

文章编号: 1009 - 0258(2000)04 - 0045 - 05

\*

# 龙口市海水入侵灾害及防治对策

姚春梅<sup>1</sup>, 颜景生<sup>1</sup>, 范庆祥<sup>2</sup>, 成德军<sup>2</sup>

(1. 山东省地质环境监测总站, 山东 济南 250014; 2. 山东省龙口市地质矿产局, 山东 龙口 265701)

摘要: 介绍了龙口市滨海平原区因超量开采地下水而引发的海水入侵灾害, 对其发育现状、危害程度及形成原因进行了分析, 并提出了防治对策。

关键词: 海水入侵; 超采地下水; 防治对策; 山东龙口

中图分类号: P333.1; X820.3 文献标识码: A

龙口市为山东省沿海重要开放城市, 拥有长 63.38km 的海岸线, 滨海平原区面积 412.41km<sup>2</sup>, 占全市总面积的 46.4%。滨海平原区第四系孔隙水广泛分布, 长期以来一直作为当地人民生活 and 工农业生产的主要供水水源。但是, 近年来因超量开采地下水而引发了海水入侵, 这一灾害不仅严重破坏了自然生态环境, 而且影响到当地人民的生产和生活。因此, 对滨海平原区海水入侵灾害的发育现状、危害程度及形成原因进行调查, 并提出防治对策, 对于该市经济的可持续发展具有重要的现实意义。

## 1 海水入侵现状

龙口市海水入侵始于 70 年代中期, 80 年代期间发展迅速, 目前已成为分布范围广、影响大的地质灾害。

### 1.1 发展演化过程

龙口市海水入侵大致经历了两个时期: 1975 ~ 1980 年为发生期, 海水入侵以点状分布为主, 入侵距离较短; 1981 年至今为发展期,

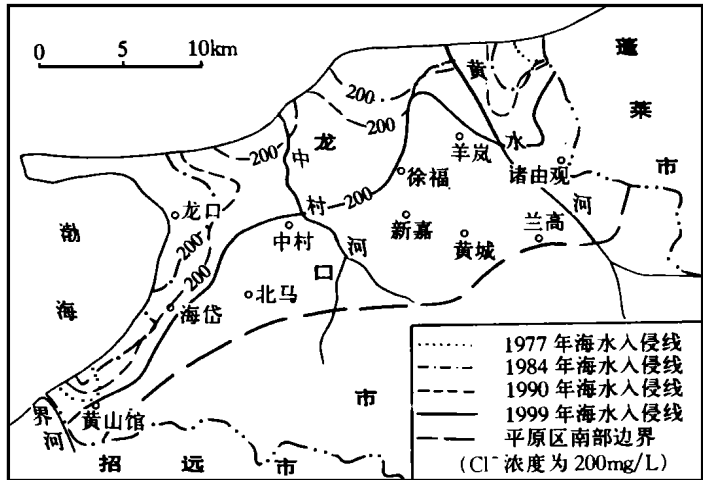


图 1 龙口市滨海平原区 1977 ~ 1999 年海水入侵发展演化图

Fig. 1 Location variations of seawater intrusion in plain area of Longkou city near Bohai sea from 1977 to 1999

\*收稿日期: 2000 - 07 - 08; 修订日期: 2000 - 12 - 10; 编辑: 游文澄

作者简介: 姚春梅(1967 - ), 女, 山东曹县人, 高级工程师, 主要从事环境地质调查与研究。

受各种因素的影响,海水入侵在规模和程度上发展较快,并逐渐形成区域海水入侵区(图1)。

不同年份同一时间(6月)监测资料表明,不同时段海水入侵范围和强度有所差别(表1),这与当时的降水条件、开采状况等密切相关。从 $\text{Cl}^-$ 浓度 $200\text{mg/L}$ 等值线圈定的海水入侵范围来看,自1975年至1998年,本区海水入侵面积从无扩展到 $105.0\text{km}^2$ ,入侵速率为 $4.57\text{km}^2/\text{a}$ ,入侵区 $\text{Cl}^-$ 含量最高值也由 $0.2\text{g/L}$ 递增至 $17.2\text{g/L}$ ,可见海水入侵速度发展很快。

表1 龙口市1975~1998年不同时段海水入侵情况

Table 1 Seawater intrusion situation in different period from 1975 to 1998 in Longkou city

时段 (年)	入侵面积( $\text{km}^2$ )		入侵速率 ( $\text{km}^2/\text{a}$ )	最大入侵距离 (km)
	范围	递增值		
1975~1984	0~64.5	64.5	7.17	3.1
1984~1988	64.5~78.4	13.9	3.48	4.6
1988~1993	78.4~96.4	18.0	3.60	5.3
1993~1998	96.4~105.0	8.6	1.72	5.9

## 1.2 分布现状

1999年10月中旬曾对龙口市地下水水质进行监测,结果显示,海水入侵锋面位置在黄山馆镇驻地—海岱镇孟家楼—徐福镇洼里—羊岚镇曲谭—诸由观镇唐家集一线,最大入侵距离 $6\text{km}$ ,入侵面积 $135.2\text{km}^2$ ,占滨海平原区总面积的 $32.8\%$ 。其中海侵面积超过 $20\text{km}^2$ 的有徐福镇、龙口开发区和中村镇。

## 1.3 海水入侵区地下水水化学特征

龙口市滨海平原区未受海水入侵和人为污染的地下水为 $\text{HCO}_3^- \cdot \text{Cl}^- \cdot \text{Ca} \cdot \text{Mg}$ 型或 $\text{HCO}_3^- \cdot \text{Cl}^- \cdot \text{Ca}$ 型,水的化学成分以 $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$ 和 $\text{HCO}_3^-$ 为主,矿化度一般小于 $300\text{mg/L}$ 。受海水入侵影响,地下水中 $\text{Cl}^-$ 和 $\text{Na}^+$ 含量增加, $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$ 和 $\text{HCO}_3^-$ 的含量相对降低,形成混合型水(其中阴阳离子对含量没有一个超过 $50\%$ )。这是滨海平原区分布最普遍的一种地下水类型,即 $\text{Cl}^- \cdot \text{HCO}_3^- \cdot \text{Ca} \cdot \text{Na}$ 型或 $\text{Cl}^- \cdot \text{HCO}_3^- \cdot \text{Ca} \cdot \text{Mg}$ 型水,其矿化度为 $250 \sim 1000\text{mg/L}$ 。在海水入侵严重地段,水中 $\text{Cl}^-$ 含量大幅度增加,其增幅远大于 $\text{Na}^+$ ;而当水中 $\text{Na}^+$ 含量急剧增加,矿化度高达 $6.9 \sim 17.4\text{g/L}$ 时,则成为 $\text{Cl}^- \cdot \text{Na}$ 型咸水。

## 2 海水入侵造成的危害

### 2.1 降低土壤生态系统功能

海水入侵首先使地下水含盐量增高,从而破坏了地下水环境。如果长期使用咸化水浇灌土地,必然会降低土壤生态系统功能。

1999年10月,该区沿垂直海水入侵锋面布设了两条土壤易溶盐分析监测断面,每条断面上按海水入侵区与非入侵区(土壤类型相似)分别设置了两个监测点,分析结果表明:海水入侵区土壤的含盐量高于非海水入侵区,前者的全盐量为后者的 $2 \sim 3$ 倍(表2)。

表 2 1999 年 10 月海水入侵区与非入侵区土壤易溶盐分析结果  
Table 2 Analysis results of easy - soluted salt in sea water intrusion area  
and unintrusion area in October, 1999

监测点	分析结果 (mg/100g)									备注
	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	HCO <sub>3</sub>	NO <sub>3</sub>	全盐量	
小孙庄—	3.6	38.0	23.6	21.5	85.5	83.8	18.4	35.9	310.3	海水入侵区
王格庄	1.9	3.5	23.6	10.8	19.0	14.4	24.5	16.8	114.5	非海水入侵区
柳海	1.4	13.0	2.0	9.6	35.0	13.8	6.1	0.4	80.9	海水入侵区
	1.4	4.0	7.9	4.8	6.8	3.5	6.1	3.8	38.3	非海水入侵区

## 2.2 土壤盐渍化影响农业生产

海水入侵区通常是农业高产区。海水入侵使得地表土壤盐渍化,受其影响,多数农田减产 20%~40%,严重的达到 50%~60%,个别达到 80%甚至绝产。据 1989 年统计,龙口市海水入侵区受害程度为:粮食作物 2514ha,减产 12347t;油料作物 733ha,减产 1120t;果园 713ha,减收水果 3730t。经济损失达 1592 万元。

另外,海水入侵还使区内地下水水质变差,供水能力降低,造成许多机井、扬水站报废。如 1989 年黄山馆镇即报废 6 个扬水站,经济损失达 600 余万元。

## 2.3 水质恶化影响工业生产

海水入侵导致滨海平原区地下水水质日趋恶化,从而影响该区的工业生产,主要表现为:水质恶化使得原有水源地水井报废,另建水源地不仅需要大量资金,而且因为输水距离增加而加大了生产成本;地下水中 Cl<sup>-</sup> 含量增加,总硬度升高,水质下降,不仅增加了水处理费用,同时也降低了产品质量;生产用水因含盐量增高,致使设备严重锈蚀,缩短了使用年限。

# 3 海水入侵形成原因

地下水长期超采导致区域地下水位持续下降,产生负值降落漏斗,这是海水入侵及大规模形成的主要原因<sup>[1]</sup>;连续枯水年使得地下水补给量减少,则是海水入侵的又一原因。

## 3.1 过量开采地下水

龙口市滨海平原区第四系孔隙水含水层分布连续,富水性较强,开采条件优越。但近年来该平原区地下水开采强度居高不下,长期处于超采状态。据统计,1986~1993 年,本区东部黄水河富水区地下水年均超采 156 万 m<sup>3</sup>,西部中村河富水区地下水年均超采 1222 万 m<sup>3</sup>,全区地下水总超采资源量为 1378 万 m<sup>3</sup>/a。到了 90 年代后期,由于修建了黄水河地下水库和采取了调控措施,地下水开采量才得到控制并有所减少。以 1999 年为例,龙口市滨海平原区地下水实际开采量为 10167 万 m<sup>3</sup>/a,与其多年平均开采资源量 10491 万 m<sup>3</sup>/a 相比,尚有 324 万 m<sup>3</sup>/a 的剩余开采资源量,基本处于采补平衡状态。即便如此,由于该区地下水开采强度分布不均(黄水河富水区尚有一

定开采潜力,中村河富水区则严重超采(表3),因此其采补平衡只是暂时的,长期超量开采终将导致海水入侵。

表3 龙口市中村及黄水河流域地下水开采强度及开采潜力分析

Table 3 Exploitation degree and potentiality analysis of underground water in Zhongcun river - Huangshui river drainage area in Longkou city

水文地质区	含水层基本情况		富水区面积 (km <sup>2</sup> )	开采资源 (万 m <sup>3</sup> /a)	开采资源量 模数(万 m <sup>3</sup> /a·km <sup>2</sup> )	1999年实 际开采量 (万 m <sup>3</sup> /a)	剩余开采 资源量 (万 m <sup>3</sup> /a)	开采潜 力分析
	层数	厚度(m)						
中村河富水区	2~5	11~23	204.0	4488	22	6228	-1740	超采
黄水河富水区	1~2	7.4~27.0	133.4	6003	45	3939	2064	尚有潜力

另外,南部低山丘陵区地下水基本上处于采补平衡状态,这就意味着滨海平原区地下水得不到充分补给。因此,当这一地区地下水被大量开采时,势必要大量消耗静储量,造成地下水位持续下降,产生大范围地下水位负值漏斗区,进而导致大规模海水入侵。

### 3.2 连续枯水年

干旱年份降水量偏小,而地下水开采量反而增大,因此势必造成地下水位下降速率增大,海水入侵速度也变大。例如,1981~1989年为连续干旱年,年平均降水量为471.8mm,占多年平均降水量的80%,龙口市海水入侵就主要发生在这段时间内。其中1986~1989年为连续特枯年份,年平均降水量为381.9mm,占多年平均降水量的64.9%,在这段时间里海水入侵发展最为迅速。

## 4 防治对策

水资源是社会经济可持续发展的重要支撑。随着社会与经济的发展,水资源开发的经济成本和环境成本也在不断提高,水资源问题已经引起社会各界的普遍关注。海水入侵给龙口市滨海平原区经济建设带来的危害是显而易见的,为了协调好地下水开发与海水入侵的关系,管好用好有限的水资源,实现社会效益、经济效益、资源效益与环境效益的统一,必须采取行之有效的防治措施。

### 4.1 合理开发利用水资源

超量开采地下水是龙口市滨海平原区引发海水入侵的主要原因,为了把海水入侵限制在最小范围,必须做到合理开发利用水资源。首先要立足于节约水资源,为此不仅要建立起节水型城市和节水型工农业生产体系,而且还要大力推广节水灌溉技术和工业节水新技术,尽量减少地下水开采量;其次要充分发挥黄水河、中村河富水地段的调蓄作用,合理调整地下水开采布局,严格控制地下水开采量,最大限度地提高水资源的有效利用率;再就是要采取回渗补源措施,截夺入海地表径流,以保证本区具备充足的地下水补给源。

### 4.2 科学管理水资源

应在现有水资源和海水入侵监测系统的基础上,运用系统工程理论,建立起以海

水入侵作为约束条件的水资源管理模型,以加强对水资源的科学管理。流域内水资源的开发利用,也要实行统一规划、统一调度、统一管理。同时,还要加强对海水入侵的监测和研究,加强预报预警系统的建设,及时掌握海水入侵灾害的演变趋势和危害程度,将海水入侵造成的损失降低到最小程度。

#### 4.3 建造拦蓄工程和地下水库,蓄淡阻咸

建造拦蓄工程和地下水库是防止海水入侵、调蓄流域水资源的重要防治措施。在河流的有利地段建造地下水坝,形成地下水库,可拦蓄地下径流;在海岸带附近修建地下水截水墙,可有效地阻止海水入侵;地上拦水坝、渗井、渗渠等拦蓄补源配套工程的修建,可提高水资源利用率。总之,这些拦蓄工程和地下水库具有蓄淡阻咸的功能,是滨海平原地区开发利用地下水资源的重要设施。例如,1995年竣工的黄水河防渗板墙,其形成的地下水库总库容达 5359 万  $m^3$ ,最大调节库容达 3329 万  $m^3$ ,可使 180 $km^2$  区域内的地下水平均回升 2.5m,从而成为龙口市可靠的供水基地。

#### 4.4 适时兴建跨流域引水工程

本区缺水已成定局,为减少海水入侵危害,适时兴建跨流域引水工程是必要的。目前,引黄济烟工程正在实施,南水北调东线工程亦已通过论证。客水的引进不仅可减少当地的地下水开采量,而且通过回灌补源还可抬高地下水位,在沿海一带形成高水位淡水帷幕以防止海水入侵。

### 参考文献:

- [1] 段永侯,罗元华,等.中国地质灾害[M].北京:中国建筑工业出版社,1993.

## Present Condition and Protection Countermeasures of Sea water Intrusion in Longkou City

YAO Chun - mei<sup>1</sup>, YAN Jing - sheng<sup>1</sup>, FAN Qing - xiang<sup>2</sup>, CHENG G De - jun<sup>2</sup>

(1. Shandong Monitoring Center of Geological Environment, Shandong, Jinan 250013, China; 2. Longkou Bureau of Geology and Mineral Resources, Shandong, Longkou 265701, China)

**Abstract:** Hazard of seawater intrusion caused by over - exploitation of underground water in plain area of Longkou city near the Bohai sea has been introduced in this paper. Its present condition, hazard degree, developing trend and cause also analysed, and protection countermeasures put forward as well.

**Key words:** Seawater intrusion; over - exploitation of underground water; protection countermeasures; Longkou city in Shandong province