

滨州市海(咸)水入侵灾害及发展趋势

薛令轩¹,王兵²,卢政峰¹

(1. 山东省第一地质矿产勘查院, 山东 济南 250014; 2. 山东省第六地质矿产勘查院, 山东 招远 265400)

摘要:近年来,山东省滨州市地下水位下降迅速,且已引起无棣—沾化一带海(咸)水入侵。通过对滨州市海(咸)水入侵现状、原因、危害及发展趋势的分析,提出限采深层地下水、合理增采浅层淡水、回灌补源、抽咸补淡、开辟新的水源和强化用水管理、全面节约用水等防治海(咸)水入侵灾害的对策措施。

关键词:海(咸)水入侵;地下水超采;对策措施;山东滨州

中图分类号:P734.2*1 文献标识码:A

1 海(咸)水入侵区水文地质特征

滨州市-500 m以浅的地下水,除邹平南部及无棣大山一带存在基岩裂隙水外,以赋存并运移于第四纪及新近纪松散堆积物中的孔隙水为主。

1.1 潜水-浅层微承压水(-60 m以浅)

主要分布在南部邹平、博兴和北部无棣、沾化等地。地下水水位一般为-1~-3 m;年水位呈降一升一降的周期性变化,年变幅一般小于1 m,地下水以垂向运动为主。浅层淡水区水化学类型主要为 HCO_3-Ca 型和 $\text{HCO}_3 \cdot \text{Cl}-\text{Ca}$ 型,矿化度一般在0.525~0.905 g/L;浅层咸水区水化学类型较简单,主要为Cl-Na型。

1.2 中深层承压水(-60~-200 m)

主要分布在滨州市的北部,水位埋深一般-60~-200 m,单井涌水量大于1 000 m^3/d 。其补给来源主要为水平方向的地下径流,人工开采是其主要的排泄方式。中深层承压淡水水化学类型主要为 HCO_3-Ca 型。中深层承压咸水水化学类型较为简单,为Cl型。

1.3 深层承压水(-200~-500 m)

深层承压水淡水分布广泛,承压咸水分布在埕口—柳堡—余家巷一线以东的大部地区。水位埋深一般-200~-500 m,单井涌水量500~3 000 m^3/d 。

其补给来源主要为水平方向的地下径流,深层地下水主要是沿深层承压水之间自SW向NE水平径流,径流速度滞缓,人工开采是其主要的排泄方式。深层承压淡水水化学类型自南而北依次由 $\text{HCO}_3 \cdot \text{SO}_4-\text{Ca}$ 型过渡为 $\text{SO}_4 \cdot \text{Cl}-\text{Na}$ 型;深层承压咸水水化学类型较为简单,为Cl-Na型, Cl^- 含量600~2 400 g/L,矿化度2~5 g/L。

2 地下水位变化与海(咸)水入侵

2.1 地下水超采引起地下水位下降

自1966年开采深层淡水至今,已有近40年开采历史,其中:1966—1980年,年均开采量仅333万 m^3/a ;1981—1990年,年均开采量为1 922万 m^3/a ;1990—2004年,全市多年平均地下水开采量为35 437.6万 m^3/a ,2000年全市地下水开采量达到最大,为49 695万 m^3 ,占多年平均值的140%。全市分层用水开采量统计结果(表1),浅层、中深层、深层地下水开采量分别占多年平均地下水开采量的73.18%、0.87%和25.94%。在各县、区中,邹平县地下水开采量最大,占全市多年平均值的46.02%;其次是博兴县,占全市多年平均值的22.11%;其他县(区)地下水开采量则较小。

1990—1999年,全市年均开采量为3 651.1万 m^3/a 。根据2000—2004年地下水动态长期观测资

* 收稿日期:2008-08-07;修订日期:2008-09-16;编辑:曹丽丽

作者简介:薛令轩(1957-),男,山东鄄城人,高级工程师,主要从事水工环地质勘查工作。

料,全市年均开采量为4 886.16万 m^3/a ,平均水位下降1.5 m/a 。其中,博兴县城附近平均年水位下降3.48 m ,下降速度最大;滨城区小营附近,平均年水位下降1.48 m 。其他地区平均年水位下降0.98~1.61 m ;沾化县下洼附近,平均年水位下降值最小,为0.59 m 。已形成的以滨州城区和博兴县城为中心的地下水降落漏斗正在逐年扩大,并引发了海(咸)水入侵。深层淡水开采量呈逐年快速增加趋势,水位也在逐年下降。

表1 滨州市分层用水开采量统计

(县)区	开采量占全市的比例(%)	开采量占本县(区)的比例(%)		
		浅层地下水	中深层地下水	深层地下水
邹平	46.02	91.73	4.49	3.77
博兴	22.11	86.77	1.63	11.60
滨城	4.44	42.18	0.00	57.82
惠民	12.07	82.47	0.00	17.53
阳信	11.84	92.26	0.00	7.74
无棣	3.16	75.98	0.00	24.02
沾化	0.36	40.92	0.00	59.08

2.2 海(咸)水入侵的发生和发展

2.2.1 滨州市新近纪后期—第四纪海侵特点

研究表明,新近纪后期—第四纪,滨州市曾有以下几次海侵:第一海相层(北镇海侵);第二海相层(惠民海侵);第三海相层(无棣海侵);第四海相层(滨县海侵);第五海相层:埋深-118.0~-166.0 m ,主要见于沾化以东;第六海相层:分布范围同第五海相层;第七海相层:埋深-205.2~-295.0 m ,达于无棣埕口至沾化以东;第八海相层:埋深-321.0~-434.0 m ,分布于无棣埕口至惠民桑落墅以东地区;第九海相层:仅见于沾化的东北部^①。

2.2.2 滨州市海(咸)水入侵灾害的分布及特点

海(咸)水入侵是指海滨地区因过量抽取地下水,而引起海(咸)水向大陆含水层推移的一种有害的水文地质作用。1980年以前,滨州市深层地下水开采量较小,漏斗区仅限于滨州城区附近,水位标高低于+5 m 的漏斗区面积为1 409 km^2 ,低于-20 m 的漏斗区面积仅为278 km^2 ,还不至引起海(咸)水入侵。当时的海(咸)淡水分界线(矿化度2 g/L 界线)位于埕口—柳堡东—西小王—冯家—黄升北—泊头南一带。1980年以来随着深层地下水开发力度的加大,水位持续下降,漏斗区进一步扩大,为海

(咸)水进入淡水含水层提供了空间。至目前为止,0 m 等水位线已北移至西小王附近,-10 m 漏斗区面积达3 419 km^2 。咸淡水分界线(矿化度2 g/L 界线)逐渐向西南方向推进,移至柳堡—西小王—西—余家巷—下洼—黄升南一带,推进速度在北部约120 m/a ,南部约200 m/a 。

滨州市海(咸)水入侵分为3种情况:

(1)无棣、沾化一带咸淡水分界面南侵区。参照国内评价海(咸)水入侵标准,滨州市地下水矿化度大于2 g/L , Cl^- 含量大于500 mg/L 及水化学类型为Cl型为海(咸)水;矿化度小于2 g/L , Cl^- 含量小于500 mg/L 及水化学类型为 HCO_3^- 型为淡水。

入侵盾面:即未发生海(咸)水入侵的咸淡水界面,造成滨州地区海(咸)水入侵的主要原因是1980年以来对深层地下水的大规模开采,故把当年该地区咸淡水界面作为入侵盾面。这一界面位于埕口—西小王—冯家—麻家—王侯镇一线,该线以北为海(咸)水区,以南为淡水区。

入侵锋面:海(咸)水在某一时期入侵的界面位置称为“入侵锋面”。通过对多年来区域水质动态变化的分析,并与1980年水化学资料进行对比, Cl^- 和矿化度呈升高趋势、较为明显的地段位于埕口、柳堡、西小王、余家巷、下洼、黄升一线附近。如:1980年,北部地段的埕口、柳堡、西小王的矿化度分别为2.06 g/L ,2.08 g/L ,2.30 g/L ,基本为淡水;2005年,上述3井的矿化度分别达到了2.89 g/L ,2.38 g/L ,2.93 g/L ,矿化度及 Cl^- 含量均呈明显上升趋势。中南部地段的余家巷、下洼1980年矿化度为1.76 g/L ,1.902 g/L ,为淡水;而2005年,上述2井矿化度分别达到了2.61 g/L ,3.43 g/L ,亦呈明显上升趋势, Cl^- 含量则成倍增加。

结合地面物探资料,确定滨州地区入侵峰面位于柳堡—西小王—西—余家巷—下洼—黄升—马坊水库一线。入侵的总体方向自NE至SW。25年来入侵面积约304 km^2 ,入侵速度在南部和北部地段约120 m/a ,中部下洼和冯家地段约为200 m/a 。滨州市海(咸)水入侵界面大多平缓,界面附近 Cl^- 含量和矿化度呈渐变关系。无棣、沾化的东北部集中分布有Cl-Na型水,为海(咸)水入侵分布区。

① 山东省第二水文地质大队,山东省惠民地区农田供水水文地质勘察报告,1980年。

(2)缓慢入侵区。根据动态资料,滨城区一带部分深层开采井的地下水矿化度呈现升高趋势,但是升幅缓慢。主要分布在地下水降落漏斗区。如:滨城区附近,1980年深层淡水矿化度为0.936 g/L,至2005年上升为1.07 g/L;滨城里则附近1980年矿化度为1.342 g/L,2005年上升到2.12 g/L,原深层承压淡水逐步变化为微咸水。

(3)点状扩散区。在海侵作用下,深层淡水中可能存在地史时期封存的咸水体。由于降落漏斗的影响,咸水体的扩散同样可以造成部分地段水质恶化。另外,成井不良会造成深层淡水与上部咸水串层污染,咸、淡含水段混合取水也会引起部分机井的矿化度和 Cl^- 升高。如滨城镇张集,1980年以来矿化度上升并不明显,而堡集附近目前矿化度上升为3.01 g/L。

(4)相对稳定区。邹平县的青阳、长山和博兴县南部山前冲洪积平原自上而下全部为淡水区,深层地下水的水质较为稳定。近20年来,该区水的矿化度多在0.5~1.5 g/L之间波动,水化学类型及主要离子含量变化很小,属动态变化相对稳定区。

2.2.3 海(咸)水入侵的危害

海水入侵活动严重破坏水资源,加剧了入侵地区水资源供需矛盾,并导致水利设施失效,环境恶化,部分地区丧失了可持续发展的条件^[1]。

(1)水质变差。国家生活饮用水卫生标准规定:饮用水的 Cl^- 含量不得超过250 mg/L, I^- 不得超过1 mg/L。由于海(咸)水入侵使滨州市无棣、沾化部分地区地下水水质变差,部分机井因水变咸而报废,造成人畜饮水困难,影响人的身体健康。

(2)工业设备受损,生产效益下降。海(咸)水入侵使水中的 Cl^- 及含盐量升高,加快了金属类工业设备的腐蚀,缩短了使用寿命。由于工业用水井报废,迫使企业不得不远距离调用淡水,增加了生产成本。

2.2.4 海(咸)水入侵产生的原因

海水入侵发生在滨海生态脆弱带,受海洋和陆地环境条件的制约。其原因可包括陆地和海洋;咸水和淡水;地表水和地下水;社会、经济和人文等生态子系统^[2]。

(1)人为过量开采地下水是造成海(咸)水入侵的主要原因。当淡水的开采量超过其补给量时,截断了原先向海洋排泄的淡水流,降低了水体的地下水位,导致咸水楔体向淡水一侧推进。从1980年深

层地下水流网(图1)可以看出,在张集、阳信以北地区,深层地下水总体运移方向由南向北,水力坡度较小,张集至沾化之间水力坡度仅仅为0.002%,地下水运动滞缓。随着开采量增加,区域地下水水位下降,区内形成大范围降落漏斗,张集、阳信以北地区深层地下水总体运移方向由向北变为向南。

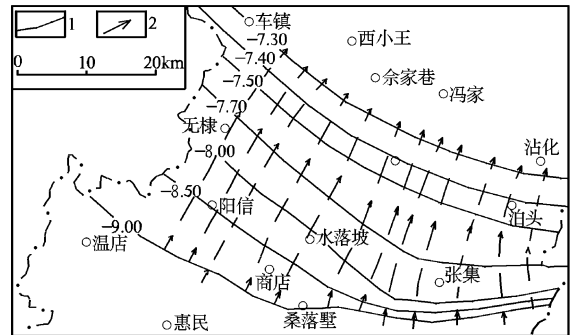


图1 滨州市中部1980年深层地下水流网图

1—深层地下水水位标高等高线(m);2—深层地下水流向

由于深层地下水长期处于负均衡状态,随着开采延续,工作区内漏斗中心地下水位大幅度下降,在张集、阳信以北地区,地下水水力坡度增大,深层地下水由北向南运移速度总体增大,造成咸水入侵。根据1999年资料,无棣至阳信地下水水力坡度为-0.04%。从2005年深层地下水流网图可以看出(图2),1980年张集至沾化之间水力坡度仅仅为+0.002%,至2005年水力坡度转变为-0.03%,不仅地下水运动方向改变,而且水力坡度数值也呈几十倍增大。可见,该区的人工开采是咸水入侵的主要原因。

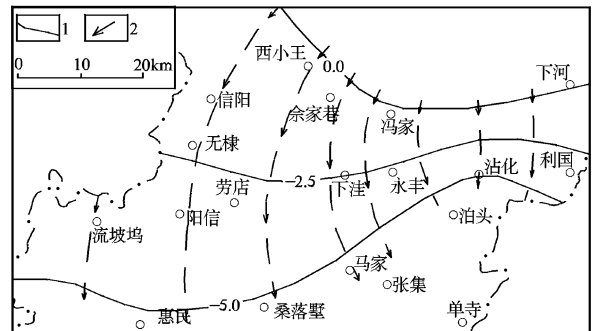


图2 滨州市中部2005年深层地下水流网图

1—深层地下水水位标高等高线(m);2—深层地下水流向

(2)串层污染。在深层地下水开采区,由于成井不良,上部浅层咸水串层下渗补给深层地下水,造成局部地段小范围内地下水水质变差。

(3)古海(咸)水入侵。滨州地区新近纪后期至第四纪曾几次海侵,最大的一次几乎遍及全区。

进入岩层中的海水往往封存起来形成中深层咸水,其与深层淡水之间有稳定的黏性土相隔,天然条件下不发生水力联系。但当深层淡水的压力水头大幅下降后,由于成井不良、混合取水、黏性土释水或越流补给深层淡水等原因,致使深层淡水的矿化度在远离海(咸)水入侵峰面的地区亦普遍缓慢升高,其中深层淡水开采漏斗区升幅尤为明显。

3 海(咸)水入侵方式与发展趋势

3.1 海(咸)水入侵的方式

(1)顺层入侵。滨州市北部第四纪与新近纪地层为连续沉积,含水层水平方向上连续性较好,同一含水层中的咸淡水体呈过渡状态。当淡水体的水动力条件发生变化时,北部海(咸)水可顺含水层向内陆渗透,深层地下水的这种入侵方式发生在北部咸淡水接触面附近,入侵峰面逐步向内陆推进。

(2)越流入侵。主要指中层咸水层的咸水通过弱透水层入侵到深层淡水含水层中。滨州市大部地区的地下水在垂向上具淡—咸—淡3层结构类型。一般情况下,咸淡水含水层之间由弱透水的黏性土相隔不发生水力联系。但是,该市的无棣、沾化一带,由于深层地下水降落漏斗的迅速发展,深层承压淡水的承压水头大幅下降后,海(咸)水便越过弱透水层进入淡水含水层。这种入侵方式全市普遍存在,但深层淡水的矿化度仅呈缓慢升高趋势。

(3)串层入侵。局部地段供水井施工过程中,因止水不严而造成的咸水体与淡水混合,使淡水矿化度升高,形成咸水串层入侵。

3.2 海(咸)水入侵发展趋势

(1)水平发展趋势。1980—2005年平均入侵速率为120~200 m/a,入侵面积达304 km²。开采强度和开采布局保持不变,预测到2020年,海(咸)水峰面将向内陆继续推进1800~3000 m,位于大山镇东侧—朱龙河水库—新立村—西官庄—坡度水库—单寺水库一带,入侵面积将达到480 km²。

(2)动态发展趋势。随着滨州市地下水开采量增加、降落漏斗加大及外围开采的进行,致使区域地下水位呈总体下降趋势,降落漏斗的扩大进一步加剧了海(咸)水入侵。地下水流向变化引起的海(咸)水入侵,会使地下水矿化度增加,如泊头、下洼、余家巷、柳堡一带深层地下水矿化度升高。实测

资料表明,张集一带1980年水力坡度为0.25%,2005年水力坡度为0.45%。根据达西定律,水力坡度与地下水流速呈正比关系,因此地下水的开采量越大,漏斗区水位差越大,海(咸)水入侵速度越大(图3)。

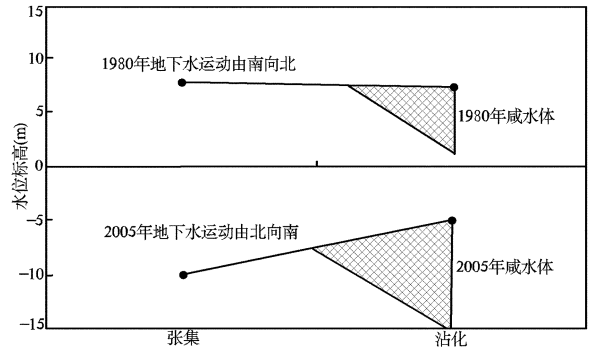


图3 海(咸)水入侵区流场变化趋势示意图

4 防治海(咸)水入侵灾害的对策

4.1 限采深层地下水

滨州市深层淡水分布区,大多已处于超采状态,特别是在滨城、博兴、邹平等县(区)驻地周围,超采极为严重,滨城、博兴2个漏斗中心水位埋深已分别达-135 m和-125 m。为防治海(咸)水入侵应该限量开采深层地下水。据深层地下水动态变化分析,由于人工开采强度大,漏斗中心地下水位降速最大可达到5 m/a,北部咸水体界面附近水位降速也大于1 m/a。因此,深层地下水开采须坚持2条原则:一是北部咸水体锋面一带水位降速应小于0.3 m/a,以抑制因超量开采地下水而造成海(咸)水入侵速度;二是规划用20年时间,将已经形成的漏斗区水位埋深控制在-160 m以内,以防止越流及黏性土释水造成入侵。

滨州市深层淡水可开采量为2001.9万 m³/a^①,2000—2004年平均实际开采量为4367.03万 m³/a,需要减采2365.13万 m³/a。根据各县(区)需求量及可开采量分析可分为2个区:①可少量增加开采量的开采区,包括邹平、惠民、阳信3县,据开采方案可开采量为3260万 m³/a,目前实际开采量为1602万 m³/a,可增加开采量为1658万 m³/a。②控制开采区,包括滨城、博兴、无棣、沾化等4县(区),深层

① 山东省第一水文地质大队,山东省滨州地区地下水调查与综合评价,1999年。

淡水可开采量为1 771万 m^3/a ,目前实际开采量为2 049万 m^3/a ,应减少开采量363万 m^3/a 。

4.2 合理增采浅层淡水资源

滨州市黄河、小清河、马家河、徒骇河等构成本区重要客水,故浅层淡水是今后开发利用的主要水源。从整体来看,平均开采潜力指数为2.01,可增加开采模数为9.12万 $\text{m}^3/\text{km} \cdot \text{a}$,具有中等开采潜力。

大量增采区:包括滨城区黄河南、北及邹平县黄河南的浅层淡水区,面积884 km^2 ,为引黄灌区。浅层淡水可增加开采量为17 209.7万 m^3/a ,可增加开采模数17.6~23.48万 $\text{m}^3/\text{km}^2 \cdot \text{a}$,水质较好,可满足生活用水、一般工业用水和农田灌溉用水的水质要求。富水地段主要沿黄河南岸分布。

少量增采区:包括惠民、沾化两县和博兴县黄河南的浅层淡水区,面积为1 481.24 km^2 。淡水区分布面积不均,但水质较好,能满足要求。可增加开采模数5.14~13.52万 $\text{m}^3/\text{km}^2 \cdot \text{a}$,浅层淡水可增加开采量为17 793.77万 m^3/a 。

控制开采区:包括阳信、无棣两县及邹平、博兴两县小清河以南的浅层淡水区,面积1 365.74 km^2 ,阳信、无棣两县浅层淡水已无可增开采量,属于采、补平衡区;博兴县店子、兴福、曹王等乡镇已形成较大规模的降落漏斗,应调减开采量565.04万 m^3/a ;邹平县小清河以南地区应减少开采量573.03万 m^3/a 。

4.3 回灌补源

滨州市深层地下水开采属消耗静储量,地下水径流补给贫乏。滨城区蒲城街道办事处、郭集一带深层开采井相对集中,漏斗中心位于滨城区,与黄河水相距不足12 km,雨水易于收集,水源近。为有效防止海(咸)水入侵,可进行深层地下水回灌。回灌

方式:一是井内直接回灌;二是雨水、污水、其他客水直接入渗第四纪含水层,通过砂层过滤,回补深层开采井。

4.4 抽咸补淡改造成水层

滨州市存在1~2 g/L的地下微咸水区和2~5 g/L的咸水区,应相应调引淡水,采取咸淡轮灌、咸淡混灌等方式,进行微咸水的开发利用与改造。开发浅层微咸水可减少深层和浅层地下的超采量和地表水的引水量。引客水与抽取的微咸水咸水混合后进行灌溉,结合地表水和雨水淋洗,可降低浅层咸水-微咸水的矿化度,增加地区的地下水可采资源量。

4.5 开辟新的水资源综合调度利用

在合理开采当地地下淡水资源的同时,对深层地下水开采要做到科学布局、分散开采、定期停采,关停超采区的抽水井,抬高地下水位。海(咸)水淡化是解决滨海地区缺水的一项重要措施,无棣、沾化的个别村庄及企业、盐场,已试验采用电渗析法淡化矿化度10 g/L以内的咸水,供生活饮用。

4.6 强化用水管理全面节约用水

提高工业用水的重复利用率,污水处理回用。要尽量利用海(咸)水,减少优质淡水消耗量。农业节水一是可通过调整种植结构,抑制田间水分的无效蒸发;二是推广节水灌溉技术;三是推广省水经济的灌溉制度,防止滨海地区海(咸)水入侵。

参考文献:

- [1] 张梁,张业成,罗元华.地质灾害灾情评估理论与实践[M].北京:地质出版社,1998,372-373.
- [2] 杨明华,文力.山东沿海地区海水入侵防治[J].生态学杂志,1994,13(4):13-18.

The Sea Water Intrusion Disaster and Its Development Trend in Binzhou City

XUE Ling-xuan¹, WANG Bing², LU Zheng-feng¹

(1. No. 1 Exploration Institute of Geology and Mineral Resources, Shandong Jinan 250014, China; 2. No. 6 Exploration Institute of Geology and Mineral Resources, Shandong Zhaoyuan 265400, China)

Abstract: In recent years, groundwater level in Binzhou city of Shandong province dropped rapidly and has caused sea water intrusion in Wudi and Zhanhua area. Through analysis on present condition, origin and development trend of sea water intrusion in Binzhou city, some countermeasures are put forward in this paper, such as limiting mining deep groundwater, mining shallow fresh water reasonably, rechargeing water source, filling out a short, opening up new sources of water and enhancing water management and using water concentrated.

Key words: Sea water intrusion; countermeasures; Binzhou city; Shandong province