

下辽河平原新近系地下水开采的动态变化特征

王卫东, 宋庆春

(辽宁水文地质工程地质勘察院, 大连 116037)

摘 要:新近系地下淡水是下辽河三角洲地区的盘锦市和辽河油田主要供水水源。地下水处于封闭到半封闭环境, 包括明化镇组(Nm)和馆陶组(Ng)两个含水岩组。天然状态下, 地下水位接近或高于地表; 开采条件下, 地下水位逐年下降, 形成区域性降落漏斗, 地下水流场均发生显著变化, 形成汇向开采区的向心流场。开采明化镇组地下水为主的盘东水源地, 开采初期水位下降速率为 $1.61 \sim 5.19 \text{ m/a}$, 至 1996 年降至 $0.63 \sim 1.03 \text{ m/a}$; 馆陶组地下水为主的各水源地, 开采初期水位下降速率为 $2.10 \sim 4.21 \text{ m/a}$, 至 1996 年减至 $1.49 \sim 2.05 \text{ m/a}$ 。这是由于地下水流场变化, 导致明化镇咸水体内侵和下移所致, 该地地下水中 Cl^- 的不断增高也证明了这一点。至 1998 年, 平面上, 咸水体每年增加 3.18 km^2 , 盘东水源南部, 咸水体内侵速率已达每年 220 m 。垂向上咸水体年下移速率一般每年 $0.5 \sim 1.67 \text{ m}$ 。进行新近系地下水动态特征和演化趋势研究, 将为合理开发利用宝贵的淡水资源提供科学依据。

关键词:新近系; 淡水资源; 咸水体; 动态特征; 演化趋势

中图分类号: 641.74

文献标识码: A

文章编号: 1007-6956(2004)03-0144-05

下辽河平原南部第四系地下水主要为咸水, 分布面积高达 $4\,582 \text{ km}^2$, 淡水资源贫乏, 新近系地下淡水是下辽河三角洲地区的盘锦市和辽河油田主要供水水源^[1]。由于不合理开采, 地下水位逐年下降, 形成了区域性降落漏斗, 并出现了咸水体内侵和下移, 水源地水质恶化等问题。多年来, 辽宁省水文地质工作者对于下辽河三角洲区新近系地下水资源进行了相应的勘察和明化镇组咸水体运移特征研究工作, 但对于开采条件下地下水动态变化特征还缺乏系统的总结和研究。本文通过对地下水位、地下水流场及水质动态变化分析, 系统总结了开采条件下地下水动态变化特征及影响因素。由于新近系地下水深埋地下, 处于封闭到半封闭状态, 地下水补给量远小于开采量, 开采性质为疏干性开采。查明开采条件下新近系地下水的动态变化特征, 有利于资源的合理开发和可持续利用。

1 新近系地下水赋存条件

下辽河平原区新近系及含水层厚度巨大, 贮存了丰富的地下水资源, 地下水处于封闭到

半封闭环境, 包括明化镇组(Nm)和馆陶组(Ng)两个含水岩组。

明化镇组含水岩组:明化镇组是一套河湖相沉积物, 分为上下两段, 上段为砂砾岩、砂岩和泥岩互层, 下段以泥岩为主。地层厚度由东、北、西三个方向向中南部增厚, 含水层累计厚度 $30 \sim 450 \text{ m}$, 埋深在 $100 \sim 450 \text{ m}$ 深度之下。南部明化镇组含水层上部赋存多期遭受海侵并蒸发浓缩残留的咸水体, 覆于淡水体之上, 分布面积 $1\,690.8 \text{ km}^2$, 咸水区淡水含水层顶板埋深在 $600 \sim 900 \text{ m}$; 在地下水主要开采区内, 第四系含水层与明化镇组含水层间普遍存在 $3 \sim 4 \text{ m}$ 厚度以上的泥岩, 构成明化镇组含水层上部相对稳定的弱透水和隔水边界; 明化镇组下段泥岩层(一般大于 50 m)构成含水层下部的隔水边界。

馆陶组含水岩组:馆陶组为一套河流—洪积地层, 经历了后期成岩作用, 岩性主要为砾岩、砂砾岩及泥岩互层。地层厚度由东、北、西三个方向向中南部增厚, 含水层累计厚度 $130 \sim 350 \text{ m}$, 埋深 $320 \sim 1\,200 \text{ m}$ 。下第三系顶部泥岩、钙质页岩构成馆陶组含水层下部隔水底板。

收稿日期: 2004-07-10

基金项目: 中国地质调查局地质调查项目(20011240002)

作者简介: 王卫东(1962-), 男, 高级工程师, 大学本科, 从事水文地质工程地质环境地质研究,

电话: 41186876528; E-mail: wweldon9661@sina.com。

明化镇组和馆陶组两个含水层可以看作两个相对独立的地下水系统,第四系含水层与明化镇组含水层之间存在弱越流补给;明化镇组含水层与馆陶组含水层仅在局部沿新近系地层中发育的构造带可能存在“天窗”补给^①。

2 新近系地下水开采历史

新近系地下水开采始于1969年,由辽河油田勘探开发石油过程中发现并开发利用的,是油田开发初期滨海平原区惟一可以利用的淡水资源,至今开采历史近35年,大体上分为四个开采阶段^②:1)1969~1975年油田开发初期,以开采馆陶组地下水为主,主要为零星开采,钻井数44眼,用途为小型的生活水源和加压泵站;2)1976~1982年辽河油田全面发展,明化镇组和馆陶组地下水同时开采,从零星分散供水,变成集中分区供水,开采井约达100眼,建成大小水源15座,开采能力达到 $15 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$;3)1983~1988年农业及城市用水增加,包括辽河油田开发新的油区增加的水源地,新近系地下水各种水井达402眼(其中辽河油田水源地20个),开采能力达到 $35 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$;4)1989年至今,控制调整开采阶段。由于地下水开采量增加,造成区域水位持续下降,引起了油田和地方政府的注意,对新近系地下水的开采进行了专门研究,除新开油区必须的水源开发外,进行统一控制和开采布局调整。至1996年辽河油田有水源地32个,地方各种水源井212眼,新近系地下水总开采量 $33 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$;其中明化镇组地下水开采量 $14 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$;馆陶组地下水开采量 $19 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。

3 开采条件下,地下水位动态变化及演化趋势

3.1 新近系地下水天然流场与水化学特征

新近系地下水在开采初期,明化镇组承压水天然水头接近或高于地表,于楼地区地下水位接近地表,盘山、曙光地区高于地表2~3m,滨海地区高于地表可达4m以上。馆陶组承压

水天然水头一般高于地面4m以上。地下水类型以重碳酸型水为主,阳离子主要为钠型和钠钙型水,矿化度多数小于0.5 g/L。

3.2 开采条件下地下水位动态特征及演化趋势

3.2.1 区域地下水位变化特征

由于新近系地下水深埋地下,处于封闭到半封闭状态,地下水补给量远小于开采量,开采性质为疏干性开采。因此,无论明化镇组还是馆陶组,区域上地下水位总体呈下降趋势。至1996年,明化镇组含水岩组地下水,已经形成以盘东和兴隆台为中心的较大型降落漏斗,以及各开采水源范围内小型降落漏斗区(图1);馆陶组含水岩组地下水则形成以兴隆台为中心的区域性降落漏斗^③(图2)。

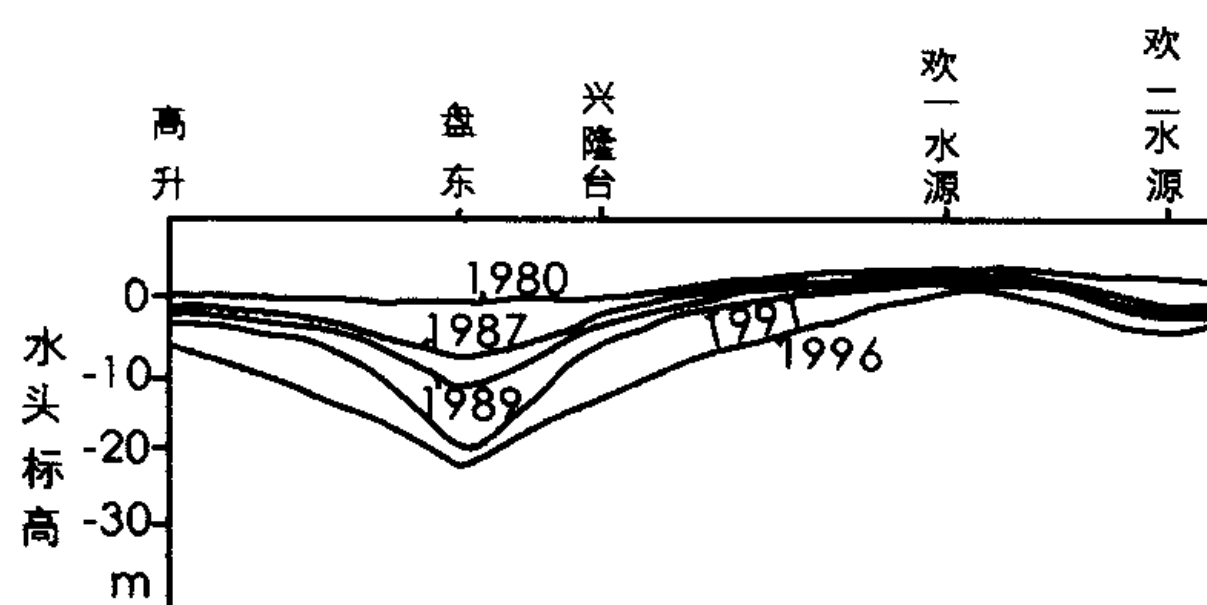


图1 明化镇组地下水位及开采漏斗变化曲线图

Fig. 1 Curve showing the underground water level and exploitation cone change in Minghuazhen Formation

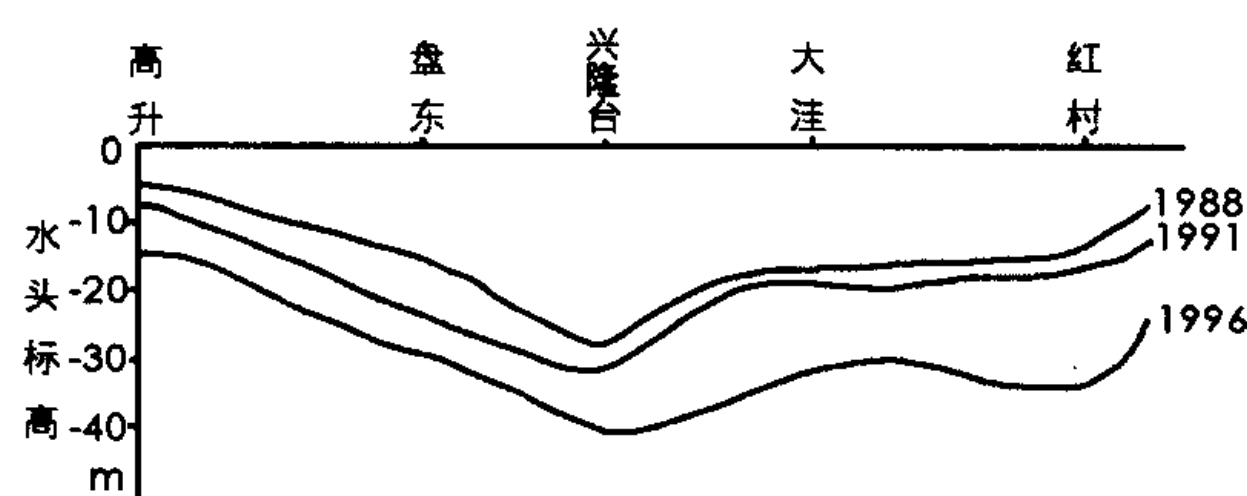


图2 馆陶组地下水位及开采漏斗变化曲线图

Fig. 2 Curve showing the underground water level and exploitation cone change in Guantao Formation

3.2.2 地下水水位动态演化趋势

经多年开采后,区域地下水位普遍下降,并呈持续下降趋势。明化镇组地下水位埋深起初一般大于5m,至1996年,开采强度较高的盘东水源区水位埋深达20~26m,下降速率为0.63~1.13 m/a;开采强度相对较低或无开采地区,水位埋深一般小于10m,下降速率为0.2~

①王卫东,张国祥,李宝兰. 辽宁盘锦市地下水管理模型初步研究报告. 辽宁水文地质工程地质勘察, 1992.

②王捷夫. 下辽河平原南部上第三系承压水开发实践与研究, 1989.

③卢景峰, 闫宝强, 等. 辽宁省下辽河平原南部上第三系地下水勘察评价报告, 1997.

0.44 m/a。馆陶组地下水主要开采区位于兴隆台、曙光和欢喜岭地区。兴隆台地区地下水位埋深已达 33.5 ~ 45.0 m,水位下降速率 1.26 ~ 1.68 m/a;曙光和欢喜岭地区地下水位埋深 20 ~ 30 m,下降速率 1.0 ~ 1.22 m/a。其它地区地下水位也均呈下降趋势,降幅一般在 1.0 m 左右。

从地下水位动态变化曲线看,新近系明化镇组和馆陶组地下水有较相同的特点;开采初期,开采量虽然不大,但地下水位下降速度较快,水位动态曲线较陡;随着开采时间增长,开采量逐年增加,地下水位降并没有进一步增加,而是减慢,水位动态曲线变缓,但随开采量和开采强度变化,水位也波动,并滞后数个月。在盘东地区明化镇组(图 3)和馆陶组含水岩组(图 4)皆显示这一特征。

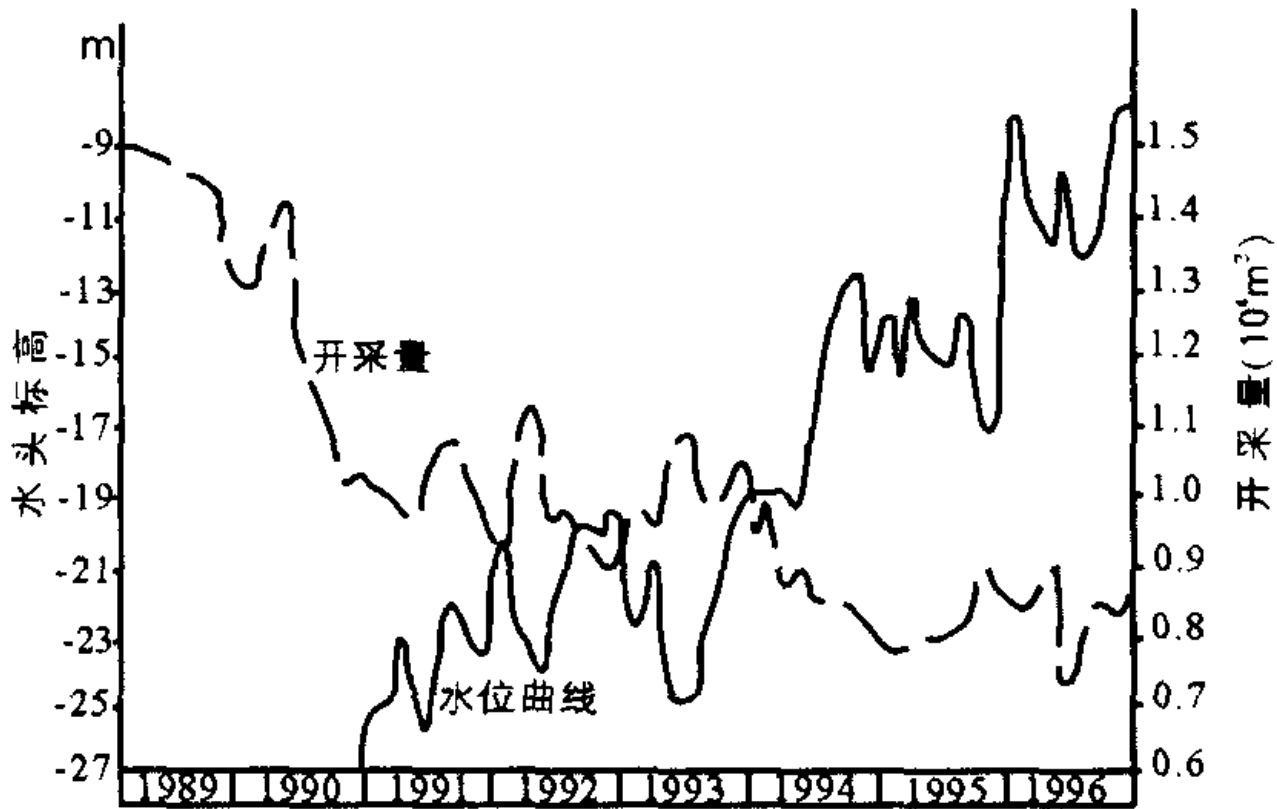


图 3 盘东地区明化镇组盘观 3 井地下水位动态曲线图
Fig. 3 The underground water level change from the Pan - Guan Well No. 3 in the Minghuazhen Formation

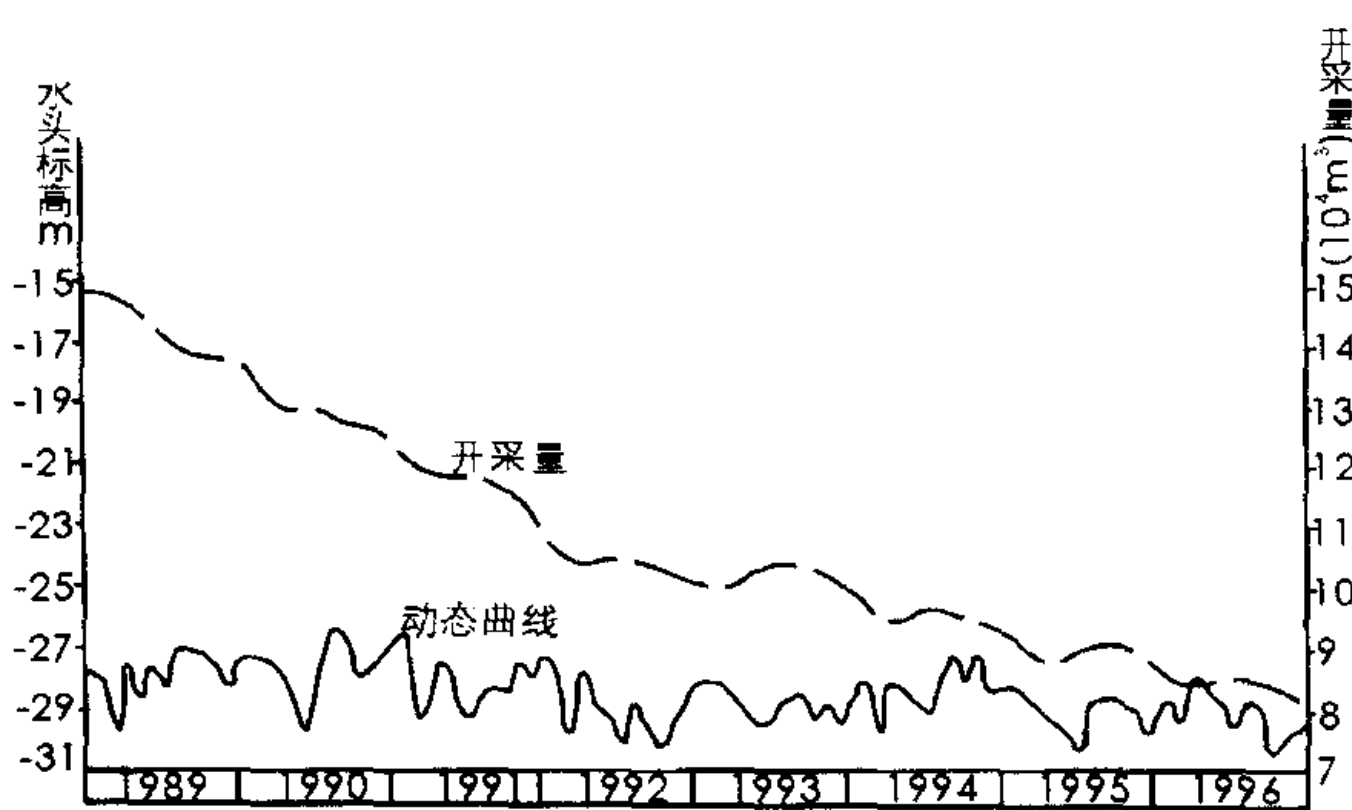


图 4 盘东地区馆陶组盘观 4 井地下水位动态曲线图
Fig. 4 The underground water level change from the Pan - Guan Well No. 4 in the Guantao Formation

水位监测资料显示(表 1),水源地开采初期,地下水位下降较大,随着开采时间增加,影响范围增大,含水层弹性释水量增加,地下水位下降均减缓。以开采明化镇组地下水为主的盘东水源地为例,开采初期水位下降速率为 1.61 ~ 5.19 m/a,至 1996 年降至 0.63 ~ 1.03 m/a。由表 1 中可以看出,地下水位变化主要受开采强度影响;当开采量逐年增加时,水位均表现为逐年下降,而 1992 年开采量比上年减少 $160.44 \times 10^4 \text{ m}^3$,水源地范围水位则普遍上升,幅度达 0.29 ~ 3.65 m。以开采馆陶组地下水为主的各水源地(表 2),开采初期水位下降速率为 2.10 ~ 4.21 m/a,至 1996 年减至 1.49 ~ 2.05 m/a。

表 1 盘东地区明化镇组地下水动态变化表

Table 1 The underground water change in Minghuazhen Formation

年 份		1989 年	1990 年	1991 年	1992 年	1993 年	1994 年	1995 年	1996 年
盘东水源开采量($\times 10^4 \text{ m}^3$)			549.26	901.46	1061.90	998.50	1350.50	1454.00	1727.20
年水头变化值(m)	盘观 1 井	-1.63	-1.61	-1.42	-0.92	+0.29	-1.89	-0.95	-1.13
	盘观 2 井	-2.67	-2.87	-2.01	-1.12	+1.05	-2.25	-0.49	-1.09*
	盘观 3 井	-3.96	-5.19	-2.51	-0.38	+3.65	-2.05	-0.21	-0.63

表 2 兴隆台地区馆陶组地下水动态变化表

Table 2 The underground water change in Guantao Formation

时期	水源名称	兴二水源	兴四水源	陈水源	兴 416 水源
	水位动态				
前期动态	水头埋深(m)	+2.15(1973 年)	+4.28(1970 年)	+3.75(1972 年)	+2.15(1974 年)
	水头埋深(m)	-17.28(1979 年)	-19.36(1980 年)	-1.50(1975 年)	-18.90(1979 年)
	降速(m/a)	2.88	2.36	2.10	4.21
后期动态	水头埋深(m)		-31.67(1990 年)		
	水头埋深(m)	-42.15(1996 年)	-42.17(1996 年)	-44.60(1996 年)	-45.00(1996 年)
	降速(m/a)	1.49	1.50	2.05	1.53

3.2.3 地下水流场变化特征

开采状态下,新近系明化镇组和馆陶组地下水流场的变化规律基本一致。由于新近系地下水处于半封闭到封闭状态,地下水的补给区位于东、西部及上部山前区,位置较高,天然状态下地下水位一般高于地表。地下水开采初期,地下水流场与天然状态下浅层地下水流场基本一致,地下水径流滞缓,由东西两侧山前向平原中部、平原上游向滨海区缓慢流动。由于地下水的开采,形成了区域性降落漏斗,新近系地下水流场均发生显著变化,形成汇向开采区的向心流场,沿海地区无论是明化镇组还是馆陶组地下水流场特征,均由开采初期的地下水向海流动变为向内陆流动,由弱排泄边界转为弱补给边界;明化镇组含水层中的咸水体因地下水流场改变表现为咸水体入侵和下移(见3.3节)。

总的来看,开采条件下新近系地下水流场均表现为:一是地下水位的持续下降和开采漏斗的不断发展;二是地下水流场的显著变化,天然流场已不复存在,向地下水开采的漏斗区汇流成为主要地下水流动方式。

3.3 开采条件下地下水水质动态特征及演化趋势

新近系淡水由于深埋地下,处于封闭和半封闭状态,以重碳酸钠型和钠钙型水为主。开采条件下一般水质变化不大;仅在滨海明化镇组含水层咸淡水接触带附近,受开采影响,地下水流场改变,引起咸水体入侵和下移,造成水质恶化^[2]。据辽河石油勘探局供水公司水文地质研究所和辽宁水文地质工程地质勘察院1999年完成的下辽河平原南部咸水体现状及运移特征研究报告,发现明化镇组咸水体分布面积1 690.8 km²,平面上分为互不联系的大小两部分。大的咸水体位于下辽河平原南部滨海区,分布面积1 678.3 km²,占明化镇组咸水体总面积的99.3%,为多期海侵残留,并经后期降水稀释和蒸发浓缩而形成,矿化度1~30 g/L,局部可达80 g/L,咸水体顶板埋深在249~516 m,底板埋深366~1 121 m。小的咸水体位于大咸水体东北部的古城子和郑家店一带,分布面积12.5 km²,占明化镇组咸水体总面积的0.7%,矿

化度1~5 g/L,底板埋深325~700 m,根据其贮水空间、岩性特点及水质特征判断,其成因主要为牛轭湖相蒸发浓缩咸水。从明化镇组咸水体发育分布来看,咸水体在古河道及地势低洼处地板埋深较大,在基底隆起的榆树至平安一带,底板埋深较浅,反映了海水沿古河道和地势低洼处入侵的特点^①。

采用美国地调局开发研制的ModelFlow软件,对明化镇组咸水体运移特征的进行了数值模拟。根据模型追踪结果,确定在平原新近系地下水开采初期的1976~1981年间,咸水体范围平均每年增加0.1 km²;1982~1987年间平均每年增加0.35 km²,1988~1993年间平均每年增加0.83 km²,1994~1998年间平均每年增加3.18 km²。在新近系地下水开采初期咸水体入侵速率多小于每年2.0 m,随着开采量增加,咸水体平面内入侵速率不断增加,在盘东水源南部,咸水体入侵速率已达每年220 m。垂向地层上,新近系地下水开采初期,咸水体垂向年下移速率变化较大,多数地区下移速率小于0.2 m,仅新兴农场、黄金带等地下水主要开采区垂向下移速率2.0~6.08 m;至1998年咸水体垂向下移速率差异不大,一般在每年0.5~1.67 m。

根据水质动态监测显示,辽河油田的黄水源(黄金带)位于明化镇咸水体范围内,含水层上部为咸水,中下部为淡水,天然状态下淡水Cl⁻含量10~30 mg/L;水源地1970年陆续开采后,至七十年代后期,开采深度较低水井已出现了水质恶化现象。水质化验表明,1985年5月开采深度较低的黄4和黄6井水质恶化(表3);从黄6井地下水Cl⁻含量多年变化来看(图5),Cl⁻含量呈年增加趋势。

表3 黄水源地下水垂向Cl⁻含量变化统计表

Table 3 The Cl⁻ vertical change in the underground water of the Huangshuiyuan

水源井	取样日期	Cl ⁻ 含量 (mg/L)	取水层段(m)
黄4井	1985-5-28	280.18	375.35~456.87
黄6井	1985-5-28	163.12	416.87~479.30
黄7井	1985-5-28	14.18	487.57~540.58
黄9井	1985-5-28	14.18	567.75~617.51

① 王卫东,张戈,魏家华.下辽河平原南部咸水体现状及运移特征研究,1999.

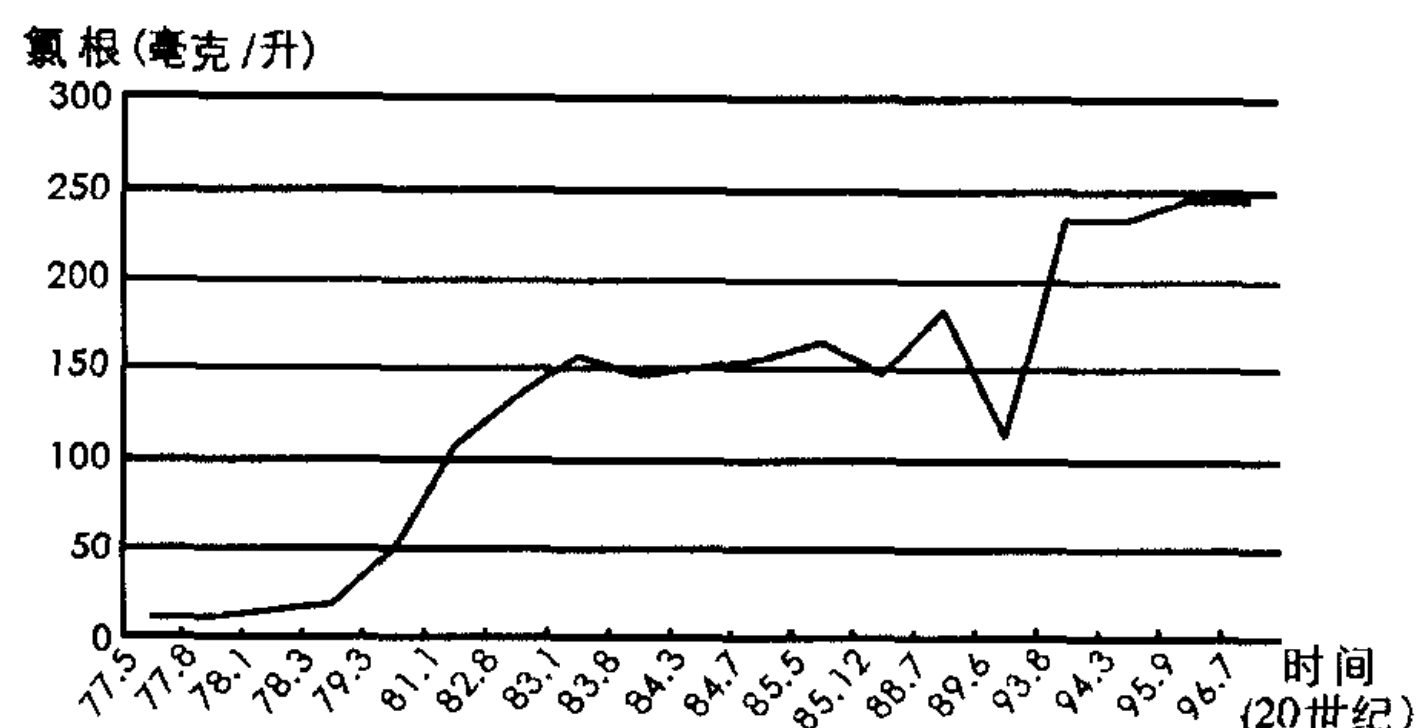


图 5 黄 6 井开采条件下地下水中 Cl^- 含量变化曲线

Fig. 5 The Cl^- in the underground water Change under the exploitation from the Huang well No. 6

开采条件下新近系地下水水质动态变化较明显的,主要表现在明化镇组咸~淡水接触带的水质恶化和范围的扩大。因此,地下水开采需严格控制咸淡水接触带的地下水水位,以保护宝贵的地下淡水资源。

4 小结

由于多年开采,下辽河三角洲的盘锦市和辽河油田新近系地下淡水含水层组,地下水位逐年下降,已经形成区域性降落漏斗,造成咸水体入侵和下移,咸水体边缘淡水水质恶化。因此,对于地下水开采必须重视动态特征和演化趋势监测研究,分析其影响因素,并随时进行开采方案调整,为合理开发利用宝贵的淡水资源提供科学依据。

参考文献:

- [1]迟道才,赵红巍,张伟华,等,盘锦市水资源承载力研究[J]. 沈阳农业大学学报,2001,32(2):137-140.
- [2]赵建海.(咸)水入侵与浅层地下水水化学特征及变化研究[J]. 地理科学,1999,19(6):525-531.

Exploitation Change of Neogene Groundwater on the Lower Liaohe River Plain

WANG Wei-dong, SONG Qing-chun

(Liaoning Hydrological and Engineering Geological Prospecting Academy, Dalian, 116037)

Abstract: The underground fresh water in the Neogene System from the lower Liaohe delta area is the main water resource for Panjin City and Liaohe Oil field. The underground water is in the closed and semiclosed state, including the Minghuazhen and Guantao water-bearing formations. In the natural condition, the groundwater table is nearly or slightly higher than the land surface. Under the pumping condition, it lowered year by year, forming the cone of exhaustion. The groundwater flow field changed into the central flow field. And the water flew toward the pumping centre. In the Pandong area, where the ground water is being pumped from the Minghuazhen Formation, the water table lowered for 1.61 ~ 5.19 m/a at the beginning, where it reduced to 0.63 ~ 1.03 m/a in 1996. In the water source of Guantao Formation, the ground water level lowered at 2.10 ~ 4.21 m/a at the beginning of pumping, and decreased to 1.49 ~ 2.05 m/a in 1996. That is because the salty water body in Minghuazhen formation intruded toward inland and moved downward, which is proved by that the Cl^- in the groundwater has been increasing constantly since 1977. Till 1998, the salt water moved toward the inland for 3.18 km² every year. In the south to the Pandong water source, it intruded for 220 m horizontally every year. In the vertical direction, the salt water penetrated for 0.5 m ~ 1.67 m downward every year. Study on the water dynamic character and evolution trend will provide a better choice for reasonable exploitation of the valuable fresh water resource.

Key words: Neogene system; fresh water resource; salty water moving downward; dynamic state