

海连富, 刘金科, 李海峰, 等. 宁夏卫宁北山多金属矿床地质特征与找矿方向 [J]. 湖南科技大学学报(自然科学版), 2020, 35(1): 30-39. doi:10.13582/j.cnki.1672-9102.2020.01.005

Hai L F, Liu J K, Li H F, et al. Geological Characteristics and Prospecting Directing of Weiningbeishan Polymetallic Deposit, Ningxia [J]. Journal of Hunan University of Science and Technology (Natural Science Edition), 2020, 35(1): 30-39. doi: 10.13582/j.cnki.1672-9102.2020.01.005

宁夏卫宁北山多金属矿床地质特征与找矿方向

海连富^{1,2}, 刘金科^{2*}, 李海峰², 路学忠², 柴德亮²

(1. 中国地质大学(武汉)资源学院, 湖北 武汉 430074; 2. 宁夏矿产地质调查院, 宁夏 银川 750021)

摘要:通过对宁夏卫宁北山地区多金属矿床地质特征的认识,综合前人研究成果,深入分析了多金属矿的成矿规律,依据物化探、磁异常等信息,建立了找矿标志.研究发现:卫宁北山地区多金属矿主要产于早石炭世前黑山组、臭牛沟组下段及晚石炭世土坡组第一、第二段中.在以南北向挤压为主作用下,形成了控制该地区构造格局和演化的近东西向展布的断裂和褶皱,以及多金属矿的空间分布.多金属矿主要产于规模较大构造破碎带的次级构造及裂隙中,矿体受构造作用控制明显.该地区多金属矿的形成主要与燕山期侵入的中酸性岩浆关系密切,矿床类型可能为中-低温热液矿床.同时,卫宁北山地区近东西向的次级构造、“硅钙面”附近以及规模较大褶皱的转折端部位是寻找多金属矿的较有利部位,金场子及二人山等矿段,物化探、磁异常明显,在其深部具有很大的找矿潜力.

关键词:卫宁北山; 多金属矿; 成矿规律; 找矿方向

中图分类号: P618; P613 文献标志码: A 文章编号: 1672-9102(2020)01-0030-10

Geological Characteristics and Prospecting Directing of Weiningbeishan Polymetallic Deposit, Ningxia

Hai Lianfu^{1,2}, Liu Jinke², Li Haifeng², Lu Xuezhong², Chai Deliang²

(1. College of Resources, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China;

2. Ningxia Mineral and Geological Survey Institute, Yinchuan 750021, China)

Abstract: Based on the understanding of geological characteristics and the information obtained from previous studies and geophysical and geochemical exploration, the metallogenic regularities of polymetallic deposit and the prospecting criteria were analyzed in detail. The polymetallic deposits were mainly produced in Qianheishan, lower segment of the Chouniugou and member 1 and 2 of Tupo formation in Carboniferous. The region tectonic pattern and evolution, as well as the spatial distribution of the polymetallic deposit, were controlled by the near East-West fractures and folds formed by North-South extrusion. The ore bodies were mainly produced in the secondary structures and fractures of the larger structural broken belt, which were controlled by the structures obviously. The formation of polymetallic deposit was closely related to the intrusion of acidic magma in Yanshan period, and the genetic type of deposit was medium-low temperature hydrothermal deposit. The near East-West

收稿日期: 2018-05-11

基金项目: 宁夏回族自治区重点研发计划重大(重点)项目(2018BFG02013); 宁夏地质矿产资源勘查开发创新团队项目(2017-1-4)

* 通信作者, E-mail: hailianfu@163.com

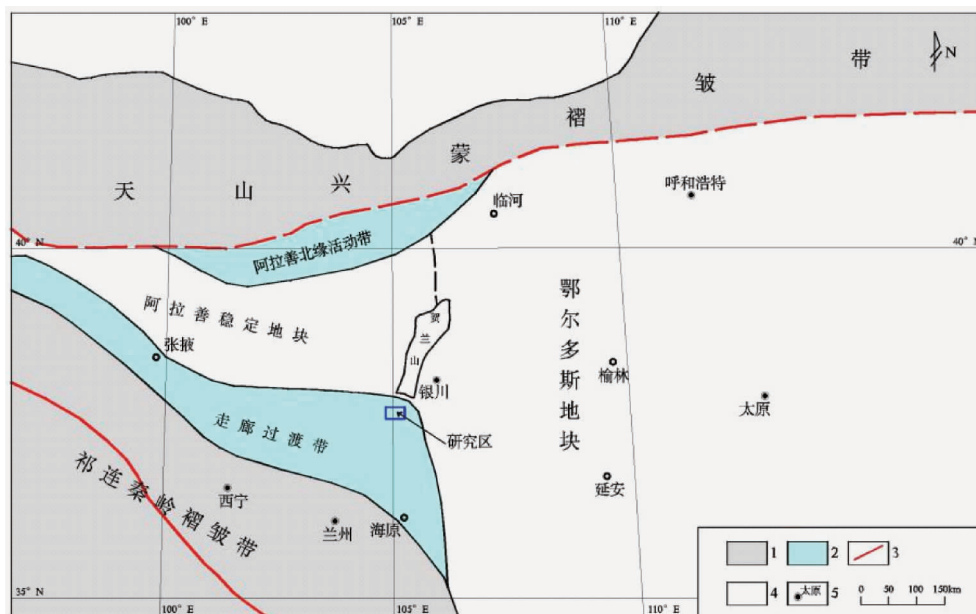
secondary fractures, hinge zone of the larger folds and the near " silicon calcium surface " were the favorable position for ore formation. The geophysical and geochemical information and magnetic anomalies were obvious in Er' renshan-Jinchangzi, which was a great potential position for prospecting.

Keywords: Weiningbeishan; polymetallic deposit; mineralization regularity; prospecting direction

卫宁北山地区是宁夏境内最有望实现找矿突破的多金属矿成矿区.目前,该地区已发现众多 Au, Ag, Cu, Pb, Zn, Fe, Co 等矿点或矿化点^[1],具有得天独厚的成矿背景和成矿条件^[2-6].其中,西段的二人山-黄石坡沟-金场子-大铜沟-照壁山成矿带是卫宁北山地区最重要的成矿带^[7-8].一直以来,专家学者对于该地区多金属矿的矿床成因类型有各种不同见解,如徐国风^[7]、刘志坚^[9]和李小东^[10]等人认为,多金属矿的形成主要与石炭纪和泥盆纪沉积地层有关,后又经构造及热液作用改造,矿床类型属沉积-构造-热液改造型矿床^[6-7,9-10];而刘勇等^[1]、艾宁等^[11]、杨军宁等^[12]人认为,多金属矿的形成主要与二人山-黄石坡沟-金场子一带地表出露的闪长玢岩脉有关,推测在卫宁北山地区深部可能存在一个规模较大的隐伏的中酸性岩体,该中酸性岩体可能就是多金属矿形成的矿源和中心^[1,5,11-12],据此认为,多金属矿成因类型可能为浅成中-低温热液矿床^[1,5,11-12].准确认识卫宁北山地区多金属矿的矿床成因类型,对于了解该地区多金属矿的成矿规律及进行成矿预测,甚至是找矿工作具有非常重要的指导作用.为此,本文从卫宁北山地区成矿系统入手,结合地质、物化探、磁异常等信息,综合分析该地区多金属矿成矿规律,总结矿床成因类型,建立多金属矿找矿标志,为进一步实现卫宁北山地区找矿突破提供新的思路.

1 矿区地质

卫宁北山地区大地构造位置位于华北陆块之鄂尔多斯地块西缘,祁连秦岭褶皱带北侧走廊过渡带东端,其北为阿拉善稳定地块^[13-15](见图1).该地区是中生代中国东部与新生代中国西部构造分界^[2-3,6]之六盘山-贺兰山南北向构造带的重要组成部分^[8],又是新生代以来,青藏高原东北缘向北方方向突出的弧形构造带^[6,14].根据成矿地质条件、矿物组合特征等,将研究区划分为2个成矿带,其中东段为铜铁沟-土窑 Cu(Fe)成矿带,西段为二人山-黄石坡沟-金场子-大铜沟-照壁山 Au, Ag, Cu, Pb, Zn, Fe 多金属成矿带^[6],目前,西段研究和开发程度相对较高.



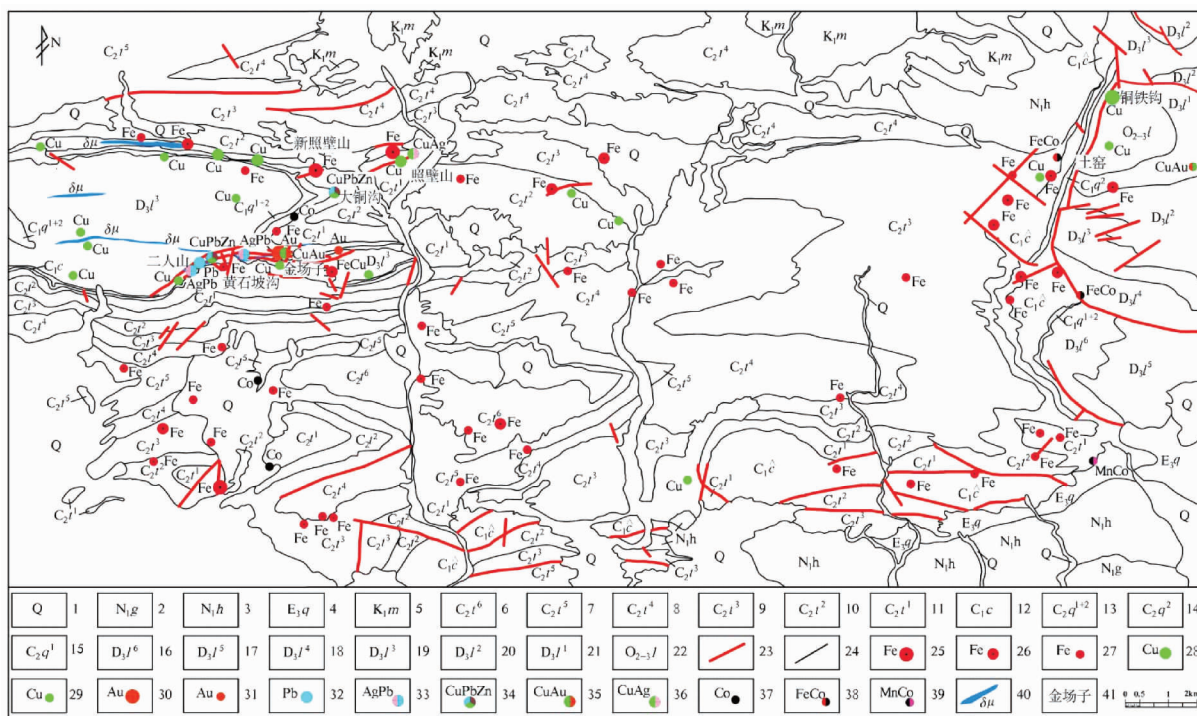
1-褶皱带;2-陆块边缘活动带;3-断裂带;4-稳定地块;5-地名

图1 研究区大地构造位置(底图据文献[6,16]修编)

1.1 地层

卫宁北山地区出露地层主要有中晚奥陶世狼嘴子组($O_{2-3}l$)、晚泥盆世老君山组(D_3l)、早石炭世前黑山组(C_1q)和臭牛沟组(C_1c)、晚石炭世土坡组(C_2t)及第四系(Q)^[6](见图2).

中晚奥陶世狼嘴子组(O₂₋₃l)主要分布于研究区东部土窑一带,岩性主要为绿色、灰绿色变质长石石英砂岩、板岩、千枚岩及硅质岩、泥灰岩等,构成了本区褶皱基地,厚度 693 m.晚泥盆世老君山组(D₃l)共分为 6 段,主要分布于大铜沟西部及土窑-铜铁沟东部一带,岩性主要为长石石英砂岩、粉砂岩、泥岩、粉砂质泥岩和页岩等,具磨拉石建造特点,与下伏奥陶世狼嘴子组呈不整合接触.早石炭世前黑山组(C₁q)分为 2 段,岩性主要为灰岩、白云质灰岩、粉砂岩夹钙质泥岩、细粒石英砂岩、泥岩和钙质粉砂岩等,为浅海-泻湖相沉积环境,与下伏老君山组呈角度不整合接触^[6].早石炭世臭牛沟组(C₂c)分为 3 段,下段岩性以长石石英砂岩夹微晶灰岩、泥质砾屑灰岩为主,中段、上段主要为长石石英砂岩夹粉砂岩、石英砂岩,与下伏前黑山组呈整合接触,沉积环境属浅海-潮坪相.晚石炭世土坡组(C₂t)共分为 6 段,在研究区内大面积出露,岩性主要为石英岩状砂岩、泥质粉砂岩、页岩、泥岩等,板状、槽状交错层理发育,与下伏臭牛沟组呈平行不整合接触,属潮坪-泻湖相沉积环境.



1-第四系;2-新近纪干河沟组;3-新近纪红柳沟组;4-古近纪清水营组;5-白垩纪庙湖山组;6-石炭纪土坡组第六段;7-石炭纪土坡组第五段;8-石炭纪土坡组第四段;9-石炭纪土坡组第三段;10-石炭纪土坡组第二段;11-石炭纪土坡组第一段;12-石炭纪臭牛沟组;13-石炭纪前黑山组下段与上段并层;14-石炭纪前黑山组上段;15-石炭纪前黑山组下段;16-泥盆纪老君山组第六段;17-泥盆纪老君山组第五段;18-泥盆纪老君山组第四段;19-泥盆纪老君山组第三段;20-泥盆纪老君山组第二段;21-泥盆纪老君山组第一段;22-奥陶纪狼嘴子组;23-断层;24-地质界线;25-铁矿床(小型);26-铁矿点;27-铁矿化点;28-铜矿点;29-铜矿化点;30-金矿床(小型);31-金矿化点;32-铅矿点;33-银、铅矿点;34-铜、铅、锌矿点;35-铜、金矿点;36-铜、银矿点;37-钴矿化点;38-铁、钴矿化点;39-锰、钴矿化点;40-闪长玢岩脉;44-地名

图2 卫宁北山地区成矿平面(底图据文献[12]修编)

1.2 构造

卫宁北山地区为中国西部北西向构造带与东部南北向构造带的交汇部位,属稳定陆块与构造活动带接壤部位之构造活动带边缘^[6,17-19].三叠纪末期的印支运动,在大规模碰撞造山后构造背景下,形成了以南北向挤压作用为主呈近东西向展布的断裂和褶皱^[6].近东西向的断裂和褶皱控制了整个卫宁北山地区现有构造格局和演化.

研究区褶皱构造主要有照壁山背斜、大铜沟背斜和向斜、单梁山背斜和向斜、吴家沟背斜及二人山南向斜等,轴向大体均为近 EW 向,轴长最长的大于 4 km,最小的只有 0.5 km 左右.断裂构造规模较大的有 F18, F19 断层破碎带,呈近 EW 向展布,为研究区主要的导矿构造.规模较小的断层主要有近 EW 向、NEE 向和 NW 向 3 组,呈次级构造产出,表现为进一步破碎前期构造破碎带,使前期构造岩块位移明显、角砾岩化.

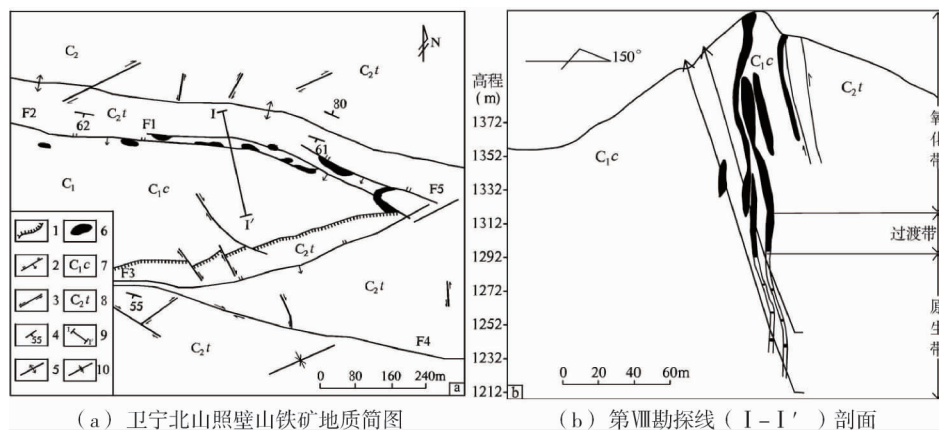
1.3 岩浆岩

研究区岩浆活动微弱,在地表仅见有少量的闪长玢岩脉出露,以及与气液活动有关的重晶石脉、方解石脉和石英脉等.闪长玢岩脉主要分布于二人山-黄石坡沟-金场子一带 F18, F19 断层破碎带及附近地层中^[6],其走向大致与主构造线方向一致(如图 2),规模大小不一,最长的达 2 km 左右,最小的只有 20 m,宽 0.5~7.0 m,多数向南倾.闪长玢岩多呈灰色-灰绿色,结构为变余斑状结构,主要由斜长石斑晶和基质组成,研究区闪长玢岩普遍遭受高岭土化和绢云母化.

2 矿床地质

2.1 照壁山铁矿

照壁山铁矿位于卫宁北山 EW 向构造带北端^[20](如图 2),矿种主要为 Fe,部分地段见有少量的 Cu(孔雀石化).矿区出露地层主要为早石炭世前黑山组(C_{1q})和臭牛沟组(C_{1c})以及晚石炭世土坡组(C_{2t}).区内构造较发育,主体构造为照壁山背斜,轴向约 70°,断裂构造沿背斜两翼顺层分布,呈近 EW 向展布,走向与褶皱轴向基本一致.铁矿体主要产于早石炭世臭牛沟组上段以及晚石炭世土坡组下段的长石石英砂岩、钙质粉砂岩中,主要沿近东西向的 F1, F2 断层破碎带分布.铁矿体多呈网脉状、脉状、似层状、透镜状产出(如图 3),野外也见有少量浸染状矿体.通过资料分析和野外调查,目前在照壁山地区地表共发现 30 余条铁矿体,10 余条地下隐伏矿体,铁矿体长约 10~40 m,最长大于 160 m,厚度 1~3 m,平均 2.1 m,向地下延伸约 15~40 m.铁矿体走向多为北西西向,倾向为北东,倾角较陡,部分矿体倾角达 70°~80°.



1-不整合地质界线;2-逆断层;3-平移断层;4-地层产状;5-背斜轴;6-铁矿体;7-石炭纪臭牛沟组;8-石炭纪土坡组;9-勘探线;10-向斜轴
图 3 照壁山铁矿地质简图及其剖面(据文献[20]修编)

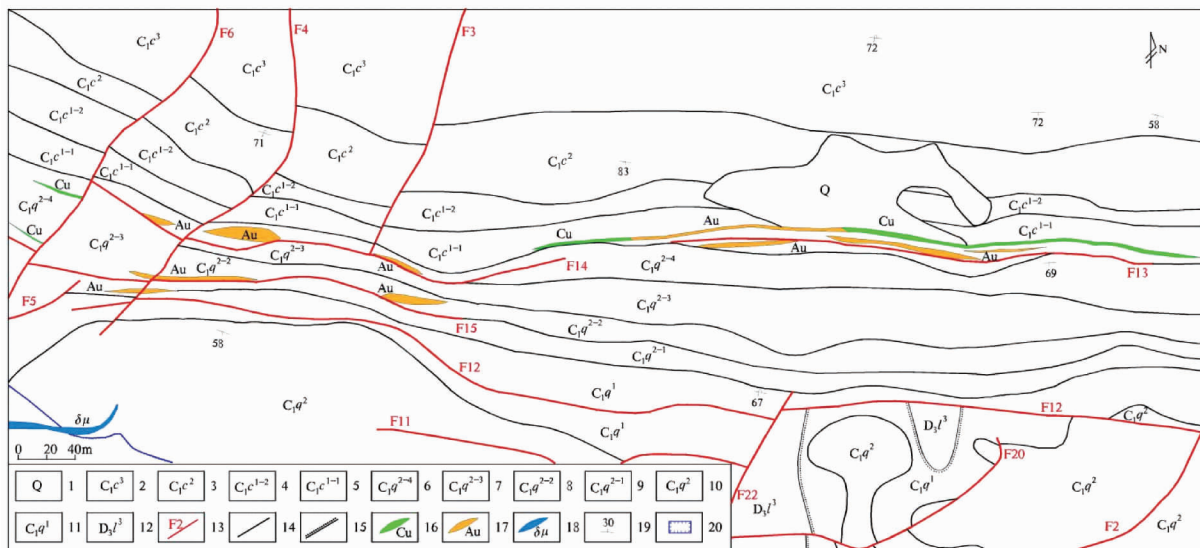
矿石类型主要有原生矿石和氧化矿石两类,其中地表见到褐铁矿等主要为氧化矿石,而原生矿石相对埋深较大,大约在地下 100 m 以深.褐铁矿根据其形成条件,主要有交代式褐铁矿和充填式褐铁矿两种,其中,交代式褐铁矿多数沿着地层层理生长,颜色为红褐色、褐色,构造为蜂窝状、多孔状等;充填式褐铁矿主要沿地层或构造微裂隙充填生长,淋滤空洞较发育.原生矿石主要是菱铁矿,埋深较大,多呈浸染状,矿体颜色主要为灰白色、肉黄色,多具晶簇状结构、斑状结构及它形粗粒结构等,构造主要为土状、蜂窝状、块状、团块状等.浸染状菱铁矿大多与石英组成微小细脉分布于粉砂质泥岩、泥质页岩中.此外,矿石矿物除了上述褐铁矿、菱铁矿外,还见有赤铁矿、水赤铁矿、黄铁矿等,脉石矿物常见的主要有方解石、石英、白云石、云母等.

围岩蚀变由于围岩岩性、矿化程度不同,蚀变类型也有所不同.照壁山地区最主要的蚀变类型主要有褐铁矿化、硅化、碳酸盐化、黄铁矿化等.其中,褐铁矿化分布范围较广,在有矿体分布地方大多都能见到;硅化比较常见,主要呈脉状、细脉状、团块状等分布于 F1 断裂破碎带及其附近.碳酸盐化主要表现为呈方解石团块或细脉密集分布于围岩中,发育程度中等.黄铁矿化主要呈分散状、细粒状分布于岩石碎粒或脉体中,发育程度弱,含量一般小于 1%.

2.2 金场子金矿

金场子金矿位于卫宁北山 EW 向构造带的南端、F19 断层破碎带的北部(如图 2),矿种主要为 Au,此

外,还见有少量的 Cu, Fe(孔雀石化、褐铁矿化发育)等.矿区出露地层主要为早石炭世前黑山组(C_1q)和臭牛沟组(C_1c)以及晚石炭世土坡组(C_2t)^[6].该地区断裂、褶皱构造较发育,断裂主要有近 EW 向和 NEE 向 2 组,其中近 EW 向构造控制了金场子地区地层分布(如图 4).断裂构造主要是由一系列走向和倾向断层组成,其中,走向断层多呈舒缓波状,断层两侧岩层产状较陡,倾向断层常见切割地层或走向断层^[15],主要以 NEE 向为主,具左行走滑剪切断层性质,断层两侧褐铁矿化、赤铁矿化发育.区内岩浆活动较微弱,地表仅见少量的闪长玢岩脉出露,此外,重晶石脉、石英脉、方解石脉等发育.



1-第四系;2-石炭纪臭牛沟组上段;3-石炭纪臭牛沟组中段;4-石炭纪臭牛沟组下段上层;5-石炭纪臭牛沟组下段下层;6-石炭纪前黑山组上段第四层;7-石炭纪前黑山组上段第三层;8-石炭纪前黑山组上段第二层;9-石炭纪前黑山组上段第一层;10-石炭纪前黑山组上段;11-石炭纪前黑山下段;12-泥盆纪老君山组第三段;13-断层及编号;14-地质界线;15-不整合地质界线;16-铜矿体;17-金矿体;18-闪长玢岩脉;19-地层产状;20-膨润土采样

图 4 卫宁北山金场子地区地质简图(据文献[6]修编)

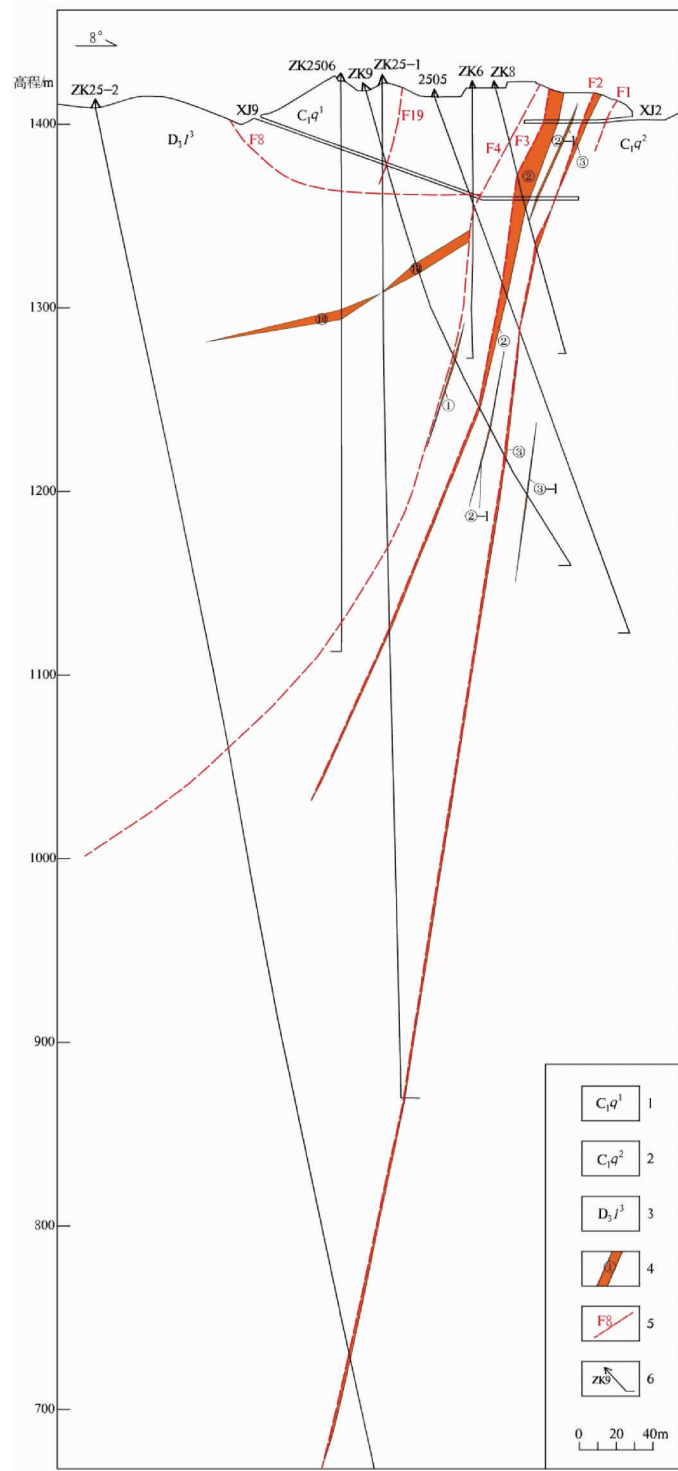
金场子金矿主要赋存于早石炭世前黑山组粉砂岩夹钙质泥岩、细粒石英砂岩、泥岩和钙质粉砂岩中^[6],多呈似层状、脉状和透镜状产出,受断裂构造控制明显(如图 5).矿体长度一般 40~300 m,厚度 0.52~26.00 m,斜深 10~300 m.矿石类型主要有原生矿石和氧化矿石两类,其中,原生矿石主要有砂岩型金矿石和泥岩型金矿石两种,氧化矿石主要有粉砂岩型金矿石和角砾岩型金矿石.氧化矿石多呈紫红色、褐黄色、黄色,一般具角砾状、团块状、土状、多孔状、浸染状和细脉状构造,矿石主要由石英、褐铁矿、方解石组成,次为黄钾铁钒、高岭土等.原生矿石多呈灰白色、黄褐色、浅黄色,构造以浸染状、土状、蜂窝状为主,矿石主要由石英、黄铁矿组成,次为褐铁矿、黄钾铁钒和方解石等.

围岩蚀变主要表现为黄铁矿化、褐铁矿化、黄钾铁矾化和硅化等,其次还有赤铁矿化、高岭土化、碳酸盐化和孔雀石化等^[6].黄铁矿化一般呈细脉状、浸染状分布于构造裂隙及围岩中,褐铁矿化多呈蜂窝状、粉末状及球粒状集合体分布于构造破碎带中,有的呈黄铁矿假象.黄钾铁矾化多与褐铁矿化伴生,多呈黄色粉末或土状集合体^[15].硅化在金场子地区分布最广,特别是在砂岩中最为明显,多呈它形、半自形粒状.硅化、黄钾铁矾化与褐铁矿化伴生发育时,一般都伴有金矿化^[15].

2.3 二人山银多金属矿

二人山银多金属矿位于宁夏卫宁北山 EW 向构造带的南端、F18 断层破碎带的北部(如图 2),矿种主要为 Ag, Pb, Zn 及少量的 Cu, Au 等.矿区出露地层主要有晚泥盆世老君山组(D_3l)、早石炭世前黑山组(C_1q)和臭牛沟组(C_1c).区内构造较发育,主体构造为 F18 断层破碎带及次级构造,构造走向近 EW 向,倾向大部分为 N,倾角较陡,以逆断层和平移断层为主.断层破碎带内围岩破碎,构造角砾发育,胶结类型以泥质、钙质胶结为主.区内岩浆活动较微弱,地表仅见多条闪长玢岩脉出露,此外,石英脉、方解石脉和重晶石脉等较发育.二人山银多金属矿主要赋存于早石炭世前黑山组和臭牛沟组白云质灰岩、长石石英砂岩及粉砂岩夹钙质泥岩中,矿体多呈似层状、透镜状、脉状等分布于 F18 断层破碎带及其次级构造中.此外,在

泥盆系上统老君山组中也见有大量的 Cu 矿化,Cu 矿化主要沿断层破碎带及裂隙分布.根据前人研究成果,此处的 Cu 可能与泥盆系上统老君山组的 Cu 高背景值有关^[5,7,9].矿石矿物主要有褐铁矿、黄钾铁矾、孔雀石、方铅矿、闪锌矿等,次为白铅矿、毒砂、自然银等,脉石矿物主要有石英、方解石、绿泥石、高岭土、绢云母等,经 TC42 探槽揭露,银铅矿厚度 13.4 m,其中 Ag 品位 1.184~67.400 g/t, Pb 品位 0.96%~4.82%.矿石构造以块状构造为主.



1-石炭纪前黑山组下段;2-石炭纪前黑山组上段;3-泥盆纪老君山组第三段;4-金矿体及编号;5-断层及编号;6-钻孔及编号

图 5 金场子地区第 25 勘探线剖面

该地区见有多条闪长玢岩脉,走向 70°~130°,多向 N 倾,局部倾向 S,倾角 55°~74°,出露长度 1.0~3.3 km,脉宽 0.3~5.0 m 不等^[6].岩石一般呈浅灰绿色、灰绿色,在有风化的地方风化面呈灰白色带褐

红色、褐色斑点,结构为斑状隐晶,块状构造.闪长玢岩矿物成分以斜长石为主,石英次之,并含少量暗色矿物和铁质成分.斑晶以斜长石为主,次为角闪石.闪长玢岩脉在空间分布上位于 Au, Cu 矿化带附近,岩脉含金 $0.006\sim 0.230$ g/t.

该地区围岩蚀变较发育,以中-低温蚀变类型为主,有绢云母化、硅化、碳酸盐化、黄铁矿化、高岭土化、重晶石化及赤铁矿化、褐铁矿化、黄钾铁矾化等,主要沿断裂破碎带分布,与 Au, Ag, Pb, Cu 等矿化密切伴生.

3 成矿规律

3.1 地层与多金属矿的关系

宁夏卫宁北山地区多金属矿赋矿地层主要为早石炭世前黑山组、臭牛沟组下段及晚石炭世土坡组第一、第二段,赋矿岩性主要为钙质粉砂岩、长石石英砂岩、钙质泥岩及白云质灰岩^[6].其余的奥陶纪狼嘴子组、泥盆纪老君山组以及石炭纪土坡组第三至第六段,它们虽在地表都见有一定的 Cu, Fe, Co 等矿化显示,但总体上矿化较弱,矿化点数量较少^[6](见图 2 和表 1).

前黑山组在金场子、黄石坡沟及大铜沟等地区含有大量的 Au, Ag, Cu, Pb, Zn, Fe 等矿(化)点,蚀变作用较强,矿化区域分布范围较广^[6].臭牛沟组下段含矿性较好,中段和上段基本不含矿,在地表零星有 Cu, Fe, Co 等矿化显示,下段在黄石坡沟、金场子地区含有大量的 Cu, Fe, Au, Ag 矿(化)点,特别是金场子地区,几乎所有的 Au 都产在该段中.土坡组第三至第六段基本不含矿,在地表零星有 Fe, Co 等矿化显示,第一、第二段含矿性较好^[6],第一段在黄石坡沟、金场子地区含有大量的 Cu, Fe, Au, Ag, Pb, Zn 等矿(化)点,特别是 Au, Ag, Pb, Zn 矿(化)点,在部分地段蚀变更强、矿化更明显^[6];第二段在金场子、黄石坡沟、照壁山及大铜沟等地区含有较多的 Au, Fe, Cu, Co 矿(化)点.相比于第一段,第二段基本上不含 Pb, Zn.

根据徐国风^[7]、刘志坚^[9]、霍福臣等^[8]研究资料认为,卫宁北山地区石炭系和泥盆系 Fe, Cu, Co 的背景值和异常值均较高,且变化系数较大,表明该地区石炭纪和泥盆纪沉积地层可能为 Fe, Cu, Co 等多金属矿的形成提供了一定的物源.而相对来说,石炭系中 Au, Ag, Pb, Zn 等背景值很低,变化系数较小,说明这些成矿元素与地层的关系可能不大.

3.2 构造与多金属矿的关系

卫宁北山地区由一系列背、向斜及弧形构造体系组成^[6],其中由南北向挤压作用形成的近东西向展布的断裂和褶皱,控制了该地区多金属矿的分布,地表发现的众多 Au, Ag, Cu, Pb, Zn, Fe 等矿(化)体,其延伸和展布与东西向构造密切相关,并且矿(化)体大多位于规模较大断层交汇部位之次级构造中^[6].此外,研究区见到的黄钾铁矾化、重晶石化、硅化、黄铁矿化、赤铁矿化及褐铁矿化等大都产于规模较小的次一级构造中或其附近.比如金场子金矿,该地区主体构造为近东西向展布的 F19 断层破碎带,该破碎带长度大于 2 km,宽约 10~400 m,断面接近直立^[6].根据野外调查及前人勘查成果发现,F19 断层破碎带中不管是矿化还是蚀变强度都比较弱,黄钾铁矾化、重晶石化、硅化等少见,但是在距离 F19 断层破碎带北约大于 300 m 的次级断层 F13, F14 和 F15 中,发现了大量的黄钾铁矾化、碳酸盐化及孔雀石化等,并且该地区有多条 Au 矿脉的分布^[6].根据以往勘查资料,金场子地区早在 20 世纪 80 年代就有大量的 Au 被采出.此外,该地区地表分布的多条 Au 矿脉(已采空)其空间延伸方向与次级断层 F13, F14 和 F15 走向基本一致^[6](如图 4 和图 5),构造控矿非常明显.

因此,金场子地区次一级构造不仅为矿液的聚集提供了活动和就位场所,断裂与岩浆活动配合所诱发的多次热液作用,又为本区多金属矿的形成提供了充足的热源.

3.3 岩浆-热液活动与多金属矿的关系

卫宁北山地区多金属矿主要产于早石炭世前黑山组、臭牛沟组及晚石炭世土坡组中,矿体多呈透镜状、网脉状、似层状及囊状等沿近东西向的构造破碎带及裂隙分布,在一定程度上显示了中酸性岩成矿系统的特点^[6].

在二人山-金场子一带,地表发现的多条燕山期闪长玢岩脉^[1,11],它们的延伸方向基本上与卫宁北山地区主构造线方向一致(如图 2).同时,根据钻孔资料及野外观察,该地区多个多金属矿(化)体无论是其

空间分布还是其形态、产状等,均表现出与闪长玢岩脉非常密切的关系.如在 ZK9101 孔中,在孔深约 199.85~222.88 m,见有厚约 23 m 左右的金矿体,该金矿体不仅与闪长玢岩脉相间产出,而且又在部分闪长玢岩脉上下盘的粉砂岩内,发现了品位高达 45, 48 g/t 的 Au^[6,11].此外,研究区围岩蚀变表现出黄钾铁矾化、黄铁矿化、中等绿泥石化和强高岭土化的特点,蚀变矿物组合与元素地球化学分带现象明显^[6].结合地球物理资料、遥感解译及前人研究成果^[1,11-12],推测该地区深部可能存在一个规模较大的隐伏的中酸性岩体,该中酸性岩体可能与地表出露的闪长玢岩脉具有同源、同期性,而且多金属矿的形成与这些岩浆活动关系密切.

表1 研究区主要地层特征一览表

系	统	组	段	主要岩性	厚度(m)	沉积相	地层含矿性			
石炭系	上统	土坡组	C ₂ t ⁴ ~C ₂ t ⁶	最底部主要为褐色、灰色厚层含砾石英砂岩,往上变为细砂岩及炭质泥岩、泥岩、粉砂质泥岩、页岩互层 ^[6]	2 395~ 2 415	潮坪、 泻湖、 沼泽、 河流三 角洲相	Fe, Co 矿化点			
			C ₂ t ³	主要为灰黑色、黑色炭质页岩夹粉砂岩、长石石英砂岩.此外,常见有 10~30 cm 不等的石英脉	240		Fe 矿(化)点			
			C ₂ t ²	主要为灰白色、灰色石英砂岩与紫灰色页岩、灰黑色炭质泥页岩互层,在其深部有薄煤层分布 ^[6]	305		Cu, Fe, Co, Au 矿(化)点			
			C ₂ t ¹	上部主要为厚层状页岩夹粉砂岩、细砂岩,下部主要为灰白色、灰色厚层状石英砂岩、石英岩状砂岩	141		Cu, Fe, Au, Ag, Pb, Zn 矿(化)点 ^[6]			
	下统	臭牛沟组	C ₁ e ² ~C ₁ e ³	下部主要为灰黑色钙质细粒长石石英砂岩、长石石英砂岩夹粉砂岩,上部主要为灰白色、灰色中薄层细粒石英砂岩	152	浅海、 泻湖相 碳酸盐 岩、碎 屑岩建 造	Cu, Fe, Co 矿化点			
			C ₁ e ¹	主要为浅黄色、灰色细粒长石石英砂岩夹泥质砾屑灰岩、中厚层微晶灰岩、泥质网纹灰岩和粉砂质灰岩	302		Cu, Fe, Au, Ag 矿(化)点			
		前黑山组	C ₁ q ²	下部主要为浅棕色、棕色细粒钙质石英砂岩、钙质泥岩夹石英砂岩,上部主要为钙质粉砂岩、泥岩	58		Cu, Fe, Au, Ag, Pb, Zn 矿(化)点			
			C ₁ q ¹	底部为浅黄色灰岩、中厚层白云质灰岩或白云质微晶灰岩,向上为钙质粉砂岩夹钙质泥岩、褐灰色中厚层细粒石英砂岩	83					
		泥盆系	上统	老君山组	D ₃ l ¹ ~D ₃ l ⁶		主要为灰白色、灰色长石石英砂岩、粉砂岩、泥岩、粉砂质泥岩和页岩等	>3 463	陆相碎屑 岩建造	Cu, Fe, Co 矿化点 ^[6]
					奥陶系		中上统	狼嘴子组	O ₂₋₃ l	主要为绿色、灰绿色变质长石石英砂岩、板岩、千枚岩及硅质岩、泥灰岩等

3.4 成矿流体和矿床成因

艾宁等^[11]通过对金场子地区金矿流体包裹体和同位素地球化学特征等的研究,发现该地区成矿流体具有低密度(0.65~0.96 g/cm³)、中-低温度(180~390 ℃)、较高盐度(w(NaCl_{eq}) 4.3%~12.4%)和富 CO₂ 的特点.仲佳鑫等^[15]也发现,该地区成矿流体属于中-低温热液(145~273 ℃),但盐度相对较高(w(NaCl_{eq}) 11.3%~36.2%).

同时,根据金场子地区 δ³⁴S 同位素组成,δ³⁴S 集中分布在 3.83‰~6.73‰之间,为 0 值附近不大的正值,变化范围小,呈塔式分布^[15],反映了热液矿床 S 同位素组成的特点.吴文忠等^[21]在研究卫宁北山地区钴异常的物质来源时,也发现 5 件矿石矿物黄铁矿的 δ³⁴S 极差 R 为 1.5‰,δ³⁴S 值变化范围较窄,S 的均一化程度较高,具有热液成因的特点^[21].

此外,卫宁北山地区围岩蚀变也主要以中-低温蚀变类型为主,有硅化、碳酸盐化、绢云母化、黄铁矿化、重晶石化、高岭土化、赤铁矿化、褐铁矿化及黄钾铁矾化等.根据艾宁^[5]对金场子矿段含金矿石微量元素地球化学特征的研究,发现褐铁矿化石英脉微量元素配分模式的形态与其他岩石类型的微量元素配分模式明显不同,并且具有明显的负 Nb 异常,证明其也可能与热液作用有关.

因此,种种迹象说明(见表 2)^[1,11-12,20,22-24],研究区多金属矿的矿床类型可能为浅成中-低温热液矿床.

表2 卫宁北山多金属矿床地质特征与找矿标志一览表

典型矿段	主要成矿元素	成矿赋存部位	矿石矿物组合	矿体产状、形态	矿石结构、构造	围岩蚀变类型	成矿流体特征	物化探特征	主控矿因素	矿床成因类型
照壁山	主要为Fe、含少量Cu	主要为EW向构造破碎带及其裂隙	赤铁矿、褐铁矿、水赤铁矿、菱铁矿、黄铁矿等	透镜状、脉状、似层状	网脉状、孔状、块状、蜂窝状	褐铁矿化、硅化、碳酸盐化、黄铁矿化、孔雀石化	中-低温流体	Fe-Cu-Au-Ag异常明显,组合程度较好	EW向断裂构造及裂隙	中-低温热液(充填-交代)型 ^[24]
金场子	主要为Au、含少量Cu、Co	主要为EW向次级构造及裂隙	方解石、石英、褐铁矿、黄钾铁矾	似层状、脉状	细脉状、网脉状、浸染状、块状	褐铁矿化、黄铁矿化、硅化、黄钾铁矾化	中-低温流体	Au-Cu异常特别明显,此外,Ag-Pb-Fe-As-Co异常也明显,组合程度较好	EW向次级构造及层间裂隙	中-低温热液(充填)型
黄石坡沟	主要Pb, Zn, 含少量Cu	主要为NE向断层破碎带	闪锌矿、方铅矿、褐铁矿	囊状、透镜状	块状	黄铁矿化、褐铁矿化、绿泥石化、高岭土化	中-低温流体	Pb-Zn-Ag-As异常明显,组合程度较好	主要为NE向断层破碎带	中-低温热液型
二人山	主要为Ag, Pb, Zn, 含少量Cu	主要为EW向次级构造及裂隙	黄钾铁矾、方铅矿、黄铁矿、闪锌矿	脉状、似层状、透镜状	块状	褐铁矿化、硅化、高岭土化、黄铁矿化	中-低温流体	有一处磁异常,此外,Pb-Zn-Ag-Sb-As异常明显	EW向次级构造及层间裂隙	中-低温热液型

4 找矿方向

目前,在二人山、黄石坡沟、金场子等地区近东西向的次级构造中,发现了一系列Ag, Pb, Zn, Cu, Fe, Au等多金属矿(化)点^[6](如图2),是良好的找矿线索(见表2).物化探资料也证实^[25-33],在二人山-金场子一带,分布有甲₂HS11(Au-Ag-Pb-Cu-Co-Fe)水系沉积物化探综合异常,面积达13.75 km²,根据成矿元素的地球化学特征、指示元素或组分的相对强度和分带、地球化学异常的地质背景、元素之间的组合规律性、剥蚀程度等地球化学信息特征分析^[24,25-33],本区是寻找Au, Ag, Cu, Pb矿体的最佳有利区带.而且,在二人山-金场子地区分布有多处激电异常,推断为硫铁矿(化)体引起,二人山及其以西区域分布有M-33磁异常,ΔT极大值为125 nT,推测磁异常为中酸性岩体引起,依次推断在本区的深部仍具有较大的找矿潜力^[25-26,31-32].此外,在“硅钙面”附近及一些较大褶皱的转折端部位也发现了许多Au, Ag, Fe, Pb, Zn等矿(化)点^[6,34],比如照壁山铁矿,铁矿体就产于含硅的砂岩与含钙的碳酸盐岩的接触部位即“硅钙面”接触部位,该位置也是寻找多金属矿尤其是Fe和Au的有利部位.

5 结论

1) 卫宁北山地区是一个以Au, Ag, Cu, Fe为主,共、伴生有Pb, Zn, Co的多金属矿床,产于华北陆块之鄂尔多斯地块西缘,祁连秦岭褶皱带北侧走廊过渡带东端,具有得天独厚的成矿背景和成矿条件.赋矿地层主要为早石炭世前黑山组、臭牛沟组下段及晚石炭世土坡组第一、第二段,赋矿岩性主要为钙质粉砂岩、长石石英砂岩、钙质泥岩及白云质灰岩.

2) 卫宁北山地区在以南北向挤压为主作用下,形成了控制该地区构造格局和演化的近东西向展布的断裂和褶皱,以及多金属矿的空间分布.多金属矿主要产于规模较大构造破碎带的次级构造及裂隙中,矿体受构造作用控制明显.

3)多金属矿的形成主要与燕山期侵入的中酸性岩浆关系密切,矿床成因类型可能为中-低温热液矿床.同时,卫宁北山地区近东西向的次级构造、“硅钙面”附近以及规模较大褶皱的转折端部位是寻找多金属矿的较有利部位,金场子及二人山等矿段,物化探、磁异常明显,在其深部具有很大的找矿潜力.

参考文献:

- [1] 刘勇,李延栋,王彦斌,等.宁夏卫宁北山金场子闪长玢岩岩脉地质特征及 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄[J].中国地质,2010,37(6):1575-1583.
- [2] 翟裕生,邓军,李晓波.区域成矿学[M].北京:地质出版社,1999.
- [3] 翟裕生.古陆边缘成矿系统[M].北京:地质出版社,2002.
- [4] 翟裕生.成矿系统[M].北京:地质出版社,2010.
- [5] 艾宁.宁夏卫宁北山金场子金矿矿床地质与地球化学研究[D].西安:西北大学,2014.
- [6] 马秀君,海连富,母彩霞,等.卫宁北山金多金属矿构造岩相成矿规律与找矿方向[J].中国矿业,2018,27(s2):91-95.
- [7] 徐国风.论宁夏金场子渗流热卤水一表生改造型金矿床的矿源[J].地球科学—中国地质大学学报,1988,13(2):147-153.
- [8] 霍福臣,潘行适,尤国林,等.宁夏地质概论[M].北京:科学出版社,1989.
- [9] 刘志坚.宁夏卫宁北山金、铅、银多金属矿成矿地质特征[D].成都:成都理工大学,2013.
- [10] 李小东.宁夏香山腰峁子铜(银)矿床及其控矿构造研究[D].西安:长安大学,2010.
- [11] 艾宁,任战利,李文厚,等.宁夏卫宁北山地区矿床类型及成矿时代[J].矿床地质,2011,30(5):941-948.
- [12] 杨军宁,魏民,孙志鹏,等.宁夏中卫市卫宁北山金场子金矿外围及深部多金属矿预查地质报告[R].银川:宁夏回族自治区地质调查院,2011.
- [13] 冯益民,何世平.祁连山及其邻区大地构造基本特征—兼论早古生代海相火山岩的成因环境[J].西北地质科学,1995,16(1):92-102.
- [14] 潘桂棠,陆松年,肖庆辉,等.中国大地构造阶段划分和演化[J].地学前缘,2016,23(6):1-23.
- [15] 仲佳鑫,李欢,李鹏,等.宁夏卫宁北山金场子金矿床地质特征与控矿因素分析[J].西北地质,2012,45(3):81-92.
- [16] 宋新华,尹秉喜,闫红,等.航磁资料在卫宁北山寻找多金属矿中的应用[J].物探与化探,2010,34(3):289-293.
- [17] 赵晓辰,刘池洋,赵岩,等.河西走廊过渡带东部香山群硅质岩地球化学特征及其地质意义[J].高校地质学报,2017,23(1):83-94.
- [18] 周特先,姚茂文,王利,等.宁夏构造地貌[M].银川:宁夏人民出版社,1994.
- [19] 张珂,刘开瑜,吴加敏,等.宁夏中卫盆地的沉积特征及其所反映的新构造运动[J].沉积学报,2004,22(3):465-473.
- [20] 仲佳鑫,李欢,孙雨,等.宁夏中南部铁矿地质特征及成矿规律探讨[J].地质与勘探,2012,48(5):922-931.
- [21] 吴文忠,孟方,王红,等.宁夏卫宁北山钴异常的物质来源研究[J].太原理工大学学报,2013,44(4):485-489.
- [22] 海连富,母彩霞.宁夏中卫卫宁北山铁矿成矿地质特征与找矿方向[J].宁夏工程技术,2016,15(3):278-280.
- [23] 仲佳鑫,徐刚,向连格,等.宁夏卫宁北山地区照壁山铁矿床地质特征及成矿规律探讨[J].西北地质,2018,51(1):228-237.
- [24] 李净,海连富,母彩霞,等.宁夏照壁山铁矿成矿地质特征与找矿方向[J].地质找矿论丛,2018,33(2):243-247.
- [25] 张韵.重磁资料处理在宁夏金属矿产预测中的应用研究[D].北京:中国地质大学(北京),2016.
- [26] 朱丹,刘天佑,代小强.宁夏卫宁北山金场子—二人山岩体重磁资料处理解释[J].工程地球物理学报,2015,12(6):766-771.
- [27] 王美芳.宁夏卫宁北山地区自然重砂异常特征及其找矿指示意义[J].资源与产业,2015,17(2):55-59.
- [28] 刘志坚,侯明才,张琇,等.宁夏中卫卫宁北山地区水系沉积物测量地球化学特征及找矿方向[J].物探与化探,2013,37(4):608-614.
- [29] 杨勇,尹秉喜.EH-4在卫宁北山地区多金属找矿中的应用[J].宁夏工程技术,2013,12(1):24-26.
- [30] 尹秉喜,孟方,杨勇.物化探技术在二人山—黄石坡沟多金属矿勘查中的应用[J].物探与化探,2012,36(6):898-901.
- [31] 邱林.大地电磁在宁夏卫宁北山航磁异常查证中的应用[D].成都:成都理工大学,2012.
- [32] 宋新华,尹秉喜,闫红,等.航磁资料在卫宁北山寻找多金属矿中的应用[J].物探与化探,2010,34(3):289-293.
- [33] 褚小东,刘建兵.卫宁北山东部地区遥感异常特征与矿化点对比[J].重庆科技学院学报(自然科学版),2009,11(5):30-32.
- [34] 张进,马宗晋,任文军,等.宁夏中南部古生代弧型构造[J].大地构造与成矿学,2004(1):29-37.