

济南岩溶水资源的分析与泉水名胜的保护

李 传 谟

(山东省地矿局第三水文地质队)

近些年来,由于过量开采地下水,导致济南地下水位连年下降,不少泉眼相继干枯,号称“第一泉”的趵突泉经常处于断流状态,如今“泉城”已难负盛名。笔者1981年曾提出《济南地下水资源的回归分析和泉水名胜保护问题的探讨》一文。现在对济南岩溶水观测资料作进一步计算和分析写出本文,作为上一篇文章的补充,仅供有关部门的参考。

一

济南泉水是我国北方典型的岩溶景观之一,济南泉域面积约二千平方公里。济南南部寒武奥陶系灰岩山区为补给区,大量吸收大气降水的渗入补给。北部(包括济南市区)呈东西展布的山前倾斜平原为承压排泄区,有众多的泉水出露(图1)。市区有趵突、黑虎、珍珠、五龙潭四大泉群,东郊有白泉泉群,西郊有峨嵋山泉群。济南泉水总流量多年平均 2.8 万 $\text{米}^3/\text{日}$,市区泉群流量多年平均为 25 万 $\text{米}^3/\text{日}$ 。

济南岩溶地下水和泉水,由于自然因素和人为的影响在不断变化着。根据1959—1980年22年市区动态资料(表1)分析,济南泉水出流状态,1968年是个转折点。1968年以前各年降水量,有几年在900毫米以上,也有几年在500毫米左右,岩溶地下水开采量比较小,均在 12.6 万 $\text{米}^3/\text{日}$ 以下,市区岩溶地下水年平均水位均在28.8米以上,泉水年平均流量在 2.9 万 $\text{米}^3/\text{日}$ 以上,泉水出流,趵突泉喷涌比较正常。1968年降水量仅300多毫米,开采量增至 15 万 $\text{米}^3/\text{日}$,枯水期不少泉眼干涸,趵突泉虽有出流,但喷涌现象不显。1968年以后各年降水量一般在500—800毫米之间变化,地下水开采量逐年增大,后几年均在 30 万 $\text{米}^3/\text{日}$ 左右,市区岩溶地下水年平均水位均在28.5米以下,泉水年平均流量一般在 20 万 $\text{米}^3/\text{日}$ 以下,泉水干枯、趵突泉停喷断流现象逐年严重。

1968—1977年10年动态资料(表2、图2)更加表明:地区降水量的年变化,对市区岩溶地下水水位和泉水流量动态具有一定的影响,而地下水开采量的逐年增加对岩溶水动态具有更大的控制作用。十年中降水量变化不大,直方图形呈锯齿状。地区地下水开采量逐年增加,市区岩溶地下水水位和泉水流量动态变化比较平缓,间有起伏,但具有明显下降(变小)的总趋势。另外,可以看出外围地区地下水开采量逐年大幅度增加对市区岩溶水动态的控制作用也是越来越明显的。

根据近年来资料分析,济南地区存在市区泉群(包括四大泉群)泉域、西郊峨嵋山泉群

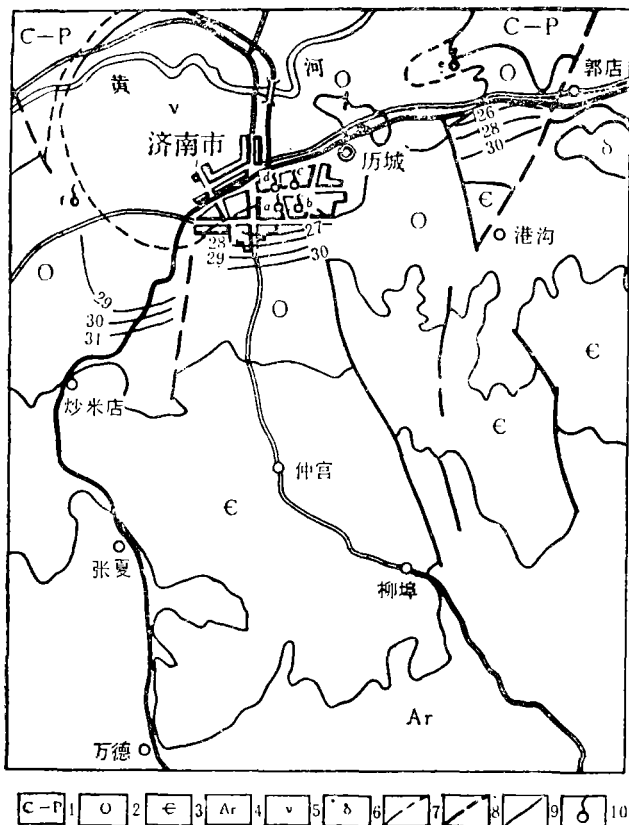


图2 济南地区地下水各要素多年变化关系曲线图

Fig.2 Correlation curve showing the elements of ground-water changed for many years in Jinan

1. 降水量 2. 市区开采量 3. 外围地区开采量 (利用1968~1977年资料)

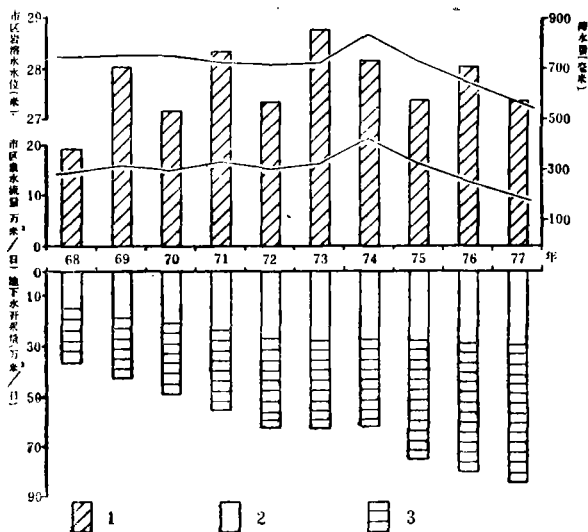


表1 1959~1980年济南市区岩溶水要素年平均数值表

Table 1 The mean annual value of elements of karst water in urban area of Jinan from 1959~1980

年 分	岩溶地下水水位 H (米)	泉 水 流 量 Q (万米 ³ /日)	岩溶水开采量 Q _k (万米 ³ /日)	市区降水量 Ps (毫米)
1959	30.40	30.54	7.27	547
1960	29.72	31.05	9.65	461
1961	30.15	35.52	10.79	984
1962	31.54	50.18	9.08	1160
1963	31.86	46.58	8.30	996
1964	31.85	47.23	8.00	1097
1965	30.72	33.58	9.61	433
1966	29.37	26.13	10.77	493
1967	28.75	20.11	12.60	533
1968	28.21	14.29	14.87	321
1969	28.25	15.91	18.73	718
1970	28.23	14.94	20.57	503
1971	28.11	16.41	23.52	773
1972	28.07	15.00	26.88	683
1973	28.10	15.97	27.97	882
1974	28.68	21.02	27.31	692
1975	28.15	16.12	27.88	567
1976	27.71	12.50	28.27	768
1977	27.33	9.35	29.84	565
1978	27.34	13.56	29.96	884
1979	27.26	10.05	30.60	563
1980	27.37	11.36	31.25	706
平 均	28.96	23.47	19.26	696.8

表 2 1968~1977年济南地下水要素年平均数值表

Table 2 The mean annual value of elements of ground water in Jinan from 1968~1977

年 分	市区岩溶地下水 水 位 H (米)	市区泉水流量 Q (万米 ³ /日)	市区岩溶水开 采 量 Q _k (万米 ³ /日)	市区外围地区 地下水开采量 Q _w (万米 ³ /日)	地区降水量(毫米)	
					当年 P _n	当年与前 三年平均 P
1968	28.21	14.29	14.87	21.41	385	472
1969	28.25	15.91	18.73	23.85	712	539
1970	28.23	14.94	20.57	28.09	534	546
1971	28.11	16.41	23.52	32.34	765	599
1972	28.07	15.00	26.88	35.45	569	645
1973	28.10	15.97	27.97	34.79	854	681
1974	28.68	21.02	27.31	34.89	737	731
1975	28.15	16.12	27.88	47.39	578	685
1976	27.71	12.50	28.27	51.70	703	718
1977	27.33	9.35	29.84	54.72	579	649
平 均	28.084	15.151	24.584	36.463	641.6	626.5

(包括丰齐溢水带)泉域和东郊白泉泉群泉域等三个分支泉域。各分支泉域间,有一定程度的联系,又有相对的独立性,在没有大量开采的年代,三个分支泉域的承压排泄区岩溶地下水位基本一致,均在30米左右,说明有联系;而大量开采后,各分支泉域的水位又有较大的差异,说明有其独立性。它们联合组成济南泉水总泉域。市区岩溶水动态受到市区开采影响是无庸置疑的。市区外围地区开采的地下水,虽主要来自另外两个分支泉域,但对市区岩溶水动态也要产生一定的影响。这是因为在一定条件下总泉域地下水迳流量是一定的,从其它两个分支泉域多取走地下水,迳流到市区泉群泉域的地下水必然要减少。因此,评价济南地下水资源,制定保泉供水措施,不仅要掌握市区情况,也必须对总泉域进行整体研究和系统分析,建立地下水数学模型和管理模型。目前,济南总泉域及各分支泉域的边界条件,单元划分等基础资料尚不能满足建立确定性数学模型的要求。但济南地区已有长期的大量的观测资料,则为建立随机模型创造了有利条件。下面笔者用回归分析方法,拟建几种随机模型,估价济南地下水资源,并为制定保泉供水措施提供一些参考数据。

二

笔者曾提出用复相关筛选方法建立的济南地区地下水年平均开采量 Q_n (万米³/日)依当年地区岩溶地下水年平均水位 H_n (米),前三年降水量 P_{n-1} 、 P_{n-2} 、 P_{n-3} (毫米)的“最佳”回归方程式:

$$Q_n = 443.936 - 16.198H_n + 0.04P_{n-1} + 0.044P_{n-2} + 0.025P_{n-3}$$

复相关系数 $R = 0.9878$

F 检验, $F = 50.4$

为保持泉水正常出流, 拟定地区岩溶水水位 28.5 米, 各年降水量取多年平均值 650 毫米, 计算济南地区地下水允许开采量为 53 万米³/日。拟定水位 28.5 米时, 估算市区泉水流量为 20 万米³/日。济南地区地下水允许开采量和泉水流量总计为 73 万米³/日。

现在, 笔者应用回归分析方法, 对原有资料和一些新资料作了进一步研究和计算, 建立下列随机模型:

1. 根据市区泉水流量与岩溶水水位的线性关系 (图 3), 利用 1959—1980 年 22 年资料, 建立济南市区岩溶水年平均流量 Q (万米³/日) 依市区岩溶水年平均水位 H (米) 的回归方程式:

$$Q = 8.239H - 215.14 \dots (1)$$

相关系数 $r = 0.9749$

2. 利用 22 年资料, 建立济南市区岩溶水年平均水位 H (米), 依市区泉水年平均流量 Q (万米³/日)、市区岩溶水年平均开采量 Q_k (万米³/日) 的回归方程式:

$$H = 27.19 + 0.098 Q - 0.028 Q_k \dots (2)$$

复相关系数 $R = 0.9791$

F 检验, $F = 81.04$

用方程 (2) 计算的岩溶地下水水位曲线与实测曲线十分吻合 (图 4)。

3. 利用 1968—1977 年 10 年资料, 建立济南市区岩溶地下水年平均水位 H (米), 依市区岩溶水年平均开采量 Q_k (万米³/日)、市区外围地区地下水年平均开采量 Q_w (万米³/日) 和四年平均降水量 P (当年和前三年, 毫米) 的回归方程式:

$$H = 27.065 + 0.0057P - 0.0574Q_k - 0.0313Q_w \dots (3)$$

复相关系数 $R = 0.9237$

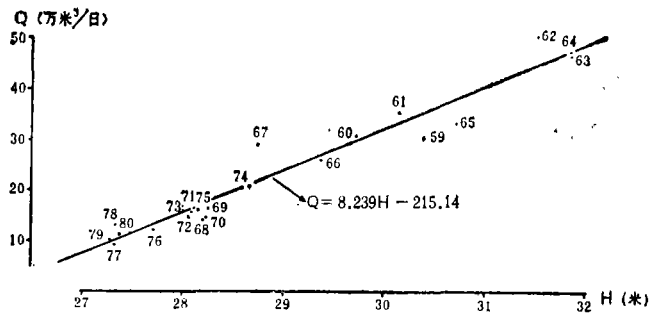


图 3 济南市区岩溶水年平均流量与岩溶水年平均水位相关图

Fig. 3 Correlation diagram showing the mean annual water level of karst water with the mean annual flow of karst spring in urban area of Jinan (引用 1959~1980 年资料)

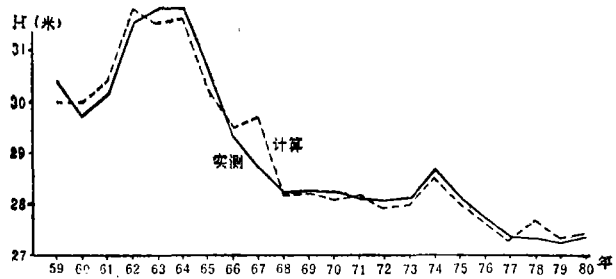


图 4 济南市区岩溶水年平均水位实测曲线与回归方程 (2) 计算曲线对比图

Fig. 4 The measured curve of mean annual water level of karst water in urban area of Jinan comparison with the calculated curve by regression equation (2)

F 检验, $F = 11.62$

用方程 (3) 计算的市区岩溶水水位曲线与实测曲线也基本吻合 (图 5)。

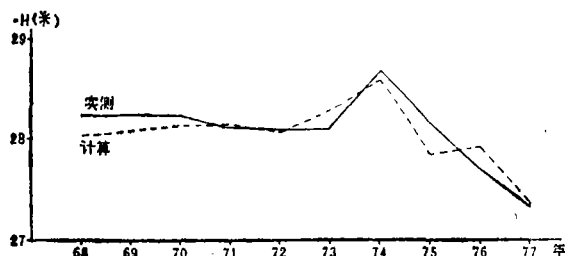


图 5 济南市岩溶水年平均水位实测曲线与回归方程 (3) 计算曲线对比图

Fig.5 The measured curve of mean annual water level of karst water in urban area of Jinan comparison with the calculated curve by regression equation (3)

利用上述回归方程式进行计算, 要首先确定保持泉水正常出流的市区岩溶水年平均水位和最低水位。前面分析过1968年是济南泉水出流状态出现转折的一年。1967年市区年平均水位28.8米, 泉水年平均流量29万米³/日, 最低水位28.3米 (普利门观测孔), 趵突泉最小流量3万米³/日 (表3), 而1968年市区年平均水位降低到28.2米, 泉水年平均流量减少到14万米³/日, 最低水位27.7米 (普利门观测孔), 趵突泉最小流量仅1万米³/日。泉水出流不正常是从1968年开始的。显然保持泉水正常出流的市区岩溶水年平均水位可低于1967年, 而高于1968年, 应在28.5米左右。相应市区泉水年平均流量在20万米³/日左右, 年最低水位在28米左右, 趵突泉年最小流量在2万米³/日左右。保持市区泉水正流, 恢复泉水名胜的主要标志是趵突泉的正常喷涌。趵突泉喷口标高26.68米, 但泉池水面高出喷口, 在市区水位28米时, 虽有水出流, 但喷涌现象已不明显; 市区水位低于27.5米时, 喷涌已不显现; 市区水位低到27米时, 几乎断流。由于市区岩溶水年最低水位、趵突泉年最小流量以及泉水年平均流量与年平均水位密切关联, 可把28.5米年平均水位作为恢复泉水出流的主要条件和衡量标志。

表 3 1963~1972年济南市岩溶水最低水位, 趵突泉最小流量表

Table 3 The minimum water level of karst water in urban area of Jinan and the minimum flow of the Baotuquang spring from 1963~1972

年 分	1963	1964	1965	1966	1967	1968	1969	1970	1971	1972
普利门观测孔最低水位 (米)	30.86	30.48	29.85	28.82	28.31	27.69	27.35	27.76	26.89	27.09
趵突泉最小流量 (万米 ³ /日)	9.65	6.26	7.95	4.23	2.86	1.08	0.03	0.77	0.06	0.46

下面利用三个回归方程式，按控制市区岩溶水年平均水位，计算和估价市区泉水年平均流量、市区岩溶水允许开采量和外围地区地下水允许开采量。

控制市区岩溶水年平均水位28.5米，利用方程（1）计算，得市区泉水年平均流量为19.7万米³/日。以此为条件，利用方程（2）计算，得市区岩溶水允许开采量为22.4万米³/日。又以此为条件，各年降水量取多年平均值650毫米，利用方程（3）计算，得外围地区地下水允许开采量为31.4万米³/日。

归纳上面计算结果：保持市区泉水正常出流，控制市区岩溶水年平均水位28.5米，市区和外围地区地下水允许开采量共为54万米³/日，加上泉水流量总和为74万米³/日。这一结果与笔者1981年建立的济南地区地下水开采量回归方程式计算的数值几乎一致。说明这些回归方程式均能较好地反映了客观规律性，因而具有一定的可靠性。

从方程（3）的自变量组合来看，市区岩溶水水位不仅受市区岩溶水开采量的控制，也受外围地区地下水开采量的制约。因此在评价济南岩溶水资源和制定保泉供水措施时，不能仅限于对市区岩溶水开采量的控制，也必须对济南总泉域内总开采量加以限制。若从该回归方程市区岩溶水开采量和外围地区地下水开采量的回归系数分析，显然市区岩溶水开采量对市区岩溶水水位的控制作用大于外围地区地下水开采量。利用回归方程（1）、（3）进行的估算（表4），可知控制同样的水位数值，市区岩溶水开采量减少，可使济南整个地区地下水开采量相对增加，市区开采量减少的越多，整个地区开采量增加的也就越多。所以最大限度地压缩市区开采量对济南保泉供水的解决确是至关重要的问题。

表4 控制水位28.5米，预测济南地下水开采量

Table 4 The predicted of groundwater in Jinan controlling its water level on 28.5m (a, s, l)

单位：（万米³/日）

设市区岩溶水开采量 Q_k	按回归方程（1） 预测泉水流量 Q	按回归方程（3）预测外 围地区地下水开采量 Q_w	济南地区地下水允许开采 量、泉水流量总和 $Q_k + Q_w + Q$
30	19.67	17.52	67.19
20	19.67	35.86	75.53
10	19.67	54.20	83.87

注：回归方程（3）中的降水量 p 按多年平均650毫米计划。

综合上述，为保持济南泉水正常出流，保持趵突泉喷涌气势，恢复泉域面貌，济南市区岩溶水年平均水位标高应控制在28.5米以上，最低水位控制在28米左右；市区和外围地区地下水开采量和泉水流量总和应限制在70万米³/日左右；市区岩溶水的开采量应压缩到10万米³/日以下，有条件时最好全部停采。

三

1981年以来,有关部门在济南保泉供水方面已经采取了一些措施,并取得一定的效果。但从目前的情况看,虽然市区开采量压缩了一些,但总泉域范围内总开采量并没减少许多,加上干旱,泉水面貌还没有明显恢复,我们希望有关部门进一步采取有力措施,尽快使泉域面貌早日恢复。笔者仅就近年来的情况,提出如下建议:

1.大力加强用水管理,认真推行节约用水、计划用水、限额供水,把用水量切实的降下来。

2.大力压缩济南地区总开采量,市区水源最好全部停止开采,流出的泉水可以回收再用,以加速泉水面貌的恢复。

3.应适当降低趵突泉池水面,以增强趵突泉三股水的喷涌气势。

4.南部补给山区要大力开展植树造林,多修建小水库塘坝,以保持水土,涵养水源,增加补给量。

5.加速和加强济南水文地质勘探和研究工作,要用系统分析、水量均衡等多种方法,建立济南岩溶水数学模型和管理模型,确切评价岩溶水资源,为济南保泉供水建设提供可靠的依据和办法。我们认为,在没有确切掌握地下水资源,没有确切了解开采现实情况之前,去筹划引黄,或到总泉域外远距离地方开发水源,都是不妥当的。

6.呼吁济南各有关部门和群众,关心济南泉水名胜,保护泉水名胜。济南泉水,不仅是宝贵的资源,悠久的历史名胜和如画的风光,也是极有价值的岩溶泉水的自然科学考察胜地,希望国家批准建立济南泉水名胜和自然保护区。

参 考 文 献

- 〔1〕山东省地矿局水文地质队 济南泉水成因及动态初步分析 水文地质工程地质选辑第一辑 地质出版社 1975年
〔2〕于崇文等 数学地质的方法与应用 冶金出版社 1980年

ANALYSIS ON KARST RESOURCES AND PRESERVATION OF FAMOUS SPRINGS IN JINAN

Li Chuanmo

(No.3 Hydrogeology Party, Bureau of Geology and Mineral
Resources of Shandong Province)

Abstract

Jinan City of Shandong Province can hardly be regarded nowadays as a "city of springs", as it used to be, because the groundwater table is continuously declining, not a few springs have dried up in succession, and the famous spring "Baotuquan" lies very often in an out-of-flow state. This circumstance is mainly due to the overwithdrawal of groundwater except for the decrease of precipitation for many years.

On the basis of long-term observation of local ground water regime, an overall study and systematic analysis of ground water resources in the urban area and the whole drainage area of springs in Jinan were carried out. Three regression equations were established using regression analysis. According to the analysis and calculation in consideration of maintaining the normal flow of springs in Jinan and the spouting atmosphere of the Baotuquan Spring, the mean annual water level of karst water in the urban area of Jinan should be controlled above an elevation of 28.5m, the total pumpage of ground water plus the flow from springs in the urban and suburban areas should be limited to 0.7 million m^3 per day, and the exploitation of karst water in the urban area should be reduced to less than 0.1 million m^3 per day as early as possible.