

# 黄河三角洲南部地下水环境问题与对策

张波<sup>1</sup>, 刘桂仪<sup>2</sup>, 范立芹<sup>3</sup>, 董作森<sup>4</sup>

(1. 中国矿业大学北京校区, 北京 100083; 2. 鲁北地质工程勘察院, 山东 德州 253015; 3. 山东省地矿工程勘察院, 山东 济南 250014; 4. 山东省第七地质矿产勘查院, 山东 临沂 276006)

**摘要** 黄河三角洲南部地区因大规模开采地下水存在地下水资源枯竭、水质污染、咸水入侵、地面沉降、地裂缝等水环境问题, 应通过地下水调蓄和污染源治理等予以解决。

**关键词** 地下水 环境问题 对策 黄河三角洲

中图分类号 P343.5; X143 文献标识码 A

## 1 区域水文地质概况

黄河三角洲南部位于泰沂山区北麓山前冲洪积平原前端与黄河三角洲交接地带, 地下水主要赋存并运动于第四纪及新近纪松散沉积物中, 沉积物主要是南部河流搬运而来。依据地下水的埋藏条件、水力性质, 该地区地下水可分为浅层微承压水 and 中深层承压水 2 个类型。

浅层地下水在广饶县的颜徐—稻庄镇以南为淡水, 以北则逐渐过渡为咸水。含水层受淄河近代沉积的影响, 呈条带状分布, 岩性为粉砂、细砂, 局部为中粗砂。颗粒自南向北、自下而上由粗变细。一般有 3~4 个较稳定的含水层, 单层厚度 3~6 m, 累计厚度 10~15 m, 单井涌水量 10~15 m<sup>3</sup>/h。浅层地下水主要接受河流侧渗和大气降水入渗补给, 天然状态下自南向北径流, 平均水力坡度 5‰, 人工开采和垂向蒸发是主要排泄形式。20 世纪 80 年代后, 由于浅层地下水大量超采, 地下水位持续下降, 改变了地下水自南向北径流排泄的天然流场, 呈现出向漏斗中心汇流的特征。南部淡水区地下水矿化度为 600~800 mg/L, 水化学类型为 HCO<sub>3</sub>-Ca·Mg; 北部咸水区矿化度为 3 000~5 000 mg/L, 水化学类型为 Cl-Na。

受沉积环境的影响, 中深层地下水在广饶县颜徐—稻庄镇以南为全淡水区的单一结构, 以北则为

上咸一下淡的二元水质结构。淡水顶界面由西南向东北倾斜, 含水层岩性为细砂与中砂, 厚度自南向北变薄, 一般 20~30 m, 具有区域稳定和连续性特点。单井涌水量 40 m<sup>3</sup>/h, 地下水矿化度小于 1 000 mg/L, 水化学类型为 HCO<sub>3</sub>-Ca·Mg 型。中深层地下水主要接受南部淄河冲积扇上游地区的侧向径流补给, 受人工开采的影响, 已形成了以广饶县城为中心的区域降落漏斗。

## 2 地下水资源开发利用现状

区内地下水的大规模开发利用始于 20 世纪 70 年代中期的抗旱打井。目前, 区内机井总数约 8 600 眼, 其中浅机井 8 200 眼, 井灌区机井密度 23.4 眼/km<sup>2</sup>。浅层地下水的开采集中在南部淡水分布区, 具有开采地区集中, 含水层位集中和开采时间集中的特点。1986—1999 年, 年均开采量为 82.792 × 10<sup>6</sup> m<sup>3</sup> (图 1), 主要用于农业灌溉和农村人畜用水。该区浅层地下水可采资源量仅为 62.6203 × 10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>/a, 现已处于严重超采状态, 属于禁止开采区。中深层地下水的开采主要集中在广饶城区、草桥及西刘桥等地, 年均开采量 1 669.48 m<sup>3</sup>/a。其全淡水区属可增强开采区, 二元结构区则为控制开采区<sup>[1]</sup>。根据水利部门制定的用水规划, 2010 年工农业总需水量达 3.4 × 10<sup>8</sup> m<sup>3</sup>/a, 农业需水量与现状年基本持平, 工业用水和城镇生活用水将大幅度增加, 水资源

\*收稿日期 2004-06-01; 修订日期 2004-07-20; 编辑 王先起

作者简介 张波(1967-)男, 山东垦利人, 高级工程师, 主要从事地质矿产勘查管理工作。

供需矛盾将更加突出。

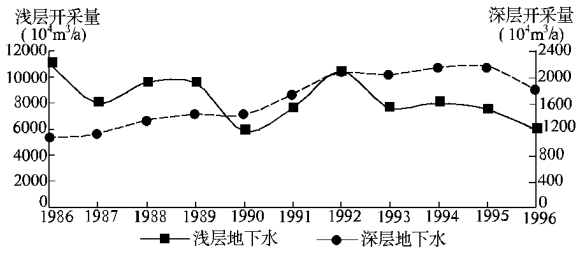


图1 1986—1996年地下水开采量曲线图

### 3 主要水环境问题

#### 3.1 区域性地下水超采漏斗

黄河三角洲南部地区 20 世纪 70 年代初期 地

下水位标高由南向北从 20m 左右逐渐变为 2m ,基本处于天然状态。此后随着大规模的机井建设 ,浅层地下水开采强度增大 ,地下水位逐年下降。至 1980 年已形成了以广饶县稻庄镇为中心和以石村镇为中心的两个降落漏斗。1980 年以后漏斗中心逐渐南移 ,两漏斗连通 ,形成了以稻庄、花园为中心的东西向槽状漏斗。在漏斗中心区 ,1975—1997 年 22 年间地下水位下降了 28 m ,年均下降 1.27 m。据 2001 年监测资料 ,漏斗中心最大水位埋深达 32 m ,水位标高 - 16.59 m( 图 2 )。地下水负值区面积已达 306.85 km<sup>2</sup>。区域地下水超采漏斗的不断扩展 ,使区内地下水流动场发生了变化 ,其结果 :一是北部地下水反向流动造成咸水入侵 ;二是上部潜水含水层逐渐被疏干 ,下部微承压水则变为无压潜水 ,资源枯竭 ,单井涌水量由 20 世纪 80 年代初的 40 ~ 60 m<sup>3</sup>/h 降到目前的 15 ~ 25 m<sup>3</sup>/h ,水量削减 1/2 ~ 2/3 ,大量浅机井抽水吊泵报废 ;三是诱发地面沉降等地质灾害。

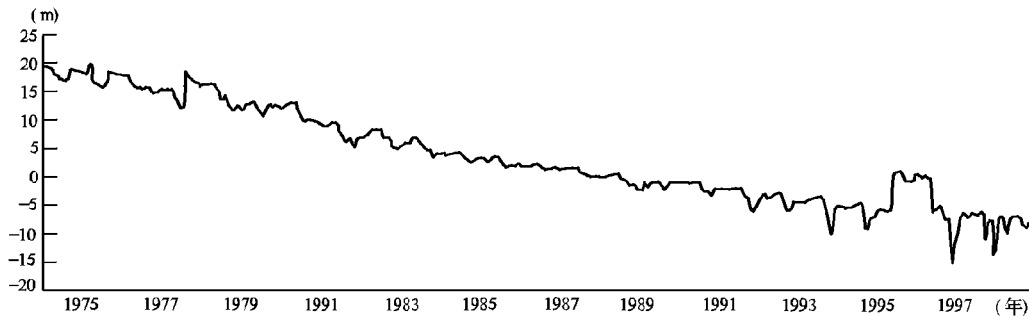


图2 广饶县小张乡苏家 1986—1996 年浅层地下水动态曲线

#### 3.2 咸水入侵

咸水入侵主要发生在广饶县石村—颜徐一带咸淡水界面附近。20 世纪 70 年代浅层咸淡水界面位于广饶县岳刘—颜徐一带 ,咸淡水界面相对稳定。到了 70 年代末期 ,由于南部淡水区开采量的增加 ,地下水位大幅度下降 ,破坏了地下水的天然流场和咸淡水的天然动态平衡 ,使咸淡水过渡带的地下水流向由天然状态下向北流动改变为向南流动。在水力坡度的驱动下 ,咸水体逐渐南移 ,从而引发海咸水入侵。海咸水入侵时 ,在咸淡水界线附近形成一个宽 1 000 ~ 1 500 m 的水质变动带。界线以北 ,Cl<sup>-</sup> 含量和矿化度大幅度上升 ,距界线以北 300 ~ 500 m ,矿化度升至 3 000 mg/L ,Cl<sup>-</sup> 含量增至 1 000 mg/L ;界线

以南 ,Cl<sup>-</sup> 含量降至 100 mg/L 以下。自 1976 年发现咸水入侵以来 ,其入侵速率逐年加快 ,入侵面积已由初期的 3.9 km<sup>2</sup> 增至目前的 62 km<sup>2</sup>( 表 1 )。咸水不断南侵导致入侵带地下水水质恶化 ,土壤盐碱化加重 ,生态地质环境恶化 ,给当地人畜用水、工农业生产和人民生活带来严重影响。

表 1 黄河三角洲南部海咸水入侵统计

时间	入侵面积( km <sup>2</sup> )	入侵速率( m/a )
1976—1979 年	3.9	48
1980 ~ 1986 年	10.1	72
1986—1989 年	20.4	127
1989—1999 年	27.6	

### 3.3 地面沉降

根据地矿部门 1963—2003 年实际测量(表 2), 黄河三角洲南部地区普遍存在地面沉降, 年均沉降量 26~210 mm, 累计总沉降量 78~1 224 mm。地面沉降的分布与地下水开采漏斗基本一致, 说明超采地下水是造成地面沉降的主要原因。根据土的固结理论, 土体覆盖层荷载引起的总压力由孔隙水、弱含水层土颗粒和含水层骨架共同承担。当地下水超采使地下水位降低时, 部分含水层被疏干, 引起孔隙压力的急剧减小, 引发粘性土产生次生固结压密和含水层骨架的压缩, 从而产生地面沉降<sup>[2]</sup>。地面沉降是一种缓变型的地质灾害, 一旦发生则很难恢复。地面沉降是由于超采地下水诱发的, 由于地层的压密造成单井出水量减少, 对水资源枯竭起加速作用。随着区内地下水开采的持续, 区内地面沉降呈加剧趋势。

表 2 黄河三角洲南部地面沉降测量统计

井号	实际测量高程数据(m)				年沉降量 (mm)	总沉降量 (mm)
	1963年	2000年 11月	2002年 11月	2003年 5月		
JQ66	14.079	13.291	13.163	13.120	129	959
JQ67	16.126	15.264	14.972	14.902	210	1224
YD9			12.892	12.866	26	78.0

注: JQ66 位于广饶花园; JQ67 位于广饶县稻庄; YD9 位于广饶县城区。

### 3.4 地下水污染

黄河三角洲南部地区地下水污染已相当严重, 主要呈条带状分布在排污河两侧, 并以淄河沿岸地下水污染最为严重。淄河污水是区内的主要污染源, 呈棕黑色、恶臭, 年排水量  $18 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{a}$ , 主要污染物为石油类、挥发酚和 COD 等。淄河沿岸地下水中的主要污染物质与淄河污水近似, 地下水呈黄灰色, 具异味。因石油类含量一般为  $0.18 \sim 0.5 \text{ mg/L}$ , COD 含量为  $0.9 \sim 2.0 \text{ mg/L}$ , 此外还有  $\text{Cr}^{6+}$ 、Mo、挥发酚、氰化物检出(表 3), 已不适宜人畜饮用。污染程度呈近河重远河轻的特点, 污染带宽度 2~3 km。石油类在土壤、地下水等地质环境中降解速率是非常缓慢的, 它能降低土壤的透气性, 影响植物生长, 引起生物中毒等。石油类在降解过程中还可形成二次污染, 进一步恶化地质环境。

表 3 黄河三角洲南部浅层地下水污染成分含量(mg/L)

位置		石油类	COD	挥发酚	$\text{Cr}^{6+}$	Mo
广饶县	东水南	0.38	8.68	0.002	<0.004	0.0022
	韩王居	0.18	1.06	<0.002	0.005	0.0040
	西水	0.36	0.79	<0.002	0.005	0.0022
	吕道口	0.48	1.02	<0.002	0.005	0.0010
	北贾	1.32	1.04	<0.002	0.014	0.0013

随着污水入渗时间的延续, 地下水中污染物逐渐富集, 地下水的污染程度和污染范围将逐渐增大。此外, 由于部分人畜用水井与中深层地下水串通, 还会造成中深层地下水的串层污染。例如, 广饶县杨庄村生活用水井, 井深 150 m, 水中石油类含量为  $0.51 \text{ mg/L}$ , 说明已受到严重污染。地下水污染给当地群众的生产与生活造成了严重危害, 肝大、肿瘤等疾病的发病率高出未污染区 2~3 倍以上。

### 3.5 地裂缝

据调查, 1984—1989 年间, 区内的广饶县花园、颜徐及西营等乡镇, 出现 10 余条地裂缝, 裂缝长 200~1 000 m, 宽 0.15~0.30 m。1989 年 7 月发生的广饶县西营乡崔家河村地裂缝长约 1 000 m, 宽 0.30 m。地裂缝绝大部分发生在强降水过后的浅层含水层疏干的地下水降落漏斗中心地带, 呈北东向展布。说明地裂缝的发生与地下水开采有关。由于地下水位的大幅下降, 含水层被大面积疏干, 粘性土透镜体缩水干裂, 而当降水过后, 粘性土又遇水膨胀, 从而发生地裂缝。

## 4 地下水环境保护主要对策

地下水既是宝贵的自然资源, 又是资源和环境因子, 还是地质作用和地质灾害的载体。对其合理开发利用会给工农业发展带来较大的经济效益, 给人民生活提供极大的方便。相反, 如果不能科学的开发利用, 则会引发一些不良的生态环境问题, 并对经济社会发展产生严重影响。根据黄河三角洲南部生态环境问题现状和趋势, 为保证这一地区地下水资源的可持续开发利用, 促进社会经济与环境的协调发展, 应尽快采取相应的对策。

(1) 实施地下水调蓄工程。由于区域地下水的超采, 部分含水层已被疏干, 地下水位负值区面积不断扩大。经估算, 现状疏干库容量为  $2.77 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。

按确定的优化方案实施调蓄,至2010年,地下水可采资源量可增加  $4\ 040.0 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{a}$ ,地下水位平均上升4.1 m,间接增加工农业产值100亿元以上;可有效地阻止北部咸水南侵,防止地下水资源枯竭,控制地面沉降,改善生态环境质量。

(2)实施淄河治理工程。淄河污水入渗是区内地下水污染的主要原因,在短期内可用密封管道将污水直接排入小清河。长远考虑,应在淄河的上游临淄附近兴建污水处理厂,将上游污水处理达标后排放,以最大限度地减小地下水污染。

(3)建立地下水环境监测系统。通过对地下水动态和咸水入侵、地面沉降监测等地质灾害长期监测研究,形成地下水环境预测预报制度,为当地政府的地下水环境保护和地质灾害防治决策提供依据。

### 参考文献:

- [1] 徐军祥,康凤新.山东省地下水可持续开发利用研究[M].北京:海洋出版社,2001,134-121.  
[2] 刘桂仪.鲁北平原深层地下水开发与环境问题[J].水文地质工程地质,2001,28(3):43-45.

## Environmental Problems and Its Prevention Countermeasures of Underground Water in South of Huanghe Delta

ZHANG Bo<sup>1</sup>, LIU Gui-yi<sup>2</sup>, FAN Li-qin<sup>3</sup>, Dong Zuo-sen<sup>4</sup>

(1. China Mineralogy University, Beijing 100083, China; 2. Lubei Geo-engineering Exploration Institute, Shandong Dezhou 253015, China; 3. Shandong Geo-engineering Exploration Institute, Shandong Jinan 250014, China; 4. No.7 Exploration Institute of Geology and Mineral Resources, Shandong Linyi 276006, China)

**Abstract**: Due to over-exploration of underground water, some environmental problems as lack of underground water, salt water intrusion, surface subsidence and earth crack have been occurred in south of Huanghe delta area, which should be solved by underground water pondage and pollution prevention.

**Key words**: Underground water; environmental problems; countermeasures; Huanghe delta

(上接第50页)

## Geological Hazards Predication of Donghu Reservoir in Jinan City

LIU Jian-sheng, SHENG Gen-lai, WANG Ai-min, LIU Chun-ping  
(Shandong Geo-engineering Institute, Shandong Jinan 250014, China)

**Abstract**: Some geological hazards, such as collapse, sliding, land break, surface subsidence, flood, earth crack and sand eliquation will not happen in Donghu reservoir of Jinan city. After establishment of reservoir, some geological hazards as submersion behind dam, secondary salification and dam differential subsidence will happen probably.

**Key words**: Donghu reservoir; geological hazards; infiltration amount; submersion behind dam; Jinan city