

莱州湾地区海（咸）水入侵界限探测方法 应用及取得成果*

苏永军, 马震, 张国利, 刘宏伟, 范翠松, 黄忠峰, 匡海阳

中国地质调查局天津地质调查中心, 天津, 300170

目前, 全世界已经有六十多个沿海国家和地区的几百个地方发现了海水入侵问题, 海水入侵给各国沿海地区带来严重危害, 造成巨大经济损失, 严重阻碍经济社会的持续发展。全球范围海水入侵的普遍性已经引起国际社会的共同关注, 已积极开展海水入侵问题的研究和治理。我国首先于1964年在大连发现海水入侵, 到20世纪70年代后期又在莱州湾发现海水入侵, 进入80年代, 海水入侵现象又发现多处, 且海水入侵范围逐渐扩大(孙晓明等, 2006)、入侵速度逐年加快、危害越来越严重。沿海岸从沿海岸从北向南, 发现海水入侵的地区有葫芦岛市、大连市、秦皇岛市、天津市、山东半岛、上海市、宁波市等, 其中以环渤海地区的山东半岛的莱州湾地区海水入侵最为严重。

地球物理方法被广泛应用在评估和监测地下水调查研究中(傅竹武等, 2005; Tomas Feseker, 2007; 张慧静等, 2012), 2011-2012年笔者项目组根据莱州湾地区水文地质条件, 在莱州湾地区尝试选择EH4电磁成像系统和高密度电阻率法探测海(咸)水入侵界限取得很好的应用效果, 2012-2014年项目组在近似垂直海岸带地区做了大量两种物探方法剖面测量工作, 勾画出莱州湾地区海(咸)水入侵界限, 物探方法在该地区探测海(咸)水入侵界限取得了初步研究成果。通过二维高密度电阻率法(苏永军等, 2014)、三维高密度电阻率法(该方法在该地区咸淡水界面探测尝试成功, 见网址: <http://www.cgs.gov.cn/xwtzgg/cgkx/28958.htm>) 和EH4电磁成像系统(杨学明等, 2013; 苏永军等, 2014)海水入侵区探测效果进行分析, 说明该物探方法在探测海水入侵是有效可行的, 并具有成本

低、速度快、周期短等特点, 在探测海水入侵具有很好的应用前景。

1 理论依据

海水入侵的影响因素很多, 其中人为因素最为主要, 当人超量开采地下水, 咸淡水平衡被破坏, 极易使滨海地区形成地下水负值区, 而负值区一旦形成, 海(咸)水就会乘虚而入, 使地下水的矿化度随含水层中氯离子的增加而变大, 其地层电阻率则相应降低。地层电阻率的变化与地层的岩性、内部结构及其含水、含盐状况有关, 其关系可用阿尔奇公式表示为:

$$\rho_s = a\phi^m s^{-N} A_c C^{-1}$$

式中: a 为常数; ϕ 为孔隙度, 在滨海平原区测深点附近, 当地层岩性比较均匀时, 其孔隙度基本相同, 所以 ϕ 和其指数 m 可视为常数; S 为饱和度, 由于海水入侵主要发生在地下水位以下, 岩层处于饱和状态, 饱和度 S 和其指数 N 亦可视为常数; A_c 为与地下水溶液化学成份有关的系数, 因为海水成份主要为氯化钠, 化学成份基本稳定, 所以 A_c 变化也不大; C 为地下水的矿化度, 是影响地层电阻率的决定因素。依据海水侵入区与电阻率之间的关系(刘冀闽等, 2009), 便可确定咸水入侵的变化规律。

2 电性特征

研究区的主要地层为第四系和第三系, 其岩性以粘土、粉砂、细砂为主, 由于该区地下水位浅, 各地层均处于饱和状态, 矿化度就成为影响视电阻率变化的主要因素。根据以往资料(徐建国等, 2003)

注: 本文为中国地质调查莱州湾地质环境调查评价项目(编号 12120113003800)资助的成果。

收稿日期: 2015-02-03; 改回日期: 2015-03-01; 责任编辑: 周健。

作者简介: 苏永军, 男, 1981年生。工程师, 地球物理和地质工程双硕士研究生, 主要从事地球物理勘查及研究工作。Email: syj95123@163.com。

和笔者项目组在该区做的工作成果,可知该地区主要含水层为咸水、淡水(分浅层淡水和深层淡水),其电阻率具有明显的差异。将矿化度大于 2g/L 的地下水定为咸水,咸水(矿化度>2g/L)电阻率一般为 1~10 $\Omega \cdot m$, 卤水(矿化度>50g/L)电阻率一般为 1~2 $\Omega \cdot m$, 高浓度卤水(矿化度>100g/L)电阻率一般小于 1 $\Omega \cdot m$, 最低可达 0.4~0.6 $\Omega \cdot m$; 淡水电阻率一般为 10~30 $\Omega \cdot m$, 其中浅层淡水的电阻率相对高些,一般为 20~30 $\Omega \cdot m$, 深层淡水的电阻率相对低些,一般为 10~20 $\Omega \cdot m$; 不含水的地层或基岩电阻率一般大于 30 $\Omega \cdot m$, 甚至大于 100 $\Omega \cdot m$ 。

含水层的矿化度与其电阻率呈负相关关系,矿化度越高,电阻率越低。在实际工作中,咸淡水没有严格的界限,在其分界面附近,咸淡水基本呈逐渐过渡的状态(咸水—半咸水—微咸水—淡水),只是不同地段过渡带的梯度大小不同而已。在研究区的南段(远离海岸线),为全淡水区,地下无咸水体,其电阻率一般较大,含水层电阻率多为 10~30 $\Omega \cdot m$, 无水层电阻率多大于 30 $\Omega \cdot m$, 与靠近海岸线的北段含咸水区具有明显的电阻率差异,可利用视电阻率断面图确定咸淡水体的分界线,咸淡水水体的在平面分布情况和垂向变化情况,为查清海水入侵等环境地质问题提供可靠的基础资料。

3 解释原则

视电阻率反演断面图包含有丰富的地质信息,它不仅能反映地下各层位垂向的厚度变化、横向上延伸情况,建立各层位的相互关系;还可以反映层位的埋深及起伏形态、断裂构造及构造单元等特征。视电阻率反演断面推断解释,要根据工作区海水入侵区电阻率断面图中背景值、低阻异常的形态及低阻异常值等地球物理特征,结合区域地质及水化学分析等水文地质资料建立断面解释原则,在此基础上来进行地电断面的推断解释。

4 取得成果

(1)通过在莱州湾地区海水入侵过渡带做了大量物探剖面测量工作,查明该地区海水入侵界线和咸淡水界面分布状况;在综合分析研究的基础上,绘制了咸淡水入侵界线成果平面图。

(2)EH4 电磁成像系统和高密度电阻率法划出咸淡水界线与水文地质水样矿化度 2g/L 等值线分布基本吻合,表明方法的有效性,可行性。在该区采用多条二维高密度电阻率法剖面组成的准三维测量方式和真三维测量方式,从结果来看效果好,为以后在本区进行海水入侵监测提供了新思路。

(3)进一步总结了该区电性特征为:靠近莱州湾北部海边区域属于卤咸水入侵区,电阻率值一般低于 3 $\Omega \cdot m$; 自卤咸水入侵区向远离海岸区域的咸水区域,电阻率值一般在 3~10 $\Omega \cdot m$; 在咸水入侵过渡的微咸水区域,电阻率值一般自 1~10 $\Omega \cdot m$ 过渡至 10 $\Omega \cdot m$ 以上,而在全淡水区域,电阻率值一般在 15~100 $\Omega \cdot m$ 之间。

(4)该地区海咸水入侵监测取得了全面的、可靠的物探资料,这些资料对研究莱州湾地质环境调查评价提供了基础的地球物理资料。在重点地段进行动态监测,为有效预测莱州湾地区海咸水入侵发展变化趋势提供依据。

参 考 文 献 / References

- 傅竹武,徐旌,周廷梅. 2005.地球物理方法在地下水污染监测中的应用. 云南地理环境研究, 17(6):76~81.
- 刘冀闽,师沙沙,韩涛. 2009.电导率法在海水入侵监测中的应用. 中国环境管理干部学院学报,19(1):77~82.
- 苏永军,范剑,刘宏伟,张国利,刘继红,匡海阳,黄忠峰,范翠松. 2014.高密度电阻率法探测海水入侵咸淡水界限初步调查研究——以莱州湾为例.地质调查与研究, 37(3): 177~181.
- 苏永军,黄忠峰,匡海阳,张国利,刘宏伟,梁建刚,高学生. 2014. EH4 电磁成像系统在莱州湾地区探测海水入侵界限的调查研究.地质调查与研究, 37(4): 265~269.
- 孙晓明,徐建国,杨齐青,施佩歆,钟新宝,张素凤,潘桐,赵长荣. 2006. 环渤海地区海(咸)水入侵特征与防治对策. 地质调查与研究, 29(3):203~211.
- 徐建国,卫政润,张涛. 2003.环渤海地区(山东部分)地下水资源与环境地质调查评价报告.山东省地质调查院.
- 杨学明,苏永军,杜东,范剑,林星. 2013.音频大地电磁法在海水入侵动态监测中的应用. 物探与化探, 37(2): 301~305.
- 张慧静,孙志. 2012.地球物理方法在环境监测中的应用.北方环境, 24(1):114~117.
- Tomas Feseker. 2007. Numerical studies on saltwater intrusion in a coastal aquifer in northwestern Germany. Hydrogeology Journal, 15:267~279.