

环渤海河北地区地下水环境演化研究

王欣宝,尚琳群,李玉龙

(河北省地质环境监测总站,石家庄 050021)

摘要:环渤海河北地区,由于超量开采地下水,浅层地下水流场已经由天然状态演化为人工状态,在山前平原和中部平原表现得尤为明显;深层地下水流场已经由天然状态下向渤海汇集,演化为人工开采条件下的向漏斗中心汇集。浅层地下水水质演化总体上呈现出恶化的趋势,矿化度总体呈现上升状态。重碳酸型地下水的面积有所减少,氯化物型地下水和氯化物—硫酸型地下水的面积有所增长。深层地下水水质总体上基本保持稳定状态,但是在局部地段一些孔深小于 300 米的井中地下水矿化度有增大的趋势。

关键词:地下水流场;地下水化学场;演化规律

中图分类号:P641.1

文献标识码:A

文章编号:1007-6956(2004)03-0149-08

1 研究区位置

环渤海河北地区主要是指河北平原东部,包括秦皇岛、唐山、沧州三城市的滨海地区及廊坊市一部分,地理坐标为 115°42' ~ 120°00' E, 37°28' ~ 40°00' N,滨海地区海岸线总长 487 km。

2 地下水渗流场的演化规律和特征

研究区地下水可分为浅层和深层两个地下水循环系统。浅层地下水系统直接接受大气降水、地表水、灌溉回归水等垂向入渗补给,通过蒸发、人工开采、侧向径流等排泄,地下水水力性质为潜水—微承压水。深层地下水系统以半封闭为主,具承压性质。由于长期开采,原来封闭和半封闭状态已被打破,水循环条件亦有改变。

2.1 浅层地下水流场的演化规律和特征

在上世纪 50 年代以前,浅层地下水动态处于天然状态,主要受降水和蒸发的控制,地下水流场天然状态总趋势是环绕渤海海岸线展布,自山前平原向滨海平原流网密度由密渐疏。冀东平原浅层地下水流场天然状态的总趋势是由冲洪积扇顶部向南径流入海。在唐山以西的还乡河一带,浅层地下水由东北向西南径流,流速

随沉积物粒度逐渐变细而趋于缓慢。至南部有咸水区,水平径流更加滞缓,水力坡度一般小于 0.1‰,且由潜水过渡为微承压水。在冲洪积扇顶部,由于地表以下多为渗透性强的砂类土或砂性土,垂直入渗强度较大,故地下水具有向下垂直运动的特点。

经过长期超量开采浅层地下水,在山前平原区已形成若干个地下水位下降漏斗。在滨海平原区虽然没有形成漏斗,但是浅层水水位已出现区域性普遍逐年下降趋势。在漏斗区,浅层地下水流网呈现向漏斗中心汇流的特征,漏斗区上游水力坡度为 1.91‰,下游水力坡度为 0.36‰;非漏斗区的中部平原水力坡度一般为 0.1‰ ~ 0.2‰,滨海平原则一般小于 0.1‰。

2.2 深层地下水流场的演化规律和特征

深层地下水天然流场的形态总趋势与浅层地下水一样,也环绕渤海湾呈等势展布。从山前至滨海,流网由密集变稀疏,流面平直,略向渤海倾斜。由于受地形地貌及水文地质条件的控制,形成滨海平原大面积的自流水区。

由于长期超量开采深层地下水,深层地下水系统便从稳定演化成非稳定状态,水位埋深不断加大。中部平原及滨海平原地区深层地下水流网形态,由天然状态变为以地下水位下降漏斗为中心的特征。

收稿日期:2004-07-08

基金项目:中国地质调查局地调项目:环渤海地区(河北部分)地下水资源与环境地质调查评价(00112400004)

作者简介:王欣宝(1972-),男,工程师,主要从事水文、工程地质和环境地质工作,E-mail:wang_xin_bao@163.com。

3 地下水水位动态特征

1975 ~ 2000 年间,河北平原浅层和深层地下水水位发生了很大变化(表 1)。由于不同地

段浅层和深层地下水开采量不同,二者水位下降幅度在不同地段表现亦不同。总体上看,从山前平原至滨海平原,浅层水水位下降幅度系由大变小,而深层水水位是由小变大。

表 1 平原地区浅、深层地下水平均水位埋深变化统计

Table 1 Water level variation of shallow and deep groundwater in the plain area from 1975 to 2000

地市	地下水类型	水位埋深 (m)					
		1975 年	1980 年	1985 年	1990 年	1995 年	2000 年
唐山	浅层水	8.12	8.73	8.24	9.85	12.58	14.70
	深层水	4.17	3.60	12.22	14.25	22.79	25.65
秦皇岛	浅层水	3.48	3.39	3.15	3.21	4.22	5.78
	深层水			5.81	4.07	6.05	4.83
廊坊	浅层水	4.68	3.38	7.63	6.10	6.33	8.41
	深层水	8.65	12.51	23.80	23.00	26.41	39.58
沧州	浅层水	3.02	3.04	3.30	3.38	4.13	5.73
	深层水	6.34	23.03	26.74	35.06	39.48	52.22

3.1 浅层水水位变化

河北中部平原水位下降自南向北由大变小,廊坊水位下降 2 ~ 5 m,沧州西部肃宁、献县下降 10 ~ 25 m,河间县北部、任丘市南部部分地区水位下降 1 ~ 2 m。

冀东平原山前浅层水水位一般下降 5 ~ 15 m,速率一般小于 0.42 m/a。丰润、滦县山前部分地带水位下降大于 25 m,速率一般大于 0.7 m/a。冀东中部平原水位一般下降 5 ~ 10 m,速率为 0.25 ~ 0.5 m/a。唐山、丰南、滦南、滦县交界地带水位下降 0 ~ 5 m,滨海地带水位下降 2 ~ 8 m。沧州滨海水位下降 2 ~ 4 m。

3.2 深层水水位变化

京津以南中部平原一般下降 50 ~ 70 m,速率为 1.39 ~ 1.94 m/a。廊坊市漏斗中心地带水位下降幅度大于 70 m,沧州市漏斗中心地带水位下降大于 100 m。

冀东平原山前深层水水位下降一般小于 25 m,速率小于 0.69 m/a。中部平原水位一般下降 25 ~ 50 m,速率 0.69 ~ 1.39 m/a。汉沽农场附近水位下降幅度在 50 ~ 70 m 之间,速率为 1.39 ~ 1.94 m/a。滨海平原水位下降一般小于 25 m,速率为 0.69 m/a。丰南、唐海滨海地

带水位下降可达 25 ~ 50 m,速率为 0.69 ~ 1.39 m/a。

4 典型地下水位降落漏斗的演化规律

4.1 沧州漏斗

沧州深层水开采始于 1965 年,当时水位接近于地表,水位标高 7.60 m。随着开采量扩大,水位迅速下降,到 1971 年,第三含水组的承压水漏斗初步形成,中心位于沧州市石油二部的 641 观测孔附近,水位埋深为 22.47 m。1975 年漏斗中心水位埋深已达 50.28 m,漏斗面积为 880 km²。1971 ~ 1975 年四年间水位下降了 27.81 m,速率为 5.562 m/a,漏斗扩展速率一般大于 170 km²/a。1985 年 6 月漏斗中心水位为 75.65 m,十年间下降了 25.37 m;到 1995 年 6 月漏斗中心水位为 90.41 m,十年间下降了 14.76 m,面积扩大到 957 km²。到 2000 年漏斗中心水位为 95.17 m,五年间下降了 4.76 m,速率为 0.928 m/a。从漏斗形成初期到 2000 年,其中心水位总计下降了 72.7 m,漏斗年均扩展速率为 2.423 km²/a(图 1)。沧州漏斗迅速扩大的主要原因是农业用水开采量不断加大(表 2)。

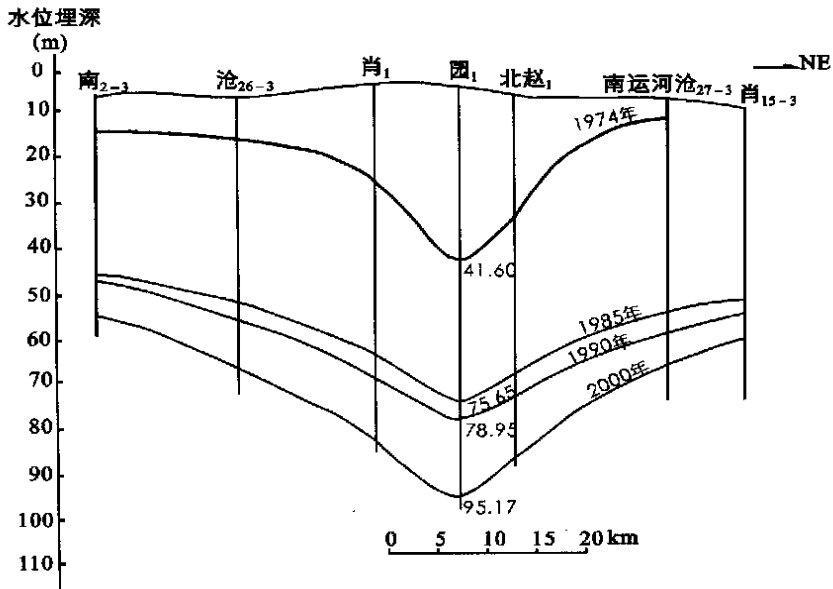


图 1 沧州市深层地下水降落漏斗水位变化剖面图

Fig. 1 The exhaustion cones of deep groundwater level in Cangzhou City

表 2 沧州市深层地下水农业开采量统计

Table 2 Exploitation quantity of deep groundwater for Agriculture in Cangzhou City

年份	1975 年前	1976 ~ 1980	1981 ~ 1985	1986 ~ 1990	1991 ~ 1995	1996 ~ 2000
年均开采量 ($10^4 \text{ m}^3/\text{a}$)	7 043.0	19 449.3	38 049.0	28 530.7	37 857.0	44 122.0

4.2 宁河—唐海地下水下降漏斗

宁河—唐海深层地下水下降漏斗形成于上世纪六十年代末,东起乐亭境内的大清河、王庄子,西至天津境内的宁河县,北部沿咸水边界,南至渤海湾,漏斗中心位于汉沽农场一分场。

1975 年宁河—唐海深层水漏斗中心水位埋深 20.85 m,漏斗面积为 1 629 km^2 。到 1985 年 6 月中心水位为 24.85 m,面积达到 1 739 km^2 ,十年间水位下降了 4 m,面积增加了 110 km^2 。到 1995 年 6 月中心水位为 73.15 m,十年间下降了 48.3 m,面积达到 3 175 km^2 ,扩大了 1 436 km^2 。到 2000 年水位为 82.54 m,五年间水位下降了 9.39 m,速率为 1.858 m/a,面积缩小为 3 145.8 km^2 ,减少了 29.2 km^2 。从漏斗形成初期到 2000 年,水位总降幅为 61.7 m,平均下降速率为 2.37 m/a(图 2)。

宁河—唐海漏斗形成的原因和沧州漏斗是相同的,即深层农业用水开采量过大引起,灰色关联度方法分析其形成原因与主要影响因子

时^[1],证实了这一见解。

5 地下水化学场演化规律和特征

长期过量开采地下水,加之气候干旱度加大等因素,使环渤海河北地区地下水渗流场和水质皆发生了很大变化,主要表现在水化学类型、矿化度、硬度变化,以及 HCO_3^- 、 SO_4^{2-} 、 Cl^- 、 K^+ 、 Na^+ 、 Ca^{2+} 和 Mg^{2+} 等主要离子成份的变化。

5.1 浅层地下水水化学类型的变化

总体上看,自 1975 年以来浅层地下水中 HCO_3^- 有减少趋势, Cl^- 和 SO_4^{2-} 有增加的趋势。单纯的重碳酸盐型地下水面积呈缩小趋势,以重碳酸盐为主的地下水,以及单纯的氯化物型和氯化物—硫酸型地下水面积皆有增大趋势(表 3)。这表明浅层水水质在逐渐变差,主要原因是人类活动对浅层水污染增强,咸水和淡水混合作用加剧,以致浅层淡水逐渐咸化。

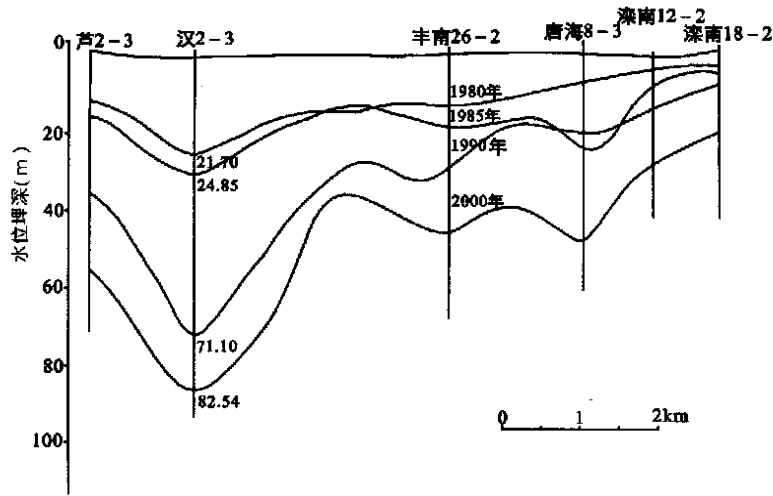


图 2 唐山沿海深层地下水降落漏斗钻孔多年水位变化图

Fig. 2 Exhaustion cones of deep groundwater level along the inshore well drilling near Tangshan City

表 3 浅层地下水水化学类型分布面积 (km²) 变化

Table 3 Area variation (km²) in different water chemical types of shallow layer groundwater

水化学类型	1975 年	1985 年	1995 年	2000 年
H	28 289	39 302	32 696	23 808
HS	8 271	1 252	3 825	4 510
HL	8 691	4 214	16 480	11 640
HSL	328	501	643	745
HLS	138	102	73	13 012
SH	379	498	340	1491
SI (SHL)	6 662	5 593	5 938	3 010
S	253	179	358	81
LHS (LSH)	88	96	174	1 293
LH	14 331	6 270	4 177	1 304
LS	1 252	8 776	4 519	5 683
L	3 887	5 333	3 616	6 552

1975 ~ 2000 年间不同矿化度地下水分布面积统计显示, 小于 2 g/L 的淡水和 2 ~ 3 g/L 的微咸水

面积呈减少趋势, 3 ~ 5 g/L 咸水的面积有增大趋势 (表 4), 证实咸、淡水的混合作用在逐渐加强。

表 4 不同矿化度地下水分布面积 (km²) 变化

Table 4 Area variation (km²) of the groundwater in different mineralized degree

矿化度 (g/L)	1975 年	1985 年	1995 年	2000 年
< 2	52 905	49 607	51 935	50 279
2 ~ 3	16 119	13 863	15 310	13 123
3 ~ 5	3 116	4 971	4 325	4 919

5.2 浅层地下水矿化度变化

5.2.1 冀东山前平原区: 水质监测显示, 该地浅层水水化学类型、矿化度发生了较大变化, 矿化度上升的监测点约占 90 %, 未明显升高点占 10 %。其中淡水矿化度和硬度上升幅度较明显, 唐

8 孔地下水矿化度年均增长速度为 11.92 mg/L, 总硬度年均增长速度为 4.19 mg/L, 阴离子以 CO₃²⁻ 和 SO₄²⁻ 上升速度较快, 阳离子以 Ca²⁺ 和 Mg²⁺ 上升速度较快 (表 5)。

表5 冀东山前平原唐8孔地下水化学组份变化(mg/L)

Table 5 Chemical composition(mg/L) variation of Tangshan 8th well in front mountain plain of Eastern Hebei

项目	1984年	1987年	1989年	1990年	1992年	1994年	1995年	1997年	1999年	2000年
$K^+ + Na^+$	9.70	7.28	14.01	8.02	11.03	8.10	11.60	14.86	10.60	11.70
Ca^{2+}	32.20	36.68	38.16	37.90	42.71	36.68	48.48	56.99	54.50	56.10
Mg^{2+}	12.34	16.00	13.86	14.14	14.48	17.62	15.86	15.18	19.90	17.00
HCO_3^-	138.69	172.66	178.30	161.00	190.81	173.48	200.89	184.67	205.00	205.00
SO_4^{2-}	3.03	7.49	7.36	8.25	9.12	10.00	25.00	24.00	14.40	28.80
Cl^-	33.29	6.71	9.61	10.25	9.00	12.41	12.18	22.41	19.90	24.10
矿化度	159.91	199.40	172.30	171.80	196.72	179.20	232.00	250.20	253.60	361.70
总硬度	131.00	157.80	153.20	152.58	166.13	163.60	187.10	204.70	218.20	210.20

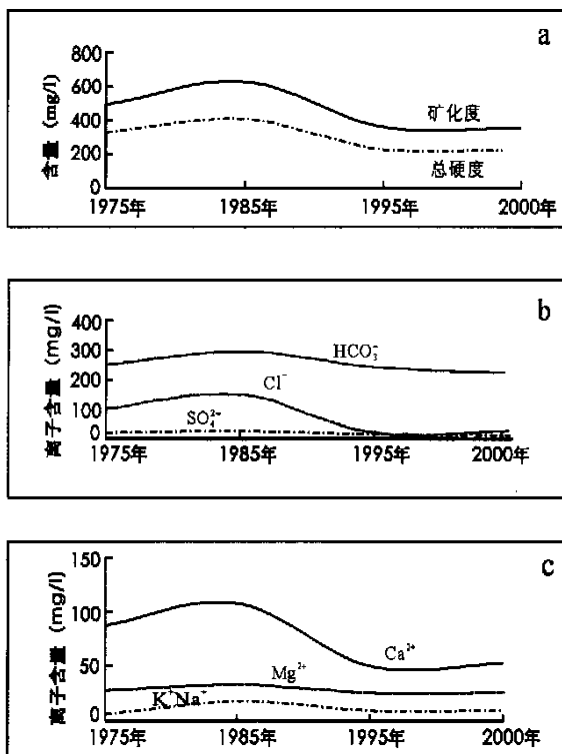


图3 唐4孔矿化度和总硬度(a)、阴离子(b)、阳离子(c)变化曲线

Fig. 3 Variations of the mineralization intensity and total rigidity (a), the anion (b), the cation (c) in Tangshan 4th well

地下水矿化度和硬度上升多出现在水位下降幅度较大、污染相对较重的地区。矿化度上升的原因,一是由于长期过量开采地下水,水位下降改变了地下水中碳酸盐矿物和二氧化碳的溶解度,使之由不饱和向饱和状态转变,增加了地下水对白云石、石膏和方解石的溶解能力^[2];

二是因为污染物中 K^+ 和 Na^+ 入渗到地下水中,与黏土中的碳酸盐矿物产生离子交换,使地下水中 Ca^{2+} 和 Mg^{2+} 含量增加,进而使离子总量增加。

淡水矿化度和硬度基本稳定的如冀东平原的唐4孔(图3),主要原因是此类地点位于冲洪积扇轴部,浅部地层地下水循环较好,水位下降幅度较小,而且该井是水源地,已予保护,故而变化不大。

5.2.2 滨海平原区:浅层咸、淡水矿化度变化十分强烈,可分为上升、缓慢下降和基本平稳三类,矿化度上升的观测点约占60%,下降点约占27%,基本稳定的占13%。分别出现在浅层咸-淡水接触带附近、淡水体中部地带和咸-淡水界线附近。

矿化度上升型:霸(县)8-1孔矿化度年均增长速度为105.32 mg/L,系因位于咸-淡水接触带上。

开采浅层淡水,即加大了淡水和咸水的水位差,增大了水力梯度,加快了地下水循环,也加强了咸、淡水的混合作用,导致矿化度急剧增加^[3]。

矿化度缓慢下降型:自1975至2000年间,肥(X)7-1孔矿化度由1900.10 mg/L减少到1644.0 mg/L,总硬度由916.8 mg/L减少到637.8 mg/L。主要是因为该地位于咸-淡水界线以西,而此界线有向东逐渐移动的趋势,咸水的影响由此减弱了。

矿化度基本稳定型:主要分布于大范围咸水或淡水中部地带,如吴(桥)12-1、海(兴)3

-1孔和沧(县)38-1孔,矿化度变化幅度在5~50 mg/L之间,总体呈平稳状态。

5.3 深层地下水化学类型变化

沧州市东部地区大部分水化学类型为氯化物-钠型水,1984年分布面积为2363.6 km²,1989年为3049.6 km²,1994年为3659.6 km²,10年间面积扩大了1296 km²。其原因是地下水的强烈开采,形成以沧州市区为中心的水位降落漏斗,漏斗中心不断加深,面积不断扩大,导致氯化物-钠型水不断向西移动。

5.4 深层地下水矿化度的变化

5.4.1 冀东山前平原区:深层水矿化度和NO₃⁻有所增加,如滦南3-3孔矿化度自1981年至2000年间年均增长速度11.405 mg/L,NO₃⁻由1990年的未检出到1996年增长为22.611 mg/L,年均增长速度3.23 mg/L(。部分钻孔深层水矿化度基本保持稳定,但NO₃⁻有缓慢增长趋势。如1986年乐亭11-3孔矿化度为273.75 mg/L,2000年为266.9 mg/L,基本保持稳定,但NO₃⁻由1988年的1.7 mg/L,增长到2000年的2 mg/L,年均增长速度为0.023 mg/L。

表6 滦南3-3钻孔地下水化学组份变化(mg/L)

Table 6 Water chemical composition variation of the groundwater in Luannan Well No. 3-3 (mg/L)

项目	1981年	1984年	1986年	1988年	1990年	1992年	1995年	1999年	2000年
K ⁺ + Na ⁺	21.00	30.00	36.20	24.28	25.40	17.84	12.80	52.90	34.60
Ca ²⁺	16.00	26.92	37.86	43.14	44.90	44.96	41.74	49.70	48.90
Mg ²⁺	12.00	9.40	13.49	12.19	9.90	8.35	7.01	5.30	9.70
HCO ₃ ⁻	132.00	188.78	256.16	224.86	254.50	173.77	223.31	290.40	341.70
SO ₄ ²⁻	12.00	12.69	3.70	2.16	0.30	3.60	0.59	6.70	3.80
Cl ⁻	9.00	0	17.76	14.36	17.20	12.60	6.96	11.30	15.60
矿化度	137.00	173.40	237.00	209.00	238.00	202.50	192.70	271.00	365.40
总硬度	99.58	105.83	140.00	158.00	73.00	146.60	133.10	146.10	162.10

5.4.2 滨海平原区:在京津以南的河北省中部及滨海平原区,深度200~300米的泊(头)3-3.2孔、泊(头)7-3.1孔、泊(头)1-3.2孔、河(间)8-3孔、大(城)13-3孔和青(县)11-3孔

等的资料显示,各孔深层水矿化度呈逐渐上升趋势,而大(城)13-3孔和青(县)11-3孔的矿化度则基本未变(表7)。

表7 小于300米深度钻孔矿化度含量变化(mg/L)

Table 7 Mineralized degree variation of the wells under 300 m (mg/L)

孔号	1975年	1985年	1995年	2000年
泊(头)3-3.2	774.40	762.60	859.63	948.00
泊(头)7-3.1	551.90	617.20	683.08	657.90
泊(头)1-3.2	577.00	595.30	603.31	647.02
河(间)8-3	484.00	479.10	605.03	789.00
大(城)13-3	678.00	742.00	703.69	699.80
青(县)11-3	802.20	737.10	747.80	789.70

在300~400 m孔深的沧(县)8-3.2孔和献(县)4-3孔(表8),以及大于400 m孔深的黄(骅)33-3孔、黄(骅)4-3孔、海(兴)8-4孔、阜9孔和泊(头)14-4孔(表9),只有沧8-3.2孔

的矿化度由1975年的1089.1 mg/L增长到2000年的1356 mg/L,其余钻孔水体矿化度基本稳定,特别是大于400 m深钻孔的矿化度更是稳定。

表8 300 ~ 400 m深钻孔地下水矿化度变化(mg/L)

Table 8 Mineralized degree variation of the wells between 300 and 400 metres (mg/L)

孔号	1975年	1985年	1995年	2000年
曲(阳)7-3	596.80	608.60	618.40	622.30
肃(宁)2-3	360.90	501.90	332.17	441.60
枣(强)33	637.00	626.00	705.91	747.70
衡(水)30	569.00	646.00	1 090.00	1 381.00
献(县)4-3	463.90	456.40	465.33	466.70
(武)邑40	715.00	776.00	834.01	897.00
沧(县)8-3.2	1 089.10	1 65.20	1 134.78	1 356.00

表9 400 ~ 500 m深钻孔地下水矿化度变化(mg/L)

Table 9 Mineralized degree variation of the wells between 400 and 500 metres(mg/L)

孔号	1975年	1985年	1995年	2000年
阜(城)	1 053.10	1 058.00	625.00	956.00
黄(骅)33-3	1 479.10	1 288.50	1 335.64	1 300.00
黄(骅)4-3	1 630.40	1 650.80	1 593.99	1 610.00
海(兴)8-4	1 585.90	1 520.20	1 561.94	1 540.00

冀东平原滦南19-3孔、乐(亭)27-3孔、丰南25-4孔和柏(各庄)14孔地下水矿化度多

年略有波动,幅度一般小于30 mg/L,其阴、阳离子多年来亦基本呈稳定状态(表10)。

表10 冀东滨海平原代表性孔矿化度和总硬度含量表(mg/L)

Table 10 Mineralized degree and total rigidity of the representative wells in inshore plain of Eastern Hebei (mg/L)

孔号	项目	含量(起始年份)	1989年	1990年	1992年	1996年	2000年
滦南19-3	矿化度	299.00(1986年)	305.00	396.00	361.00	294.60	293.80
	总硬度	32.80(1986年)	60.70	69.10	64.60	63.10	60.00
乐27-3	矿化度	307.23(1984年)	312.40			309.70	318.60
	总硬度	55.50(1984年)	62.60			59.00	62.00
丰南25-4	矿化度	333.00(1981年)	346.12	348.70	362.50		
柏14	矿化度	327.50(1982年)		274.50	428.00	304.90	314.70
	总硬度	62.46(1982年)		77.09	89.23	83.60	76.10

滨海平原区少数小于300 m深钻孔地下水的矿化度有所增加,主要原因是开采第二含水组,距离咸水体较近。由于深、浅层地下水水位差较大,造成上部咸水下移,深层淡水水质变差。另外,成井时止水不良也造成部分钻孔水质变差。井深大于300 m、特别是大于400 m的孔,由于开采层位主要为第三、第四含水组,和咸水体底界距离较大,粘性土层较厚,防护能力较强,不易污染,故而水质基本稳定。

6 结论

由于超量开采地下水,环渤海河北地区在山前平原和中部平原浅层地下水水流场,已经由

天然状态演化为人工状态;深层地下水已由天然向渤海的汇集演化成人工开采条件下的向漏斗中心汇集。

不同地段地下水水位下降幅度和水质变化情况有所不同。自山前至滨海,浅层地下水水位下降幅度总体上是由大变小,而深层水水位下降总体是由小变大。浅层地下水水质总体呈现出恶化趋势,淡水面积有所减少,咸水面积有所扩大,矿化度总体呈现出上升趋势,重碳酸型地下水面积有所减少,氯化物型和氯化物-硫酸型地下水面积有所增大。深层地下水水质总体上基本保持稳定,但是在局部地段有一些孔深小于300米的井中地下水矿化度有所增大。

参考文献:

- [1] 郭永海, 张作辰, 沈照理, 等. 河北平原地下水动力环境演化影响因素的关联度分析[J]. 工程地质学报, 1995, 3(3): 62-66.
- [2] 张宗祜, 施德鸿. 人类活动影响下华北平原地下水环境的演化与发展[J]. 地球学报, 1997, 18(4): 337-344.
- [3] 郭永海, 张作辰, 沈照理. 河北平原咸淡水界线的变化及影响因素的探讨[J]. 水文地质工程地质, 1995, (4): 38-42.

Evolution of the Groundwater Environment in the Hebei Sector of the Circum Bohai Sea Region

WANG Xin bao , SHANG Lin qun , LI Yu fong

(Geo Environment Monitoring Station of Hebei Province, Shijiazhuang, 050021)

Abstract : Based on the analysis of the large amount of collected data, the groundwater flow field and chemical field in Hebei sector of the Circum Bohai Sea region are discussed. Because of over pumping the groundwater, the big exhaustion cones have been formed during the recent decades. Both the shallow and deep groundwater flow fields have changed from natural state to man-made state. The natural groundwater has flowed to the center of the exhaustion cones instead of to the Bohai Sea. The quality of the shallow groundwater takes a worse trend. The areas with the bicarbonate groundwater are decreasing, and with the chloride and chloride vitriol groundwater are increasing. On the other hand, the quality of the deep groundwater is in the good state, except for the several wells less than 300 meters at some local places.

Key words : groundwater flow field; groundwater chemical field; Circum Bohai Sea region; Hebei Province