

水文地质

基于 Visual ModFlow 的苑庄水源地地下水位预测

肖华¹, 郭加朋², 朱宁¹, 王学森¹, 唐洪敏¹

(1. 山东省鲁南地质工程勘察院, 山东 兖州 272100; 2. 山东省国土资源资料档案馆, 山东 济南 250013)

摘要:根据苑庄水源地的水文地质条件,建立了水源地的水文地质概念模型。在此基础上,采用 Visual ModFlow 对水源地地下水水流进行了数值模拟。误差统计分析表明,数值计算模型在识别与验证过程中的误差较小,模拟效果较为理想。根据所建立的数值模型,并按照设计开采量,对水源地运行后区域地下水水位的变化趋势进行了预测。

关键词:苑庄水源地;数值模拟;水位预报;山东曲阜

中图分类号:P641.2

文献标识码:B

兖矿国宏化工有限责任公司拟建的甲醇深加工工程是山东省重点项目。项目的建设急需生活及生产用水,然而该区的中水利用工程目前尚在规划中,地表水调水工程短期内又难以启动,且单一水源的保证程度较低。故选择在曲阜市陵城—苑庄一带开展地下水资源勘察工作,建设供水量约 1.9 万 m³/d 的苑庄孔隙水水源地^①,以作为拟建项目的应急供水水源。为保证拟建水源地取水的可靠性与安全性^[1-3],利用三维地下水流数值模拟软件 Visual ModFlow,对拟建水源地运行后的区域地下水位变化趋势进行了预测。

1 水文地质概况

研究区属暖温带大陆性季风气候,根据曲阜市气象局 1958—2010 年系列降水资料统计,区域多年平均降水量 708.64 mm,平水年(50%)为 706 mm,枯水年(75%)为 581.08 mm。降水年际变化较大且年内分配不均,年降水主要集中在 6—9 月份,约占全年降水量的 70%。研究区属淮河流域,地表水体主要有泗河、小沂河以及研究区西南部的塌陷坑。近年来,随着地表水体受到不同程度的污染,区内水资源开发利用逐步转变为以地下水为主。

根据含水介质的岩性组合及地下水的赋存特征可将区内含水岩组划分为松散岩类孔隙含水岩组,

碎屑岩类裂隙含水岩组和碳酸盐岩类岩溶含水岩组 3 种类型。其中松散岩类孔隙含水岩组按埋藏分布条件和地下水的赋存特征,又可分为浅层孔隙含水岩组和中深层孔隙含水岩组。浅层孔隙含水岩组底板埋深在 50 m,含水岩层岩性主要为细砂、中粗砂,属潜水或微承压水。中深层孔隙含水岩组主要分布在峰山断裂以西地区,含水层顶板埋深在 50 m,底板埋深在 180 m 左右,含水岩层岩性主要为中砂、中粗砂及粘土质砂,富水性较好,具有集中供水意义,也是工作的主要研究对象。

2 水文地质概念模型

曲阜市苑庄水源地的孔隙含水岩组在水平方向上与区外含水层有着密切的水力联系,垂向上浅层孔隙水和大气降水、地表水体存在频繁水量交换,与中深层孔隙水通过越流发生水力联系。据此,可将模拟区概化为双层结构(图 1)。

概化模型上层为潜水含水层,接受大气降水入渗、河流渗漏、侧向径流和农业灌溉回渗等补给,主要以人工开采、蒸发、侧向流出及向下覆含水层越流等方式排泄;下层为承压含水层,主要接受上覆含水层越流补给与侧向径流补给,并以人工开采和侧向径流向系统外排泄;底部与其他含水层水力联系较差,可视为隔水底界^[4]。

* 收稿日期:2012-07-25;修订日期:2012-09-26;编辑:孟舞平

作者简介:肖华(1979—),男,山东汶上人,工程师,主要从事水工环地质工作;E-mail:xb5118@163.com。

①山东省鲁南地质工程勘察院,陈浩等,山东省曲阜市苑庄水源地供水水文地质详查报告,2011年。

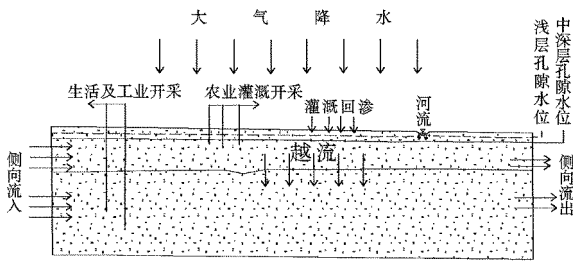


图 1 水源地水文地质结构示意图

3 数学模型

该区含水岩组的岩性在空间分布上存在一定差异,且浅层与中深层孔隙存在垂向上的联系,地下水水位随时间动态变化,地下水系统可概化为一个非均质、各向异性、满足达西定律的地下水三维渗流问题^[5]。其定解方程如下:

$$\begin{cases} \mu \frac{\partial h}{\partial t} = K_{1x} h_h \frac{\partial h_1}{\partial t} + K_{1y} h_h \frac{\partial h_1}{\partial z} - \frac{\partial h_1}{\partial z} (K_{1z} + P) + P & x, y, z \in \Gamma_0, t \geq 0 \\ S_s \frac{\partial h}{\partial x} = \frac{\partial}{\partial x} [K_{2x} \frac{\partial h_2}{\partial x}] + \frac{\partial}{\partial y} [K_{2y} \frac{\partial h_2}{\partial y}] + \frac{\partial}{\partial z} [K_{2z} \frac{\partial h_2}{\partial z}] + \epsilon & x, y, z \in \Omega, t \geq 0 \\ h_1(x, y, z, t) |_{t=0} = h_{10} & x, y, z \in \Omega, t \geq 0 \\ h_1(x, y, z, t) |_{t=0} = h_{20} & x, y, z \in \Omega, t \geq 0 \\ K_n \frac{\partial h}{\partial n} |_{\Gamma_1} = q(x, y, t) & x, y, z \in \Gamma_1, t \geq 0 \end{cases}$$

式中: h_1, h_{10} —潜水含水层水位标高及初始水位(m); h_2, h_{20} —承压含水层水位标高及初始水位(m); h_h —潜水含水层水面到含水层底板距离(m); K_{1x}, K_{1y}, K_{1z} —分别为潜水含层 x, y, z 方向的渗透系数(m/d); K_{2x}, K_{2y}, K_{2z} —分别为承压含层 x, y, z 方向的渗透系数(m/d); μ —潜水含水层给水度; S_s —承压含水层储水系数; p —潜水含水层的蒸发和降水补给等(1/d); ϵ —含水层的源汇项(1/d); $\frac{\partial h}{\partial n}$ —边界面的法线方向; K_n —一界面法线方向的渗透系数(m/d); $h_1(x, y, z, t)$ —含水层一类边界条件; $q(x, y, t)$ —一定义为二类边界的单位面积流量($m^3/d \cdot m$); Ω —渗流区域; Γ_0 —渗流区域的上边界,即地下水的自由表面; Γ_1 —渗流区域的下边界。

4 数学模型的求解

4.1 模型的剖分及参数的确定

模型求解采用 Visual Mod Flow 软件,考虑到 Visual Mod Flow 可以模拟的含水层系统^[6,7],应具有以下特点:饱和流状态、适合 Darcy 定律、地下水密度保持恒定,以及水平水力传导率和导水系数的

主流方向在整个含水层系统中保持不变。因此,根据研究区含水层的结构和地下水渗流特征,确定将计算域在垂向上划分为两层结构,第一层潜水含水层,第二层为承压含水层,两个含水层大致以埋深 50 m 为界,第一层与第二层可通过越流发生水力联系,在模型中通过赋予第一层垂向渗透系数来实现。模型第一层西部及北部以泗河为边界,东边界可接受少量侧向径流补给,南边界仅在西南部存在少量侧向径流排泄,其他则因等水位线与边界基本垂直,可作零流量边界处理;模型第一层顶边界为开放边界,可接受大气降水入渗、农业灌溉回渗及河流渗漏补给,并可通过蒸发进行排泄,第一层底边界通过越流向第二层排泄;模型第二层无明显自然边界,其中东北部接受侧向径流补给,西及西南部通过侧向径流排泄,第二层顶边界接受第一层越流补给,模型以埋深 140 m 作为底边界,为不透水边界,与下伏含水层无水力联系。计算时按 100 m × 100 m 正方形网格将全模拟区剖分为 199 行、231 列,共剖分为 91 938 个网格单元。

计算域各分区参数初值的确定,主要是根据已有各个勘察和研究阶段所进行的抽水试验成果及研究区以往的有关报告确定的。

4.2 模型的识别与验证

模型的识别与验证过程是整个模拟中极为重要的一步工作^[8],通过拟合同时期的流场和观测孔水位历时曲线,识别水文地质参数、边界值和其他均衡项,使建立的模型尽可能符合研究区的实际水文地质条件,以便更精确地定量研究模拟区的补给与排泄,预报给定水资源开发利用方案下的地下水位。

模型的识别期选择 2010 年 2 月 1 日到 2010 年 12 月 1 日,该时段内观测资料较全,而且包括了平水期、枯水期及丰水期。验证期选择 2010 年 12 月 1 日到 2011 年 1 月 21 日,共 52 天,验证期内无降水。

根据模型最终调试结果分析,识别期与验证期的水位过程线与流场状态均拟合较好,如图 2 为识别期 S17 观测孔的水位观测值与计算值的拟合曲线,图 3 为识别期浅层水等水位线拟合图。

误差统计分析结果表明(表 1),该模型在识别与验证期间的平均误差均在 0.8~1.0 m 之间,则相对误差仅为 3.0%~5.0%。该误差值可以满足详查工作精度要求,模拟效果较为理想。因此,所建模

型基本可以代表该区实际水文地质条件,可以用来进行下一步的预报分析工作。

表 1 模型计算拟合误差统计

类别	拟合点数(个)	RMS(m)	NRMS(%)
识别期	23	0.945	5.006
验证期	34	0.859	3.015

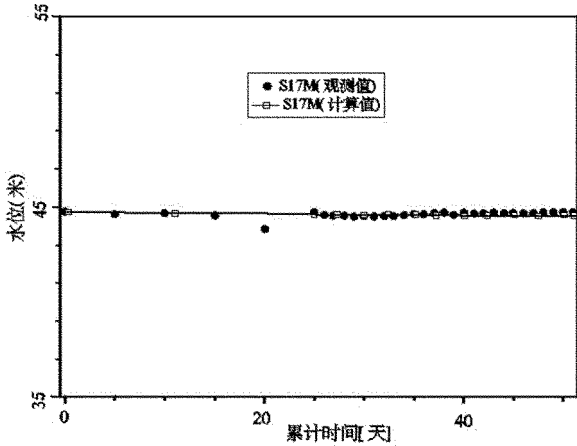


图 2 S17 号孔水位拟合曲线图

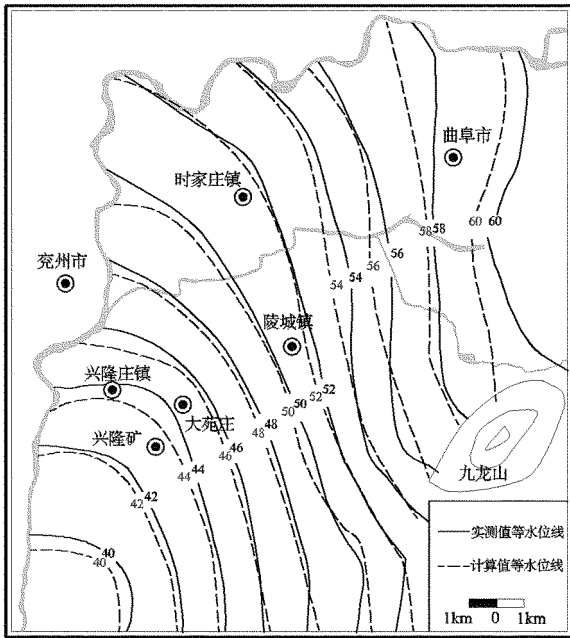


图 3 识别期(第 104 天)浅层等水位线拟合图

4.3 模型的预报应用

根据已掌握的地下水动态观测资料,以 2011 年 1 月 21 日的实测地下水流场作为预报的初始流场。依据曲阜市苑庄水源地地下水资源开发利用现状,预测未来 10 年中的区域地下水流场的变化情况。预测期间地下水开采量包括农业灌溉开采、农村生

活饮用开采、工矿企业集中开采及拟建水源地新增的开采量。农业灌溉开采量取多年平均值,生活饮用开采与工矿企业集中开采量均保持现状,工矿企业集中开采 3.93 万 m³/d,全部取自中深层孔隙水。新增拟建水源地开采量按 1.9 万 m³/d 计,均取自中深层孔隙水。应用已验证的数学模型即可对水源地地下水流场进行预测,如图 4 为 S19 号孔浅层孔隙水水位预测变化曲线,图 5 为预测得到的 10 年后中深层孔隙水的等水位线图。

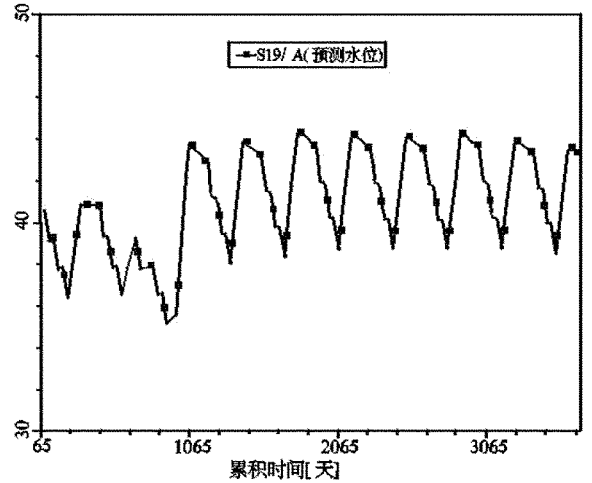


图 4 S19 号孔浅层孔隙水预测水位变化过程线

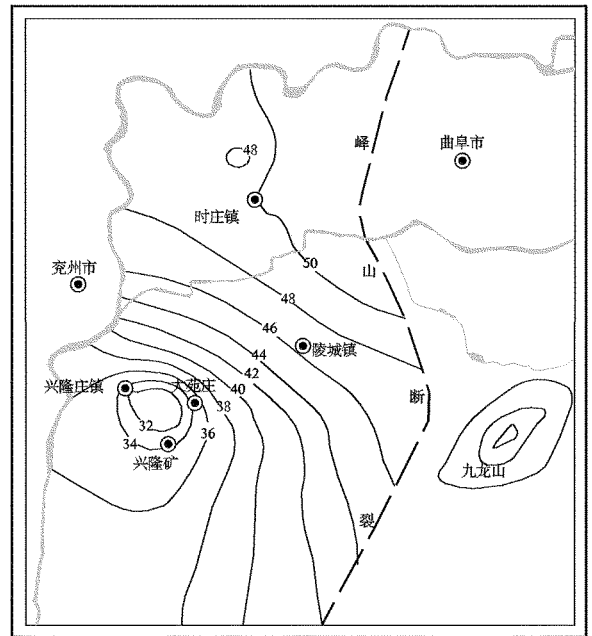


图 5 预测深层孔隙水 10 年后等水位线图

根据数值模型预测结果分析,新增国宏苑庄水源

地 $1.9 \text{ m}^3/\text{d}$ 的开采量后,区域浅层孔隙水与中深层孔隙水水位均未出现连年持续下降的趋势。其中区域浅层孔隙水埋深 $2\sim 10 \text{ m}$,中深层孔隙水水位埋深 $7\sim 15 \text{ m}$,抽水主孔最大水位埋深小于 30 m 。

5 结论

(1)应用 Visual ModFlow 对曲阜苑庄水源地地下水流场进行了数值模拟。根据计算结果可以看出,所建立的水文地质概念模型和数学模型是正确的,选取的参数基本合理,可以代表水源地实际的水文地质情况,能用于未来流场研究和水源地的开采规划。

(2)应用验证的模型对水源地未来 10 年中的地下水流场进行了预报,结果表明:各类型地下水水位变化均满足开采约束条件,且水源地运行后地下水的总开采量小于其天然总补给资源量,说明拟建水源地对中深层孔隙水规划开采量确定为 $1.9 \text{ m}^3/\text{d}$ 是具有补给保证的。

参考文献:

- [1] 薛禹群,谢春红.水文地质学的数值法[M].北京:煤炭工业出版社,1980.
- [2] 贾金生,田冰,刘昌明. VisualModFlow 在地下水模拟中的应用—以河北省栾城县为例[J].河北农业大学学报,2003,(2):71-78.
- [3] 刘花台,郭占荣,董华,张兆吉,朱延华.西北地区地下水可利用量及开采潜力分析[J].水文,2000,20(6):17-20.
- [4] 倪军,李森.地下水资源模型在费县朱田地下水资源评价中的应用[J].山东国土资源,2002,18(6):41-43.
- [5] 刘记成,王现国,葛雁,邓晓颖,齐玉峰. Visual ModFlow 在郑州沿黄水源地地下水资源评价中的应用[J].地下水,2007,(29):91-92.
- [6] 路瑞利,方树星,王红雨.基于 ModFlow 的某水源地地下水开采三维数值模拟[J].武汉大学学报(工学版),2011,(44):618-623.
- [7] 武强,董东林.水资源评价的可视化专业软件(Visual ModFlow)与应用潜力[J].水文地质工程地质,1999,(5):21-23.
- [8] 王婉丽,杨广元,王贵玲.浩勒报吉水源地地下水流数值模拟及开采引起的环境问题评价[J].南水北调与水利科技,2010,(8):36-41.

Predication of Groundwater Level of Yuanzhuang Water Source Based on Visual ModFlow

XIAO Hua¹, GUO Jiapeng², ZHU Ning¹, WANG Xuesen¹, TANG Hongmin¹

(1. Lunan Geo-engineering Exploration Institute, Shandong Yanzhou 272100, China; 2. Shandong Provincial Archives of Land and Resources, Shandong Jinan 250013, China)

Abstract: According to hydrogeological conditions of Yuanzhuang water sources, hydrogeological conceptual model of water source has been established. On this basis, by using Visual ModFlow, numerical simulation of groundwater flow field in water sources area has been carried out. As showed by error statistical analysis, numerical calculation model has the characteristics of small error in identification and verification process, and has gained an ideal effect. According to the established numerical model, and in accordance with the design of extraction, the trend of regional groundwater level in the water source has been predicated.

Key words: Yuanzhuang water sources; numerical simulation; water level forecast; Qufu city in Shandong province