

doi: 10.11720/wtyht.2017.3.06

李荣亮,任杰,田建荣,等.地面磁测和井中磁测在芦草滩磁铁矿勘查中的应用[J].物探与化探,2017,41(3):429-436.http://doi.org/10.11720/wtyht.2017.3.06

Li R L, Ren J, Tian J R, et al. The application of ground magnetic measurement and borehole magnetic measurement to the exploration of the Lucaotan magnetite deposit[J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2017, 41(3): 429-436. http://doi.org/10.11720/wtyht.2017.3.06

地面磁测和井中磁测在芦草滩磁铁矿 勘查中的应用

李荣亮¹, 任杰¹, 田建荣², 刘洋¹

(1. 甘肃省地质矿产勘查开发局 第三地质矿产勘查院, 甘肃 兰州 730050; 2. 甘肃有色冶金职业技术学院, 甘肃 金昌 737100)

摘要: 通过地质普查工作,推断芦草滩矿区深部有较多盲矿体存在,有必要开展进一步的勘查找矿工作。利用 1:1 万地面高精度磁测工作圈定磁异常、推断划分地质构造,对磁异常进行解释和研究,发现了隐伏磁铁矿。采用 2.5D 人机交互拟合对磁测剖面进行反演,进一步推断在深部存在隐伏磁性矿体。利用井中磁测预测井下、井旁盲矿体,有效指导了钻探工作。实践证明,地面磁测和井中磁测的有机结合,在芦草滩磁铁矿勘查中取得了显著的找矿效果。

关键词: 地面高精度磁测;井中磁测;磁异常;磁化率;磁三分量;盲矿体预测

中图分类号: P631 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-8918(2017)03-0429-08

0 引言

芦草滩磁铁矿探矿权设立于 2004 年,截止 2009 年初,未开展系统地勘工作,仅对地表和浅部铁矿体进行了采挖。2009 年以来,地勘单位对芦草滩磁铁矿进行了普查工作,大致查明了矿区地层、构造、岩浆岩的分布和特征,基本查明了矿带的分布和铁矿体产出的地质背景,对矿体进行了浅部工程的揭露。但是由于矿区铁矿体多为小矿体,多数矿体倾斜方向无工程控制,工作程度仅达普查程度。鉴于地表矿化带延伸达 1.0 km,研究认为深部有较多盲矿体存在,有必要开展进一步的勘查找矿工作。

磁法是用用途最广泛的地球物理探测技术之一,尤其是对隐伏磁性矿产的勘查最为快捷与有效^[1-5]。通过在芦草滩矿区开展 1:1 万地面高精度磁测工作,圈定解释了磁异常,推断划分了地质构造^[5,13,16];对磁异常进行了查证和分析研究,发现了隐伏磁铁矿,为该矿区地质找矿工作带来突破。采用 2.5D 人机交互正反演技术对磁测剖面进行反

演^[5-12,17-19],进一步推断在深部存在隐伏磁性矿体^[20-21]。后在钻探施工中,通过井中磁测工作预测井下、井旁盲矿体,有效指导了钻探工作。磁法在芦草滩磁铁矿勘查中的成功应用,可为邻区今后地质找矿工作提供借鉴。

1 矿区地质及地球物理特征

1.1 地层

矿区位于芦草滩背斜的北翼,该背斜核部地层为中泥盆统三个井组下段,两翼由中泥盆统三个井组上段组成。矿区出露地层为中泥盆统三个井组上段,总体走向 100°~120°,倾角在 60°~65°左右,为一个向北倾斜的单斜构造,沿走向略具波状弯曲;另外在沟谷中尚有少量的第四系全新统冲洪积物分布。

中泥盆统三个井组上段(D_{3sg}²)在测区内大面积出露,被华力西中期花岗岩吞蚀和破坏,未见顶底。测区内岩性为灰绿色板状绢云千枚岩、斑点板岩、灰色砂质泥质硅板岩、灰色千枚状板岩夹变中细粒长石石英砂岩、砾岩和不稳定的英安岩及硅质岩、

收稿日期: 2016-03-20; 收稿日期: 2016-07-10

作者简介: 李荣亮(1965-),男,物探工程师,长期从事物探勘查工作。

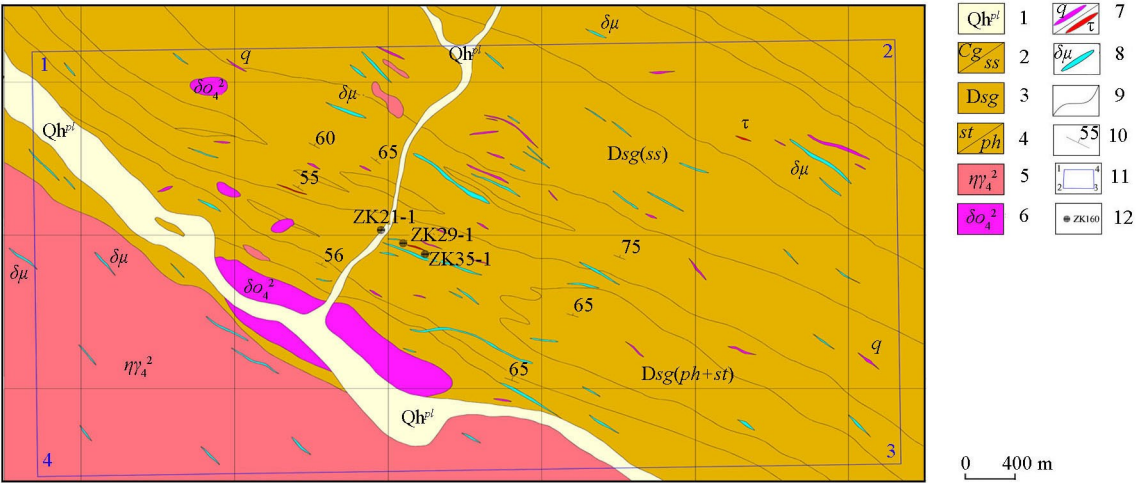


图 1 芦草滩一带地质概况

白色大理岩透镜体。

第四系冲洪积砂砾石层 (Qh^{apl}) 在区内分布广泛,主要由洪积、冲积作用等形成的砂砾石层、砂土、黏土和半胶结砂砾岩等组成(图 1)。

1.2 构造

矿区断层较发育,按走向的不同大致可分为两组:一组为 NW—SE 向的走向断层;一组为 NE—SW 向的横断层,横断层常破坏先期形成的矿体,为成矿后期形成。矿区铁矿化主要受 NW—SE 向断裂控制,铁矿(化)体主要产于断裂带内的板岩、千枚岩、硅质岩中。

1.2.1 NW—SE 向断裂

NW—SE 向断裂为矿区主要含矿控矿构造,特别是矿区中部 NW—SE 断裂,大多数铁矿体均产于中部断裂带及与其平行的从属断裂带内,断层破碎带长 785~2 000 m,宽 10~50 m,倾角地表较陡,多在 55°~70°之间,深部断裂倾角变缓,多在 40°~55°间。这类断裂具有多期活动特征,早期沿滑动面及张性裂隙带充填有闪长玢岩、辉绿玢岩、石英脉,并发生热液蚀变和矿化,发育褐铁矿化、硅化、方解石化、绿帘石化、绿泥石化、黄铁矿化、磁铁矿化等蚀变,是主要的含矿断裂。晚期活动加剧,使充填在断裂带内的岩石发生碎裂岩化、糜棱岩化,形成碎裂岩、花岗质初糜棱岩。

1.2.2 NE—SW 向断裂

NE—SW 向断裂分布于矿区西侧,断层破碎带

长约 570 m,宽 2~8 m,走向 230°,倾向 NW,倾角约 75°~80°,水平断距 2~8 m,主要表现为对前期构造、地层、矿体、岩体(脉)的切割破坏作用;错断 NW—SE 向断裂对先期形成的矿体起破坏作用,后期亦有少量的含矿热液沉淀在该断裂带内,形成少量、小的磁铁矿(化)体。

1.3 岩浆岩

矿区内岩浆活动强烈而频繁,主要表现为华力西中期的海相火山喷发和中酸性岩浆侵入。

喷出岩见于中泥盆世三个井组中,为海相火山喷发形成的灰绿色英安岩,呈不稳定的透镜状夹于灰色砂质绢云母千枚岩中。

矿区内岩浆侵入活动强烈,侵入岩约占全区面积的 1/3,呈岩枝、岩株状产出,岩性以中、酸性为主,脉岩亦发育,时代为华力西中期。岩体除边部结构有些变细外,无明显的岩相变化。

1.4 赋矿层位及矿化特征

矿区磁铁矿的生成和华力西中期中酸性岩浆的高温热液活动有关,磁铁矿体主要位于华力西中期石英闪长岩体与中泥盆世三个井组上段的接触带内,矿体多赋存于 NW—SE 向断裂破碎带及其次级裂隙内,另外个别矿化体位于石英闪长岩体内,因此矿(化)体对层位没有明显的选择性,主要受 NW—SE 向断裂破碎带及其次级裂隙内和华力西中期石英闪长岩体与地层的接触带双重因素控制。

1.5 岩(矿)石磁性特征

工作中,系统采集了矿区出露的各类岩(矿)石标本,进行磁化率测量、统计和分析,以研究矿区不同岩(矿)石的磁性特征,为磁异常的解释推断提供依据。

表 1 显示,矿区除铁矿石矿外,大部分岩石磁化率均较低,表现为弱磁或无磁特征。磁铁矿石磁化率最高,磁化率平均值为 $63\,765\times10^{-5}\text{SI}$,是该矿区磁性最强的岩性;闪长岩具有一定的磁性,可引起相对较高的磁异常;板状千枚岩、花岗岩、大理岩具弱磁性,引起的磁异常较低;砾岩、变砂岩、板岩磁性极

表 1 岩石标本磁化率统计

岩性	磁化率 $\kappa/10^{-5}\text{SI}$	
	变化范围	常见值
砾岩	1~38	7
板岩	0~2	1
板状千枚岩	6~156	43
大理岩	2~157	26
变砂岩	1~12	5
二长花岗岩	1~922	17
钾长花岗岩	1~251	34
闪长岩	45~335	128
磁铁矿石	10750~209873	63765

低,在本次磁测工作中视为无磁性。矿区围岩和赋矿岩(矿)体具有明显的磁性差异,为磁测工作的开展提供了有利的地球物理条件。

2 地面高精度磁测

2.1 面积性磁测工作

在勘查初期,首先进行了 1:1 万地面高精度磁测。本次磁测工作依据测线基本垂直于矿区主要构造、地层的原则布设测网,测线方位角为 20° ,网度为 100m (线距) $\times 40\text{m}$ (点距)。

根据磁异常 ΔT 化极等值线平面图(图 2),该矿区磁异常以高值正异常为主,局部出现低值负异常。工作区存在两个明显磁异常带,即矿区东北部 NWW—SEE 走向的磁异常带 M3 和矿区中部沿 NWW—SEE 走向的磁异常带 M2,磁异常带的走向与矿区地质构造和地层走向一致。异常带 M3 主要由两个独立异常 M3-1 和 M3-2 组成,呈串珠状。异常带 M2 由 M2-1、M2-2 和 M2-3 三独立异常组成,异常强度均较高,并且有一定的展布,初步推断为矿致异常。根据磁异常展布特征,单独圈定了磁异常

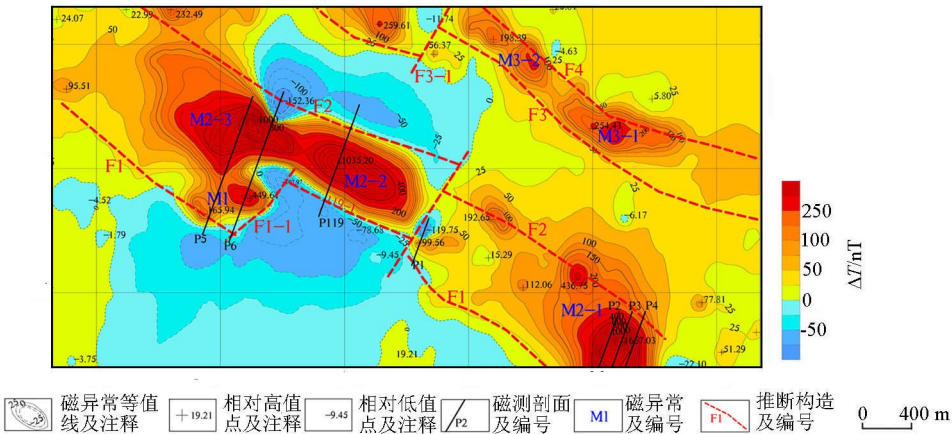


图 2 磁异常 ΔT 化极等值线平面

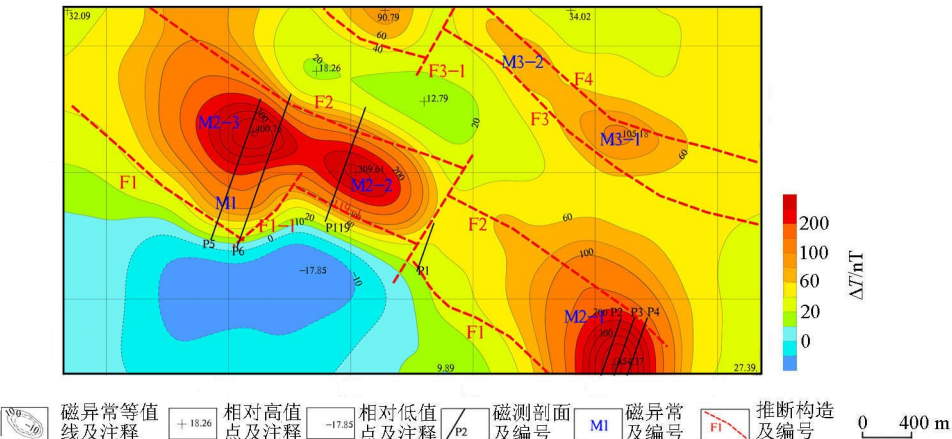


图 3 磁异常 ΔT 化极向上延拓 200 m 等值线平面

M1。通过对磁测成果的综合研究,结合矿区地质特征,推断划分了矿区地质构造(图2)。磁异常 ΔT 经化极处理后,再作不同深度的向上延拓处理(图3),发现磁异常 M2 和 M3 在深部仍有较高强度和较大展布,结合地质资料认为,磁异常带 M2 成矿条件较好,具有进一步的找矿和研究价值。

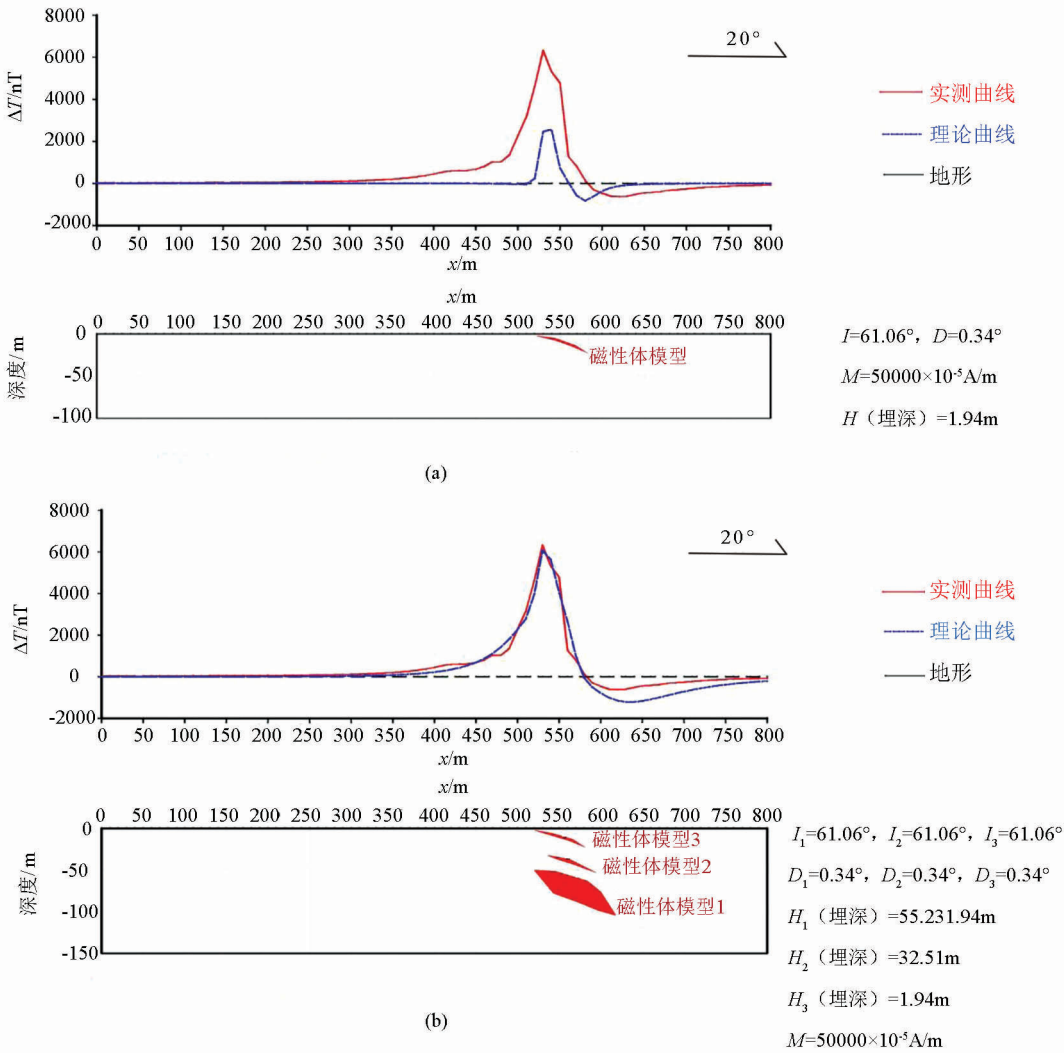
2.2 磁异常查证和剖面 2.5D 人机交互拟合

在综合研究地质、物探资料后,对磁异常 M2-1 利用槽探进行了初步查证。在该异常地下 2 m 处见到品位较高的向北倾斜的磁铁矿体。在磁异常 M2-1 处布设点距为 10 m、方向为 20° 的磁测剖面 P3,并利用剖面 2.5D 人机交互拟合法对已控制矿体进行正演。拟合所用正常场参数为:地磁场强度 $T_0 = 55\,590\text{ nT}$,地磁倾角 $I = 61.06^\circ$,地磁偏角 $D = 0.34^\circ$ 。根据正演拟合结果(图4a),发现浅部已控制矿体在地表引起磁异常较低,与该处的强磁异常不符,剩余异常较高;利用 2.5D 人机交互拟合进行反演,推断

在该异常深部存在隐伏磁性体(图4b)。随后,利用钻探进行了进一步的查证,在深度 30 m 处见到厚度为 3.2 m 的磁铁矿;61~89 m 处见有厚度达 30 m 的磁铁矿体,且品位较高,与反演推断基本一致。

磁异常 M2-1 的查证充分说明地面磁测在磁铁矿勘查中的快捷和高效。同时,磁异常 M2-1 成功的查证,为该矿区地质勘查工作找到了突破。根据磁异常 M2-1 查证经验,在磁异常 M2-2 处布设磁测剖面 P119-1(点距为 5 m,剖面方向为 20°),进行剖面 2.5D 人机交互拟合,拟合选用参数同 P3。根据 2.5D 拟合结果(图5),推断磁异常 M2-2 为多个隐伏磁性体引起的叠加异常。

后来综合研究地质、磁测资料,通过井中磁测的指导,沿 119 号勘探线先后实施 5 个钻孔,除 ZK119-5 未见磁铁矿外,其余钻孔均见到多层高品位的厚矿体。



a—已控制矿体正演拟合结果;b—反演拟合隐伏磁性体结果

图4 磁测剖面 P3 2.5D 拟合结果

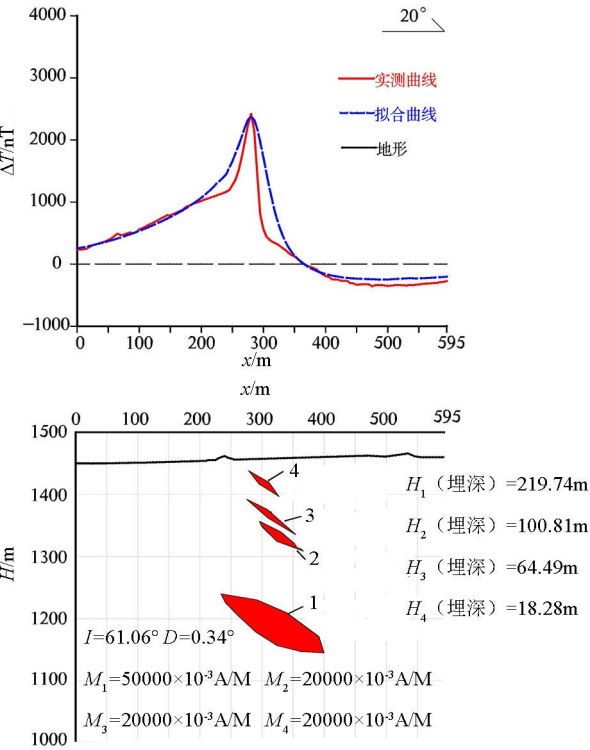


图 5 磁测剖面 P119-1 2.5D 拟合结果

3 井中磁测

3.1 选用磁参量及其意义

地球物理测井对钻探工作具有独特的优势和作用。本次勘查工作中,针对磁铁矿主要选择磁化率和磁三分量等 4 个磁参量进行测量和分析研究。磁化率的大小直接反映了岩(矿)石的磁性强弱,通过对磁化率的测定,分析和研究其值的大小和变化,可对磁铁矿的品位进行大致的判断。分析研究地磁场北向分量 x 和东向分量 y 曲线的变化及其正负开口方向,对井旁是否存在盲矿体及其赋存状态作初步的推断;地磁场垂直分量 z 对于井下盲矿体有“超前预报”的作用。

3.2 钻探查证情况

根据前期的地面磁测成果,结合地质条件研究决定,将磁异常 M2-2 作为下一步查证对象,沿勘探线 119 开展钻探工作。通过钻探工作,ZK119-1 在孔深 72.97 m 处见到厚 0.28 m 的品位较高的磁铁矿,其后分别在 75.12、79.47、82.50、89.12、164.90、185.24 m 等位置见到磁铁矿,尤其是 164.90 m 处矿体厚约 3.57 m,找矿效果喜人。在 186.22~200 m 之间,仅在 190.29 m 处见有 0.25 m 厚的褐铁矿化,其他位置均为围岩。根据钻孔岩芯,围岩主要为千枚状板岩和硅质千枚状板岩,局部夹有闪长岩。在

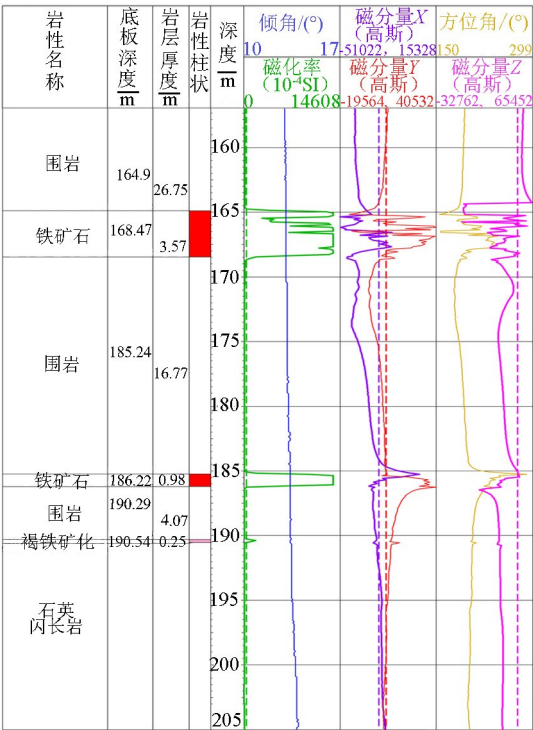
ZK119-1 达到设计孔深 200 m 后,又钻进了 3 m,但未见矿或矿化现象,认为钻探工作达到设计目的,向下再无矿体。

3.3 井中磁测异常分析及其对钻探施工的作用

在 ZK119-1 准备终孔时,从物探角度建议针对磁铁矿进行井中磁测工作。通过分析磁测井曲线(图 6),磁化率曲线有如下特征:①围岩和磁铁矿(化)的磁化率差别极为明显;②磁化率大于 $10 \times 10^{-4} \text{SI}(\kappa)$ 时,均有矿化现象,并且多为褐铁矿化石英岩;③磁化率达到 $10\,000 \times 10^{-4} \text{SI}(\kappa)$ 时,均有磁铁矿存在。

磁三分量曲线有如下特征(图 6):①在围岩段,3 条曲线均为稳定的正常场,曲线无摆动(从成果图直观来看就是 3 条曲线均垂直向下,沿左右无波动,下同);②在磁铁矿(化)出现之前,3 条曲线提前偏离正常值,即曲线向左右不同程度的摆动;③垂直分量 z 曲线基本是在磁铁矿体出现前约 10~15 m 时向右正开口摆动,对下部矿体具有明显的预报作用;④磁铁矿(化)处,曲线呈剧烈的、不规则的波动;⑤当通过矿(化)体后,3 条曲线均逐渐归位到正常场位置。

通过分析和研究磁测曲线得出的上述结论,发现在钻孔深约 190~205 m 间(图 6),磁三分量曲线均未归位到正常场的位置,向左右均有不同程度的



注:图中虚线为对应磁场参数正常场参考线

图 6 ZK119-1 井中磁测曲线及解释成果局部(153~205 m)

偏离,特别是垂直分量 z ,偏离程度极大。因此,推断在井旁和井下存在盲矿体,建议进行钻探查证。

在钻孔深度为 214.17、217.65 m 处分别穿过 0.65、0.50 m 的磁铁矿体;后来在 224.69~233.70 m 间见到厚达 9.21 m 的磁铁矿,239.65 m 处见矿 3.72 m、249.70 m 处见矿 2.20 m(图 7)。

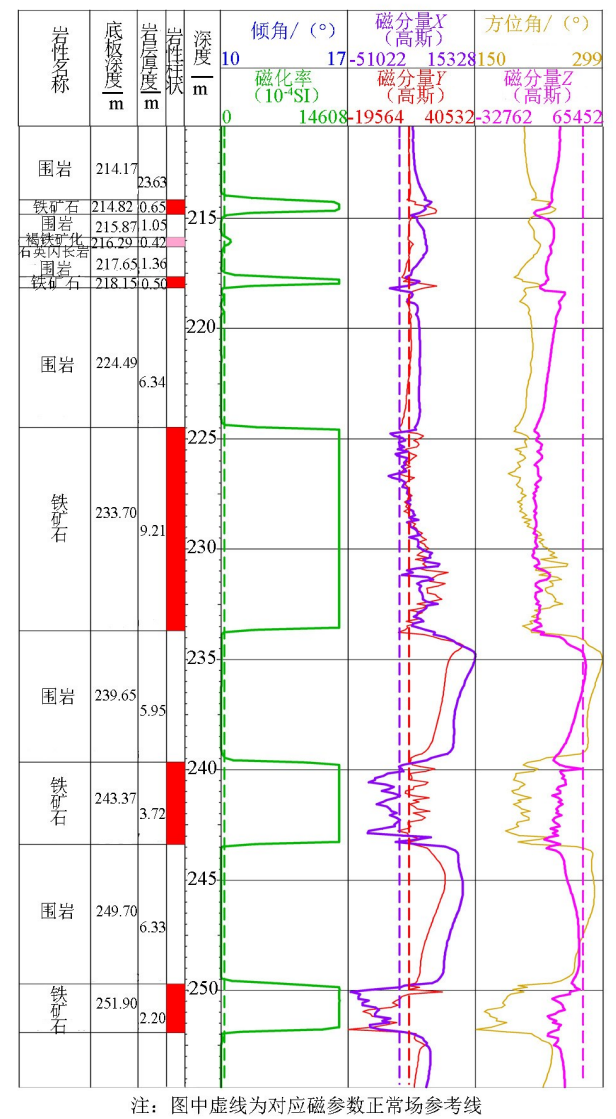


图 7 ZK119-1 井中磁测曲线及解释成果局部(213~254 m)

在孔深到 270 m 时,因 20 多米内未见矿(化)体,孔深已经远远超过设计深度,加之勘查成本较高,考虑是否该终孔,于是进行井中磁测工作。通过磁测曲线发现,磁三分量还有较大程度的偏离,其特征与 190~205 m 间特征极为相似。结合前期工作总结的结论和经验,推断井下仍有盲矿体存在,建议继续实施钻探。

后在孔深 271.62、273.70、299.24、300.32 m 处分别穿过了 0.35、0.27、0.28、0.48 m 的磁铁矿。在孔深

约 339 m 时,再次进行了井中磁测,通过分析和研究磁测曲线(图 8),发现磁三分量曲线均已归位到正常场位置;从成果图直观来看,就是磁三分量曲线均呈垂直向下且沿左右无摆动,建议终孔。

ZK119-1 由设计孔深 200 m 到终孔时的 339 m,共进行了 3 次井中磁测工作,其效果和作用是极为明显的。另外,在孔深 180~200 m 间,磁水平分量 x 和 y 均有极大的偏离和摆动,但是 ZK119-1 在该段矿层厚度不足 1 m,据此推断在井旁存在盲矿体。这一推断在后排孔 ZK119-2 得到验证。

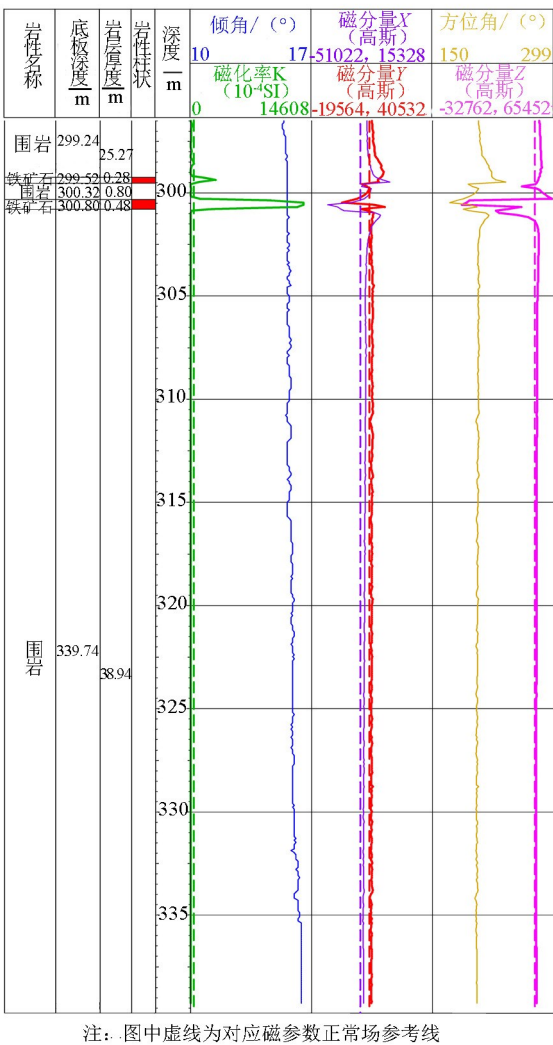


图 8 ZK119-1 终孔井中磁测曲线及解释成果局部(297~339 m)

4 物探、地质综合成果

本次物探勘查工作中,首先利用地面高精度磁测圈定了磁异常,通过对异常的查证和研究,结合地质工作选择有利的磁异常进行钻探验证。在钻探施工过程中,通过井中磁测,预测井下、井旁盲矿体,有

效指导了钻探施工,取得较好的找矿效果。

井中磁测在 ZK119-1 中的成功应用,积累了测井资料解释经验,在后期钻探工作中发挥了重要的指导作用。119 号勘探线共实施 5 个钻孔,除 ZK119-5 未见矿外,其余孔位均见矿,特别是 ZK119-2、ZK119-4,在 200 m 以下获得了厚达 30 m 的矿体(图 9)。

在对 119 号勘探线矿体赋存特征进行综合的研究后认为,该矿区磁铁矿矿头基本处在本次地面磁测成果的正负磁异常的强梯度带上,并且异常有叠加特征,推断在深部存在多个向北东缓倾的斜磁化磁性体。以该结论为指导,先后在不同勘探线上进行钻探验证,均取得突出的找矿效果,大幅扩大该矿区的资源量。

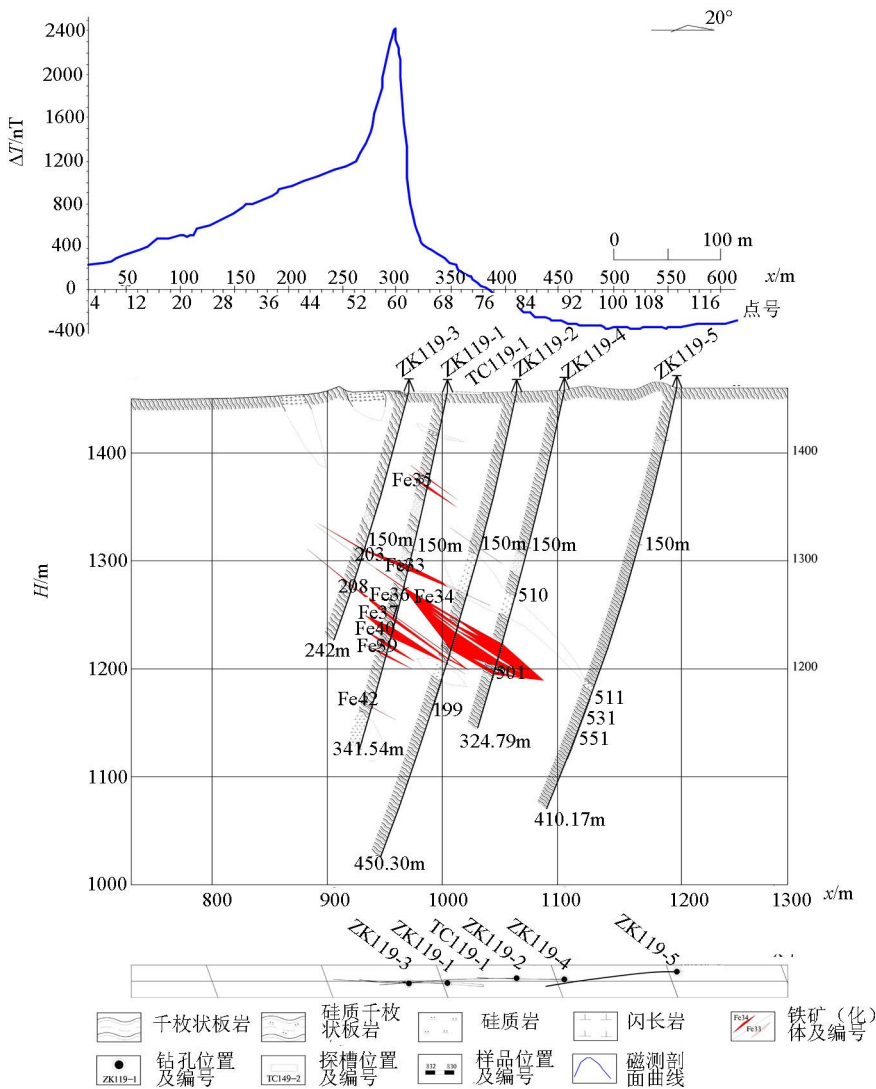


图 9 119 号勘探线磁测、钻探、地质综合剖面

5 结论

1)利用大比例尺地面高精度磁测可以快速圈定磁异常,推断划分地质构造,为下一步工作的开展提供重要依据。

2)在面积性磁测成果的基础上,结合地质资料布设磁测剖面,利用剖面磁异常 2.5D 人机交互反演技术,通过计算已控制磁铁矿体引起的磁异常和剩

余异常,能够有效推断深部是否存在隐伏磁性体。

3)通过井中磁化率、三分量等磁参数的测量,分析和研究其曲线特征,可以预测井下、井旁盲矿体,进而指导钻探工作的施工。

4)地面高精度磁测和井中磁测的有机结合,对芦苇滩铁矿勘查工作的突破发挥了重要的作用。磁法在该矿区的成功应用,可为邻区今后地质找矿工作提供借鉴。

参考文献:

[1] 管志宁.地磁场与磁力勘探[M].北京:地质出版社,2005.

[2] 张胜业,潘玉玲.应用地物物理学原理[M].北京:中国地质大学出版社,2004.

[3] 尉中良,邹长春.地球物理测井[M].北京:地质出版社,2005.

[4] 陈颢,黄庭芳,刘恩儒.岩石物理学[M].合肥:中国科学技术大学出版社,2009.

[5] 范正国,黄旭钊,熊盛青.磁测资料应用技术要求[M].北京:地质出版社,2010.

[6] 于长春,范正国,王乃东,等.高分辨率航磁方法及在大冶铁矿区的应用[J].地球物理学进展,2007,22(3):979-983.

[7] 范正国,黄旭钊,谭林,等.鞍山地区地质构造及深部铁矿[J].地质与勘探,2013,49(6):1153-1163.

[8] 葛藤菲,范正国,黄旭钊,等.攀枝花钒钛磁铁矿深部成矿潜力及找矿方向的航磁资料研究[J].地质与勘探,2015,51(6):1041-1048.

[9] 何敬梓,范正国,黄旭钊,等.红格铁矿三维反演与地质建模[J].地质与勘探,2015,51(6):1049-1058.

[10] 刘士毅,田黔宁,赵金水,等.解决物探异常解释多解性的一次尝试[J].物探与化探,2010,34(6):691-696.

[11] 刘天佑,刘大为,詹应林,等.磁测资料处理新方法及其在危机矿山挖潜中的应用[J].物探与化探,2006,30(5):377-396.

[12] 李富,刘鑫明,廖国忠,等.地面高精度磁测和电磁测深在矿产调查中的应用[J].地球物理学进展,2013,28(1):427-433.

[13] 梁明,刘占兴,邓凯.地面高精度磁法测量在甘肃某金矿普查区的应用[J].工程地球物理学报,2011,8(1):47-50.

[14] 郭志华,张宝林,祁民,等.地面高精度磁测在蒙古13451矿区地质填图中的应用[J].地球物理学进展,2011,26(5):1802-1811.

[15] 简燕,李文尧,武中华.高精度磁测正常场改正和高度改正精度[J].物探与化探,2011,35(3):368-370.

[16] 中华人民共和国地质矿产部.DZ/T 0144-94 地面磁勘查技术规程[S].1995.

[17] 周子阳,常树帅,宁媛丽,等.2.5D 人机交互反演在航磁异常解释中的应用[J].物探与化探,2016,40(6):1232-1236.

[18] 刘璿,孟贵祥,严加永,等.重磁3D物性反演技术在金属矿勘探中的应用[J].地质与勘探,2011,47(3):448-455.

[19] 王少帅,邓国武,汪冰,等.高精度磁测与激电测深在航磁异常查证中的应用[J].物探与化探,2016,40(5):916-922.

[20] 陈炳锦.地面高精度磁法在陕南西乡地区磁铁矿勘查中的应用[J].物探与化探,2014,38(6):1129-1133.

[21] 屈栓柱,胡华伟,潘德仁.高精度磁测在尼勒克县穹库尔铁矿中的应用分析[J].物探与化探,2016,40(5):910-915.

The application of ground magnetic measurement and borehole magnetic measurement to the exploration of the Lucaotan magnetite deposit

LI Rong-Liang¹, REN Jie¹, TIAN Jian-Rong², LIU Yang¹

(1.No. 3 Institute of Geology and Mineral Exploration, Gansu Bureau of Geology and Mineral Exploration and Development, Lanzhou 730050, China; 2. Gansu Vocational & Technical College of Nonferrous Metallurgy, Jinchang 737100, China)

Abstract: Through geological survey, the authors infer that there are more blind orebodies at the depth of the Lucaotan mining area, and hence it is necessary to carry out further exploration. Using the 1 : 1 million ground high-precision magnetic measurement, the authors delineated the magnetic anomalies, inferred and divided the geological structures. Through interpretation and study of the magnetic anomalies, the authors found the hidden magnetite orebody. By using the 2.5D human-computer interactive inversion technique the authors inferred that there exist hidden magnetic orebodies at the depth. Borehole magnetic measurement plays an important role in guiding drilling work. Practice has proved that the organic combination of ground magnetic measurement and borehole magnetic measurement in the exploration of the Lucaotan magnetite deposit has made significant prospecting effect.

Key words: ground high-precision magnetic measurement; borehole magnetic measurement; magnetic anomaly; magnetic susceptibility; borehole magnetic three-components; blind orebody prediction

(本文编辑:王萌)