

56.581
00742



水文地质工程地质选辑

城市供水·地面沉降·人工补给

地质出版社

城市供水·地面沉降·人工补给

水文地质工程地质选辑第六辑

地 质 出 版 社

城市供水·地面沉降·人工补给

水文地质工程地质选辑第六辑

〔选辑〕选编小组编

(内部发行)

•

地质局书刊编辑室编辑

地质出版社出版

地质印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

•

1975年5月北京第一版·1975年5月北京第一次印刷

印数 1—7,200册·定价 0.40元

统一书号: 15038·新 88

毛主席语录

要认真总结经验。

人们为着要在自然界里得到自由，
就要用自然科学来了解自然，克服自然
和改造自然，从自然里得到自由。

必须用极大的努力去学会管理城市
和建设城市。

中国人民有志气，有能力，一定要
在不远的将来，赶上和超过世界先进水平。

前 言

我国的水文地质工程地质工作，在伟大领袖毛主席的革命路线指引下，和其他各条战线一样，有了很大发展，积累了不少经验。特别是在粉碎了林彪反党集团以后，在批林整风运动的推动下，又取得了许多新的成就。一九七三年七月，在山东省青岛市举行的水文地质工程地质工作会议上，收到的各种水文地质工程地质工作经验材料就有一百九十多种。遵照伟大领袖毛主席“要认真总结经验”的教导，会后对一些文件进行了选编修订，共分七辑出版，名为《水文地质工程地质选辑》。各辑的内容为：

- 第一辑，平原、盆地、黄土区的地下水；
- 第二辑，地质力学在找水中的应用；
- 第三辑，矿区水文地质·工程地质；
- 第四辑，地下热水·环境地质；
- 第五辑，滨海、岛屿、岩溶区的地下水；
- 第六辑，城市供水·地面沉降·人工补给；
- 第七辑，物探·钻探·试验

在选编工作中得到地质科学研究院水文地质工程地质研究所、河北省地质局水文地质第四大队和北京市地质局水文一大队的大力支持，我们深致谢意。

一九七三年十一月

目 录

北京地区地下水资源评价方法·····	1
西安市城市供水地下水资源评价的几点体会·····	26
广州市江村地区供水勘探方法初步总结·····	42
依据长期观测资料应用相关分析方法评价 承压水开采储量·····	61
对控制上海地面沉降的初步认识·····	70
天津地面沉降问题的探讨·····	85
上海市地下水开采量、回灌量与水位的相关计算·····	93
北京市西郊人工补给地下水概况·····	107

北京地区地下水资源评价方法

北京市地质局水文一大队

地下水作为一种资源，在国民经济中的重要地位日益显著。社会主义经济有计划、按比例的发展，要求充分、合理的利用地下水源。因此如何评价地下水资源的问题，关系到工农业发展的规模、速度，同时也是保护地下水资源不致枯竭、恶化的重要环节。

地下水资源以随时间变化和接受大气降水不断补充的特点区别于其它矿产资源。毛主席教导我们：“不同质的矛盾，只有用不同的方法才能解决。”因此，在进行地下水资源评价时，必须采用不同于其它矿产资源的方法。

由于地下水在不断运动并受天然和人为活动的影响和制约，因此在评价地下水资源时必须将其看作一个变量。

由于地下水具有不断补充的特点，因此有的含水层即使储水量不大，只要它的补给是有保证的话，这个含水层的出水量仍然可以很大。

我们根据现有的工作程度和认识水平，初步认为可用区域地下水补给量作为评价北京地区地下水资源丰富程度的依据。由于地下水资源分布的地区性差别，根据水均衡原理可以逐段、逐项确定地下水的补给量和消耗量。以地下水的补给量来评价各个均衡段的地下水资源的丰富程度，而从地下水的补给和消耗关系来评价扩大开采的可能性。

一、区域地下水补给量的计算

论述的地区在地貌单元上属于永定河冲积洪积扇。地下水主

要受季节性大气降水和西部山区基岩水的补给。

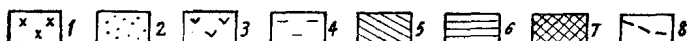
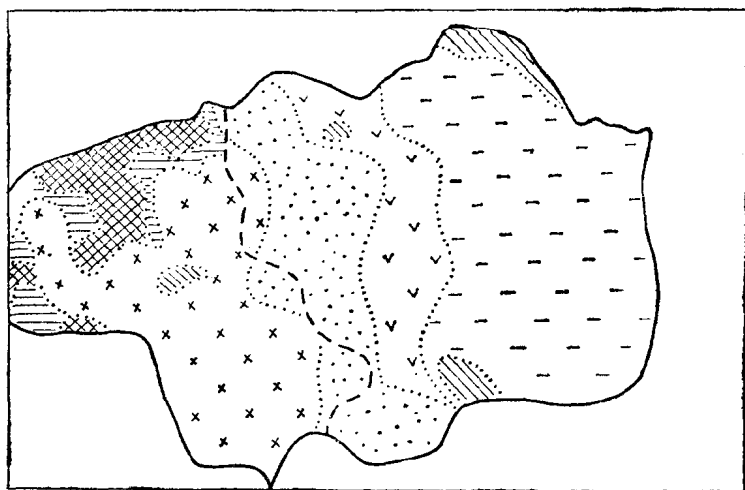


图 1 北京地区第四纪含水层岩性及富水性分区图

1—单层砂、卵砾石含水层分布区，单井出水量 >5000 方/昼夜；2—多层（2—3层）砂砾石含水层分布区，单井出水量 $3000—5000$ 方/昼夜；3—多层（4—5层）砂及砂砾石含水层分布区，单井出水量 $1500—3000$ 方/昼夜；4—多层（4—5层）砂含砾石含水层分布区，单井出水量 $500—1500$ 方/昼夜；5—多层中细砂含水层分布区，单井出水量 $500—1500$ 方/昼夜；6—山前坡积洪积粘砂、碎石含水层分布区，单井出水量 <500 方/昼夜；7—山区；8—潜水承压水分区界线

西部潜水区：含水层主要为单一砂卵石层，厚度一般为20—30米。在古河道经常作用的地段和凹陷地区，含水层厚度较大。与此相反，在下伏基岩面较高的地方，水流作用微弱，无好的含水层。地下水埋藏深度一般均大于5米，山前地带深达20米以上。单井出水量大于5000方/昼夜。

东部潜水—承压水区：含水层岩性主要为多层砂砾石及砂，单层厚度小于10米。在150米深度内，累计厚度约40—60米。地下水埋藏深度1—5米，清河、洼里一带形成自流。单井出水量约3000—5000方/昼夜、或小于3000方/昼夜。

今以本区西部横截冲洪积扇顶部的剖面线作为计算剖面。则通过该断面线的最小地下径流量为山区和河流的最小补给量，调节补给量则为丰水期的补给量，两者基本上可代表本区地下水的总补给量。我们主要使用了水文统计法和水平衡法进行计算，现分述如下。

(一) 水文统计法

我们是在已经进行了多年水文地质观测工作的基础上进行计算的。但是北京地区地下水长期观测的年限毕竟还不很长，因此必须分析与地下水动态有内在联系的观测年限较长的其它因素，找出它们之间的相关关系，据此对地下水动态资料进行插补和延长，使之成为可靠的长期数列。

今以我队长观站（1957—1962年）动态资料进行的地下水补给量计算为例，将其方法简介如下：

1. 利用相关关系逐年计算地下水调节补给量及其保证率
地下水调节补给量（以往称调节储量）的计算：

$$Q = \mu \cdot \omega \cdot \Delta h$$

式中 μ ——含水层给水度；

ω ——计算面积；

Δh ——年调节幅度。

根据实际资料求得57—62年的地下水调节补给量。

在观测期较短的情况下，我们进行了调节补给量与北京地区多年降水量关系的研究，证明了它们存在着相关关系（图2、图3）。

上述相关曲线，在以降水量为对数坐标、调节补给量为横坐标时，基本上能展成一条直线，属指数函数相关类型（图3）。其相关系数 r 按下式计算：

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (Q_i - Q_0) (\lg N_i - \lg N_0)}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (Q_i - Q_0)^2 \sum_{i=1}^n (\lg N_i - \lg N_0)^2}}$$

式中 N_i ——年降水量;
 N_0 ——多年平均降水量;
 Q_i ——年地下水调节补给量;
 Q_0 ——多年平均地下水调节补给量。

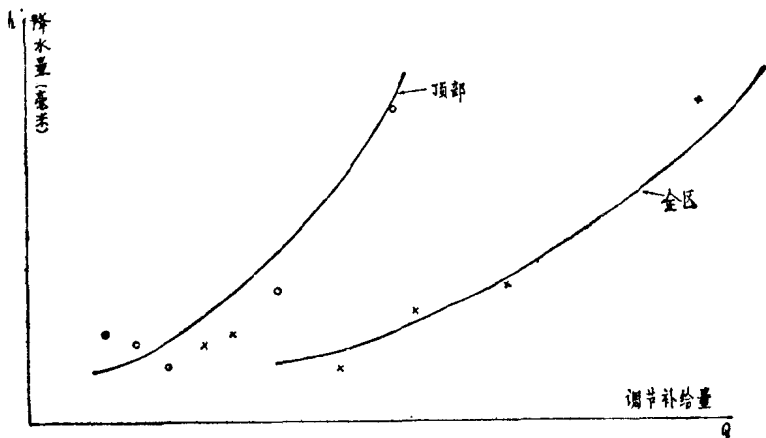


图 2 降水量和调节补给量关系曲线 (之一)

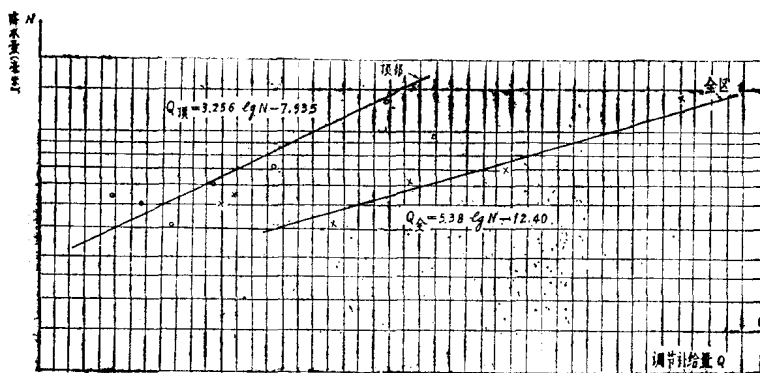


图 3 降水量和调节补给量关系曲线 (之二)

通过计算, 冲洪积扇顶部地区 $r = 0.917$, 全区 $r = 0.907$, 相关密切。其迴归方程式为,

$$Q = a \lg N + b$$

系数 a 和 b 可用最小二乘法确定。

$$\text{令 } S = \sum (a \lg N + b - Q)^2 = 0$$

$$\frac{\partial S}{\partial a} = 2 \sum (a \lg N + b - Q) \cdot \lg N = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial S}{\partial b} = 2 \sum (a \lg N + b - Q) \cdot 1 = 0 \quad (2)$$

由 (1) 式得:

$$a \sum (\lg N)^2 + b \sum \lg N - \sum Q \cdot \lg N = 0 \quad (3)$$

由 (2) 求得:

$$a \sum \lg N + nb - \sum Q = 0 \quad (4)$$

根据实际资料、分别计算下列各项数值:

$$\sum Q, \sum \lg N, \sum (\lg N)^2, \sum Q \cdot \lg N$$

代入 (3)、(4), 求得冲洪积扇顶部的 a 和 b 值。

$$a = 3.256, \quad b = -7.935$$

其相关曲线迴归方程为:

$$Q = 3.256 \lg N - 7.935$$

同理求得全区的相关曲线迴归方程为:

$$Q = 5.38 \lg N - 12.40$$

这样, 虽然仅有较短期的地下水观测资料 (例如1957—1962年), 亦可根据上面求得的相关关系, 按照观测时期较长的年降水量资料, 进行插补和延长, 近似求得各该年份的地下水调节补给量 (例如用1941—1972年的年降水量资料, 求出了这些年份每年的地下水调节补给量)。

设 1941—1972 年 32 年间全区地下水的平均调节补给量为 100, 则历年的最小调节补给量为 53 (出现在 1971 年), 最大为 172 (出现在 1959 年)。

为了确定1941—1972年间历年调节补给量的出现机遇，也即各种调节补给量数据的保证程度，可以进行保证率的计算（见表1）。

表 1 根据相关关系推算的调节补给量保证率

序 列 m	年 份	保 证 率 %	序 列 m	年 份	保 证 率 %
1	1959	3.03	17	1953	51.5
2	1956	6.06	18	1945	54.6
3	1949	9.08	19	1968	57.7
4	1954	12.10	20	1960	60.6
5	1950	15.30	21	1942	63.7
6	1952	18.15	22	1970	66.7
7	1955	21.20	23	1957	69.7
8	1963	24.20	24	1943	72.8
9	1969	27.20	25	1948	75.8
10	1958	30.30	26	1944	78.8
11	1947	33.40	27	1972	81.8
12	1964	36.40	28	1962	84.8
13	1946	39.40	29	1951	87.8
14	1966	42.40	30	1965	91.0
15	1967	45.30	31	1941	93.8
16	1961	48.50	32	1971	97.0

计算公式：

$$P = \frac{m}{n+1} 100\%$$

式中 P ——经验保证率（频率）；

n ——项目总数（随机变数的总数）；

m ——项目按大小排列的序列数。

根据以上资料，可在海森机率格纸上绘出地下水调节补给量经验保证率曲线（图4）。由此，可以确定具有不同保证率的地下水调节补给量。

2. 应用概率论理论计算地下径流量的理论保证率

（1）用达西公式按年、按月分别计算地下径流量

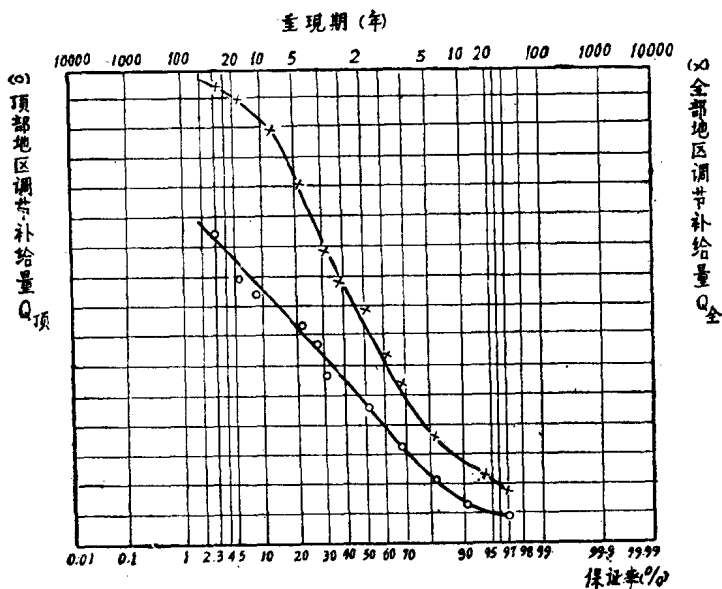


图 4 调节补给量经验保证率曲线
海森机率格纸 (纵座标均匀分格)

$$Q = KIBH$$

式中 K ——渗透系数, 根据多孔抽水试验确定;

B ——水流宽度;

I ——水力坡度, 根据动态资料计算;

H ——含水层厚度, 根据动态资料, 取月平均水位计算而得。

设1962年计算所得的年平均地下径流量为100, 各年各月的流量列如表2、表3。

根据多年地下径流量的数据又可进行经验保证率的计算(表4)。

(2) 计算最小地下径流量

上述计算包括了计算断面以上季节性降水形成的季节地下径流量, 故还需计算最小地下径流量。计算结果见表5。

表 2 各年平均地下径流量表

径流量 \ 年 项目	1956	1957	1958	1959	1960	1961	1962
径流量	112	107	94	106	98	89	100
多年平均	101			最大径流量	112		
多年变幅	23			最小径流量	89		

表 3 各月平均地下径流量表

径流量 \ 月 年	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1956	110	107	105	103	102	103	120	121	120	118	116	115
1957	113	111	108	105	103	106	110	118	112	107	101	97
1958	92	90	86	82	81	87	97	107	105	102	100	98
1959	95	93	94	96	98	104	113	122	120	117	114	109
1960	103	98	96	95	94	98	104	109	103	98	92	90
1961	88	85	85	84	83	86	91	96	95	91	89	90
1962	92	93	95	96	97	100	104	107	106	104	102	100
月平均	100	97	95	95	94	98	106	111	109	105	102	100
最大	122 (出现于1959年8月)											
最小	81 (出现于1958年5月)											
变幅	41											

表 4 不同保证率的地下径流量表

保证率 (%)	90	80	70	60	50
地下径流量	89	94	97	100	103

在应用统计学方法处理数据时，除上述利用相关关系增加系列之外，尚可根据实测资料进行理论保证率计算，以便评定统计参数变化的规律性。

表 5 最小地下径流量计算成果表

径流量 项目	1956	1957	1958	1959	1960	1961	1962
最小地下径流量	102	103	81	98	94	83	97
平均值	94						
最大值	103						
最小值	81						
变幅	22						

保证率曲线的形状和性质，在统计学中，一般以均值、均方差 (C_v)、离差系数 (C_v)、偏差系数 (C_s) 等来表示，并可利用沙尔利的分配函数，此函数为分配曲线的一般形式。

计算顺序如下：

①按 $Q_{0min} = \frac{\sum_1^n Q_{min}}{n}$ 公式计算最小地下径流量的平均值；

②确定模数系数 $K = \frac{Q_{min}}{Q_{0min}}$ ；

③根据公式 $C_v = \sqrt{\frac{\sum_1^n (K-1)^2}{n-1}}$ 确定离差系数 C_v ；

④按 $x = \frac{K-1}{C_v}$ 查附表 1 确定 $\phi(x)$ ；

⑤根据下列公式确定沙尔利分配函数的不固定加权率，

$$b_0 = \frac{2 \sqrt{n}}{n} \Sigma \phi(x)$$

$$b_1 = \frac{2 \sqrt{n}}{n} \Sigma x \phi(x)$$

⑥确定超出值 E 和不对称系数 S ；

⑦根据不对称系数 S 求出 $E=0$ ， $C_v=1$ 时各种保证率的纵坐标偏离值（查附表 2）；

⑧根据超出值 E 对其进行校正（查附表3）；

⑨确定校正后的模数系数 K ；

⑩根据公式 $Q_{\min} = Q_{0\min} \cdot K$ 计算各种保证率情况下的最小地下径流量。

计算成果见表6，表7。

表6 最小地下径流量理论保证率计算表

年份	最小地下径流量 $Q_{\min}$	模数系数 K	$K-1$	$(K-1)^2$	$x = \frac{K-1}{C_v}$	$\varphi(x)$	$x\varphi(x)$	计算公式
1956	102	1.085	0.085	0.007225	0.9062	0.2647	0.2399	C_v (偏离系数)
1967	103	1.094	0.094	0.008836	1.0020	0.2415	0.2420	
1958	81	0.859	-0.1410	0.01988	-1.5032	0.1289	-0.1938	$= \sqrt{\frac{\sum_1^n (K-1)^2}{n-1}}$
1959	98	1.047	0.047	0.002209	0.5010	0.3519	0.1763	
1960	94	1.007	0.007	0.000049	0.0213	0.3989	0.0085	$= \sqrt{\frac{0.052743}{7-1}}$
1961	83	0.883	-0.117	0.013689	-1.2473	0.1833	-0.2286	
1962	97	1.030	0.030	0.0009	0.3198	0.3790	0.1212	$K = \frac{Q_{\min}}{Q_{0\min}}$
总计	658			0.052743		1.9482	0.3655	
平均	94							

根据计算成果可绘制理论保证率曲线（图5）。

多年资料表明，能代表本区多年地下径流量的应是具80%保证率的最小地下径流量。

我们应用水文统计法，计算了本区地下水调节补给量（冲洪积扇顶部及全区的）和最小地下径流量及其保证率。两者基本上代表了本区地下水的主要补给量，其和可以称之为本地地区的区域地下水补给量。我们建议可以把具80%保证率的全区区域地下水补给量作为考虑本地区供水的依据。由于冲洪积扇下部的潜水硬度和矿化度均较高，因此从城市工业用水的水质水量要求来看，可以把冲洪积扇顶部地区的区域地下水补给量作为评价依据。

表 7 最小地下径流量理论保证率计算成果表

保证率 %	$E=0 \ C_0=1$ 时纵坐标偏离值	超出值 E 的校正值	考虑到 E 时的纵 坐标偏值 (X')	$C_0 X'$	$K' =$ $C_0 X' + 1$	$Q_{\min} =$ $Q_{\min}(C_0 X' + 1)$
0.5	3.28	-0.1	3.18	0.2983	1.2983	121.81
1	3.00	-0.06	2.94	0.2758	1.2758	119.70
3	2.47	-0.016	2.464	0.2311	1.2311	115.50
5	2.15	0.008	2.158	0.2024	1.2024	112.81
10	1.57	0.02	1.59	0.1491	1.1491	107.81
20	0.72	0.028	0.748	0.0702	1.0702	100.41
30	0.29	0.02	0.31	0.0291	1.0291	96.55
40	0.01	0.01	0.02	0.0019	1.0019	94.60
50	-0.23	0.0	-0.23	-0.0216	0.9784	91.79
50	-0.45	-0.01	-0.46	-0.043	0.957	89.79
70	-0.66	-0.02	-0.68	-0.0638	0.9362	87.83
80	-0.90	-0.026	-0.926	-0.0869	0.9131	85.67
90	-1.180	-0.024	-1.204	-0.1129	0.8871	83.23
95	-1.38	-0.004	-1.384	-0.1298	0.8702	81.64
97	-1.48	0.01	-1.47	-0.1379	0.8621	80.88
99	-1.62	0.054	-1.566	-0.1469	0.8531	80.04
99.5	-1.66	0.088	-1.572	-0.1475	0.8525	79.98

备注	(S-误差的不对称系数)
	$S = 4b_1 = 4 \left[\frac{2\sqrt{n}}{n} \sum_{i=1}^n x \varphi(x) \right] = 4[0.1822] = 0.7288$
	(E-超出值)
	$E = 4[b_0 - 1] = 4 \left[\frac{2\sqrt{n}}{n} \sum_{i=1}^n \varphi(x) - 1 \right] = 4[0.99 - 1] = -0.04$
n —统计年数 $Q_{\min}$ —平均最小径流量 $Q_{\min}$ —年最小径流量	

(二) 水均衡法

在地下水动力条件简单, 多年流向变化不大的潜水地区, 如果地下水各项影响因素比较清楚时, 可通过均衡研究, 评价地下水资源。

通过划分均衡区段, 计算在某个时期内地下水收入水量和出水量的关系, 可进一步摸清区域地下水的补给、排泄量的变化。从而阐明该区地下水动态变化的影响因素及其不同规律, 便