

日照市付疃河流域地下水资源均衡法计算及其水位情势预测仿真研究

朱伟

山东省第八地质矿产勘查院, 山东 日照
Email: 7646404@qq.com

收稿日期: 2020年9月6日; 录用日期: 2020年9月20日; 发布日期: 2020年9月27日

摘要

为实现日照市付疃河流域地下水资源合理开发及持续利用, 本文在采用均衡法计算付疃河流域地下水资源量的基础上, 运用GMS软件模拟预测3种开采方案下地下水资源水位变化情势。均衡法计算结果显示: 综合考虑地下水补给量、排泄量后付疃河流域地下水资源总补给量($277,740.7 \text{ m}^3/\text{d}$) $\approx$ 总排泄量($260,893.29 \text{ m}^3/\text{d}$), 其出孔隙水的开采潜力指数为1.04及裂隙水的开采潜力指数为1.18, 即该区域地下水资源总体处于采补平衡状态, 全区地下水自然循环基本保持较好的态势。进而在此基础上, 通过GMS (Groundwater Modeling System)软件模拟: (1) 现状开采条件下1年、5年、10年、20年后的地下水位; (2) 飞机场水场和河套水厂开采地下水后1年、5年、10年、20年后的地下水位; (3) 崮河汇入付疃河处设置拦河坝后运行1年、5年、10年、20年的地下水位变化情势。模拟结果显示三种方案下, 该区域地下水资源总补给量大于总排泄量。这为该区地下水资源的合理开发和利用提供量化的数据支持, 具有重要的实践应用价值。

关键词

地下水资源, 均衡法, 日照市付疃河流域, GMS

Calculation of Groundwater Resources Equilibrium Method and Simulation of Water Level Regime Prediction in Futuan River Basin of Rizhao City

Wei Zhu

Shandong 8th Geological and Mineral Exploration Institute, Rizhao Shandong
Email: 7646404@qq.com

文章引用: 朱伟. 日照市付疃河流域地下水资源均衡法计算及其水位情势预测仿真研究[J]. 地球科学前沿, 2020, 10(9): 869-878. DOI: 10.12677/ag.2020.109085

Abstract

In order to realize the reasonable development and sustainable utilization of groundwater resources in Futuan River Basin of Rizhao City, GMS software is used to simulate the groundwater level changes under three mining schemes based on the calculation of groundwater resources in Futuan River Basin by using equilibrium method. The results of equilibrium method show that the total recharge of groundwater resources (277,740.7 m³/d) is approximately equal to the total discharge (260,893.29 m³/d) after considering the groundwater recharge and discharge. The exploitation potential index of pore water and fissure water is 1.04 and 1.18 respectively, which means that the groundwater resources in this area are in the balance state of exploitation and supplement, and the natural circulation of groundwater in the whole area basically keeps a good situation. On this basis, the GMS software is used to simulate: (1) The groundwater level under the current mining conditions after 1 year, 5 years, 10 years and 20 years; (2) The groundwater level after 1 year, 5 years, 10 years and 20 years after the airport water field and Hetao water plant exploit the groundwater; (3) The groundwater level changes under the conditions of 1 year, 5 years, 10 years and 20 years after the dam is set at the place where the Gu river flows into the Futun river. The simulation results show that the total recharge of groundwater resources is greater than the total discharge under the three schemes. It provides quantitative data support for the rational development and utilization of groundwater resources in this area, and has important practical application value.

Keywords

Groundwater Resources, Equilibrium Method, Futuan River Basin of Rizhao City, GMS

Copyright © 2020 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

地下水资源是水资源的重要组成部分, 由于其分布广、水质好、不易被污染、调蓄能力强、供水保证程度高等原因, 被广泛地开发利用, 特别是在平原、城市等地表水源工程分布较少的地区, 地下水资源已成为居民生活和工农业生产的重要基础性资源[1] [2] [3]。目前, 地下水资源评价的方法已有很多, 如水量均衡法[4]、相关分析法[5]、解析法[6]、开采试验法[7]、数值法[8]、地下水文分析法[9]等。但在实际应用中, 测评人员应根据地下水资源评价区的水文地质条件、需水量和研究程度等条件, 结合所获得的资料与勘察阶段的评价精度要求, 选择合适的评价方法。

日照市作为一座新兴沿海开放港口城市, 地处黄海之滨, 胶东半岛南翼, 具有明显的区位优势。付疃河作为日照市城市居民及工业发展的重要水源之一[10]。因此, 对付疃河流域地下水资源进行计算及其水位变化情势预测进行研究是保障日照市人民安居乐业的重要基础。为实现日照市付疃河流域地下水资源合理开发及持续利用, 本文在采用均衡法计算付疃河流域地下水资源量的基础上, 运用 GMS 软件模拟 3 种开采方案下预测其地下水资源水位变化情势。均衡法及水位变化情势预测结果显示: 付疃河流域地下水资源总补给量(277,740.7 m³/d)≈总排泄量(260,893.29 m³/d), 其出孔隙水的开采潜力指数为 1.04 及裂

隙水的开采潜力指数为 1.18，即该区域地下水资源总体处于采补平衡状态，且预测 20 年内付疃河流域地下水资源总补给量大于总排泄量。这为该区地下水资源的合理开发和利用提供数字化的数据支持，具有一定的实际应用价值。

2. 水文地质概况

2.1. 水文概况

傅疃河发源于五莲县境内韩家窝洛子西北约 2 km 的大马鞍山，其海拔标高+417.8 m。主河道长约 51.5 km，流域面积 1066.4 km²，河道平均比降 2.3/1000，河网密度 0.37 km/km²。在傅疃河中上游建有大型水库一座(日照水库)。水库上游另有两条支流，分别为三庄河、铨元河，径流汇入日照水库。水库下游有四条较大支流，北侧自西向东依次为南湖河、彭家河、固河，均自北向南径流，其中在彭家河上游建有马陵水库，总库容 4770 万 m³；南侧分布有大曲河，自西向东径流。傅疃河下游流经后村、奎山等乡镇，于日照经济开发区奎山街道夹仓村东南入海，如图 1 所示。

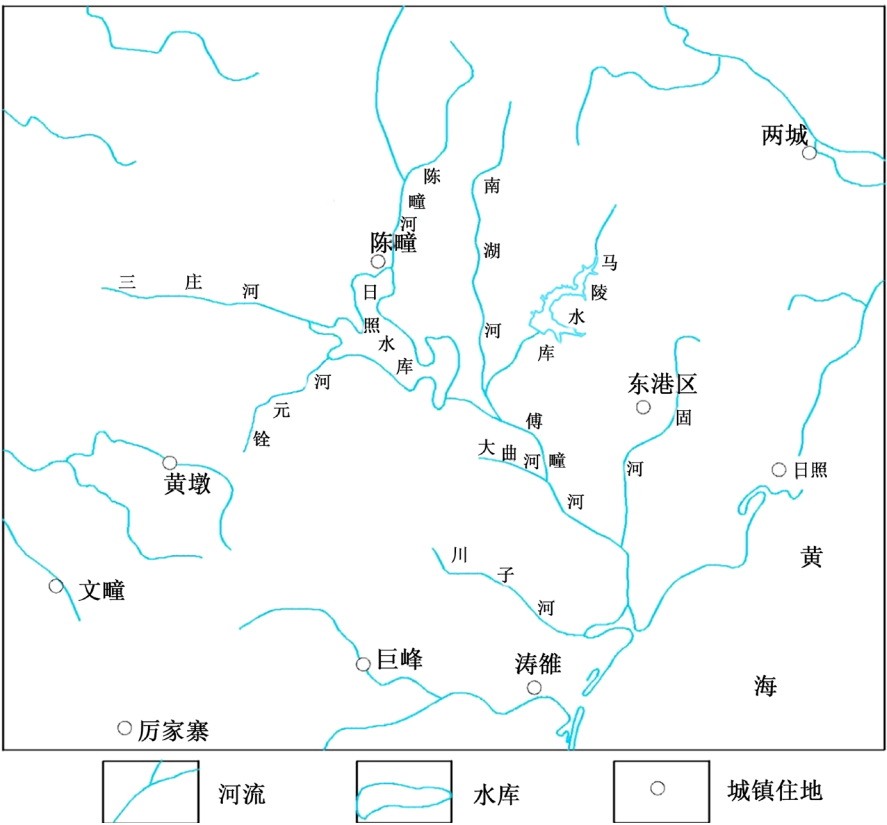


Figure 1. Water system map of Futuan River Basin
图 1. 傅疃河流域水系图

2.2. 地质概况

傅疃河流域属鲁东丘陵区中沐东丘陵的一部分，区内山岭绵亘，丘峦叠嶂，平川散布、沟河纵横。总体地形西北高，略向东南倾斜，西部、西北部以低山、丘陵为主体，间有岭下平地，东部和南部多海滨平原、岭下平地，间有剥蚀丘陵、岛状低山、丘陵，海滨沙岗呈带状分布于沿海，区内最高点位于东港区西北桥子山，海拔+656.9 m，最低点位于其入海口 0 m，如图 2 所示。

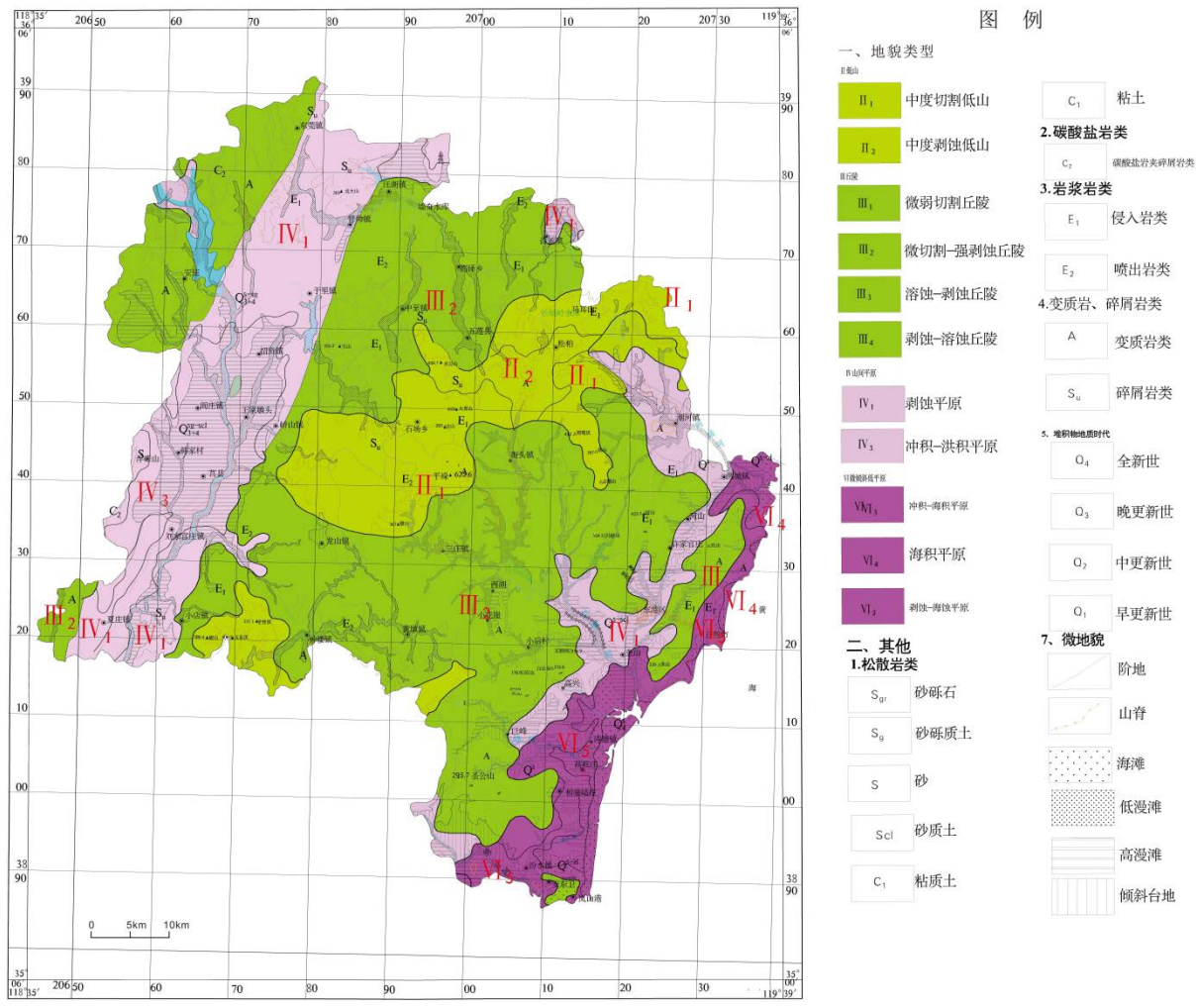


Figure 2. Landform map of Futuan River Basin
图 2. 傅幢河流域地貌图

3. 均衡法流量计算

3.1. 均衡法

均衡法是地下水资源评价的基本方法，理论基础是质量守恒原理，严格意义上，所有水资源评价的方法都是直接或间接来源于水量均衡原理[11][12]。一个均衡区内的含水层系统，在任意时间段内的补给量与排泄量等于含水层中水的体积变化量。根据水量均衡原理：

$$Q_{可} = Q_{补} - Q_{排} \tag{1}$$

式中： $Q_{可}$ —地下水可开采量(m^3/d)， $Q_{补}$ —地下水补给量(m^3/d)， $Q_{排}$ —地下水天然排泄量(m^3/d)。

3.2. 地下水补给计算

傅幢河流域地下水补给主要包括：降水入渗量、河流侧渗量。

(1) 降水入渗补给量

降水入渗补给量的计算公式为：

$$Q_{\text{渗}} = \alpha_1 \cdot F \cdot P / 365$$

(2)

式中： $Q_{\text{渗}}$ —日均降水入渗补给量(m^3/d)； α_1 —年均降水入渗系数； P —多年平均有效降水量(m/a)； F —降水渗入面积(m^2)。进而，根据傅疃河流域水文地质条件，将其划分为 6 个计算亚区，分别为：山前组、冲洪积层、碎屑岩类孔隙裂隙水、块状、层状类裂隙水和喷出岩类孔隙裂隙水，其降水入渗系数取值如表 1 所示。

Table 1. List of values of rainfall infiltration coefficient of various rock and soil mass
表 1. 各类岩土体降水入渗系数取值一览表

地层岩性	山前组	冲洪积层	碎屑岩	喷出岩	块状侵入岩	层状侵入岩
入渗系数	0.20	0.28	0.15	0.10	0.08	0.08

降水入渗补给量根据前述公式及计算亚区进行计算，得傅疃河流域降水入渗补给量为 $264,067.3 \text{ m}^3/\text{d}$ ，计算成果见表 2。

Table 2. Calculation results of rainfall infiltration recharge
表 2. 降水入渗补给量计算结果表

计算亚区		参数			计算结果	备注
名称	代号	面积(km^2) (F)	降水量(m)	渗入系数 (α_1)	天然补给量 (m^3/d)	
山前组	I	16.072	0.708	0.20	6235.06	
冲洪积层	II	242.413	0.708	0.28	131,660.15	
喷出岩类孔隙裂隙水	III	19.481	0.708	0.10	3778.78	
块状岩类裂隙水	IV	628.5464	0.708	0.08	97,536.62	
层状岩类裂隙水	V	158.6966	0.708	0.08	24,626.23	
咸水区	VI	1.191				不计算入渗量
合计		1066.4			263,836.84	

(2) 河流侧渗量

傅疃河流域孔隙含水岩组沿河谷呈带状、树枝状分布，自西北三庄镇邱家庄向东南至夹仓一带，上游较窄，下游较宽，上游含水层岩性以中粗粒砂、砂砾石为主，取渗透系数为 48.00 m/d ，下游含水层岩性以中砂、粗砂为主，渗透系数取 25.00 m/d 。含水层发育宽度、厚度及颗粒大小受地形、地貌、地层岩性、地质构造等影响大。因此，其富水程度不尽相同，河流上游地段含水层厚度 $3\sim 5 \text{ m}$ ，单井涌水量 $<500 \text{ m}^3/\text{d}$ ，河流中下游含水层厚度 $15\sim 20 \text{ m}$ ，单井涌水量 $1000\sim 3000 \text{ m}^3/\text{d}$ 。根据河流通过不同块段的长度和含水层的厚度等条件的差异，将该流域的河流以西沈马庄、大古城和陈家沟三点中间的河流交汇处为界，分为上游和下游，分别采用达西公式[11]进行计算，公式如下：

$$Q_{\text{侧}} = K \cdot I \cdot L \cdot H$$

(3)

式中： $Q_{\text{侧}}$ —河流侧渗补给量(m^3/d)， K —平均渗透系数(m/d)， L —河流通过块段长度(m)， I —天然水力坡度， H —块段含水岩层平均厚度(m)，计算结果如表 3 所示。

Table 3. Calculation results of lateral seepage recharge
表 3. 河流侧渗补给量计算结果表

区名	K (m/d)	I	L (m)	H (m)	河流侧渗补给量(m ³ /d)
上游	48.00	0.000025	90977.25	4.00	436.69
下游	25.00	0.0006	59854.24	15.00	13467.20
合计					13903.89

3.3. 地下水消耗量计算

傅疃河流域地下水消耗包括：蒸发量、人工开采量、断面流出量、河流基流量。

(1) 蒸发量

傅疃河流域面积 1066.4 km²，多年平均水面蒸发量为 1468.0 mm，该区地下水位埋深普遍较浅，因此蒸发为该研究区地下水的主要排泄方式之一。蒸发量计算公式：

$$Q_{\text{蒸}} = \alpha_2 \cdot F \cdot D / 365 \tag{4}$$

式中： $Q_{\text{蒸}}$ —地下水蒸发量(m³/d)； α_2 —蒸发系数，对傅疃河中下游河谷盆地、山间凹地及沿海岸边地下水蒸发系数采用 0.035，对基岩区蒸发系数按 0.01； D —液面蒸发量(m/a)； F —计算区段面积(m²)。

(2) 人工开采量

傅疃河作为日照市海岸带最大的河流，上游主要用于农业灌溉和生活用水；中上游建有日照水库及马陵水库，承担下游大面积农田和东部沿海区域大工业项目供水；中下游段目前分布有三个地下水水源，分别为鹅庄水源地 20,164.38 m³/d、曲河口水源地 17,616.44 m³/d，丁家楼水源地 14,109.59 m³/d，为日照市主要城市饮用水水源地。根据现在开采现状分析，每天从水源地取出水量 51,890.41 m³/d。傅疃河流域中每个村庄的平均取水量为 500~600 m³/d。

傅疃河流域地下水消耗中的断面流出量可由达西公式计算得，如式(3)所示；河流基流量取 64,100 m³/d。

综上可得：均衡法在傅疃河地下水资源计算结果如表 4 所示。

Table 4. Calculation results of groundwater resources equilibrium method in Futuan River
表 4. 傅疃河地下水资源均衡法计算结果

源汇项		水量(m ³ /d)	其中		
			孔隙水	裂隙水	合计
补给项	降水入渗补给	264,067.3	137,895.21	125,941.63	277,740.7
	河流侧渗补给	13,903.89	13,903.89	/	
	河流基流量	64,100.00	64,100	/	
消耗项	蒸发量	44,341.00	11,895.22	32,445.78	260,893.29
	断面流出量	12,792.29	12,792.29	/	
	人工开采量	139,660.00	60,667.37	78,992.63	

由表 4 可得：傅疃河流域地下水总补给量(277,740.7 m³/d)≈总排泄量(260,893.29 m³/d)，符合水均衡的条件。进而采用地下水资源潜力指数法[12]，可分别计算出孔隙水的开采潜力指数为 1.04，裂隙水的开采潜力指数为 1.18。开采潜力指数显示傅疃河流域现状开采条件下，地下水资源总体处于采补平衡状态，全区地下水自然循环基本保持较好的态势。

4. 水位情势预测仿真

4.1. 仿真模型构建

GSM 软件具有良好的操作界面，强大的前后处理功能及优良的三维可视化效果，目前已成为国际上广泛应用的地下水模拟软件之一[13]，其仿真模型构建主要分为：水文地质模型构建、仿真系数选择、模型校正识别三步。在上述均衡法计算傅疃河地下水资源显示该流域采补平衡状态前提下，通过 GSM 软件[14][15]仿真预测步骤对其水位情势进行仿真研究，从而为该流域的持续发展提供数据支持。首先，水文地质模型构建。傅疃河流域仿真模拟区初始水位分布和地形接近，地下水流向和河流流向基本一致，傅疃河干流附近地下水大致为从西北流向东南，崮河及其支流附近大致为从北流向南，全区水位埋深约 1~9 m，如图 3 所示。其次，仿真系数选择。仿真计算中主要补给项包括：降水，河流侧渗；主要消耗项包括：蒸发、开采、河流基流、断面流出。仿真模拟区降水入渗系数人为划分为三个区域：松散沉积物区，降水入渗系数 0.24；山前山间坡洪积物区，降水入渗系数 0.18；基岩区，降水入渗系数 0.08。最后：模型校正识别。仿真模拟区内主要地下水开采为供水厂开采和沿海地区海产养殖场等开采，三个水厂年供水量分别为：丁家楼水厂 400 万 m³、前鹅庄水厂 680 万 m³、曲河水厂 600 万 m³，开采地下水比例约 30%。东南沿海海水养殖场等地下水开采量累计约 45,000 m³/d。仿真模型识别验证阶段用观测水位与仿真计算水位对比，反复调试各项输入参数，直至观测水位与计算水位拟合结果较好。

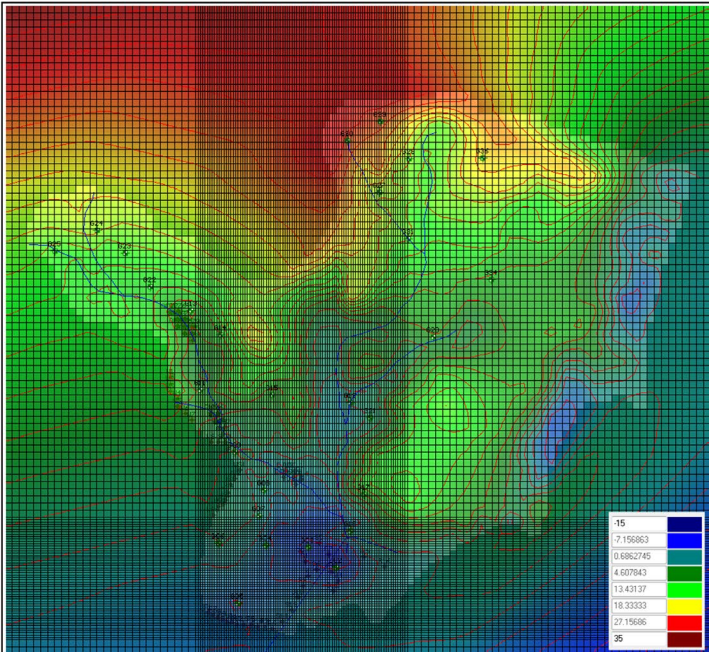


Figure 3. Distribution of initial water level
图 3. 初始水位分布图

4.2. 水位情势预测

以地下水资源量计算模型为基础，分三个方案进行傅疃河地下水资源水位的预测预报仿真研究。方案一：现状开采条件下 1 年、5 年、10 年、20 年后的地下水位；方案二：飞机场水场和河套水厂开采地下水后 1 年、5 年、10 年、20 年后的地下水位；方案三：在崮河汇入傅疃河处设置拦河坝后运行 1 年、5 年、10 年、20 年的地下水位。水位情势仿真预测结果如图 4 所示。

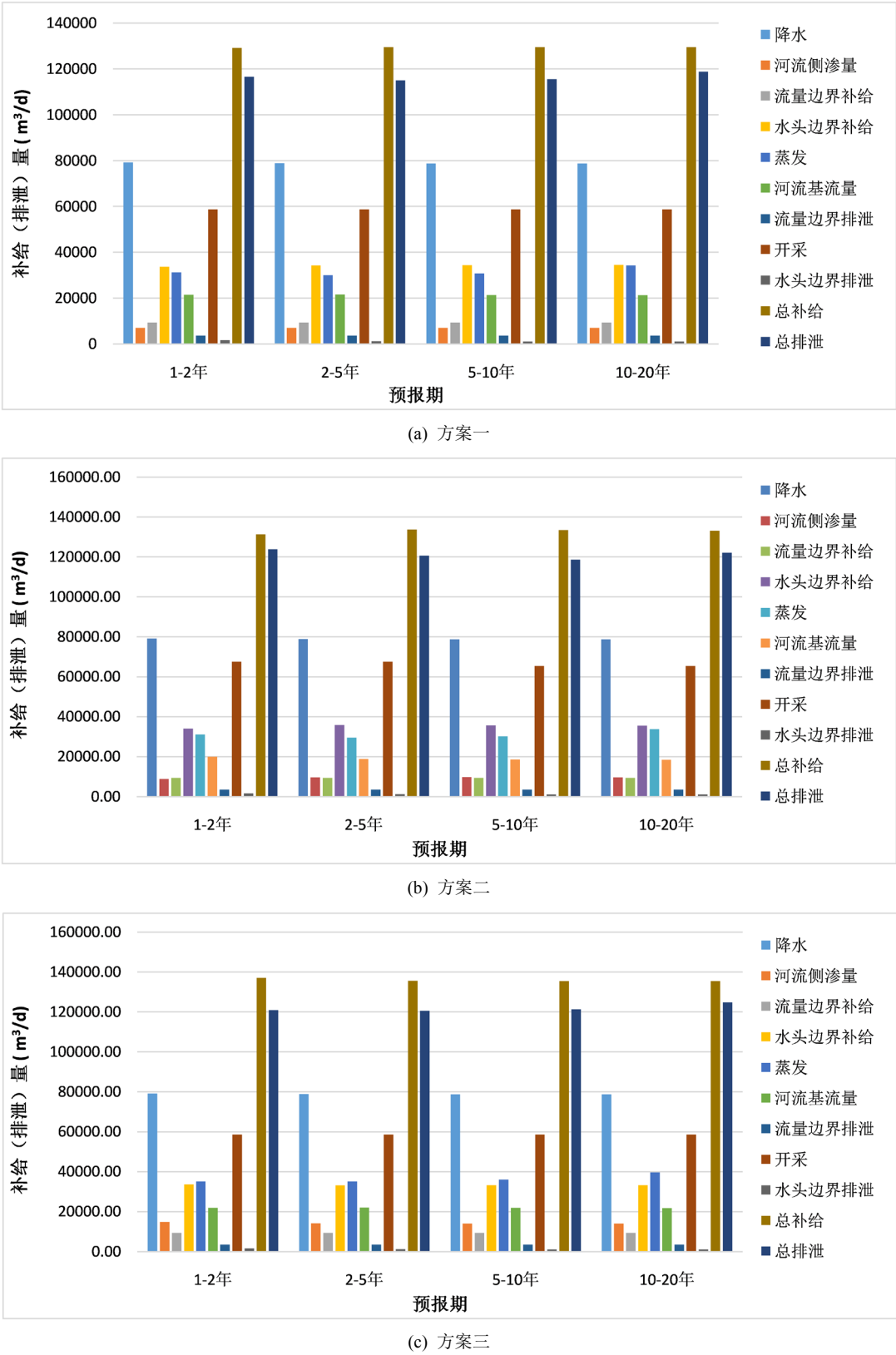


Figure 4. Simulation and prediction results of water level situation
图 4. 水位情势仿真预测结果

图 4 可得：在现状开采条件下的地下水 20 年内总补给(降水，河流侧渗)量大于总排泄(蒸发、开采、河流基流、断面流出)量，且总补给与总排泄量之间差值略有增大趋势，但在 10~20 年间差值相对于前 10 年的差值有所减少，地下水系统处于正均衡，区内除地下水开采区外水位存在不同程度的缓慢抬升，如图 4(a)所示；在飞机场水场和河套水厂开采地下水条件下的地下水 20 年内总补给量大于总排泄量，且总补给与总排泄量之间差值略有增大趋势，但在 10~20 年间差值相对于前 10 年的差值有所减少，地下水系统处于正均衡，区内除地下水开采区外水位存在不同程度的缓慢抬升，如图 4(b)所示；在在崮河汇入傅疃河处设置拦河坝后地下水 20 年内总补给量大于总排泄量，且总补给与总排泄量之间差值前 10 年基本保持不变，但在 10~20 年间差值相对于前 10 年的差值有所减少，即总排泄量随着时间延长有所增加，但地下水系统整体还处于正均衡，区内除地下水开采区外水位存在不同程度的缓慢抬升，如图 4(c)所示。综上，在现状开采条件、飞机场水场和河套水厂开采地下水及崮河汇入傅疃河处设置拦河坝条件下，日照市付疃河流域地下水总补给量大于总排泄量，系统整体还处于正均衡。这为该区地下水资源的合理开发和利用提供量化的数据支持，具有重要的实践应用价值。

5. 结论

为实现日照市付疃河流域地下水资源合理开发及持续利用，本文在采用均衡法计算傅疃河流域地下水资源量的基础上，运用 GMS 软件模拟 3 种开采方案下预测其地下水资源水位变化情势。均衡法计算结果显示：综合考虑地下水补给量、排泄量后付疃河流域地下水资源总补给量($277,740.7 \text{ m}^3/\text{d}$) $\approx$ 总排泄量($260,893.29 \text{ m}^3/\text{d}$)，其出孔隙水的开采潜力指数为 1.04 及裂隙水的开采潜力指数为 1.18，即该区域地下水资源总体处于采补平衡状态，全区地下水自然循环基本保持较好的态势。GMS 软件模拟结果显示：针对现状开采条件下的地下水位、飞机场水场和河套水厂开采地下水后的地下水位、在崮河汇入傅疃河处设置拦河坝后的地下水位三种方案仿真后，仿真区地下水系统处于正均衡，区内除地下水开采区外水位存在不同程度的缓慢抬升，即该区域地下水资源总补给量大于总排泄量。本文对日照市付疃河流域地下水资源现状及其未来 20 年水位情势进行研究，为其实现其可持续合理开发提供了科学性的、数值化的依据，具有一定的实际应用价值。

参考文献

- [1] Hasan, M.S.U. and Rai, A.K. (2020) Groundwater Quality Assessment in the Lower Ganga Basin Using Entropy Information Theory and GIS. *Journal of Cleaner Production*, **274**, Article ID: 123077. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123077>
- [2] Samah, N.A., Rosli, N.A.M., Manap, A., Hu, A., Aziz, Y.F.A. and Yusoff, M.M. (2020) Synthesis & Characterization of Ion Imprinted Polymer for Arsenic Removal from Water: A Value Addition to the Groundwater Resources. *Chemical Engineering Journal*, **394**, Article ID: 124900. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2020.124900>
- [3] 何开录. 基于 Arcgis 三维可视化的铁路地下水资源特性研究[J]. 环境科学与管理, 2020, 45(7): 88-92.
- [4] Pereira, L.S., Paredes, P. and Jovanovic, N. (2020) Soil Water Balance Models for Determining Crop Water and Irrigation Requirements and Irrigation Scheduling Focusing on the FAO56 Method and the Dual K_c Approach. *Agricultural Water Management*, **241**, Article ID: 106357. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106357>
- [5] 任永泰, 李丽. 哈尔滨市水资源预警模型研究(I)——基于时差相关分析法的区域水资源预警指标体系构建[J]. 东北农业大学学报, 2011, 42(8): 136-141.
- [6] 张长文, 张文平. 蒙古国塔木察格水源地地下水资源评价[J]. 科技创新与应用, 2019(10): 59-60.
- [7] 梁洪. 四川巴中恩阳区红层丘陵地下水特征及水资源评价[D]: [硕士学位论文]. 成都: 成都理工大学, 2016.
- [8] 余乐时. 河套灌区井渠结合地下水数值模拟及水资源预测分析[D]: [硕士学位论文]. 武汉: 武汉大学, 2017.
- [9] 赖乔枫, 肖长来, 梁秀娟, 戚琳琳, 鲁华. 大安市地下水时空动态变化分析及预测[J]. 水利水电技术, 2018, 49(10): 14-20.

-
- [10] 张冰, 尹玲, 马妍. 日照市付疃河流域鸟类调查及其生态环境研究[J]. 农技服务, 2017, 34(2): 11+5.
- [11] Zhao, L., Jiang, H.Q., Wang, H., Yang, H.X., Sun, F.R. and Li, J.J. (2020) Representation of a New Physics-Based non-Darcy Equation for Low-Velocity Flow in Tight Reservoirs. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, **184**, Article ID: 106518. <https://doi.org/10.1016/j.petrol.2019.106518>
- [12] 张海林, 吴立进, 罗斐, 张翼飞. 青岛市主要水源地地下水资源潜力评价方法研究[J]. 能源技术与管理, 2017, 42(2): 159-161.
- [13] 王英刚, 李小川, 孙宏亮, 陈晓博, 马溶涵, 高丹. 基于 GMS 的某金属尾矿库地下水溶质运移模拟[J]. 沈阳大学学报(自然科学版), 2018, 30(2): 87-92+173.
- [14] 张书金, 黎林, 姚树标. 3GSM 系统在金属矿山岩体结构面测量中的应用[J]. 采矿技术, 2020, 20(4): 142-145.
- [15] Shi, L.Q., Wang, Y., Qiu, M. and Wang, M. (2019) Assessment of Water Inrush Risk Based on the Groundwater Modeling System—A Case Study in the Jiaojia Gold Mine Area, China. *Arabian Journal of Geosciences*, **12**, Article No. 807. <https://doi.org/10.1007/s12517-019-4986-8>