

文章编号: 1001-1749(2023)04-0514-09

音频大地电磁法在孔雀河流域地下水 矿化度评价中的探索

蒋忠祥¹, 赵长军², 艾斯卡尔·吐尔逊¹, 唐小平³

(1. 新疆维吾尔自治区地质矿产勘查开 地球物理化学探矿大队, 昌吉 831100;

2. 中冶一局 地市安全与地下空间研究院有限公司, 廊坊 0650201;

3. 中国地质调查局 西安地质调查中心, 西安 710054)

摘要: 传统的地下水水质评价方法, 是通过 对地下水进行取样测试分析来确定含水岩组中水的矿化度, 在开展大面积的地下水资源评价工作时, 需要大量、系统的水样化验资料。这里以新疆库尔勒地区孔雀河流域地下水为研究对象, 利用音频大地电磁测深得到的电阻率值, 引入地层岩性、孔隙度、地温梯度等影响地层电阻率的重要参数, 探索建立了估算地下水矿化度方法, 并由此概略性地划分了孔雀河流域地下水水质。研究结果表明, 利用音频大地电磁法来推算深层地下水矿化度具备可行性, 相对于传统方法具有快速、高效的优点。

关键词: 音频大地电磁法; 电阻率; 矿化度; 地下水; 孔雀河流域

中图分类号: P 631.3 **文献标志码:** A **DOI:** 10.3969/j.issn.1001-1749.2023.04.12

0 引言

孔雀河流域主要由 博斯腾湖、孔雀河及诸小河流组成, 控制河道全长 346 km。自 2008 年以来, 孔雀河已连续 10 年向塔里木河下游输送生态水, 向第二师塔里木垦区输送农业生产用水, 孔雀河下游地表水量持续减少, 地下水位盐度持续升高, 可用淡水面积也大幅缩小^[1], 因此开展地下水水质的快速调查具有很强的现实意义。

在水文物探领域, 电阻率法参数主要用于推断含水层的厚度, 划分水文地质边界, 而利用电阻率进行水文地质参数定量分析的研究很少。国内利用电阻率推算地下水矿化度的应用研究始于上世纪 80 年代, 李宁^[2]推导了含水地层电阻率与含水介质的孔隙度之间的数学关系式; 赵文杰等^[4]提出了地

下水矿化度与地层电阻率的简化关系式; 郭建强等^[3]、王赞等^[4]、武毅等^[5]研究了地球物理方法评价孔隙水矿化度的可能性; 高敬语等^[6]、田蒲源等^[7]、白运等^[8]、李凯旋等^[9]、何国丽等^[10]主要采用电阻率测深、音频大地电磁测深、可控源音频大地电磁测深等方法查明地层电阻率结构, 进而推断地下水空间分布特征。

地下水矿化度与电阻率存在着单调反比关系, 地下水中导电离子的浓度高, 地下水电阻率低, 反之, 则电阻率高, 地下水中的矿物离子含量客观反映了导电能力。由此可以依据电阻率的分布特征, 划分出地下水水质的分布范围, 达到解决水文地质问题的目的。笔者以新疆库尔勒地区孔雀河流域地下水为研究对象, 基于音频大地电磁测深得到的电阻率值, 引入地层岩性、孔隙度、地温梯度等影响地层电阻率的重要参数, 探索建立了估算地下水矿化

度方法,由此划分了孔雀河流域地下水水质。

1 区域水文地质条件

1.1 区域地质及构造背景

研究区地处天山南麓,塔里木盆地北缘天山山前孔雀河冲洪积平原区,南部为塔克拉玛干沙漠,北部的天山南麓山前平原是库尔勒地区的重要的农业区。区内地层由太古界变质浅海相碎屑岩及大理岩、元古界变质浅海相碎屑岩及少量碳酸盐、花岗岩、斜长花岗岩、第三系碎屑岩、第四系松散岩组成。

研究区位于库鲁克塔克隆起盆地的倾没部分,即孔雀河斜坡区。不仅老构造相当发育,晚近期新构造运动也十分活跃,构造形迹明显。辛格尔大断裂和山前隐伏的晚近期活动,使山前平原相对缓慢沉降、拗陷,接受了巨厚第四系松散沉积层。南部的阿瓦提—琼库勒晚近期构造隆起,使中更新统地层裸露地表,遭受剥蚀夷平,并使孔雀河改道北移。

1.2 地下水赋存特征

研究区位于孔雀河中上游地区,地势由北部山体向南部平原区呈阶梯状递降,普遍发育有山前倾斜砾质戈壁平原,孔雀河为该区唯一的常年性河流。区内地下水类型有以下几类(图 1):①第四系松散岩类孔隙水主要位于孔雀河冲洪积平原,富水性因潜水水位及径流补给情况变化较大;②碎屑岩类裂隙孔隙水有小范围分布,侏罗系含水层主要为砂岩、砾岩和煤系地层,第三系含水层岩性为粉砂岩、砂质泥岩,这两种含水层的富水性均较差。基岩裂隙水分布于研究区东北部的元古、太古界变质岩及侵入岩中,因历经多次构造运动,节理裂隙发育,岩石破碎,地下水之间形成水力联系,构成了的储水空间,

但富水性差。基岩裂隙水水质较差,基本属于 $\text{SO}_4 \cdot \text{Cl}-\text{Na} \cdot \text{Ca}(\text{Na} \cdot \text{Mg})$ 型水,矿化度在 $1 \text{ g/L} \sim 2 \text{ g/L}$ 之间,氟离子含量可达 $2 \text{ mg/L} \sim 2.5 \text{ mg/L}$ 。

霍拉山及库鲁克塔格山前带松散岩类孔隙水属 $\text{SO}_4 \cdot \text{Cl}-\text{Na}$ 型水,矿化度在 $0.5 \text{ g/L} \sim 1.0 \text{ g/L}$ 。松散岩类孔隙潜水—承压水一般水质良好,上部潜水矿化度多在 $0.5 \text{ g/L} \sim 1.0 \text{ g/L}$ 之间,沿地下水流向,因潜水位变浅,蒸发浓缩作用增强,形成高矿化度咸水区,矿化度大于 10 g/L ,水化学类型为 $\text{Cl}-\text{Na}$ 型;承压水水质较潜水好,沿径流方向,由矿化度小于 0.5 g/L 或 $0.5 \text{ g/L} \sim 1.0 \text{ g/L}$ 的 $\text{HCO}_3-\text{Ca} \cdot \text{Mg}$ 型和 $\text{HCO}_3 \cdot \text{SO}_4 \cdot \text{Cl}-\text{Ca} \cdot \text{Na} \cdot \text{Mg}$ 型水过渡为矿化度为 $0.5 \text{ g/L} \sim 1.0 \text{ g/L}$ 的 $\text{HCO}_3 \cdot \text{Cl}-\text{Ca} \cdot \text{Na} \cdot \text{Mg}$ 型水。

碎屑岩类孔隙裂隙水,水流滞缓,交替慢,水质较差,水化学类型为 $\text{SO}_4 \cdot \text{Cl}-\text{Na} \cdot \text{Ca}$ 型和 $\text{Cl} \cdot \text{SO}_4-\text{Na} \cdot \text{Ca}$ 型水,矿化度大于 5 g/L 。

1.3 岩(地)层物性特征

研究区出露地层主要有元古界石英斜长片岩、大理岩,新近系上新统泥岩、砂岩、粉砂岩和第四系砂砾石、亚砂土、亚粘土和粘土等。研究区地层电性参数变化规律见表 1。

研究区从北向南地层颗粒变细,大部分为中砂土、细砂、中粗砂、亚砂土、亚粘土互层交错沉积。地层透水性逐渐变差,地下水矿化度逐渐升高。北部水质良好,矿化度在 $0.5 \text{ g/L} \sim 1.0 \text{ g/L}$ 之间;南部为高矿化度咸水区,矿化度一般大于 10 g/L 。在含水地层孔隙度、渗透率、饱和率等参数大致相同的前提下,依据地层电阻率的差异,可以近似展现地下水矿化度的分布特征。

表 1 研究区地层、岩性电阻率统计表

Tab. 1 Stratigraphic and lithologic resistivity statistics in the study area

地层	岩性	电阻率/ $\Omega \cdot \text{m}$		备注
		变化范围	常见值	
	砂砾石	100~200	120	
	含水砂砾石	40~100	60	
Q	粗、中、细砂	20~50	35	
	亚粘土、亚砂土	2~20	15	
	地表盐渍土壤	1~20	<10	
N	泥岩、砂岩	15~40	20	
Pt	石英片岩、大理岩	1600~2000		

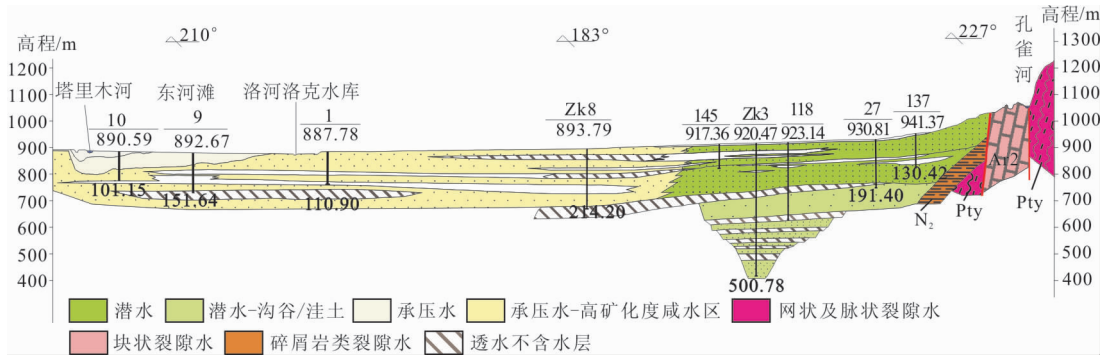


图1 研究区水文地质剖面图

Fig. 1 Hydrogeological profile of the study area

表2 18℃时不同矿化度水溶液的电阻率值

Tab. 2 Resistivity value of aqueous solutions with different salinity at 18℃

矿化度/ $g \cdot L^{-1}$	12.6	10.76	9.44	8.32	7.2	6.36	4.2	3.4	2.42	2	1.68
电阻率/ $\Omega \cdot m$	0.54	0.6	0.7	0.8	0.9	1	1.5	2	2.5	3	3.5
矿化度/ $g \cdot L^{-1}$	1.48	1.27	1.16	0.96	0.84	0.72	0.64	0.55	0.37	0.276	0.216
电阻率/ $\Omega \cdot m$	4	4.5	5	6	7	8	9	10	15	20	25

研究区第四系、新近系、元古界各层之间存在较明显的电性差异,另外不同岩性层界面因各向异性也存在差电阻率差异,这就具备了音频大地电磁测深勘查工作的物性前提,基于该方法就可以划分地层及咸淡水的界面^[11]。

2 地下水矿化度推算公式

根据不同电解质电阻率与其矿化度的关系,地下水的矿化度与其电阻率的数学关系式为^[12]式(1)。

$$\log \rho_w = a + b \log C \quad (1)$$

式中: ρ_w 为地下水电阻率, $\Omega \cdot m$; C 为地下水矿化度, $g \cdot L^{-1}$; a 为与温度有关的常数; b 为常数。

有学者研究认为气温在 $0^\circ C \sim 200^\circ C$ 范围内时,NaCl 型水溶液的电阻率与其矿化度在双对数坐标系中呈线性关系,不同温度对应于不同的直线,但其斜率是相同的,取值为 -0.95 ,而 a 是仅与温度有关的系数。在 $0^\circ C \sim 200^\circ C$ 温度范围内,NaCl 型水溶液的电阻率与温度的关系为^[13]式(2)。

$$\rho(t) = \frac{\rho(18)}{1 + a(t - 18)} \quad (2)$$

式中: $\rho(18)$ 为 $18^\circ C$ 时水溶液的电阻率, $\Omega \cdot m$; a 与温度有关的常数(大多数电解质取值 0.025);一般认为,大气温度变化时,水溶液的电阻率不受溶液矿化度的制约。对于 NaCl 型水溶液,表 2 给出了气

温在 $18^\circ C$ 时不同矿化度水溶液的电阻率值。

$18^\circ C$ 时,地下水矿化度为 $1 g/L$,对应的电阻率为 $5.6 \Omega \cdot m$ 。结合公式(1)、(2),可以得到:

$$a = \log \rho_w = \log \frac{5.6}{1 + a(t - 18)} \quad (3)$$

由此,依据公式(1)、公式(3),考虑矿化度及温度参数的水溶液的电阻率表达式为式(4)。

$$\rho_w = \frac{5.6C^b}{1 + a(t - 18)} \quad (4)$$

式中: t 为温度, $^\circ C$; b 取 0.95 ; a 取 0.025 。

综合温度影响因素,通常认为松散类沉积岩的电阻率与岩石孔隙度、渗透率、饱和度、孔隙水矿化度、温度、层理构造等参数的关系密切^[14]。矿化度经验计算公式为:

$$C = \left[\frac{(1 + a \cdot \Delta t) \cdot \rho}{5.6F} \right]^{-\beta} \quad (5)$$

$$\Delta t = t_0 + tt \cdot h - 18 \quad (6)$$

$$F = \frac{\rho}{\rho_w} = \frac{3 - \Phi}{2\Phi} \quad (7)$$

式中: C 为地下水矿化度, $g \cdot L^{-1}$; a 为温度常数,通常取 $0.025, \Omega \cdot m/^\circ C$; t_0 为大地表层常温带温度, $^\circ C$; tt 为地温梯度, $^\circ C \cdot m^{-1}$; h 为数据点的深度, m ; ρ 为地层或反演电阻率值, $\Omega \cdot m$; β 为矿化度常数,对 NaCl 型孔隙水一般取值为 -0.95 ; F 为地层因子; Φ 为地层孔隙度,%。

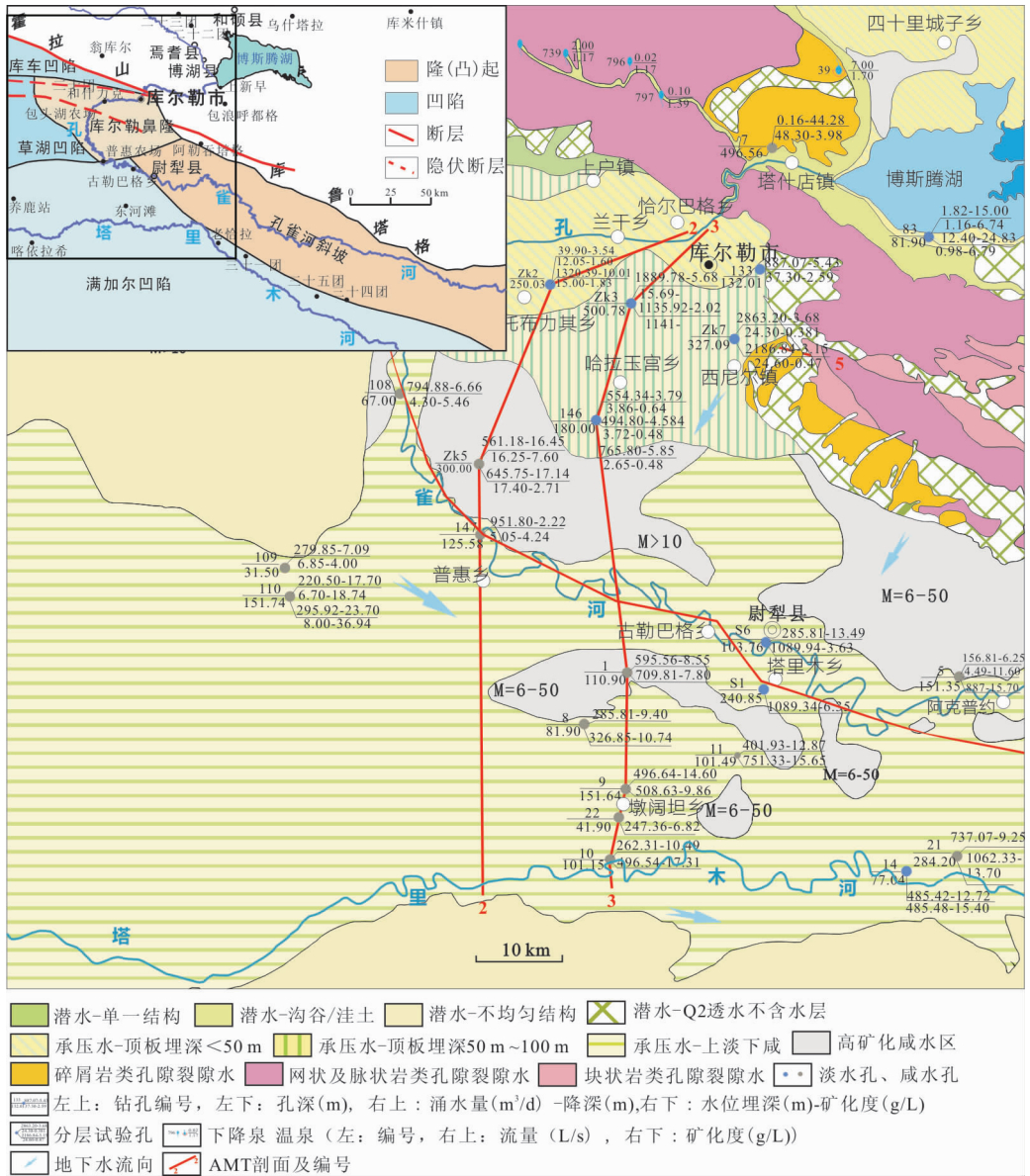


图2 孔雀河流域区域水文地质

Fig. 2 Regional hydrogeological map of Kongque River basin

表3 常见松散沉积物(岩)孔隙度

Tab. 3 Porosity of common loose rock sediments

岩石名称	砾石	粗砂	细砂	亚黏土	黏土
孔隙度/%	27	40	42	47	50
岩石名称	泥岩	砂岩	粉砂岩	页岩	灰岩
孔隙度/%	80	2~8.4	5~6	1.5~44.8	0.7~10

公式(7)的 F 由地层电阻率与水电阻率比值得到。一般情况下,某一地区的孔隙度基本为一定值,表3给出了常见沉积物(岩)的孔隙度参数^[15]。

根据已收到2014年度在孔雀河流域施工的三个水文钻孔资料,深度在40 m、80 m、130 m、350 m

时的水温分别为14℃、16℃、17℃、35℃,而库勒勒地区大地表层温度为11℃,由此可求得研究区地温梯度近似为0.03℃/m。研究区地层主要以细砂及亚黏土为主,依据表2及AMT成果推断的地层结构,参考水文钻孔地层结构编录资料,合理选取孔隙度可得到当地的地质因子 F 。在忽略岩性变化对电阻率值的影响时,主要考虑地下水矿化度与地层电阻率值的关系,就可以利用AMT得到的电阻率来预测研究区地下水矿化度变化情况,它与深度 h 、地层孔隙度及地层电阻率 ρ 相关。本次工作对地下水矿化度估算参照公式(8)进行。

$$C = \left[\frac{\Phi(1 + 0.025(0.03h - 9)\rho)}{2.8(3 - \Phi)} \right] \quad (8)$$

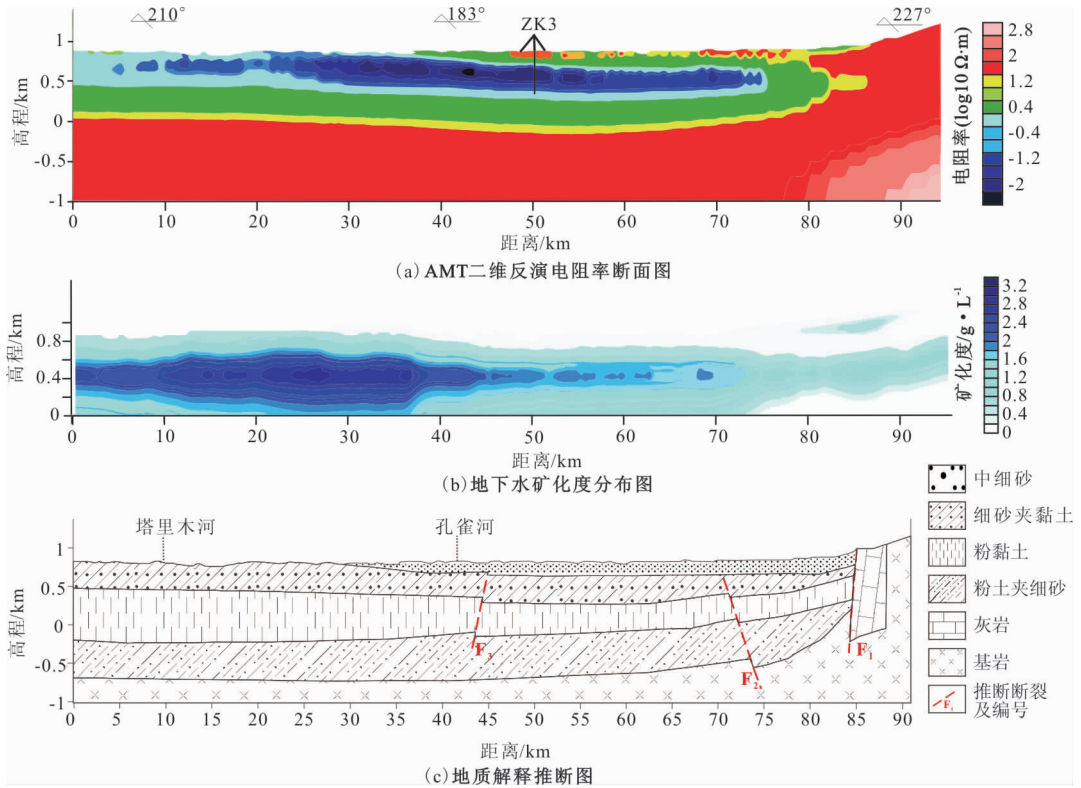


图 3 3 线测深综合剖面图

Fig. 3 Comprehensive section of line 3 sounding

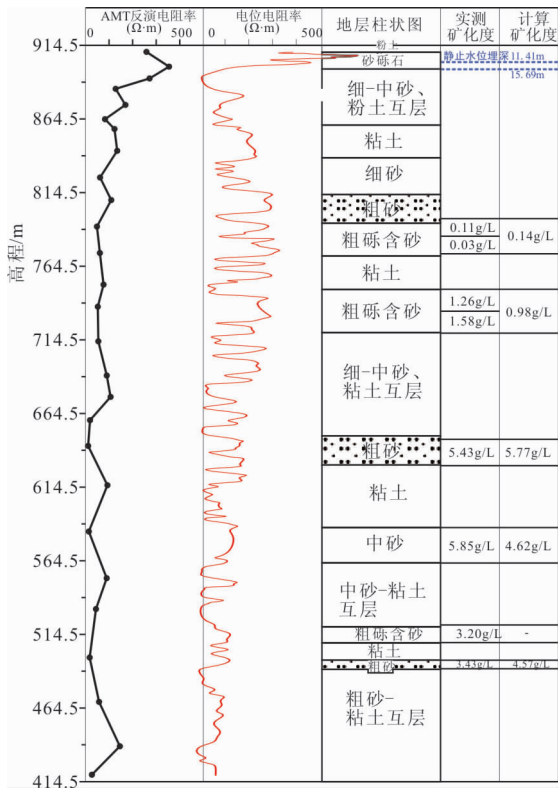


图 4 钻孔 ZK3 综合测井资料

Fig. 4 Integrated logging data of borehole ZK3

式中： C 为地下水矿化度， $g \cdot L^{-1}$ ； h 为数据点的深度， m ； ρ 为地层或反演电阻率值， $\Omega \cdot m$ ； ϕ 为地层孔隙度， $\%$ 。

3 结果与分析

音频大地电磁法 (AMT) 是基于大地电磁法 (MT) 原理发展起来的，它利用雷电产生的天然电磁场作为场源，以岩矿石的电性差异为基础，通过观测两个方向互相垂直的不同频率的电场和磁场之比 (称为波阻抗)，来研究其变化规律来反映地电结构，从而解决水文、工程地质和找矿勘探等地质任务。音频大地磁测深方法发射率从 $0.0325 \text{ kHz} \sim 10 \text{ kHz}$ 。一般来说，高频数据反映浅部的电性特征，低频数据反映较深的地质特征。对于不同频率，可以得到一系列深度的电阻率和阻抗相位，由此可以反映深层地电断面的电性特征和地下构造。

在研究区内布设了 4 条 AMT 勘探剖面，其中南北向两条 (2 线、3 线)，东西向两条 (5 线、6 线)，点距为 $250 \text{ m} \sim 2000 \text{ m}$ (图 2)

音频大地电磁的观测数据与地电结构是一种复杂的非线性关系，利用反演技术将频率域数据转化

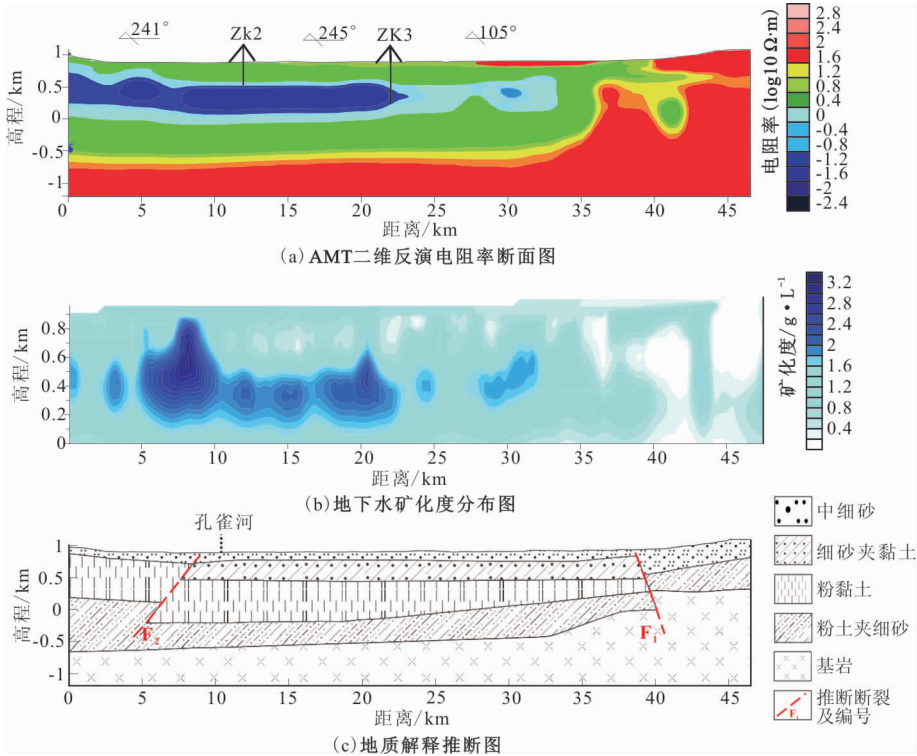


图5 5线测深综合剖面图

Fig. 5 Comprehensive section of line 5 sounding

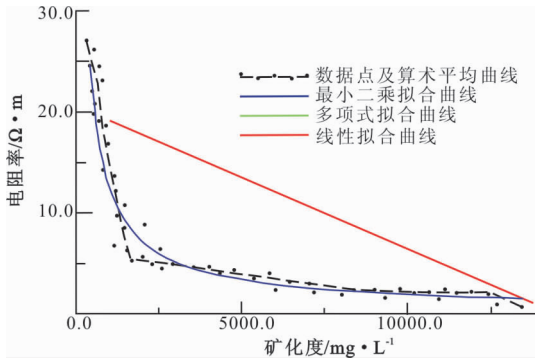


图6 电阻率与地下水矿化度近似关系图

Fig. 6 Approximate relationship between apparent resistivity and groundwater salinity

成电阻率—深度的关系^[16]。基于多种反演方法的对比研究,最终以均匀半空间作为初始模型,采用非线性共轭梯度反演的方法,得到了二维电性结构,图3为研究区3线AMT反演综合解释图。剖面位于研究区中部,全长90 km。可识别出四个电性层,电性特征总体由“高一低—中低—甚低”变化显示其富水性由差逐步增强变化,咸淡水区分界明显。230 m以浅的电阻率非常小(深蓝色区域),普遍小于 $10 \Omega \cdot \text{m}$,岩性为含水的中细砂;230 m~500 m段的电阻率在 $8 \Omega \cdot \text{m}$ ~ $20 \Omega \cdot \text{m}$ 之间,为第四系含砾砂

土;深部为第三系隔层及基层。

从图3可以看出研究区矿化度范围 $0.1 \text{ g/L} \sim 5.85 \text{ g/L}$,由北往南逐渐增高,高矿化度咸水区分布于研究区南部,地下水为矿化度大于 5 g/L 的咸水。

剖面中部有已知水文钻孔ZK3,孔深500.78 m,地层结构由浅至深主要为粉土—粘土互层、细砂—粘土互层、细—中砂粘土互层(图4)。测井资料显示,电位电阻率与地层结构具有一定的相关性,粉土—粘土及含水砂砾岩电阻率较低,而中粗砂、砂砾岩电阻率较高。AMT反演电阻率曲线形态与电位电阻率相近,含水层电阻率普遍较低。测井资料显示有6处含水层位,浅部含水层岩性为砂砾石、粗砂,孔隙大,矿化度一般小于 3 g/L ,深层含水层为粗砂岩,矿化度较高。笔者首先通过AMT反演得到地层的电阻率,基于估算的地层孔隙度,利用公式(8),计算了不同深度的矿化度,结果表明,计算矿化度与实测矿化度较为相近。

5线长度为50 km,从图5可以看出,电阻率在 $0.1 \Omega \cdot \text{m} \sim 200 \Omega \cdot \text{m}$ 之间变化,结合钻孔资料和地层分布规律,上部红色、绿色高阻区域为第四系砂砾石、含砾砂土,中部蓝色区域为第四系亚粘土粗砂互层、中粗砂,下部红黄色区域为新近系砂泥岩互层。孔雀河北部地下水具有上淡下咸的普遍特征,

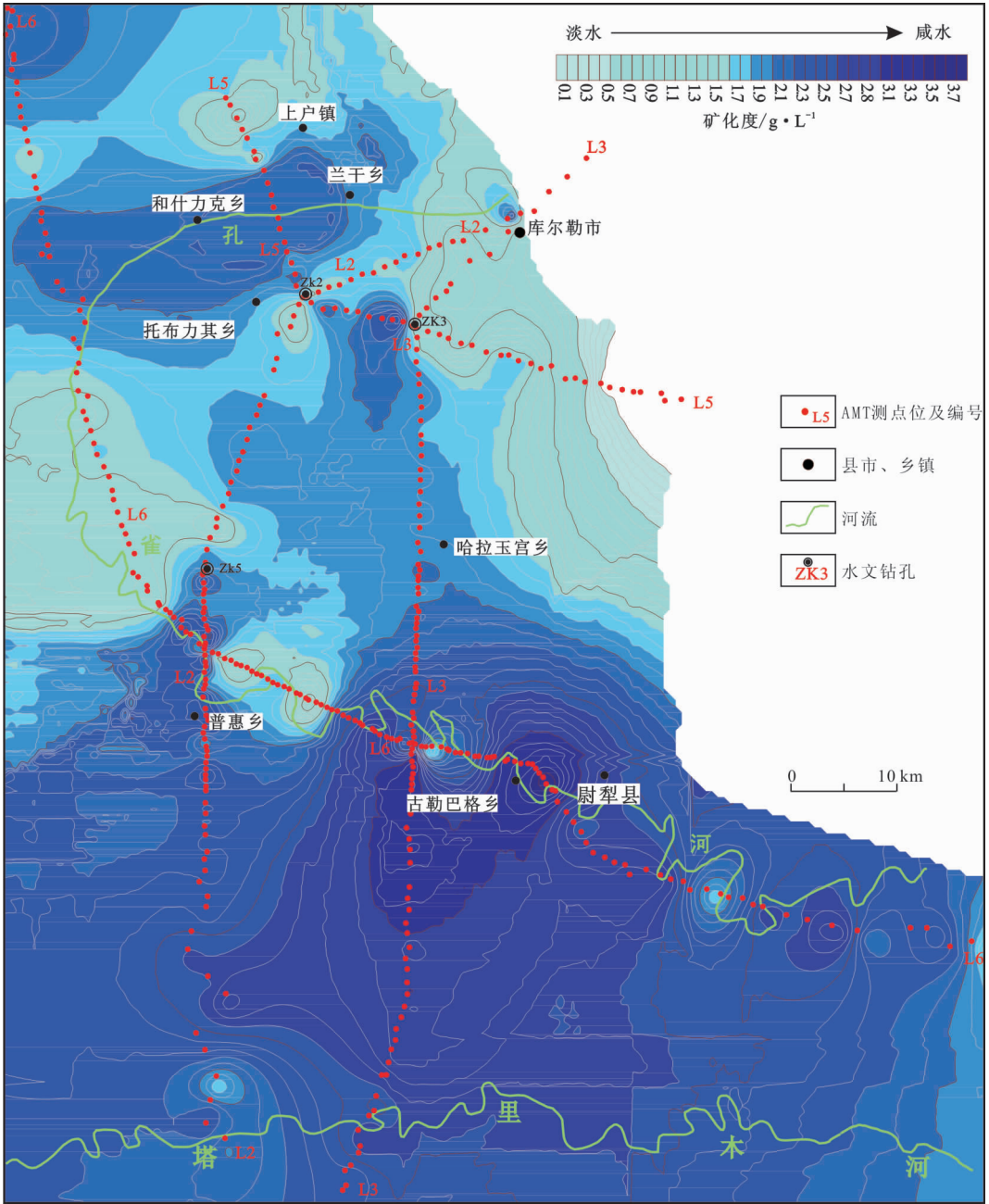


图7 研究区 400 m 深度水质分布图

Fig. 7 Water quality distribution at 400 m depth in the study area

出孔雀河以南,纵向上浅水的矿化度低($<0.2 \text{ g/L}$)、深层水的矿化度偏高($>3.2 \text{ g/L}$),这是由于沙漠边缘地区地下水蒸发浓缩作用,含水层上淡下咸构造特有关(图5)。

笔者收集了研究区3个水文钻孔的测井资料,依据电位电阻率与实测矿化度、AMT反演电阻率与计算矿化度数据,绘制了电阻率与地下水矿化度之间的近似关系图(图6)。

从电阻率与地下水矿化度之间近似关系可以看出:①随着地下水矿化度的降低,视电阻率值升高明

显;②电阻率在 $1 \Omega \cdot \text{m} \sim 5 \Omega \cdot \text{m}$ 之间变化时,矿化度在 $13\,000 \text{ mg/L} \sim 1\,500 \text{ mg/L}$ 之间急剧变化;视电阻率值在 $5.5 \Omega \cdot \text{m} \sim 26 \Omega \cdot \text{m}$ 之间变化时,矿化度在 $1\,500 \text{ mg/L} \sim 350 \text{ mg/L}$ 之间变化。随着视电阻率值的增加,地下水矿化度变化幅度随之减弱,这与淡水体所含导电离子的浓度密切相关。

在矿化度断面图上读取深度 $300 \text{ m} \sim 500 \text{ m}$ 之间的矿化度值,经过样条插值网格处理后结合以往地质、地球物理资料,得到研究区深度 400 m 水质分布图(图7)。

孔雀河在不同地段,河水与地下水的转化关系不同,自出山口至包头湖农场段。第四系沉积物为粗颗粒,含水层岩性为砂卵砾石、砂砾石,孔隙大,渗透性较好河水在沿程径流中,入渗地下,补给地下水;该区地下水矿化度低,多为淡水:由于普惠水库的修建蓄水,水库水位高于地下水水位,地表水补给地下水,包头湖至普惠农场段淡水相对较多。普惠农场至尉犁段,受到地下水超采区的影响,该河段两侧地下水水位大部分低于现今河水水位,河水补给地下水,由于含水层颗粒细,补给范围有限,500 m~1 000 m 河道范围接受补给。表现为河道两侧胡杨林大面积死亡或者处于死亡边界,根据测深成果该段多为咸水。

4 结论

笔者基于 AMT 得到的电阻率,大致推算了地下水的矿化度,与已知实测地下水矿化度相匹配,表明基于音频大地电磁法的地层电阻率是可以推算深层地下水矿化度分布特征的,该方法具有一定的应用前景。但通过此方法计算深层地下水矿化度时,关键在于准确求取地层真电阻率,此外矿化度与电阻率在定量上的分析还依赖于含水地层的孔隙度、渗透率、饱和度等参数,在以后的工作中还有待继续研究。

参考文献:

- [1] 何志刚. 孔雀河下游生态输水现状及修复对策探析[J]. 陕西水利, 2019, 9(9): 39-40.
HE Z G. Analysis on the status quo of ecological water conveyance in the lower reaches of Kongque river and the restoration countermeasures[J]. Shaanxi water resource, 2019, 9(9): 39-40. (In Chinese)
- [2] 李宁. 电阻率-孔隙度、电阻率-含油气饱和度关系的一般形式及其最佳遥感函数类型的确定[J]. 地球物理学报, 1989, 32(5): 94-106.
LI N. The relationship of resistivity-porosity and resistivity-hydrocarbon saturation in general form and determination of the best type of remote sensing function[J]. Chinese Journal of Geophysics, 1989, 32(5): 94-106. (In Chinese)
- [3] 郭建强, 武毅, 曹福祥, 等. 西北地区孔隙地下水矿化度评价的地球物理方法研究与应用[J]. 地球学报, 2001, 27(4): 375-379.
GUO J Q, WU Y, CAO F X, et al. The application of geophysical techniques to estimating salinity of porous groundwater in northwest china[J]. Acta Geoscientia Sinica, 2001, 27(4): 375-379. (In Chinese)
- [4] 王赞, 赵发展, 蔡纲, 等. 地下水矿化度检测的地球物理方法[J]. 水文地质工程地质, 2006(6): 33-36.
WANG Y, ZHAO F Z, CAI G. et al. Geophysical method to detect ineralization degree of groundwater [J]. Hydrogeology & Engineering Geology, 2005(6): 33-36. (In Chinese)
- [5] 武毅, 朱庆俊, 李凤哲, 等. 劣质地下水区地球物理勘查技术模式探讨[J]. 地震地质, 2010, 32(3): 500-507.
WU Y, ZHU Q J, LI F Z, et al. The technological meodel for geophysical prospecting in poor quality groundwarter regions [J]. Seismology and Geology, 2010, 32(3): 500-507. (In Chinese)
- [6] 高敬语, 谭嘉言, 朱占升, 等. 音频大地电磁法在地下水水质评价中的应用[J]. 物探与化探, 2013, 37(5): 895-898.
GAO J Y, TAN J Y, ZHU Z S, et al. The application of the audio magnetotelluric method to the assessment of underground water quality[J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2013, 37(5): 895-898. (In Chinese)
- [7] 田蒲源, 朱庆俊, 刘玉星, 等. 大地电磁法在新疆阜康地区深层地下水矿化度评价中的应用研究[J]. 地下水, 2016, 39(5): 12-14.
TIAN P Y, ZHU Q J, LIU Y X et al. The application of magnetotelluric method in the evaluation of deep groundwater salinity in Fukang region of Xinjiang[J]. Ground water, 2016, 39(5): 12-14. (In Chinese)
- [8] 李凯旋, 刘廷玺, 吴吉春, 等. 基于大地电磁法的水文地质结构及参数推断[J]. 水文地质工程地质, 2018, 45(5): 9-16.
LI K X, LIU T X, WU J C, et al. Identification of hydrogeological structure and inference of hydraulic parameters based on the magnetotelluric method[J]. Hydrogeology & Engineering Geology, 2018, 45(5): 9-16. (In Chinese)
- [9] 白运, 冀显坤, 郭伟立, 等. 音频大地电磁测深法在大格勒地区地下水资源调查中的应用[J]. 地下水, 2017, 39(4): 30-31.
BAI Y, JI X K, GUO W L, et al. Application of audio magnetotelluric sounding method in investigation of groundwater resources in the Dagler region [J]. Ground water, 2017, 39(4): 30-31. (In Chinese)
- [10] 何国丽, 王光杰, 周超, 等. 音频大地电磁法在探测地下水中的应用——以湛江南木水为例[J]. 地球物理学进展, 2019, 34(1): 0304-0309.
HE G L, WANG G J, ZHOU C, et al. Application of

- audio-frequency magnetotelluric(AMT) in groundwater exploration; a case of the Namushui area in Zhanjiang[J]. Progress in Geophysics, 2019, 34(1): 0304—0309. (In Chinese)
- [11] 王卫江, 兰险, 刘学清. 电磁法在新疆干旱区找水效果及适应性探讨[J]. 新疆地质, 2004, 22(3): 265—269. WANG W J, LAN X, LIU X Q. Discussion about effect and adapt ability of electromagnetic method in seeking water in Xinjiang Arid Region[J]. Xinjiang Geology, 2004, 22(3): 265—269. (In Chinese)
- [12] H. B. 多尔特罗(苏)1985. 岩石和矿物的物理性质[M]. 北京: 科学出版社, 1985. DUOERTELUO H B. The physical properties of rocks and minerals[M]. Beijing: Science Press, 1985. (In Chinese)
- [13] 强建科, 郭建强, 朱庆俊, 等. 由电法勘探资料计算地下水矿化度的软件系统[J]. 物探化探计算技术, 2003, 25(3): 226—231. QIANG J K, GUO J Q, ZHU Q J, et al. A software system for calculation of total dissolved solids of underground water using the data of electric or electromagnetic sounding[J]. Computing Techniques for Geophysical and Geochemical Exploration, 2003, 25(3): 226—231. (In Chinese)
- [14] 赵文杰. 频率和盐水矿化度对测量岩石地层因素的影响[J]. 测井技术信息, 1993(6): 234—235. ZHAO W J. The influence of frequency and salt water salinity on lithostratigraphic measurements[J]. Well Logging Technology Information, 1993(6): 234—235. (In Chinese)
- [15] Asandelouie V. 试用物探方法确定含水砂砾沉积物的孔隙度和渗透率[J]. 刘承健, 译. 水工物探译文集, 1983. ASANDELOUIE V. A trial application of geophysical methods to determining porosity and permeability of aquifer gravel sediments[J]. Translated Into Chinese by LIU Chengjian, 1983. (In Chinese)
- [16] 曹福祥, 尹秉喜, 朱庆俊. 电导率成像系统在西部地下水勘查中的应用[J]. 物探与化探, 2005, 29(4): 323—325. CAO F X, YIN B X, ZHU Q J. The Application of the conductivity imaging system to groundwater investigation in western china[J]. Geophysical & Geochemical Exploration, 2005, 29(4): 323—325. (In Chinese)

The discussion of audio magnetotelluric method in the evaluation of groundwater salinity in Kongque river basin of Xinjiang

JIANG Zhongxiang¹, ZHAO Changjun², Aisikaer Tuerxun¹, TANG Xiaoping³

(1. Geophysical and Geochemical Exploration Team of Xinjiang Geological and Mineral Bureau, Changji 831100, China;

2. No. 1 Bureau of China Metallurgical Geology Bureau City Safety and Underground Space Research Institute Limited, Langfang 065201, China;

3. Xi'an Center of Geological Survey, Chinese Geological Survey, Xi'an 710054, China)

Abstract: The traditional method of groundwater quality assessment is to determine the water salinity in the water-bearing rock group by analyzing the sampling test of groundwater. When large-scale groundwater resource evaluation is carried out, a large number of systematic water sample testing data are needed. This paper takes the groundwater of the Kongquehe River Basin in the Korla region of Xinjiang as the research object. Based on the resistivity value obtained by audio magnetotelluric sounding, the paper introduces the formation lithology, porosity, geothermal gradient, and other important parameters that affect the formation resistivity to explore and establish a method to estimate the salinity of groundwater and thus roughly divides the groundwater quality of Kongquehe River basin. The results show that it is feasible to use the audio frequency magnetotelluric method to calculate the salinity of deep groundwater, and it has the characteristics of rapid and efficiency compared with the traditional method.

Keywords: audio magnetotelluric sounding method; resistivity; salinity; groundwater; Kongque river basin