

# 滨州—高青地区深层淡水供水 水文地质条件初步评价

徐兴雨<sup>1,2</sup>, 李学森<sup>1</sup>, 汤静如<sup>1</sup>, 张伟<sup>1</sup>, 王远炜<sup>1</sup>

(1. 桂林理工大学地球科学学院, 广西 桂林 541004; 2. 中国冶金地质总局青岛地质勘察院, 山东 青岛 266100)

**摘要:**滨州—高青地区位于山东省东北部, 东临博兴县, 西与济阳县相接。北部为黄河冲洪积平原, 南部为鲁中山区山前倾斜平原。黄河穿越该区北部, 小清河流经南部, 主要地表水和主要供水水源为黄河水。由于大部分地区缺乏浅层地下水, 在引黄灌溉所达不到之地区, 特别是南部, 主要供水水源仍需开发利用深层地下水。该文对滨州—高青地区的地质构造特征进行了论述, 对滨州—高青地区深层淡水供水水文地质条件初步评价, 为该区的工农业和油田的勘探开发建设的合理用水, 提供一定理论依据。

**关键词:**水文地质; 供水条件; 地下水资源; 滨州—高青地区

**中图分类号:** P641

**文献标识码:** B

测区位于山东省东北部, 东临博兴县, 西与济阳县相接。区内地形南高北低, 南部海拔 30 m 以上, 北部约 15 m。地势平坦, 北部为黄河冲洪积平原, 南部为鲁中山区山前倾斜平原<sup>[1]</sup>。胜利油田在该区进行了大规模油气勘探与开发, 打了近千口油气井和近百口水源井, 山东省水文地质大队, 滨州市水利局也在该区打了若干口水源井。山东省鲁北地质工程勘察院进行 1:20 万水文地质普查时涉及该地区, 但尚无深层水文淡水专题研究报告。该文利用胜利油田大量油气测井的浅部资料及水源井的综合资料, 结合部分地区地下水动态的长期观测资料及水化学分析资料, 阐明了该地区的水文地质特征, 对深层淡水进行了详查, 对开发深层淡水有一定的指导意义。

## 1 地质构造

该区处于华北地台之河淮台向斜的济阳拗陷与惠民拗陷的交界部位。以青城凸起至平方王鼻状构造一线为界, 其东属于东营凹陷的高青边缘断裂、博兴断接带及金家—草桥单斜带西部, 其西属于惠民凹陷之林樊家构造及里则镇洼陷。

该区东北部为滨州凸起的西延部分。以奥陶纪地层为准, 地层由北而南逐级错断, 向南埋深逐步加大。北部的林樊家构造上, 新近纪馆陶组直接覆盖在古近纪孔店组之上, 缺失东营、沙河街组全套地层, 孔店组地层发育较全。尚西断裂使地层东掉形成里则镇洼陷。西部为青城凸起, 向东北方向延伸至平方王鼻状构造。最南部的鲁西隆起区, 在 863 m 即可见白垩纪浅红色砂岩, 在向南的章 1 井仅 430.6 m 见二叠纪地层, 至邹平县附近即出现露头区。综上所述, 该区在古生代沉积了岩性相对稳定的寒武系、中下奥陶统、石炭—二叠系, 此时, 地壳以整体升降为其特征。中生代时, 经历了强烈的燕山运动, 产生了 NE 和近 EW 走向的基底断裂, 使青城—平方王地区整体抬高, 滨州凸起形成。侏罗纪时, 青城—平方王块体中部陷落沉积了侏罗系<sup>[2]</sup>。侏罗纪末, 块体南部区(高 9 井~花 2 井)整体下降, 接受了巨厚的白垩系沉积。燕山运动后, 地壳上升使该区缺失渐新世地层。始新世块体对立活动最强烈时期, 在林樊家地区沉积了巨厚的孔店组地层, 始新世末发生了强烈的地壳运动(济阳运动)使已沉积的地层(孔店组)发生断裂、褶皱、剥蚀, 沿主断裂产

收稿日期: 2013-03-30; 修订日期: 2013-06-18; 编辑: 王秀元

作者简介: 徐兴雨(1987—), 男, 山东青岛人, 硕士研究生, 构造地质学专业; E-mail: 386931178@qq.com。

生中一基性岩浆喷发活动(平方王地区滨 252、滨 254、滨 290 井附近的玄武岩及安山质玄武岩)。渐新世块体对立活动相对变弱沉积了沙河街组,东营组基本填平了各个凹陷。早中新世东营运动使该区整体上升,遭受剥蚀,之后又大面积下降,不论凸起或坳陷,广泛沉积了中、上新世馆陶组和明化镇组地层,至更新世,该区仍在下降,作填平补齐式的沉积,形成了目前的地貌景观。

由前震旦系结晶岩构成了该区褶皱基底,在这套地层之上沉积了地台型覆盖—古生界及断陷型沉积—侏罗系白垩系、古近系,而后台向斜整体下沉,沉积了新近系和第四系。

## 2 供水水文地质条件

区内有供水意义的含水层主要是第四纪粉细砂层孔隙承压含水层以及其新近纪明化镇组上段粉细砂岩孔隙承压含水层。

第四纪全淡水型的淡水层分布范围很小,约占整个地区的 1/20。在北部和西部,第四系内为全淡水分布。根据金家庄南施工的水井,在取该层水时经试水,单位涌水量小于  $20 \text{ m}^3/\text{dm}$ ,出水量中等,抽水时的水头均高于地面,总矿化度小于  $600 \text{ mg/L}$ 。但全区第四纪全新统浅层淡水的分布比较广泛,除滨州、尚店无该层淡水,其他地区一般均有浅层淡水。浅层淡水主要由黄河冲、洪积而形成,主要接受大气降水的补给,可做为深层淡水供水不足的补充水源。

新近纪明化镇组粉细砂岩孔隙承压含水层为一套灰黄至土黄色粉砂、细粉砂。为冲、洪积所形成。砂层均未胶结,在全区广泛分布,为深层淡水的主要含水层。该砂体一般在凸起上分布较薄,单层厚度不大;在凹陷处较厚,单层厚度较大。取该段水的水井单井出水量中等。

淡水层的埋藏条件是指淡水体的产出状态,即淡水层的埋藏深度和底部埋深及其分布规律。淡水体顶、底部埋深受多种因素控制,其中最主要的是底部构造因素。由于该区处于东营凹陷与惠民凹陷的交接部位,因而其淡水体的顶、底部埋深都较为复杂。

淡水体埋深总的看来比东邻地区(利津—博兴地区)浅。淡水体埋深最深处为  $360 \text{ m}$ (而东邻地区最深达  $450 \text{ m}$ ),最浅处仅  $80 \text{ m}$  以内,埋深差达  $280$

$\text{m}$ 。但由于该区基底复杂,致使淡水埋深比较复杂,按其埋藏特点大体可分为 3 个带,即淡水层浅埋带、淡水层中等埋深带、淡水层埋深带。

淡水层底界埋深与底部构造的关系更为密切,从南向北波浪型形成三排高点和三排低点。南部高点在小清河以南,等高线呈东西向展布,最高处理深  $380 \text{ m}$ ,向北埋深逐步增大,至通 24—通 15—通 23 井一线最低。向北逐渐抬起,至青城凸起上底界又向上抬升,最高处理深为  $412 \text{ m}$ 。由此向东北,底界埋藏逐步加深,至  $18 \text{ km}$  外的通 2 井已达  $713 \text{ m}$ ,这也是该区底界最深的部位(处于博兴洼陷的西部)。

综上所述,由于该区处于东营凹陷与惠民凹陷的交接部位,底部构造复杂,故而是淡水层的埋藏较为复杂,尤其是淡水层的底界埋深受古构造的控制特别明显,凡是构造高部位(凸起上)淡水埋藏条件浅,构造低部位(洼陷处)淡水埋藏条件深。

由于油井、水井较少,该区西部厚度等值线较疏,许多界限为推测界限。中部和东部油水井较多,厚度等值线较密,数值可靠。从厚度等值线看,从南向北大体有 4 个大的厚度区,即金家厚度区、高青厚度区、平方王厚度区、里则—杨集大厚度区。其厚度等值线自南向北,有东西向逐步转向东北—西南向。大厚度区间隔排列,其位置多数沿凸起周围的断裂带分布或是大凸起的南部部位。而厚度减薄区多数在凸起顶部,含水层也只限于含水层组的上段部分发育,下端一般不发育。

由于该区处于东营凹陷与惠民凹陷的交界处,多种因素变化比较复杂。因此,水化学成分无论在水平上和垂直上的变化也比较复杂。水化学类型在平面上的分布主要以重碳酸钠型水( $\text{NaHCO}_3$ )为主<sup>①</sup>,缺少  $\text{MgCl}_2$  及  $\text{CaCl}_2$  型水。在垂直方向上可分为  $\text{NaHCO}_3$ 、 $\text{MgCl}_2$  及  $\text{CaCl}_2$  型水。在平面上主要有 2 种水化学类型,即硫酸钠( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ )型水及重碳酸钠( $\text{NaHCO}_3$ )型水,向北应出现  $\text{MgCl}_2$  型及  $\text{CaCl}_2$  型水,但属咸水,该文不涉及。

在平面上地下水化学成分差异较大。从南北向看,总矿化度逐步增大,从东西向看,则变化较大。东部一般为  $\text{NaHCO}_3$  型水重碳酸盐组,总矿化度一般为  $1000 \text{ mg/L}$  左右,各种离子含量均不高,向西逐步为硫酸盐组至  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  型水,总矿化度为

① 滨州市水利局,滨州市 1:20 万水文地质普查,1996 年。

2 000mg/L,水中硬度也由小变大<sup>[3]</sup>。

该区地下水中各种离子在纵向上的变化也是较为复杂的。仅以平方王油田中的地下水化学纵向剖面即可阐明。

平方王油田在全新统中分布有浅层淡水,但含水层极薄,且水量小,无供水意义。更新统中,地下水仍为咸水,总矿化度一般为 19~20 g/L,为 MgCl<sub>2</sub> 型水;上新世明化镇组上段地下水为淡水层,是供水的主要目的层,其矿化度为 1 000 mg/L,为 NaHCO<sub>3</sub> 型水重碳酸盐水组;渐新统至始新统上部(沙河街组)中的地下水为盐水,总矿化度一般为 20~30 g/L,为 CaCl<sub>2</sub> 类油田水;古生代奥陶纪地下水总矿化度可达 100 g/L 以上,为卤水层。纵向上各种离子的变化也是有一定规律的。Cl<sup>-</sup> 在上部和下部的水层中处于领先地位,在中部的淡水层中含量很低;Na<sup>+</sup> 的含量一般都处于第二位,但在中部明化镇组淡水层中处于领先地位;SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> 及 HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> 呈现低—高一低的变化,即上部咸水层中含量低,中部淡水层中含量高,在下部的卤水层中含量又变低;Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup> 多出现由高变低的趋势,总的趋势是自上而下变化不大。总之,在含水层结构带上,在垂直方向上为淡—咸—淡—咸水。

### 3 地下水开采资源的初步计算及评价

#### 3.1 利用相关分析法对平方王油田深层淡水资源进行初步计算

利用 14 年的观测资料进行两变量直线相关计算,求得相关系数,去掉第一年,用 13 年的资料进行两变量直线相关的计算,求得相关系数,再去掉第二年,用 12 年的资料,逐步运算求得诸相关系数,发现 6 年资料相关系数最高(表 1)<sup>[4]</sup>。

表 1 平方王油田水位与取水量相关计算

年度	Q (10 <sup>4</sup> /a)	S(m)	ΔQ	ΔS	ΔQ <sup>2</sup>	ΔS <sup>2</sup>	ΔQ · ΔS
2007	179	-37.83	31.2	-1.45	973.44	2.1025	-45.24
2008	110	-35.05	-37.8	1.33	1428.84	1.7689	-50.274
2009	128	-36.21	-19.8	0.17	392.04	0.0289	-3.366
2010	155	-35.41	7.2	0.97	51.84	0.9409	6.984
2011	165	-36.87	17.2	-4.9	295.84	24.01	-8.428
2012	150	-36.95	2.2	-0.57	4.84	0.3249	-1.254
Σ	887	-218.32			3146.84	5.19	-101.578

$$\text{相关系数 } \gamma = \frac{\sum \Delta S \cdot \Delta Q}{\sqrt{\sum \Delta S^2 \cdot \sum \Delta Q^2}} = \frac{-101.6}{127} = -0.8$$

$$\text{回归系数 } B = \gamma \sqrt{\frac{\sum \Delta Q^2}{\sum \Delta S^2}} = -0.8 \times 24.6 = 19.7$$

$$\text{回归方程 } Q = \bar{Q} + B(S - \bar{S}) = -19.7S - 568.9$$

$$S = -0.051Q - 28.87$$

式中:S 为年平均水位标高(m);Q 为年总取水量(10<sup>4</sup> m<sup>3</sup>/a)(为各月取水量之和)。

利用所得到的回归方程可对各年实际水位进行检验(表 2)。

表 2 计算水位与实测水位对比

年度	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
年取水量 (10 <sup>4</sup> m <sup>3</sup> )	179	110	128	155	165	150	182.5
年水位标高 (m)	-37.87	-35.05	-36.21	-35.41	-36.87	-36.95	
计算标高 (m)	-37.99	-34.84	-35.40	-36.78	-37.30	-36.52	-38.17
差值(m)	-0.12	0.57	0.81	-1.37	-0.43	0.43	

上述各年段的计算水位与实际水位相差较小,一般平均在 1 m 左右,最小的为 0.12 m。而预计 2013 年年底在年取水量为 182.95 × 10<sup>4</sup> m<sup>3</sup> 时,其标高水位为 -38.17 m,水位埋深为 49.05 m。也就是说,平方王油田如果维持每天取水量为 5 000 m<sup>3</sup> 的水平,那么至 2011 年年底平均水位埋深距地面 45.05 m,各水源井仍然可以维持正常生产<sup>①</sup>。通过计算可以看出,平方王油田的可开采储量为 5 000 m<sup>3</sup>/d。

#### 3.2 全区深层淡水水量的估算

##### 3.2.1 厚度等值线大于 70 m 地区

以平方王水源为代表。先以平方王漏斗以开采出的水量和其形成的减压区体积,计算出平方王漏斗的开采模数,按此模数推算出该区淡水的可开采水量。

$$Q_{\text{可采}} = V \cdot \frac{Q_{\text{漏}}}{V_{\text{漏}}}$$

式中:Q<sub>可采</sub> 为厚度大于 70 m 地区深层淡水可采量(10<sup>8</sup> m<sup>3</sup>);V 为厚度大于 70 m 以上地区平均压力水头下降达 50 m 时减压区体积(km<sup>3</sup>);Q<sub>漏</sub> 为平方王水源 14 年(1996—2012 年)来共采出的水量

① 地质科学研究院,胜利油田勘探开发研究报告集,2010 年。

( $10^8 \text{ m}^3$ );  $V_{\text{漏}}$  为与采出水量  $Q$  漏相应的减压区体积 ( $\text{km}^3$ ) 参数的确定与计算。

$$Q_{\text{漏}} = 0.194 \times 10^5 \text{ m}^3$$

$V_{\text{漏}}$  为平方王漏斗 (油田水井) 至 2010 年底面积约  $254.34 \text{ km}^2$ , 观 4 井 2010 年底水位标高为  $-36.94 \text{ m}$ , 采水 14 年来共降深  $42.53 \text{ m}$ , 故减压区体积:

$$V_{\text{漏}} = \frac{1}{3} \times 254.34 \times 0.04253 = 3.51 (\text{km}^3)$$

厚度大于  $70 \text{ m}$  的地区约为  $900 \text{ km}^2$ , 若降深  $50 \text{ m}$  水位时, 形成的减压区体积为:

$$V = 900 \times 0.05 = 45 (\text{km}^3)$$

$$Q_{\text{可采}} = V \cdot \frac{Q_{\text{漏}}}{V_{\text{漏}}} = 45 \times \frac{0.194}{3.51} \approx 2.5 (10^8 \text{ m}^3)$$

### 3.2.2 厚度等值线在 $30 \sim 70 \text{ m}$ 的地区

厚度在  $30 \sim 70 \text{ m}$  的地区无开采资料, 因为厚度是  $70 \text{ m}$  的一半, 故用上述办法所计算出的开条模数的一半估计。

$$Q_{\text{可采}} = V \cdot \frac{Q_{\text{漏}}}{V_{\text{漏}}} = 1000 \times 0.05 \times \frac{0.194}{3.51} \times 0.5 = 1.375 (10^8 \text{ m}^3)$$

### 3.2.3 厚度等值线在 $30 \text{ m}$ 以下的地区

这一地区更无开采资料, 厚度约为第一种的一半, 因此, 其可采量公式为:

$$Q_{\text{可采}} = V \cdot \frac{Q_{\text{漏}}}{V_{\text{漏}}} = 350 \times 0.05 \times \frac{0.194}{3.51} \times \frac{1}{3} = 0.319 (10^8 \text{ m}^3)$$

据上述计算, 当压力水头平均下降  $50 \text{ m}$  时, 全区深层淡水可开水量为  $4.069 \times 10^8 \text{ m}^3$ , 平方王水源地的可采储量为  $5000 \text{ m}^3/\text{d}$ 。

## 4 结论

该区主要淡水层赋存于新近纪明化镇组上段地层之中<sup>[5,6]</sup>。淡水层埋深由南向北由  $50 \text{ m}$  增加到  $300 \text{ m}$  以下, 底界埋深由  $400 \text{ m}$  增至  $680 \text{ m}$  以下, 含水层厚度一般为  $40 \text{ m}$  左右, 最大厚度  $100 \text{ m}$  以上, 最小厚度不足  $1 \text{ m}$ 。

由于该区处于东营凹陷与惠民凹陷的交界处, 水化学条件复杂, 除了在平面上有 2 种主要的水化学类型外, 其矿化度由南向北, 由东向西逐渐增大, 硬度也表现出由东向西的增加。F<sup>-</sup> 的含量虽然没有明显的规律, 但全区基本上处于高氟区。在纵向上

水化学成分的变化也较大, 全新统一一般为淡水, 更新统为咸水, 中-上新世明化镇组上段为淡水, 明化镇组中、下段以泥岩为主。馆陶组为咸水, 沙河街组为盐-卤水, 下古生界 (奥陶系为主) 主要为卤水, 矿化度高达  $100 \text{ g/L}$  以上。

地下水动态类型为人工开采型。地下水水位的变化与大气降水无关, 主要受人工开采型地下水控制, 地下水水位的变化始急而后缓。目前, 由于开采地下水, 水位下降较大, 但通过相关计算分析, 用相关方法建立起水位与采水量关系式, 预测了今后的水位变化, 即在今后的每年以  $1.85 \times 10^6 \text{ m}^3$  的规模开采地下水时, 水位仍可维持深井泵的正常生产 (水位埋深距地面  $70 \text{ m}$  以内)。

该文利用  $Q_{\text{补}}$  与  $\mu F$  的联立方程式求解法, 计算了平方王油田在开采地下水后形成新的补给量为  $4900 \text{ m}^3/\text{d}$ , 论证了开采储量为  $5000 \text{ m}^3/\text{d}$  是有保证的。用开采模数法对全区地下水资源进行分区计算, 在未来地下水水位下降  $50 \text{ m}$  的情况下, 全区地下水可开采量为  $4 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。在  $70 \text{ m}$  以上的厚度区建设中型水库, 可打井群开采地下水<sup>[7]</sup>; 在  $30 \sim 70 \text{ m}$  厚度区可建设中一小型地下水源, 可打井组开采地下水; 在  $30 \text{ m}$  以下的厚度区可建设小型分散的水源地, 且只能打单井开采地下水, 井距不得小于  $1 \text{ km}$ , 排距不应小于  $3 \text{ km}$ 。这为该区进行工业性开采地下水和制订小范围的规划提供了依据。

## 参考文献:

- [1] 蔡义汉. 华北地热[M]. 北京: 科学出版社, 2004: 1-3.
- [2] 刘志涛. 地下水动态监测数据库自动录入研究[J]. 山东国土资源, 2012, 28(11): 27-28.
- [3] 陈墨香. 地热的直接利用[M]. 天津: 天津大学出版社, 1988.
- [4] 地质部书刊编辑室. 矿区水文地质工程地质普查勘探规范[M]. 北京: 地质出版社, 1982.
- [5] 杨景春, 李有利. 地貌学原理[M]. 北京: 北京大学出版社, 2007.
- [6] 蓝俊康, 郭纯青. 水文地质勘察[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2008.
- [7] 陈崇希. 地下水流动问题数值方法[M]. 北京: 中国地质大学出版社, 2009.

## Preliminary Evaluation on Hydrogeological Conditions of Deep Fresh Water Supply in Binxian - Gaoqing Area

XU Xingyu<sup>1,2</sup>, LI Xuesen<sup>1</sup>, TANG Jingru<sup>1</sup>, ZHANG Wei<sup>1</sup>, WANG Yuanwei<sup>1</sup>

(1. Earth Sciences College of Guilin University of Technology, Guangxi Guilin 541004, China; 2. Tsing-Tao Geological Exploration Institute of China Metallurgical Geology Bureau, Shandong Qingdao 266100, China)

**Abstract:** Binxian—Gaoqing area is located in northeastern Shandong province. Boxing county locates in its east, while Jiyang county is in its west. The Yellow River alluvial plain locates in its north part, and piedmont sloping plain of Luzhong mountainous area is in its south part. The Yellow River crosses in the north part of this area, and Xiaoqinghe flows through the south part. Main surface water and water source are the Yellow River water. Because most of the regions lack shallow fresh groundwater, in the reach of the Yellow River irrigation area, especially in the south, development and utilization of deep groundwater should be carried out as main source of water supply. In this paper, hydrogeological conditions of deep fresh water in Binxian—Gaoqing area have been discussed primarily. It will provide certain theoretical basis for rational use of water in industry, agriculture and construction of oilfield exploration and development.

**Key words:** Hydrogeology; supply conditions; groundwater resources; Binxian - Gaoqing