

地球化学测量方法在东昆仑茫崖河东金矿中的应用及找矿效果

马文君^{1,2}, 谢海林^{1,2}, 李少南^{1,2*}, 王斌^{1,2}, 韩玉^{1,2}, 李培庚^{1,2}, 陈苏龙^{1,2*}, 王震^{1,2},
李斐斐^{1,2}, 马海云^{1,2}

1. 青海省第一地质勘查院, 青海 海东 810600;
2. 青海省柴达木周缘大型超大型金矿深部探测技术创新工程技术研究中心, 青海 海东 810600



摘要:茫崖河东金矿位于东昆仑成矿带西段祁漫塔格地区,属于典型的浅覆盖区,也是重要的金及多金属矿成矿集中区。为了实现该区金矿找矿突破,开展了1:2.5万地球化学测量工作,圈定金异常63处,以Au为主元素的综合异常5处。利用数理统计方法对Au、As和Sb这3种元素进行变异系数、相关性分析和聚类分析,结果显示:Au异常分布不均匀,离散程度较大,为主要成矿元素。通过开展1:1万土壤测量及异常查证工作,结合成矿地质条件和矿化特征,新发现含构造金蚀变带5条,带内圈定金矿体18条,矿床规模已达中型,构造叠加晕分析显示主矿体向深部延伸空间较大。研究表明:在茫崖河东地区开展不同尺度的地球化学测量工作,能够快速、准确地圈定金矿找矿靶区及矿化蚀变范围,取得了显著的找矿效果,能够有效评价深部找矿前景,是行之有效的找矿方法组合,可为同类型金矿找矿工作提供重要参考,值得推广应用。

关键词:地球化学测量;成矿地质条件;找矿靶区;找矿效果;茫崖河东金矿;东昆仑

中图分类号:P618.51 文献标志码:A 文章编号:1005-2518(2025)04-0717-18 DOI:10.11872/j.issn.1005-2518.2025.04.014
引用格式:马文君,谢海林,李少南,等.地球化学测量方法在东昆仑茫崖河东金矿中的应用及找矿效果[J].黄金科学技术,2025,33(4):717-734.MA Wenjun, XIE Hailin, LI Shaonan, et al. Application of Geochemical Survey Method in Mangyahedong Gold Deposit of East Kunlun and Its Prospecting Effect[J]. Gold Science and Technology, 2025, 33(4): 717-734.

东昆仑成矿带是我国著名的金腰带,具有多阶段成矿活动、成矿物质多期叠加的特征(王成勇等,2018)。其中,东昆仑东段先后发现了瓦勒尕、五龙沟、巴隆、阿斯哈、开荒北和果洛龙洼等一批大中型金矿床(闫臻等,2000;肖晔等,2014;国显正等,2018;张爱奎等,2021;梁改忠等,2022;张勇等,2023)。东昆仑西段已发现的金矿床数量少且规模小,研究人员从矿床地质特征和找矿潜力等方面对东昆仑西段少数金矿床进行了研究,初步总结了该

区域金矿成矿规律(潘彤等,2003,2008;李金超,2017;张爱奎等,2021;刘永乐等,2022)。截至目前,东昆仑成矿带西段尚未有大型金矿床的报道,达到中型规模的金矿床仅有它温查汉西和肯德可克,其余基本为小型或矿点规模,这与该地区优越的成矿地质背景和物化探异常不相匹配。

自20世纪90年代初开始,一直到2010年,研究人员在茫崖河东及其周边地区主要围绕砂卡岩型铁矿开展工作,先后发现了全红山、那东和茫崖

收稿日期:2024-12-16;修订日期:2025-04-02

基金项目:青海省地质矿产勘查开发局基金项目“东昆仑奥陶纪钴成矿环境及找矿潜力”(编号:青地矿科[2024]67号)和“青海省格尔木市长山—红卫山地区1:2.5万地球化学测量”(编号:青地矿科[2022]6号)联合资助

作者简介:马文君(1987—),男,青海海东人,高级工程师,从事战略性矿产勘查及研究工作。E-mail:414425506@qq.com

*通信作者:李少南(1985—),男,宁夏吴忠人,高级工程师,从事金矿矿产勘查工作。E-mail:690226320@qq.com

陈苏龙(1982—),男,甘肃定西人,高级工程师,从事矿产勘查及管理工作。E-mail:115507653@qq.com

© Editorial Department of Gold Science and Technology (CC BY-NC-ND)

河东铁矿(李海滨等,2018),很少开展金多金属矿的勘查评价工作。2010—2012年,前人在那陵格勒河中游地区开展的1/5万水系沉积物测量工作(张伟等,2023),圈定了多处Au为主的综合异常,但异常查证效果不明显,针对金矿找矿获得的有用找矿信息不足,地表找矿效果不理想。2015年,通过开展青藏专项大调查项目——“青海省格尔木市那东—黑石沟地区铜多金属矿调查评价”,在研究区发现了一些金矿化线索,但是由于受找矿方法和技术手段的限制,金矿找矿一直未能取得重大突破。

鉴于研究区具备良好的金矿成矿条件,为实现浅覆盖区金矿找矿突破,亟需建立一套高效的地球化学勘查方法体系。1:2.5万大比例尺地球化学测量作为一种成熟有效的地球化学勘查手段,在青海省东昆仑成矿带乌兰乌珠尔、沟里和五龙沟等地区取得了显著找矿成效,尤其在金矿勘查工作中发挥着重要作用(邱瑜等,2019)。综合研判研究区地球化学景观特征,本次采用1:2.5万地球化学测量与1:1万土壤测量相结合的大比例尺化探方法,通过分析元素地球化学和共生组合特征,并结合成矿地质条件,圈定出具有找矿指示意义的综合异常。同时,择优开展异常详细查证,新发现5条含金构造蚀变带,圈定金矿体18条,初步估算矿床规模达中型,实现了该地区金矿找矿的首次重大突破。通过进一步开展构造叠加晕分析,证实研究区金矿主矿体深部具有较大的延伸空间。该套找矿方法组合有效揭示了不同尺度地球化学测量对金矿勘查的指示作用,取得了良好效果,为区域找矿工作提供了示范。

1 地质背景

1.1 区域地质背景

茫崖河东金矿大地构造位置处于秦祁昆造山系—东昆仑造山带—昆北复合岩浆弧内(祁生胜等,2019)。Ⅳ级成矿区带处于秦祁昆成矿域、昆仑(造山带)成矿省、东昆仑成矿带(青海段)(Ⅲ-26)祁漫塔格—都兰成矿亚带(Ⅳ-26-1)(潘彤等,2022;何书跃等,2025;李少南等,2025)[图1(a)]。区内出露的主体地层主要为奥陶—志留系祁漫塔格群碎屑岩、火山岩、碳酸盐岩及古元古代金水口

群片岩和片麻岩等,局部出露早泥盆世陆相火山岩和少量早石炭世石拐子组(安勇胜等,2008)。区内侵入岩分布广泛,多以中—晚三叠世和晚泥盆世中酸性岩为主。由于受区域性断裂的影响,区内主要构造线多呈NW—SE向展布(张伟等,2023)。

1.2 矿区地质

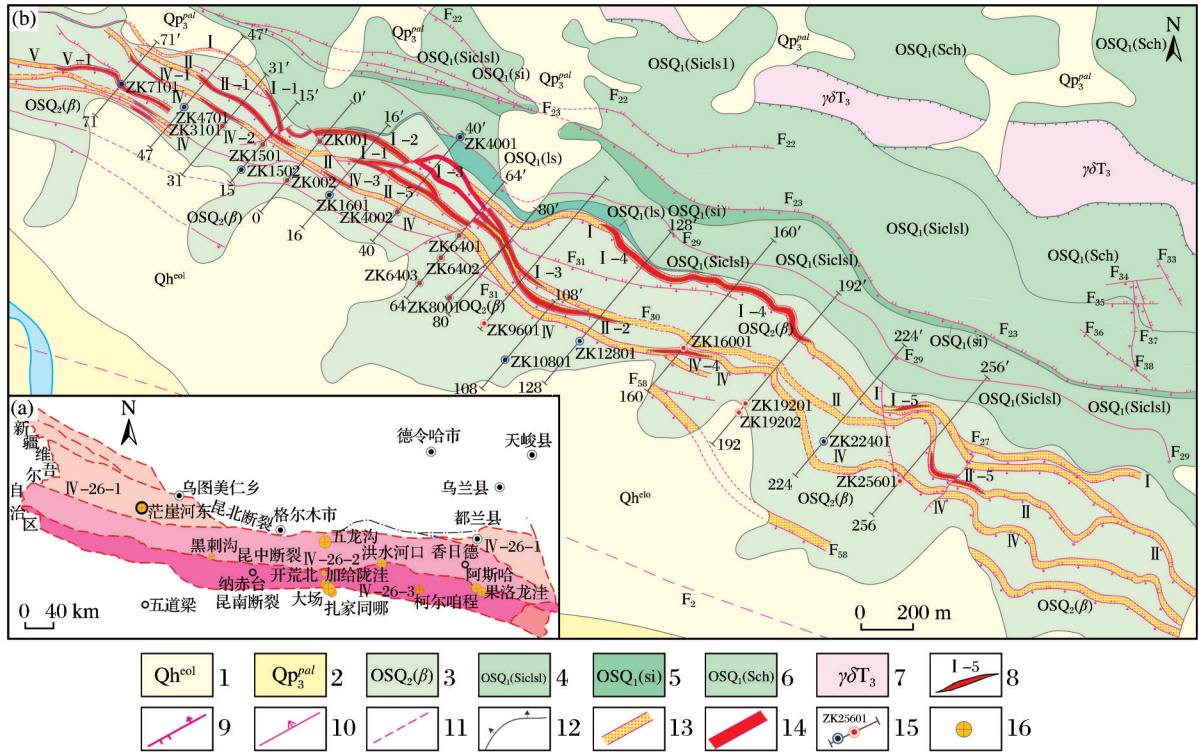
区内出露的主体地层为奥陶—志留系祁漫塔格群,为一套弧后盆地深海热水沉积岩、火山岩、碳酸盐岩和浊积岩建造(李少南等,2025)。其中,与金矿关系较为密切的祁漫塔格群火山岩组所在的巴音郭勒—苏海图火山岩带是一个相对独立的次级火山盆地,火山岩出露规模相对较大,在区域上有较大的延展性,玄武岩地层体总体呈NWW向展布,火山岩厚度由西向东具有减薄的趋势(王秉璋,2012)。

区内金矿带南、北两侧侵入岩大面积发育,岩石类型较为复杂(张爱奎等,2015),成带性好,岩性主要为晚三叠世二长花岗岩和正长花岗岩(马文君等,2024)。金矿带北东部出露少量印支期花岗闪长岩[图1(b)],出露面积约为1.03 km²,呈NWW向带状展布,与围岩祁漫塔格群碎屑岩组呈侵入接触关系。该岩体与地层接触面可见黄铁矿,晶形完整。

由于受区域深大断裂的影响,研究区内断裂发育,通过开展1:1万地质草测、高精度磁法解译及后期地表系统追索工作,划分出66条断裂,主要为NW向深大断裂和NW向次级断裂,其次为NE和近EW向断裂,NW向断裂是区内主要导矿和储矿构造(李少南等,2025)[图1(b)]。断裂附近岩石较破碎,形成构造破碎蚀变带,带内发育构造角砾岩、碎裂岩及黄褐色断层泥。蚀变带局部区段可见由断裂活动挤压及牵引形成的扭曲构造。该地区已发现茫崖河东金矿、茫崖河东铅锌矿、茫崖河东铁矿和茫崖河东钴镍矿,以及较好的钨矿化线索。

通过开展1:20万地球化学测量工作(安勇胜等,2008),在茫崖河东金矿及其周边圈定出AS_{Z2}²⁸CuV-CoNiAu(那陵格勒河)和AS_{Z2}²⁹CuSbVCoNiAu(开木棋河西)2处综合异常。异常内NW—SE向断裂发育,出露较大规模的中、晚三叠世、晚泥盆世中酸性侵入岩体,出露地层为奥陶—志留系祁漫塔格群(马文君等,2024)。Au元素峰值为5.5×10⁻⁹~14.5×10⁻⁹,面积为32~80 km²,Au、As和Sb元素套合较好。

通过开展1:5万化探工作,在茫崖河东金矿及



IV-26-1-东昆仑成矿带(青海段)—祁漫塔格—都兰成矿亚带; IV-26-2-东昆仑成矿带(青海段)—伯喀里克—香日德成矿亚带; IV-26-3-东昆仑成矿带(青海段)—东昆仑南部成矿亚带; 1. 风积物(第四纪); 2. 冲洪积砾石、砂土(第四纪); 3. 火山岩组强蚀变玄武岩(奥陶—志留系祁漫塔格群); 4. 碎屑岩组硅质黏土质板岩(奥陶—志留系祁漫塔格群); 5. 碎屑岩组硅质岩(奥陶—志留系祁漫塔格群); 6. 碎屑岩组绢云石英片岩(奥陶—志留系祁漫塔格群); 7. 花岗闪长岩(印支期); 8. 金矿体及编号; 9. 逆断层; 10. 性质不明断层; 11. 推测断层; 12. 侵入接触界限; 13. 含金构造蚀变带; 14. 金矿体; 15. 钻孔及编号; 16. 金矿床

图1 茫崖河东金矿区地质图(李少南等, 2025)

Fig. 1 Geological map of the Mangyahedong gold mining area (Li et al, 2025)

其南东部圈定了中央山 $HS_{\text{中}}^{34}\text{Cu}$ (V-Ni-Au-Co-As) 和红卫山 $HS_{\text{中}}^{40}\text{Au}$ (W-V-Ni-Sb-Cu-Co-As) 2 处以 Au 为主的综合异常, 金异常具有面积大 (14.40~44.54 km²) 和峰值高 (15.1×10⁻⁹~257.9×10⁻⁹) 的特点, 总体呈 NW-SE 走向带状展布, 与奥陶—志留系祁漫塔格群在区位上吻合, 异常重现性较好。茫崖河东金矿主矿带位于中央山 $HS_{\text{中}}^{34}\text{Cu}$ (V-Ni-Au-Co-As) 综合异常 Au20 子异常浓集中心。

2 地球化学特征

2.1 1:2.5 万地球化学测量样品采集及分析测试

水系沉积物测量作为一种高效的化探找矿方法, 被广泛应用于区域地球化学勘探及矿产普查工作中(胡兆国等, 2018; 徐云峰等, 2021; 梁东等, 2023)。本次采样严格按照《青海省 1:25 000 地球

化学测量规范》执行。遵循最有效控制汇水域、以有限的采样点取得最佳效果以及大致均匀的原则, 并充分考虑研究区景观特点及自然地理条件后扣除不可采区。在样品采集过程中, 尽可能避开风成沙和有机质的干扰, 使样品最大限度地代表采样单元基岩的化学成分。对采集样品进行系统编号, 并做好野外定点、标记及影像资料的采集。加工后的分析样重量均大于 150 g。本次工作共采集水系及岩屑样品 4 321 件(不含 50 件重复样), 采样粒级选择 -10~+60 目, 完成采样面积为 210.0 km², 采样平均密度为 20.8 个/km²。样品分析测试工作由青海省地质矿产测试应用中心完成, 共分析 15 种元素, 各项指标符合规范要求, 样品分析数据真实、质量可靠(王振等, 2023)。

2.2 1:2.5 万地球化学异常特征

为了查明茫崖河东地区地球化学特征, 圈定地

球化学异常,进一步缩小金矿勘查靶区,在长山—红卫山地区开展了1:2.5万地球化学测量工作,全区共圈定综合异常39处,其中本次研究区内圈定Au单元异常63处,以Au为主元素的综合异常5处。

(1) 元素组合特征

元素组合是反映研究对象地球化学特征的一组特殊指示元素,能够为找矿勘查提供有效的指示元素(张嘉升等,2023),为后续地球化学异常的准确解释、评价及确定矿(化)体成因类型提供理论依据。R型聚类分析(席明杰等,2013)可以揭示各因子元素之间的相关关系,从而去除一些冗余的地球化学信息,将能够反映研究区主要成矿特征的地球化学元素组合类型信息提炼出来,定量研究元素之间的聚集和分离(于俊博等,2014)。

为了解主要地质环境中元素聚集趋势和内在成因关联,掌握元素之间的组合关系,揭示区内经历的主要地质活动及作用(赵娟等,2021),本次利用全区Au、As和Sb等15种元素的原始数据集进行R型聚类分析和因子分析,发现2种方法的处理结果具有共同之处,均揭示了某种特定的地质环境和地质作用。进一步利用GeoExpl软件(多元地学空间数据管理与分析系统)对研究区内15种元素分析结果进行R型聚类分析,选取累计方差贡献达80%以上的8个主要因子,各因子变量载荷以0.6的绝对值为界,按大小排序形成结构式(表1)。区内地球化学元素分布特征与区内地质构造展布关系密切,通过应用旋转因子成果表达测区地球化学变化特征(邱炜等,2015),结合R型聚类分析、区内地质背景和特征元素变化系数等参数特征进行分析,R型聚类分析图谱如图2所示。

由表1可知,F4因子特征根为1.2113,特征根百分比为8.0756%,是本区第4个因子,元素组合为Au和As,载荷值均大于0.7,反映了与区内低温构造活动有关元素的因子。结合因子特征及其他地球化学特征可知,异常与区内奥陶—志留纪祁漫塔格群火山岩组及其内部发育的NW—SE向构造关系密切,属于奥陶—志留纪祁漫塔格群和NW向断裂构造控制的矿致异常。茫崖河东研究区已发现5条含金矿化蚀变带,金矿床规模达中型以上,金矿成矿事实清楚。

表1 主要因子结构式及特征根

Table 1 Structural formulas and characteristic roots of major factors

序号	特征根	特征根百分比/%	累计百分比/%	因子结构式
F1	3.8928	25.9522	25.9522	$\text{Cu}^{0.8948}\text{Co}^{0.9159}\text{Ni}^{-0.9537}\text{Cr}^{0.9262}$
F2	2.8617	19.0779	45.0301	$\text{W}^{0.8904}\text{Bi}^{0.8766}\text{F}^{0.798}$
F3	1.8392	12.2615	57.2916	$\text{Sb}^{0.7909}$
F4	1.2113	8.0756	65.3672	$\text{Au}^{0.9273}$
F5	0.9486	6.3242	71.6913	$\text{Ag}^{-0.8415}\text{Pb}^{-0.8028}$
F6	0.9022	6.0145	77.7059	$\text{Sn}^{0.9506}$
F7	0.6764	4.5096	82.2155	$\text{As}^{0.9408}$
F8	0.5590	3.7268	85.9423	$\text{Mo}^{-0.8702}$

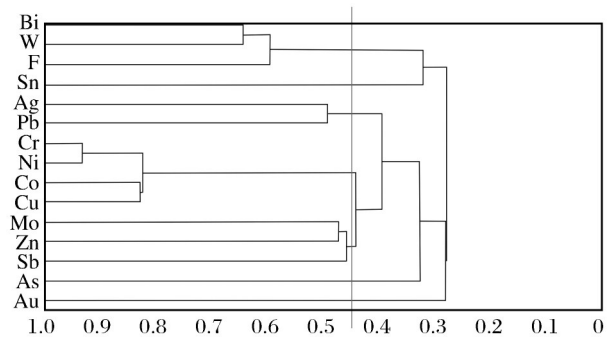


图2 水系沉积物元素R型聚类分析图谱(马文君等,2024)

Fig. 2 R-type cluster analysis pedigree of stream sediments elements(Ma et al, 2024)

(2) Au元素分布及富集特征

元素变化系数反映元素含量的相对离散程度(陈巧妹等,2019)。成矿作用是一个长期、多期且复杂的地质过程,导致不同元素在各期次地质体中的富集或贫化现象不尽相同。这种富集或贫化现象是基于元素背景值基础上的高低变化,是地质—地球化学共同作用的结果(马文君等,2024)。通常运用富集系数和变异系数等参数体现成矿过程中每个阶段地球化学元素的成矿能力。研究区内Au、As和Sb元素地球化学变量统计结果见表2。

全区4371件样品中Au元素含量平均丰度值为 2.02×10^{-9} ,大于青海省全省Au元素含量平均丰度值(1.35×10^{-9})(青海省三轮区划水系沉积物统计样本容量为73778件)。根据变异系数($C_v < 1.0$, $1.0 \leq C_v \leq 2.0$, $C_v > 2.0$)和富集系数($E_f < 1.25$, $1.25 \leq E_f \leq 2.0$, $E_f > 2.0$)双重指标对元素进行分类,将区内15种元素划分为均匀元素、不均匀元素和很不均匀

表2 茫崖河东地区 Au、As、Sb 元素地球化学变量统计
Table 2 Statistics of geochemical variables for Au, As, Sb elements in Mangyahedong area

元素	样品数/件	平均值	中位数	变异系数	富集系数	标准离差	最小值	最大值	极差
Au	4 371	2.02	0.7	14.59	2.38	29.4	0.30	1 710	1 709.7
As	4 371	21.7	7.5	4.66	4.94	101.3	0.50	4 343	4 342.5
Sb	4 371	1.39	0.5	2.67	4.09	3.71	0.07	152	151.93

注:平均数、中位数、标准离差、最小值、最大值和极差单位为 $\times 10^{-6}$

元素。由表2和图3可知,Au、As和Sb元素变异系数均大于2.0,呈强分异性(其中,奥陶纪祁漫塔格群火山岩组中Au元素变异系数达12.12);富集系

数均大于2.0,呈富集状态。Au、As和Sb元素具有富集程度高,分布极不均匀的特性,成矿可能性极大,这与目前在该地区发现的矿种十分吻合。

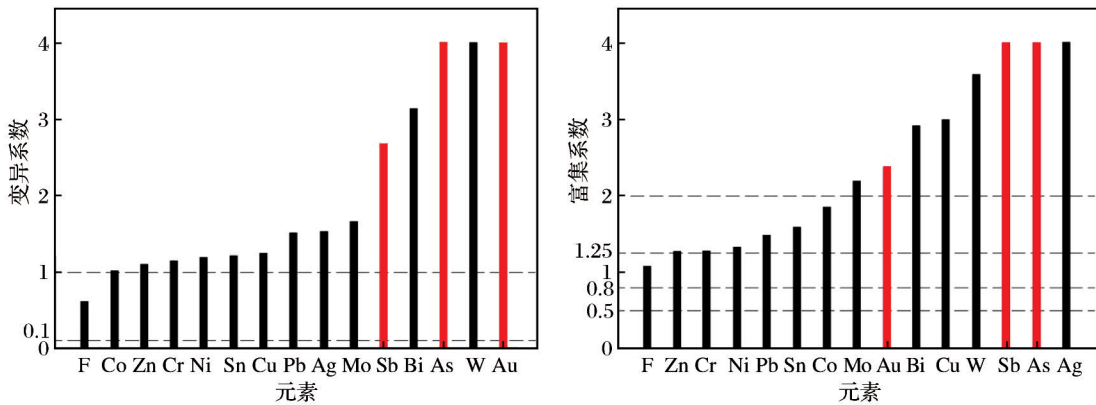


图3 茫崖河东地区各元素变异系数(a)及富集系数(b)排序

Fig. 3 Sorting of the mutation coefficient (a) and enrichment coefficient (b) of each element in the Mangyahedong area

进一步分析茫崖河东矿区各元素含量概率发现,Au、As和Sb元素呈现出一定的偏态分布,但元素峰值较高,证实了与深大断裂有关的金属成矿元素富集的事实,通过多期地质—地球化学作用的叠加,成矿可能性较大。

(3) Au 元素时空分布特征及变化趋势

为了解茫崖河东地区 Au、As 和 Sb 元素在不同地质单元的分布情况,通过水系沉积物数据对各地质单元中元素分配情况进行统计,结果见表3。Au 元素在金水口群(Pt₁J)、晚泥盆世牦牛山组(D₃m)及

表3 东昆仑成矿带茫崖河东地区 Au、As、Sb 元素在不同地质体分布特征

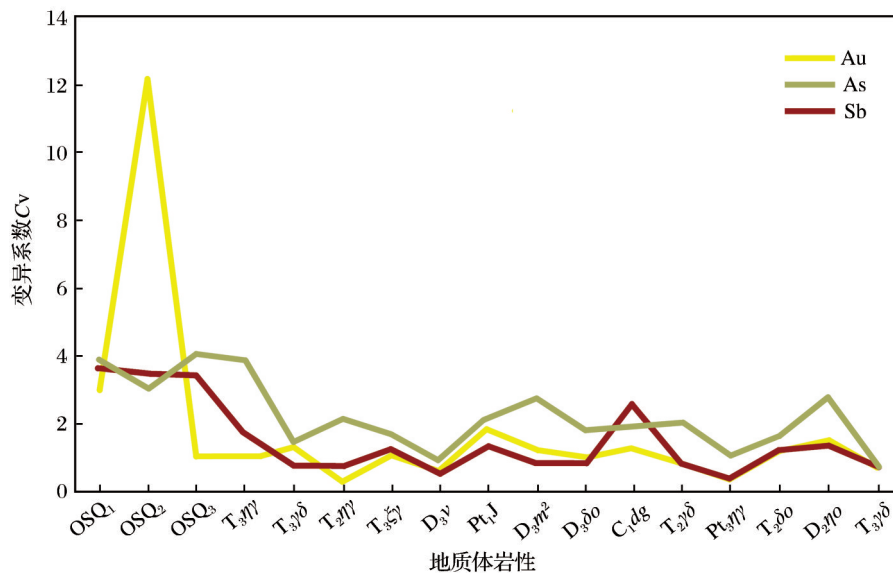
Table 3 Distribution characteristics of Au, As, Sb elements in different geological bodies in Mangyahedong area, Eastern Kunlun metallogenic belt

元素	特征值	OSQ ₁	OSQ ₂	OSQ ₃	T ₃ ηγ	D ₃ γδ	T ₂ ηγ	T ₃ ξγ	D ₃ ν	Pt ₁ J	D ₃ m ₂	D ₃ δo	C ₁ d _g	T ₂ γδ	Pt ₃ ηγ	T ₂ δo	D ₂ ηo	T ₃ γδ	全区
Au	X/($\times 10^{-9}$)	2.2	5.4	1.9	0.5	0.9	0.5	0.6	0.8	0.9	1	0.7	0.7	0.6	1.1	1.1	0.7	0.9	2
	S/($\times 10^{-9}$)	6.9	65.2	2.1	0.6	1.1	0.1	0.7	0.5	1.6	1.3	0.7	1	0.5	0.4	1.3	1.2	0.7	29.4
	C _v	3.12	12.12	1.08	1.07	1.32	0.32	1.07	0.65	1.85	1.28	1.05	1.28	0.86	0.39	1.16	1.54	0.79	14.59
As	X/($\times 10^{-6}$)	277.8	25.6	129.2	6.3	8.1	4.2	5.8	10.1	28	106.4	29.2	15.8	15.3	78	8.6	39.2	17.9	21.7
	S/($\times 10^{-6}$)	1 084.1	78.8	527.5	24.5	12.2	9	9.8	9.5	61.7	295.8	55.8	32.7	31.8	81.7	14.4	110.8	14.5	101.3
	C _v	3.9	3.08	4.08	3.88	1.51	2.13	1.69	0.94	2.2	2.78	1.91	2.07	2.07	1.05	1.68	2.83	0.81	4.66
Sb	X/($\times 10^{-6}$)	2.51	1.63	1.79	0.33	0.34	0.23	0.3	0.33	1.42	2.2	0.56	3.04	0.57	3.45	0.62	2.83	0.99	1.39
	S/($\times 10^{-6}$)	9.17	5.66	6.18	0.56	0.28	0.18	0.39	0.19	1.95	2.01	0.45	7.99	0.46	1.59	0.78	3.98	0.81	3.71
	C _v	3.65	3.46	3.45	1.71	0.83	0.77	1.31	0.56	1.37	0.91	0.8	2.63	0.81	0.46	1.25	1.41	0.83	2.67

注:X为算数平均值;S为标准离差;C_v为变异系数

中酸性岩体中的含量较低,普遍低于 1.0×10^{-9} ,祁漫塔格群碎屑岩组(OSQ₁)和碳酸盐组(OSQ₃)内 Au 元素含量平均值为 $1.9\times 10^{-9}\sim 2.2\times 10^{-9}$,与全区平均值接近,而火山岩组(OSQ₂)内 Au 元素含量平均值为 5.4×10^{-9} ,接近全区平均值的 3 倍(表 3 和图 4)。同时,在茫崖河东金矿采集的光谱样品测试结果显示,祁漫塔格群火山岩组内 Au 元素丰度值为 6.14×10^{-9} ,普遍高于祁漫塔格群碎屑岩组内 Au 元素丰度

值($1.29\times 10^{-9}\sim 2.64\times 10^{-9}$),与构造作用有关的片理化蚀变安山质玄武岩(9.83×10^{-9})、碎裂状蚀变安山质玄武岩(100.36×10^{-9})和构造角砾岩(45.25×10^{-9})相较完整的蚀变安山质玄武岩具有更明显的 Au 元素富集趋势,区内发育的各类侵入岩体和脉体 Au 元素丰度值为 $0.57\times 10^{-9}\sim 3.35\times 10^{-9}$,普遍偏低,说明区内祁漫塔格群火山岩组为金的初始矿源层(李少南等,2025)。



C₁dg-早石炭统大干沟组;D₃m²-晚泥盆统牦牛山组;OSQ₁-奥陶—志留系祁漫塔格群碎屑岩组;OSQ₂-奥陶—志留系祁漫塔格群火山岩组;OSQ₃-奥陶—志留系祁漫塔格群碳酸盐岩组;Pt₁J-古元古界金水口群;T₃γγ-晚三叠世二长花岗岩;T₃ξγ-晚三叠世正长花岗岩;T₃γδ-晚三叠世花岗闪长岩;T₂γγ-中三叠世二长花岗岩;T₂δo-中三叠世石英闪长岩;T₂γδ-中三叠世花岗闪长岩;D₃γ-晚泥盆世辉长岩;D₃δo-晚泥盆世石英闪长岩;D₃γδ-晚泥盆世花岗闪长岩;D₃ηo-晚泥盆世石英二长岩;Pt₃γγ-晚元古代片麻状二长花岗岩

图 4 不同地质体中 Au、As、Sb 元素含量变化

Fig. 4 Variation of Au, As, Sb elements content in different geological units

全区 Au 元素平均值为 2.02×10^{-9} ,最大值为 1.710×10^{-9} ;As 元素平均值为 21.74×10^{-6} ,最大值为 4.343×10^{-6} ;Sb 元素平均值为 1.39×10^{-6} ,最大值为 152×10^{-6} 。全区共圈定 Au 异常 65 处,其中发育外中带或外中内带的异常有 33 处(表 4 和图 5),主要分布在茫崖河东中央山、金牛滩和黑石沟一带出露的祁漫塔格群中,异常分布形态及区位与该套地层套合性较好。异常强度较高,多具有三级浓度分带,主要伴生元素为 Cu、Pb、Zn、Ni 和 Co。茫崖河东金矿一带异常面积大,带状分布明显,沿断裂两侧分布,展布方向呈 NW-SE 向,与断裂走向一致。通过衬值累加地球化学分析发现,Au、As 和 Sb 地球化学场变化规律基本一致,在全区呈带状分布(图 6)。

高背景浓集区主要沿 NW 向断裂浓集分布,表明在该范围 Au、As 和 Sb 低温热液矿化活动强烈,该地段是寻找构造蚀变岩型金矿的前景区。

(4) 典型异常特征

通过对研究区圈定的 5 个以 Au 为主的综合异常进行了查证,发现奥陶—志留系祁漫塔格群火山岩组(OQ₂)及该套地层中发育的断裂是 Au 异常产生的原因。就全区而言,GA_{11甲1}Au(Cu-Ni-As-Co-Pb)综合异常评序第一。通过地表追索及实施槽探、钻探工程后,发现了 5 条含金构造蚀变带,蚀变带内见矿效果好,充分说明研究区具有较好的成矿地球化学和地质条件,有必要作为典型异常进行研究。

表4 东昆仑成矿带茫崖河东地区主要Au异常特征

Table 4 Major Au abnormal characteristics in Mangyadong area, Eastern Kunlun metallogenic belt

异常 编号	异常 点数	异常 下限	异常 面积	排序	平均值	排序	极大值	排序	衬度	排序	AD	排序	AP	排序	NAD	排序	NAP	排序	分带
Au-13	8	3.00	0.3854	9	332.73	1	1 710.00	1	110.91	1	512.87	1	508.25	1	170.96	1	169.42	1	3
Au-16	11	3.00	0.4173	8	8.91	11	15.80	6	2.97	11	14.87	7	9.86	6	4.96	7	3.29	6	3
Au-17	5	3.00	0.1187	28	6.12	23	9.40	22	2.04	23	2.90	27	1.48	25	0.97	27	0.49	25	2
Au-21	15	3.00	0.5722	5	4.99	44	12.60	11	1.66	44	11.41	8	4.55	9	3.80	8	1.52	9	3
Au-22	38	3.00	1.7978	1	9.24	9	38.10	3	3.08	9	66.42	2	44.85	2	22.14	2	14.95	2	3
Au-30	1	3.00	0.0706	47	7.00	17	7.00	38	2.33	17	1.98	34	1.13	30	0.66	34	0.38	30	2
Au-33	2	3.00	0.0763	44	6.45	20	9.10	23	2.15	20	1.97	35	1.05	35	0.66	35	0.35	35	2
Au-36	3	3.00	0.0935	36	5.97	30	7.20	36	1.99	30	2.23	33	1.11	31	0.74	33	0.37	31	2
Au-39	2	3.00	0.0865	40	5.05	41	6.10	45	1.68	41	1.75	39	0.71	41	0.58	39	0.24	41	2
Au-44	4	3.00	0.1640	25	57.78	2	220.00	2	19.26	2	37.90	4	35.94	3	12.63	4	11.98	3	3
Au-45	1	3.00	0.0518	56	6.10	25	6.10	46	2.03	25	1.26	54	0.64	42	0.42	54	0.21	42	2
Au-47	2	3.00	0.0510	57	7.40	13	9.90	20	2.47	13	1.51	47	0.90	38	0.50	47	0.30	38	2
Au-51	5	3.00	0.2130	18	4.90	46	7.80	31	1.63	46	4.17	19	1.62	24	1.39	19	0.54	24	2
Au-52	6	3.00	0.2013	21	5.18	38	7.50	34	1.73	38	4.17	20	1.76	20	1.39	20	0.59	20	2
Au-55	14	3.00	0.5713	6	4.80	48	13.90	10	1.60	48	10.97	9	4.11	10	3.66	9	1.37	10	3
Au-58	4	3.00	0.2276	16	6.05	27	10.70	15	2.02	27	5.51	15	2.78	17	1.84	15	0.93	17	2
Au-61	6	3.00	0.2189	17	4.98	45	7.00	39	1.66	45	4.36	17	1.74	21	1.45	17	0.58	21	2
Au-62	3	3.00	0.1094	29	4.27	58	6.20	43	1.42	58	1.87	38	0.55	46	0.62	38	0.18	46	2
Au-63	42	3.00	1.7943	2	5.31	34	14.30	9	1.77	34	38.14	3	16.61	4	12.71	3	5.54	4	3
Au-65	1	3.00	0.0551	53	16.80	4	16.80	5	5.60	4	3.70	23	3.04	12	1.23	23	1.01	12	3
Au-68	9	3.00	0.2508	14	4.18	63	5.90	47	1.39	63	4.19	18	1.18	29	1.40	18	0.39	29	2
Au-71	1	3.00	0.0304	83	6.10	24	6.10	44	2.03	24	0.74	69	0.38	57	0.25	69	0.13	57	2
Au-74	10	3.00	0.3419	11	5.21	35	8.60	26	1.74	35	7.13	13	3.02	13	2.38	13	1.01	13	2
Au-75	9	3.00	0.3712	10	5.03	42	6.90	40	1.68	42	7.47	12	3.02	14	2.49	12	1.01	14	2
Au-77	3	3.00	0.0701	48	5.53	31	7.50	33	1.84	31	1.55	44	0.71	40	0.52	44	0.24	40	2
Au-80	6	3.00	0.1875	22	5.18	37	6.50	42	1.73	37	3.89	22	1.64	23	1.30	22	0.55	23	2
Au-84	20	3.00	0.8889	4	6.08	26	15.40	7	2.03	26	21.62	5	10.95	5	7.21	5	3.65	5	2
Au-85	3	3.00	0.1333	27	6.33	21	10.80	14	2.11	21	3.38	24	1.78	19	1.13	24	0.59	19	2
Au-88	9	3.00	0.5639	7	4.31	56	8.00	28	1.44	56	9.72	10	2.96	15	3.24	10	0.99	15	2
Au-89	7	3.00	0.2855	12	5.51	32	7.90	29	1.84	32	6.30	14	2.87	16	2.10	14	0.96	16	2
Au-90	17	3.00	0.9149	3	5.08	40	12.60	12	1.69	40	18.60	6	7.62	7	6.20	6	2.54	7	3
Au-92	6	3.00	0.2830	13	7.22	14	14.40	8	2.41	14	8.17	11	4.77	8	2.72	11	1.59	8	3
Au-93	1	3.00	0.0491	58	10.00	8	10.00	19	3.33	8	1.97	36	1.38	27	0.66	36	0.46	27	2

注:异常点数单位为个,异常面积单位为 km²,衬度=平均值/异常下限;异常规模(AD)=平均值×异常面积;面金属量(AP)=(平均值-异常下限)×异常面积;规格化规模(NAD)=平均值/异常下限×异常面积;规格化面金属量(NAP)=(平均值-异常下限)/异常下限×异常面积;异常下限、平均值和极大值单位为 ×10⁻⁹;分带:2指示发育外、中带,3指示发育外、中、内带

GA_{11甲} Au异常区分布在研究区东北部中央山西段,呈带状NW-SE向展布。综合面积约为6.94 km²。异常区北侧主要出露奥陶—志留系祁漫塔格群碎屑岩组,岩性主要为硅质黏土质板岩、硅质板岩和硅质岩;异常区中南部出露火山岩组,岩性为灰绿色蚀变安山质玄武岩。异常内侵入岩很少发育,零

星可见长英质岩脉露头。断裂十分发育,以NW-SE向为主,亦发育有少量NE向断裂(图7)。

异常主元素为 Au,特征组合元素为 Cu-Ni-As-Co-Pb。Au异常由 Au12、Au13、Au16、Au17、Au20和 Au22共6个子异常组成。其中,Au13子异常,异常点数有8个,异常面积为0.39 km²,Au元素

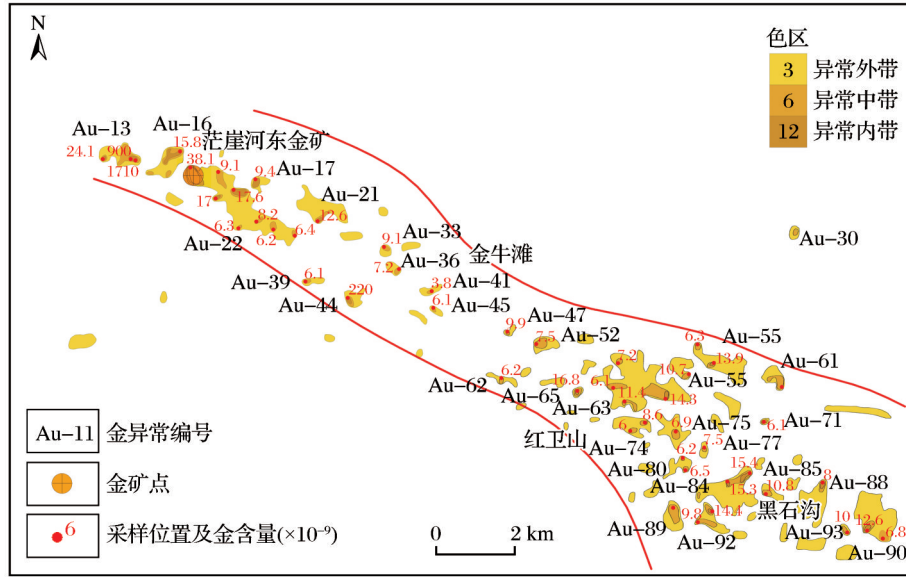


图5 Au元素异常分布图

Fig. 5 Distribution diagram of Au element abnormal

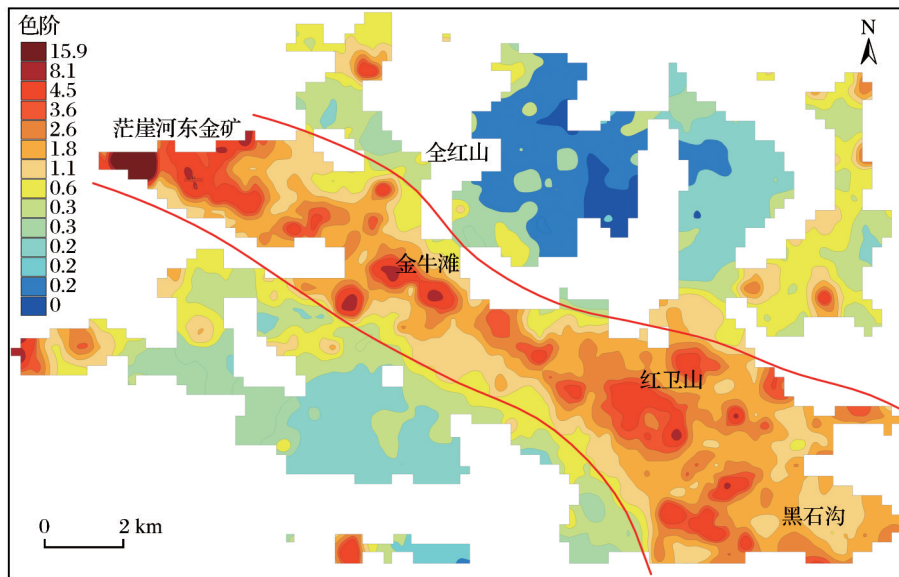


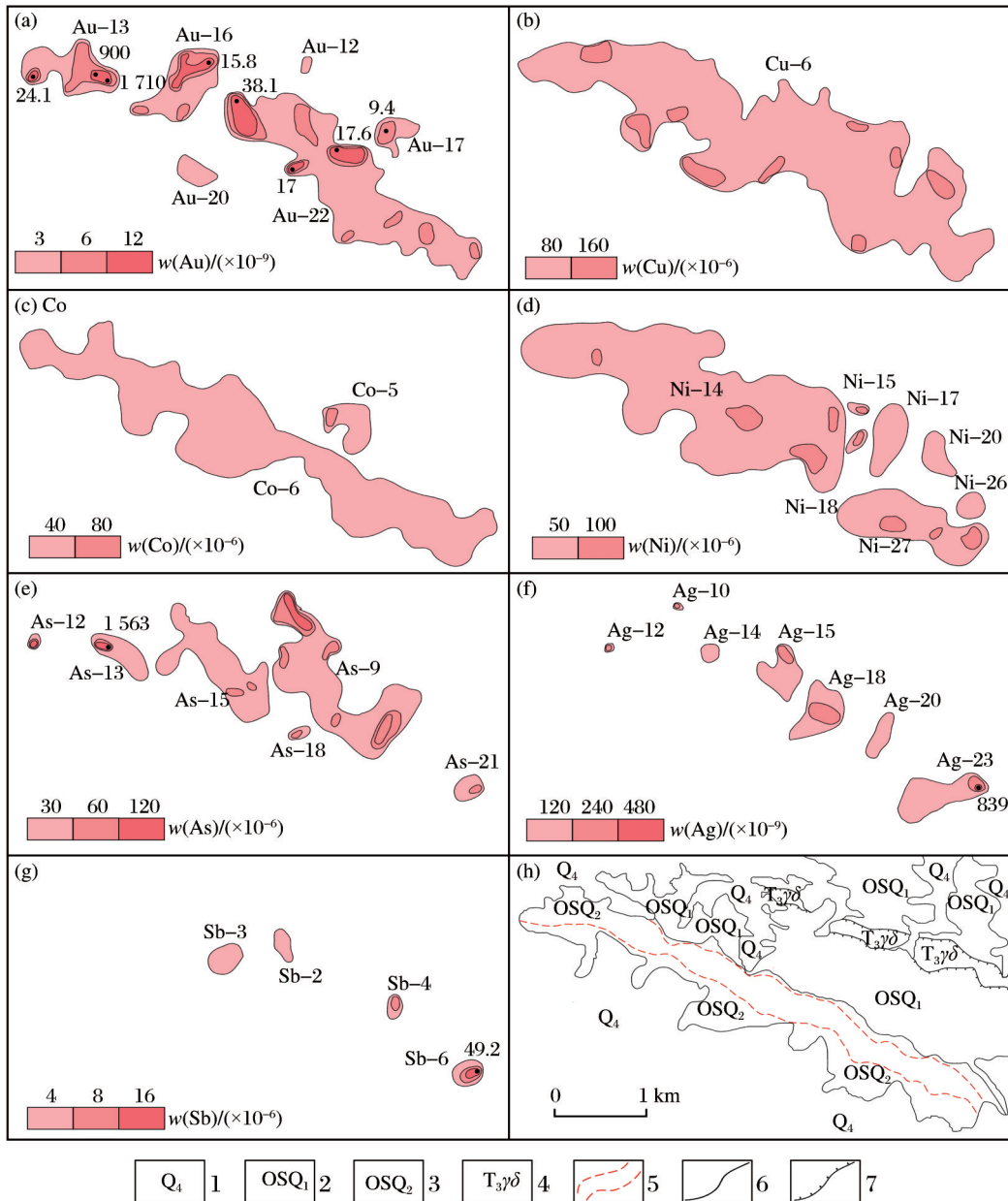
图6 Au、As、Sb衬值累加地球化学图

Fig. 6 Lining value cumulative geochemical diagram of Au, As, Sb

峰值为 $1\ 710 \times 10^{-9}$, 平均值为 332.73×10^{-9} ; Au22子异常, 异常点数有38个, 异常面积为 1.80 km^2 , 元素峰值为 38.1×10^{-9} , 平均值为 9.24×10^{-9} 。As异常由As9、As12、As13、As15、As18和As21共6个子异常组成。其中, As9子异常, 异常点数有3个, 异常面积为 1.07 km^2 , 元素峰值为 659×10^{-6} , 平均值为 95.07×10^{-6} ; As13子异常, 异常点数有3个, 异常面积为 0.16 km^2 , 元素峰值为 $1\ 563 \times 10^{-6}$, 平均值为

862.3×10^{-6} 。其余各元素也具有多个子异常, 异常规模大小均有所不同, 各元素之间套合性较好。异常特征见表5。

综上所述, 1:2.5万地球化学测量工作基本确定了Au异常的范围, 显现了金矿找矿的地球化学空间和潜力。当前, 异常查证中发现的金矿(化)体矿化线索, 在空间分布上与水系沉积物地球化学测量所圈定的Au单元素异常呈现显著耦合性。异常



1. 第四纪风积物、冲洪积砾石、砂土; 2. 奥陶—志留系祁漫塔格群火山岩组蚀变玄武岩; 3. 奥陶—志留系祁漫塔格群碎屑岩组(硅质黏土质板岩、硅质岩和绢云石英片岩); 4. 印支期花岗岩闪长岩; 5. 含金构造蚀变带范围; 6. 接触界线(覆盖接触、整合接触); 7. 侵入接触界线

图7 $GA_{11\mu 1}Au$ 综合异常剖析图

Fig. 7 Analysis diagram of integrated anomaly of $GA_{11\mu 1}Au$

晕的展布范围受控于地质体边界,其延伸方位与区域地层走向呈现良好的一致性。同时,其空间配置与NW-SE向断裂构造系统存在成因联系,综合显示典型层控—构造复合型矿床的成矿特征。

2.3 1:1万地球化学特征

针对区内1:2.5万 $GA_{11\mu 1}Au$ (CuNiAsCoPb) 等多处综合异常,进一步开展了1:1万土壤剖面测量

进行解剖,并结合以往研究资料(杜承文等,2016),在茫崖河东金矿区累计圈定了以金、铜为主的1:1万土壤综合异常12处。异常具有规模大和强度高的特点,其中区内发现的含金矿化带及主矿体均穿越AP3综合异常Au异常浓集中心。

AP3异常呈不规则状NW-SE向展布,主元素为Au,组合元素为As、Sb、Cu、Pb、Zn和Ag,各元素分

表5 GA_{11甲1}Au异常特征值
Table 5 Characteristic value of GA_{11甲1}Au anomaly

异常编号	异常下限值	异常点数	异常面积/km ²	异常平均值	峰值	衬度值	异常规模(NAD)值	NAP值	浓度梯带
Au-12	3	1	0.02	5.40	5.4	1.80	0.04	0.02	外
Au-13	3	8	0.39	332.73	1 710	110.91	43.25	42.86	外中内
Au-16	3	11	0.41	8.91	15.80	2.97	1.22	0.81	外中内
Au-17	3	5	0.12	6.12	9.40	2.04	0.24	0.12	外中
Au-20	3	3	0.09	4.13	4.9	1.38	0.12	0.03	外
Au-22	3	38	1.80	9.24	38.1	3.08	5.54	3.74	外中内
Au-12	3	1	0.02	5.40	5.4	1.80	0.04	0.02	外
Cu-6	80	100	4.66	133.05	265	1.66	7.74	3.09	外中
Ni-14	50	61	3.21	78.84	113	1.58	5.07	1.85	外中
Ni-15	50	1	0.02	124.00	124	2.48	0.05	0.03	外中
Ni-17	50	7	0.23	65.19	74.6	1.30	0.30	0.07	外
Ni-18	50	1	0.04	104.00	104	2.08	0.08	0.04	外中
Ni-20	50	3	0.12	59.10	63.9	1.18	0.14	0.02	外
Ni-26	50	2	0.07	65.35	71.8	1.31	0.09	0.02	外
Ni-27	50	21	0.72	91.26	111	1.83	1.31	0.59	外中
As-9	30	24	1.07	95.07	659	3.17	3.39	2.32	外中内
As-12	30	1	0.02	600.00	200	6.67	0.13	0.38	外中内
As-13	30	3	0.16	862.30	1 563	28.74	4.60	4.44	外中内
As-15	30	14	0.60	47.71	96.5	1.59	0.95	0.35	外中
As-18	30	1	0.03	101.00	101	3.37	0.10	0.07	外中
As-21	30	2	0.07	49.25	65.3	1.64	0.11	0.04	外中
Co-5	40	3	0.19	61.07	81.9	1.53	0.29	0.10	外中
Co-6	40	58	3.04	47.03	55.1	1.18	3.59	0.53	外
Sb-2	4	2	0.05	5.62	5.78	1.40	0.07	0.02	外
Sb-3	4	2	0.09	4.70	5.36	1.18	0.11	0.02	外
Sb-4	4	1	0.04	13.20	13.2	3.30	0.12	0.08	外中
Sb-6	4	2	0.08	28.12	49.2	7.03	0.55	0.47	外中内

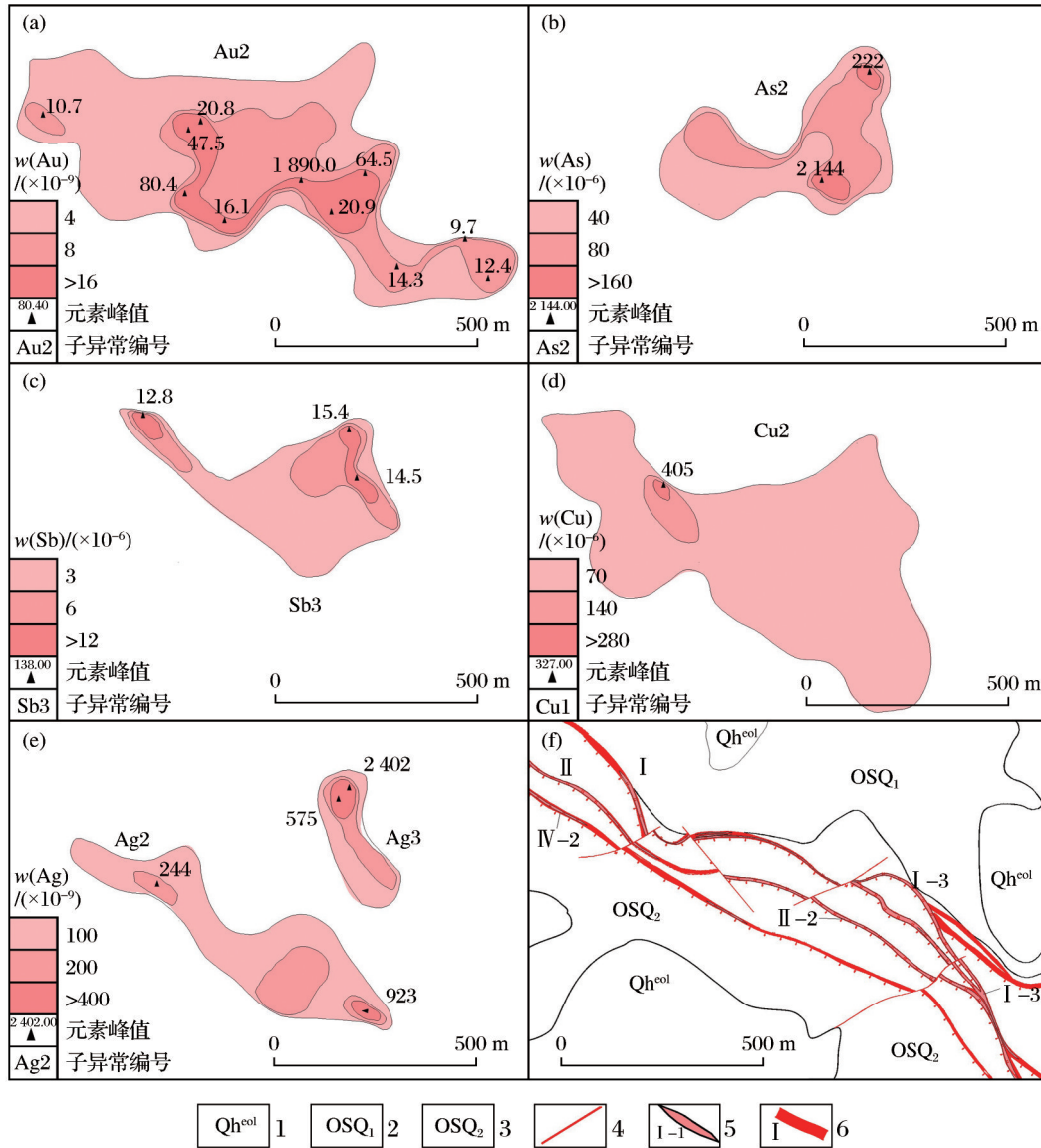
注: Au元素单位为 $\times 10^{-9}$, 其余元素单位为 $\times 10^{-6}$

带明显,特征值见表6。异常区出露地层为奥陶—志留系祁漫塔格群火山岩组(OSQ₂)。Au异常面积为0.36 km²,峰值高达1 890 $\times 10^{-9}$ 。Au与As、Sb元素套合好(图8)。该异常与C3-1磁异常南东对应性较好。经33条槽探工程检查,新发现的I、II和IV号含金构造蚀变带主体位于该异常内,异常范围内3条金矿带中目前圈定金矿体(I-1、I-2、I-3、II-1、II-2、IV-1、IV-2和IV-3)8条,锌矿体1条(II-3),该异常属矿致异常,其赋矿岩性为构造角砾岩、构造片理化蚀变安山质玄武岩和糜棱岩,赋矿围岩为蚀变安山质玄武岩,矿体属构造蚀变岩型。目前3条含金构造蚀变带及带内矿体控制程度普遍不高,因此该异常内具有较好的金矿找矿潜力。

1:1万土壤测量金异常,基本定位了含金构造蚀变带的展布空间,并为地表金矿体的发现奠定了基础。

2.4 构造叠加晕特征

金矿体沿倾斜方向上延伸稳定,斜深最大为340 m的主矿体往深部均未圈闭[图9(a)],优选主矿体开展了构造叠加晕研究工作,自地表槽探工程至深部钻探工程共采集10件样品进行分析测试(表7)。对比全国及东昆仑五龙沟金矿床构造叠加晕模式(魏占浩等,2015;刘正军,2019;李惠等,2021),厘定出研究区前缘晕地球化学标志组合为As-Sb-Hg;近矿晕特征指示元素组合为Au-Ag-Cu-Pb-Zn;尾晕特征指示元素组合为Co-W-Mo-Ni。其中,I号含金构造蚀变带南东I-4和I-6矿



1.第四纪风积物和砂土;2.奥陶—志留系祁漫塔格群火山岩组蚀变玄武岩;3.奥陶—志留系祁漫塔格群碎屑岩组(硅质黏土质板岩、硅质岩和绢云石英片岩);4.断层;5.金矿体及编号;6.含金构造蚀变带及编号

图8 AP3综合异常剖析图

Fig. 8 Analysis diagram of integrated anomaly of AP3

体自3500 m至3100 m高程段,深部近矿晕呈内带或强带异常,前缘晕呈外带,尾晕呈中内带,指示矿体(I-6)往深部仍有很大延伸;I号含金构造蚀变带中部I-3矿体自3350 m至3100 m高程段,深部近矿晕呈中内带异常,前缘晕与尾晕呈中内带异常共存,指示深部有盲矿体;II号含金构造蚀变带中部II-3矿体自3410 m至3175 m高程段,深部近矿晕呈中内带异常,前缘晕与尾晕呈中内带异常共存,指示深部有盲矿体。

3 金矿找矿效果及矿体特征

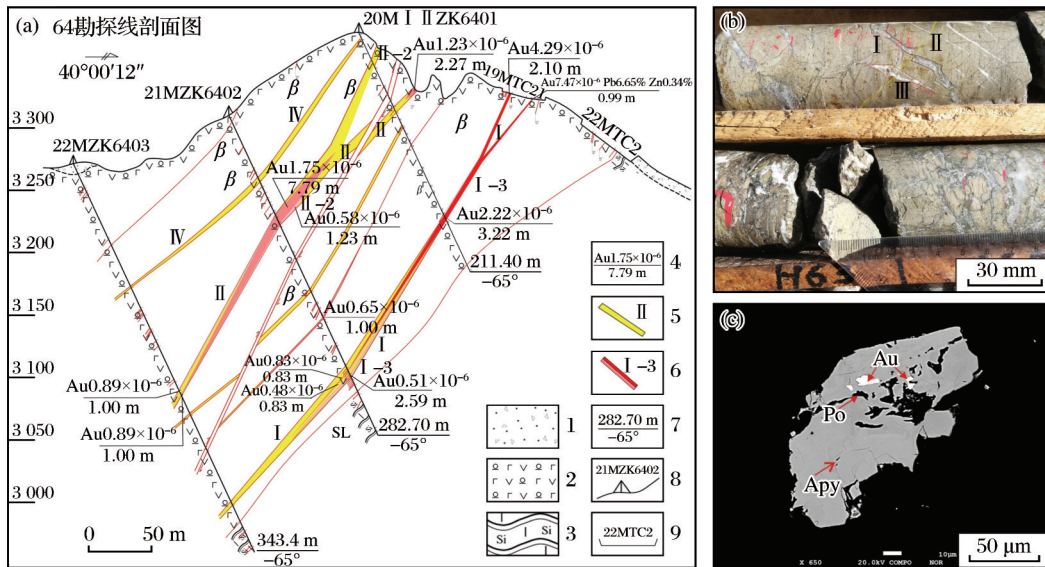
3.1 找矿效果

以往研究表明,在茫崖河东地区开展的1:20万和1:5万多尺度地球化学测量工作,揭示出具有重要找矿指示意义的Au元素地球化学组合异常,其异常强度与规模均达到II级勘查异常标准。近20年来,该地区以化探异常为依托的金矿找矿工作持续进行,但异常源追溯一直未取得突破,找矿成效

表6 AP3异常特征值
Table 6 Characteristic value of AP3 abnormal

异常编号	子异常编号	异常下限(T)	样点数/个	均值(C)	异常面积(S)/km ²	峰值	衬度(K)	异常规模(D)	浓度梯带
	Au2	4	80	32.3	0.36	1 890	8.08	2.91	外中内
	As2	40	26	152.0	0.13	2 144	3.80	0.49	外中内
	Sb3	3	27	5.0	0.12	16.4	1.67	0.20	外中内
AP3	Cu2	70	77	104.1	0.34	405	1.49	0.51	外中内
	Pb3	30	51	38.0	0.20	126	1.27	0.25	外中
	Ag2	100	11	383.4	0.03	2 402	3.83	0.12	外中内
	Ag3	100	31	164.8	0.11	923	1.65	0.18	外中内

注: Au和Ag元素单位为 $\times 10^{-9}$, 其余元素单位为 $\times 10^{-6}$; $K=C/T$; $D=K*S$



1. 第四纪冲洪积砾石和砂土; 2. 强蚀变玄武岩(β); 3. 硅质黏土质板岩(SI); 4. 矿体品位及矿体厚度; 5. 含金构造蚀变带; 6. 金矿体及编号; 7. 钻孔孔深/钻孔倾角; 8. 钻孔位置及编号; 9. 槽探位置及编号; Apy-毒砂; Au-自然金; Po-磁黄铁矿

图9 茫崖河东金矿区64勘探线剖面图及金矿石中金赋存状态

Fig. 9 Section map of 64 exploration lines in the Mangyahedong gold mining area and the occurrence status of gold in ore

不显著。基于茫崖河东地区优越的成矿地质条件和物化探综合异常,近年来以金矿等战略矿产为重点,陆续开展了1:2.5万地球化学测量及异常查证工作,旨在解剖1:20万和1:5万化探异常,逐步缩小找矿靶区。在茫崖河东地区圈定了多处Au为主的综合异常,通过进一步查证,确定了异常源,累计发现含金构造蚀变带5条,蚀变带长度为0.5~5.2 km,宽度为0.8~9.9 m,走向NW,倾向SW。带内共圈定金矿体18条,金矿体长度为140~1 300 m,真厚度为0.80~9.34 m,矿体金品位为 0.8×10^{-6} ~ 26.4×10^{-6} ,金矿床平均品位为 2.27×10^{-6} ,找矿效果显著。

3.2 主要矿化带特征

(1) I号含金构造蚀变带。I号含金构造蚀变带沿区内 F_{27} 断裂形成,呈NW向展布,走向延伸约为4.6 km,宽度为0.8~9.9 m,倾向SW,倾角为 $40^\circ \sim 80^\circ$,断层性质为逆断层。该构造带分布于祁漫塔格群中,其中北西侧位于火山岩组安山质玄武岩与碎屑岩组硅质黏土质板岩接触部位,围岩主体位于火山岩组安山质玄武岩内。带内普遍发育褐铁矿化、高岭土化、硅化和黄钾铁矾化,局部具黄铁矿化、碳酸盐化和毒砂矿化,且带内岩石褪色蚀变现象明显。

硅化地表以石英宽脉(1~20 cm)或石英透镜体

表7 茫崖河东金矿主矿体构造叠加晕深部综合特征

Table 7 Comprehensive characteristics of structural superimposed halo of main orebody in the Mangyahedong gold mine

样品编号	矿体编号	标高/m	元素异常分带												
			Au	Ag	As	Sb	Hg	Cu	Pb	Zn	Ni	Co	W	Mo	Bi
23MKH1	I-4	3 500	●●	○	●	●	●	○	○	○	○	○	○	●	
23MKH2	I-4	3 400	●●	●	●	○	●	○	●	○	○	○	○	○	
23MKH3	I-4	3 300	○	○	○	○	○	●			●	○	○	○	
23MKH4	I-6	3 100	●●	●	○	○	○	●	●●	●	●	○	○		
23MKH5	I-3	3 350	●●	○	●●	●●	○	●	●●	○	●	○	●	○	
23MKH6	I-3	3 225	●	○	●●	○	○	○	○	○	●	○	●	○	
23MKH7	I-3	3 100	●	○	●	●	○	●			○	○	○	○	
23MKH8	II-2	3 410	●	○	●	●	○	○		○	●	○	●	○	
23MKH9	II-2	3 225	●●	○	●	○	○	○			○	○	●●		
23MKH10	II-2	3 175	●●	○	●	○	○	○			○	○	●●	○	

注:●●表示强带异常,●表示内带异常,○表示中带异常,○表示外带异常

形式分布,往浅深部硅化以石英细脉和网脉状形式分布。经槽探和钻探工程揭露验证,在该带北西部圈定出 I-1 和 I-2 金矿体;中部圈定出 I-3 金矿

体;南东部圈定出 I-4 和 I-5 金矿体,南东深部圈定出 I-6 金矿体(李少南等,2025)。I 号含金构造蚀变带矿体特征见表 8。

表8 I号含金构造蚀变带矿体特征

Table 8 Characteristics of orebody in No. I gold-bearing tectonic erosion belt

矿体编号	产状/(°)		走向长度/m	厚度/m	控制斜深/m	品位/(×10 ⁻⁶)	品位变化系数/%	厚度变化系数/%	控制程度
	倾向	倾角							
I-1	216~262	40~65	440	0.86~6.12	255	1.10~3.11	49.98	79.49	地表深部控制(5槽3钻)
I-2	241	72	160	1.23	78	2.85			地表深部控制(1槽1钻)
I-3	214~249	53~75	745	0.83~4.06	330	1.14~7.47	74.90	51.45	地表深部控制(8槽6钻)
I-4	215~210	55~73	1 120	0.83~9.34	288	1.05~26.40	131.22	105.92	地表深部控制(10槽5钻)
I-5	155	60	177	3.60		1.63			地表控制(3槽)
I-6	235	50		0.94		2.73			深部控制(1钻)

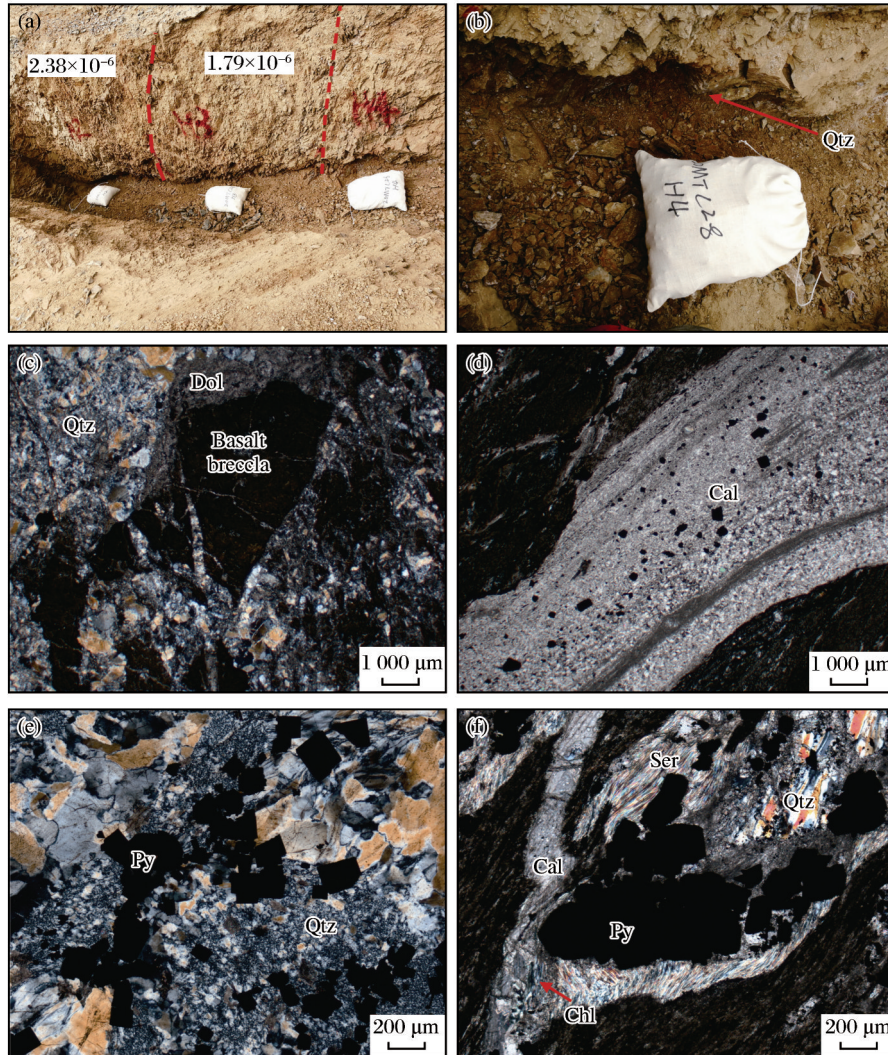
(2) II号含金构造蚀变带。该蚀变带沿 F₃₀ 断裂形成,与 I 号含矿带平行,呈 NW 向展布,倾向 SE,倾角为 55°~78°,带宽为 1.44~12.5 m,延伸长度大于 5.2 km。断层性质为逆断层。构造带分布于祁漫塔格群火山岩组中,构造带围岩为蚀变安山质玄武岩。带内岩石普遍具较强的褐铁矿化、高岭土化和硅化(图 10)。硅化地表以石英宽脉(1~10 cm)或石英透镜体形式分布,往浅深部硅化以石英细脉和网脉状形式分布。在 15、28、64、272 勘探线附近各有 1 条 NE 向断裂穿切,12 勘探线南东发育多条分支带,76 勘探线附近 I、II 号含金构造蚀变带会合形成一膨大部位,通过捡块化学样和刻槽化学样对该带及其分支带进行厘定。224 线南东含矿带倾角逐渐变缓。经槽探和钻探工程揭露控制,该带北

西部圈定出 II-1 金矿体,中部圈定出 II-2 金矿体,南东部圈定出 II-4 和 II-5 金矿体(表 9)。含矿岩性为构造角砾岩和糜棱岩,推测原岩为蚀变安山质玄武岩(李少南等,2025)。

4 结论

(1) 采用 1:2.5 万地球化学测量方法开展地质找矿工作,能够快速缩小找矿靶区,提供较直接且可靠的找矿信息。在茫崖河东地区圈定出 65 处 Au 异常,5 处以 Au 为主元素的 1:2.5 万综合异常,Au 异常内发现了规模不等的含矿构造带,带内圈定出金矿(化)体,且矿床规模已达中型,取得了良好的找矿效果。

(2) 不同尺度地球化学测量为该金矿勘查提



Qtz-硅化;Py-黄铁矿脉;Ser-绢云母化;Cal-碳酸盐化;Chl-绿泥石化;Dol-白云石化;Basalt breccia-玄武岩角砾

图 10 含金构造蚀变带特征及镜下矿物之间穿插交代关系

Fig. 10 Characteristics of the gold-bearing tectonic alteration zone and interspersed metasomatic relationship between minerals under microscope

表 9 II 号含金构造蚀变带矿体特征

Table 9 Characteristic of orebody in No. II gold-bearing tectonic erosion belt

矿体 编号	产状/(°)		走向长 度/m	厚度/m	控制斜 深/m	品位/(×10 ⁻⁶)	品位变化 系数/%	厚度变化 系数/%	控制程度
	倾向	倾角							
II-1	170~242	55~70	320	1.07~1.92	276	1.17~22.3	131.69	20.55	地表深部控制(4槽2钻)
II-2	168~250	55~72	1 300	0.81~7.44	390	1.20~5.83	68.51	82.87	地表深部控制(11槽8钻)
II-4	225	63		1.82	200	1.70			深部控制(2钻)
II-5	157~228	41~65	240	0.80~2.16	380	1.58~2.34	40.47	13.11	地表深部控制(1槽3钻)

供了不同阶段的找矿信息。1:2.5万地球化学异常反映出区内 Au 元素地球化学空间和找矿潜力。1:1 万土壤异常基本精确定位了含金构造蚀变带的

展布空间,为圈定金矿体奠定了基础。构造叠加晕对深部找矿具有较好的指示作用,可作为深部找矿工程部署的依据之一。

(3)茫崖河东地区 Au、As 和 Sb 异常发育于茫崖河东—金牛滩—黑石沟一线,异常呈 NW-SE 向带状展布,延伸长度超过 22 km。茫崖河东金矿位于该异常带的北西部,异常带中部和南东部仅开展了简单的异常查证工作,找矿空间较大。通过实施系统的地质—地球化学—地球物理综合勘查工作,有望在茫崖河东地区实现金矿找矿重大突破。

参考文献 (References):

- 安勇胜,李建放,逯积明,等,2008.青海省格尔木市那陵郭勒河中游 J46E019008、J46E019009、J46E019010、J46E020010、J46E020011、J46E020012 六幅 1:5 万区域矿产调查报告[R].西宁:青海省地质调查院. An Yongsheng, Li Jianfang, Lu Jiming, et al, 2008. Regional mineral survey reports of J46E019008, J46E019009, J46E019010, J46E020010, J46E020011, J46E020012 for 1:50,000 in the middle reach of the Nalinggele River, Golmud City, Qinghai Province [R]. Xining: Qinghai Institute of Geological Survey.
- 陈巧妹,刘晓康,马晓萍,等,2019.青海省滩北雪峰地区水系沉积物地球化学特征及找矿预测[J].地质找矿论丛, 34(2):294-301. Chen Qiaomei, Liu Xiaokang, Ma Xiaoping, et al, 2019. Geochemical characteristics of stream sediments and ore-prospecting orientation in Tanbeixuefeng area, Qinghai Province [J]. Contributions to Geology and Mineral Resources Research, 34(2):294-301.
- 杜承文,刘锦文,祁贞明,等,2016.青海省格尔木市那东—黑石沟地区铜多金属矿调查评价报告[R].海东:青海省第一地质矿产勘查院. Du Chengwen, Liu Jinwen, Qi Zhenming, et al, 2016. Investigation and evaluation report on copper-polymetallic ore deposit in the Nadong-Heishigou area, Golmud City, Qinghai Province [R]. Haidong: The First Geological Exploration Institute of Qinghai Province
- 国显正,栗亚芝,贾群子,等,2018.东昆仑五龙沟金多金属矿集区晚二叠世—三叠纪岩浆岩年代学、地球化学及其构造意义[J].岩石学报,34(8):2359-2379. Guo Xianzheng, Li Yazhi, Jia Qunzi, et al, 2018. Geochronology and geochemistry of the Wulonggou orefield related granites in Late Permian-Triassic East Kunlun: implication for metallogenic tectonic [J]. Acta Petrologica Sinica, 34(8):2359-2379.
- 何书跃,白国龙,刘智刚,等,2025.青海省成矿规律初探[J].地质通报,44(4):649-678. He Shuyue, Bai Guolong, Liu Zhi-gang, et al, 2025. The metallogenic pattern of Qinghai Province [J]. Geological Bulletin of China, 44(4):649-678.
- 胡兆国,张少鹏,连国建,等,2018.青海省纳日宗地区水系沉积物地球化学特征及找矿远景[J].现代地质,32(3):481-492. Hu Zhaoguo, Zhang Shaopeng, Lian Guojian, et al, 2018. Geochemical characteristics of stream sediments and prospecting in the Narizong area, Qinghai Province [J]. Geoscience, 32(3):481-492.
- 李海宾,谷超,马德庆,等,2018.青海省茫崖河东地区铁多金属矿成矿模式研究[J].能源与环保,40(6):118-122. Li Haibin, Gu Chao, Ma Deqing, et al, 2018. Study on metallogenic model of iron polymetallic deposits in the Mangya River east area in Qinghai Province [J]. China Energy and Environmental Protection, 40(6):118-122.
- 李惠,禹斌,魏江,等,2021.勘查(新)区构造叠加晕研究方法及其预测参照实用理想模型[J].地质与勘探,57(2):351-359. Li Hui, Yu Bin, Wei Jiang, et al, 2021. Research on prediction of hidden ore bodies at depth in exploration (new) areas using structural superimposed halos and a reference practical ideal model [J]. Geology and Exploration, 57(2):351-359.
- 李金超,2017.青海东昆仑地区金矿成矿规律及成矿预测[D].西安:长安大学. Li Jinchao, 2017. Metallogenic regularity and metallogenic prognosis of gold deposit in the east Kunlun Orogen, Qinghai Province [D]. Xi'an: Chang'an University.
- 李少南,王辉,谢海林,等,2025.青海祁漫塔格地区茫崖河东金矿成矿机制:热液磷灰石 U-Pb 定年及黄铁矿微量元素制约[J].地质通报,44(4):601-622. Li Shaonan, Wang Hui, Xie Hailin, et al, 2025. Metallogenic mechanism of the Mangyahedong gold deposit in the Qimantage area of Qinghai Province: constraints from hydrothermal apatite U-Pb dating and trace elements of pyrite [J]. Geological Bulletin of China, 44(4):601-622.
- 梁东,华北,赵德怀,等,2023.喀喇昆仑麦拉山地区水系沉积物地球化学特征与找矿预测[J].现代地质,37(3):708-721. Liang Dong, Hua Bei, Zhao Dehuai, et al, 2023. Geochemical characteristics of river sediment and ore prediction in the Malashan area of the Karakoram region [J]. Geoscience, 37(3):708-721.
- 梁改忠,杨奎锋,范宏瑞,等,2022.东昆仑阿斯哈金矿胶状黄铁矿成因及其成矿意义[J].黄金科学技术,30(1):19-33. Liang Gaizhong, Yang Kuifeng, Fan Hongrui, et al, 2022. Genesis of colloidal pyrite and its metallogenic significance in Asaha gold deposit, east Kunlun [J]. Gold Sci-

- ence and Technology, 30(1): 19-33.
- 刘永乐, 张爱奎, 刘智刚, 等, 2022. 青海东昆仑西段金矿成因类型及成矿模式[J]. 黄金科学技术, 30(4): 483-497. Liu Yongle, Zhang Aikui, Liu Zhigang, et al, 2022. Metallogenic model of gold deposits and genetic types in the western section of east Kunlun, Qinghai Province[J]. Gold Science and Technology, 30(4): 483-497.
- 刘正军, 2019. 湖南板溪锑矿构造叠加晕特征及深部成矿预测[D]. 湘潭: 湖南科技大学. Liu Zhengjun, 2019. Structural superimposed halo characteristics and deep metallogenic prediction of Banxi antimony deposit in Hunan Province[D]. Xiangtan: Hunan University of Science and Technology.
- 马文君, 谢海林, 郭伟, 等, 2024. 东昆仑茫崖河东地区地球化学钴异常与含矿地质体的响应[J]. 物探与化探, 48(5): 1232-1246. Ma Wenjun, Xie Hailin, Guo Wei, et al, 2024. Response of the geochemical anomalies of cobalt to ore-bearing geological bodies in the Mangyahedong area, eastern Kunlun[J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 48(5): 1232-1246.
- 潘彤, 2008. 青海东昆仑肯德可克钴金矿床硅质岩特征及成因[J]. 地质与勘探, 44(2): 51-54. Pan Tong, 2008. Geochemical features and origin of siliceous rocks of Kendekeke Co-Au deposit in the eastern Kunlun metallogenic belt, Qinghai[J]. Geology and Prospecting, 44(2): 51-54.
- 潘彤, 孙丰月, 2003. 青海东昆仑肯德可克钴金矿床成矿特征及找矿方向[J]. 地质与勘探, 39(1): 18-22. Pan Tong, Sun Fengyue, 2003. The mineralization characteristic and prospecting of Kendekeke Co-Bi-Au deposit in Dunkunlun, Qinghai Province[J]. Geology and Prospecting, 39(1): 18-22.
- 潘彤, 王贵仁, 王福德, 等, 2022. 中国矿产地质志·青海卷[R]. 西宁: 青海省地质矿产勘查开发局. Pan Tong, Wang Guiren, Wang Fude, et al, 2022. China mineral geology·Qinghai volume[R]. Xining: Geological and Mineral Exploration and Development Bureau of Qinghai Province.
- 祁生胜, 李五福, 于文杰, 等, 2019. 中国区域地质志·青海卷[R]. 西宁: 青海省地质调查院. Qi Shengsheng, Li Wufu, Yu Wen-jie, et al, 2019. China regional geology·Qinghai volume[R]. Xining: Geological Survey Bureau of Qinghai Province.
- 邱炜, 何皎, 熊寿加, 2015. 青海北祁连区域化探数据处理中异常衬值法的应用及成效[J]. 黄金科学技术, 23(1): 34-39. Qiu Wei, He Jiao, Xiong Shoujia, 2015. The application and effect of abnormal contrast method during regional geochemical exploration data processing in northern Qilian, Qinghai Province[J]. Gold Science and Technology, 23(1): 34-39.
- 邱瑜, 卢佳, 田滔, 等, 2019. 1:25 000 沟系沉积物地球化学测量方法有效性探讨——以东昆仑巴隆地区为例[J]. 物探化探计算技术, 41(2): 250-256. Qiu Yu, Lu Jia, Tian Tao, et al, 2019. A discussion of effectiveness to the 1: 25 000 sulcus sediments geochemical survey: the Balong area of east Kunlun as an example[J]. Computing Techniques for Geophysical and Geochemical Exploration, 41(2): 250-256.
- 王秉璋, 2012. 祁漫塔格地质走廊域古生代—中生代火成岩岩石构造组合研究[D]. 北京: 中国地质大学(北京). Wang Bingzhang, 2012. The study and investigation on the assembly and coupling petrotectonic assemblage during Paleozoic-Mesozoic Period at Qimantage Geological Corridor Domain[D]. Beijing: China University of Geosciences (Beijing).
- 王成勇, 徐博, 岳涛, 2018. 青海省东昆仑中段蚀变岩型金矿床研究浅析[J]. 中国金属通报, (4): 89-90. Wang Chengyong, Xu Bo, Yue Tao, 2018. Study on altered rock-type gold deposits in the middle part of East Kunlun, Qinghai Province[J]. China Metal Bulletin, (4): 89-90.
- 王振, 杨镇熙, 陈海云, 等, 2023. 甘肃北山华窑山一带 1/5 万水系沉积物地球化学特征及金、钨找矿远景[J]. 黄金科学技术, 31(4): 546-559. Wang Zhen, Yang Zhenxi, Chen Haiyun, et al, 2023. Geochemical characteristics of 1: 50 000 stream sediments and prospecting potential of gold and tungsten in Huayaoshan area, Beishan, Gansu Province[J]. Gold Science and Technology, 31(4): 546-559.
- 魏占浩, 孙凤舟, 陈苏龙, 等, 2015. 青海五龙沟金矿集区 XI 矿带构造叠加晕特征与深部预测[J]. 地质找矿论丛, 30(4): 614-622. Wei Zhanhao, Sun Fengzhou, Chen Sulong, et al, 2015. Characteristics of the structurally superimposed halo and deep ore forecast in ore belt XI of Wulonggou gold deposits-clustered district, Qinghai Province[J]. Contributions to Geology and Mineral Resources Research, 30(4): 614-622.
- 席明杰, 马生明, 刘崇民, 等, 2013. 内蒙古准苏吉花铜钼矿区土壤地球化学异常特征与评价[J]. 地质与勘探, 49(2): 337-345. Xi Mingjie, Ma Shengming, Liu Chongmin, et al, 2013. Characteristics and evaluation of soil geochemical anomalies of the Zhunsujihua Cu-Mo deposit in Inner Mongolia[J]. Geology and Exploration, 49(2): 337-345.
- 肖晔, 丰成友, 李大新, 等, 2014. 青海省果洛龙洼金矿区年

- 代学研究及流体包裹体特征[J].地质学报,88(5):895-902.Xiao Ye, Feng Chengyou, Li Daxin, et al, 2014. Chronology and fluid inclusions of the Guoluolongwa gold deposit in Qinghai Province [J]. Acta Geologica Sinica, 88(5):895-902.
- 徐云峰,郝雪峰,秦宇龙,等,2021.四川盆地地区水系沉积物地球化学特征及找矿方向[J].物探与化探,45(3):624-638. Xu Yunfeng, Hao Xuefeng, Qin Yulong, et al, 2021. Geochemical characteristics and prospecting direction of stream sediments in Chahe area, Sichuan Province [J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 45(3):624-638.
- 闫臻,胡正国,刘继庆,等,2000.东昆仑开荒北金矿床地质特征及控矿条件[J].西安工程学院学报,22(1):23-27. Yan Zhen, Hu Zhengguo, Liu Jiqing, et al, 2000. Geological characteristics and CRE-control factors of Kaihuangbei gold deposit in eastern Kunlun Mountains [J]. Journal of Xi'an Engineering University, 22(1):23-27.
- 于俊博,宋云涛,郭志娟,等,2014.R型聚类分析在区域化探元素分组中的作用探讨[J].物探化探计算技术,36(6):771-776. Yu Junbo, Song Yuntao, Guo Zhijuan, et al, 2014. Discussion on the affection of the R-cluster analysis applied in grouping elements in regional geochemical exploration [J]. Computing Techniques for Geophysical and Geochemical Exploration, 36(6):771-776.
- 张爱奎,刘永乐,刘光莲,等,2015.青海祁漫塔格成矿带冰沟南地区成矿类型及找矿前景[J].西北地质,48(4):125-140. Zhang Aikui, Liu Yongle, Liu Guanglian, et al, 2015. Mineralization types and prospecting potential of Binggouan area in Qimantage metallogenic belt, Qinghai Province [J]. Northwestern Geology, 48(4):125-140.
- 张爱奎,莫宣学,张勇,等,2021.东昆仑西段库德尔特金多金属矿床成因探讨[J].中国有色金属学报,31(12):3762-3778. Zhang Aikui, Mo Xuanxue, Zhang Yong, et al, 2021. Ore genesis of Kudeerte gold-polymetallic deposit in western part of East Kunlun [J]. The Chinese Journal of Nonferrous Metals, 31(12):3762-3778.
- 张嘉升,周伟,李伟良,等,2023.陕西筒池镇地区1:2.5万水系沉积物测量地球化学特征及找矿潜力[J].物探与化探,47(3):659-669. Zhang Jiasheng, Zhou Wei, Li Weiliang, et al, 2023. Geochemical characteristics and prospecting potential of Jianchi Town, Shaanxi Province, China based on 1:25 000 stream sediment survey [J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 47(3):659-669.
- 张伟,安茂国,王志鹏,等,2023.青海省那陵格勒河中游地区水系沉积物地球化学特征及找矿远景[J].现代地质,37(3):690-707. Zhang Wei, An Maoguo, Wang Zhipeng, et al, 2023. Geochemical characteristics of stream sediments and prospecting in the middle reach of the Nalinggele River, Qinghai Province [J]. Geoscience, 37(3):690-707.
- 张勇,张爱奎,何书跃,等,2023.东昆仑祁漫塔格地区库德尔特金矿区花岗闪长岩的时代、成因及其构造意义[J].黄金科学技术,31(1):1-14. Zhang Yong, Zhang Aikui, He Shuyue, et al, 2023. Age, petrogenesis and tectonic significance of granodiorite in Kudeerte gold deposit, Qimantage area, east Kunlun [J]. Gold Science and Technology, 31(1):1-14.
- 赵娟,马正婷,柴云,等,2021.青海省冷湖行委俄博梁地区稀有稀土元素地球化学特征及找矿潜力分析[J].西北地质,54(4):82-87. Zhao Juan, Ma Zhengting, Chai Yun, et al, 2021. Geochemical characteristics and prospecting potential of rare rare-earth element in Eboliang area, Lenghu, Qinghai Province [J]. Northwestern Geology, 54(4):82-87.

Application of Geochemical Survey Method in Mangyahedong Gold Deposit of East Kunlun and Its Prospecting Effect

MA Wenjun^{1,2}, XIE Hailin^{1,2}, LI Shaonan^{1,2}, WANG Bin^{1,2}, HAN Yu^{1,2}, LI Peigeng^{1,2}, CHEN Sulong^{1,2}, WANG Zhen^{1,2}, LI Feifei^{1,2}, MA Haiyun^{1,2}

1. The First Geological Exploration Institute of Qinghai Province, Haidong 810600, Qinghai, China;
2. Qinghai Engineering Research Center of Deep Exploration Technology for Large and Ultra-large Gold Deposits Around Qaidam Basin, Haidong 810600, Qinghai, China

Abstract: The Eastern Kunlun Metallogenic Belt is recognized as one of the most significant gold ore concentration regions in both Qinghai Province and China as a whole. The eastern segment of this belt is home

to prominent gold fields such as Wulonggou, Kaihuangbei, and Gouli, whereas the western segment contains fewer and smaller-scale deposits. The Mangyahedong gold deposit, situated in the Qimantage area within the western segment of the Eastern Kunlun Metallogenic Belt, exemplifies a typical shallow coverage zone and serves as a crucial metallogenic concentration area for gold and polymetallic mineralization. To facilitate advancements in gold exploration within this region, geochemical surveys at a 1:25 000 scale were conducted, identifying 63 gold anomalies and 5 composite anomalies predominantly characterized by gold. These gold anomalies are primarily located along the Mangyahedong-Hongweishan Heishigou zone, forming a NW-SE-trending banded pattern that aligns with the orientation of regional fault structures. The anomalies exhibit high intensity, often displaying a three-tiered concentration zonation. An analysis of elemental enrichment characteristics indicates that the coefficients of variation (CV) for Au, As, and Sb all exceed 2.0, suggesting strong differentiation (e. g., the CV for Au in OSQ₂ reaches 12.12). The enrichment coefficients (EF) exceed 2.0, indicating enriched conditions. The pronounced degree of enrichment and the marked heterogeneity in element distribution suggest a substantial potential for mineralization. Cluster analysis reveals that the F4 factor encompasses Au and As, with loadings surpassing 0.7, indicating an association with low-temperature tectonic activity. Analysis of elemental content across geological units indicates that the OSQ₂ stratum (altered andesitic basalt) has an average Au content of 5.4×10^{-9} , which is nearly three times the regional average. Subsequent soil surveys at a 1:10 000 scale identified 12 composite anomalies primarily characterized by Au and Cu, notable for their extensive scale, high intensity, and strong reproducibility. For example, the AP3 Au anomaly spans 0.36 km² with a peak value of $1\ 890 \times 10^{-9}$ and shows a strong spatial correlation with As and Sb. Follow-up verification of key anomalies revealed promising indicators of gold mineralization. Within the GA11-Jia1 Au anomaly (AP1-AP3), five gold-bearing structural alteration zones were identified through surface tracing and trench drilling. These zones extend 0.5~5.2 km in length and 0.8~9.9 m in width, trending NW and dipping SW. Fourteen gold orebodies have been delineated, exhibiting lengths ranging from 140 to 1 300 m, true thicknesses between 0.80 and 9.34 m, and grades of 0.8 to 26.4 g/t, with an average grade of 2.27 g/t. Structural superimposed halo analyses reveal that proximal halos near the main orebody at depth display inner/strong zone anomalies, whereas leading halos are characterized by outer zones and tail halos by mid-inner zones. This suggests a significant downward extension of the orebodies or the potential presence of blind orebodies at depth. In conclusion, multi-scale geochemical surveys conducted in the Mangyahedong area have proven effective in delineating gold exploration targets and alteration zones, thereby demonstrating substantial prospecting efficacy and facilitating a robust assessment of deep mineralization potential. This methodological approach serves as a practical exploration strategy and offers critical insights for the exploration of analogous gold deposits, with wide applicability and significant promotional value.

Key words: geochemical measurement; metallogenic geological condition; prospecting target area; prospecting effect; Mangyahedong gold mine; Eastern Kunlun