

## 组合物探方法在富 Fe、Mn 离子地区寻找优质水源勘查中的应用

贾立国

中国地质调查局 沈阳地质调查中心, 辽宁 沈阳 110034

**摘 要:** 黑龙江抚远地区位于三江平原东部, 地下水资源丰富, 就水量而言可以满足农业灌溉和生活用水需求. 但受地质环境影响, 该区第四系孔隙浅水中 Fe、Mn 离子含量偏高, 区内非集中供水均采取该水层. 长期饮用 Fe、Mn 离子超标水, 已经严重的影响了居民生活质量. 本次寻找优质水源勘查工作, 采用成熟的高密度电阻率法与激电测深组合的方法, 针对高铁、锰的地质环境, 对第四系下伏新近系含水层进行探究, 查明富水层分布特征. 通过探采结合验证, 说明设计组合物探方法合适, 有效在团结村寻找到优质的水层, 新层位水质分析结果符合饮用水标准, 为重碳酸钙钠型极软弱碱性淡水.

**关键词:** Fe、Mn 离子; 水文地质; 高密度电阻率法; 激电测深找水; 多参数测量; 黑龙江省

## APPLICATION OF COMBINED GEOPHYSICAL METHODS IN THE EXPLORATION FOR HIGH QUALITY GROUNDWATER IN Fe AND Mn IONS-ENRICHED AREAS

JIA Li-guo

Shenyang Center of Geological Survey, CGS, Shenyang 110034, China

**Abstract:** Fuyuan area of Heilongjiang Province in the east of the Sanjiang Plain is with abundant groundwater resources that meet the local needs of agricultural and domestic water in volume. However, due to the geological environment, the Fe and Mn ion contents is high in the Quaternary shallow water layer, which is extracted for non-concentrated drinking water supply in the area. The over standard water has seriously affected the life quality of residents. In this survey for high-quality water source, the sophisticated methods of high-density resistivity and IP sounding are combined to explore the Neogene aquifer under the Quaternary cover. With exploration and mining, it is proved that the designed combination of geophysical methods is suitable and effective. The test shows that the found aquifer belongs to sodium bicarbonate type with low salinity and weak alkaline, qualified for drinking water standard.

**Key words:** Fe and Mn ions; hydrogeology; high-density resistivity method; IP sounding; multi-parameter survey; Heilongjiang Province

### 0 绪论

随着人们生活水平的日益提高, 饮用水安全问题越发显得重要. 黑龙江省抚远市是以地下水作为生活

饮用水的城市. 除市区生活用水由供水厂集中供水外, 其余乡镇均为非集中式供水. 由于该区域浅层地下水铁、锰离子含量偏高, 长期饮用第四系浅层地下

收稿日期: 2019-08-19; 修回日期: 2019-09-07. 编辑: 张哲.

基金项目: 中国地质调查局项目“中俄蒙经济走廊哈大齐和绥芬河-同江地区地质环境综合调查”(编号 121201007000150007).

作者简介: 贾立国 (1981—), 男, 硕士, 地球物理高级工程师, 从事地球物理调查研究工作, 通信地址 辽宁省沈阳市皇姑区黄河大街 280 号, E-mail//278256304@qq.com

水,会造成食欲不振、呕吐、胃肠紊乱,甚至会对心脏产生影响.为寻找该区可能存在的深部优质水,中国地质调查局沈阳地质调查中心“中俄蒙经济走廊哈大齐和绥芬河-同江地区地质环境调查”项目组决定利用高密度电阻率法与激电测深法组合开展勘查工作.

高密度电阻率法以地下介质间的电阻率差异为地球物理前提,具有采集数据量大、纵横分辨率高、解释方便、成本低的优点.

激发极化法是根据地层含水的激发极化效应来找水的一种电法勘探方法.该方法具有受地形影响小,对富水带反映直观等优点.因为激电二次场与岩石孔隙度有关,在泥岩中极化率比含水的砂砾岩低,通过分析测深点的极化率,结合电阻率还可以排除泥岩层的干扰<sup>[1-4]</sup>.

## 1 区域地质及水文地质概况

研究区跨越了那丹哈达岭中生代褶皱带和合江台向斜两个大地构造单元.根据资料,本区自晚古生代开始遭受海侵,中生代海侵范围扩大,相继沉积了石炭二叠系(C-P)、中下侏罗统( $J_{1-2}$ )、上侏罗统( $J_3$ )地层.燕山期,本区渐逐隆起,同时有花岗岩侵入,地层发生轻微变质,构成研究区的刚性基底.新生代地壳转为沉降,新近系厚度超过 200 m.第四纪以来,研究区转为间歇性沉降状态,早至晚更新世各种类型堆积物累计最大厚度 288 m.根据含水地层时代、岩性及赋存条件等,将本区含水岩体分为第四系砂-砾石松散堆积层孔隙水、新近系碎屑岩孔隙层间水及基岩裂隙水 3 类.

本文引用数据的工作区——抚远市团结村地貌单元位于三江平原东北部砂砾石低漫滩.该区地表为洪冲积松散层,由黑色粉质黏土、土黄色细砂构成.该区地势平坦,第四系层厚,富水性好.但第四系水中 Fe、Mn 离子含量严重超标.

## 2 区域物性特征

研究区近 30 年未开展过地质相关调查工作,物性资料匮乏.通过对区域水文地质及测井资料对比分析总结,我们将区内物性分为低阻岩石和中高阻岩石.

低阻岩石:黏土、页岩、泥岩等黏土类岩石,以泥质颗粒的离子导电方式为主.因为泥质颗粒表面的电

荷量基本相同,所以黏土、泥岩、页岩等的导电性比较稳定,它们的电阻率一般在  $1\sim n\times 10\ \Omega\text{m}$  之间变化.其中,页岩比黏土和泥岩更致密,故其电阻率稍高.当砂岩或砾岩含有泥质时,由于增添了泥质的附加导电性,其电阻率也会降低.

中高阻岩石:砂-泥质岩石,包括碎屑岩类以及砂岩、砾岩、砂砾岩类.碎屑岩由碎屑颗粒、胶结物、泥质及含水孔隙组成.碎屑岩的孔隙度较大,孔隙结构较简单、规则.砾岩由于颗粒粗、分选性差,故常具有比砂岩高的电阻率.砂岩电阻率在  $n\sim n\times 10^3\ \Omega\text{m}$  之间变化.

综合本区域岩石电阻率,由小到大的顺序是:泥岩—细砂或粉砂岩—中砂岩—粗砂岩—砂砾石岩.

我们认为,在第四系覆盖层下如果存在新近系碎屑岩类孔隙裂隙含水岩组,应表现为相对高阻、高极化、高半衰时高衰减度,这有利于开展地球物理找水工作.

## 3 应用实例

研究区共布设高密度电阻率法剖面 1 条,长度 1120 m,极距 10 m.从高密度反演电阻率拟断面图(图 1)可见,该剖面电阻率特征表现为层状结构,很好地反映出当时的沉积环境.第一层厚度不均(10~20 m),电阻率 80~200  $\Omega\text{m}$ ,推断为亚黏土、中粗砂层;底部隆起高阻异常推断为侏罗系下统大岭桥组杂砂岩、火山碎屑岩.把剖面分成左右两部分,剖面右段(700~110 m)第二层厚度 40 m,电阻率大于 200  $\Omega\text{m}$ ,推断为中粗砂含砾石层.第三层厚 20 m,电阻率 60~200  $\Omega\text{m}$ ,推断为细-中粗砂层.第四层厚度 70 m,电阻率 0~50  $\Omega\text{m}$ ,推断为泥岩夹砂岩层.异常从左至右电阻率增高,推测存在泥岩变薄或与砂砾岩互层现象.第五层厚度 80 m,电阻率 60~100  $\Omega\text{m}$ ,推断为砂砾岩层.剖面左段第二层厚 130 m,电阻率 0~50  $\Omega\text{m}$ ,推测为泥岩层.第三层厚度 110 m,电阻率 50~200  $\Omega\text{m}$ ,推测为砂砾岩层.

多参数激电测深工作布置在 76~108 点,点距 40 m.探测结果(图 2)表明,该段电阻率高异常特征分布基本与高密度电阻率法一致.同时在图 3、图 4 中相同部位 96、100 点,AB/2 为 200~350 处,还具有高极化率、高半衰时特征.

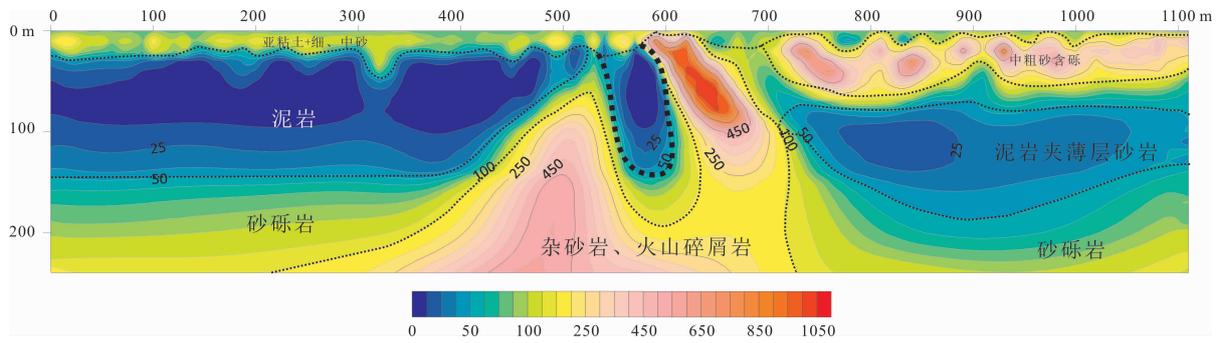


图 1 团结村高密度反演电阻率断面图

Fig. 1 High-density inversion resistivity profile at Tuanjie village

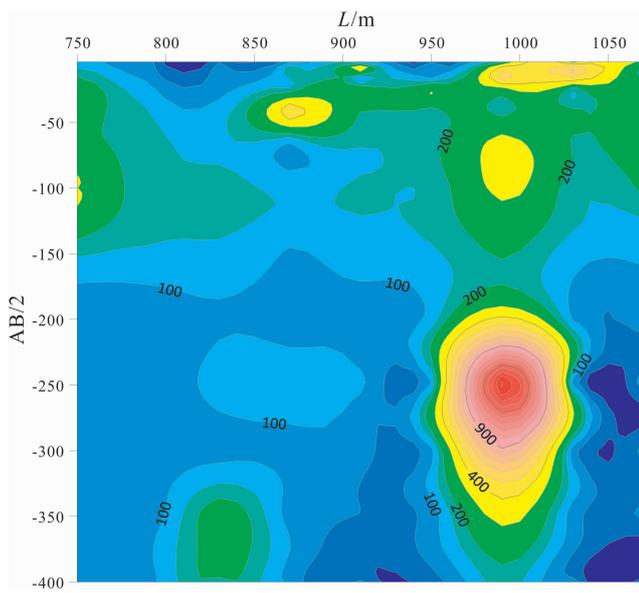


图 2 激电测深视电阻率(ρs)断面图

Fig. 2 IP sounding resistivity profile

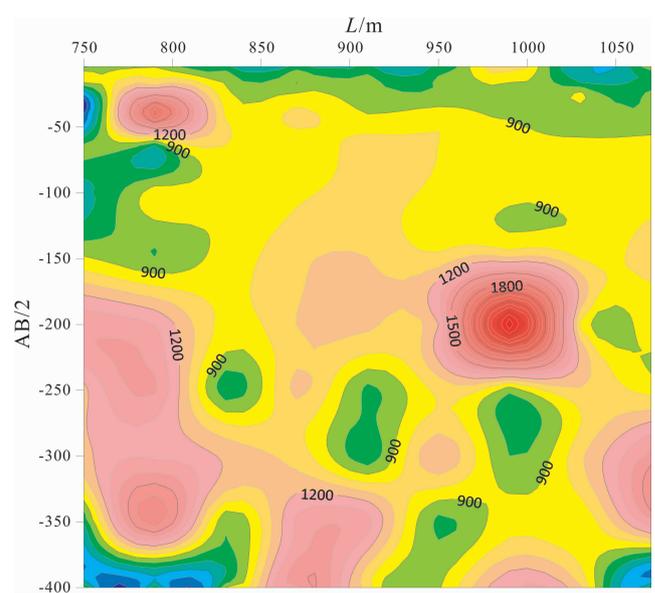


图 4 激电测深半衰时(Th)断面图

Fig. 4 IP sounding half decay time profile

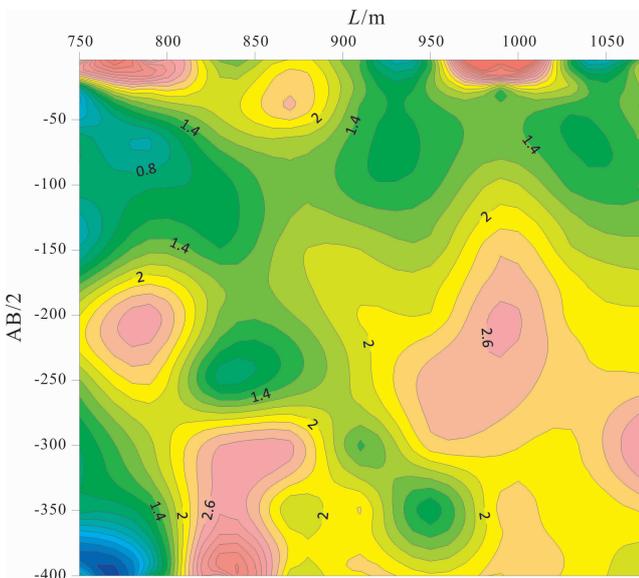


图 3 激电测深视极化率(ηs)断面图

Fig. 3 IP sounding apparent polarizability profile

高密度电阻率法只能划分出高阻和低阻地层的展布形态,但低阻体并不都代表富含水,在该地区黏土或泥岩也表现为低电阻率特征<sup>[1-6]</sup>。

激发极化法中极化率(ηs)的差异可以排除泥岩的干扰。半衰时(Th)只与地下岩层的孔隙、裂隙及破碎带的赋水情况有关,受其他因素影响较小,可以排除碳质地层影响,直观地反映出含水地层的埋深和空间分布情况。激发极化法的特点决定其深部垂向分辨率上不够精细。为了能更直观准确地划分地层,厘定富水层系,准确指导钻井工作,在此采用激发极化法找水综合参数公式<sup>[5-12]</sup>,以数据量丰富的高密度电阻率垂向数据约束计算,结合极化率(ηs)、半衰时(Th)等参量构建综合参数:

$$Z_T = 0.75 \times \eta_s \times T_H \times \rho_s$$

从构建的综合参数断面图(图5)可见,多参数异常综合特征更突出,地层含水层厘定得更清晰.剖面970~1010 m,垂向110 m以下为含水区.在980~1000 m,垂向130~150 m为富水异常区.

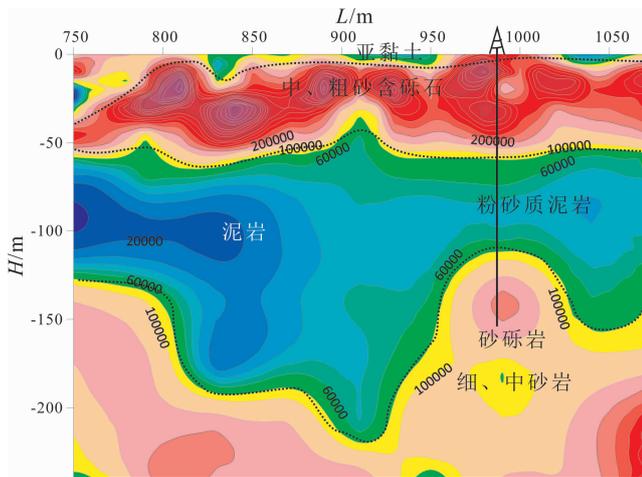


图5 找水综合参数断面及推断图

Fig. 5 Water searching profile of comprehensive parameters and interpretation

#### 4 钻井验证

通过以上物探工作,在剖面985 m处布设ZK01钻孔,孔深160 m,实际钻进155 m.0~83.4 m为第四系层,83.4~155 m为新近系地层,其中83.4~108 m为粉砂质泥岩,108~140 m为砂砾岩,140~145 m为泥质粉砂岩,145~155 m为粉砂岩.钻井与物探推测数据对比结果吻合度高.

抽水试验结果,静水位3.38 m,水位降深14.5 m,出水量856 m<sup>3</sup>/d.经取样分析,符合生活饮用水标准(表1),为重碳酸钙钠型极软弱碱性淡水,从而解决了该村的饮水安全问题.

#### 5 结论

(1)本次采用高密度电阻率法与激电测深多参数找水法组合模式,成功地预测了含优质水层段.经钻井验证,最终获得856 m<sup>3</sup>/d符合标准的饮用水,证明该物探组合方法在该水文地质条件下有效,也为其他类似水文地质条件地区寻找安全饮用水提供经验.

表1 生活饮用水卫生标准与地下水分析结果对照表  
Table 1 Comparison of groundwater water analysis with drinking water standard

指标	限值	分析结果
微生物指标	(略)	
毒理指标		
氟化物/(mg/L)	1.2*	0.11
硫酸盐/(mg/L)	300*	< 2
硝酸盐(以N计)/(mg/L)	20*	0.045
氨氮(以N计)/(mg/L)	0.5	0.42
感官性状和一般化学指标		
pH	6.5~8.5	8.01
铁/(mg/L)	0.5*	0.48
锰/(mg/L)	0.3*	0.06
氯化物/(mg/L)	300*	< 1
溶解性总固体/(mg/L)	1500*	
总硬度(以CaCO <sub>3</sub> 计)/(mg/L)	550*	

测试单位:自然资源部东北矿产资源监督检测中心.注:\*为国标农村小型集中式供水的限值.

(2)数据处理过程中尝试构建新的找水综合指示参数,解决了该水文地质条件下泥岩、碳质地层影响.同时利用高密度电阻率数据量大的优势,进行异常计算约束,增强了地层(异常)分辨率,能准确地指导钻探深度.

在编写本文过程中得到蔡贺教授级高工、李霄高级工程师、张帆工程师的指导帮助,在此表示感谢.

#### 参考文献:

- [1]傅良魁.电法勘探教程[M].北京:地质出版社,1990:7-14,115-117.
- [2]李金铭.激发极化法方法技术指南[M].北京:地质出版社,2004:88-103.
- [3]刘晓明,刘廷玺,万峥.高密度电阻率法在水文地质勘查中的应用[J].中国水利水电科学研究院学报,2007,5(2):154-157.
- [4]苏永军,梁建刚,张国利,等.不同电法组合在找水中的应用[J].物探与化探,2014,38(5):925-928.
- [5]龙凡,韩天成.激电法在地下水探测中的应用效果[J].物探与化探,2002,26(6):422-424,432.
- [6]黄国民,李世平,陶毅,等.广西碎屑岩地区电法找水实例[J].物探与化探,2019,43(1):77-83.
- [7]梁建刚,刘黎东,高学生,等.电阻率法和激发极化法在地下水勘查中的应用[J].物探化探计算技术,2014,36(4):415-420.

- [J]. 河北工程大学学报(自然科学版),2012,29(3):68-72.
- [20]杨森林,王恩斌. 贵州矿山地质环境承载力分区初探[J]. 能源与环境,2014(5):54-56.
- [21]补建伟,孙自永,周爱国,等. 矿山地质环境承载力评价的若干问题[J]. 金属矿山,2015,44(6):158-163.
- [22]补建伟,孙自永,周爱国,等. 我国矿山地质环境承载力研究现状[J]. 中国矿业,2016,25(1):61-68,77.
- [23]刘锦秀,陈丽娟,黄青华. 五龙沟矿山地质环境承载力评价的空间统计分析法[J]. 金属矿山,2017(2):162-166.
- [24]麻茹,赵龙波,王明君. 宝日希勒矿区矿山地质环境承载力评价研究[J]. 西部资源,2018(2):56-58.
- [25]支兵发. 珠江三角洲经济区海岸变迁的生态地质环境效应[J]. 资源环境与工程,2008,22(2):200-204.
- [26]吴见,曹代勇,张继坤,等. 煤炭开采的生态环境承载力评价——以山西省为例[J]. 安全与环境工程,2009,16(3):18-20,25.
- [27]李树文,康敏娟. 生态—地质环境承载力评价指标体系的探讨[J]. 地球与环境,2010,38(1):85-90.
- [28]赵银兵,何政伟,倪忠云,等. 矿产资源开发的生态地质环境风险研究——以甘孜州东部为例[J]. 地球与环境,2010,38(2):207-213.
- [29]任光远,薛忠歧. 基于 GIS 技术的生态地质环境承载力研究——以宁夏沿黄经济区为例[J]. 城市地质,2014,9(2):39-42.
- [30]孟祥瑞,裴向军,刘清华,等. 基于 GIS 的都汶公路沿线地质生态社会环境评价[J]. 山地学报,2016,34(1):110-120.
- [31]汪宙峰,张廷山,王蕾,等. 都汶公路沿线生态地质环境承载力综合评价[J]. 测绘科学,2016,41(7):77-81.
- [32]郑娇玉,邹明亮,杨超,等. 兰州市城区生态地质环境承载力空间格局[J]. 兰州大学学报(自然科学版),2017,53(3):355-361.
- [33]王蕾,鲁小丫,胡云华,等. 都汶公路沿线地质生态环境承载力评价[J]. 测绘科学,2018,43(2):51-57,69.
- [34]马立新,吴丽. 通辽市水资源承载能力的多层次多目标可变模糊评价研究[J]. 地质与资源,2018,27(1):83-88.
- [35]殷志强,李瑞敏,李小磊,等. 地质资源环境承载能力研究与发展方向[J]. 中国地质,2018,45(6):1103-1115.
- [36]国土资源部.《国土资源环境承载力评价技术要求(试行)》(国土资厅函[2016]1213号)[EB/OL]. [http://www.sddlr.gov.cn/root20/gkml/201608/20160816\\_60378.html](http://www.sddlr.gov.cn/root20/gkml/201608/20160816_60378.html),2016-08-16.
- [37]焦团理,胡波. 合肥环巢湖地区浅层地下水质量评价及影响因素解析[J]. 节水灌溉,2018(8):43-46.
- [38]中华人民共和国国土资源部. DZ/T 0295-2016 土地质量地球化学评价规范[S]. 北京:中国标准出版社,2016:23-27.

(上接第 164 页 /Continued from Page 164)

- [8]陆云祥,陈建荣,陈华根,等. 我国多参数激电测深找水应用综述[J]. 地球物理学进展,2011,26(4):1448-1456.
- [9]许小强,程顺有. 地球物理找水方法概述[J]. 地下水,2007,29(3):28-29.
- [10]张振杰,胡潇,谢慧. 直流电测深法优化组合在河西走廊山前戈壁区的找水效果[J]. 物探与化探,2018,42(6):1186-1193.
- [11]柳建新,刘海飞,马捷. 直流激电测深多参数综合分析划分含水异常岩体[J]. 煤田地质与勘探,2005,33(3):74-77.
- [12]杨桂林,刘金涛,王柱. 直流电测深数据处理方法在地下水勘探中的应用效果[J]. 资源环境与工程,2018,22(6):610-613.