



引文格式: 马庆, 王元伟, 高永宝, 等. 青海省玛多县夺儿贡玛地区地球化学特征与找矿方向[J]. 西北地质, 2025, 58(1): 178–185. DOI: 10.12401/j.nwg.2023018

Citation: MA Qing, WANG Yuanwei, GAO Yongbao, et al. Geochemical Characteristics and Prospecting Direction of Duoergongma Area, Maduo County, Qinghai Province[J]. Northwestern Geology, 2025, 58(1): 178–185. DOI: 10.12401/j.nwg.2023018

青海省玛多县夺儿贡玛地区地球化学特征与找矿方向

马庆^{1,2}, 王元伟^{1,2,*}, 高永宝^{1,2}, 刘明^{1,2}

(1. 中国地质调查局金矿勘查技术创新中心, 陕西 西安 710000; 2. 中国地质调查局
西安矿产资源调查中心, 陕西 西安 710000)

摘要: 为查明受断层破碎带控制的夺儿贡玛矿区下一步找矿方向, 在矿区采用土壤地球化学测量、1:1 万综合剖面测量与槽探等验证方法, 并对元素分布、元素相关性、元素异常等特征进行研究。研究发现: ①Sb、Au 为本区成矿潜力大的优势成矿元素, As、Cu、Pb、Zn、Ag 为与 Sb、Au 矿化关系密切的重要找矿指示元素。②新发现 4 处蚀变岩型破碎蚀变脉, 圈定了 3 条锑工业矿体。③初步查明本区主要为破碎蚀变岩型锑金矿床, 受断层破碎带控制。结合矿区所处成矿条件和异常发育情况, 建议在外围开展 1:1 万土壤测量, 扩大找矿成果。

关键词: 玛多县夺儿贡玛; 地球化学; 金锑矿床; 找矿方向

中图分类号: P632

文献标志码: A

文章编号: 1009-6248(2025)01-0178-08

Geochemical Characteristics and Prospecting Direction of Duoergongma Area, Maduo County, Qinghai Province

MA Qing^{1,2}, WANG Yuanwei^{1,2,*}, GAO Yongbao^{1,2}, LIU Ming^{1,2}

(1. Technology Innovation Center for Gold Mine Exploration, China Geological Survey, Xi'an 710100, Shaanxi, China; 2. Xi'an Center of Mineral Resources Survey, China Geological Survey, Xi'an 710000, Shaanxi, China)

Abstract: For purpose of find out the metallogenic regularity of the broken and altered deposit in Duoergongma area, which is controlled by fault fracture zone, verification methods were adopted, such as soil geochemical survey, 1:10 000 comprehensive profile survey and trough exploration, and studied the characteristics of element distribution, element correlation and element anomaly. ① Sb and Au are the dominant ore-forming elements with great metallogenic potential, and As, Cu, Pb, Zn, Ag are the important ore-prospecting indicator elements closely related to Sb and Au mineralization. ② Four broken alteration veins of altered rock type have been discovered, and three antimony industrial orebodies have been delineated. ③ It is preliminarily identified that this area is mainly a broken alteration rock type antimony-gold deposit controlled by fault fracture zone. Combined with the metallogenic conditions and abnormal development of the mining area, it is suggested to car-

收稿日期: 2021-11-06; 修回日期: 2022-10-08; 责任编辑: 吕鹏瑞

基金项目: 中国地质调查局项目“新疆若羌县帕夏拉依档一带萤石、锂矿产调查评价”(DD20243309)、“阿尔金伊里奇曼-红柳沟地区萤石、金铜矿产调查评价”(DD20211551)联合资助。

作者简介: 马庆(1987-), 男, 硕士, 主要从事矿产地质勘查工作。E-mail: 275615761@qq.com。

* 通讯作者: 王元伟(1991-), 男, 硕士, 主要从事地质矿产工作。E-mail: 1036944931@qq.com。

ry out 1 : 10,000 soil survey in the periphery to expand the prospecting results.

Keywords: Duergongma; geochemistry; gold mine; antimony

勘查地球化学经过 80 多年的发展,在矿产勘探中的地位愈发重要(王学求, 2003; 崔晓亮等, 2011; 赵武强等, 2014; 刘啟能等, 2018; 张荣等, 2021; 史冬岩等, 2024)。水系沉积物测量和土壤地球化学测量是两种比较经典的地球化学勘查手段(邓兴智等, 2016; 李本茂等, 2017; 郝玉军等, 2017; 张辉等, 2018; 刘永胜等, 2023)。水系沉积物测量的直接性、高效性和经济性特点在矿产勘查中发挥了巨大作用,找到了众多矿床(张运强等, 2015; 赵娟等, 2017; 廖国忠等, 2018; 余元军等, 2019)。土壤地球化学测定可以较快缩小找矿范围,较为准确确定异常源位置,具有显著找矿效果(杨笑笑等, 2018; 李新鹏等, 2019; 孙双俊等, 2020)。为了进一步缩小找矿靶区,笔者在 1 : 5 万水系沉积物测量所获得的较好 $HS_{甲1}^{29}Sb(AsAgAu)$ 综合异常基础上,采用土壤地球化学测量、1 : 1 万综合剖面测量与槽探等验证方法,发现了 4 处蚀变岩型的破碎蚀变脉,圈定了 3 条锑工业矿体,规模为中型。

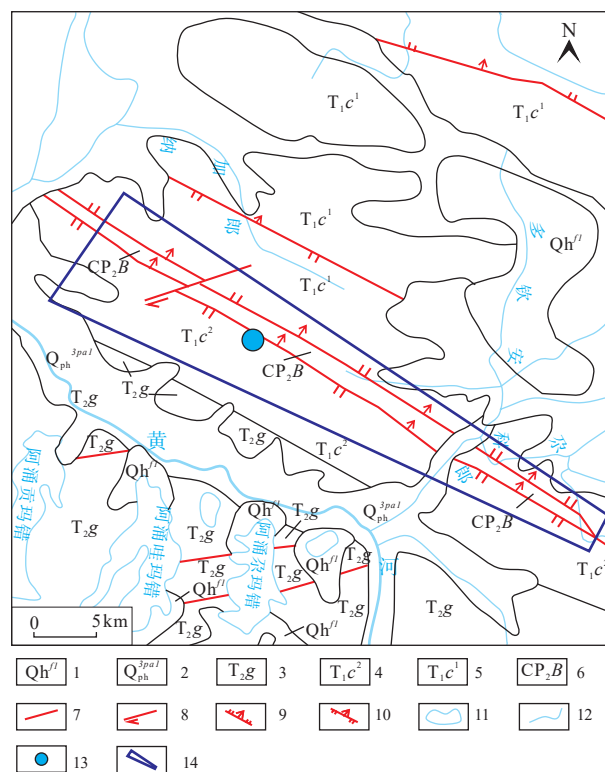
1 地质背景

矿区坐落于青海省果洛藏族自治州默德县北侧,处于秦祁昆造山系与西藏-三江造山系接触带,默德-马丁增生楔与可可西里森潘周缘前陆盆地的交汇处。划属成矿带为北梵蒂冈卡拉-马尔康 Au-Ni-Pt-Fe-Mn-Pb-Zn-Li-Be-白云母,成矿亚带为龙洼-昌马河 Au-Sb(稀土、W、Sn)。地质构造演化特征:早期以拉张-裂隙-沉降和沉积作用为主;晚期经历了俯冲、挤压褶皱造山作用和深层次韧性剪切向浅层次脆性破裂演变等过程。地层以活动型内陆海二叠纪—三叠纪沉积地层为主,岩浆活动非常微弱。

矿区主要从老到新出露地层有石炭系—中二叠系布青山群(CP_2B)、早三叠系昌马河组下段(T_1c^1)、早三叠系昌马河组上段(T_1c^2)、中三叠系甘德组(T_2g)。石炭系—中二叠系布青山群(CP_2B)岩性以石英长石砂岩、板岩为主,含灰色生物碎屑灰岩。早三叠系昌马河组下段(T_1c^1)以浅灰色长石硬砂岩为主,硬砂质长石石英砂岩夹粉砂岩夹板岩为辅;上段(T_1c^2)以浅绿色硬砂质长石石英砂岩与粉砂质板岩互层为主,夹少量含凝灰岩的砂岩板岩。中三叠系甘德组(T_2g)以

灰色岩屑长石砂岩、细砂-粉砂岩夹黑色板岩与灰绿色片理化长石砂岩为主,含杂砂岩夹板岩千枚岩及灰岩透镜体。

矿区断裂构造和褶皱构造发育,有一组位于中部玛多北山,西端被红层盆地覆盖,东端向斗格方向延伸,呈 NW 向的玛多-斗格涌断裂带,其次受印支期构造变形,发育有纲加郎向斜、夺尔贡玛背斜构造,而岩浆岩不发育(图 1)。



1. 第四系湖积物; 2. 第四系冲洪积物; 3. 中三叠系甘德组; 4. 早三叠系昌马河组上段; 5. 早三叠系昌马河组下段; 6. 石炭纪—中二叠系布青山群; 7. 性质不明断层; 8. 平移断层; 9. 正断层; 10. 逆断层; 11. 湖泊; 12. 水系; 13. 矿区;
14. 1 : 5 万水系沉积物测量范围

图1 矿区地质简图

Fig. 1 Geological diagram of mining area

2 地球化学特征

2.1 水系沉积物地球化学特征

1 : 5 万水系沉积物测量发现 $HS_{甲1}^{29}Sb(AsAgAu)$ 综合异常(图 2), 异常受控于昆仑山口-甘德区域性深

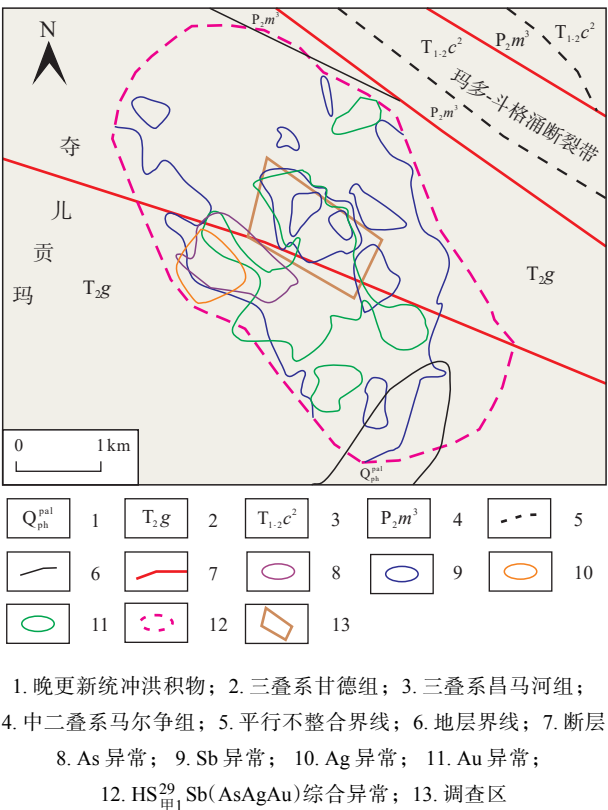


图2 矿区 1：5 万水系沉积物测量综合异常图
Fig. 2 Comprehensive anomaly map of 1:50 000 stream sediment survey in the mining area

大断裂带,大场金锑矿床与其受控于同一构造带。主元素为 Sb, 区域背景值为 3.14×10^{-6} , 呈不规则状, NW 向分布, 面积约为 12 km^2 , 包括 72 个异常点, 其异常下限为 4×10^{-6} , 峰值为 33.48×10^{-6} , 均值为 7.26×10^{-6} 。异常北部和南部有两处内带浓集中心。伴生元素 Au, 区域背景值为 1.21×10^{-9} , 异常呈 NW 向带状展布, 面积近 3 km^2 , 由 32 个异常点组成, 异常下限为 2×10^{-9} , 峰值为 4.17×10^{-9} , 均值为 2.5×10^{-9} 。此外, 在该异常区

域中, As 区域背景值为 20.01×10^{-6} , 异常规模较大, 具有二级浓度分带; Ag 区域背景值为 56.10×10^{-9} , 其中单点异常强度高, 可达 $1\,249\times10^{-9}$ 。该异常具有面积大和 Sb、Au 平均值高特点, 并伴生大面积 As 异常及其他多元素异常, 元素组合好。主元素 Sb、Au 在北部套合较好, 在浓集中心发现了 3 条碎裂蚀变带。

2.2 土壤地球化学特征

2.2.1 统计参数特征

在 1：5 万水系沉积物测量的 $\text{HS}_{\text{甲}1}^{29}\text{Sb}(\text{AsAgAu})$ 综合异常区, 进一步缩小找矿范围, 布设 1：1 万土壤测量进行查证。土壤测量网度为 $100\text{ m}\times20\text{ m}$, 采集残坡积层(B、C 层)中细粒物质, 混入的岩石碎块、植物根系均给予剔除。采样粒度为 $-20\sim+80$ 目。共采集样品 2 742 件, 包含重复样 137 件。重复样品合格率为 91.7%, 分析结果可靠。检测元素是 Au、Ag、Cu、As、Sb、Pb、Zn。通过参考区域水系沉积物的异常下限, 结合矿区地质地球化学特征最终确定异常下限(迟清华等, 2007), 获得土壤地球化学测定参数(表 1)和元素对数分布图(图 3)。Au、Sb 变异系数高, 分异显著, 而 As、Sb 富集系数高, 富集显著(表 1)。

2.2.2 元素组合特征

元素亲和性在地质体内具体表现为元素组合(戚长谋, 1997; 向文帅等, 2024), R 型聚类可以分析成矿活动中元素的地球化学行为相似度(邓军等, 2000; 刘永胜等, 2023)。将土壤地球化学样品测定结果, 通过元素 R 型聚类分析(图 4), 认为元素相关系数 >0.3 时, 存在 3 种元素组合, 为 As-Sb-Au、Cu-Pb-Zn 和 Ag。其中, As-Sb-Au 为与低温成矿流体活动有关的前缘元素组合, Cu-Pb-Zn 为中温元素组合, Ag 反映特殊地球化学特点, 推测为与热液矿床相关的一套元素组合。

表 1 土壤地球化学测量数据统计

Tab. 1 Statistics of soil geochemical measurements

元素	最大值(C_{max})	最小值(C_{min})	背景值(C_a)	标准离差(S)	变化系数(Cv)	异常下限(T)	富集系数($C_a/\text{克拉克值}$)
Au	30.06	0.31	1.4	1.24	0.88	2	0.35
Ag	530	26.3	58.3	22.9	0.39	85	0.78
As	100	6.6	21.6	5.34	0.25	30	12.00
Cu	393.7	6.62	28.2	8.35	0.29	35	0.47
Pb	67.7	4.6	21.3	3.6	0.16	27	1.52
Sb	50	1.1	4.5	5.8	1.29	5.5	22.50
Zn	270.9	19.9	79.5	14.8	0.18	95	1.14

注：2 742 件样品, Au、Ag 含量为 10^{-9} , 其他元素含量为 10^{-6} 。

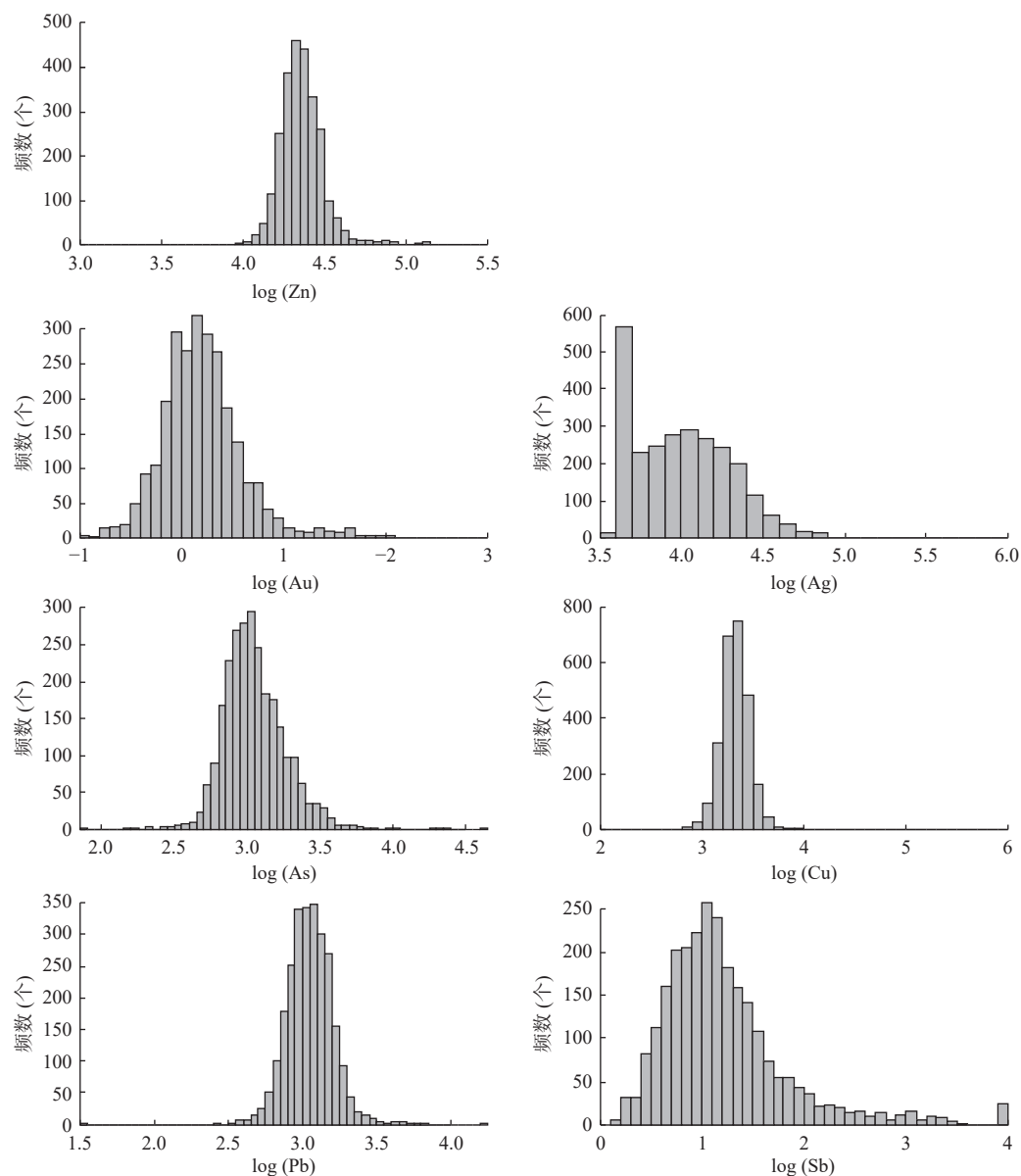


图3 土壤地球化学测量数据对数分布图(样本数:2 742 件)

Fig. 3 Logarithmic distribution of soil geochemical data (number of samples: 2 742)

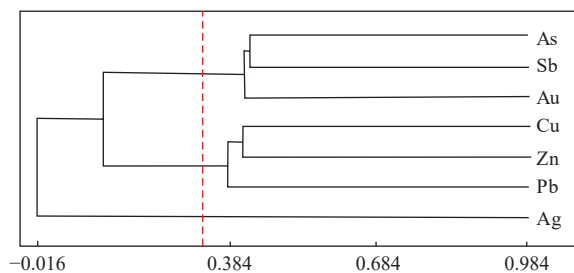


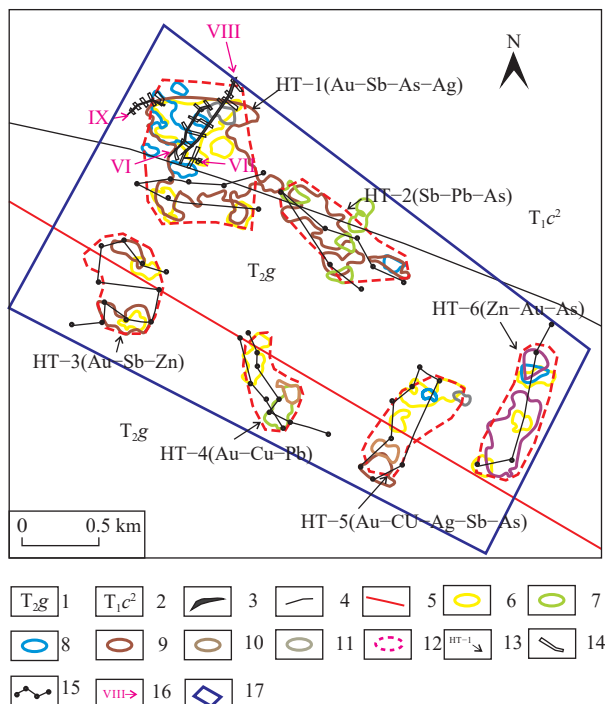
图4 土壤样品元素 R 型聚类分析谱系图

Fig. 4 R-type clustering analysis of soil sample elements

2.2.3 异常特征

1 : 1 万土壤地球化学测量圈定出 6 处综合异常

(图 5), 矿区 NW 方向 HT1 综合异常 NAP 值较大, 元素组合复杂, 呈不规则状, 元素组合以 Sb、Au 为主, Sb 异常的浓度分带清晰, 中带内带较宽, 具有 1 个浓集中心。其中, Sb_1 异常面积最大为 0.46 km^2 , 平均强度为 13.87×10^{-6} , 最高强度为 50×10^{-6} , 变异系数为 0.98, 外、中、内三带齐全; Au 异常浓度分带清晰, 具有两个浓集中心, 其中 Au_1 异常面积为 0.105 km^2 , 平均强度为 3.73×10^{-9} , 最高强度为 30.06×10^{-9} , 变异系数为 1.16, 外、中、内 3 条谱带齐全(图 6)。该综合异常强度高, 元素组合相对简单, 发育成早三叠统昌马河组上段(T_1c^2)与中三叠系甘德组(T_2g)地层界线夺尔贡



1. 三叠系甘德组; 2. 三叠系昌马河组上段; 3. 地质界线; 4. 地层界线; 5. 断层; 6. Au 异常; 7. Pb 异常; 8. As 异常; 9. Sb 异常; 10. Cu 异常; 11. Ag 异常; 12. 综合异常; 13. 综合异常编号; 14. 探槽; 15. 地质调查路线; 16. 蚀变脉体编号; 17. 1:1 万土壤测量范围

图5 矿区 1:1 万土壤地球化学测量综合异常及工程布置简图

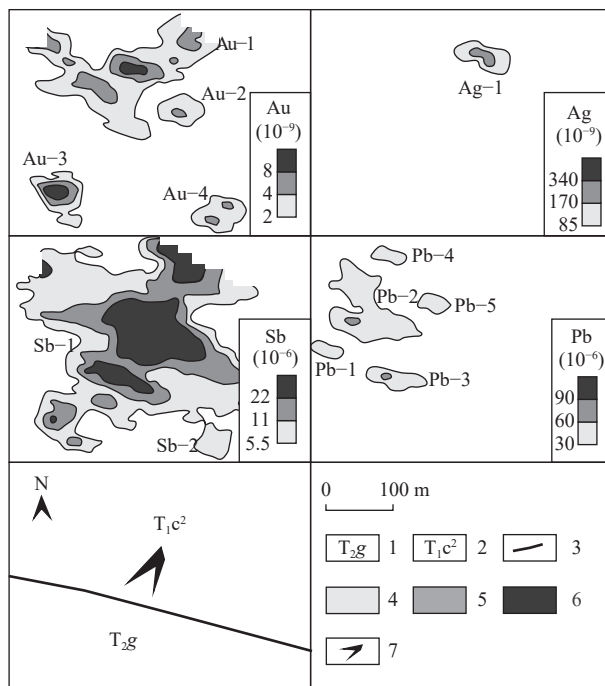
Fig. 5 Comprehensive anomaly and engineering layout diagram of 1:10 000 soil geochemical survey

马背斜南翼与马德—斗格涌出断裂二次断裂交叉部位的破碎蚀变岩体,处于有利的成矿部位,与西北部夺尔贡玛锡金矿点不远,推测为有进一步工作评价意义的矿致异常。

2.3 异常查证成果

对 HT-1(Au-Sb-As-Ag)异常进行 1:10 000 路线地质调查,发现多处辉锑矿化硅化蚀变岩转石,随后对矿化点进行稀疏槽探工程揭露控制,发现 VI、VII、VIII、IX 号破碎蚀变岩脉(图 5),均为蚀变岩型,其中 VII、VIII、IX 号破碎蚀变岩脉中见辉锑矿。

VI 号蚀变脉体由 9 条探槽控制,蚀变带长约为 500 m,产状约为 $210^{\circ}\sim 275^{\circ}\angle 55^{\circ}\sim 73^{\circ}$ 。岩石成分主要为隐晶质石英,次为少量砂岩碎块。矿化以褐铁矿化常见,见少量辉锑矿化。其中,褐铁矿化在石英及砂岩团块表面、裂隙间较为发育,在强硅化蚀变岩的表面矿化较好,地表风化呈黑褐色。辉锑矿多呈团块状、细脉状,具金属光泽。蚀变主要为强硅化,呈致密



1. 三叠系甘德组; 2. 三叠系昌马河组上段; 3. 地质界线; 4. 异常外带; 5. 异常中带; 6. 异常内带; 7. 辉锑矿矿脉

图6 矿区 1:1 万土壤地球化学测量 HT1 异常剖析图

Fig. 6 Anomaly diagram of HT1 anomaly in 1:10 000 soil geochemical survey in mining area

块状,呈无色—褐色,以细粒—微细粒状石英为主。可见少量金矿化品位显示,矿化较弱,品位为 $0.11\times 10^{-6}\sim 0.15\times 10^{-6}$;没有锑矿化品位显示。

VII 号蚀变脉体由 4 条探槽控制,蚀变带长约为 120 m,宽约为 0.8~1.0 m,产状约为 $230^{\circ}\sim 245^{\circ}\angle 40^{\circ}\sim 75^{\circ}$ 。蚀变带内以砂岩和石英为主,含少量黏土矿物,矿化蚀变类型为辉锑矿化和褐铁矿化。辉锑矿化多位于砂岩层间破碎带内,呈团块状、脉状、放射状及针状,呈微细粒状,具金属光泽,品位为 0.5%~1%;褐铁矿呈薄层状,在砂岩、石英表面和裂隙内较为发育。两个工程见矿,矿体产出于砂岩和片岩接触部位,长约为 75 m, Sb 品位为 5.08%~11.04%,矿体厚度为 0.83~1.08 m。

VIII 号蚀变脉体由 9 条探槽控制,地表延伸约为 650 m,宽约为 1~5 m,最宽达 26 m,产状约为 $240^{\circ}\sim 250^{\circ}\angle 55^{\circ}\sim 73^{\circ}$,沿走向产状变化大。蚀变带出露于砂岩的层间破碎带内,岩石较为破碎而呈碎块状、黏土状,以砂岩、石英为主,含少量泥质片岩。矿化蚀变以辉锑矿化为主,褐铁矿化也较为普遍,其中辉锑矿化主要呈脉状、团块状,少量为针状、放射状,品位约为 1%。蚀变以硅化为主,以石英团块和隐晶质石

英为主。7 个工程见矿, 控制矿体长度为 552 m, Sb 品位为 0.98%~22.02%, 矿体厚度为 0.62~3.68 m。VIII 号矿体由 TC607-TC611 及 TC701 等工程控制, 长约为 592 m, 厚度约为 1~2.5 m, 最大厚度为 23 m, 平均厚度为 2.0 m(图 7)。Sb 品位为 0.57%~5.56%, 最高品位为 32.91%, 平均品位为 5.46%。根据推算, 334 预测资源量为 9 831 t。

IX 号蚀变脉体由 5 条探槽控制, 地表延伸长度约为 245 m, 宽为 2~4 m, 最宽为 30 m, 产状约为 $221^{\circ}\sim 225^{\circ}\angle 35^{\circ}\sim 45^{\circ}$, 以缓倾为主, 产状不稳定, 局部反倾。蚀变位于砂岩层间破碎带内, 岩石多呈破碎状和泥质, 以砂岩和石英为主, 含少量泥质; 矿化蚀变以辉锑矿化为主, 露头中可见辉锑矿化, 探槽中仅 1 个工程中可见明显矿化现象, 其他探槽未见显示。辉锑矿主要呈脉状、团块状, 少量以针状、放射状产出, 含量约为 1%。1 个工程见矿, 控制长度为 193 m, Sb 品位为 0.98%~22.02%, 矿体厚度为 0.62~3.68 m。

3 成矿规律与找矿方向

研究区内已发现的矿体和矿化体集中分布于昆仑山口-甘德断裂带内或旁侧, 该断裂规模大、切割深, 为深源的含矿热液和流体提供了运移通道(马彦青等, 2013)。断裂带内及旁侧派生的次级断裂主要表现为 NW 向、NE 向和近 EW 向, 次级构造的规模基本框定了矿化带的规模, 次级断裂形成的破碎带内普遍发育硅化、褐铁矿化、绢云母化等, 区内的辉锑矿化也大多发育在这些破碎带内, 是成矿物质的沉淀及富集的

有利场所。

区内矿(化)体赋存于早—中三叠世昌马河组中, 与昆仑山口-甘德断裂带密切相关。结合前人对北巴颜喀拉造山带的研究和区域内大场金矿、东大滩金矿成矿时间的研究成果, 初步认为本区主要成矿时期为印支造山晚期。

区内的蚀变主要为硅化和褐铁矿化, 少量黄铁矿化和绢云母化, 矿化以辉锑矿化为主, 具有“黄铁绢英岩化”热液蚀变特征。此外, 区内的昌马河组中 Sb、Au 等成矿元素背景值非常高。因此认为区内成矿物质来源一方面来自于深源的含矿热液本身, 另一方面来自于地层岩石中的成矿物质活化补充。

研究区位于北巴颜喀拉-马尔康 Au-Ni-Pt-Fe-Mn-Pb-Zn-Li-Be-白云母成矿带内, 带内成矿地质环境优越, 已发现的典型矿床有东大滩锑金矿床、大场金锑特大型矿床、加给陇洼中型金锑矿床(何书跃等, 2023)。在区内, 三叠纪地层为区内的最主要地层, 也是发育最为广泛的地层单位, 这为区内的成矿作用提供了丰富的物质来源。此外, NE 向、NW 向、近 EW 向控矿构造发育良好, 从区内土壤地球化学异常分布形态来看, 其主要受 NE 向和近 EW 向次级断裂构造控制。

结合研究区和区域上的成矿事实, 初步认为本区找矿方向应为构造控矿的中低温热液矿床, 主攻矿种为 Sb、Au, 矿床成因类型为构造蚀变岩型, 以 Sb、Au 元素为主异常元素的 1:1 万土壤地球化学综合异常分布地区是较为有利的找矿靶区。早—中三叠世昌马河组地层为本区提供了丰富的成矿物质来源, 昆仑山口-甘德断裂带内及其旁侧的次级构造为成矿流体

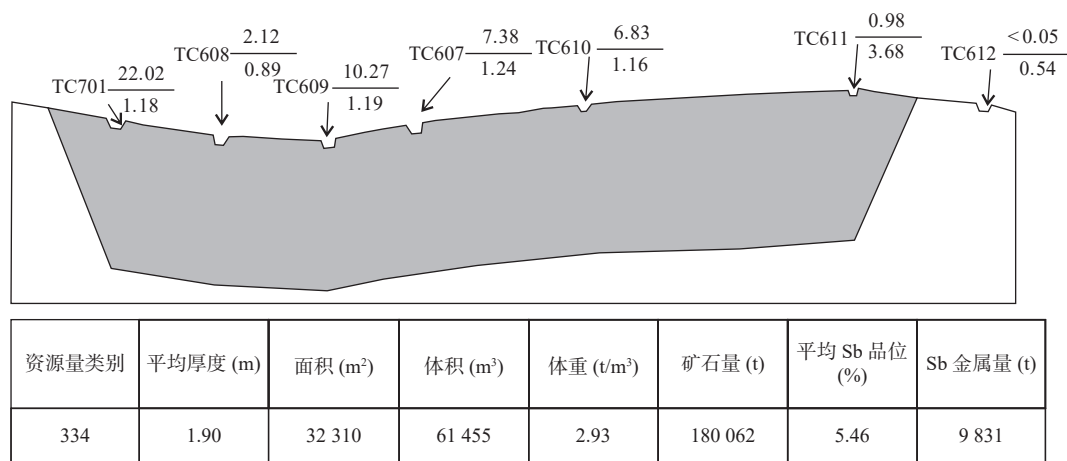


图7 VIII1号锑矿体资源量估算垂直纵投影图

Fig. 7 Vertical and longitudinal projection of VIII1 antimony ore-body resources estimation

的运移和沉淀成矿提供了空间和场所,区域上的松潘-甘孜洋/海盆(古特提斯洋)向北俯冲碰撞为该区提供了足够的能量。综合认为,本预查区具备成矿所需的物质场、空间场和能量场,其成矿条件非常有利,找矿前景非常好。

4 结论

(1)区内地球化学主异常元素为 Sb 和 Au,反映了中低温热液成矿作用,矿化总体呈现西强、北东弱的趋势。Sb、Au 为本区成矿潜力大的优势成矿元素,As、Cu、Pb、Zn、Ag 与 Sb、Au 矿化关系密切,为重要的找矿指示元素。

(2)区内主要成矿时期为印支晚期,成矿物质来源为深部含矿热液和地层成矿物质的活化,矿床成因类型为构造蚀变岩型。

(3)本区新发现破碎蚀变岩型中型锑矿 1 处,矿体受断层破碎带控制;结合矿区所处成矿条件和异常发育情况,建议在矿区外围有利地段开展 1:1 万土壤测量。

参考文献(References):

- 迟清华. 应用地球化学元素丰度数据手册[M]. 北京:地质出版社, 2007.
- CHI Qinghua. Application of Geochemical Element Abundance Data Manual [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2007.
- 崔晓亮, 刘婷婷, 王文恒, 等. 东昆仑布青山地区水系沉积物测量地球化学特征及找矿方向[J]. 物探与化探, 2011, 35(5): 573-578.
- CUI Xiaoliang, LIU Tingting, WANG Wenheng, et al. Geochemical Characteristics and Prospecting Direction of Stream Sediments in Buqingshan Area, East Kunlun[J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2011, 35(5): 573-578.
- 邓军, 孙忠实, 杨立强, 等. 吉林夹皮沟金矿带构造地球化学特征分析[J]. 高校地质学报, 2017, 25(3): 43-51.
- DENG Jun, SUN Zhongshi, YANG Liqiang, et al. Geological Characteristics and Prospecting Potential of Yuhengtang Gold Deposit, Shandong Province[J]. Gold Science and Technology, 2017, 25(3): 43-51.
- 邓兴智, 戴竹. 矿产勘查中勘查地球化学新方法的应用[J]. 大科技, 2016, (14): 183-184.
- DENG Xingzhi, DAI Zhu. Application of new exploration geochemical methods in mineral exploration[J]. China Science and Technology, 2016, (14): 183-184.
- 郝玉军, 肖昱, 段建良, 等. 湘西茶庵铺地区地球化学特征及找矿方向[J]. 地质与勘探, 2017, 53(6): 1105-1114.
- HAO Yujun, XIAO Yu, DUAN Jianliang, et al. Geochemical Characteristics and Prospecting Direction of Zhaanpu Area in Western Hunan Province[J]. Geology and Exploration, 2017, 53(6): 1105-1114.
- 何书跃, 林贵, 钟世华, 等. 造山作用孕育“青海金腰带”[J]. 西北地质, 2023, 56(6): 1-16.
- HE Shuyue, LIN Gui, ZHONG Shihua, et al. Geological Characteristics and Related Mineralization of “Qinghai Gold Belt” Formed by Orogeny[J]. Northwestern Geology, 2023, 56(6): 1-16.
- 李本茂, 叶丽梅, 王宝禄, 等. 云南省勘查地球化学方法及其应用[J]. 云南大学学报(自然科学版), 2017, 39(S2): 147-150.
- LI Benmao, YE Limei, WANG Baolu, et al. Geochemical exploration methods and their application in Yunnan Province[J]. Journal of Yunnan University (Natural Science Edition), 2017, 39(S2): 147-150.
- 李新鹏, 张俭峰, 罗霄. 土壤地球化学测量找矿效果研究[J]. 世界有色金属, 2019, (7): 265-265.
- LI Xinpeng, ZHANG Jianfeng, LUO Xiao. Study on the prospecting effect of soil geochemical survey[J]. World Nonferrous Metals, 2019, (7): 265-265.
- 廖国忠, 张伟, 梁生贤, 等. 基于水系流域的地球化学异常分析方法——以 1:50 000 丫他幅水系沉积物分析为例[J]. 地质与勘探, 2018, 54(2): 315-324.
- LIAO Guozhong, ZHANG Wei, LIANG Shengxian, et al. Analysis method of geochemical anomaly based on drainage basin: A case study of 1:50 000 Yata stream sediment[J]. Geology & Exploration, 2018, 54(2): 315-324.
- 刘啟能, 周小栋, 苏小岩, 等. 河南省刘老湾地区地质、物化探特征及找矿前景分析[J]. 中国地质, 2018, 45(2): 392-407.
- LIU Qineng, ZHOU Xiaodong, SU Xiaoyan, et al. Geological Characteristics and Prospecting Prospects of Linglong Gold Deposit, Shandong Province[J]. Geology in China, 2018, 45(2): 392-407.
- 刘永胜, 罗先熔, 曹佰迪, 等. 甘肃省礼县三峪地区土壤地球化学特征及找矿预测[J]. 西北地质, 2023, 56(6): 340-351.
- LIU Yongsheng, LUO Xianrong, CAO Baidi, et al. Soil Geochemical Characteristics and Prospecting Prediction in Sanyu Area, Li County, Gansu Province[J]. Northwestern Geology, 2023, 56(6): 340-351.
- 马彦青, 郭贵恩, 易平乾, 等. 青海昆仑山口—两湖地区金矿成矿模式[J]. 西北地质, 2013, 46(4): 156-162.
- MA Yanqing, GUO Gui'en, YI Pinggan, et al. Metallogenic Model of

- Gold Deposit in Kunlun Mountain and Lianghu Lake Area, Qinghai Province[J]. *Northwestern Geology*, 2013, 46(4): 156–162.
- 戚长谋. 元素地球化学分类讨论[J]. 长春科技大学学报, 1997, 21(4): 361–365.
- QI Changmou. Discussion on the geochemical classification of elements[J]. *Journal of Changchun University of Science and Technology*, 1997, 21(4): 361–365.
- 史冬岩, 张玉鹏, 张坤, 等. 大兴安岭北东段森林沼泽区地球化学找矿方法研究: 以黑龙江省二道坎村银多金属矿区为例[J]. 西北地质, 2024, 57(2): 107–120.
- SHI Dongyan, ZHANG Yupeng, ZHANG Kun, et al. Study on Geochemical Prospecting Methods in Forest Swamp Area of North-east Daxing'an Mountains: Example from Erdaokan Silver Polymetallic Mine Area in Heilongjiang Province[J]. *Northwestern Geology*, 2024, 57(2): 107–120.
- 孙双俊, 李政龙, 刘越, 等. 土壤地球化学测量在姚村矿区找矿中的应用[J]. 地质找矿论丛, 2020, 35(3): 84–89.
- SUN Shuangjun, LI Zhenglong, LIU Yue, et al. Application of soil geochemical survey in prospecting of Yaocun gold deposit[J]. *Contributions to Geology and Mineral Resources Research*, 2020, 35(3): 84–89.
- 王学求. 矿产勘查地球化学: 过去的成就与未来的挑战[J]. 地学前缘, 2003, 10(1): 239–248.
- WANG Xueqiu. Mineral exploration geochemistry: Past achievements and future challenges[J]. *Earth Science Frontiers*, 2003, 10(1): 239–248.
- 向文帅, 吴颖, 赵凯, 等. 厄立特里亚 GASH 金矿集区地球化学特征及信息提取[J]. 西北地质, 2024, 57(2): 184–196.
- XIANG Wenshuai, WU Ying, ZHAO Kai, et al. Geochemical Characteristics and Information Extraction in GASH Ore Concentration Area, Eritrea[J]. *Northwestern Geology*, 2024, 57(2): 184–196.
- 余元军, 晋红展, 曹长胜. 1:5万水系沉积物测量在西昆仑火烧云地区矿产资源评价中的应用[J]. 地质学刊, 2019, 43(4): 560–565.
- YU Yuanjun, JIN Hongzhan, CAO Changsheng. Application of 1:50 000 stream sediment survey in mineral resources evaluation in Huohuoyun area, West Kunlun[J]. *Journal of Geology*, 2019, 43(4): 560–565.
- 赵娟, 王泰山, 李德彪, 等. 青海祁漫塔格地区 1:5万水系沉积物测量方法技术及应用成果[J]. 地质与勘探, 2017, 53(4): 739–745.
- ZHAO Juan, WANG Taishan, LI Debiao, et al. The technology and application of 1:50 000 stream sediment measurement in Qimantage area, Qinghai Province[J]. *Geology and Exploration*, 2017, 53(4): 739–745.
- 张辉, 马庆, 宋贺民, 等. 地球化学定量预测法在区域矿产调查中的应用——以新疆比勒提地区为例[J]. 物探与化探, 2018, 42(5): 857–865.
- ZHANG Hui, MA Qing, SONG Hemin, et al. Application of Geochemical Quantitative Prediction Method in Regional Mineral Survey: A Case Study of Bileti Area, Xinjiang Province[J]. *Geophysical and Geochemical Exploration*, 2018, 42(5): 857–865.
- 张运强, 陈海燕, 张立国, 等. 冀北新杖子地区水系沉积物地球化学特征及找矿预测[J]. 中国地质, 2015, 42(6): 1980–1988.
- ZHANG Yunqiang, CHEN Haiyan, ZHANG Liguang, et al. Geochemical Characteristics and Prospecting Prediction of River Sediments in Xinzhangzi Area, Hebei Province[J]. *Geology in China*, 2015, 42(6): 1980–1988.
- 张荣, 周文博, 阳正勇, 等. 内蒙古水泉沟地区化探次生晕找矿效果浅析[J]. 西北地质, 2021, 54(1): 72–81.
- ZHANG Rong, ZHOU Wenbo, YANG Zhengyong, et al. Preliminary analysis of geochemical secondary halo prospecting effect in Shuiquangou area, Inner Mongolia[J]. *Northwestern Geology*, 2021, 54(1): 72–81.
- 杨笑笑, 罗先熔, 郑超杰, 等. 衡阳盆地北缘国庆矿区土壤地球化学特征及找矿方向[J]. 地质与勘探, 2018, 54(4): 762–771.
- YANG Xiaoxiao, LUO Xianrong, ZHENG Chaojie, et al. Geochemical characteristics and prospecting direction of the National Day ore deposit in the northern margin of Hengyang Basin[J]. *Geology and Exploration*, 2018, 54(4): 762–771.
- 赵武强, 崔森, 邹先武, 等. 湖南禾库地区水系沉积物地球化学特征及找矿预测[J]. 中国地质, 2014, 41(2): 638–647.
- ZHAO Wuqiang, CUI Sen, ZOU Xianwu, et al. Geochemical Characteristics and Prospecting Prediction of Stream Sediments in Heku Area, Hunan Province[J]. *Geology in China*, 2014, 41(2): 638–647.