

苏旭亮, 赵永亮, 赵闯, 等. 东昆仑祁漫塔格克停哈尔斑岩型铜钼矿找矿突破思路及找矿模型[J]. 中国地质, 2014, 41(6): 2048–2062.
Su Xuliang, Zhao Yongliang, Zhao Chuang, et al. Prospecting thinking and model for the Ketinghaer porphyry copper molybdenum deposit in the East Kunlun Mountains[J]. Geology in China, 2014, 41(6): 2048–2062(in Chinese with English abstract).

东昆仑祁漫塔格克停哈尔斑岩型铜钼矿 找矿突破思路及找矿模型

苏旭亮¹ 赵永亮² 赵 闯¹ 张学明¹ 李恒恒² 刘国燕² 宋涛涛¹

(1. 青岛地质工程勘察院, 山东 青岛 266071; 2. 青海省第三地质矿产勘查院, 青海 西宁 810029)

摘要: 东昆仑之祁漫塔格成矿带以矿床类型、金属种类丰富多样为特征, 以矽卡岩型矿床为典型, 是地质学者研究的热点地区之一。近年来此成矿带中的斑岩型铜钼矿找矿不断有新的突破, 2013年在该成矿带东侧克停哈尔地区又新发现一典型斑岩型铜钼矿。矿区地层以古元古代金水口岩群为主, 岩性为片麻岩、大理岩等变质岩, 华力西期、印支期中酸性岩体广泛侵入, 后者为赋矿岩石, 岩体内有隐伏的小斑岩体及隐爆角砾岩, 矿区北西向、北东向构造发育, 有多个物化探异常分布。本区找矿突破是在全面认识分析以上成矿地质条件、物化探异常特征, 类比已知典型铜钼矿床基础上, 初步建立寻找斑岩型矿床的找矿思路, 并据此思路开展勘查工作, 最终取得了找矿突破, 进而总结出克停哈尔斑岩型铜钼矿的找矿思路方法, 建立了地质-地球化学-地球物理综合信息找矿模型, 为区域上开展同类型矿床的找矿工作提供了思路和方向。

关键词: 找矿思路; 找矿模型; 克停哈尔; 铜钼矿床; 祁漫塔格; 东昆仑

中图分类号: P618.41; P618.65; P612 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-3657(2014)-2048-15

克停哈尔铜钼矿是2013年青海省第三地质矿产勘查院新发现的典型斑岩型铜钼矿。矿区位于格尔木市西乌图美仁乡那棱郭勒河西北侧, 属青海省西部祁漫塔格华力西期一印支期铁、钴、铜、铅、锌、锡、锑、铋多金属成矿带。祁漫塔格成矿带是中国新的十大资源接替基地之一, 总体工作程度较低, 成矿潜力巨大^[1, 2], 已评价了卡而却卡铜钼多金属矿床^[3, 4]、尕林格铁矿床^[5]、虎头崖铅锌矿床^[6, 7]、野马泉铁多金属矿床^[8, 9]、肯德可克钴金铋矿床^[10, 11]等一系列大中型矿床。矿床类型有矽卡岩型、斑岩型、沉积变质型、沉积型、热水沉积-改造型、热液脉型、火山岩型等, 其中与中酸性岩浆侵入活动密切

相关的矽卡岩型和斑岩型多金属矿床数量较多, 矽卡岩型矿床研究程度相对较高^[12], 已成为中国西部最重要和最有找矿潜力的矽卡岩铁多金属成矿带^[13], 近年来斑岩型铜钼矿逐渐成为此带找矿的新亮点^[14]。

克停哈尔矿区自2003年以来已开展了多阶段多层次的工作, 青海省地矿局先后完成了1:5万水系沉积物测量, 1:5万区域矿产地质调查, 1:5万地磁测量, 局部开展了1:1万土壤化探测量及1:1万高精度磁测, 施工了少量的工程进行地表揭露和深部验证, 从而使矿区积累了丰富的野外资料, 也获得了大量的找矿线索, 并发现了多个脉状的铅锌

收稿日期: 2013-12-29; 改回日期: 2014-07-09

基金项目: 中国地质调查局项目(1212011140079)资助。

作者简介: 苏旭亮, 男, 1983年生, 工程师, 本科, 研究方向为矿产勘查; E-mail: sxl162@163.com。

矿,但一直未取得较大的找矿突破。2013年在以往工作的基础上,青海省第三地质矿产勘查院再次对该区进行调查评价,通过进一步了解区内的成矿地质条件,全面分析区内物化探异常可知:区内碳酸盐岩地层发育,多期的中酸性侵入岩亦广泛分布,二者接触带中普遍形成矽卡岩带,且中酸性岩体中有隐爆角砾岩筒存在;区内主要发育北西、北东向两组构造,多期多方向的后期构造也十分发育;区内岩石高岭土化、绿泥石化、绢英岩化、钾化蚀变很强,且已揭露众多的脉状的铅锌矿体;区内有以铜为主的多金属元素组合异常,有多个低缓的磁异常,异常呈圆环状、条带状分布。对以上地质物化探综合信息与区域的已知主要矿床之成矿条件进行类比分析,进行了成矿类型的预测,认为该区具有形成斑岩型矿床的条件,进而明确找斑岩型矿床的工作思路,并依据此思路开展勘查工作,经深部钻探验证,发现了较好的斑岩型铜钼矿体,取得了找矿突破。本文通过对矿床地质特征及找矿工作思路的初步总结,建立了克停哈尔斑岩型铜钼矿的找矿模型,以期推动该区同类型矿床的找矿工作。

1 区域成矿背景

1.1 区域成矿地质条件

本区处于柴达木准地台之南缘,大地构造位置隶属青海省东昆仑祁漫塔格早古生代裂陷槽^[5]。区域地质构造演化经历了元古宙古陆形成、早古生代(加里东期)裂解、晚古生代—早中生代(晚华力西期—印支期)造山和晚中生代—新生代陆内造山4个构造旋回,主造山期是晚华力西期—早印支期,即二叠、三叠纪^[15-17]。

区域地层属柴达木盆地之柴达木盆地区,古元古代、奥陶—志留纪、泥盆纪、石炭纪地层大面积分布^[18]。区域内与成矿关系密切的地层为奥陶—志留纪滩间山群和古元古代金水口岩群。金水口岩群是一套中深变质岩,岩性有片麻岩、混合岩、大理岩,是形成本区矽卡岩的良好围岩^[19,20]。本区经历了多次复杂而强烈的构造变动,不同规模和不同力学性质的构造形迹发育,其中北西西向、北西向压性、压扭性断裂组成了区域主体构造骨架,对各时代地层分布、各期岩浆活动、变质作用及矿产分布特征等起着重要的控制作用^[21]。侵入岩属东昆仑花岗岩带—祁漫塔格花岗岩亚带,具有阶段性演化

特点^[22]。华力西期、印支期和燕山期侵入岩均有分布,其中以华力西期最为强烈^[23,24]。与成矿关系密切的岩体为华力西期闪长岩、花岗闪长岩及印支期花岗闪长岩、钾长花岗岩,印支中晚期的岩浆活动是区内斑岩型铜钼矿的主导因素^[25],即造山晚期多有斑岩型铜钼矿形成^[26],侵入体与大理岩接触带有矽卡岩型铁矿、多金属矿形成(图1)。

1.2 区域地球物理场

区域1:100万航磁异常呈北西西向带状分布,区域磁场(ΔT)为一低值负异常区,异常总长240 km,宽15~30 km,异常有雁行排列之势,展布方向与区域构造线一致(图2)。1:5万航磁测量异常与1:100万航磁异常套合较好,异常总体呈近东西向带状分布,强度在10~140 nT,为低缓异常区^[27]。1:5万地磁异常分布亦显示本区为较平缓的异常区,与航磁异常对应较好,区域中的平缓低值磁异常区为多金属矿产出有利地段,此类异常数量不多,强度不大,出露地层以变质岩、火山岩及碳酸盐岩建造为主,形成了平缓的低负异常。少量的华力西期、印支期中酸性侵入体是形成局部弱缓正值异常的主要原因,主要的多金属矿产于此类异常中。

1.3 区域地球化学场

本区位于东昆仑成矿带东段,通过统计东昆仑成矿带水系沉积物测量39种指标的含量(表1)^[28],与全国水系沉积物中各指标含量对比发现,水系沉积物中大部分指标含量低于全国水平。以全国水系沉积物中指标含量的平均值为标准,计算东昆仑地区各指标的浓集系数,其中浓集系数大于1的指标为Sr、Sb、Au、As、Bi、Cd、F、CaO、Na₂O、MgO、SiO₂;小于0.7的指标为Ag、Zr、Hg;浓集系数在0.99~0.7的指标为Ba、W、Mo、Li、Cu、Ni、Be、P、Y、La、U、Zn、Cr、Nb、Mn、Pb、V、Co、Sn、B、Ti、Th、K₂O、Fe₂O₃、Al₂O₃等。与青海全省相比,东昆仑地区水系沉积物中Mo、Sr、Au、Bi、F、Ba、Ni、Sb、W、Nb、Zn、Na₂O、CaO、Fe₂O₃、K₂O、MgO等含量高于青海省背景值,其余指标低于全省背景值(表2)。

1:20万区域水系沉积物化探成果显示,克停哈尔铜钼矿位于AS43综合异常内(图1),面积200 km²。该异常主元素为Cu、V、Co,组合元素有Mo、Ni、Au、Cr、As、Zn、Sb等,主元素规模大,连续性好,强度较高,浓集中心明显,中内带异常面积大且吻

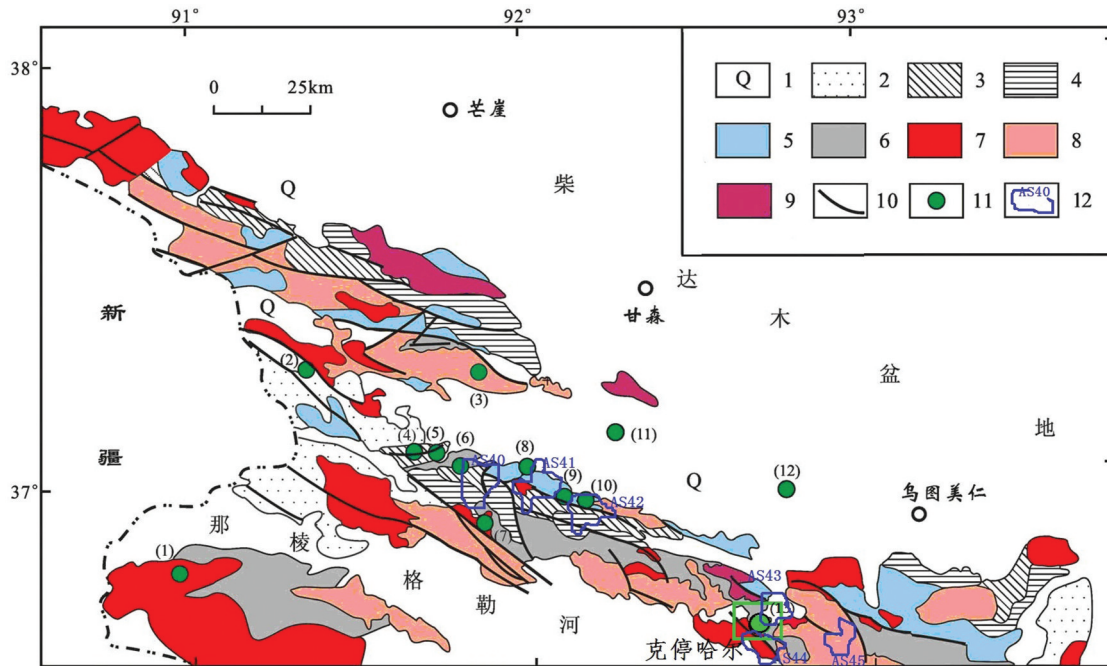


图1 祁漫塔格地区区域地质矿产图(据文献[20])

- 1—第四系; 2—三叠系; 3—石炭系; 4—泥盆系; 5—奥陶-志留系; 6—元古界; 7—印支期花岗闪长岩; 8—华力西期花岗岩; 9—加里东期花岗岩; 10—断裂; 11—铁铜多金属矿床; 12—1:20万水系沉积物化探异常; (1)—卡而却卡; (2)—鸭子沟; (3)—乌兰乌珠尔; (4)—景忍; (5)—虎头崖; (6)—肯德可克; (7)—群力; (8)—野马泉; (9)—四角羊; (10)—金鑫; (11)—尕林格; (12)—它温查汉; (13)—克停哈尔
- Fig.1 Regional geological map of Qimantag area, showing distribution of mineral resources (modified after reference [20])
- 1—Quaternary; 2— Triassic; 3— Carboniferous; 4— Devonian; 5— Ordovician – Silurian; 6— Proterozoic; 7— Triassic granodiorite; 8— Variscan granite; 9— Caledonian granites; 10— Fracture; 11— Iron polymetallic deposit; 12—1: 200, 000 geophysical and geochemical stream sediment anomalies; (1) —Kaerqueka; (2)—Yazigou; (3)—Wulanwuzhuer; (4) —inren; (5)—Hutouya; (6)—Kendekeke; (7)—Qunli; (8)—Yemaquan; (9)— Sijiaoyang; (10)—Jinxing; (11)—Galinge; (12)—Tawenchahan; (13)—Ketinghaer

合好, 综合异常分布与古元古代变质岩地层及印支期花岗岩类有关。

2 矿区地质概况

2.1 地质特征

矿区出露地层以古元古代金水口岩群为主, 岩性有片麻岩夹大理岩、片岩等, 岩石蚀变较强, 另有奥陶纪、晚泥盆世的玄武岩、安山岩及火山碎屑岩呈带状展布; 受区域构造影响, 矿区构造主要为北西向和北东向两组, 北西向构造控制了地层与岩体的总体分布格局, 北东向构造为主控矿构造, 其长度大于1 km, 宽数米至上百米, 带内矿化蚀变强, 见多处铁铜铅锌矿化点, 另有后期的次级小构造纵横交错, 十分发育, 且多有矿化蚀变显示; 岩浆岩以似斑状花岗闪长岩为主, 二长花岗岩、钾长花岗岩等中酸性岩石亦有出露, 具多期次侵入特征, 多呈小岩株、岩枝状侵入, 在与大理岩接触带靠近下盘多

形成矽卡岩, 以透辉石矽卡岩为主, 石榴石矽卡岩次之, 此矽卡岩是铁多金属矿的主要含矿岩性, 印支期似斑状花岗闪长岩是区内铜铅矿的主要赋矿岩石, 钻孔验证其深部还存在隐伏的花岗斑岩的小岩株, 同时岩体内有隐爆角砾岩, 其呈200~300 m直径的筒状从似斑状花岗闪长岩体中隐爆, 角砾成分以花岗闪长质为主, 大小不一(0.5~30 cm), 具棱角-次棱角状, 胶结物绢英岩化较强。综观矿区总的蚀变, 具有矽卡岩化、钾化、绢英岩化、绿泥石化、高岭土化的蚀变特征, 反映出岩浆热液广泛强烈的交代作用^[29](图3)。

2.2 地球化学特征

1:5万水系沉积物测量工作, 将矿区内的1:20万水系沉积物异常分解为13个子异常。异常元素特征组合为Cu、Pb、Zn、Ag、Mo、Sn, 异常套合关系较好, 元素集中中心明显, 峰值高, 主要异常具有内、中、外3个浓度分带。经对1:5万圈定的AS43-

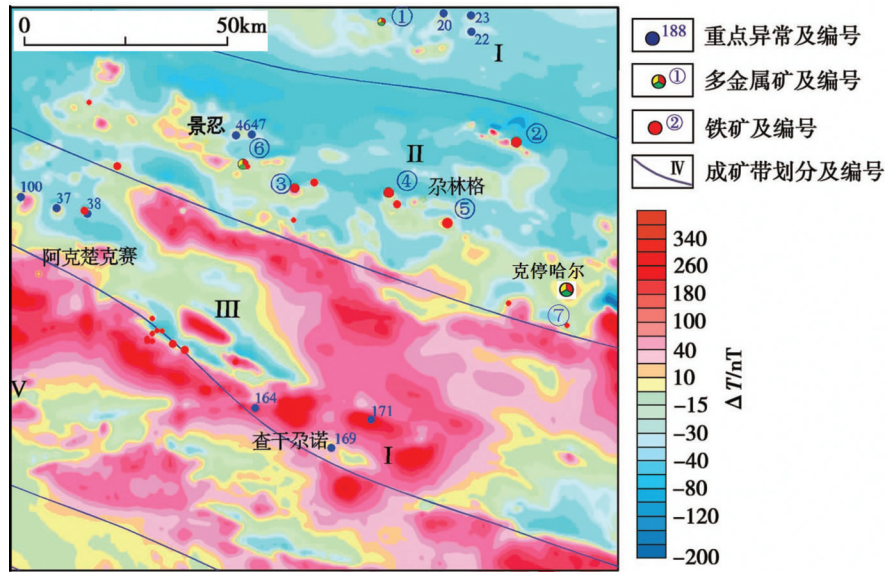


图2 克停哈尔区域航磁异常图(据文献[26])

Fig.2 Regional aeromagnetic anomalies in Ketinghaer area (modified after reference [26])

表1 青海省东昆仑地区水系沉积物指标含量与全国、全省背景值对比^[28]

Table 1 Statistic comparison of stream sediment values in the East Kunlun region with the background values of the whole country and Qinghai Province

指标	Ag	As	Au	B	Ba	Be	Bi	Cd	Co	Cr	Cu	F	Hg
东昆仑 (4389)	50.24	12.10	1.61	34.50	485.9	1.88	0.32	137.3	9.40	47.92	19.77	496.7	16.0
青海区域背景	65*	13.6*	1.35*	52.9	464.2	1.95	0.29*	190	9.95*	56.9*	19.9*	471	27
全国水系沉积物	77.82	10.02	1.32	47.0	491.2	2.13	0.31	135.0	12.12	59.39	21.83	92.2	36.1
浓集系数	0.65	1.21	1.22	0.73	0.99	0.88	1.04	1.02	0.78	0.81	0.91	1.01	0.44
指标	La	Li	Mn	Mo	Nb	Ni	P	Pb	Sb	Sn	Sr	Th	Ti
东昆仑 (4389)	32.49	29.17	528.5	0.79	12.73	22.56	489.8	18.53	0.96	2.27	228.2	8.28	301.3
青海区域背景	33.62	32.61	547.2	0.64*	12.4	21.6*	555	19.97*	0.93*	2.61*	186.7	9.75	3312
全国水系沉积物	39.00	31.70	670.6	0.84	15.83	24.68	577.8	23.53	0.69	3.02	142.9	11.90	4103
浓集系数	0.83	0.92	0.79	0.94	0.8	0.91	0.85	0.79	1.4	0.75	1.6	0.7	0.73
指标	U	V	W	Y	Zn	Zr	Al ₂ O ₃	CaO	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	MgO	Na ₂ O	SiO ₂
东昆仑 (4389)	2.00	63.89	1.75	20.67	57.67	158.6	10.73	5.86	3.93	2.19	1.81	2.07	65.03
青海区域背景	2.15	67.9	1.706*	21.98	57.5*	240.8	11.49	3.13	3.21	2.08	1.57	1.44	68.5
全国水系沉积物	2.45	80.41	1.83	24.6	70.04	292	12.83	1.80	4.56	2.36	1.37	1.32	65.31
浓集系数	0.82	0.79	0.96	0.84	0.82	0.54	0.84	3.25	0.86 0.93	1.32	1.57	1.00	

注: Au、Hg、Cd的含量单位为10⁻⁹,氧化物含量单位为%,其余指标含量单位为10⁻⁶;浓集系数=各指标平均值/全国背景值;加“*”数据为20%抽样平均值;括号内数据为样品数。

表2 青海省东昆仑地区地球化学元素分异特征^[28]

Table 2 Geochemical element differentiation characteristics in the East Kunlun region of Qinghai Province

类型	强分异 $C \geq 0.75$	中等分异 $0.75 > C \geq 0.35$	弱分异 $C < 0.35$
高含量($f \geq 1$)	Bi, Au, Sb	As, Cd, F, Sr, Ca, Mg	Na, Si
低含量($f < 1$)	Hg, W, Pb	Cr, Ni, Mo, Ag, Sn, B, Cu, Th, V, U, Nb, La, Mn	Co, Fe, Ti, P, Zr, Ba, Zn, Y, Be, K, Li, Al

注: C为变异系数, f为浓集系数。

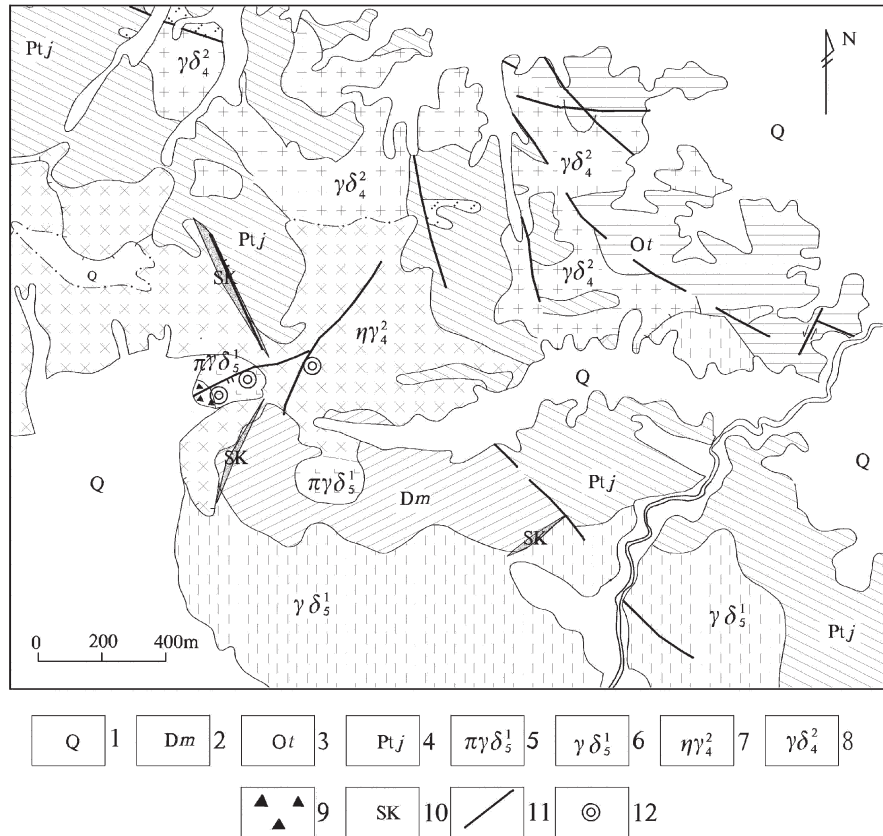


图3 克停哈尔矿区地质简图

1—第四纪; 2—泥盆纪牦牛山组; 3—奥陶纪滩涧山群; 4—古元古代金水口群; 5—印支期花岗闪长岩; 6—印支期似斑状花岗闪长岩; 7—华力西期花岗闪长岩; 8—华力西期二长花岗岩; 9—隐爆角砾岩; 10—矽卡岩; 11—断层; 12—见矿钻孔

Fig.3 Sketch geological map of the Ketinghaer ore district

1-Quaternary; 2-Devonian Maoniushan Group; 3- Ordovician Tanjianshan Group; 4- Proterozoic Jinshuiko Group; 5- Triassic granodiorite; 6- Triassic porphyritic granodiorite; 7- Variscan granodiorite; 8- Variscan adamellite; 9- Cryptoexplosion breccia; 10- Skarn; 11- Fracture; 12- Ore-intersecting drill hole

4异常利用1:1万土壤测量进一步解译,共圈定了AP1~AP5 5个子异常,其中钻孔验证的铜钼矿体位于AP5号异常内,异常主元素为Cu、Ag、Zn,伴生元素为Pb、Sn、As、Bi、W、Co、Au、Mo(表3),异常总体呈条带状北东-南西向展布,与矿化体展布方向一致。Cu异常面积为0.029 km²。峰值为637.0×10⁻⁶,

异常具有内、中、外3个浓度分带,浓集中心明显; Zn异常由2个不规则椭圆形组成,异常面积比较大,异常具有内、中、外三个浓度分带,异常与Cu异常套合较佳,分布在Cu异常中。

2.3 地球物理特征

青海省第三地质矿产勘查院于2012年对矿区

表3 AP5异常参数特征
Table 3 Parameter characteristics of AP5 anomaly

元素	点数/个	异常下限	峰值	均值	面积/km ²	离差	衬度	规模	浓度分带
Cu	5	60	637.0	416.40	0.029	157.1	6.93	0.201	内、中、外
Zn	3	300	1900	1043.33	0.013	615.7	3.48	0.045	内、中、外
Ag	4	400	3200	1694.00	0.015	885.4	4.24	0.064	内、中、外
Bi	3	5	48.1	20.03	0.009	19.85	4.01	0.036	内、中、外
Co	7	20	42.2	28.53	0.026	6.24	1.43	0.037	中、外
As	3	50	> 200	156.30	0.011	61.80	3.13	0.034	中、外
Sn	4	10	21.8	14.45	0.011	4.28	1.45	0.016	中、外
Pb	3	150	425	283.33	0.009	101.8	1.89	0.017	中、外

注: Ag、Au单位为10⁻⁹, Zn、Pb、Bi、W单位为10⁻⁶; 数据由青海省地调院2003年测定。

主要的1:5万地磁异常利用1:1万高精度磁测进行了解译, 通过矿区岩石磁物性参数的测定分析显示(表4), 侵入岩较变质岩剩磁异常高。根据岩石磁物性标本测定结果, 石英闪长岩、花岗闪长岩磁性最强, 平均值分别为2569.63×10⁻⁶×4π·SI和2393.93×10⁻⁶×4π·SI, 剩余磁化强度分别为203.03×10⁻³A/m和165.91×10⁻³A/m, 在地表形成了高强度, 规模大, 正负异常伴生, 具跳跃性的地磁异常; 黑云母花岗闪长岩、片麻岩、二长花岗岩磁性中等, 一般在695.81×10⁻⁶×4π·SI~807.73×10⁻⁶×4π·SI, 剩余磁化强度在50.14×10⁻³~164.8850×10⁻³A/m, 在地表形成强度中等, 规模较大, 正、负异常伴生, 具跳跃性的地磁异常; 石英片岩磁性最低, 为100.74×10⁻⁶×4π·SI~

206.5×10⁻⁶×4π·SI, 剩余磁化强度在41.6150×10⁻³~49.5450×10⁻³A/m, 在地表形成了强度弱, 规模较大, 分布规则的地磁异常。

1:1万高精度磁测成果显示, 金水口岩群等层对应负值异常区, 岩性主要为片麻岩、片岩等变质岩, 极值ΔT为-400 nT, 花岗闪长岩等侵入岩体基本对应正值区, 极值ΔT为600 nT, 正异常呈椭圆形的特征, 异常形态基本显示不同的小岩体呈串珠状分布的特征, 此特征较明显, 另外, 磁异常基本能很好地反映区内的构造带, 构造带显示出低值异常带, ΔT值在0 nT左右, 如C2与C3之间的北东向低异常带对应区内的主要控矿构造, 而含铜钼矿的花岗闪长岩与C3对应, 为一低缓正值异常区, ΔT值为25~

表4 岩石磁性测定结果
Table 4 Magnetic measurements of rocks

标本名称	标本块数	磁化率/(10 ⁻⁶ ×4π·SI)			剩磁/(10 ⁻³ A/m)		
		max	min	平均值	max	min	平均值
二长花岗岩	30	4513.71	2.44	774.59	1161.74	24.50	164.88
黑云母花岗闪长岩	30	1720.16	68.04	695.81	526.06	37.28	168.42
花岗闪长岩	6	3318.38	1641.61	2393.93	325.24	91.17	165.91
片麻岩	26	2234.06	9.16	807.73	178.83	11.82	50.14
石英片岩	16	283.58	1.35	100.74	164.84	7.36	41.61
石英闪长岩	60	3975.14	123.96	2569.63	459.95	30.24	203.03

注: 1—以上数据由青海省第三地质矿产勘查院2012年测定; 2—磁化率和剩余磁化强度采用质子磁力仪总场方式测定, 计算公式:

$$\text{视磁化率: } \kappa' = \frac{\pi \cdot R^3}{3T_0V} \left[\left| \frac{n_1 + n_2}{2} - n_0 \right| + \left| \frac{n_3 + n_4}{2} - n_0 \right| + \left| \frac{n_5 + n_6}{2} - n_0 \right| \right] \times 10^{-6} (4\pi \cdot SI), \text{ 真磁化率: } \kappa = \frac{\kappa'}{1 - \frac{\kappa'}{3}};$$

$$\text{剩磁: } M_r = \frac{5 \cdot R^3}{2 \cdot V} [(n_1 - n_2)^2 + (n_3 - n_4)^2 + (n_5 - n_6)^2]^{1/2} \times 10^{-3} (A/m);$$

式中: R: 标本中心到探头中心距离, 单位: cm; V: 标本体积, 单位: m³; T₀: 当地地磁场总强度值, 单位: 特斯拉。

300 nT, 说明低缓正磁异常区及负低值异常带是找矿有利地区(图4)。

2.4 矿体特征

矿区目前已初步确定3种工业类型的矿体, 分别是斑岩型铜钼矿、矽卡岩型铁多金属矿、热液脉型锌多金属矿。铜钼矿均是深部单工程控制, 其他脉状矿体以地表揭露为主。

铜钼矿产于似斑状花岗闪长岩中, 岩体中心有隐爆角砾岩筒, 岩体内北东向构造发育, 岩体具钾化、硅化、绢英岩化、高岭土化蚀变, 以钾化最为发

育, 地表构造中探槽揭露多个脉状铅锌铜矿化体, 根据主要斑岩型铜钼矿的特征, 推断角砾岩筒与岩体的接触带附近具有形成斑岩型矿床的可能, 据此在岩体与角砾岩筒两者接触带附近沿北东向构造由南向北共施工2个钻孔, 两孔相距300 m, 分别见到钼、铜矿化体(图5), 并在50 m以深均见到了隐伏的花岗斑岩, 在斑岩体以深绢英岩化蚀变带多是矿化体产出部位。南侧ZK2钻孔见3层钼矿化体, 总视厚度9.8 m, 绢英岩化碎裂岩中辉钼矿呈细脉浸染状(图6), 品位较高, 最高达 0.13×10^{-2} , 平均品

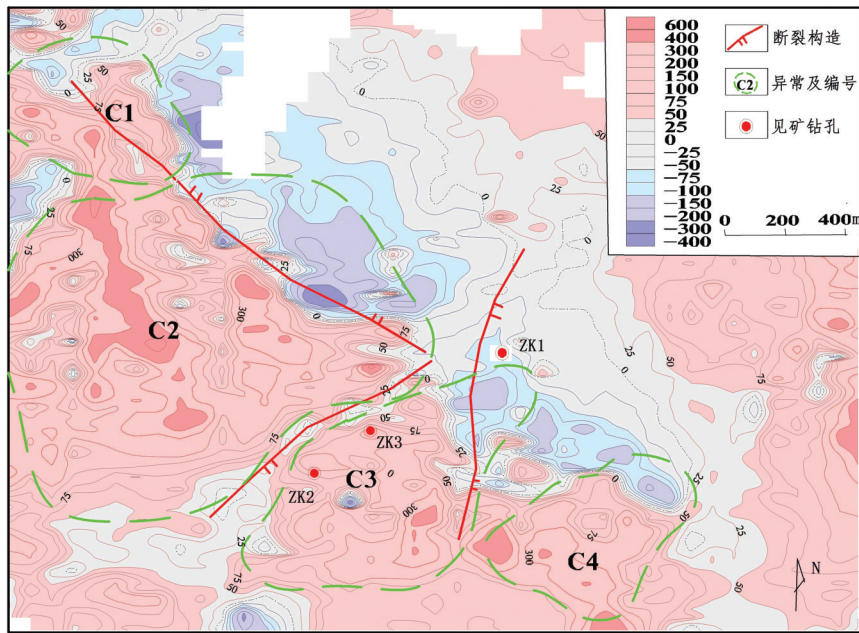


图4 克停哈尔矿区1:1万高精度磁测ΔT值等值线图

Fig.4 Contour map of ΔT values of 1: 10000 high-precision magnetic measurements in the Ketinghaer mining area

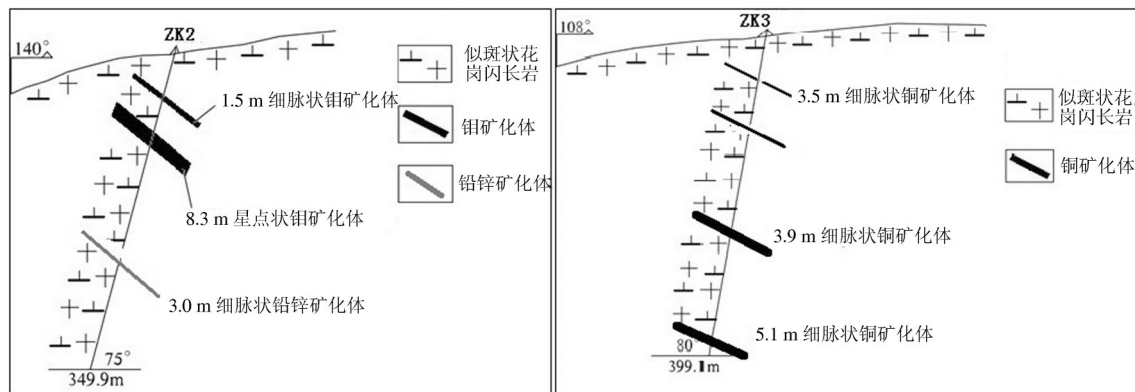


图5 克停哈尔矿区钻孔见矿情况示意图

Fig.5 Ore-intersecting drill holes in the Ketinghaer mining area

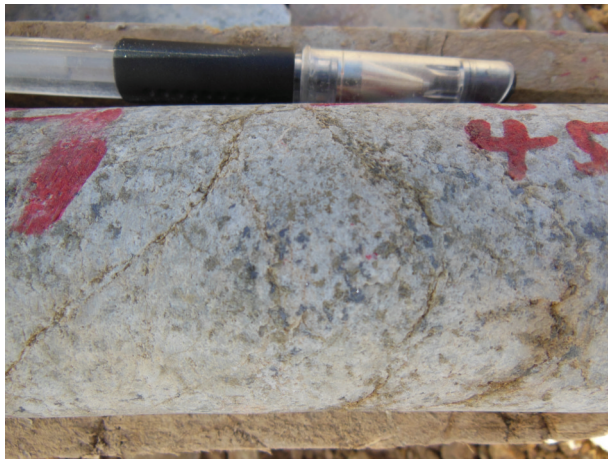


图6 ZK2中细脉浸染状辉钼矿
Fig.6 Veinlet disseminated molybdenite in ZK2



图7 ZK3中细脉浸染状黄铜矿
Fig.7 Veinlet disseminated chalcopyrite in ZK3

位 0.062×10^{-2} 。北侧ZK3钻孔控制了4层铜矿化体,总视厚度14 m,平均品位1.10%,其中有连续5.1 m的细脉浸染状铜锌银矿化体(图7),铜平均品位 2.37×10^{-2} ,银平均品位 68.03×10^{-6} ,锌平均品位 0.81×10^{-2} ,伴生金品位最高 0.28×10^{-6} 。总体来看,铜钼矿化体均受北东向构造带控制,倾向南东,倾角在 $30^\circ \sim 50^\circ$,构造带中以绢英岩化碎裂岩为主,其中的细脉浸染状的铜钼品位较高,岩体中斑点状的铜钼品位较低,赋矿中心尚不明确。总结此含矿岩体与区内低缓正磁异常对应,北东向构造对应低负异常区,铜钼矿应属同一构造控矿系统,只是靠近岩体中心的是钼,向外逐渐变成铜,地表及更远处为铅锌矿,自中心向外围具有明显的矿化分带性,根据以上特征,确定其为一典型的斑岩型铜钼矿。

矽卡岩型铁多金属矿,含矿的矽卡岩带在斑岩型铜钼矿的外围数百米以外,矿化体多呈透镜状,尖灭再现产出,厚数米至数十米,长在百米以内,延伸不稳定。已圈定多个铁多金属矿化体,铁矿化体最大视厚度28 m,延伸不足百米,磁铁矿品位 34.82×10^{-2} ;铅锌矿化体最大视厚度4.5 m,以锌为主,锌铅品位相加最高 5×10^{-2} ,深部钻孔控制见到多个视厚度1~3 m的铅锌矿化体,矿化体均受此矽卡岩带控制,本区矽卡岩型矿具矿化不均、规模不一、矿种产出多样的特征。

裂隙充填热液脉型锌多金属矿,主要分布在铜钼矿含矿岩体地表及外围的构造裂隙中,北西向、北东向为主,产状普遍较陡,构造带内碎裂岩以硅

化、绿泥石化蚀变为主,多为铅锌矿化体,呈薄脉状,视厚度一般1~6 m,长在百米以内,铅锌品位普遍在 $1 \times 10^{-2} \sim 3 \times 10^{-2}$,构造带中铜多金属矿化体最厚达6 m,铜捡块样品品位 0.74×10^{-2} ,锌 2.57×10^{-2} ,显示了一定的找矿前景。

综观区内矿产分布特征,形成了岩体深部及中心为斑岩型钼矿,向外渐变成斑岩型铜矿,岩体外侧与地层接触带中为矽卡岩型铁多金属矿,岩体地表及较远的外围形成脉状铅锌矿的完整热液系列成矿模式,显示出良好的勘查前景。

3 找矿思路的建立及找矿方法

3.1 找矿思路建立过程

本区找矿思路的建立是在充分了解区内成矿地质条件、物化探异常特征的基础上,类比国内外典型矿床及所在成矿带上已知主要矿床的成矿特征而建立的。找矿思路也遵循找矿勘查的一般原则,即由已知到未知,循序渐进,不断调整找矿思路的原则。

首先,本区所在的祁漫塔格成矿带是以矽卡岩型铁多金属矿为主的成矿带,矿区内的大理岩与中酸性岩体的接触带中有脉状矽卡岩型铁、铜铅锌矿,前期的工作思路以找脉状的铅锌矿和矽卡岩型铁多金属矿为主。后经类比分析发现,祁漫塔格成矿带中已知的主要矽卡岩型矿床与斑岩型矿床相伴产出,而且斑岩型矿床是矿区前期发现矽卡岩矿床之后的勘查过程中逐渐才发现的,如卡尔却卡斑

岩型铜钼矿。因为区域中矽卡岩型矿的找矿标志更清楚,斑岩型矿一般是隐伏在下,不易发现,所以本区前期工作也是以矽卡岩型及地表的脉型矿床为主,工作一直没有取得突破。依据上述分析,项目组一直没有放弃,对矿区重新进行了地质修测,对地质内容重新进行认识后发现了一个重要的线索,就是在似斑状的花岗闪长岩中有一隐爆角砾岩筒,而且在接触带上形成了强烈的绢英岩化蚀变,似斑状花岗闪长岩地表亦强钾化、高岭土化,岩体中有北东向构造,并有多组构造裂隙交错发育,地表裂隙中见有铜蓝矿化、铅锌矿化,据此特征分析,初步推测本区具有形成斑岩型铜矿的可能,进而对地质内容与矿区的高磁异常对比分析发现,似斑状花岗闪长岩对应一明显的圆形低缓正磁异常,北东向的构造带对应一弱负异常带。综合矿区的成矿地质条件、物化探异常特征、已知矽卡岩矿化体、脉状铅锌矿化体等信息发现,其与小秦岭、大兴安岭等我国重要斑岩型铜钼矿产区典型矿床的地质特征具有相似性^[30-32],并与祁漫塔格成矿带中的卡而却卡及距矿区以东30 km的拉陵灶火斑岩型钼矿床^[33, 34]对比,地质特征亦具有相似性。拉陵灶火斑岩型钼矿含矿岩石为似斑状花岗闪长岩与本区岩性一致,而本矿区最具指示意义的是似斑状花岗闪长岩体中有一隐爆角砾岩筒,据此初步建立了寻找斑岩型矿床的工作思路,于是在隐爆角砾岩与似斑状花岗闪长岩的接触带附近,针对地表矿化较好的北东向构造带施工了ZK2钻孔验证,在40 m以深见了3层总计近10 m厚的钼矿体,此带向北相距300 m的位置追索施工ZK3钻孔见到品位较高累计十多米厚的铜矿体,而且两孔均见隐伏的花岗斑岩体,其岩体中的矿化蚀变等具体特征前已述,至此基本确认了克停哈尔斑岩型铜钼床的存在,矿床发现的大体过程是资料总结→对比建模→模型验证的一个过程(图8)。

3.2 综合找矿方法

通过1:20万化探工作,发现了Cu、Pb、Zn、Mo等多金属元素的综合异常;通过1:5万化探工作,矿区分解出多个Cu、Ag、Pb、W、Mo等多元素的组合异常,其中Cu、Pb、Zn、Ag元素有明显的富集区,异常检查发现了地表矿化蚀变带;针对主要1:5万化探异常经1:1土壤地球化学测量解剖,分解了多个

子异常,子异常基本锁定了矿化蚀变带的分布范围;1:5万地磁测量显示本区为低缓的磁异常区,1:1万高精度磁测分解了多个子异常,并清楚地反映了岩体与地层的分界及范围,构造带的展布特征;利用1:1万地质草测和槽探工程揭露,大致了解了矿区地层、构造、岩浆岩、矿化蚀变特征及控矿因素,大致了解了地表矿化体形态、产状、规模;通过对成矿条件不断的认识、总结对比,初步建立了寻找斑岩型矿床的工作思路,以寻找斑岩型矿床的工作思路开展钻探验证,了解了矿化蚀变带深部的含矿性,确认了矿区有斑岩型铜钼矿存在。因受地形限制,激电测量在本区存在一定难度,以往仅施工了少量的激电中梯剖面,异常显示不明显,对矿床的发现没有实质性的指导作用,但后续勘查中还需开展此项工作,激电中梯测量在覆盖地区勘查是必不可少的手段之一,再者斑岩型铜钼矿勘查中激电测量有一定效果,大家有此共识^[35]。

4 找矿模型

斑岩型铜钼矿床与中酸性浅成或超浅成的侵入体有关,因此,区内似斑状花岗闪长岩的存在是寻找该矿床的必要条件;而岩体内隐爆角砾岩筒的存在和隐伏花岗斑岩的发现,使斑岩型矿床的找矿识别标志更加明显,据对北美的58个斑岩型矿床的统计发现,70%的矿床岩体内存在隐爆角砾岩^[36],足见其在成矿中的重要作用及指示意义;区域性深断裂是岩体活动的通道,更是含矿热液汇集的有利通道,而多次级的交错的断裂则是控矿、赋矿的重要构造^[37],本矿区受区域性昆北深大断裂影响在区内形成的北西向构造破碎带及北东向构造是寻找该类型矿床不可缺少的因素^[38, 39];地表氧化形成的褐铁矿化、铜蓝矿化是寻找铜矿床的直接标志;矿区内分布的具内中外带特征的Ag、Zn、Pb等前缘晕元素异常为寻找该类型矿床提供了重要线索;而区内圆形的低缓磁异常及带状的负值异常带直接反映了岩体的分布范围及构造展布特征,是矿区斑岩型铜钼矿床的间接标志;地表广泛的钾长石化、绢英岩化、绿泥石化、高岭土化等蚀变是寻找斑岩型铜钼矿床的主要标志。

据克停哈尔斑岩型铜钼矿床已有地质、地球物理、地球化学资料及找矿实践,初步建立了找矿模

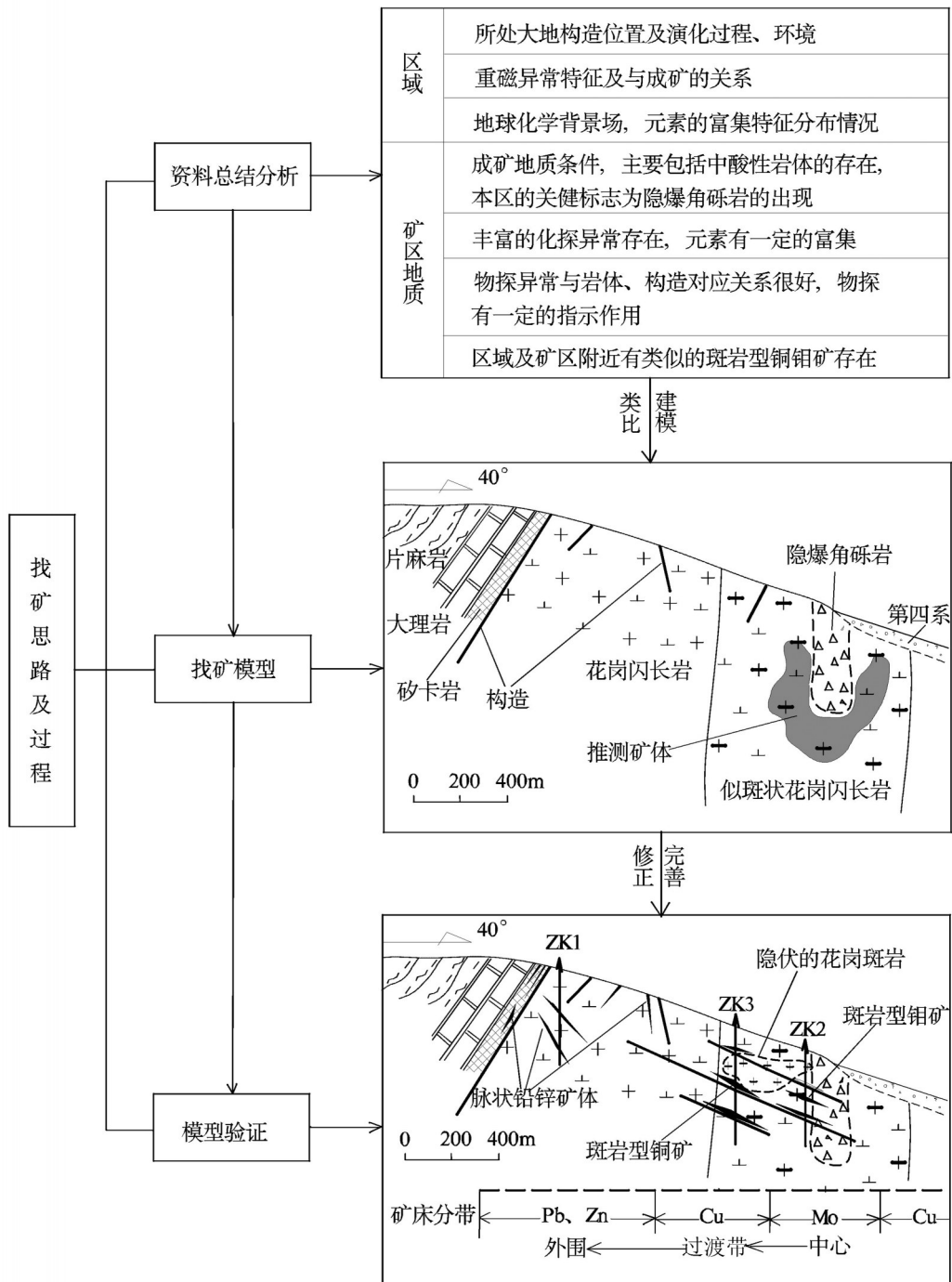


图8 找矿思路及过程示意图

Fig.8 Sketch map of prospecting thinking and test procedure

型(表5), 各找矿要素中, 因矿体所对应的化探异常中钼元素弱, 则化探较其他要素略显逊色, 是否与钼为隐伏矿体相关, 还需后续工作进一步验证。

5 分析与讨论

与典型斑岩型矿床相比, 矿区存在以下两方面

表5 克停哈尔斑岩型铜钼矿地质-地球物理-地球化学找矿模型

Table 5 Geological-geochemical-geophysical prospecting model for the Ketinghaer porphyry copper molybdenum deposit

类别标志		标志或信息
区域背景	大地构造	隶属东昆仑祁漫塔格早古生代裂陷槽, 并经历多期次构造旋回, 主要成矿期为印支期
	地球物理场	航磁均为低缓磁场区
	地球化学场	位于Cu、W、Ag、Zn、Mo、Co、As、Ni、Cr、Zr、Ti、Bi等元素构成的化探区域异常带中, Cu、W、Bi元素异常浓集中心明显, 浓度分带清晰
矿区地质	地层	古元古代金水口岩群为主, 岩性有片麻岩夹大理岩、片岩等; 奥陶纪玄武岩; 晚泥盆世牦牛山组的玄武岩、安山岩带状展布
	构造	受昆北深大断裂派生的次级近东西向、北西向、北东向多组构造破碎带控制
	岩浆岩	似斑状花岗闪长岩(242.6±3.4)Ma, SHRIMP U-Pb 法) ^[12] , 隐爆角砾岩筒的存在
	围岩蚀变	钾长石化、石英绢云母化带、硅化、绿帘石化、高岭土化, 绢云母化与铜钼矿化的空间分布关系密切, 外围局部矽卡岩化
	赋矿部位	黄铁绢英岩化碎裂岩、似斑状花岗闪长岩、隐爆角砾岩及外接触带
地球物理	主要矿石矿物	黄铜矿、辉钼矿为主, 次有闪锌矿、方铅矿、黄铁矿等
	探测目标物	构造蚀变带及花岗闪长岩体
	目标物物性特征	高磁显示构造带为低负异常带, 而岩体为低缓的正值异常区
地球化学	主要异常元素组分	主要组分Ag、Pb、Bi、Zn、Au、Cu、Mo、W等元素; 前缘元素Pb、Zn、Ag元素组成, 峰值较高; 近矿元素: 中心带由Mo、Cu等元素组成
	主要元素极大值	Ag 1124, Zn 522, Pb 284
	主要元素形态及分布	成矿元素Cu异常形态呈似带状, 浓集中心在构造破碎带上方, 元素异常具有明显分带性, 内带为Cu、Mo, 中带为W, 外带为Pb、Zn、Bi、Ag

差异:

(1)克停哈尔斑岩型铜钼矿体地表目前还未发现钼矿化体, 矿体所在的AS43-4土壤化探异常也不是以Mo元素为主的异常, Cu异常略有显示, 而是以Ag、Pb、Zn为主的异常组合, 但深部验证发现了隐伏的铜钼矿体, 存在这种情况有3种可能: 第1种可能是土壤化探样品采集存在问题, 但后期探槽揭露中岩石光谱分析钼元素亦无高值显示, 则排除了第1种可能; 第2种可能是地表的钼矿剥蚀严重, 因钼在地表易经风雨冲蚀, 本矿区钼矿处于地形较高的山上, 剥蚀后由地形较高的地方迁移到较低的地方, 故在AS43-4异常周围的其他异常中存在钼异常, 基本能支持这种推测, 如果真是如此, 则说明本区地表钼矿存在剥蚀可能, 而剥蚀程度的强弱, 深部矿体保留多少, 则十分关键, 直接影响保有矿床规模大小; 第3种可能是浅部的脉状铅锌矿等是形成前缘元素组合(Ag、Pb、Zn)的主要因素, 而钼矿体还未出露至地表, 全是隐伏矿体, 根据ZK2中初次见钼标高(地表以下40 m)来判断, 说明深部还有更好的矿体存在, 如果真如此, 则勘查前景更好, 以上情况还需今后的勘查中不断分析验证。

(2)蚀变分带特征方面, 克停哈尔斑岩型铜钼矿体的蚀变有钾化、硅化、黑云母化、绢英岩化、绿帘石化、高岭土化, 因目前施工的工程数量有限, 加之

地表有薄层覆盖, 对各蚀变的分带特征尚未弄清。目前公认典型斑岩型铜钼矿所具有的蚀变由中心向外分别是钾化、硅化、绢英岩化、青磐岩化、泥化, 二者相比, 蚀变略有差异, 说明不同地区不同的斑岩型矿床的蚀变存在差异, 有时相互叠加, 但有钾化、绢英岩化等主要蚀变特征存在, 具有斑岩型矿床的特征^[40, 41]。对于蚀变问题, 不能去套, 因为蚀变类型受多种地质作用影响, 是在特定环境特定条件下所形成的, 不会影响矿床类型的判定, 但会影响对剥蚀程度的判断。

6 结 论

(1)克停哈尔铜钼矿为祁漫塔格成矿带2013年新发现的典型斑岩型矿床, 其找矿突破是在全面分析总结区内的地质、物化探成矿条件基础上, 经野外详细观察, 以发现隐爆角砾岩筒等斑岩型矿床的典型特征为突破口, 经与国内及祁漫塔格成矿带中已知矿床类比后建立斑岩型矿床找矿思路来开展工作, 深部钻孔验证发现了较好的铜钼矿体, 最终确认斑岩型矿床的存在, 找矿的过程遵循了资料总结分析→寻找典型标志→初步建立矿床模型→确定找矿思路方法→勘查验证的一个过程, 是理论与实践相结合找矿突破的典型例子。

(2)以1:20万化探发现和圈定多金属元素异常

为指导,利用1:5万土壤化探测量缩小找矿靶区,发现矿化蚀变带,1:5万地磁异常反映了岩体与地层的分布范围,在矿区开展1:1的土壤测量、1:1万的高磁测量,进一步锁定了岩体、构造蚀变带的分布范围,通过1:1万地质草测,地表揭露,大致了解了矿区地层、构造、岩浆岩、矿化体形态、规模、产状和相互关系,选择了成矿最有利的部位经钻探验证发现了隐伏的斑岩型铜钼矿体,找矿方法组合为化探+物探+地质+工程验证。

(3)通过地、物、化综合信息建立了克停哈尔斑岩型铜钼矿地质-地球物理-地球化学找矿模型,对于区域上开展同类型矿床的找矿工作提供了思路和方向。

(4)通过本矿区的找矿突破,以给地质勘查工作提供一个参考与启示:就是针对一个工区,首先要对各地质要素全面了解,并找出一些典型的地质要素,尽量去找典型要素所对应典型矿床模式,进而按照此模式采用相应的方法手段开展工作,尽量使勘查工作少走弯路,节省资源,快速突破。

致谢:审稿专家及责任编辑杨艳博士对论文提出了宝贵修改意见,在此一并致以诚挚的谢意!

参考文献(References):

- [1] 李文渊,张照伟,高永宝,等.秦祁昆造山带重要成矿事件及其构造演化响应[C]//陈毓川,薛春纪,张长青主编.主攻深部挺进西部放眼世界—第九届全国矿床会议论文集.北京:地质出版社,2008:15-16.
Li Wenyuan, Zhang Zhaowei, Gao Yongbao, et al. The important metallogenic events and its response of the tectonic evolution[C]//Chen Yuchuan, Xue Chunji, Zhang Changqing (eds.). The main deep into the western have the whole world in view—the proceedings of the Ninth National Conference set deposit. Beijing: Geological Publishing House, 2008: 15-16 (in Chinese with English abstract).
- [2] 李东生,张文权,田承盛,等.青海祁漫塔格地区主要矿床类型找矿方法探讨[J].西北地质,2013,46(4):131-141.
Li Dongsheng, Zhang Wenquan, Tian Chengsheng, et al. Discussion on the metallogenic characteristics and ore-prospecting methods of Qimantage region, Qinghai Province[J]. Northwestern Geology, 2013, 46(4): 131-141 (in Chinese with English abstract).
- [3] 李世金,孙丰月,王力,等.青海东昆仑卡尔却卡多金属矿区斑岩型铜钼矿的流体包裹体研究[J].矿床地质,2008,27(3):399-406.
Li Shijin, Sun Fengyue, Wang Li, et al. Fluid inclusion studies of porphyry copper mineralization in Kaerqueka polymetallic ore district, East Kunlun Mountains, Qinghai Province[J]. Mineral Deposits, 2008, 27(3): 399-406 (in Chinese with English abstract).
- [4] 李东生,张占玉,苏生顺,等.青海卡尔却卡铜钼矿床地质特征及成因探讨[J].西北地质,2010,43(4):239-244.
Li Dongsheng, Zhang Zhanyu, Su Shengshun, et al. Geological characteristics and genesis of the Karequeka copper molybdenum deposit in Qinghai Province[J]. Northwestern Geology, 2010, 43(4): 239-244 (in Chinese with English abstract).
- [5] 于森,丰成友,保广英,等.青海尕林格铁钼矿床矽卡岩矿物学及蚀变分带[J].矿床地质,2013,32(1):55-76.
Yu Miao, Feng Chengyou, Bao Guangying, et al. Characteristics and zonation of skarn minerals in Galinge iron deposit, Qinghai Province[J]. Mineral Deposits, 2013, 32(1): 55-76 (in Chinese with English abstract).
- [6] 胡杏花,朱谷昌,刘欢,等.祁漫塔格矿带虎头崖多金属矿床特征和成矿作用分析[J].地质与勘探,2011,47(2):216-221.
Hu Xinghua, Zhu Guchang, Liu Huang, et al. Characteristics and mineralization of the Hutouya polymetallic deposit in the Qimantage metallogenetic belt[J]. Geology and Exploration, 2011, 47(2): 216-221 (in Chinese with English abstract).
- [7] 舒晓峰,王雪萍,张雨莲,等.青海虎头崖地区多金属矿床成因类型的厘定及找矿方向[J].西北地质,2012,45(1):165-173.
Shu Xiaofeng, Wang Xueping, Zhang Yulian, et al. Determination of multifarious genesis and prospecting of polymetallic metallogenic deposition Hutouya, Qinghai[J]. Northwestern Geology, 2012, 45(1): 165-173 (in Chinese with English abstract).
- [8] 张爱奎,莫宣学,刘光莲,等.野马泉矿床特征及找矿潜力分析[J].矿产与地质,2010,24(2):97-106.
Zhang Aikui, Mo Xuanxue, Liu Guanglian, et al. Analysis of the feature and prospecting potential of Yemaquan deposit[J]. Mineral Resources and Geology, 2010, 24(2): 97-106 (in Chinese with English abstract).
- [9] 刘建楠,丰成友,赵一鸣,等.青海野马泉矽卡岩铁锌多金属矿区侵入岩、交代岩及矿化蚀变特征[J].矿床地质,2013,32(1):77-93.
Liu Jiannan, Feng Chengyou, Zhao Yiming, et al. Characteristics of intrusive rock, metasomatites, mineralization and alteration in Yemaquan skarn Fe-Zn polymetallic deposit, Qinghai Province[J]. Mineral Deposits, 2013, 32(1): 77-93 (in Chinese with English abstract).
- [10] 潘彤,马梅生,康祥瑞.东昆仑肯德可克及外围钴多金属矿找矿突破的启示[J].中国地质,2001,28(1):17-20.
Pan Tong, Ma Meisheng, Kang Xiangrui. Discovering of the Kendekeke(including its periphery) cobalt-polymetallic ore deposit and significance, East Kunlun mountain[J]. Geology in China, 2001, 28(1): 17-20 (in Chinese with English abstract).
- [11] 潘彤,孙丰月.青海东昆仑肯德可克及外围钴铋金床矿床成矿特征及找矿方向[J].地质与勘探,2003,39(1):17-20.
Pan Tong, Sun Fengyue. The mineralization characteristic and prospecting of Kendekeke Co-Bi-Au deposit in Dunkunlun,

- Qinghai Province[J]. *Geology and Exploration*, 2003, 39(1): 17–20 (in Chinese with English abstract).
- [12] 丰成友, 张大权, 李东生, 等. 青海祁漫塔格地区成矿规律研究[J]. *矿床地质*, 2010, 29(增刊): 3–5.
Feng Chengyou, Zhang Daquan, Li Dongsheng, et al. The research on mineralization regulations in Qimantage area, Qinghai Province[J]. *Mineral Deposits*, 2010, 29(supp.): 3–5 (in Chinese).
- [13] 潘裕生, 周伟明, 许荣华, 等. 昆仑山早古生代地质特征与演化[J]. *中国科学(D辑)*, 1996, 26(4): 302–307.
Pan Yusheng, Zhou Weiming, Xu Ronghua, et al. The early Paleozoic geological features and evolutions of the Kunlun Mountains[J]. *Science in China(Series D)*, 1996, 26(4): 302–307 (in Chinese).
- [14] 党兴彦, 范桂忠, 李智明, 等. 东昆仑成矿带典型矿床分析[J]. *西北地质*, 2006, 39(2): 143–155.
Dang Xingyan, Fan Guizhong, Li Zhiming, et al. Typic deposit analysis in the Eastern Kunlun area, NW China[J]. *Northwestern Geology*, 2006, 39(2): 143–155 (in Chinese with English abstract).
- [15] 赵一鸣, 丰成友, 李大新, 等. 青海西部祁漫塔格地区主要矽卡岩铁多金属矿床成矿地质背景和矿化蚀变特征[J]. *矿床地质*, 2013, 32(1): 1–19.
Zhao Yiming, Feng Chengyou, Li Daxin, et al. Metallogenic setting and mineralization– alteration characteristics of major skarn Fe– polymetallic deposits in Qimantag area, western Qinghai Province[J]. *Mineral Deposits*, 2013, 32(1): 1–19 (in Chinese with English abstract).
- [16] 殷鸿福, 张克信. 东昆仑造山带的一些特点[J]. *地球科学——中国地质大学学报*, 1997, 22(4): 339–342.
Yin Hongfu, Zhang Kexin. Characteristics of the eastern Kunlun orogenic belt[J]. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 1997, 22(4): 339–342 (in Chinese with English abstract).
- [17] 姜春发, 王宗起, 李锦轶. 中央造山带开合构造[M]. 北京: 地质出版社, 2000.
Jiang Chunfa, Wang Zongqi, Li Jinyi, et al. Opening– closing tectonics of Central Orogenic Belt[M]. Beijing: Geological Publishing House, 2000(in Chinese).
- [18] 沈贵春, 都忠卫, 张先福, 等. 青海省那陵郭勒河西铁多金属矿地质特征及高精度磁法应用[J]. *西北地质*, 2012, 45(1): 293–297.
Shen Guichun, Du Zhongwei, Zhang Xianfu, et al. Application of high– precision magnetic survey in the exploration of the iron– polymetallic deposit in west Nalinggele River of Qinghai, and its geological characteristics[J]. *Northwestern Geology*, 2012, 45(1): 293–297 (in Chinese with English abstract).
- [19] 姜寒冰, 李文渊, 董福辰, 等. 昆中断裂带南北陆块基底、盖层沉积、岩浆岩对比研究——昆中断裂带构造意义的讨论[J]. *中国地质*, 2012, 39(3): 581–594.
Jiang Hanbing, Li Wenyuan, Dong Fuchen, et al. A comparative study of the basement, the sedimentary blanket and the magmatic rocks of the south and north landmasses in the middle Kunlun fault belt: The tectonic significance of the middle Kunlun fault belt[J]. *Geology in China*, 2012, 39(3): 581–594 (in Chinese with English abstract).
- [20] 丰成友, 赵一鸣, 李大新, 等. 青海西部祁漫塔格地区矽卡岩型铁铜多金属矿床的矽卡岩类型和矿物学特征[J]. *地质学报*, 2011, 85(7): 1108–1115.
Feng Chengyou, Zhao Yiming, Li Daxin, et al. Skarn types and mineralogical characteristics of the Fe– Cu– polymetallic skarn deposits in the Qimantage area, western Qinghai Province[J]. *Acta Geologica Sinica*, 2011, 85(7): 1108–1115 (in Chinese with English abstract).
- [21] 刘江峰, 赵双喜, 李彦强, 等. 青海省东昆仑洪水河地区斑岩铜钼矿找矿潜力分析[J]. *西北地质*, 2012, 45(1): 211–221.
Liu Jiangfeng, Zhao Shuangxi, Li Yanqiang, et al. Prospecting potential analysis of porphyry Cu– Mo deposit of East Hongshui River in Eastern Kunlun in Qinghai Province[J]. *Northwestern Geology*, 2012, 45(1): 211–221 (in Chinese with English abstract).
- [22] 伍跃中, 王战, 过磊, 等. 东昆仑祁漫塔格地区花岗岩类时空变化的构造控制——来自钾钠含量的证据[J]. *地质学报*, 2009, 83(7): 965–981.
Wu Yuezhong, Wang Zhan, Guo Lei, et al. Tectonic constraint on the temporal and spatial variation of granitoid rocks in the Qimantag region, Eastern Kunlun—evidence from the changes of potassium and sodium contents[J]. *Acta Geologica Sinica*, 2009, 83(7): 965–981 (in Chinese with English abstract).
- [23] 陈国超, 裴先治, 李瑞保, 等. 东昆仑造山带晚三叠世岩浆混合作用: 以和勒冈希里克特花岗岩闪长岩体为例[J]. *中国地质*, 2013, 40(4): 1044–1065.
Chen Guochao, Pei Xianzhi, Li Ruibao, et al. Late Triassic magma mixing in the East Kunlun orogenic belt: A case study of Helegang Xilikete granodiorites[J]. *Geology in China*, 2013, 40(4): 1044–1065 (in Chinese with English abstract).
- [24] 袁万明, 莫宜学, 喻学惠, 等. 东昆仑印支期区域构造地质背景的花岗岩记录[J]. *地质评论*, 2000, 46(2): 203–211.
Yuan Wanming, Mo Xuanxue, Yu Xuehui, et al. The record of indosinian tectonic setting from the granitoid of East Kunlun Mountains[J]. *Geological Review*, 2000, 46(2): 203–211 (in Chinese with English abstract).
- [25] 伍跃中, 乔耿彪, 陈登辉. 东昆仑祁漫塔格地区构造岩浆作用与成矿关系初步探讨[J]. *大地构造与成矿学*, 2011, 35(2): 232–241.
Wu Yuezhong, Qiao Gengbiao, Chen Denghui. A Preliminary study on relationship between tectonic magmatism and mineralization in Qimantage area, Eastern Kunlun Mountains[J]. *Geotectonica et Metallogenia*, 2011, 35(2): 233–242 (in Chinese with English abstract).
- [26] 张普斌, 张宇, 杨自安, 等. 青海省东昆仑地区铜矿成矿地质特征及靶区优选[J]. *中国有色金属学报*, 2013, 23(5): 1405–1415.

- Zhang Pubin, Zhang Yu, Yang Zi'an, et al. Copper mineralization geological features and synthetical research on targets of Cu deposits in the East Kunlun Mountains, Qinghai Province[J]. The Chinese Journal of Nonferrous Metals, 2013, 23(5): 1405-1415 (in Chinese with English abstract).
- [27] 张洪瑞, 熊盛青, 范正国, 等. 青海祁漫塔格地区航磁异常特征及找矿前景[J]. 物探与化探, 2012, 36(2): 163-169.
Zhang Hongrui, Xiong Shengqing, Fan Zhengguo, et al. Aeromagnetic anomaly characteristics and ore-search prospects of Qimantag area in Qinghai Province[J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2012, 36(2): 163-169 (in Chinese with English abstract).
- [28] 安国英. 青海省东昆仑地区地球化学异常特征及金矿靶区筛选与评价[J]. 物探与化探, 2013, 37(2): 218-223.
An Guoying. Geochemical characteristics and gold metallogenic target area selection and evaluation in East Kunlun region, Qinghai Province[J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2013, 37(2): 218-223 (in Chinese with English abstract).
- [29] 孙燕, 刘建明, 曾庆栋. 斑岩型铜(钼)矿床和斑岩型铜(钼)矿床的形成机制探讨: 流体演化及构造背景的影响[J]. 地学前缘, 2012, 19(6): 179-193.
Sun Yan, Liu Jianming, Zeng Qingdong. An approach to the metallogenic mechanism of porphyry copper(molybdenum) deposits and porphyry molybdenum(copper) deposits: influence of evolving processes of ore-forming fluids and tectonic setting[J]. Earth Science Frontiers, 2012, 19(6): 179-193 (in Chinese with English abstract).
- [30] 黄凡, 陈毓川, 王登红, 等. 中国钼矿主要矿集区及其资源潜力探讨[J]. 中国地质, 2011, 38(5): 1111-1134.
Huang Fan, Chen Yuchuan, Wang Denghong, et al. A discussion on the major molybdenum ore concentration areas in China and their resource potential[J]. Geology in China, 2011, 38(5): 1111-1134 (in Chinese with English abstract).
- [31] 李文渊, 张照伟, 高永宝, 等. 秦祁昆造山带重要成矿事件与构造响应[J]. 中国地质, 2011, 38(5): 1135-1149.
Li Wenyuan, Zhang Zhaowei, Gao Yongbao, et al. Important metallogenic events and tectonic response of Qinling, Qilian and Kunlun orogenic belts[J]. Geology in China, 2011, 38(5): 1135-1149 (in Chinese with English abstract).
- [32] 贾盼盼, 魏俊浩, 巩庆伟. 大兴安岭地区铜钼矿床成矿区带背景及找矿前景分析[J]. 地质与勘探, 2011, 47(2): 151-162.
Jia Panpan, Wei Junhao, Gong Qingwei. Analysis of geological background and ore-searching prospect for the copper-molybdenum deposits in the Da Hingan Ling area[J]. Geology and Exploration, 2011, 47(2): 151-162 (in Chinese with English abstract).
- [33] 王富春, 陈静, 谢志勇, 等. 东昆仑拉陵灶火钼多金属矿床地质特征及辉钼矿 Re-Os 同位素定年[J]. 中国地质, 2013, 40(4): 1209-1217.
Wang Fuchun, Chen Jing, Xie Zhiyong, et al. Geological features and Re-Os isotopic dating of the Lalingzaohuo molybdenum polymetallic deposit in East Kunlun[J]. Geology in China, 2013, 40(4): 1209-1217 (in Chinese with English abstract).
- [34] 陈静, 谢智勇, 李彬, 等. 东昆仑拉陵灶火钼多金属矿床含矿岩体地质地球化学特征及其成矿意义[J]. 地质与勘探, 2013, 49(5): 813-823.
Chen Jing, Xie Zhiyong, Li Bin, et al. Geological and geochemical characteristics of the ore-bearing intrusions from the Lalingzaohuo Mo polymetallic deposit and its metallogenic significance[J]. Geology and Exploration, 2013, 49(5): 813-823 (in Chinese with English abstract).
- [35] 何书跃, 舒树兰, 刘永乐, 等. 青海祁漫塔格地区有效找矿方法总结[J]. 矿床地质, 2013, 32(1): 187-194.
He Shuyue, Shu Shulan, Liu Yongle, et al. Summary of effective prospecting methods in Qimantag area, Qinghai Province[J]. Mineral Deposits, 2013, 32(1): 187-194 (in Chinese with English abstract).
- [36] 翟裕生, 姚书振, 蔡克勤, 等. 矿床学[M]. 北京: 地质出版社, 2011.
Zhai Yusheng, Yao Shuzhen, Cai Keqin, et al. Mineral Deposits[M]. Beijing: Geological Publishing House, 2011 (in Chinese).
- [37] 侯增谦, 杨志明. 中国大陆环境斑岩型矿床: 基本地质特征, 岩浆热液系统和成矿概念模型[J]. 地质学报, 2009, 83(12): 1817-1836.
Hou Zengqian, Yang Zhiming. Porphyry deposits in continental settings of China: geological characteristics, magmatic-hydrothermal system, and metallogenic model[J]. Acta Geologica Sinica, 2009, 83(12): 1817-1836 (in Chinese with English abstract).
- [38] 宋忠宝, 贾群子, 张占玉, 等. 东昆仑祁漫塔格地区野马泉铁铜矿床地质特征及成因探讨[J]. 西北地质, 2010, 34(4): 209-217.
Song Zhongbao, Jia Qunzi, Zhang Zhanyu, et al. Study on geological feature and origin of Yemaquan Fe-Cu deposit in Qimantag Area, Eastern Kunlun[J]. Northwestern Geology, 2010, 34(4): 209-217 (in Chinese with English abstract).
- [39] 陈有顺, 李善平, 李永祥, 等. 青藏高原北羌塘盆地纳日贡玛铜钼矿床地质特征及控矿条件[J]. 西北地质, 2010, 43(4): 256-266.
Chen Youshun, Li Shanping, Li Yongxiang, et al. Geological features of copper-molybdenum deposit in Norigongma Area of Qiangtang Basin in Qinghai-Xizang Plateau[J]. Northwestern Geology, 2010, 43(4): 256-266.
- [40] Seedorff E, Dilles J H, Proffett J M, et al. Porphyry deposits: Characteristics and origin of hypogene features[J]. Economic Geology, 2005, 100: 251-298.
- [41] Sillitoe R H. Porphyry copper systems[J]. Economic Geology, 2010, 105: 3-41.

Prospecting thinking and model for the Ketinghaer porphyry copper molybdenum deposit in the East Kunlun Mountains

SU Xu-liang¹, ZHAO Yong-liang², ZHAO Chuang¹, ZHANG Xue-ming¹,
LI Heng-heng², LIU Guo-yan², SONG Tao-tao¹

(1. *Qingdao Geo-engineering Exploration Institute, Qingdao 266071, Shandong, China*; 2. *Third Exploration Institute of Geology and Mineral Resources of Qinghai Province, Xining 810029, Qinghai, China*)

Abstract: The Qimantag metallogenic belt in the East Kunlun Mountains is characterized by a large variety of deposit types and metallic kinds, with skarn deposits being the typical type. Hence, this belt has become one of the hotspots among geologists. In recent years, the prospecting for porphyry copper molybdenum deposit has achieved new breakthroughs continually in this metallogenic belt. In Ketinghaer, to the east of this belt, a new porphyry copper molybdenum deposit was discovered in 2013. The strata in this area belong mainly to Paleoproterozoic Jinshuikou Group, and the main rocks are metamorphic rocks, such as gneiss and marble. The Variscan and Indosinian intermediate-acidic intrusive rocks are widely distributed in this area, with the Indosinian intrusive rocks being the host rocks; within the rock bodies, there are small porphyry mass and cryptoexplosion breccia. In addition, the NW-, NE-trending structures and multiple geophysical-geochemical anomalies are also distributed in this area. Through a comprehensive analysis of the above conditions including geological conditions, geophysical-geochemical anomalies, and characteristics of typical porphyry copper molybdenum deposits, the authors tentatively summed up the prospecting thinking for porphyry deposits. On such a basis, the prospecting work was carried out, which led to the breakthrough finally. And then, the authors summarized the prospecting thinking and methods for the Ketinghaer porphyry copper molybdenum deposit, and established a geological-geochemical-geophysical comprehensive model so as to provide the train of thought and orientation in search for the same type of deposits in this region.

Key words: prospecting thinking; prospecting model; Ketinghaer; copper molybdenum deposit; Qimantag; East Kunlun Mountains

About the first author: SU Xu-liang, male, born in 1983, engineer, mainly engages in mineral exploration; E-mail: sx1162@163.com.