

华北平原地下咸水垂向变化及机理探讨

费宇红,张兆吉,宋海波,钱 永,陈京生,孟素花

(中国地质科学院水文地质环境地质研究所,河北 石家庄 050061)

摘要 :为探讨华北平原地下水开采对供水安全的影响和地下水水质的变化趋势,采用地下水水质动态监测、地面物探现场试验和成井物探等大量的实测资料验证地下水咸水下移的事实,并从水文地质条件、地下水位下降和地下水开采利用状况等方面,对咸淡水界面下移的机理进行分析。结果表明:咸淡水界面从 20 世纪 70 年代以来下移约 10~20 m,开采地下水造成上下层水头压力变化是其主要原因之一。

关键词 :华北平原;地下咸水;咸淡水界面;垂向变化;机理

中图分类号:X820.1 文献标识码:A 文章编号:1004-693X(2009)06-0021-03

Discussion of vertical variations of saline groundwater and mechanism in North China Plain

FEI Yu-hong, ZHANG Zhao-ji, SONG Hai-bo, QIAN Yong, CHEN Jing-sheng, MENG Su-hua

(Institute of Hydrogeology and Environmental Geology, Chinese Academy of Geological Sciences, Shijiazhuang 050061, China)

Abstract: In order to investigate the effect of groundwater exploitation on water supply safety and the patterns of groundwater quality, the fact that saline groundwater moved downwards was proved by a large amount of field data collected through dynamic monitoring of groundwater quality, in situ testing of geophysical prospecting, and well geophysical prospecting. The mechanism of downward movement of the interface between the fresh and saline groundwater was analyzed in terms of hydrogeological conditions, the water table's descent and groundwater exploitation conditions. The results show that the amount of descent has been about 10~20 m since the 1970s, and one of the main reasons for the pressure head change in both the upper saline and lower fresh groundwater was exploitation of groundwater.

Key words: North China Plain; saline groundwater; interface between the fresh and saline groundwater; vertical change; mechanism

华北平原位于中国北方,包括北京市、天津市和河北省平原区,以及山东省和河南省黄河以北平原。水资源供给不足是制约该区经济发展的瓶颈,在中、东部平原以开采咸水体以下的深层地下水为主。近些年来,深层地下水矿化度升高,浅部咸水矿化度降低,垂向咸淡水界面下移,给供水水源带来安全隐患。

1 地下咸水分布

据统计^[1],华北平原浅层地下水矿化度大于 1 g/L 的微咸水、半咸水和咸水的面积占总面积的 57.4%。其中,大于 5 g/L 的咸水占 7.9%,主要分布在东部平原区;3~5 g/L 的半咸水占 8.7%;1~3 g/L

的微咸水占 40.8%,主要分布在中部平原区。

地下咸水体的空间形态近似于一个向渤海湾方向倾斜的楔形体^[2],自西向东增厚(图 1),下伏为深层淡水,上覆浅层淡水呈条带状分布于河道带或河流故道等地段。咸水体顶界面埋深从 0 m 到 70 m。

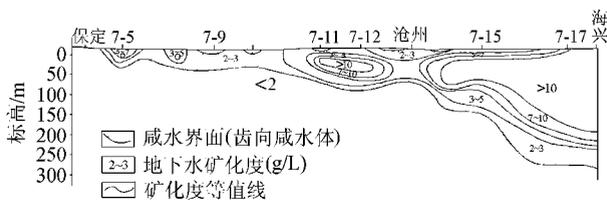


图 1 山前—滨海地下水矿化度剖面示意图

基金项目:国土资源大调查项目(1212010430351),国家科技支撑项目(2009BADA3B05)

作者简介:费宇红(1960—),女,上海人,研究员,博士,主要从事水资源及水环境研究。E-mail:Yuhong_fei@163.com

楔形体的形成,是古地形、古沉降速率、大陆盐渍化以及海侵活动在山前及滨海具体差别的体现^[3]。

2 地下咸水垂向变化特征

2.1 浅部微咸水矿化度降低

部分监测孔水质资料分析表明,浅部微咸水矿化度有降低趋势(表1)。

表1 典型点浅部咸水矿化度变化统计

孔号	观测段/m	年份	矿化度/(mg·L ⁻¹)	年份	矿化度/(mg·L ⁻¹)
咸16	2.9~11.9	1982	5291	1987	3262
环9	2.0~12.6	1980	5774	1990	1512
环7	2.0~13.0	1982	11429	1990	1692

2.2 下部淡水矿化度升高

反映咸水底界面下移的监测,重点在咸水体下部的第Ⅱ含水层组地下水矿化度变化。衡水(表2)和沧州一带深层承压地下水矿化度呈升高的趋势。沧试4孔,孔深101m,属于淡水层(Ⅱ₃),利用段为89~98m,位于深层(微)咸水与深层淡水的过渡带上。水质变化情况从表3可以看出,水中Cl⁻、(Na⁺+K⁺)质量浓度明显增加,而HCO₃⁻和Ca²⁺质量浓度减小,矿化度增高明显,说明咸淡水之间有了微弱的水力联系,原过渡带水质咸化,咸淡水界面下移。

2.3 咸淡水界面动态变化

地下水的矿化度和其电阻率之间存在着一定的关系,矿化度越低,电阻率就越高;反之就越低。在该区水文地质钻探成井过程中,做物探曲线的目的为封堵咸水。在此,利用这一特征和资料确定咸淡水界面^[4]并研究其变化规律。

在滨州的博兴—高青一带,通过对200余眼深机井资料进行研究分析,发现2000年以后施工的机井中,咸淡水界面比20世纪70年代施工的深机井要深10~100m不等,成井深度要深50~100m左右,20~30年间,咸水底界面平均下侵20~30m,平

均约1.0m/a。

将2001年与1978年在山东济阳王圈乡—宁津柴胡店取得的电测深资料进行对比,发现济阳、商河一带,中层咸水界面产生下移,顶界面下移幅度8~20m,下移速率0.35~0.87m/a;底界面下移幅度20~60m,下移速率0.87~2.61m/a(图2)^[5]。

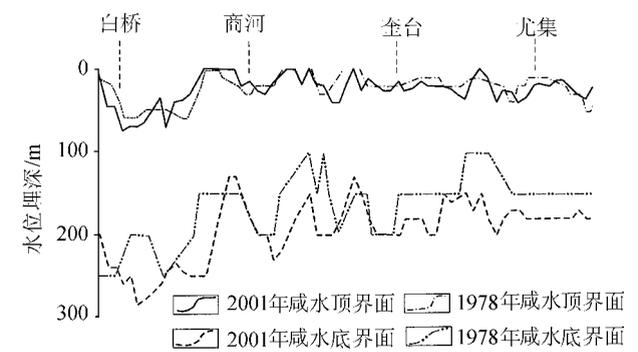


图2 德州1978年与2001年咸水顶、底界面埋深对比

对衡水市20世纪70年代初以来2700余眼机井的电测深曲线分析,按开采深层水的过程,将其划分为2个时段:①1969~1973年,该时段的咸淡水界面作为原始状态;②2000~2005年,作为现状咸淡水界面。通过对测井曲线分析,发现现状咸淡水界面平均埋深约为80m,与20世纪70年代初天然状态下的咸淡水界面埋深进行比较,整个研究区平均下移约12m,年均下移约0.4m,部分区域下移幅度在10~20m之间,个别地区大于20m(图3)^[6]。

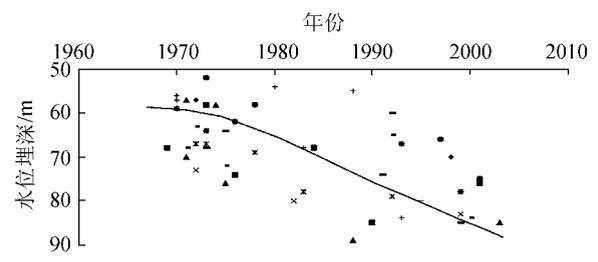


图3 衡水市咸淡水界面变化趋势

表2 衡水市第Ⅱ含水层组矿化度变化统计

孔号	咸水底界面埋深/m	取水段埋深/m	矿化度/(mg·L ⁻¹)						
			1978年	1979年	1982年	1986年	1990年	1992年	1999年
衡63	77	116~172	863	743	826	655	581	1134	1048
衡30	78	95~384		564	582	707	1141		
开12		99~196	517	514	584	789	789		
衡69	58	84~176			775	1035	1371		

表3 沧试4孔水质变化情况

年份	$\rho(\text{Na}^+ + \text{K}^+) / (\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$	$\rho(\text{Ca}^{2+}) / (\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$	$\rho(\text{Mg}^{2+}) / (\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$	$\rho(\text{HCO}_3^-) / (\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$	$\rho(\text{SO}_4^{2-}) / (\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$	$\rho(\text{Cl}^-) / (\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$	矿化度/(mg·L ⁻¹)
1983	765.2	99.2	146.3	506.5	470.7	1116.7	287.0
2002	1496.2	16.0	219.5	115.9	475.5	2499.2	487.0
变化量	+731.0	-83.2	+73.2	-390.6	+4.8	+1382.5	+200

3 机理探讨

3.1 地下水头下降

随着成井技术的提高和需水量的增大,华北平原由开采浅层地下水,发展为深浅层结合开采,自20世纪70年代以来开采量迅猛增加。据统计,2003年,华北平原地下水开采量为206.09亿 m^3 ,其中,深层承压水开采量为29.45亿 m^3 ,占总开采量的14.29%。在连年开采的影响下,地下水头下降。20世纪60年代,中东部深层地下水埋深为0~2m,滨海平原有近5000 km^2 的自流区,地下水头高出地表3~5m;至80年代初,水头普遍下降5~20m,沧州、衡水、德州和天津已形成地下水降落漏斗,沧州漏斗区平均水头下降速率为2.77m/a,衡水漏斗区平均水头下降速率为1.70m/a,2005年低水位期,深层地下水已无溢出,大部分地区水头埋深大于20m。

3.2 形成上下水头差

地下水开采产生的水位降低,造成区域水体运动,是对咸水下移的一种解释。在上部咸水和下部淡水巨大水头差的作用下,为了维持开采量与补给量之间的平衡,垂向上的水流机制起到了促进水体运动的作用,水头高的咸水向水头低的淡水层越流补给,造成深层淡水咸化。

衡水漏斗深层地下水位平均埋深由开采初期的2.0m,下降到1985年的28.95m,2000年又下降到52.46m。同时,由于华北平原中部有咸水区,深层水上覆自西而东逐渐加厚的咸水体,咸水基本处于未开采状态。因此,上覆咸水水位相对下部深层淡水水位下降很小,从而造成了上覆咸水与下部深层水之间有40~60m的水头差(图4) [7]。

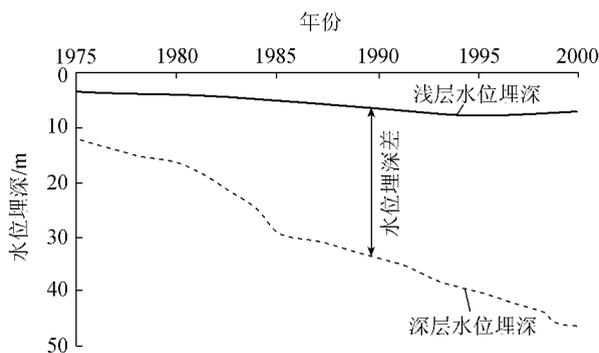


图4 衡水市深浅层地下水位年均埋深变化对比

1983年沧观12-1孔水位高出沧观12孔水位33.43m,到2002年水位差达到49.70m。资料显示咸水底界已经下移,说明咸水与深层淡水之间存在水力联系。

3.3 压力作用促进上部咸水下移

上部浅层咸水向下越流,首先受到咸水污染的应该是与其相邻的第II含水组淡水,衡63是衡水市

的地下水水质监测孔,成井段在第II含水组。20世纪70年代以来,地下水矿化度呈升高趋势(表4)。从表4中还可以看出20年来衡63的水位埋深一直处于下降过程,2004年末,水位埋深比有监测资料以来下降31.96m。

表4 衡63孔矿化度和水位变化特征

年份	矿化度/($mg \cdot L^{-1}$)	水位监测日期	水位埋深/m
1977	745	1977-10-10	21.00
1985	648	1985-12-30	30.07
1990	789	1991-01-15	37.67
1999	1048	2000-12-30	49.72
2004		2004-12-30	52.96

3.4 大量坏井构成了咸水下移通道

在深层水开采的初期,由于当时成井工艺及管材的质量均较差,止水不严,有些井甚至没有采取止水措施,造成上部咸水沿井壁向下流动,污染下部深层淡水。上部咸水的污染使早期机井大多数早已报废,这些报废的坏井大多未经严格处理,人为造成了咸水下漏天窗,咸水沿这些坏井向下部流动,由点到面地污染下部深层淡水。由于这些坏井数量大,经过长时间咸水下流,污染范围也在扩大。

4 结语

历史资料分析和现场测试研究结果表明,华北平原地下咸淡水界面平均垂向下移0.4~1.0m/a,最大下移区可达2.0m/a。分析其机理认为,人类过量开采深层地下水造成上部咸水水位和深层淡水水位数十米的水头差,给上部咸水的越流补给提供了水动力条件,下部淡水矿化度升高,咸淡水界面向下移动。当然,大量坏井的止水不严也导致了咸淡水界面向下移。

参考文献:

- [1] 张兆吉,费宇红,陈宗宇,等.华北平原地下水可持续利用调查评价[M].北京:地质出版社,2008:210-220.
- [2] 陈望和.河北地下水[M].北京:地震出版社,1999:358-362.
- [3] 张宗祜,沈照理,薛禹群,等.华北平原地下水环境演化[M].北京:地质出版社,2000:67-77.
- [4] 朱命和.应用电测井曲线计算地层水矿化度[J].物探与化探,2005,29(1):31-33.
- [5] 张兆吉,费宇红,陈宗宇,等.华北地下水可持续开发利用前景[R].石家庄:中国地质科学院水文地质环境地质研究所,2003.
- [6] 费宇红.京津以南河北平原地下水演变与涵养研究[D].南京:河海大学,2006.
- [7] 宋海波,张兆吉,费宇红,等.开采条件下河北平原中部咸淡水界面向下移[J].水文地质工程地质,2007,34(1):44-46,52.

(收稿日期:2008-08-29 编辑:徐娟)