

# 济南市白泉泉域地下水资源及开采潜力评价

陈奂良<sup>1,2</sup>, 曹 汉<sup>3\*</sup>

<sup>1</sup>山东省地质矿产勘查开发局八〇一水文地质工程地质大队(山东省地矿工程勘察院), 山东 济南

<sup>2</sup>山东省地下水环境保护与修复工程技术研究中心, 山东 济南

<sup>3</sup>吉林大学建设工程学院, 吉林 长春

Email: \*caohan20@mails.jlu.edu.cn

收稿日期: 2021年8月26日; 录用日期: 2021年9月23日; 发布日期: 2021年9月30日

## 摘 要

济南市白泉泉域的城市化建设导致地下水的降水入渗补给量减少, 且由于相邻趵突泉泉域的保泉供水工作, 白泉泉域水源地地下水开采量减少, 由此导致了泉域的地下水均衡状况在近20年来发生了较大变化。为研究济南市白泉泉域的地下水资源现状, 保障当地地下水资源开发利用的可持续发展, 本文采用水量均衡法, 对济南市白泉泉域岩溶水系统的地下水资源量进行了评价, 并通过采样测试, 评价了区内三个水源地的水质。采用开采系数法, 计算了不同降水保证率条件下的补给量, 并对研究区地下水开采潜力进行了分析。研究表明, 白泉泉域地下水补给量为 $10,496.40 * 10^4 \text{ m}^3/\text{a}$ , 排泄量为 $7912.51 * 10^4 \text{ m}^3/\text{a}$ , 均衡差为 $2583.89 * 10^4 \text{ m}^3/\text{a}$ , 为正均衡。需对重点渗漏带进行保护, 并严格控制地下水开采。水源地岩溶地下水为III类水, 超标指标主要为硝酸盐、硫酸盐、TDS、总硬度, 各指标浓度与背景值比均有明显升高。在多年现状开采量条件下的开采潜力指数为1.35, 表明区域地下水具备一定开采潜力。由于含水层调蓄能力巨大, 补给条件优越, 特枯年份动用部分储存量在丰水年可以得到补偿。即使是特枯年, 也可以保持现状开采量, 但对于扩大开采则需慎重。最后, 对典型水源地进行了允许开采量计算评价, 认为裴家营白泉水厂现状条件下提供 $1.5 * 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 的备用开采量是有保障的。该水厂可作为区域备用水源地使用。

## 关键词

岩溶地下水, 资源评价, 开采潜力, 济南市, 白泉

## Evaluation of Groundwater Resources and Withdrawal Potential in Bai Spring Area, Jinan City, China

Huanliang Chen<sup>1,2</sup>, Han Cao<sup>3\*</sup>

\*通讯作者。

<sup>1</sup>801 Institute of Hydrogeology and Engineering Geology, Shandong Provincial Bureau of Geology & Mineral Resources, Jinan Shandong

<sup>2</sup>Shandong Engineering Research Center for Environmental Protection and Remediation on Groundwater, Jinan Shandong

<sup>3</sup>College of Construction Engineering, Jilin University, Changchun Jilin  
Email: \*caohan20@mails.jlu.edu.cn

Received: Aug. 26<sup>th</sup>, 2021; accepted: Sep. 23<sup>rd</sup>, 2021; published: Sep. 30<sup>th</sup>, 2021

## Abstract

In the past two decades, the urbanization of the Bai Spring area in Jinan City has led to a decrease in the amount of precipitation infiltration recharge of groundwater, and the amount of groundwater withdrawal in the water source areas of the Bai Spring area has decreased due to the spring protection work in the adjacent Baotu Spring area, both resulting in great changes of the groundwater balance. In order to study the status of groundwater resources in Bai Spring area of Jinan City and ensure the sustainable utilization of local groundwater resources, this paper adopts the water balance method to evaluate the amount of groundwater resources in the karst groundwater system of Bai Spring in Jinan City, and evaluates the water quality of three water source areas based on the test results of groundwater samples. The groundwater recharge under the conditions of different precipitation guarantee rates is calculated, and the withdrawal coefficient method is used to analyze the withdrawal potentiality of groundwater in the study area. Research shows that the groundwater recharge rate in the Bai Spring area is  $10496.40 * 10^4 \text{ m}^3/\text{a}$ , the discharge rate is  $7912.51 * 10^4 \text{ m}^3/\text{a}$ , and the balance difference is  $2583.89 * 10^4 \text{ m}^3/\text{a}$ , which is positive. The key leakage zones should be protected, and the withdrawal of groundwater should be strictly controlled. The groundwater quality in the source areas is Class III, and the main indexes exceeding the standard are nitrate, sulfate, TDS, and total hardness. The concentration of each indicator has increased significantly compared to the background value. The average withdrawal potential index is 1.35, indicating that the regional groundwater has a certain withdrawal potential. Due to the huge storage capacity of aquifers and superior recharge conditions, part of the storage capacity used in extremely dry years can be compensated in wet years. Even in extremely dry years, the current withdrawal rate can be maintained, but it should be cautious about expanding the withdrawal rate. Finally, the calculation and evaluation of the allowable withdrawal of the typical water source areas groundwater are carried out, and it is believed that under the current conditions of the Peijiaying Bai Spring Water Plant, it is safe to provide a reserve withdrawal of  $1.5 * 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ . The water plant is able to be used as a regional backup water source.

## Keywords

Karst Groundwater, Resources Evaluation, Withdrawal Potential, Jinan City, Bai Spring

Copyright © 2021 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

保证水资源的数量和质量, 是城市水资源管理的核心内容, 直接关系到人民群众的生存生活和经济

社会的发展。一旦人类活动超过了地下水资源系统的承载力, 势必对地下水环境造成破坏, 导致地下水的资源量锐减、水质恶化等。因此, 地下水资源评价逐渐成为国内外地下水科学领域的研究重点之一。

自 20 世纪 50 年代起, 不少学者对于地下水资源评价做出了很多研究, 不论在理论研究还是在评价方法上, 都积累了大量的经验和资料[1] [2] [3]。目前, 主要的地下水资源量评价方法包括水量均衡法、开采试验法、数理统计法、水文地质比拟法、数值模拟法等[4]。其中, 水量均衡法以原理简单、可操作性强、资料利用率高等优点, 成为被最广泛使用的地下水资源评价方法之一[5]。水均衡法的基本原理是把均衡区看作一个整体, 某一时段内地下水贮存量的变化量等于地下水补给量和排泄量之差[6]。尹政等[7]采用水量均衡法对酒泉东盆地的地下水资源及潜力进行了评价, 将研究区划为四个开发利用规划区。张崇栋等[8]采用补给量法对东营市地下水资源现状进行了评价, 探讨了地下水资源保护对策。杨坡等[9]采用均衡法、解析法和数值法对河南新乡市傍河水源地浅层地下水资源进行了评价, 认为新增水源地设置的地下水允许开采量是有保证的。Md [10]采用水量均衡法和经验法, 对孟加拉三角洲中部达卡市的地下水资源进行了评价。Qu 等[11]对山东省潍坊市的地下水资源及开采潜力进行了评价, 认为研究区内碳酸盐岩岩溶裂隙水和基岩裂隙水具有巨大的开发潜力。

山东省是人口大省, 而济南市作为山东省的省会, 工业发达, 人口密集。自 20 世纪 50 年代起, 当地水文地质工作者就对济南市及其周边地区陆续进行了水文地质勘察工作, 提交了若干成果报告, 积累了丰富的研究资料。趵突泉泉域与白泉泉域相邻, 以东坞断裂为共同边界, 存在一定的水力联系[12] [13]。近 20 年来, 随着趵突泉保泉供水工作的开展, 趵突泉泉域与白泉泉域的众多大型水源地的地下水开采量均有明显减少。此外, 城市化建设造成岩溶水渗漏带功能丧失, 导致了大气降水补给量的减少[14]。以上种种因素, 均在一定程度上改变了泉域地下水的均衡状况。因此, 有必要重新对白泉泉域的地下水资源量和地下水可开采潜力进行科学评价, 将水资源的开发利用进行合理的规划和配置, 以保障水资源开发利用的可持续发展[15]。本文利用水量均衡法和开采系数法, 对济南市白泉泉域的地下水资源量进行了评价, 分析了地下水可开采潜力。通过采样测试, 评价了泉域地下水的水质。同时, 对主要水源地的允许开采量进行了复核。研究结果可为区域地下水的合理开发和利用提供技术支持。

## 2. 研究区概况

### 2.1. 研究区范围与自然地理条件

济南市白泉泉域位于趵突泉泉域的东部, 面积为 797.58 km<sup>2</sup>。其西以东坞断裂为界, 西南石岭村以南以地表分水岭为界; 系统东部以隔水的文祖断裂为界; 南边界在变质岩区为地表分水岭, 其东以寒武系馒头组底板为界构成地下分水岭; 北边为碳酸盐岩与石炭二叠系煤系地层接触带以灰岩顶板埋深 400~600 m 为界[12] [13] [16]。研究区地处中纬度地区, 属暖温带半湿润季风气候区。多年(1971~2015 年)平均气温为 12.8℃, 多年平均降水量为 675.2 mm, 多年平均蒸发量为 1804 mm。水系、湖泊、水库较发育, 属黄河流域, 主要发育有巨野河、西巴漏河、港沟河三条河流。

### 2.2. 水文地质条件

研究区海拔自南向北逐渐降低, 南部为中低山区丘陵区, 北部为山前平原区。自南向北依次出露泰山群变质岩、寒武系灰岩、奥陶系灰岩。研究区岩溶地下水主要赋存于寒武系和奥陶系灰岩中(见图 1)。

研究区岩溶水系统以接受大气降水入渗补给为主。此外, 还接受西巴漏河、巨野河等地表水渗漏补给。沿河两岸灰岩裸露, 裂隙岩溶发育, 河床中分布的砂砾石层, 厚度较小, 利于河水渗漏。雨季河中有水时, 河水大量渗漏补给岩溶水。此外, 局部地区岩溶水可得到第四纪含水层的下渗补给, 主要发生山前平原的第四系较薄处。区内南北向断裂较为发育, 沟通了寒武纪张夏组灰岩和奥陶纪灰岩, 使得

部分张夏组灰岩地下水可通过断裂向北部径流补给奥陶纪岩溶水。

岩溶地下水在补给径流区接受降水的大量补给后, 垂直下渗并向北径流, 因岩性构造和火成岩体的影响, 地下水主要运动方向转向北西流入山前隐伏区。在王舍人镇北白泉地区受西侧东坞断裂和北、东方向分布的石炭-二叠纪地层阻挡承压, 岩溶水沿近南北向断层上升, 通过上覆厚度达 60~80 m 的第四系而出露成泉, 钻孔自流, 形成富水区[15]。除以泉群出露外, 岩溶水还顶托补给第四纪含水层。目前区内的地下水排泄主要以水源地开采、矿坑排水为主, 并有部分农业分散式开采。

泉域内主要有裴家营白泉水厂、李家庄水源地、宿家水源地、平原区水源地等 4 个地下水水源地。岩溶含水层主要为奥陶系八陡组、阁庄组灰岩、白云岩, 含水层顶板埋深一般在 80~100 m 左右。水源地单孔抽水降深在 0.445~6.272 m 之间, 单井涌水量 5248.8~7769.78 m<sup>3</sup>/d。

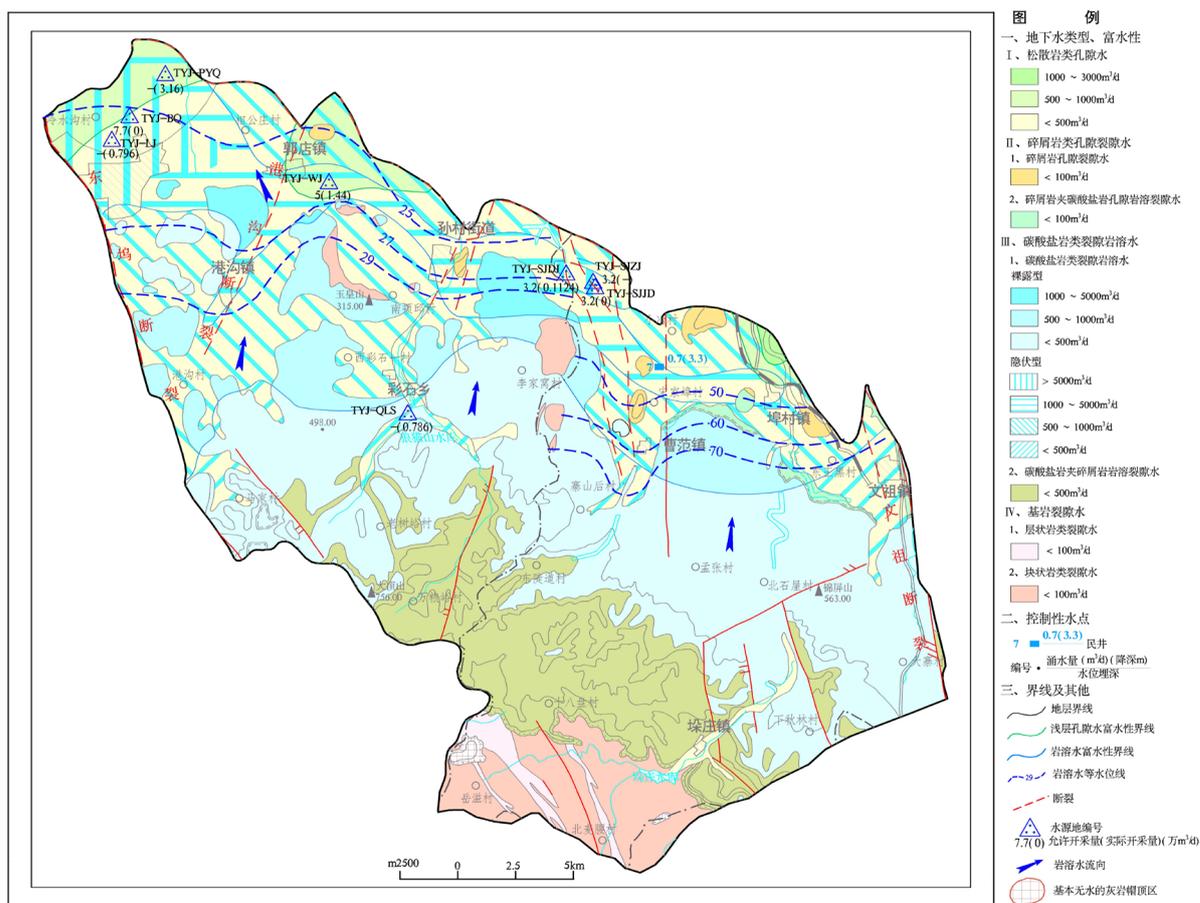


Figure 1. Hydrogeological diagram of karst water system in Bai spring area

图 1. 白泉泉域岩溶水系统水地质简图

### 3. 研究方法

#### 3.1. 地下水资源量计算方法

均衡区内的含水层系统, 在任意一时间段( $\Delta t$ )的补给量和消耗量之差等于该含水层系统中水体积的变化量。本次主要采用水量均衡法对各水文地质单元资源量进行计算, 该方法主要计算公式如下:

1) 水均衡方程[5] [17]:

$$\mu F \Delta h / \Delta t = Q_{\text{补}} - Q_{\text{排}} \quad (1)$$

式中:  $\mu F \Delta h / \Delta t$ ——单位时间内含水层中水体积的变化量;  $Q_{\text{补}}$ ——各项补给量,  $\text{m}^3/\text{a}$ ;  $Q_{\text{排}}$ ——各项排泄量,  $\text{m}^3/\text{a}$ 。

2) 源汇项及主要参数计算公式[17]:

$$Q_{\text{降}} = \alpha \times F \times P \quad (2)$$

式中:  $Q_{\text{降}}$ ——降水入渗补给量,  $\text{m}^3/\text{a}$ ;  $\alpha$ ——大气降水入渗补给系数;  $F$ ——计算区面积,  $\text{km}^2$ ;  $P$ ——降水量,  $\text{mm}$ 。

$$Q_{\text{农补}} = \beta \times Q_{\text{农开}} \quad (3)$$

式中:  $Q_{\text{农补}}$ ——灌溉回渗补给量,  $\text{m}^3/\text{a}$ ;  $\beta$ ——灌溉回渗系数;  $Q_{\text{农开}}$ ——农业灌溉量,  $\text{m}^3/\text{a}$ 。

$$Q_{\text{径补}} = KIML \quad (4)$$

式中:  $Q_{\text{径补}}$ ——地下径流补给量,  $\text{m}^3/\text{d}$ ;  $K$ ——含水层渗透系数,  $\text{m}/\text{d}$ ;  $I$ ——水力坡度;  $M$ ——含水层厚度,  $\text{m}$ ;  $L$ ——补给带宽度,  $\text{m}$ 。

### 3.2. 地下水水质评价方法

为了查明泉域地下水的水化学类型、污染程度, 掌握地下水质量状况, 本次研究在水文地质调查的基础上有针对性的开展了采样工作。本次研究在泉域内的裴家营白泉水厂、李家庄水源地、青龙山水源地进行了采样测试。其中, 裴家营白泉水厂、李家庄水源地位于泉域下游的岩溶水排泄区, 青龙山水源地位于泉域上游的岩溶水补给区。本次研究于 2017~2018 年在枯水期、丰水期分别采样, 共采集地下水水质样品 6 件。测试指标包括一般化学指标 16 项、无机毒理指标 15 项、挥发和半挥发性有机指标 49 项。

本次研究采用《地下水质量标准》(GB/T 14848-2017)中推荐的“单因子评价法”, 对区内地下水进行单指标水质评价、地下水水质综合评价。

### 3.3. 地下水开采潜力评价方法

地下水开采潜力评价采用开采潜力指数法, 具体公式如下[5] [17]:

$$P = Q_{\text{允}} / Q_{\text{开}} \quad (5)$$

式中:  $P$ ——开采潜力指数;  $Q_{\text{允}}$ ——允许开采量,  $*10^4 \text{ m}^3/\text{a}$ ;  $Q_{\text{开}}$ ——实际开采量,  $*10^4 \text{ m}^3/\text{a}$ 。当  $P > 1$  时, 说明地下水具有一定开采潜力; 当  $P = 1$  时, 则说明地下水以无开采潜力; 当  $P < 1$  时, 说明开采地下水消耗了地下水的储存量, 宜减小开采量。

## 4. 结果与讨论

### 4.1. 地下水资源量计算

#### 4.1.1. 计算参数的确定

研究区面积为  $797.58 \text{ km}^2$ 。经计算, 直接补给区面积  $302.90 \text{ km}^2$ , 即寒武纪三山子组及奥陶纪马家沟组裸露区灰岩面积  $302.90 \text{ km}^2$ 。张夏灰岩分布面积  $41.49 \text{ km}^2$ 。根据泉域内水文站 1963~2015 年多年降水资料, 多年平均降水量  $675.2 \text{ mm}$ , 即  $P$  取  $0.6752 \text{ m}$ 。研究区降水入渗系数根据《济南保泉勘探报告》计算取值, 寒武纪三山子组至奥陶纪灰岩裸露区取  $0.45$ , 寒武纪张夏组取  $0.33$ 。农田灌溉回渗系数取  $0.3$ 。

#### 4.1.2. 地下水均衡计算

根据计算, 研究区大气降水入渗补给量  $Q_{\text{降}} = 10127.77 * 10^4 \text{ m}^3/\text{a}$  (表 1), 农业灌溉回渗量  $Q_{\text{农补}} = 81.81$

\*  $10^4 \text{ m}^3/\text{a}$ , 河道渗漏补给量主要为西巴漏河渗漏, 次为巨野河、港沟河渗漏, 渗漏补给量  $Q_{\text{河补}} = 231.83 + 32.70 + 22.29 = 286.82 * 10^4 \text{ m}^3/\text{a}$ 。研究区岩溶地下水的总补给量  $Q_{\text{补}} = 10496.40 * 10^4 \text{ m}^3/\text{a}$ 。

**Table 1.** Calculation of the precipitation infiltration recharge rate

**表 1.** 研究区大气降水补给量计算

降水量(mm)	区域	面积(km <sup>2</sup> )	降水入渗补给系数	降水补给量(* $10^4 \text{ m}^3/\text{a}$ )
675.2	寒武系三山子组和奥陶系灰岩分布区	302.90	0.45	9203.31
	张夏组灰岩分布区	41.49	0.33	924.46
合计				10,127.77

研究区岩溶地下水的主要排泄途径是人工开采。区内多年来岩溶水城市供水水源地开采量  $1825.0 * 10^4 \text{ m}^3/\text{a}$ ; 工业自备井开采  $2934.6 * 10^4 \text{ m}^3/\text{a}$ ; 农业灌溉用水  $918.69 * 10^4 \text{ m}^3/\text{a}$ ; 生活用水开采量为  $230.0 * 10^4 \text{ m}^3/\text{a}$ ; 煤矿排岩溶水量  $1545.78 * 10^4 \text{ m}^3/\text{a}$ , 总计开采岩溶水  $7454.07 * 10^4 \text{ m}^3/\text{a}$ 。根据野外调查及实际测量, 在冷水沟附近岩溶水顶托补给孔隙水并形成地表水, 沿河沟向北出白泉泉域排入小清河, 排泄量为  $166.44 * 10^4 \text{ m}^3/\text{a}$ 。西部边界东坞断裂徐家庄以北弱透水段, 直接引用“山东省济南市白泉~武家水源地供水水文地质勘探报告”数值模拟计算结果, 白泉泉域通过东坞断裂弱透水段向西侧的趵突泉泉域排泄量为  $292.0 * 10^4 \text{ m}^3/\text{a}$ 。研究区岩溶地下水总排泄量  $Q_{\text{排}} = 7912.51 * 10^4 \text{ m}^3/\text{a}$ 。

根据以上水均衡计算, 研究区总补给量为  $10,496.40 * 10^4 \text{ m}^3/\text{a}$ , 排泄量为  $7912.51 * 10^4 \text{ m}^3/\text{a}$  (见表 2)。排泄量小于补给量, 为正均衡。分析数据可知, 研究区岩溶含水层的补给量以大气降水补给为主, 而排泄量则以地下水开采为主。此外, 河道渗漏量也与大气降水量存在密切关系。因此, 决定开采潜力指数的关键因素为大气降水量和地下水开采量。近几十年的城市化建设, 导致部分地区的地表入渗能力减弱甚至完全丧失, 使得基岩裸露区的面积大大减少, 从而减少了降水补给量。为了保护地下水资源, 需对重点渗漏带进行保护, 并严格控制地下水开采。需指出, 以上计算结果是以当地平均大气降水量计算得出的, 还需计算不同降水保证率下的补给量, 以考虑枯水年和丰水年的地下水开采潜力。

**Table 2.** Calculation results of water balance

**表 2.** 白泉泉域岩溶水系统水均衡计算结果

项目	补给、排泄量(* $10^4 \text{ m}^3/\text{a}$ )	合计(* $10^4 \text{ m}^3/\text{a}$ )	
补给项	大气降水入渗补给量	10,127.77	
	农灌回渗补给量	81.81	10,496.40
	河道渗漏补给量	286.82	
排泄项	人工开采量	7454.07	
	顶托排泄量	166.44	7912.51
	地下径流排泄量	292.0	
均衡差		2583.89	

## 4.2. 地下水水质评价

根据采样测试的结果, 泉域内的三个水源地(裴家营白泉水厂、李家庄水源地、青龙山水源地)的地下水均为 III 类水, 超标指标主要为硝酸盐、硫酸盐、TDS、总硬度。具体超标指标及含量见表 3。

由表可知, 研究区地下水水质丰、枯水期变化不大, 位于上游的青龙山水源地, 水质好于位于下游

的裴家营白泉水厂和李家庄水源地。根据 20 世纪 50~60 年代的调查结果, 泉域地下水水质指标的背景值为: 硫酸盐为 19.05 mg/L, 硝酸盐为 15.46 mg/L, 总硬度为 184.2 mg/L, TDS 为 209.3 mg/L。与背景值对比可知, 泉域地下水水质在近几年来发生了明显的变化, 地下水发生了一定程度的污染。为了防止地下水水质持续恶化, 需要采取一定的地下水保护措施, 如对地下水的脆弱性进行评价、对区域地下水高风险污染源进行调查和管控等。

**Table 3.** Evaluation results of water quality index

**表 3.** 白泉泉域岩溶水水质指标评价结果

水源地名称	采样时间	水质评价结果	主要影响指标	含量(mg/L)
裴家营白泉水厂	枯水期	III 类	硝酸盐、总硬度	41.89/391.81
	丰水期	III 类	总硬度、硝酸盐、溶解性总固体	404/44.1/526
李家庄水源地	枯水期	III 类	硫酸盐、总硬度	214.4/415.33
	丰水期	III 类	总硬度、硝酸盐、溶解性总固体	409/56.5/563
青龙山水源地	枯水期	III 类	硝酸盐、总硬度	53.14/351.78
	丰水期	III 类	总硬度	332
裴家营白泉水厂	枯水期	III 类	硝酸盐、总硬度	41.89/391.81

### 4.3. 地下水可开采潜力评价

经前述计算, 研究区多年平均降水条件下总补给资源量为  $10,496.4 * 10^4 \text{ m}^3/\text{a}$ , 地下径流排泄量和越流排泄量为  $458.44 * 10^4 \text{ m}^3/\text{a}$ 。由此可知, 地下水允许开采量  $Q_{允} = 10037.96 * 10^4 \text{ m}^3/\text{a}$ , 多年现状开采量  $Q_{开} = 7454.07 * 10^4 \text{ m}^3/\text{a}$ , 开采潜力指数  $P = 1.35$ 。

从研究区降雨和地下水水位的多年统计资料来看, 地下水具有季节和多年调蓄的能力。枯水期补给量小, 但可以动用一部分储存量, 在丰水期, 动用的储存量可以马上得到补偿。济南地区上世纪八十年代为偏枯系列年, 特别是 1986 年、1988 年和 1989 年, 降水量偏少, 1986 年降水量仅 424 mm, 白泉地区 1987 年最低水位从 24 m 左右降至 21 m, 1987 年降水量为 767 mm 时(高于多年平均降水量), 岩溶水立即得到补偿, 水位高于 25 m, 白泉自流; 1988 年降水量 547.4 mm, 1989 年降水量仅 397.8 mm, 在 1990 年的枯水期, 白泉地区出现历史最低水位, 其水位降到 16.5 m。由于 1990 年丰水期降水量较大, 岩溶水又得到充分的补给, 水位又开始升高, 超过 25 m, 达到 1985 年以前的动平衡状态, 白泉在 1990 年 8 月 16 日自流; 进入 2000 年后, 上述现象重复出现, 2002 年平均降水量 461.5 mm, 白泉断流, 至 2003 年 7 月进入雨季后, 降水充沛, 全年降水量达 900 mm 以上, 地下水得到充分补给, 水位上升, 泉水出流, 这充分反映出泉域岩溶地下水的多年调蓄功能。

因此, 按照以丰补歉的资源评价原则, 分别计算了不同降水保证率条件下的补给量。降水保证率 20% 条件下为  $11769.8 * 10^4 \text{ m}^3/\text{a}$ , 降水保证率 95% 条件下为  $6799.95 * 10^4 \text{ m}^3/\text{a}$ 。在开采量  $7454.07 * 10^4 \text{ m}^3/\text{a}$  的条件下, 特枯年的补给量不能满足生产生活的需要, 需要动用部分储存量。根据计算, 全区岩溶地下水储存量为  $132578.31 * 10^4 \text{ m}^3$ , 开采量仅占储存量的 5.6%, 说明本区岩溶含水层调蓄能力巨大, 又有优越的补给条件, 特枯年份动用部分储存量在丰水年完全可以得到补偿。因此, 即使是在特枯年, 也可保持现状开采量。但对于扩大开采则需十分慎重。

### 4.4. 水源地允许开采量评价

研究区共有李家庄水源地、宿家水源地等 9 个地下水水源地, 水源地多处于开采或间歇性开采状态,

本文以裴家营白泉水厂为代表, 对水源地进行允许开采量计算评价。

裴家营白泉水厂位于历城区裴家营村北, 始投产于 1961 年。水源地共有 14 眼供水井, 主要揭露马家沟组阁庄段及八陡段灰岩岩溶裂隙含水层, 开采井深度在 139~187 m。建成时计算评价允许开采量为 7.7 万  $\text{m}^3/\text{d}$ , 由于保泉供水需要, 水源地自 2016 年以来已停采, 目前作为备用水源地。

白泉地区六十年代初期平均水位在 30 m 左右, 随着工农业的发展, 白泉地区先后建立了济南市自来水公司东郊水厂、济南钢铁厂、化肥厂、石油化工二厂等自备水厂, 至七十年代初期, 总开采量近  $1 \times 10^5 \text{ m}^3/\text{d}$ , 到七十年代中期, 平均水位在 26.5 m 左右。到八十年代, 本区开采量持续增加至 21~26 万  $\text{m}^3/\text{d}$ , 水位持续下降, 最低降到 18 m 左右。

该水源地附近为白泉湿地, 是由白泉泉水喷涌而形成的典型淡水泉沼泽湿地, 为保护湿地景观, 发挥湿地在调节径流、降解污染、净化水质、调节气候和美化环境方面的作用, 该区要严格控制开采岩溶地下水。

由于保泉供水需要, 近年来白泉水厂不断减少开采量, 其附近水位也得到一定程度恢复。由水源地多年动态曲线图(图 2)可知, 2015~2016 年间水源地开采量在  $1.08\sim 1.5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$  之间, 水位标高在 22.5~25.5 m 左右。水位主要受开采量和降水量的影响, 且具有“缓降陡升”的特点, 枯水期水位下降后能在丰水期得到有效的恢复。由于水源地的开采未引发明显的地质环境问题, 因此现状条件下白泉水厂提供  $1.5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$  的备用开采量是有保障的。该水厂可作为区域备用水源地使用。

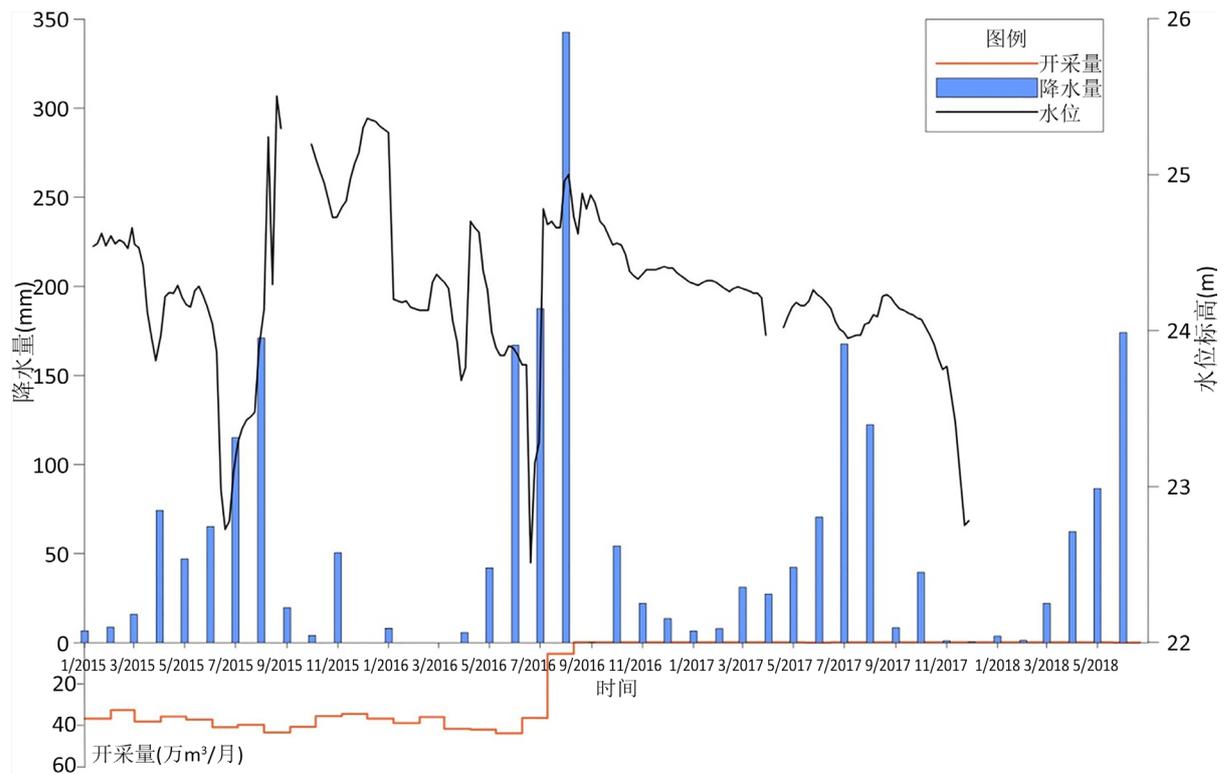


Figure 2. 2015~2018 water level dynamic curve of Peijiaying Water Plant

图 2. 裴家营白泉水厂 2015~2018 年水位动态曲线图

## 5. 结论

根据本文的研究, 主要可以得出以下四个结论:

- 1) 研究区总补给量为  $10496.40 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{a}$ , 排泄量为  $7912.51 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{a}$ 。排泄量小于补给量, 为正均

衡。研究区岩溶含水层的补给量以大气降水补给为主, 而排泄量则以地下水开采为主。为了保护地下水资源, 需对重点渗漏带进行保护, 并严格控制地下水开采。

2) 研究区三个典型水源地的地下水均为 III 类水, 超标指标主要为硝酸盐、硫酸盐、TDS、总硬度, 各指标浓度与 20 世纪 50 年代的背景值相比均有明显升高, 表明地下水已经受到一定程度的污染。为了防止地下水水质持续恶化, 需要采取一定的地下水保护措施, 如对地下水的脆弱性进行评价、对区域地下水高风险污染源进行调查和管控等。

3) 多年平均降水条件下, 研究区岩溶含水层的开采潜力指数为 1.35, 具备一定的开采潜力。特枯年的补给量不能满足生产生活的需要, 需要动用部分储存量。但本区岩溶含水层调蓄能力巨大, 补给条件优越, 特枯年份动用部分储存量在丰水年可以得到补偿。因此, 即使是特枯年, 也可以保持现状开采量。但对于扩大开采则需慎重。

4) 裴家营白泉水厂的水位主要受开采量和降水量的影响, 现状条件下提供  $1.5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$  的备用开采量是有保障的。该水厂可作为区域备用水源地使用。

## 基金项目

山东省地下水水源地调查评价(泰沂山北翼)【鲁地环(2016)03 号】。

## 参考文献

- [1] 马晓亮. 宁夏银川市镇北堡地下水资源评价[D]: [硕士学位论文]. 北京: 中国地质大学, 2018.
- [2] 王浩, 仇亚琴, 贾仰文. 水资源评价的发展历史和趋势[J]. 北京师范大学学报(自然科学版), 2010, 46(3): 274-277.
- [3] Dawoud, M.A. and Raouf, A.R.A. (2009) Groundwater Withdrawal and Assessment in Rural Communities of Yobe State, Northern Nigeria. *Water Resources Management*, **23**, 581-601. <https://doi.org/10.1007/s11269-008-9289-x>
- [4] 李燕. 地下水资源评价方法与未来展望[J]. 环境与发展, 2018, 30(12): 255-256.
- [5] 索瑞厅, 张绍兴, 姜德强, 等. 多伦县地下水资源评价与可开采潜力分析[J]. 湖南师范大学自然科学学报, 2020, 43(6): 2-10.
- [6] 钱永, 张兆吉, 费宇红, 等. 华北平原浅层地下水可持续利用潜力分析[J]. 中国生态农业学报, 2014, 22(8): 890-897.
- [7] 尹政, 冯建宏, 田辽西, 等. 酒泉东盆地地下水资源及潜力评价[J]. 地下水, 2015, 37(6): 28-30.
- [8] 张崇栋, 董宝恩, 刘俊梅. 东营市地下水资源现状评价及保护对策[J]. 山东水利, 2021(2): 75-76.
- [9] 杨坡, 张文娟, 李自涛. 河南新乡市傍河水源地浅层地下水资源评价[J]. 节水灌溉, 2015(10): 67-70.
- [10] Hossain, M.Z. (2021) Groundwater Resource Assessment Using Different Hydrological Methods and GIS Techniques for Central Part of Bengal Delta. *Sustainable Water Resources Management*, **7**, 19. <https://doi.org/10.1007/s40899-021-00496-x>
- [11] Qu, X.Y., Shi, L.Q., Qu, X.W., Qiu, M., Gao, W.F. and Wang, J. (2021) Evaluation of Groundwater Resources and Exploitation Potential: A Case from Weifang City of Shandong Province in China. *ACS Omega*, **6**, 10592-10606. <https://doi.org/10.1021/acsomega.0c06056>
- [12] 奚德荫, 孙斌, 秦品瑞. 济南泉水研究[M]. 济南: 济南出版社, 2017.
- [13] 商广宇, 王建军. 有的放矢, 科学保泉——济南泉域边界条件论证[J]. 地下水, 2002(4): 191-194+223.
- [14] 倪寒茜, 束龙仓, 韩刚, 等. 城市化对趵突泉泉域降水入渗补给的影响[J]. 南水北调与水利科技(中英文), 2020, 18(6): 64-70+147.
- [15] 朱学愚. 地下水资源评价[M]. 南京: 南京大学出版社, 1987.
- [16] 张兰新, 徐扬, 张慧. 济南白泉泉群形成机理研究[J]. 山东国土资源, 2017, 33(8): 58-62.
- [17] 中国地质调查局. 水文地质手册[M]. 北京: 地质出版社, 2012: 692-694.