

环境地质

## 莱州湾南岸海(咸)水入侵监测技术方法体系构建

杜东<sup>1</sup>,刘宏伟<sup>1</sup>,刘志涛<sup>2</sup>,马云青<sup>3</sup>,朱雪芹<sup>4</sup>

(1.天津地质矿产研究所,天津 300170;2.山东省鲁北地质工程勘察院,山东德州 253072;3.河北省地勘局测绘院,河北廊坊 065000;4.中国地质环境监测院,北京 100081)

**摘要:**海咸水入侵已是一个全球性的普遍问题,大量文献表明,人类活动已经涉及的沿海地段都已不同程度的发生海咸水入侵。在莱州湾南岸以发生咸水入侵为主,通过研究表明,该地区咸水入侵界面已逐渐向南迁移,严重影响该地区地下水资源的正常使用。监测咸水入侵对合理使用该地区的地下水资源意义重大,该文将构建莱州湾南岸咸水入侵监测技术方法体系。

**关键词:**咸水入侵;监测技术方法;莱州湾南岸

**中图分类号:**X43

**文献标识码:**B

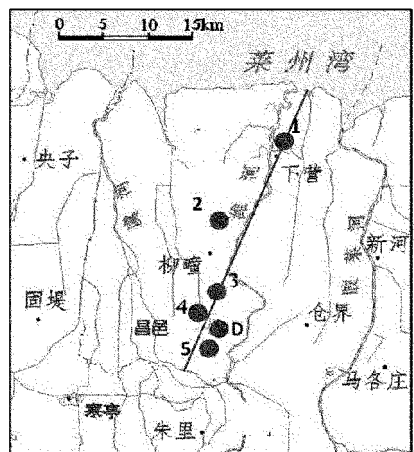
**引文格式:**杜东,刘宏伟,刘志涛,等.莱州湾南岸海(咸)水入侵监测技术方法体系构建[J].山东国土资源,2015,31(5):49-53. DU Dong, LIU Hongwei, LIU Zhitao, etc. Construction of Sea(Salt)Water Intrusion Monitoring Techniques and Methods System in South Bank of Laizhou Bay[J]. Shandong Land and Resources, 2015, 31(5): 49-53.

山东省莱州湾南岸位于渤海莱州湾南岸滨海平原的北部,是我国地下咸水入侵灾害最严重的地区之一。东起北胶莱河,西到小清河,南至滨海平原的全淡水边界,北部是莱州湾南岸全咸水区,涉及寿光央子、寒亭、昌邑等3市(区),为沿莱州湾南岸呈半环状分布的区域(图1)。该地区咸淡水界面不断向内陆推移,导致土壤盐渍化加剧,植被发生逆向演替。该地区是典型的海陆交互作用和人类活动共同影响下的生态脆弱区<sup>[1]</sup>。

## 1 海(咸)水入侵动态监测

### 1.1 遥感与地表植被调查监测

利用多时期遥感影像跟踪地表监测,通过不同时相的卫星遥感图像解译跟踪地表土壤的盐渍化和地表植被及地貌的变化(图2,图3)来间接对咸淡水界面变化进行监测。由于受海潮、微地貌条件和沉积物成土过程的制约,盐生植物—沼生盐土植物和咸水—半咸水—淡水植物生态群落自南而北带形成。在咸水入侵过渡带,土壤含盐量随时间推移在不断积累增高,农田逐渐荒废,而盐生植物群落应运



1—下营镇村;2—东付村;3—李家埠;4—西陶埠村;  
5—后埠村;D—北褚村

图1 莱州湾南岸地下水海咸水入侵  
动态监测点位置分布

而生,如怪柳等日渐蔓延<sup>[2]</sup>,因此地表植被及微地貌的变化能间接反映咸水入侵的影响。

土壤盐渍化遥感监测方法可分为人工目视解译和计算机数字图像处理、野外调查与实地验证等。本次土壤盐碱化遥感解译方法主要采用目视解译和

收稿日期:2014-07-22;修订日期:2014-09-03;编辑:陶卫卫

基金项目:国家公益性行业科研专项资助项目(201011019)

作者简介:杜东(1981—),男,高级工程师,主要从事水文地质环境地质海洋地质工作;E-mail: yndd24@163.com

野外实地验证来进行。野外调查与实地验证的目的是发现不同类型和不同盐渍程度的盐渍土与其影像特征之间的对应关系,建立判读标志以及验证和修正室内目视判读结果。主要采用选线踏勘和随机选点调查相结合的方法。采集地下水样,观测地下水位。对所选样区以外的区域作随机选点调查,以验证室内判译结果的正确性。土壤样本实验室分析的项目主要有:pH 值、电导率、八大盐离子和土壤养分项,目的是搞清盐渍土的物理化学成分和剖面性状等微观属性<sup>[3]</sup>。

从 1981 年、2000 年及 2010 年 3 期遥感盐渍土影像图中可看出莱州湾南岸盐田分布逐渐增加,盐碱化程度及范围越来越大。区内盐碱地分布具有以下特点:①盐碱地分布区地下水位埋藏浅,水位埋深小于 2 m,包气带岩性主要为粘质砂土与粉细砂互层,潜水蒸发系数较大;②盐碱地分布区浅层地下水矿化度大于 2 g/L,大部分大于 3 g/L;③盐碱地分布区第四纪曾发生数次海侵,海相地层发育,地层内的含盐量较高;④沿海滩涂开发、水产养殖和制盐业发达,加重了盐渍化发育程度。

由于过量抽取地下水使地下水位下降、河流断流、地表水缺乏和海平面上升等原因<sup>[4,5]</sup>,莱州湾南岸 20 世纪 80 年代初开始发生咸水入侵,南部的湿地土壤盐碱化加重,使湿地植被演化迅速,淡水芦苇沼泽湿地、香蒲沼泽湿地面积日益减小,向草甸湿地演化。昌邑市灶户盐场以北以盐地碱蓬、怪柳为建群种的湿地植被,由于盐场抽取地下卤水导致地下水位下降,土壤脱盐、干化,现在南部已演化以虎尾草、狗尾草、荻为建群种的草甸湿地植被,这种演化过程随着当地原盐生产抽取地下卤水量的增大还将向北部盐沼湿地推进。因水源缺乏、蓄水减少<sup>[6]</sup>,古巨淀湖等以芦苇为建群种的淡水沼泽湿地植被正向以芦苇、荻为建群种的草甸湿地植被方向演化。莱州湾南岸滩涂湿地受河流径流影响较弱,没有湿地植被发育,莱州湾南岸潮上带以盐地碱蓬、碱蓬、柳等盐生植物为建群种的湿地植被占优势,莱州湾南岸自然湿地植被在最近 30 多年来都因为围垦、盐田、虾池建设等原因而大面积消失,自然湿地植被主要演化为盐田和虾池<sup>[7]</sup>。从地表植被及农作物变化看,从北到南植被及农作物变化间接地反映了地表盐碱化程度逐渐减轻。离海岸线 20 km 左右,地表开始大量种植小麦与生姜,地表盐碱化程

度开始减弱。

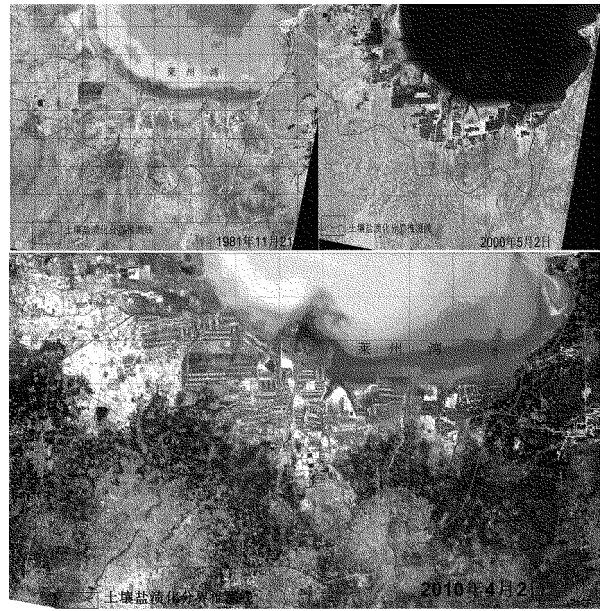


图 2 莱州湾南岸不同时期地表遥感解译图

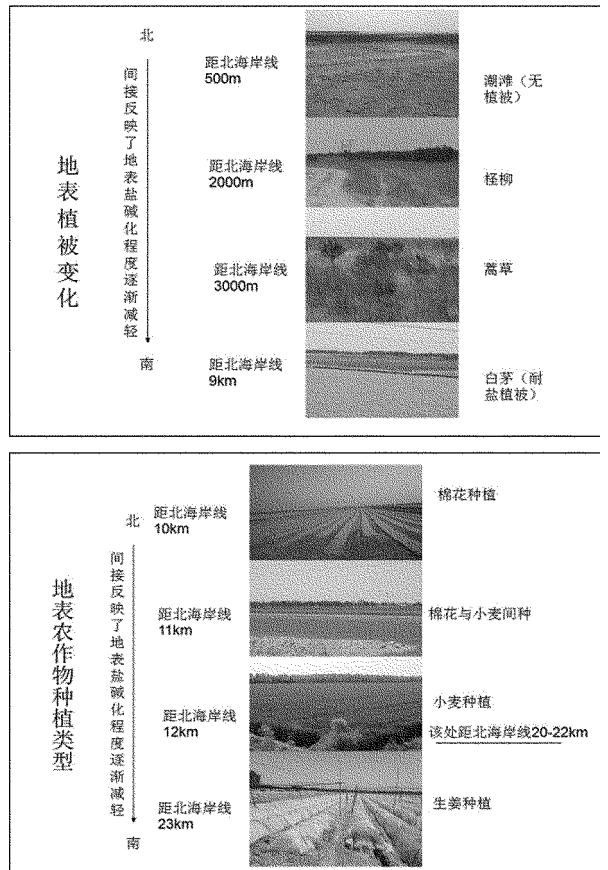


图 3 莱州湾南岸地貌与植被变化

### 1.2 地球物理探测

根据区域地层电阻率具有明显的差异。咸水

(矿化度 > 5 g/L) 电阻率一般为 1~5 Ω·m, 卤水 (矿化度 > 50 g/L) 电阻率则更低, 一般为 1~2 Ω·m, 高浓度卤水 (矿化度 > 100 g/L) 电阻率最低可达 0.4~0.6 Ω·m; 淡水电阻率一般为 10~30 Ω·m, 其中浅层淡水的电阻率相对高些, 一般为 20~30 Ω·m, 深层淡水的电阻率相对低些, 一般为 10~20 Ω·m; 不含水的地层或基岩电阻率一般大于 30 Ω·m, 甚至大于 100 Ω·m (表 1)。通过物探 (EH4) 探测地下咸淡水界面的变化。以莱州湾 II 号勘查剖面为例, II 号剖面近南北走向, 南起财源村附近, 北至海岸线, 剖面全场 39.5 km。其视电阻率反演断面图 (图 4) 可以看出整体电阻率值呈北低南高的趋势。北段极小值为 2 Ω·m 左右, 南段相对较高, 电阻率值在 16~100 Ω·m 之间, 电性层横向连续性较好。其中在 30 和 70 号点位置, 电阻率值相对较低, 阻值在 16 Ω·m 左右, 等值线呈低阻条带状, 推断断层破碎带发育。在东傅村 (180 号点位) 附近电阻率断面图上反映出明显等值线梯度变化带, 变化带产状较缓, 呈倒“U”型, 推断为咸水入侵分界面, 180~330 号测点之间为淡水—微淡水—咸水—淡水分布区, 且咸水侵入层位较厚在 150 m 左右; 330~395 号测点之间为微咸水—咸水—淡水分布区, 咸水侵入层较厚在 200 m 左右。东傅村南段电阻率值相对较高, 等值线平缓, 推测为淡水分布区。

表 1 地下水矿化度与电阻率值的对应关系

电阻率 (Ω·m)	0.4~0.6	0.6~1.0	1~2	2~5	5~10	10~20	>20
矿化度 (g/L)	>100	100~80	80~50	50~5	5~3	3~2	<2
地下水水质	卤水		咸水	微咸水		淡水	

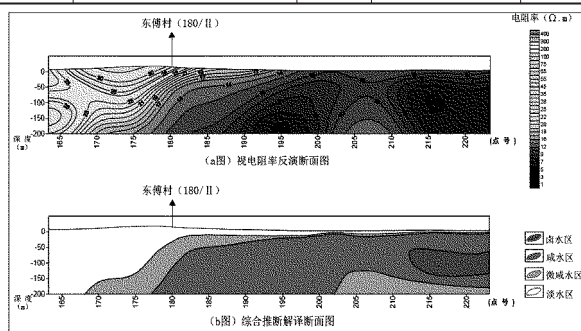


图 4 II 号线视电阻率综合断面图

### 1.3 地下水水质动态监测

通过钻孔施工成井或现有水井进行地下水水质的取样监测, 并在海咸水入侵严重地段建立长期监测

断面, 放置自动记录监测仪进行每小时 1 次的水位、水温、电导率监测。自 2000 年以来, 由于大量增加地下水的开采量, 使得区域内由广饶到东部昌邑一线区域地下水水位呈下降趋势, 其北部的浅层含水岩组 (5~20 m) 氯离子含量大于 300 mg/L, 矿化度大于 3 000 mg/L, 到 2011 年监测断面上海咸水入侵线均已向南迁移。据管清花等<sup>[3]</sup>调查成果: 南北最大入侵距离为自北向南经过昌邑市龙池镇, 入侵长度为 35.5 km, 东西最大入侵长度为 88 km。实地调查中, 监测断面上的地下水井的水质向南也是逐渐变咸, 导致许多地下水不能作为生活用水, 只能用于牲畜或工业用水, 甚至有些水井已经报废 (图 5)。

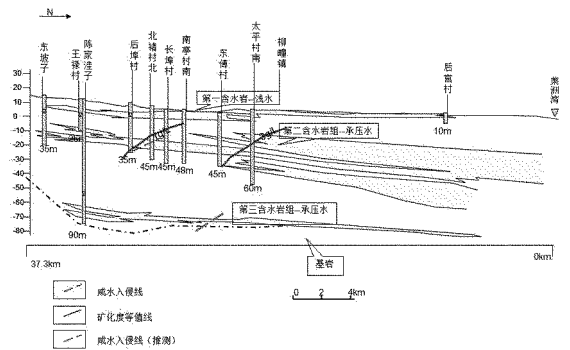


图 5 剖面 II 矿化度分布及咸水入侵剖面图

### 1.4 井(孔)三维监测

在中、深层地下水因强烈开采而导致上层海(咸)水下渗的地区, 选择代表性地段, 设置一孔多层海(咸)水与淡水(开采层)分层(段)监测孔, 监测海(咸)水下移速度。一孔多层监测孔即在一个监测井内安装不同层位的监测探头进行水质监测 (图 6)。一井多层监测井需要同时监测多个含水层组, 施工难度大, 特别是填砾止水工作关系监测井的成败, 不仅要合理控制填料速度防止堵塞, 而且要准备测量砾料面防止错层, 致使其施工难度和工程量均比常规监测井较大。因此, 该次监测井为提高其使用寿命, 预防和避免传统监测井的腐蚀、结垢和堵塞等问题, 管材选择 PVC-U 塑料管, 该材料平均内径 160 mm, 壁厚约 5 mm, 密度 1.45 kg/m<sup>3</sup>, 井管连接采用丝扣方式, 其拉力破坏极限为 12 000 N, 滤水管孔隙率为 10%~15%。该次监测井位于莱州湾南岸昌邑市西北, 该井监测层位分为 3 层, 分别为 27~36 m, 63~72 m, 139~149 m。水位埋深分别约为 18 m, 28 m 和 41 m。监测时间从 2012 年 12 月开始。在监测期内, 3 个层位的水位持续下降, 电导

率第 1 层与第 2 层变化不大,为 1.6~2.4 mS/cm 之间,第 3 层电导率值较小,均值在 0.8 mS/cm 左右,3 层电导率在监测期内持续降低,其原因初步分析可能为该监测井的地下水垂向上得到深层地下淡水的顶托与补给,受上游咸水影响较小。但其具体原因还需要长期的监测和进一步的分析,以找出更有说服力的证据。

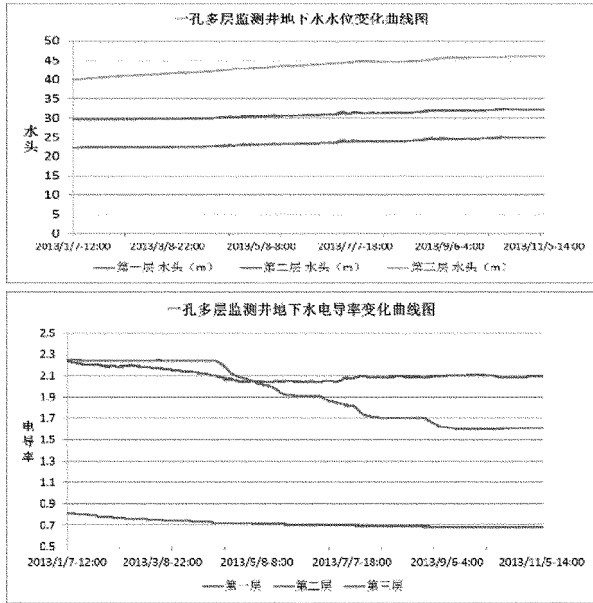


图 6 莱州湾南岸一孔多层监测井水位、电导率动态监测曲线图

## 2 海(咸)水入侵监测方法体系构建

海咸水入侵识别体系主要有 5 类:

(1)地质地貌识别体系——地理载体:海拔高不利于海水入侵,地势低洼地区易于咸水入侵<sup>[8]</sup>;第四纪地层透水岩性发育有利于咸水入侵,淤泥质含量高的第四纪地层不利于咸水入侵;基岩地区风化裂隙发育渗透性强的岩体有利于咸水入侵;河流发育,河岸地势低,海咸水易于沿着河道上溯,造成沿河两岸海咸水入侵;大的构造断层带利于海咸水入侵。

(2)气象因素识别体系——气象位置:海水位于内陆的上风口,易于造成海水雾滴被风带到内陆地区,造成海咸水入侵;风暴潮发育地区、干旱炎热地区易于发生海咸水入侵。

(3)技术方法识别体系——技术方法:现场对标志性的化学成分测试;室内对各种标志性的化学成分分析;遥感图像解释;物探电法等技术手段<sup>[9]</sup>;同位素测试,直接找出海水中的固定成分;海水与淡水

混合后,可根据部分化学成分含量固定比值来确定其来源。

(4)非技术方法识别:民访调查;味觉尝试;植物生长类型判别;水产品等动物养殖判别。

(5)其他:人为因素识别;开采量大的地区,易于造成海水入侵;盐滩、海产品养殖广布地区,易于形成海咸水入侵;灌溉较大的地区易于形成咸水入侵。

另外在海咸水入侵地区建立一个三维立体监测网<sup>[10]</sup>,空中通过不同时相的卫星遥感图像跟踪地表土壤的盐渍化和地表植被及地貌的变化(图 2),间接反映咸淡水过渡带的变化。地表土壤的盐渍化主要是受地下水变咸的影响,因此通过遥感影像对地表土壤盐渍化的跟踪监测,可以从面上圈定出地下水咸淡界面的大致范围。这是海咸水入侵监测比较重要的手段之一。

地表通过物探(EH4)探测地下咸淡水界面的变化,结合地表植被类型、地貌、地表水、土壤及土地利用的调查和当地居民的访问(图 3),EH-4 电导率成像系统采用了最新的数字信号处理器的硬、软件装置。该系统属于部分可控源与天然场源相结合的一种大地电磁测深系统,是目前国际上最为先进的电磁法勘探手段之一。由于地下水的矿化度随含水层中氯离子的增加而变大,其地层电阻率亦相应降低。地下水矿化度是影响地层电阻率的决定因素。依据咸水入侵区与电阻率之间的关系,有效测定水中的电导率,便可确定咸水入侵的变化规律<sup>[11]</sup>。再结合地表植被及地貌、土壤及土地利用和当地访问,更加有效的圈定出地下咸淡水界面的范围。

通过钻孔施工成井或现有水井进行地下水水质的监测,在海咸水入侵严重地段建立长期监测断面,放置自动记录监测仪进行每小时 1 次的水位、水温、水质监测。在咸淡水界面附近两侧进行每年 3~4 次的地下水样品采集,现场通过多参数水质监测仪获取地下水的盐度及矿化度参数<sup>[12-14]</sup>。样品采集后在实验室全面分析其地下水的物理化学成分特征变化。在通过遥感及地表物探等手段圈定出咸淡水界面范围后,对该范围内地下水水质进行监测,更准确直接地判断出海咸水入侵的范围。海咸水入侵监测三维立体监测网建设如图 7 所示。

## 3 结论

根据 2011 年地球物理探测、野外调查、民访及

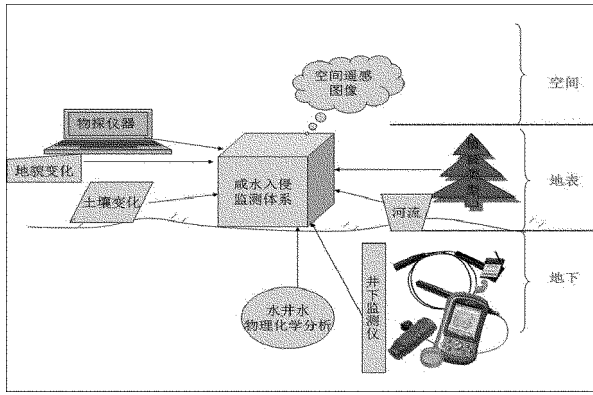


图 7 海(咸)水入侵监测技术方法体系框图

地下水样品分析结果表明,研究区海咸水入侵的界限及变化带的分布范围自 2000 年以来,由于大量增加地下水的开采量,使得该区域由广饶到东部昌邑一线区域地下水水位呈下降趋势,其北部的浅层含水岩组(5~20 m)氯离子含量大于 300 mg/L,矿化度大于 3000 mg/L,监测断面上咸水向内陆均已向南迁移。严重影响该地区地下水资源的正常使用。因此建立该地区咸水入侵识别体系及监测网对合理使用该地区的地下水资源意义重大。

### 参考文献:

- [1] 张祖陆,王琳.莱州湾南岸咸水入侵区土地利用/覆被变化驱动机理研究[J].地理科学,2007,(2):40-44.
- [2] 张祖陆,王琳.莱州湾南岸咸水入侵区土地利用/覆被变化驱动机理研究[J].地理科学,2007,(1):40-44.
- [3] 张祖陆,齐永华,聂晓红.莱州湾南岸咸水入侵区生态环境分区与生态恢复研究[J].中国人口·资源与环境,2001,11(4):102-105.

- [4] 关元秀,刘高焕.区域土壤盐渍化遥感监测研究综述[J].遥感技术与应用.2001,(3):40-44.
- [5] Reed D J.The Response of Coastal Marshes to sea Rise: Survival or Submergence[J].Earth Surface Process and Landform, 1995, 20(1):56-64.
- [6] 邓慧平,刘厚凤,李爱贞.莱州湾地区水资源问题与策分析[J].土壤与环境,2000,9(1):81-83.
- [7] 韩美,张维英,李艳红,等.莱州湾南平原古湖泊的形与演变[J].地理科学,2002,22(4):430-435.
- [8] 张绪良,谷东起,丰爱平,等.黄河三角洲和莱州湾南岸湿地植被特征及演化的对比研究[J].水土保持通报,2006,26(3):127-140.
- [9] Coastal Marsh Monitoring for Persistent Saltwater Intrusion Callie Hall, NASA Stennis Space Center,2008.
- [10] Assessing well field impacts on water quality in the Upper Floridian Aquifer in Southwest Florida, 20th salt water intrusion meeting presentation June 23 - 27, 2008 Terry Bengtsson.
- [11] Assessment of Groundwater Resources in Rmel Coastal Aquifer (Morocco) by SEAWAT A.Larabi, M.Faouzi and A.Cheng LIMEN, Ecole Mohammad d'Ingénieurs, Rabat Department of Civil Engineering, University of Mississippi, USA 2008.
- [12] 杨学明,苏永军,杜东,等.音频大地电磁法在海水入侵动态监测中的应用[J].物探与化探,2013,37(2):301-305.
- [13] Response of the groundwater system to a Base Level Drop: The Dead Sea Case Yael Kiro, Yoseph Yechieli, Vladimir Lyakhovsky, Eyal Shalev, Abraham Stravinsky 2008.
- [14] 管清花,陈学群,张婧.莱州湾南岸潍坊北部平原区咸水入侵动态变化分析[J].山东国土资源,2014,39(9):39-42.

## Construction of Sea(Salt)Water Intrusion Monitoring Techniques and Methods System in South Bank of Laizhou Bay

DU Dong<sup>1</sup>, LIU Hongwei<sup>1</sup>, LIU Zhitao<sup>2</sup>, MA Yunqing<sup>3</sup>, ZHU Xueqin<sup>4</sup>

(1.Tianjin Institute of Geology and Mineral Resources, Tianjin 300170, China; 2. Lubei Geo—engineering Exploration Institute, Shandong Dezhou 253072, China; 3.Geological Surveying and Mapping Institution of Hebei Geological Exploration Bureau of Mineral Resources, Hebei Langfang 065000, China; 4. China Geological Environment Monitoring Institute, Beijing 100081, China)

**Abstract:** Sea(salt)water intrusion is a global problem. As showed by a lot of datas, different levels sea salt water intrusion have happened in human living areas. Salt water intrusion has happened in south bank of Laizhou bay. It is showed that the saltwater intrusion interface has been gradually migrated southward. It will seriously influence normal use of the groundwater resource. Monitoring of saltwater intrusion has great significance in reasonable use of groundwater resources in this area. In this paper, monitoring method system of salt water intrusion in south bank of Laizhou Bay has been set up.

**Key words:** Salt water intrusion; monitoring technologies and methods; south bank of Laizhou Bay