于 200 m,呈似层状。矿化为浸染状黄铁矿。Au 品位 0.51~41.25 g/t,其中 VI-1 金矿体厚度 21.2 m,平均品位 10.09 g/t。矿体沿走向和倾向均未控制。6号金矿体长度大于 200 m,厚度大于 10 m,赋矿岩性破碎蚀变(褐铁矿化、硅化)闪长岩,金品位 1~19.19 g/t,平均品位 8.17 g/t,矿体走向、倾向均未完全控制。

2.2.3 矿石特征

按矿物的共生组合矿石可以分为黄铁矿—黄铜矿矿石、含辉砷钴矿黄铁矿—黄铜矿矿石和孔雀石—黄铁矿氧化矿石三种。

矿石以细脉状、细脉—浸染状构造为主,其次是 团斑状、稠密浸染状及块状、致密块状构造(图2)。 细脉浸染状构造为黄铁—黄铜矿呈细脉状、网脉状 (脉宽 1~5 mm);稠密浸染状和块状构造为黄铁 矿-黄铜矿-辉砷钴矿局部矿石、黄铁矿-黄铜矿 矿石等,脉宽 0.2~30 cm。矿石结构主要为结晶结 构、交代结构、碎裂结构,而且以结晶结构中的它形 晶粒结构、半自形粒状结构和交代结构最发育。结 晶结构和半自形结构主要为黄铁矿、黄铜矿等金属 矿物常呈它形粒状、半自形状产出;交代结构为晚期 黄铜矿常交代碎裂的黄铁矿或其他碎裂矿物。碎裂 结构表现为早期矿物(黄铁矿)常呈碎斑状,被后期 黄铜矿所交代。矿石中主要金属矿物为黄铁矿、黄 铜矿、辉铜矿、辉砷钴矿、磁铁矿、磁黄铁矿、方钴矿、 自然金和银金矿,少量闪锌矿、毒砂、钛磁铁矿、白钛 矿;次生氧化矿物以孔雀石为主,次为褐铁矿、黄钾 铁矾。非金属矿物主要为长石、石英、黑云母,次为 绿泥石、绿帘石、绢云母、角闪石、榍石、锆石。



图 2 新疆准噶尔东北缘蕴都卡拉矿区矿石特征: (a)浸染状矿石;(b)块状矿石; (c)脉状矿石;(d)团斑状矿石

Fig. 2 Ore characteristics of the Yundukala Au—Cu—Co deposit in the Northeastern margin of Junggar, Xinjiang; (a) disseminated ore; (b) massive ore; (c) vein ore; (d) lumpy ore

2.3 围岩蚀变

矿区岩石热液蚀变十分发育且种类多,主要为硅化、碳酸盐化、黏土化、绿泥石化、绿帘石化、高岭石化、绢云母化、蛇纹石化等,其中硅化与成矿关系最为密切。各蚀变带的矿化特征也有明显差异,蚀变类型和强弱明显受闪长岩侵入体控制,在岩体内部及近岩体处蚀变强烈,远离接触带蚀变逐渐减弱甚至消失。

3 地球物理和地球化学异常特征

3.1 区域地球物理场

区域 1:20 万布格重力场总体特征表明^❸,矿区位于准噶尔北东—南西向的布格重力梯度带上,

矿内布格重力表现为南西高,北东低,逐渐过渡特征,布格重力值在-80.89~120 m/s²之间。区域上金、铜、铜钼、铜镍等矿产主要分布于重力梯级带及不同重力场的交汇部位,特别是围绕恰库尔特—二台重力梯度带部位分布有一系列金铜矿点(扎河坝金矿等),表明了区域重力场的突(或急)变带,局部重力异常区,是内生金属矿床形成的有利部位。

区域 1:20 万航磁资料显示⁶, 矿区处于准噶尔北部航磁异常区的梯度带上, 其航磁异常呈北西—南东向分布。区内磁场变化较大, 总体表现为南西部高, 东北部低的逐渐过渡特征。矿区内航磁异常分布复杂, 主要与晚古生代火山、岩浆活动剧烈有着密切的关系。

区内NW向区域布格重力场与航磁异常方向总 体一致,重、磁局部异常同源性好,平面位置,异常形 态等具类似特征,这种高低紧密相间分布的重、磁场 特征,说明在该区地质构造运动非常强烈,成矿部位 有利。

3.2 区域地球化学场

1:20 万水系沉积物测量 6 在蕴都卡拉一带圈 定了 Au—Cu—As—Mo—Sb—Pb—Co—Zn—Sn 综 合异常,异常面积 20 km2。异常主要特征及区域化 探背景值见表 1. 异常呈北西向不规则带状, 主要由 Au、As、Cu、Co、Ag 等元素组成.其中 Au、Cu、Co、As 异常套合较好,面积大,与矿区矿体产出部位基本对 应,特别是 Au、Cu 异常分布于矿体位置完全对应, 是直接找矿标志之一。

矿区 1:10000 土壤地球化学测量成果显示 Au、Cu、As、Sb、Mo、Ag 富集明显,其异常面积2km²。 异常呈北西-南东向的宽缓带状分布,南东未封闭。 该异常是以 Au、Cu 为主的多元素综合异常, 三级浓 度分带清楚(见图3),具多个浓集中心,各元素套合 较好。其中 Au 峰值 110×10⁻⁹, Cu 峰值 1850×10⁻⁶。 矿区化探异常与地表矿化蚀变带套合好,由铜、金、 钴矿(化)体引起,对应岩性为闪长岩—玄武岩接触 部位。

3.3 矿区物探异常特征

矿区物性表明,矿区岩(矿)石物性参数有明显 差异,含矿岩石具中低极化、中一高阻特征:围岩具 低极化、相对高阻的特征,而蛇纹石化橄榄岩则为高 极化、低阻特征。

矿区1:10000 激电剖面测量成果表明,以极化 率大于 1.8% 圈定的中—低极化异常体,长约 3000m, 宽 300~600m, 异常强度为 1.8%~3.6%, 与 地表闪长岩—玄武岩及接触带对应,普遍见孔雀石、 黄铁矿(褐铁矿)及少量黄铜矿化,区内2、3、4、5号 矿体均分布其中。

其中04线和24线的激电测深工作成果显示. 在深部均存在规模较大的高极化—低阻异常体,极 化率峰值 4.1%。经 04 线和 24 线钻探工程验证,在 地表中—低极化率异常的深部均见到较大规模金铜 钴矿体(图4)。

目前取得的找矿成果表明了地表中—低极化率 $(\eta \ge 1.8\%)$ 、中高阻 $(\rho \ge 1500 \Omega \cdot m)$ 和深部激电 测深异常是铜金(钴)矿(化)体综合反映的结果。

综上所述,初步建立矿区物探找矿模式为,闪长 岩体—玄武岩接触带+中—低极化+中—高阻。

3.4 综合找矿方法组合

- (1)针对1:20万土壤地球化学主要成矿元素 (Au、Cu、Co、As)异常浓集中心进行踏勘,寻找地表 矿化蚀变带,初步确定矿化类型、强度及范围。以地 表 Cu—Au 矿化蚀变带为目标开展 1:1 万土壤地 球化学测量,得到 Au—Cu—As—Sb—Mo—Ag 综合 异常,进一步查明矿化蚀变带地球化学特征,发现新 的化探异常,并进一步开展异常检查工作。
- (2)以地表孔雀石、褐铁矿、黄铁矿、辉铜矿和 绿帘石化、绿泥石化、硅化、高岭土化矿化蚀变带为 重点,开展1:1万地质专项填图,确定矿化蚀变带 形态、规模、产状及其与地层、岩体和构造的相互关 系,查明赋矿岩石类型:以探槽为手段并结合1: 2000 地质填图对地表矿化蚀变带进行系统揭露,详 细确定地表矿体及矿化体的数量、形状、规模、产状、 品位变化等特征。
- (3)以地表矿化蚀变带为主要工作对象,开展 地面物探电法剖面测量工作,圈定物探激电异常(η ≥1.8%, ρ ≥1000 $\Omega \cdot m$),并结合化探、地表地质填 图、工程施工等成果对物探异常进行优选。对矿区 24 和 26 线激电异常进行钻探工程验证,具有较好 的找矿效果,表明了激电异常对应了矿(化)体范围 和规模变化等特征,尤其是宽缓的激电异常,可能是 深部隐伏富矿的反映。

表 1 新疆准噶尔东北缘蕴都卡拉矿区 1:20 万化探异常特征

Table 1 Geochemical features of the Yundukala Au-Cu-Co deposit in the Northeastern margin of Junggar, Xinjiang, obtained from 1: 200000 geochemical survey

元素	Cu	Au	Ag	As	Sb	Co	Мо	Sn	Pb	Zn
阿尔泰及北准噶尔背景值	15.30	0.49	0.05	2. 22	0. 21	10.4	0.49	2. 52	11. 90	65.00
矿区平均值	50.00	2.00	0.05	15.00	0.80	9. 24	0.80	1.75	15.00	65.00
矿区标准离差	576. 1	56.86	0.06	74. 81	5. 84	6. 52	3. 45	1. 19	17. 68	43.55
矿区变异系数	9.61	28.43	1.20	4. 99	7. 30	0.71	4. 31	0.68	1.18	0. 67
区域浓度系数	3. 27	4. 08	0.98	6. 76	3.81	0.89	1. 22	0. 69	1.26	1.00

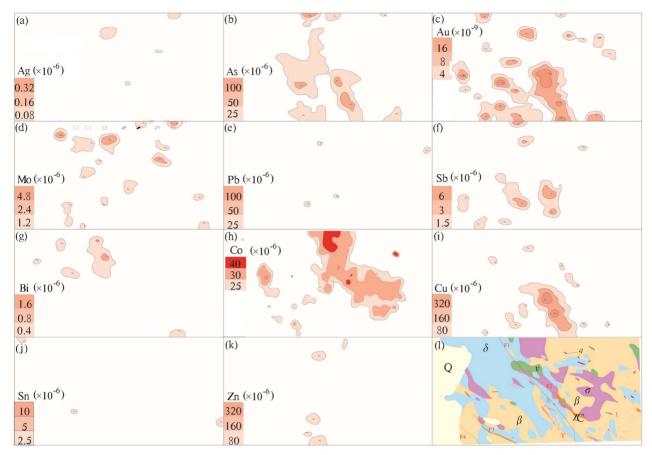


图 3 新疆准噶尔东北缘蕴都卡拉矿区地质—地球化学异常略图 ❷(图例同图 1c)

Fig. 3 Sketch map showing geological and geochemical anomalous of the Yundukala Au—Cu—Co deposit in the Northeastern margin of Junggar, Xinjiang (the legends are the same to fig. 1c)

(4)针对 04 和 24 号勘探线的激电异常,结合地表矿化情况开展了激电测深工作,圈定了异常(η≥2%,ρ≥600 Ω·m),查明异常与矿化的关系,大致确定异常形态、强度、埋深。通过后期钻探工作验证均取得较好的找矿效果,表明了激电测深异常对矿化体在 300m 以上的空间分布位置、产状有较明显的反映。特别是对隐伏矿顶板的埋深判断准确,因此该方法对指导深部钻探工程的部署及寻找隐伏矿体具有重要意义。

4 矿床成因、找矿模型及前景分析

4.1 矿床成因

蕴都卡拉金铜钴矿区矿化受闪长岩—玄武岩接触带和构造破碎带控制,矿化主要分布于内外接触带与构造破碎带中。与成矿有关的围岩蚀变主要为硅化、黄铁矿化,其次是绿帘石化、绿泥石化、碳酸盐化。矿化类型为浸染状、细脉—浸染状、细脉状、团

斑状、稠密浸染状、块状。成矿元素为 Cu、Au、Co。这些特征均表明,蕴都卡拉金铜钴矿床主要为与闪长岩有关的热液脉状矿床,局部与构造热液活动有关。

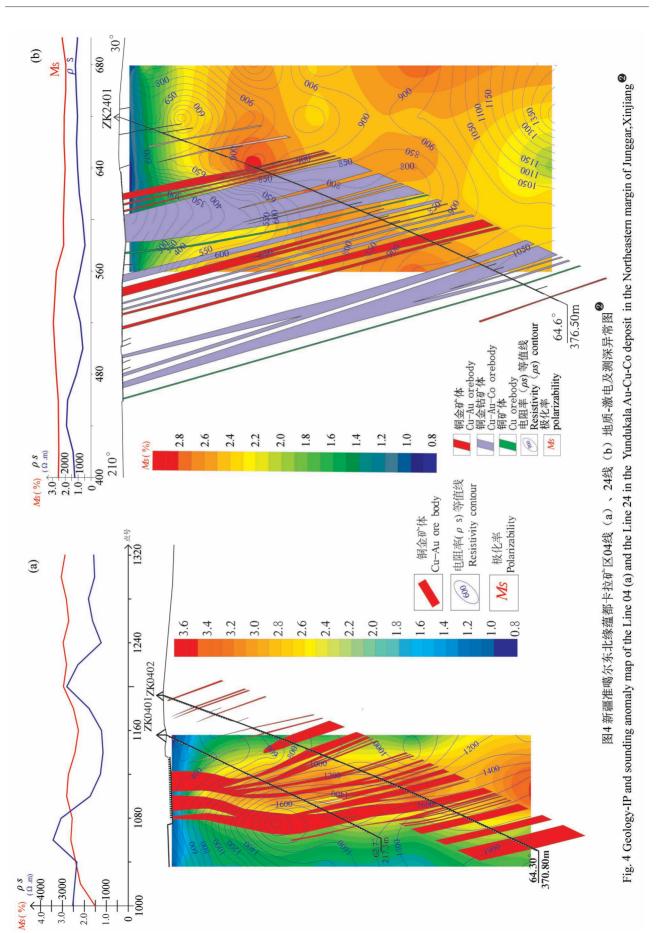
4.2 综合找矿模型

根据蕴都卡拉金铜钴矿床的地质、地球物理、地球化学和找矿勘查实践获得的相关信息建立了该矿床的找矿模式(表2)。

4.3 找矿前景分析

4.3.1 区域前景分析

矿区处于新疆重要的金—铜—铁—铬成矿带,带内断裂构造发育,火山作用、岩浆侵入活动频繁,区域化探异常发育,Cu、Au、Pb、Zn、Ni、Fe等成矿元素异常强度高、分布面积广、套合好,异常多具矿致异常的特征。2016~2018年通过地质矿产调查评价工作新发现了以蕴都卡拉金铜钴多金属矿床、杜热铜金矿等为代表的一系列矿床(点)。其矿化类型



多、矿化成因具有明显的多期多阶段特点。蕴都卡拉一带近年来虽取得一定成果,但总体工作程度低,目前所发现的矿床(点)均处于调查评价与预查阶段,另有众多的物化探异常尚未开展系统的评价,因此找矿潜力还很大。通过大量的、系统的地质勘查工作投入,在该区实现地质找矿重大突破的潜力巨大。

4.3.2 矿区前景向分析

- (1)目前矿区钻探施工结果表明铜、金、钴矿体稳定延伸,具分支变化,沿走向和倾向均有分支复合的趋势,在深部与地表均未控制,深部物探异常未封闭,矿体延伸追索、增储前景较好。
- (2)依据找矿标志和铜、金、钴矿体勘查成果, 对其余各矿体沿走向和倾向进行追索、控制,具有较 大的找矿潜力。
- (3)综合矿区地物化特征,矿区内还有众多物 化探异常未得到查证,显示了矿区较好找矿前景。
 - (4)由于蕴都卡拉一带工作程度较低,矿区北

部和东部存在与该矿区具有相似地物化特征,且未 开展系统勘查工作的异常较多;以蕴都卡拉矿区为 依托,运用就矿找矿理论为指导,针对地物化异常开 展勘查工作,扩大该矿区的找矿突破。

5 结论

- (1)蕴都卡拉金铜钴矿床位于准噶尔北缘扎河 坝地区,赋存于中泥盆统北塔山组玄武岩与石炭纪 闪长岩接触带、构造破碎带中。矿化体呈细脉状、细 脉浸染状,矿床类型主要为与闪长岩有关的热液脉 状矿床。
- (2)利用 1:1 万地质填图详细圈定地表矿化体,结合地表槽探工程圈定矿体、矿化体,在此基础上开展物探电法测量工作,研究地表矿化蚀变带、矿(化)体与物探异常($\eta \ge 1.8\%$, $\rho \ge 1000$ $\Omega \cdot m$)的对应关系,选择地表物探异常及矿化较好部位开展物探激电测深($\eta \ge 2\%$, $\rho \ge 600$ $\Omega \cdot m$),进而指导钻探工作部署。这是最有效的找矿技术方法组合。

表 2 新疆准噶尔东北缘蕴都卡拉铜多金属矿地质—地球物理—地球化学找矿模式
Table 2 Geological—geophysical—geochemical prosecting model of the Yundukala Au—Cu—Co deposit
in the Northeastern margin of Junggar, Xinjiang

	标志类别	标志或信息					
区域背景	地质构造	位于阿尔曼太沟弧带—萨吾尔—二台晚古生代岛弧带结合部位					
	地球物理场	矿区处于北东—南西向的重力梯度带上;矿区处于面状负磁背景叠加正磁异常条带中,异常带长大于 20 km 宽 5~20 km,异常展布方向与区域地层、构造及矿化带方向基本一致					
	地球化学场	处于 1:20 万化探铜金异常区。前者异常组合为 Au、Cu、As、Mo、Cr、Ni、Co 等, Au 峰值为 6.28×10 ⁻⁹ ; Cu 峰值 为 65×10 ⁻⁶ ; Co 峰值 60.9×10 ⁻⁶ ; As 峰值 158×10 ⁻⁶					
地质	地层	中泥盆统北塔山组中基性火山岩					
	构造	北西—南东向断裂为主,北北西向断裂次之,南部有区域性 NW 向大断裂通过					
	岩浆岩	石炭纪闪长岩、闪长玢岩岩株					
	围岩蚀变	硅化、绢云母化、黏土化、碳酸盐化、绿泥石化、绿帘石化、高岭石化等,其中硅化、黄铁矿化与成矿关系最为密切					
	赋矿部位	闪长岩—玄武岩接触带、构造破碎带					
	矿床成因	与闪长岩有关的热液脉状矿床					
	直接找矿标志	孔雀石化、辉铜矿化、褐铁矿化					
地球物理	探测目标物	含矿岩石具中—低极化、中—高阻特征,其金属硫化物黄铁矿、黄铜矿、辉铜矿、辉砷钴矿等含量高					
	目标物物性特征	矿区中—低极化、中高阻异常多为矿致异常;高极化、低阻多为超基性岩所引起;中低阻、低极化体(η≤1.8%) 均为围岩					
地球化学	主要异常元素	Au 、Cu 、As 、Sb 、Mo 、Ag					
	主要元素值	Au 峰值 110×10 ⁻⁹ , Cu 峰值 1850×10 ⁻⁶ , As 峰值 270×10 ⁻⁶ , Co 峰值×10 ⁻⁶ , Sb 峰值 25×10 ⁻⁶ , Mo 峰值 24×10 ⁻⁶					
	主要元素形态 及分布	主要成矿元素 Au、Cu、Co 异常呈北西向宽缓带状分布于闪长岩—玄武岩接触部位,元素异常套合较好,与地表矿化蚀变带分布—致					

(3)通过对矿区一带地层、矿化蚀变带、矿(化)体特征及1:20万、1:1万化探异常与矿化的对应关系、矿(化)体物探特征等综合信息的研究,建立矿床地质—地球物理—地球化学找矿模式,总结了找矿方向,对矿区进一步勘查工作的开展提供依据。

致谢:本文成稿期间得到了中国地质科学院杨富全研究员,中国科学院广州地球化学研究所牛贺才研究员的指导和帮助,审稿专家及责任编辑为完善本文提出了宝贵的意见和建议,在此一并表示衷心的感谢。

注释 / Notes

- 新疆地质调査院. 2012. 中华人民共和国 1:25 万区域地质调査 修測・富蕴县和青河县幅.
- 新疆地矿局第四地质大队. 2018. 新疆富蕴县蕴都卡拉一带铜金矿预查报告.
- ❸ 地质部航空物探大队. 1983. 新疆额尔齐斯成矿区 1:20 万重力调查.
- ◆ 地质部航空物探大队. 1964. 1960~1964 年准噶尔盆地1:20万航空磁测工作总结报告.
- ⑤ 河南地矿局第一地质大队. 1988. 中华人民共和国 1:20 万水系 沉积物测量,富蕴县幅.

参考文献/References

(The literature whose publishing year followed by a "&" is in Chinese with English abstract; The literature whose publishing year followed by a "#" is in Chinese without English abstract)

- 安芳,朱永峰. 2007. 新疆哈图金矿蚀变岩型矿体地质和地球化学研究. 矿床地质, 26(6): 225~336.
- 冯京,张招崇. 2009. 阿尔泰山南缘中—酸性斑岩的地球化学特征及 其岩石成因探讨. 地质论评,55(1):58~72.
- 郭鹏志,沈利霞,葛文胜,薛运清,李文圣. 2012a. 新疆昭苏卡拉盖雷铜钴金矿区岩石地球化学特征. 地质找矿论丛, 27(3): 291~299.
- 郭鹏志,沈利霞,葛文胜,薛运清,李文圣.2012b.新疆昭苏卡拉盖 雷铜钴金矿床成矿流体特征研究.地质调查与研究,35(2):146~153
- 何国琦,李茂松,贾进斗,周辉. 2001. 论新疆东准噶尔蛇绿岩的时代 及其意义. 北京大学学报(自然科学版),37(6):852~858.
- 简平,刘敦一,张旗,张福勤,石玉若,施光海,张履桥,陶华. 2003. 蛇绿岩及蛇绿岩中浅色岩的 SHRIMP U-Pb 测年. 地学前沿,10:439~456.
- 李锦轶. 1995. 新疆东准噶尔蛇绿岩的基本特征和侵位历史. 岩石学报,(S1):73~84.
- 龙晓平,孙敏,袁超,肖文交,陈汉林,赵永久,蔡克大,李继亮. 2006. 东准噶尔石炭系火山岩的形成机制及其对准噶尔洋盆闭合时限的制约. 岩石学报,(1):31~40.
- 苏虎,弓小平,潘展超,韩琼,宋相龙,张燕波. 2015. 东准噶尔双泉金矿 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 测年及赋矿岩石地球化学特征. 新疆地质,33(2): 212~218.
- 许继峰, 梅厚钧, 于学元, 白正华, 牛贺才, 陈繁荣, 郑作平, 王强. 2001. 准噶尔北缘晚古生代岛弧中与俯冲作用有关的 adakite 火山岩: 消减板片部分熔融的产物. 科学通报, (8): 684~688.

- 杨富全,毛景文,闫升好. 2008. 新疆东准噶尔贝勒库都克锡矿床成矿时代及成矿作用. 地质论评,54(5): 626~640.
- 杨富全,张志欣,刘国仁,屈文俊,张立武,魏广智,刘锋,柴凤梅. 2012. 新疆准噶尔北缘玉勒肯哈腊苏斑岩铜矿床年代学研究. 岩石学报,28(7): 2029~2042.
- 应立娟,王登红,梁婷,周汝洪. 2009. 新疆乔夏哈拉铁铜金矿的矿床成因及其成矿模式. 矿床地质,28(2):211~217.
- 于学元,梅厚钧,姜福芝,罗才让,刘铁庚,白正华,杨学昌,王俊达. 1995.额尔齐斯火山岩和成矿作用.北京:科学出版社:1~244.
- 袁超,肖文交,陈汉林,李继亮,孙敏.2006.新疆东准噶尔扎河坝钾质 玄武岩的地球化学特征及其构造意义.地质学报,(2):254~ 263
- 张海祥,牛贺才,Hiroaki Sato,单强,于学元,Jun'ichi Ito,张旗. 2004. 新疆北部晚古生代埃达克岩、富铌玄武岩组合:古亚洲洋板块南向俯冲的证据. 高校地质学报,(1):106~113.
- 张招崇,周刚,闫升好,陈柏林,贺永康,柴凤梅,何立新. 2007. 阿尔泰山南缘晚古生代火山岩的地质地球化学特征及其对构造演化的启示. 地质学报,(3):344~358.
- 张元元,陈石,郭召杰,方世虎. 2009. 东准噶尔扎河坝地区古生代晚期火山岩的锆石 SHRIMP U-Pb 定年及其地质意义. 岩石学报, 25(3):506~514.
- 张元元,郭召杰. 2010. 准噶尔北部蛇绿岩形成时限新证据及其东、西 准噶尔蛇绿岩的对比研究. 岩石学报,26(2):421~430.
- 钟世华,申萍,潘鸿迪,郑国平,鄢瑜宏,李晶. 2015. 新疆西准噶尔苏云河钼矿床含矿岩体地球化学和年代学. 矿床地质,34(1):39~62.
- An Fang, Zhu Yongfeng. 2010. Native antimony in the Baogutu gold deposit (West Junggar, NW China): Its occurrence and origin. Ore Geology Review, 37: 214~223.
- Feng Jing, Zhang Zhaochong. 2009&. Geochemistry of the intermediate—acid porphyries on southern margin of the Altay Mountains and its implications for petrogenesis. Geological Review, 55(1): 58~72.
- Guo Pengzhi, Shen Lixia, Ge Wensheng, Xue Yunqing, Li Wensheng. 2012#. Geochemical characteristics of rocks in Kalagailei Cu—Co—Au deposit, Zhaosu, Xinjiang. Contributions to Geology and Mineral Resources Reserch, 27(3): 291~299.
- Guo Pengzhi, Shen Lixia, Ge Wensheng, Xue Yunqing, Li Wensheng. 2012#. Characteristics of ore-forming fluids in Kalagailei Cu—Co—Au deposit, Zhaosu, Xinjiang. Geological Survey and Research, 35 (2): 146~153.
- He Guoqi, Li Maosong, Jia Jingdou, Zhou Hui. 2001 &. A discussion on age and tectonic significance of ophiolite in eastern Junggar, Xinjiang. Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinensis, 37 (6): 852~858.
- Jian Ping, Liu Dunyi, Zhang Qi, Zhang Fuqin, Shi Yuruo, Shi Guanghai, Zhang Lüqiao, Tao Hua. 2003 #. SHRIMP dating of ophiolite and leucocratic rocks within ophiolite. Earth Science Frontiers, 10: 439~456.
- Li Jinyi. 1995#. Main characteristics and emplacement processes of the East Junggar ophiolites, Xinjiang, China. Acta Petrologica Sinica, 11(supp.): 73~84.
- Long Xiaoping, Sun Ming, Yuan Chao, Xiao Wenjiao, Chen Hanlin, Zhao Yongjiu, Cai Keda, Li Jiliang. 2006&. Genesis of Carboniferous volcanic rocks in the eastern Junggar: Constraints on the closure of the Junggar ocean. Acta Geologica Sinica, 22(1): 31~40.
- Pan Y M, Therens C. 2000. The Werner Lake Co—Cu—Au deposit of the English River Subprovince, Ontario, Canada: Evidence for an

- exhalative origin and effects of granulite facies metamorphism. Economic Geology, 95:1635~1656.
- Su Hu, Gong Xiaoping, Pan Zhanchao, Han Qiong, Sun Xianglong, Zhang Yanbo. 2015 #. LA-ICP-MS zircon U-Pb dating and oreforming geochemical characteristics of the Shuangquan gold deposit in east Junggar. Xinjiang Geology. 33(2): 212~218.
- Shen Ping, Pan Hongdi, Hattori Keiko, Cooke D R, Seitmuratova E. 2018. Large Paleozoic and Mesozoic porphyry deposits in the Central Asian Orogenic Belt: Geodynamic settings, magmatic sources, and genetic models. Gondwana Research, 58:161~194.
- Wang Zhihong, Sun Shu, Li Jiliang, Hou Quanlin, Qin Kezhang, Xiao Wenjiao, Hao Jie. 2003. Paleozoic tectonic evolution of the northern Xinjiang, China: Geochemical and geochronological constraint from the ophiolites. Tectoncs, 22(2): 1014~1029.
- Xu Jifeng, Mei Houjun, Yu Xueyuan, Bai Zhenghua, Niu Hecai, Chen Fanrong, Zhen Zuoping, Wang Qiang. 2001#. Adakites related to subduction in the northern margin of Junggar arc for the Late Paleozoic; Products of slab melting. Chinese Science Bulletin, 46: 684~988.
- Yang Fuquan, Mao Jingwen, Yan Shenhao. 2008&. Ore-forming age and ore-formation of the Beilekuduke tin deposit in east Junggar, Xinj iang. Geological Review, 54(5): 626~640.
- Yang Fuquan, Mao Jingwen, Frank B P, Franco P, Xia Haodong, Zhao Caisheng, Ye Huishou, Liu Feng. 2009. A review of the geological characteristics and geodynamic mechanisms of Late Paleozoic epithermal gold deposits in North Xinjiang, China. Ore Geology Review, 35:217~234.
- Yang Fuquan, Zhang Zhixing, Liu Guoren, Qu Wenjun, Zhang Lliwu, Wei Guangzhi, Liu Feng and Chai Fengmei. 2012&. Geochronology of Yulekenhalasu porphyry copper deposit in northern Junggar area, Xinjiang, China. Acta Petrologica Sinica, 28(7): 2029~2042.
- Ying Lijuan, Wang Denghong, Liang Ting, Zhou Ruhong. 2009 . Ore genesis and metallogenic model of Qiaoxiahala Fe—Cu—Au deposit in Xinjiang. Mineral Deposits, 28(2): 211~217.
- Yu Xueyuan, Mei Houjun, Jiang Fuzhi, Luo Cairang, Liu Tiegeng, Bai Zhenghua, Yang Xuechang, Yang junjie, Wang Junda. 1995#. The Irtysh Volcanic Rocks and Mineralization. Beijing; Science Press; 1

- ~ 244
- Yuan Chao, Xiao Wenjiao, Chen Hanlin, Li Jiliang, Sun Ming. 2006&.
 Zhaheba potassic basalt eastern Junggar (NW China):
 Geocheemical characteristics and tectonic implications. Acta
 Geologica Sinica, 80(2): 254~263.
- Zhang Haixiang, Niu Hecai, Hiroaki Sato, Shan Qiang, Yu Xueyuan, Ito Jun'ichi, Zhang Qi. 2004&, Late Paleozoic adakite and Nbenriched basalt from Northern Xijiang: Evidence for the southward subduction of the Paleo-Asian ocean. Geol. J. China Univ., 10 (1): 106~113.
- Zhang Yuanyuan, Chen Shi, Guo Zhaojie, Fang Shihu, 2009&. Zircon SHRIMP U-Pb dating of the Latest Paleozoic volcanic in Zhaheba area, eastern Junggar and its geological implication. Acta Petrologica Sinica, 25(3): 506~514.
- Zhang Yuanyuan, Guo Zhaojie. 2010&. New constraints on formation ages of ophiolites in northern Junggar and comparative study on their connection. Acta Petrologica Sinica, 26(2): 421~430.
- Zhang Zhaochong, Zhou Gang, Yan Shenhao, Chen Bailin, He Yongkang, Chai Fengmei, He Lixin. 2007 &. Geology and geochemistry of the Late Paleozoic volcanic rocks of the south margin of the Altai Mountains and implications for tectonic evolution. Acta Geologica Sinica, 81(3):344~358.
- Zhang Zhaochong, Mao Jingwen, Cai Jinghong, Kusky T M, Zhou Gang, Yan Shenhao, Zhao Li. 2008. Geochemistry of picrites and associated lavas of a Devonian island arc in the northern Junggar terrane, Xinjiang (NW China): Implictions for petrogenesis, arc mantle sources and tectonic setting. Lithos, 105(3~4):379~395.
- Zhang Zhaochong, Zhou Gang, Kusky T M, Yan Shenhao, Chen Bailin and Zhao Li. 2009. Late Paleozic volcanic record of the eastern Junggar terrane, Xinjiang, northwestern China: Major and trace element characteristics, Sr—Nd isotopics systematics and implications for tectonic evolution. Gondwana Research, 16(2): 201~215.
- Zhong Shihua, Shen Ping, Pan Hongdi, Zheng Guoping, Yan Yuhong, Li Jing. 2015#. Geochemistry and chronology of ore-bearing rocks in the Suyunhe molybdenum deposit, west Junggar, Xinjiang. Mineral Deposits, 34(1): 39~62.

Geological characteristics and prospect analysis of the Yundukala Au—Cu—Co deposit in the northeastern margin of Junggar, Xinjiang

ZHU Bopeng, ZHANG Hanqing, QIN Jihua, HE Lixin, HE Bin, ZHAO Jifeng, YANG Jianhong
No. 4 Geological Party, Xinjiang Bureau of Geology and Mineral Resources Exploration and Development, Altay, Xinjiang, 836500

Abstract: The Yundukala Au—Cu—Co deposit in the northeastern margin of Junggar is located in the Aermantai Au—Cu—Fe—Co metallogenic belt in Xinjiang, mainly occurring in intermediate—basic volcanic rocks and later emplaced diorites. The ductile—brittle shear deformation in the mining area is strong, mineralization and alteration are developed, mainly including chalcopyritization, pyritization, carbonatitation, silicification, serpentine petrification and chloritization. The ore bodies are mainly distributed in the chalcopyritization—pyritization—silicification zone in the basalt of, and the diorite intruding in, the Middle Devonian Beitashan Formation. The ore bodies are vein-like, layer-like and irregular. The deposit is in the aeromagnetic anomalies and the geochemical anomalies composed of elements such as Au, Cu, Ag, Mo, Cr, Ni, Co. The anomalous zone extends in the northwest—southeast direction and is a good indicator for the exploration of the deposit. In this paper, the

geological characteristics of the deposit is studied, the prospecting method is summarized, the comprehensive prospecting model is constructed and further prospecting direction is proposed to provide a basis for further exploration work in the mining area.

Keywords: prospecting model; Yundukara Au—Cu—Co deposit, Junggar, Xinjiang

Acknowledgements: This study was financially supported by pre-examination project of Au—Cu polymetallic deposit in Yundukara area (No. A17-3-XJ002), and the Natural Science Foundation of China (No. 41972079)

First author: ZHU Bopeng, male, born in 1986, engineer, mainly engaged in geological mineral research work; address: No. 4 Geological Party, Xinjiang Bureau of Geology and Mineral Resources Exploration and Development, Altay, Xinjiang, 836500; Email: 304620724@ qq. com

Manuscript received on: 2019-08-14; Accepted on: 2019-12-05; Edited by: ZHANG Yuxu

Doi: 10. 16509/j. georeview. 2020. 01. 010

中国与地质学有较密切关系的"世界学术期刊 影响力指数(WAJCI)"Q1、Q2期刊

中国科学文献计量评价研究中心、《中国学术期刊(光盘版)》电子杂志社有限公司、清华大学图书馆联合研发的《世界学术期刊影响力指数 WAJCI 年报》继 2018 年 12 月首发后,近日发布了 2019 年年报(WAJCI = World academic journals clout index)。

在坚持用引用频次这一文献计量学方法对期刊进行客观评价的基础上,对世界学术期刊评价进行了以下方法改进,实现了 1429 种中国学术期刊与 11659 种海外学术期刊"的同台竞技"。

- (1)统计源期刊遴选方法改进:《WAJCI 指数年报》在国际公认的优秀期刊数据库——科睿唯安的 WoS(Web of Science)数据库基础上,采用不低于 WoS 收录标准的标准遴选增补中国期刊作为统计源期刊。人选的中国期刊其国际影响力指数 WAJCI 不低于该学科 Q4 区 JCR 期刊的均值。2019版最终采用的统计源期刊共 22077种。涵盖了 113 个国家和地区,其中 WoS 数据库统计源期刊 21165种,增补中国期刊(特指有 CN号,下同)1160种。该报告统计了国外期刊引用中国期刊的引用频次,也统计了中国期刊引用国外期刊的引用频次,实现了国内国际期刊在同一引文数据库的同台竞技。打破了过去国际期刊评价与国内期刊评价两套独立系统的壁垒。扩充的中国优秀期刊更好地代表了中国期刊的发展实际水平。
- (2) 学科领域划分与国际接轨,专业细化,有利于交叉新兴学科期刊发展。《WAJCI 指数年报》2019 版按照 237 个学科领域(其中科技 175 个、社科 62 个)对 13088 种世界范围内传播较广、影响面较大、影响力较强的学术期刊发布了WAJCI,其中海外学术期刊 11659 种、中国期刊 1429 种,分学科呈现国内外期刊列表,有利于同质等效使用。
- (3) 期刊评价指标综合影响因子和总被引频次,克服单指标评价局限性,体现期刊"既要办好,也要办大"的导向,其

评价结果更加接近学者经验认识。《WAJCI 指数年报》2019版延续2018年提出的期刊综合评价指标 WAJCI 算法。对于某指定期刊 P:

 $CI_{\rm P} = \sqrt{2} - \sqrt{(1-A_{\rm P})^2 + (1-B_{\rm P})^2}$ 其中, $A_{\rm P}$ 、 $B_{\rm P}$ 分别为期刊 P 的影响因子($IF_{\rm P}$) 和总被引频次($IC_{\rm P}$) 在学科中的归一化值:

$$egin{align*} A_{
m P} &= rac{IF_{
m P} - IF_{
m \# A
ho m
ho d
ho}}{IF_{
m \# A
ho m
ho d
ho} - IF_{
m \# A
ho m
ho d
ho}} \ B_{
m P} &= rac{TC_{
m P} - TC_{
m \# A
ho m
ho d
ho}}{TC_{
m \# A
ho m
ho d
ho} + TC_{
m \# A
ho m
ho d
ho}} \ WAJCI_{
m P} &= rac{CI_{
m P}}{CI_{
m \# A
ho m
ho d
ho}} \ \end{array}$$

所以,WAJCI 是期刊在学科内的相对影响力,跨学科甚至跨年度比较均有一定意义。

(4) 对同学科期刊按 WAJCI 降序排列,前 25% 为"世界学术影响力 Q1 期刊"(简称"WAJCI-Q1 期刊");前 25%~50%为"WAJCI-Q2 期刊"。按《WAJCI 指数年报》(2019版),我国共有 10 种期刊的 WAJCI 指数进入世界前 5%(科技 5 种、社科 5 种),126 种期刊进入世界 Q1 区(科技 89 种、社科 37 种),288 种期刊位列世界 Q2 区(科技 193 种、社科 96 种)。

以下为与地质学有较密切关系的学术期刊,即《科学通报》、各有地质学专业的大学的学报等综合性期刊和与地质学存在交叉的《地理学报》、《石油学报、《煤炭学报》等期刊。Q1和Q2区分别按"WAJCI指数"自高到低排列,但由于不同期刊很可能分属于不同学科,分属于不同的统计总体,其"WAJCI指数"仅具相对可比性。少数期刊出现了两次或以上是因为其可以划归入多个不同学科。

(下转第179页)