

高密度电法在金矿深部预测中的应用*

The application of the high-density resistivity method to ore prognosis in the depth of gold deposits

于爱军, 黄辉, 马德锡, 王春生, 王斌

(中国人民武装警察部队黄金地质研究所, 河北 廊坊 065000)

YU AiJun, HUANG Hui, MA DeXi, WANG ChunSheng and WANG Bin

(Gold Geological Institute, Chinese People's Armed Police Force, Langfang 065000, Hebei, China)

摘要 Sting R1 IP-Swift 高密度电法仪能够进行激发极化测量, 可以同时获得电阻率和充电率参数。通过大量在不同地质景观的工作区的工作, 说明了高密度电法在金矿深部预测中的应用效果和经验。

关键词 高密度电法; 金矿; 深部预测

高密度电法是 20 世纪 90 年代初开始研发的一种物探直流电法勘探方法, 至今其方法原理和仪器制作技术已经成熟。高密度电法测量实际上是一种阵列勘探方法, 野外测量时在测点上预先布设好全部电极(几十至几百根), 主机、电极转换器通过通讯电缆控制电极进行二维地电断面扫描测量, 可实现数据的快速和自动采集, 兼具剖面法与测深法的功能, 提供的数据量大, 信息多, 并且观测精度高、分辨率更为细致。目前高密度电法测量在地质、矿产、水文地质、工程地质、库堤防渗漏检测、考古等各领域得到了广泛的应用, 取得了明显的地质效果和显著的社会经济效益(董浩斌等, 2003; 吕玉增等, 2005; 底青云等, 2003; 汪振斌, 2001; 黄仲良等, 1999; 傅良魁, 1987; 何继善, 1997)。

我部 2000 年引进了 AGI 公司生产的 Sting R1 IP-Swift 高密度电法仪, 该仪器可进行直流激发极化法测量, 在金矿深部预测方面做了大量工作, 取得了较好的应用效果。

1 野外观测技术及资料处理和解释方法技术

Sting R1 IP-Swift 高密度电法仪由主机、多路电极转换器和电极系三部分组成。主机通过通讯电缆、供电电缆向多路电极转换器发出工作指令, 多路电极转换器通过电缆控制电极系各电极的供电与测量状态, 向电极供电并接收、存贮测量数据。电极采用双模式分布式电极, 供电电极采用不锈钢电极, 不极化电极用于测量电位差, 可同时进行高精度电阻率和激发极化测量(汤洪志等, 2003; 于景村等, 1998; 王继伦等, 1997)。

激发极化测量供电为低频交流电, 可同时得到电阻率和充电率两种参数, 电阻率参数反映的是岩(矿)石导电能力的强弱, 单位为 $\Omega \cdot m$; 充电率参数反映的是岩(矿)石激发极化特性, 单位为 ms。利用电阻率参数勘查工作区内地质体及构造的三维空间分布特征; 利用充电率圈定与金矿化密切相关的金属硫化物富集体空间分布位置和矿化强度。这对于金矿深部预测有特别的重要意义。

*第一作者简介 于爱军, 男, 1969 年生, 高级工程师, 从事金矿地球物理勘查研究。

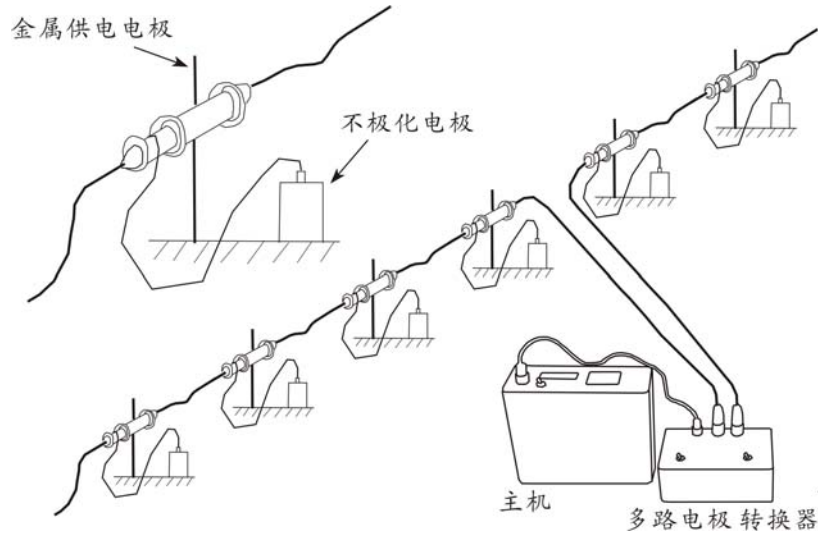


图1 Sting R1 IP-Swift 高密度电法设备及野外布极示意图

Sting R1 IP-Swift 高密度电法仪野外工作装置形式较多,可进行施伦伯格 (Schlumberger)、温纳 (Wenner)、偶极-偶极 (Dipole-dipole)、单极-偶极 (Pole-dipole) 等装置的测量。目前我们配备的设备测量电极数量最多可达 254 个,测量点距最长到 20 m,可根据场地条件与勘查深度任意选择。野外布设电极时要求接地电阻小于 2 k Ω ,供电电压最高可达 400 V,供电电流可达 500 mA。如果采用连续滚动扫描测量方式,理论上可以得到无限延长的视电阻率和充电率二维反演断面。

Sting R1 IP-Swift 高密度电法数据采集结果自动存入主机,主机通过通讯软件把原始数据传输给计算机,计算机将数据转成反演软件要求的数据格式,最终二维反演。二维反演使用基于圆滑约束最小二乘法及计算机反演快速计算程序的 Res2dinv 反演软件,经畸变点剔除、地形校正等预处理后,进行二维反演,可形成电阻率和充电率二维反演断面图。

3 应用实例

3.1 内蒙巴彦温多尔矿区实例

巴彦温多尔矿区位于内蒙古高原北部苏尼特左旗。属高原丘陵地带,海拔一般 1 000~1 300 m,大部分地势平缓,相对高差较小,一般在 100 m 以内。本区为典型的大陆性气候,属寒冻干燥剥蚀地貌。

矿区出露地层主要有上古生界下二叠统大石寨组第二段 (P_{1ds}²) 灰绿色安山岩、英安岩、安山质晶屑岩屑凝灰岩。分布范围较广。新生界地层分布很广泛,主要有第三系红色、灰绿色粘土岩等;第四系黄褐含砾砂土层及亚粘土等。

矿区地处北北东向二连浩特—贺根山深断裂的南侧,北东东向艾力格庙—锡林浩特挤压破碎带通过该区,矿区北部发育一条北东向韧性剪切带,沿该带有众多的金矿床(点)分布。该带走向北东 60°左右,宽 1~3 km,韧性剪切变形广泛,影响二叠系和印支期、燕山期岩体。韧性剪切作用随之产生北东向、近东西向压剪带、压扭性断裂构造和北西向张剪性、张扭性断裂构造,断裂中充填石英脉,发育构造破碎带和糜棱岩带。这三组断裂为成矿控矿构造。

22 号脉出露于巴彦温多尔—巴润萨拉韧性剪切带中段黑云母二长花岗岩体内接触带,为糜棱岩夹石英脉型,矿体具黄铁矿化、方铅矿化等矿化,围岩为二长花岗岩,近脉围岩发育绢云母化、绿泥石化、硅化及高岭土化蚀变(龚全德, 2006)。

上述地质特征为高密度电法在该区开展工作提供了有利依据。利用电阻率参数来确定成矿、控矿断裂构造的位置产状;利用充电率参数来寻找金属硫化物富集部位。

图 2 是巴彦温多尔矿区 22 号脉 128 号勘探线的高密度电法测量二维反演断面图。高密度电法测量采用 IP 模式，同时测量电阻率和充电率参数，偶极-偶极装置，布设 65 个电极，点距 15 m，供电电压 400 V，供电时间 2s。二维反演叠加 6 次。

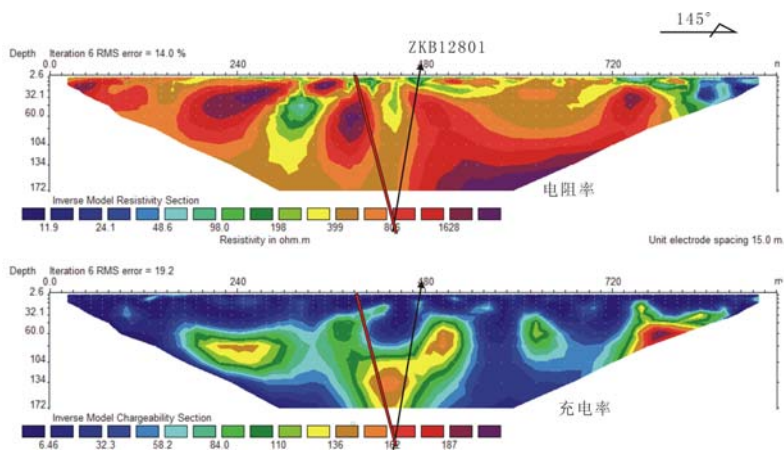


图 2 巴彦温多尔矿区 128 线高密度电法测量综合成果图

从视电阻率二维断面图上可以看出，在 240~480 m 地段，有两条相对低阻异常带，其两侧视电阻率大于 800 Ω·m，相对低阻异常带视电阻率值小于 400 Ω·m，相对低阻异常特征明显。从充电率二维反演断面图上可以看出，在南东侧低阻异常带的对应位置有规模较大的充电率相对高值异常，异常形状呈牛头状，异常深度从 60 m 至 172 m，异常向深部未封闭，异常峰值达 160 ms。该异常与 22 号在地表延长方向及与邻近钻孔 ZKB9601 深部特征基本相似。据此施工了钻孔 ZKB12801（图 3），钻孔结果表明，钻孔中自 70 m 至终孔（225.5 m）为糜棱岩化二长花岗岩且始终伴有黄铁矿化，在孔中出现糜棱岩化带对应低电阻率，岩石金属矿化较强对应充电率高值异常。且在该孔中发现有 2 个样品金品位大于 1×10⁻⁶。

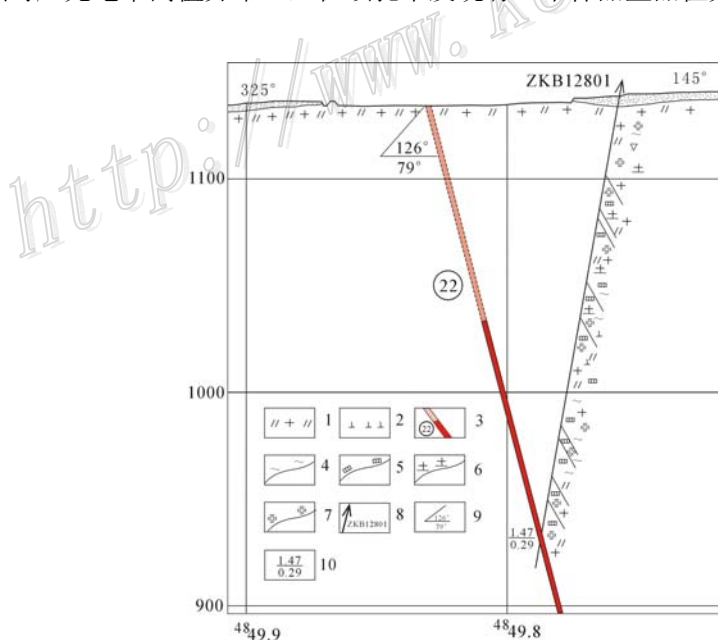


图 3 巴彦温多尔矿区 22 号脉 128 号勘探线地质剖面图

- 1—糜棱岩化二长花岗岩；2—糜棱岩化闪长岩；3—含金脉体及编号；4—绿泥石化；5—黄铁矿化；6—高岭土化；7—硅化；
- 8—钻孔位置及编号；9—产状；10—金品位（10⁻⁶）/水平厚度(m)

综合对比 128 线的电阻率、充电率断面图与钻探控制的地质剖面图可以发现，相对低阻异常带对应糜

棱岩化带, 22号脉产于相对低阻异常带的北西侧边部。相对高阻到相对低阻的变化梯度带同时对应高充电率异常, 是成矿的特征地段, 这对该区金矿深部有重要指示意义。

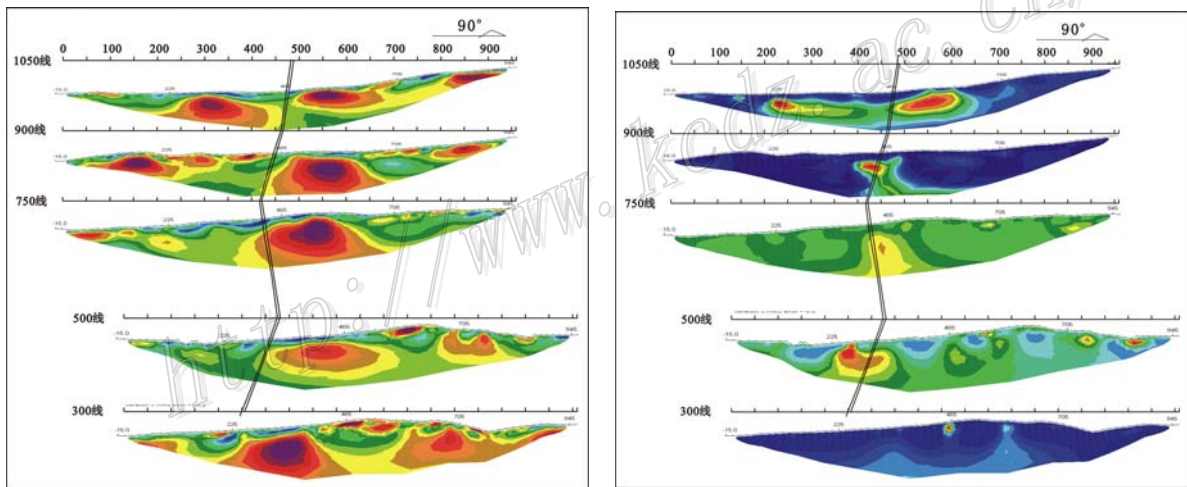
3.2 辽宁丹东五龙金矿区实例

五龙金矿是中国北方著名的金矿床, 位于郯庐断裂带分支断裂日照-鸭绿江断裂的西侧, 属于天山-阴山纬向构造带的东段南缘与新华夏系千山山脉一级的交汇部位。该金矿最初矿化类型为含金石英脉型金矿床, 后期结合五龙金矿井下开采的矿石, 发现了蚀变花岗斑岩型金矿体这一新的矿石类型。工作区位于五龙金矿外围, 工作区内大面积出露混合花岗岩, 矿体直接赋存其中。工作区属辽东中低山区, 海拔 100~500 m, 区内植被发育, 属温带季风区气候(肖国洪, 2003)。

图 4 是五龙金矿区 300、500、750、900、1050 号勘探线的高密度电法测量二维反演综合成果图, 图中各测线是按照实际位置绘制。高密度电法测量采用 IP 模式, 同时测量电阻率和充电率参数, 施伦伯格装置, 布设 65 个电极, 点距 15 m, 供电电压 400 V, 供电时间 2 s。二维反演叠加 5 次。

图 4(a) 是电阻率二维反演联合断面图, 图中可以看出在 300、500、750、900、1050 线的 400~500 m 地段同时出现连续性很好的视电阻率由低阻到高阻的变化梯度异常带, 异常带西侧为相对低阻区, 东侧为相对高阻异常。根据高密度测量电阻率异常的分布规律可以圈定出近南北向的相对低阻到相对高阻的变化梯度带, 推测为近南北向断裂构造带位置, 根据各剖面异常带的产状判断, 构造带产状向西倾斜,

图 4(b) 是充电率二维反演联合断面图, 图中可以发现, 500、750、900 号勘探线的视电阻率由低阻到高阻的变化异常带位置均对应套合较好的充电率异常。推测由断裂构造遭受金属矿化蚀变引起, 是成矿的有利部位。



(a)

(b)

图 4 五龙测区高密度测量电阻率、充电率综合成果图

a. 视电阻率二维反演联合断面图; b. 充电率二维反演联合断面图

根据高密度测量综合成果图结合工作区地质资料, 进行了立体地质填图, 推测了矿化带的位置、产状(图 5)。

3.3 黑龙江阿陵河矿区实例

黑龙江阿陵河矿区位于大兴安岭东坡, 海拔高度为 500~1 400 m, 由于受古生代冰川和现代河谷的侵蚀, 致使山体东陡西缓, 存在冰蚀谷, 谷中多已沼泽化。区内为寒温带内陆性季风气候, 冰冻时间长, 无霜期短, 年降雨量 200~500 mm, 水系发育, 最大水系为黑龙江, 森林资源丰富。

工作区大地构造位于爱辉阿尔山褶皱东北端, 新开岭背斜南翼, 公别拉河中生代断陷盆地北缘。黑河-德都内生金属成矿带的四合屯铜铁成矿远景区内。区内大面积出露上侏罗统龙江组地层, 主要岩性为流纹

岩及安山岩、安山玢岩、安山斑岩、安山玄武岩。岩石局部蚀变强，主要有硅化、绿泥石化、黄铁矿化、褐铁矿化。区内断裂构造发育，主要断裂构造以北东、北西向为主，伴有近南北向及近东西向的次级构造。

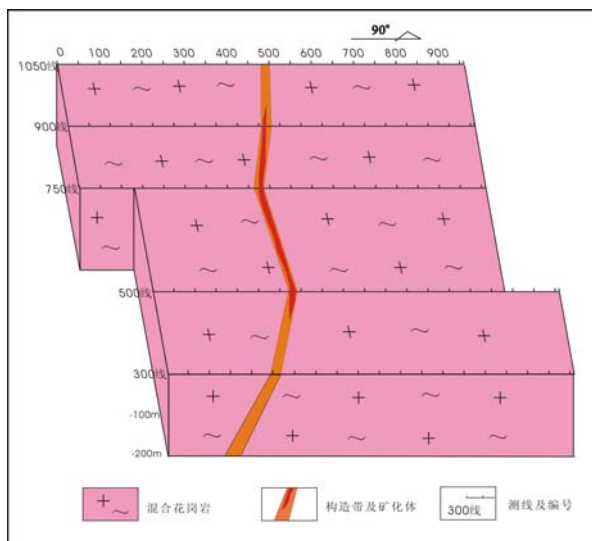


图 5 五龙金矿里滚子测区立体地质图

图 6 是阿陵河矿区 350 号勘探线的高密度电法测量二维反演综合成果解译图。高密度电法测量采用 IP 模式，同时测量电阻率和充电率参数，施伦伯格装置，布设 40 个电极，点距 15 m，供电电压 400 V，供电时间 2 s。二维反演叠加 5 次。

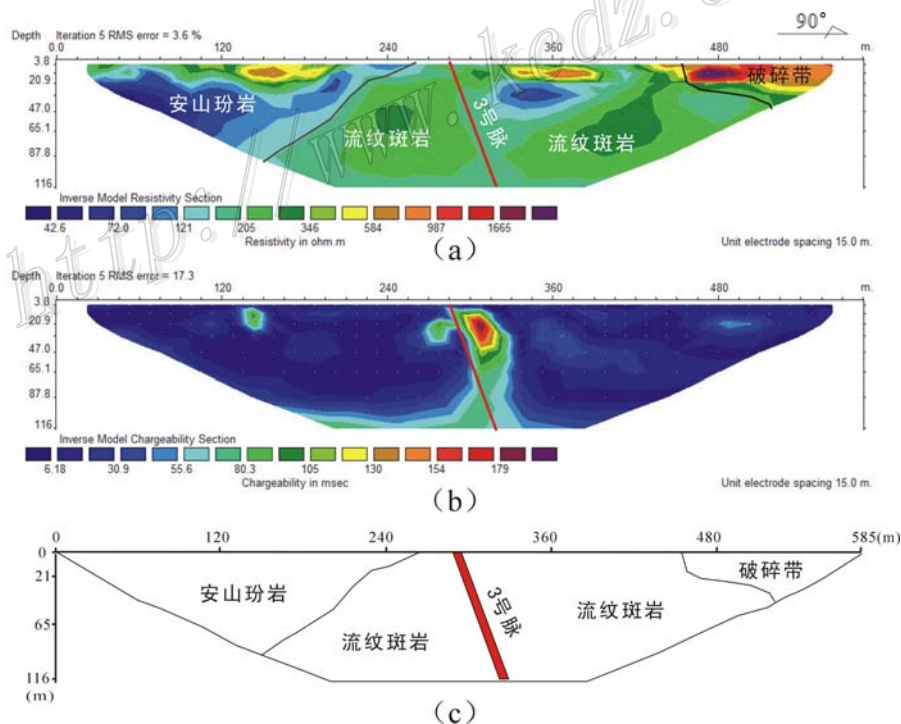


图 6 阿陵河矿区 350 线高密度电法测量综合成果解译图

a. 视电阻率二维反演综合断面图; b. 充电率二维反演综合断面图; c. 地质解译断面图

图 6(a) 是电阻率二维反演断面图。图中可以看出 0~450 m 范围内视电阻率值较低，均低于 350 Ω·m，

视电阻率变化不大,但通过观察视电阻率等值线结合工作区的地质资料仍能够分辨出不同岩性的分布和断裂构造的位置、产状。图中 260 m 以西电阻率值低于 $120 \Omega \cdot \text{m}$, 为安山玢岩分布区; 260 m 以东电阻率值约在 $120 \sim 350 \Omega \cdot \text{m}$ 之间, 为流纹斑岩岩分布区。两者的接触面向西倾斜倾角约 30° 。在流纹斑岩分布区的 285 m 处, 有一条相对次低阻到相对低阻的变化梯度异常带, 异常带向东倾斜, 倾角约为 70° , 是 3 号脉出露位置。图中 450 m 以东为相对高阻分布区, 电阻率值在 $600 \Omega \cdot \text{m}$ 以上, 为破碎带产出位置。破碎带显示为相对高阻的原因, 推测是由于区内安山玢岩和流纹斑岩的电阻率值较低, 破碎带硅化强而显示为相对高阻特征。

图 6(b) 是充电率二维反演断面图。图中可以看出 285~315 m 地段显示为充电率相对高值异常, 充电率异常峰值约为 180 ms, 异常位置与电阻率变化梯度异常带及 3 号脉位置十分吻合, 推测由 3 号脉金属硫化物富集引起, 是金矿化有利部位。

图 6(c) 是根据高密度电法测量成果结合矿区地质资料绘制的地质解译断面图。3 号金矿体工程控制长度为 400 m, 走向北东 78° , 倾角 $60 \sim 80^\circ$, 宽度 1~2 m, 品位最高为 10.00×10^{-6} 。高密度测量成果与地质资料十分吻合。

4 结 论

笔者通过在内蒙巴彦温多尔、辽宁丹东五龙及黑龙江阿陵河等不同地质景观金矿区的高密度电法测量工作, 可以得出:

- (1) Sting R1 IP-Swift 高密度电法测量方法灵活, 可进行多种不同装置测量和滚动测量。
- (2) 测量数据稳定, 数据质量高; 仪器灵敏度、分辨率高, 反映电性界面精细。
- (3) 可以进行激发极化测量, 同时测量电阻率、充电率参数, 获取信息量大。
- (4) 适合在草原、戈壁、山区、森林覆盖区等各种不同地质景观条件下进行金矿深部成矿预测。

同时, 高密度电法就其方法本身而言, 仍属直流电法范畴, 工作中需要注意以下方面的问题:

- (1) 工作区土壤覆盖过厚、沙层厚或地表过于潮湿会形成低阻屏蔽, 大大降低测量深度。
- (2) 工作区工业游散电流强、人工干扰电流大, 会严重影响测量数据质量和测量深度。
- (3) 供电电极接地阻要求小于 $2 \text{ k}\Omega$, 首先要保证供电电极的长度不小于 50 cm; 另外布设电极时需要高质量处理电极, 有效降低接地电阻。

总之, 只要方法运用得当, 深入研究、紧密结合矿区地质, 合理解释推断异常, 高密度电法会在金矿深部成矿预测中发挥无可替代的重要作用。

参 考 文 献

- 底青云, 倪大来, 王 若, 等. 2003. 高密度电阻率成像[J]. 地球物理学进展, 18(2): 323-326.
- 董浩斌, 王传雷. 2003. 高密度电法的发展与应用[J]. 地学前缘, 10(1): 172-175.
- 傅良魁. 1987. 电法勘探教程[M]. 北京: 地质出版社.
- 龚全德. 2006. 内蒙巴彦温多尔金矿区地质普查报告[R].
- 何继善. 1997. 电法勘探的发展与展望[J]. 北京地球物理学报, 140(增刊).
- 黄仲良. 1999. 石油重、磁、电法勘探[M]. 东营: 石油大学出版社.
- 吕玉增, 阮百尧. 2005. 高密度电法工作中的几个问题研究[J]. 工程地球物理学报, 2(4): 264-268.
- 汤洪志, 周亚东, 徐飞高, 等. 2003. 密度电阻率法二维成像方法及其应用[J]. 华东地质学院学报, 26(1): 87-90.
- 汪振斌, 胡为华, 戴立军, 等. 2001. 高密度电阻率法(RT)在金矿深部成矿预测中的应用[J]. 地质找矿论丛, 16(1): 58-60.
- 王继伦, 李善芳, 齐文秀, 等. 1997. 中国金矿物探、化探方法技术的研究与应用[M]. 北京: 地质出版社.
- 肖国洪, 刘铁侠, 张国宪. 2003. 辽宁五龙金矿床成因与成矿模式探讨[J]. 黄金, 24(11): 17-20.
- 于景村, 李志鹏. 1998. 高密度电阻率法检测地基注浆效果[J]. 地质与勘探, 34(5): 48-51.