



引文格式: 于小亮, 王成勇, 李杰, 等. 东昆仑东段那更康切尔地区银多金属矿床原生晕特征及深部预测[J]. 西北地质, 2025, 58(3): 221–235. DOI: 10.12401/j.nwg.2025018

Citation: YU Xiaoliang, WANG Chengyong, LI Jie, et al. Characteristics of Primary Halos and Deep Prospecting Prediction of the Nagengkangqieer Silver Deposit in Eastern of East Kunlun[J]. Northwestern Geology, 2025, 58(3): 221–235. DOI: 10.12401/j.nwg.2025018

东昆仑东段那更康切尔地区银多金属矿床 原生晕特征及深部预测

于小亮^{1,2,3}, 王成勇³, 李杰³, 马财³, 董基恩³, 李华³, 李向军³, 康波³, 魏小林^{3,*}

(1. 中国科学院青藏高原研究所, 北京 100101; 2. 中国科学院大学, 北京 100049; 3. 青海省地质调查局, 自然资源部高原荒漠区战略性矿产勘查开发技术创新中心, 青海 西宁 810001)

摘要: 那更康切尔地区位于东昆仑造山带东段的沟里金矿田, 为青海省首次发现的一处大型独立银矿床。随着银矿找矿工作向深部探索, 开展钻孔原生晕预测深部找矿是目前较为直观且有效的方法。本研究通过系统采集那更康切尔银矿 XI 矿带 0 勘探线 7 个钻孔 919 件样品进行地球化学测试, 分析了 Au、Ag、Cu、Pb、Zn、W、Sn、Mo、As、Sb、Hg、F、Mn、Bi、Co 等 15 种元素。用聚类分析方法研究了元素组合特征, 运用格里戈良法研究了原生晕分带特征。结果表明, 矿体自上而下原生晕轴向分带序列为 Au→Hg→Ag→Mo→Mn→Sn→Sb→As→Pb→Zn→W→Bi→Cu→F→Co, 总结了矿床异常元素的分带规律, 确定成矿近矿晕元素为 Ag、Pb、Zn、Au、Sb、Sn、Cu, 前缘晕元素为 Hg、As、(F), 尾晕元素为 Mo、Co、Mn、(Bi)、(W)。且存在前缘晕、近矿晕和尾晕元素相叠加的特征, 以及异常向深部延伸未显示歼灭的现象, 说明矿体深部沿轴向仍有延伸, 结合物化探特征, 并与区域矿床对比研究分析认为, XI 矿带北延部分矿体向深部仍有延伸, 深部找矿潜力较大。

关键词: 那更康切尔银矿; 原生晕; 元素组合特征; 轴向分带序列; 深部预测

中图分类号: P632; P595

文献标志码: A

文章编号: 1009-6248(2025)03-0221-15

Characteristics of Primary Halos and Deep Prospecting Prediction of the Nagengkangqieer Silver Deposit in Eastern of East Kunlun

YU Xiaoliang^{1,2,3}, WANG Chengyong³, LI Jie³, MA Cai³, DONG Jien³, LI Hua³, LI Xiangjun³, KANG Bo³, WEI Xiaolin^{3,*}

(1. Institute of Tibetan Plateau Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China; 2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China; 3. Qinghai Provincial Geological Survey Bureau, Technology Innovation Center for Exploration and Exploitation of Strategic Mineral Resources in Plateau Desert Region, Ministry of Natural Resources, Xining 810001, Qinghai, China)

Abstract: Nagengkangqieer area is located in the Gouli Gold Orefield in the eastern segment of the East Kun-

收稿日期: 2024-05-19; 修回日期: 2025-02-12; 责任编辑: 贾晓丹

基金项目: 青海省地质勘查基金项目“青海省柴周缘主要矿集区矿产资源深部勘查方法技术示范研究”(2021074008ky008)、“青海省重要矿集区深部找矿突破示范”(2023085029ky004)和“昆仑-阿尔金山锰铁区域成矿规律与智能找矿预测”(2024ZD1001800)联合资助。

作者简介: 于小亮(1988-), 女, 博士研究生, 矿物学、岩石学、矿床学专业。E-mail: xiaoliangyu1988@foxmail.com。

* 通讯作者: 魏小林(1981-), 男, 高级工程师, 主要从事地质矿产勘查工作。E-mail: qhwxl0911@163.com。

lun orogenic belt. It is the first large independent silver deposit discovered in Qinghai province. As exploration for silver minerals delves deeper, analyzing drilling primary halos to predict deep-seated mineralization stands as a current direct and effective method. In this study, We systematically collected 919 samples from 7 drill holes within the XI mineralized belt of the Nagengkangqieer silver deposit, and analyzed 15 elements including Au, Ag, Cu, Pb, Zn, W, Sn, Mo, As, Sb, Hg, F, Mn, Bi, Co. Cluster analysis was utilized to examine element combination features while the Grigoriev method was employed to study primary halo zoning characteristics. The results revealed an axial zoning sequence of the primary halo from surface to a depth is: Au→Hg→Ag→Mo→Mn→Sn→Sb→As→Pb→Zn→W→Bi→Cu→F→Co. We summarized zoning patterns of abnormal elements within the deposit and identified Ag, Pb, Zn, Au, Sb, Sn, and Cu as near-mine halo elements; Hg, As, and (F) as frontier-halo elements; Mo, Co, Mn, (Bi), and (W) as tail-halo elements. There are characteristics of near-mine halo, frontier-halo and tail-halo elements overlapping, as well as no signs of extermination in the deep part of the anomaly, indicating that the mineral body has further extension along the axis in the deep part. Combined with geophysical and geochemical characteristics, and compared with regional mineral deposits, it is believed that the mineralized body in the northern extension of the XI mineral belt extends further into the depths, and there is great potential for deep-seated mineral exploration.

Keywords: Nagengkangqieer silver deposit; primary halo; element combination characteristics; axial zonation sequence; prediction for mineral exploration in depth

东昆仑造山带是中国重要的金银成矿带,成矿作用类型复杂、矿种丰富多样(赵财胜, 2004),已发现的银矿床主要分布在东昆仑东段的沟里地区。如,那更康切尔沟银矿床(5 070.56 t, 浅成低温热液型)、哈日扎银多金属矿床(1 026.51 t, 热液脉型)、那更康切尔北银矿床(270.76 t, 浅成低温热液型)、各玛龙银多金属矿床(小型, 浅成低温热液型)等(范兴竹, 2022)(图 1),说明该区银矿找矿潜力较大。但随着浅地表勘查程度越来越高,找矿难度也越来越大,加之青海矿床勘查技术相对较为落后,尚未形成一套有效的综合找矿方法,银矿勘查迟迟无法取得较大进展。

那更康切尔沟银多金属矿床位于青海省沟里矿集区,已探明银矿资源量超过 5 000 t,是在青海省内首次发现的一处大型独立银矿床(徐崇文等, 2020)。自 2012 年以来,前人通过矿产地质勘查,积累了较多的成果资料,基本查明了那更康切尔沟银矿的矿床地质特征、控矿因素、成矿流体特征、成矿物质来源等,认为那更康切尔沟银矿床类型属于浅成低温热液型,矿床由断裂构造控制,成矿时代为三叠晚期,成矿物质来源于深部岩浆热液(杨涛等, 2017; 李敏同等, 2018; 陈晓东等, 2019; 徐崇文等, 2020; 范兴竹, 2022; 童永军等, 2023; 井国正等, 2023)。多年的勘查积累了大量的岩石地球化学数据,秦阳等(2020)研究了 07 号勘探线 II Ag-3 主矿体的原生晕特点,建立了盲矿预测的

构造叠加晕模式,并预测了深部矿体的延伸。但对该矿床原生晕的轴向分带特征和深部矿体赋存状态的研究尚浅。随着矿山浅部和周边找矿成果的下降,“攻深找盲”已成为矿区今后工作的重点。

原生晕地球化学异常研究,是建立在热液矿床原生晕轴向分带理论的基础上,以成矿成晕元素的分带特征为研究对象,研究各元素与成矿的相关关系,以达到总结成矿规律、指导找矿的目的(刘玉军等, 2018; Hossam et al., 2020; Aliyari et al., 2021; 郝迪等, 2021; Wu et al., 2022),在金、银等矿种找矿工作中得到广泛应用(吕鹏瑞, 2012; 贺昌坤等, 2020; Zheng et al., 2020; An et al., 2021; 李彦强等, 2022)。笔者选择矿区有代表性的 0 号勘探线进行原生晕特征研究,通过原生晕找矿方法,对该矿床钻孔进行原生晕元素测量,开展数学地质分析,建立原生晕元素分带,分析其原生晕轴向分带特征,以期能对该矿床深边部找矿工作提供有利依据。

1 成矿地质背景

1.1 区域地质

东昆仑成矿带地处青藏高原东北部,属秦祁昆造山系,近 EW 向展布于柴达木盆地与北巴颜喀拉成矿带之间,地质构造十分复杂,由北向南发育有东昆北、

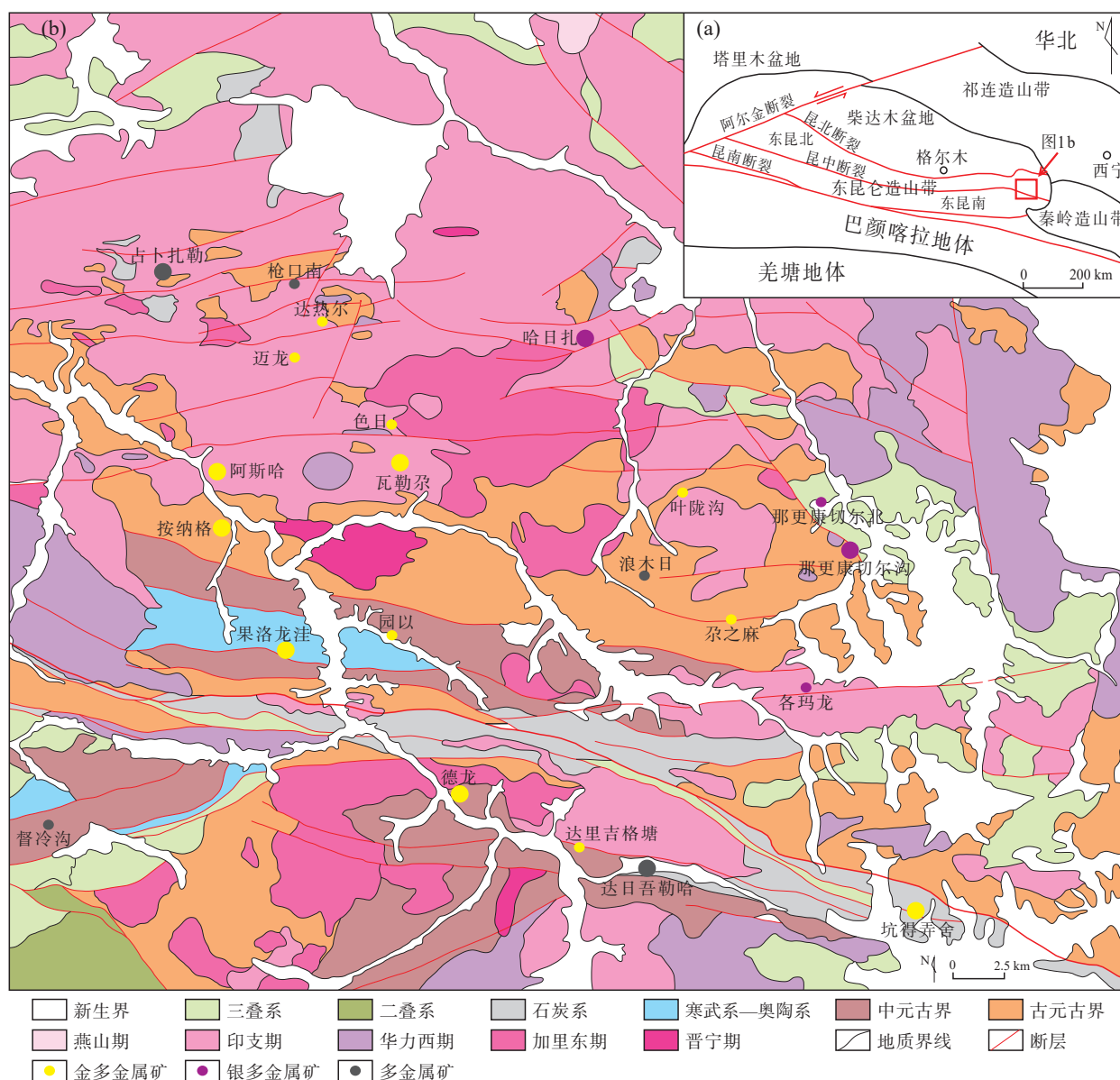


图1 沟里地区构造位置(a)和地质简图(b)(据井国正等, 2023 修改)

Fig. 1 (a) Structural location and (b) geological sketch map of Gouliang

东昆中和东昆南3条区域性深大断裂,并控制了区域地层、构造、岩浆岩和多金属矿产的分布(谷子成, 2021; 刘嘉情等, 2023; 王新雨等, 2023; 钟世华等, 2025),将东昆仑成矿带划分为了东昆北构造带、东昆中构造带、东昆南复合拼接带和阿尼玛卿蛇绿岩带等4个构造成矿带(图1a)。东昆仑成矿带从新太古代到新生代各时代不同类型的地层基本齐全,其中以三叠系最为发育,分布面积广。沉积地层以海相沉积为主,元古界、下古生界几乎全由海相地层组成;白垩纪以后基本全为陆相地层。元古宇包括金水口岩群、小庙岩群、苦海杂岩和万宝沟群,其中,元古界金水口

群、小庙岩群和苦海杂岩主要为中高级变质岩,共同组成了区内的基底岩系;下古生界包括纳赤台群浅变质岩,该地层也是区内金矿的重要赋矿围岩;上古生界包括牦牛山组、哈拉郭勒组、纳木苏组、浩特洛洼组、树维门科组、马尔争组和格曲组,岩性以沉积碎屑岩为主,同时包含灰岩以及火山岩;中生界包括洪水川组、闹仓坚沟组、鄂拉山组、羊曲组和大煤沟组;新生界为新近系上新统贵德群和第四系。

东昆仑成矿带岩浆活动强烈,产出大量的火山岩和侵入岩,各期岩浆岩组合存在一定差异,代表了构造演化的不同阶段,与成矿带多期造山作用相耦合。

其中以奥陶纪—泥盆纪(加里东期)和二叠纪—三叠纪(华力西期—印支期)岩浆活动强度最大,两期岩浆岩早期主要发育花岗闪长岩和闪长岩类,晚期主要发育二长花岗岩、钾长花岗岩等,代表了两期不同的造山旋回。总体上看,成矿带岩浆岩岩性多样,从超基性—基性岩—中酸性岩均有出露;岩浆岩就位形式多样,既有侵入岩(深成岩和浅成岩)也有喷出岩(熔岩和碎屑岩);侵入岩产状多样,既有规模宏大的岩基、也存在规模较小的岩株、岩脉或岩墙。加里东及华力西期—印支期的成矿作用最为强烈,成矿类型囊括了岩浆矿床(铜镍硫化物矿床)、热液矿床(斑岩型矿床、矽卡岩型矿床、造山型矿床、浅成低温热液矿床)、热水沉

积矿床、沉积变质矿床等矿床类型。矿种较为齐全,主要包括:黑色金属矿产(铁、锰、铬等)、有色金属矿产(铜、铅、锌、镍、钴、钨、锡、钼等)、贵金属矿产(金、银、铂)、稀有金属矿产(锂、铍、铌、钽)、稀土金属矿产(镧、铈)等(范兴竹, 2022)。

1.2 矿床地质特征

那更康切尔地区共发现两处银多金属矿床,分别是那更康切尔沟银多金属矿床和那更康切尔北银多金属矿床,均位于东昆仑造山带东段昆中断裂北侧。其中,那更康切尔沟银多金属矿区出露地层较为简单,从老到新依次为:古元古界金水口岩群(Pt_1j)、上三叠统鄂拉山组(T_3e)及第四系(Q)(图2)。金水口岩群地

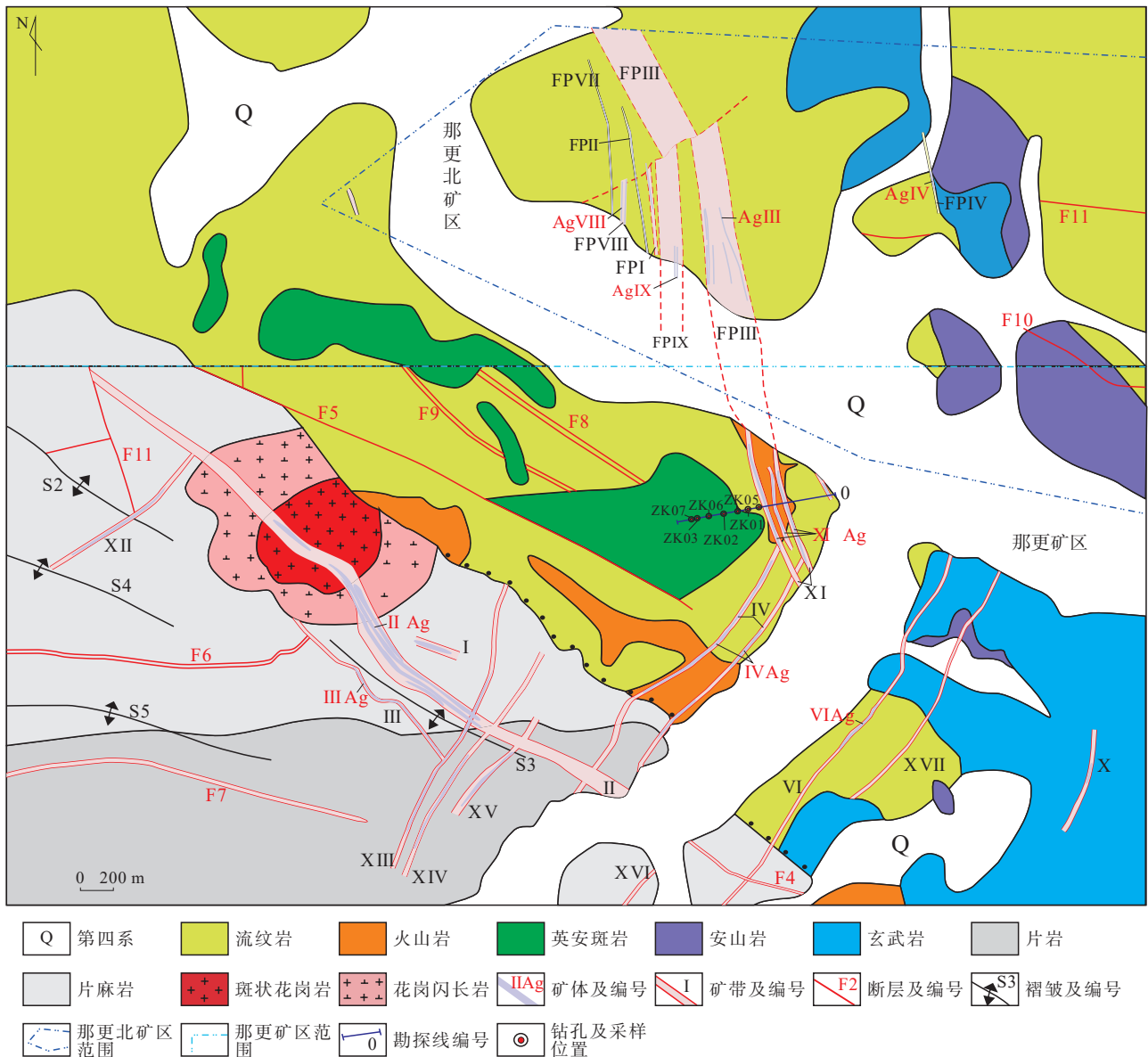


图2 那更地区地质简图(据秦阳等, 2020 修改)

Fig. 2 Geological sketch map of Nagengarea

层分布较广,主要为黑云母角闪斜长片麻岩、黑云斜长片麻岩、云母石英片岩及角闪片岩等;鄂拉山组地层分布于矿区北侧,主要岩性为流纹岩、英安岩、安山岩、玄武岩及火山角砾岩等。受昆中断裂构造影响,区内构造断裂、褶皱构造较发育,以NW向、近EW向、NE向断裂及矿区的环形构造为主控矿构造。矿区内岩浆活动主要发生于华力西期和印支期,华力西期岩浆侵入活动,在区内形成二长花岗岩(239 ± 1) Ma 和花岗闪长岩(252 ± 1) Ma(徐崇文等, 2020),呈岩珠产出;印支期岩浆喷发活动,在区内形成酸性-中性-基性火山岩系,为鄂拉山组。

矿区共圈出 18 个银矿化蚀变带, 46 条银矿体, 5 条铅锌矿体, 1 条金矿体。矿体多赋存在金水口岩群

的构造碎裂岩和角砾岩(构造角砾岩、隐爆角砾岩)及鄂拉山组中,主要呈似层状、囊状产出(图 3)。其中 I、II、III 号银矿带赋存于金水口岩群中,呈 NW 向延伸;其他矿化带主要赋存于鄂拉山组火山岩中,呈 NNW、NE 向展布。矿化蚀变强烈,主要有黄铁矿化、褐铁矿化、硅化、高岭土化、绿泥石化、碳酸盐化、软锰矿化、黄钾铁矾化等(于小亮等, 2018),其中硅化与银矿化关系密切(范兴竹, 2022)。

矿石类型多为脉状和角砾状银矿石,其中,矿石矿物以黄铁矿、辉银矿、自然银、褐铁矿为主,少量辉铜矿、硫锰矿、闪锌矿等;主要载银矿物为自然银、辉银矿、黝锑银矿、硫锑银矿及少银黄铁矿等;脉石矿物以绿泥石、斜长石、白云石、石英为主,其次为角闪

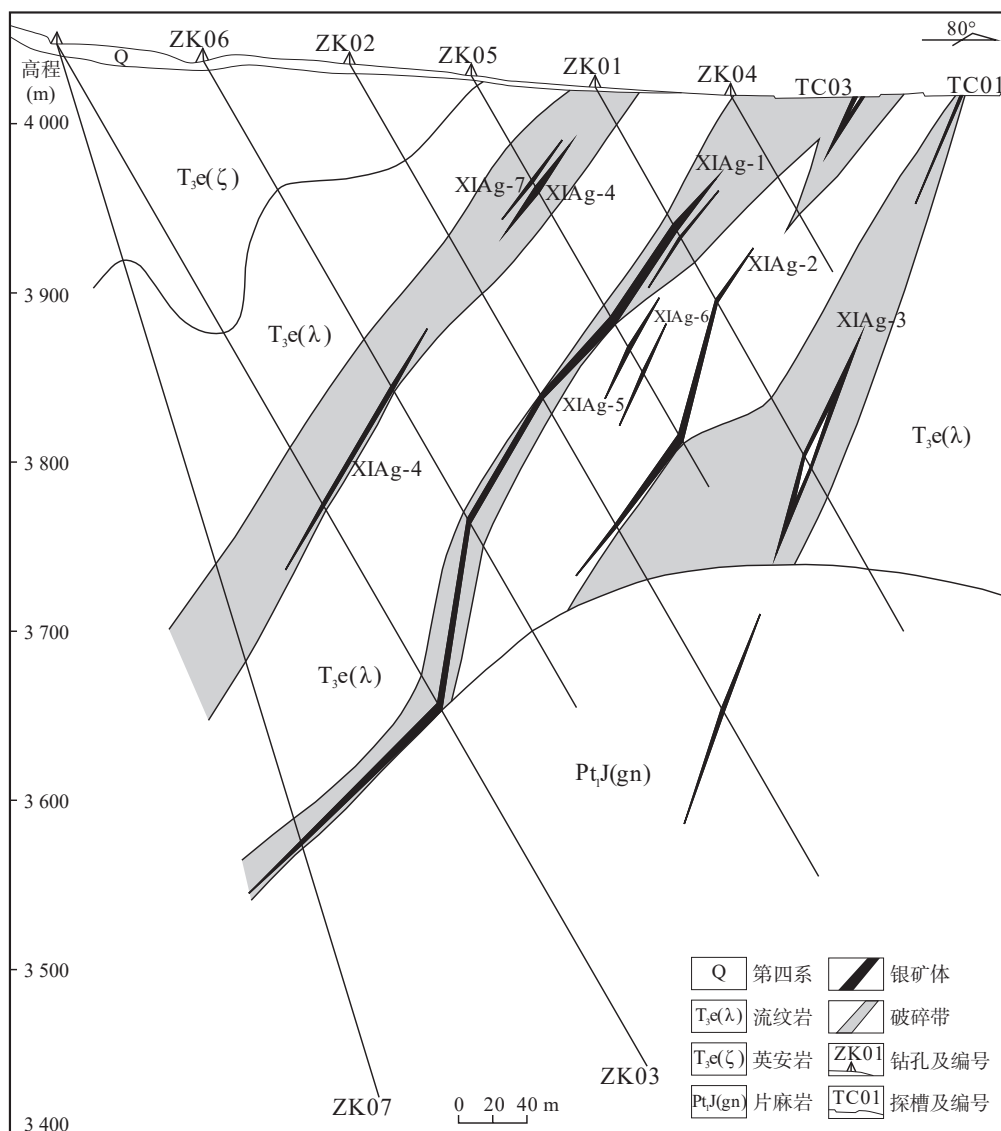


图3 那更矿区 0 勘探线剖面图(据四川省冶金地质勘查局水文工程大队, 2016)

Fig. 3 Geological section along No.0 exploration line in the Nageng mine

石、绢云母、黑云母。矿石具有半自形-自形粒状结构、骸晶结构、交代假象结构、交代结构、包含结构、碎裂结构等。矿石构造主要有角砾状构造、浸染状构造、脉状-网脉状构造等。

那更康切尔北银多金属矿位于那更康切尔沟大型银多金属矿床XI号矿带(NW)北延北部,矿区内的FPⅢ破碎蚀变带与XI号矿带为同一条矿带。该矿区地层出露简单,主要为大面积的上三叠统鄂拉山组及第四系;矿区发育有NW向及NE向两组断裂构造。矿区内共圈出6条破碎蚀变带,矿体主要成脉体产于以上构造破碎带中,矿体主要受构造控制。目前,该矿床工作程度较低,矿体控制程度较低,矿体在深部品位、厚度、产状等不明。对比那更康切尔沟大型银多金属矿床XI号矿带,那更北矿区与其无缝对接,且高品位银矿体地质背景一致,显示出较好的找矿潜力。

2 样品采集及分析方法

本次岩石原生晕地球化学采样主要选择那更康切尔沟银多金属矿床内控制XI号矿带的0号勘探线上7个钻孔,共采集钻孔岩心地球化学测试样品919件,送至西南冶金地质测试中心进行测试,分析了Au、Ag、Cu、Pb、Zn、As、Sb、Hg、F、Mn、W、Sn、Mo、Bi、Co等15种元素。采样方法为全孔连续捡块法,多点采样组合成一个样品,样品重量一般不低于500 g。样品以3~5 m为点距,在矿体或蚀变较强的地段采样间距加密为3 m,样品采样时要求采集新鲜岩(矿)石样品,避免随意采样,一般采用组合采样方式,增加样品代表性。

本次测试分别采用电感耦合等离子体质谱仪法、原子吸收法、发射光谱法、原子荧光法、X射线荧光光谱法等多种分析方法。为确保化验分析的准确性,针对不同的元素采用不同的分析方法,如:采用电感耦合等离子体质谱仪分析Au、W、Mo元素,采用X射线荧光光谱仪分析Cu、Pb、Zn、Co、F、Mn元素,采用原子荧光仪分析As、Sb、Bi、Hg元素,采用一米平面光栅摄谱仪与测微光度计分析Ag和Sn元素。

3 原生晕地球化学特征研究

3.1 异常下限的确定

研究元素含量分带的前提条件是要确定一个合

理的异常下限。因各钻孔上岩心数据含量高、低不稳定,根据浓度分级指标为使最大限度圈出完整异常,需对圈定异常的基本数据进行三点均匀化处理。

本次研究采用邵跃(1997)提出的异常圈定原则,确定成矿元素异常下限和原生晕异常含量分级,即原生晕中成矿元素异常含量凡能达到矿石边界品位的1/10以上时,一般均能在异常范围内发现有关矿化,一般将这一含量确定为各元素异常的内带含量(异常内带),以内带含量值的1/2为中带含量值,以中带含量值的1/2为外带含量值,圈定成矿元素的3个含量分带(表1)。

其他指示元素异常下限运用迭代剔除法按平均值加减3倍标准离差的方法逐步剔除数据中的离群值,直到剔除后的数据基本符合正态分布,然后按背景值加2倍的标准离差确定为异常下限值,在按1、2、4倍分别圈定异常的3个含量分带(表1)。

根据各元素浓度分带值圈定出那更康切尔沟银多金属矿床XI号带0勘探线原生晕剖面等值线图(图4)。依据异常剖面图,可看出主成矿元素Ag、Au、Cu、Pb、Zn、As、Sb、Mn元素异常均与矿体基本套合,深部未封闭,且向NW方向深部呈延伸趋势,个别元素深部逐渐变窄或者尖灭,均在矿体部位有明显的异常内、中、外带;其中,Ag、Sb、As、Sn、Pb、Zn元素主要分布于3700 m标高以上;Cu、Co、Bi主要分布于3700 m标高以下;Hg、Mo、Au、Mn元素异常主要分布于矿体下部;W、F两元素异常主要沿断裂裂隙面分布,异常出现两期叠加。

3.2 元素组合特征

通过对XI号带0线7个钻孔的919件岩心样原始数据进行了R型聚类分析(图5),以元素相关水平分析来判断元素共生组合及成矿阶段。图中大致以相关系数0.40为界可划分为(PbSn)-(AgSb)Zn-Cu-As-Au-Mn-Co和(MoHg)两个系列或族,其中Bi、F、W等3个元素相关性较弱。Ag-Sb相关性分析结果较一致,说明该类元素关系密切;同时(AgSb)与Zn-(PbSn)相关性分析结果亦相近,说明这些元素可归为一类,均为成矿元素;与Cu-As-Au也具有相关性,认为可能成矿具有多期次,有后期热液活动对具Ag、Pb、Zn等高背景地层进行了活化再富集成矿;而Bi、F、W与其他元素均无聚类关系,表明这3种元素可能与成矿无密切关系。秦阳等(2020)通过对那更07线的ⅡAg-3矿体构造原生晕研究认为,矿床也具有多期次成矿特

表 1 0 号勘探线各元素地球化学参数及异常下限统计结果

Tab. 1 Element geochemical parameters and anomaly threshold in the exploration line 0

参数	Ag	Pb	Zn	Au	As	Cu	Sb	W
最大值	750 000	6.56	11	0.2	0.29	4.68	0.15	0.53
最小值	31	8 740	5 940	1 040	23 500	586	547	42.4
均值X	241.995 7	26.836 1	74.640 6	2.275 5	13.794 5	11.849 8	3.175 7	1.832 1
方差S	193.360 3	7.451 2	20.511 5	1.659 6	11.511 4	3.650 1	2.541 9	0.845 3
X+2s	628.716 3	41.738 5	115.663 5	5.594 6	36.817 2	19.15	83.259 7	3.522 6
内带	8 000	300	500	200	6 000	400	1 400	64
中带	4 000	150	250	100	3 000	200	700	32
外带	2 000	75	125	5.59	36.8	19	8.25	3.5

参数	Sn	Co	Mo	Bi	Hg	F	Mn
最大值	1.08	0.4	0.27	0.009	0.002 9	293	0
最小值	668	75.3	34.8	8.95	0.74	86 200	13 600
均值X	2.979 6	1.817 4	2.122 5	0.092 7	0.013 5	818.068 2	718.081 8
方差S	0.771 0	1.124 1	0.936 8	0.049 5	0.006 8	261.901 2	344.545 9
X+2s	4.521 6	4.065 6	3.996 1	0.191 8	0.027 2	1 341.871	1 407.174
内带	100	20	60	200	40	5 360	10 000
中带	50	10	30	100	20	2 680	5 000
外带	4.5	4	3.9	0.19	0.02	1 340	1 407

注: Au、Ag含量为 10^{-9} , 其余元素含量为 10^{-6} 。

征, 矿体在深部还有一定延伸。

根据前人对该矿区构造叠加晕研究(秦阳等, 2020), 作为前缘晕元素的 Sb 在本矿床与 Ag 元素结合形成硫酸盐矿物或以类质同象形式赋存于辉银矿中, Sb 在本矿床中为近矿晕指示元素。因此, 初步判断那更矿区 XI 号带矿体的前缘晕元素为 Hg、As、(F), 近矿晕元素为 Ag、Pb、Zn、Au、Sb、Sn、Cu, 尾晕元素为 Co、Mo、Mn、(Bi)、(W)。

3.3 原生晕轴向分带特征

研究原生晕的轴向分带序列特征对矿体在地表的剥蚀程度研究和深部的延伸情况判断有指导作用, 从而对深部盲矿体预测起到重大指示意义(李彦强等, 2022; 魏江等, 2024)。笔者采用 C.B.格里戈良法原生晕轴向分带序列, 通过运算得出原生晕的分带指数, 在此基础上再计算出元素变异性指数, 从而确定原生晕元素轴向分带序列(表 2)。经计算可得那更 0 勘探线的原生晕轴向分带为(由浅到深): Au→Hg→Ag→Mo→Mn→Sn→Sb→As→Pb→Zn→W→Bi→Cu→

F→Co。

3.4 矿体剥蚀系数评价

原生晕的轴向地球化学参数变化特征在一定程度上指示矿体向深部延深的可能性并预测隐伏矿体。通过不同晕带指示元素数据处理(不同元素、不同形式之比), 探求剥蚀程度(或埋藏深部), 大致可分析已知矿体处位置, 进而预测其深部是否有矿体延伸赋矿部位及矿化类型。矿体剥蚀系数是确定矿体在地表的剥蚀程度, 以及预测深部成矿能力的关键指标, (段启超等, 2020), 可以选取并对比研究有一定组合关系的成矿元素, 也包括前缘晕和尾晕特征元素, 从而得到原生晕轴向地球化学参数的变化特征, 以此评价矿体在深部的含矿性。

本次研究通过对那更康切尔银矿区 AgXI 矿体前缘晕元素与尾晕元素间比值、加和之比及乘积比值等进行计算(叶庆森, 2014), 其中 4 种比值的线性关系较为明显, 分别为 $\omega(\text{As})/\omega(\text{Co})$ 、 $\omega(\text{Hg})/\omega(\text{Co})$ 、 $\omega(\text{As}*\text{Hg})/\omega(\text{Co}*Mo)$ 、 $\omega(\text{As}+\text{Hg})/\omega(\text{Co}+Mo)$ (表 3), 得

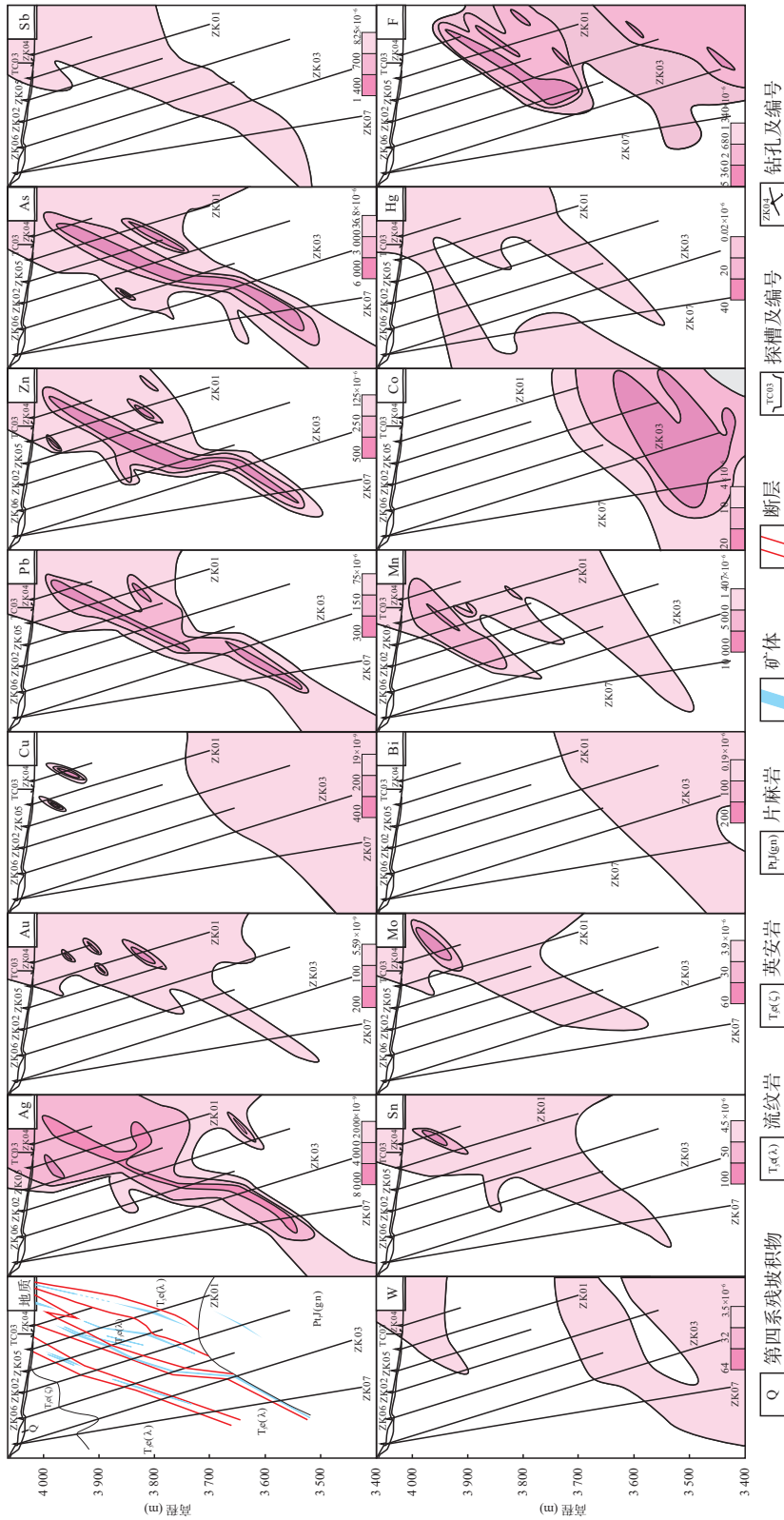


图4 那更矿区0线钻孔原生晕地球化学图

Fig. 4 Primary halo profile of drilling holes in 0 line of Nagengmin area

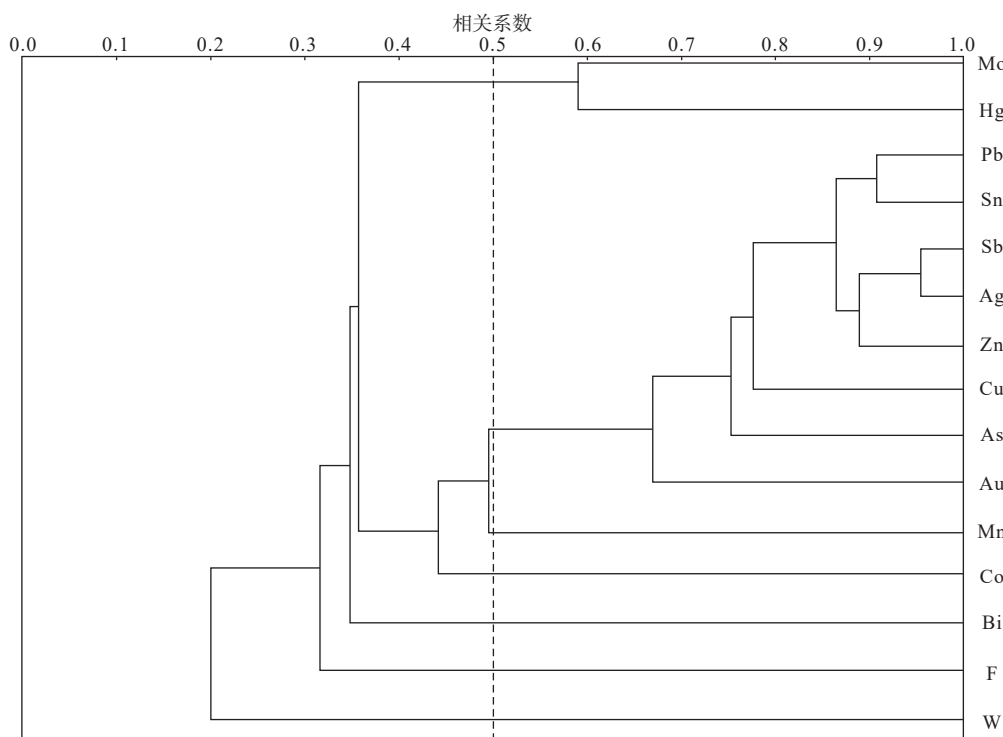


图5 那更矿区原生晕元素聚类分析图谱

Fig. 5 Pedigree chart of R-type cluster analysis of Nagengmining area

出如图 6a 所示的变化曲线图。

从原生晕地球化学参数变化曲线图中可以看出, 由浅至深, 地球化学参数具有“升-降-降”的变化特征。与那更康切尔银矿区 AgXI 矿体 0 线地质勘探线剖面进行套合, 显示在矿体顶部(标高约 3 800~3 900 m)中均显示出比值较大, 在矿体中部(标高约 3 600~3 800 m)中均显示出比值中等, 而在矿体下端(标高约 3 600~3 500 m)中均显示出比值变小, 从而建立了那更康切尔银矿区 AgXI 矿体地球化学找矿模型(图 6)。

4 讨论

4.1 找矿远景分析

(1) 地球物理、化学条件

四川省冶金地质勘查局水文工程大队开展的 1:5 000 大功率激电中梯剖面测量(选择的参数为 $B=1\ 000\text{ m}$, $MN=20\text{ m}$, $t=16\text{ s}$)结果显示: 那更康切尔沟银矿床的激电异常值、视极化率峰值和视电阻率分别为 6%~18%、6%~25% 和 50~600 $\Omega\cdot\text{m}$, 并圈定出了 4 处激电异常(编号为 JD1、JD2、JD3 和 JD4), 通过异常查证发现了多条银矿(化)带(赵云川等, 2023)。激电异常特征结果表明, 金水口岩群地层的背景值明显

大于鄂拉山, 而且金水口岩群中片岩段的背景值又明显高于片麻岩段; 银矿化富集地段视极化率一般为 6%~12%, 有的构造叠加部位甚至会超过 12%, 指示可能存在矿化富集; 视电阻率的强弱根据不同的矿石类型表现出了一定的差异, 但总体上与硅化强度相关, 强硅化角砾状银矿石中的视电阻率大于 250 $\Omega\cdot\text{m}$, 这也说明硅化与矿化作用密切相关, 细脉浸染状黄铁矿型银矿石中的视电阻率则小于 150 $\Omega\cdot\text{m}$ 。综上, 研究区内矿(化)体的视极化率一般大于 6%, 视电阻率与黄铁矿化和硅化相关, 数值一般大于 100 $\Omega\cdot\text{m}$, 是找矿的地球物理标志。

研究区通过预查工作最终圈定了 HS6、HS11、HS17 等多个 1:5 万水系沉积物乙类综合异常, 且证实均为矿致异常(杨涛等, 2017)。为进一步缩小找矿范围, 对分布面积和规模最大的 HS6 号异常通过 1:1 万土壤地球化学测量(线距 160~320 m, 点距 20 m)进行解剖, 通过分析测试 Cu、Pb、Zn、As、Sb、Ag、Au 等 7 个元素, 根据各元素空间分布和异常叠加套合特征(Ag 元素异常下限取 200×10^{-9}), 共圈定了 12 个土壤综合异常(窦光源等, 2018), 编号 AP01~AP12, 除 AP05 外, 其余异常均查证为矿致异常, 最终圈定出了 18 条矿化蚀变带, 65 条银矿体, 找矿效果较好。由此

表 2 0 号勘探线原生晕分带指数计算表
Tab. 2 Zoning indexes of primary halo along exploration line 0

项目	中段 (m)	Au	Ag	As	Sb	Cu	Pb	Zn	F	Sn	Bi	Hg	W	Mo	Co	Mn
线金属量 (W)	4 000	5 925.534	3 774 922.40	41 737.84	190.150	485.30	0	11 492.66	5 608.80	1 277.441	20.628 6	9.058 4	74.512	355.869 7	25.518 8	104 892.92
	3 900	4 227.189	3 197 095.10	66 069.46	4 252.798	1 923.77	25 655.68	20 089.34	217 662.17	2 407.905	0	12.217 4	212.589	509.360 4	50.847 6	415 715.98
	3 800	2 857.168	2 736 119.68	81 828.24	3 580.658	7 456.95	40 263.37	47 626.24	478 785.37	2 295.890	1.541 7	5.039 7	28.116	446.437 7	0	220 434.24
	3 700	1 737.341	2 240 097.65	77 222.87	2 125.791	9 455.56	32 863.63	32 947.50	697 989.97	1 378.366	48.384	5.890 5	401.871	603.000 8	5 576.638	134 228.90
	3 600	532.510	1 737 863.08	34 291.45	1 415.688	14 770.81	21 176.09	34 605.15	1 015 713.42	2 049.399	166.435	2.949 5	200.353	349.188 7	8 294.752	162 565.42
标准化 数据	3 500	432.806	1 280 964.58	23 085.97	282.789	16 574.75	18 994.02	10 519.42	1 137 849.68	673.212	117.860 7	1.765 5	221.664	172.821 2	9 257.629	86 915.96
	4 000	5 925.534	3 774 922	4 713 784	190 150.0	48 530	0	11 492.66	5 608.80	1 277.441	206.286	905.840	745 120	3 558.697	25 518.8	1 048 929.2
	3 900	4 227.189	3 197 095	6 606 946	4 252 798	192 377	2 565 568	2 008 934	217 662.17	2 407 905	0	1 221 740	2 125 890	5 093 604	50 847.6	4 157 159.8
	3 800	2 857 168	2 736 120	8 182 824	3 580 658	745 695	4 026 337	4 762 624	478 785.37	2 295 890	15 417	503 970	281 160	4 464 377	0	2 204 342.4
	3 700	1 737 341	2 240 098	7 722 287	2 125 791	945 556	3 286 363	3 294 750	697 989.97	1 378 366	483 840	589 050	40 871.0	6 030 008	5 576 638	1 342 289.0
分带指数 (D)	3 600	532.510	1 737 863	3 429 145	1 415 688	1 477 081	2 117 609	3 460 515	1 015 713.42	2 049 399	1 664 350	294 950	2 003 530	3 491 887	8 294 752	1 625 654.2
	3 500	421.806	1 280 965	2 308 597	282 789	1 657 475	1 899 402	1 051 942	1 137 849.68	673 212	1 178 607	176.550	2 216 640	1 728 212	9 257 629	869 159.6
	4 000	0.257 233	0.163 873	0.181 188	0.008 255	0.002 107	0	0.049 891	0.000 244	0.055 455	0.008 955	0.039 323	0.032 346	0.154 487	0.001 108	0.045 535
	3 900	0.110 297	0.083 419	0.172 389	0.110 947	0.005 020	0.066 941	0.052 417	0.005 679	0.062 827	0	0.031 878	0.055 469	0.132 903	0.001 327	0.108 469
	3 800	0.076 940	0.073 680	0.220 351	0.096 422	0.020 081	0.108 423	0.128 250	0.012 893	0.061 825	0.000 415	0.013 571	0.007 571	0.120 219	0	0.059 360
分带序列	3 700	0.041 775	0.053 864	0.185 685	0.051 115	0.022 736	0.079 248	0.079 223	0.016 783	0.033 143	0.011 634	0.014 164	0.096 631	0.144 993	0.134 092	0.032 757
	3 600	0.015 386	0.050 212	0.099 078	0.040 903	0.042 677	0.061 184	0.099 984	0.029 347	0.059 213	0.048 088	0.008 522	0.057 888	0.100 891	0.239 659	0.049 698
	3 500	0.016 550	0.048 982	0.088 277	0.010 813	0.063 379	0.072 630	0.040 224	0.043 509	0.025 742	0.045 068	0.006 751	0.084 761	0.066 084	0.353 995	0.033 235

由浅至深：Au→Hg→Ag→Mo→Mn→Sn→Sb→As→Pb→Zn→W→Bi→Cu→F→Co

注：Au、Ag 含量为 10^{-9} ，其余元素含量为 10^{-6} 。

表 3 那更XI矿体 0 号勘探线原生晕特征指示元素垂向地球化学参数

Tab. 3 Vertical geochemical parameters of primary halo characteristics of exploration lines 0 in Nageng XI ore body

标高 (m)	$\omega(\text{As})/\omega(\text{Co})$	$\omega(\text{Hg})/\omega(\text{Co}) * 1\,000$	$\omega(\text{As} * \text{Hg})/\omega(\text{Co} * \text{Mo}) * 100$	$\omega(\text{As} + \text{Hg})/\omega(\text{Co} + \text{Mo})$
4 000	2.81	6.99	2.05	1.44
3 900	19.63	18.439	25.48	8.12
3 800	33.44	14.92	23.37	10.67
3 700	4.50	3.53	7.39	3.71
3 600	1.81	0.29	0.76	1.69
3 500	0.43	0.30	0.17	0.40

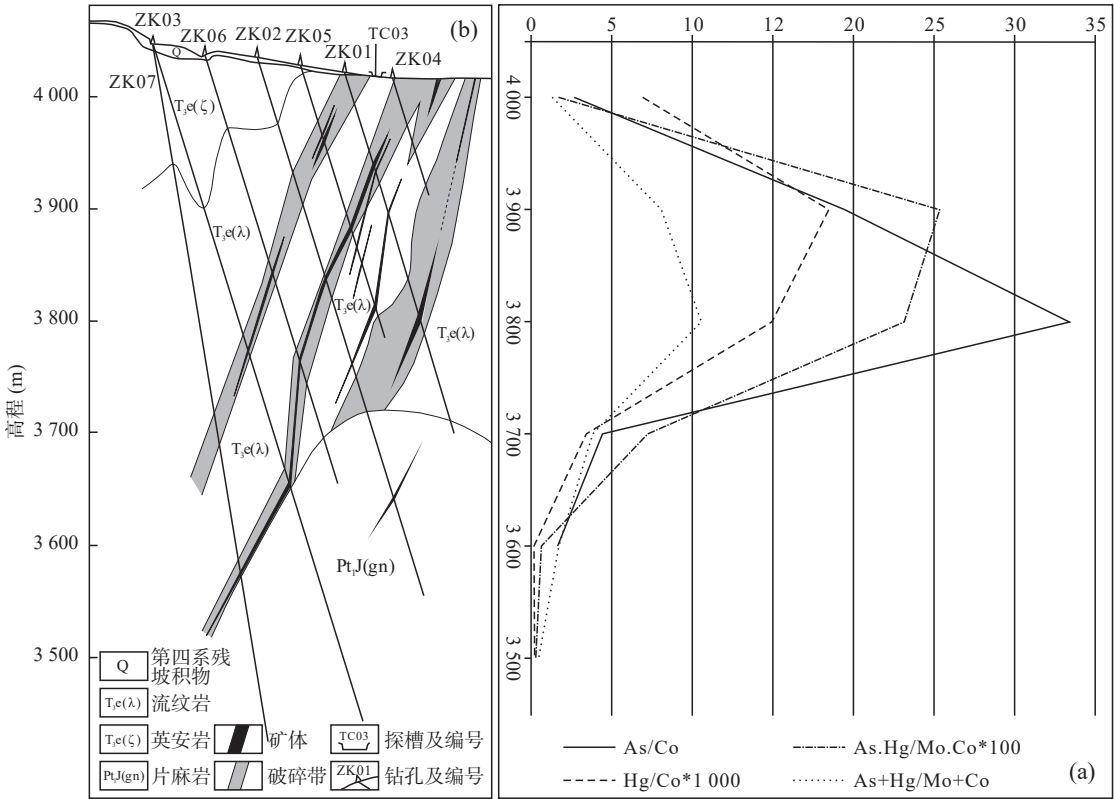


图6 那更康切尔银矿床X I号矿带地球化学参数垂向变化图(a)和那更康切尔矿区0勘探线剖面图(b)

Fig. 6 (a)Vertical fluctuation curves of geochemical parameters of the orebody No. X I in the Nageng Kangqier Silver deposit and (b)geological section along No.0 exploration line in the Nageng deposit

可以看出,研究区的土壤异常,尤其是Ag元素异常为直接指示元素,As、Sb元素与Ag套合较好,是间接指示元素(赵云川等,2023)。

(2)典型矿床对比研究

近年来,随着浅地表地勘工作程度的不断提高,东昆仑银矿的找矿难度越来越大,但那更康切尔沟大型银矿床、哈日扎大型银多金属矿床以及位于东昆仑西段的乌兰乌珠尔-十字嵩大型银多金属矿床的先后发现,说明了在东昆仑成矿带分布着多处规模较大的银矿床。从表4可以看出,东昆仑的大型银矿床均形成

于晚三叠世,且都是受NW向断裂构造控制的与热液有关的多金属矿床,因此通过地物化综合方法找矿是有效的。此外,通过对典型矿床的研究,当地表找矿难以实现突破时,在矿区内寻找具有硅化、黄铁矿化等与矿化有关的次级断裂构造也是实现找矿突破的有利部位。

(3)成矿远景分析

那更康切尔矿区AgXI号银矿带向北延伸至那更康切尔北矿区内,与该区的FPⅢ破碎蚀变带为同一条矿带(图2),两个矿床实际是受同一构造系统控制,同一成矿作用形成的同一矿床(范兴竹,2022),因此,那

表 4 主要银矿床特征对比表

Tab. 4 Comparison table of characteristics of main silver deposits

矿床名称	主要矿种	矿床(点)特征	成矿时代	矿床成因	规模	备注
那更康切尔沟银矿床	银	赋矿围岩为金水口岩群和上三叠统鄂拉山组；NW—SE向断裂为本区主要控矿、赋矿断裂，近东西向断层为区域内控岩及导矿构造；发现银矿(化)带 18 条、1 条金矿化蚀变带，圈定银矿体 69 条、铅锌矿体 13 条、金矿体 2 条；矿体呈囊状、似层状，已探明银(333+334)银资源量 5 070.56 t	T ₃	浅成低温热液型	大型	范兴竹，2022
哈日扎地区银多金属矿床	银铅锌	赋矿围岩为上三叠统鄂拉山组、早泥盆世似斑状二长花岗岩、三叠纪花岗闪长岩和二长花岗岩；NW—SE向断裂为本区主要控矿、赋矿断裂；共圈 8 条矿(化)带，截止 2018 年共估算出铜铅锌锡资源量 46.43 万 t，金资源量 2.09 t，银资源量 1 026.51 t	T ₃	热液脉型	大型	范兴竹，2022
乌兰乌珠尔-十字嵩银多金属矿床	银铅锌	赋矿围岩为泥盆纪似斑状二长花岗岩、二长花岗岩及正长花岗岩；NW 向和近 EW 向线性构造是控矿构造；共圈定矿体 15 条，矿体严格受 sb3、sb11、sb9 等含矿构造蚀变带控制，估算银资源量约 4 000 t，铅锌资源量约 10 万 t	T ₃	热液脉型	大型	马忠元等，2024
那更康切尔北银矿床	银	赋矿围岩为上三叠统鄂拉山组；近 SN 向断裂为本区主要控矿断裂；发现 4 条破碎蚀变带，带内圈出 3 条银矿体，矿体长 100~200 m，宽 1~2.6 m，Ag 品位为 40.3×10 ⁻⁶ ~1 270×10 ⁻⁶ ，平均品位为 383.65×10 ⁻⁶	T ₃	浅成低温热液型	小型	范兴竹，2022

更康切尔北仍存在相当大的找矿空间(谢升浪等, 2020)。谷子成(2021)研究表明, AgXI银矿带的岩心显示出隐爆角砾岩特点, 含矿石英脉中晶洞、梳状构造发育, 表现为张性断裂的性质。矿体主要成脉体产于构造破碎带中, 明显受隐爆角砾岩以及流纹质火山-次火山岩的控制, 初步推测成矿期最大压应力方向为 NNW-SSE, NNW 向的 AgXI银矿带代表着主张裂隙方向, 形成厚大的含矿构造带, 已控制延长 4.3 km, 矿带宽为 50~220 m, 两端仍未控制。AgXI银矿带地表有较大范围的高岭土化构成的淋滤带, 成矿系统顶部可能形成的硅化帽已被剥蚀, 但剥蚀程度小, 银矿化集中部位基本被保留下来。而深部成矿岩体仍未发现, 目前虽然在局部发现小规模的网络, 主要表现为含方铅矿、闪锌矿的网络, 深部并未出现含铅矿化的网络带, 也未发现与此明确相关的中酸性侵入岩体, 推测其深部找矿远景较好。

4.2 深部找矿预测

前人研究认为, 矿体附近聚集的往往是主成矿元素或与成矿元素相关性较好的元素。所以, 活动性越强的元素(如 Hg、As、Ba 等)越可能富集在矿体前部,

而活动性较差的元素(如 W、Bi、Mo 等)则通常出现在矿体尾部(李惠等, 2006)。但是, 那更矿区 XI 号带 0 线原生晕特征显示, 地表至深部标高 3 700 m, 矿体前缘晕元素 F、As 元素在尾晕出现, 而尾晕元素 Mo、Mn、W 在前缘显示, 存在前缘晕、近矿晕、尾晕元素叠加; 在 3 700 m 以下, 出现 F、As、Hg 前缘晕元素, Ag、Pb、Zn、Sb、Au、Sn 近矿晕元素及 Co、Mo、Mn、Bi、W 尾晕元素共存, 异常向深部延伸, 未显示尖灭现象, 说明矿体深部沿轴向仍有延伸。近矿元素 Cu 异常在尾晕有较强显示, 且尾晕元素 Co 也有较强的异常显示, 表明该地区深部可能存在 Cu 矿体, 实际经过勘查工作, 在该矿带深部也发现了 Cu 矿体。

原生晕反分带现象被认为是多次成矿-成晕叠加的结果, 反分带、前尾晕共存作为预测盲矿的重要标志。根据李惠等(2006)提出的构造叠加晕模式图与那更矿区单元异常图进行对比研究, 显示在那更矿区 XI 矿带 0 线原生晕: “前缘晕、近矿晕、尾矿晕元素叠加共存”, 在近矿晕元素上出现特征前晕指示元素 Hg、As, 且异常连续出现, 尾晕元素 Mo、Mn、Co 等元素异常弱, 且尾晕元素 Mo、Mn 出现在前缘晕, 反映

已知矿体深部有另一期(次)成矿叠加, 深部仍然有找矿前景。

5 结论

(1)对那更康切尔银矿床控制 AgXI矿体的 0 勘探线剖面 919 件原生晕样品的分析测试结果进行 R 型聚类分析, 确定前缘晕元素为 Hg、As、(F), 近矿晕元素为 Ag、Pb、Zn、Au、Sb、Sn、Cu, 尾晕元素为 Co、Mo、Mn、(Bi)、(W)。

(2)运用格里戈良法研究了原生晕分带特征。结果表明, 矿体自上而下原生晕轴向分带序列为: Au→Hg→Ag→Mo→Mn→Sn→Sb→As→Pb→Zn→W→Bi→Cu→F→Co。

(3)那更康切尔银矿区 0 线原生晕特征显示, 地表至深部标高 3 700 m, 矿体前缘晕元素 F、As 元素在尾晕出现, 而尾晕元素 Mo、Mn、W 在前缘显示, 存在前缘晕、近矿晕、尾晕元素叠加; 在 3 700 m 以下, 出现 F、As、Hg 前缘晕元素, Ag、Pb、Zn、Sb、Au、Sn 近矿晕元素及 Co、Mo、Mn、Bi、W 尾晕元素共存, 异常向深部延伸, 未显示尖灭现象, 说明矿体深部沿轴向仍有延伸。

(4)由于那更北 FPⅢ是那更 XI 矿带的北延部分, 且控制程度低, 通过地物化异常综合对比分析, 加之原生晕特征, 认为那更北 FPⅢ带深部找矿潜力较大。

参考文献(References):

- 陈晓东, 李佑国, 李敏同, 等. 东昆仑造山带那更康切尔沟银矿床典型硫化特征及其指示意义[J]. 矿物学报, 2019, 39(1): 64-74.
- CHEN Xiaodong, LI Youguo, LI Mintong, et al. Characteristics of representative sulfides from the Nagengkangqieergou silver deposit in the Eastern Kunlun Orogenic Belt and their implications[J]. Acta Mineralogica Sinica, 2019, 39(1): 64-74.
- 窦光源, 谈艳, 许远平, 等. 青海那更康切尔沟银多金属矿区土壤地球化学特征及找矿前景[J]. 黄金, 2018, 39(2): 8-12.
- DOU Guangyuan, TAN Yan, XU Yuanping, et al. Soil Geochemical Characteristics and Prospecting Potential of Nagengkangqieergou Silver Polymetallic Deposit in Qinghai Province[J]. Gold, 2018, 39(2): 8-12.
- 段启超, 庞绪成, 纵瑞, 等. 河南省灵宝市董家塄银矿原生晕特征及地质意义[J]. 黄金科学技术, 2020, 28(4): 497-508.
- DUAN Qichao, PANG Xucheng, ZONG Rui, et al. Primary Halo Characteristics and Geological Significance of the Dongjianian Silver Deposit in Lingbao City, Henan Province[J]. Gold Science and Technology, 2020, 28(4): 497-508.
- 范兴竹. 青海省东昆仑东段银多金属矿床成矿作用研究[D]. 长春: 吉林大学, 2022.
- FAN Xingzhu. Research on metallogenesis of Ag Polymetallic deposits in the east segment of the East Kunlun Orogenic Belt, Qinghai Province[D]. Changchun: Jilin University, 2022.
- 谷子成. 东昆仑那更康切尔沟银多金属矿床成矿地质特征及成因探讨[D]. 北京: 中国地质大学, 2021.
- GU Zicheng. Metallogenic geological characteristics and genesis of the Nagengkangqieergou Ag-polymetallic deposit, East Kunlun Orogen, NW China[D]. Beijing: China University of Geosciences, 2021.
- 郝迪, 孙彪, 孟菲蓉. 甘肃省寨上金矿床原生地球化学晕特征及其地质意义[J]. 西北地质, 2021, 54(4): 88-99.
- HAO Di, SUN Biao, MENG Feirong. The Primary Halo Research of Zhaishang Gold Deposit in Gansu Province[J]. Northwestern Geology, 2021, 54(4): 88-99.
- 贺昌坤, 陈诚, 许德如, 等. 广东京村金矿床原生晕分带特征对深部找矿预测的启示[J]. 地质学报, 2020, 94(12): 3761-3775.
- HE Changkun, CHEN Cheng, XU Deru, et al. The characteristics of primary halos zoning of the Jingcun gold deposit in Guangdong Province: implications for deep prospecting[J]. Acta Geologica Sinica, 2020, 94(12): 3761-3775.
- 井国正, 王晓云, 张志强, 等. 东昆仑东段中-晚三叠世区域岩浆-热液成矿系统[J]. 地质科技通报, 2023, 42(1): 89-111.
- JING Guozheng, WANG Xiaoyun, ZHANG Zhiqiang, et al. Middle-Late Triassic regional-scale magmatic-hydrothermal metallogenic system in the eastern segment of the East Kunlun[J]. Bulletin of Geological Science and Technology, 2023, 42(1): 89-111.
- 李惠, 张国义, 禹斌, 等. 金矿区深部盲矿预测的构造叠加晕模型及找矿效果[M]. 北京: 地质出版社, 2006.
- LI Hui, ZHANG Guoyi, YU Bin, et al. Structural Superimposed Halo Model for Blind Ore Prediction in Deep Gold Mining Area and Its Prospecting Effect [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2006.
- 李敏同, 陈晓东, 许远平, 等. 东昆仑那更康切尔沟银矿床银矿物特征及成矿元素沉淀机制浅析[J]. 地质论评, 2018, 64(3): 723-736.
- LI Mintong, CHEN Xiaodong, XU Yuanping, et al. Characteristics of Silver Minerals of Nagengkangqieergou Silver Deposit in Eastern Kunlun Orogenic Belt and a Brief Analysis of the Precipita-

- tion Mechanism of Ore-forming Elements[J]. Geological Review, 2018, 64(3): 723-736.
- 李彦强, 段建华, 何学昭, 等. 青海白日其利金矿床构造叠加晕特征及深部找矿预测[J]. 西北地质, 2022, 55(4): 316-323.
- LI Yanqiang, DUAN Jianhua, HE Xuezhao, et al. The Features Structural Superimposed Halos of Bairiqili Gold Deposit in Qinghai and Its Deep Prediction[J]. Northwestern Geology, 2022, 55(4): 316-323.
- 刘嘉情, 钟世华, 李三忠, 等. 基于机器学习和全岩成分识别东昆仑祁漫塔格斑岩-矽卡岩矿床成矿岩体和贫矿岩体[J]. 西北地质, 2023, 56(6): 41-56.
- LIU Jiaqing, ZHONG Shihua, LI Sanzhong, et al. Identification of Mineralized and Barren Magmatic Rocks for the Pophryry-Skarn Deposits from the Qimantagh, East Kunlun: Based on Machine Learning and Whole-Rock Compositions[J]. Northwestern Geology, 2023, 56(6): 41-56.
- 刘玉军, 刘彩乐, 任智斌, 等. 青海达达肯乌拉山铅锌矿床原生晕深部找矿预测[J]. 西北地质, 2018, 51(1): 238-246.
- LIU Yujun, LIU Caile, REN Zhibin, et al. Deep Prospecting Prediction of the Dadakenwulashan Lead-zinc Deposit in Qinghai by Using Primary Halo Method[J]. Northwestern Geology, 2018, 51(1): 238-246.
- 吕鹏瑞. 黑龙江省高松山金矿床原生晕地球化学特征及深部成矿预测[D]. 北京: 中国地质大学(北京), 2012.
- LV Pengrui. Geochemistry of primary halos and evaluation of deep mineralization in the Gaosongshan gold deposit, Heilongjiang Province[D]. Beijing: China University of Geosciences (Beijing), 2012.
- 马忠元, 李军, 赵建鹏, 等. 东昆仑乌兰乌珠尔-十字嵩银多金属矿床成因研究[J]. 地质找矿论丛, 2024, 39(2): 160-168.
- MA Zhongyuan, LI Jun, ZHAO Jianpeng, et al. Discussion on Genesis of Wulanwuzhuer-Shizisong Ag-polymetallic Deposit in East Kunlunshan Area[J]. Contributions to Geology and Mineral Resources Research, 2024, 39(2): 160-168.
- 秦阳, 谢万洪, 吴秉东, 等. 青海东昆仑那更康切银矿构造叠加晕模式研究与深部预测[J]. 矿产与地质, 2020, 34(1): 128-135.
- QIN Yang, XIE Wanhong, WU Bingdong, et al. The structural superposition halo model study and deep ore forecast for Nagengkangqieer Silver deposit in East Kunlun Mountains, Qinghai[J]. Mineral Resources and Geology, 2020, 34(1): 128-135.
- 邵跃. 热液矿床岩石测量(原生晕法)找矿[M]. 北京: 地质出版社, 1997.
- SHAO Yue. Rock survey of hydrothermal deposit(primary halo method)prospecting[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1997.
- 四川省冶金地质勘查局. 青海省都兰县那更康切尔地区银多金属矿调查评价报告[R]. 2016.
- Metallurgical Geological & Exploration Bureau of Sichuan Province. The report of investigation and evaluation of silver polymetallic mineral in Ngengkangqieer area, Dulan country, Qinghai Province[R]. 2016.
- 童永军, 陈静, 韩光, 等. 东昆仑那更康切尔沟银矿床成矿流体特征及来源[J]. 矿物岩石, 2023, 43(2): 50-57.
- TONG Yongjun, CHEN Jing, HAN Guang, et al. Characteristics and Sources of Ore-forming Fluids in Nagengkangqieergou Silver Deposit, East Kunlun[J]. Mineralogy and Petrology, 2023, 43(2): 50-57.
- 王新雨, 王书来, 吴锦荣, 等. 青海省牛苦头铅锌矿床成矿时代研究: 来自成矿岩体年代学和黄铁矿 Re-Os 地球化学证据[J]. 西北地质, 2023, 56(6): 71-81.
- WANG Xinyu, WANG Shulai, WU Jinrong, et al. Mineralization Age and Ore forming-Source of Niukutou Pb-Zn Deposit, Qinghai: Evidence from Geochronology of Ore-forming Rock Bodies and Re-Os Geochemistry of Pyrite[J]. Northwestern Geology, 2023, 56(6): 71-81.
- 魏江, 李惠, 禹斌, 等. 再论构造叠加晕找盲矿三个核心理论的创新性及应用效果[J]. 矿产勘查, 2024, 15(1): 82-91.
- WEI Jiang, LI Hui, YU Bin, et al. Re-discussion on the innovation and application effect of three core theories of blind ore prospecting by structural superimposed halo[J]. Mineral Exploration, 2024, 15(1): 82-91.
- 谢升浪, 孔维宾, 李鑫, 等. 东昆仑地区那更康切尔北银多金属矿地球化学特征及找矿前景[J]. 矿产勘查, 2020, 11(5): 880-889.
- XIE Shenglang, KONG Weibin, LI Xin, et al. Geochemical characteristics and ore-prospecting potential of silver polymetallic deposits in the northern Nagengkangqieer, East Kunlun[J]. Mineral Exploration, 2020, 11(5): 880-889.
- 徐崇文, 魏俊浩, 周红智, 等. 东昆仑东段那更康切尔银矿硫-铅同位素特征与找矿模型[J]. 地质通报, 2020, 39(5): 712-727.
- XU Chongwen, WEI Junhao, ZHOU Hongzhi, et al. S-Pb isotope characteristics and prospecting model of the Nagengkangqieer silver deposit in the eastern segment of East Kunlun Mountain[J]. Geological Bulletin of China, 2020, 39(5): 712-727.
- 杨涛, 周洪兵, 郑振华, 等. 东昆仑那更康切尔银多金属矿床地质特征及成因类型[J]. 西北地质, 2017, 50(4): 186-199.
- YANG Tao, ZHOU Hongbing, ZHENG Zhenhua, et al. Geological Characteristics and Genetic Type of the Nagengkangqieer Silver Polymetallic Deposit in East Kunlun[J]. Northwestern Geology, 2017, 50(4): 186-199.

- 叶庆森. 指示元素垂向分带序列计算方法述评[J]. [物探化探计算技术](#), 2014, 36(3): 335–341.
- YE Qingsen. A review of the computing methods on vertical zoning sequence of indicator element[J]. [Computing Techniques For Geophysical And Geochemical Exploration](#), 2014, 36(3): 335–341.
- 于小亮, 蔡成龙, 张世龙, 等. 青海那更康切尔沟银多金属矿地质特征、矿床成因及找矿标志[J]. [能源与环保](#), 2018, 40(7): 114–117+122.
- YU Xiaoliang, CAI Chenglong, ZHANG Shilong, et al. Geological characteristics, genesis and prospecting indicators of Nagenkangqieergou Silver polymetallic deposit in Dulan County, Qinghai Province[J]. [China Energy and Environmental Protection](#), 2018, 40(7): 114–117+122.
- 赵财胜. 青海东昆仑造山带金、银成矿作用[D]. 长春: 吉林大学, 2004.
- ZHAO Caisheng. Gold, Silver Metallogeny in Eastern Kunlun Orogenic Belt, Qinghai Province [D]. Changchun: Jilin University, 2004.
- 赵云川, 周洪兵, 刘宏, 等. 青海那更银多金属矿矿床地质特征及成矿模式浅析[J]. [四川地质学报](#), 2023, 43(1): 47–53+63.
- ZHAO Yunchuan, ZHOU Hongbing, LIU Hong, et al. Geological Characteristics and Metallogenic Model of NagengSilver Polymetallic Deposit, Qinghai Province[J]. [Sichuan Journal of Geology](#), 2023, 43(1): 47–53+63.
- 钟世华, 黄宇, 刘永乐, 等. 东昆仑志留纪—泥盆纪关键金属成矿大爆发[J]. [地质通报](#), 2025, 44(4): 574–586.
- ZHONG Shihua, HUANG Yu, LIU Yongle, et al. Silurian-Devonian critical metal mineralization boom of the East Kunlun Orogenic Belt[J]. [Geological Bulletin of China](#), 2025, 44(4): 574–586.
- Aliyari Farhang, Yousefi Tohid, Abedini Ali, et al. Primary geochemical haloes and alteration zoning applied to gold exploration in the Zarshuran Carlin-type deposit, northwestern Iran[J]. [Journal of Geochemical Exploration](#), 2021, 106864.
- An W T, Chen J P, Li Y C, et al. The superposition characteristics of primary halo in the Daping gold deposit, Yunnan Province, China and its significance for exploration[J]. [Journal of Geochemical Exploration](#), 2021, 228: 106809.
- Hossam A Helba, Khalil I Khalil, Mo'nes M Mamdouh, et al. Zonation in primary geochemical haloes for orogenic vein-type gold mineralization in the Quartz Ridge prospect, Sukari gold mine area, Eastern Desert of Egypt[J]. [Journal of Geochemical Exploration](#), 2020, 209: 106378.
- Wu Jinjian, Zeng Qingdong, Santosh M, et al. Deep ore-forming fluid characteristics of the Jiaodong gold province: Evidence from the Qianchen gold deposit in the Jiaojia gold belt[J]. [Ore Geology Reviews](#), 2022, 145: 104911.
- Zheng C J, Luo X R, Wen M L, et al. Axial primary halo characterization and deep orebody prediction in the Ashele copper-zinc deposit, Xinjiang, NW China[J]. [Journal of Geochemical Exploration](#), 2020, 213: 106509.