东天山星星峡东山地区新发现金(多金属)矿地质特征与找矿方向

贺昕宇[1,2],付　昱[1,2*],杜海超[3],丁晓磊[2],薄贺天[4],王宏伟[1,2],张　驰[1,5],李　强[1,6],李　斯[2],方同辉[7],侯德华[6],崔坤磊[5],郭东宝[1]

(1. 自然资源部黄河上游战略性矿产资源重点实验室; 2. 有色金属矿产地质调查中心;
3. 中国黄金集团地质有限公司; 4. 河南省第五地质大队有限公司; 5. 河南省地质研究院;
6. 河北省区域地质调查院; 7. 中色紫金地质勘查(北京)有限责任公司)

摘要:中国作为全球最大的黄金生产国和消费国之一,金矿资源对外依存度高,加大勘查开发力度至关重要。星星峡东山地区所在的东天山作为新疆重要矿产资源基地,金及多金属成矿潜力显著。基于矿产地质调查,以星星峡东山地区为研究对象,通过野外勘查、探槽工程及地球化学分析,新发现红星山金矿点、东铅炉子铅矿床及4处铜矿点(转井、转井东、东山、东山东)。研究表明,星星峡东山地区金成矿类型可能是斑岩型成矿系统的一部分,即浅成低温热液型;铜成矿类型可能是岩浆热液脉型;新发现的铅矿床可能是钼成矿系统的远端端元。星星峡东山地区具有金、钼、钨、锡、铜勘查潜力,同时可能存在斑岩型钨-锡及钼矿。

关键词:金多金属矿;矿产勘查;地球化学;星星峡东山地区;东天山;斑岩型;找矿方向

中图分类号:TD11　P624　P632　P612　　**文章编号**:1001-1277(2025)09-0037-10

文献标志码:A　　doi:10.11792/hj20250904

引　言

黄金是具有商品、金融、货币和避险等多种属性的重要战略性矿产之一,近年来,随着战略性新兴产业的快速发展,金在新能源、新材料、新技术领域的应用变得更加广泛[1]。中国是全球最大的黄金生产国和消费国之一,国内产能远不能满足需求,对外依存度较高,安全供应存在隐患[2-3],当下资源民族主义抬头[4],地区冲突加剧也在不断推高金价,因此,加大国内金矿资源勘查开发力度迫在眉睫。

全球金矿资源丰富、分布广泛[1],按照金资源禀赋,主要金矿类型依次为造山型(41.0%)、斑岩型(20.9%)、浅成低温热液型(18.4%)及卡林型(5.2%)等[5-6]。中国金矿床主要分布于中亚造山带、华北克拉通、秦岭—祁连—昆仑造山带、华南板块、西藏—三江造山带等5个构造单元,可进一步分为16个金成矿省[3,7-11]。其中,东天山位于天山—阿尔泰金成矿省,金矿类型以造山型、浅成低温热液型为主,金成矿年龄主要集中于晚二叠世(246~269 Ma)[3,12-13]。同时,东天山有色金属资源丰富,包含金、银、铅、锌、铜、钼、钨等[14-20],是新疆矿产资源经济区的4个大型矿产资源综合基地之一[21],1∶20万区域化探结果显示,东天山具有Au、Ag、Cu、Pb、Zn、Sb、As、Bi、W、Mo组合异常。

东天山除了早期发现的金窝子金矿[22]、红石金矿(造山型)[23]外,近年来又有多处新发现金矿的报道,如黑山金矿(浅成低温热液型)[24]、红石梁金矿(低硫型浅成低温热液型)[25]、孔雀沟金矿(造山型)[26]、天运金矿(造山型)[27]等。其中,黑山金矿深部新勘探出5条铜矿体及1条金铜矿化蚀变带[28],金(多金属)矿找矿潜力巨大。因此,在该区开展金(多金属)矿找矿勘查工作,有助于提升对金多金属矿的认识,指导未来地质勘查工作部署,具有重要的研究意义和社会经济效益。本文基于1∶5万矿产地质调查工作成果,以东天山内的星星峡东山地区为研究对象,通过野外地质勘查、探槽工程、基岩光谱及成矿元素含量分析,总结新发现金(多金属)矿地质特征,分析成矿规律,指出下一步找矿方向,以期为后续金、铜、铅、钨等矿种的找矿工作及相关矿床学研究提供一定参考。

收稿日期:2025-05-20; 修回日期:2025-07-08

基金项目:自然资源部黄河上游战略性矿产资源重点实验室开放课题资助项目(YSMRKF202414);中国地质调查局项目(DD20160011);河南省地质研究院地质科技攻关项目(2025-903-XM03);中吉矿业有限公司项目;内蒙古自治区自然资源厅项目(2024-JC23)

作者简介:贺昕宇(1989—),男,高级工程师,博士,从事矿产勘查与矿床学研究工作;E-mail:xinyuhe2@hotmail.com

*通信作者:付　昱(1973—),女,工程师,从事资源评价与土地资源管理工作;E-mail:630785547@qq.com

1 研究区地质背景

研究区位于中亚造山带南缘(见图1-A)的中天山地块,南北分别以区域性大断裂——阿齐克库都克—沙泉子断裂和库米什断裂为界(见图1-B),夹持在北天山造山带和北山造山带之间。研究区经历了复杂的造山过程,在~273 Ma完成最终碰撞,于247 Ma进入板内伸展构造环境[19,29-34]。区域内主要出露新太古界—古元古界天湖岩群、长城系星星峡岩群、蓟县系卡瓦布拉克岩群,与侵入其中的古元古代、新元古代、古生代、中生代花岗岩整体呈北东向展布。其中,星星峡岩群为一套变质程度不均匀的变质岩系,原岩为一套沉积-火山岩建造,可进一步划分为3个岩组,岩性主要为石英岩、片岩、大理岩、片麻岩、斜长角闪岩等[35];卡瓦布拉克岩群为一套浅变质岩系,原岩为陆源碎屑岩+碳酸盐岩,可大致划分为2个岩组,岩性主要为变细砂岩、千枚岩、变灰岩、大理岩、斜长角闪岩等。研究区内构造以断裂为主,其次为褶皱,构造线方向为北东东向。岩浆岩主要为新元古代变花岗岩、石炭纪花岗岩,另有少量二叠纪花岗闪长岩与辉绿岩出露。

2 新发现矿床(点)地质特征

研究团队在研究区共发现金矿点1处(红星山)、铅矿床1处(东铅炉子)、铜矿点4处(转井、转井东、东山、东山东)(见图2),现分述如下:

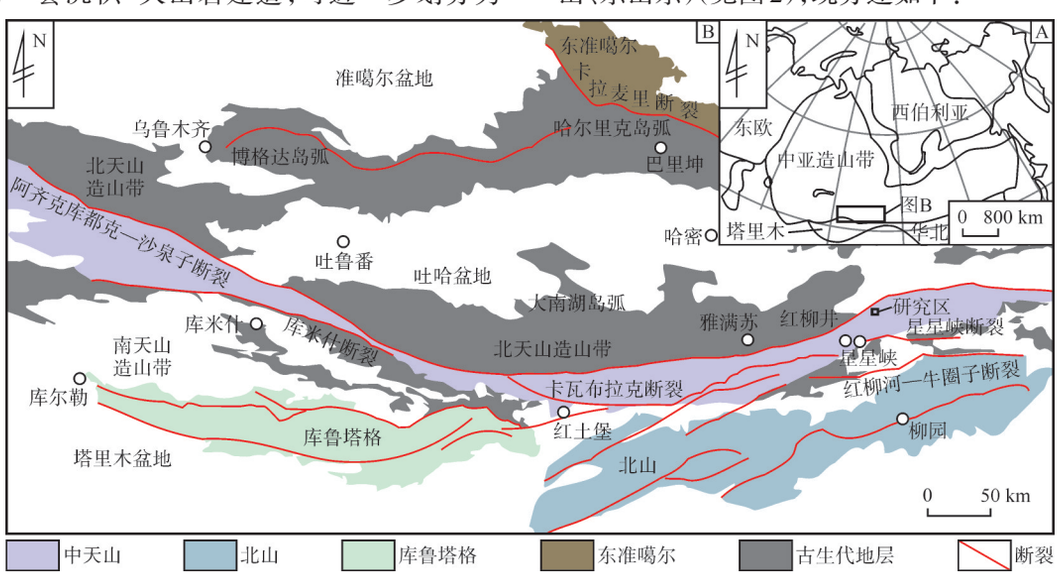


图1 中亚造山带地质简图(A,据文献[36]修改)和东天山地质简图(B,据文献[37]修改)

Fig. 1 Geological sketch map of the Central Asian orogenic belt (A) and the Eastern Tianshan (B)

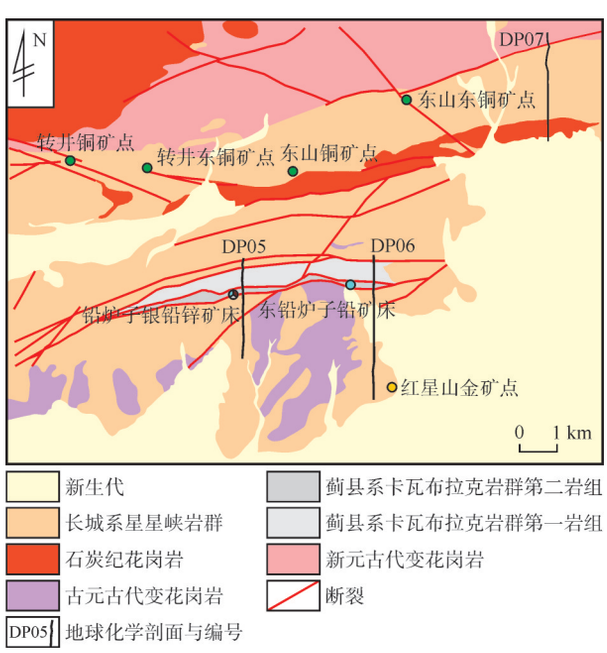


图2 研究区地质简图

Fig. 2 Geological sketch map of the study area

2.1 红星山金矿点

红星山金矿点位于研究区南部,主要赋矿围岩为星星峡岩群(见图3)白云质大理岩,东侧出露构造片岩及少量砾岩(砾石成分为石英脉、大理岩及片麻岩,分选性较差),基岩东西两侧被大面积出露的全新世冲洪积物及下伏上新统砖红色泥质粉砂岩所覆盖。矿区主要出露2条构造,同时也是控矿构造。西侧断裂走向60°~70°,倾角62°~70°,断裂较为平直,呈舒缓波状,片理化较为发育,推测为压剪性断裂;东侧断裂走向300°~310°,倾角58°~71°,较为弯曲,呈豆荚状,夹有部分断层泥,同时发育一系列小碎裂面,推测为张剪性断裂。

TC102探槽揭露,矿区出露的东、西2条矿体严格受上述2条断裂控制,矿化主要分布在断裂破碎带中(见图4)。金赋存在乳白色石英脉中,肉眼可见明金,粒径0.5~1 mm(见图5-a~c),断裂破碎带中局部金品位0.18~0.50 g/t,其他部分金品位小于0.1 g/t

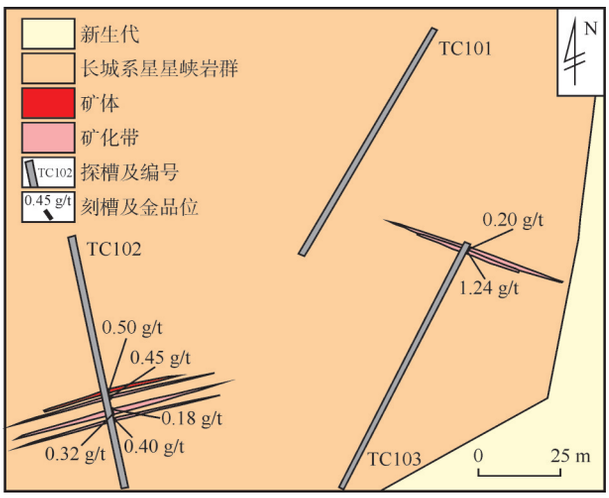


图 3　红星山金矿区地质图

Fig. 3　Geological map of the Hongxingshan Gold District

(见图 4),矿体在地表以铁帽形式产出(见图 5-d ~ f)。

含金石英脉宽平均 1 m,局部可达 10 m,西侧矿体长约 107 m,东侧长约 65 m。矿化蚀变主要为黄铁矿化(见图 5-b)、方铅矿化(见图 5-c)、硅化(见图 5-g)、碳酸盐化(见图 5-h),以及次生的孔雀石化、褐铁矿化(见图 5-d)、赤铁矿化(见图 5-e)、黄钾铁钒、石膏化(见图 5-f)。方铅矿粒径 2 ~ 10 mm,排列略具定向性,且石英脉局部见晶洞,表明金成矿作用具低温热液活动特征。铁帽中褐铁矿化、赤铁矿化及具锖色的黄铁矿被碳酸盐脉切穿,二者又被缓倾斜脉状石膏切穿。铁帽顶部可见角砾岩,角砾成分较为复杂,除了围岩星星峡岩群石英片岩(见图 6-a)、大理岩(见图 6-b)外,还有石英脉(见图 6-a、c)及氧化矿石(见图 6-d),胶结物为红色硅质,表明成矿后存在一期构造活动,对已有原生矿石及氧化矿石进行改造破坏。

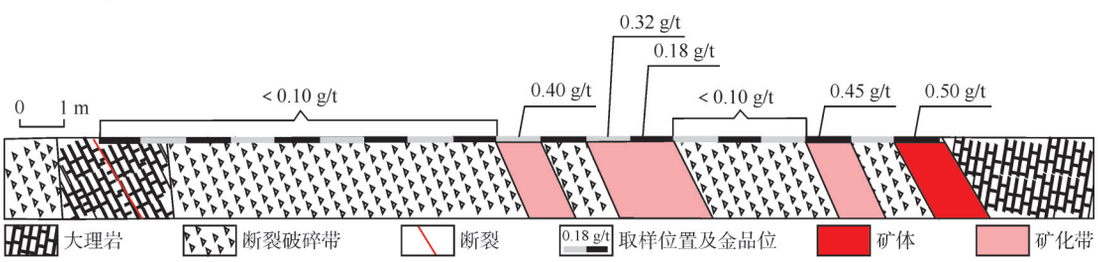
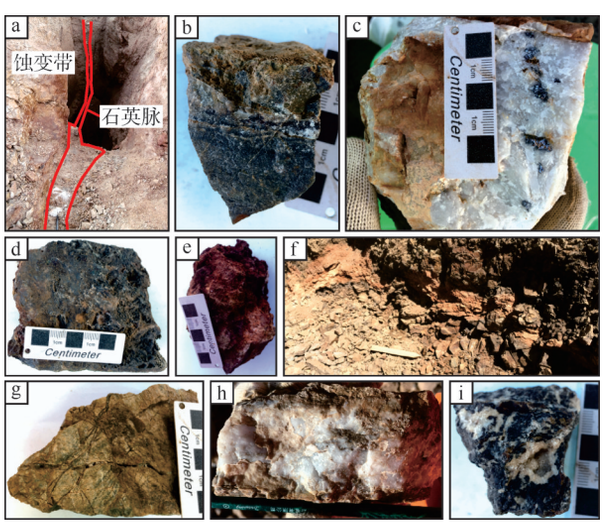


图 4　红星山金矿点探槽 TC102 素描图

Fig. 4　Sketch of Trench TC102 at the Hongxingshan Gold Mine



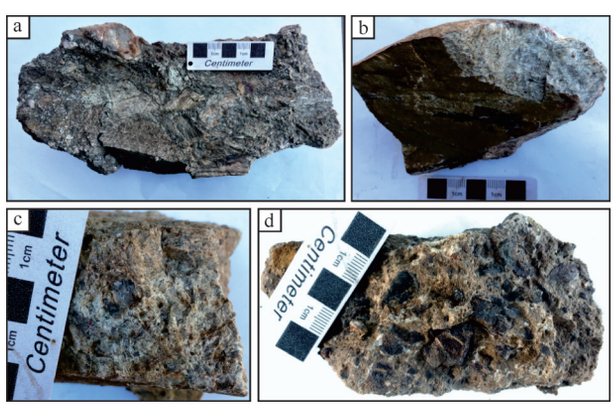
a—受断裂控制的乳白色石英脉　b—石英—黄铁矿细脉切穿硅化大理岩,黄铁矿已风化成褐铁矿　c—乳白色石英脉中的方铅矿　d—氧化矿石中发育褐铁矿　e—赤铁矿化　f—探槽中揭露的黄钾铁钒,顶部石膏脉发育　g—大理岩中的网脉状石英,同生黄铁矿已被风化淋滤　h—碳酸盐细脉切穿乳白色石英脉　i—氧化矿石中的碳酸盐晶洞

图 5　红星山金矿点矿体与矿化蚀变照片

Fig. 5　Photographs of the orebody and mineralization photos of the Hongxingshan Gold Mine

2.2　东铅炉子铅矿床

东铅炉子铅矿床赋矿围岩为蓟县系卡瓦布拉克



a—石英片岩、石英脉角砾　b—大理岩角砾　c—石英脉角砾　d—氧化矿石角砾

图 6　红星山金矿区角砾岩照片

Fig. 6　Photographs of breccia of the Hongxingshan Gold District

岩群糜棱岩化大理岩、千枚岩、千糜岩(见图 7),矿区韧性剪切带发育,矿体严格受构造控制,整体呈近东西向展布,局部分支复合。韧性剪切带中大理岩全部糜棱岩化,糜棱岩靠近矿体处产状与矿体一致,远离矿体部分呈北东向展布。矿体主要为氧化矿,与西侧铅炉子铅锌银矿床类似。矿石多为次生矿物,主要成分为铅硬锰矿、褐铁矿(黄钾铁钒)(见图 8-a ~ f)。同时,乳白色石英脉局部较为发育,脉宽 1 ~ 2 cm,局部可达 20 cm,顺大理岩片理产出,被后期石英-黄铁矿

脉切穿，黄铁矿粒径0.5～1 mm，立方体晶形，局部呈集合体产出，多风化成褐铁矿，仅保留骸晶（见图8-g、h），石英脉产出部位铅锌矿化较弱（见图7），推测与成矿无关。大理岩中局部发育赤铁矿化（见图8-i、j），铅锌矿化也较好，可作为找矿标志之一。与红星山金矿点类似，可见后期碳酸盐脉（晶洞）、石膏脉切穿矿体（见图8-k、l）。

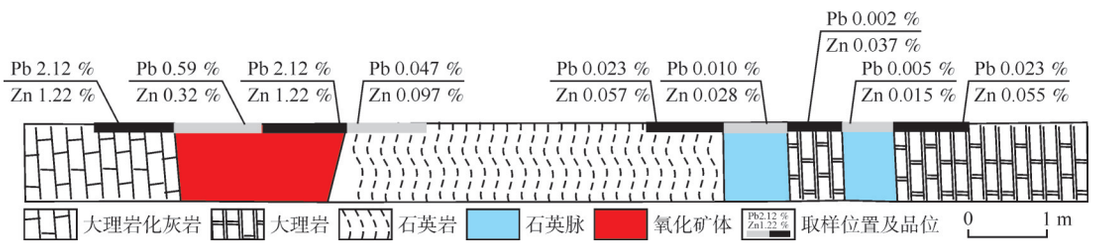
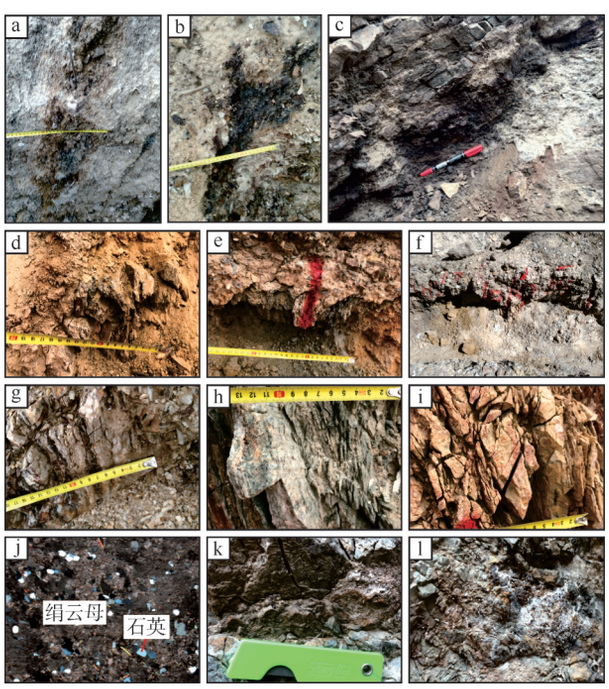


图7 东铅炉子铅矿床探槽TC02素描图

Fig. 7 Sketch of Trench TC02 at the Dongqianluzi Lead Deposit



a～c—地表氧化矿体露头 d—侵入片状大理岩的乳白色石英-黄铁矿脉，外侧发育黄钾铁钒 e—片状大理岩中局部黄钾铁钒发育 f—探槽揭露的氧化矿体 g—乳白色石英脉被后期烟灰色石英细脉切穿，伴生赤铁矿化 h—乳白色石英脉顺石英片岩片理侵入，被后期烟灰色石英细脉切穿，局部可见浸染状黄铁矿骸晶 i—围岩大理岩，表面发育赤铁矿化 j—围岩大理岩镜下照片，含少量石英细砂、绢云母 k—乳白色石英脉被碳酸盐脉切穿 l—地表氧化矿被石膏脉切穿

图8 东铅炉子铅矿床矿体与矿化蚀变照片

Fig. 8 Photographs of the orebody and mineralization-alteration of the Dongqianluzi Lead Deposit

2.3 东山铜矿点与东山东铜矿点

东山铜矿点与东山东铜矿点位于研究区东北侧，主要赋矿围岩是斜长角闪岩，斜长角闪岩受后期韧性、脆性构造活动改造，以斜长角闪片岩（初糜棱岩化）、角闪斜长糜棱岩、角闪斜长碎斑岩形式产出（见图9），同时还有少量长英糜棱岩、长英碎裂岩、灰岩质碎裂角砾碎斑岩、二长花岗岩质初糜棱岩等。东山铜矿点矿体主要为矿化石英脉（见图10-a～c），走向北西，长约230 m，宽约20 cm，局部存在分支复合现象。乳白色石英脉中可见网脉状烟灰色石英-黄铁矿细脉，黄铁矿已转变成褐铁矿，与孔雀石化伴生（见图10-c～h），同时石英脉中可见紫色萤石发育（见图10-f）。石英脉中发育强铜矿化（铜品位0.13 %～0.40 %），仅局部较弱（铜品位0.05 %），在靠近石英脉的围岩斜长角闪岩，强褐铁矿化与碳酸盐细脉也多指示铜矿化（铜品位0.13 %），而远离石英脉的斜长角闪岩中，铜矿化较弱（铜品位0.053 %）。

东山东铜矿点主要赋矿围岩为长城系星星峡岩群石英岩，发育硅化、钾化（见图10-j）、孔雀石化（见图10-k），矿体呈近东西向，延伸约180 m，亦发育石英脉，局部见晶洞（见图10-l），但未见孔雀石化，指示低温热液活动可能与铜矿化无关，地表局部可见黄钾铁钒（见图10-i）。

2.4 转井铜矿点

转井铜矿点位于研究区西侧长城系星星峡岩群

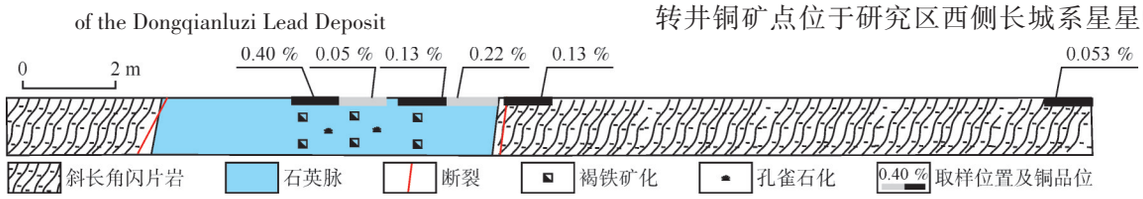
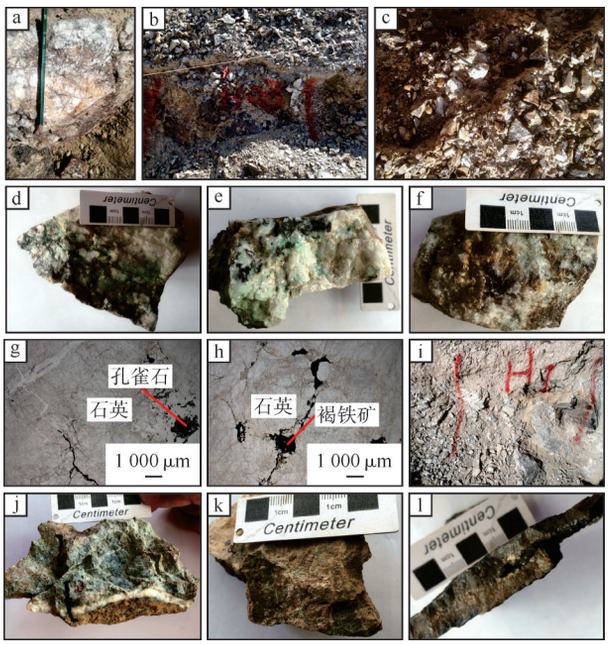


图9 东山铜矿点探槽TC10素描图

Fig. 9 Sketch of Trench TC10 at the Dongshan Copper Mine

中，赋矿围岩为石英片岩和斜长角闪岩，局部经动力变质作用发生糜棱岩化（见图11），主要为长英糜棱岩、超糜棱岩。矿体产出在糜棱岩化部位（见图11）或构造破碎带中（见图12）。探槽揭露发现，赤铁矿



a—乳白色石英脉及黄钾铁钒(东山铜矿点) b～c—乳白色石英脉与褐铁矿伴生(东山铜矿点) d—乳白色石英脉中发育网脉状烟灰色石英-黄铁矿细脉,黄铁矿已转变成褐铁矿,与孔雀石化伴生(东山铜矿点) e—孔雀石化乳白色石英脉中可见中粒黄铁矿骸晶(东山铜矿点) f—乳白色石英脉中可见紫色萤石(东山铜矿点) g—孔雀石(+褐铁矿)和晚期石英切穿早期石英,萤石呈细脉产出(东山铜矿点探槽 TC09) h—褐铁矿(+孔雀石)和晚期石英切穿早期石英,萤石呈细脉产出(东山铜矿点探槽 TC10) i—探槽揭露的黄钾铁钒(东山东铜矿点) j—围岩石英岩中可见后期钾化、硅化蚀变(东山东铜矿点) k—孔雀石化与钾化蚀变伴生,二者被晚期碳酸盐脉切穿(东山东铜矿点) l—石英脉中可见晶洞(东山东铜矿点)

图 10　东山铜矿点和东山东铜矿点矿体与矿化蚀变照片

Fig. 10　Photographs of the orebody and mineralization-alteration of the Dongshan and Dongshan East copper mines

化(褐铁矿化)与孔雀石化伴生部位矿化较好(见图 11),矿化蚀变呈一定的分带性,核部为赤铁矿化,两侧为孔雀石化(见图 13-a、b),外侧为绿泥石化、绿帘石化、钾化,孔雀石化部位铜品位 0.78 % ～ 0.90 %(见图 11),赤铁矿发育部位铜品位也达到 0.26 %。同时,矿区通过探槽(TC20)揭露的孔雀石化(见图 13-c)石英脉铜品位也可达 0.84 %。矿区主要矿化蚀变为黄铁矿化、黄铜矿化,二者分别风化成赤铁矿化(褐铁矿化)、孔雀石化(见图 13-d～f),矿体外围钾化、绿泥石化、绿帘石化极为发育,矿化较好地段斜长角闪岩普遍绿帘石化,叠加于早期钾长石化(见图 14-a～g),后被烟灰色石英脉切穿(见图 14-c、d),破矿热液活动先后为碳酸盐化(见图 14-f)、萤石化(见图 14-h),以及表生石膏化(见图 14-g)。远离斜长角闪岩的变石英砂岩中亦受热液活动影响,发育绿帘石化、碳酸盐化蚀变(见图 14-i)。

2.5　转井东铜矿点

转井东铜矿点位于研究区西北部,围岩为斜长角闪岩(见图 15),通过工程揭露发现,矿化主要分布在裂隙发育位置,孔雀石化、褐铁矿化发育(见图 16-a),两侧发育较明显绿帘石化蚀变带(见图 16-b、c),亦可见钾长石化(见图 16-d)、萤石化(见图 16-e)、阳起石化蚀变(见图 16-f)。孔雀石与褐铁矿呈不规则状或细脉状充填于绿帘石颗粒之间,指示矿化晚于绿帘石化蚀变,同时孔雀石化与褐铁矿化发育部位,矿石铜品位较高,可达 1.23 %。

3　成矿规律与找矿方向

3.1　成矿规律

在研究区布置了 3 条南北向地球化学剖面,控制了主要地层、侵入岩(见图 17～19)。通过基岩光谱分析,发现石英脉出露部位,并非矿化最佳部位,这与野外工作中认识基本一致,即乳白色石英脉(没有后期(烟灰色石英-)硫化物脉叠加部分)矿化较弱。

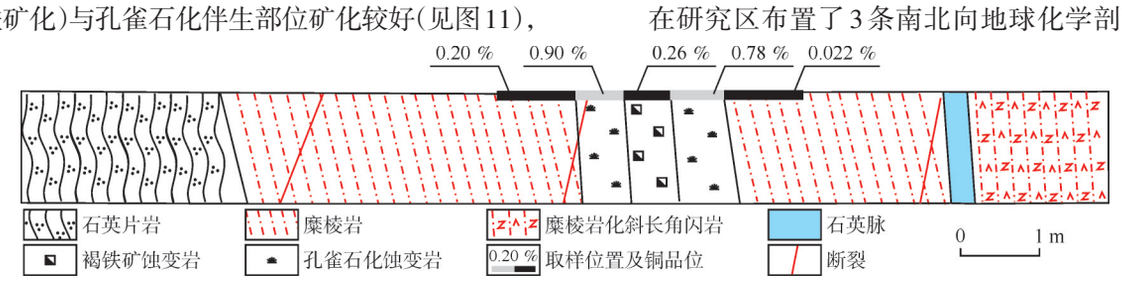


图 11　转井铜矿点探槽 TC01 素描图

Fig. 11　Sketch of Trench TC01 at the Zhuanjing Copper Mine

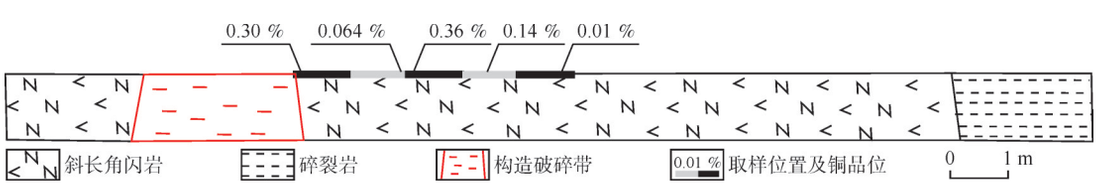


图 12　转井铜矿点探槽 TC23 素描图

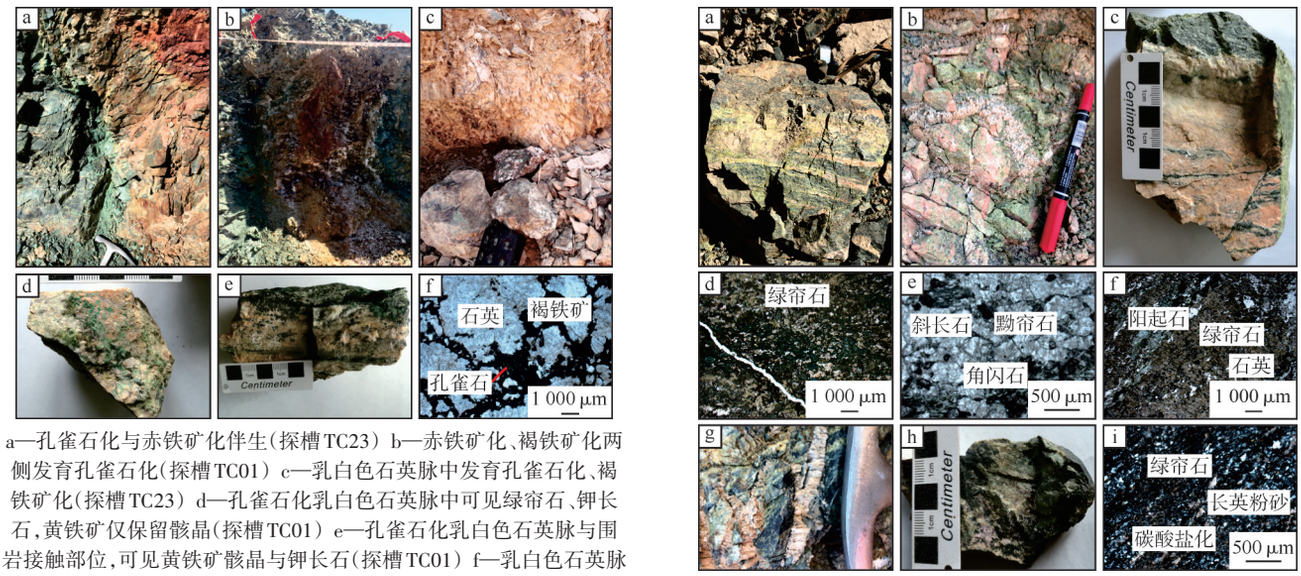
Fig. 12　Sketch of Trench TC23 at the Zhuanjing Copper Mine

a—孔雀石化与赤铁矿化伴生(探槽TC23) b—赤铁矿化、褐铁矿化两侧发育孔雀石化(探槽TC01) c—乳白色石英脉中发育孔雀石化、褐铁矿化(探槽TC23) d—孔雀石化乳白色石英脉中可见绿帘石、钾长石,黄铁矿仅保留骸晶(探槽TC01) e—孔雀石化乳白色石英脉与围岩接触部位,可见黄铁矿骸晶与钾长石(探槽TC01) f—乳白色石英脉中黄铜矿、黄铁矿风化成褐铁矿与孔雀石(探槽TC01)

图13 转井铜矿点矿体与矿石照片

Fig. 13 Photographs of the orebody and ore of the Zhuanjing Copper Mine

Cu异常多与Co、Cr、Ni异常同步,尤其是斜长角闪岩出露部位(见图19、图20),4种元素含量整体较高,可能是斜长角闪岩原岩基性—超基性岩的背景值较高导致的,此类异常主要是上述4种元素的异常,其他成矿元素并没有同步异常,认为不具有进一步勘查价值。在长英质变质岩出露区Cu异常伴有一定程度的Pb、Zn、Ag、Hg、As异常及明显的Mo、Bi异常(见图18),



a—围岩斜长角闪岩发生绿泥石化,后叠加钾长石化、绿帘石化蚀变 b—钾长石化围岩先后叠加绿帘石化、石膏化蚀变 c—钾长石化蚀变岩中局部保留斜长角闪岩残留体,后有脉状绿帘石化叠加,最后被细脉状石英切穿 d—斜长角闪岩中角闪石蚀变为绿帘石,呈变余层状构造,后被石英细脉切穿 e—斜长角闪岩中角闪石被黝帘石、绿泥石、碳酸盐交代,斜长石表面绢云母化,呈粒状变晶结构 f—孔雀石化蚀变岩中角闪石蚀变成绿帘石、阳起石,呈粒状变晶结构 g—孔雀石化、绿帘石化蚀变岩被石膏脉切穿 h—钾化斜长角闪岩中可见紫色萤石 i—变石英砂岩呈细条带状构造,发育绿帘石化、碳酸盐化,微粒蚀变矿物具条带状特点(探槽TC23)

图14 转井铜矿点围岩蚀变照片

Fig. 14 Photographs of wall rock alteration at the Zhuanjing Copper Mine

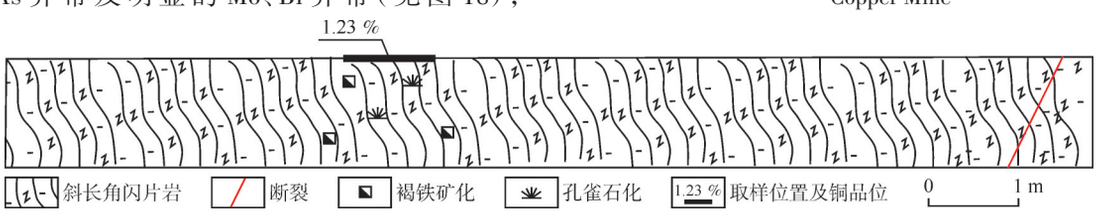
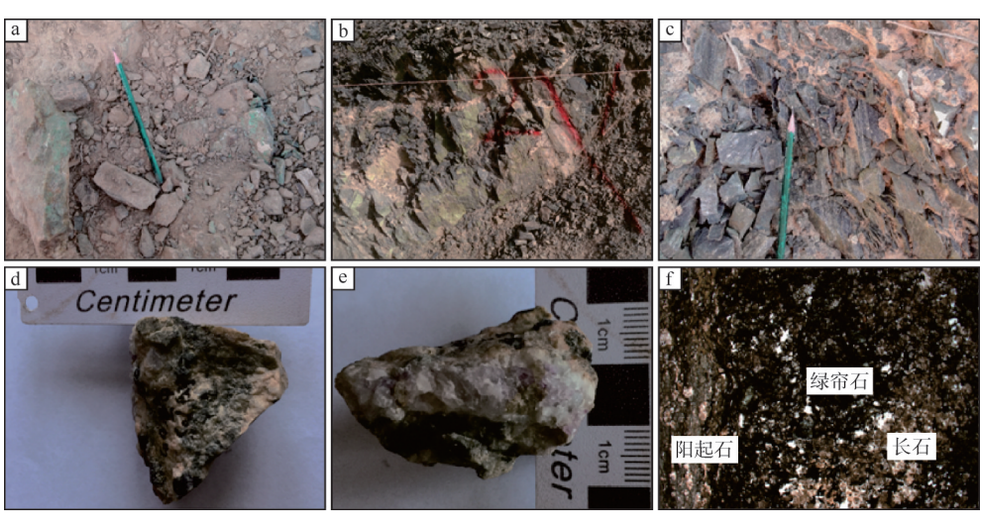


图15 转井东铜矿点探槽TC28素描图

Fig. 15 Sketch of Trench TC28 at the Zhuanjing East Copper Mine



a—孔雀石化蚀变岩 b—斜长角闪岩中发育绿帘石化 c—绿帘石化斜长角闪岩顶部可见石膏脉 d—斜长角闪岩中钾长石化蚀变发育 e—钾化斜长角闪岩中紫色萤石切穿石英脉 f—斜长角闪岩中角闪石被绿帘石、阳起石交代

图16 转井东铜矿矿石与围岩蚀变照片

Fig. 16 Photographs of ore and wall rock alteration at the Zhuanjing East Copper Mine

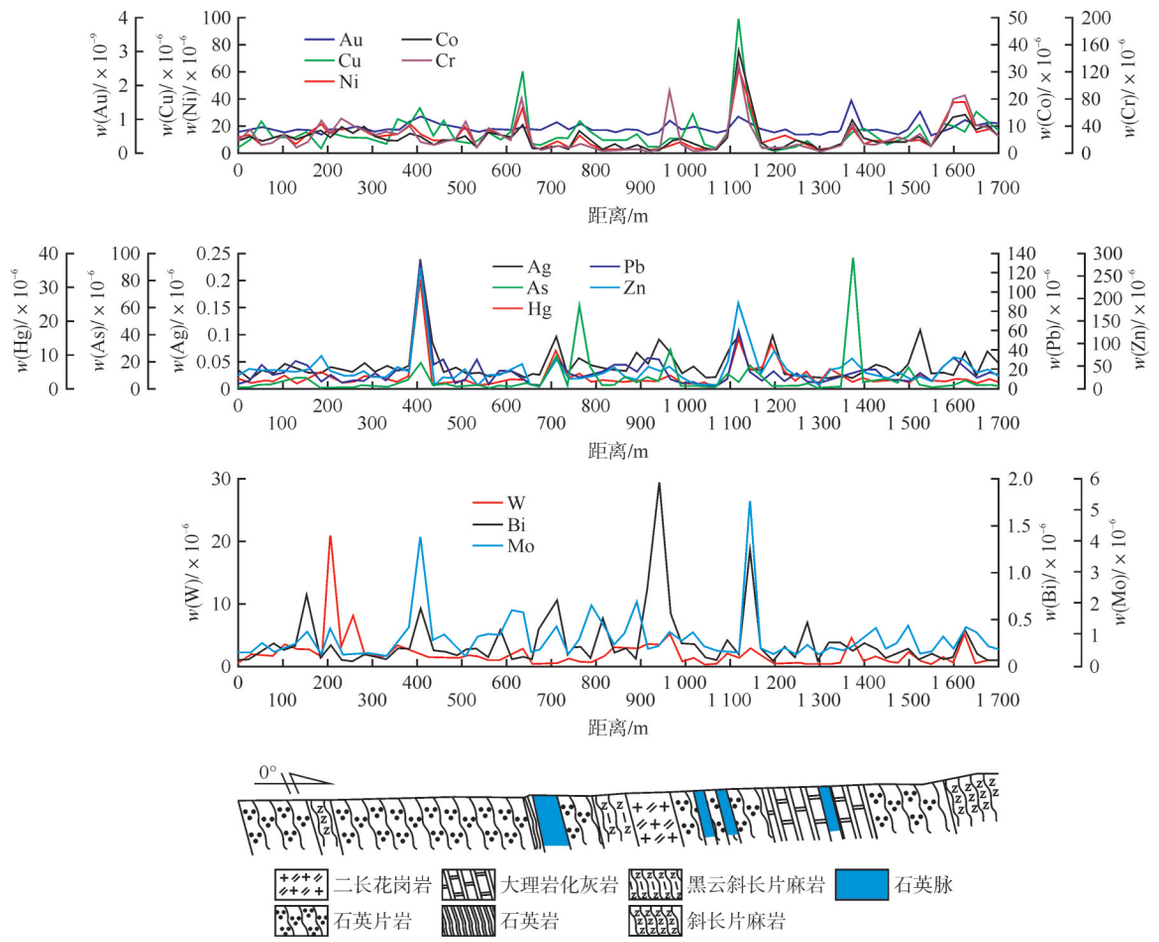


图 17　研究区 DP05 地球化学剖面图

Fig. 17　Geochemical profile of the study area DP05

与 Pb、Cd、Zn、Mo 异常线性关系较好，与热液脉型铜矿床元素异常特征类似[38]，铜矿普遍发育的绿帘石化、钾化蚀变指示成矿温度较高。因此，综合认为新发现的 4 处铜矿点类型可能是岩浆热液脉型。

同时，研究发现矿致异常多为组合异常，如 Au-Sn-W-Bi、W-Pb-Zn-Ag-(Mo)。其中，Au 异常与 W、Sn、Bi 异常套合性较好，Cu、Mo、Pb、Zn、As 亦有微弱异常显示(见图 18)。新发现的红星山金矿点具低温矿床地质特征(如方铅矿、石英、碳酸盐晶洞、地表铁帽等)，Au 与 Ag、Pb、Zn 具有弱正相关关系(见图 21)，且 Au 与 W、Mo 并没有明显线性关系(见图 21)。综合认为，该区金成矿可能是斑岩型成矿系统的一部分，即浅成低温热液型。

Pb 异常多伴生 Zn 异常，以及微弱的 Ag、Mo 异常(见图 17)，Pb 与 Zn 线性关系较好，与 Ag、W、Mo 也具有弱线性关系(见图 22)，但 Ag 异常并没有伴生 Pb 异常(见图 17、图 19)，说明二者为 2 个成矿体系，即铅矿化伴随弱 Ag 异常，银矿化没有伴生 Pb 异常。Pb 异常伴随弱的 Mo 异常，说明新发现铅矿可能是钼成矿系统的远端端元。Mo 与 W 线性关系较差(见图 22)，Mo 异常也鲜有 W、Sn(见图 17)，指示研究区 Mo 与 W、Sn 不属于同一个成矿系统。而 W 与 Sn 线性关系较好(见图 22)，二者也多相伴生异常(见图 18)，且有强的 Au 异常及弱的 Pb、Zn 异常(见图 18)，结合异常区在石炭纪斑岩附近，暗示研究区可能存在一个钨-锡(-金)的斑岩成矿系统，铅成矿可能是该成矿系统的远端部分。

3.2　找矿方向

研究区周边已经发现中温热液型金窝子金矿床、小白石头钼矿床、明锡山钨锡矿床、双沟山铜镍矿、白石渡银矿床等[22,39-42]，具有金、钼、钨、锡、铜勘查潜力。结合本研究认识，建议未来在研究区北部星星峡岩群斜长角闪岩出露部位开展铜矿勘查工作，尤其是绿帘石化+角闪石化蚀变组合出现，应高度关注，乳白色石英脉中若有网脉状烟灰色石英-黄铜矿-黄铁矿出现，亦可以作为潜在勘查目标。卡瓦布拉克岩群中韧性剪切带出现部位应引起关注，尤其是铅、锌(银)氧化矿出现部位有铅勘查潜力。星星峡岩群中有较多乳白色石英脉出露，若出现方铅矿+黄铁矿组合及网脉状烟灰色石英，尤其是顶部铁帽出现，可以作为金勘查对象。同时，石炭纪斑岩周边可能存在斑岩型钨-锡及钼矿，需要开展进一步研究、勘查工作。

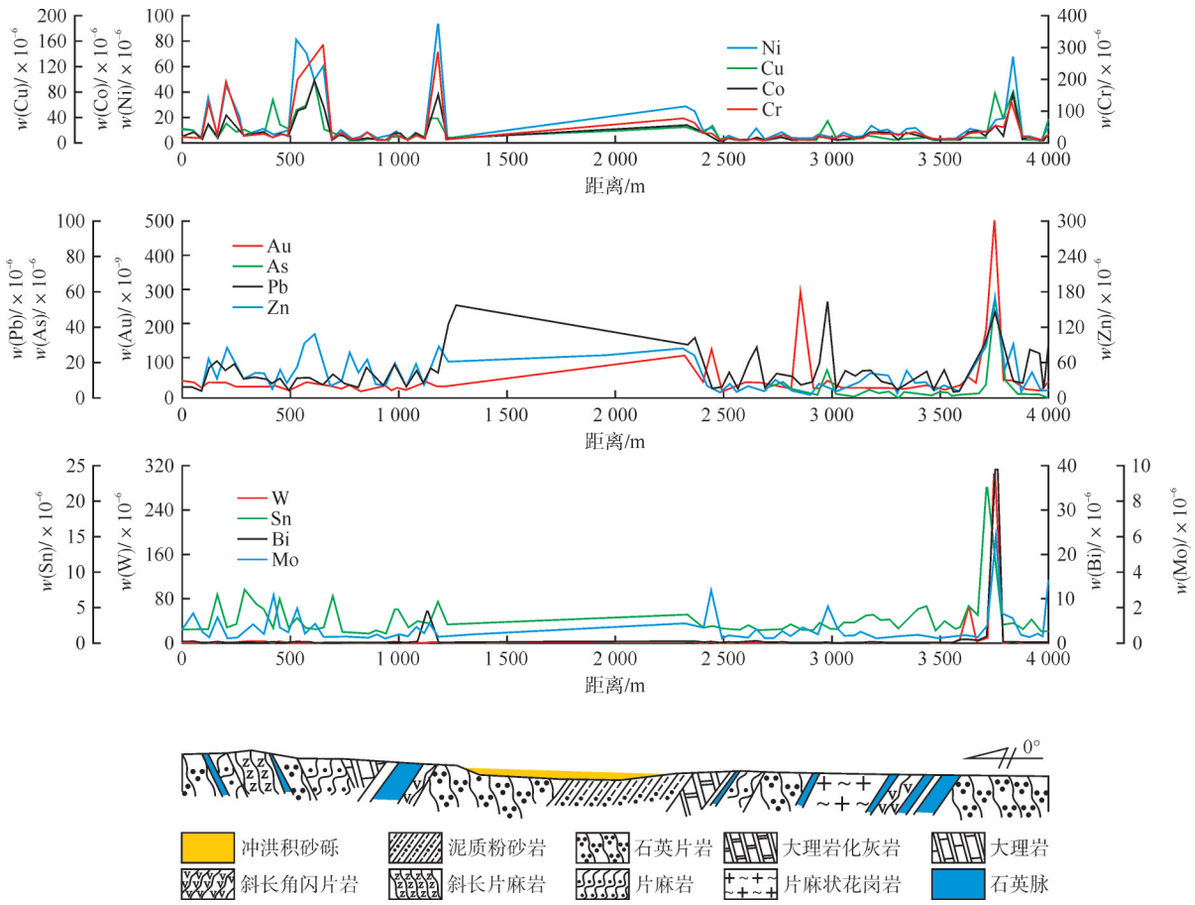


图 18 研究区 DP06 地球化学剖面图

Fig. 18 Geochemical profile DP06 of the study area

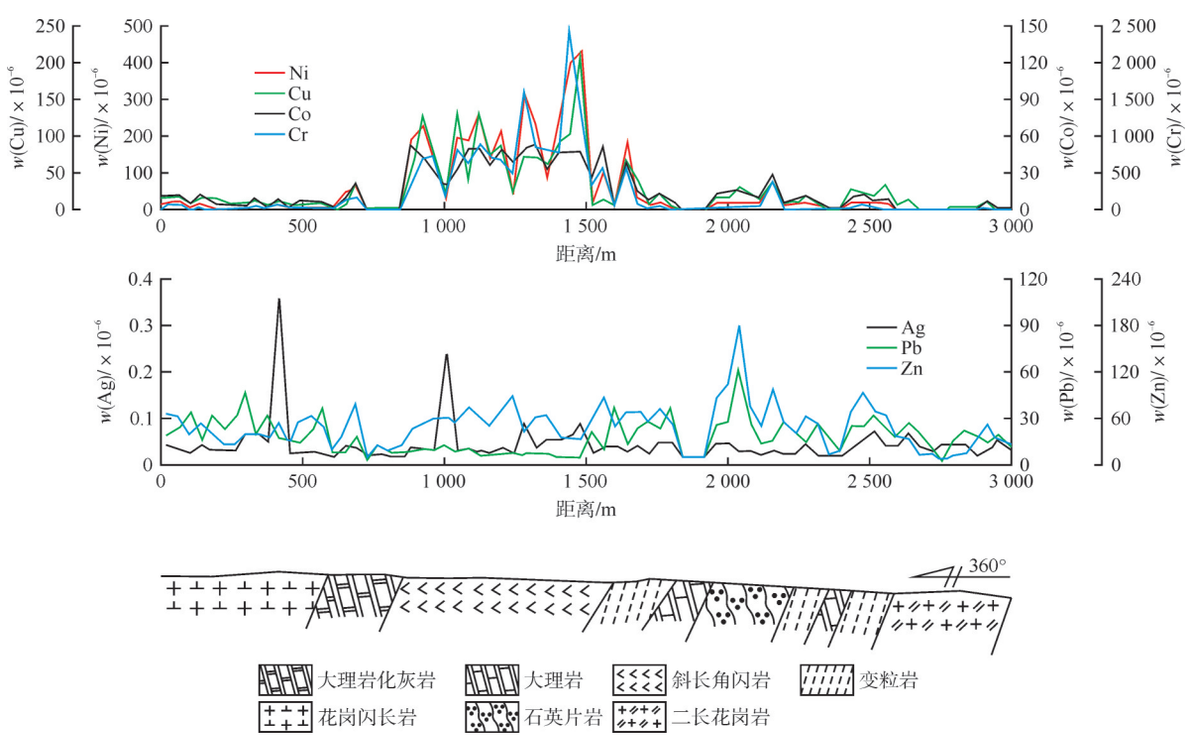


图 19 研究区 DP07 地球化学剖面图

Fig. 19 Geochemical profile of the study area DP07

4 结 论

1)通过勘查工作,新发现金矿点 1 处、铅矿床 1 处、铜矿点 4 处。

2)星星峡东山地区浅成低温热液型金矿可能是斑岩成矿系统的一部分,铜成矿类型可能是岩浆热液

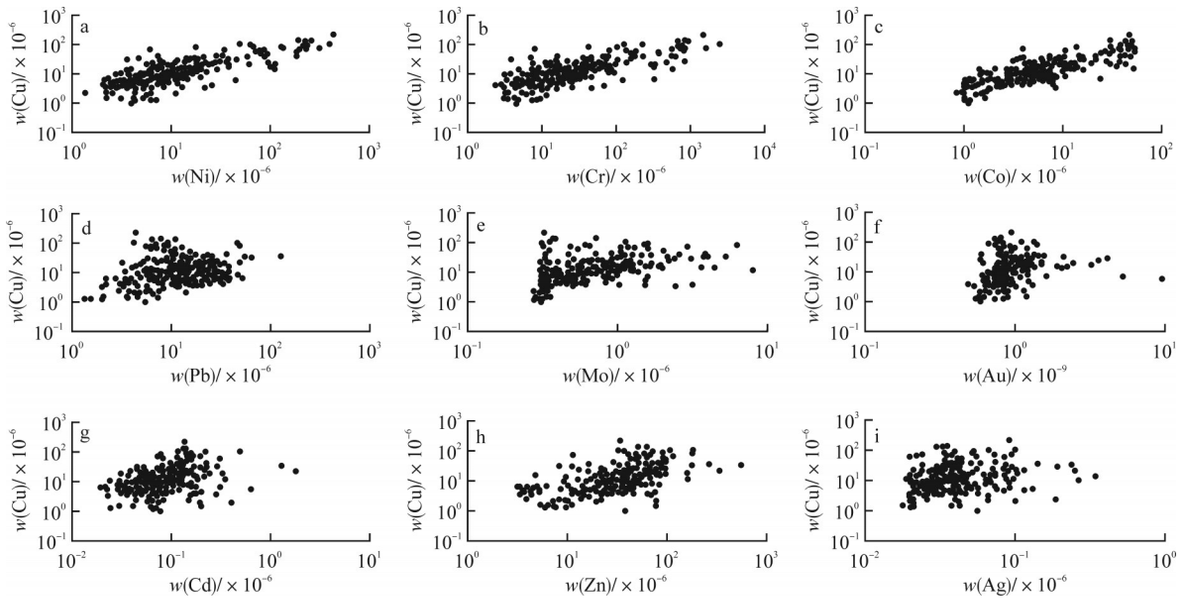


图20　研究区 Cu–成矿元素协变图解

Fig. 20　Covariance diagram of Cu–ore-forming elements in the study area

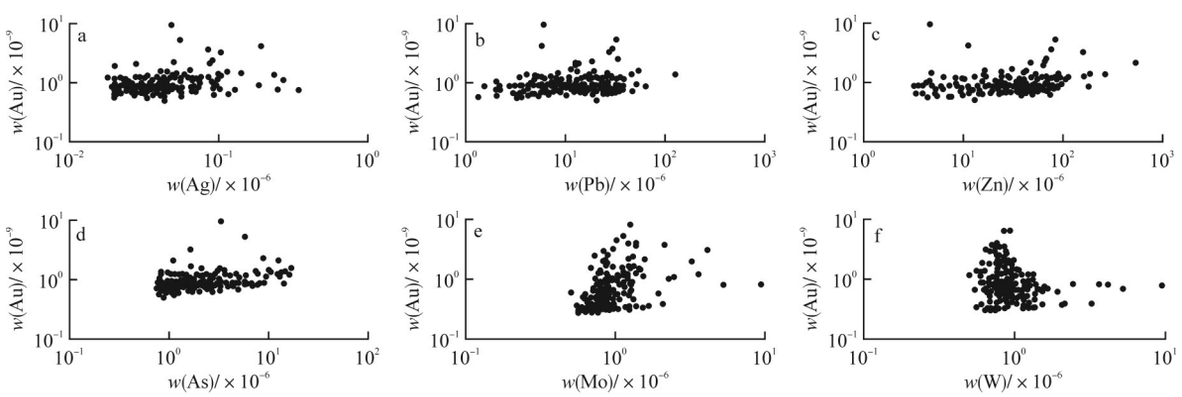


图21　研究区 Au–成矿元素协变图解

Fig. 21　Covariance diagram of Au–ore-forming elements in the study area

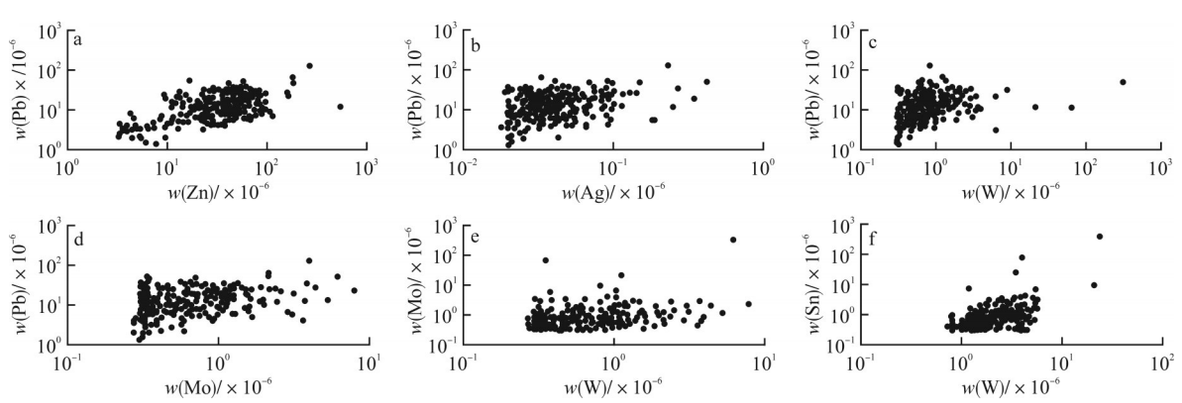


图22　研究区 Pb、W–成矿元素协变图解

Fig. 22　Covariance diagram of Pb, W–ore-forming elements in the study area

脉型；新发现的铅矿床可能是钼成矿系统的远端端元。

3）星星峡东山地区具有金、钼、钨、锡、铜勘查潜力，斑岩型钨–锡及钼矿为进一步勘查重点。

［参 考 文 献］

［1］ 陈喜峰. 全球金矿资源分布特征、勘查开发格局及展望[J]. 中国矿业，2024，33(10)：64–73.

［2］ 陈喜峰，李慎斌，张朋，等. 亚洲大陆矿产资源禀赋、矿业开发格局及合作前景展望[J]. 矿产勘查，2024，15(4)：680–692.

［3］ DENG J，WANG Q F. Gold mineralization in China：Metallogenic provinces，deposit types and tectonic framework [J]. Gondwana Research，2016，36：219–274.

［4］ 贺昕宇，胡龙华，林博磊，等. 中国铟资源分布情况、勘查开发进

展与建议[J].中国矿业,2025,34(2):284-296.
[5] 王义天,刘俊辰,毛景文.3种主要类型金矿床成矿特征、成矿条件及找矿意义[J].黄金,2020,41(9):12-21.
[6] 叶锦华,梅燕雄,陈秀法,等.再论滞后成矿——全球金属成矿演化的重要特征[J].矿产勘查,2024,15(11):1 991-2 007.
[7] SONG M C,DING Z J,ZHANG J J,et al.Geology and mineralization of the Sanshandao supergiant gold deposit (1 200 t) in the Jiaodong Peninsula, China: A review[J].China Geology,2021,4(4):686-719.
[8] WANG C M,DENG J,BAGAS L,et al.Origin and classification of the Late Triassic Huaishuping gold deposit in the eastern part of the Qinling-Dabie Orogen,China:Implications for gold metallogeny[J].Mineralium Deposita,2021,56(4):725-742.
[9] 丁威成,杨志鹏,华北,等.新疆塔乌尔别克金矿矿床地质及稳定同位素地球化学特征[J].地质找矿论丛,2024,39(1):9-18.
[10] 谭文娟,李文渊,高永宝,等.中国大陆古生代成矿作用及特征[J].矿产勘查,2024,15(11):2 019-2 030.
[11] 张星培,董云涛,赵成峰,等.哀牢山南段长安金矿区基性脉岩成岩时代、岩石成因及其与金成矿关系:深边部勘查启示[J].矿产勘查,2024,15(1):24-40.
[12] 王庆飞,邓军,赵鹤森,等.造山型金矿研究进展:兼论中国造山型金成矿作用[J].地球科学,2019,44(6):2 155-2 186.
[13] 郎学聪,韩效斌,支元栋,等.新疆东天山康古尔一带金矿地质特征及成矿机制[J].地质找矿论丛,2024,39(2):177-185.
[14] 康鹏宇,冯爱平,刘传朋,等.新疆大草湖地区水系沉积物测量地球化学特征及找矿方向[J].山东国土资源,2020,36(4):22-30.
[15] 陈钧渝,沈鸿杰,颜伟裕.中天山狼牙泉铅锌矿床闪锌矿LA-ICP-MS微量元素特征对矿床成因的指示意义[J].矿产勘查,2023,14(3):377-391.
[16] 王志强,杨建锋,石天池,等.新疆托克逊县乌尔沟地区水系沉积物地球化学特征及找矿模型[J].黄金,2022,43(7):9-16,21.
[17] 刘洋,徐飞,柯国秋,等.地-井五方位TEM在新疆东天山月牙湾铜镍矿床勘查中的应用[J].矿产勘查,2023,14(9):1 676-1 682.
[18] 管诰,田朝江,方同辉,等.新疆哈密市铜鱼梁铜矿床地质特征及找矿方向[J].矿产勘查,2023,14(8):1 379-1 387.
[19] 贺昕宇,方同辉,杨自安,等.东天山星星峡-红柳井地区二叠纪A型花岗质岩石成因及构造意义[J].地球科学,2024,49(9):3 089-3 105.
[20] 毛红伟,梁孝伟,万生楠,等.新疆南天山乌宗布拉克铅锌矿床地质特征及矿床成因探讨[J].地质找矿论丛,2024,39(1):1-8.
[21] 梅燕雄,裴荣富,张金良,等.中国矿产资源经济区划[J].矿产勘查,2024,15(11):1 965-1 973.
[22] 高永伟,曹新志,张旺生,等.新疆北山金窝子金矿床断裂构造控矿作用[J].黄金,2012,33(4):9-12.
[23] 蔡雨顺.新疆东天山红石金矿矿床地球化学特征及成因研究[D].北京:中国地质大学(北京),2019.
[24] 肖文进,张忠义,侯朝勇,等.新疆哈密黑山金矿物化探异常特征及找矿预测[J].矿产勘查,2021,12(7):1 587-1 594.
[25] 马全良.东天山哈密地区红石梁金矿成矿作用研究[D].西安:长安大学,2020.
[26] 高俊宝,王璐,甘继军,等.新疆东天山孔雀沟金矿床地质特征及找矿勘查意义[J].矿产勘查,2024,15(12):2 216-2 225.
[27] 毛启贵,李伟,吕晓强,等.东天山天运金矿的发现及意义[J].矿产勘查,2021,12(4):891-899.
[28] 何跃,蒋忠祥,杨有生,等.新疆哈密宝东金矿铜矿地质、地球物理特征及找矿分析[J].西部探矿工程,2024,36(5):171-176.
[29] 贺昕宇,方同辉,薄贺天,等.东天山东段国宝山晚二叠世—中三叠世花岗质岩石成因与构造意义——年代学和地球化学约束[J].地质力学学报,2022,28(1):126-142.
[30] 崔玉宝,李旭,王新录,等.新疆博格达晚石炭世构造-岩浆活动:来自基性侵入岩地球化学、年代学约束[J].矿产勘查,2023,14(3):335-347.
[31] 郎朋林,付丽娟,齐松,等.南天山库米什地区孔雀沟岩体年代学、岩石成因及地质意义[J].黄金,2023,44(10):63-70.
[32] 张进,曲军峰,赵衡,等.中亚造山带中部大型韧性走滑双重构造的形成、机制与涵义[J].矿产勘查,2023,14(4):519-540.
[33] 姜文婷,李欢,李小罗.甘肃狼娃山铁矿床火山岩地球化学特征及其对铁成矿的制约[J].矿产勘查,2024,15(4):550-566.
[34] 赵海波,张倩,王红杰,等.甘肃北山草湖岩体二叠纪石英闪长岩地球化学、年代学及其地质意义[J].矿产勘查,2024,15(8):1 379-1 390.
[35] 贺昕宇,方同辉,刘海鹏,等.东天山星星峡地区星星峡岩群的划分、地球化学特征与地质意义[J].矿产勘查,2021,12(7):1 519-1 529.
[36] XIAO W J,HUANG B C,HAN C M,et al.A Review of the western part of the Altaids: A key to understanding the architecture of accretionary orogens[J].Gondwana Research,2010,18(2/3):253-273.
[37] ZHANG X R,ZHAO G C,EIZENHÖFER P R,et al.Tectonic transition from late carboniferous subduction to early Permian post-collisional extension in the Eastern Tianshan,NW China:Insights from geochronology and geochemistry of mafic-intermediate intrusions[J].Lithos,2016,256/257:269-281.
[38] 席明杰,马生明,刘崇民,等.内蒙古准苏吉花铜钼矿区土壤地球化学异常特征与评价[J].地质与勘探,2013,49(2):337-345.
[39] DENG X H,CHEN Y J,SANTOSH M, et al.U-Pb zircon, Re-Os molybdenite geochronology and Rb-Sr geochemistry from the Xiaobaishitou W(-Mo) deposit:Implications for Triassic tectonic setting in eastern Tianshan, NW China[J].Ore Geology Reviews, 2017, 80:332-351.
[40] 刁海忠,杨小三,王薇.新疆明锡山地区锡矿成矿条件分析[J].山东国土资源,2014,30(1):23-27.
[41] 王富贵.甘肃省肃北县双沟山等两幅1:5万矿产远景调查新进展[J].黄金,2024,45(1):82-86.
[42] 贺昕宇,方同辉,胡龙华,等.东天山白石渡银矿床的发现及其地球化学特征[J].黄金,2024,45(11):18-26.

(下转第126页)

[19] 王玉,尹召凯,王君伟.胶西北焦家—仓上地区深部地球物理探测综合应用[J].黄金,2023,44(7):55-60.

[20] 殷保全.瞬变电磁响应曲线圈定矽卡岩型铜多金属矿的应用效果[J].世界有色金属,2019(11):89-90.

Research and application of dynamic transient electromagnetic technology in detecting concealed water hazards at Jiama copper polymetallic mine

Mima Dunzhu[1], Liu Baixiang[2], Li Yajun[1], Yin Jiankang[1], Li Dong[1], Yao Zhizhong[1], Li Fulong[1]

(1. *Xizang Huatailong Mining Development Co., Ltd.*; 2. *CCTEG Chongqing Research Institute*)

Abstract: The Jiama copper polymetallic mine, one of China's highest-altitude and largest porphyry copper mines, faces dual threats of concealed water-conducting structures and karst fissure water as mining depths exceed 4 300 m. This study optimizes the application of dynamic transient electromagnetic (TEM) detection technology for the mine and systematically develops precise detection methods for concealed water hazards. By analyzing the characteristics of concealed water hazards, forward models of typical aquifers were established, and 3D numerical simulations were conducted to investigate induced electric field propagation and response characteristics. The dynamic TEM imaging algorithm was improved to achieve high-precision, real-time interpretation of underground TEM signals. Parameter tests involving different coil configurations, transmitting currents, stacking numbers, and detection frequencies were carried out to determine the optimal detection parameters for the Jiama copper polymetallic mine. Field tests demonstrated that the technology enabled accurate extraction of low-resistivity anomalies(apparent resistivity <6 Ω·m) within high-resistivity surrounding rock backgrounds, rapidly locating concealed water hazards. The results provide a robust geological safeguard for safe mining operations at Jiama copper polymetallic mine and open new avenues for water hazard prevention and control.

Keywords: concealed water hazard; transient electromagnetic method; typical water-bearing bodies; 3D forward modeling; parameter experiments; dynamic imaging

(上接第46页)

Geological characteristics and prospecting directions of newly discovered gold (polymetallic) mineralization in the Dongshan area of the Xinxingxia region, Eastern Tianshan

He Xinyu[1,2], Fu Yu[1,2], Du Haichao[3], Ding Xiaolei[2], Bo Hetian[4], Wang Hongwei[1,2], Zhang Chi[1,5], Li Qiang[1,6], Li Si[2], Fang Tonghui[7], Hou Dehua[6], Cui Kunlei[5], Guo Dongbao[1]

(1. *Key Laboratory of Strategic Mineral Resources of the Upper Yellow River, Ministry of Natural Resources*;
2. *China Non-ferrous Metals Resource Geological Survey*; 3. *China Gold Group Geology Co., Ltd.*;
4. *Henan Fifth Geological Brigade Limited Company*; 5. *Henan Academy of Geology*;
6. *Regional Geological Survey Institute of Hebei Province*;
7. *Sino-Zijin Resources (Beijing) Co., Ltd.*)

Abstract: As one of the world's largest gold producer and consumer, China faces a high dependence on imported gold resources, making intensified exploration and development efforts essential. The Eastern Tianshan region, where the Dongshan area of Xinxingxia is located, serves as a key mineral resource base in Xinjiang and exhibits significant potential for gold and polymetallic mineralization. Based on a mineral geological survey, this study focuses on the Dongshan area and integrates field investigation, trenching, and geochemical analysis. New discoveries include the Hongxingshan gold occurrence, the Dongqianluzi Lead Deposit, and 4 copper mineralized sites (Zhuanjing, Zhuanjing East, Dongshan, and Dongshan East). The findings suggest that the gold mineralization in the Dongshan area may be part of a porphyry-related system, likely representing an epithermal low-temperature hydrothermal type. The copper mineralization is inferred to be of a magmatic-hydrothermal vein type, while the newly identified lead mineralization may represent a distal expression of a molybdenum system. Overall, the Dongshan area of Xinxingxia shows significant exploration potential for gold, molybdenum, tungsten, tin, and copper, and may also host porphyry-type W-Sn and Mo deposits.

Keywords: gold polymetallic deposit; mineral exploration; geochemistry; Dongshan area of Xinxingxia region; Eastern Tianshan; porphyry type; prospecting direction