

山东沂南明生岩体含矿性特征及找矿方向

董学¹, 王树星¹, 李大鹏², 王申¹, 张超¹, 王欣然¹

(1. 山东省第八地质矿产勘查院, 山东 日照 276826; 2. 山东省地质科学研究所, 山东 济南 250013)

摘要:沂南金铜铁矿床是山东省矽卡岩型金铜铁矿床的典型代表。前人在该地区开展了大量地质勘查和研究工作,但对明生岩体的系统性研究工作相对欠缺。明生成矿杂岩体位于 NNE 向银山断裂与北西向马牧池—金场断裂交会部位,岩体相带发育,围岩地层发育齐全。以往勘查工作共发现 6 个矿体,分别赋存于内接触带镁矽卡岩、外接触带钙矽卡岩和断裂破碎带中,并以外带为主。根据含矿性特征,结合物探异常特征,分析得出明生岩体找矿方向。

关键词:明生岩体;含矿性;找矿方向;矿化规律;金铜铁矿床;矽卡岩;山东沂南

中图分类号:P618.51 **文献标识码:**A

引文格式:董学,王树星,李大鹏,等.山东沂南明生岩体含矿性特征及找矿方向[J].山东国土资源,2016,32(2):8-13.DONG Xue, WANG Shuxing, LI Dapeng, etc. Ore Potentiality Characteristics and Prospecting Orientation of Mingsheng Complex in Yinan Area of Shandong Province[J]. Shandong Land and Resources, 2016, 32(2): 8-13.

山东沂南金铜铁矿床,是山东省矽卡岩型金铜铁矿床的典型代表,矿床规模较大(金场、铜井矿床规模均为中型),成矿条件和成矿作用具有代表性^[1]。由于长期开采,该矿床成为资源面临严重危机的老矿山^[2]。山东地勘单位及沂南金矿围绕铜井、金场和明生岩体开展了大量的地质勘查工作,并取得卓有成效的成果。20 世纪 80 年代以来,前人在成矿岩体特征、成矿规律、控矿因素和成矿预测等方面积累了较为丰富的科研资料。然而,以往研究工作多针对铜井、金场及其周边岩体开展,而明生岩体的系统性研究工作却相对欠缺。该文旨在总结明生岩体成矿地质条件,归纳其含矿性特征,并结合前期勘查工作成果探讨岩体找矿方向,以为明生地区和沂南危机矿山周边找矿提供参考依据。

1 成矿地质背景

明生岩体位于华北板块(Ⅰ)鲁西隆起区(Ⅱ)鲁中隆起(Ⅲ)马牧池—沂源断隆(Ⅳ)马牧池凸起(Ⅴ)东南部,东侧为苏村凹陷,西侧为孟良崮凸起

(图 1)。

1.1 区域构造岩浆活动

NNE 向与 NW 向断裂的交会部位控制了矿床及周边地区燕山期杂岩体的侵位(图 1)。明生成矿杂岩体位于 NNW 向银山断裂与 NW 向马牧池—金场断裂交会部位;铜井成矿杂岩体受 NNE 向郯鄯—葛沟断裂与 NW 向马家窝—铜井断裂的控制;金场成矿杂岩体则受 NNW 向枣林庄断裂与 NW 向马牧池—金场断裂的控制。

区域广泛发育规模较小的中、酸性岩脉及岩床,长数十米到数公里,多在 150~300 m,宽 1~3 m,最宽十余米,局部膨大处达数十米。

1.2 区域地层

区域地层发育较齐全,以双层结构为基本特征。结晶基底为新太古代活动大陆边缘泰山花岗—绿岩带,主要由 TTG 质花岗岩类(蒙山片麻岩套、峰山花岗岩、沂水花岗岩)和绿岩建造(泰山岩群)等组成。

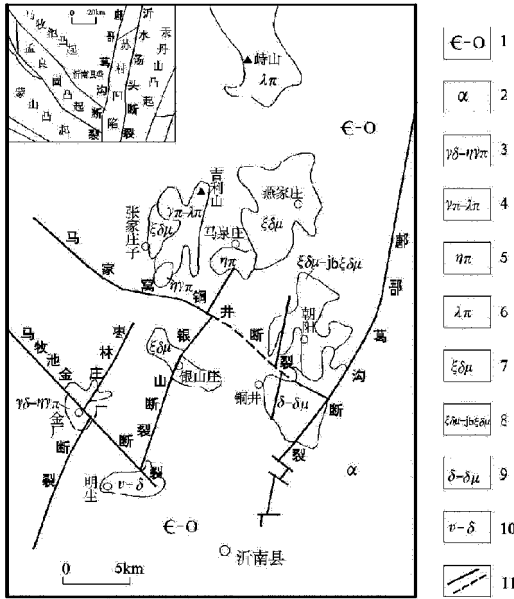
新元古界和寒武系构成盖层,与结晶基底之间呈角度不整合。土门群佟家庄组,为一套滨浅海相

收稿日期:2015-09-21;修订日期:2015-09-28;编辑:曹丽丽

勘查项目:2013 年度山东省地矿局矿产勘查项目(KC2013012)

作者简介:董学(1988—),男,山东临朐人,工程师,主要从事地质矿产勘查工作;E-mail: dongxue0303@163.com

①山东省地质局第八地质队,李荣锡、李孝深、闫守民,山东省沂南铜井地区铜、金矿成矿地质条件及找矿方向,1981 年。



1—寒武-奥陶系; 2—安山岩; 3—花岗闪长岩-二长花岗斑岩; 4—花岗斑岩-石英斑岩; 5—二长斑岩; 6—石英斑岩; 7—正长闪长玢岩; 8—正长闪长玢岩-聚斑正长闪长玢岩; 9—闪长岩-闪长玢岩; 10—辉长岩闪长岩; 11—实测及推测断裂

图1 明生岩体及周边构造-侵入杂岩体略图①

碎屑岩夹碳酸盐岩建造,岩性以黄绿色页岩为主夹紫红色页岩,偶夹砂质页岩及薄层泥质粉砂岩,上部夹薄层泥灰岩,底部为石英砂岩、砂砾岩。寒武系-奥陶系遍布整个区域,以较稳定的海相沉积为主,岩性以灰岩为主,为一套不纯的灰岩夹薄层泥灰岩与钙质泥页岩夹砂岩、粉砂岩的互层地层。

1.3 区域矽卡岩矿床特征

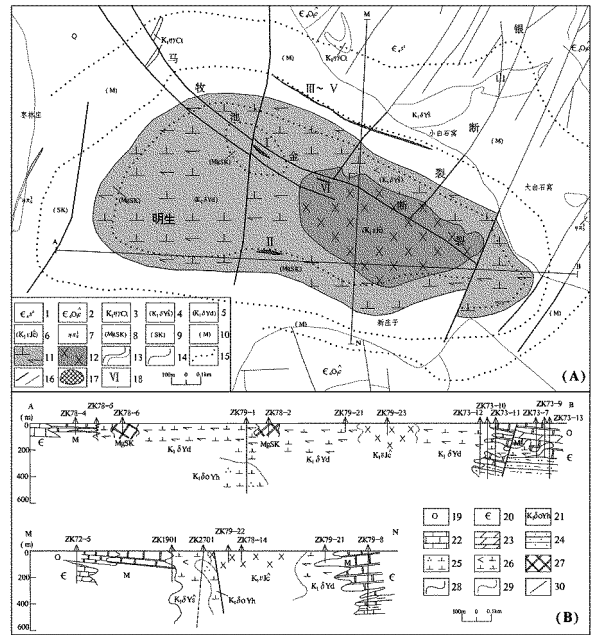
区域矽卡岩矿体产出受岩浆岩、地层及构造的三位一体复合控制^[3]。早白垩世郯庐断裂带走滑拉张阶段,深切至壳-幔边界的沂沭断裂诱发深源岩浆沿NW向沂沭断裂带与NW向盖层断裂的复合部位上侵就位,形成明生、铜井和金场等杂岩体,并通过与上元古代-寒武纪以碳酸盐岩为主的围岩发生一系列热接触变质、接触交代、热液蚀变等作用,在岩浆岩与围岩接触带、捕虏体、层间破碎带及不整合面等构造部位形成矽卡岩型金铜铁矿体^[2-4]。

2 明生岩体地质特征

2.1 岩体特征

明生岩体位于明生至大白石窝一带,地表多被覆盖,仅零星出露在明生西岭和小白石窝附近,岩体

范围根据物探异常及钻探圈定(图2A)。岩体呈EW向延伸,长约3 km,南北宽约1 km,面积约3 km²,中心部位延深大于1 km。岩体呈岩株产出,边部呈岩床插入围岩中,略向南东倾斜并收缩,倾伏角陡。岩体主要由茶叶山单元紫苏辉长岩、东明生单元辉石闪长岩、上水河角闪闪长岩及核桃园单元石英黑云闪长岩组成,均属白垩纪沂南序列。岩体相带发育,可分中心相和边缘相2个岩相,两者呈过渡关系。紫苏辉长岩为早期中心相,后三者属晚期边缘相,岩体由中心向边缘基性程度逐渐降低(图2B)。



1—三山子组C段; 2—炒米店组; 3—苍山序列铁铜沟单元; 4—沂南序列上水河单元; 5—东明生单元; 6—茶叶山单元; 7—二长斑岩; 8—镁矽卡岩; 9—钙矽卡岩; 10—大理岩; 11—辉石闪长岩; 12—辉长岩; 13—隐伏/出露地质界线; 14—岩相界线; 15—蚀变分带界线; 16—隐伏/出露断层; 17—矿体; 18—矿体编号; 19—奥陶系; 20—寒武系; 21—沂南序列核桃园单元; 22—灰岩; 23—泥灰岩; 24—砂岩; 25—含石英闪闪长岩; 26—角闪闪长岩; 27—镁矽卡岩(未分); 28—地质界线; 29—岩相界线; 30—断层

图2 明生岩体平面(A)和剖面(B)地质简图①

2.2 岩脉特征

岩体周边岩脉十分发育,经钻孔、浅井、平硐等工程揭露,多为中生代燕山晚期岩脉,脉岩种类较

① 山东省地质局第八地质队,程志忠、孙家协、刘元暖等,山东省沂南县金场地区铜矿初步普查地质报告,1981年。

多,基性、中酸性均有,主要为二长花岗斑岩、闪长玢岩、细晶岩等。苍山序列铁铜沟单元斑状中细粒二长花岗岩分布较为广泛,主要位于明生岩体西北侧,呈岩株、岩脉状产出。

2.3 控岩构造

NW 向马牧池—金场断裂与 NNE 向银山断裂共同控制明生岩体的就位。

(1) 马牧池—金场断裂。自岩体西北部第四系覆盖区穿过,断裂带走向 $300^{\circ} \sim 340^{\circ}$, 经 EH4 大地电磁测深异常解译,断裂带向南陡倾,断层面呈舒缓波状,断层倾角 $70^{\circ} \sim 85^{\circ}$ (图 3)。带内岩石为碎裂岩,灰白色、灰绿色、浅肉红色,碎裂状结构,块状、碎裂状构造。带内发育挤压节理,蚀变见蛇纹石化、绿泥石化、钾化、硅化、碳酸盐化。矿化主要为黄铁矿化,偶见黄铜矿化、方铅矿化、辉钼矿化等。

(2) 银山断裂:位于明生岩体东北部,由数条大致平行的断裂组成。总体走向 $40^{\circ} \sim 48^{\circ}$, 倾向 NW, 倾角 75° , 以破碎带形式表现,破碎带宽 $5 \sim 20$ m 不等,破碎带内发育碎裂岩、构造角砾岩,局部被二长斑岩等脉岩充填,断裂性质为张扭性。

2.4 地层围岩

明生岩体周边地层由老至新地表出露古生代寒武—奥陶纪九龙群炒米店组和三山子组及新生代第四系(图 2A)。钻孔揭露的岩体围岩为寒武纪中统一奥陶纪下统泥质条带灰岩、白云岩等,主要有长清群馒头组、九龙群张夏组、崮山组、炒米店组和三山子组(图 3)^①。

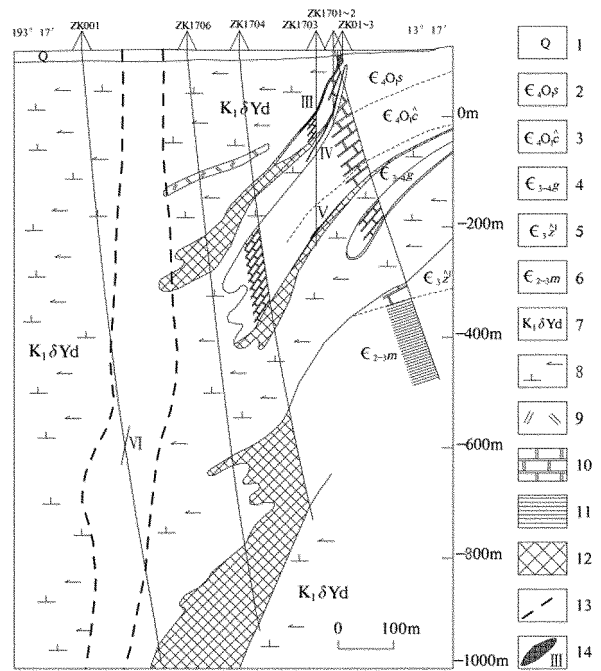
2.5 围岩蚀变分带

岩体及其周边与成矿作用有关的围岩蚀变主要分为接触交代、热接触变质和热液蚀变 3 种类型。

2.5.1 接触交代和热接触变质作用

蚀变主要发育在杂岩体与围岩接触带附近。平面上,自岩体由内向外依次为镁矽卡岩带、钙矽卡岩带和大理岩、角岩带(图 2A);剖面上,接触带构造呈犬牙交错,随深度增加,蚀变范围有所扩大,强度有升高趋势(图 3),显示了较好的深部成矿特征。

(1) 接触交代作用。多发生在接触带附近,受接触界面或层间构造控制,由于受交代作用影响发生化学组分的迁移,形成一系列不同类型的矽卡岩,主要有透辉石矽卡岩、蛇纹石透辉石矽卡岩、石榴子石透辉石矽卡岩等。



1—第四系;2—三山子组;3—炒米店组;4—崮山组;5—张夏组;6—馒头组;7—沂南序列东明生单元;8—辉石闪长岩;9—二长斑岩;10—大理岩;11—角岩;12—矽卡岩;13—物探解译断裂带;14—矿体及编号

图 3 III~VI 号矿体控矿构造示意图

(2) 热接触变质作用。主要有角岩化、大理岩化,广泛发育于外接触带,系围岩中页岩、石灰岩、粉砂质页岩受热影响发生不同程度的重结晶作用并出现退色现象形成,变质范围可达距接触带数百米。

2.5.2 热液蚀变作用

为最末期的蚀变作用,蚀变强度不大,但分布范围较广,主要产生于岩体内部及叠加于接触带之上,其中岩体内部主要发育在构造活动与地层、岩体形成的碎裂带中。主要有绿泥石化、高岭土化、碳酸盐化,局部有硅化、钾长石化、钠长石化、绢云母化、硫酸盐化(纤维石膏化)等。

3 含矿性特征

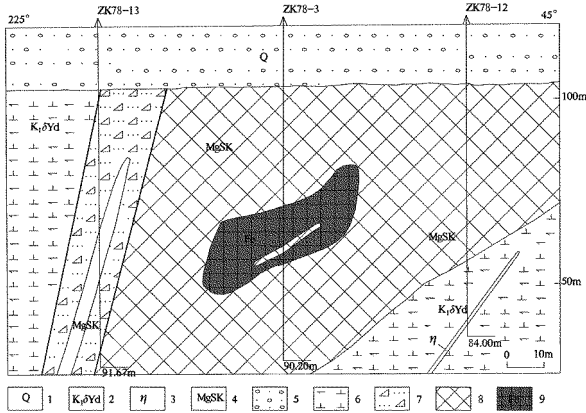
3.1 矿体特征

根据以往勘查工作,在明生岩体周边共发现 6 个矿体(图 2A),各矿体特征按赋矿围岩分为 3 种类型。

① 山东省第八地质矿产勘查院,董学、牟庆伟、丁文洁等,山东省沂南县明生地区铁(金)矿普查报告,2015 年。

3.1.1 内接触带镁矽卡岩

(1) I号 Fe 矿体。位于明生村东北,赋存于镁矽卡岩中,为隐伏矿体(图4)^①。矿体呈囊状,由钻孔 ZK78-3 单孔控制,矿体向南西缓倾,沿倾向推断长约 50 m,走向推断长约 100 m。赋存标高+50~+85 m,埋深 35~70 m。钻孔见矿厚度 12.86 m, TFe 含量 25.33%~42.6%,平均含量 34.26%。



1—第四系;2—沂南序列东明生单元;3—二长岩;4—镁矽卡岩(未分);5—亚粘土、亚砂土、砂砾层;6—辉石闪长岩;7—碎裂岩;8—矽卡岩(未分);9—铁矿体

图4 I号矿体控矿构造示意图

(2) II号 Cu 矿体。位于明生村东,赋存于镁矽卡岩中,为隐伏矿体。矿体呈脉状,由钻孔 ZK78-2 单孔控制,矿体向南西缓倾,沿倾向推断长约 20 m,走向推断长约 100 m。赋存标高+75~+90 m,埋深 30~45 m。钻孔见矿厚度 4.0 m, Cu 品位 0.20%~0.79%,平均 0.43%,伴生 Au 品位 0.33~0.75 g/t。

3.1.2 外接触带钙矽卡岩

(1) III号 Au 矿体。该矿体为明生岩体周边已知规模最大的矿体,位于小白石窝村北西,赋存于明生岩体与三山子组接触带构造内的矽卡岩中,为隐伏矿体(图3)。矿体呈似层状,总体走向约 300°,倾向 SW,倾角约 60°。矿体走向控制约 200 m,倾向控制约 220 m,厚度为 1.1~6.75 m。矿体赋存标高-30~+115 m,埋深 5~150 m。Au 最高品位为 9.22 g/t,平均品位为 2.7 g/t, Ag, Cu, mFe 均达到伴生开采品位。

(2) IV号 Au 矿体。位于 III号矿体的下部,主要赋存于明生岩体与炒米店组接触带构造内的矽卡岩中,为隐伏矿体(图3)。矿体呈似层状,总体走向约 300°,倾向 SW,倾角约 65°。矿体由单剖面 3 个钻孔控制,倾向控制约 60 m。矿体赋存标高-80~

+50 m,埋深 70~200 m。钻孔见矿厚度为 1.2~2.8 m, Au 最高品位为 1.87 g/t,平均品位为 1.2 g/t, Ag, Cu 均达到伴生利用品位。

(3) V号 Au 矿体。位于 IV号矿体的下部,主要赋存于明生岩体与崮山组接触带构造内的矽卡岩中,为隐伏矿体(图4)。矿体呈脉状,总体走向约 300°,倾向 SW,倾角约 50°。矿体由钻孔 ZK1703 单孔控制,推断倾向长约 150 m。矿体赋存标高-280~-150 m,埋深 260~390 m。钻孔见矿厚度为 1.70 m, Au 品位为 3.7 g/t, Ag 达到伴生利用品位。

3.1.3 断裂破碎带

VI号 Mo 矿体位于小白窝村西南,赋存于马牧池—金场断裂带硅化黄铁矿化碎裂岩中,为隐伏矿体(图4)。矿体呈细脉状,与断裂带产状一致,由钻孔 ZK001 单孔控制,推断倾向长约 90 m。矿体赋存标高-650~-560 m,埋深 680~770 m。钻孔见矿厚度 0.70 m, Mo 品位 0.142%。

3.2 矿石质量

矿石结构主要呈半自形-自形晶粒状结构、他形晶粒状结构、充填结构,局部包含结构、碎裂结构、交代结构。构造一般为浸染状构造,局部块状构造、条带状构造、细脉网状构造等。

矿石矿物成分主要有自然金、银、黄铜矿、磁铁矿、辉钼矿、黄铁矿及少量的褐铁矿、赤铁矿、斑铜矿等。脉石矿物主要有方解石、白云石、石英、石榴子石、透辉石、绿泥石、绿帘石、角闪石、云母、阳起石、钾钠长石、高岭土等。

矿石的化学成分比较复杂,矿石矿物中主要的有益元素为 Au, Cu, Fe, Mo, 并伴生有 Ag, S 等元素。根据矿石中元素组合及岩性,矿石自然类型主要有磁铁矿、含金铜磁铁矿、含金铜矽卡岩、含钼碎裂岩等。

3.3 矿化富集规律

已发现矿体的成因类型主要为矽卡岩型金铜铁矿床(I~V号矿体),其次为热液充填-交代型钼矿床(VI号矿体)。

(1) 矽卡岩型矿床受岩浆岩、地层岩性、构造的三位一体的复合控制,赋存于明生岩体与围岩接触

^① 山东省地质局第八地质队,程志忠、孙家协、刘元暖,等,山东省沂南县金场地区铜矿初步普查地质报告,1981年。

带部位,控矿构造主要为接触带构造、层间破碎带构造等。内接触带的镁矽卡岩常形成脉状、囊状、透镜状等不规则状矿体(I, II号矿体);沿层间构造薄弱带侵入的岩床(岩舌)上下两侧形成的外接触带钙矽卡岩,则常形成层状、似层状矿体(III~V号矿体)。平面上自岩体由内向外,蚀变分带特征明显,依次为镁矽卡岩带、钙矽卡岩带和大理岩、角岩带,矿化由Fe到Au、Cu,矿体形态由囊状、透镜状到层状、似层状。剖面上,随着深度的加大,蚀变强度有升高趋势,显示了较好的深部成矿特征。

(2)热液充填-交代型矿床,在明生地区主要发现VI号Mo矿体,呈细脉状赋存于断裂破碎带内。结合区域矿产资料^①分析认为:该类矿床受热液蚀变作用影响,并不单受蚀变中心带控制,内带外带都有;主要赋存于断裂破碎带内或主断面两侧,受控岩构造及其派生构造控制;矿体具规模小、连续性差、品位低、变化小、形态简单、伴生有益组分少等特点。

综上,明生岩体周边矿体显示出多种成因类型矿化组合特征,在时间、空间和成因上有着密切的联系,构成了一套与岩体有关的矽卡岩-热液成矿系统^[3]。区域上,以往工作中未在炒米店组之上的层位中发现矿体,III号Au矿体的发现进一步完善了区域成矿层位^[5]。

4 找矿方向

20世纪70年代,明生岩体的勘查工作多为物化探异常查证,大致圈定了明生岩体范围、内部岩相界线和围岩蚀变分带,大致查明了明生岩体浅部含矿性特征,发现了I, II号矿体。然而,仅对其浅部(100 m以浅)进行钻探揭露。在中深部(500 m以浅)进行的勘查工作主要为:在岩体内部,对2个矿体进行了走向追索和倾向延深控制,但见矿效果不佳,究其原因,矿体均赋存于内接触带的镁矽卡岩内,矿体呈囊状、脉状,规模小、形态复杂多变;在岩体外部,勘查施工的中深孔与明生岩体距离较大,多位于热接触变质作用形成的大理岩和角岩蚀变带,因此找矿效果亦不理想。

2012年以来,接触带和断裂带等成矿有利部位的勘查工作取得了较好的找矿效果:小白石窝村西施工的钻孔,位于北接触带中段,在外接触带钙矽卡岩中发现了III~V号金铜铁矿体;马牧池-金场断裂引起的物探异常验证工作中发现了赋存于断裂带内

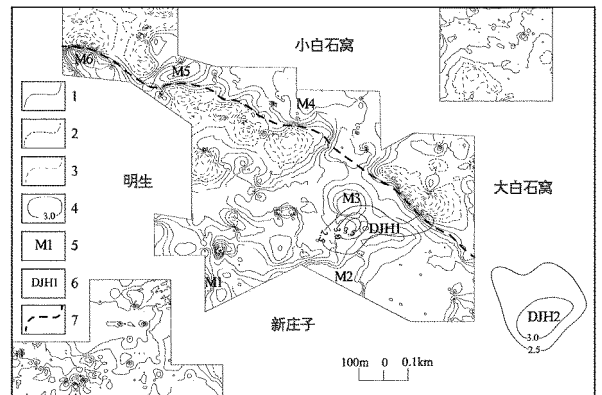
的VI号钼矿体。上述工作成果显示了明生地区较好的找矿前景,为后续找矿工作提供了勘查思路,同时提供了丰富的找矿信息。

4.1 接触带矽卡岩

明生岩体与围岩接触部位的接触带、层间破碎带等构造,是矿体主要的控矿和容矿构造。围岩蚀变范围均大于矿体范围,显示了蚀变对成矿的控制作用^[2,6]。外接触带的钙矽卡岩控矿作用尤为明显和重要,找矿目标为层状、似层状金铜铁矿床。内接触带镁矽卡岩的找矿目标主要为囊状、透镜状铁铜矿体。目前,除赋存III~V号金铜铁矿体的北接触带中段勘查深度可达500 m外,外接触带钙矽卡岩的勘查深度均为100 m以浅。岩体深部蚀变范围有所扩大,强度有升高趋势,因此接触带深部找矿前景较好。

4.2 断裂破碎带

根据1:2 000高磁异常特征(图5)和EH4大地电磁测深成果(图3),结合区域地质资料,推断了马牧池-金场断裂带分布范围、形态、产状,并利用钻探工作加以验证,大致了解了带内岩石特征。该断裂破碎带找矿对象以热液蚀变岩为主,找矿目标为细脉状矿体。



1— ΔT 正等值线;2— ΔT 零等值线;3— ΔT 负等值线;4— ηa 等值线及异常值;5—高磁异常编号;6—激电异常编号;7—推断线性构造

图5 明生地区高磁、激电异常综合等值线图

4.3 异常查证

1:2 000高磁测量工作和1:1万激电中梯测量

① 山东省地质局第八地质队,刘元暖、秦云卿、尹秋林,山东省沂南县金场、铜井地区金及有色金属综合普查总结报告,1988年。

工作,圈定多处物探异常,均具有较好的矿致异常特征(图 5)。

(1) M1, M2 高磁异常和 DJH2 激电异常均位于明生岩体与围岩的南接触带。

(2) M3, M4, M5, M6 高磁异常均为同一线性构造(马牧池—金场断裂带)在不同位置的相同异常反映。M6 高磁异常与 I 号 Fe 矿体位置吻合,说明异常具较好的示矿意义。M3 高磁异常规模、异常值变化梯度较大,且与 DJH1 激电异常位置套合程度较好,矿致异常特征最为明显。

5 结论

(1) 区域矽卡岩矿体产出受岩浆岩、地层及构造的三位一体复合控制。明生岩体受 NW 向马牧池—金场断裂与 NNE 向银山断裂共同控制,围岩地层主要为寒武纪中统—奥陶纪下统泥质条带灰岩、白云岩等。围岩蚀变水平分带特征明显,深部蚀变范围有所扩大,强度有升高趋势。综上,明生岩体成矿地质条件优越,找矿潜力较大,具较好的找矿前景。

(2) 岩体周边已发现矿体的成因类型主要为矽卡岩型金铜铁矿床,其次为热液充填—交代型钼矿床。前者主要赋存于岩体与围岩接触带部位的矽卡岩中,后者主要赋存于断裂破碎带内。两者共同构成一套与岩体有关的矽卡岩—热液成矿系统。

(3) 接触带矽卡岩、断裂破碎带和已知异常查证,是明生地区 3 个找矿方向。成矿有利部位与物探异常的套合部位为最佳勘查位置。

Ore Potentiality Characteristics and Prospecting Orientation of Mingsheng Complex in Yinan Area of Shandong Province

DONG Xue¹, WANG Shuxing¹, LI Dapeng², WANG Shen¹, ZHANG Chao¹, WANG Xinran¹

(1.No.8 Exploration Institute of Geology and Mineral Resources, Shandong Rizhao, 276826, China; 2.Shandong Institute of Geological Sciences, Shandong Jinan, 250013, China)

Abstract: Yinan Au—Cu—Fe deposit is a typical representative of skarn Au—Cu—Fe deposits in Shandong province. In this area, a large amount of geological exploration and research work have been carried out, but systematic research on Mingsheng Complex is relatively deficient. The mineralization complex, which has well developed lithofacies and complete surrounding strata, locates on the intersection of NNE Yinshan fault and NW Mamuchi—Jinchang fault. Previous exploration work has found 6 ore bodies occur in magnesian skarn of inner contact, calcareous skarn of outer contact and fracture zone, with the outer contact as a main ore belt. According to the ore potentiality characteristics, combined with geophysical anomalies, prospecting orientation of the complex can be obtained.

Key words: Shandong Yinan; Mingsheng complex; ore potentiality; prospecting orientation; regular of concentrated mineralization; Au—Cu—Fe deposit; skarn

(4) 明生地区第四系覆盖厚度较大(20 m 左右)、建筑物密集,地表地质工作受到极大限制,物探勘查手段亦受到较大干扰,再加上矽卡岩矿床规模小、形态复杂、变化大,地质找矿难度较大。加强基础地质和成矿规律研究,提高理论研究程度以指导找矿;因地制宜,选取适宜有效的地面和井中物化探找矿方法;是实现明生地区找矿突破的关键。

致谢:野外勘查、室内整理和论文编写工作得到了王小武研究员、刘俊玉高级工程师等单位领导和专家的大力支持和悉心指导,工程师宋树亮、牟庆伟、高远等同仁在物探解译、图件编制、野外勘查等工作中付出了辛勤的劳动,审稿专家为论文提出了宝贵的建设性修改意见。在此,一并表示诚挚的谢意!

参考文献:

- [1] 董树义.山东沂南金矿床成因与成矿规律和成矿预测[D].北京:中国地质大学,2008,(1),89—92,126—129.
- [2] 董树义,顾雪祥,杨永强.地物化综合方法在危机矿山成矿预测中的应用——以山东沂南金矿为例[J].地学前缘,2010,17(2):198—208.
- [3] 顾雪祥,董树义,刘丽.山东沂南金—铜—铁矿床成矿条件分析——兼论不整合面的控矿作用[J].矿物岩石地球化学通报,2008,27(3):254—268.
- [4] 孔庆友,张天祯,于学峰.山东矿床[M].济南:山东科学技术出版社,2006:363—367.
- [5] 宋明春,徐军祥,王沛成.山东省大地构造格局和地质构造演化[M].北京:地质出版社,2009:205—209.
- [6] 肖丙建.山东省沂南县铜井地区铜金矿深部地质特征及成矿模式探讨[J].地质找矿论丛,2010,30(2):241—247.