

地面高精度磁法测量找寻金矿应用例析^{*}

梁德超

(国土资源部航空物探遥感中心, 北京)

杨立强

邓 军

(中国科学院地球物理研究所, 北京) (中国地质大学, 北京)

摘 要 利用地面 Hc-95 氦(⁴He)光泵磁力仪,对胶东某金矿普查区进行了大比例尺、高精度磁法测量。在此基础上,着重阐释胶东西北部区域和普查区磁场结构及其地质意义,编制出普查区成矿构造地质图。同时,对比分析已知金矿床(体)磁场特征,建立金矿地质-地球物理找矿模型,进行找矿预测。进而在重点区段实施初步工程验证,见矿率高,从而说明了地面高精度磁法测量找寻金矿的可行性和有效性。

关键词 地面高精度磁法测量 剪切带变形构造系统 金矿 找矿预测

成矿系统时空结构统一性是进行成矿预测的前提和指导思想。综合地质异常是成矿系统的重要组成部分,着重研究各类异常的相互关联和时空结构,是一种找矿新思路,具有可操作性、可对比性和有效性。地球物理异常是综合地质异常的一种重要表现形式,是地质体或地质体组合及不同地质体界面的物理特性在时间上、空间上及成因上的反映^[1~8]。地面高精度磁法测量作为一种重要的地球物理勘探方法,是地球物理异常研究的主要手段之一^[9,10]。

胶东金矿集中区是我国最重要的黄金生产基地,其中的招掖金矿带更是以“玲珑-焦家式金矿”之名而享誉国内外。XD 金矿即位于矿带南端,金成矿作用过程受建造-改造系统联合制约,其中构造因素是控制矿床形成和分布的重要条件之一(图 1)^[11]。其外围某普查区具备适宜的成矿条件,而过去仅作了大网度金矿普查工作,地质工作程度低。本文主要通过地面高精度磁法测量,综合地质-地球物理实际资料,编制研究区地质构造图,提取出找矿的磁异常指标,建立找矿模型,并提出有利找矿区段,开展矿区外围大比例尺成矿预测,定量评价其找矿远景和资源潜力,为实现科技找矿、延长矿山寿命提供决策依据。

1 岩(矿)石磁性特征

岩(矿)石磁性特征及其差异是磁法勘探的基本前提,也是磁法测量资料成果解释的主要依据。作者系统研究了不同类型岩(矿)石磁性特征,除在普查区基岩出露地段实测磁化率数值外,还测定出 XD 金矿区岩(矿)石磁化率(表 1)。

结果表明,不同类型岩(矿)石之间磁性存在一定差异,总体上除闪长玢岩和胶东群斜长

^{*} 本研究受原地质矿产部资源与环境科技攻关项目(编号:95-02-013)和重点科技项目(编号:9501107)以及山东省黄金局项目(编号:97-98-10 和 97-98-11)资助

第一作者:梁德超,男,1963 年生,高级工程师,主要从事地球物理资料的生产和应用研究工作;邮编:100083

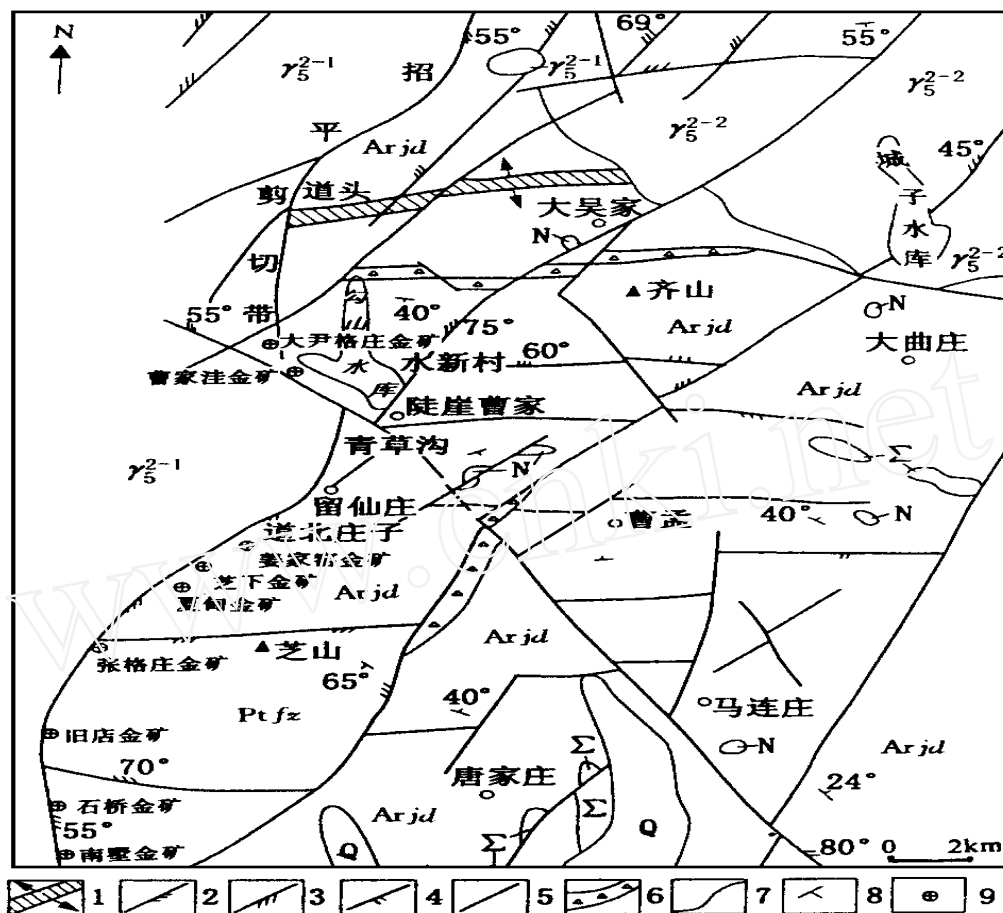


图1 区域成矿地质构造背景和金矿分布图

Fig.1 The map of the distribution of gold ore deposits and

the setting of ore-forming geology-structure in Zhaoping area in Jiaodong, China

Q- 第四系;Pt fz- 粉子山群;Arjd- 胶东群; r_5^{2-2} - 滦家河型花岗岩; r_5^{2-1} - 玲珑花岗岩;

N- 基性岩;- 超基性岩;1- 栖霞复背斜轴;2- 压性断裂;3- 压扭性断裂;4- 张扭性断裂;

5- 性质不明断裂;6- 角砾碎裂岩带;7- 地质界线;8- 岩层产状;9- 金矿

角闪岩、片岩等具有中等磁性外,其余岩(矿)石均为微—弱磁性,磁化率值小于 $100 \times 10^{-5} \text{SI}$ 。具体表现为:胶东群磁性不均匀,在不同地点测得的磁化率值差别较大。其中以XD金矿、号矿区磁性最大,磁化率 K 值变化范围为 $(11 \sim 1780) \times 10^{-5} \text{SI}$,均值为 $355 \times 10^{-5} \text{SI}$;其次为普查区西部地段,其 K 值为 $83 \times 10^{-5} \text{SI}$;XD金矿号矿区磁化率最小,均值为 $34 \times 10^{-5} \text{SI}$ 。此外,因地表岩石裸露风化剥蚀,其磁性相对降低,与坑道岩(矿)石磁化率值相差一个数量级;闪长玢岩磁化率值最大, K 均值一般大于 $1000 \times 10^{-5} \text{SI}$,是引起磁异常的主要因素之一。但蚀变闪长玢岩磁性明显降低, K 均值为 $66 \times 10^{-5} \text{SI}$,相当于微—弱磁性;花岗岩磁化率值均小于 $100 \times 10^{-5} \text{SI}$,其中以矿区花岗岩磁化率值最小, K 均

值为 $10 \times 10^{-5} \text{SI}$;普查区东部磁性较为均匀, K 均值为 $18 \times 10^{-5} \text{SI}$;西部磁性变化较大, K 值变化范围为 $(17 \sim 95) \times 10^{-5} \text{SI}$,均值为 $38 \times 10^{-5} \text{SI}$; 断层泥几乎无磁性, K 均值为 $4 \times 10^{-5} \text{SI}$; 含金蚀变带磁性较弱, K 均值为 $10 \times 10^{-5} \text{SI}$ ^[12,13]。

表 1 XD 金矿区及其外围某普查区岩(矿)石磁性参数统计

Table 1 The statistics of magentic parameters of XD gold ore deposit and the reconnatissant area

| 岩(矿)石名称 | 观测标本数 | 磁化率 $K/ \times 10^{-5} \text{SI}$ | | 观测地点 |
|-------------------------|-------|-----------------------------------|------|--------|
| | | 变化范围 | 均值 | |
| 斜长角闪岩、片岩、斜长片麻岩 (胶东群) | 15 | 25 ~ 156 | 83 | 普查区西部 |
| | 29 | 11 ~ 1780 | 335 | 、号矿区 |
| | 16 | 11 ~ 100 | 34 | 、号矿区地表 |
| | 27 | 21 ~ 86 | 35 | 号矿区 |
| 闪长玢岩 | 14 | 1900 ~ 3380 | 2641 | 普查区西部 |
| | 7 | 735 ~ 1575 | 1275 | 、号矿区 |
| 蚀变闪长玢岩 | 23 | 27 ~ 180 | 66 | |
| 花岗岩 | 18 | 17 ~ 95 | 38 | 普查区西部 |
| | 49 | 10 ~ 27 | 18 | 普查区 |
| | 29 | 2 ~ 30 | 10 | 号矿区 |
| 断层泥 | 16 | 0 ~ 14 | 4 | |
| 含金蚀变带 | 29 | 7 ~ 31 | 16 | 、号矿区 |

2 地面高精度磁测资料应用

2.1 区域磁场结构及其反映的地质意义

对比 1:100 万航磁 T 图(图 2)发现,在胶东地区无论是“焦家式”金矿,还是“玲珑式”金矿,金矿区多位于航磁异常附近的低负磁场区及其梯度带上,如焦家、玲珑、灵山沟、新城、大尹格庄、夏甸等矿区,表明利用航磁资料可以宏观预测金矿田(床)的空间分布,而该普查区正位于航磁 NE 向的负磁场梯度带上,说明该区也是金成矿有利区。然而,通过本次小范围、大比例尺地面高精度磁法测量结果,本区的区域磁场结构(图 3,4)面貌并不十分单调,以 NE 向招平断裂带为界,西侧以变化的相对高背景磁场为特征,局部异常十分发育,并且异常形态、方向多变;而东侧以变化相对平稳的磁场为特征,仅南部由于测区范围限制,情况不详。实测物性和野外踏勘表明,西侧不仅有古老的胶东群变质岩系出露,而且侵入的花岗岩体磁性变化较大,局部地段还出露有闪长玢岩;东侧主要出露磁性相差不大的花岗岩体。因此,上述不同的区域磁场结构特征反映了不同的岩石组合特征,西侧磁场结构特征反映的是一套不同磁性岩石组成的杂岩地体。其中有一定走向的线性异常可能为闪长玢岩的反映,而等轴状异常则为胶东群的反映。东侧反映的是一套较为稳定的花岗岩体。据此区域磁场结构特征可大致划分出不同岩性的空间分布范围,了解其规律性,为金成矿及找矿预测提供依据。

2.2 磁场反映的剪切带变形构造系统

大型含金剪切带是不同类型剪切带叠加的构造综合体,是复杂的变形变质地质体,它具有多期次、多层次的活动史,是多种地质作用过程耦合改造的复杂系统^[15,16]。

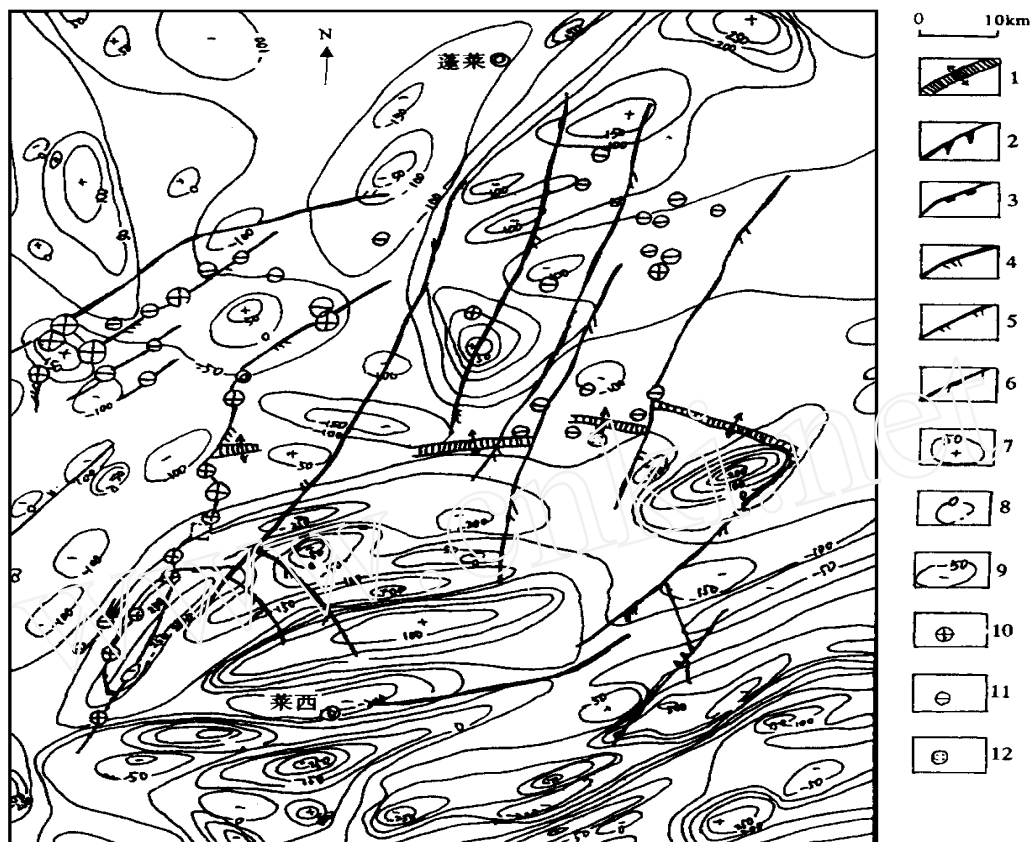


图 2 胶东西北部地区航磁 T 与构造、金矿分布综合图

Fig. 2 The composite of aeromagnetic survey of T , structure and distributions of gold ore deposits in the north-west Jiaodong, China

- 1 - 栖霞复背斜轴; 2 - 牟平—即墨断裂带; 3 - EW向剪切带; 4 - NE向剪切带; 5 - NNE向剪切带;
6 - NW向剪切带; 7 - 航磁 T 正等值线; 8 - 航磁 T 零等值线; 9 - 航磁 T 负等值线;
10 - 焦家式金矿; 11 - 玲珑式金矿; 12 - 砂金矿

剪切带构造系统对矿化分布具有整体性控制作用。同时,同一构造系统中,不同型式、不同级别的剪切带构造对矿化具有明显不同的控制作用。研究表明,剪切带构造及其派生的次级羽状裂隙,为本区最重要的控矿因素。因此,查明本区剪切带构造系统分布规律,在金矿勘探过程中具有重要意义^[17,18]。

经对比,已知的剪切带构造在磁场图上多表现为线性的降低磁场带、不同磁场分界线及磁力线扭动变化带。因此,根据已知剪切带构造磁场特征,结合野外地质观察实际材料,编制了普查区构造地质图,推断出 20 余条剪切带,其中编号剪切带 8 条(图 5)。

EW 向剪切带构造是区内的基底构造,属构造的下部层次,以韧性变形为主。

F_1 剪切带位于 ZYC 公路南侧 47 线附近,走向近 EW,区内长约 1000m。地貌上,该剪切带与同一方向的河流走向一致。磁场特征和地质观察表明,该剪切带实际上是一系列平

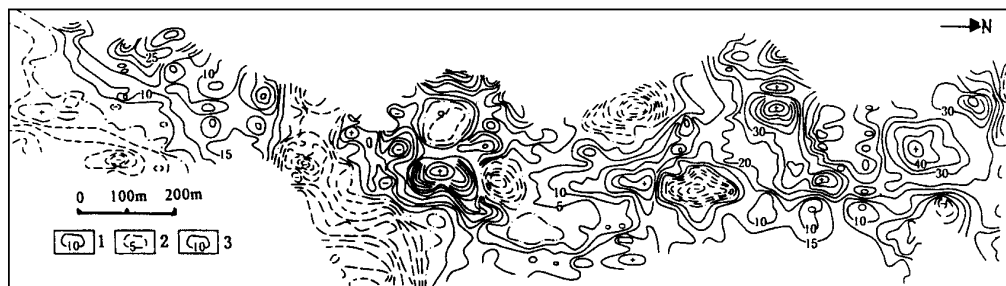


图 3 某普查区磁异常等值线平面图

Fig. 3 The plan of magnetic isoanomaly of the reconnaissance area

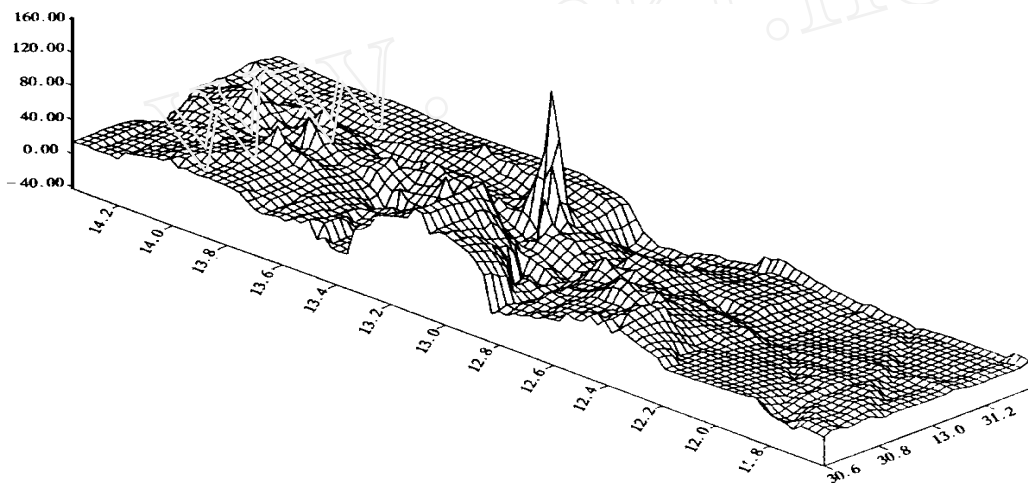
1 - T 正等值线; 2 - T 零等值线; 3 - T 负等值线

图 4 某普查区磁异常三维影像图

Fig. 4 The perspective of magnetic isoanomaly of the reconnaissance area

行的剪切带组成的构造带,而地表岩石蚀变破碎强烈,说明它可能是一条蚀变破碎带。NE、NNE 向剪切带构造在该区占主导地位。该组剪切带构造以招平剪切带为代表。招平剪切带(F_3 和 F_3)是该普查区的主干构造。它南西起于 DBCJ 西侧陡坎进入普查区,中部经 LXC 村西,穿过 QCG 至 SK 出普查区。主裂面及断层泥是其重要识别标志,主裂面呈舒缓波状,产状较为稳定。剪切带总体走向 $NNE15^\circ \sim 40^\circ$,局部近 SN,区内长约 6km,宽 100 ~ 300m。由多种蚀变岩组成,局部地段黄铁矿化发育,左行压扭特征明显。

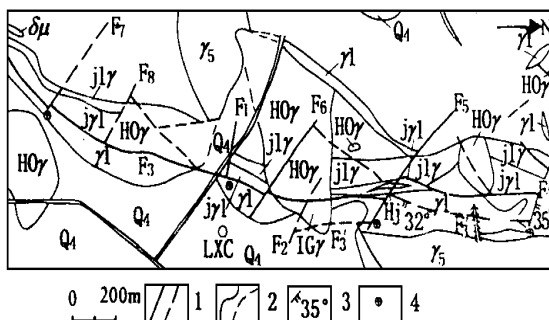
根据磁场特征和地质观察,认为该剪切带岩石蚀变破碎强烈,是一条破碎蚀变带。南西部的剪切带宽度大于东北部。东北部的宽度由磁场梯度带可大致确定,南西部由于受普查区范围限制宽度不详。另据 T 上延磁场图,该剪切带在上延 500 m 后其磁场特征基本消失,说明切割深度不大。

F_4 剪切带位于普查区西北部的 SK 北侧,走向 NWW,剪切带长约 500m,宽 20 m ~

图 5 某普查区剪切变形构造地质图

Fig. 5 The map of the structure and geology of the reconnaissance area in Jiaodong, China

Q-第四系;HO_γ-胶东群;IC_γ-碎裂状黑云变粒岩;
γ₅-花岗岩;μ-碎裂状花岗岩;γ₁-花岗质碎裂岩;
Iγ-钾化、糜棱岩化花岗岩;jγ₁-绢英岩化碎裂状花岗岩;
Hj-黄铁绢英岩;l-实测及推测剪切带;
2-实测及推测地质界线;3-岩层产状;4-金矿(化)点



40m,倾向 NE,倾角 35°。主要由花岗闪长质碎裂岩组成,岩石硅化和绢云母化明显,显示左行压扭性特征。

F5 剪切带位于普查区中北部的 QCG 附近,走向 NWW,区内长 900m。该剪切带切割错断了 NE 向的招平剪切带,使其向 NW 位移约 100m;F6 剪切带位于 LXC 村西,走向 NWW,区内长 1000m;F7 剪切带位于普查区南部 DECZ 附近,走向 NWW,区内长约 800m。该剪切带由多种蚀变岩组成,局部地段黄铁矿化发育,并且切割错断了 NE 向的招平剪切带,使其向 NW 位移约 70m。

从空间分布看,上述 4 条剪切带不仅产状基本一致,而且具有近等距性排列的特点,表明它们可能是同期构造作用产物。更有意义的是,在上述剪切带的南东端与招平主剪切带交汇部位均发现了金矿化,反映其对金矿富集具有明显的控制作用。

根据上述各组剪切带的成生时期、展布规律、形态产状、力学性质、复合关系、相互穿插和切割关系等综合分析认为,东西向剪切带形成最早,北东、北北东向剪切带次之,北西向剪切带最晚。这与区域构造总体规律吻合。

2.3 金的地质-地球物理找矿模型与找矿预测

对 XD 金矿研究表明,蚀变岩型金矿可进一步区分为主剪切带型金矿和次级剪切带型金矿。在紧靠主裂面下盘受到广泛的碎裂作用和热液蚀变作用,往往形成浸染型-细脉型金矿,称之为“主剪切带型”金矿,如 号矿体。远离主裂面的次级脆性构造,常可充填细脉-网脉状矿体,称之为“次级剪切带型”金矿,如 号矿体支脉^[19,20]。该普查区具有与 XD 金矿相近的成矿地质构造条件,因此,通过对 XD 矿区 号矿体区地质、磁场特征观察和研究,建立两种类型的地质-地球物理找矿模型,对普查区的找金预测具有重要的指导作用。

2.3.1 “主剪切带型”金矿地质-地球物理找矿模型 XD 金矿床 号矿体位于招平主干断裂带中,属“焦家式”金矿类型。矿体多呈脉状、细脉状、浸染状及带状。其上盘为胶东群,下盘为花岗岩,矿体区岩石破碎、蚀变强烈。地面磁法 T 曲线在矿体区上方有明显的低磁场区,远离矿体区上盘为较高的磁场区,下盘为相对低的磁场区(图 6a)。

2.3.2 “次级剪切带型”金矿地质-地球物理找矿模型 XD 金矿床 号支脉矿体位于主干断裂旁侧的支断裂上,属“玲珑式”金矿类型。其上、下盘均为花岗岩岩体。矿体呈细脉状、网脉状,赋存于断裂带下盘。地面磁测 T 曲线在矿体区上方也有明显的低磁异常,远离矿体区的上、下盘则为相对高的磁场区(图 6b)。

在上述两类金矿体区上方的明显低磁异常则主要为金矿体及其矿化蚀变带的反映。这

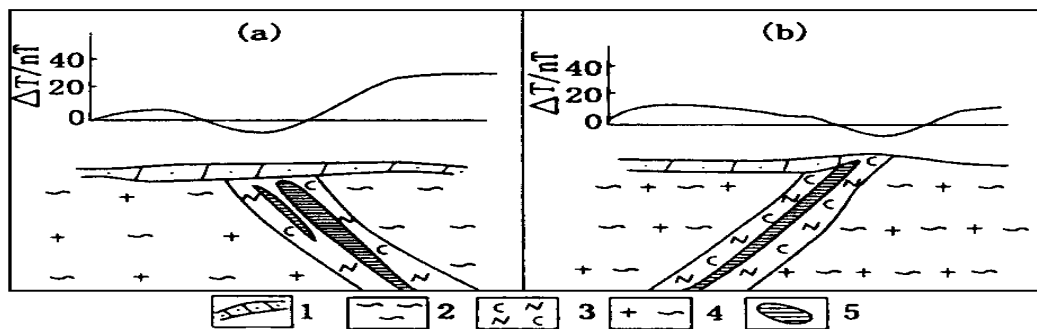


图 6 “主剪切带型”(a)和“次级剪切带型”(b)金矿地质 - 地球物理找矿模型

Fig. 6 The prospecting model of the geology-geophysics of “trunk-shear-belt”(a)

and “secondary-shear-belt”(b) gold ore deposits

1 - 第四系; 2 - 胶东群; 3 - 蚀变破碎带; 4 - 花岗岩; 5 - 金矿体

由物性结果所证实。由于金矿体及其矿化蚀变带磁性微弱,使之与外围岩石的磁场特征有一定的差异,这为利用磁法资料间接找寻目标物 - 金矿体提供了依据。

2.3.3 找矿预测 从上述两种类型的金矿地质 - 地球物理找矿模型中,可提取出找寻金矿地磁指标,即 T 磁场梯度带、过渡带及相对低负磁场区是找金矿的有利区。据此地磁异常指标,结合该普查区地质成矿条件和地球化学分析资料,提出了 4 片找金有利区。

2.4 工程验证结果评价

为了使研究成果尽快服务于找矿生产,作者提出了 2 处重点找矿验证区段,经 XD 矿钻探验证,在一号找金矿有利区内施工钻孔 6 个,有 5 个钻孔见矿,矿体垂直厚度在 0.89 ~ 3.40m 之间,多数矿体垂直厚度大于 1.00m,品位在 1.65 ~ 6.56g/t 之间;在二号找金矿有利区内施工钻孔 2 个,有 1 个钻孔见矿,矿体垂直厚度 0.6m,最高品位 3.4g/t。初步钻探验证结果表明,其见矿率较高(75%),从而验证了利用高精度磁测资料开展找矿预测的有效性和正确性。

3 结论与认识

(1) 地面 $H_c - 95$ 氦(^4He)光泵磁力仪工作性能稳定,测量方法技术正确,测量效果明显(文内介绍从略)。这对于弱磁性差异地区开展以找金矿为主的矿产勘查具有指导作用。

(2) 尽管本区岩(矿)石磁性差异不大,但本次大比例尺、高精度磁法测量所获得的区域磁场结构清晰,客观反映了不同岩性的空间分布特征,对研究金的成矿环境具有重要意义。

(3) 根据磁测结果和地质观察,编制出普查区构造地质图,实测和推测剪切带构造 20 余条,对进一步研究剪切带构造的控矿作用具有重要启发。

(4) 综合研究已知金矿床(体)磁场结构,结合地质资料观测和研究,建立了“主剪切带型”和“次级剪切带型”金矿地质 - 地球物理找矿模型。

(5) 在此基础上,提取出地磁找寻金矿指标,提出 4 片找寻金矿有利区,经初步工程验证,见矿率较高。

参 考 文 献

- 1 赵鹏大,池顺都.初论地质异常.地球科学,1991,16(3):241~248.
- 2 於崇文,岑 况,鲍征宇等.热液成矿作用动力学.武汉:中国地质大学出版社,1993,1~218.
- 3 於崇文.成矿作用动力学——理论体系和方法论.地学前缘,1994,1(3):54~82.
- 4 赵鹏大,王京贵,饶明辉等.中国地质异常.地球科学,1995,20(2):117~127.
- 5 赵鹏大,池顺都.当今矿产勘探问题的思考.地球科学,1998,23(1):70~74.
- 6 於崇文,岑 况,鲍征宇等.成矿作用动力学.北京:地质出版社,1998,1~24.
- 7 邓 军,翟裕生,杨立强等.论剪切带构造成矿系统.现代地质,1998,19(4):493~500.
- 8 翟裕生,邓 军,崔 彬等.成矿系统及综合地质异常.现代地质,1999,13(1):99~104.
- 9 梁德超,郑广如,侯连第.高精度航磁资料在桂滇黔地区金矿普查中的应用效果.物探与化探,1995,19(2):128~134.
- 10 管志宁.我国磁法勘探的研究与进展.地球物理学报,1997,40:299~307.
- 11 翟裕生,邓 军,杨立强等.山东夏甸金矿及其外围矿区隐伏矿体定位预测.地学前缘,1999,6(2):230.
- 12 王炳成.胶东西北部金矿床成矿物理化学条件初探.山东地质,1994,10(1):1~9.
- 13 顾留成,万国普,段林祥等.胶东破碎带蚀变岩型金矿床的地质-地球物理-地球化学模型及评价指标研究.济南:山东科学技术出版社,1996.178~193.
- 14 岑岳忠.航空氦(4He)光泵磁力仪的研制和应用情况.见:地球物理与中国建设.北京:地质出版社,1997.275~277.
- 15 翟裕生,张 湖,宋鸿林等.大型构造与超大型矿床.北京:地质出版社,1997.97~170.
- 16 邓 军,翟裕生,杨立强等.构造演化与成矿系统动力学——以胶东金矿集中区为例.地学前缘,1999,6(2):315~323.
- 17 邓 军,吕古贤,杨立强等.构造应力场转换与界面成矿.地球学报,1998,19(3):244~250.
- 18 邓 军,徐守礼,方 云等.胶东西北部构造体系及金成矿动力学.北京:地质出版社,1996,1~98.
- 19 邓 军,翟裕生,杨立强等.剪切带构造-流体-成矿系统动力学模拟.地学前缘,1999,6(1):115~129.
- 20 邓 军,杨立强,方 云等.剪切带构造成矿动力机制与模式.现代地质,1999,13(2):125~129.

An Example of Applying Ground High-Precision Magnetic Survey to the Prospecting for Gold Deposits in a Gold Reconnaissance Area of Jiaodong

Liang Dechao

(Aerogeophysical Survey and Remote Sensing Center, Beijing)

Yang Liqiang

Deng Jun

(Institute of Geophysics, Chinese Academy of Sciences, Beijing) (China University of Geosciences, Beijing)

Abstract Using the 4He optically pumped magnetometer of Hc-95, the authors made large-scale high-precision magnetic investigations in a certain reconnaissance area of Jiaodong, China. In this paper, the authors emphatically expounded the NW-trending structures of magnetic field in Jiaodong and the reconnaissance area. Based on this, they explained their geologic significance, drew up the structural-geological map of the reconnaissance area. The authors also compared and analysed the characteristics of the magnetic fields of the known ore deposits and ore-bodies, built up the geological-geophysical prospecting models for gold, and carried out the prospecting. Finally, the authors showed the feasibility and efficiency of high-precision ground magnetic prospecting for gold deposits.

Key words ground high-precision magnetic prospecting the deformation structural system of shear zone gold deposit precision