

电阻率法在鄂北丘陵山区水文地质调查中的应用研究

徐锦宏¹, 余伟林², 答文威³, 徐承³, 孟陈², 王骏²

¹湖北省地质灾害防治中心, 湖北 武汉

²湖北省地质环境总站, 湖北 武汉

³湖北省地质局, 湖北 武汉

Email: 474674555@qq.com

收稿日期: 2020年9月4日; 录用日期: 2020年9月18日; 发布日期: 2020年9月25日

摘要

本文以鄂北丘陵山区南部皂市镇幅水文地质调查为例, 在鄂北丘陵山区的物探找水实践中, 综合运用对称四极电测深法、高密度电法、激电测深、电阻率测井法进行地下水勘查研究。通过四种方法的组合应用, 有效避免了单一勘探方法的多解性, 提高了勘探的准确度与精度, 最终探索出电阻率法在地下水勘查工作中“面上控制, 线上定性, 点上量化, 井中验证”的优化模式, 可较准确的划分富水区, 大大提高了成井率, 为鄂北丘陵山区严重缺水地区地下水勘查提供借鉴或参考意见。

关键词

水文地质, 电阻率法, 地下水勘查, 优化模式

The Application of Resistivity Method in Hydrogeology of North Hubei Hilly Area

Jinhong Xu¹, Weilin Yu², Wenwei Da³, Cheng Xu³, Chen Meng², Jun Wang²

¹Hubei Center of Geological Disaster Control, Wuhan Hubei

²Hubei Geological Environmental Station, Wuhan Hubei

³Hubei Geological Bureau, Wuhan Hubei

Email: 474674555@qq.com

Received: Sep. 4th, 2020; accepted: Sep. 18th, 2020; published: Sep. 25th, 2020

文章引用: 徐锦宏, 余伟林, 答文威, 徐承, 孟陈, 王骏. 电阻率法在鄂北丘陵山区水文地质调查中的应用研究[J]. 自然科学, 2020, 8(5): 484-491. DOI: 10.12677/ojns.2020.85059

Abstract

Taking the hydrogeological survey of Zaoshi town in the south of the hills and mountains of North Hubei as an example, in the practice of geophysical prospecting for water in the hills and mountains of North Hubei, this paper comprehensively uses the symmetrical quadrupole electric sounding method, high density electric sounding method, induced electric sounding method and resistivity logging method to explore the groundwater. Through the combination of the four methods applied, effectively avoid the uncertainty of single exploration methods, improve the accuracy and precision of the exploration, finally explores the resistivity method in groundwater exploration work "control, online qualitative and quantitative point, borehole verification" optimization model, can be accurately dividing the rich water, greatly improving the rate of supplying, groundwater exploration for severe water shortages in north ordos hilly mountain areas to provide the reference or reference opinions.

Keywords

Hydrogeology, Resistivity Method, Groundwater Exploration, Optimization Model

Copyright © 2020 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

地下水作为地球上重要的水体，与人类社会密切相关。近年来，随着经济、社会的高速发展和人口的快速增长，水资源的需求量也急剧增加，在缺水地区合理开发利用地下水资源可有效缓解缺水问题[1]。而当下传统的、直接的找水方法多数是钻井勘察，其盲目性大，成井率低，经济损耗大。目前，利用物探技术方法进行地下水资源勘查工作已经取得了显著成效[2]。但如何“统筹兼顾、合理布局”的推进地下水勘查和利用工作；如何更加有效的运用常规物探方法，既能高效、准确的达到地质目的，又能合理的配置地勘人力物力；如何取长补短，科学搭配不同的物探手段来避免单一物探方法的多解性等等，这些已然成为水工环地勘工作者正在思考和探索的问题。

电法勘探是应用度最广的物探找水方法，在鄂北丘陵山区的物探找水实践中，通过综合运用多种常规电阻率方法进行勘探，理论联系实际，不断在实践生产中探索出科学地应用组合模式，即“面上控制，线上定性，点上量化，井中验证”的优化模式，不仅提高了勘探的准度与精度，较准确的划分富水区，大大提高了成井率，而且合理缩减了地调工程的成本，取得了较好的社会效益。

2. 工作原理

2.1. 视电阻率测深法

实际地质情况下，地下地质体并不是均匀导电介质，其电阻率存在较大差异，而且同一介质也存在各向异性现象，实际工作中所测得的电阻率不是某单一地质体的电阻率，称其为视电阻率，用 ρ_s 来表示。视电阻率垂向电测深法是在同一个测点上依次扩大供电极距 AB，使得探测深度逐渐加大，这样便可得到测点处沿垂直方向由浅到深的视电阻率变化情况[3]。

2.2. 高密度电法

高密度电阻率法实际上是一种阵列勘探方法，它以地下岩层间或者岩矿石间的电性差异为基础，研究在人工施加电场的作用下，电流在地下传导时所形成的电荷变化分布规律。一次布极便能完成纵向和横向二维勘探过程，既能反映地下某一深度沿水平方向岩土体的电性变化，同时又能提供地层岩性沿纵向的电性变化情况，具备电剖面法和电测深法两种方法的综合探测能力。高密度电阻率法实质上属于直流电法，和常规电阻率法一样，不同之处是它的装置是一种组合式剖面装置，通过仪器控制进行电极转换而进行组合测量，测量效率较高，测量点数较多，测量的精度较高，从而获得了相对较多的地层信息[4]。

2.3. 激电测深

激发极化法是根据岩、矿石之间的电化学反应性差异来找矿和解决地质问题的一种重要的地球物理方法，它又分为直流激发极化法(间域法)交流激发极化法(率域法)。在充电和放电过程中，由于电化学反应引起的这种随时间缓慢变化的附加电场现象，称为激发极化效应 IP 效应。激发极化法是以不同岩矿石的激电效应之差异为物质基础，通过观测和研究大地激电效应，以探查地下地质情况的一种勘探方法。在激电测深时，通常固定 MN，增加 AM 和 BN，这样可在同一测点得到不同深度上的信息，据不同测点上的测深可编制电测深拟剖面图[5]。

2.4. 水文测井

视电阻率测井是以研究岩矿石电阻率的相互差异为基础的，测量装置由电源 E、电流表 mA、可变电阻 R 以及供电电极 A、B 组成供电回路；测量电极 M、N 接到地面记录仪器 ΔU 组成测量回路。根据稳定电流场的理论，假设地下空间为无限均匀各向同性的介质，其视电阻率为 ρ ，当由供电电极 A 流出的电流为 I 时，根据 MN 之间的电位差 U 及电极装置系数 K，可以算出视电阻率 ρ 值[6]。

3. 电阻率法找水应用实例

本文以鄂北丘陵山区水文地质调查项目为例，根据项目设计的要求，结合工作区实际情况，考虑施工成本及效率，优化选择对称四极电测深法、高密度电法、激电测深、电阻率测井 4 种物探方法相结合，达到探明缺水山区地下水分布的目的。

3.1. 目的和任务

开展鄂北严重缺水地区 1:5 万水文地质调查，查明基础水文地质条件和地下水资源状况，调查适宜饮用地下水的区间分布和埋藏条件；调查鄂北地下水开发利用状况及其相关生态环境地质问题，分析人类工程活动与自然气候变化对地下水的影响。物探工作的任务是使用多种物探方法，查明鄂北地区地层分布情况，划分出含水地层并以定性分析其水资源含量，指出富水地区，为水井布设提供合理的物探依据[7]。

3.2. 工作思路

(1) 在已知水文地质条件区布设试验性物探剖面，收集该区域内岩层(石)的视电阻率数据，并运用电法勘探数据处理软件进行地球物理反演形成地电断面图，建立地质-地球物理模型。

(2) 在未知区域合理布设电测深长剖面(点距 250 m)，大致摸清研究区内地层、岩性和构造，在重点找水靶区布设高密度电法剖面(点距 10 m)进行高精度勘察，解译后结合水文地质背景资料，推荐水文孔孔位和孔深。

(3) 在拟定孔位上进行激电测深, 查明孔位下方垂向上的岩层界线和岩石电性, 判断含水层埋深和厚度, 以指导成井工作。

(4) 钻孔结束后, 采用电阻率测井法, 查清真实压力、温度和湿度等背景条件下, 井壁岩层的孔隙度特征及含水性, 从而验证地面物探工作对含水层定性定量的解译成果。

(5) 最后对比分析物探解译成果与钻探岩性资料以及抽水试验资料, 修正研究区内含水岩层的电性参数, 评价电阻率法在研究区内进行地下水勘查的准确性和可靠性[8]。

3.3. 成果分析

本次物探工作实际工作区范围大, 重点勘探区较多且分布零散, 下面以视电阻率测深 6 线、高密度电法 ZK4 线、激电测深 ZK4 线、水文测井 ZK4 号孔成果资料为例进行分析说明, 测线平面布置图如图 1 所示。

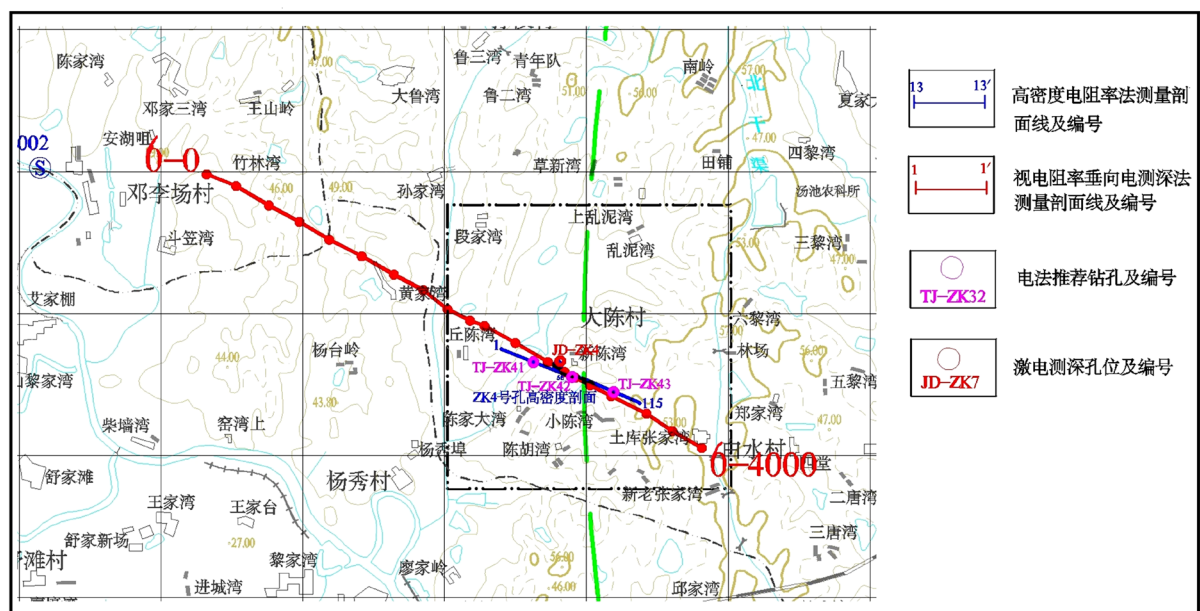


Figure 1. Survey line plan
图 1. 测线平面布置图

3.3.1. 电测深 6 线

该测线用于查明区内地层、岩性和构造, 划出易含水靶区, 为后面的电法工作提供依据。

根据区域地质资料得知, 区内地表为第四系耕土、亚粘土、粘土及砂砾层, 第四系之下是新近系掇刀石组和古近系文峰塔组两套地层, 地层界线呈近南北向展布, 界线埋深约为 15~40 m 左右。测线区域位于淮阳山字型前弧西翼与新华夏系江汉构造盆地北缘毗邻地带, 测线穿过西河 - 皂市断裂。

从地电断面来看(见图 2), 剖面上视电阻率横向变化较大, 纵向上由浅至深逐渐增大, 电阻率在 5~75 $\Omega\cdot\text{m}$ 之间, 表明剖面上岩性变化较大, 存在断裂破碎带或岩性接触带等地层构造。结合地质资料, 推测在测线里程桩号 1270 m 处为新近系与古近系两套地层的分界线, 结合地质资料, 测线西北端下部为古近系文峰塔组泥岩, 局部夹有砂岩、砂砾岩, 测线东南端下部为新近系掇刀石组碎屑岩、粘土岩, 局部夹有砂岩、砂砾岩。新近系下方为古近系文峰塔组泥岩。推测在测线里程桩号 2890~3100 m 为西河 - 皂市断裂破碎带。

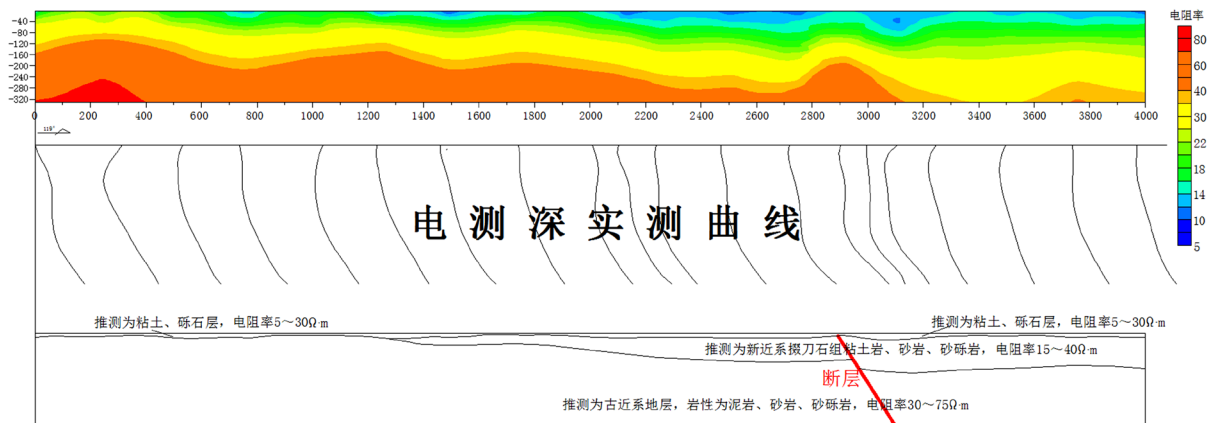


Figure 2. Interpretation result of 6 line profile of apparent resistivity vertical electrical sounding
图 2. 视电阻率垂向电测深 6 线剖面解释成果图

3.3.2. 高密度 ZK4 线

根据电测深 6 线的推断成果, 在电测深 6 线断层附近布设一条 1.2 km 的高密度测线进行高精度勘查, 更精确地确定地下水富水区域, 并推荐钻孔孔位。

从地电断面来看(见图 3), 整条剖面视电阻率值不均一, 在 5~65 $\Omega\cdot\text{m}$ 之间, 推测地电断面上主要由粘性土、粘土岩、砂岩、(砂质)泥岩组成, 高密度测线位于断裂破碎带附近, 低阻异常较明显, 测线桩号 515~615 m 处为断裂破碎带反应。从电性上分析, 该区域基岩较破碎, 富水性较好。

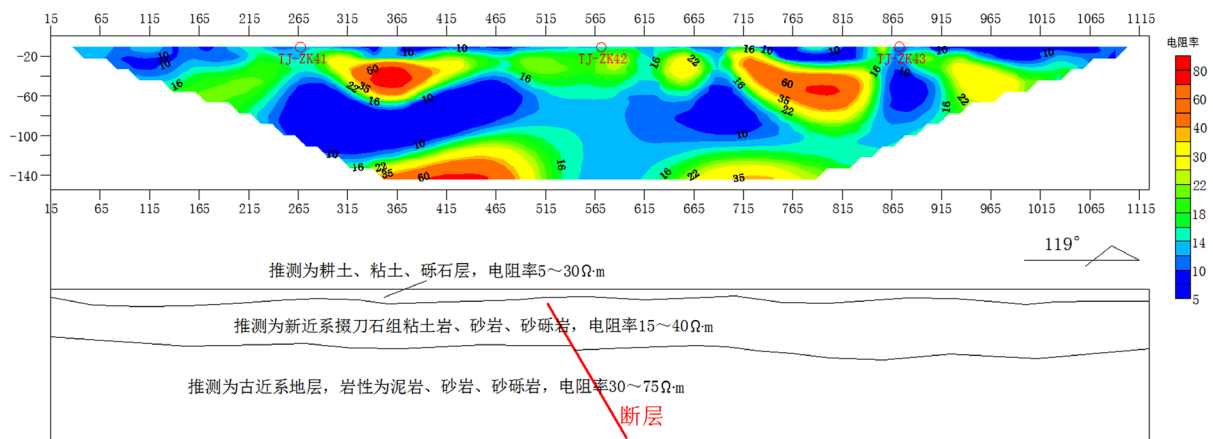


Figure 3. High density electric method ZK4 line section interpretation result diagram
图 3. 高密度电法 ZK4 线剖面解释成果图

通过对高密度电法资料的分析, 推荐 3 个拟选井位点 TJ-ZK41、TJ-ZK42 和 TJ-ZK43。其中 TJ-ZK41 位于 ZK4 号孔高密度测线 267 m 处, 推荐井深为 70 m; TJ-ZK42 位于 ZK4 号孔高密度测线 570 m 处, 推荐井深为 80 m; TJ-ZK43 位于 ZK4 号孔高密度测线 872 m 处, 推荐井深为 70 m。经地质组人员与当地政府沟通, 考虑到当地实际用水需要, 选择 TJ-ZK42 为拟成井孔位。

3.3.3. 激电测深 ZK4 线

在高密度 ZK4 线的成果基础上, 在最终推荐的钻孔 TJ-ZK42 处进行激电测深, 进一步该处探测地下水的富水性强弱, 点号为 JD-ZK4, AB/2 最大极距为 240 m。激电测深曲线见图 4。

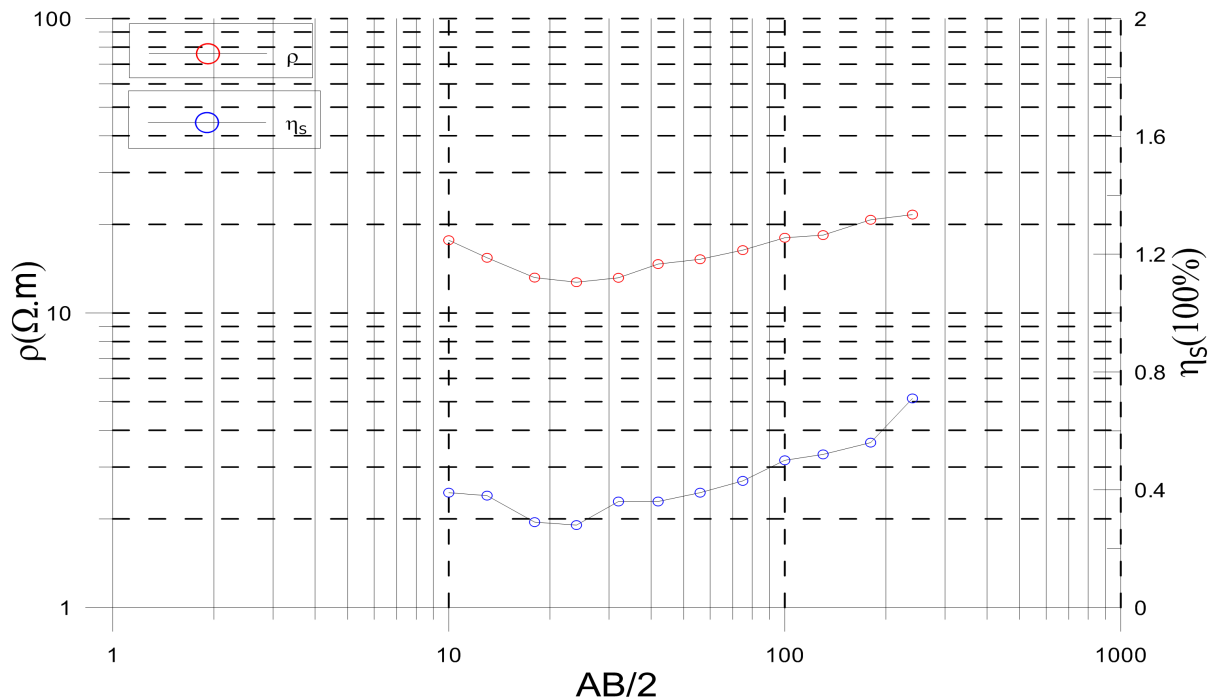


Figure 4. Curve of apparent resistivity and polarizability of ZK4 line in IP sounding
图 4. 激电测深 ZK4 线视电阻率及极化率曲线图

ρ_s 曲线波动较小, 曲线呈 H 型, H 型底部较平缓, 曲线尾支呈缓慢上升趋势, 在 $AB/2 = 240\text{m}$ 处出现最大值, 表明新近系掇刀石组视电阻率较低或岩层较厚。极化率 η_s 曲线也呈缓慢上升状态, 极化率值由浅层的 0.26% 上升至约 0.8%, 推测新近系掇刀石组局部岩层中富水性较好, 推荐孔位成井可能性较大。

3.3.4. 水文测井 ZK4 孔

ZK4 孔位于新近系掇刀石组碎屑岩裂隙孔隙水分布区内, 含水层由新近系掇刀石组半固结的碎屑岩组成, 含水层岩性为砂岩、砂砾岩。根据钻探资料, 该孔 0~7 m 为粘土, 7~36.2 m 为粘土岩, 36.2~38.3 m 为砂砾岩, 38.3~54.78 m 为粘土岩, 54.78~97.9 m 为含钙质泥岩, 97.9~117.86 m 为泥岩。

根据综合测井成果图(见图 5), 分析结果如下: 0~11.84 m, 电阻率值较低, 自然伽马较高, 粘土。11.84~19.44 m, 电阻率值出现正异常波动, 自然伽马与自然电位降低, 波速上升, 推测为砂砾层, 含水。19.44~26.24 m, 电阻率值重新降低, 同时自然伽马与自然电位出现正异常波动, 推测为粘土岩。26.24~29.2 m, 电阻率值出现正异常波动, 且波峰较大, 自然伽马出现负异常波动, 推测为中粒砂岩, 含水。29.2~36.08 m, 电阻率值重新降低, 同时自然伽马与自然电位出现正异常波动, 推测为粘土岩。36.08~38.52 m, 电阻率值出现正异常波动, 同时自然伽马与自然电位出现负异常波动, 推测为砂砾岩。38.52~54.6 m, 电阻率值重新降低, 同时自然伽马与自然电位出现正异常波动, 推测为粘土岩。54.6~97.04 m, 电阻率值略微升高, 自然伽马与自然电位较为平稳, 推测为钙质泥岩。97.04~115.6 m, 电阻率值降低, 推测为泥岩[9]。

钻孔抽水试验资料显示, 钻孔 ZK4 含水层顶板埋深 36.2 m, 含水层厚度 2.1 m, 稳定水位埋深 16.5 m, 抽水试验降深 14 m, 流量约为 $463.62\text{ m}^3/\text{d}$, 渗透系数 19.97 m/d 。该试验结果与测井解释划分的含水层基本吻合, 验证了该测井成果的准确性。

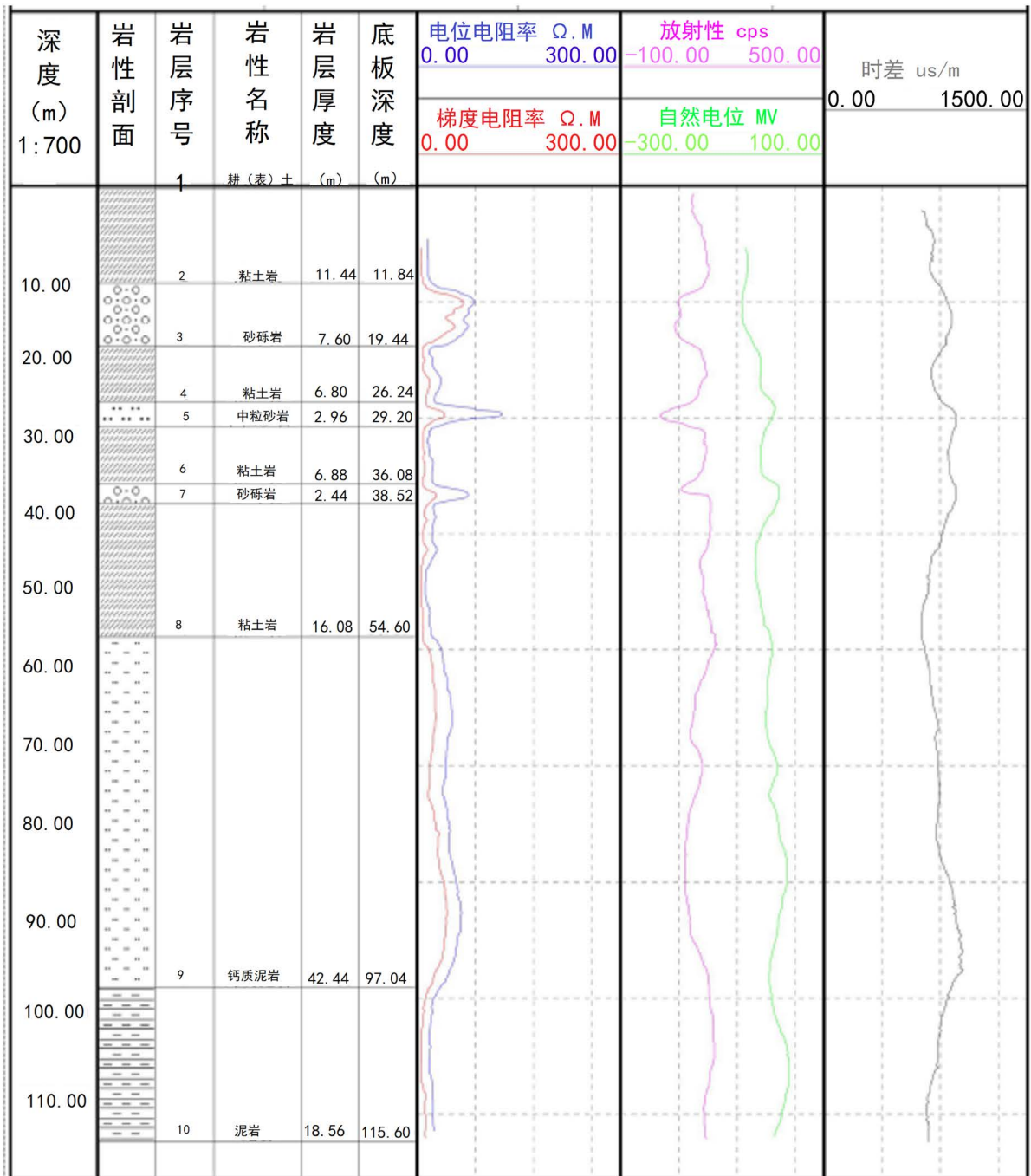


Figure 5. ZK4 integrated log map
图 5. ZK4 综合测井成果图

4. 结论

本文以实际水文地质调查工程为例，将工作研究区的地质背景、水文地质条件、地球物理特征与四种常规电阻率法有效的结合，通过合理组合电阻率法应用模式，按照“从未知到已知”的思路，坚持由粗到细的原则，循序渐进地开展地下水勘查工作，有效解决了单一物探方法在鄂北丘陵山区缺水地区找水工作中的多解性难题，探索出该类型区域找水的有效技术方法和组合形式，有效提高了找水成井效率。

视电阻率电测深 6 线为短剖面,旨在控制西河 - 皂市断裂的走向和新近系与古近系地层分界线西南端的走向。结合工区内地质背景资料,研究划定了贫水区和富水区,在富水区域布设高密度电法剖面线,高精度的查明电性低阻异常带。通过对电测深法与高密度电法解译剖面的比较分析,发现电测深法在纵向上的分辨率高,高密度电法温纳(α 排列)装置对电性的水平变化反应灵敏。两种常规电阻率不仅在勘查过程中极大的控制了研究区范围,而且综合了彼此在横向和纵向上分辨率高的优点,有效的反映了研究区内的岩性特征,为准确定位水文孔提供了有价值的参考依据。

在拟定 ZK4 钻孔处进行的激电测深数据表明,整个图幅内的含水岩层极化率值偏低,局部岩石电阻率值为 $20 \Omega \cdot m$ 左右,极化率峰值约 1%,推测为新近系掇刀石组砾石层富水性较好,钻孔验证效果与解译一致。量化了研究区内含水岩组的地球物理特征值,是判断含水层的重要依据。水文测井资料分析验证了工作区主要含水岩组为白垩系 - 古近系碎屑岩孔隙裂隙水含水岩组和新近系掇刀石组半固结碎屑岩裂隙孔隙水含水岩组,电阻率法找水的定井准确率较高,在研究区基本正确可行,有一定的推广价值。

通过上述四种方法的组合应用,有效避免了单一勘探方法的多解性,提高了勘探的准度与精度,最终探索出电阻率法在地下水勘查工作中“面上控制,线上定性,点上量化,井中验证”的优化模式。

参考文献

- [1] 张顺联, 主编. 地下水水文学[M]. 北京: 水利水电出版社, 1986.
- [2] 李世军, 王力斌. 物探方法在找水方面的应用[J]. 吉林地质, 2008(3): 110-112.
- [3] 刘国兴. 电法勘探原理与方法[M]. 北京: 地质出版社, 2005.
- [4] 王士鹏. 高密度电法在水文地质和工程地质中的应用[J]. 水文地质工程地质, 2000(1): 52-56.
- [5] 吕天江. 激发极化法验证高密度电阻率法异常及其在找水定井中的应用[J]. 资源信息与工程, 2017, 2(23): 64-66.
- [6] 冯瑞, 等. 电阻率层析成像技术[J]. 中国地震, 2004(1): 13-30.
- [7] 吴德宽, 刘波. 鄂北丘陵山区表层地下水富水性等级划分探析——以广水寿山地区为例[J]. 资源环境与工程, 2015(6): 830-834.
- [8] 刘云彪, 李智民, 陈金国, 等. 鄂北丘陵山区严重缺水地区地下水勘查与供水安全示范项目总体设计[R]. 武汉: 湖北省地质环境总站, 2013.
- [9] 孟陈, 答文威, 徐锦宏, 等. 论鄂北地区白垩 - 古近系地层岩性物性参数[J]. 资源环境与工程, 2016(6): 1004-1008.