

文章编号:1673-9469(2021)04-0086-08

DOI:10.3969/j.issn.1673-9469.2021.04.013

河北省广平县浅层地下水水位控制指标研究

孙静^{1,2,3}, 唐蕴^{1*}, 王宇博^{2,3}

(1. 中国水利水电科学研究院, 北京 100038; 2. 北京城建勘测设计研究院有限责任公司, 北京 100101; 3. 城市轨道交通深基坑岩土工程北京市重点实验室, 北京 100101)

摘要: 为建立广平县浅层地下水水量水位控制指标体系, 首先分析了广平县浅层地下水水位变化特征, 运用多元回归分析法确定了浅层地下水水位的主要影响因素为开采量, 其次为降水量, 井灌回归补给量和渠灌田间入渗补给量对浅层地下水水位无显著影响, 进而运用多元线性回归分析法及 ArcGIS 软件中的反距离加权法(IDW)得到 2030 年不同水文年各代表性监测井、各乡镇地下水埋深下限控制指标, 最终建立了浅层地下水水量水位控制指标体系, 结果表明: 至 2030 年, 广平县所有乡镇均变为地下水水位基本稳定区或水位上升区, 2030 年丰平枯不同水文年整个广平县浅层地下水埋深下限控制指标在 31.69~34.66 m。

关键词: 广平县; 多元回归分析法; 反距离加权法; 开采量控制指标; 水位控制指标

中图分类号: P641.8

文献标识码: A

Research on the Control Index of Shallow Groundwater Level in Guangping County of Hebei Province

SUN Jing^{1,2,3}, TANG Yun^{1*}, WANG Yubo^{2,3}

(1. China Institute of Water Resources and Hydropower Research, Beijing 100038, China; 2. Beijing Urban Construction Exploration & Survey Design Research Institute Co., Ltd, Beijing 100101, China; 3. Beijing Key Laboratory of Geotechnical Engineering for Deep Foundation Pit of Urban Rail Transit, Beijing 100101, China)

Abstract: In order to establish the shallow groundwater level control index system in Guangping County, firstly the characteristics of the shallow groundwater level change in Guangping County were analyzed, and then the multiple regression analysis method was used to determine that the main influencing factor of the shallow groundwater level is the extraction volume, followed by Precipitation. Well irrigation return replenishment and canal irrigation field infiltration replenishment have no significant impact on shallow groundwater level, and control the rate of shallow groundwater drop and shallow groundwater extraction. Through the multiple linear regression analysis method and the inverse distance weighting method (IDW) in ArcGIS software, the control indicators for the lower limit of the groundwater level of each representative monitoring well, each township in different hydrological years in 2030 were obtained, thereby establishing a shallow layer Groundwater level control index system. The results show that by 2030, all townships in Guangping County will become areas where groundwater level is basically stable or water level rises. In 2030, the shallow groundwater level of Guangping County will be buried in different hydrological years. The lower limit control index is 31.69-34.66 m.

Key words: Guangping County; multiple regression analysis method; inverse distance weighting method; extraction volume control index; water level control index

收稿日期: 2021-08-24

基金项目: 国家重点研发计划课题(2017YFC0406102); 中国水利水电科学研究院十三五重点科研专项(WR0145B502016)

作者简介: 孙静(1995-), 女, 河北保定人, 硕士研究生, 主要从事水文地质与工程地质勘察等相关工作。

* 通讯作者: 唐蕴(1968-), 女, 安徽铜陵人, 博士, 教授级高级工程师, 主要从事水资源开发利用中的生态环境问题研究。

广平县隶属于河北省邯郸市,属于资源型缺水地区,人均水资源量仅占全国人均水平的1.4%,广平县境内地表水资源匮乏,地下水资源成为区内社会发展的重要水源。近年来,由于超采地下水而引发了一系列地质灾害,对该地区社会经济和人民生活造成严重影响。因此,亟需制定浅层地下水水位、水量控制指标体系,为水行政主管部门有效管理地下水资源提供有利参考,减少地质灾害的发生^[1]。

近年来,专家学者对地下水控制水位等方面做了大量研究,为今后广平县合理调控地下水资源提供了依据。张惠昌针对石羊河流域的自然环境特点及一系列生态环境问题,提出了适合该地区的生态平衡埋深^[2];高长远结合干旱区的水文地质特征,针对干旱区典型灌区的实际情况分析了其潜水位埋深值,最终得出干旱区的最适宜的潜水位埋深值为4~7 m^[3];叶勇等人针对我国地下水资源开发利用现状以及地下水变化类别,将地下水控制水位划分为红、黄、蓝三类水位线,并根据不同管理分区提出相应的管理对策^[4];高静等人运用临界深度法、水均衡法历史资料法等方法,确定了邯郸市不同行政管理区地下水红线水位值和地下水管理水位值^[5];廖梓龙等人以河北省平原区地下水为研究对象,运用多元量化模型得出了深层与浅层地下水水位控制指标^[6]。本文基于广平县浅层地下水开发利用现状,并参考前人对地下水控制水位的研究,运用多元回归分析法、反距离加权法(Inverse Distance Weight,简称IDW)确定广平县浅层地下水水位控制指标,研究结果对于今后广平县合理开发利用地下水具有重要意义。

1 研究区概况

广平县位于河北省邯郸市城区东南部,属冲积洪积平原地貌,地势平缓,全县行政面积320 km²。地下水含水层岩性以细砂为主,粉砂、粉细砂次之,全县地下水呈现出上层浅层淡水、中间层咸水、下层深层淡水的分布特征,其中浅层淡水埋深在30~50 m之间,矿化度高。广平县属暖温带半湿润、半干旱大陆性季风气候区,1998—2017年多年平均降水量为513.8 mm,降水量季节性差异明显,县境内气候具有四季分明的特征。广平县无较大天然河流,仅有排沥骨干渠道七条,且仅在汛期短时排泄沥水,一般无利用价值。近年来,降水减少,气候干旱,为维持工业、农业及居民生活的正常发展,加大地下水开采力度,造成了地表沉陷、水位降落漏斗等地质灾害,长此以往对社会发展造成了阻碍作用。经调查,广平县2017年浅层地下水开采量 $0.259 \times 10^8 \text{ m}^3$,超采量 $0.037 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。

2 数据来源与研究方法

2.1 数据来源

本文采用邯郸市水利局提供的八眼浅层地下水监测井的地下水位埋深数据,分析地下水水位的时间及空间变化特征。1998—2017年降水量数据来自河北省水利局;从广平县水利局提供的《水资源公报》获取1998—2017年历年浅层地下水开采量、井灌回归补给量和渠灌田间入渗补给量数据。

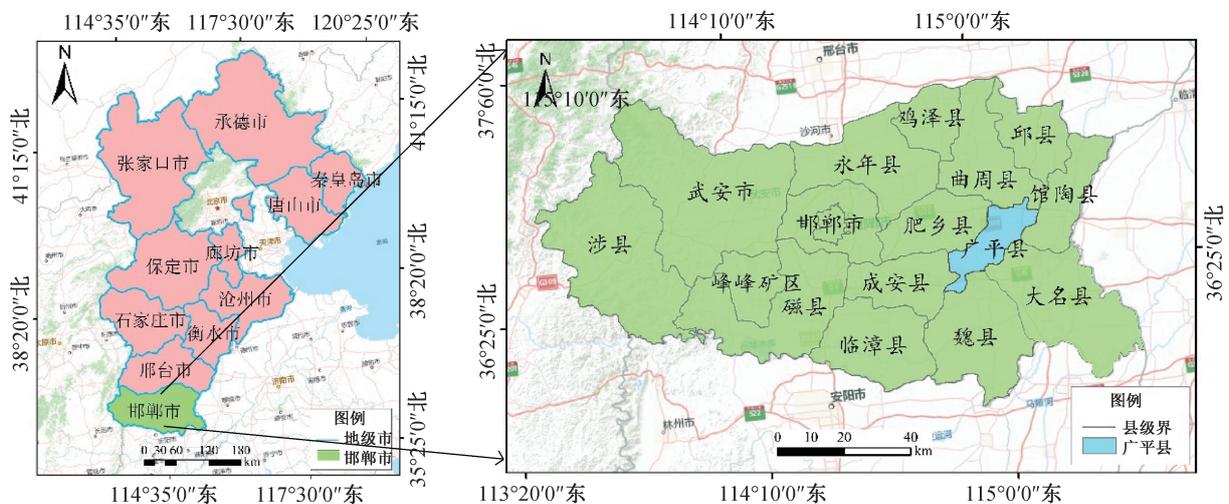


图1 广平县地理位置图

Fig. 1 Geographical location map of Guangping County

2.2 研究思路及方法

2.2.1 研究思路

(1)根据浅层地下水监测井 1998—2017 年近二十年的埋深数据,分析浅层地下水水位年内、年际变化特征。

(2)根据收集的广平县 1998—2017 年降水量、浅层地下水开采量、井灌回归补给量和渠灌田间入渗补给量数据,运用多元回归分析法分析四种因素对浅层地下水水位的影响程度,从而判定影响浅层地下水水位变化的主要因素。

(3)对浅层地下水水位下降速率及浅层地下水开采量进行控制:运用多元线性回归分析法确定 2030 年不同水文年各代表性监测井埋深下限控制指标,利用 ArcGIS 软件中的 IDW 确定各乡镇浅层地下水埋深下限控制指标,从而建立起浅层地下水水量水位控制指标体系。

2.2.2 研究方法

(1)多元回归分析法

多元线性回归分析法是一种统计学方法,可以用来判断影响地下水水位变化的各个因素对地下水水位的影响程度,从而确定地下水水位动态变化的主要影响因素^[7]。

$$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + \dots + b_ix_i \quad (1)$$

式中: b_0 为常数项, b_1, b_2, \dots, b_i 分别为自变量 x_1, x_2, \dots, x_i 的系数。

(2)反距离加权法(IDW)

IDW 公式如下:

$$Z = \sum_{i=1}^n \frac{Z_i}{(D_i)^p} / \sum_{i=1}^n \frac{1}{(D_i)^p} \quad (2)$$

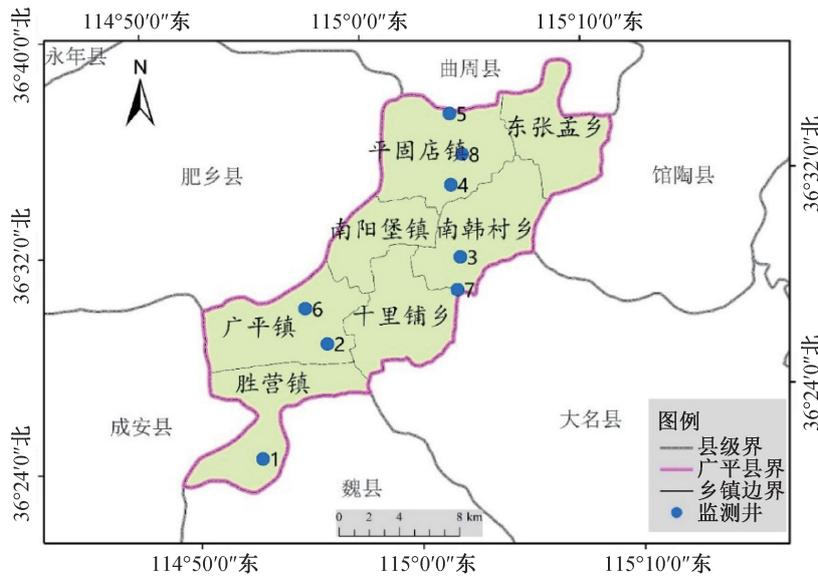
式中: Z 为估计值; Z_i 为第 $i(i = 1, 2, 3 \dots n)$ 个样本值; D_i 为距离; P 是距离的幂, P 的取值对插值结果会产生显著影响。

IDW 是基于相近相似的原理^[8-9],它以插值点与样本点间的距离为权重进行加权平均,离插值点越近的样本点赋予的权重越大。反距离加权法简单易行、直观并且效率高,在已知点分布均匀的情况下插值效果好,故本文采用反距离加权法。

3 浅层地下水水位动态影响因素分析

3.1 浅层地下水水位变化特征

广平县浅层地下水水位年内变化整体呈下降态势,地下水动态为入渗-补给型。广平县浅层地下水水位年际变化可分为三个阶段:第一阶段,1998—2007 年为地下水水位下降阶段,1998—2007 年由于经济发展、农田灌溉方式传统,大量开采地下水,地下水水位迅速下降,仅在个别年份有所上升;第二阶段,2007—2009 年为地下水水位回升阶段;第三阶段,2010—2017 年为地下水水位平稳变化阶段。总体上,广平县 1998—2017 年地下水水位呈下降趋势。广平县监测井分布示意图见图 2,



注:1—双庙乡北汶村;2—广平镇单庄村(城关);3—韩村乡南韩村;4—韩村乡江庄村;5—平固店乡西营村;6—广平镇城关;7—南盐池;8—平固店。

图 2 广平县监测井分布示意图

Fig. 2 Schematic diagram of the distribution of monitoring wells in Guangping County

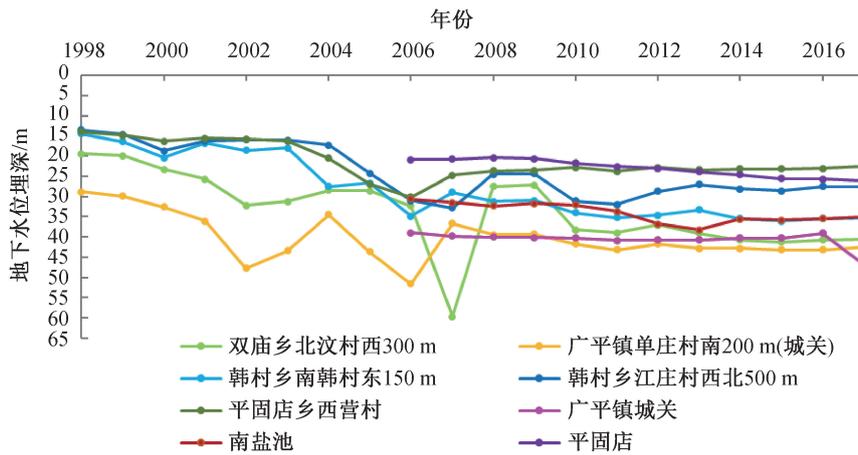


图 3 广平县八眼代表性监测井年均地下水埋深(1998—2017 年)

Fig. 3 The average annual groundwater depth of eight representative monitoring wells in Guangping County (1998—2017)

广平县八眼代表性监测井年均地下水埋深(1998—2017 年)如图 3 所示。

3.2 各因素对浅层地下水水位的影响

广平县浅层地下水水位的变化受降水量、浅层地下水开采量、井灌回归补给量、渠灌田间入渗补给量的共同影响,通过运用多元回归分析法确定浅层地下水水位的主要影响因素。

由于在收集水位埋深数据时,广平镇城关监测井、南盐池监测井、平固店监测井三眼监测井只收集到了 2006—2017 年水位埋深数据,其余五眼监测井水位埋深数据为 1998—2017 年,为保证数据系列时间的一致性,故进行多元回归分析时统一采用 2006—2017 年数据。将广平县 2006—2017 年历年的降水量、浅层地下水开采量、井灌回归补给量和渠灌田间入渗补给量数据作为自变量,以 2006—2017 年广平县历年浅层地下水埋深作为因变量,设置置信度为 95%,建立多元线性回归方程如下:

$$y = 39.939 - 0.014x_1 + 3.093x_2 - 86.193x_3 + 86.637x_4 \quad (3)$$

式中: y 表示浅层地下水埋深(m); x_1 、 x_2 、 x_3 、 x_4 分别表示降水量(mm)、浅层地下水开采量($\times 10^8 m^3$)、井灌回归补给量($\times 10^8 m^3$)、渠灌田间入渗补给量($\times 10^8 m^3$)。

利用 SPSS 软件进行回归分析参数反演获得相关参数,具体各参数值见表 1。由表 1 看出,多元线性回归方程的判定系数 R^2 为 0.869,此结果说明方程的拟合度较高。对回归方程进行显著性检验, F 值对应的显著性变化量为 0.003,远小于显著性水平 0.05,且 $F = 11.605 > F(4, 7) = 3.259$,

即表明此回归方程的线性关系显著。然后利用 Origin 软件绘制浅层地下水埋深模拟值拟合曲线,见图 4,模拟值与实测值两条曲线的总体趋势高度一致,总体上相对误差较小,说明回归模型的拟合度较好。

表 1 多元线性回归方程参数统计表

Tab. 1 Parameter statistics table of multiple linear regression equation

| 相关参数 | 参数值 |
|------------|--------|
| R | 0.932 |
| R^2 | 0.869 |
| F | 11.605 |
| F 显著性变化量 | 0.003 |

标准化系数的绝对值表示影响因素对浅层地下水水位影响的显著性,为了确定本次研究所得到的多元线性回归模型各影响因素的显著性,对模型的系数进行了标准化处理,标准化系数结果见表 2。

表 2 多元线性回归模型标准化系数统计表

Tab. 2 Statistical Table of Standardization Coefficients of Multiple Linear Regression Model

| 模型 | 标准化系数 | 显著性 |
|-----------|--------|-------|
| 降水量 | -0.560 | 0.868 |
| 浅层地下水开采量 | 0.684 | 0.002 |
| 井灌回归补给量 | 0.228 | 0.201 |
| 渠灌田间入渗补给量 | 0.310 | 0.237 |

根据表 2,各回归系数的标准化系数中浅层地下水开采量的绝对值最大,其次是降水量,且回归系数中只有开采量的显著性小于 0.05,说明各自变量中只有开采量对浅层地下水埋深的影响最

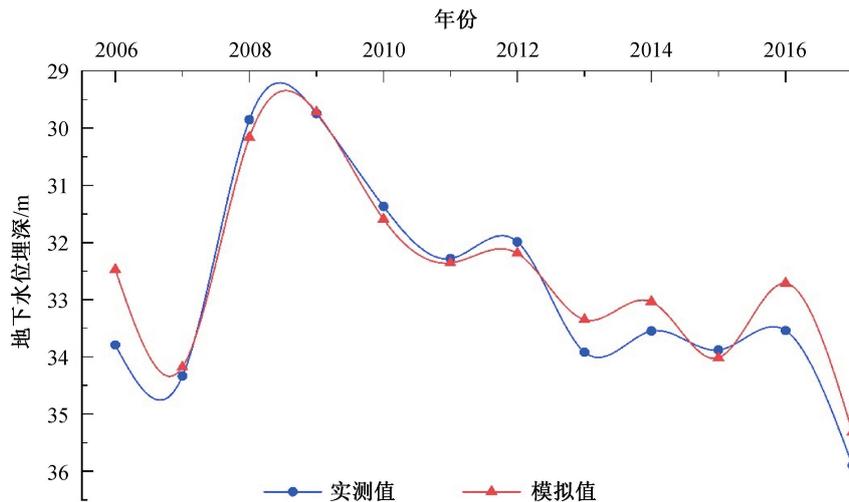


图4 浅层地下水位埋深模拟值拟合曲线

Fig. 4 Fitting curve of simulation value of shallow groundwater level

为显著,此外降水量也对浅层地下水位埋深具有一定影响,井灌回归补给量与渠灌田间入渗补给量对浅层地下水位埋深的影响不大。

4 浅层地下水水位控制指标分析

4.1 浅层地下水开采量控制指标的确定

由于河北省未下达2030年各区县的用水总量控制方案,因此本次研究利用河北工程大学于2017年完成的《邯郸市水资源优化调度与配置技术研究》中的水资源配置相关成果,将此作为2030年广平县浅层地下水开采量控制指标,2030年广平县丰平枯三种水文年浅层地下水开采量控制指标为 $0.222 \times 10^8 \text{ m}^3$,较现状年2017年减少 $0.037 \times 10^8 \text{ m}^3$,2030年达到采补平衡。2030年广平县丰平枯三种水文年浅层地下水开采量具体控制指标见表3。

表3 广平县浅层地下水开采量控制指标

Tab. 3 Control indicators of shallow groundwater extraction in Guangping County

| 现状年浅层地下水开采量(2017年) | 浅层地下水开采量控制指标(2030年) | | | |
|--------------------|---------------------|-------|-------|-------|
| | 枯水年 | 丰水年 | 平水年 | 枯水年 |
| 0.259 | 0.222 | 0.222 | 0.222 | 0.222 |

注:表内数据单位为 $\times 10^8 \text{ m}^3$

4.2 浅层地下水水位控制指标的确定

地下水水位是进行地下水资源监测与管理的重要要素之一,地下水控制水位是水行政主管部门为管理地下水需要而提出的期望水位值。地下

水控制下限水位为防止浅层地下水开采区由于过量开采引发水位持续下降,造成地下水资源枯竭不能持续供给时的最低水位值或水位阈值^[10-16]。

4.2.1 代表性监测井地下水位埋深下限控制指标

为确定八眼代表性监测井的地下水位埋深下限控制指标,根据2006—2017年浅层地下水水位变幅速率将区域浅层地下水分为水位上升区(年均水位变幅 $>0.2 \text{ m}$)、水位基本稳定区($0.2 \text{ m} >$ 年均水位变幅 $>-0.1 \text{ m}$)、水位下降区(年均水位变幅 $<-0.1 \text{ m}$)。根据浅层地下水开采量控制指标,2030年区域浅层地下水达到采补平衡,因此至2030年广平县区域地下水为基本稳定区或上升区,故浅层地下水水位下降速率应控制在 0.1 m/a 以内。

(1)对于水位下降区的监测井,将历年浅层地下水位埋深作为因变量,其影响因素数据(降水量、浅层地下水开采量、井灌回归补给量、渠灌田间补给量)作为自变量,构建多元线性回归方程,并结合浅层地下水水位下降控制速率推求规划年2030年监测井地下水位埋深下限控制指标。

(2)对于水位上升区的监测井,根据水位上升速率确定规划年2030年的水位埋深。

(3)对于水位基本稳定区的监测井,规划年2030年枯水年保持其现状年地下水位埋深,规划年丰水年和平水年地下水位埋深取近年各水文年平均。

为确定规划年水位下降区各监测井的地下水位埋深下限控制指标,需对降水量、井灌回归补给量、渠灌田间补给量进行预测,预测结果如下:

降水受多种因素的影响,年降水量的大小具

有很强的不确定性,但降水具有周期性,一般丰平枯年交替进行,故本次研究对规划年(2030年)降水的预测分为丰、平、枯三种情况。本文采用皮尔逊 III 型曲线对广平县 1972—2017 年 46 年长序列降水数据进行适配,得到丰水年份年降水量值 612.2 mm,平水年份年降水量值 517.65 mm,枯水年份年降水量值 423.51 mm。农业地下水灌溉用水量来源于深层地下水和浅层地下水,2014 年广平县进行了地下水超采综合治理,深层地下水开采比例减小,浅层地下水开采比例增大,2014 年后农业地下水灌溉用水量中浅层地下水平均开采比例达到 75%,故规划年(2030 年)井灌回归补给量的预测按照浅层地下水开采量占农业地下水灌溉用水量的 75% 计算,得出农业地下水灌溉用水量,进而推算出 2030 年井灌回归补给量为 $0.020 \times 10^8 \text{ m}^3$,较现状年 2017 年减少 $0.005 \times 10^8 \text{ m}^3$,与其 2014 年后减小趋势相符。规划年(2030 年)渠灌田间补给量的预测首先根据规划年浅层地下水开采量在农业地下水灌溉用水量中所占比例(75%)计算农业地下水灌溉用水量,进而计算农业地表水灌溉用水量,最终根据入渗系数计算得出规划年渠灌田间补给量。2030 年渠灌田间补给量为 $0.016 \times 10^8 \text{ m}^3$,较现状年 2017 年减少 $0.004 \times 10^8 \text{ m}^3$,与其 2014 年后减小趋势相符。各因素的预测结果见表 4。

结合表 4 中的 2030 年丰平枯三种水文年的各因素预测值,运用多元线性回归分析法计算得到各代表性监测井地下水埋深控制指标,如表 5 所示。结果显示:水位上升区监测井水位上升速率在 0.13~0.40 m/a 之间,水位下降区监测井水位下降速率在 0.01~0.08 m/a 之间,小于浅层地下水水位下降控制速率 0.1 m/a,即至规划年 2030

年水位趋于稳定或处于上升趋势,结果表明通过控制浅层地下水开采量进而控制各监测井地下水埋深的方法是有效的。

表 4 各影响因素参数预测表

Tab. 4 Prediction table of parameters of various influencing factors

| 影响因素 | 现状值 (2017 年) | 预测值(2030 年) | | |
|--------------------------------------|-----------------|-------------|--------|--------|
| | 枯水年 | 丰水年 | 平水年 | 枯水年 |
| 降水量/mm | 359.00 | 612.22 | 517.65 | 423.51 |
| 井灌回归补给量/ $(\times 10^8 \text{ m}^3)$ | 0.025 | 0.020 | 0.020 | 0.020 |
| 渠灌田间补给量/ $(\times 10^8 \text{ m}^3)$ | 0.020 | 0.016 | 0.016 | 0.016 |

4.2.2 各乡镇浅层地下水埋深下限控制指标

前文已对广平县浅层地下水开采量及各代表性监测井地下水埋深进行了控制,为了便于对各乡镇浅层地下水水位进行监控和管理,对各乡镇浅层地下水埋深提出控制指标,总体思路为:埋深控制指标由点及面,即根据各代表监测井分布特点及控制埋深,借助 ArcGIS 平台将各代表性监测井控制埋深转换成各乡镇地下水埋深。广平县各乡镇地下水埋深控制指标见表 6。

由表 6 看出,2030 年丰、平、枯三种水文年各乡镇浅层地下水埋深平均值变化不大,2017—2030 年广平县平固店镇、东张孟乡浅层地下水埋深平均值减小,南韩村乡、南阳堡镇、十里铺乡浅层地下水埋深平均值变化不大,变化范围在 0.34~0.74 m 之间,广平镇、胜营镇浅层地下水埋深平均值增大,但其增长速率变缓,与水位控制速率指标相符,结果表明对浅层地下水开采量的控制与地下水压采项目的实施具有一定成效。

表 5 广平县各代表性监测井地下水埋深控制指标

(单位:m)

Tab. 5 Groundwater level control indexes of representative monitoring wells in Guangping County

| 乡镇名称 | 监测井 | 水位变幅分区 | 现状年 2017 年浅层地下水埋深 | 规划年 2030 年地下水埋深下限控制指标 | | |
|------|------------|---------|-------------------|-----------------------|-------|-------|
| | | | 枯水年 | 丰水年 | 平水年 | 枯水年 |
| 胜营镇 | 双庙乡北汶村 | 水位下降区 | 40.50 | 40.99 | 41.28 | 41.57 |
| 广平镇 | 广平镇单庄村(城关) | 水位上升区 | 42.60 | 37.40 | 38.05 | 38.76 |
| 南韩村乡 | 韩村乡南韩村 | 水位基本稳定区 | 35.15 | 33.10 | 34.24 | 35.15 |
| 平固店镇 | 韩村乡江庄村 | 水位上升区 | 27.58 | 24.13 | 25.10 | 25.89 |
| 平固店镇 | 平固店乡西营村 | 水位上升区 | 22.40 | 18.14 | 19.03 | 20.45 |
| 广平镇 | 广平镇城关 | 水位下降区 | 46.81 | 47.89 | 47.99 | 48.09 |
| 南韩村乡 | 南盐池 | 水位下降区 | 35.01 | 35.99 | 36.08 | 36.18 |
| 平固店镇 | 平固店 | 水位下降区 | 26.16 | 26.14 | 26.23 | 26.33 |

表6 广平县各乡镇地下水埋深控制指标 (单位:m)
 Tab.6 Control Index of Groundwater Depth in the Towns of Guangping County

| 乡镇名称 | 现状年 2017 年 浅层地下水埋深 | | 规划年 2030 年 地下水埋深控制指标 | |
|------|-----------------------|--------------------|-------------------------|--------------------|
| | 枯水年阈值 | 丰水年阈值 | 平水年阈值 | 枯水年阈值 |
| 平固店镇 | 22.40~32.19(26.96) | 18.14~29.90(24.12) | 18.89~30.66(24.93) | 19.65~31.38(25.74) |
| 东张孟乡 | 25.80~29.15(27.66) | 23.07~26.96(25.27) | 23.77~27.76(26.03) | 24.46~28.52(26.75) |
| 南阳堡镇 | 29.10~42.54(34.98) | 25.65~41.46(33.03) | 26.83~41.71(33.70) | 27.98~41.95(34.32) |
| 南韩村乡 | 27.65~37.15(31.75) | 23.58~35.98(29.79) | 25.10~36.07(30.64) | 26.59~36.17(31.41) |
| 广平镇 | 39.15~46.81(43.89) | 38.64~47.99(44.56) | 39.03~47.99(44.89) | 40.39~48.29(45.22) |
| 十里铺乡 | 33.26~42.66(37.07) | 31.47~40.69(36.87) | 32.27~40.91(37.34) | 32.99~41.12(37.81) |
| 胜营镇 | 40.31~42.88(41.18) | 38.56~43.55(41.89) | 38.87~43.75(42.09) | 39.16~43.95(42.29) |

注:括号内为平均值。

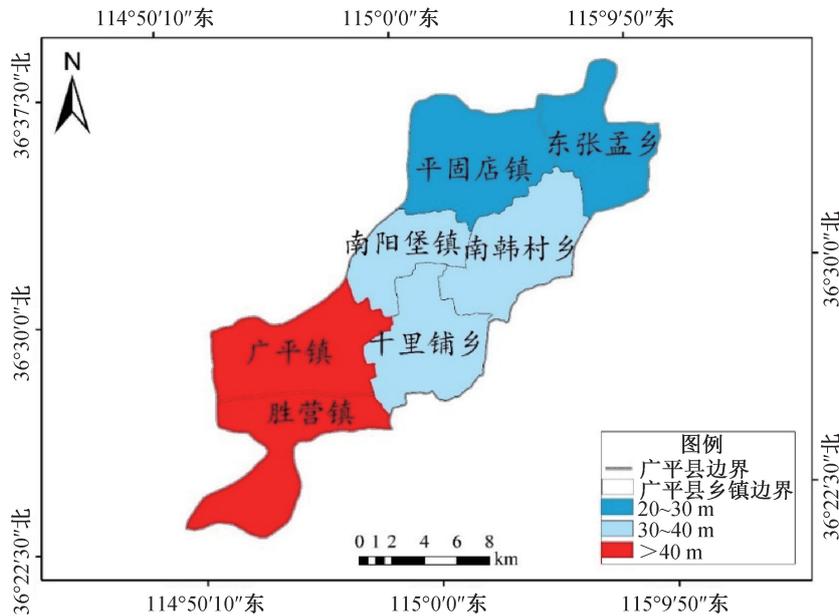


图5 2030年各乡镇浅层地下水埋深下限控制指标分布图

Fig. 5 Distribution of control indicators for the lower limit of shallow groundwater depth in each township in 2030

2030年广平县各乡镇地下水埋深下限控制指标分布图如图5所示,规划年2030年平固店镇和东张孟乡浅层地下水埋深下限控制指标小于30 m,南阳堡镇、南韩村乡和十里铺乡浅层地下水埋深下限控制指标小于40 m,广平镇和胜营镇埋深最大,浅层地下水埋深下限控制指标大于40 m,因此应对广平镇和胜营镇水量水位进行重点控制,广平镇分布有众多企业,工业需水量较大,应适当控制企业取水量,胜营镇灌溉工程不完善,地下水开采量较大,应对其灌溉方式进行改进。

5 结论

1)广平县地下水年内变化具有明显的上升期和下降期:3—6月、9—10月为水位下降期,6—9月、10月到次年2月为水位上升期,但水位上升幅

度有限,年内地下水水位整体呈下降态势。从1998—2017年,广平县浅层地下水水位不断下降,2014年广平县进行地下水超采综合治理,此后水位下降幅度变缓。

2)通过建立降水量、浅层地下水开采量、井灌回归补给量、渠灌田间入渗补给量与浅层地下水埋深的回归方程,得出各自变量中只有开采量对浅层地下水埋深的影响最为显著,井灌回归补给量与渠灌田间入渗补给量对浅层地下水埋深无明显影响。

3)广平县2030年丰、平、枯三种水文年浅层地下水开采量控制指标为 $0.222 \times 10^8 \text{ m}^3$,较现状年2017年减少 $0.037 \times 10^8 \text{ m}^3$,2030年达到采补平衡。

4)至2030年,广平县所有乡镇均变为地下水

水位基本稳定区或水位上升区,2030年丰、平、枯三种水文年各乡镇浅层地下水埋深平均值变化不大,2017—2030年广平县平固店镇、东张孟乡浅层地下水埋深平均值减小,南韩村乡、南阳堡镇、十里铺乡浅层地下水埋深变化范围在0.34~0.74 m之间,广平镇、胜营镇浅层地下水埋深平均值增大,但其增长速率变缓,结果表明对浅层地下水开采量的控制与地下水压采项目的实施具有一定成效。

参考文献:

- [1] 陈文芳. 中国典型地区地下水位控制管理研究[D]. 北京:中国地质大学(北京),2010.
- [2] 张惠昌. 干旱区地下水生态平衡埋深[J]. 勘察科学技术,1992(6):9-13.
- [3] 高长远. 干旱区潜水位最佳埋深值的确定[J]. 地下水,2000,22(3):106-107.
- [4] 叶勇,谢新民. 地下水控制性水位管理分区研究[J]. 黑龙江水专学报,2009,36(1):116-119.
- [5] 高静,陈新美,王利杰. 邯郸地下水控制水位划定初探[J]. 河北工程大学学报:社会科学版,2017,34(1):36-39.
- [6] 廖梓龙,马真臻,程双虎,等. 地下水控制性临界水位及确定方法[J]. 水利水电技术,2018,49(3):26-32.
- [7] 张建芝,邢立亭. 回归分析法在地下水动态分析中的应用[J]. 地下水,2010,32(4):88-90.
- [8] CAI Z S, OFTERDINGTER U. Analysis of Ground Water-level Response to Rainfall and Estimation of Annual Recharge in Fractured Hard Rock Aquifers[J]. Journal of Hydrology,2016,535:71-84.
- [9] 张孟丹,余钟波. 无定河流域降水量空间插值方法比较研究[J]. 人民黄河,2021,43(4):30-37.
- [10] 王京晶,徐宗学,李鹏,等. 济南市区地下水埋深动态变化及其成因[J]. 南水北调与水利科技:中英文,2021,19(5):883-893.
- [11] 李鸿雁,王凡. 洮儿河流域平原区气候变化情景下浅层地下水水位动态响应分析[J]. 北京师范大学学报:自然科学版,2021,57(3):345-352.
- [12] 唐克旺,侯杰,于丽丽. 基于功能的地下水控制水位确定方法[J]. 中国水利,2015(9):30-32.
- [13] 马新双,卢胜勇,李明良,等. 北方浅层地下水超采区地下水预测模型[J]. 南水北调与水利科技,2011(4):134-136+155.
- [14] 陶莉. 馆陶县地下水超采管理控制水位及治理效果评价研究[D]. 邯郸:河北工程大学,2018.
- [15] JUSTIN Huntington, KENNETH McGwire, CHARLES Morton, et al. Assessing the Role of Climate and Resource Management on Groundwater Dependent Ecosystem Changes in Arid Environments with the Landsat Archive[J]. Remote Sensing of Environment,2016,185:186-197.
- [16] 刘中培,王富强,于福荣. 石家庄平原区浅层地下水水位变化研究[J]. 南水北调与水利科技,2012(5):124-127.

(责任编辑 周雪梅)