

对龙溪河洪水预报的探讨

郑天聪

(长寿电厂)

一、概况

龙溪河流域位于四川省东南部丘陵地带，系长江北岸的一条小支流，发源于梁平县境内，流经梁平、垫江、长寿三县注入长江。整个流域近似长方形，全河长190公里，流域面积3280公里²，冷水溪水文站（六剑滩）以上2380公里²，在狮子滩水库坝址以上为3020公里²。

流域内较大暴雨发生在5~9月，尤以6~7月较为集中，降水充沛，狮子滩多年平均降水量为1174.5毫米，最大年降水量为1458.4毫米。流域地质属川东地区向斜层，岩层由白垩纪砂岩、页岩组成。地表层覆盖较薄，泉水稀少，河水全由降雨供给，不雨则旱。且流域面积小，暴雨集中，集流迅速，水势陡涨陡落，一次降雨形成的洪水过程，大多为尖瘦单峰，其过程为三天，亦有少数连续降雨形成复峰，其过程可持续6~7天。实测最大流量为2870米³/秒，调查的历史洪水出现在1870年，最大流量为4100米³/秒。

狮子滩水库坝址以上设有冷水溪（六剑滩）水文站和老云、梁平、马家、回龙、梅市、垫江、沙河、高洞、双河、飞龙、狮子滩（袁家坪）等11个雨量站。采用专用电台和电话报汛（图1）。

1964年以前原采用苏联的初损后损法（计算前期影响雨量十五天）作预报，经过长期实践其计算方法和采用参数不符合龙溪河的实况。基于这一点，1964年对梯级电站安全和下游防洪要求，结合生产需要，不断对降雨径流计算方法和参数进行探索，在理论上仍采用初损后损法，但计算方法和参数计算进行了重新处理。经二十年实践表明，采用的各项径流参数和预报方法，基本上接近流域实况，计算简捷，预报成果比较可靠，洪水总量精度在90%以上。

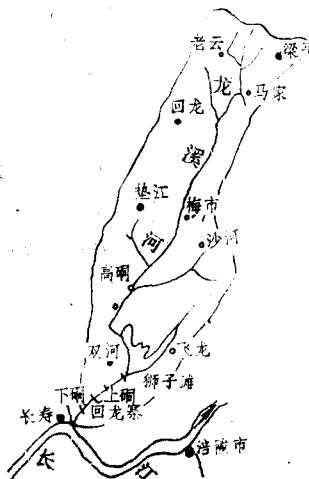


图1

二、参数计算

本流域蓄满产流和超渗产流同时存在，以蓄满产流为主，扣损系用初损后损法。扣损主要包括植物截留、地面填洼和下渗等，一部分成为土壤含水量，以后逐渐蒸发掉，另一部分则渗入地下，成为地下径流。

径流过程是由暴雨过程扣除损失过程之后的净雨深形成的。解决扣损问题是降雨径流预报的关键。经过较长时间的实践与摸索，对各参数采用如下方法计算。

1. 最大土壤含水量 I_M (毫米)

由于川东地区在7~8月或9月产生长期严重伏旱和秋旱，因此，可选出本流域长期高温干旱的资料，即在全流域两次产流过程之间长期土壤无降雨补给，则后者 P_a 趋近于零，此时，当一场降雨到达地面，土壤逐渐达到饱和程度的总吸收量，为了计算初损方便，减去后损部分，即为最大土壤含水量。

当 $P_a \rightarrow 0$ 时则

$$\begin{aligned} I_M &= P - (R_{\text{实}} + f_c t) \\ &= \bar{P} - \frac{1}{F} \int Q dt - f_c t \end{aligned} \quad (1)$$

式中 $R_{\text{实}}$ ——实测净雨深(毫米)，从实测资料中求得；

P ——流域平均降雨量(毫米)；

F ——流域面积(公里²)；

f_c ——稳定入渗(毫米)；

Q ——流量(米³/秒)；

t ——时间(小时)。

根据上式对本流域暴雨径流资料分析计算， I_M 采用 100 毫米。

2. 雨量站控制面积土壤含水量 P_{ai} (毫米)

一次径流过程形成后，土壤含水量达到饱和，此之后如无降雨补充，由于蒸发作用和重力下渗作用，土壤中的含水量随时间的增长而逐渐减少(图 2)。

当地面无降雨补充时则

$$P_{ai} = I_M K^t - \frac{1}{K^t} + \Sigma K^t P_t \quad (2)$$

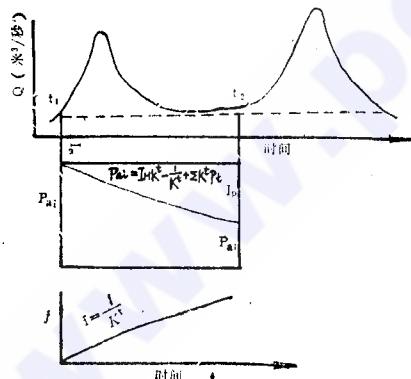
当有降雨补充时，土壤含水量就有所增加则

$$P_{ai} = I_M K^t - \frac{1}{K^t} + \Sigma K^t P_t + \frac{P_t}{K^t} \quad (3)$$

图 2 P_{ai} 从土壤达到饱和之日起，直到形成第二次径流起涨之前，在其间若 P_{ai} 值超出 I_M 值，仍采用 I_M 值。

在预报中为了简便计算，将 $\frac{1}{K^t}$ 以 $\frac{1}{K^t}$ 代替，不逐日计算，待连续演算至第二次径流起涨之前作一次查表计算。

上式中 K 为土壤含水量消退系数。用高洞单站 E601 型日蒸发量查得(图 3)，并假定蒸发作用引起的 K 值与重力下渗作用的 K 值相同； P_t 为日降水量(毫米)； I_M 为最大土壤含水量(毫米)；



3. 流域平均土壤含水量 \bar{P}_s (毫米)

$$\bar{P}_s = \frac{1}{F} \sum P_{si} f_i \quad (4)$$

式中 f_i 为雨量站相应控制面积, 采用太森法求算 (公里²) ; P_{si} 、 F 同前.

4. 土壤含水量消退系数 K

选择前期无降水发生的实测径流资料, 使 $\sum K^t P_t = 0$ 则:

$$\bar{P}_{s\text{实}} = K^t I_M - \frac{1}{K^t} \quad (5)$$

式中 t 为时间 (日); $\bar{P}_{s\text{实}}$ 为流域平均实测前期土壤含水量 (毫米) 用下式求得:

$$\bar{P}_{s\text{实}} = I_M - I_{p\text{实}} \quad (6)$$

式中 $I_{p\text{实}}$ 为实测初损。从选择的实测径流资料求得; I_M 同前。

将 (5) 式两端乘以 K^t , 移项得:

$$I_M K^{2t} - \bar{P}_{s\text{实}} K^t - 1 = 0$$

$$K^t = \frac{\bar{P}_{s\text{实}} + \sqrt{\bar{P}_{s\text{实}}^2 + 4 I_M}}{2 I_M}$$

令公式右端为 A , 并对两端取对数得:

$$\lg K = \frac{1}{t} \lg A \quad (7)$$

取 $\bar{P}_{s\text{实}}^2 + 4 I_M > 0$; $\bar{P}_{s\text{实}} + \sqrt{\bar{P}_{s\text{实}}^2 + 4 I_M} > 0$.

从实测资料中计算出一系列的 K 值, 与高碑 E601 型平均蒸发量 (两次径流过程之间) 点绘 $K \sim Z$ 曲线 (图 3)。

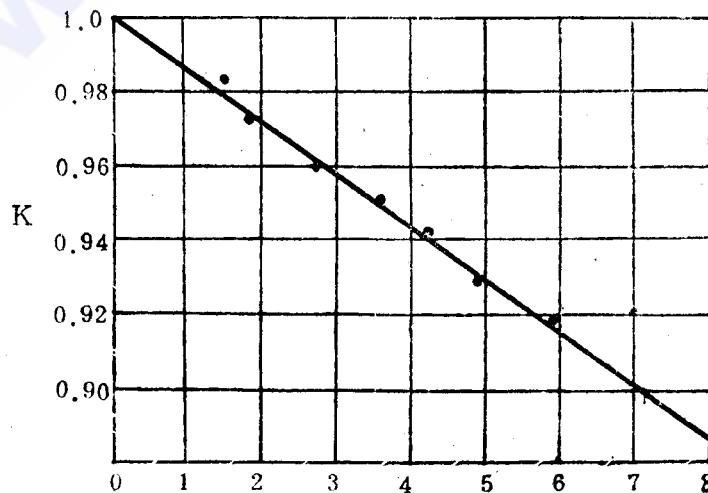


图 3

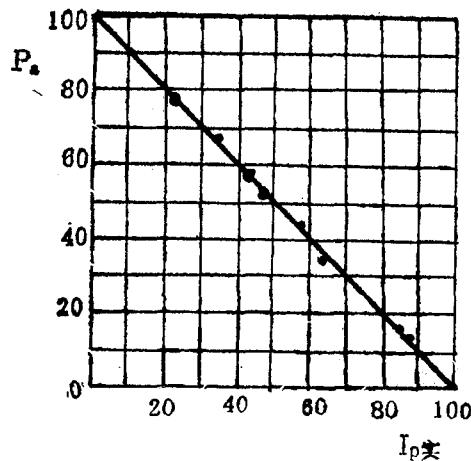


图 4

6. 净雨深 R (毫米)

$$R = P - (I_p + f_c t) \quad (9)$$

式中 t ——时间(小时)；

f_c ——稳定入渗(毫米)；

P 、 I_p 同前。

7. 稳定入渗 f_c (毫米)

从实测径流资料中选出 I_p 实 = 0 的资料，一般在复峰的后一个洪峰(图 5)。

$$f_c = \frac{1}{t} (P - R_{\text{实}}) \quad (10)$$

式中 t ——时间(小时)；

$R_{\text{实}}$ ——从实测径流资料中求得；

P 同前。

从龙溪河流域实测径流资料中计算出的 f_c 值，每小时为 0.2~0.5 毫米，一般在 1~2 时段(每时段 6 小时)采用 0.5 毫米，以后酌情减少。

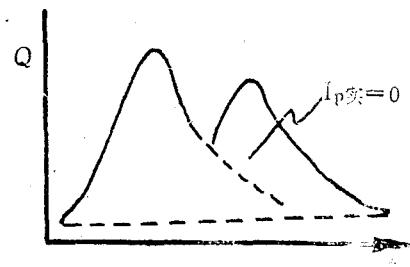


图 5

三、作业预报步骤

1. 扣损部份(分别计算出六剑滩以上和区间)

(1) 每天收集各站雨量，由高测 E601 型蒸发量查出 K 值，再计算出每日 P_{ai} ；

(2) 产流时计算出时段 P 和 P_s ；

(3) 由 P_s 直接计算出 I_p ；

5. 计算初损 I_p (毫米)

$$I_p = I_M - P_s \quad (8)$$

$$\frac{d I_p}{d P_s} = -1$$

当 $P_s = 0$ 时则

$$I_p = I_M$$

式中 I_M 、 P_s 同前。

由一系列的实测资料所计算的结果， I_p 实与 P_s 的值点绘于图 4，各点均在 45° 角的直线上。因此，在实际预报中无需再查用此图，而由 P_s 直接计算出 I_p 即可。

(4) 由时段 P 和 I_p 计算出时段 R ;

(5) 考虑降雨在时间、空间分布的不均匀性，而产生局部径流，因此，分别由产流的 P_{ai} 计算出 I_p 和 R (P 用该站的雨量)。

2. 汇流部份

采用经验单位线(单位时段为6小时)，用暴雨中心分型和局部产流面面积分型(上中、下游三种)。六剑滩径流过程线加区间径流过程线，即得入库径流过程线。坝前水位、调洪演算均采用通常用的方法，故不赘述。

四、退水预报

六剑滩入库站，从起涨到峰顶约24小时，退水洪量约占其洪水总量的三分之二。因此，作准退水预报对防洪和发电都有重要的意义。

该站河床稳定，水位与流量呈单一曲线， $Q=f(H)$ ，而退水流量随时间的增长而减少，同时又随净雨时段的增多而相应增大，在长期的实践摸索中用 $Q_t=f(t)$ 作退水预报是适合的。因净雨时段的多少(采用三个净雨时段以内，而退水期间无净雨产生)，暴雨中心的位置对退水曲线都有重要的影响。所以用这些因素制作几组类型(暴雨中心在上游、中游、下游、以及全流域比较均匀) $Q_t=f(t)$ 退水曲线。根据流量的大小，便于查读，在同一类型中尚可按流量大小再分组点绘。

用已选出分类型的退水径流资料，以纵坐标为流量 Q ，横坐标为时段 t (每时段为6小时)，洪峰流量 Q_0 的坐标为 $(0, Q_0)$ ，再以退水流量 Q_t ，依时段 (t) 次序点绘出，即 (t_1, Q_{t1}) 、 (t_2, Q_{t2}) 、 \dots 、 (t_n, Q_{tn}) 。以此类推，将不同的 Q_0 与其退水流量 Q_t ，以及相应时段点绘出 $Q_t=f(t)$ 不同类型的退水曲线。

在预报时，用实测洪峰流量 Q_0 对准退水曲线的纵坐标读数 $(0, Q_0)$ ，再按时段依次在其曲线上读出预报退水流量 Q_t (读数可以内插)。对预报退水流量的修正，可用其实测退水任一点的流量 Q_t ，在其曲线上对准该流量，再按时段依

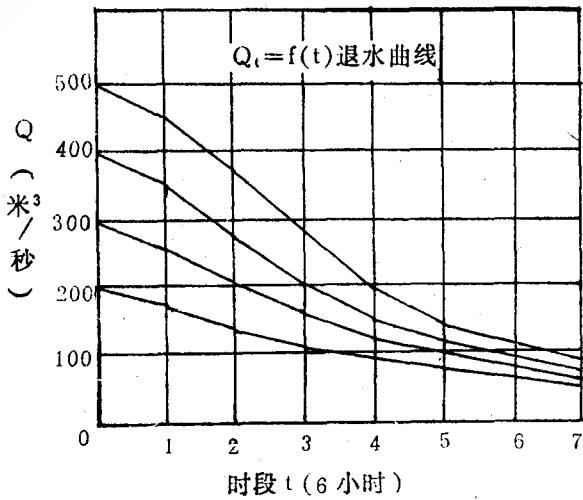


图 6

次在退水流量曲线上读出 Q_t 。其精度在90%以上满足了生产上的要求(图6)(雨型比较均匀，全流域产流)。由于各种类型的制作方法相同，故只列一种类型的一组。

以上预报方法，是用实践和学习中获得的概念和公式来处理的。由于水平有限，有不当之处，敬请提出批评指正。本文关于降雨与径流部份，曾经成都勘测设计院陈国华、

钱进显两位工程师审阅。退水部份从 1981 年开始，成都水电校水文专业学生用此方法所作《龙溪河六剑滩综合退水曲线》的毕业设计也做了大量工作，在此谨表示感谢。

(上接16页)

液体波速的计算公式。也对管道系统计算的具体数值方法与实例作了介绍。从计算与实测结果比较可以看出，要使计算与实测一致，计算中应考虑气穴的影响。

第十章着重阐述了控制过渡过程的方法，对带有竖管的调压室、气垫式调压室、减压阀、调压阀等作了具体介绍。这一章还特别提到所谓“耗水式调压阀”及其实例。并指出这种调压阀的运行方式是：若电站与电力系统断开，调压阀保持部分开启，以待承担可能迅速增大的最大负荷；机组迅速带负荷时，调压阀与水轮机导叶几乎同步动作，以保持压力水管中流速实际上不变。电站甩负荷后，在关闭导水叶的同时打开调压阀，然后再慢慢关闭调压阀。这种操作方式要耗费一些水，因此称为“耗水式”。采用这种调压阀并已投入运行的约旦河电站压力管道总长 7218 米，设计水头 265.5 米，装机一台，容量为 15.4 万千瓦。由于地形不适宜布置调压室，而电站又要求担任调频任务，所以采用了这种调压阀。

在第十一章专门讨论调压室。评价了各种类型的调压室，导出了描述简单调压室的微分方程、推荐求解的实用方法。还介绍了用作者研究的相位平面法来计算调压室的稳定性。最后分析了阻抗式、差动式和多调压室系统。

十二章介绍明渠中的瞬变流，在给出若干常用术语的定义后，推导了明渠一元瞬变流的运动方程和连续方程（即圣维南方程）。然后介绍适用于计算机分析圣维南方程的特征线法、显式有限差分法和隐式有限差分法。并且指出如何根据数值分析中的稳定性、编制程序的难易程度、计算机机时的多少和内存容量大小、对尖峰模拟的影响以及各种特殊问题的要求，选择哪一种计算方法比较合适。本章还涉及溃坝、明满交替水流、潮流波、次生波和滑坡产生的波浪等专题。所举的雪努明水电站尾水系统明满交替水流的实例也颇有参考价值。

本书还附有丰富而实用的图表，可用查表法求关闭和开启阀门所引起的水击压力；离心水泵断电和空气室的计算；简单调压室涌浪的求取以及矩形或梯形渠道下游端突然减少流量时，明渠中涌波高度和波速的计算。此外还附有分析开启或关闭阀门所引起的过渡过程；离心水泵因断电引起的过渡过程及串联管道频率特性的三个程序及打印的计算结果。

正如作者在序言中叙述的那样“近十多年来，电子数字计算机在分析水力过渡过程方面的应用飞速发展，用于上述分析的解析法和图解法已被先进的数字计算技术所代替。这样不仅消除了繁重的计算，所计算的结果也更精确，而且可以分析各种复杂的管道系统”。计算机的使用在我国已日趋普及，这本实用性很强的书，必然给我们的设计、研究工作带来好处。

孙诗杰