

DOI:10.19751/j.cnki.61-1149/p.2020.01.012

地球化学块体理论在塔吉克斯坦 金资源潜力预测中的应用

范堡程¹, 张晶¹, 孟广路¹, 刘明义¹, 李慧英¹, САНГИН Абдумаматович²,
ТАВФИК Мирзоев², ХАСАНЗОЦА Сабзалии², АЛИШЕР Киргизович²

(1. 中国地质调查局西安地质调查中心/西北地质科技创新中心, 陕西 西安 710054;

2. 塔吉克斯坦地质总局, 塔吉克斯坦 杜尚别 735450)

摘 要:塔吉克斯坦位于中亚腹地, 大地构造位置上处于古亚洲与特提斯两大构造域的结合部位, 特殊的大地构造位置使其具有丰富的矿产资源。笔者以地球化学块体理论为指导, 借助低密度地球化学数据与区域地球化学信息分析系统, 从地球化学块体角度对塔吉克斯坦金矿资源潜力进行预测。塔吉克斯坦全境共圈定金地球化学块体8处, 结合已知金矿床及成矿地质背景对各金地球化学块体特征进行总结, 在综合研究的基础上, 认为塔吉克斯坦金资源潜力巨大, 按照金资源量由大到小的顺序依次为泽拉夫尚东金地球化学块体、卡拉马扎尔西金地球化学块体、泽拉夫尚西金地球化学块体、中帕米尔金地球化学块体、卡拉库里北金地球化学块体、东南帕米尔金地球化学块体、卡拉马扎尔东金地球化学块体和穆克苏金地球化学块体, 塔吉克斯坦南天山地区有发现超大型金矿的潜力。

关键词:地球化学块体; 塔吉克; 金矿; 资源预测

中图分类号: P618.51

文献标志码: A

文章编号: 1009-6248(2020)01-0138-08

Application of Geochemical Blocks Theory in the Prediction of Gold Resource Potential in Tajikistan

FAN Baocheng¹, ZHANG Jing¹, MENG Guanglu¹, LIU Mingyi¹, LI Huiying¹

САНГИН Абдумаматович², ТАВФИК Мирзоев², ХАСАНЗОЦА Сабзалии², АЛИШЕР Киргизович²

(1. Xi'an Center of China Geological Survey/Northwest China Center for Geoscience Innovation, Xi'an 710054, Shaanxi, China; 2. The Main Department of Geology under the Government of Tajikistan, Dushanbe 735450, Tajikistan)

Abstract: Tajikistan is located in the hinterland of Central Asia, the combination of Paleo-Asian tectonic and Tethys domains. Its special tectonic location makes it rich in mineral resources. Using low-density geochemical data and regional geochemical information system, this paper predicts the potential of gold resources in Tajikistan based on the theory of geochemical blocks. The characteristics of 8 gold geochemical blocks in Tajikistan were marked out based on the known

收稿日期: 2019-05-06; **修回日期:** 2019-11-28

基金项目: 中国地质调查局西安地质调查中心“中塔边界帕米尔成矿带优势矿产资源潜力评价”项目(121201011000150010), “乌兹别克斯坦、塔吉克斯坦及邻区矿产资源潜力评价”项目(12120114018601), “中亚地区大型铜金铀矿产资源潜力评价”项目(DD20190445)

作者简介: 范堡程(1983-), 男, 高级工程师, 主要从事中亚地区成矿规律研究及地球化学调查工作。E-mail: BaochengFan@163.com

gold deposits and metallogenic geological background. Through comprehensive study, it is concluded that Tajikistan has great potential of gold resources. The quantity of gold resource from large to small is as follows: Zerafshan, west Qatkal, Pejikent, central Pamir, north Karkul, south-east Pamir, east Qatkal and Mukcu. The southern Tianshan in Tajikistan has a potential to find a super-large deposit of gold.

Keywords: Geochemical blocks; Tajikistan; gold deposits; resources prediction

塔吉克斯坦矿产资源丰富,截至 2018 年年底,中国地质调查局西安地质调查中心完成了塔吉克斯坦全境基岩出露区的国家尺度水系沉积物地球化学调查工作,共计采取低密度地球化学样品 1 323 件,控制面积达到 12 万 km²。笔者在对塔吉克斯坦成矿规律认识的基础上,利用所取得的低密度地球化学数据借助区域地球化学信息分析系统,从地球化学块体角度对塔吉克斯坦金矿进行资源潜力预测。

1 理论基础

地球化学块体通常认为是在平面上具有一系列套合的地球化学异常结构,垂向上具有一定的深度,即认为是具有较大规模立体异常的地壳物质体(王学求等,2000,2013,2016)。能够为矿床的形成提供物质来源,实际上是有一系列大小不一的矿床密集分布在周围所形成的异常。谢学锦院士提出利用区域化探数据圈定地球化学块体,并将地球化学块体定义为面积大于 1 000 km² 以上的地球化学异常(XIE Xuejin,1999,2003,2010)。其含义是大型-超大型矿床的形成必须有巨量的物质供应量和元素聚集。由于地球的不均一性以及地球在不断演化中元素分布的再分配作用,在地壳内部形成富含各种金属的巨大岩块称为地球化学块体,它可为形成大型-超大型矿床提供巨量的成矿物质。在漫长的地质演化过程中,逐渐在地球化学块体内有利的地质构造部位富集,形成矿床密集区或超大型矿床(张晶等,2017)。通过对区域化探数据某些元素的套合和成矿元素供应量的研究,认识到这不仅可以剖析其块体内部结构,追踪成矿元素在地球化学块体中逐步浓集成矿的轨迹和部位,发现大型-超大型矿床“聚集”地点,而且还可以对地球化学块体内潜在的资源量进行预测(刘拓等,2003)。

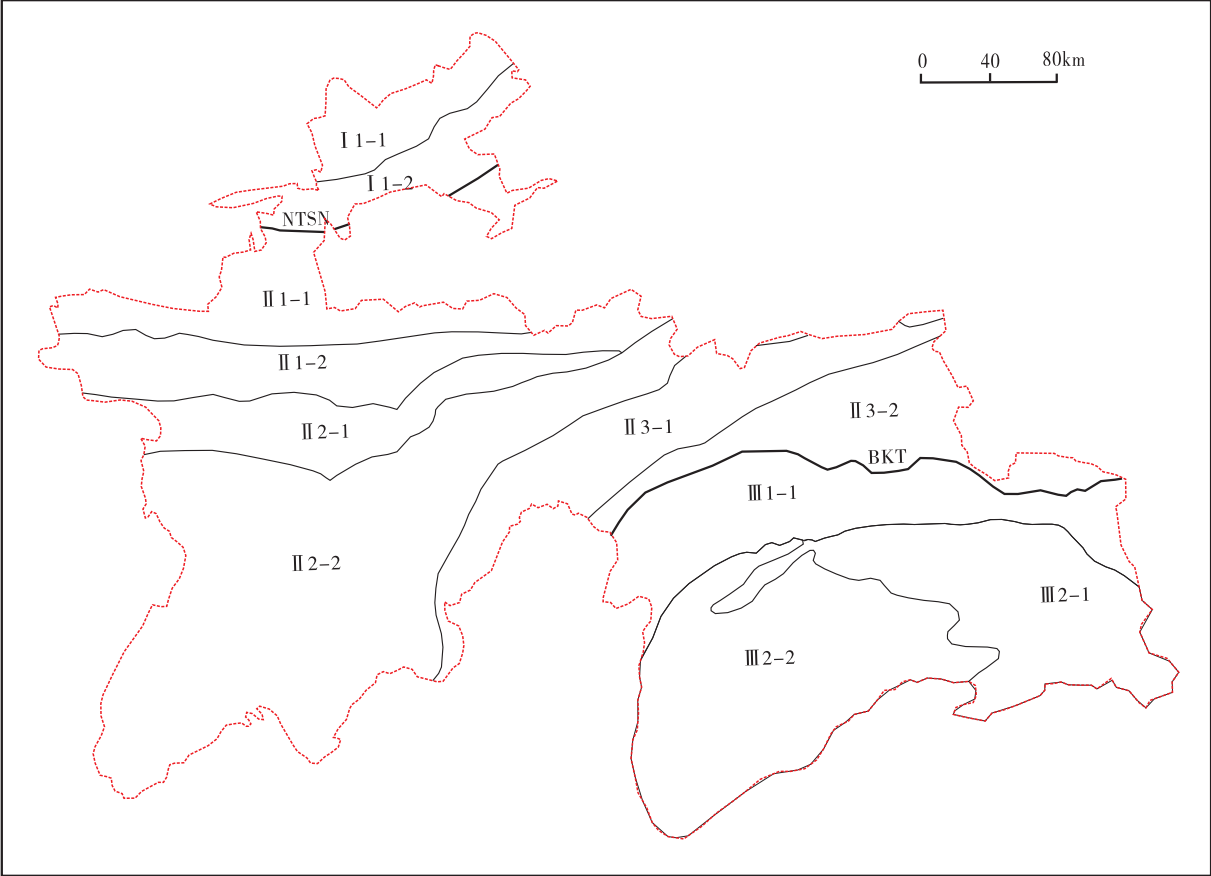
2 地质背景及金矿分布特征

2.1 地质背景

塔吉克斯坦大地构造位置上处于古亚洲及特提斯两大构造域的结合部位,哈萨克-准格尔、塔里木-卡拉库姆、土耳其-中伊朗-冈底斯三大板块的交汇处,分别由南天山缝合带(NTST)、巴米扬-康西瓦缝合带(BKT)所焊接,根据沉积建造及岩浆活动特点,结合收集的相关地质资料将塔吉克斯坦进一步划分为恰特卡尔陆块、费尔干纳陆块、塔里木-卡拉库姆北部陆缘、塔里木-卡拉库姆陆块、塔里木-卡拉库姆南部陆缘、塔尼玛西山-阿克赛钦陆块、米特拉姆-红旗拉普陆块等 7 个二级构造单元,以及 11 个三级构造单元(范堡程等,2015,2017)(图 1、表 1)。经历了南天山洋、特提斯洋的构造演化以及新生代以来印度板块与欧亚板块的俯冲碰撞作用,特殊的大地构造位置使其具有丰富的矿产资源。

2.2 金矿分布特征

塔吉克斯坦已知的金矿床、矿点超过 110 个,其中大部分都未开展过详细研究。南天山造山带泽拉夫尚断裂带内(南天山古生代弧前增生楔和泽拉夫尚陆缘拉伸盆地接触带)是塔吉克斯坦最主要的金矿产地,发育有大型岩金矿床 6 个,分别为塔罗、吉劳、乔列、东杜奥巴、乌奇科尔、上库马尔格金矿;中型岩金矿床 3 个,分别是吉日达尔瓦、沙赫巴斯、库姆-马诺尔(隋延辉等,2010)。在吉萨尔地块与泽拉夫尚陆缘拉伸盆地接触带分布有大型金矿康桥奇,小型金矿床、矿点迈胡拉、锡欧玛、舒图尔加尔丹、加扎拉等;在中天山恰特卡尔陆块卡拉马扎尔火山盆地,已知有 5 个小型金矿床:分别为阿普列列夫卡、克孜尔切库、布尔贡达、什科利诺耶、伊基热隆,多赋存于断裂构造带内,矿体在碳酸盐岩中呈裂隙脉状,在沉积岩与火山岩中呈细脉状-网脉状产出;在帕米



I 1-1. 卡拉马扎尔火山盆地；I 1-2. 南费尔干纳盆地；II 1-1. 南天山古生代弧前增生楔；II 1-2. 泽拉夫尚陆缘拉伸盆地；II 2-1. 吉萨尔地块；II 2-2. 卡拉库姆新生代盆地；II 3-1. 穆克苏伊晚古生代裂谷；II 3-2. 卡拉库里多期复合岩浆弧；III 1-1. 中帕米尔地块；III 2-1. 东南帕米尔前陆盆地；III 2-2. 西南帕米尔地块；NTSN. 南天山缝合带；BKT. 巴米扬-康西瓦缝合带

图 1 塔吉克斯坦构造单元划分图

Fig. 1 Diagram of tectonic unit division of Tajikistan

表 1 工作区构造划分表

Tab. 1 Table of tectonic partition of Research Area

构造域	一级构造单元	二级构造单元	三级构造单元
古亚洲构造域	Ⅰ 哈萨克-准格尔板块	Ⅰ ₁ 恰特卡尔陆块	Ⅰ ₁₋₁ 卡拉马扎尔火山盆地
		Ⅰ ₂ 费尔干纳陆块	Ⅰ ₁₋₂ 南费尔干纳盆地
	南天山缝合带 NTST		
	Ⅱ 塔里木-卡拉库姆板块	Ⅱ ₁ 塔里木-卡拉库姆北部陆缘区	Ⅱ ₁₋₁ 南天山古生代弧前增生楔
			Ⅱ ₁₋₂ 泽拉夫尚陆缘拉伸盆地
		Ⅱ ₂ 塔里木-卡拉库姆陆块	Ⅱ ₂₋₁ 吉萨尔地块(拜松地块)
			Ⅱ ₂₋₂ 卡拉库姆中新生代盆地
Ⅱ ₃ 塔里木-卡拉库姆南部陆缘	Ⅱ ₃₋₁ 北帕米尔穆克苏伊晚古生代裂谷		
	Ⅱ ₃₋₂ 北帕米尔卡拉库里多期复合岩浆弧(P-T)		
巴米扬-康西瓦缝合带 BKT			
特提斯-喜马拉雅构造域	Ⅲ 土耳其-中伊朗-冈底斯中间板块	Ⅲ ₁ 塔尼玛西山-阿克赛钦陆块	Ⅲ ₁₋₁ 中帕米尔地块
		Ⅲ ₂ 米特拉姆-红旗拉普陆块	Ⅲ ₂₋₁ 东南帕米尔前陆盆地
			Ⅲ ₂₋₂ 西南帕米尔地块

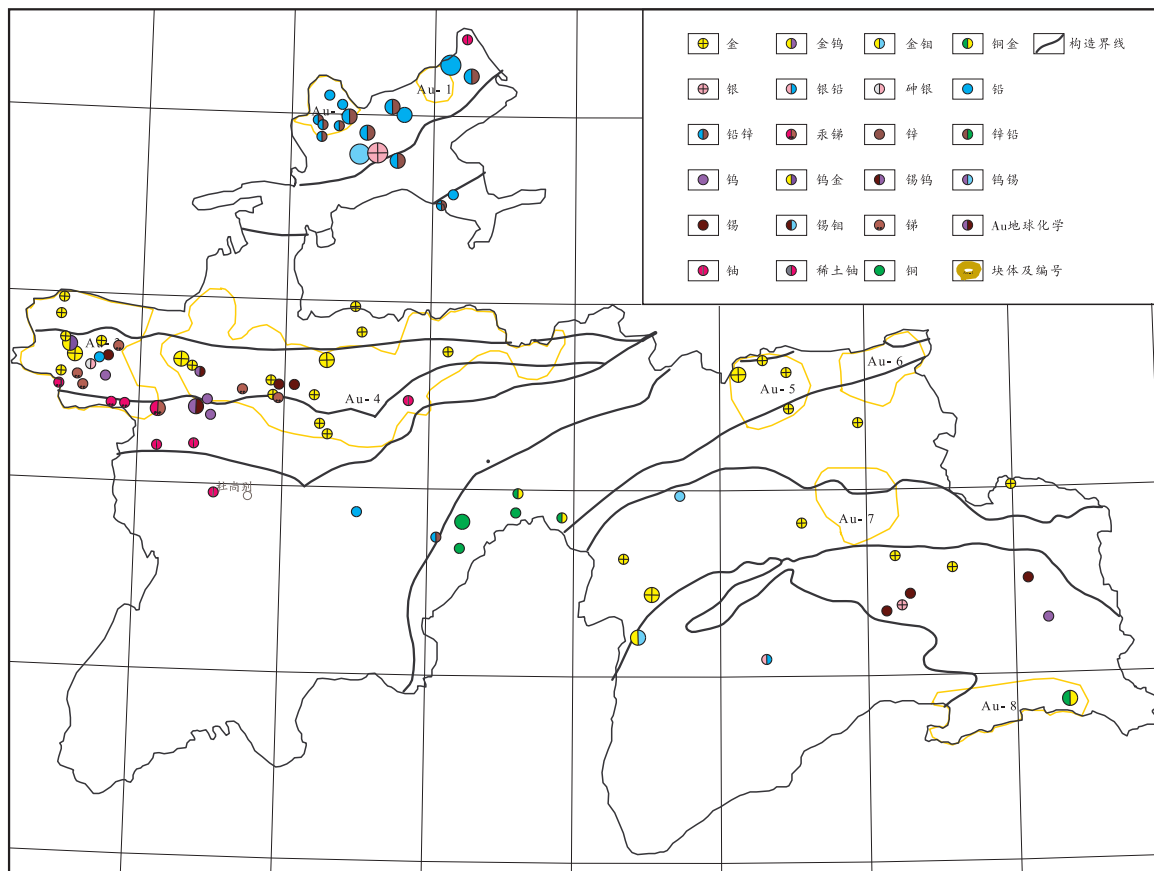
尔构造结也有少量产出,如在北帕米尔穆克苏伊晚古生代裂谷带空间上与下石炭统中-基性火山喷出岩重合,该岩带延伸长 300 km,向西南延伸至阿富汗境内,向东则延伸至中国,绍克赛金矿位于该带,该带还发育多处砂金矿;北帕米尔卡拉库里多期复合岩浆弧产出有郎库里金矿,该金矿已开采多年,其中金与石英-硫化物建造关系密切,郎库里金矿和绍克赛金矿,成矿时间不超过 10~20 Ma(АГЕЕВА. Л. И т. д, 1981);在东南帕米尔前陆盆地已知有卡拉吉尔加和西普沙尔特 2 个金矿点。

3 地球化学块体的圈定方法

笔者利用低密度地球化学数据对塔吉克斯坦 Au 地球化学块体进行了圈定,低密度地球化学样品采集密度大约平均 1 个样/100 km²,野外采样以 GPS 进行定位,采样介质为水系沉积物,粒度为小

于 10 目粒级。样品送实验室磨至 200 目,使用等离子质谱(ICP-MS)、等离子光谱法(ICP-OES)、石墨炉原子吸收(GF-AAS)、原子荧光法(AFS)和化学光谱法(CP-AES)进行元素分析。

采用 MAPGIS 系统空间分析模块中网格化数字模型绘制等值线的方法。采取 $X \pm 2s$ 以外的数据进行离群值反复剔除,直至无离群值出现,并选用剔除离群值后的算术平均值(X_a)作为背景值(C_b)。Au 元素以背景值加 2 倍离差($C_b + 2s$)作为异常下限(C_{at})。塔吉克斯坦 Au 背景值为 2.1×10^{-9} ,异常下限为 3.4×10^{-9} ,共圈定出 Au 地球化学块体 8 处,用于大型矿集区评价(图 2)。从北向南依次圈出卡拉马扎尔东(Au-1)、卡拉马扎尔西(Au-2)、泽拉夫尚西(Au-3)、泽拉夫尚东(Au-4)、穆克苏伊(Au-5)、卡拉库里北(Au-6)、中帕米尔(Au-7)、东南帕米尔(Au-8)等金地球化学块体。



Au-1. 卡拉马扎尔东金地球化学块体; Au-2. 卡拉马扎尔西金地球化学块体; Au-3. 泽拉夫尚西金地球化学块体; Au-4. 泽拉夫尚东金地球化学块体; Au-5. 穆克苏伊金地球化学块体; Au-6. 卡拉库里北金地球化学块体; Au-7. 中帕米尔金地球化学块体; Au-8. 东南帕米尔金地球化学块体

图 2 塔吉克斯坦 Au 地球化学块体分布图

Fig. 2 Geochemical Block Distribution of Gold in Tajikistan

4 地球化学块体金成矿潜力分析

4.1 卡拉马扎尔东金和卡拉马扎尔西金地球化学块体

卡拉马扎尔东和卡拉马扎尔西金地球化学块体分布在塔吉克斯坦中天山地区,大地构造位置上属于哈萨克-准格尔板块,南部紧邻南天山缝合带,恰特卡尔大断裂发育其中,北部为石炭—二叠纪火山盆地,南部广泛被第四系覆盖。区域上广泛发育石炭纪辉长-闪长岩、闪长岩、石英闪长岩、辉长岩、斜长花岗岩、斑状花岗岩、花岗闪长岩、石英二长岩等,除此在该区东部发育二叠纪正长岩、石英正长岩,三叠纪碱性花岗岩等。该地区晚古生代大面积火山喷出岩以及强烈的中酸性岩侵入活动,为该地区创造了良好的成矿环境。已知的矿床成因类型主要有火山-沉积型、矽卡岩型、热液型,其中以火山-沉积型铅锌银矿床最为重要。矽卡岩型和热液型矿床集中在侵入体与碳酸盐岩的接触带,与花岗斑岩、花岗闪长斑岩等次火山侵入岩及脉岩共生。卡拉马扎尔东金地球化学块体面积为 $1\,394.9\text{ km}^2$,分布在卡拉马扎尔火山盆地东部,浓集中心显著,最大异常值为 16.2×10^{-9} ,平均值为 9.31×10^{-9} ,衬度为 4.76,富集系数为 7.7,伴有 Pb、U 等元素的区域异常;卡拉马扎尔西金地球化学块体面积为 $4\,485.8\text{ km}^2$,分布在卡拉马扎尔火山盆地西部,浓集中心显著,最大异常值为 59.27×10^{-9} ,平均值为 38.81×10^{-9} ,衬度为 11.4,富集系数为 18.5,伴有 Ag、Pb、Zn、Cu、Sb 等元素的区域异常。

以上 2 个地球化学块体中发育有多个小型 Au 矿床和矿点,特别是卡拉马扎尔西金地球化学块体具有形成大型矿集区的潜力。

4.2 泽拉夫尚东和泽拉夫尚西金地球化学块体

这 2 个地球化学块体分布在塔吉克斯坦南天山,大地构造位置上涉及了北部的南天山古生代弧前增生楔,中部的泽拉夫尚陆缘拉伸盆地,以及南部的吉萨尔地块 3 个三级构造单元。北部的南天山晚古生代弧前增生楔,中志留统一上泥盆统发育岛弧火山岩建造(辉绿岩、凝灰岩、中酸性喷出岩组合、黏土质白云石化灰岩、黏土页岩、粉砂岩、砂岩、砾岩),说明南天山洋在志留纪时已开始向北(现代方位)俯冲,岩浆岩主要发育有维宪期闪长岩、石英闪长岩、辉长岩,土尔克斯坦期花岗岩,晚二叠—早三叠世碱

性、强碱性正长岩,霞石正长岩,说明晚二叠世开始该带已经进入碰撞造山阶段,该带目前发现有与石炭纪辉长岩、花岗岩类有关的中温热液脉状、网脉状金矿。中部的泽拉夫尚陆缘拉伸盆地,该带目前是塔吉克斯坦最为重要的金矿产地,包括塔罗、吉劳、乔列、东杜奥巴、乌奇科尔、上库马尔格金矿(БАРАТОВ Р. Б. Т. Д., 2005),与金有关的矿床类型包括矽卡岩型金和热液型矿床,其成矿时代现有资料显示与晚古生代岩浆作用有关(李宝强等, 2013),如与矽卡岩有关的塔吉克斯坦塔罗尔(Taror)铜金矿床和吉拉乌(Jilau)金矿床。南部的吉萨尔地块,早寒武世底部见有硅质含磷建造,平行不整合于含冰碛岩的震旦系之上,局部被中新界覆盖,晚古生代岩浆活动强烈,该成矿带是塔吉克斯坦重要的金、钨、锡、汞、锑、铝、铀等产地。矿产类型主要为与岩浆作用有关的矿床,主要有矽卡岩型及热液型矿床,成矿时代主要是古生代。

泽拉夫尚东 Au 地球化学块体范围跨越晚古生代弧前增生楔、泽拉夫尚陆缘拉伸盆地和吉萨尔地块 3 个三级构造单元,浓集中心该地球化学块体中部范围较大,发育有 Au、Ag、Sb、W、Sn、Cu、Zn 和 U 等单元元素区域异常,该地球化学块体为塔吉克斯坦面积最大,套合异常元素最多,是塔吉克斯坦形成大型矿产资源基地最有利的地区。面积达到 $38\,300\text{ km}^2$,最大异常值达到 284.4×10^{-9} ,平均值为 14.7×10^{-9} ,衬度为 4.3,富集系数为 7.0,该地球化学块体发育多个 Au 矿床、矿点,已知上库马尔、帕鲁特等金矿分布在该地球化学块体中,以上库马尔金矿和帕鲁特金矿为中心形成 2 个浓集中心,以上库马尔金浓集中心 Hg、Sb、As、Au 元素组合套合较好,以帕鲁特金浓集中心 W、Sn、Bi、Au 元素组合较好。

泽拉夫尚西金地球化学块体范围涉及到南天山晚古生代弧前增生楔、泽拉夫尚陆缘拉伸盆地和基萨尔地块等三级构造单元,浓集中心位于泽拉夫尚拉伸盆地,发育有 Au、Ag、W 单元元素区域异常,并且 Au-Hg-Sb-W-Sn 等元素套合的都很好,泽拉夫尚西金地球化学块体面积为 $15\,086\text{ km}^2$,最大异常值为 42.5×10^{-9} ,平均值为 9.91×10^{-9} ,衬度为 2.9,富集系数为 4.7。该地球化学块体发育多个 Au 矿床、矿点,已知塔罗金矿、吉劳金矿、康乔奇金矿均分布在该地球化学块体中,Au 异常浓集中心

以康乔奇金矿周围最为显著,并且 Au 浓集中心与 W、Sn、Hg、Sb 等元素组合套合都很好。

4.3 卡拉库里北和穆克苏伊金地球化学块体

这 2 个地球化学块体位于北帕米尔晚古生代裂谷带,区内出露的最老地层为元古宇变质岩系;下一中奥陶统为稳定的台型沉积;志留系、中泥盆统具类复理石建造特征;上泥盆统为海陆交互相复陆屑建造、类磨拉石建造;下石炭统为碳酸盐岩、碎屑岩、中-基性火山岩,中-上石炭统的滨-浅海相碎屑岩、碳酸盐岩层;二叠系下部为陆相磨拉石,不整合于石炭系之上;三叠统下部为陆相含煤建造,上部为陆相火山岩。岩浆活动以石炭纪最为强烈。矿床类型包括砂岩型铜金矿床、构造蚀变岩金矿床等。

穆克苏金地球化学块体除了发育 Au 元素异常外,还发育有 Sb、Cu 等元素区域异常。该 Au 地球化学块体面积为 $2\,207.6\text{ km}^2$,最大值为 8.6×10^{-9} ,平均异常值为 6.2×10^{-9} ,异常衬度为 2.8,富集系数为 4.6,并且该地球化学块体发育多处砂金矿床。

卡拉库里北金地球化学块体位于该构造带的最东端,区域上广泛发育弱蚀变的砂质、泥质板岩以及大理岩等,虽然目前该地球化学块体没有已知金矿床,但该处发育多处金矿化线索,异常检查捡块样分析最高达 $3\times 10^{-6}\sim 4\times 10^{-6}$ 。卡拉库里北金地球化学块体面积为 $6\,248.1\text{ km}^2$,最大异常值为 16.6×10^{-9} ,平均值为 9.7×10^{-9} ,衬度为 2.0,富集系数为 3.2。

4.4 中帕米尔金地球化学块体

中帕米尔金地球化学块体大地构造位置上属于中帕米尔地块,发育晚古生代一早中生代岩浆岩,包括石炭纪超基性岩、二叠纪基性-中酸性岩、二叠-三叠纪中酸性岩等。从成矿时代而论,该地区金矿(如 Bagu、Bikhchara、Chabarong 等)应属与晚古生代一早中生代岩浆作用有关的岩浆热液型(脉与网脉)矿床(点),其中部分可能属斑岩型,应为晚古生代(可延至三叠纪)造山期产物(李宝强等,2014)。

中帕米尔金地球化学块体由于工作程度低,目前已知该区发育 Au 矿点一处,除 Au 外还发育有 Sb、W、Zn、Cu 等元素区域异常。该地球化学块体

面积为 $6\,487\text{ km}^2$,最大值为 29.6×10^{-9} ,平均异常值为 12.6×10^{-9} ,异常衬度为 1.83,富集系数为 3.0。从地球化学数据分析,该地球化学块体是塔吉克斯坦帕米尔地区最有利形成 Au 大型矿产基地的地区。

4.5 东南帕米尔金地球化学块体

东南帕米尔金地球化学块体大地构造位置上属于东南帕米尔地块,受印度板块向北俯冲推挤作用,该地区中-新生代深成岩浆活动及逆冲推覆构造极为发育,特别是在侏罗纪末期及整个白垩纪运动强烈,伴随有大量的花岗岩类岩体侵入(ПЕЙВЕ. А. В. т. д, 1968)。该带发育古尼阿巴伊斑岩型的铜金矿床,成矿时代可能与燕山期-第三纪岩浆作用有关。

东南帕米尔金地球化学块体不仅局限于塔吉克斯坦境内,向阿富汗斯坦境内延伸,浓集中心在该地球化学块体的西部,还发育有 W、Cu 等区域地球化学异常,该 Au 地球化学块体面积为 $2\,489.7\text{ km}^2$,最高值为 14.6×10^{-9} ,平均异常值为 7.23×10^{-9} ,异常衬度为 3.75,富集系数为 6.1。

5 金资源潜力评价

大型矿集区的形成必须有巨量的成矿物质供应和聚集。因此,大型矿集区周围应该存在巨量的成矿元素赋集的地球化学块体。这些巨大的地球化学块体可以用国家尺度低密度地球化学方法发现(WANG Xueqiu, 1997, 1998, 2003)。大型、超大型矿床存在一系列套合的地球化学模式谱系,正是反应矿床成矿作用过程中成矿物质质量的供应水平。但是,并非地球化学块体中全部金属量在成矿作用过程中都会聚集成矿,只有部分在地质作用过程中才能聚集成矿。根据中国地质科学院地球物理地球化学勘察研究所对若干地区成矿利用金属量和推断金属储量的研究认为,地球化学块体内的金属量与聚集成矿金属量之间存在一定的关系。据此,根据圈定的 Au 地球化学块体面积,计算出地壳深度 500 m 范围内地球化学块体中可被利用的 Au 供应量和可形成具有经济价值金矿的潜在储量。最终获得的各地球化学块体形成潜在具有经济价值的金矿储量(表 2)。

表 2 塔吉克斯坦地球化学块体特征和金资源量及资源潜力一览表
Tab. 2 Geochemical Characteristics and Resource and Resource Potential in Tajikistan

地区	块体 编号	块体名称	异常下限 (10 ⁻⁹)	平均值 (10 ⁻⁹)	极大值 (10 ⁻⁹)	富集 系数	衬度	异常面积 (km ²)	可供应金 属量(t)	块体浓集 度(t/km ²)	金资源总 量(t)	成矿潜力 综合排序
中天山	Au-1	卡拉马扎尔东	3.4	9.31	16.2	7.7	4.76	1 394.9	17 531.8	12.5	87.66	7
	Au-2	卡拉马扎尔西	3.4	38.81	59.3	18.5	11.4	4 485.8	234 999	52.4	1 175.0	2
塔吉克斯坦中天山地区地球化学块体内 Au 元素总资源量(t)											1 262.7	B
南天山	Au-3	泽拉夫尚西	3.4	9.91	42.5	4.7	2.9	15 086.0	201 826	13.4	1 009.1	3
	Au-4	泽拉夫尚东	3.4	14.7	284.4	7.0	4.3	38 300.4	760 134	19.8	3 800.7	1
塔吉克斯坦南天山地区地球化学块体内 Au 元素总资源量(t)											4 809.8	A
北帕 米尔	Au-5	穆克苏伊	3.4	6.2	8.6	4.6	2.8	2 207.6	18 567	8.4	92.8	8
	Au-6	卡拉库里北	3.4	9.7	16.6	3.2	2.0	6 248.1	81 501	13.0	407.5	5
塔吉克斯坦北帕米尔地区地球化学块体内 Au 元素总资源量(t)											500.3	D
中帕米尔	Au-7	中帕米尔	3.4	12.6	29.6	3.0	1.83	6 487.0	110 044	17.0	550.2	4
塔吉克斯坦中帕米尔地区地球化学块体内 Au 元素总资源量(t)											550.2	C
南帕米尔	Au-8	东南帕米尔	3.4	14.6	14.6	6.0	3.70	2 489.7	21 227	8.53	106.1	6
塔吉克斯坦南帕米尔地区地球化学块体内 Au 元素总资源量(t)											106.1	E
塔吉克斯坦金地球化学块体内资源总量(t)											7 229.1	

注:异常下限为金地球化学块体中 Au 的最低含量值;平均值为金地球化学块体中 Au 平均含量;极大值为金地球化学块体范围内 Au 的最大值;富集系数为金地球化学块体中 Au 的平均值与研究区 Au 的背景值之比;衬度为金地球化学块体中 Au 平均值与 Au 异常下限之比;可供应金属量指的是金地球化学块体(块体厚度取 500 m,平均岩石密度取 2.7 kg/m³)(刘拓等,2003)内可提供成矿的 Au 元素总量;块体浓集度指的是单位面积内 Au 元素可供应量;资源总量指的是块体内 Au 元素可供应量与成矿率的乘积,它是地球化学块体内资源潜力评价的重要参数(其中,成矿率是指金块体内已探明矿床储量总和与所在块体内金属供应金属量的比值,笔者引用研究区相邻的新疆阿希金矿已探明上表储量 42.25 t 与对应块体的金可供应金属量的比值 0.005);A-E 分别为各地区金资源潜力排序号。

在综合研究的基础上,按照金资源量由大到小的顺序依次为泽拉夫尚东金地球化学块体、泽拉夫尚西金地球化学块体、卡拉马扎尔西金地球化学块体、中帕米尔金地球化学块体、卡拉库里北金地球化学块体、东南帕米尔金地球化学块体、卡拉马扎尔东金地球化学块体、穆克苏伊金地球化学块体。塔吉克斯坦金地球化学块体内金资源总量巨大,值得注意的是塔吉克斯坦南天山地区有发现世界级金矿的潜力。

参考文献(References):

谢学锦,邵跃,王学求,等. 走向 21 世纪矿产勘查地球化学[M]. 北京:地质出版社,1999.
XIE Xuejin, SHAO Yue, WANGXueqiu, et al. Toward 21st Century Mineral Exploration Geochemistry [M]. Bei-
jing: Geological Publishing House, 1999.

谢学锦. 2020 的勘查地球化学——从勘查地球化学到应用地球化学[J]. 地质通报, 2003, 22(11-12): 863-868.
XIE Xuejin. Exploration geochemistry in 2020—from explo-
ration geochemistry to applied geochemistry[J]. Geolog-
ical Bulletin of China, 2003, 22(11-12): 863-868.
谢学锦,任天祥,严光生,等. 进入 21 世纪中国化探发展路线
图[J]. 中国地质, 2010, 37(2): 243-267.
XIE Xuejin, REN Tianxiang, YAN Guangsheng, et al. 21st
Century s roadmap for exploration geochemistry in Chi-
na[J]. Ceology in China, 2010, 37(2): 243-267.
王学求,张必敏,叶荣. 纳米地球化学与覆盖区矿产勘查[J].
中国地质, 矿物岩石地球化学通报, 2016, 35(1): 43-51.
WANG Xueqiu, ZHANG Bimin, YE Rong. Nanogeochemis-
try for Mineral Exploraion Through Covers[J]. Bulletin
of Mineralogy, Petrology and Geochemistry, 2016, 35
(1): 43-51.
王学求. 勘查地球化学近十年进展[J]. 矿物岩石地球化学通
报, 2013, 32(2): 190-197.
WANG Xueqiu. A Decade of Exploration Geochemistry[J].

- Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry, 2013, 32(2): 190-197.
- 王学求, 谢学锦. 金的勘查地球化学——理论与方法战略与战术[M]. 济南: 山东科学技术出版社, 2000: 51-52.
- WANG Xueqiu, XIE Xuejin. Exploration Geochemistry of Gold—Theories and Methods Strategy and Tactics[M]. Jinan: Shandong Science and Technology Press, 2000: 51-52.
- 张晶, 李宝强, 李慧英. 区域地球化学方法在西天山地区成矿潜力评价中的应用[J]. 西北地质, 2017, 50(3): 162-172.
- ZHANG Jing, LI Baoqiang, LI Huiying. Application of Geochemical Method on the Prospecting Potential Evaluation of West Tianshan Belt in China[J]. Northwestern Geology, 2017, 50(3): 162-172.
- 刘拓, 王庆明, 郑启平. 新疆金地球化学块体内资源潜力评价及找矿方向探讨[J]. 新疆地质, 2003, 21(3): 298-302.
- LIU Tuo, WANG Qingming, ZHENG Qiping. Prediction of Resource Potential and Discussion About Prospecting-Directions of Gold Mineral Resources by Geochemical Blocks Theory in Xinjiang[J]. Xinjiang Geology, 2003, 21(3): 298-302.
- 范堡程, 孟广路, 刘明义, 等. 塔吉克斯坦成矿单元划分及其特征[J]. 地质科技情报, 2017, 36(2): 168-175.
- FAN Baocheng, MENG Guanglu, LIU Mingyi, et al. Division and Features of the Metallogenic Units in Tajikistan[J]. Geological Science and Technology Information, 2017, 36(2): 168-175.
- 范堡程, 李宝强, 孟广路, 等. 塔吉克斯坦二级成矿单元划分[J]. 矿物学报, 2015, (sl): 1076-1077.
- FAN Baocheng, LI Baoqiang, MENG Guanglu, et al. Division of secondary metallogenic units in Tajikistan[J]. Acta Mineralogica Sinica, 2015, (sl): 1076-1077.
- 范堡程, 李宝强, 计文化, 等. 吉尔吉斯马克马尔金矿床地质特征及其意义[J]. 西北地质, 2014, 47(1): 165-170.
- FAN Baocheng, LI Baoqiang, JI Wenhua, et al. Geological Characteristics and Significance of Makmal Gold Deposit, Kyrgyzstan[J]. Northwestern Geology, 2014, 47(1): 165-170.
- 范堡程, 孟广路, 王斌, 等. 吉尔吉斯塔拉斯—卡拉塔乌地块地质演化与成矿[J]. 西北地质, 2013, 46(2): 54-62.
- FAN Baocheng, MENG Guanglu, WANG Bin, et al. The Geological Evolution and Metallization of Talas-Kalatawu Block in Northern Tianshan, Kyrgyzstan[J]. Northwestern Geology, 2013, 46(2): 54-62.
- 隋艳辉. 塔吉克斯坦主要岩金矿床[J]. 新疆地质, 2010, 28(1): 99-103.
- SUI Yanhui. The Main Rock Gold Deposits in Tajikistan[J]. Xinjiang Geology, 2010, 28(1): 99-103.
- 李宝强, 孟广路, 祁世军, 等. 兴都库什—西昆仑成矿带地质矿产概论[M]. 北京: 地质出版社, 2013: 2-38.
- LI Baoqiang, MENG Guanglu, QI Shijun, et al. Introduction to Geology and Mineral Resources of the Kush-West Kunlun Metallogenic Belt, Xingdu[M]. Beijing: Geological Publishing House, 2013: 2-38.
- 李宝强, 孟广路, 王心泉, 等. 中国新疆及中亚邻区地质矿产图(1: 1500000)[M]. 北京: 地质出版社, 2014: 158-186.
- LI Baoqiang, MENG Guanglu, WANG Xinquan, et al. Geology and Mineral Resources in Xinjiang and Central Asia (1: 1500000)[M]. Beijing: Geological Publishing House, 2014: 158-186.
- ПЕЙВЕ. А. В. КУЗНЕЦОВА. К. Н. Тектоническое развитие восточного памира и роль горизонтальных движений в формировании его альпийской структуры[M]. Москва: Издательство НАУКА, 1968: 38-76.
- XIE X J. Surficial and superimposed geochemical exploration for giant ore deposits[A]// Clark A H. Giant ore deposits II [C]. Kingston, Canada: Queen's University Press, 1995: 475-485.
- XIE X J. Geochemical prediction method for giant ore deposits[A]// Xie X J, Shao Y, Wang X Q. Exploration geochemistry into the 21st Century[C]. Beijing: Geological Publishing House, 1999: 61-91(in Chinese).
- АГЕЕВА. Л. И. . АВЕРЬЯНОВ. Г. С., ДЫЩУК Ю. И. и др. К-Ar датирование рудных процессов в Рушанском районе(Памир). Докл. АН[J]. ТаджССР. 1981, 24(6): 372-375.
- БАРАТОВ. Р. Б., БУДАНОВ В. И. Геологические очерки Памиро-Алая[M]. Душанбе, 2005: 96-118.