

doi: 10.11720/wtyht.2023.1319

刘春伟,王重,胡彩萍,等.综合物探方法在胶东岩浆岩缺水山区找水中的应用[J].物探与化探,2023,47(2):512-522. http://doi.org/10.11720/wtyht.2023.1319

Liu C W, Wang C, Hu C P, et al. Application of a comprehensive geophysical exploration methods to water exploration in magmatic rock mountainous areas with water shortage in Jiaodong Peninsula [J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2023, 47(2): 512-522. http://doi.org/10.11720/wtyht.2023.1319

综合物探方法在胶东岩浆岩缺水山区找水中的应用

刘春伟^{1,2},王重^{1,2},胡彩萍^{1,2},时彦芳^{1,2},杨晓辉^{1,2},刘小天^{1,2},韩玉英^{1,2},李波^{1,2}

(1. 山东省地质矿产勘查开发局 八〇一水文地质工程地质大队, 山东 济南 250014; 2. 山东省地下水环境保护与修复工程技术研究中心, 山东 济南 250014)

摘要: 岩浆岩地区富水性整体较弱,地下水匮乏,找水难度较大,资源型缺水是区内普遍存在的问题。本文针对不同找水目标类型,结合勘探靶区地质、物性特征、水文地质条件及现场踏勘,应用视电阻率联合剖面 and 视电阻率垂向测深综合物探手段解释分析,对莱阳市小水岔村和瓦屋村周边的地层电性结构特征、成井模式及富水机理进行了综合研究。通过确定找水目标、物探解释分析、综合分析定井,最终在两个村庄成功实施两眼钻孔,最大涌水量分别高达 247.56 m³/d 和 620.64 m³/d,并结合侵入—接触带型和岩脉导水型蓄水构造模式详细分析了其富水机理,不仅解决了当地群众用水难题,也对今后在类似地区找水定井有一定的借鉴意义。

关键词: 岩浆岩;找水定井;勘查;物探

中图分类号: P631

文献标识码: A

文章编号: 1000-8918(2023)02-0512-11

0 引言

目前用于找水的物探方法很多,但由于各地区地质、水文地质背景差异大,通过单一物探手段往往很难对隐伏地质构造取得充分的认识。为弥补其不足之处,同时在一定程度上相互验证,减少多解性,采用综合物探方法进行优化组合显得十分必要^[1-3]。

山东省岩浆岩出露面积约 30 976 km², 主要分布在鲁中山区及胶东地区,约占全省陆地面积的 20%^[4]。而岩浆岩变质岩类裂隙水是我国分布最为普遍的地下水类型之一,具有埋藏深、储量小、分布不均的特点^[5]。通常将岩浆岩地区富水性划分为 <100 m³/d,即地下水资源极度匮乏,这已成为制约当地经济发展和人民生活水平提高的一大瓶颈^[6]。

岩浆岩缺水山区地下水勘探主要是以物探为常用手段,苗得雨等^[7]综合利用四极对称电剖面扫

面、视电阻率和激发极化法电测深法,圈定了黄岛花岗岩地区富水带并确定了井位,有效解决了当地饮水问题;宋希利等^[8]在云南玉溪市岩浆岩地区利用 CSAMT 法和电阻率测深法推测了构造破碎带,圈定低阻区范围,确定了含水层的深度,并根据异常形态较快地确定了最佳井位,抗旱找水效果显著;时彦芳等^[9]运用高密度剖面测量确定新泰市岩浆岩地区断裂构造或较大破碎、裂隙的平面位置及破碎发育深度,然后进行激电测深工作进一步确定了含水层的埋藏深度。

根据山东省 2013 年度省地质勘查项目部署要求,围绕山东省经济和社会发展需要统筹规划,在胶东岩浆岩地区陆续开展了多图幅 1:5 万区域水文地质调查工作,山东省地质矿产勘查开发局八〇一水文地质工程地质大队先后承担了招远市幅、赵格庄幅、毕郭幅、河头店幅、山前店幅等多图幅水文地质调查工作,不仅查明了区内含水层空间结构、富水性

收稿日期: 2022-08-02; 修回日期: 2022-10-14

基金项目: 第七届青年人才托举工程(2021QNRC001);山东省地质勘查项目“山东省 1:5 万区域水文地质调查(河头店、山前店幅)”(鲁勘字[2019]45 号);山东省地质矿产勘查开发局八〇一水文地质工程地质大队基金项目(801KY2022-2)

第一作者: 刘春伟(1994-),男,学士,工程师,主要从事水文地质研究工作。Email:1060248967@qq.com

通讯作者: 时彦芳(1983-),男,硕士,正高级工程师,主要从事物探勘查技术与工程工作。Email:272151912@qq.com

分布特征、地下水补径排条件及开发利用现状,提高了水文地质调查与编图精度,还累计实施探采结合孔 48 眼,直接解决了 20 000 余人的生活饮用水困难及 30 000 余亩农田灌溉难题,取得了显著的社会效益和经济效益。

本次以胶东莱阳岩浆岩缺水山区找水工作为例,采用视电阻率联合剖面 and 视电阻率垂向测深两种物探手段进行勘探,结合勘探靶区的地质、水文地质条件综合分析定井,取得了良好的效果。研究结果为岩浆岩山区找寻新的富水块段、提高打井取水成井率,解决缺水山区群众用水难题等提供了一定的借鉴及指导意义^[10-13]。

1 研究区概况

1.1 研究区地质特征

研究区位于烟台市西南部,莱阳市北部,为鲁东低山丘陵区,地形整体北高南低,海拔 100~300 m,

山势低缓,多呈馒头状、平顶状等,上游谷深呈“V”字型,下游谷宽呈“U”字型,切割深度一般<200 m。

地层主要出露中太古界唐家庄岩群,新太古界胶东岩群,古元古界荆山群、粉子山群,中生界白垩系莱阳群、青山群、王氏群以及第四系地层。岩浆岩广泛分布,按时代岩性划分为中太古代苏长辉长岩,新太古代黑云英云闪长岩、片麻岩,古元古代斜长角闪岩、花岗岩,中生代燕山期二长花岗岩、玢岩等。

岩浆岩较其他岩性地区有其特殊性,岩石类型复杂,从酸性—基性均有出露。在空间上有区域成带分布特点,在时间上则显示多旋回活动的特点,在形成上具有多成因的特点,具有“区域成带性”、“多旋回性”和“多成因性”的时空分布规律^[14-15]。

1.2 研究区水文地质特征

岩浆岩变质岩类裂隙含水岩组包括层状岩类裂隙、块状岩类裂隙及喷出岩类孙洞裂隙含水岩组 3 类,呈面状分布于整个研究区(图 1),含水层岩性主

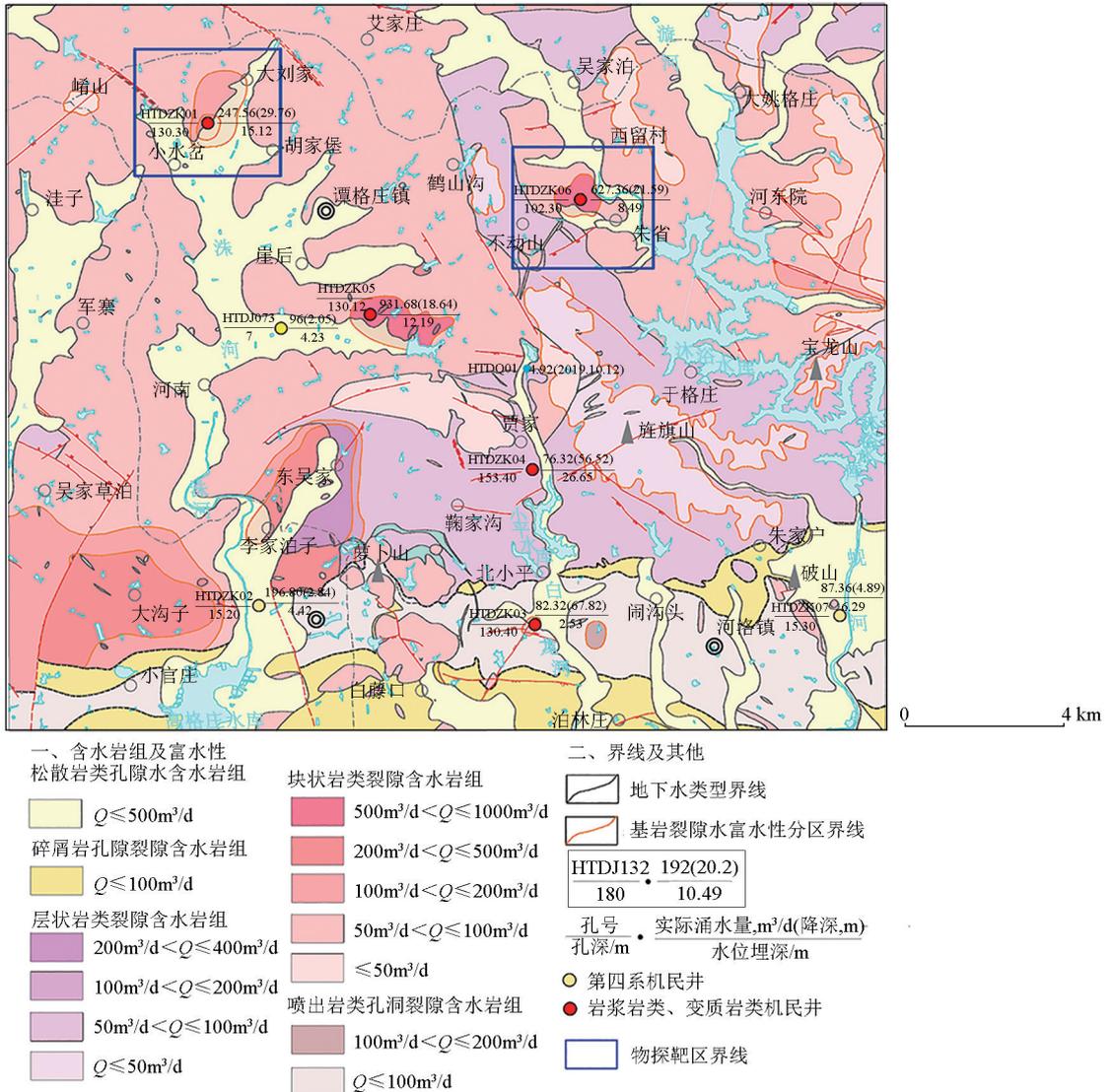


图 1 研究区水文地质
Fig. 1 Hydrogeological map of the study area

要为片麻岩、闪长岩、花岗岩和安山岩等。岩浆岩变质岩类裂隙水赋存与分布规律受地层、地质构造、地形地貌及气象水文诸因素共同控制,富水性整体较弱,单井涌水量多小于 $100 \text{ m}^3/\text{d}$;在断裂、侵入岩脉等构造发育、汇水条件良好的地段,富水性较强,单井涌水量可达 $200\sim 800 \text{ m}^3/\text{d}$ 。

1.3 研究区地球物理特征

研究区不同岩石电阻率及自然伽马统计见表 1。其物性特征为:新太古代花岗岩和闪长岩为高阻,浮动于 $100\sim 2\,000 \Omega \cdot \text{m}$ 之间,平均电阻率在 $500 \Omega \cdot \text{m}$ 以上,且自然伽马值大,浮动于 $100\sim 1\,000 \text{ API}$;第四系临沂组、沂河组黏土和砂为低阻,平均电阻率分别为 $5、40 \Omega \cdot \text{m}$;不同地层岩石之间电性差异较大,同时对于同一岩性地层,基岩完整视电阻率值较高,基岩破碎则视电阻率值降低,因此具备地球物理勘探前提。

表 1 研究区主要地层岩石物性参数

Table 1 Petrophysical parameters of main strata in the study area

地层代号	含水层岩性	电阻率变化范围/ $(\Omega \cdot \text{m})$	电阻率平均值/ $(\Omega \cdot \text{m})$	自然伽马/API
Qh ₁ /Qh _y	黏土	0.1~10	5	100~200
Qh ₁ /Qh _y	砂	15~80	40	50~150
Ar ₃	花岗岩	209~1131	540	100~1000
Ar ₃	闪长岩	198~1324	603	100~1000

2 野外工作方法

2.1 方法选择原则

岩浆岩地区找水定井,一是寻找岩石风化破碎带、构造发育带等蓄水部位;二是判断其富水性。常用的物探找水方法有多种,如电法、电磁法、核磁共振等,研究区处于胶东半岛,是山东省经济较发达地区,厂矿企业较多,人文环境复杂,电磁影响较大。本次结合研究区实际情况采用了视电阻率联合剖面法和视电阻率垂向测深两种物探手段相结合进行综合定井。先利用联剖面法确定视电阻率低阻正交点和低阻异常区,查明岩浆岩地区构造发育特征、破碎带位置,圈定孔位靶区;再利用电测深法查明岩浆岩风化层厚度、构造发育深度,即确定含水层的埋藏深度及厚度,从而确定井位及井深,综合分析其富水特性。

2.2 仪器设备与参数选择

2.2.1 视电阻率联合剖面法使用仪器及参数选择

本次工作测线布设采用天宝动态 GPS-RTK 双频接收机测量定点。仪器配置如下:使用天宝 GPS-RTK 双频接收机一套,该仪器动态测量的标准精度,

平面为: $\pm 5 \text{ cm}+1 \text{ ppm} \times D$,高程为: $\pm 5 \text{ cm}+1 \text{ ppm} \times D$ 。

动态 GPS-RTK 通过手机信号使流动站与 SD-CORS 基准站连接。当平面位置差值小于 $\pm 5 \text{ cm}$ 、高程差值小于 $\pm 5 \text{ cm}$ 且为固定解,则开始进行观测。参数选择满足表 2 的要求。

表 2 技术指标参数

Table 2 Technical specifications and parameters

截止高度角 15° 以上卫星个数	PDOP 值	与基准站的距离/km	图上点位中误差/mm	高程中误差/mm
>5	≤ 6	<5	≤ 0.5	$\leq 1/3$ 等高距

2.2.2 视电阻率垂向测深法使用仪器及参数选择

本次工作使用的是重庆地质仪器厂生产的 DZD-6 多功能直流电法(激电)仪,为新一代智能电阻率仪器,可自动测量并存储电压、电流、视电阻率、自然电位和激发极化法的有关参数等,广泛用于水文、工程、环境的地质勘探等领域。

工作中采用对称四极非等比装置,最小 $AB/2 = 1.5 \text{ m}$,最大 $AB/2 = 500 \text{ m}$ 。具体极距排列如下:

$AB/2 = 1.5、2.5、3.6、5、7、10、14、20、28、38、50、66、80、100、130、170、220、270、340、420、500 \text{ m}$;
 $MN/2 = 0.3、5、20 \text{ m}$ 。

根据依托项目的研究目标区域,本次在莱阳市小水岔村及瓦屋村开展视电阻率联合剖面及垂向测深工作,在充分踏勘以及资料研究的基础上,依据研究目标区的水文地质、地形地貌、人文干扰情况,共布设视电阻率联合剖面测线 7 条,视电阻率垂向测深剖面 4 条。

3 应用实例

3.1 莱阳市小水岔村

小水岔村东北布设视电阻率联合剖面线 3 条,垂向测深线 2 条(图 2)。结合地质、水文地质条件及现场踏勘,勘探靶区地势北高南低,地形坡度极缓,利于地下水的储集。新太古代花岗岩呈面状分布,闪长岩包体呈 NW 向展布于村北一带,因此将新太古代花岗岩和闪长岩两类脆性岩石侵入接触作用形成的构造裂隙作为本测区找水的目标含水层。

3.1.1 物探解释分析

1) 视电阻率联合剖面资料分析

由 L1 线综合剖面(图 3)可以看出,联合剖面中 $AO=OB=70 \text{ m}$,装置结果显示 $350\sim 440 \text{ m}$ 范围存在视电阻率低阻正交点和低阻异常区; $AO=OB=130 \text{ m}$,装置显示 360 m 处存在低阻正交点,正交点两侧 ρ_{sa} 曲线与 ρ_{sb} 曲线分离性较好, 410 m 处为低阻异常最

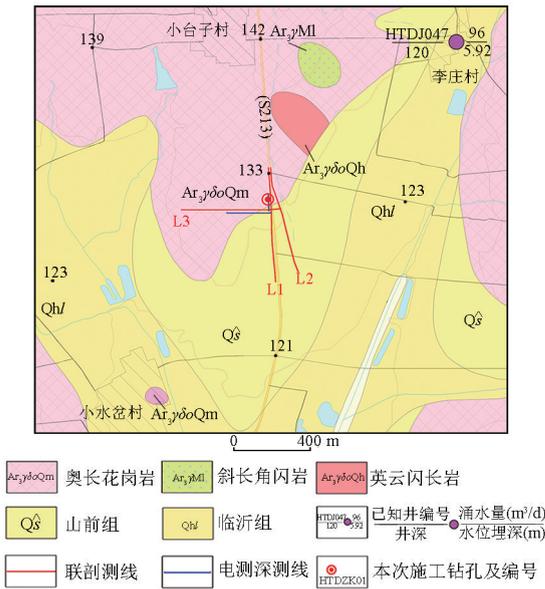


图2 小水岔村物探工作部署
Fig. 2 Deployment of geophysical prospecting in Xiaoshuicha Village

低点。结合实地踏勘分析,推测该处异常点附近为花岗岩与闪长岩接触带位置,脆性岩石接触构造裂隙发育,视电阻率变低。

2) 视电阻率垂向测深资料分析

本区电测深曲线类型主要为 H 型。

H 型($\rho_1 > \rho_2 < \rho_3$)有 3 个电性层,第一电性层 ρ_1 为潜水面以上的第四系及风化层形成的高阻电性层,不含水岩性层;第二电性层 ρ_2 为潜水面以下含水风化低阻电性层,弱含水岩性层;第三电性层 ρ_3 为基岩裂隙欠发育高阻电性层,弱含水岩性层。

根据视电阻率垂向电测深断面(图 3)显示,L1 线 350~420 m 范围内存在明显低阻异常区,以 410 m 位置为中心呈“V”形分布,结合联合剖面测量分析结果,推测 410 m 附近为花岗岩与闪长岩接触带发育位置,接触带附近岩石破碎,裂隙发育。

3. 1. 2 成井模式探讨

根据视电阻率联合剖面曲线及垂向电测深断面

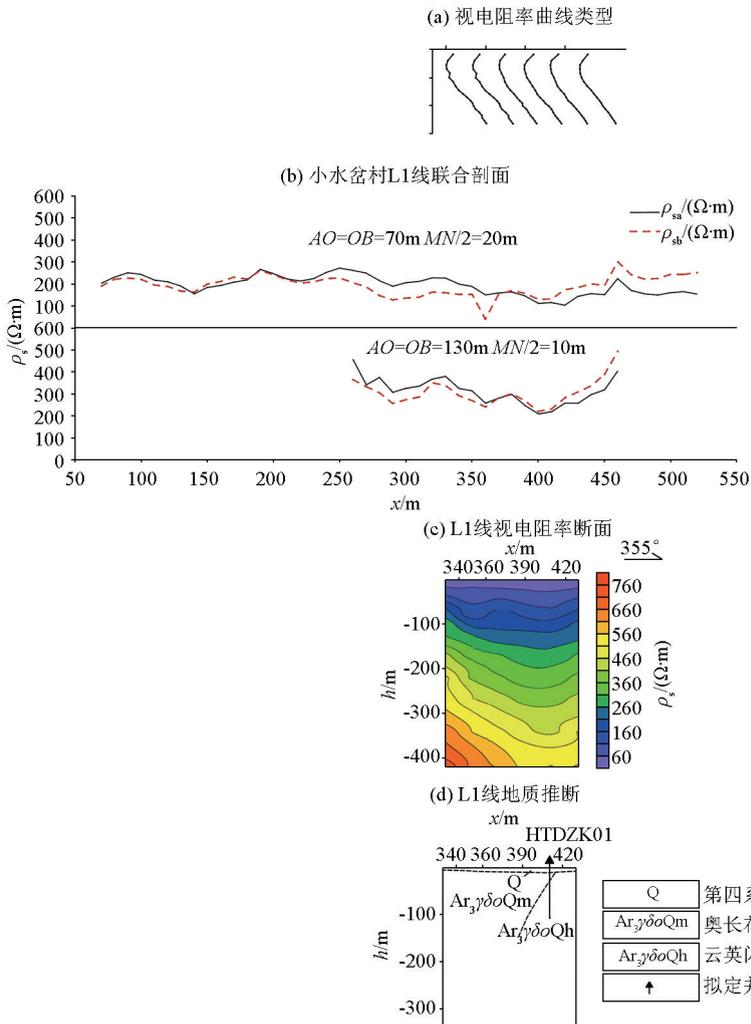


图3 小水岔村 L1 线综合剖面

Fig. 3 Comprehensive section of L1 line of Xiaoshuicha Village

分析结果,结合勘查靶区地质、水文地质条件,以岩浆岩侵入—接触带型蓄水构造为找水定井的总体思路,将花岗岩与闪长岩接触构造裂隙作为目标含水层,最终确定井位(编号 HTDZK01)为 L1 线 410 m 处,该处低阻异常最为明显,推测接触构造裂隙发育,可为地下水提供良好的储水空间及运移通道。

激电测深为物探找水定井常用方法,与常规电测深方法相比,它可以多参数对比分析,方便快速地

寻找含水异常。在视电阻率较平缓、数值较低;极化率高于背景值;半衰时增大部位为富水性较好地段。根据激电测深反演解释模型(图 4)在 $AB/2=40\sim 50\text{ m}$ (深度 32~40 m) 视电阻率曲线变缓、波动幅度较大,极化率和半衰时数值同步增大,推断为含水层段。

3.1.3 钻探验证情况

HTDZK01 号钻孔实际钻探深度为 130.3 m,静水位 15.12 m,单井涌水量 247.56 m³/d,最大降深

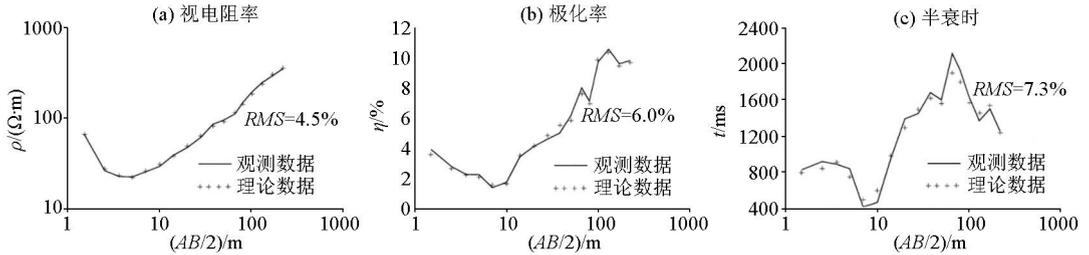


图 4 L1 线 410 m 处激电测深反演解释模型

Fig. 4 Interpretation model of IP sounding inversion at 410 m of L1 line

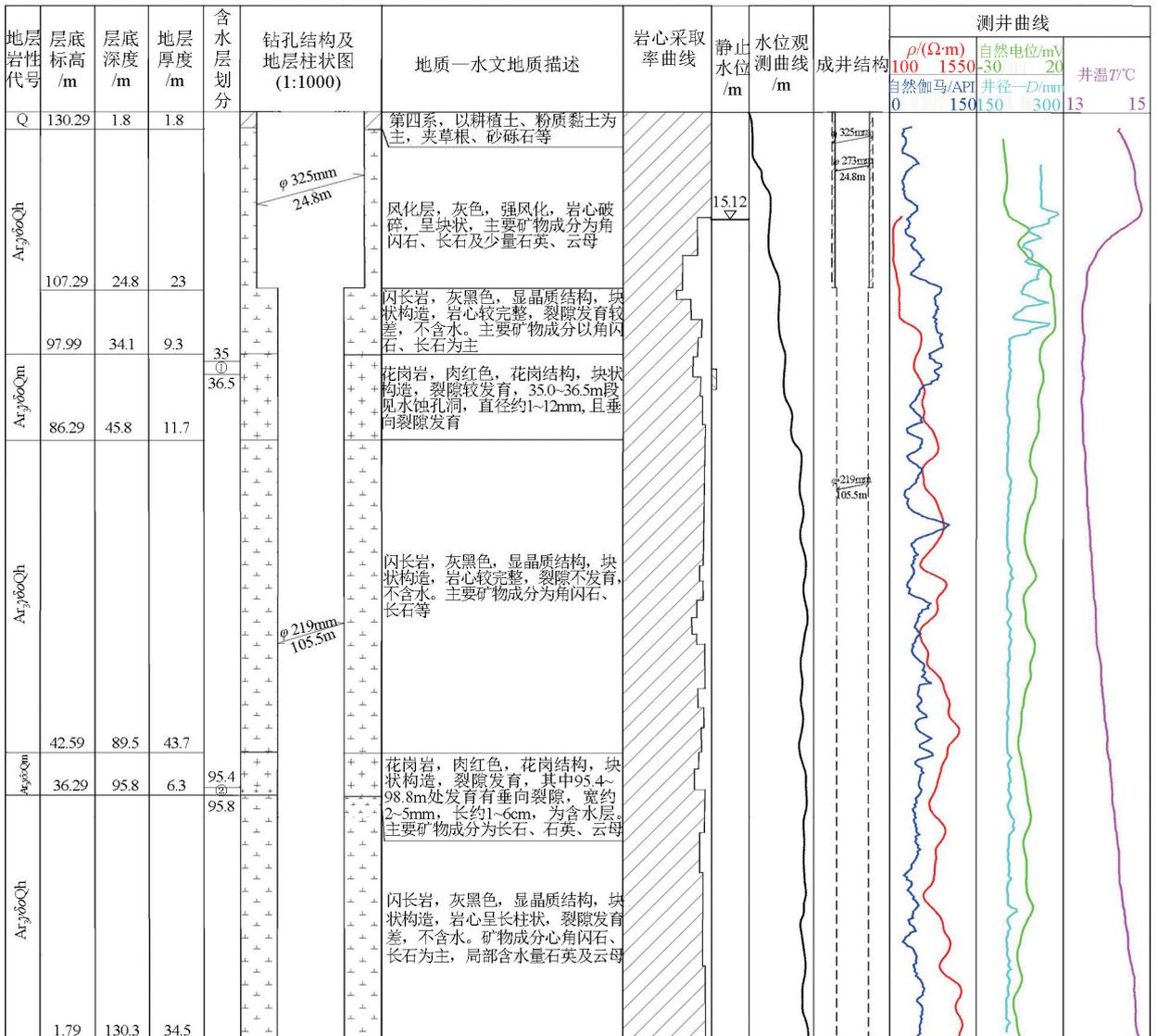


图 5 莱阳市小水岔村 HTDZK01 号钻孔

Fig. 5 Comprehensive chart of HTDZK01 borehole in Xiaoshuicha Village, Laiyang City

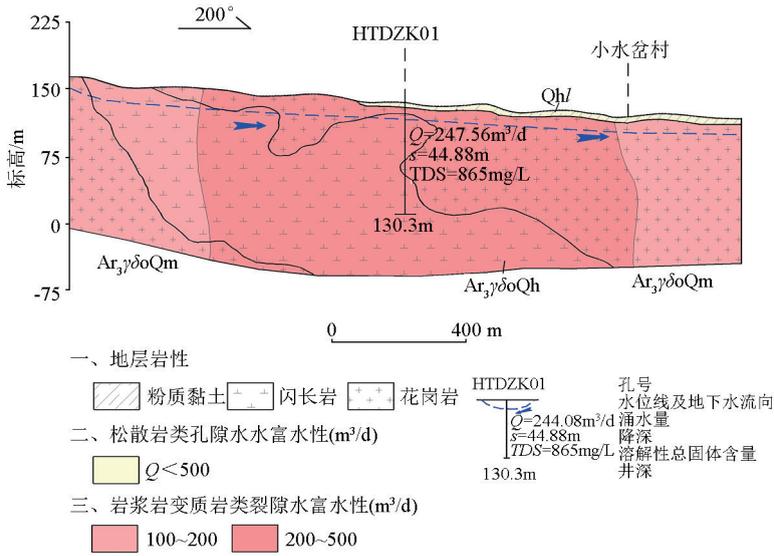


图 6 钻孔水文地质剖面

Fig. 6 Hydrogeological section of HTDZK01 borehole

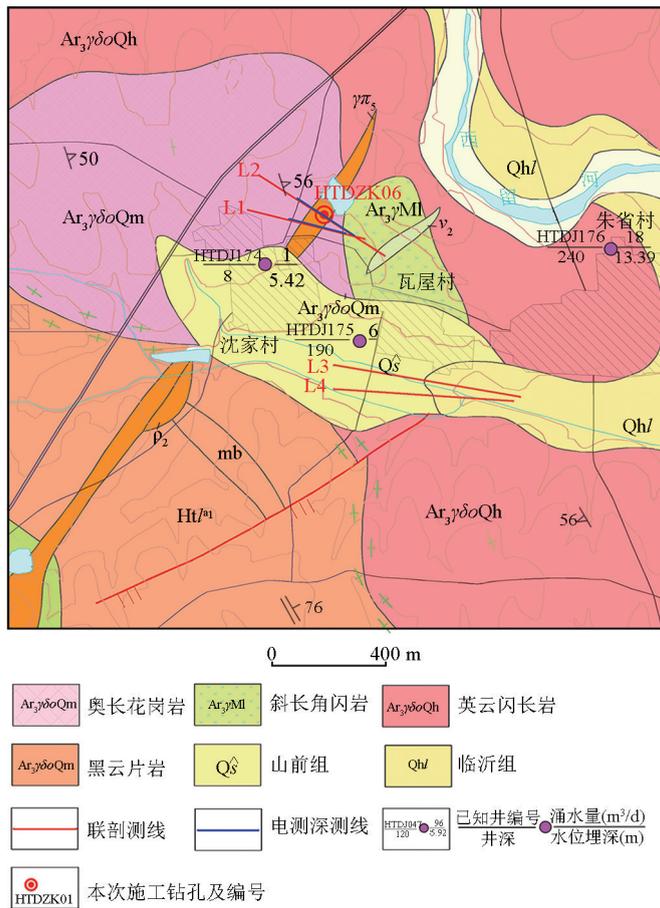


图 7 瓦屋村物探工作部署

Fig. 7 Deployment of geophysical prospecting in Wawu Village

为 29.76 m。含水层为新太古代栖霞序列牟家单元花岗岩与回龙沓单元闪长岩的接触带形成的构造裂隙,含水层段埋深 35.0~36.5 m、95.4~95.8 m,厚度为 1.9 m(图 5)。该钻孔成功解决了村北 1 000

余亩梨树灌溉难题,取得了显著的社会效益及经济效益。

3.1.4 富水机理分析

该钻孔属于侵入—接触带型蓄水模式,为不同

期次岩浆岩或岩墙、岩脉及其与围岩受接触构造作用或脆性岩体的相互挤压作用形成的构造裂隙,当接触带垂直或斜交地下水流向时,在接触带部位形成条带状地下水富集带(图6)。

3.2 谭格庄镇瓦屋村

瓦屋村布设视电阻率联合剖面线4条,垂向测深线2条(图7)。结合地质、水文地质条件及现场踏勘,勘查靶区地势西高东低,地形坡度缓。NE—SW向侵入岩脉从村北穿过,以该岩脉在后期侵入过程中造成脉体或围岩的构造裂隙作为本测区找水

的目标含水层。

3.2.1 物探解释分析

1) 视电阻率联合剖面资料分析

根据L2线联合剖面视电阻率曲线(图8)显示,L2线210~310m范围存在明显高阻异常,高阻异常两侧有低阻异常和异常交点分布。根据地质条件及现场踏勘,推测高阻异常区为花岗斑岩岩脉分布区,东西两侧低阻异常部位为岩脉与围岩接触位置,由于岩浆岩脉与围岩的接触交代变质作用,导致岩脉两侧闪长岩破碎,裂隙发育。

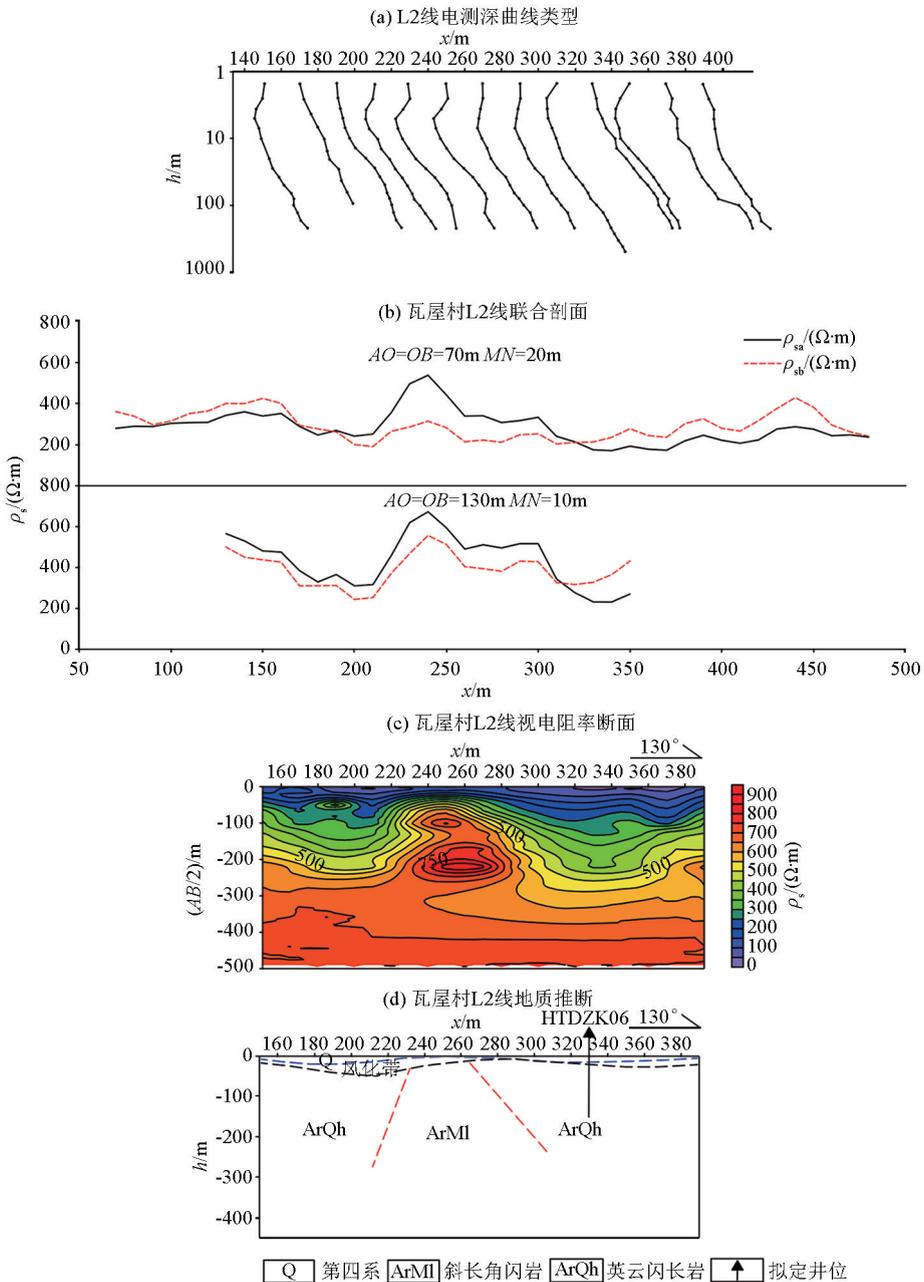


图8 瓦屋村L2线综合剖面

Fig. 8 Comprehensive section of L2 Line in Wawu Village

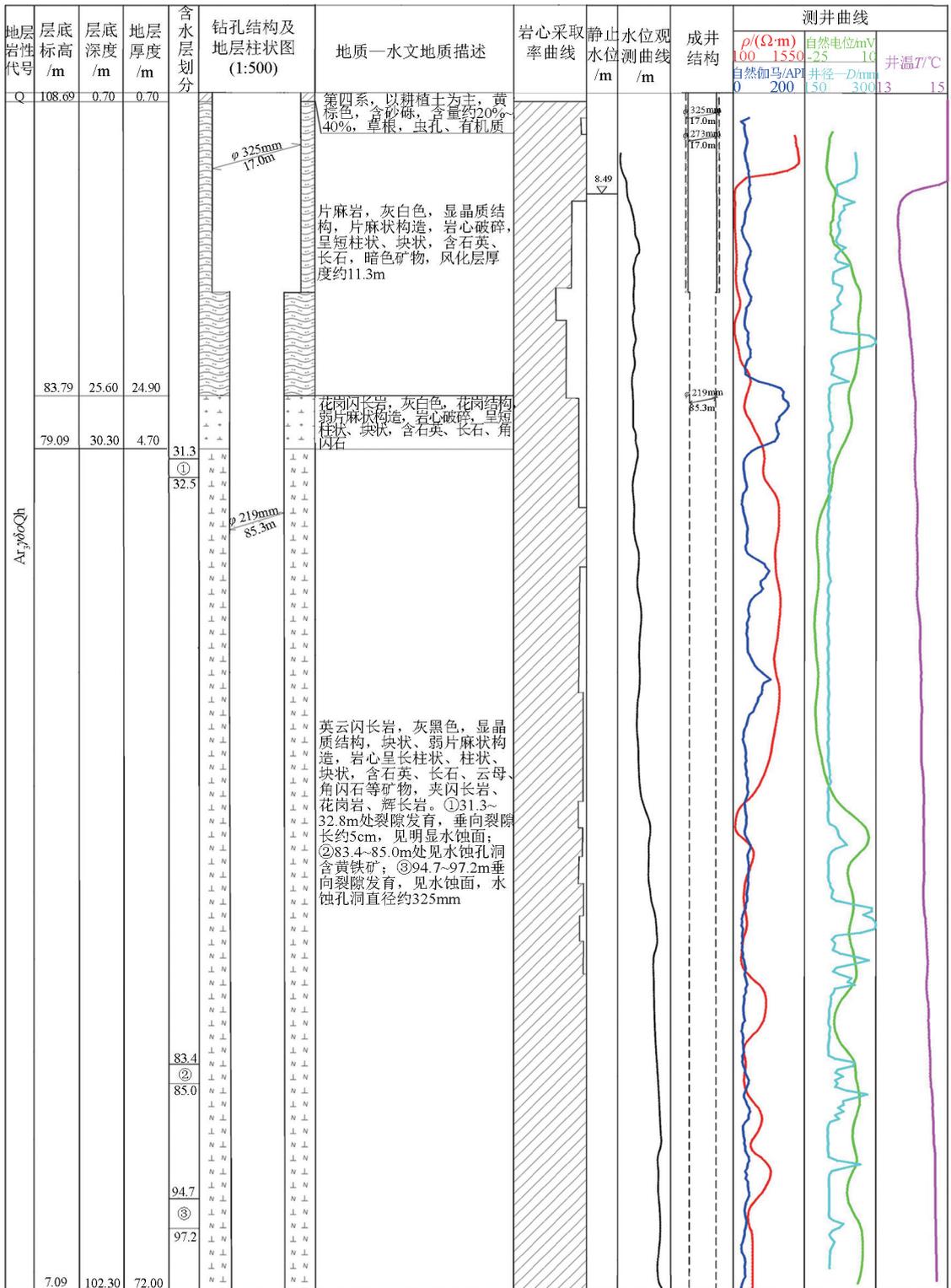


图9 莱阳市瓦屋村 HTDZK06 号钻孔

Fig. 9 Comprehensive chart of HTDZK06 Drilling hole, Wawu Village, Laiyang City

2) 视电阻率垂向测深资料分析

该工区电测深曲线主要表现为 HA 型。

HA 型($\rho_1 > \rho_2 < \rho_3 < \rho_4$) 曲线具有 4 个电性层。 ρ_1 为潜水面以上电性层; ρ_2 为潜水面以下强风化层形成的低电阻电性层, 为含水岩性层; ρ_3 为岩脉形成的

次高电阻电性层, 为弱含水岩性层; ρ_4 为闪长岩原岩电性层, 电阻率可达 $800 \Omega \cdot m$ 以上, 为不含水岩性层。

根据联合剖面曲线及现场条件, 对 L2 线 150~390 m 进行了电测深探测。通过视电阻率断面(图

8) 显示, 210~300 m 范围存在明显高阻岩脉分布, 西侧 160~220 m、东侧 300~380 m 范围存在明显较大范围低阻异常, 为岩脉造成的构造裂隙, 因此推测该岩脉为导水型岩脉, 岩脉东侧 L2 线 330 m 处岩石破碎程度发育更为明显, 裂隙更为发育, 为宜井位置。

3.2.2 成井模式探讨

根据视电阻率联合剖面曲线及垂向电测深断面分析结果, 结合勘查靶区地质、水文地质条件, 以岩浆岩岩脉型蓄水构造为找水定井的总体思路, L2 线 210~300 m 范围高阻岩脉在侵入过程中造成的构造裂隙作为目标含水层, 最终确定井位 (编号 HTDZK06) 为 L2 线 330 m 处, 该处为低阻异常最低点, 推测为岩脉侵入造成的构造裂隙最明显的位置, 视电阻曲线在深度 7~14 m 范围变化平缓, 推测为基岩半风化区, 在 100~120 m 段曲线斜率明显波动变小, 推测为深部含水层段, 根据经验系数 (一般取

0.8~0.9), 本区取 0.8, 经深度校正后推测该段含水深度为 80~96 m。

3.2.3 钻探验证情况

该井钻探深度 102.3 m, 静水位 8.49 m, 单井涌水量 620.64 m³/d, 最大降深为 21.59 m。含水层为花岗斑岩岩脉在侵入过程中产生的构造裂隙及破碎带, 含水层段埋深 31.3~32.8 m、83.4~85.0 m、94.7~97.2 m, 厚度 5.6 m (图 9)。该钻孔成功解决了村北 1500 余亩梨树灌溉及 500 余人生活饮水难题, 取得了显著的社会效益和经济效益。

3.2.4 富水机理分析

该钻孔属于岩脉导水型蓄水模式, 为岩脉在侵入过程中造成脉体本身或围岩构造裂隙发育, 为地下水提供了良好的储水空间及导水通道, 加之良好的汇水条件, 形成条带状富水区 (图 10)。该类型岩脉多为抗风化能力较强的酸性岩脉, 如本次发现的花岗斑岩岩脉等。

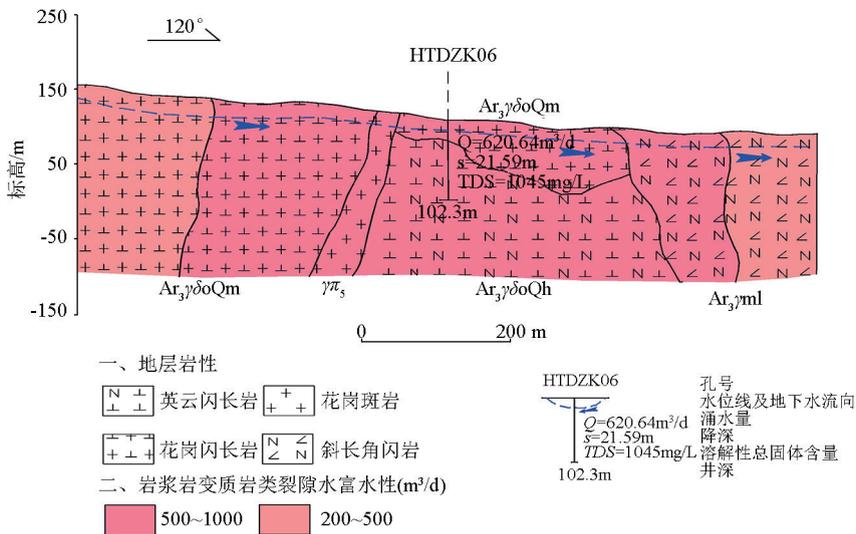


图 10 HTDZK06 号钻孔水文地质剖面

Fig. 10 Hydrogeological section of HTDZK06 borehole

胶东岩浆岩地区以低山丘陵为主, 地形起伏较大, 地下水不易储存, 找水定井难度极大。结合上述实例总结发现, 岩浆岩贫水山区找水应遵循水文地质与物探技术密切结合的原则综合定井^[16]。首先通过收集勘探靶区相关地质、水文地质资料, 对区域地下水系统的形成与划分以及特征进行分析^[17-18], 掌握地层岩性、构造发育特征及水文地质条件等, 确定找水目标; 其次运用物探手段进一步查明构造发育特征、破碎带位置^[19-21]; 最后结合靶区地下水补给、径流、排泄等水文地质特征及含水层岩性特征等综合分析定井。

4 结论

本文对胶东岩浆岩缺水山区综合物探方法找水定井实例进行了分析, 建立了一套“确定找水目标—物探解释分析—综合分析定井”的工作思路, 并结合钻探验证及富水机理的分析, 有效揭示了综合物探方法在岩浆岩缺水山区找水定井的应用, 可以得到以下结论:

1) 应用视电阻率联合剖面 and 视电阻率垂向测深综合电法在岩浆岩缺水山区找水定井, 不可绝对地认为低阻异常为赋水岩层的地球物理标志, 要结

合区域地质、物性特征、水文地质条件确定勘探靶区含水层位置和厚度,排除非含水层低阻异常干扰,从而提高找水井位准确度。

2) 岩浆岩区找水定井应遵循水文地质与物探手段密切结合的原则,首先查明勘查靶区的地质、水文地质条件,再结合现场踏勘、多种物探方法综合解释等手段,查明岩浆岩地区构造发育特征、裂隙发育程度及埋藏深度,最终确定井位及井深。

3) 本文运用综合物探手段找寻并发现胶东岩浆岩地区侵入—接触带型蓄水构造和岩脉导水型蓄水构造,不仅说明了综合物探方法在地下水资源勘查中的有效性,也为其他类似地区找水定井提供了经验。

参考文献 (References):

- [1] 雷宛,肖宏跃,邓一谦. 工程与环境物探教程[M]. 北京:地质出版社,2006.
Lei W, Xiao H Y, Deng Y Q. Engineering and environmental geophysical exploration [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2006.
- [2] 刘国辉,李恩鹤,张献民,等. 综合物探方法在瀑河水库工程勘察中的应用[J]. 物探与化探,2004,28(2):177-180.
Liu G H, Li E H, Zhang X M, et al. Application of comprehensive geophysical prospecting method in Puhe reservoir engineering investigation[J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2004, 28(2):177-180.
- [3] 屈利军,李波,周佩. 综合物探方法在湘中缺水山区找水中的应用[J]. 物探与化探,2017,41(5):835-839.
Qu L J, Li B, Zhou P. The application of multiple geophysical methods to water exploration in the arid areas of central Hunan Province[J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2017, 41(5):835-839.
- [4] 李波,韩玉英,关琴,等. 岩浆岩地区富水性分级与蓄水构造研究[J]. 山东国土资源,2020,36(7):45-50.
Li B, Han Y Y, Guan Q, et al. Study on water-rich classification and water-storage structure in magmatic area[J]. Shandong Land Resources, 2020, 36(7):45-50.
- [5] 刘伟朋,孟顺祥,龚冀丛,等. 阜平岩群基岩裂隙水的赋存规律与找水方向[J]. 中国矿业,2018,27(10):174-179.
Liu W P, Meng S X, Gong J C, et al. Occurrence and fissure orientation of fissure water in Fuping group bedrock[J]. China Mining Magazine, 2018, 27(10):174-179.
- [6] 王新峰,宋绵,龚磊,等. 赣南缺水区地下水赋存特征及典型蓄水构造模式解析—以兴国县为例[J]. 地球学报,2018,39(5):573-579.
Wang X F, Song M, Gong L, et al. An Analysis of characteristics of groundwater occurrence and typical model of water-storage structures in water-deficient areas of southern Jiangxi province: A case study of Xingguo county[J]. Acta Geologica Sinica, 2018, 39(5):573-579.
- [7] 苗得雨,庄晓斌. 综合电探在黄岛花岗岩地区找水的应用[J]. 山东水利,2011(8):59-60.
Miao D Y, Zhuang X B. Application of integrated electrical prospecting to water prospecting in Huangdao granite area [J]. Shandong Water Resources, 2011(8):59-60.
- [8] 宋希利,宋鹏,田明阳,等. 物探方法在侵入岩地区抗旱找水定井中的应用[J]. 地球物理学进展,2012,27(3):1280-1286.
Song X L, Song P, Tian M Y, et al. Geophysical prospecting method in intrusive rocks area fight a drought to find water wells set[J]. Progress in Geophysics, 2012, 27(3):1280-1286.
- [9] 时彦芳,李波. 综合电法在花岗岩地区找水中的效果分析[J]. 地质与资源,2020,29(4):363-368.
Shi Y F, Li B. Analysis on the application effect of comprehensive electrical method in water prospecting in granite area[J]. Geology and Resources, 2020, 29(4):363-368.
- [10] 张顺东. 山丘区勘查找水实例与分析[J]. 工程地球物理学报,2013,10(2):190-194.
Zhang S D. Case study and analysis of water exploration in mountainous area [J]. Chinese Journal of Engineering Geophysics, 2013, 10(2):190-194.
- [11] 韩子夜,武毅,杨进生,等. 西部严重缺水地区地下水勘查技术方法体系研究[J]. 水文地质工程地质,2007,34(2):81-86.
Han Z Y, Wu Y, Yang J S, et al. Study on groundwater exploration technology and method system in severe water shortage area of western China[J]. Hydrogeology and Engineering Geology, 2007, 34(2):81-86.
- [12] 刘伟,李泽坤. 饮水困难区地下水勘察新技术的应用[J]. 地质与勘探,2010,46(1):147-152.
Liu W, Li Z K. Application of new groundwater exploration technology in drinking water difficult area [J]. Geology and Exploration, 2010, 46(1):147-152.
- [13] 刘慧娥,李松涛,周光红,等. 激电测深法在内蒙古中部地区寻找地下水源中的应用[J]. 西南科技大学学报,2013,28(2):46-51.
Liu H E, Li S T, Zhou G H, et al. Application of IP sounding method to search groundwater in central Inner Mongolia[J]. Journal of Southwest University of Science and Technology, 2013, 28(2):46-51.
- [14] 张增奇,张成基,王世进,等. 山东省地层侵入岩构造单元划分对比意见[J]. 山东国土资源,2014,30(3):1-23.
Zhang Z Q, Zhang C J, Wang S J, et al. Classification and correlation of stratigraphic intrusive tectonic units in Shandong Province [J]. Shandong Land and Resources, 2014, 30(3):1-23.
- [15] 王锡亮. 山东燕山晚期岩浆岩的岩石组合与某些岩石化学特征[J]. 山东地质,1991,7(2):89-96.
Wang X L. Petrogenesis and petrochemical characteristics of late yanshanian magmatic rocks in Shandong Province [J]. Shandong Geology, 1991, 7(2):89-96.
- [16] 刘新号. 基于蓄水构造类型的山区综合找水技术[J]. 水文地质工程地质,2011,38(6):8-12.
Liu X H. Comprehensive water exploration technology in mountainous area based on reservoir structure type [J]. Hydrogeology and Engineering Geology, 2011, 38(6):8-12.
- [17] 许广明,张燕君. 西北地区大型内陆盆地地下水系统演化特征分析[J]. 自然资源学报,2004,19(6):702-706.

- Xu G M, Zhang Y J. Analysis on evolution characteristics of groundwater system in large inland basins of Northwest China[J]. *Journal of Natural Resources*, 2004, 19(6):702-706.
- [18] 武选民, 文冬光, 张福存, 等. 我国西北人畜饮用水缺水地区储水构造特征与工程范例[J]. *水文地质工程地质*, 2010, 37(1):22-26.
- Wu X M, Wen D G, Zhang F C, et al. Water storage structure characteristics and engineering example of water shortage area in north-west China[J]. *Hydrogeology and Engineering Geology*, 2010, 37(1):22-26.
- [19] 段磊. 常用物探找水方法对比研究[J]. *山东煤炭科技*, 2016(4):80-82.
- Duan L. Comparative study on common geophysical prospecting methods for water[J]. *Shandong Coal Science and Technology*, 2016(4):80-82.
- [20] 宋希利, 林海, 姜春永, 等. 电阻率测深法在云南省玉溪市抗旱找水定井中的应用[J]. *山东国土资源*, 2011, 27(7):22-24, 28.
- Song X L, Lin H, Jiang C Y, et al. Application of resistivity sounding method in drought resistance water exploration and well determination in Yuxi City, Yunnan Province[J]. *Shandong Land and Resources*, 2011, 27(7):22-24, 28.
- [21] 刘福臣, 程兴齐, 王启田. 联合剖面法探测鲁东中生界地层地下水[J]. *节水灌溉*, 2008(5):208-210.
- Liu F C, Cheng X Q, Wang Q T. Combined profile method for groundwater exploration of Mesozoic strata in Eastern Shandong[J]. *Water Saving Irrigation*, 2008(5):208-210.

Application of a comprehensive geophysical exploration methods to water exploration in magmatic rock mountainous areas with water shortage in Jiaodong Peninsula

LIU Chun-Wei^{1,2}, WANG Chong^{1,2}, HU Cai-Ping^{1,2}, SHI Yan-Fang^{1,2}, YANG Xiao-Hui^{1,2},
LIU Xiao-Tian^{1,2}, HAN Yu-Ying^{1,2}, LI Bo^{1,2}

(1. No. 801 Institute of Hydrogeology and Engineering Geology, Shandong Provincial Bureau of Geology & Mineral Resources, Jinan 250014, China; 2. Shandong Engineering Research Center for Environmental Protection and Remediation on Groundwater, Jinan 250014, China)

Abstract: Magmatic rock areas suffer poor water yield property and lack groundwater overall, encounter great difficulties with water exploration, and generally face the problem that available water resources fail to meet the demand. Targeting different types of water exploration targets and combining the geological and physical property characteristics, hydrogeological conditions, and field survey of the exploration target areas, this study comprehensively analyzed the electric structure characteristics, well completion modes, and water yield mechanisms of the strata around Xiaoshuicha and Wawu villages in Laiyang City through interpretation and analysis using comprehensive geophysical exploration method consisting of apparent resistivity profiles and apparent resistivity-based vertical sounding. After determining water exploration targets, conducting interpretation and analysis of geophysical prospecting, and locating wells through comprehensive analysis, this study successfully drilled two wells in the two villages, obtaining maximum water yield of 247.56 m³/d and 620.64 m³/d each. Finally, this study analyzed the water yield mechanisms in detail based on the intrusion-contact zone types and water-storage structural models with dykes conducting water. This study not only solves the difficulty with water use of local people but also provides a certain reference for future water exploration and well locating in similar areas.

Key words: magmatic rock; water exploration and well locating; survey; geophysical exploration

(本文编辑:王萌)