

# 济南泉域岩溶水动态特征及有关问题讨论

刘国爱 赵新华

(山东省地矿工程勘察院)

**提要** 济南泉域岩溶水补给来源主要为大气降水渗入和河流渗漏,排泄方式主要为人工开采和泉水排泄,总体向北径流,多年平均补给量为 $70 \times 10^4 \text{m}^3/\text{d}$ 。1987~1996年间济南泉域岩溶水动态受降水影响极为明显:1987~1990年枯水期由于降水量少,水位呈下降趋势,1990年枯水期市区水位达到历来最低点,为 $20.8\text{m} \pm$ ;1991~1996年降水相对充沛,岩溶水水位总体呈上升趋势,1996年丰水期市区水位为十几年来最高值,达到 $29.4\text{m}$ 。受人工开采量增加的影响,近十年泉域岩溶水水位较70年代以前明显下降,泉流量变小。济南市岩溶水与西郊炒米店断裂(带)以东地区岩溶水联系密切,为此,加大峨嵋山水厂开采量或在炒米店断裂以西地区增加开采量不会对市区水位产生明显影响。

## 1 泉域概况

济南泉域东以东坞断裂为界,西以马山断裂为界,南部边界为太古宙变质岩系构成的分水岭,北部边界为燕山期辉长岩体与古生界的接触带(图1)。泉域总面积为 $1486\text{km}^2$ 。泉域内上寒武统凤山组及奥陶系为其直接补给区,面积为 $496\text{km}^2$ ;泉域内早前寒武纪变质岩系及下、中寒武统和上寒武统崮山组、长山组为其间接补给区。济南泉域岩溶水的补给来源为大气降水渗入、地表水(玉符河、北沙河)季节性渗漏、第四系孔隙水下渗及灌溉回渗补给等。径流方向总体流向N,NE或NW。排泄方式为泉水和在河谷低洼处溢出的自然排泄及居民生活和工农业生产等的人工开采排泄。岩溶水资源计算结果为:多年平均补给量 $70 \times 10^4 \text{m}^3/\text{d}$ (包括泉水流量)。弥散试验岩溶水实际流速东郊(下奥陶统北庵庄组目的层)为 $16.8\text{m}/\text{d}$ ,西郊(下奥陶统纸坊庄组目的层)为 $7.84\text{m}/\text{d}$ 。泉域岩溶水平均滞留时间为37~44年。

## 2 近10年间济南泉域岩溶水动态特征

### 2.1 大气降水及人工开采对济南泉域岩溶水动态的影响

本文1997-07收到,1997-09改回。

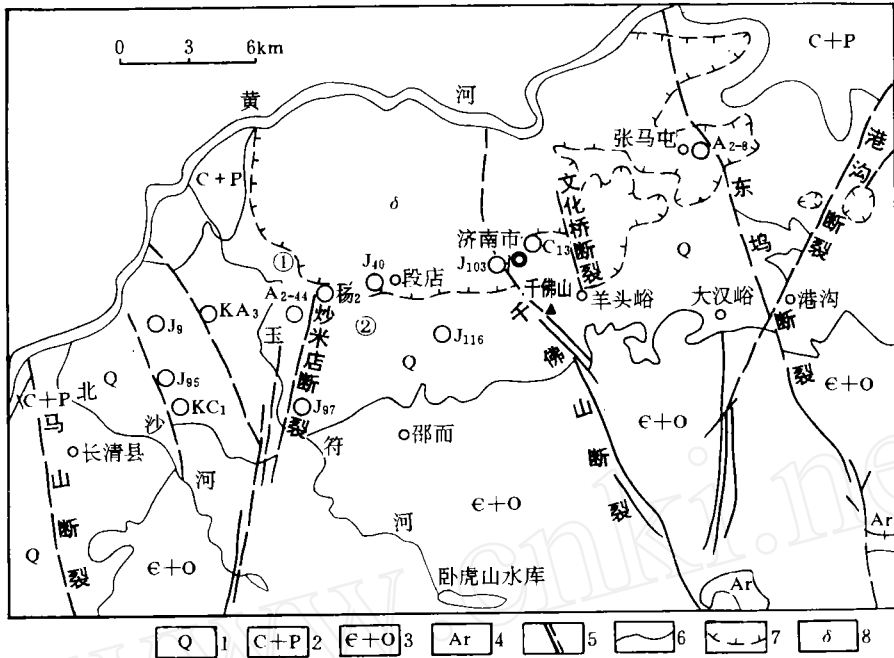


图1 济南泉域北部地质略图

Fig.1 Geological sketch of the northern part of Jinan spring field

1—第四系;2—石炭系+二叠系;3—寒武系+奥陶系;4—早前寒武纪变质岩系;5—实(推)测断裂;6—地质界线;7—侵入岩界线;8—燕山期闪长岩;C<sub>13</sub>;A<sub>2-8</sub>;J<sub>40</sub>;K<sub>A3</sub>;K<sub>C1</sub>—观测孔编号;①—峨嵋山水厂;②—腊山水厂;杨2孔为大杨庄水厂内钻孔

### 2.1.1 大气降水对岩溶水动态的影响

据对1987~1996年的10年间济南泉域岩溶水动态资料统计,大气降水对泉域岩溶水动态表现为极为明显的制约。

①就泉域径流—排泄区而言,1987年丰水期—1990年枯水期泉域岩溶水水位呈下降趋势。1987年是丰水年,全年降水992mm(济南多年平均降水量670.4mm),丰水期最高水位市区(文化桥断裂—千佛山断裂之间)为28.206m。1988~1989年降水较少,丰水期水位上升幅度小,水位总体下降。1990年枯水期泉域岩溶水水位降到历年来最低值,市区为20.8m,西郊(千佛山断裂—马山断裂之间)为23.5m,东郊工业开采区(文化桥断裂—东坞断裂之间)为8.4m。

②1991~1993年枯水期,水位也是由高变低,但水位值较1987~1990年为高。1990年全年降水达1047mm,弥补了枯水期动用的储存量,水位回弹幅度大。1991年枯水期水位相对较高,市区为25m,西郊为27.3m,东郊工业开采区为9.8m。1991年降水略高于多年平均值,丰水期水位上升到高于1987和1990年同期水位,市区为28.7m,西郊为32.2m,东郊工业开采区为18.9m。1992年降水不足,使1993年枯水期水位降到市区为23m,西郊为25.2m,东郊工业开采区为9.5m。

③1993~1996年降水相对较充沛,水位连续上升,1996年丰水期泉域岩溶水水位达到10年来最高值,市区为29.4m,西郊为33.7m(表1)。从表1中可以看出,济南泉域岩

溶水每年枯水期水位的高低受上年降水的多少影响,丰水期水位的高低受当年降水量和当年枯水期水位的高低的影响。降水量大,水位就高;降水量小,水位就低(图 2)。

表 1 1987~1996 年济南泉域岩溶水水位及降水量

Table 1 Karst water level and precipitation

年 份			1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996
降水量(mm)			992	532	340	1047	680	530	798	873	597	834
水 位 标 高 (m)	市 区	最低值	—	23.68	22.61	20.8	25	23.3	23	23.8	25.1	24.5
		最高值	28.21	26.80	23.80	27.8	28.7	26.7	27.4	28.9	28.6	29.4
	西 郊	最低值	24.68	26.31	24.92	23.5	27.3	26.74	25.2	27.8	28.7	28.3
		最高值	28.44	29.04	26.3	30.3	32.2	28.3	29.52	31.324	31.6	33.7
	东 郊	最低值	—	—	8.359	8.4	9.8	9.83	9.5	8.5	6.8	—
		最高值	—	—	—	18.01	18.9	15.039	16.66	17.719	15.09	—

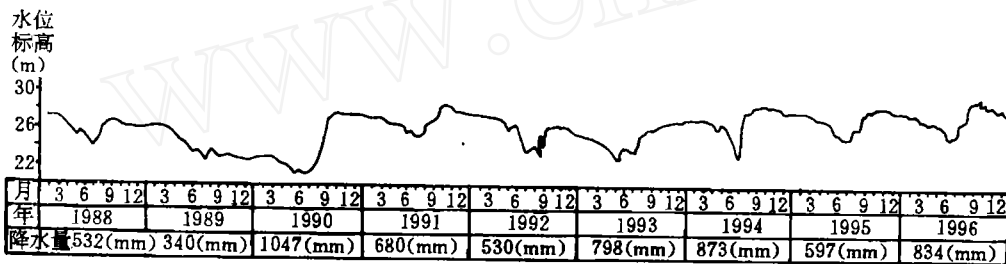


图 2 济南泉域 J<sub>103</sub> 孔 1988~1996 年间水位变化曲线图

Fig. 2 Water level variation curve of J<sub>103</sub> hole from 1988 to 1996 located in the Jinan spring field

大气降水对济南泉域岩溶水水位变化存在着极为显著的影响,而济南市区趵突泉群等 4 大泉群的流量变化又明显受控于岩溶水的水位。岩溶水水位升高,泉群流量增大;岩溶水位降低,泉群流量变小,甚至断流。1987~1996 年间济南市区泉水流量见表 2。济南市区泉水总流量与市区平均水位标高具线性相关,相关系数为 0.97。

表 2 济南市区泉水流量表

Table 2 Spring discharge of Jinan urban district

年 份	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996
泉水平均流量 (10 <sup>4</sup> m <sup>3</sup> /d)	2.93	1.22	0.047	2.032	5.5	2.33	1.2	10.9	11.42	14.2
泉水断流时间 (d)	270	41	287	284	34	80	79	50	58	45

### 2.1.2 人工开采对岩溶水动态的影响

济南泉域岩溶水动态受人工开采影响明显,开采量增大,水位下降,泉水总流量减小。1987~1996 年间济南泉域岩溶水开采量(不含农业开采量)为  $45.92 \times 10^4 \sim 52.47 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ,济南市区年平均水位为 24.2~27.6m,泉水总流量年平均为  $0.047 \times 10^4 \sim 14.2$

$\times 10^4 \text{m}^3/\text{d}$ , 泉水年断流时间 34~287 天。1987~1996 年间岩溶水水位较 70 年代以前明显降低, 年变幅增大, 泉流量减小, 并出现泉水断流(1972 年趵突泉首次出现断流, 1986 年开始出现四大泉群全部断流), 主要为开采量增大所致。如, 1966 年工矿、企业及城市生活用水总开采量为  $20 \times 10^4 \text{m}^3/\text{d}$  土, 只占有 1987~1996 年间年平均开采量的 38%~44%, 平均开采增长量每年增加  $1.06 \times 10^4 \text{m}^3/\text{d}$ 。1966 年济南市区平均水位为 29.4m, 较此后的 1987~1996 年水位高 5.2~1.95m, 水位年下降速度为 0.22~0.07m。1966 年日最高水位为 29.84m, 而 1987~1996 年 10 年间只有 1996 年丰水期水位超过 29m(为 29.4m)。1966 年泉水总流量平均为  $26.13 \times 10^4 \text{m}^3/\text{d}$ , 而 1987~1996 年间泉水年平均流量仅占 1966 年的 0.2%~54%。1966 年前后济南市区水位年变幅为 0.96~3.96m, 比 1987~1996 年水位年变幅小 2.44~3.04m(表 3)。

表 3 泉域岩溶水开采量与济南市区平均水位表

Table 3 The water-taking capacity of the karst water in Jinan spring field and average water level in urban district

年 份	1959	1960	1966	1971	1975	1979	1983	1987	1988
岩溶水开采量 ( $10^4 \text{m}^3/\text{d}$ )	7.27	9.65	20.7	33.52	39.9	45.6	44.6	48.86	50.99
市区平均水位 (m)	30.4	29.72	28.8	28.1	28.0	27.2	27.0	26.2	26.1
年 份	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	
岩溶水开采量 ( $10^4 \text{m}^3/\text{d}$ )	45.89	45.92	48.7	47.54	50.61	52.47	52.04	51.65	
市区平均水位 (m)	24.2	24.4	27.2	26.3	25.6	27.5	27.48	27.624	

各年度内岩溶水开采量均不含农业开采量。

## 2.2 济南泉域各区段岩溶水水位变化

### 2.2.1 西郊区段水位动态变化

西郊主要含水层为奥陶系及寒武系风山组灰岩, 岩溶发育, 富水性好, 补给源广, 补给面积大, 水力坡度缓。1987~1996 年间西郊峨嵋山、大杨庄、腊山 3 个水厂开采量为  $21.23 \times 10^4 \sim 24.9 \times 10^4 \text{m}^3/\text{d}$ , 工业自备井开采量为  $4 \times 10^4 \text{m}^3/\text{d}$ , 水厂附近年平均水位为 26.061~30.314m, 较 60 年代初年平均水位 32~33m 下降了 2~6m(腊山泉、峨嵋山泉 70 年代已干涸)。水位年变幅与市区接近, 为 3.4~6.8m。

### 2.2.2 东郊区段岩溶水水位变化

东郊工业开采区含水层为下奥陶统东黄山组和北庵庄组灰岩, 由于受燕山期辉长岩类侵入体的影响, 含水层薄, 岩溶裂隙发育差, 补给面积小, 富水性较弱, 而工业自备井开采量大( $12 \times 10^4 \text{m}^3/\text{d}$  土), 区内已形成深开采漏斗。1989~1995 年间最高水位只有 18.93m, 水位年变幅为 7.1~9.7m; 1990~1995 年间平均水位 11.745~14.75m, 较 60 年代初平均水位(30.5~31.5m)下降了 17m 土。

### 2.2.3 济南市区岩溶水水位变化

济南市区岩溶水的主要含水层为下奥陶统纸坊庄组灰岩, 岩溶裂隙发育, 接受东南、西南及南面 3 个方向岩溶水的径流补给, 富水性好。1987~1996 年间市区水厂开采岩溶

水为  $10.04 \times 10^4 \sim 14 \times 10^4 \text{m}^3/\text{d}$ , 较 60 年代初年平均水位(30~31m)下降了 4~6m。市区年平均水位高于东郊工业开采区 12m 土, 两区为同源补给。市区水位低于西郊水位 2~4m, 处于西郊水厂补给区下游。

济南泉域各区段岩溶水水位变化见表 4、图 3。

表 4 济南泉域各区段岩溶水 1987~1993 年间水位变幅(m)

Table 4 Karst water level variation in different parts of Jinan spring field from 1987 to 1993

区 段	观测孔号	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993
市 区	A <sub>2-18</sub>	4.04	3.15	0.78	6.77	3.80	4.22	3.41
	C <sub>13</sub>	—	2.95	0.79	—	—	3.92	3.41
西 郊	J <sub>40</sub>	3.76	2.83	1.06	6.35	4.36	—	—
	M <sub>91</sub>	7.00	4.20	1.00	7.20	6.10	4.30	4.68
	A <sub>2-44</sub>	—	2.62	1.12	6.78	—	3.77	4.25
	KA <sub>3</sub>	—	2.58	0.42	6.83	4.54	3.92	4.25
东郊工业开采区	A <sub>2-8</sub>	—	—	3.18	9.73	9.12	8.11	7.12

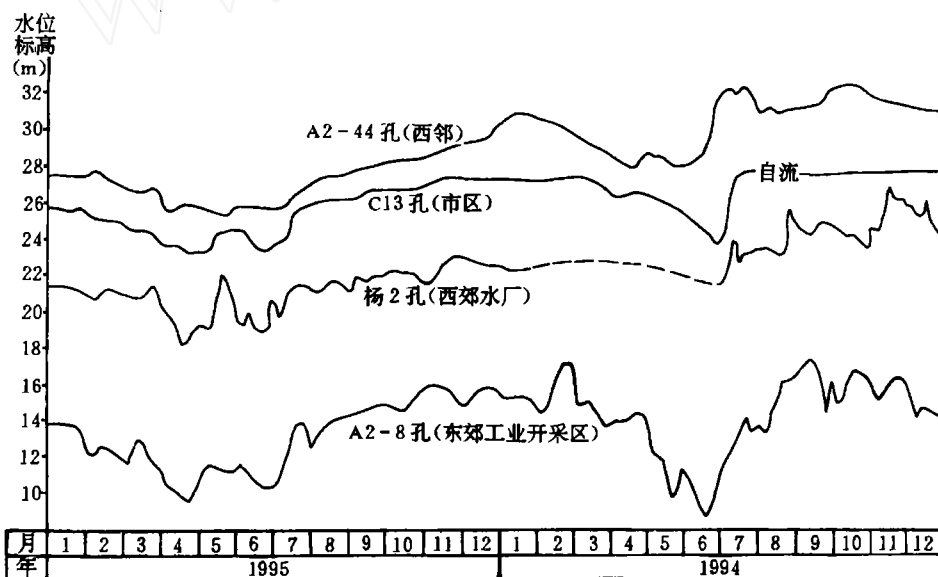


图 3 济南泉域各区段岩溶水水位对比曲线图

Fig. 3 Comparative curve of the karst water levels of different parts in Jinan spring field

### 3 有关问题讨论

#### 3.1 济南市市区与西郊岩溶水之间的联系

济南市市区趵突泉附近岩溶水水位与西郊部分地区岩溶水水位之间的变化有一定联系。趵突泉旁 C<sub>13</sub> 号孔, 管口标高 27.317m, 在丰水期自流; 西郊 J<sub>103</sub> 孔、大杨庄水厂杨<sub>2</sub> 孔、段店 J<sub>40</sub> 孔、殷家标 J<sub>97</sub> 孔、七贤镇 J<sub>116</sub> 孔等与市区 C<sub>13</sub> 号孔一样, 在丰水期出现自流。如 1991 年丰水期, 当 C<sub>13</sub> 孔自流时, 上述诸孔的水位标高都在一定值以上, J<sub>97</sub> 孔 > 32.2m, J<sub>40</sub> 孔 > 28.25m, J<sub>103</sub> 孔 > 27.7m; 而当 C<sub>13</sub> 孔非自流时, 上述诸孔的水位标高都在这个定值之下, 这种现象不是偶然的巧合, 而是不同区段间岩溶水间存在密切联系的反映。而在炒米店断裂以西岩溶水水位与 C<sub>13</sub> 孔之间就没有出过这种同步变化的现象。如, C<sub>13</sub> 孔开始自流时, 石马北 J<sub>24</sub> 孔水位为 30.85m、小李庄北 KA<sub>3</sub> 孔水位为 30.35m、老张庄南 J<sub>9</sub> 孔水位为 30.992m, 但是当 C<sub>13</sub> 孔停止自流后的相当长一段时间内, 上述诸孔水位仍保持其在 C<sub>13</sub> 孔自流时的水位值以上。因此推断, 市区岩溶水部分来自西郊炒米店断裂以东地区岩溶水径流补给, 而炒米店断裂以西地段部分岩溶水因向西郊 3 个水厂低水位区汇集而不能补给市区。大杨庄、腊山两个水厂正处于市区岩溶水一个补给源的上游, 加大开采量会影响市区水位和泉水流量。

### 3.2 边界性质

济南泉域东边界东坞断裂北段具弱透水性, 西边界马山断裂北段具透水性, 内边界千佛山断裂在市区段具透水性(表 5)。

表 5 济南泉域主要边界断裂两侧水位对比表(m)

Table 5 Water levels' comparasion between two sides of the major boundary faults in Jinan spring field

马山断裂 (北段)	时 间 观 测 孔 号	1995 年					
		01-01	03-01	05-01	08-01	09-01	11-01
	东侧, C <sub>45</sub>	32.482	32.792	30.712	31.242	32.872	32.282
	西侧, C <sub>46</sub>	32.501	32.561	30.691	31.041	32.771	32.11
东坞断裂 (北段)	时 间 观 测 孔 号	1995 年					
		01-16	03-16	05-16	07-16	09-16	11-16
	东侧, A <sub>2-5</sub>	24.599	23.459	20.899	20.829	25.649	25.439
	西侧, A <sub>2-8</sub>	13.877	10.419	6.829	6.859	9.359	11.559
千佛山断裂 (北段)	时 间 观 测 孔 号	1987 年					
		05-01	06-01	07-01	08-01	11-01	12-01
	东侧, C <sub>13</sub>	24.977	24.327	25.007	24.797	27.717	27.537
	西侧, J <sub>103</sub>	25.046	24.166	24.946	24.806	27.637	27.596

### 3.3 保护水源, 合理开发岩溶水

济南泉域岩溶水受人工开采影响, 水位明显下降。东郊工业开采区已形成深的降落漏斗, 不易加大开采量, 否则对市区水位和泉水将产生不利影响。市区泉水最近 3 年间平均

流量超过  $10 \times 10^4 \text{m}^3/\text{d}$ , 可采取先观后用, 减少水资源的浪费。西郊炒米店断裂以西地区水源, 可适当加大开采量, 截取向北的外泄量, 不会对市区水位产生明显影响。降水对泉域岩溶水动态影响极为显著, 主要是石灰岩岩溶裂隙发育, 大气降水入渗速度快, 建议在泉域南部灰岩裸露区山谷狭窄地段和河谷中修建适量的小型拦水坝, 减少表流, 增加对岩溶水的补给量。济南泉域年总开采量大于补给量, 建议节约用水, 保护好现有的水源地, 防止不良的环境水文地质问题产生。

### 参 考 文 献

茆诗松, 丁元等. 回归分析及其试验设计. 上海: 华东师范大学出版社, 1983, 37~101

## DYNAMIC CHARACTERISTICS OF KARST WATER IN JINAN SPRING FIELD AND DISCUSSION ON SOME QUESTIONS RELATED

Liu Guoai and Zhao Xinhua

(Shandong Geologic—engineering Institute)

### Abstract

Infiltration of atmospheric water and river leakage are major supply sources of karst water in Jinan spring field, while artificial water—taking and spring discharge are its major discharge forms. The karst water flows from south to north in a whole and the average recharge capacity is  $70 \times 10^4 \text{m}^3/\text{d}$ . The dynamic state of the karst water is greatly influenced by atmospheric water sharply from 1987 to 1996. The water level had a falling trend because of poor atmospheric water during dry seasons from 1987 to 1990, and in 1990, it reached the lowest level as  $20.8 \text{m} \pm$ ; from 1991 to 1996, the water level had a rising trend because of rich atmospheric water, and reached the highest level as  $29.4$  during rain season in 1996. But in the last ten years, influenced by the rising capacity of water—taking, the water level has fallen obviously compared with it in 70's. The rate of springs' discharge has become smaller. The karst water in Jinan urban district has a close relationship with the karst water in the area of east Chaomidian fault. Thus, enlarging the water—taking capacities of Ermeishan water—taking station and of the area, west of Chaomidian fault will not occur an obvious influence on the water level in Jinan urban district.