

基于 Modflow 的地下水降落漏斗 发展预测及防治对策

——以东营市广饶地区为例

刘咏明^{1,2}, 崔圆圆¹, 计孝飞¹, 邵琦¹

(1. 山东省地矿工程集团有限公司, 山东 济南 250014; 2. 山东省地质测绘院, 山东 济南 250014)

摘要:以工作区水文地质条件为基础, 基于 Modflow 建立水文地质数学概念模型。通过模型对工作区地下水降落漏斗的发展进行预测, 得出 5 年后地下水流场总体形态基本没有大变化, 地下水集中开采水源地水位普遍降低, 降落漏斗范围进一步扩大, 等水位线降低 4~10 m, 地下水处于超采状态, 并针对此情况提出切实可行的防治对策。

关键词:水文地质数值模拟; 离散与校正; 地下水降落漏斗; 东营广饶

中图分类号: P618.31

文献标识码: B

引文格式:刘咏明, 崔圆圆, 计孝飞, 等. 基于 Modflow 的地下水降落漏斗发展预测及防治对策——以东营市广饶地区为例[J]. 山东国土资源, 2015, 31(3): 50-53. LIU Yongming, CUI Yuanyuan, JI Xiaofei, etc. Development Prediction and Prevention Countermeasures of Groundwater Pumping Cones Based on Modflow——Taking Guangrao region of Dongying City as an Example[J]. Shandong Land and Resources, 2015, 31(3): 50-53.

工作区地处暖温带, 属季风型气候区, 年平均气温 12.3℃, 年平均降水量 547.74 mm。区内主要河流有小清河、广利河、淄河等。工作区位于泰沂山北麓平原地带, 包括广饶县全境及东营区和垦利县的一部分, 面积约 2 030 km²。总地势西南高、东北低。小清河以南地面标高 10~25 m, 以北一般 3~8 m, 地貌类型可分为山前冲洪积平原和古黄河三角洲平原。

1 地质概况

1.1 地层

工作区内地层发育较齐全。中生代以来受燕山运动和喜马拉雅运动的影响, 该区一直缓慢下降, 其上沉积了巨厚的新生代地层, 该次研究的对象为第四系, 主要为湖积相, 次为海积、冲积相。地层岩性主要为粉土、粉质粘土及砂层的互层, 层底埋深 168.45~420.0 m。

1.2 构造

区内控制性断裂为齐河-广饶断裂, 控制着区内整个新生代的发育。

2 水文地质特征

根据含水层的埋藏条件和地下水水化学特征, 目前区内地下淡水开采深度(600 m)内的含水层组划分为浅层、中深层和深层地下淡水含水层组。该次研究着重以目前正大规模开采的中深层含水层为目的含水层。

2.1 含水层特征

中深层含水层组分布在广北农场—丁庄镇王署埠—牛庄镇王营—北薛一线以南地区(图 1), 面积 1 017.25 km²。含水层顶板埋深 60~120 m, 底板埋深 220~240 m, 属承压水。受沉积环境的影响, 含水层顶底界面由西南向东北倾斜。区内含水层富水性由南向北减弱, 广饶镇袁家村—广饶县城北关—稻庄镇徐家楼—长行以南地区, 推算 20 m 降深单井

涌水量大于 2 000 m³/d,花官乡草刘—草桥—西刘桥乡南塔—大码头乡驻地—一线以北地区单井涌水量小于 1 000 m³/d。地下水矿化度一般小于 1 000 mg/L。

据 2011 年 8 月下旬中深层地下水水位统测资料(图 1),中深层地下水在广饶县东部大王—稻庄镇、东北部石村镇大营、西刘桥乡石碑及丁庄镇形成 4 个地下水降落漏斗,有的已扩展到别的行政区内。地下水大量开采使其流场形态发生重大变化,以花官乡草桥—小赵庄—大码头乡北堤为界,南侧地下水从东、西、南三面向中部漏斗区汇集,以北则基本恢复原径流方向。

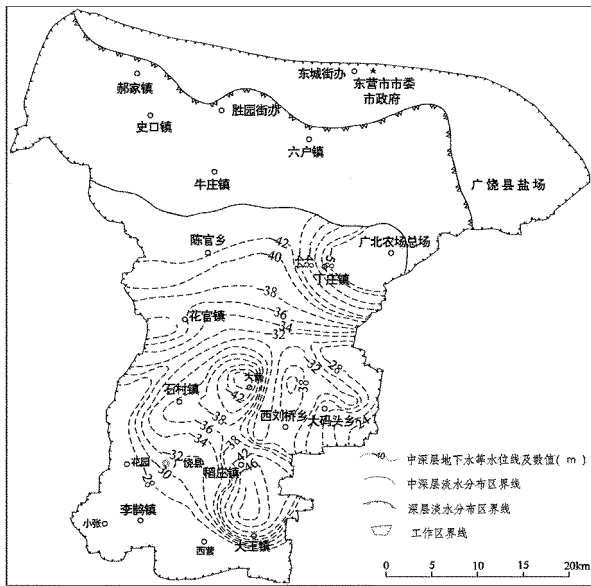


图 1 东营市中深层地下水水位等值线图(2011 年)

2.2 地下水化学类型

区内地下水化学类型具有明显的水平分带性。由南往北依次为 HCO₃ - Ca · Mg 型、HCO₃ - Ca · Mg · Na 型、HCO₃ - Na · Mg 型和 HCO₃ - Na 型。地下水阴离子类型较单一,其中 HCO₃ 型分布面积最广,反映出地下水的主要补给来源以南部山区大气降水入渗补给为主的特征。地下水阳离子类型较多,由南向北由 Ca · Mg 型、Ca · Mg · Na 型逐步转化为 Na 型,反映出地下水循环交替作用减弱、径流条件差的特征。

2.3 中深层含水层补径排条件

区内地下水的主要补给来源为南部、西南部淄博境内地下水的径流补给,东西两侧接受周边地下水的侧向径流补给,其次在广饶县中南部全淡水区,

还接受上层潜水—浅层地下水的越流补给。地下水在广饶县境内以人工开采的方式排泄,在北部向区外径流排泄。

3 地下水资源数值法计算

3.1 数学建模

含水层系统垂向上由浅层潜水—微承压淡水、中深层承压淡水和深层承压淡水 3 个单一含水层,含水层由南向北微倾斜,东西方向呈近水平状展布(图 2)。全淡区浅层淡水与中深层淡水含水层间为弱透土层,其余地段各含水层相互独立。模型概化如下^[1,2]:中深层和深层含水层概化为均质、各向异性、具有统一水力联系的承压含水层。全淡区中深层承压水流为有越流补给的平面二维流,其他地区为无越流补给的平面二维流。深层承压水流为无越流补给的平面二维流。中深层含水层顶板埋深按 80 m 计,底板和深层含水层作出等值线图输入,深层底板埋深统一按埋深 600 m。

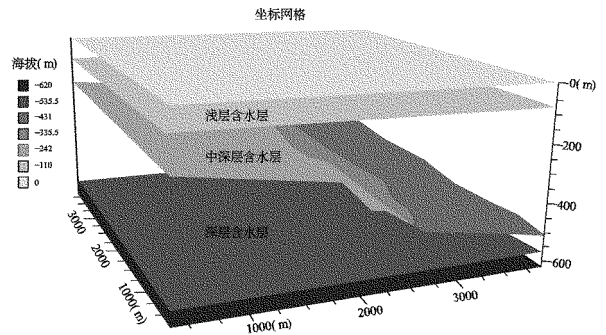


图 2 模型含水层空间分布图

根据区内含水层的水文地质特征,将含水层概化为非均质、各向异性的平面二维非稳定地下水流模型。数学模型如下^[3]:

$$\begin{cases} \frac{\partial}{\partial x} (T_x \frac{\partial H}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y} (T_y \frac{\partial H}{\partial y}) + w = \mu \frac{\partial H}{\partial t} & (x, y) \in D, t \geq 0 \\ H(x, y, t) = H_0(x, y) & t = 0 \\ H(x, y, t) |_{(x, y) \in D_1} = H_1(t) & t > 0 \end{cases}$$

式中: x, y —坐标(m); T —导水系数(m²/d); H —水头(水位)标高(m); w —源汇项(m/d); μ —弹性释水系数(无量纲); H_0 —初始水头(水位)标高(m); D —渗流区域(模拟区范围); t —时间(d); D_1 —含水层渗流区域的一类边界(给定水头边界); H_1 —一边界 D_1 上水头(水位)标高(m)。

3.2 模型求解

该次数值法计算采用 Visual Modflow 4.2 计算机软件。Modflow 采用单元中心有限差分法模拟地下水在含水层中的运动,有限差分方程组用强隐式法和超松弛因子法进行求解。

(1)计算区空间离散及差分方程建立。将计算区水文地质单元离散成 12 100 个单元,并根据实际情况对边界条件进行设定^[4]。对每个计算单元分别输入相应的参数值、各类补排量,然后把各单元结合在一起,利用 Modflow 自动计算每个单元及全区的水均衡及地下水位。

(2)模拟模型的校正识别^[5]。选择 2011 年 9 月 1 日至 2012 年 10 月 21 日,共 416 天水位观测期,作为该次数值模拟模型的校正识别期,识别期超过一个完整的水文年。

根据抽水试验资料计算的水文地质参数,将导水系数分、储水系数(给水度)进行分区。根据拟合水位变化特征,结合含水层富水性及流场变化等特征,对初始水位、水均衡、水位空间分布、水位动态等水文地质参数进行优化修正,以使计算水位与实测水位误差尽可能小。模拟后中深层承压水水位等值线分布与图 1 实际情况比较基本吻合(图 3)。

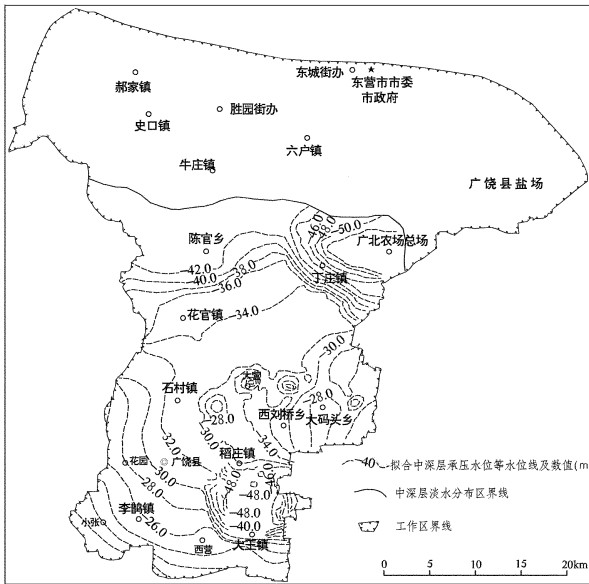


图3 拟合中深层承压水等水位线图

3.3 预测

用经过识别校正的有限差分数值模型进行地下水水位预测^[6,7],预测结果见图 4。以 2011 年为基准年,时段为 5 年(1 825 天)。预测时段内,农业开

采量保持不变,工业开采量保持不变(2009—2011 年开采数据基本平衡),生活用水按每年人口增长率 0.34% 递增。将各量分别赋给模型,预测 5 年后区内地下水流场如图 4 所示。

可见 5 年后地下水流场总体形态基本没有大变化,地下水集中开采水源地水位普遍降低,降落漏斗范围进一步扩大,等水位线降低 4 ~ 10 m,地下水处于超采状态。

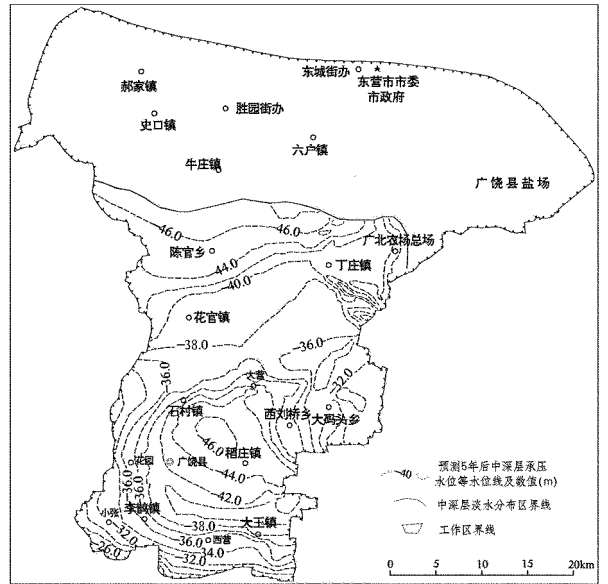


图4 预测 5 年后中深层承压水等水位线图

4 防治措施

针对软件对工作区降落漏斗发展的预测,结合该区实际情况,提出防治措施^[8,9]。

(1)合理规划开采布局。根据水文地质条件、地下水开采潜力、主要开采用途,在保障人民生活用水的前提下,考虑经济发展和资源开发保护等因素,大致分为调减开采、控制开采和适增开采三类区域。根据深层含水层厚度、富水性及补给条件,考虑地下水开采现状、地方经济发展环境,在可预见的时期内,作为集中开采有开采潜力的地段在广饶县李鹊镇和大码头乡一带。

(2)降低工业耗水,加大引黄力度^[10]。在保障国民经济健康发展的前提下,减少工业需要地下水的开采量,一是从源头上控制高耗水项目的上马,二是对已有高耗水项目进行技术改造,提高水资源的重复利用率,降低单位产值水耗。

小浪底水库建成运行后,黄河基本实现常年不

断流,使得黄河水的利用有了保障。充分利用东营市黄河水优势,兴建或利用已有引黄管道、水渠,使全工作区内工业生产都能用上黄河水,可大大降低地下水开采量。

(3)丰富灌溉水源,优化种植结构,改进灌溉方式。兴修灌渠,利用小清河水或黄河水进行农田灌溉,改变地下水作为农田灌溉的唯一水源现象。发展节水型农作物,大力推广先进的灌溉技术,如喷灌、滴灌等,杜绝大水漫灌等粗放型耕作方式。

(4)加强地下水动态长期监测,健全监测网络。目前,地下水监测工作主要侧重于浅层地下水,对中层和深层地下水监测基本处于空白。掌握地下水位、水质动态和出水量变化趋势,有利于科学地制定地下水开发利用与保护规划,持续为国民经济的健康发展服务。

(5)加强管理,健全制度。加强水资源开发规划与管理工作,加大水资源管理力度,建立严格的打井、取水制度。通过水资源费等价格机制,宏观调控地下水开采量。

参考文献:

- [1] 罗焕炎,陈雨孙.地下水运动的数值模拟[M].北京:中国建筑工业出版社,1988.
- [2] 李国敏,石钦周,马英杰,等.郑州市北郊水源地地下水三维有限元模拟[J].水文地质工程地质,1996,(5):4-7.
- [3] 吴吉春,薛禹群,黄海,等.山西柳林泉域地下水流数值模拟[J].水文地质工程地质,2001,(2):18-20.
- [4] 杨晓芳,李玉倩,屈吉鸿.迁安盆地地下水资源有限元数值模拟与评价[J].地下水,2008,(3):12-14.
- [5] 王旭升.自流井有限差分模拟的校正模型[J].地球科学(中国地质大学学报),2008,(1):112-116.
- [6] 张勇,田胜龙,赵云云.黑龙洞泉域地下水流数值模拟与预测[J].地球科学(中国地质大学学报),2008,(5):693-698.
- [7] 李燕.徐州市张集水源地地下水数值模拟及环境脆弱性评价研究[D],合肥:合肥工业大学,2007.
- [8] 赵书明.有限元数学模型在水资源评价中的应用[J].电力勘测,2000,26(2):29-33.
- [9] 刘建立,朱学愚,陈余道.山东淄博市地下水资源评价及其合理开发利用研究[J].高校地质学报,1999,5(2):211-220.
- [10] 王文科,李俊亭.地下水流数值模拟方法的发展与展望[J].西北地质,1995,16(4):52-56.

Development Prediction and Prevention Countermeasures of Groundwater Pumping Cones Based on Modflow

——Taking Guangrao region of Dongying City as an Example

LIU Yongming^{1,2}, CUI Yuanyuan¹, JI Xiaofei¹, SHAO Qi¹

(1. Shandong Geo - engineering Limited Corporation, Shandong Jinan 250014, China; 2. Shandong Geological Surveying Institute, Shandong Jinan 250014, China)

Abstract: On the basis of hydrogeological condition in work area, based on Modflow, mathematical concept model of hydrogeology has been set up. By using the model, development of groundwater puming cones in work area has been predicted. It is obtained that the overall shape of groundwater flow field is basically no big change after 5 years, water level of centralized exploitation groundwater source will generally decrease, the scope of pumping cones will expand, equivalent lines will reduce 4 ~ 10m, and groundwater will be over exploited. Pointing to these condition, relevant countermeasures have been put forward in this paper.

Key words: Hydrogeological numerical simulation; discrete and correction; groundwater pumping cones; Guangrao in Dongying city