

Study of Quanlin Spring Groups Flow Evolution and Spring Landscape Flow

Qinghua Guan^{1,2}, Fulin Li^{1,2}, Xuequn Chen^{1,2}, Ai Qin Wang^{1,2}, Bing Li^{1,2}, Yufeng Zhang¹

¹Water Resources Research Institute of Shandong Province, Jinan Shandong

²Key Laboratory of Resources and Environment of Shandong Province, Jinan Shandong

Email: qhguan0120@163.com

Received: Oct. 3rd, 2016; accepted: Oct. 23rd, 2016; published: Oct. 26th, 2016

Copyright © 2016 by authors and Hans Publishers Inc.

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

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



Open Access

Abstract

This article investigated the hydrogeology of Quanlin by collecting data of Quanlin springs more than 30 years and analyzing the origin of springs. According to the historical evolution process of springs flow, we divide the different stages of springs flow and analyze the main factors influencing the springs discharge. Rainfall is the mainly natural factors and the mining of deep groundwater is the main human factors. By analyzing the correlation between historical water level and spring flow, a mathematical model is established to calculate the spring landscape flow in different warning conditions by the elevation as the lowest water level that is 133.45 m for protecting the main four springs, while the landscape flow is 81,200 m³/d. If the landscape flow is 108,900 m³/d when the water level is 134.13 m, then all the springs are flowing in Quanlin. The work is very important to protect the springs flowing, the ecological environment health and the safety of water supply in Sihe river basin, which provides the basic data support for the management, protection and warning of springs.

Keywords

Quanlin Spring Groups, Spring Discharge, Landscape Flow, Spring-Protection Water Level

泉林泉群泉流量演化与泉水景观流量研究

管清花^{1,2}, 李福林^{1,2}, 陈学群^{1,2}, 王爱芹^{1,2}, 李冰^{1,2}, 张玉凤¹

¹山东省水利科学研究院, 山东 济南

²山东省水资源与水环境重点实验室, 山东 济南

作者简介: 管清花(1981-), 女, 硕士, 工程师, 从事水文水资源与水环境研究。

Email: qhguan0120@163.com

收稿日期: 2016年10月3日; 录用日期: 2016年10月23日; 发布日期: 2016年10月26日

摘要

本文通过对泉林泉域的水文地质特点的调查, 收集了泉林泉群30多年的泉流量资料, 分析了泉水的成因; 根据泉流量的历史演变过程, 划分了泉水喷涌的历史阶段, 并分析了不同阶段影响泉水流量衰减的主要因素, 降雨是泉水衰减的自然因素, 现状条件下深层地下水的开采是泉流量衰减的主要人为因素; 在对地下水位和泉流量历年数据相关性分析的基础上, 建立了地下水位与泉流量的数学模型, 以泉群的出露标高为底限水位, 计算出了不同预警条件下泉水喷涌的景观流量, 保证四大主泉眼喷涌的地下水位为133.45 m, 此时泉林泉群的景观流量为8.12万 m^3/d , 保证泉林泉群全部泉群喷涌的地下水位是134.13 m, 此时泉林泉群的景观流量为10.89万 m^3/d 。该成果对于保障泉林泉水持续喷涌、泉群生态环境健康、泗河源头水源地供水安全具有重要的意义, 为泉域地下水及泉水的管理、保护、预警等提供基础数据支持。

关键词

泉林泉群, 泉水流量, 景观流量, 保泉水位

1. 引言

据历史资料泗水县出露泉水多如牛毛, 记载有 300 多个, 目前可查的尚有岩溶泉水出露 176 处, 分为泉林泉群、石缝泉群、石漏泉群、安山寺泉群、岩店泉群、鲍村泉群、南玉沟泉群、白仲泉群、南珍珠泉群等十大泉群[1]。泉林泉域位于泗水县灰岩区的东端, 泉林镇以东及东南广大地区皆为泉林泉域, 泉林泉域分布泉林泉群、石缝泉群、石漏泉群三大泉群。泉林泉群位于泗水县东部的陪尾山下, 地处泰沂低山丘陵边缘, 东部为汶泗断层, 中部为泗河冲积平原, 地势南北高, 中间低, 山麓盆地相接处, 众泉汇聚, 泉林, 以名泉荟萃, 泉多如林而得名[2] [3], 主要包括红石泉、甘露泉、涌珠泉、胜水泉、黑虎泉、趵突泉、珍珠泉等二十余眼泉水, 多为石灰岩裂隙上升泉。2014 年由于降雨量减少, 以及岩溶地下水的大量开采, 已有 70% 的泉水干涸或者是断流, 出流的泉眼仅有 20 多处。本文利用 1981~2012 年泉林泉流量资料与 21 号井水位资料进行分析, 建立泉林泉群水位与驸马井水位之间的线性关系, 推算出泉林泉群的历年地下水位, 进而分析地下水位和泉林泉群流量之间的数学模型, 根据泉群出露标高, 计算出了各大泉群的景观流量和“最低保泉水位”的流量, 该成果对于保障泉林泉水持续喷涌、泉群生态环境健康、泗河源头水源地供水安全具有重要的意义。

2. 泉林泉域补给区范围与泉水成因

泉域是指天然条件下泉水的地下水汇流及蓄水范围[4]。泉林泉域地跨济宁市泗水县、泰安市新泰县和临沂市平邑县, 对于泉林泉域的边界问题, 目前相关的研究较少, 对于地质勘查方面做过相关的沂蒙山区的 1:25 万的地质图, 及泗水县、新泰县和平邑县的 1:5 万的水文地质图, 根据水文地质资料分析泉林泉域是一个相对闭合的岩溶, 地表分水线与地下分水线重合, 区域断层交错分布、相互切割, 又构成了多个次级相对独立的水文地质单元[5]。

泉林泉域东部以泗河流域上游边界为界(泗水县边界), 南部以小流域地表水分水岭包括罗汉洞、红顶山、柴火山、红头山为界, 北部边界以流域地表水分水岭太平顶、蒙山、望海楼地表水分水岭为界, 西边界寒武系、奥陶系出露地层与第四系接触带为边界。直接补给区界限以泰山群变质岩与石灰岩接触带为界限, 泉域面积 279.66 km^2 , 直接补给区面积为 182.35 km^2 [6] (图 1)。

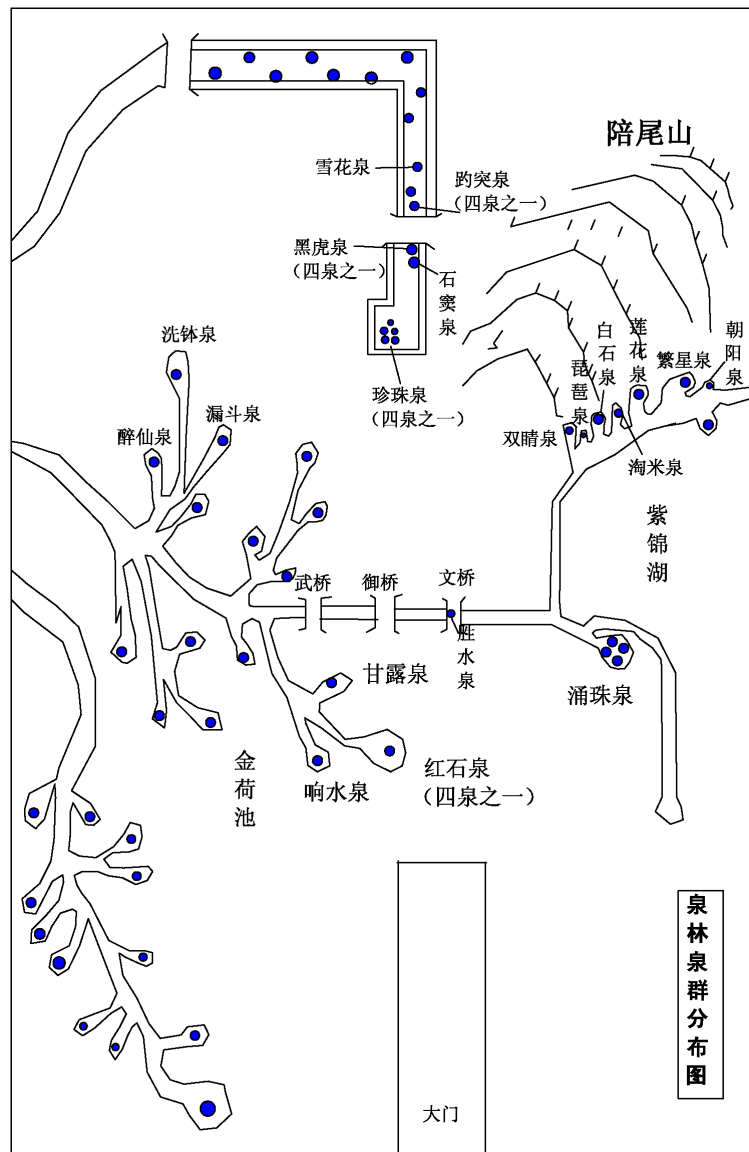


Figure 1. Distribution map of the Quanlin Springs
图 1. 泉林泉群分布图

泉林泉域东、西、南大面积裸露着古生界寒武、奥陶系石灰岩层，接受降水渗入及地下径流的充分补给，地下水向北西运动至泉林，在泉林镇附近由于受到第三系粘土质砂岩和石炭二叠系页岩的阻隔，以及局部断裂破碎带导水作用下，地下水经挤压夺罅而出，上升成泉。岩溶泉主要出露在含水层与非含水层接触带，如图 2 与图 3 奥陶系灰岩岩溶水在运动过程中受到不透水层阻挡了，使水位抬高，加之地下水侵蚀下切作用，受阻的地下水在地形低洼处出露成泉，泉林泉多以侵蚀-断层泉和侵蚀-接触泉为主，主要为上升泉[7]。

3. 泉林泉群流量的历史演变

3.1. 泉流量的动态变化

本文收集了泗水县水利局自 1981 年以来，对泉林泉群流量测量资料，分析了 20 世纪 80 年代以来泉流量的变化曲线(如图 4 泉林泉历年流量变化曲线图)，纵观泉林泉几十年来的喷涌历史，可分为泉水自然喷涌、泉流量

衰减、泉流量不稳定三个阶段，从 30 年的泉流量资料来看，泉水流量总体呈持续衰减状态。泉林泉群流量在 20 世纪 80 年代平均流量为 1.05 m³/s，最大流量为 1.36 m³/s，最小流量 0.89 m³/s (泉流量见表 1)；90 年代平均流量为 0.51 m³/s，最大流量为 0.73 m³/s，最小流量 0.1 m³/s；2000 年~2014 年平均流量为 0.60 m³/s，最大流量为 1.2 m³/s，最小流量 0.02 m³/s。2003 年 4~6 月份泉群主泉一度停喷，停喷时间长达几十天。2014 年为枯水年，4 月份泉林泉群内 80% 的泉眼干涸，仅有趵突泉、黑虎泉、珍珠泉等几个主泉眼还保持着小流量的喷涌。

(1) 泉水的自然喷涌阶段(1981~1990 年)

泉林泉群的有关资料记载始于 1981 年，该时期对泉流量的测量尚不规范，主要记载枯水季节的流量，1981 年 5 月泉林泉日流量为 11.71 万 m³/d (1.36 m³/s)，根据年际流量变化来看，80~90 年代，泉群流量最低为 0.89 m³/s，平均流量 1.05 m³/s，根据分析，该时期泉林泉群能够达到四大主泉的最高水位红石泉的正常喷涌，地下水位在 133.45~134.5 m 之间，地下水的开采以生活饮用水和灌溉用水量为主，泉域范围内地下水的开采量小于 300 万 m³/a。该时期泉林泉群流量主要受降雨的影响，因此成为泉水的自然喷涌阶段。

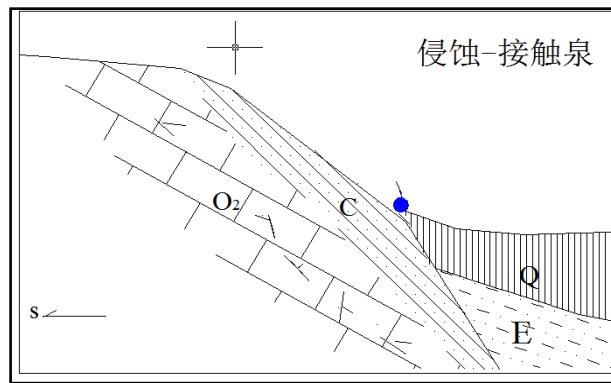


Figure 2. Origin of Quanlin Spring
图 2. 泉林泉成因图

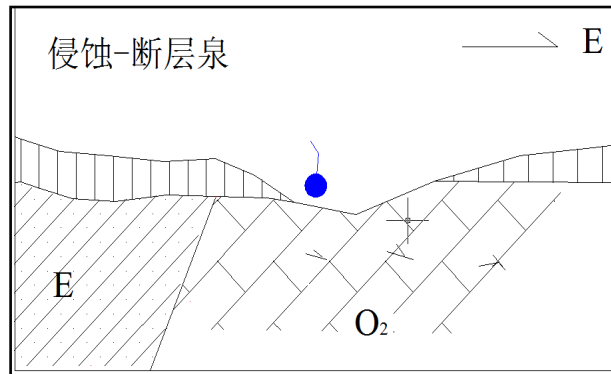


Figure 3. Origin of Quanlinheihu Spring
图 3. 泉林黑虎泉成因

Table 1. Springs flow statistics in different period

表 1. 不同时期泉流量统计表

阶段	时间(年)	最大流量(m ³ /s)	最小流量(m ³ /s)	平均流量(m ³ /s)	平均降水量(mm)
泉水自然喷涌阶段	1981~1990	1.36	0.89	1.05	618.88
泉流量过渡阶段	1991~2000	0.73	0.1	0.51	712.18
泉流量不稳定阶段	2001~至今	1.2	0.02	0.60	741.65

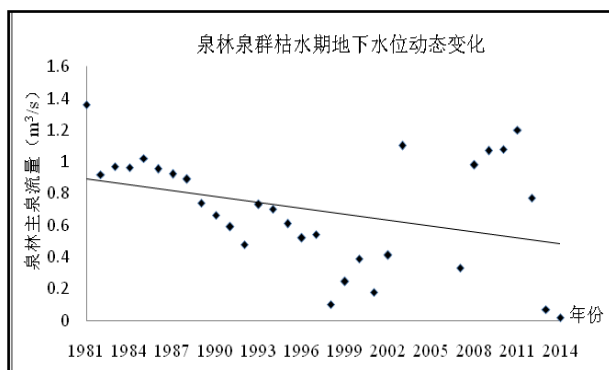


Figure 4. Flow dynamic change of Quanlin Springs
图 4. 泉林泉群泉流量动态变化

(2) 泉流量衰减阶段(1991~2000 年)

1991~2000 年，泉林泉平均流量由 20 世纪 80 年代的 1.05 m³/s 降至 0.51 m³/s，泉群最低流量为 0.51 m³/s，这一时期为泉流量衰减期。该时期除了生活饮用水及部分农业灌溉水利用地下水外，在 20 世纪 80 年代末，泉林镇开始兴起养殖冷水渔业，大力发展建设虹鳟鱼场，并以岩溶地下水养殖为主，地下水开采量逐年增大，进入 90 年代养殖冷水渔业规模逐渐扩大，养殖品种也逐渐发展成中华鲟、草鱼、鲢鱼等，养殖业逐渐向工厂化发展，并由最初的主要利用出露泉水逐渐发展了以开采深层地下水为主的渔业养殖。因此从 80 年代末，群流量明显减少，甚至出现主泉头停喷几天甚至几十天，加之这一时期降雨量偏枯，平均降雨量为 642.24 mm，因此这一时期我们称为泉流量衰减期[8]。

(3) 泉流量不稳定阶段

2003 年以后，泉域出现了历史以来的丰水期，2003~2011 年，平均降雨量 828.36 mm，在丰水期泉流量有所增大，但是枯水季节，泉流量衰减严重，这一时期，泉流量受降雨和地下水开采的双重影响较大，一方面地下水开采量大，另一方面部分年份地下水补给量大，因此出现了泉流量不稳定的现象，地下水补给量大、开采较小的时期，泉流量增大，反之泉流量骤减。

3.2. 影响泉水喷涌的因素

影响泗水县泉林泉群喷涌的因素是多方面的，包括降雨、地下水开采、下垫面变化等因素，由于研究区多年来土地利用类型变化不大，因此本次重点分析降雨和地下水开采因子对泉流量的影响[8]。

(1) 降雨因素的影响

泉域范围内大气降水的变化趋势曲线显示：1981~1989 年降水量持续偏枯，平均降水量仅为 593.79 mm，1993~1998 年间为降水量是整个研究时段过程中最为丰富的，平均降水量为 750.43 mm，2002~2014 年，泉域经历了降水量增大、减少的波动阶段，2014 年降雨量又出现了偏枯现象。对比泉流量与降雨量变化趋势曲线变化，泉流量和降雨量二者增减变化趋势具有一致性，但整体的相关性较低，仅为 0.048。降雨量在 1981~2013 年整个变化过程中出现了三个递减时期，相应的泉流量也出现了三个递减时期，但是波动性较缓，尤其是在 1994~1998 年间，降雨量增长速度较快，泉流量变化较缓，见图 5 泉流量与降雨量关系图。

通过对降雨量和泉流量的相关性分析(见表 2)，分析结果：1981~1989 年，这一时期降雨量和泉流量相关性较好，群流量和当年的降雨的相关性为 0.335，和前一年降雨量的相关性为 0.782，显著性水平参数为 0.022，泉域范围内当年和前一年的降雨对泉流量有较大的影响，且以前一年的降雨为主；但是在 1990~2003 年相关性显著降低，相关性系数不超过 0.15，这一时期平均降雨量 718.48 mm，群流量仅为 0.47 m³/s，这与泉林镇自 1987 年开始养殖虹鳟鱼，大量开采地下水，影响泉水的喷涌；2003 年以来，泉流量与降雨的相关性较前一时段有所增大，相关

系数在 0.3~0.4 之间, 这一时期平均降雨量为 741.65 mm, 泉流量平均为 0.83 m³/s, 较上一阶段有所增大。

(2) 地下水的开采

本次综合统计了泉域生活、工业、灌溉及养殖业(渔业养殖)等地下水开采量, 绘制地下水开采与泉流量关系图, 如图 6。

通过对比 1981~2014 年泉林泉群流量与岩溶地下水开采量变化趋势线可以看出, 二者的变化在一定程度上呈现“x”型, 岩溶地下水开采低值对应着泉流量的高值, 相反岩溶地下水开采的高值, 对应着泉流量的低值, 且随着岩溶地下水开采量的持续增加, 泉流量呈现衰减的趋势。对二者的相关性分析也表明, 岩溶地下水开采量和泉流量直接存在明显的负相关: 泉流量与岩溶水开采量的相关系数达到 0.572, 达到 $\alpha = 0.02$ 的水平。此外, 岩溶水的开采量相对于泉流量还表现出明显的阶段性(表 3): 1989~1997 年, 泉域范围内年平均地下水开采量 1.06 万 m³/d, 这一时期的平均泉流量为 0.8 m³/s (6.91 万 m³/d), 泉流量和地下水开采量相关系数 0.466; 1997~2002 年, 泉域范围内年平均地下水开采量 8.13 万 m³/d, 这一时期的平均泉流量为 0.57 m³/s (4.92 万 m³/s), 泉流量和地下水开采量相关系数为 0.563。

综上所述, 降雨是影响泉水喷涌的自然因素, 现状情况下地下水的开采(养殖业和灌溉取用深层地下水)是直

Table 2. Correlation analysis of springs flow and the precipitation in different periods

表 2. 不同时期下泉流量与降水量相关关系统计表

时间段	当年降雨量		前一年降雨		前两年降雨	
	相关系数	显著性水平参数	相关系数	显著性水平参数	相关系数	显著性水平参数
1981~1990	0.335	0.378	0.782	0.022	0.226	0.625
1991~2000	0.128	0.542	-0.026	0.903	0.088	0.774
2001~2013	0.357	0.216	-0.286	0.322	0.302	0.467
1981~2013	0.048	0.708	-0.049	0.708	0.069	0.607

Table 3. Correlation analysis of springs flow and amount of groundwater mining in different periods

表 3. 不同时期泉流量与岩溶水开采量相关性表

时期	相关系数
1989~1997	0.466
1997~2002	0.641
2002~2014	0.563

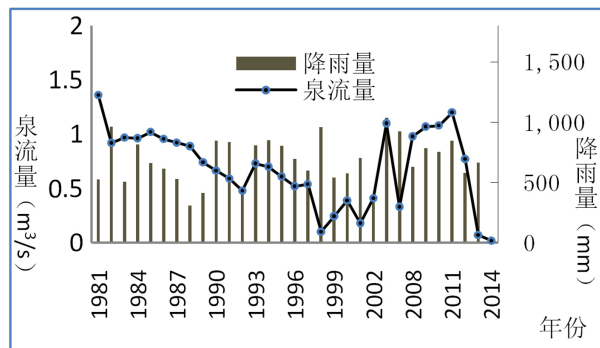


Figure 5. Variation trend of Quanlin Springs flow and precipitation from 1981-2014

图 5. 1981~2014 年泉流量与大气降水变化趋势曲线对比

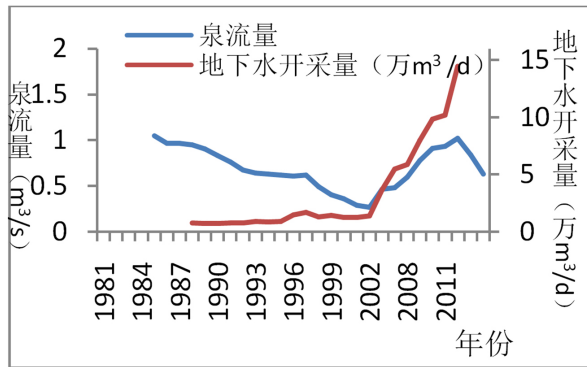


Figure 6. Trend curve of Quanlin Springs flow and mined GD
图 6. 泉域泉流量与地下水开采量变化趋势

接影响泉流量衰减的人为因素。

4. 泉群喷涌景观流量的确定

4.1. 最低景观流量参数确定

泉林泉域包括泉林泉群、石缝泉群、石漏泉群。集中分布在泉林镇 279.66 km² 的范围内。泉群泉群包括红石泉、趵突泉、黑虎泉和珍珠泉四大主泉群共七十二泉。泉群能否喷涌和降水量、地下水入渗补给量及地下水开采量密切相关。降水量愈大、地下水入渗补给量愈大、地下水开采量愈小，则泉群愈易于喷涌，反正，泉群则停喷或者断流。泉群喷涌最直观的一个指标便是地下水位能否到达泉口喷涌出流的海拔高度。这里要分清池底标高、出流口标高及地面标高之间的关系，本次调查，对泉林泉群的主要泉的出流标高进行了标定，泉林泉群以朝阳泉的出流标高最高，为 134.13 m，四大主泉红石泉出流标高为 133.45 m，黑虎泉的出流标高为 130.82 m，珍珠泉的出流标高为 130.78 m，趵突泉的出流标高为 130.757 m，各泉的出流标高。因此泉林泉群以朝阳泉的出流标高 134.13 m 最高，因此泉林泉群水位达到了朝阳泉的喷涌水位时，泉林泉群的其他泉都能够超过其喷涌水位，但是根据历年观测资料，朝阳泉只是在汛期的时候出流，出流时间一般为 2~3 个月，因此我们把 133.60 m (保证红石泉的全年喷涌) 定为泉林泉群全部喷涌的底限水位，称为泉林泉群的“保泉水位”。

4.2. 最低景观流量参数的确定

利用 1981~2012 年泉林泉流量资料与 21 号井水位资料进行分析(由于泉林景区内尚无地下水监测井，因此取上游补给区 21 号监测井的相关数据进行分析)，21 号井位于泉林镇驸马井村西，距离泉林泉 4.1 km，井深 30 m，高程 151.19 m。

1981 年泉林泉群的流量为 1.36 m³/s，为有监测资料以来的较大流量(最大监测流量为 1.84 m³/s)，因 80 年代初的人为干扰性较小，因此假设 1981 年泉林泉景区内泉眼全部喷涌，即达到了最高水位的朝阳泉出流标高 134.13 m，此时泉林泉水位为 134.13 m，依次为依据，建立泉林泉群水位与驸马井水位之间的线性关系，推算出泉林泉群的历年地下水位，进而分析地下水位和泉林泉群流量之间的数学关系。本次选用 21 号水位资料以对应流量监测资料的月最低水位为准，通过分析泉林泉流量和监测井水位的相关系数为 0.906，根据泉流量和地下水位关系建立了多个数学模型，见图 6，以对数方程拟合效果较好，误差较小，其中拟合曲线见图 7。

建立的泉林泉群流量和地下水位的数学模型关系式为：

$$H = 2.287 \ln Q + 133.6 \quad (1)$$

转化为：

$$Q = e^{(H-133.6)/2.287} \quad (2)$$

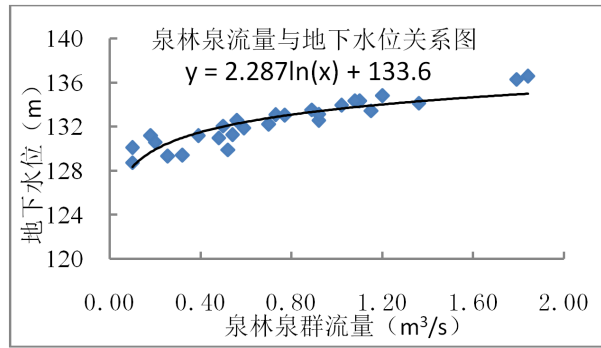


Figure 7. Fit curve of springs flow and GD level

图 7. 泉群流量与地下水位拟合图

Table 4. Calculation of Quanlin springs flowing level and landscape flow

表 4. 泉林泉群喷涌的水位与景观流量计算

泉眼	喷涌底限水位(m)	喷涌最低景观流量(m ³ /s)	喷涌最低景观流量(万 m ³ /d)	备注
朝阳泉	134.13	1.26	10.89	泉林泉群全部喷涌
红石泉	133.45	0.94	8.12	保证四大主泉喷涌
雪花泉	130.69	0.28	2.42	低于此水位, 泉林泉群几乎干涸

式中： H 为地下水水位，m； Q 为泉林泉流量，m³/s。

根据本次调查泉林泉群喷涌的出流标高，可以计算出泉群喷涌的景观流量，分别设定最低出流水位雪花泉 130.69 m、四大主泉喷涌的景观水位红石泉 133.45 m、朝阳泉的出流标高 134.13 m 的景观流量。计算结果见表 4。

根据计算，如果泉林泉群内地下水位低于最低出流标高雪花泉的 130.69 m 时，此时泉林泉群几乎干涸，此时泉林泉群的景观流量最大 2.42 万 m³/d，不能保证泉林泉的生态需水量；如果保证泉林泉景区红石泉、趵突泉、黑虎泉和珍珠泉四大主泉的喷涌，地下水位必须高于 133.45 m，此时泉林泉群的景观流量为 8.12 万 m³/d；而当地下水位低于 130.69 m 时，泉林泉几近干涸，此我们把 133.60 m (红石泉水位以上 15 cm) 定为泉林群喷涌的底限水位，称为泉林泉群的“保泉水位”。朝阳泉的出流标高 134.13 m 是泉林泉群最高的泉口，因此，只要是能够达到朝阳区的喷涌状态，就能保证泉林泉群全部泉水喷涌，此时，泉林泉群的景观流量可达到 10.89 万 m³/d，此时能够保证泉林泉群的良好生态系统和景观效益。

5. 结论与建议

1) 根据泉林泉流量影响分析，90 年代以前，泉流量主要受降雨条件的影响，90 年代以后，农业灌溉和渔业养殖开采深层地下水，成为岩溶泉衰减的重要原因，因此必须控制深层岩溶地下水的人工过量开采。

2) 本次通过对区域长系列地下水位和泉流量数据的拟合，确定保证四大主喷涌的地下水位为 133.45 m，此时泉林泉群的景观流量为 8.12 万 m³/d，并确定了泉林泉喷涌的底限水位为 133.60 m，成为泉林泉群“保泉水位”。

3) 要保证泉林泉群的良好生态系统和景观效益，必须保证地下水位高于朝阳泉的出流标高 134.13 m，此时泉林泉群的景观流量可以达到 10.89 万 m³/d。

4) 地下水位是监测泉水是否喷涌以及泉流量大小的主要的指标，也是监测地下水开采情况的重要指标，但是目前泉林泉景区内尚无地下水位监测井，因此需要配套相应的地下水监测系统，为区域地下水及泉流量的管理、预警等提供基础数据支持。

基金项目

水利部公益项目(201401003); 国家自然科学基金面上项目(41572242); 水利部 948 (201319)。

参考文献 (References)

- [1] 任娜娜. 泗水县典型泉水聚落可持续发展研究[D]. 济南: 山东建筑大学, 2013.
REN Nana. The sustainable development study of typical spring settlement in Sishui county. Jinan: Shandong Jianzhu University, 2013. (in Chinese)
- [2] 孔维居. 泗水县泉林泉群保护浅析[J]. 山东水利, 2015(8).
KONG Weiju. The protection of Quanlin springs in Sishui county. Shandong Water Resources, 2015(8). (in Chinese)
- [3] 邹连文, 商广宇, 陈干琴, 等. 济南泉群涌水量回归分析与预测[J]. 山东水利科技论坛, 2007.
ZOU Lianwen, SHANG Guangyu, CHEN Ganqin, et al. The analysis of regression and prediction of Jinan spring groups inflow. Shandong Water Conservancy Technology BBS, 2007. (in Chinese)
- [4] 刘莉. 济南泉域岩溶水水化学特征及其指示作用研究[D]. 济南: 济南大学, 2010.
LIU Li. The analysis of regression and prediction of Jinan spring groups inflow. Jinan: Jinan University, 2010. (in Chinese)
- [5] 孙斌, 彭玉明. 济南泉域边界条件、水循环特征及水环境问题[J]. 中国岩溶, 2015(3): 272-279.
SUN Bin, PENG Yuming. Boundary condition, water cycle and water environment changes in the Jinan spring region. Carporlogical Sinica, 2015(3): 272-279. (in Chinese)
- [6] 王丽丽. 济南泉群断流成因及其对策初探[C]. 2012 中国城市规划年会论文集(09.城市生态规划). 2012.
WANG Lili. The causes and countermeasures of Jinan Spings cut-off. China City Planning Proceeding of CUS-EPCA. (09. Urban Ecological Planning). 2012. (in Chinese)
- [7] 张保祥, 孙学东, 刘青勇. 济南泉群断流的成因与对策探析[J]. 地下水, 2003, 25(1): 6-8.
ZHANG Baoxiang, SUN Xuedong and LIU Qingyong. The study on causes of breaking of Jinan well complex & countermeasures. Groundwater, 2003, 25(1): 6-8. (in Chinese)
- [8] 张维英. 济南市泉群流量衰减原因分析及其喷涌趋势预测[D]. 济南: 山东师范大学, 2004.
ZHANG Weiyong. Analysis for the causes of the discharge declining and the spurting forecast of Jinan spring groups. Jinan: Shandong Normal University, 2004. (in Chinese)