

# 山东烟台大季家地区海水入侵界面划分的意义

宋希利<sup>1</sup>, 宋鹏<sup>2</sup>, 时彦芳<sup>1</sup>, 耿祥峰<sup>1</sup>

(1. 山东省地矿工程勘察院, 山东 济南 250013; 2. 石家庄经济学院研究生院, 河北 石家庄 050031)

**摘要:**在沿海地区划分海水入侵界线具有重大意义,在海水入侵范围内,地下水由于含盐量高,虽然工业生产、人畜生活不能利(饮)用,但深部海水可为海产品养殖业带来较高的利用价值。利用高密度电法和可控源音频大地电磁2种方法准确划分了浅、深部海水入侵界线,并根据电性特征分析探讨了海水入侵区域的由浅至深的侵入特点,推测了不同深度上岩石破碎及富水规律,为探讨沿海养殖业利用温度相对稳定或较高的深部入侵海水进行了积极、有益的探讨。

**关键词:**海水入侵界面;可控源音频大地电磁;高密度电法;大季家地区;山东烟台

**中图分类号:**P631

**文献标识码:**B

海水入侵在中国沿海普遍存在,其中山东、辽宁尤为严重,一方面给社会生产、人民生活造成了严重影响,同时也制约了沿海地区的后续发展,另一方面海水入侵的结果也为沿海养殖业发展带来了新的机遇。海水入侵一般是指海水渗入沿海地区地下含水层的现象。有些地区海水向内地渗入的范围较大,而且具有较大的深度,沿海养殖业就是需要一定深度上温度相对稳定或较高的海水,由于某些地区深部海水的温度基本不受季节影响而保持稳定,极有利于海产品的生长和稳产。海水入侵不仅仅有其不利因素而且也有可利用的方面,因而研究海水入侵的空间分布特征是必要而且是非常有价值的。为此,在山东烟台大季家地区采用高密度电法和可控源音频大地电磁(CSAMT)2种方法对海水入侵的平面位置及垂向特征进行了探讨,高密度电法资料对浅部咸淡水界面反映明显,而CSAMT法二维反演 $\rho_s$ 等值线拟断面可以较客观地反映深部海水入侵及岩石破碎特征,进而寻找海水入侵区的富水地段,为研究沿海地区海水入侵特征积累了经验,为沿海养殖业的增产、节能环保提供了有益的帮助。

## 1 区域地质及地球物理特征

### 1.1 区域地质特征

#### 1.1.1 地层

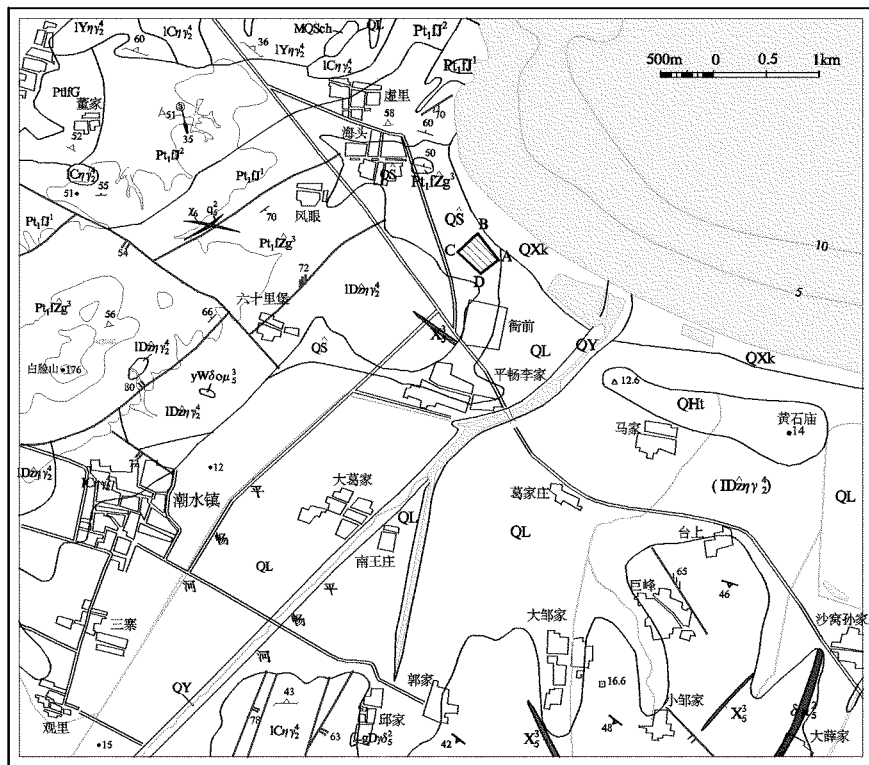
区内地层属于华北地层区鲁东地层分区。区域地层以缺失古生代地层为特征,胶东岩群分布较广,有蓬乔组、鲁家乔组、马格村组和王官庄组,主要岩性为斜长角闪岩、黑云变粒岩、黑云母片岩夹含石英大理岩、片麻岩及片岩;新元古代粉子山群亦较发育,有祝家乔组、张格村组、巨屯组、岗崮组、芝罘组,主要岩性为长石石英岩、黑云变粒岩、黑云片岩、黑云斜长片麻岩、大理岩、斜长角闪岩、片岩、石英岩;新元古代蓬莱群亦有分布,有豹山口组、辅子乔组、南庄组、香乔组,主要岩性为板岩、千枚岩、石英岩、大理岩及灰岩;中生界分布零星,为火山岩及火山碎屑岩;新生界分布于沿海一带和谷地中间,主要为残积坡积层、洪积坡积层、冲积洪积层、海积层、冲积层组成,岩性为粘质砂土或砂质粘土、中细砂层、中粗砂夹卵砾石(图1)。

#### 1.1.2 岩浆岩

分布有印支期玲珑花岗岩、燕山早期似斑状石英二长岩、燕山晚期似斑状花岗闪长岩及石英闪长玢岩。

### 1.2 地球物理特征

由于影响岩石电阻率的因素众多,因此,自然环境下某种岩石的电阻率并非某一特定值,而是随特



QY	第四系沂河组		地质界线
QL	第四系临沂组		断层
QH	第四系黑土湖组		地层产状
QXk	第四系洚口组		新建厂区范围
QS	第四系山前组组		
Pt1G	古元古界粉子山群岗南组		
Pt1F2	古元古界粉子山群巨屯组二段		
Pt1F1	古元古界粉子山群巨屯组一段		
Pt1Zg3	古元古界粉子山群张格庄组三段		
	石英闪长岩岩脉		
	闪长岩岩脉		
	煌斑岩脉		
MCsch	白云石英片岩		
yWδoμ3	燕山晚期雨山超单元王家庄单元 石英闪长岩		
gDρ63	震旦期玲珑超单元郭家庄亚超单元 大庄子单元片麻状含斑粗中粒二长花岗岩		
IB7ρ2	震旦期玲珑超单元郭家庄亚超单元 笔架山单元不等粒微晶花岗岩		
IC7n2	震旦期玲珑超单元郭家庄亚超单元 崔召单元片麻状含斑中粒二长花岗岩		
ID2n1	震旦期玲珑超单元郭家庄亚超单元大庄子 单元片麻状含斑粗中粒二长花岗岩		

图1 工作区区域地质略图

定环境下岩石孔隙中的含水量、盐度、温度、深度压力及矿物结构等在一定的范围内变化。

根据区域电性资料,粉子山群中的白云石大理岩、大理岩、斜长片麻岩、长石石英岩等视电阻率较高,一般变化范围 500 ~ 5 000 Ω · m,完整岩石的视电阻率最高,破碎、含水地段视电阻率不同程度降低。在有海水入侵情况下,岩石破碎且充水,其电阻率明显降低;黑云片岩、二云片岩等视电阻率较低,一般变化范围 300 ~ 2 000 Ω · m,完整岩石的视电阻率最高;第四系视电阻率较低,一般变化范围为 15 ~ 100 Ω · m,有砂层、砂砾石层存在的地段电阻率较高,粘土类地层电阻率较低,在有海水入侵地段视电阻率明显降低,一般变化范围为 5 ~ 20 Ω · m,位于靠近海岸线地带,根据以往经验山东沿海咸水区域视电阻率一般小于 10 Ω · m。

## 2 方法选择

根据工作目的任务及施工条件,选用了高密度电阻率法和可控源音频大地电磁(CSAMT)法,前者主要用于探测浅部海水入侵界面,由于其获得的信息量大、测量误差小,可以较真实反映地下岩石电阻率的变化特征,由此用来准确划分海水入侵界面;后

者主要利用其探测深度大、精度高<sup>[1-3]</sup>的特点来研究深部海水入侵界面与岩性变化特征。

## 3 仪器与参数选择

### 3.1 CSAMT 法使用仪器与参数选择

#### 3.1.1 使用仪器

工作中使用了加拿大凤凰地球物理有限公司研制开发的最新一代 V8 - 6R 多功能电法系统,是目前国内外使用的最先进的电磁勘探设备之一。

#### 3.1.2 参数选择

在 CSAMT 法野外工作中,采用赤道偶极测量装置,一般观测区域布置在以发射偶极 AB 形成的 60°角的一个梯形面积内<sup>[1-2,4]</sup>,该次野外工作采取把测线布置在以 AB 为边的矩形面积内,以保证测量区域有足够大的信号强度。发射电偶极距 AB = 1 800 m,接受电偶极距 MN = 50 m,收发距 R = 8 000 m,点距 50 m,测量频率范围为 0.125 ~ 7 680 Hz。施工过程中保持 12 个不极化电极的接地电阻均小于 500 Ω,低频发射电流控制在 18 A,这样既抑制了工业电流和地表人为设施的干扰,又保证了采集数据的准确可靠<sup>[1-2]</sup>。

### 3.2 高密度电法使用仪器与参数选择

#### 3.2.1 使用仪器

使用仪器为重庆奔腾数控技术研究所生产的WDA-1型超级数字直流电法仪,该仪器是集全中文掌上电脑、蓝牙、24位A/D、大功率控制等当今最新电子技术研制的新一代数字直流电法仪器,主要技术指标及功能领先于当前国内外同类仪器,在各种野外复杂环境下能更好地工作。广泛应用于金属与非金属矿产资源勘探、城市物探、铁道桥梁勘探等方面,亦用于寻找地下水、确定水库坝基和防洪大堤隐患位置等水文、工程地质勘探中,还能用于地热勘探。

#### 3.2.2 参数选择

高密度电法在进行数据采集时,可选择的电极系装置较多,不同的装置决定着不同的电极排列方式。装置的选择本着方法有效、操作简单、环境影响小、投入人员少和经济快速的原则<sup>[4-6]</sup>。根据现场施工条件选用温纳装置,电极间距10m,共布设60根电极。

## 4 典型剖面资料解释

在调查区附近近垂直于海岸线方向布设2条剖面,分别进行高密度电法和CSAMT测量,每条剖面长600m;在调查区内近平行于海岸线方向布设4条CSAMT剖面,以了解垂向上电性变化及岩层局部破碎特征。经过对两种方法采集数据进行处理和二维反演数据绘制了各剖面的 $\rho_a$ 等值线断面图,并对资料进行综合解释后确定了平面上海水入侵的界线,并探讨了剖面上海水入侵范围内岩石破碎、含水特性,寻找海水入侵区的富水地段,为沿海养殖业利用恒温或较高温度的海水提供基础资料。

以近垂直于海岸线方向布设的2剖面为例,具体解释如下:

图2为2剖面综合剖面图,剖面北方向为渤海。由高密度电法 $\rho_a$ 等值线断面、CSAMT $\rho_a$ 等值线断面都可看出在垂向上都有一个明显的高、低阻分界线,高阻一侧等值线密集,低阻一侧等值线稀疏,界面位置梯级特征明显。结合地质、水文地质特征推测该界线为海水入侵界线。高密度断面较准确地反映浅部海水入侵特征, $\rho_a = 30 \Omega \cdot m$ 等值线位置推测为界面位置,为一斜线,对应地表在350m处,深部向

北偏移,且向北即海边方向 $\rho_a$ 值逐渐降低,说明地下水含盐量增大、矿化度变高,地下水越来越接近海水;CSAMT二维反演断面较真实地反映浅、深部海水入侵特征, $\rho_a = 400 \Omega \cdot m$ 等值线位置推测为界面位置,呈不规则形态,对应地表在535m处。在海水入侵区域,垂向电性特征具有一定的规律性,经分析由浅至深以 $\rho_a$ 值大小可划分为3个区域即I、II、III: I区 $\rho_a \leq 100 \Omega \cdot m; h < 200 m$ ; II区 $\rho_a \leq 200 \Omega \cdot m; h = 200 \sim 1\ 000 m$ ; III区 $\rho_a = 200 \sim 400 \Omega \cdot m, h = 1\ 000 \sim 1\ 600 m$ 。对3个区域的划分说明了海水入侵程度在正常情况下由浅至深逐渐减弱。在I区 $\rho_a \leq 100 \Omega \cdot m$ ,为低阻区间,推测该区域岩石相对破碎,有利于海水的富集,是浅部相对富水区。在II区中有2个 $\rho_a \leq 100 \Omega \cdot m$ 的低阻闭合圈,推测该区域岩石相对破碎,应相对富水,是布置较深钻孔的有利位置。

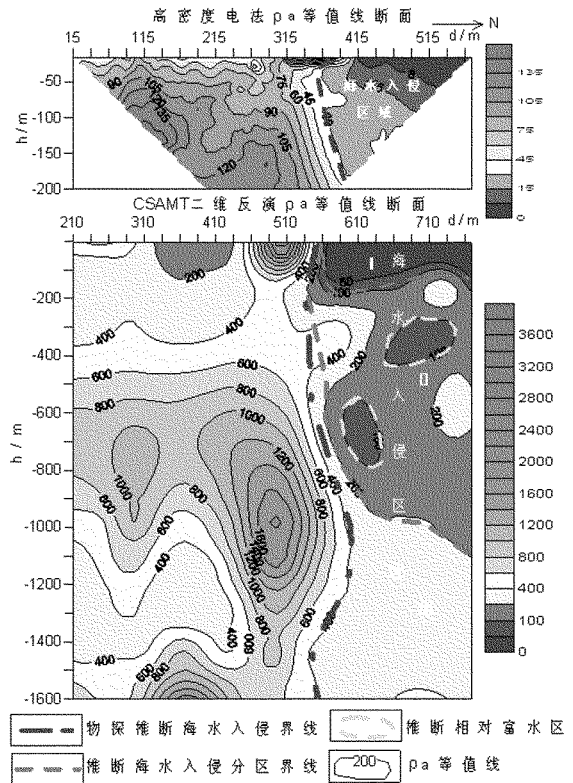


图2 物2线综合剖面图

经调查区附近同类地层钻探深度90m水井抽水结果证明,60~80m岩石破碎,为主要含水层,涌水量 $80 \text{ m}^3/\text{h}$ ,含盐量与海水接近,水温 $15^\circ\text{C}$ 且不受季节影响。

## 5 结论

(1)研究沿海地区海水入侵界线具双重意义,一是其危害作用,海水入侵到陆地后使地下水矿化度变高,给社会生产、人民生活、后续发展造成了严重影响;二是其积极的一面,海水入侵的结果为沿海养殖业发展带来了新的机遇,沿海养殖需要温度相对稳定或较高的深部含水层的海水,既有利于海产品的生长、稳产又能节约能源,还具生态环保效能。

(2)在海水入侵区域,该地区剖面电性特征具有一定的规律性,其电阻率由浅至深逐渐增大,说明海水入侵程度在正常情况下由浅至深逐渐减弱,当地下岩石裂隙发育或较破碎时,海水极易入侵,形成海水的相对富集区域。

(3)利用高密度电法视电阻率反演断面能够准确地推测浅部海水入侵界线及侵入特征,寻找浅部海水相对富集部位,可以为布置深度200 m以内的浅井选定靶区。

(4)CSAMT二维反演断面图,能够较真实反映海水由浅至深的入侵特征,推测不同深度上岩石破碎及含水特性,有利于圈定深部海水富集地段,为开发利用深部温度稳定且较高的海水提供了科学依据。

## 参考文献:

- [1] 汤井田,何继善.可控源音频大地电磁法及其应用[M].长沙:中南大学出版社,2005.
- [2] 何继善.可控源音频大地电磁法[M].长沙:中南工业大学出版社,1990.
- [3] 张建奎.可控源音频大地电磁测深找铅锌矿的应用[J].物探与化探,2010,34(2):167-169.
- [4] 底青云,石昆法,王妙月,等.CSAMT法和高密度电法探测地下水资源[J].地球物理学进展,2001,16(3):53-57.
- [5] 宋希利,宫述林,邢立亭.高密度电法在地下空洞探测中的应用研究[J].工程地球物理学报,2010,7(5):599-602.
- [6] 董浩斌,王传雷.高密度电法的发展与应用[J].地学前缘,2003,10(1):171-176.

## Significance of Seawater Intrusion Interface Division in Jijia Area in Yantai City of Shandong Province

SONG Xili<sup>1</sup>, SONG Peng<sup>2</sup>, SHI Yanfang<sup>1</sup>, GENG Xiangfeng<sup>1</sup>

(Shandong Geo-engineering Exploration Institute, Shandong Jinan 250013, China; 2. Graduate School of Shijiazhuang University of Economics, Hebei Shijiazhuang 050031, China)

**Abstract:** Seawater intrusion interface division in coastal area has great significance. Within the scope of seawater intrusion, due to high salt content of underground water, it can not be used in industrial production, human and animal life, but deep sea water can bring high value in marine aquaculture. By using high-density electrical method and controlled source audio magnetotelluric method, seawater intrusion interface between shallow seawater and deep seawater has been accurately divided. According to electrical characteristics, seawater intrusion characteristics which is from shallow to deep has been analyzed and studied, and rock breaking and water-rich regularity in different depth has been predicated. It will provide some references for carrying out coastal aquaculture by using deep intrusion seawater with higher temperature.

**Key words:** Seawater intrusion interface; controlled source audio magnetotelluric; high-density electricity; Dajijia region; Yantai in Shandong province