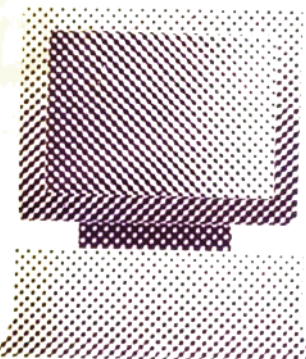
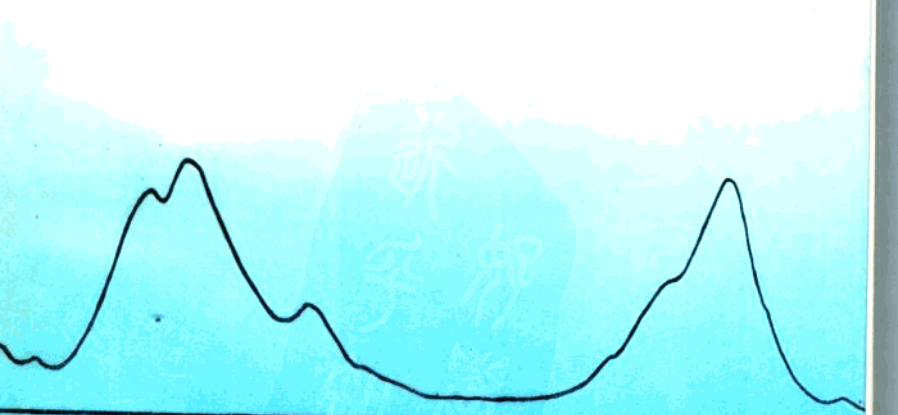


翟家瑞编著



常用水文预报算法 和计算程序



黄河水利出版社

前 言

水是人类生活与生产劳动所必需的物质。水文学是研究自然界各水体的运动、变化和分布规律的一门学科。随着工、农业的迅速发展和人口的急剧增长,人们对水的需求日益增加,因此对水文学的要求也就更高。

计算机是一门新生科学,其FORTRAN语言是目前国内外科技计算中使用最广泛的一种计算语言。计算机技术已广泛用于水文领域,在解决水文实际问题和进行水文规律研究上都起着重要的作用,大大促进了水文学学科的发展。

为了使计算机技术更多更好地在水文领域发挥作用,便于实现联机预报,提高洪水预报的精度和增长洪水预报的有效预见期,为水利水电工程的设计、调度、管理提供方便,特编著《常用水文预报算法和计算程序》一书。

该书主要介绍一些国内常用的水文预报算法,包括流域降雨径流模型、纳须时段单位线、河道汇流模型、水库调洪计算等,并提供了它们相应的FORTRAN语言子程序。为了使程序具有灵活和通用性,在程序中没有使用任何库软件,语言尽可能简化和通俗。可用FORTRAN66或FORTRAN77在各类小型机和微机上编译运行。

本书共分十章,第一章至第五章分别介绍了国内常用的几种流域降雨径流模型,它们是河海大学的新安江(三水源)

模型与陕北模型、美国的萨克拉门托模型、日本的水箱模型,以及降雨径流经验相关($P \sim P_e \sim R$)模型。以上五个模型的相应程序都是一个单元面积上的降雨径流计算模型,输入是单元面积上的平均降雨量和蒸发能力序列,输出除了 $P \sim P_e \sim R$ 是单元面积上的净雨过程外,其它都是单元出口处的流量过程。各程序都是遵照原文编制的,并且尽可能使之容易调用。不过,新安江(三水源)模型的三水源划分有别于参考文献[1],这是因为参考文献[1]中水源划分公式有误,本书作了改正。陕北模型中采用了流域下渗能力分布曲线,使之可以用于较大的流域,并具有实用价值。第六章是水库调洪计算。它是由水库入库流量序列,根据初始库水位和水库在一次洪水期间的实际或计划泄水建筑物启闭情况,进行水库调洪计算,求出该调度方式下的水库出库流量、库水位、库蓄水量序列。该程序适用于水库的实时调度。第七章是马斯京根法。主要介绍马斯京根法(以下简称马法)在国内几种不同的应用形式,即基本马法、分段马法、变参数马法、非线性马法、分层马法,以及各方法的特点和相互关系,并分别给出了各种形式的计算程序。第八章和第九章分别是纳须单位线法和反馈模拟实时校正及它们相应的计算程序。第十章给出了直线插值、抛物线插值、水位与流量的换算、单位线推流计算、时段单位线的转换、马斯京根演算参数 K 与 x 及汇流系数的计算、误差统计与分析、等时段流量(或水位、雨量)序列的生成与打印过程线、径流量与输沙量的计算、流量序列的特征值统计等 13 和其它常用的水文计算子程序。

为了便于使用,前九章除了包括方法介绍、计算程序及说

明外,还分别给出了计算实例。

河海大学教授黄孝芳、水利部水利信息中心高级工程师刘金清、黄河水利委员会教授级高工辛国荣对该书进行审阅,避免了疏漏;冯立立同志在本书的编写中做了大量的工作;本书的出版得到黄河水利委员会及委河务局等单位领导和周围同志们的大力支持,在此一并表示衷心感谢。

由于作者水平所限,不妥之处在所难免,恳请读者批评指正。

翟家瑞

1994年6月

目 录

前 言

第一章 新安江(三水源)模型	(1)
第一节 模型结构	(1)
一、蒸散发计算	(1)
二、产流量计算	(4)
三、水源划分	(5)
四、汇流计算	(8)
五、不同时段长度的转化	(12)
第二节 模型计算程序	(13)
一、计算程序	(13)
二、程序说明	(18)
第三节 实例	(20)
一、主程序	(20)
二、实例说明	(21)
第二章 萨克拉门托模型	(23)
第一节 模型结构	(23)
一、产流量计算	(23)
二、蒸散发计算	(26)
三、水分交换计算	(27)
四、下渗计算	(27)
五、模型参数的意义	(29)
六、几个主要参数对洪水的影响	(30)
第二节 模型计算程序	(30)

一、计算程序	(31)
二、程序说明	(38)
第三节 实例	(39)
一、主程序	(39)
二、实例说明	(40)
第三章 水箱模型	(42)
第一节 模型结构	(42)
第二节 模型计算程序	(45)
一、计算程序	(46)
二、程序说明	(47)
第三节 实例	(49)
一、主程序	(49)
二、实例说明	(50)
第四章 陕北模型	(52)
第一节 模型结构	(52)
一、点降雨径流模型	(52)
二、降雨和下垫面空间分布不均匀的考虑	(55)
三、陕北模型推流步骤	(56)
第二节 模型计算程序	(58)
一、计算程序	(58)
二、程序说明	(61)
第三节 实例	(62)
一、主程序	(62)
二、实例说明	(63)
第五章 降雨径流相关图法	(65)
第一节 降雨径流相关图	(65)
一、概述	(65)
二、 P_s 的计算	(66)
三、相关图推流计算	(66)
第二节 $P \sim P_s \sim R$ 计算程序	(68)
一、 $P \sim P_s \sim R$ 程序	(68)

二、程序说明	(71)
第三节 实例	(72)
一、主程序	(72)
二、实例说明	(73)
第六章 水库调洪演算	(76)
第一节 计算方法	(76)
第二节 水库调洪计算程序	(78)
一、计算程序	(78)
二、程序说明	(80)
第三节 实例	(81)
一、主程序	(81)
二、实例说明	(83)
第七章 马斯京根法	(86)
第一节 基本马法	(86)
第二节 分段马法	(87)
一、方法介绍	(87)
二、分段马法计算程序	(87)
三、实例	(89)
第三节 变参数马法	(91)
一、方法介绍	(91)
二、变参数马法计算程序	(92)
三、实例	(94)
第四节 非线性马法	(96)
一、非线性马法计算公式	(96)
二、非线性马法计算程序	(97)
三、实例	(101)
第五节 分层马法	(103)
一、方法简介	(103)
二、方法特点	(104)
三、分层马法计算程序	(106)
四、实例	(109)

第六节 讨论	(110)
一、各方法间的关系	(111)
二、区间来(引)水的处理	(111)
三、马法的预见期和预报误差	(111)
第八章 纳须单位线法	(114)
第一节 基本概念	(114)
一、纳须瞬时单位线	(114)
二、纳须时段单位线	(114)
三、纳须单位线 n, k 的计算	(116)
第二节 计算程序	(118)
一、求 n 和 k 的计算程序	(118)
二、纳须时段单位线的计算程序	(120)
第三节 实例	(121)
第九章 反馈模拟实时校正	(124)
第一节 模型简介	(124)
第二节 实时校正计算程序	(126)
一、计算程序	(126)
二、程序说明	(128)
第三节 实例	(129)
第十章 其它常用水文计算子程序	(131)
一、直线插值	(131)
二、抛物线插值	(132)
三、水位与流量的换算	(135)
四、单位线推流计算	(137)
五、时段单位线的转换	(139)
六、马斯京根演算参数 K 与 x 的计算	(141)
七、马斯京根汇流系数的计算	(142)
八、误差统计与分析	(144)
九、等时段流量(或水位)序列的生成	(147)
十、等时段雨量序列的生成	(150)
十一、打印过程线	(155)

十二、径流量、输沙量的计算	(159)
十三、流量序列的特征值统计	(165)
附录 黄河洪水预报及调度系统简介	(171)
一、系统综述	(171)
二、数据库及其管理	(171)
三、方法库及其管理	(172)
四、模型库及其管理	(173)
五、三库间的关系	(176)
参考文献	(178)

第一章 新安江(三水源)模型

第一节 模型结构

新安江模型是河海大学(原华东水利学院)水文系1973年对新安江水库作入库流量预报时提出来的,是一个分布式的概念性流域降雨径流模型。10多年来在我国湿润地区和半湿润地区多有应用,并于80年代中期发展改进成为新安江(三水源)模型。

本节仅介绍作一个单元面积降雨径流计算的新安江(三水源)模型。其相应的程序流程图如图1-1所示。下面就图中各部分的处理方法和计算公式分别作介绍。

一、蒸散发计算

新安江(三水源)模型中的蒸散发计算采用的是三层蒸发计算模式,它的输入是蒸发器实测水面蒸发和流域蒸散发能力的折算系数 K ,模型参数是上、下、深三层的蓄水容量 WUM 、 WLM 、 WDM ($WM = WUM + WLM + WDM$)和深层蒸散发系数 C 。输出是上、下、深各层的流域蒸散发量 EU 、 EL 、 ED ($E = EU + EL + ED$)。计算中包括三个时变参数,即各层土壤含水量 WU 、 WL 、 WD ($W = WU + WL + WD$)。 WM 、 E 、 W 分别表示总的土壤蓄水容量、蒸散发量和土壤含水量。

各层蒸散发的计算原则是,上层按蒸散发能力蒸发,上层含水量不够蒸发时,剩余蒸散发能力从下层蒸发,下层蒸发与剩余蒸散发能力及下层含水量成正比,与下层蓄水容量成反比。要求计算的下层蒸发量与剩余蒸散发能力之比不小于深层蒸散发系数 C ,否则,不足部分由下层含水量补给,当下层水量不够补给时,

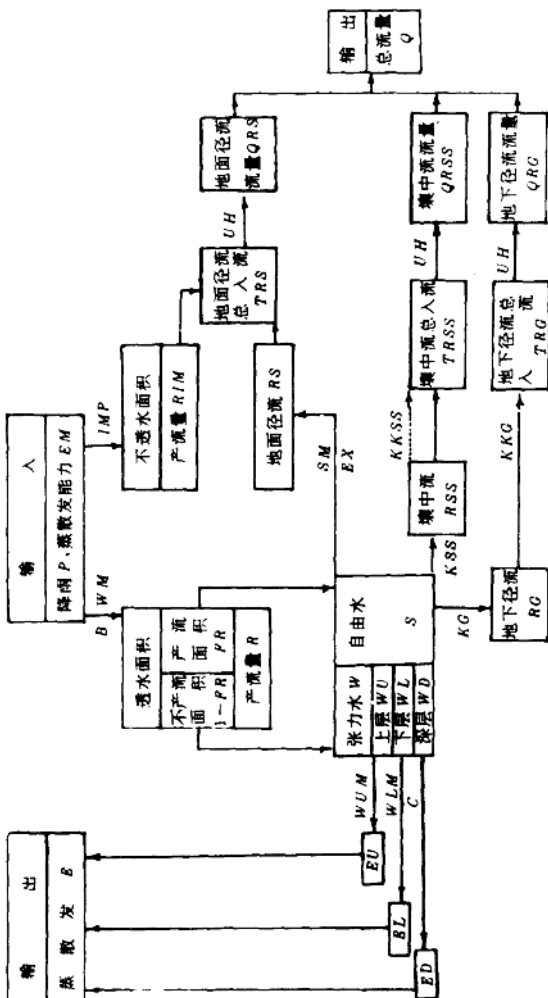


图1-1 新安江（三水源）模型流程图

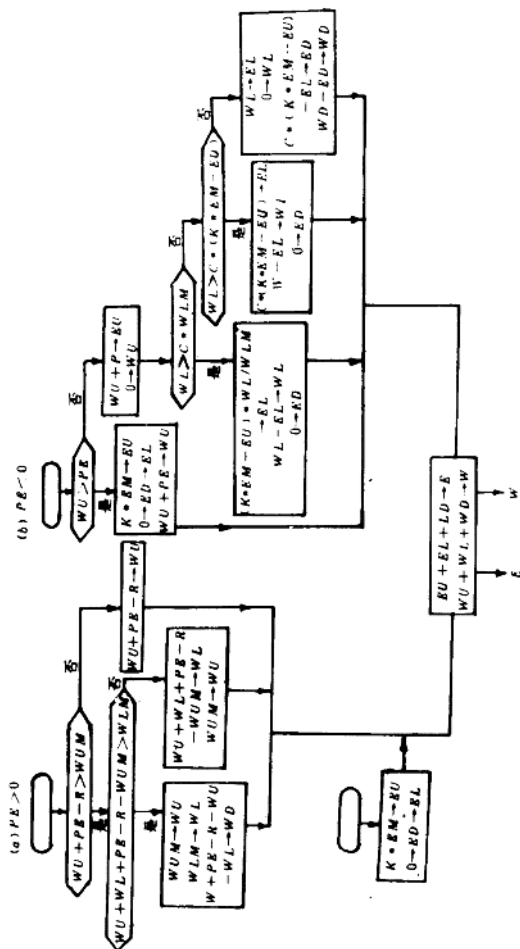


图1-2 蒸散发计算程序框图

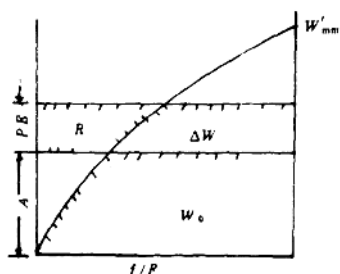


图1-3 流域蓄水容量曲线

用深层含水量补。三层蒸散发
计算程序框图见图1-2。其中
 $PE = P - K \cdot EM$, P 是降雨。

二、产流量计算

产流量计算系根据蓄满产
流理论得出的。所谓蓄满,是指
包气带的含水量达到田间持水
量。在土壤湿度未达到田间持
水量时不产流,所有降雨都被
土壤吸收,成为张力水。而当土

壤湿度达到田间持水量后,所有降雨(减去同期蒸发)都产流。

上面是对流域上某一点而言的,一般说来,流域内各点的蓄
水容量并不相同。新安江(三水源)模型把流域内各点的蓄水容量
概化成如图1-3所示的一条抛物曲线。用 W'_{mm} 表示流域内最大的
点蓄水容量, W'_m 表示流域内某一点的蓄水容量, f 表示蓄水能
力 $\leq W'_m$ 值的流域面积, F 表示流域面积, B 表示抛物线指数。其
公式为

$$\frac{f}{F} = 1 - \left(1 - \frac{W'_m}{W'_{mm}}\right)^B \quad (1-1)$$

流域平均蓄水容量为

$$WM = \int_0^{W'_{mm}} \left(1 - \frac{f}{F}\right) dW'_m = \frac{W'_{mm}}{B+1} \quad (1-2)$$

与流域初始平均蓄水量(W_0)相应的纵坐标(A)为

$$A = W'_{mm} \left[1 - \left(1 - \frac{W_0}{WM}\right)^{\frac{1}{B+1}}\right] \quad (1-3)$$

当 $PE > 0$, 则产流; 否则不产流。产流时,

当 $PE + A < W'_{mm}$

$$R = PE - WM + W_0 + WM \left[1 - \frac{PE + A}{W'_{mm}} \right]^{n+1} (1 - A)$$

当 $PE + A \geq W'_{mm}$

$$R = PE - (WM - W_0) \quad (1 - A')$$

作产流计算时,模型的输入为 PE ,参数包括流域平均蓄水容量 WM 和抛物线指数 B ;输出为流域产流量 R 及流域时段末平均含水量 W 。

三、水源划分

新安江(三水源)模型采用一个自由水蓄水库进行水源划分,自由水蓄水库设置两个出口,其出流系数分别为 K_{SS} 和 K_G 。产流量 R 进入自由水水库内,通过两个出流系数和溢流的方式把它分成地面径流(RS)、壤中流(RSS)和地下径流(RG)。自由水蓄水库的结构见图1-4。

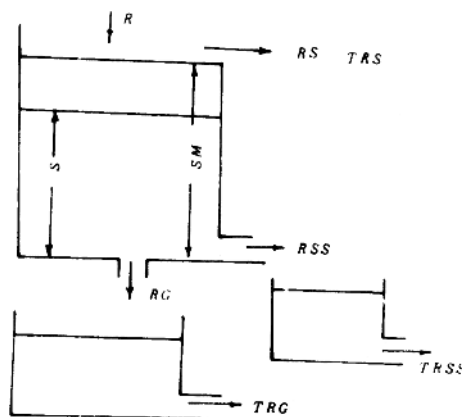


图1-4 自由水蓄水库的结构

自由水的蓄水能力在产流面积(FR)上的分布也是不均匀的。模仿张力水分布不均匀的处理方式,把自由水蓄水能力在产流面积上的分布也用一条抛物线来表示(见图1-5)。用 $SMMF$ 表示产流面积上最大一点的自由水蓄水容量, SMF 表示产流面积上的自由水平均蓄水容量深, SMF' 表示产流面积上某一点的自由水容量, FS 表示自由水蓄水能力 $\leq SMF'$ 值的流域面积占产流面积(FR)的百分数。 S 表示自由水在产流面积上的平均蓄水深, EX 表示流域自由水蓄水容量曲线的指数, 产流面积上各点的自由水蓄水容量关系为

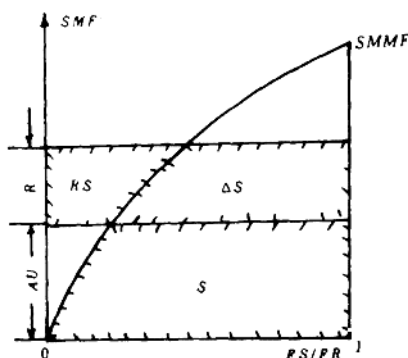


图1-5 流域自由水蓄水容量曲线

$$\frac{FS}{FR} = 1 - \left(1 - \frac{SMF'}{SMMF}\right)^{EX} \quad (1-5)$$

产流面积上的平均蓄水容量深(SMF)为

$$SMF = \frac{SMMF}{1 + EX} \quad (1-6)$$

与 S 对应的纵坐标(AU)为

$$AU = SMMF \left[1 - \left(1 - \frac{S}{SMF}\right)^{\frac{1}{(1+EX)}}\right] \quad (1-7)$$

当 $PE + AU < SMMF$ 时, 地面径流量(RS)为

$$RS = FR \cdot \int_{AU}^{PE+AU} \frac{FS}{FR} dSMMF'$$

$$= FR \cdot \{PE - SMMF + S + SMMF[1 - \frac{(PE + AU)}{SMMF}]^{EX+1}\}$$

(1-8)

当 $PE + AU \geq SMMF$

$$RS = FR \cdot (PE + S - SMMF) \quad (1-8')$$

显然, $SMMF$ 和 SMF 都是产流面积(FR)的函数, 是变化的, 无法确定。我们假定 $SMMF$ 与产流面积(FR)及全流域上最大点的自由水蓄水容量(SMM)的关系仍为抛物线分布

$$FR = 1 - (1 - \frac{SMMF}{SMM})^{EX} \quad (1-9)$$

则

$$SMMF = [1 - (1 - FR)^{\frac{1}{EX}}]SMM \quad (1-10)$$

$$SMM = SM \cdot (1 + EX) \quad (1-11)$$

在用式(1-5)~(1-8)进行计算时, 必须首先用式(1-10)和式(1-11)计算出 $SMMF$ 来。而流域的平均自由水容量 SM 和 EX 对一个流域来说是固定的, 属模型率定参数。

已知上时段的产流面积($FR0$)和产流面积上的平均自由水深($S0$), 根据时段产流量(R), 计算时段地面径流、壤中流、地下径流及本时段产流面积(FR)和 FR 上的平均自由水深(S)的步骤是

$$FR = R/PE$$

$$S = S0 \cdot FR0/FR$$

$$SMM = SM \cdot (1 + EX)$$

$$SMMF = SMM \cdot [1 - (1 - FR)^{1/EX}]$$

$$SMF = SMMF/(1 + EX)$$

$$AU = SMMF \cdot [(1 - (1 - S/SMF)^{1/(1+EX)})]$$

(1) 当 $PE + AU \leq 0$ 时

$$RS = 0$$

$$RSS = 0$$

$$RG = 0$$

$$S = 0$$

(2) 当 $PE + AU \geq SMMF$ 时

$$RS = (PE + S - SMF) \cdot FR$$

$$RSS = SMF \cdot KSS \cdot FR$$

$$RG = SMF \cdot KG \cdot FR$$

$$S = SMF - (RSS + RG) / FR$$

(3) 当 $0 < PE + AU < SMMF$ 时

$$RS = \{PE - SMF + S + SMF[1 - (PE + AU) / SMMF]^{(KX+1)}\} \cdot FR$$

$$RSS = (PE + S - RS / FR) \cdot KSS \cdot FR$$

$$RG = (PE + S - RS / FR) \cdot KG \cdot FR$$

$$S = S + PE - (RS + RSS + RG) / FR$$

在自由水蓄水库的计算中, 存在差分计算的误差问题。为了消除这些影响, 采用5mm 净雨分一段, 进一步分段计算。其程序的计算流程见图1-6。

四、汇流计算

流域汇流计算包括坡地和河网两个汇流阶段。

坡地汇流是指水体在坡面上的汇集过程。在该汇流阶段, 水流不但发生水平运动, 而且还有垂向运动。在流域的坡面上, 地面径流的调蓄作用不大, 地下径流受到大的调蓄, 壤中流所受调蓄介于二者之间。

河网汇流是指水流由坡面进入河槽后, 继续沿河网的汇集过程。在河网汇流阶段, 汇流特性受制于河槽水力学条件, 各种水源