

试验研究

高密度电法二维反演在海岛找水中的
应用效果分析

吴 敏

(福建省 197 地质大队,福建 泉州 362011)

摘要:为解决莆田南日岛居民用水问题,在南日岛地区应用高密度电阻率法进行找水,通过高密度反演软件 RES2DINV 对测试数据进行二维反演得到二维视电阻率反演断面图。根据反演结果推断地下深处发育有断层破碎带,2 个验证钻孔揭露情况与高密度反演结果基本吻合,风化基岩与深部基岩接触面含断层破碎带,抽水试验计算得出的单井出水量分别为 420m³/d 和 62.2m³/d。

关键词:南日岛 高密度电法 二维反演

中图分类号:X703

文献标识码:A

文章编号:1006-8759(2018)01-0035-03

ANALYSIS ON APPLICATION OF 2D INVERSION WITH
HIGH-DENSITY RESISTIVITY METHOD IN SEARCHING
WATER IN ISLAND

WU Ming

(Fujian Province 197 Geological Team, Quanzhou 362011, China)

Abstract: High density resistivity method was applied to search water in Nanri Island for solving residential water use. problems 2D inversion apparent resistivity section image was obtained by inversing test data with high-density inversion software. The inversion results show that there is fault fracture zones developing in deep strata. High-density inversion results match the data detected by two verifying boreholes. The contact surface between weathered bedrock and deep bedrock includes fault fracture zones. Yields of single dewatering well calculated by pumping test are 420 m³/d and 62.2 m³/d.

Key words: Nanri Island; high-density resistivity method; 2D inversion.

南日岛位于福建省莆田市东南部,是南日群岛的主岛,福建省第三大岛,莆田市第一大岛,与湄洲岛并称姐妹岛。该岛饮用水紧张,常年依靠连接莆田的海底管道输送生活淡水,输水成本巨大且容易断水。据统计,南日岛在 2007 年海湾跨海供水应急工程通水后,多次发生长时间停水事件,给驻岛官兵及岛上 6 万居民生活造成诸多不便。为了给海岛居民找到应急淡水资源,福建省煤田地质局与南京地调中心、莆田市政府联合组织精

干技术力量,开展地下水勘查工作,目的在于寻找该区地下水资源。本次地下水勘查主要是利用高密度电法进行找水工作,并且在海岛找水上取得较好的地质效果,找到了丰富的地下水,可为今后在类似海岛地区找水提供有益借鉴。

1 高密度电阻率法原理

高密度电阻率法的观测精度比较高、收集的数据量大、反映的地址信息丰富且生产效率高^[1],其基本原理与直流电阻率法相似^[2]。将直流电流通过电极接地供入地下,建立稳定的人工电场,在地

表观测记录某点垂直方向(电测深法)或沿某一测线的水平方向(电剖面法)的电阻率变化,从而了解岩土介质的分布或地质构造特点的方法,称为电阻率法。

为解决不同的地质问题,常采用不同的电极排列形式和移动方式(装置参数)。装置参数是一种组合式跑极剖面装置,系统根据跑极方式可分为16种测量装置,本文中采用温纳排列(α)装置^[3]。

滚动方式:是一条沿深度方向的直线或斜线(不可视线),且各测点等距分布其上,所有滚动线上相同测深的测点构成一条剖面。见图1所示:

半空间电阻率计算表达式:

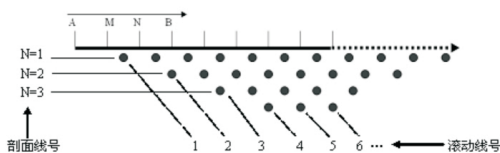


图1 温纳排列(α)装置滚动示意

$$\rho_s \text{ 为视电阻率: } \rho_s = K \frac{\Delta U_{MN}}{I_{AB}}$$

$$k \text{ 为装置系数: } k = \pi \frac{\left(\frac{AB}{2}\right)^2 - \left(\frac{MN}{2}\right)^2}{2\left(\frac{MN}{2}\right)}$$

ΔU_{MN} 为 M、N 电位差; I_{AB} 为 A、B 间的供电电流。

2 野外工作方法及资料处理

本次采用重庆奔腾数控研究所生产的 WG-MD-4 高密度电法系统,该系统以 WDJD-4 为主机。根据实际情况及任务要求,本次工作测点距 5m,一次布设 60 个电极进行滚动测量,勘探深度 75 米。野外数据采集完成后将各排列数据由仪器传输到计算机并进行数据格式转换,格式转换后的数据资料运用 RES2DINV 二维反演软件反演计算^[4]并进行综合解译。

RES2DINV 软件是由 M.H.Loke 博士设计的目前国际上较优秀的一套高密度电阻率数据二维反演软件。该软件系统不仅适用于电极布设于地面的正常勘查,而且可用于水下及跨孔高密度电阻率勘查,应用范围相当广泛。

3 工作区地质概况

3.1 地层

区内地层发育不全,主要有前泥盆系亲营山组(主要是变粒岩、砂线石英片岩、白云石英片岩)、侏罗系南园组(主要是英安质凝灰岩、英安质晶屑凝灰岩和晶屑凝灰岩)及第四系,其中第四系有第四系全新统海积层、第四系全新统冲积层、第四系全新统冲洪积层、第四系全新统洪积层及第四系更新统冲洪积层、第四系残积层。

3.2 水文地质

根据地下水的赋存性质和埋藏条件,本区地下水主要分三种类型:

3.2.1 松散岩类孔隙水:

含水层岩性为含砾亚粘土、砂砾卵石,泥质砂土、炭质粘土,呈半固结-固结状,透水性差;

3.2.2 风化残积层孔隙裂隙水:

主要岩性上部为砖红色粘土、亚粘土、透水性差,下部为含砾亚砂土、轻亚粘土、碎屑碎石、结构松散,风化裂隙较发育。构成裂隙网络,含孔隙裂隙水,往下过渡到基岩,透水富水性极差;

3.2.3 基岩裂隙水:

主要岩性有花岗岩、二长花岗岩、花岗闪长岩、钾长花岗岩、凝灰岩、英安质晶屑凝灰岩。节理裂隙及风化裂隙较发育,但多被泥质充填,不利大气降水渗入,因此本区水量极贫乏,水量为贫乏~极贫乏。

3.3 构造

项目区位于长乐-南澳断裂带的第二带之上,由一系列呈 NE 向且多期次的断裂破碎带、变质带、火山喷发带、岩体侵入带、岩脉及片麻理等构成。北部有 EW 向、NEE 向断裂带,属纬向构造体系。断裂构造是本区最主要的构造形迹,褶皱少见且规模小。大部分地区断裂走向以 NE30°、NE60°、NW310-330° 组为主,构成本区的构造格架,控制了地貌形态和港湾的轮廓。

3.4 侵入岩

区内侵入岩主要有二长花岗岩、钾长花岗岩和花岗闪长岩。

4 地球物理特征

在对区内部分钻孔进行了测深实验,实验结果表明:在咸水入侵区视电阻率普遍较低,最低可小于 10 Ωm ,最高不超过 300 Ωm 。浅部第四系及风化层被海水侵蚀后电阻率在 10~30 Ωm 左右,

含水层甚至低于 $10 \Omega\text{m}$ ；而在淡水区同等条件下视电阻率值是海水侵蚀区的两倍以上。

区内花岗岩普遍发育，主要有二长花岗岩、钾长花岗岩和花岗闪长岩，根据数据统计结果，花岗岩体电阻率普遍较高，平均电阻率值超过 $300 \Omega\text{m}$ ，局部地区可达到 $3000 \Omega\text{m}$ 以上，其具体数值与岩体大小、裂隙发育及周围赋水情况等因素有关。

5 成果资料解译

5.1 反演解译

本次南日岛找水物探工作主要是针对南日岛上离海比较近的南浦头区域和镇政府附近，其中南浦头距离海岸线较近约 300m 。运用 RES2DINV 软件对野外测试数据^[5]进行反演计算，以下是各剖面视电阻率反演断面成果。

南日镇镇政府高密度视电阻率反演断面图如图 2 所示。从图中可以看出在测线 $0\sim 50 \text{m}$ 位置出

现一低阻条带，该低阻带埋深约 $5\sim 10 \text{m}$ ，推测其为第四系覆盖层含水所致。而测线 55m 处存在较为明显的陡立电性界线，该处电阻率发生剧烈变化，推断其为断层破碎带发育所致，断层向大号点倾斜，断层倾向在温纳装置剖面显示很清楚，推测倾角约 45° ；破碎带左侧为低阻异常区，推测该低阻异常区为强-中风化基岩发育所致，破碎带右侧为高阻异常区，推测该高阻异常区为基岩发育所致。

南日镇南浦头高密度视电阻率反演断面如图 3 所示。从断面图中可以推测在测线 $180\sim 215 \text{m}$ 位置存在一条小型断裂破碎带，断裂带向大号点倾斜，断层倾向在温纳装置剖面显示很清楚，推测倾角约 45° ；测线内第四系覆盖层厚度大约为 10m ，中部 $160\sim 180 \text{m}$ 处有一个明显的高阻异常区，推测其为岩体发育所致，但测线底部基岩面不清晰，可能是受断裂构造影响，局部有海水入侵导致电阻率变化。

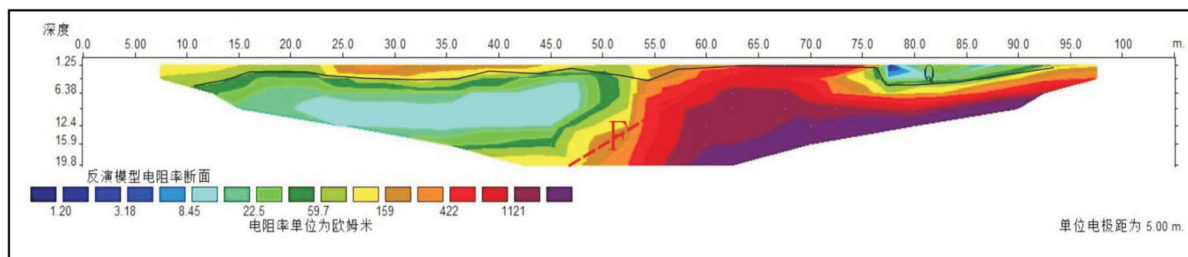


图 2 南日镇镇政府高密度视电阻率反演断面

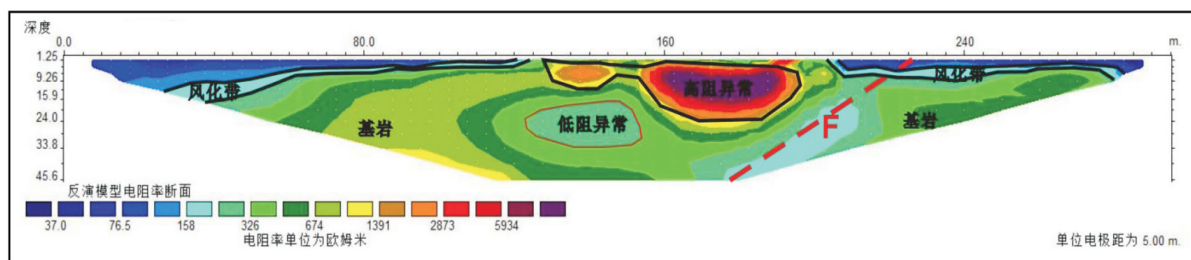


图 3 南浦头高密度视电阻率反演断面

6.2 钻孔验证

在物探线附近共设计并施工钻孔 2 个，分别为 15ZKJ08、15ZKJ03，其中 15ZKJ08 钻孔位于南日镇镇政府高密度测线边上，15ZKJ03 钻孔位于南日镇山初村南浦头高密度测线边上^{[6][7]}。

据 15ZKJ08 钻孔揭露地层由上往下分别为砂质粘土、散体状强风化花岗岩、微风化花岗岩、花岗闪长岩、破碎带、花岗闪长岩。钻孔揭露情况与高密度反演结果基本吻合，钻孔浅部为风化基岩，深部为基岩，二者接触面为一厚约 3m 的断层破碎带。通过抽水试验计算得出单井出水量为 $420 \text{m}^3/\text{d}$ 。

据 15ZKJ03 钻孔揭露地层由上往下分别为砂质粘土、散体状强风化花岗岩、微风化花岗岩、花岗闪长岩、破碎带、花岗闪长岩。钻孔于 $17\sim 23 \text{m}$ 处打到较完整花岗闪长岩，与高密度反演结果相吻合，并且在花岗闪长岩下方揭露一厚约 7m 的断层破碎带。通过抽水试验计算得出单井出水量为 $62.2 \text{m}^3/\text{d}$ 。

6 结论

高密度电法具有观测精度高、数据采集量大、

(下转第 34 页)

2.4 化学调质对涡凹气浮效果影响

将原污泥、1.5 kg/tDs PAM 调质污泥、2.0 kg/tDs DTAB 调质污泥分别进行涡凹气浮实验,结果如表 2 所示。未调理污泥直接经涡凹气浮后效果不理想,出泥含水率清液 SS 相对较高。经 1.5 kg/tDs PAM 和 2.0 kg/tDs DTAB 调理后的污泥,涡凹气浮后出泥含水率均低于未调理污泥,出水 SS 均高于未调理污泥。可认为化学调质直接影响污泥涡凹气浮浓缩效果,PAM 调理后污泥浓缩效果优于 DTAB 调理后污泥。

表 2 化学调质对污泥涡凹气浮浓缩影响

	出泥含水率/%	清液 SS/g/L
未调理污泥	98.4	3.8
PAM 调理污泥	95.8	1.1
DTAB 调理污泥	97.4	1.2

4 结论

化学调质可改变污泥粒径分布和沉降性能。在 PAM 和 DTAB 投加量分别为 1.5 kg/tDs 和 2.0 kg/tDs 时小于 0.25 mm 粒径的污泥颗粒质量分数较未调理污泥分别减少了 93 % 和 82 %, 大于 0.60 mm 粒径的污泥颗粒质量分数是污泥未调理时的 3.5 倍和 2.7 倍。PAM 和 DTAB 投加量分别为 1.5 kg/tDs 和 2.0 kg/tDs 时污泥沉降效果最好,上清液体积较未调理污泥分别增加了 96 % 和 92 %。

PAM 和 DTAB 的投加导致上清液中核酸、蛋白质、总糖浓度增加,污泥浓缩性能的改善与污泥表面核酸、蛋白质、总糖的脱落与释放密切相关。

化学调质直接影响污泥涡凹气浮浓缩效果,最佳投药量下 PAM 调理后污泥的浓缩效果优于 DTAB 调理的污泥。

参考文献

- [1] 刘洪涛,王燕文,孔祥娟,等.城市污泥土地利用近期发展趋势及其原因研究[J].环境科学与管理,2015,40(11):37-40.
- [2] 赵乐乐,冯伟,缪静.城镇污泥处理技术应用现状及发展趋势[J].广州化工,2016,44(5):35-36.
- [3] 陈嘉愉,吴学伟.污水污泥有机调质浓缩和无机调质脱水工艺研究[J].环境工程学报,2009,3(3):529-532.
- [4] ?rmeci B, Vesilind P A. Response to comments on "development of an improved synthetic sludge: a possible surrogate for studying activated sludge dewatering characteristics"[J]. Water Research, 2001, 35(5):1365-6.
- [5] Thapa K B, Qi Y, Clayton S A, et al. Lignite aided dewatering of digested sewage sludge.[J]. Water Research, 2009, 43(3):623-34.
- [6] 金波,李宝新.城市污水处理厂污泥的综合利用探讨[J].环境科学与管理,2010,35(5):106-109.
- [7] 石吉,邵青,米晓.城市污水污泥的处理利用及发展[J].中国资源综合利用,2004(02):15-18.
- [8] 朱建平.城市污水处理厂污泥处置的现状与研究进展[J].城市建设理论研究:电子版,2016(15).
- [9] 彭晓峰,陶涛,陈剑波,等.国际污泥研究现状初探[J].自然杂志,2002,24(4):191-194.
- [10] 管晓涛,胡锋平,路文旭,等.CAF 工艺浓缩剩余活性污泥的可行性研究[J].环境科学与管理,2006,31(1):37-39.
- [11] 杨兴涛,赵建伟,刘杨,等.2007.阴离子型 PAM 在水厂污泥脱水中的应用[J].供水技术 1(4): 34-36.
- [12] 郑蕾,田禹,孙德智.pH 值对活性污泥胞外聚合物分子结构和表面特征影响研究[J].环境科学,2007,28(7):1507-1511.
- [13] 罗先群,曹献英.生物化学实验[M].化学工业出版社,2015.
- [14] 萧能,余瑞元,袁明秀,等.高等院校生命科学实验系列教材,生物化学实验原理和方法,(第 2 版)[M].北京大学出版社,2005.
- [15] Dubois M, Gilles K A, Hamilton J K, et al. Colorimetric Method for Determination of Sugars and Related Substances [J]. Analytical Chemistry, 1956, 28(3):350-356.
- [16] 宋宪强,雷恒毅,余光伟,等.新型复合混凝剂改善污泥脱水性能的研究[J].中国给水排水,2007,23(13):87-90.
- [17] 王浩宇,张军,丁一,等.膜生物反应器中 EPS 对污泥絮体形成的影响及其膜污染特性研究 [J]. 环境工程学报,2015,9 (2):645-652.
- [18] 袁冬琴,王毅力.活性污泥胞外聚合物(EPS)的分层组分及其理化性质的变化特征研究[J].环境科学,2012,33(10):3522-3528.

(上接第 37 页)

地质信息丰富、生产效率高等特点。在海岛采用高密度电法为主的物探工作,经过瑞典 Res2dinv 高密度电法反演软件反演后得到的断面图较好地反映了断层破碎带等地质构造体的存在,其中在距离海边较近的地区开展的高密度电法也取得了很好的效果,根据物探解译结果设计的钻孔也都打

到了赋水构造,说明高密度电法在海岛地区寻找地下水赋水构造是行之有效的,同时也证实了瑞典 Res2dinv 高密度电法反演软件的有效性。因此在类似地区浅层地下水勘查时,首先进行高密度电法探测工作,通过综合反演推断解释选取最佳的孔位,再进行钻探必能起到事半功倍的效果。

(下转第 64 页)

图 4 b 反映了元宵节前后草场门测站和浦口测站逐时 $PM_{2.5}$ 和 PM_{10} 的浓度变化情况, 两者浓度的城郊差异也很显著, 无论是 $PM_{2.5}$ 还是 PM_{10} , 城区的污染浓度基本大于近郊区。浦口测站的 $PM_{2.5}$ 浓度日变化不大, 始终保持在 $70\sim 120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 之间, 而 2 月 14 日草场门站的 $PM_{2.5}$ 浓度则仍有明显的峰值, 最大值出现在 2 月 15 日的 1:00~3:00 时; 相同时段也是城区草场门站 PM_{10} 浓度的峰值时, 最大值为 $244 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 约为近郊区浦口的 1.5~2 倍。对比图 4 a 和图 4 b 两图, 可以发现, 虽然除夕和元宵节均为春节期间烟花爆竹燃放的相对集中期, 但二者仍存在较明显的差异, 具体体现在: 1) 除夕夜燃放时间更为集中, 新年到来之际的 0:00~2:00 内, 污染物浓度有累积并急剧增加的特点, 之后浓度降低的也比较快; 3 日在小雨的冲刷作用下, 污染物再度得到沉降; 2) 元宵节晚间燃放时间较长, 污染物浓度尤其是 $PM_{2.5}$ 浓度在 19:00 以后持续增加, 伴随春节节日的结束, 烟花爆竹燃放量减少, 颗粒物浓度逐渐降低。

3 结论

本文利用 2014 年春节前后污染物浓度资料, 分析了南京市在限燃措施规定下 (减少了燃放时间、增加了禁放区域、加强了烟花规格控制), 春节期间空气质量变化特征, 重点研究了春节前后可吸入颗粒物 $PM_{2.5}$ 和 PM_{10} 的变化特征, 对比分析了城区和近郊的浓度变化差异, 得到一些有益结论:

1) 南京市的进一步限燃措施取得了一定成效: 春节前后 20 d 内共 5 天空气污染级别达中度污染及以上 (1 月 28 日, 1 月 30 日~2 月 2 日), 其它时段空气质量基本介于轻度污染~优之间, 污染

超标率控制在 25%, 细颗粒物仍然是主要污染物, 可吸入颗粒物仍是主要污染物。

2) $PM_{2.5}$ 和 PM_{10} 的变化趋势基本一致且变幅很大, 最大值均出现在除夕后半夜, 与市民选择在新年零点前后燃放烟花爆竹有一定关系。 SO_2 、 NO_2 两种污染物浓度总体保持平稳变化, 最大值和次大值的出现稍超前或滞后于烟花爆竹的集中燃放期, 说明其浓度变化受气象条件影响更大。 O_3 的质量浓度具有明显日变化, 呈现白天高夜间低的特点, 烟花爆竹燃放对其影响远不如对其它污染物直接。

3) 草场门测站与浦口测站 $PM_{2.5}$ 、 PM_{10} 的浓度变化趋势基本一致, 其差值反映了城郊污染物的累积存在区域差异, 城市人口密集区燃放烟花爆竹对空气污染的影响更大, 污染级别更易超标。除夕和元宵节虽均为烟花爆竹燃放相对集中期, 但二者造成的污染存在差异: 除夕夜燃放时间更为集中, 0:00~2:00 污染物浓度急剧增加并累积, 之后浓度降低也较快; 元宵节晚间燃放时间长, 污染物浓度在 19:00 以后逐渐持续增加。

参考文献

- [1] 洪盛茂, 何曦, 祁国伟, 等. 杭州市区春节期将空气质量变化特点[J]. 气象科技, 2003, 31(6): 340-344.
- [2] 韩向东, 刘献辉, 陈辉, 等. 燃放烟花爆竹对环境空气的影响[J]. 黑龙江环境通报, 2007, 31(4): 60-61.
- [3] 张建华, 夏文前, 王斌, 等. 浅谈燃放烟花爆竹对环境空气的影响[J]. 黑龙江环境通报, 2004, 28(2): 80-81.
- [4] 李令军, 李金香, 辛连忠, 等. 北京市春节期间大气污染分析[J]. 中国环境科学, 2006, 26(5): 537-541.
- [5] 魏玉香, 董尧青, 银燕, 等. 南京 SO_2 、 NO_2 和 PM_{10} 变化特征及其与气象条件的关系[J]. 大气科学学报, 2009, 32(3): 451-457.
- [6] 张小玲, 徐敬, 李腊平. 不同气象条件下烟花爆竹燃放对空气质量的影响研究. [J] 气象与环境学报, 2008, 24(4): 6-12.

(上接第 34 页)

参考文献

- [1] 刘天佑. 地球物理勘探概论[M]. 地质出版社, 2007.
- [2] 王兴泰, 傅春久, 程德福等. 电法勘探新进展[M]. 北京: 地质出版社, 1996.
- [3] 董浩斌, 王传雷, 许刚林. 分布式智能化高密度电法仪的研制[J]. 地球科学-中国地质大学学报, 2001, 26(S): 17-22.

- [4] 徐加益. 高密度电法反演软件 Res2dinv 功能及其应用[J]. 黑龙江水利, 2016, 2(8): 56-59.
- [5] 福建省 121 地质大队. 南日岛镇政府和鳌屿岛电法工作小结[R]. 福建省 121 地质大队, 2015.
- [6] 南京地质调查中心. 南日岛水文钻 15ZKJ03 孔设计[R]. 南京地质调查中心, 2015.
- [7] 南京地质调查中心. 南日岛水文钻 15ZKJ08 孔设计[R]. 南京地质调查中心, 2015.