

井中三分量磁测在青海尕斯库勒铁多金属矿的应用

王永国, 汪钟莲, 李 暖, 吴小波

青海省有色地质矿产勘查局地质矿产勘查院, 青海 西宁 810000

摘 要: 尕斯库勒铁多金属矿区为戈壁荒漠, 第四系覆盖层厚度在 120~200 m 之间, 钻探工程后进行三分量井中磁测是最为直接的寻找井底、井旁等盲矿体的方法。通过对尕斯库勒矿区钻孔的三分量井中磁测资料分析, 深入研究 ΔZ 、 $\Delta H'$ 曲线及 $\Delta T'$ 矢量的变化规律, 在寻找钻孔四周和深部隐伏的矿体, 科学指导布设钻孔减少钻探工作量, 以及指导钻孔施工进度, 提高见矿命中率, 取得了良好的效果。三分量井中磁测在矿区已经成为必不可少的方法之一。

关键词: 三分量井中磁测; ΔZ ; $\Delta H'$; ΔT ; 铁多金属矿; 隐伏矿体; 青海尕斯库勒

DOI:10.13686/j.cnki.dzyz.2016.01.016

THREE-COMPONENT BOREHOLE MAGNETIC SURVEY IN THE GALINGE IRON POLYMETALLIC DEPOSIT IN QINGHAI PROVINCE

WANG Yong-guo, WANG Zhong-lian, LI Nuan, WU Xiao-bo

Institute of Geology and Mineral Resources Exploration, Qinghai Bureau of Nonferrous Metal and Geological Exploration, Xining 810000, China

Abstract: The Galinge iron polymetallic orefield is located Gobi desert, covered by Quaternary layer of 120–200 meter thick. After the drilling project, three-component magnetic survey in boreholes is the most direct way to search blind orebodies in the bottom or nearby the holes. Based on the analysis of the three-component borehole magnetic survey data in the Galinge orefield, the authors research the change rule of ΔZ and $\Delta H'$ curves and $\Delta T'$ vector. In the seeking of orebodies around the borehole and in the deep, this method is effective to guide the distribution of drill holes scientifically and promote the probability of positive drill hole.

Key words: three-component magnetic survey; ΔZ ; $\Delta H'$; $\Delta T'$; iron polymetallic deposit; blind orebody; Galinge in Qinghai Province

0 引言

三分量井中磁测技术在找矿方面的应用, 显示了井中磁测在地球物理应用领域的优势^[1], 在划分钻孔剖面上的磁性岩体或矿体以及勘探井旁或井底含磁性矿物与磁性矿物关联的隐伏矿体方面提供了强有力的工具。井中磁测可以提供周围一定空间范围内磁性地质体空间分布和空间磁场变化等资料, 是普查勘探磁铁矿床和含磁性矿物多金属矿床的一种有效的井中物探方法。

尕斯库勒铁多金属矿是 1975 年由原青海省物探队在检查航磁 M512 异常时发现的, 随后用钻探工程验证, 并同时进行了三分量井中磁测。通过三分量井中

磁测资料分析, 证实了航磁 M512 异常为磁铁矿引起的异常推断。从 2002~2013 年, 青海省有色矿勘院在矿区做过大量工作, 已经达到勘探阶段, 三分量井中磁测多达 200 口钻井, 发现隐伏矿体 10 余条, 经过实践证明, 三分量井中磁测在寻找井底、井旁隐伏矿体中有不可替代的作用。

1 研究区地质简介

尕斯库勒矿床是位于柴达木盆地西南祁漫塔格断裂带, 主要以铁为主, 共伴生有钴、铜、铅、锌等多元素的多金属矿床, 前人工作发现 7 个铁矿矿群。研究区出露地层主要为早古生界滩涧山群一套基性火山岩组、碳

收稿日期: 2014-04-04; 修回日期: 2015-03-28. 编辑: 张哲.

作者简介: 王永国 (1985—), 男, 从事磁法和测井工作, 通信地址 青海省西宁市经济开发区金和路 36 号, E-mail://qhxnwyg@163.com

酸盐岩组和碎屑岩组, 其中主要有泥硅质岩、透辉石岩、大理岩。矿区岩浆岩活动强烈, 岩浆岩以中基性火山岩-次火山岩为主, 其次为酸性-中酸性侵入岩。矿体顶板为泥质硅质岩或者大理岩、透辉石岩、蚀变矿化中基性火山岩, 底板为蚀变矿化中基性火山岩或透辉石硅质岩、夕卡岩。围岩蚀变强烈, 蚀变类型复杂, 先后叠加, 主要有火山喷流-沉积作用和后期夕卡岩化热液叠加形成的火山喷流-岩浆热液叠加改造型矿床^①。

本区有规模的矿床与奥陶纪滩涧山群有关, 矿床类型多为喷流-沉积改造型, 少数为夕卡岩型。从成矿规律来看, 铁矿成矿时间在早古生代, 成矿物质来源于上地幔; 滩涧山群火山喷流(汽)-沉积成矿系统发育, 喷流-沉积改造型矿床占主导地位; 本区华力西、印支-燕山期的中-酸性侵入岩在成矿作用上提供了物源和热能, 并对前期形成的矿床进行叠加改造。成矿作用所特有的规律是: 铁矿在前, 铜矿次之, 铅锌最后。

2 地球物理特征

从表 1 可以看出, 该区磁铁矿具强磁性, 磁黄铁矿次之, 围岩均显示弱磁或无磁性。因此, 本区利用磁法寻找磁铁矿具有良好的地球物理前提。

表 1 尕林格矿区磁物性测定统计表
Table 1 Physical properties surveyed in the Galinger orefield

岩矿类型	岩矿名称	标本数	几何平均值	
			$\kappa (4\pi \cdot 10^{-6} \text{SI})$	$J_r (10^{-3} \text{A/m})$
磁铁矿	致密块状磁铁矿	120	5.01×10^5	6.40×10^4
	稀疏浸染状磁铁矿	120	4.23×10^4	2.86×10^4
黄铁矿	磁铁矿化黄铁矿	30	5.90×10^4	2.56×10^4
	含磁铁矿磁黄铁矿	30	1.02×10^4	2.34×10^3
围岩	细晶闪长岩	30	1.07×10^3	8.15×10^2
	泥质硅质岩	30	3.77×10^2	1.98×10^2
	硅质岩	30	5.35×10^3	1.26×10^2
	英安质凝灰岩	30	7.54×10^1	9.10×10^3

据青海省有色地质矿产勘查局地质矿产勘查院《2011 年尕林格物探工作报告》。

3 钻孔中三分量磁异常解释及工程验证

1) 三分量井中磁测能够划分出磁铁矿层和其他地层。

对尕林格 矿区钻孔 ZK14605 三分量井中磁测 ΔZ 、 $\Delta H'$ 和 $\Delta T'$ 曲线进行分析(图 1), 从 630~650 m, ΔZ 、 $\Delta H'$ 曲线呈锯齿状变化, 并正负相伴。其中 $\Delta H'$ 最大值为 16369.99 nT, 最小值为 -28437.6 nT; ΔZ 最大值为 17502 nT, 最小值为 -34536 nT; $\Delta T'$ 矢量呈无规律的发散状。结合岩性分析, 主要是由磁铁矿矿石、磁黄铁

①青海有色矿勘院. 青海省格尔木市 2011 年尕林格矿区地质报告. 2011.

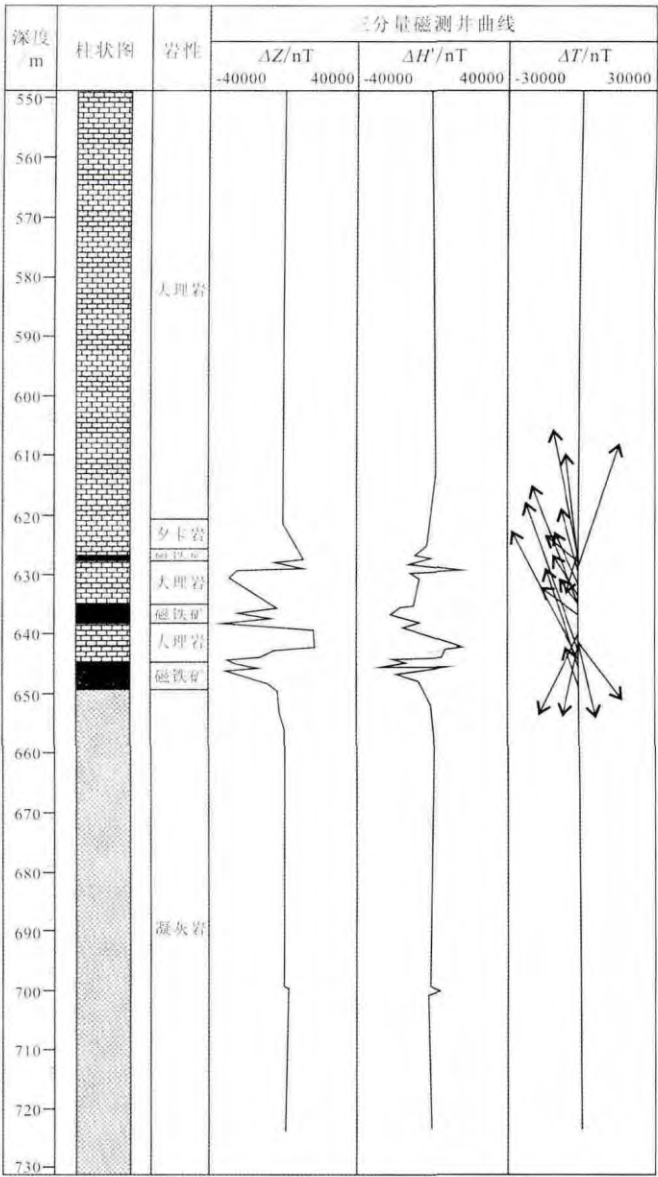


图 1 尕林格 矿区 ZK14605 三分量磁测曲线图
Fig. 1 Three-component magnetic survey curves of ZK14605 drill hole in Galinger No. ore block

矿、磁铁矿夕卡岩所引起的。 ΔZ 、 $\Delta H'$ 曲线底部没有正负开口, 说明井底没有磁性体富集。

由图 1 结合地质编录可以看出, 三分量磁测井数据曲线呈锯齿状变化, 地层为含磁铁矿矿石区域, 进而有效地与不含磁铁矿地层区分开来。综上所述: 三分量井中磁测根据 ΔZ 、 $\Delta H'$ 曲线及 $\Delta T'$ 矢量的变化能较为客观地划分出磁铁矿层, 并且结合深度标尺计算出磁铁矿层厚度。

2) 三分量井中磁测能够发现很好的旁侧异常。
为在尕林格 矿区寻找新的铁矿体, 在 272 线根据以往经验布设钻孔 ZK27201, 在底部 609.3~619.1 m

处发现一条磁铁矿夕卡岩带. 为了判断磁铁矿夕卡岩带的方位, 进行了三分量井中磁测. 通过对 ΔZ 、 $\Delta H'$ 曲线和 $\Delta T'$ 矢量分析 (图 2), 在 460~570 m 之间, $\Delta H'$ 曲线呈反“S”形, ΔZ 曲线呈正“C”形, $\Delta T'$ 矢量在 450~500 m 呈有规律的发散状. $\Delta T'$ 矢量反向延长线相交于一点, 证明井旁异常存在, 推断磁性体在相对于钻孔的北、东北、北西侧, 应用半极值法计算在 ZK27201 孔旁 50 m 左右, 埋深大约 510 m^①. 根据 ZK27201 孔三分量曲线分析结论, 在 ZK27201 孔北侧 50 m 布置 ZK27203 孔, 在 476 m 处见到磁铁矿体, 厚度达 30 m, 矿体品位为 35%. 由此得出, 根据 ΔZ 、 $\Delta H'$ 曲线的形态变化规律及 $\Delta T'$ 矢量的发散与收敛首先能判断是否有井旁磁性异常存在并推断出相对于钻孔的方位, 其次能进一步应用半极值法大致计算出距离钻孔的距离及深度.

3) 三分量井中磁测能够发现井底异常.

井中磁测对矿体下部延伸的情况有很强的反映能力^[2]. 在 矿区 173 线布设钻孔 ZK17301, 钻孔未见矿. 通过对地面和钻孔资料的分析, 布设了钻孔 ZK17304, 在钻孔钻进到 689 m 时仍没有见矿. 地质人

员对是否钻进不好判断, 于是对该井进行了三分量井中磁测井工作, 从三分量测井曲线分析 (图 3): 在 563~684 m, $\Delta H'$ 值逐渐增大, 在 563 m 处 $\Delta H'=375$ nT, 684 m 处 $\Delta H'=8494$ nT, 有正开口, 且梯度较大; ΔZ 曲线在 563 m 处 $\Delta Z=1472$ nT, 且逐渐增加到最大值, 在 633 m 处 $\Delta Z=3061$ nT, 然后逐渐减小, 在 684 m 处 $\Delta Z=430$ nT, 说明梯度较大且存在喇叭口; $\Delta T'$ 矢量有规律地向下且向同一方向收敛, 其延长线相交于一点, 值逐渐增大, 推测井底可能有磁性体富集, 建议钻探加深 20~30 m. 该钻孔继续施工后, 在 703 m 处见到第一层矿体, 随后在 721、737、742、758 m 先后有见到 4 层磁铁矿矿石层, 共计见矿 5 层, 累计厚度 51 m, 品位在 40%, 取得了满意的地质效果. 综上可知: 井中三分量磁测, 根据 ΔZ 、 $\Delta H'$ 曲线在井底变化的梯度大小及正负开口情况及 $\Delta T'$ 矢量延长线 (反相延长线) 是否收敛于一点, 从而判断井底是否有磁性体富集, 可达到指导是否继续钻进的目的.

4) 井中三分量磁测在勘探期间确定圈边孔位和推断周围是否还有磁性体存在, 达到节约钻探工作量的目的.

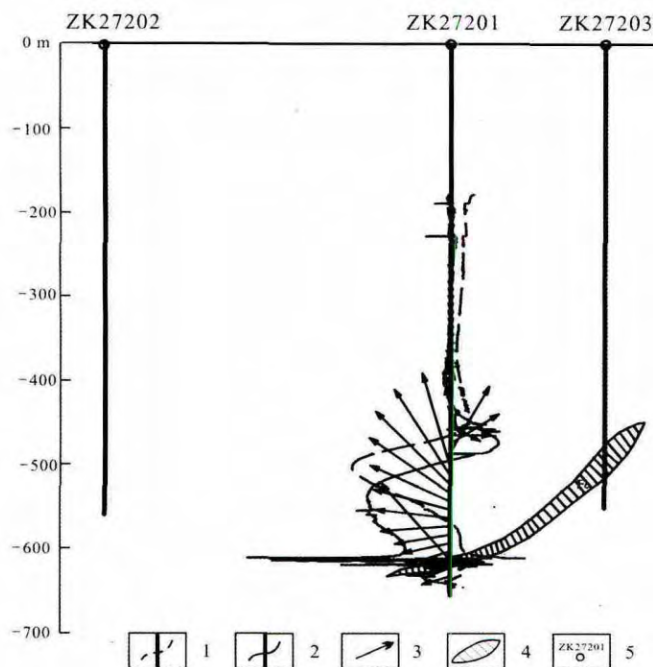


图 2 杂林格 矿区 ZK27201 三分量磁测曲线图

Fig. 2 Three-component magnetic survey curves of ZK27201 drill hole in Galiner No. ore block

1—三分量磁测 ΔZ 曲线 (ΔZ curve); 2—三分量磁测 $\Delta H'$ 曲线 ($\Delta H'$ curve); 3—三分量磁测 $\Delta T'$ 矢量 ($\Delta T'$ curve); 4—磁铁矿体 (magnetite orebody); 5—钻孔及编号 (drill hole and code)

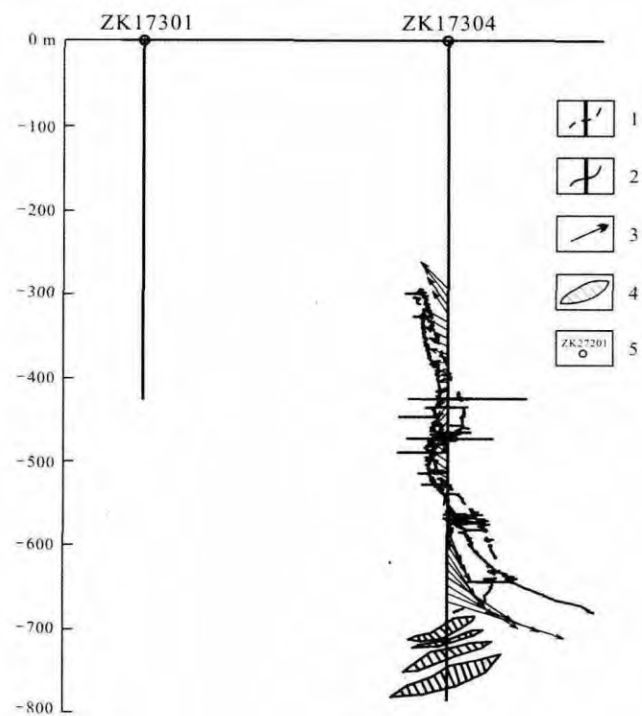


图 3 杂林格 I 矿区 ZK17304 三分量磁测曲线图

Fig. 3 Three-component magnetic survey curves of ZK17304 drill hole in Galiner No. I ore block

1—三分量磁测 ΔZ 曲线 (ΔZ curve); 2—三分量磁测 $\Delta H'$ 曲线 ($\Delta H'$ curve); 3—三分量磁测 $\Delta T'$ 矢量 ($\Delta T'$ curve); 4—磁铁矿体 (magnetite orebody); 5—钻孔及编号 (drill hole and code)

①青海省有色地质矿产勘查局地质矿产勘查院. 2011 年杂林格物探工作报告.

在 矿 区 64 号 勘 探 线 上 钻 孔 ZK6401, 在 450~560 m 发现厚大的磁铁矿层. 进行井中三分量磁测分析 (图 4), $\Delta H'$ 、 ΔZ 曲线在 450~560 m 处呈锯齿状无规律形态变化, $\Delta T'$ 矢量呈发散状, 说明为该矿体引起的磁异常. 为了追索该矿体, 在 ZK6401 南侧 50 m 布置 ZK6402 号孔, 进行井中三分量磁测, 在 520~550 m 处, $\Delta H'$ 、 ΔZ 曲线呈锯齿状变化, 结合地质编录此处为磁铁矿体引起的磁异常, 并且在 460~560 m 处 $\Delta H'$ 呈反“S”形, ΔZ 呈正“C”形, 推测矿体在相对于钻孔的北、北东、北西侧, 运用半极值法计算得到矿体大致在钻孔的北东侧 50 m 处, 埋深 510 m. 证明 ZK6402 号孔为矿体的南部边缘, 由此圈定出矿体南面边界. 为了追索该矿体北面延伸, 在 ZK6401 号孔北面 50 m 布置 ZK6403 号孔, 结合地质编录在 480~490 m 处有磁铁矿分布. 进行井中三分量磁测, 在 400~490 m 处 $\Delta H'$ 呈正“S”形, ΔZ 呈正“C”形, 推测矿体在相对于钻孔的南、南东、南西侧, 运用半极值法计算得到矿体大致在钻孔的南西侧 45 m 处, 埋深 445 m. 由此推断 ZK6403 号孔

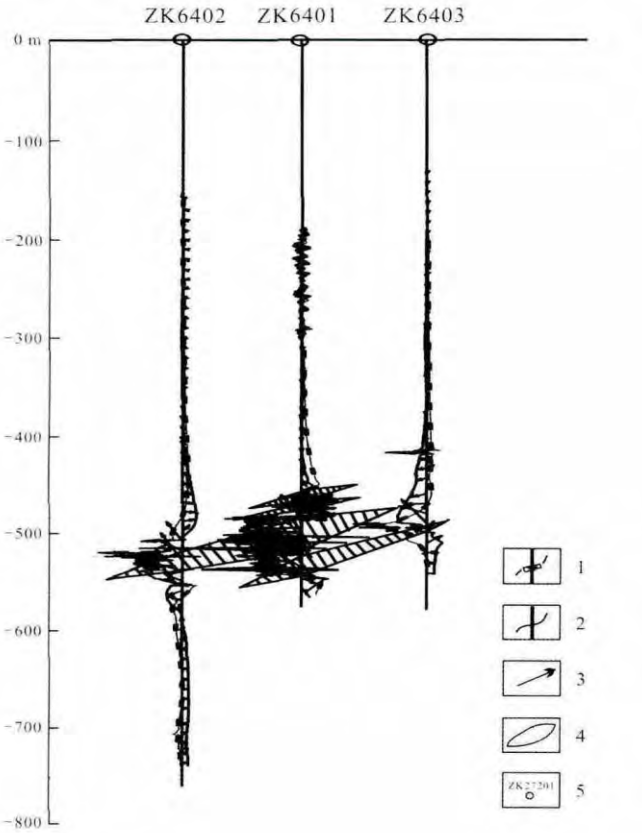


图 4 尕林格 II 矿区 173 线剖面三分量磁测曲线图

Fig. 4 Three-component magnetic survey curves of Profile 173 in Galiner No. II ore block

1—三分量磁测 ΔZ 曲线 (ΔZ curve); 2—三分量磁测 $\Delta H'$ 曲线 ($\Delta H'$ curve); 3—三分量磁测 $\Delta T'$ 矢量 ($\Delta T'$ vector); 4—磁铁矿体 (magnetite orebody); 5—钻孔及编号 (drill hole and code)

为矿体的北部边缘, 圈定了矿体的北面边界. 综上所述: ZK6402 及 ZK6403 号孔确定矿体为北东倾板状体, 并圈定了矿体南面和北面边界, 没有必要追索该矿体, 起到了节约钻探工作量的目的.

5) 井中三分量磁测不仅可以发现远离钻孔的强磁性铁矿, 也可以用来发现与磁黄铁矿、磁铁矿物有共生关系的有色金属、贵金属和稀有金属等磁性较弱的矿床.

在 矿 区 为 了 验 证 地 面 低 缓 异 常, 布 设 钻 孔 ZK30606, 钻 进 到 623 m 时 发 现 磁 黄 铁 矿 有 1 m 厚. 继 续 钻 进, 在 636.83~637.35 m 之 间 为 磁 铁 矿 矿 石, 在 653.05~656.91 m 发 现 铅 锌 矿. 通 过 三 分 量 磁 测 并 对 ΔZ 、 $\Delta H'$ 曲线和 $\Delta T'$ 矢量分析 (图 5), ΔZ 、 $\Delta H'$ 曲线在 220~286 m 呈锯齿状变化. ΔZ 最大值 5743 nT, 最小值 -9220 nT; $\Delta H'$ 最大值 8737 nT, 最小值 -5937 nT, 推

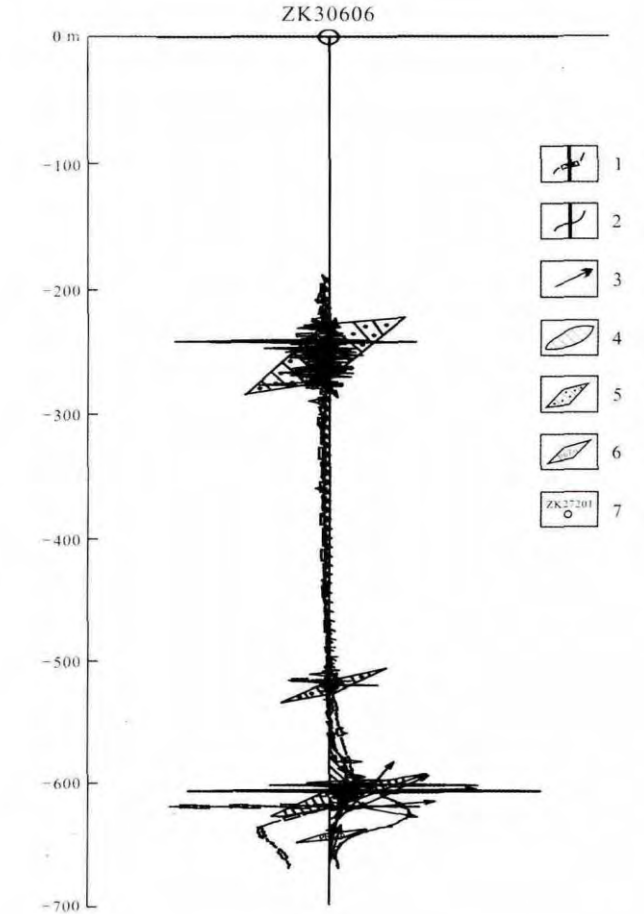


图 5 尕林格 VI 矿区 ZK30606 三分量磁测曲线图

Fig. 5 Three-component magnetic survey curves of ZK30606 drill hole in Galiner No. VI ore block

1—三分量磁测 ΔZ 曲线 (ΔZ curve); 2—三分量磁测 $\Delta H'$ 曲线 ($\Delta H'$ curve); 3—三分量磁测 $\Delta T'$ 矢量 ($\Delta T'$ vector); 4—磁铁矿体 (magnetite orebody); 5—星点状磁黄铁矿 (sparkled pyrrhotite); 6—含铅锌矿夕卡岩 (Pb-Zn-bearing skarn); 7—钻孔及编号 (drill hole and code)

测为磁性体的影响. 结合地质编录分析, 此段分布星点状、星团状磁黄铁矿. ΔZ 、 $\Delta H'$ 曲线在 520~540 m 呈锯齿状变化, ΔZ 最大值 5034 nT, 最小值 -9541 nT; $\Delta H'$ 最大值 11109 nT, 最小值 -3769 nT. 根据岩性分析, 此段是由分布星点状、星团状磁黄铁矿引起的. ΔZ 、 $\Delta H'$ 曲线在 610~630 m 呈锯齿状变化. ΔZ 最大值 14764 nT, 最小值 -3490 nT; $\Delta H'$ 最大值 25272 nT, 最小值 5841 nT. 结合岩性分析, 此段为磁铁矿引起的异常. 在 530~680 m, ΔZ 曲线呈反“S”形, $\Delta H'$ 呈反“C”形, 推测有旁侧异常, 井旁盲矿推测在相对于钻孔的北、北东、北西侧. 根据半极值法推测, 磁性体大致埋深为 640 m, 距钻孔 30 m 左右处. 由于工作量限制, 未能验证该孔旁测异常. 此孔为矿区找铅锌矿提供了新的方向.

4 结论

1) 井中磁测属于间接找矿, 其异常大小仅取决于磁性矿物含量的多少和磁性体的规模大小, 与有色金属矿或金属矿的大小及品味的贫富并没有直接的关系, 因此深入研究井中磁测的低缓异常是不可忽视的.

2) 在有色金属(或多金属)矿的钻孔中, 要重视井中弱异常的研究, 对于有些磁性较弱的有色金属、贵金属矿床, 当埋藏较深时, 已不能形成地面磁异常, 但通过井中磁测能很好地发现未被钻孔揭露的隐伏矿体.

3) 井中磁测的最大优势, 是依靠钻井工程能把测量探管放入地下深部接近目标体, 灵敏地发现纵向矿体的存在, 这是地面磁测的不足之处. 其次未能揭露矿体的钻井, 可以通过井中三分量磁测得知井四周和底部相当大的范围内是否有矿体存在. 如发现有隐伏矿体存在, 还可以知道矿体的空间位置.

4) 磁铁矿区或者含有磁铁矿的金属矿区均应开展井中磁测工作, 特别是未见矿的钻孔必须进行井中磁测工作.

参考文献:

- [1] 张丽霞. 井中磁测技术发展述评[J]. 工程地球物理学报, 2007, 4(4): 375—379.
- [2] 王庆乙. 高精度井中三分量磁测是矿山深部找矿的有效手段[J]. 物探与化探, 2009, 33(3): 235—244.