

# 潍坊北部海咸水入侵特征及现状评价

蒙永辉<sup>1</sup>,傅建<sup>2</sup>,王志成<sup>2</sup>,于爱丽<sup>2</sup>

(1. 山东省地质环境监测总站, 山东 济南 250014; 2. 烟台市国土资源局, 山东 烟台 264003)

**摘要:** 潍坊北部是我国典型的海咸水入侵区, 通过资料收集、海咸水入侵专项调查、地质环境监测与实验、样品分析测试和室内综合分析研究, 基本查清了海咸水入侵发展及演化历史。工作区海咸水入侵发展过程可划分为发生和发展、快速发展、慢速发展和稳定发展4个阶段, 目前处于稳定发展期。利用2012年水质测试结果, 选取 $\text{Cl}^-$ 、矿化度、 $\text{SO}_4^{2-}$ 、 $\text{rHCO}_3^-/\text{rCl}^-$ 、 $\text{K}^+$ 等指标作为评价因子, 运用模糊数学的方法, 对潍坊北部海(咸)水入侵区入侵程度的现状做出综合评价; 结合工作区海咸水入侵的特征和现状, 针对性地提出了今后的防治重点和对策。

**关键词:** 海咸水入侵; 现状评价; 防治对策; 潍坊北部

中图分类号: X43

文献标识码: B

海咸水入侵是指由于陆地淡水水位下降而引起的大海咸水直接侵染地下淡水层的一种环境地质恶化现象, 它是由自然和社会环境中诸多因素长期共同作用的结果。结合海咸水入侵调查结果, 客观论述了潍坊北部海咸水入侵的类型、方式和空间分布特征, 分析了海咸水入侵锋线的演变历史, 根据2012年枯水期水质分析结果采用模糊数学法评价了潍坊北部海咸水入侵现状, 针对性地提出了今后的防治重点和对策。

## 1 海咸水入侵类型

根据入侵来源不同, 将研究区海咸水入侵划分为海水和咸水入侵两类<sup>[1]</sup>。其中以咸水入侵为主。

### 1.1 海水入侵

区内海水入侵是指海水沿河道上溯或风暴潮作用下的海水倒灌等现象。

#### 1.1.1 海水沿河道上溯

地表河流是风暴潮上溯的有利通道。由于入海河流下游河水直接与海水混合, 在海潮尤其是风暴潮作用下海水沿河道上溯产生海水倒灌现象, 向内陆入侵距离加大, 侵染的河水在河道中产生侧向、垂向渗漏, 从而引发海水扩散入侵, 表现在入侵锋面上

沿较大的河流均形成向内陆的凸进; 潍河为研究区最大河流, 河谷较宽, 河口区海水倒灌影响下游20 km以上范围, 是区内向内陆入侵最远的区域, 成为海水入侵的主要通道。

近年来随着河流中上游水库、塘坝等拦蓄工程的修建, 在雨量偏少的年份大大减少了沿海平原的地表径流, 进一步加剧了海水入侵灾害。

#### 1.1.2 风暴潮作用下的海水倒灌

莱州湾是一个多风暴潮海域, 一般每年都发生, 较大风暴潮灾4年左右发生一次, 风暴潮作用下的海水倒灌是沿海一带古咸水的成因和来源。因此, 其影响分为两方面: 一方面是由于海水倒灌直接破坏沿海平原的水井、植被和造成土壤盐渍化, 另一方面又是咸水入侵形成的基础。

### 1.2 咸水入侵

潍北是我国典型的咸水入侵区, 晚更新世以来的海陆环境交替沉积形成的卤水是该区咸水入侵源, 陆相古河道沉积体是咸水入侵的通道<sup>[2-3]</sup>。20世纪70年代末期以来对地下淡水超采, 淡水水位下降, 水头压力减小打破了咸淡水的动态平衡, 卤水在水头压力作用下不断向淡水区侵染<sup>[4]</sup>, 是咸水入侵的直接原因, 而盲目打井破坏了隔水层, 也在一定程度上加速了咸水入侵。

收稿日期: 2014-02-25; 修订日期: 2014-03-25; 编辑: 陶卫卫

作者简介: 蒙永辉(1980—), 男, 甘肃镇原人, 工程师, 主要从事水工环境地质勘查与研究工作; E-mail: mengyonghui1122@126.com。

## 2 海咸水入侵方式

按入侵方式和分布形态,区内海咸水入侵可分为面状、带状和越流入侵。

### 2.1 面状入侵

是较普通的入侵方式,主要发育在砂质、泥砂质滨海河谷下游平原区。由于滨海平原和河谷下游平原含水岩组多为冲积、冲洪积的砂层,含水岩组连续性、透水性好,一般呈现同一含水岩组咸、淡水并存的局面,海咸水顺含水岩组向内陆渗透,入侵体在平面上呈面状形态,剖面上呈楔状形态<sup>[5]</sup>。

### 2.2 带状入侵

第四纪沉积环境中形成的古河道为地下水的赋存提供了有利空间,也是海咸水入侵的通道,当含水岩组水位下降时,海咸水就会沿着古河道带状向内陆入侵。由于古河道含水岩组具有较强的渗透性,因此入侵速度相对于两侧较快,向内陆呈带状突进。

### 2.3 越流入侵

是区内咸水典型的入侵方式,在咸淡水同时存在的地区,当咸水层的水位高于淡水水位时,咸水便越过隔水层入侵淡水层。沿岸河海积平原区海相沉积与河流相沉积互层,由于其间隔水层薄或隔震性能弱,致使海相层中的咸、卤水运移到含淡水的河流相砂层中形成次生咸卤水,当地利用竖井开采古河道地下淡水时,由于钻孔深度不合理,井壁封闭效果差或老化,过量抽水时,造成地下咸水通过井孔浸染古河道地下淡水,从而形成越流入侵。

除上述3种主要的入侵方式外,当相邻古河道间有水力联系时会发生侧向入侵;沿河道上溯的海咸水向两侧产生侧向入侵。

## 3 海咸水入侵空间分布特征

### 3.1 海咸水入侵的平面分布特征

参照国际和国内通用标准并结合工作区实际:以 $\text{Cl}^-$ 浓度 $250\text{ mg/L}$ 作为海咸水入侵的指标,截至2012年底,研究区浅层入侵锋线分布于台头镇—田柳镇—上口镇—留吕镇—高里镇—双台村—昌邑市围子街办以北一线,入侵面积达 $2\,853.30\text{ km}^2$ ,占潍坊市陆域面积的23.93%。

### 3.2 海咸水入侵的垂向分布特征

在研究范围内海咸水入侵体在垂向上主要有两种赋存特征,形成了工作区上咸下淡、上淡中咸下淡的两元和三元水质结构。

研究区由北往南,上咸下淡的两元水质结构主要分布于工作区北部,上层咸水的底板埋深一般在 $120\sim 300\text{ m}$ 左右,咸水底板分布有连续且厚度大于 $20\text{ m}$ 的粘性土隔水层,在隔水层下部赋存有松散岩类孔隙淡水( $M\leq 1\text{ g/L}$ )、微咸水( $1 < M\leq 3\text{ g/L}$ );上淡中咸下淡的三元水质结构主要分布于海咸水入侵体的前缘区域,其中浅层淡水主要分布在 $20\text{ m}$ 以浅,中层咸水分布于 $20\sim 60\text{ m}$ ,下层淡水分布于 $80\text{ m}$ 以下。

## 4 海咸水入侵历史

### 4.1 海咸水入侵的形成和发展

根据以往资料研究分析,自1976年发生海咸水入侵以来,区内海咸水入侵过程大致可分为以下4个阶段:

#### 4.1.1 1976—1985年为发生发展阶段

1976年以前工作区地下水流场处于天然径流状态,1976年后由于降水量偏少、蒸发量加大和工农业需水量的急剧增加,引起地下水位下降,水质季节性变咸,预示海咸水入侵即将开始,1980年寿光市牛头镇和留吕镇(寿光市水源地)出现了2个地下水降落漏斗,漏斗中心水位分别低于海平面以下 $1.71\text{ m}$ 和 $0.62\text{ m}$ ,水质开始恶化,海咸水入侵开始<sup>[6]</sup>。入侵发生初期,入侵速率较慢,入侵面积较小,以局部入侵为主。1983—1985年,入侵面积逐渐扩大,入侵范围由局部向区域发展,入侵锋线逐渐向南推移。

#### 4.1.2 1986—1990年为快速发展阶段

进入这一时段,寿光市牛头镇和留吕镇2个地下水降落漏斗相继加深和扩展,并与潍寒漏斗、昌邑漏斗连成“V”形漏斗群。漏斗群北部边界与咸水区相连接,由原来的局部发展到区域性海咸水入侵,1990年末,入侵面积达 $1\,623.20\text{ km}^2$ 。

#### 4.1.3 1990—2000年为慢速发展阶段

这一时段入侵速度相对变慢,到2000年末,入侵区总面积达 $2\,264.38\text{ km}^2$ ,比1990年增加了 $641.18\text{ km}^2$ 。

4.1.4 2000—2012年为稳定发展阶段

2012年末,海咸水入侵线沿寿光市台头镇马家庄—田柳镇崔家村—侯镇解家庄子—寒亭区高里镇桥西村—寒亭区潘家庵村—昌邑市龙泉镇王范庄村—围子镇天成店村—线展布,最大入侵前锋线在寒亭高里镇—昌邑双台以及昌邑市围子镇。累计入侵区总面积达2 481.70 km<sup>2</sup>,比2000年增加了217.32km<sup>2</sup>。

4.2 近年来海咸水入侵锋线的演化

区内海咸水入侵界线主要有2000年、2005年、2008年、2009年、2010年和2012年6期,通过6期海咸水入侵锋线资料可知(图1):自20世纪70年代末期发现至2000年,海咸水入侵总面积累计达2 264.38km<sup>2</sup>(矿化度大于3 g/L);和2000年相比,2005年海咸水区面积比2000年增加了489.42 km<sup>2</sup>,入侵速率平均每年97.88 km<sup>2</sup>;和2005年相比,2006—2010年海咸水入侵面积减小了588.39 km<sup>2</sup>,平均每年入侵面积减小117.68 km<sup>2</sup>,2012年海咸水入侵面积为2481.70 km<sup>2</sup>,比2010年增加了216.29 km<sup>2</sup>,增加的部分主要位于昌邑北部一带,增加原因是由于昌邑南部地下水的开采和矿坑排水量的增加引起的。

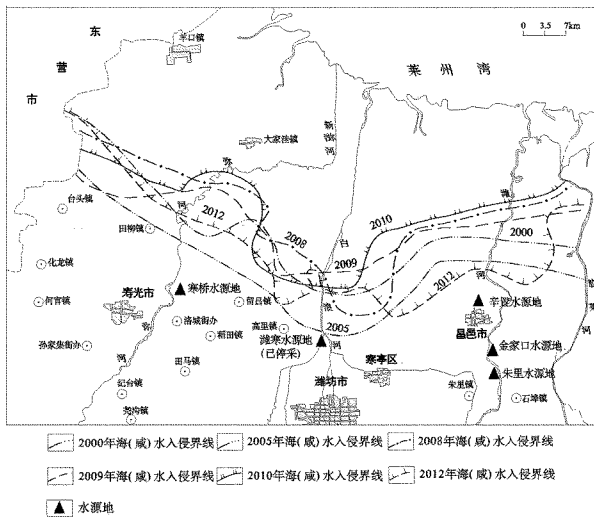


图1 潍坊北部海咸水入侵锋线历史变迁图

5 海咸水入侵现状评价

根据工作区地下水2012年枯水期水化学测试结果,选取Cl<sup>-</sup>,矿化度,SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>,rHCO<sub>3</sub><sup>-</sup>/rCl<sup>-</sup>,K<sup>+</sup>等指标作为评价因子,运用模糊数学的方法,对潍坊北部海

咸水入侵区入侵程度的现状做出综合评价<sup>[7]</sup>。

参照中华人民共和国地下水水质标准,根据海咸水入侵区地下水水质特点及评价区的实际情况和监测条件,将海咸水入侵程度分为4级(表1),通常所说的咸淡水界处于I,II级之间。

表1 海咸水入侵程度的等级划分

项目	I级	II级	III级	IV级
入侵程度	无或轻度污染	轻度污染	较严重污染	严重污染
水质范围	影响淡水	微咸水	微咸水	咸水及盐水

根据海咸水入侵区地下水水化学特征,对选用的5项评价因子同时使用4级评价标准。结合相关的水质标准,并且参考已有的海咸水入侵等级划分,所采取的具体指标评价等级范围及代表值如表2所示。

表2 海咸水入侵具体指标的等级划分及代表值 mg·L<sup>-1</sup>

指标	I级		II级		III级		IV级	
	等级范围	代表值	等级范围	代表值	等级范围	代表值	等级范围	代表值
Cl <sup>-</sup>	<250	100	250 ~ 600	400	600 ~ 1500	800	>1500	2200
矿化度(M)	<1000	500	1000 ~ 2000	1500	2000 ~ 3000	2500	>3000	3500
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	<75	50	75 ~ 150	100	150 ~ 200	200	>250	300
rHCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> /rCl <sup>-</sup>	<2	1	2 ~ 4	3	4 ~ 10	6	>10	14
K <sup>+</sup>	<20	10	20 ~ 50	35	50 ~ 100	200	>250	300

通过评价,由图2可知,工作区由北往南入侵程度逐渐减弱,工作区北部为咸水、盐水和卤水分布区,入侵程度为严重污染区,分布面积2 269.88 km<sup>2</sup>,往南依次为入侵程度较严重污染区、轻度污染区和无污染区,面积分别为336.86 km<sup>2</sup>,246.56 km<sup>2</sup>和2 316.75 km<sup>2</sup>。

6 海咸水入侵发展趋势预测

区内具备海咸水入侵的通道,在自然和人为因素影响下经历形成、发展和缓解3个时期,目前处于相对稳定阶段。未来海咸水入侵的发展趋势仍取决于大气降水、地下水开采等主要影响因素的发展趋势。另外,气候变暖、海平面升高是该区海咸水入侵的全球环境背景。

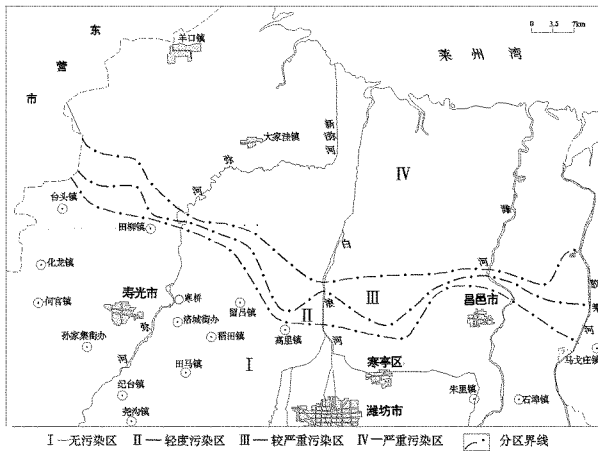


图2 潍坊北部海咸水入侵程度现状评价图

### 6.1 自然和人为因素影响分析

#### 6.1.1 大气降水周期分析

根据1951年至2012年61年逐年降雨量统计(图3),潍坊北部滨海平原区多年平均降雨量在600 mm左右,年际间变化较大,最大年出现在1964年,降雨量为1 234.8 mm,最小年降雨量出现在1981年,降雨量为310.8 mm,1980—1989年连续10年干旱,汛期降雨量比历年同期减少20.2%;1990—1999年10年间降雨量大于600 mm的年份出现在1990年、1993年、1995年,其余均小于600 mm,这10年间处于相对干旱期;2000—2009年10年间2001年、2003年、2004年、2005年、2007年和2008年年降雨量均大于600 mm,这10年间降雨量相对较充沛。由此变化趋势可见:2010—2019年又将进入降雨相对较少期(2010年、2011年和2012年仅2011年降雨量为692.35 mm)。

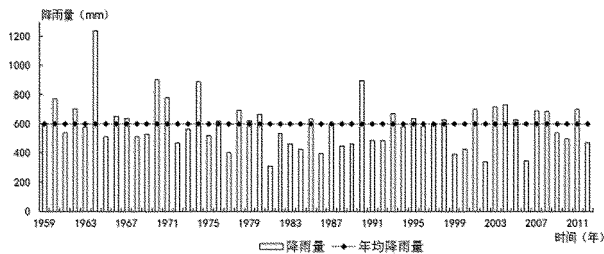


图3 潍坊北部多年降雨量曲线图

#### 6.1.2 区域水资源均衡分析

潍坊北部,海咸水入侵南部目前分布有寒桥水源地、南金口水源地、朱里水源地和辛置水源地,根据1:10万水工环综合调查报告中地下水均衡计算,除辛置水源地处于超采状态外,其余水源地均具有一定的开采潜力,根据潍坊市供水规划,未来潍坊北

部主要以利用黄河水、峡山水库等地表水源,地下水的开发利用强度将逐渐减小。

#### 6.1.3 海平面变化趋势分析

依据IPCC研究分析,20世纪70年代以来中国海平面的变化有3个升高阶段,1971—1975年为第1个上升期,相对海平面从-3.9 cm上升到7.5 cm,升幅达11.4 cm;第2个上升期是1978—1983年,相对海平面从-2.6 cm上升到7.5 cm,升幅达10.1 cm;1986—1995年为第3个上升期,相对海平面从-2.5 cm上升到13.6 cm,升幅达16.1 cm。预测该世纪2030年全球海平面将上升18 cm,2070年预计上升44 cm,2100年将上升66 cm。海平面上升将抬高咸水位,加重风暴潮灾害,在一定程度上也将加剧海咸水入侵灾害。

### 6.2 海咸水入侵发展趋势预测

上述分析可知,在实施客水引源后,区域水资源紧张得到一定的缓解,地下水源地大部分处于采补平衡状态,目前海水入侵处于相对稳定阶段,随着北部卤水资源的大幅开采,以及位于白浪河冲洪积扇区域的潍寒水源地停采后,海水入侵甚至出现好转的趋势。但随着社会经济的发展,水资源供需矛盾依然存在,南部冲洪积平原区浅层地下水已出现大面积的疏干,在未来大气降水仍将处于较少期,海平面持续上升的预期下,海水入侵灾害防治的形势依然严峻,在具备水动力条件下,水平方向上仍存在向南扩展的压力。

垂向越流(串层)入侵形势依据严峻,如不及时采取针对性的防治措施,海水入侵对北部深层淡水、微咸水资源的影响将趋于恶化。

## 7 防治对策

海咸水入侵是潍北沿海地区最主要的地质环境问题。目前国内外海咸水入侵的防治理论较为成熟,区内前期也针对海咸水入侵采取了相关措施,并取得了一定的成效,如寿光市的弥河利用汛期大量雨洪,实施引水回灌,抬高地下水位,取得了较好的效果;潍寒水源地停采有效地遏制海水入侵的南扩。

借鉴国内外成熟的防治经验,结合区内海咸水入侵的现状和发展趋势,研究适合该区实际的防治对策,力求防治工程的可行性和系统性。

(1)结合海咸水入侵监测工程,合理调蓄地下

水,全面控制海咸水入侵。

(2) 规范和控制深层淡水、微咸水开采,实施废弃开采井封堵工程,防止咸水越层、串层侵染。

(3) 合理规划海岸带咸卤水开采,规范盐化工和海水养殖业,防治海咸水入侵的同时,逐步实施海岸生态恢复工程。

(4) 建立和保护河口海岸湿地和生态系统。

## 参考文献:

- [1] 孟广兰,韩有松,王少青. 莱州湾南岸海水入侵类型及其分区[J]. 黄渤海海洋,1997,15(2):25-30.
- [2] 张铭汉,于洪军,单秋美. 莱州湾地区海水入侵通道的研究

[J]. 海洋科学,1999,(41):33-39.

- [3] 韩美,赵明华,李道高,等. 莱州湾南岸平原古河道及其与海(咸)水入侵关系研究[J]. 自然灾害学报,1999,8(2):73-80.
- [4] 韩非,薛禹群,吴吉春,等. 莱州湾南岸咸水入侵条件下地下水的水化学特征与卤水形成[J]. 地质论评,2001,47(1):102-108.
- [5] 孙晓明,徐建国,杨齐青,等. 环渤海地区海(咸)水入侵特征与防治对策[J]. 地质调查与研究,2006,29(3):203-211.
- [6] 范维星,王兰中,韩树红,等. 潍坊市北部沿海地区海咸水入侵灾害及防治对策[J]. 山东地质,2001,17(1):46-51.
- [7] 苏乔,于洪军,徐兴永,等. 莱州湾南岸海水入侵现状评价[J]. 海岸工程,2009,28(1):9-14.

# Characteristics and Evaluation of Present Condition of Sea Salt Water Intrusion in Northern Weifang City

MENG Yonghui<sup>1</sup>, FU Jian<sup>2</sup>, WANG Zhicheng<sup>2</sup>, YU Aili<sup>2</sup>

(1. Shandong Monitoring Center of Geological Environment, Shandong Jinan 250014, China; 2. Yantai Bureau of Land and Resources, Shandong Yantai 264003, China)

**Abstract:** Northern Weifang city is near the southern coastal area of Laizhou city. It is a typical sea salt water intrusion area in China. In this paper, present condition the mechanism of sea salt water intrusion in northern Weifang city have been studied. Through data collection, special investigation of sea salt water intrusion, geological environmental monitoring and testing, the sample analysis test and indoor analysis, development and evolution history of salt water intrusion have been found out. Sea salt water intrusion development process in this area can be divided into 4 stages: the occurrence and development stage, rapid development stage, slow development stage and stable development stage. At present it is in the stable development stage. By using the test result of water quality in 2012, choosing  $\text{Cl}^-$ , salinity,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{rHCO}_3^-/\text{rCl}^-$  and  $\text{K}^+$  as evaluation factors, using the method of fuzzy mathematics, present condition of sea (salty) water intrusion in northern Weifang city has been evaluated comprehensively. Combining with the characteristics and present condition of sea salt water intrusion in work area, countermeasures for preventing sea salt water intrusion in the future have been put forward.

**Key words:** Sea salt water intrusion; evaluation on present conditions; prevention countermeasures; northern Weifang city