第 10 卷 第 4 期
2004 年 12 月

黄 金 地 质
GOLD GEOLOGY

Vol. 10 No. 4
Dec., 2004

在金矿勘探中应用 STING-SWIFT 高密度电法

马德锡，赵玉锁，陈孝强，于爱军，卿 敏
(武警黄金地质研究所，河北 廊坊 065000)

摘要：STING-SWIFT 高密度电法系统可以应用于多金属、金属硫化物矿，地下水、浅部煤矿等资源勘探，也可以从事工程质量、无损检测，隐患勘探等。在金矿勘探中主要采用偶极-偶极装置，电极数 42 个，可以探测 150 m 以内的电阻率和充电率的精细结构，以推断精细的地质和电子性导电矿物结构。通过对黑龙江金厂、河北峪耳崖、青海门源多拉隆洼等金矿区的工作表明，该系统不同的参数设置往往会给结果带来很大差异；尤其是对于不同的矿区，灵活调整工作参数、极距、最大偶极距、测量时间、误差限等，将能收到事半功倍的效果。

关键词：金矿勘探；高密度电法；电阻率；接地电阻
中图分类号：P631.3 **文献标识码**：A **文章编号**：1006-558X (2004) 04-0070-05

1 系统简介

STING-SWIFT 高密度电法仪硬件主要由主机 (STING)、开关转换器 (SWIFT)、开关、不锈钢电极、电缆线、固体不极化电极、电瓶 (12 V)、数据线等组成。软件有控制测量、数据传输及转换，命令文件创建，反演处理成图三大模块 (2 D，3 D)①。测量装置有偶极-偶极、单极-偶极、单极-单极、温纳、斯龙贝格等。可以进行二维、三维单条剖面测量，也可以进行长剖面滚动测量等，这些不同测量过程的实现只需要将编辑命令程序文件下载到主机上即可。该系统可以应用于多金属矿、地下水、浅部煤矿等资源勘探[1]，也可从事工程质量、无损检测，隐患勘探[2~4]。可从事地面和水下探测，也可进行三维测井等[5]。STING-SWIFT 高密度电法系统与一般的高密度电法相比，有以下几大优点。

1) 系统参数选择的多样性能降低工作难度，提高工作适用范围，增加成果的可靠性，数据处理减少了人为因素所带来的误差。

2) 可以同时采集电阻率 (ρ) 和充电率 (M_s) 2 项参数；这对金属矿勘探非常有利[6]。

3) 实现三维测量功能，可以进行大范围的剖面和小范围的三维测量。

4) 测量之前由主机自动检测接地电阻，接地电阻值直接反映电极与开关、电极与地面、电极与电极之间的连接状况，这样就可以有针对性地采取浇盐水等处理措施，从而使测量数据排除干扰信号。

5) 提供滚动测量功能，实现了在同一深度下由主机控制一次性进行 n 到 10 n km 的长剖面测量。

6) 简单快捷的地形改正，只需在记事本中输入地形数据一起参加反演即可。

①Loke M H. Geoelectrical imaging 2&3D (ver. 3.4).

收稿日期：2004-10-08。李杰美编辑。

作者简介：马德锡 (1976-)，男，甘肃平凉人，武警黄金地质研究所助理工程师，学士，从事金矿地球物理研究。

© 1994-2007 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

在金矿勘探中主要采用偶极-偶极装置，电极数 42 个。这种装置组合可以探测 0～150 m 深度的电阻率和充电率的精细结构，以推断精细的地质和电子性导电矿物结构[7]。

2　工作原理

2.1　基本原理

STING- SWIFT 高密度电法系统控制测量程序模块的物理基础如图 1[8]所示。

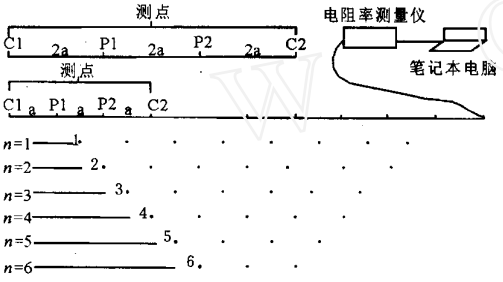


图 1　STING- SWIFT 高密度电法系统剖面测量基本原理图

图中 C1，C2，P1，P2 分别为偶极-偶极装置的 4 个电极，a 为极距，n 为偶极距，可见随着偶极距的增加，测量深度逐层增加；实际工作中层厚并不是均匀变化的，第 1 层的厚度为极距的 30 %，更深的厚度则是按 10 %或 25 %递增。

2.2　数据处理

STING- SWIFT 高密度电法系统二维剖面测量将经过转换的十进制数据读入 PC 机，人工进行坏点删除，然后对数据进行平滑—收敛最小二乘法（deGroot-Hedlin and Constable，1990；Sasaki，1992）反演，这种最小二乘法应用快速牛顿（Loke and Barker，1996）最优化技术，处理大型数据比传统的最小二乘法快约 10 倍，而且占用内存少①；反演原理为 $(J^{T}J + uF)\ d = J^{T}g$。式中：$F = f_x f_x^{T} + f_z f_z^{T}$；$f_x$ —水平平滑滤波器；f_x^{T} —f_x 的转置；f_z —垂直平滑滤波器；f_z^{T} —f_z 的转置；J —单元派生矩阵；J^{T} —J 的转置矩阵；u —阻尼因子（平滑系数）；d —干扰信号因子；g —差异因子。

这种方法的一个优点是系统能随不同类型的数据而对阻尼因子和平滑滤波器作调整，比传统的雅可比单元矩阵的高斯-牛顿方法快得多，但当有相当数量的计算与测量的电阻率比值大于 10 时，高斯-牛顿方法要好一些。这种不同的衡量标准以平方根误差（*RMS*）的形式给出[9]，通常最好的结果是当反演后平方根误差不再发生明显改变的模型，一般出现在第 3 到第 5 次反演之间。

3　工作方法

在大量野外工作基础上，总结出 STING- SWIFT 高密度电法在金属矿勘探中的一套工作方法。

1）充分收集和查阅地质、遥感等资料，准确掌握工作区的地质、地理和交通状况。

2）对矿区采集的岩石样品进行电性测试，得出不同岩体和含矿体的电阻率均值，这是电法测量找矿的重要环节，对下一步野外工作能起到参考作用[10]。

3）STING- SWIFT 高密度电法系统不同的参数设置往往会给结果带来很大的差异，尤其是对于不同的矿区特征，灵活调整工作参数将能收到事半功倍的效果。几项基本参数为极距，最大偶极距，测量时间，测量误差限等。结合大量野外工作，总结出的一些经验值见表 1。

表 1　高密度电法参数

装置类型	极距/ m	线距/ m	时间/ s	误差/ %	偶极距
偶极-偶极	5 ,10 ,15	25 ,50 ,100	1 ,2	2	6 ,8

① Loke M H. Geoelectrical imaging 2&3D (ver. 3.4).

© 1994-2007 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

4 应用实例

4.1 金厂矿区

为了验证黑龙江金厂矿区角砾岩筒构造，同时验证高密度电法应用于金矿勘探的可行性和有效性，笔者做了 H4 线高密度电法电阻率（图 2 - a）和充电率（图 2 - b）剖面图。参数设置为线距 50 m，极距 15 m，测量时间 2 s，偶极距为 6。电阻率剖面图上 240～360 m 处表现出十分明显、直立的带状低阻异常区，电阻率值在 128～650 Ω·m，而且下端不封闭。与此对应的充电率剖面出现一个宽 165 m，深 80 m 近椭圆的高充电率异常区，最大值 403 ms，异常中心在地表以下 65 m 处的电阻率由高到低的过渡带上，形态与电阻率异常也不相同。这说明含矿构造中金属硫化物主要集结在含矿构造与围岩的接触带附近，构造中部硫化物相对较贫，

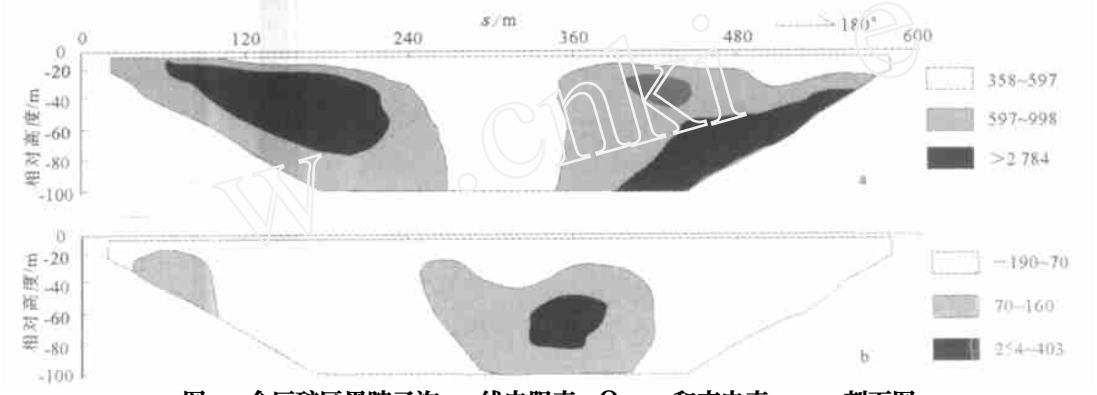


图 2 金厂矿区黑瞎子沟 H4 线电阻率（Ω·m）和充电率（ms）剖面图

a —电阻率；b —充电率

这种特征也与测线的布设有关。同时在 H4 线上做的 X 荧光曲线图的 270～390 m 处有 Sb，Pb，As 元素异常，Cu 表现出局部异常[11]。处在电阻率梯度带上的充电率异常正是要查明的角砾岩筒型金矿含矿构造。

4.2 峪耳崖矿区

河北峪耳崖金矿区 Y18 线电阻率（图 3 - a）和充电率（图 3 - b）剖面图，线距 50 m，极距 10 m，测量时间 2 s，偶极距为 8。花岗岩出露区对应的为高阻，灰岩为低阻，剖面中部 120～170 m 有一相对低阻带，最低电阻率小于 800 Ω·m，两边是高阻，最高处可达 50 000 Ω·m，这与地质情况相当吻合。尤其是北侧高阻体，指示盖层灰岩覆盖较薄，其下为花岗岩。同时还做了 EH - 4 连续电导率测量，二者吻合很好，推断结果一致。在充电率剖面图 160～230 m 有一明显的高充电率异常带，对应电阻率由高到低的变化梯度带上，充电率值普遍在 120 ms 以上，其间出现①和②号 2 个并排的一大一小的高充电率异常区，长轴方向略倾向 NW，倾角很小，充电率值在 200 ms 以上，中心处最高达 300 ms 以上。这种位于电阻率梯度带上的充电率异常对应于花岗岩体与灰岩接触带靠近岩体一侧，恰好是目前的采矿位置，根据已有的地质资料发现充电率异常较好地反映 16 号矿脉倾向 NW[12]，倾角很小，充电率异常带向深部 NW 侧继续延伸未封闭[12]。

4.3 门源矿区

图 4 是青海门源多拉隆洼金矿区 341 号脉 D_1 和 D_8 线电阻率剖面图[13]，线距 100 m，极距 15 m，测量时间 2 s，偶极距为 6。在剖面的 255～260 m（标高 20 m 以下）处

© 1994-2007 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

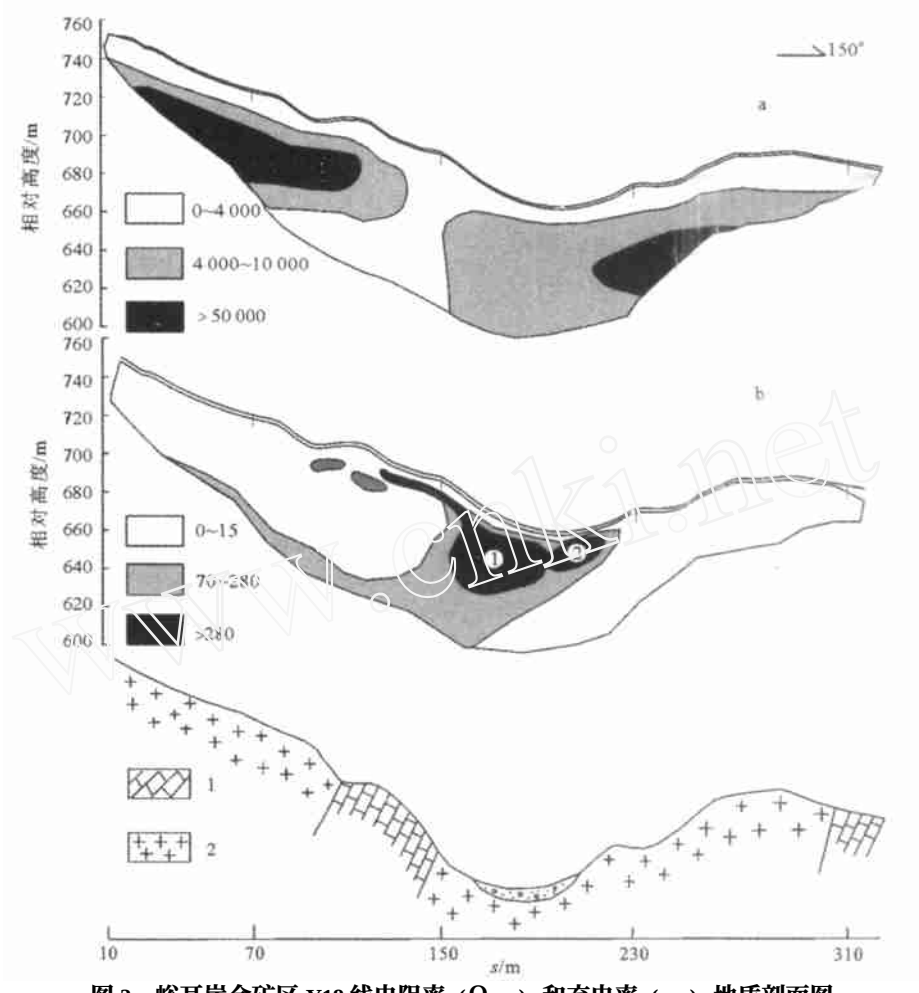


图 3　峪耳崖金矿区 Y18 线电阻率 (Ω·m) 和充电率 (ms) 地质剖面图

a —电阻率；b —充电率；1 —灰岩；2 —花岗岩

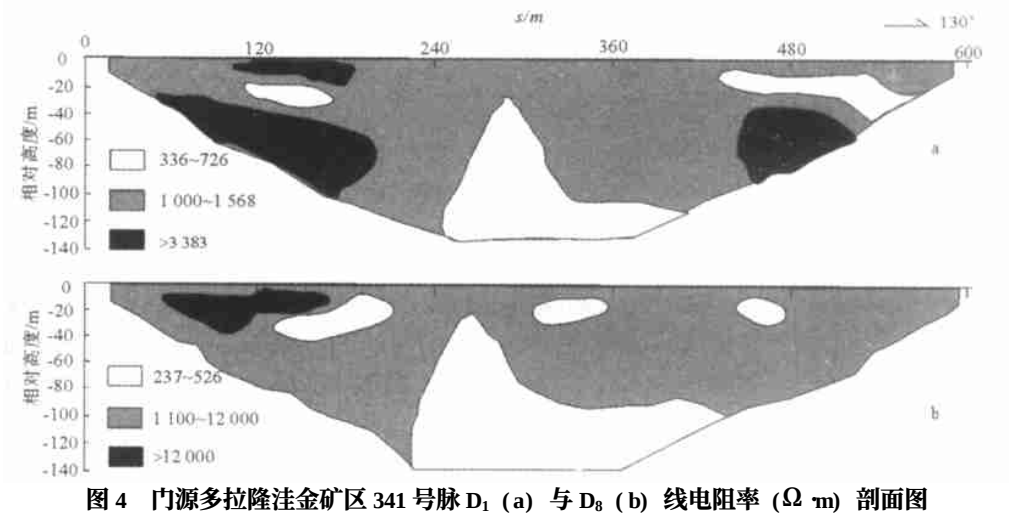


图 4　门源多拉隆洼金矿区 341 号脉 D_1 (a) 与 D_8 (b) 线电阻率 (Ω·m) 剖面图

© 1994-2007 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

均可以看见倒喇叭形低阻构造带，延深大于 140 m，底部未封闭，这里正好是坑道口的位置[12]，与需验证的 341 号岩脉在地表的投影位置基本吻合；D_8 线也是对 341 号脉进行验证，2 条线相距 100 m，它与 D_1 线上低阻构造的形态和规模基本相同，由此便可很容易地确定出构造断裂带（破碎带）的位置和规模，但是否含矿或品位高低在充电率图上都没有反映，需要相应的地质工作进行验证。

STING- SWIFT 高密度电法系统，可以直接结合电阻率和充电率图上的异常特征根据金属硫化物的含量对成矿前景作出判断，同时也可以利用它探测隐伏构造。

参考文献：

[1] 张献民，王俊茹，刘国辉. 应用高密度电法探测煤田陷落柱 [J]. 物探与化探，1994，18 (5)：363-370.
[2] 王兴泰. 工程与环境物探新方法新技术 [M]. 北京：地质出版社，1996. 90-93.
[3] 郭秀军，王兴泰. 用高密度电阻率法进行空洞探测的几个问题 [J]. 物探与化探，2001，25 (4)：306-311.
[4] 闫永利，底青云，高立兵，等. 高密度电法在考古勘探中的应用 [J]. 物探与化探，1998，22 (6)：452-457.
[5] 葛如冰，黄伟义，张玉明. 高密度电阻率法在灰岩地区的应用研究 [J]. 物探与化探，1999. 23 (1)：28-32.
[6] 王文龙，杨拴海，张慧玉，等. 高密度电法在金矿找矿中的应用 [J]. 黄金地质，2001，8 (3)：53-56.
[7] 王文龙，马德锡，陈瑞林. 黑龙江金厂金矿区吉林杜荒岭金矿区高密度电法测量报告 [R]. 河北 廊坊：武警黄金地质研究所，2002.
[8] 傅良魁. 应用地球物理学教程 ——电法、放射性、地热 [M]. 北京：地质出版社，1991. 70-80.
[9] 袁慰平，张令敏，黄新芹，等. 计算方法与实习 [M]. 南京：东南大学出版社，1999. 99-105.
[10] 王家映. 地球物理学 [M]. 北京：中国地质大学，1988. 100-108.
[11] 王文龙. 中国东北部森林覆盖区岩金找矿方法研究 [R]. 河北 廊坊：武警黄金地质研究所，2001. 48.
[12] 徐德利，李文良，卿敏，等. EH-4 电法测量在峪耳崖金矿区的应用 [J]. 地球学报，2004，25 (1)：79-82.
[13] 陈孝强，马德锡，王春生. 青海门源县多拉隆洼金矿区高密度电法测量报告 [R]. 河北 廊坊：武警黄金地质研究所，2003.

Application of STING- SWIFT high density resistivity method in gold deposit prospecting

MA De-xi， ZHAO Yu-suo， CHEN Xiao-qiang， YU Ai-jun， QING Min
(Gold Geological Institute of CAPF, Langfang 065000, *Hebei, China)*

Abstract: The STING- SWIFT high density resistivity system can be applied to detecting metallic ore, metallic-suphide ore, groundwater and shallow coal, it also can be applied to engineering quality, no damage detection and hidden exploration. Diple-diple array with 42 electrodes is used mostly in gold deposits exploration, the array nest can detects the micro-character of resistivity and induce polarization that less than 150 meters underground. The application to Jinchang of Heilongjiang, Yuerya of Hebei and Duolalongwa of Qinghai gold deposits shows that the system with different paramater setting often makes the result different to the different deposit area. Flexibly adjust parameters, poler distance, max diple, detecting time, erro bound and so on can made result efficient.

Key words: gold deposit exploration; high density resistivity method; resistance ratio; ground resistance

© 1994-2007 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net