

水文地质技术方法

第二辑

河北省地质局水文地质四大队 主编

(限国内发行)



地 质 出 版 社

1977/02

水文地质技术方法

第二辑

河北省地质局水文地质四大队主编

(限国内发行)

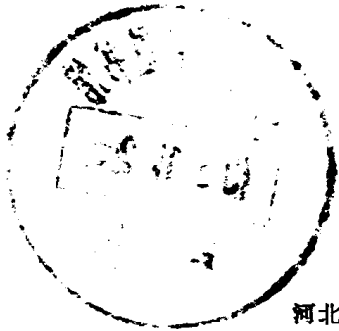


北林图 A0006920



208641

地质出版社



**水文地质技术方法
第二辑**

河北省地质局水文地质四大队主编

(限国内发行)

地质总局书刊编辑室编辑

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

*

1976年3月北京第一版·1976年4月北京第一次印刷

印数1—10,200册·定价0.62元

统一书号：15038·新147

目 录

地下水天然资源评价方法的初步探讨

——以大清河流域的低山丘陵区为例——

.....河北省地质局水文地质四大队 (1)
河 北 大 学 数 学 系

试用有限差分法解地下水流向井的非稳定运动微分方程

.....北京市地质局水文一大队
北 京 师 范 学 院 数 学 系 (18)
水 电 部 水 利 水 电 科 学 研 究 所 水 利 室

利用电子计算机确定含水层参数

.....北京市地质局水文一大队 (25)

农田灌溉水质标准及其利用

.....河北省沧州地区农业科学研究所 (29)
河北省地质局第七地质大队

谈变质岩中石英脉的控水性

.....江苏省地质局水文地质队 (41)

对曲阳县南镇水磨槽泉群形成条件的初步认识

.....河北省地质局水文地质四大队 (47)
河北省曲阳县水利局

地震勘探在水电建设中的应用

.....水电部第四工程局勘测设计研究院物探队 (55)

激发衰变场法找水室内模型实验

.....吉林省地质局水文地质大队物探组 (66)

综合资料

用抽水试验确定均质各向异性含水层水文地质参数的方法

.....西安煤田地质研究所 李竞生 (75)

译 文

水文地质测井方法..... (83)

排水建筑物附近自然电场的畸变..... (87)

确定地下水动态与水文气象因素之间预测关系的方法..... (91)

水动力参数的数理统计整理..... (101)

地下水天然资源评价方法的初步探讨

—以大清河流域的低山丘陵区为例—

河北省地质局水文地质四大队

河北大学数学系

随着工农业生产的发展，山区建设日新月异。尤其是无产阶级文化大革命以来，各地的山区建设发展迅速，形势喜人。山区建设也不断地对水文地质工作提出了新的要求。

保定地区西部山区属太行山脉之中低山区，包括九个县，总面积达一万一千多平方公里。在构造上，本区为太行山复背斜之东翼，区内构造复杂。地层出露较为齐全，变质岩、火成岩（包括火山岩）、沉积岩等均有出露。水文网较发育，属海河流域大清河水系，主要河流有拒马河、易水、漕河、界河、唐河、沙河等。建国以来就开始了水文、气象的观测工作。

在毛主席“一定要根治海河”和“农业学大寨”的伟大号召指引下，曾为革命做出过贡献的老根据地人民，决心发扬光荣传统，为大上农业，大上粮食、扭转南粮北调再立新功。遵照毛主席“水利是农业的命脉”的教导，大打兴修水利的人民战争。形势要求我们尽快搞清地下水资源。

但到目前为止，基岩山区地下水天然资源的评价还没有一套比较成熟的方法。因为赋存于垂直和水平方向的裂隙都极不均一的基岩中的地下水的渗流条件十分复杂，其运动规律很难用一般的计算参数（如渗透系数、含水层厚度、水力坡度等）来表达。利用有限的钻孔抽水试验资料推广到面上的评价方法有一定困难。尤其对大面积来说，单靠打井勘探进行评价，不但经济上、技术上有困难，而且时间上也不允许。

为了适应形势的发展，满足生产的需要，多快好省地开展地下水天然资源的评价工作，我们学习了兄弟单位的经验，并查阅了一些国外有关文献，认为地下水天然资源评价中的一个极其关键的问题是地表水与地下水的转化关系。在搜集、分析保定地区西部山区水文、气象、地质、水文地质资料的基础上，试图通过水文-水文地质方法来解决山区地下水天然资源的评价问题。现初步总结一年多来的工作，提出几点不成熟的看法，供讨论。

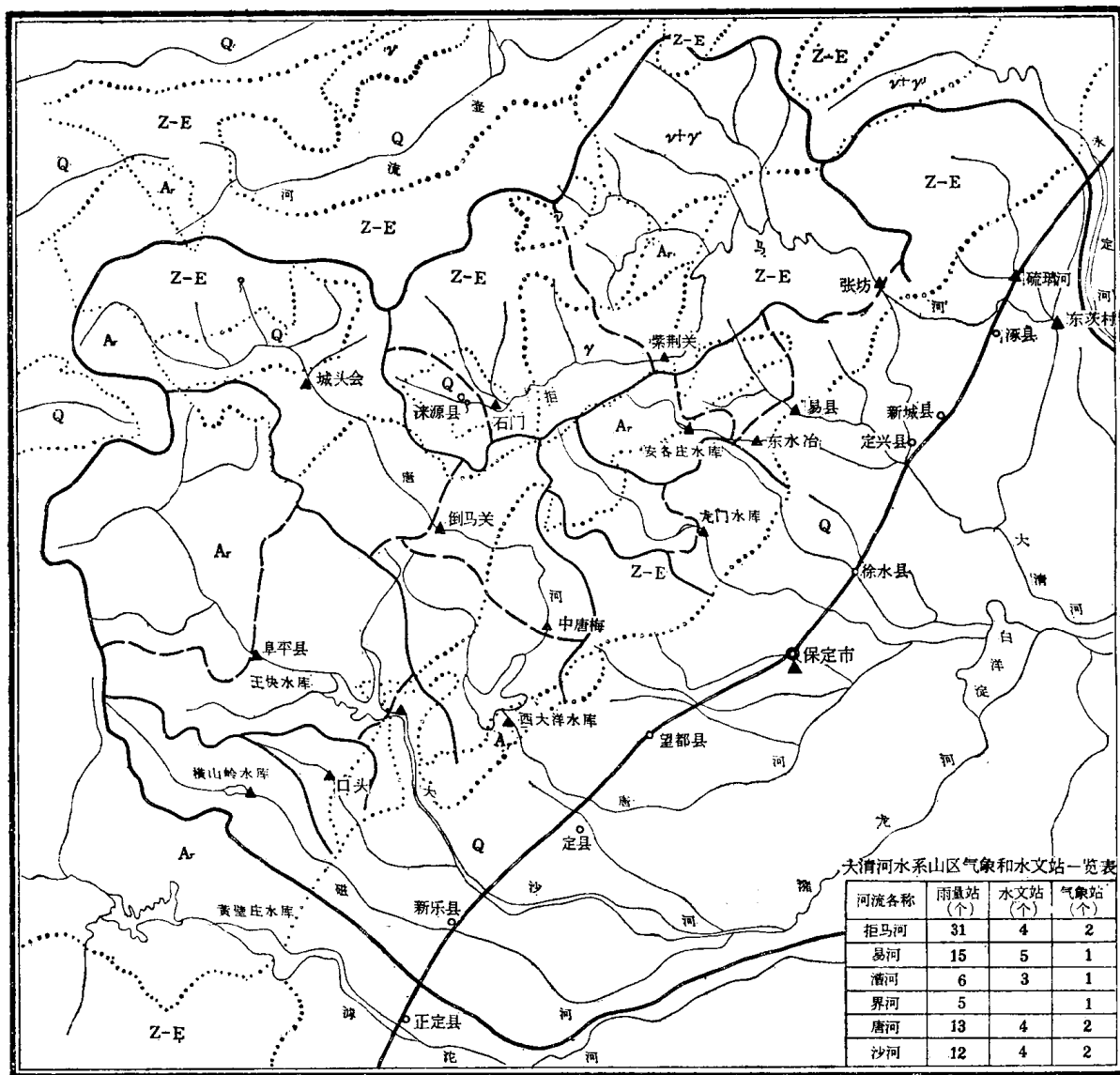
一、评价方法

按地下水均衡原理，一个闭合流域的地下水天然资源，主要是指在天然条件下地下水直接或间接接受大气降水补给而形成的多年平均补给量（包括传统概念的动储量和调节储量）。计算这个量是比较复杂的。在山区河流是当地地下水（主要是浅部径流及一

部分深层径流)排泄通道的前提下,上述多年平均补给量就可以用水文站测得的排泄入河流的地下径流量(基流量)的多年平均值来表示。并以排泄入河流的地下径流模数、地下径流系数及河流的地下补给系数等定量指标来评价。

但由于基岩山区的各个地区之气象、水文、地质、水文地质条件的差别很大,所以,对山区进行地下水天然资源评价时,必须首先按水文-水文地质条件进行分区和划分流域,然后对各流域的地下水径流进行研究。

具体到大清河水系来说(见图1),本区位于山西五台隆起和燕山沉降带的结合部位,区内中部阜平-白涧隆起(主要为变质岩和后期侵入的火成岩体等)将西北部涞源



Q 1 Z-E 2 vtγ 3 Ar 4 5 6 7 8 9 10 11 12

图1 大清河水系的分布及地质略图

1—第四系; 2—震旦纪至第三纪沉积岩; 3—侏罗纪火山岩和燕山期火成岩; 4—前震旦纪变质岩; 5—地层界限; 6—水系分水岭; 7—河流分水岭; 8—水文站控制流域界限; 9—河流; 10—水库; 11—水文站; 12—泉水

盆地一带的沉积岩与东部狼牙山一带的沉积岩分布区隔断，故可相应地分成三个水文地质区：西北部涞源一带沉降构造水文地质区；中部阜平-白涧台隆构造水文地质区和东部狼牙山一带沉降构造水文地质区。

由于拒马河、唐河等都是跨越上述三个区的，显然给按区评价造成了困难。因此，在上述分区的基础上，结合河流流域的特点进而划分为水文站控制流域。如拒马河流域可分为：

石门水文站流域——由沉积岩组成的涞源盆地为一闭合流域，位于一个水文地质区内，水文地质条件比较简单。

紫荆关水文站流域——横跨两个水文地质区，为一闭合流域。上游为沉积岩组成的团圆复向斜及东团堡盆地、涞源盆地，下游为阜平-白涧隆褶带的火成岩。水文地质条件较复杂。

张坊水文站流域——横跨三个水文地质区，流域不甚闭合。上游为团圆复向斜及东团堡盆地、涞源盆地，中游分布有火成岩、火山岩及部分变质岩，下游为沉积岩组成的柏林城向斜及偏道子单斜。水文地质条件复杂。

本着先易后难的原则，在对上述各区水文站控制流域的分水岭进行现场踏勘的基础上，首先选择了条件比较简单的石门、阜平两个水文站（后者属于大沙河领域，为一闭合流域，位于变质岩区）进行试算，采用了河流水文图分解法：即把河流历年逐日平均流量过程线（见图2、图3）参照历年逐日平均降水量，按水文图切割法做了分解，从流量过程线上涨水部分的起涨点向流量过程线上退水部分的退水转折点连线，该线以上部分为洪峰流量，以下部分为基流量。并用其多年平均值表示地下水天然资源。

由于分解河流水文图尚存在一些问题，对流域面积较大的紫荆关、张坊两水文站，此次计算没有采用分割基流量，而以枯水期平均流量代替基流量。并选择了两种方案进行对比，一个方案是采用高割基流量，即10月至次年5月八个月枯水期流量平均值；另一个方案是采用低割基流量，即视情况舍掉10月至5月中的明显大的流量值，采用五个月至七个月的枯水期流量平均值。

对阜平水文站，采用了低割基流量与高割基流量两个方案。

鉴于农田灌溉用水具有集中于干旱季节（即河流的枯水季节）大面积开采的特点，为了做到在有补给保证的前提下进行合理开采，只按上述方法评价地下水天然资源，还不能完全满足要求，还需要进而解决在年际之间如何调节使用的问题。为此，我们按数理统计方法建立了多年调节模型，用以计算地下径流量年际之间的变化，并进行预测。

从对泉水、地表水的调查了解到：沉积岩地区，特别是碳酸盐岩类分布地区，地下水“库容”大，调节能力强，地下水常具有多年调节的特征。就是说，丰水年地下水不是骤然增多，枯水年地下水也不是即刻减少。正如广大贫下中农所说：“一年旱没感觉，二年旱水（指地下水）见少，连旱三年受不了。”而变质岩、火成岩地区，地下水“库容”小，调节能力差，地下水多是当年调节或二年调节。即丰水年地下水充沛，沟沟有水，坡坡出泉；到枯水年地下水明显减少，为数众多的较小沟谷断流，大部分泉水枯竭。

通过以上定性的分析可以看出，地下水天然资源在它本身的形成过程中，既与补给源有关，也与接受补给以及储存、运移的介质有关，其中补给源是决定性的因素。根据

我们观测资料的分析, 和水文工作中降水量与地表迳流量有一定的统计关系相仿, 降水量与地下水迳流量亦具有一定的统计关系。而地质、水文地质条件等的影响又使上述规律复杂化, 在普遍性中包含了特殊性。这说明, 在应用数理统计方法来探索不同地区地下水天然资源形成的某些规律, 寻求降水量等随机变量与地下迳流量(基流量)之间的统计关系, 以使用中长期降水预报资料预估近期地下迳流的动态变化时, 应当考虑地质、水文地质等条件的影响。

(一) 水文地质数学模型

根据上述分析, 初步选用以下两种数学模型进行对比, 一个是反映基流量与调节年份降水量统计关系的多年调节模型, 一个是反映当年基流量与当年降水量及前一年基流量统计关系的马氏过程模型。

1. 多年调节模型

对多年调节地区, 当年的基流量 Q_{J_i} 不仅受当年的降水量 P_i 的影响, 而且受前一年的降水量 P_{i-1} 的影响, 甚至受前两年的降水量 P_{i-2}, \dots , 前 $n-1$ 年的降水量 P_{i-n+1} 的影响。设 P_i 有 $\alpha_0 \times 100\%$ 影响 Q_{J_i} , P_{i-1} 有 $\alpha_1 \times 100\%$ 影响 Q_{J_i} , P_{i-2} 有 $\alpha_2 \times 100\%$ 影响 Q_{J_i} , \dots , P_{i-n+1} 有 $\alpha_{n-1} \times 100\%$ 影响 Q_{J_i} 。

$$\text{令 } \alpha_0 + \alpha_1 + \dots + \alpha_{n-1} = 1 \quad (1)$$

使得

$$\bar{P}_i = \alpha_0 P_i + \alpha_1 P_{i-1} + \dots + \alpha_{n-1} P_{i-n+1} \quad (2)$$

式中 \bar{P}_i 称为引用有效降水量, 是指各调节年份降水量中对基流量有影响部分的总和。根据观测资料绘制的 Q_{J_i} 与 \bar{P}_i 的散点图可知, 两者关系大致呈一直线, 初步认为 Q_{J_i} 与 \bar{P}_i 呈线性关系。因此, 要求选择的 $\alpha_0, \alpha_1, \dots, \alpha_{n-1}$ 能使得 \bar{P}_i 与 Q_{J_i} ($i=1, 2, \dots, s$) 的线性相关系数 r 的绝对值达到最大。与此同时, 配出 Q_{J_i} 依赖于 \bar{P}_i 的线性回归方程

$$Q_{J_i} = \beta_0 + \beta_1 \bar{P}_i \quad (3)$$

从而确定了历年降水量对基流量影响的数量关系。

把 (2) 式代入 (3) 式得

$$\begin{aligned} Q_{J_i} &= \beta_0 + \beta_1 (\alpha_0 P_i + \alpha_1 P_{i-1} + \dots + \alpha_{n-1} P_{i-n+1}) \\ &= \beta_0 + \beta_1 \alpha_0 P_i + \beta_1 \alpha_1 P_{i-1} + \dots + \beta_1 \alpha_{n-1} P_{i-n+1} \end{aligned}$$

$$\text{令 } a_0 = \beta_0, \quad a_1 = \beta_1 \alpha_0, \quad a_2 = \beta_1 \alpha_1, \quad \dots, \quad a_n = \beta_1 \alpha_{n-1} \quad (4)$$

则有

$$Q_{J_i} = a_0 + a_1 P_i + a_2 P_{i-1} + \dots + a_n P_{i-n+1} \quad (5)$$

这样, 我们就把问题归结为一个多元线性回归问题, (5) 式即为多元线性回归方程。

上述模型便称之为 n 年调节模型。

这样, 问题归结到根据 s 年的基流观测数据 $Q_{J_1}, Q_{J_2}, \dots, Q_{J_s}$ 及 $(s+n-1)$ 年的降水量观测数据 $P_{-n+2}, \dots, P_{-2}, P_{-1}, P_0, P_1, \dots, P_s$, 按最小二乘法来确定特定的回归系数 a_0, a_1, \dots, a_n 。

若确定 $\alpha_0, \alpha_1, \dots, \alpha_{n-1}$ 和 β_0, β_1 时, 由 (4) 式和 (1) 式可得

$$a_j = \frac{\alpha_{j+1}}{\beta_1} \quad (j=0, 1, 2, \dots, n-1)$$

$$\beta_0 = a_0, \beta_1 = a_1 + a_2 + \dots + a_n$$

a_0, a_1, \dots, a_{n-1} 即表示 $P_i, P_{i-1}, \dots, P_{i-n+1}$ 各年降水量影响基流量所占的比例。

若考虑当年蒸发的影响 (选用了影响蒸发的主要因素——年平均气温 T_i 和年平均湿度 e_i), 则回归方程为:

$$Q_{J_i} = a_0 + a_1 P_i + a_2 P_{i-1} + \dots + a_n P_{i-n+1} + a_{n+1} T_i + a_{n+2} e_i \quad (6)$$

利用上述回归方程 (5) 和 (6) 式可对基流量作预报 (不考虑蒸发影响用 (5) 式, 考虑蒸发影响用 (6) 式。比如, 当不考虑蒸发影响时, 次一年 (第 $s+1$ 年) 的基流量预报值为

$$Q_{J_{s+1}}^* = a_0 + a_1 P_{s+1} + a_2 P_s + \dots + a_n P_{s-n+2} \quad (7)$$

(第 $s+1$ 年的降水量 P_{s+1} 由气象预报给出)

若考虑区间预报, 则次一年 (第 $s+1$ 年) 的基流量 $Q_{J_{s+1}}$ 以 70% 的保证率落在

$$Q_{J_{s+1}}^* - \sigma^* \leq Q_{J_{s+1}} \leq Q_{J_{s+1}}^* + \sigma^*,$$

以 95% 的保证率落在

$$Q_{J_{s+1}}^* - 2\sigma^* \leq Q_{J_{s+1}} \leq Q_{J_{s+1}}^* + 2\sigma^*,$$

以 99% 的保证率落在

$$Q_{J_{s+1}}^* - 3\sigma^* \leq Q_{J_{s+1}} \leq Q_{J_{s+1}}^* + 3\sigma^*,$$

式中

σ^* ——剩余标准差。

2. 马氏过程模型

由于多年调节地区各水文站前一年的基流量综合反映了它以前的影响因素及其变化特征, 所以当年的基流量只受前一年的基流量和当年的降水量等的影响。以此类推, 显然“次年”的基流量与“前一年”是无关的, 也就是说, 在已知“当年”的条件下, “前一年”和“次年”是独立的。这一点正符合马尔柯夫性, 据此, 制订了马氏过程数学模型:

$$Q_{J_i} = a_0 + a_1 P_i + a_2 Q_{J_{i-1}} \quad (8)$$

并且可按

$$Q_{J_{s+1}}^* = a_0 + a_1 P_{s+1} + a_2 Q_{J_s}$$

来预报 $Q_{J_{s+1}}$, 其预报方法同多年调节模型。

(二) 观测系列的选择

根据有关气象站 1841—1972 年降水长系列分析, 看出一个降水周期大体为 35—40 年。而保定地区山区各雨量站系统观测大都从 1950 年开始, 而且从 1954—1974 年的年降水量有逐年减少的趋势 (见图 4), 尽管也呈现了两个小周期 (1954—1963, 1964—1973 年), 但通过计算累积频率 (见表 1), 明显看出二者相差较大, 这说明, 两个小周期的年降水系列的分配特征不够稳定, 换句话说, 它们对全系列来说代表性不强, 因此, 选用全系列参加计算。

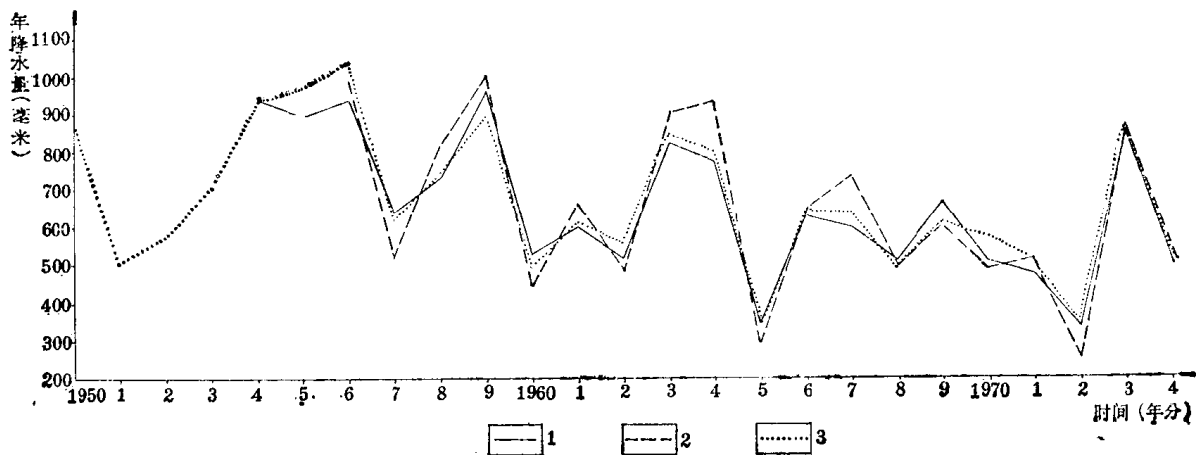


图4 典型水文站历年降水量曲线图

1—石门水文站年降水量曲线；2—阜平水文站年降水量曲线；3—紫荆关水文站年降水量曲线

表1 石门水文站降水量系列累积频率表

降水量 分组	300—450 (毫米)	450—600 (毫米)	600—750 (毫米)	750—900 (毫米)	>900 (毫米)
系列长					
1954--1963	0.00	0.30	0.50	0.71	1.00
1963—1974	0.18	0.63	0.81	1.00	1.00

鉴于此，受降水量影响或与降水量有关的气温、湿度、基流量等也用全系列参加计算。

对于缺测年份或观测系列短的水文站，粗略地点绘了与其相邻雨量站年降水量相关图或该雨量站与水文站年平均基流量相关图，按长系列的水文站资料进行了插补和延长。

(三) 用最小二乘法求回归方程中未知参数及计算程序

欲求多年调节模型(5)式、(6)式和马氏过程模型(8)式中的未知参数，为了便于数学运算，现将符号改写如下： y_k ($k=1, 2, \dots, m$)表示基流量观测值， \hat{y}_k 表示基流量回归值； a_j ($j=1, 2, \dots, N$)为回归方程中的未知参数(未知数)， x_{kj} 为回归方程中未知数的系数。

利用 m ($m > n$) 组观测数据来估计回归方程中的 N 个未知参数，则有矛盾方程组

$$XA = Y$$

式中 $X = (x_{kj})$ 为系数矩阵 (9)

($k=1, 2, \dots, m; j=1, 2, \dots, N$) ;

$$A = \begin{pmatrix} a_1 \\ a_2 \\ \vdots \\ a_N \end{pmatrix} \text{ 为未知数列向量；}$$

对 $C^{(0)}$ 逐步实行变换, 如对第 $l-1$ 步所得到的增广矩阵 $C^{(l-1)}$, 经过变换

$$\begin{cases} C_{ilj}^{(l)} = C_{ilj}^{(l-1)} / C_{ilj_1}^{(l-1)} & i \neq i_1, i_2, \dots, i_{l-1}; \\ & j_1 \neq j_1, j_2, \dots, j_{l-1} \\ C_{ij}^{(l)} = C_{ij}^{(l-1)} - C_{iji_1}^{(l-1)} \cdot C_{ilj}^{(l-1)} / C_{ilj_1}^{(l-1)}, & i \neq i_l, j = 1, 2, \dots, N+1 \end{cases}$$

得到增广矩阵 $C^{(l)}$, 直到第 N 步得到 $C^{(N)}$, 具体地说, 就是对 $C^{(0)}$ 逐行选主元, 记为 C_{ilj_1} , 每次变换后选的主元所在的行、列均不相同, 即每行每列只能选一个主元, 然后将主元所在的行之各元素 C_{ilj} 除以主元, 再把主元所在的列的各元素除主元外均消为零, 直到变换到 $C^{(N)}$ 时, 其前 N 列每行每列只有一个元素为 1, 其他元素均为零。第 $N+1$ 列给出了线性方程组 (12) 的解 a_j 。

将求出的参数 a_j 代入相应的回归方程, 便得到预报方程。而后计算了基流量回归值、剩余方差 D^* 和相关系数 r 等。整个计算过程是在 441-B₂ 型电子计算机上进行的, 其计算程序框图参看图 5。

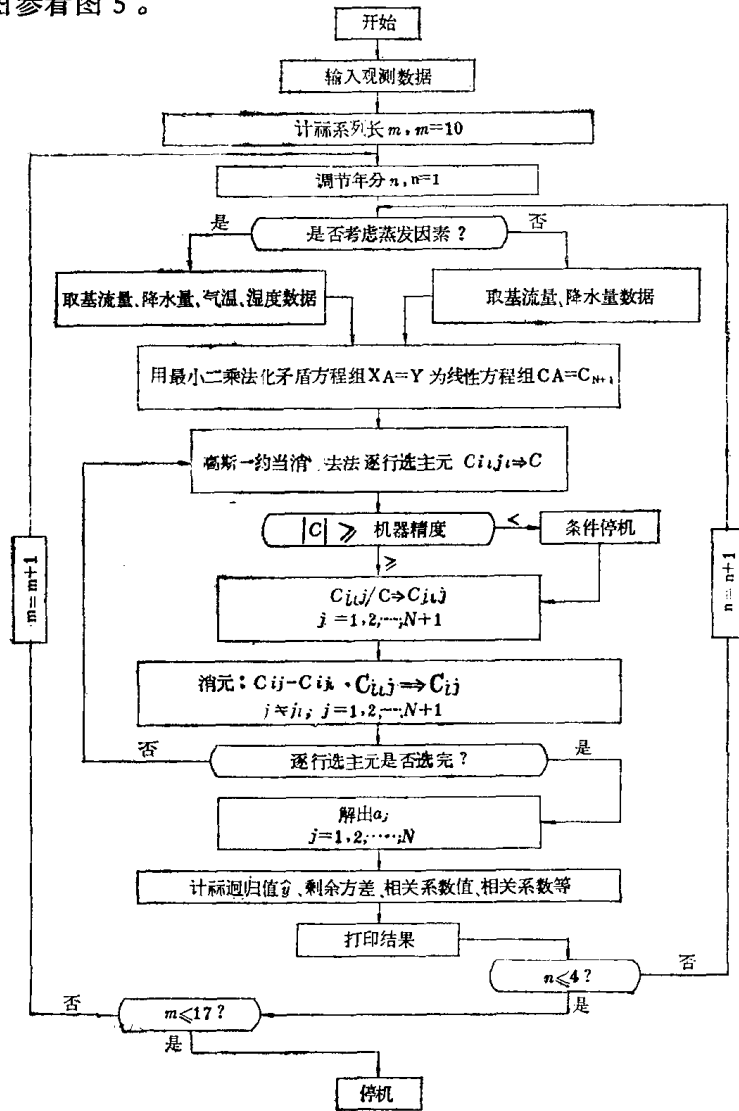


图 5 多年调节模型计算程序框图

(四) 数学模型的优选

为了优选合理的数学模型和较好的方案，现把典型地区不同计算系列长 m 、不同调节年份 n 的两个数学模型计算的剩余方差 D^* 和相关系数 r 的对比列于表 2。

表 2 典型水文站多年调节和马氏过程数学模型对比表

数学模型		多年调节											
水文站		石 门				阜 平				紫 荆 关			
m	n	D^*	r	D_T^*	r_T	D^*	r	D_T^*	r_T	D^*	r	D_T^*	r_T
10	1	1.33	0.26	1.40	0.51	0.45	0.93	0.30	0.97	3.42	0.16	2.45	0.69
	2	0.44	0.85	0.41	0.91	0.49	0.93	0.30	0.97	0.98	0.87	1.09	0.90
	3	0.15	0.96	0.12	0.98	0.49	0.95	0.36	0.97	0.29	0.96	0.34	0.98
	4	0.099	0.98	0.03	0.99	0.54	0.95	0.42	0.98	0.16	0.99	0.16	0.99
13	1	1.46	0.30	1.73	1.34	0.47	0.93	0.33	0.95	3.10	0.24	3.11	0.48
	2	0.51	0.84	0.39	0.91	0.37	0.94	0.35	0.95	0.84	0.88	0.87	0.90
	3	0.14	0.93	0.14	0.97	0.36	0.94	0.38	0.96	0.22	0.97	0.25	0.98
	4	0.084	0.98	0.029	0.98	0.40	0.95	0.42	0.96	0.13	0.99	0.13	0.99
16	1	1.37	0.50	1.55	0.53	0.65	0.88	0.62	0.90	3.25	0.42	3.27	0.54
	2	0.51	0.86	0.32	0.93	0.61	0.90	0.61	0.91	1.00	0.87	0.96	0.90
	3	0.17	0.96	0.13	0.97	0.50	0.92	0.54	0.93	0.31	0.97	0.35	0.97
	4	0.10	0.98	0.034	0.99	0.53	0.92	0.58	0.93	0.22	0.98	0.27	0.98
17	1	1.61	1.36	1.85	0.36					3.72	0.27	3.61	0.47
	2	0.48	0.87	0.34	0.92					0.98	0.88	0.92	0.90
	3	0.16	0.96	0.12	0.98					0.30	0.97	0.34	0.97
	4	0.099	0.98	0.031	0.99					0.20	0.98	0.24	0.98
基流分割方法		分割基流				高割基流				低割基流			

数学模型		马 氏 过 程					
水文站		石 门		阜 平		紫 荆 关	
m		D^*	r	D^*	r	D^*	r
9		0.65	0.76	0.58	0.91	1.59	0.69
10		0.55	0.80	0.50	0.91	1.33	0.72
11		0.47	0.83	0.44	0.91	1.14	0.74
12		0.44	0.85	0.41	0.91	1.05	0.76
13		0.39	0.87	0.36	0.93	1.05	0.79
14		0.35	0.89	0.52	0.89	0.95	0.83
15		0.32	0.90	0.55	0.88	0.86	0.85
16		0.31	0.90			0.88	0.85
基流分割方法		分割基流		高割基流		低割基流	

说明 n —调节年份(年); s —观测系列长(年); m —计算序列长(年);
 T —年平均气温($^{\circ}\text{C}$); e —年平均湿度(毫巴); D^* —剩余方差;
 r —相关系数; D_T^* , r_T —考虑蒸发因素时的 D 和 r

从石门水文站考虑蒸发的两个数学模型的计算成果看出，对 $m=17, n=4$ ，多年调节模型剩余方差 $D_7^*=0.031$ ，马氏过程模型 $D^*=0.31$ ；多年调节模型相关系数 $r_7=0.99$ ，马氏过程模型相关系数 $r_7=0.90$ 。多年调节模型的 D_7^* 值小，而 r_7 值大，因此，初步认为多年调节模型较好。

调节年份的确定：将相关系数 r_n ($n=1, 2, 3, 4$) 从小到大排列，并从大于0.80者开始依次进行两两比较，直到 $\Delta r < 0.05$ 为止，此时，选这两者中 D^* (或 D_7^*) 为最小者，它所对应的 n 值即是调节年份，所对应的数学模型即为 n 年调节模型。

例如：石门站 $m=s=17$ ，从 $n=2$ 以后 r 都大于0.80，由于 $r_3-r_2 > 0.05$ ，进而对比 r_4 和 r_3 ， $r_4-r_3 < 0.05$ ，而 D_4^* 小于 D_3^* ，所以选对应 D_4^* 、 r_4 的多年调节模型，即石门水文站是四年调节。

二、计算成果及天然资源形成的初步分析

根据优选的结果，现将石门、阜平、紫荆关等典型地区多年调节模型的回归系数列

表3 典型水文站多年调节模型回归方程参数计算成果表

水文站	影响因素	调节年份	回 归 方 程 参 数						剩余方差 D^*	相关系数 r	备 注	
			a_0	a_1	a_2	a_3	a_4	a_7				a_e
石	降 水	2	-2.12	0.0030	0.0058					0.48	0.87	分割基流
		3	-3.76	0.0031	0.0050	0.0032				0.16	0.96	
		4	-4.08	0.0027	0.0047	0.0028	0.0014			0.10	0.98	
门	降 水、 蒸 发	2	-5.54	0.0041	0.0065			-0.74	1.10	0.34	0.92	分割基流 a_7, a_e 为(6)式中蒸 发因素 T, e 的系 数
		3	-4.02	0.0039	0.0055	0.0027		-0.52	0.53	0.12	0.98	
		4	-4.08	0.0036	0.0053	0.0023	0.0015	-0.61	0.57	0.031	0.99	
阜	降 水	1	-0.35	0.0065						0.65	0.88	高割基流
		2	-1.29	0.0067	0.0013					0.61	0.90	
		3	-2.68	0.0070	0.0016	0.0017				0.50	0.92	
平	降 水、 蒸 发	1	-4.42	0.0075				-0.34	0.53	0.62	0.90	同 上
		2	-5.16	0.0075	0.0010			-0.25	0.47	0.61	0.91	
		3	0.000062	0.0081	0.0014	0.0017		-0.54	0.16	0.54	0.93	
紫 荆 关	降 水	2	-2.10	0.0044	0.0090					0.98	0.88	低割基流
		3	-4.45	0.0046	0.0078	0.0044				0.30	0.97	
		4	-4.66	0.0038	0.0075	0.0038	0.0018			0.20	0.98	
关	降 水、 蒸 发	2	2.41	0.0059	0.0087			-0.74	0.23	0.92	0.90	低割基流 气温湿度借用 易县气象站资料
		3	-1.41	0.0051	0.0077	0.0042		-0.24	-0.04	0.34	0.97	
		4	-4.25	0.0037	0.0075	0.0039	0.0019	0.041	-0.069	0.24	0.98	

于表3。利用上述回归方程计算了各年基流量的回归值，并与实测值进行了对比（参看图6、图7和图8）。下面简单说明一下由此而引出的水文地质结论：

1. 由图6看出， $n=1, 2, 3, 4$ 四条回归曲线差别很大，比较分散。 $n=1, 2$ 的回归曲线离实测曲线较远， $n=3, 4$ 的回归曲线离实测曲线很近，而 $n=4$ 最靠近实测曲线。这与前面按 D^* 和 r 确定的调节年份是相符的，说明四年调节回归方程较接近实际。其各年降水量对基流量影响比例为：当年占23%，前一年占41%，前二年占24%，前三年占12%。因此，初步确定涿源盆地石门水文站流域地下水呈3—4年调节、趋向于四年调节。地下迳流模数大， $M=8.97$ 升/秒·平方公里，地下迳流量占河流总迳流量的80.75%（参看表6）。

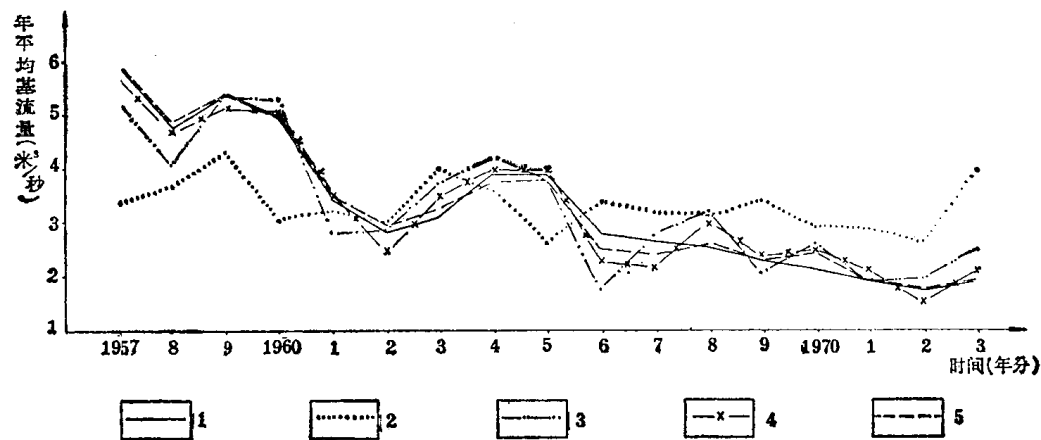


图6 石门水文站年平均基流量实测值与回归值（考虑蒸发因素）曲线对比图

1—实测曲线，2—一年调节回归曲线，3—二年调节回归曲线，4—三年调节回归曲线，5—四年调节回归曲线

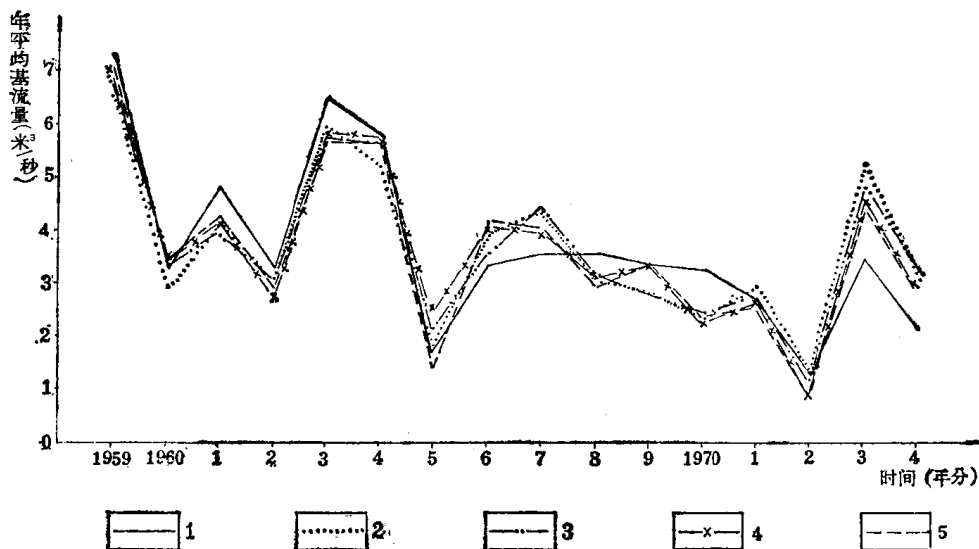


图7 阜平水文站年平均基流量实测值与回归值（考虑蒸发因素）曲线对比图

1—实测曲线，2—一年调节回归曲线，3—二年调节回归曲线，4—三年调节回归曲线，5—四年调节回归曲线

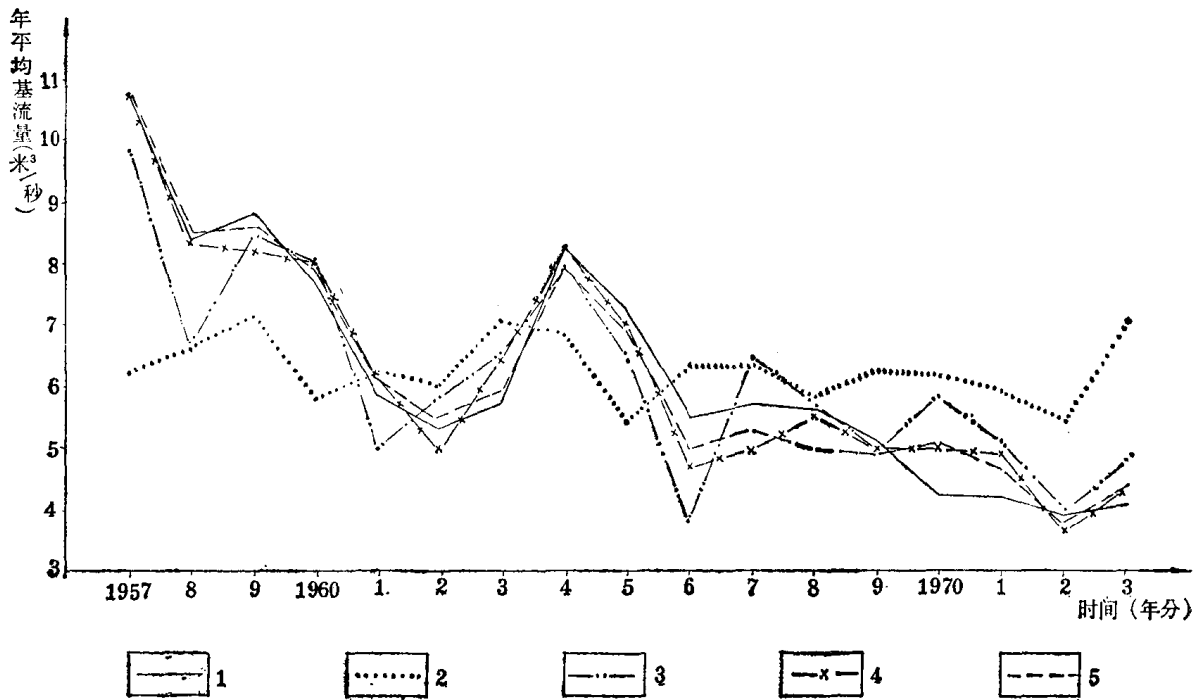


图8 紫荆关水文站年平均基流量与回归值(未考虑蒸发因素)曲线对比图

1—实测曲线, 2—一年调节回归曲线, 3—二年调节回归曲线, 4—三年调节回归曲线, 5—四回调节回归曲线

2. 图7中的 $n=1, 2, 3, 4$ 四条回归曲线形状相似, 比较靠近, 在实测曲线变幅较大的时候, 这四条曲线都随它变化, 且较为靠近它; 但在实测曲线变幅小或接近水平直线的时候, 这四条曲线的形状稍有变化。总之, 增加调节年份($n=3, 4$), 回归曲线改进很小, 结合前面确定调节年份的原则, 初步确定阜平隆起变质岩浅层风化裂隙水为1—2年调节, 总的趋势是二年调节, 其各年降水量对基流量影响比例为: 当年占84%, 前一年占16%。地下径流模数小, $M=1.70$ 升/秒·平方公里, 地下径流量只占河流总径流量的 $1/3$ (参看表6)。

3. 图8的曲线与图6类似, $n=1, 2$ 的曲线形状与实测曲线不一致且离实测曲线较远, $n=3, 4$ 的曲线形状接近实测曲线且靠近它, 而 $n=4$ 最靠近, 符合前面确定的调节年份, 所以初步判断类似紫荆关水文站控制的流域面积较大, 有沉积岩(约占 $2/3$)又有火成岩(约占 $1/3$)的水文地质条件较复杂的地区, 地下水呈现四年调节, 其各年降水量对基流量影响比例为: 当年占22%, 前一年占45%, 前两年占22%, 前三年占11%。并且看出紫荆关流域与石门流域水文条件和水文地质条件相类似。

从石门站—紫荆关站区间的计算成果(表4中低割基流量)看出, $n=3$ 的 D^* 值小而 r 值较大, 可以确定石门—紫荆关区间地下水呈现三年调节。

综上所述, 紫荆关站与石门—紫荆关这两个流域调节年份的差异, 目前认为主要是火成岩的水文地质条件与沉积岩不同所造成。因此, 紫荆关流域的地下径流模数和河流的地下补给系数也介于石门、阜平两流域之间(见表6)。

4. 对张坊水文站 ($m=14$)，当 $n=2$ 时， $r=0.92$ ， $D^*=9.11$ ；当 $n=3$ 时， $r=0.94$ ， $D^*=7.87$ ，可以看出，象张坊水文站控制的较大流域面积 (4813平方公里)，沉积岩与火成岩、火山岩等分布约各占一半的水文地质条件复杂区，地下水为三年调节。

表4 紫荆关—石门区间降水量与基流量回归分析成果表

分割方法		高 割		低 割	
m	n	D^*	r	D^*	r
10	1	1.28	0.441	0.716	0.177
	2	0.753	0.765	0.294	0.807
	3	0.738	0.807	0.220	0.881
	4	0.415	0.915	0.357	0.885
13	1	0.951	0.460	0.520	0.191
	2	0.547	0.767	0.224	0.793
	3	0.565	0.785	0.200	0.832
	4	0.453	0.853	0.231	0.833

备注 四年调节模型不适于高割基流量

表5 张坊—紫荆关区间降水量与低割基流量回归分析成果表

m	10				13				15			
n	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
D^*	6.46	2.20	2.38	2.82	7.98	1.85	1.83	2.05	7.27	1.57	1.58	1.70
r	0.530	0.886	0.895	0.896	0.526	0.921	0.930	0.930	0.513	0.923	0.930	0.931

表6 拒马河与大沙河河流域地下水天然资源初步计算成果一览表

水系	水文站 控制流域	流域 面积 (平方 公里)	主要岩性	多年 平均 降水量 (毫米)	多 年 平 均 径 流 量 (米 ³ /秒)	基流 分 割 方 法	多 年 平 均 基 流 量 (米 ³ /秒)	地 下 径 流 模 数 (升/秒· 平方公 里)	地 下 径 流 系 数 (%)	河 流 地 下 补 给 系 数 (%)	备 注
拒 马 河	石 门	360	第四纪砂卵石层, 沉积岩	650.7	4.00	分割 过程 线	3.23	8.97	43.48	80.75	各类岩性 分布面积 以1/50万 地质略图 用求积仪 求出, 流域面积 用水文站 资料
	石门—紫 荆关区间	1404	沉积岩、火成岩 约各占一半	665.8	8.05	低割	3.37	2.40	11.37	41.86	
	紫荆关	1764	沉积岩约占2/3, 火成岩约占1/3	662.9	12.05	"	6.60	3.74	17.80	54.77	
	紫荆关— 张坊区间	3053	沉积岩、火成岩 (局部有变质岩、 火山岩) 约各占 一半	626.5	18.56	"	7.65	2.51	12.61	41.22	
	石门—张 坊区间	4453	"	653.7	26.61	"	11.02	2.47	11.94	41.41	
	张 坊	4813	"	658.0	30.61	"	14.25	2.96	14.19	46.55	
大沙河	阜 平	2214	变质岩	637.0	11.28	高割	3.77	1.70	8.43	33.42	