青海祁漫塔格茫崖河东地区典型矿床特征及成矿预测

马文君[1,2],谢海林[1,2],王斌[1,2],李少南[1,2*],罗岐慧[1,2*],王震[1,2],杜生鹏[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:茫崖河东地区位于青海祁漫塔格成矿带,成矿地质条件优越。近年来在该区80 km^{2}范围内陆续发现了金、铅锌、铁、钴镍铜和钨等多种矿产,但成矿类型及矿床地质特征缺乏系统性总结。基于勘查和科研资料,梳理了区内矿床地质特征及成矿规律,初步总结出5种成矿类型,即构造蚀变岩型金矿、矽卡岩型铁矿、火山喷流沉积型铅锌矿、热液型钴镍铜矿及热液石英脉型钨矿。金矿受NW向韧—脆性断裂控制,赋存于祁漫塔格群火山岩组中,属于造山型金矿。钴镍矿中首次在该区识别出格里姆矿($NiCo_2S_4$)及钴的硫砷化物矿物组合,指示中低温热液成因。钨矿以含白钨矿石英脉为特征。区域1∶2.5万地球化学测量显示,Au和W变异系数分别达14.59和11.26,Au-As-Sb、Pb-Zn-Ag和Co-Ni-Cu-Cr异常带呈NW向展布,与控矿断裂和含矿地层空间上吻合。基于地物化综合信息,圈定出红卫山—黑石沟金铅锌预测区(YC2)和黑石沟钴镍预测区(YC1),前者金、铅锌成矿潜力可达中—大型,后者钴镍成矿潜力可达中型。

关键词:矿床特征;成矿类型;找矿前景;茫崖河东;祁漫塔格

中图分类号:P618.51 **文献标志码:**A **文章编号:**1005-2518(2026)04-0851-19 **DOI:**10.11872/j.issn.1005-2518.2026.04.340

引用格式:马文君,谢海林,王斌,等.青海祁漫塔格茫崖河东地区典型矿床特征及成矿预测[J].黄金科学技术,2026,34(4):851-869.MA Wenjun,XIE Hailin,WANG Bin,et al.Characteristics and Prospecting Potential of Typical Deposit in the Mangya Hedong Area, Qimantage, Qinghai Province[J].Gold Science and Technology,2026,34(4):851-869.

东昆仑造山带是我国中央造山带的重要组成部分,经历了原特提斯洋与古特提斯洋的多阶段演化,发育复杂的构造—岩浆—成矿系统,已探明金、铁、铜、钴、镍、铅锌和钨等多种矿产,是青海省乃至全国最具找矿潜力的地区之一(莫宣学等,2007;丰成友等,2011;赵一鸣等,2013)。祁漫塔格成矿亚带位于东昆仑西段,成矿条件优越,已发现肯德可克钴铋金矿、夏日哈木超大型铜镍钴硫化物矿、茫崖河东中型金矿以及尕林格、野马泉等大中型矽卡岩型铁多金属矿(潘彤等,2003;李世金等,2012;于淼等,2016;Liu et al,2025;马文君等,2025)。茫崖河东地区位于该成矿亚带东南部,近年来在80 km^{2}范围内陆续发现了金、铅锌、铁、钴镍铜和钨等多种矿产,找矿前景良好。

前人在茫崖河东地区开展了大量研究工作。在区域构造演化方面,普遍认为该区经历了原特提斯洋与古特提斯洋的复合演化,形成了NW向主控断裂及多期岩浆活动(王秉璋,2012;祁生胜等,2019;张伟等,2023)。在矿床种类方面,已识别出矽卡岩型铁多金属矿、造山型金矿、VMS型铅锌矿、岩浆熔离型铜镍钴矿和热液型钴矿等(赵一鸣等,2013;张爱奎等,2015;丰成友等,2016;潘彤等,2022)。成矿时代集中于早泥盆世和晚三叠世,其中早泥盆世(410~400 Ma)产出造山型金矿,晚三叠

收稿日期:2025-11-20;**修订日期:**2026-04-30

基金项目:青海省地质矿产勘查开发局基金项目"东昆仑奥陶纪钴矿成矿环境及找矿潜力"(编号:青地矿科[2025]29号)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,从事矿产勘查工作。E-mail:lishaonannh@163.com

罗岐慧(1991—),男,青海海东人,工程师,从事矿产勘查工作。E-mail:772008286@qq.com

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

世(240~200 Ma)产出矽卡岩型和热液型矿床,分别对应于原特提斯洋闭合后的碰撞造山阶段和古特提斯洋闭合后的后碰撞伸展阶段(李少南等,2025;Liu et al,2025)。地球化学勘查表明,1∶2.5万水系沉积物测量圈定的Au、Co、Ni、Cu、Pb、Zn和W等异常带与已知矿化带高度吻合(马文君等,2024,2025)。此外,国内外在造山型金矿成矿流体、VMS成矿模式、热液钴镍矿床矿物学和矽卡岩成矿机制等方面的研究进展,为该区矿床成因认识提供了理论支撑(Groves et al,1998;Franklin et al,2005;Meinert et al,2005;陈衍景等,2007;叶霖等,2012;Slack et al,2017;Škácha et al,2021)。

尽管茫崖河东地区找矿效果显著,但由于研究工作相对滞后,缺乏对区内矿床地质特征和成矿类型的系统总结,导致下一步找矿方向不够明确,制约了该区找矿突破。为此,依托近年来地质勘查和科研资料,系统梳理区内典型矿床的地质特征,初步划分成矿类型,总结成矿规律和控矿要素,并在此基础上开展成矿预测,圈定找矿预测区,以期为该区及祁漫塔格成矿带后续找矿工作提供科学依据和参考。

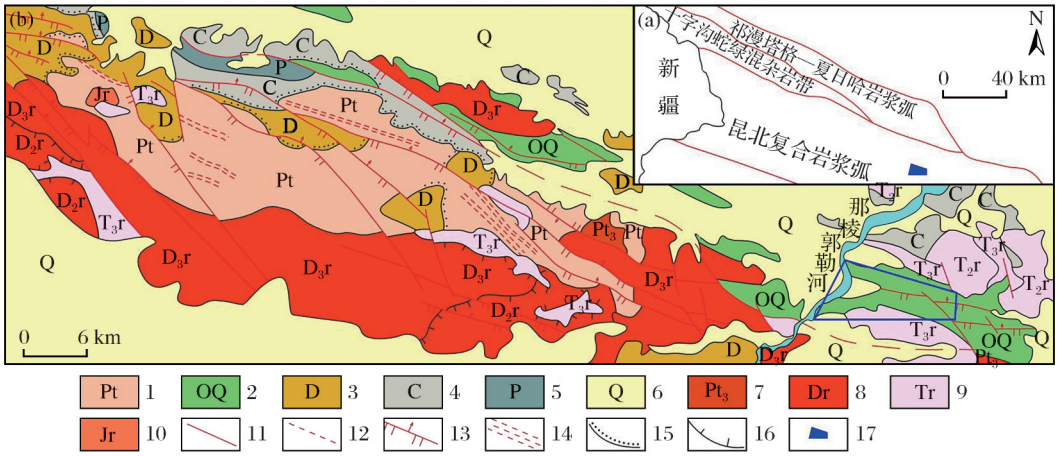
1 区域地质背景

茫崖河东地区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),北邻祁漫塔格—夏日哈岩浆弧,南接纳赤台蛇绿混杂岩带。区域大地构造演化经历了吕梁—燕山期多旋回、多机制造山阶段,形成了复杂的构造格局(张伟等,2023)[图1(a)]。区域上出露地层由老至新依次为:古元古界金水口群(变粒岩、片麻岩和片岩);奥陶系祁漫塔格群碎屑岩组、火山岩组和碳酸盐岩组,为一套海相火山—沉积建造;晚泥盆系牦牛山组陆相火山岩;石炭系浅海—陆棚相碳酸盐岩;早—中二叠系大柴沟组和第四系(马文君等,2025)。区域内褶皱、断裂和韧性剪切带均十分发育。断裂以NWW和NW向为主,构成区域主体构造骨架,性质多为逆断层,控制着区内岩浆岩、地层及矿产的展布。区内岩浆岩广泛发育,形成时代跨度大(新元古代—侏罗纪)。岩性从超基性—基性岩到酸性岩均有出露。区域成矿具有多期性和多样性的特点[图1(b)]。

2 研究区地质特征

2.1 地层

研究区出露地层较为单一,主要为奥陶系祁漫塔格群,为一套弧后盆地深海浊积岩、碳酸盐岩、火山岩和热水沉积岩建造(图2)(王秉璋,2012;李少南等,2025;马文君等,2025)。



1.古元古界金水口群;2.奥陶系祁漫塔格群;3.泥盆系牦牛山组;4.石炭系碳酸盐组;5.二叠系打柴沟组;6.第四系;7.新元古代花岗岩组合;8.泥盆世花岗岩组合;9.三叠纪花岗岩组合;10.侏罗纪花岗岩组合;11.性质不明断层;12.推断断层;13.逆断层;14.韧性剪切带;15.不整合界线;16.超动界线;17.研究区范围

图1 茫崖河东地区区域地质图(修改自张伟等,2023)

Fig. 1 Regional geology map of the Mangyahedong area(modified after Zhang et al,2023)

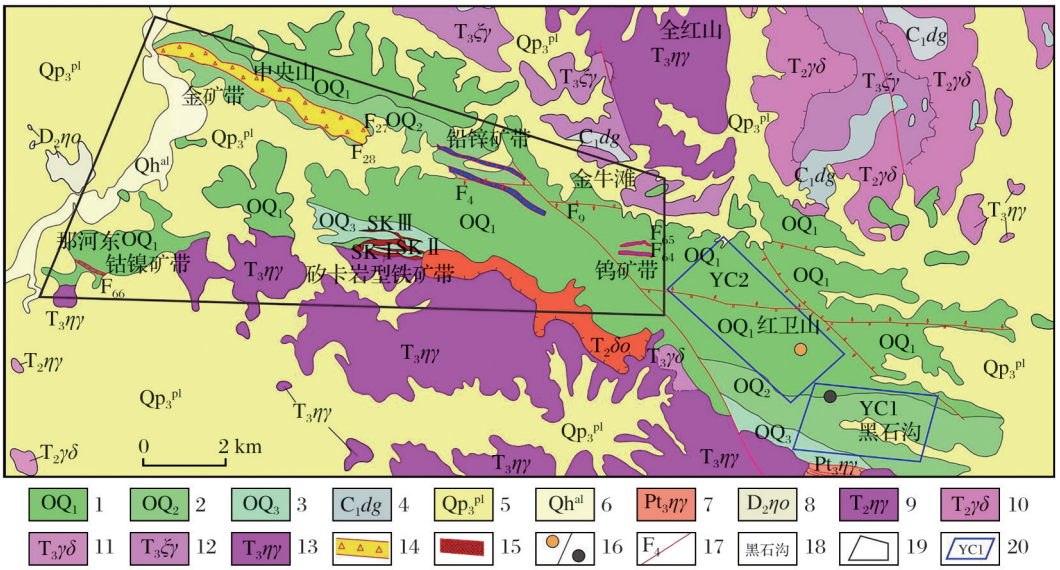


图2　茫崖河东矿区地质简图(修改自李少南等,2024)

Fig. 2　Geological sketch map of the Mangyahedong mining area(modified after Li et al,2024)

碎屑岩组出露于北部中央山、中部金牛滩和南东部红卫山地区,总体呈NW-SE向带状展布,产状整体南倾,倾角为47°~78°,局部受褶皱或断裂影响产状发生变化。岩性有碳酸盐化硅质岩[图3(a)、3(b)]、长石石英变砂岩和硅质黏土质板岩等(李少南等,2025)。与该套地层关系密切的矿产有铅锌、钴镍铜和钨等。

火山岩组出露于北部中央山、南部那河东和东部红卫山—黑石沟一带,呈带状展布,总体长度约为15 km,宽度为250~500 m,走向100°~125°,主要岩性为灰—灰绿色蚀变安山质玄武岩[图3(c)、3(d)],含少量安山岩和凝灰岩。与该组地层有关的矿产主要为金和钴镍铜。

碳酸盐岩组出露于南部及东部红卫山黑石沟一带,总体呈近EW向展布,主要岩性为青灰—灰白色大理岩[图3(e)、3(f)]、矽卡岩、结晶灰岩、含硅灰石透闪石大理岩和蛇纹石化大理岩等。该组地层是矽卡岩型铁矿的赋矿围岩。

2.2　构造

受区域深大断裂的影响,研究区断裂发育。通过1:1万地质草测、物探解译及地表追索,共划分出断裂66条(图2仅标注主要控矿断裂),主体构造线方向为NW-SE向,是区内主要储矿和容矿构造。

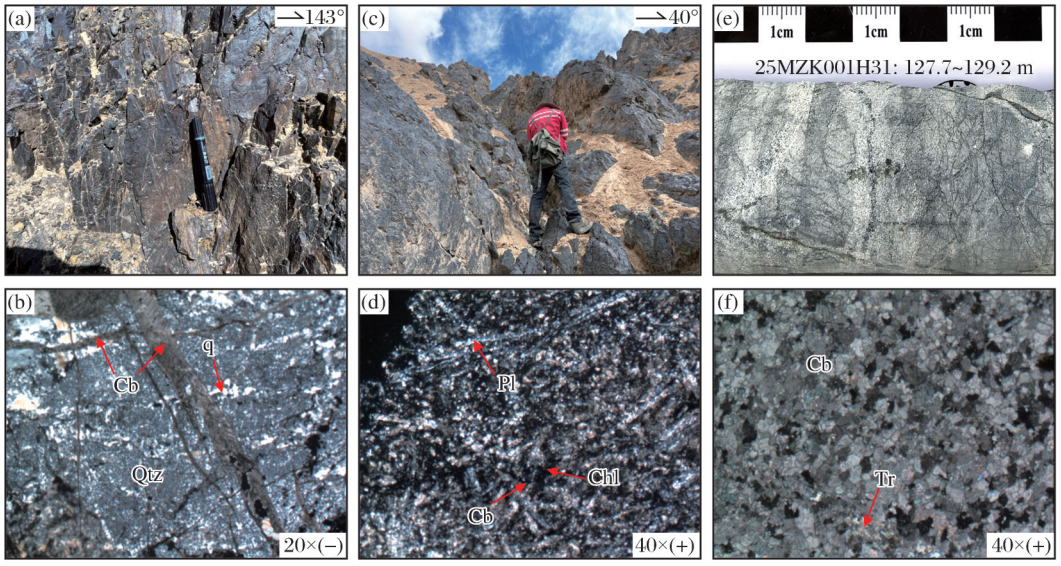
F_4断裂:位于中部,断续出露长度约为8.6 km,宽度为22~47 m,倾向SW,为挤压型逆断层。该断裂与区内铅锌矿化关系密切,控制着Ⅲ号铅锌矿化蚀变带。

F_{27}断裂:位于北部,主体发育于火山岩组蚀变安山质玄武岩内,部分切穿蚀变安山质玄武岩与碎屑岩组硅质黏土质板岩的接触部位。延伸长度为4.7 km,宽度为5~15 m。倾向SW,倾角为63°~67°,该断裂为区内最主要的金矿控矿构造,控制着Ⅰ号含金构造蚀变带。

F_{30}断裂:位于北西部,与F_{27}断裂平行展布,延伸长度大于5 km,宽度为5~12 m,倾向SW,倾角为48°~68°。该断裂控制着Ⅱ号含金构造蚀变带。

F_{64}和F_{65}断裂:位于南东部,长度为1.10~1.42 km,宽度为1.0~2.5 m。倾向SW,倾角为55°~62°,发育于祁漫塔格群碎屑岩组内。该断裂与区内钨成矿关系密切。

F_{66}断裂:位于西侧那陵格勒河东岸,呈NW向展布,出露长度约为1.0 km,宽度为2.0~20 m,倾向



(a)(b)火山岩组(玄武岩)野外及镜下照片;(c)(d)碎屑岩组(硅质岩)野外及镜下照片;(e)(f)碳酸盐岩组(大理岩)野外及镜下;(−)正交偏光;(+)单偏光;Pl−斜长石;Cb−碳酸盐矿物;Chl−绿泥石;Qtz−石英;Tr−透闪石

图3 茫崖河东矿区岩石野外及显微照片

Fig. 3 Field and micrographs of rocks in the Mangyahedong mining area

SW,倾角为55°~85°。北西南东延伸段均位于第四系覆盖区。该断裂控制着Ⅶ号钴镍铜矿化带(马文君等,2024)。

2.3 岩浆岩

研究区侵入岩十分发育,主要为晚三叠世中酸性岩体[图2(a)]。其中,灰白色花岗闪长岩分布于北侧及南侧,出露面积约为3.2 km^2,侵入祁漫塔格群碳酸盐岩组和火山岩组中,接触带发育矽卡岩,茫崖河东铁矿即产于该矽卡岩带内。二长花岗岩分布于南部,为区内主要岩体,出露面积约为5.4 km^2,侵入碳酸盐岩组,接触带矽卡岩发育。正长花岗岩分布于东北部,出露面积约为0.7 km^2,与石炭系大干沟组接触带形成那东矽卡岩型铁矿。

3 典型矿床特征

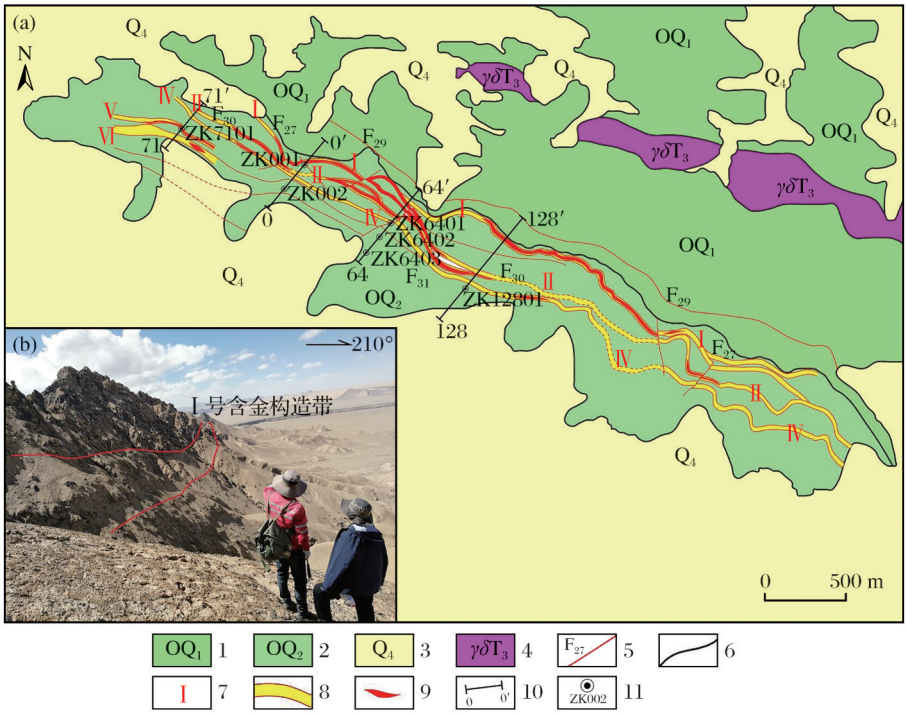
3.1 中央山构造蚀变岩型金矿

茫涯河东金矿位于中央山一带(图2),矿体受NW−SE向断裂控制,主要赋存于祁漫塔格群火山岩组蚀变安山质玄武岩中。共圈定5条NW−SE向展布的含金构造带(图4),带内有18条金矿体,矿体呈脉状和透镜状,倾向SW,倾角为45°~80°。矿体长度为70~1 210 m,金平均品位为2.91×10^{-6},矿体真厚度最小为0.80 m,最厚达9.34 m(李少南等,2025;马文君等,2025)。

(1)Ⅰ号含金构造蚀变带

Ⅰ号蚀变带受F_{27}逆断裂制约,分布于研究区北西部,整体呈NW−SE走向,地表出露长度约为4.6 km,宽度变化显著,为0.8~9.9 m,总体产状倾向SW,倾角为40°~80°。带内主体赋存于祁漫塔格群火山岩组蚀变安山质玄武岩中,局部地段延伸至火山岩组与碎屑岩组接触界面附近。蚀变带沿走向具有膨胀夹缩和分支复合特征,膨大部位通常对应矿体厚度和品位增高。围岩蚀变类型主要为硅化、黄钾铁矾化、褐铁矿化和高岭土化,深部钻孔揭露见黄铁矿化、碳酸盐化和毒砂矿化,岩石褪色现象为有效找矿标志。经地表槽探和深部钻探联合控制,该带自北西至南东共圈定出金矿体8条,编号为Ⅰ−1~Ⅰ−8(李少南等,2025;马文君等,2025)。

代表性矿体为Ⅰ−3号金矿体,位于Ⅰ号蚀变带中部24~84勘探线之间。由8条槽探工程和6个钻探工程控制,倾向214°~249°,倾角为53°~75°,矿体金平均品位为2.00×10^{-6}(64勘探线附近地表最高品位达7.47×10^{-6}),真厚度为0.83~4.06 m(28勘探线附近厚度最大)。矿体在走向上呈波状弯曲,地表出露长度为670 m。深部在40线、64线和80线



1.祁漫塔格群碎屑岩组;2.祁漫塔格群火山岩组;3.第四系;4.晚三叠世花岗闪长岩;5.断层位置及编号;6.地质界线;7.矿化带编号;8.金矿化带;9.金矿体;10.勘探线位置及编号;11.钻孔位置及编号

图4　茫崖河东地区金矿带分布图(李少南等,2024)

Fig. 4　Distribution map of the gold ore belt in the Mangyahedong area(Li et al,2024)

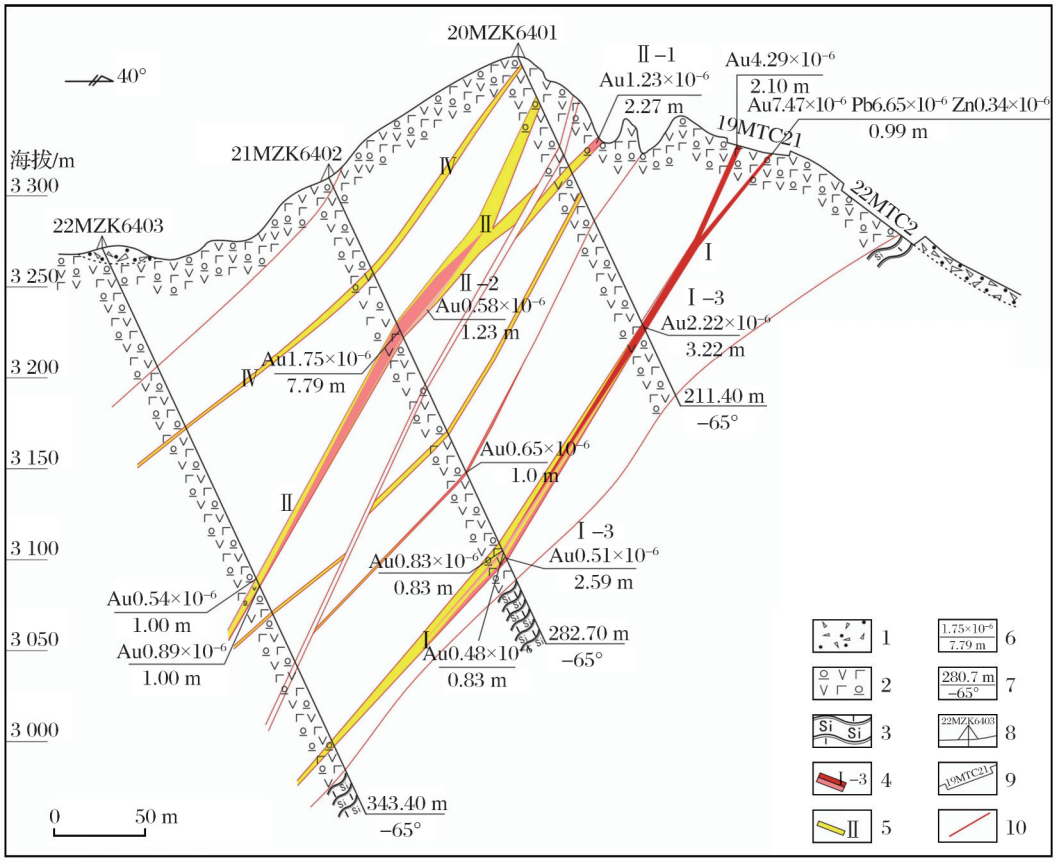
钻孔中均见矿体延伸稳定,其中64线钻孔控制斜深最大达328 m(图5)。含矿岩性为构造角砾岩和碎裂岩,原岩为蚀变安山质玄武岩,岩石具较强的褐铁矿化、黄钾铁矾化和硅化,局部富集部位硅化强烈,伴有毒砂矿化。

(2)Ⅱ号含金构造蚀变带

Ⅱ号蚀变带由F_{30}逆断裂控制,位于Ⅰ号蚀变带上盘,二者总体呈平行排列,在64勘探线附近存在局部交会。该带走向延伸超过5.2 km,宽度为1.44~12.50 m,倾向SW,倾角为55°~78°。蚀变带全部产于祁漫塔格群火山岩组内部,围岩均为蚀变安山质玄武岩。带内岩石蚀变以硅化、褐铁矿化和高岭土化为主。经地表工程与深部钻探共同揭露,带内共圈定出金矿体6条,编号为Ⅱ-1~Ⅱ-6(李少南等,2025;马文君等,2025)。

代表性矿体为Ⅱ-2号金矿体(图5),位于Ⅱ号蚀变带南东段8~128勘探线之间。由11条槽探工程和8个钻探工程控制,矿体平均倾向209°,平均倾角为63.5°,矿体长度为1.21 km,真厚度为1.24~7.79 m,平均品位为1.74×10^{-6}。其中,32勘探线附近地表槽探工程中金品位最高达47.00×10^{-6},伴有强烈的褐铁矿化和硅化(图6);64线和80线钻孔中矿体厚度明显增大(80线钻孔矿体厚度为4.14 m)。矿体在64线和40线钻孔中斜深最大达278 m。含矿岩性为构造角砾岩和碎裂岩,原岩为蚀变安山质玄武岩。

主要金属矿物为黄铁矿(含量为3%~4%)、磁黄铁矿(约1%)及少量黄铜矿、毒砂和自然金。黄铁矿呈自形—半自形粒状,早期颗粒粗大、晚期呈细脉状;磁黄铁矿呈半自形粒状和星散状分布;毒砂以细粒集合体堆状产出。该矿物组合指示成矿流体属富硫、富砷的还原性热液体系。据矿物共生与穿插关系,成矿过程可划分为3个主要阶段:早期绢英岩化阶段、碳酸盐—绿泥石—硫化物—自然金阶段和晚期方解石—黄铁矿脉阶段。热液磷灰石U-Pb定年获得成矿年龄为早泥盆世[(406±13)Ma],与东昆仑地区区域性金成矿事件一致,表明矿床形成于原特提斯洋闭合后的碰撞造山环境,属于典型



1.残坡积物;2.蚀变安山质玄武岩;3.硅质黏土质板岩;4.金矿体及编号;5.金矿化带及编号;6.矿体品位及厚度;7.钻孔深度及倾角;8.钻孔位置及编号;9.探槽位置及编号;10.断裂

图5 茫崖河东金矿带64勘探线剖面图(马文君等,2025)

Fig. 5 Profile map of No. 64 exploration line in Mangyahedong gold belt(Ma et al,2025)

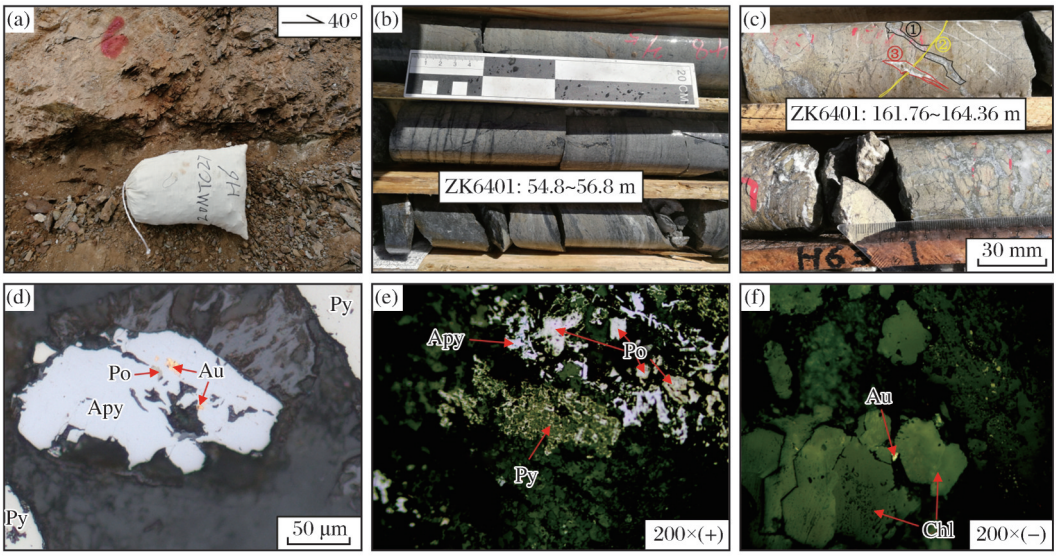
的造山型金矿(李少南等,2025)。

3.2 金牛滩火山喷流沉积型铅锌矿

铅锌矿位于茫涯河东金牛滩南西(图2),产于祁漫塔格群火山岩组与碎屑岩组的接触部位。通过地表及深部工程控制,圈定Ⅲ号铅锌矿化蚀变带。该带沿F_4断裂呈NW向展布,倾向SW,倾角为44°~72°,走向延伸长度约为2 300 m,宽度为1.1~4.4 m,呈波状弯曲,发育多条分支复合带。带内岩石普遍具褐铁矿化、硅化、方铅矿化和闪锌矿化,局部见黄钾铁矾化和碳酸盐化。该带由10条槽探工程和3个钻探工程控制,带内圈定出铅锌矿体4条(编号为Ⅲ-1~Ⅲ-4)。

代表性矿体为Ⅲ-2铅锌矿体,位于Ⅲ号蚀变带中部,由2个槽探工程(15TC15和15TC28)和2个钻探工程(MⅢZK001和MⅢZK002)控制[图7(a)]。矿体Zn平均品位为1.98%,Pb平均品位为2.52%,真厚度为0.72~4.40 m,倾向190°~217°,倾角为61°~73°,矿体长度为220 m,深部斜深最大为295 m(0勘探线)。矿体Pb和Zn品位变化系数分别为148.1%和53.89%,Pb和Zn厚度变化系数分别为53.26%和54.38%,显示铅品位变化大于锌。

含矿岩性为构造角砾岩、长石石英变砂岩和纹层状硅质岩[图7(b)]。矿石金属矿物主要有闪锌矿、方铅矿和黄铁矿。矿石构造由地表至深部呈现由块状向网脉状过渡的特征:地表槽探揭露的矿石以块状构造为主,闪锌矿和方铅矿呈致密集合体[图7(c)];深部钻孔中矿石以网脉状和细脉浸染状为主,硫化物沿裂隙充填交代[图7(d)、7(e)]。在走向上,矿化带呈现从沉积相(纹层状沉凝灰岩和硅质岩)向喷溢相(蚀变安山质玄武岩)过渡的规律,矿化强度也随之增强。矿体顶板为纹层状硅质岩,底板为蚀变安山质玄武岩。矿相学观察显示,



(a)地表探槽内金矿石;(b)钻孔内蚀变安山质玄武岩;(c)(d)宏观及镜下矿物间的穿插关系;(e)(f)金矿石镜下金属矿物;Po-磁黄铁矿;Py-黄铁矿;Apy-毒砂;Au-自然金;Cal-方解石

图6　茫崖河东地区金矿石野外及显微照片

Fig. 6　Field and micrographs of gold ores in the Mangyahedong area

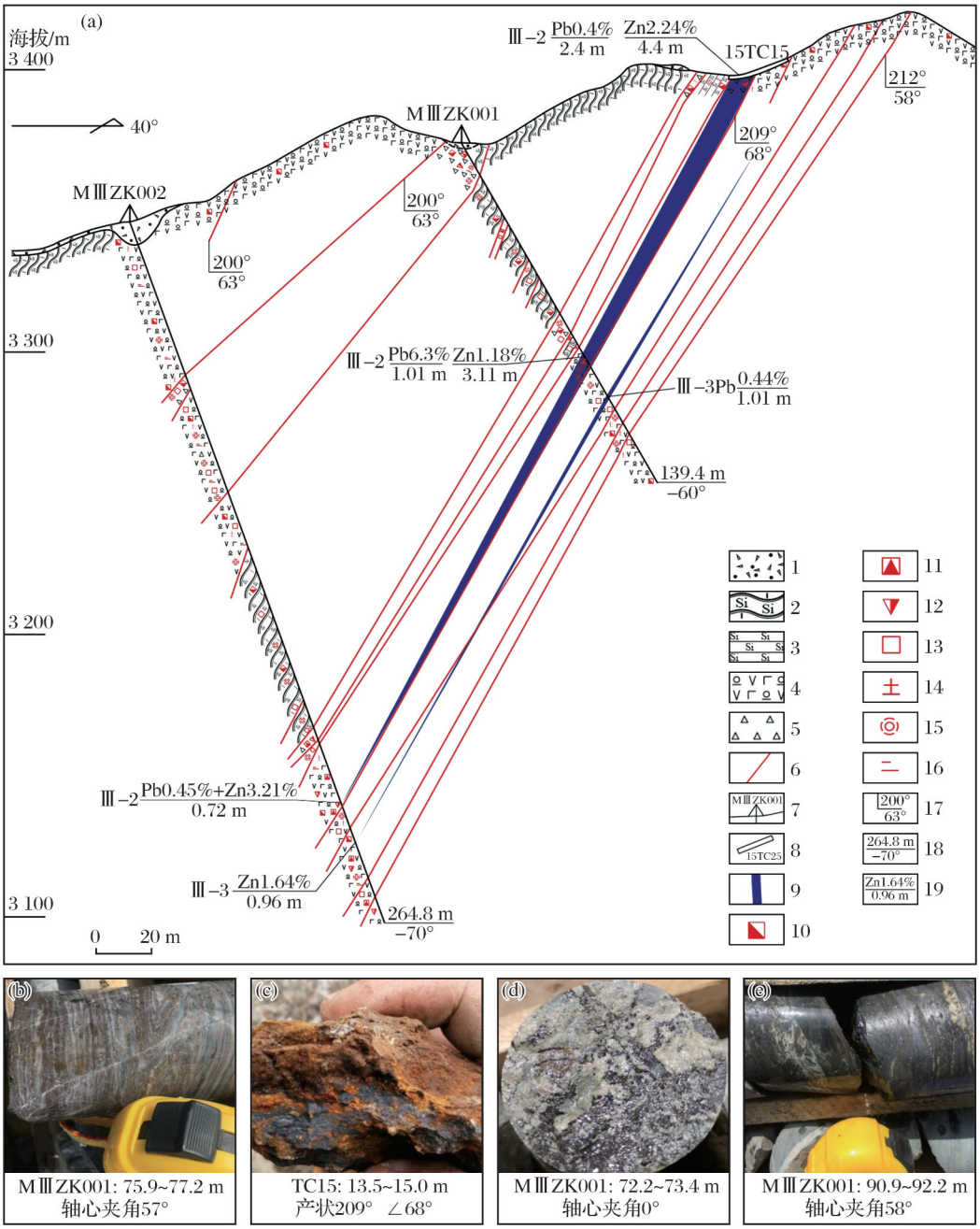
闪锌矿呈半自形—他形粒状,粒径为0.1~1.5 mm,与方铅矿、黄铁矿共生,局部见草莓状黄铁矿假象和胶状结构,指示同生沉积成因。纹层状硅质岩的发育、矿体与火山岩的紧密空间关系以及矿石构造的分带性,共同指示其成因类型为海相火山岩容矿的喷流沉积型(VMS型)。

3.3　那河东热液型钴镍矿

镍钴矿位于那陵格勒河东岸,受NW向F_{66}断裂控制,产于祁漫塔格群碎屑岩组与火山岩组接触部位,形成Ⅶ号钴镍铜矿化蚀变带。该蚀变带呈NW-SE向展布,出露长度约为1.0 km,宽度为2~20 m,在地表受垮塌影响产状变化较大,经钻孔揭露证实深部倾向NE,倾角近直立(约为85°)。茫崖河东钴镍矿带0勘探线剖面见图8(a)。带内岩性为含硅灰石透闪石大理岩和青灰色硅化大理岩,普遍发育较强的孔雀石化、褐铁矿化和粉红色钴华[图8(b)],局部见细脉状和团块状黄铁矿化[图8(c)]。地表通过6条槽探工程揭露,圈定1条镍钴矿体(Ⅶ-1)和2条钴矿化体(Ⅶ-2、Ⅶ-3)。其中,Ⅶ-1镍钴矿体厚度为2.90~6.45 m,控制长度为180 m(北西端未圈闭),Co平均品位为0.66%(最高品位为3.97%),Ni平均品位为0.73%(最高品位为1.62%),富集部位Cu平均品位为0.66%、Zn平均品位为0.88%(马文君等,2024)。经施工0勘探线钻孔[图8(a)],深部控制到Ⅶ号矿化带和Ⅶ-1号矿体,矿化带和矿体规模在倾向上有明显增大趋势,控制斜深130 m,Co品位为0.019%~0.200%,平均品位为0.10%,真厚度为9.7 m。

通过矿相学及电子探针(EPMA)分析,在茫崖河东钴镍矿床的矿石中发现了独立钴矿物——格里姆矿($NiCo_2S_4$)[图8(d)、图9]。电子探针定量分析结果(表1)显示,其主要元素Ni平均含量为41.49%、Co为35.98%、S为18.83%、Fe为3.34%,相对富Ni贫Co,反映其形成于特定的物理化学条件。该矿物与黄铁矿和黄铜矿共生,呈不规则集合体和细脉状分布。格里姆矿($NiCo_2S_4$)于2021年首次在捷克发现并报道,被认为是典型的热液成因矿物,形成于矿床演化的较晚阶段,是富含硫的热液流体对早期形成的Ni-Co砷化物进行交代和元素再活化的产物(Škácha et al,2021)。在闪锌矿中也发现Co的富集(Co含量为1.37%~3.59%),并在氧化带发现次生水钴矿[图8(e)]。此外,钻孔矿石中还发现热液独立钴矿物辉砷钴矿和块硫钴矿,其与磁黄铁矿、闪锌矿、黄铜矿和少量方铅矿共生(图10)。

综合上述特征,初步判断矿床成因类型为受断



(a)铅锌矿带0勘探线剖面图;(b)钻孔内纹层状硅质岩;(c)地表氧化铅锌矿石;(d)钻孔内网脉状铅锌矿石;(e)钻孔内块状铅锌矿石;1.残坡积物;2.硅质黏土质板岩;3.硅质岩;4.蚀变安山质玄武岩;5.碎裂岩;6.断层接触关系;7.钻孔位置及编号;8.探槽位置及编号;9.铅锌矿体;10.褐铁矿化;11.方铅矿化;12.闪锌矿化;13.黄铁矿化;14.高岭土化;15.硅化;16.绢云母化;17.产状;18.钻孔斜深/倾角;19.矿体品位/厚度

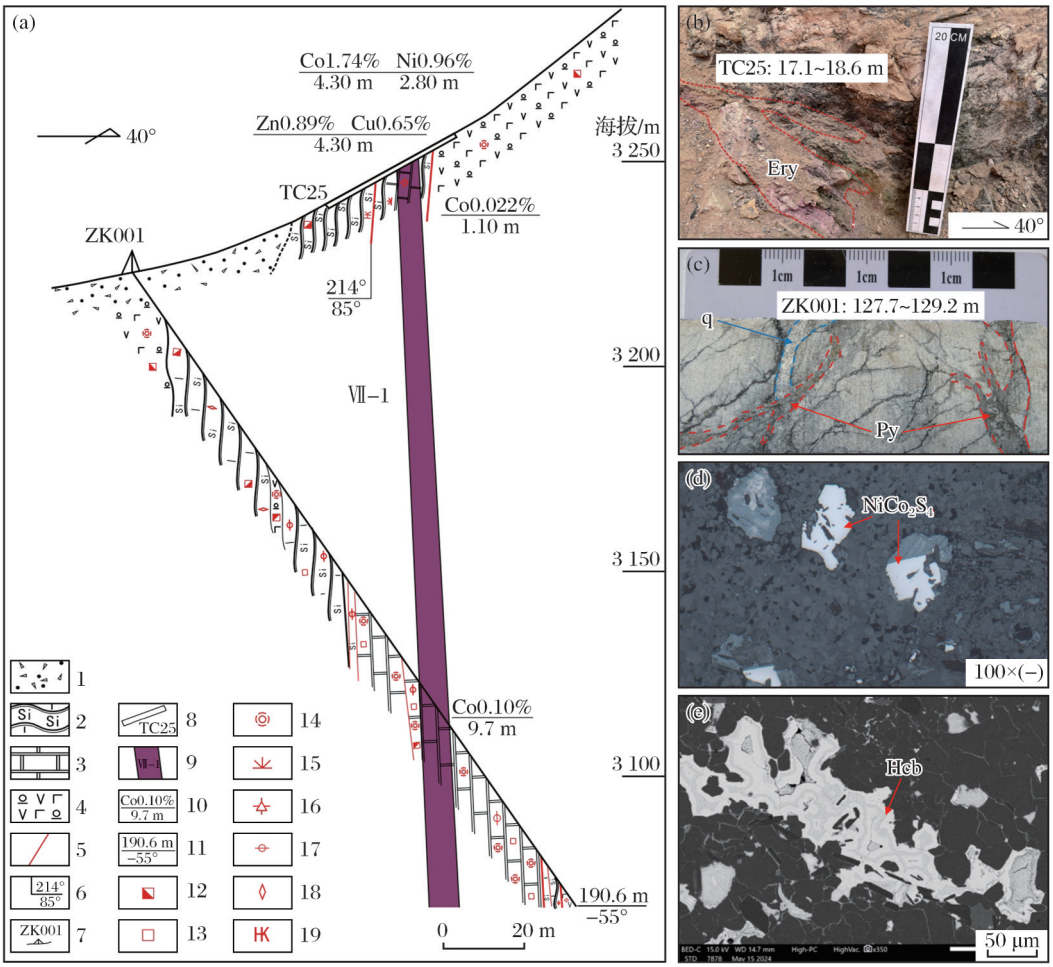
图7 茫崖河东铅锌矿带0勘探线剖面图

Fig. 7 No. 0 exploration line profile in Mangyahedong Pb-Zn mineral belt

裂控制的热液型钴镍矿。钴矿化带东侧出露的花岗闪长岩,经锆石U-Pb定年测得年龄为(224.3±1.7)Ma,属晚三叠世(图11),这与该地区大规模岩浆活动及形成多类型热液矿床的时间较吻合。

3.4 乌苏图矽卡岩型铁矿

铁矿床位于乌苏图河东侧晚三叠世二长花岗岩、花岗闪长岩与奥陶系祁漫塔格群碳酸盐岩组的接触带及其附近。共圈定矽卡岩化蚀变带6条,其



(a)镍钴矿带0勘探线剖面图;(b)地表钴矿石(钴华);(c)钻孔内钴矿石(黄铁矿、石英脉);(d)镜下独立钴矿物特征;(e)扫描电镜下水钴矿特征;Py-黄铁矿;Ery-钴华;$NiCo_2S_4$-格里姆矿;Hcb-水钴矿;1.残坡积物;2.硅质黏土质板岩;3.含硅灰石透闪石大理岩;4.安山质玄武岩;5.断层接触;6.产状;7.钻孔编号及位置;8.槽探及编号;9.镍钴矿体及编号;10.矿体品位/厚度;11.钻孔深度/倾角;12.褐铁矿化;13.黄铁矿化;14.硅化;15.孔雀石化;16.钴华;17.绿帘石化;18.碳酸盐化;19.黄钾铁矾化

图8 茫崖河东钴镍铜矿带0勘探线剖面图及岩性特征

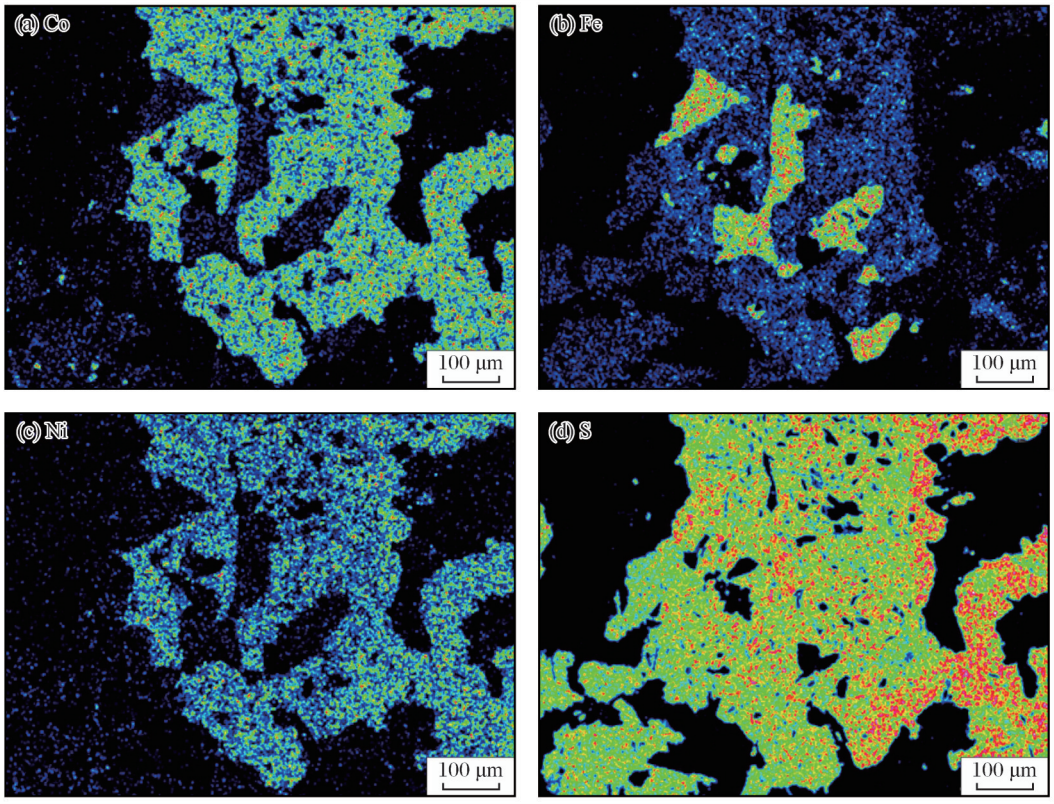
Fig. 8 Profile map of No.0 exploration and lithologic character in Mangyahedong Co-Ni-Cu belt

中SKⅠ号和SKⅡ号为主要赋矿矽卡岩带(李海宾等,2018)(图12)。

SKⅠ号矽卡岩化蚀变带:长度为1 310 m,宽度为15~60 m,总体呈NWW向展布,倾向S。带内由矽卡岩、矽卡岩化大理岩和磁铁矿组成,黄铁矿化、褐铁矿化、磁铁矿化、孔雀石化、硅化和绿帘石化发育,深部钻孔中见黄铜矿化。矽卡岩矿物组合以石榴石、透辉石和绿帘石为主,属于典型钙矽卡岩。围岩为大理岩、二长花岗岩及花岗闪长岩。该带内圈定铁矿体10条(表2),矿体多呈似层状和透镜状,产状与接触带基本一致。

SKⅡ号矽卡岩化蚀变带:长度约为1 550 m,宽度为10~180 m,走向85°~110°,西段倾向S,东段倾向NE。由矽卡岩化大理岩、矽卡岩和磁铁矿组成,带内黄铁矿化、褐铁化、磁铁矿化、硅化、绿帘石化、角岩化、透闪石化、阳起石化、石榴石化和透辉石化发育。该带内圈定铁矿体2条(表2)。

矿体金属矿物以磁铁矿为主,伴生少量黄铁矿和黄铜矿。矿体空间展布严格受接触带形态控制,尤其是接触带凹部、舌状体及层间破碎带是富矿体产出的有利部位。从控矿因素分析,晚三叠世中酸性岩浆的侵位为成矿提供了热动力和部分成矿物



注：拍摄条件：加速电压为15 kV，加速电流为10 nA，束斑直径为1 μm；检测环境：温度为25 ℃，湿度为45%

图9 茫崖河东地区钴独立矿物（$NiCo_2S_4$）EPMA面扫特征

Fig. 9 EPMA surface scanning characteristics of cobalt independent minerals ($NiCo_2S_4$) in the Mangyahedong area

质，奥陶系碳酸盐岩提供了有利的容矿围岩，接触带构造体系控制了矿体的就位空间，矿床成因类型为矽卡岩型。

3.5 茫东热液石英脉型钨矿

含钨矿化带分布于茫涯河东东侧，通过测制1∶5 000土壤地球化学剖面[图13(a)、13(b)]及地表槽探工程揭露控制，发现3条含钨矿化（W-1、W-2和W-3）（图14），矿化带发育于祁漫塔格碎屑岩组长石石英变砂岩内，成矿与石英脉关系密切[图13(c)、13(d)]，呈近EW向展布，倾向S，倾角为58°~78°，带内岩石较破碎，普遍具有褐铁矿化和高岭土化。

W1含钨蚀变带呈NW-SE向展布，延伸约1 100 m，宽度为1.5~23.8 m，圈定钨矿体5条及矿化体1条。矿体长度为100~626 m，真厚度为2.56~6.85 m，WO_3品位为0.09%~0.49%（最高品位为1.66%），含矿岩石为含石英脉长石石英变砂岩，蚀变以黄钾铁矾化、硅化和褐铁矿化为特征。W2含钨蚀变带走向NW-SE，长度约为1 300 m，宽度为1.0~10.5 m，圈定矿化体7条，长度为80 m，厚度为1.5~3.1 m，WO_3品位为0.038%~0.058%。W3含钨蚀变带呈近EW向展布，长度为430 m，宽度为5~10 m，圈定矿化体4条，长度为80 m，真厚度为1.5 m，WO_3品位为0.038%~0.058%。W2和W3含矿围岩均为蚀变长石石英变砂岩，钨矿化整体具较强的褐铁矿化。含钨矿石在紫外灯下荧光反应明显[图13(e)]，矿体成因类型为热液石英脉型。

4 控矿要素及成矿规律

4.1 成矿规律

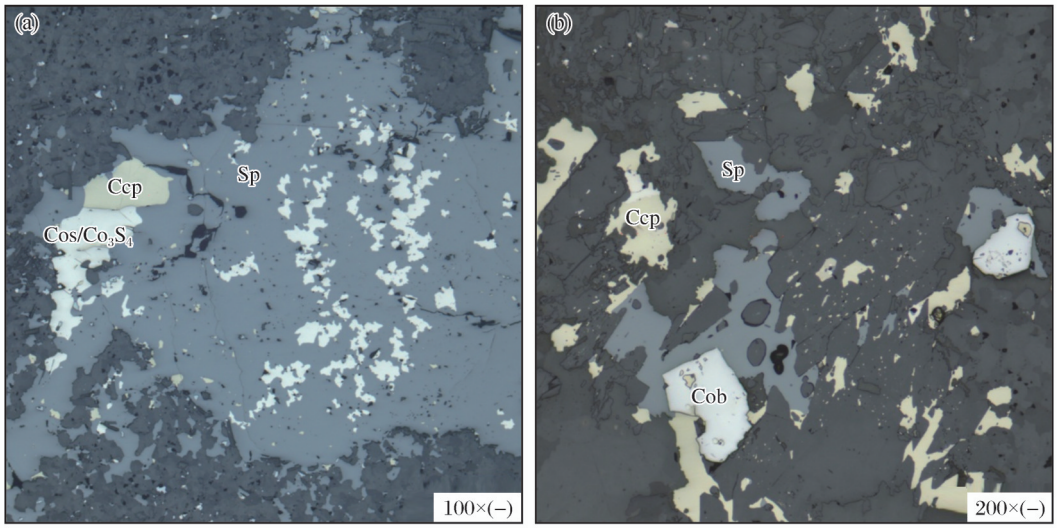
茫崖河东地区发育的5类矿床（点），成矿具时序递进与空间分带规律。

在时序上，成矿受原特提斯—古特提斯构造体制转换控制，划分为3个阶段：（1）奥陶纪弧后盆地环境形成祁漫塔格群火山—沉积建造，火山岩组富集Au、Co和Ni构成矿源层，同生断裂喷流作用形成

表1　格里姆矿（$NiCo_2S_4$）电子探针元素组成特征

Table 1　Electron microprobe elemental composition characteristics of grimmite（$NiCo_2S_4$）（%）

点号	S	Co	Ni	Zn	Mg	As	Fe	Mn	Cr	合计
1	41.520	35.846	18.853	0.000	0.001	0.000	3.348	0.014	0.007	99.597
2	41.250	35.745	19.075	0.000	0.000	0.000	3.533	0.000	0.006	99.618
3	41.590	35.551	18.907	0.000	0.000	0.000	3.667	0.000	0.015	99.730
4	41.386	35.269	18.990	0.000	0.012	0.000	3.602	0.000	0.002	99.261
5	41.662	35.771	18.757	0.000	0.000	0.000	3.677	0.016	0.000	99.883
6	41.428	35.616	18.711	0.000	0.009	0.000	3.655	0.004	0.000	99.423
7	41.290	35.546	18.752	0.000	0.000	0.000	3.679	0.002	0.010	99.279
8	41.147	35.592	18.805	0.000	0.005	0.003	3.654	0.002	0.029	99.237
9	41.227	35.455	19.024	0.000	0.014	0.000	3.736	0.007	0.040	99.503
10	41.270	35.741	18.823	0.000	0.002	0.000	3.570	0.005	0.001	99.412
11	42.022	36.700	18.938	0.000	0.003	0.005	2.947	0.019	0.012	100.646
12	40.306	36.309	18.862	0.000	0.003	0.000	2.960	0.000	0.015	98.455
13	42.480	36.475	18.883	0.000	0.008	0.045	2.973	0.009	0.013	100.886
14	41.348	36.187	18.824	0.000	0.000	0.000	3.101	0.000	0.017	99.477
15	41.953	36.415	18.723	0.009	0.003	0.010	3.094	0.000	0.000	100.207
16	41.475	36.486	18.780	0.000	0.002	0.000	2.885	0.000	0.004	99.632
17	41.551	36.531	18.668	0.014	0.003	0.013	3.106	0.000	0.021	99.907
18	41.917	36.479	18.602	0.000	0.009	0.000	2.959	0.004	0.000	99.970



Ccp–黄铜矿;Sp–闪锌矿;Cob–辉砷钴矿;Cos/Co_3S_4–块硫钴矿;拍摄状态:(–)正交偏光

图10　钻孔ZK001大理岩中硫化物特征

Fig. 10　Sulfide characteristics of marble in drill hole ZK001

VMS型铅锌矿胚层(张旗等,2007;叶霖等,2012);(2)早泥盆世碰撞造山引发变质流体沿NW向剪切带萃取火山岩中的金,在构造降压带沉淀,形成造山型金矿[(406±13)Ma](李少南等,2025);(3)晚三叠世古特提斯洋闭合诱发岩浆活动,形成矽卡岩型铁矿(接触带)、热液石英脉型钨矿(远端断裂充填)和热液型钴镍矿(断裂—接触带复合部位,含辉砷钴矿、块硫钴矿和格里姆矿)(赵一鸣等,2014;于淼等,2016;Škácha et al,2021)。

在空间上,矿床受祁漫塔格群三套岩组与NW

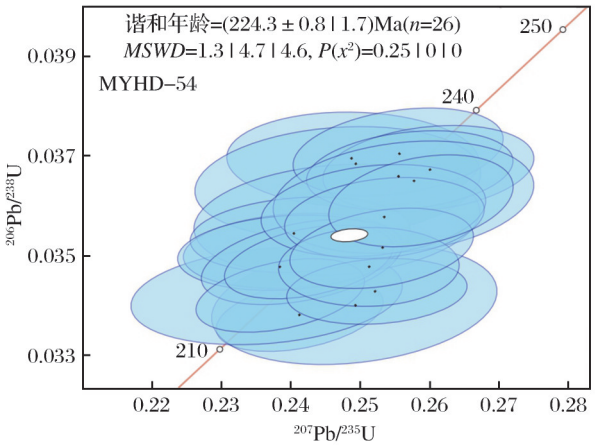


图11　花岗闪长岩锆石U-Pb定年图解

Fig. 11　Zircon U-Pb dating diagram of granodiorite

向断裂联合控制，火山岩组赋存金矿和钴镍矿；碎屑岩组中硅质岩赋存铅锌矿，长石石英变砂岩赋存钨矿；碳酸盐岩接触带赋存铁矿。Au-As-Sb、Pb-Zn-Ag和Co-Ni-Cu-Cr这3组异常轴向与控矿断裂一致，反映成矿空间分异和叠加。

4.2　控矿要素

地层专属性：火山岩组为金、钴—镍矿源层和容矿围岩；碎屑岩组内纹层状硅质岩为铅锌容矿岩石，长石石英变砂岩为钨赋矿围岩；碳酸盐岩组与侵入岩接触带控制着铁矿的产出部位。

构造控矿：NW向断裂主导，F_{27}和F_{30}等韧—脆性剪切带为金矿容矿构造；F_4断裂控制着铅锌矿带；F_{66}断裂控制着钴镍矿带；F_{64}和F_{65}断裂控制着钨矿。断裂交会及膨大处为富集部位。

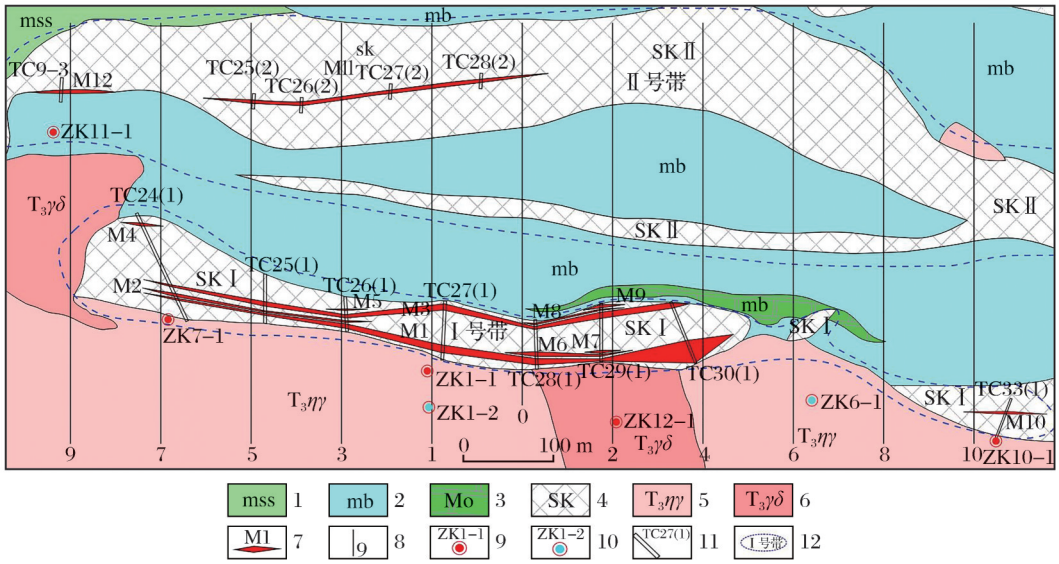
岩浆—热液差异：早泥盆世变质流体萃取成矿，岩浆参与少；晚三叠世岩浆活动为铁、钨和钴镍矿提供热动力，接触带呈矽卡岩型，远端呈石英脉型和热液型。

综上所述，该区为“多旋回成矿、多要素控矿”的复合成矿系统，古生代火山—沉积岩系与中生代侵入岩叠合区是找矿有利部位（张爱奎等，2015）。

5　成矿预测

5.1　区域地球化学场特征

区域上开展的1∶20万化探扫面工作覆盖了整个茫崖河东地区，圈定的AS28（Cu-V-Co-Ni-Au）和AS29（Cu-Sb-V-Co-Ni-Au）这2处综合异常与研究区祁漫塔格群在空间位置上高度吻合。异常元素组合复杂，以Cu、V、Co、Ni和Au为主，伴生Sb、As、Pb和Zn等元素，显示出该地区优越的Cu、Co、



1.奥陶系祁漫塔格群碎屑岩组长石石英变砂岩；2.奥陶系祁漫塔格群碳酸盐组大理岩；3.蛇纹石化大理岩；4.矽卡岩；5.晚三叠世二长花岗岩；6.晚三叠世花岗闪长岩；7.铁矿体位置及编号；8.勘探线位置及编号；9.工业孔施工位置及编号；10.矿化孔施工位置及编号；11.槽探施工位置及编号；12.矿带位置及编号

图12　Ⅰ、Ⅱ号矽卡岩带及矿体分布图

Fig. 12　Distribution map of skarn zones Ⅰ and Ⅱ and orebodies

表2　茫崖河东地区铁矿体特征

Table 2　Characteristics of iron orebodies in the Mangyahedong area

矿体编号	矿体形态	产状/(°)		走向长度/m	矿体平均厚度/m	倾向延深/m	平均品位/%	控制程度	备注
		倾向	倾角						
M1	似层状	183	45~64	660	5.04	50	31.64	地表系统控制	Ⅰ号矽卡岩内
M2	透镜状	181	69	267	1.15	50	29.18	地表系统控制	Ⅰ号矽卡岩内
M3	似层状	183	73	633	2.88	204	31.18	地表系统控制、深部控制	Ⅰ号矽卡岩内
M4	透镜状	185	70	75	3.74	15.5	32.65	地表控制	Ⅰ号矽卡岩内
M5	透镜状	171	68	50	1.11	50	31.73	地表控制	Ⅰ号矽卡岩内
M6	透镜状	183	72	120	2.12	129	28.07	地表+深部控制	Ⅰ号矽卡岩内
M7	透镜状	178	73	100	2.08	187	26.53	地表+深部控制	Ⅰ号矽卡岩内
M8	透镜状	185	73	120	1.22	50	33.62	地表控制	Ⅰ号矽卡岩内
M9	透镜状	164	66	40	2.23	50	28.48	地表控制	Ⅰ号矽卡岩内
M10	透镜状	168	82	100	2.19	261	27.87	地表控制	Ⅰ号矽卡岩内
M11	似层状	185	75	351	4.45	50	32.62	地表系统控制+深部验证	Ⅱ号矽卡岩内
M12	透镜状	174	75	100	3.39	167	30.53	地表+深部验证	Ⅱ号矽卡岩内

Ni和Au成矿地质和地球化学条件。1∶5万水系沉积物加密测量结果表明,异常特征与1∶20万化探结果具有很好的继承性,且异常浓集中心更加清晰,浓集梯度更大。主成矿元素以Au、Co、Ni、Cu、V、Zn和W为主,其中祁漫塔格群中Cu、Cr、Ni、Co、V、Au、Ag、As、Sb、Zn和Nb等元素富集系数大于1(马文君等,2024),反映该套地层为区内主要含矿建造。

5.2　1∶2.5万地球化学测量异常特征

为进一步深化成矿规律认识,了解各元素的变化规律和分布特征,针对茫崖河东地区1∶2.5万水系沉积物测量数据进行了系统处理。对变异系数(Cv)、算术平均值(X)、中位数(M)、标准离差(S)和极差5个地球化学参数进行了分析。研究发现,区内地球化学参数显示出显著的矿化叠加特征,各元素参数如下:Au元素Cv=14.59,峰值为1 710×10^{-9};W元素Cv=11.26,峰值为2 461×10^{-6};Pb元素Cv=1.51,峰值为1 820×10^{-6};Zn元素Cv=1.09,峰值为3 318×10^{-6};Co元素Cv=1.01,峰值为527×10^{-6};Ni元素Cv=1.18,峰值为732×10^{-6};Cu元素Cv=1.23,峰值为603×10^{-6}。各元素高值区分别与已知金矿、钨矿化带、铅锌矿化带和Ⅶ号钴镍铜矿化带空间上吻合。

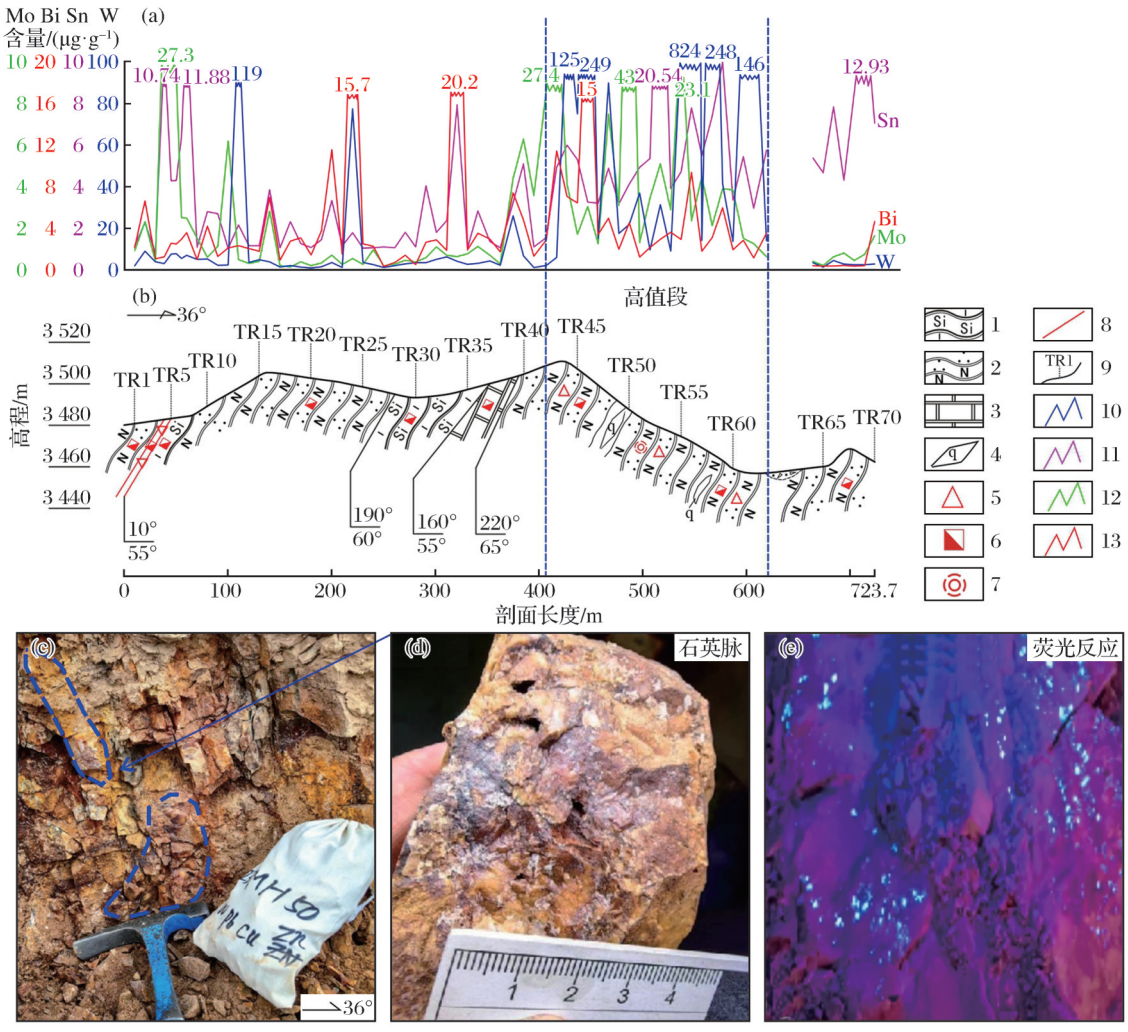
用原始数据标准化方差Cv1和背景数据标准化方差Cv2(剔除X±3S后的值)来讨论15种元素测量数据集的离散程度,以Cv1/Cv2反映背景拟合处理时对离散值的削平程度。从变化系数解译图[图15(a)]可以看出:(1)Au和W元素含量变化幅度很大,高强数据多,成矿潜力很大,这与区内发现的金矿成矿事实及钨矿化线索较吻合;(2)Pb、Zn、Co、As和Sb含量变化幅度较大,高强数据较多,As和Sb作为Au元素成矿的前缘晕指示元素存在;Zn、Pb和Co元素在区内的含量变化规律与已发现的茫崖河东铅锌矿、钴矿成矿事实较一致;(3)其余元素含量变化幅度相对较低,高强数据少,但具有Cu、Ag和Mo等成矿的可能性。

由研究区东昆仑成矿带元素丰度比值[图15(b)]可知,区内Cu、W、Co、As、Sb、Au、Pb、Zn和Ni等元素丰度明显偏高,这与其所处的祁漫塔格—都兰成矿亚带(Ⅳ-26-1)中多数成矿元素组合及本区的地质背景和成矿特征较为吻合。需要指出的是,上述高值异常是成矿作用叠加的结果,反映了成矿元素的富集程度。

5.3　主成矿元素地球化学异常空间分布特征

茫崖河东地区主成矿元素地球化学图(图16)显示,各成矿元素高背景区与祁漫塔格群及已知矿化带空间上吻合。根据元素组合及空间展布,可划分为3个主要异常带。

(1)Au-As-Sb异常带。呈NW-SE向自中央山延至红卫山—黑石沟,带宽为500~3 000 m,延长约为20 km,Au、As、Sb元素含量峰值分别为1 710×



(a)元素含量折线图;(b)钨矿带TP15土壤剖面图;(c)矿化带内特征;(d)含钨石英脉;(e)紫外灯下白钨矿荧光反应;1.硅质黏土质板岩;2.长石石英变砂岩;3.大理岩;4.石英脉;5.碎裂岩化;6.褐铁矿化;7.硅化;8.断层;9.采样位置及编号;10.W元素含量曲线;11.Sn元素含量曲线;12.Mo元素含量曲线;13.Bi元素含量曲线

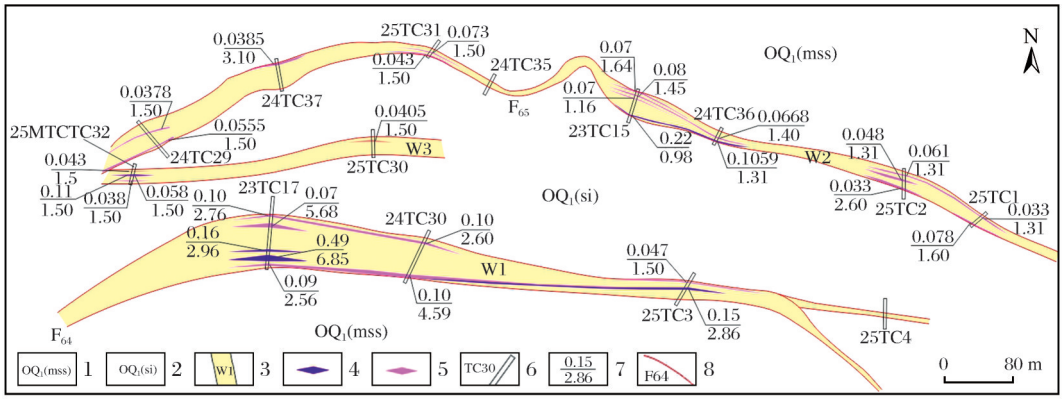
图13　茫崖河东钨矿带1∶5 000土壤地球化学剖面及钨矿石特征

Fig. 13　1∶5 000 soil geochemical profile and characteristics of tungsten ores of the tungsten ore belt in the Mangyahedong area

10^{-9}、4 343×10^{-6}和152×10^{-6}(马文君等,2025)。北西段对应已知金矿床,异常具有浓度分带清晰(内带大于50×10^{-9})、As-Sb前缘晕发育以及轴向与控矿断裂一致的特点。南东段异常特征与北西段相似,As-Sb套合良好,指示具有相同的找矿潜力。

(2)Pb-Zn-Ag异常带。与Au-As-Sb异常带部分叠合,延长约为15 km,Pb、Zn、Ag元素含量峰值分别为1 820×10^{-6}、3 318×10^{-6}和3 200×10^{-9}。异常沿F_4断裂呈NW向带状展布。北西段对应已知铅锌矿体,与Pb-Zn-Ag浓集中心吻合,Zn异常范围大于Pb。南东段1∶5 000土壤地球化学测量圈定Pb和Zn高值区段,分别为500×10^{-6}~2 500×10^{-6}和486×10^{-6}~3 400×10^{-6},浓集中心清晰,指示良好的找矿前景。

(3)Co-Ni-Cu-Cr异常带。分布于那河东岸—黑石沟地区,呈NW向带状,与火山岩—碎屑岩接触带吻合。Co、Ni、Cu和Cr元素含量峰值分别为527×10^{-6}、732×10^{-6}、603×10^{-6}和1 004×10^{-6}。北西段对应已知钴镍矿化带,与异常带套合良好(马文君等,2024)。南东段Co元素含量峰值大于100×10^{-6}、



1.奥陶系祁漫塔格群碎屑岩组长石石英变砂岩;2.奥陶系祁漫塔格群碎屑岩组硅质岩;3.矿化带及编号;4.钨矿体;5.钨矿化体;6.探槽工程及编号;7.WO_3品位($\times10^{-2}$)/厚度(m);8.断层及编号

图14　钨矿带及矿体分布图

Fig. 14　Distribution map of tungsten ore belt and orebodies

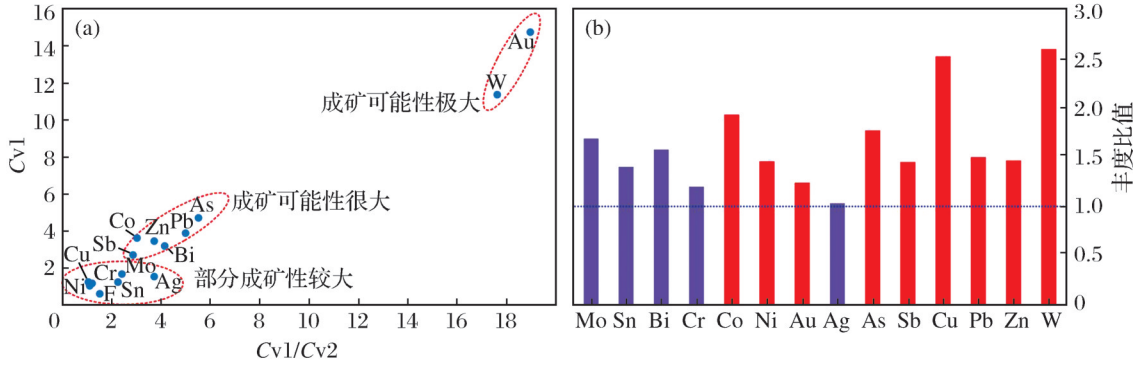


图15　元素标准化方差—变异系数解译图(a)及研究区与东昆仑元素丰度比值(马忠英等,2023)

Fig. 15　Interpretation diagrams of elements normalized variance-variation coefficient(a) and elements abundance ratio of the study area and East Kunlun(Ma et al,2023)

Ni含量峰值大于500×10⁻⁶,已发现钴矿化线索。

5.4　预测区圈定与评价

基于地质背景、地球化学异常特征和已知矿床的控矿因素,采用"类比—趋势—异常"综合预测方法,在茫崖河东地区圈定2个主要找矿预测区(图2和图16)。

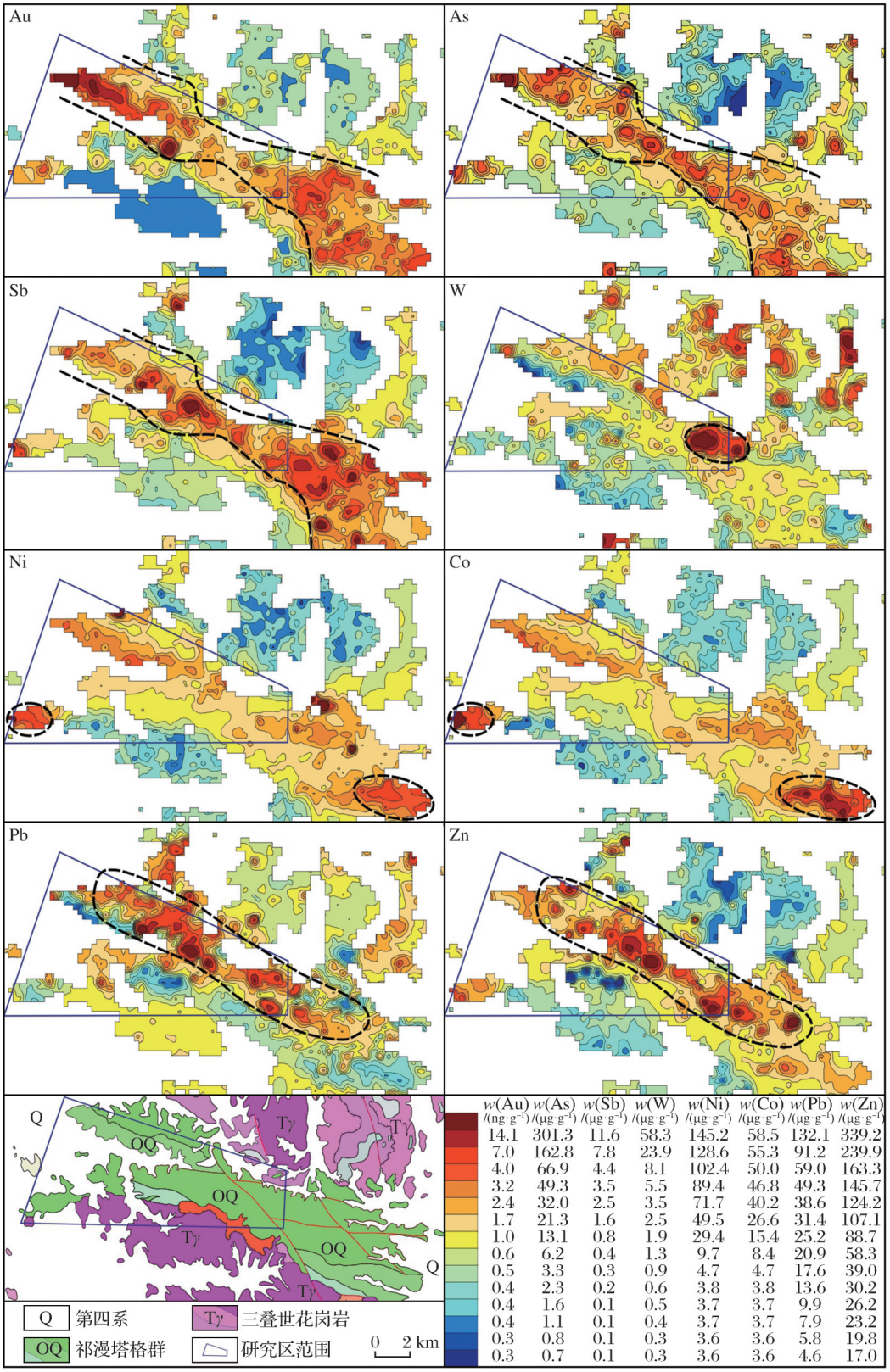
(1)红卫山—黑石沟金、铅锌预测区(YC2)。位于研究区南东部,面积约为15 km²,出露祁漫塔格群火山岩组和碎屑岩组,F_{27}、F_{30}和F_4断裂的南东延伸段贯穿全区。Au-As-Sb异常浓度分带完整,Pb和Zn异常峰值分别达2 500×10⁻⁶和3 400×10⁻⁶。已发现金矿化体厚度为1.5~3.2 m、品位为0.84×10⁻⁶~1.74×10⁻⁶。类比已知矿区,异常延伸长度约为8 km,异常浓度相当,预测构造蚀变岩型金矿和火山喷流沉积型铅锌矿成矿潜力均可达中—大型规模。

(2)黑石沟钴镍预测区(YC1)。位于黑石沟一带,面积约为8 km²,发育火山岩组与碎屑岩组接触带及F_{66}断裂南东延伸段。Co、Ni异常峰值分别大于100×10⁻⁶和500×10⁻⁶。已发现钴矿化,拣块样Co含量为0.01%~0.02%。异常延伸约为5 km,类比已知矿化带及区域同类矿床,预测热液型钴镍矿成矿潜力可达中型规模。

(3)其他找矿方向。碎屑岩区W-Bi-Sn异常发育,已发现W-1和W-2矿化带,是热液石英脉型钨矿的有利地段。黑石沟南东接触带具铁矿线索,是寻找矽卡岩型铁矿的潜在区域。

6　结论

(1)茫崖河东地区初步总结出5种成矿类型:



w(Au) /(ng·g⁻¹)	w(As) /(μg·g⁻¹)	w(Sb) /(μg·g⁻¹)	w(W) /(μg·g⁻¹)	w(Ni) /(μg·g⁻¹)	w(Co) /(μg·g⁻¹)	w(Pb) /(μg·g⁻¹)	w(Zn) /(μg·g⁻¹)
14.1	301.3	11.6	58.3	145.2	58.5	132.1	339.2
7.0	162.8	7.8	23.9	128.6	55.3	91.2	239.9
4.0	66.9	4.4	8.1	102.4	50.0	59.0	163.3
3.2	49.3	3.5	5.5	89.4	46.8	49.3	145.7
2.4	32.0	2.5	3.5	71.7	40.2	38.6	124.2
1.7	21.3	1.6	2.5	49.5	26.6	31.4	107.1
1.0	13.1	0.8	1.9	29.4	15.4	25.2	88.7
0.6	6.2	0.4	1.3	9.7	8.4	20.9	58.3
0.5	3.3	0.3	0.9	4.7	4.7	17.6	39.0
0.4	2.3	0.2	0.6	3.8	3.8	13.6	30.2
0.4	1.6	0.1	0.5	3.7	3.7	9.9	26.2
0.4	1.1	0.1	0.4	3.7	3.7	7.9	23.2
0.3	0.8	0.1	0.3	3.6	3.6	5.8	19.8
0.3	0.7	0.1	0.3	3.6	3.6	4.6	17.0

图 16　茫崖河东地区主成矿元素地球化学图

Fig. 16　Geochemical map of major ore-forming elements in the Mangyahedong area

构造蚀变岩型金矿、热水喷流沉积型铅锌矿、热液型钴矿、矽卡岩型铁矿和热液石英脉型钨矿。各类型矿床受不同期次构造—岩浆活动控制,反映该区具有多期复合成矿的特征。

(2)区内成矿受地层、构造和岩浆活动联合控制。火山岩组是金、钴镍的矿源层,碳酸盐岩组是矽卡岩型铁矿的有利围岩;NW向断裂是主要的导矿和容矿构造;早泥盆世(金)和晚三叠世(铁、钨和钴镍)是2期主要成矿事件。

(3)基于地物化综合信息及成矿规律,圈定出红卫山—黑石沟金铅锌找矿预测区(YC2)和黑石沟钴镍找矿预测区(YC1)。预测YC2区金、铅锌矿成矿潜力可达中—大型规模,YC1区钴镍矿成矿潜力可达中型规模。

参考文献(References):

Franklin J M, Gibson H L, Jonasson I R, et al, 2005. Volcanogenic massive sulfide deposits[M]//One Hundredth Anniversary Volume. Littleton: Society of Economic Geologists.

Groves D I, Goldfarb R J, Gebre-Mariam M, et al, 1998. Orogenic gold deposits: a proposed classification in the context of their crustal distribution and relationship to other gold deposit types[J]. Ore Geology Reviews, 13(1/2/3/4/5): 7-27.

Liu T, Jiang S Y, Wang W, et al, 2025. Fluid evolution of the Yemaquan Fe-polymetallic deposit in the East Kunlun metallogenic belt, western China: insights from garnet geochronology and geochemistry [J]. Lithos, 508/509: 108119.

Meinert L D, Dipple G M, Nicolescu S, 2005. World skarn deposits [M]//One Hundredth Anniversary Volume. Littleton: Society of Economic Geologists.

Škácha P, Sejkora J, Plášil J, et al, 2021. Grimmite, $NiCO_2S_4$, a new thiospinel from Příbram, Czech republic[J]. European Journal of Mineralogy, 33(2): 175-187.

Slack J F, Cannon W F, 2017. Cobalt in sedimentary environments[M]//Schulz K J, DeYoung J H, et al, eds. Critical mineral resources of the United States—Economic and environmental geology and prospects for future supply. Reston: U.S.Geological Survey.

陈衍景,倪培,范宏瑞,等,2007. 不同类型热液金矿系统的流体包裹体特征[J]. 岩石学报,23(9):2085-2108. Chen Yanjing, Ni Pei, Fan Hongrui, et al, 2007. Diagnostic fluid inclusions of different types hydrothermal gold deposits [J]. Acta Petrologica Sinica, 23(9): 2085-2108.

丰成友,赵一鸣,李大新,等,2011. 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,85(7):1108-1115. Feng Chengyou, Zhao Yiming, Li Daxin, et al, 2011. Skarn types and mineralogical characteristics of the Fe-Cu-polymetallic skarn deposits in the Qimantage area, Western Qinghai Province[J]. Acta Geologica Sinica, 85(7): 1108-1115.

丰成友,赵一鸣,李大新,等,2016. 东昆仑祁漫塔格山地区夏日哈木镍矿床矿物学特征[J]. 地质论评,62(1):215-228. Feng Chengyou, Zhao Yiming, Li Daxin, et al, 2016. Mineralogical characteristics of the Xiarihamu nickel deposit in the Qiman Tagh Mountain, East Kunlun, China[J]. Geological Review, 62(1): 215-228.

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 Mangyahedong area in Qinghai Province[J]. China Energy and Environmental Protection8, 40(6): 118-122.

李少南,马海云,王斌,等,2024. 青海省格尔木市茫涯河东地区铜多金属矿普查报告[R]. 海东:青海省第一地质勘查院. Li Shaonan, Ma Haiyun, Wang Bin, et al2024. Report of copper polymetallic deposit reconnaissance in the Mangyahedong area, Golmud City, Qinghai Province[R]. Haidong: Qinghai First Geological Exploration Institute.

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的制约[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.

李世金,孙丰月,高永旺,等,2012. 小岩体成大矿理论指导与实践——青海东昆仑夏日哈木铜镍矿找矿突破的启示及意义[J]. 西北地质,45(4):185-191. Li Shijin, Sun Fengyue, Gao Yongwang, et al, 2012. The theoretical guidance and the practice of small intrusions forming large deposits—the enlightenment and significance for searching breakthrough of Cu-Ni sulfide deposit in Xiarihamu, East Kunlun, Qinghai [J]. Northwestern Geology, 45(4): 185-191.

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.

马文君,谢海林,李少南,等,2025.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,33(4):717-734. Ma Wenjun, Xie Hailin, Li Shaonan, et al, 2025. Application of geochemical survey method in mangyahedong gold deposit of east Kunlun and its prospecting effect[J]. Gold Science and Technology, 33(4):717-734.

马忠英,马文君,王斌,等,2023.青海省格尔木市长山—红卫山地区1:2.5万地球化学测量报告[R].海东:青海省第一地质勘查院. Ma Zhongyong, Ma Wenjun, Wang Bin, et al 2023. Report of 1:25000 geochemical survey in the Changshan-Hongweishan area, Golmud City, Qinghai Province[R]. Haidong: Qinghai First Geological Exploration Institute.

莫宣学,罗照华,邓晋福,等,2007.东昆仑造山带花岗岩及地壳生长[J].高校地质学报,13(3):403-414. Mo Xuanxue, Luo Zhaohua, Deng Jinfu, et al, 2007. Granitoids and crustal growth in the east-Kunlun orogenic belt[J]. Geological Journal of China Universities, 13(3):403-414.

潘彤,孙丰月,2003.青海东昆仑肯德可克钴铋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 Eastern Kunlun, 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 Wenjie, et al, 2019. China regional geology·Qinghai volume[R]. Xining: Geological Survey Bureau of Qinghai Province.

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).

叶霖,高伟,杨玉龙,等,2012.云南澜沧老厂铅锌多金属矿床闪锌矿微量元素组成[J].岩石学报,28(5):1362-1372. Ye Lin, Gao Wei, Yang Yulong, et al, 2012. Trace elements in sphalerite in Laochang Pb-Zn polymetallic deposit, Lancang, Yunnan Province[J]. Acta Petrologica Sinica, 28(5):1362-1372.

于淼,丰成友,刘洪川,等,2016.青海尕林格矽卡岩铁多金属矿床Fe-Ti氧化物及其热动力学意义[J].地球学报,37(2):204-214. Yu Miao, Feng Chengyou, Liu Hongchuan, et al, 2016. The iron-titanium oxides in the Galinge iron polymetallic skarn deposit of Qinghai Province and their thermodynamic significance[J]. Acta Geoscientica Sinica, 37(2):204-214.

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 Binggounan area in Qimantage metallogenic belt, Qinghai Province[J]. Northwestern Geology, 48(4):125-140.

张旗,潘国强,李承东,等,2007.花岗岩构造环境问题:关于花岗岩研究的思考之三[J].岩石学报,23(11):2683-2698. Zhang Qi, Pan Guoqiang, Li Chengdong, et al, 2007. Are discrimination diagrams always indicative of correct tectonic settings of granites some crucial questions on granite study(3)[J]. Acta Petrologica Sinica, 23(11):2683-2698.

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.

赵一鸣,丰成友,李大新,等,2013.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,32(1):1-19. Zhao Yiming, Feng Chengyou, Li Daxin, et al, 2013. Metallogenic setting and mineralization-alteration characteristics of major skarn Fe-polymetallic deposits in Qimantag area, western Qinghai Province[J]. Mineral Deposits, 32(1):1-19.

赵一鸣,李大新,丰成友,等,2014.中国主要矽卡岩及矽卡岩型矿床[M].北京:地质出版社. Zhao Yiming, Li Daxin, Feng Chengyou, et al, 2014. Major skarns and skarn deposits in China[M]. Beijing: Geological Publishing House.

Characteristics and Prospecting Potential of Typical Deposit in the Mangya Hedong Area, Qimantage, Qinghai Province

MA Wenjun[1,2], XIE Hailin[1,2], WANG Bin[1,2], LI Shaonan[1,2], LUO Qihui[1,2], WANG Zhen[1,2], DU Shengpeng[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 Mangyahedong region is situated within the Qimantage metallogenic sub-belt of the western East Kunlun orogenic belt, noted for its advantageous metallogenic conditions. In recent years, a diverse array of mineral resources, including gold, lead-zinc, iron, cobalt-nickel-copper, and tungsten, have been progressively identified within an area spanning 80 km², yielding significant prospecting outcomes. Nonetheless, the metallogenic types and characteristics of these deposits have not been comprehensively summarized. Utilizing exploration and research data, this study integrates the geological characteristics of the deposits and preliminarily identifies five metallogenic types: (1) Structurally controlled alteration-type gold deposits, which are governed by northwest-trending ductile-brittle faults and hosted in volcanic rocks of the Qimantage Group, classified as orogenic gold deposits. (2) The volcanogenic massive sulfide(VMS) type lead-zinc deposit is located at the interface between volcanic and clastic rock formations, characterized by laminated siliceous rocks and massive to stockwork ores. (3) The hydrothermal type cobalt-nickel-copper deposit is fault-controlled and represents the first identification of independent cobalt minerals, such as grimmite($NiCO_2S_4$), suggesting a mesothermal to epithermal origin. (4) The skarn-type iron deposit is situated at the contact zone between intermediate-felsic intrusions and carbonate rocks. The hydrothermal quartz vein-type tungsten deposit is characterized by scheelite-bearing quartz veins. The mineralization exhibits temporal progression and spatial zoning. Within the Ordovician back-arc basin, the volcanic-sedimentary sequence of the Qimantage Group was established, with the volcanic formation enriched in gold, cobalt, and nickel serving as the source bed, and synsedimentary fault exhalation leading to the formation of the VMS-type lead-zinc protore. During the Early Devonian, collisional orogeny resulted in the formation of orogenic gold deposits. In the Late Triassic, magmatic activity led to the development of skarn-type iron deposits, hydrothermal quartz vein-type tungsten deposits, and hydrothermal-type cobalt-nickel deposits. In terms of spatial distribution, the mineral deposits are collectively influenced by the three formations of the Qimantage Group and northwest-trending faults. Specifically, the volcanic formation is associated with gold(Au) and cobalt-nickel(Co-Ni) deposits, the clastic formation is linked to lead-zinc(Pb-Zn) and tungsten(W) deposits, and the contact zone of the carbonate formation is related to iron (Fe) deposits. The northwest-trending faults serve as the primary structures for ore transportation and hosting. Results from geochemical surveys conducted at a scale of 1∶25 000 reveal high coefficients of variation for gold and tungsten. Three northwest-trending anomaly belts(Au-As-Sb, Pb-Zn-Ag, Co-Ni-Cu-Cr) are spatially aligned with ore-controlling faults and host strata, with anomaly characteristics in the southeastern segment comparable to those in the northwestern segment, where known deposits are present. Based on comprehensive data integration, two prospecting targets have been identified: the Hongweishan-Heishigou Au-Pb-Zn target(YC2) and the Heishigou Co-Ni target(YC1). The former exhibits medium- to large-scale potential for gold and lead-zinc, while the latter demonstrates medium-scale potential for cobalt-nickel. This study offers a significant reference for mineral exploration within the Qimantage metallogenic belt.

Key words: deposit characteristics; metallogenic types; prospecting potential; Mangyahedong; Qimantage