

百脉泉泉群流量动态特征及影响因素分析

崔爱萍¹, 于翠翠²

(1. 山东科技大学地球科学与工程学院, 山东 青岛 266590; 2. 山东省地矿工程集团有限公司, 山东 济南 250014)

摘要:对1971年以来百脉泉泉群流量动态特征进行了系统分析。根据研究区岩溶地下水的补径排条件,开展岩溶地下水动态、泉群喷涌与大气降水、地下水开采、土地利用(植被覆盖)等因素之间的定量相关性分析,为有针对性的做好泉水保护奠定了基础。

关键词:百脉泉泉群;流量;动态特征;影响因素;相关性分析

中图分类号:P641.6

文献标识码:B

引文格式:崔爱萍,于翠翠.百脉泉泉群流量动态特征及影响因素分析[J].山东国土资源,2016,32(9):30-35.CUI Aiping, YU Cuicui. Analysis on Dynamic Characteristics of Discharge and Influence Factors in Baimai Spring Group [J]. Shandong Land and Resources, 2016, 32(9): 30-35.

明水泉域东起禹王山断裂,西至文祖断裂;南以泰山岩群古老变质岩为界,北到奥陶纪灰岩顶板埋深600 m分界线。地理位置位于鲁中山地和山前倾斜平原过度地带,地势总的趋势是南高北低,东高西低,海拔由南部山区800余米向北逐渐降低,至明水市区附近为50~60 m,向北又逐渐高起。南部主要是古生代寒武、奥陶纪灰岩组成的低山丘陵地形,标高400~800余米。而百脉泉泉群主要位于章丘市区北部,分别位于东麻湾和西麻湾附近(图1)。

1 百脉泉泉群成因

泉群形成一般需要良好的储水构造、相对隔水岩层的阻挡、条件适宜的地形、地貌以及断裂构造的控制作用^[1]。禹王山断裂和文祖断裂为东西两侧隔水边界,南部以变质岩系为界,向北古生代寒武、奥陶纪地层依次排列,构成单斜断快蓄水构造;含水层为寒武、奥陶纪灰岩,裸露面积404.3 km²,厚度约1 220 m,裂隙岩溶发育,极有利于大气降水的入渗,接受大气降水补给,地下水由南向北径流,受煤系地层阻挡后,在章丘市城区附近汇集;东麻湾和西麻湾等地势最低洼处,沿断裂构造冲破薄弱隔水层上涌成泉(图2)^[2-6]。

2 百脉泉泉群流量动态特征

以1971—2013年来的百脉泉泉群出流量长期观测资料为基础,探究泉群流量的动态特征,发现百脉泉泉群流量变化过程主要可分为以下4个阶段(图3)。

(1)高水位大流量阶段(1970—1981年):该阶段降雨量较大,多年平均降雨量达642 mm,最大年降雨量为988.8 mm(1973年);该阶段泉域内煤矿排水量少,泉域内岩溶水开采以分散式开采为主;泉水水位较高,一般在60 m以上;期间泉水持续喷涌,泉流量25万~39万 m³/d,最大年流量14 079万 m³(1976年)。

(2)水位下降断续出流阶段(1982—1998年):该阶段降雨量较大,多年平均降雨量达603 mm,最大年降雨量为894.1 mm(1990年),最小年降雨量为309.63 mm(1989年);该阶段泉域内煤矿排水量较大,由于社会经济的不断发展,泉域内岩溶水分散式开采井不断增加,城镇集中供水水源地相继建成,岩溶地下水开采量大大增加;泉水水位标高一般在56~65 m;期间泉水1983年4月、1984年4月及1987年5月出现过短暂的停喷,1989年4月—1990

收稿日期:2016-03-24;修订日期:2016-05-17;编辑:陶卫卫

作者简介:崔爱萍(1990—),女,山东潍坊人,在读硕士研究生,主要从事水文地质方面的研究;E-mail:2682566619@qq.com

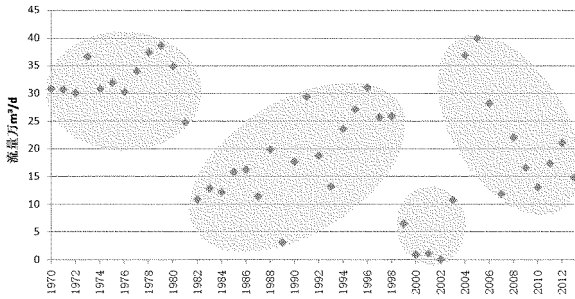


图 3 1970—2013 年泉群自流量变化图

(2003 年), 2002 年泉水自流量为零。

(4)人工调控阶段(2004—2013 年):该阶段内多年平均降雨量达 684.3 mm,最大年降雨量为 870.7 mm(2004 年),最小年降雨量为 394.8 mm(2006 年);该阶段泉域内煤矿抽排岩溶水量减少为 1.5 万 m³/d;人工开采量减少为 9 万~14 万 m³/d;自 2003 年 9 月泉水复喷至 2014 年 9 月,泉水水位标高在 53.7~65.7 m,平均水位标高 60.3 m;2004—2013 年之间,泉水仅在 2007 年 4—7 月及 2010 年 4—7 月断流。期间最大年流量 14 571 万 m³(2005 年),2007 年泉水自流量最小为 4 335 万 m³。

3 影响百脉泉泉群出流量因素分析

影响泉群喷涌的因素是多方面的,主要有大气降水、人工开采、煤矿排水及土地利用(土地覆被)情况等^[8-10]。其中大气降水的多少是影响泉群补给量变化的根本原因,而泉域内人工开采地下水及煤矿排水是影响岩溶地下水排泄途径的主要原因,此外,土地利用变化则通过改变大气降水入渗情况等对泉群的补给量造成影响。

3.1 降雨年际变化的影响

大气降水是水循环系统的一个重要环节。对一个岩溶地下水系统而言,其可以获得的补给量的大小最终取决于大气降水的多少及其分配情况。通过已往资料分析得知,无论是泉域内大气降水的年际变化、年内变化还是某一次大气降水过程,都对泉群喷涌情况及岩溶地下水动态有着明显的影响。

3.1.1 大气降水年际变化动态

泉域内多年降水量如图 4 所示,选用 1970—2013 年泉域内雨量观测站平均降水量数据作为泉域的平均降水量。采用如下经验公式对大气降水进行丰枯规律的分析:

$$\text{丰水年: } S_i \geq (\bar{S} + 0.33\sigma)$$

$$\text{平水年: } (\bar{S} - 0.33\sigma) < S_i < (\bar{S} + 0.33\sigma)$$

$$\text{枯水年: } S_i \leq (\bar{S} - 0.33\sigma)$$

$$\text{其中 } \sigma = \sqrt{\frac{\sum(S_i - \bar{S})^2}{n}}$$

式中: S_i 为第 i 年的降水量(mm); \bar{S} 为多年平均降水量(mm); σ 为标准差(mm); n 为统计年数。据计算结果,并结合泉域大气降水情况,可以看出明水泉域在 1970—2013 年的 44 年间里,共出现了 16 个丰水年,15 个平水年,13 个枯水年(图 5)。

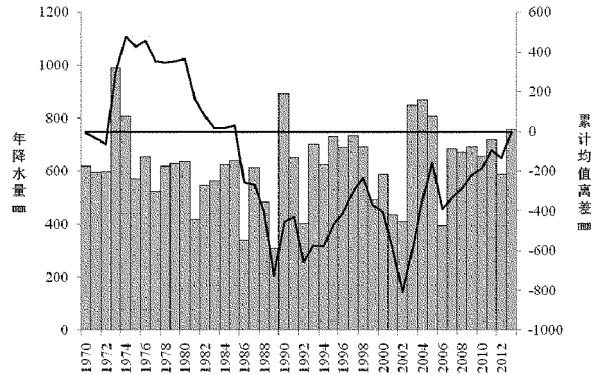


图 4 多年降水量柱状图及累计均值离差图

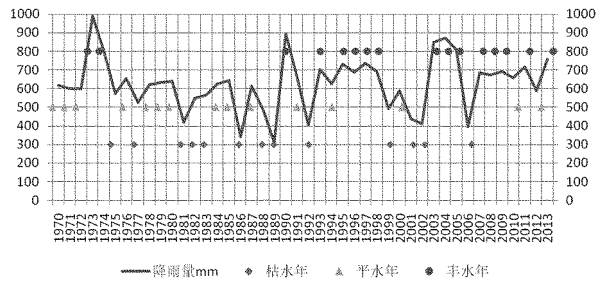


图 5 1970—2013 年明水泉域大气降水年际变化图

3.1.2 大气降水年际变化对泉水喷涌的影响

通过对比分析泉水流量、泉水水位标高与降水量变化趋势线(图 6、图 7),泉水流量及水位的变化与大气降水变化除了在时间上存在一定的滞后外,三者的变化趋势基本一致,但其各自的变化梯度却并不相同,泉流量及水位的衰减梯度较大气降水更陡,这是因为明水泉域泉水喷涌同样受到人工开采地下水、煤矿排水及土地覆被等影响因素变化的影响。

3.1.3 大气降水年内变化对泉水喷涌的影响

根据降雨资料分析,随着大气降水的季节变化,泉水流量及泉水水位也相应地表现出明显的季节性变化。一般在丰水年及平水年,泉流量、水位高峰值

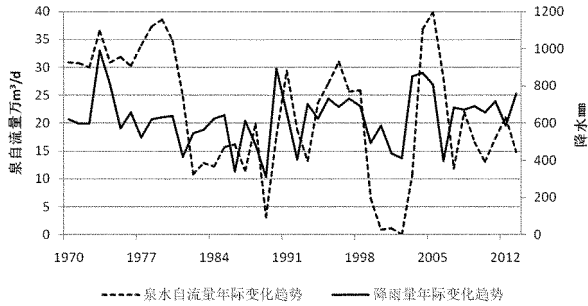


图 6 1970—2013 年泉流量与降水量变化趋势线

在时间上较降水的高峰值略有推迟,推迟约 1~3 个月,如明水泉域大气降水主要集中在 6~10 月份,月降水量峰值多出现在七八月份。

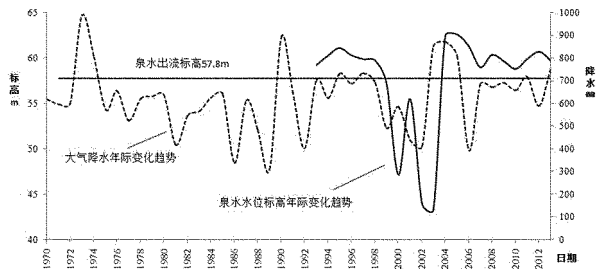


图 7 1970—2013 年泉水水位标高与降水量变化趋势线

在降水偏枯时期,泉水流量及水位动态与丰水期表现出明显的不同:枯水期流量不低、水位不低,丰水期流量不高、水位不高,泉流量及水位高峰期往往出现在年底或年初。

3.1.4 次降水对泉水水位动态变化的影响

某次大的降水过程对泉水水位的影响是极为显著的,且水位最大升幅一般仅在大的降水过程之后 1~2 天,显示出大气降水对岩溶地下水的补给较迅速。

3.2 地下水开采的影响

人工开采岩溶水,一是在泉口附近大量抽排岩溶水,直接降低了泉口水位;二是在泉域内其他区域大量抽取岩溶水,袭夺了岩溶水向下游的补给量,从而减少了岩溶水从泉口的排泄量,因此人工开采地下水是影响泉群出流的重要因素。20 世纪 70 年代泉群未曾干涸过,至八、九十年代,泉水断流的次数明显增多,每次断流时间也越来越长,与人工开采量的增加有着一定程度的联系。

3.3 煤矿排水

煤矿排水对泉群喷涌的影响主要表现在 2 个方面:一是在煤矿正常开采过程中矿山抽排岩溶水,消耗了部分泉群的补给量,从而减少了泉水流量。二

是在泉口附近的煤矿突水,直接袭夺了泉水排泄量,降低了泉水水位,其对泉群喷涌的影响显著但时间较短,当煤矿老空井巷充满水后,泉水水位即恢复原平稳变化趋势^[11]。另外,采矿活动用地特别是南部山区露天采矿用地的增加,一定程度上阻碍了大气降水的入渗,增加了地表径流量。

3.4 土地利用类型对径流的影响

由于社会经济的发展,城镇化迅速扩张,人类活动改变了水循环系统原本的空间格局与时间过程,加剧了水资源变化的复杂性,导致水循环系统中径流、蒸发及入渗等各种自然过程发生变化,从而影响了地下水的入渗补给量。由于工作区内暂无全面的、长系列连续的地表水文监测资料,借用济南城区规模扩展对地表径流的影响进行对比分析^[12]。据资料,1960—1965 年间济南城区附近最大降雨径流系数仅为 0.41,随着城市建成区规模不断扩张,到 1990—1992 年间,城区径流系数达到了 0.366~0.588,最大降雨径流系数达 0.82。地表径流系数的增大直接造成了降水入渗补给系数的减少,泉群流量也相应的。

3.5 影响泉流量因素的相关性分析

当观测井水位标高超出 57.80 m 时泉水自流,而泉水自流量的大小主要取决于泉域地下水补给量、排泄量的相互转换关系:地下水人工开采量和煤矿排水增加,则地下水天然排泄量即泉水流量减少;反之,地下水人工开采量和煤矿排水减少,则地下水天然排泄量即泉水流量增加。基于泉水流量、降水量、地下水开采量、煤矿排水量的长期动态监测(表 1),绘制了 1991—2013 年泉水流量与当年降水量、前一年降水量、煤矿开采、地下水开采量之间的相关关系,综合反映了泉水流量与各补排量的相关关系。

3.5.1 单因素相关性分析

对 1991—2013 年的泉水流量与当年降水量、前一年降水量、煤矿开采及地下水开采量各因素,采用皮尔逊相关系数法进行了单因素相关性统计分析(表 2)。通过分析,前一年降水量对泉水流量的补给影响大,为强相关关系,当年降水量影响略小;地下水开采与泉水流量呈负相关,对地下水的排泄贡献较大,为强相关关系,煤矿采水影响稍小。

3.5.2 多因素综合分析

层次分析法是一种定性和定量相结合的多目标

分析方法,从分析影响泉群流量因素及其构成关系入手,对影响泉群流量的因素进行优选,提出泉群流量影响因素的层次结构评价模式。通过建立指标权重体系,进行权重的测算、排名,得出对泉群流量影响较大的因素,通过对这些影响因素的控制,从而加强对泉群流量目的性的保护与控制。

表 1 泉水流量与各相关因子监测数据

年份	$Q_{实}$ ($10^4 m^3/d$)	P_n (mm)	P_{n-1} (mm)	$Q_{煤矿}$ ($10^4 m^3/d$)	$Q_{超采}$ ($10^4 m^3/d$)
1991	29.4	653.15	894.1	7.3	9.78
1992	18.76	402.13	653.15	7.1	9.89
1993	13.71	703.8	402.13	7.5	10.67
1994	23.59	624.5	703.8	8	11.11
1995	27.14	731	624.5	8	11.45
1996	30.98	688.7	731	8.6	11.67
1997	25.61	733.7	688.7	8.1	11.67
1998	25.85	691.8	733.7	9	11.82
1999	6.47	492.8	691.8	8.3	12.92
2000	0.86	587.3	492.8	8.2	13.73
2001	1.15	437.1	587.3	8	14.65
2002	0	412	437.1	7.6	15.97
2003	10.75	849.9	412	3.8	14.05
2004	36.85	870.7	849.9	1.3	12.08
2005	39.92	807.7	870.7	1.6	11.21
2006	28.14	394.8	807.7	3.5	10.07
2007	11.88	684.5	394.8	1.2	9.75
2008	21.99	671.9	684.5	1.3	9.05
2009	16.59	691.2	671.9	0.8	9.09
2010	13.03	658.4	691.2	1.3	9.53
2011	17.35	718.3	658.4	0.6	8.88
2012	21.06	587.6	718.3	1.4	9.05
2013	14.84	757.9	587.6	0.4	8.48

注:泉流量 $Q_{实}$; 当年降水量 P_n ; 前一年降水量 P_{n-1} ; 煤矿 $Q_{煤矿}$; 地下水开采 $Q_{超采}$ 。

表 2 百脉泉泉水年流量及水位与大气降水量相关性统计分析

单因素相关性分析	当年降水 (x_1)	前一年降水 (x_2)	煤矿开采 (x_3)	地下水超采 (x_4)
相关系数	0.4602	0.7669	-0.1691	-0.4173
拟合公式	$y=0.036x_1-4.890$	$y=0.058x_2-18.98$	$y=-0.550x_3+21.63$	$y=-2.264x_4+44.18$

注:相关系数绝对值越大,相关性越强; y 为泉群流量; x_1, x_2, x_3, x_4 为各影响因素。

根据影响因素的分析,结合单因素分析结果,运用层次分析法 AHP^[13] 对影响泉流量的各因素包括当年降水量、前一年降水量、地下水开采、煤矿开采及地面径流系数进行综合分析,分析结果如表 3。

可以看出,前一年降水的影响最大,权重高达 0.378 3,当年降水的影响相对略小,权重为 0.189 2,

两者权重和为 0.567 5,显示降水量对泉水出流起着决定性的作用,该结果与线性相关分析基本一致;而地下水开采和煤矿排开采权重和为 0.357 4,说明两者对泉流量影响程度较大;地面径流系数权重 0.075 1,表明土地结构变化影响泉流量程度较小。

表 3 影响泉自流量的各影响因素权重

影响因素	当年降水量	前一年降水量	地下水开采	煤矿开采	地面径流系数
权重	0.1892	0.3783	0.2382	0.1192	0.0751

4 结论和建议

(1)明水泉域东边界为禹王山断裂,西边界为文祖断裂,南以变质岩及早寒武世朱砂洞组底板为界,北则以奥陶纪灰岩顶板埋深 600 m 线为界,总面积 660 km²。

(2)百脉泉群泉流量变化过程主要可分为以下 4 个阶段:高水位大流量阶段(1969—1981 年),水位下降断续出流阶段(1982—1998 年),低水位持续停喷阶段(1999—2003 年)以及人工调控阶段(2004—2014 年)。

(3)影响泉群喷涌的因素主要有大气降水、人工开采、煤矿排水及土地利用情况等,其中,降水量的大小(特别是当年及前一年降水)对泉水出流起着决定性的作用,遇枯水年地下水开采及煤矿排水是加速泉水断流及延长泉水断流时间的主要因素。

参考文献:

- [1] 胡丙忠.明水泉群成因机理及泉域岩溶地下水数值模拟[D].山东科技大学,2012.
- [2] 祁晓凡,杨丽芝,韩晔,等.济南泉域地下水位动态及其对降水响应的交叉小波分析[J].地球科学进展,2012,27(9):969-978.
- [3] 高赞东,刘术明,邢立亭,等.济南岩溶泉域区域水文地质信息系统构[J].山东国土资源,2012,28(3):25-27.
- [4] 商广宇,王建军,李森.开发济西停采东部确保名泉常年喷涌:关于恢复名泉正常喷涌若干措施的建议[J].地下水,2002,24(3):143-150.
- [5] 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,2002,24(4):191-194.
- [6] 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,2014,33(3):272-279.
- [7] 李媛媛,孟宪红,李雅静.百脉泉群断流及明水泉群水资源保护的探讨[J].山东环境,2001,(3):44.

- [8] 袁传芳,刘伟,刘永红,等.影响百脉泉喷涌因素浅析[J].山东水利,2006,(9):23-24.
- [9] 张茂国.影响济南市区泉群流量的因素分析[J].山东水利,2005,(2):43-44.
- [10] 曹润珍.神头泉流量动态及影响因素分析[J].山西水利,2008,24(3):22-23.
- [11] 袁传芳,张运区,逯志强.煤矿开采对明水泉的影响浅析[J].山东国土资源,2003,19(6):48-51.
- [12] 刘莉莉,宋苏林,崔春梅.济南泉水的成因及保泉对策研究[J].山东水利,2013,18(5):17-18.
- [2] 邓雪,李家铭,曾浩健,等.层次分析法权重计算方法分析及其应用研究[J].数学的实践与认识,2012,42(7):93-100.

Analysis on Dynamic Characteristics of Discharge and Influence Factors in Baimai Spring Group

CUI Aiping¹, YU Cuicui²

(Earth Science and Engineering College of Shandong University of Science and Technology, Shandong Qingdao 266590, China)

Abstract: dynamic characteristics of discharge in Baimai spring group since 1971 have been analyzed systematically. According to runoff discharge conditions of karst groundwater in the studying area, quantitative correlation analysis of karst groundwater dynamic characteristics, springs flowing and precipitation, groundwater exploitation, land-use (vegetational cover) has been carried out. It will provide the basis for protecting sustainable utilization of water resources in this area.

Key words: Baimai spring group; discharge; flow; dynamic characteristics; influence factors; correlation analysis