

金 栋 梁

水文水资源论著选

《水资源研究》特刊

二〇〇六年

金 栋 梁

水文水资源论著选

《水资源研究》特刊

二〇〇六年

金栋梁水文水资源论著选

目 录

1、序	(1)
2、作者简介	(2)
3、三种新的流域平均雨量计算方法介绍 (1979)	(3)
4、水库群对径流影响的估算 (1979)	(7)
5、入渗模型研究综述 (1980)	(19)
6、用普通气象资料计算土壤蒸发量的方法 (1981)	(30)
7、水资源径流资料的还原计算 (1981)	(36)
8、改革径流、蒸发等值线绘制方法的建议 (1984)	(45)
9、关于水库水面的水量损失计算问题 (1984)	(49)
10、用裘布衣公式计算地下水水平排泄量探讨 (1985)	(51)
11、西藏南部的水资源 (1985)	(55)
12、径流还原计算 (1985)	(64)
13、地下水资源的重复量计算 (1986)	(79)
14、水文要素与高程的关系 (1987)	(83)
15、长江流域的水文特征 (1987)	(89)
16、森林对水文水资源的影响 (1989)	(108)
17、长江流域径流分析方法 (1989)	(119)
18、都江堰的水量为什么减少 (1989)	(130)
19、凯江蒸发公式的补充和修正 (1993)	(135)
20、水利、水土保持措施对设计洪水的影响 (1995)	(139)
21、径流和蒸发实验研究 (1997)	(157)
22、长江流域水文分析计算史略 (2000)	(169)
23、长江中游水系河流特征 (2003)	(196)
24、水资源评价 (2004)	(259)
第一节 水资源与可持续发展	(259)
第二节 分析评价的目的和途径	(265)

第三节	降水量评价综述	(272)
第四节	径流量评价概述	(290)
第五节	蒸发量评价简述	(304)
第六节	地表水资源量	(311)
第七节	地下水资源评价	(317)
	一、山丘区地下水资源评价方法综述	(319)
	二、平原区地下水资源评价方法综述	(332)
	三、地下水资源量的确定	(354)
第八节	水资源总量	(359)
第九节	水资源质量评价	(365)
第十节	水环境评价概述	(393)
第十一节	水资源利用评价	(400)
第十二节	建设项目水资源论证概述	(416)

序

胡廷洪学长每次来汉，工作间隙，总要会晤金栋梁先生。他与金先生系浙江永康同乡又是中学同学。讲述金先生天资聪颖，成绩优异。我与金先生是长办上滑坡宿舍多年的邻居。经廷洪介绍，印象更为深刻。

金先生为人正直不阿，富奉献精神，工作不讲条件。因此，一生干过的工作项目众多。诸如水文测验、河道演变测量、水文计算、技术情报、地表和地下水资源评价、大专院校教学工作。发表专题论文 40 多篇，其中，林冠截流理论公式、水库群拦蓄不均计算，凯江蒸发公式，径流还原方法和等值线绘制新方法等。为同人称许。曾多次获得本单位和水电部的奖励。

先生高足为其选出 1979 年以来的代表性论文和著作 30 余篇，约 50 万余言编印出版。这些论文的若干观点、方法，今后仍有指导意义和参考应用价值。尤其令人敬佩的是，所选编论著，绝大多数为退休以后完成，2004 年，以 82 岁高龄，完成了“水资源评价”力作。他的这种刻苦钻研敬业精神、奉献精神，值得大家学习。

注：胡廷洪，中央大学水利工程系毕业，曾任安徽省水利厅副厅长兼总工程师

中国工程院院士

文 伏 波

二〇〇四年十一月九日

作者简历

金栋梁，生于1922年11月，浙江永康市人。九三学社成员，教授级高级工程师。1935年永康太平小学毕业。1937年考入永康县立初级中学。1939年秋转学省立金华中学，毕业后于1941年春以公费录取省立处州中学高中。1944年秋考入国立北洋工学院机电系。抗战胜利后，并转国立英士大学工学院土木系，毕业后留任英士大学助教。1949年解放后曾任永康中学教员、长江水利委员会南京一等水文站站长、浦口抢修指挥部测验大队副大队长、唐白河径流实验站站长、长委会水文局工程师、高级工程师、教授级高级工程师。南京大学和华中师大地理系客座教授、长江职工大学兼职教授、中国地理学会水文专业委员会委员、第一次全国水资源评价技术小组成员、武汉科协第四次代表大会代表、武汉老科教协会副理事长、顾问。

工作中曾负责人类活动对水利工程影响的专题研究，完成《三峡以上以下地区人类活动对径流影响研究》专题报告。曾参加三峡历史洪水的调查研究，最早完成《宜昌1870年历史洪水过程线》成果，为三峡工程校核洪水提供可靠依据。曾参加《长江流域、西南诸河和浙闽台》三大片的水资源调查评价工作，较好地完成任务，曾获水电部“水资源评价”二等奖和国家农委“水利区划系列成果”一等奖。

曾发表《凯江蒸发公式》、《水资源径流资料的还原方法》、《水库群对径流的影响研究》等论文40多篇。参与编写或主编《水资源评价论文集》、《水资源评价译文集》、《英俄汉水资源词汇》、《水利水电工程水文计算规范 SDJ214-83》、《水利水电工程规划设计与施工》、《水利水电工程设计洪水计算手册》、《三峡工程水文研究》、《长江志水文篇》、《长江志水系篇》等书。 地址：中国武汉二七路支农村 52-102 号 邮编：430012 电话：（027-82890134）

三种新的流域平均雨量计算方法介绍

(1979 年)

流域平均雨量的计算方法在降雨径流分析中起着重要的作用。水文工作者十分重视此项计算技术的改进，曾研究过许多计算流域平均雨量的方法，目前常用的有：算术平均法、泰森法（垂直平分法）、等雨量线法和方格法等^[1]。这些方法各有其优缺点和应用条件，尚不能满足各种情况下计算要求，近几年来又出现三种新的流域平均雨量计算方法。这里简要介绍如下。

（一）两轴法

两轴法是尼达维亚于 1976 年提出^[2]。此法的基本原理是假定雨量站的重要性随它与流域中心的距离远近而定，测站愈靠近流域中心其权重愈大。其具体作法是：先根据地形图勾绘流域分水线，如图 1 所示。联结流域的出口点 O 与流域边界的最远点 T，成 OT 直线，作 OT 的垂直平分线 AB（叫流域的短轴）。再作 AB 的垂直平分线 CD（叫流域的长轴）。

各雨量站与长轴和短轴最远端点的连线所夹的锐角叫站角。如图 1 中的 P_1 雨量站的站角为 $\angle AP_1C$ ， P_2 雨量站的站角 $\angle BP_2D$ ， P_3 雨量站的站角为 $\angle DP_3A$ 等等。求出各站的站角后，用下式计算流域平均雨量 $\bar{P}$ ，即

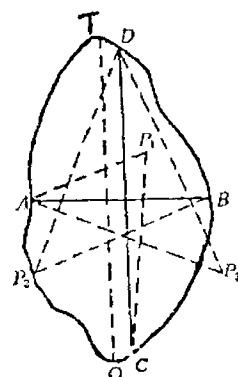


图 1

$$\begin{aligned}\bar{P} &= \frac{A_1}{A} P_1 + \frac{A_2}{A} P_2 + \cdots + \frac{A_n}{A} P_n \\ &= \omega_1 P_1 + \omega_2 P_2 + \cdots + \omega_n P_n \\ &= \sum_{i=1}^n \omega_i p_i \cdots \cdots \cdots (1)\end{aligned}$$

式中： $A_1, A_2 \cdots A_n$ 为各雨量站的站角度数。

$P_1, P_2 \cdots P_n$ 为各雨量站的同期雨量值。

$A = A_1 + A_2 + \cdots + A_n$ 为各站站角的总和。

$\omega_1 = A_1/A, \omega_2 = A_2/A \cdots \omega_n = A_n/A$ 为各雨量站的权重。

各站的站角可在图上直接用分角器量出，并计算各站的权重。与泰森法一样，各站的权重一经求出便可多次使用。

（二）距离权网格法

这是在传统的方格法基础上改进的一个新方法。此法是把流域划分为几个网格，每个网格的控制面积约等于流域内、外所选用的雨量站平均控制面积的 1/4。例如流域面积为 1,000 平方公里，选用的雨量站为 10 个，即平均每个站控制 100 平方公里。则选用每个网格的面积为 25 平方公里，共约 40 个网格。每个网格中心的代表雨量，是采用站权形式，由下式算得：

$$\hat{h} = \sum_{i=1}^K g_i h_i \cdots \cdots \cdots (2)$$

式中： $\hat{h}$ 为网格中心的雨量；

h_i 为 K 个周围雨量站中第 i 个雨量站的实测雨量；

g_i 为各雨量站对应该网格的权重。

重要的问题是如何计算权重 g_i ，现在假定对于每个网格影响雨量站的权重是距离的函数，每个雨量站的位置，可由网格坐标（经纬度，或 x_i, y_i ）确定。则每个网格的中心点（ x, y ）与雨量站间的距离为：

$$S_i = [(x_i - x)^2 + (y_i - y)^2]^{1/2} \dots\dots\dots (3)$$

假定权重与距离的平方成反比，则影响某一网格的各雨量站的权重为

$$g_i(x, y) = \frac{\frac{1}{S_i^2}}{\sum_{i=1}^K (\frac{1}{S_i^2})} \dots\dots\dots (4)$$

式中 $g_i(x, y)$ 为雨量站 i 对网格(x, y)的权重。

S_i 为从（3）式算得的距离。

选择网格周围雨量站原则是：均匀选择，靠近网格的雨量一般不多于 5 个。这对于手工操作计算是很容易掌握的。但若用电脑计算时，就需要有严格控制条件，否则电脑难以执行，可规定 1）影响雨量站与网格中心的距离不超过某一定数（例如不超过各雨量站间平均距离的 2 倍）；2）相邻雨量站对网格中心的夹角不小于某一定数（例如不小于 60°），当遇到小于某一定数时，两个雨量站中只选其中距离较近的一个站作为影响雨量站。

计算举例：计算图 2 中网格 U 的雨量。已知网格中心的坐标 U（12.0，13.0）其周围雨量站的坐标和实测雨量值为 $P_A（11.0，13.0）=25.0$ 毫米， $P_B（12.5，14.0）=44.5$ 毫米， $P_C（14.4，12.2）=66.6$ 毫米， $P_D（12.2，11.7）=42.4$ 毫米，（E 站未选用，因 $\angle EUD$

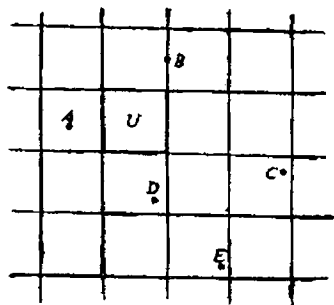


图 2

很小)。

网格中心与其周围雨量站的距离：

$$\begin{aligned} S_A &= [(11.0-12.0)^2 + (13.0-13.0)^2]^{1/2} = \sqrt{1.0} \\ S_B &= [(12.5-12.0)^2 + (14.0-13.0)^2]^{1/2} = \sqrt{1.25} \\ S_C &= [(14.4-12.0)^2 + (12.2-13.0)^2]^{1/2} = \sqrt{6.39} \\ S_D &= [(12.2-12.0)^2 + (11.7-13.0)^2]^{1/2} = \sqrt{1.73} \end{aligned}$$

上面距离的平方倒数数值：

$$\begin{aligned} 1/S_A^2 &= 1/1.0 = 1.00; & 1/S_B^2 &= 1/1.25 = 0.80; \\ 1/S_C^2 &= 1/6.39 = 0.16; & 1/S_D^2 &= 1/1.73 = 0.58 \end{aligned}$$

依据（4）式计算各雨量站的权重：

$$g_A = 1.00/(1.00+0.80+0.16+0.58)=1.00/2.54=0.39; \quad g_B = 0.80/2.54=0.32,$$

$g_C = 0.16/2.54=0.06; \quad g_A = 0.58/2.54=0.23$

所以依（2）式网格 U 的计算雨量为：

$\hat{h} = 0.39 \times 25.0 + 0.32 \times 44.5 + 0.06 \times 66.6 + 0.23 \times 42.4 = 37.8 \text{毫米}$

将流域内所有网格的雨量都计算出来，然后取其算术平均值即得流域平均雨量。

（三）结合法

将泰森法与等雨量线法结合使用，达到取长补短，既提高成果精度，又不增加太多的工作量，这是美国设计部门推荐的一种方法^[3]。其方法概要是：用流域内外较多雨量站资料绘制一次降雨总量等值线图；同时画出流域的泰森多边形，计算其权重，并利用等雨量线量出各个泰森多边形的平均雨量。将量得的雨量与泰森代表站的实测雨量求比值。再用各站的比值改正泰森多边形的权重。用所得的新权重（各站的新权重之和可能大于 1 也可能小于 1）乘各站的时段雨量，然后对应相加就得到流域平均时段雨量。为了阐明结合法的具体作法，我们选用汉江子午河两河口以上流域的降雨资料作为算例，如表 1 和表 2。

（四）精度检验

为了检验“距离权网格法”和“两轴法”的精度，选择汉江石泉以上流域面积为 24600 平方公里范围内的 47 个雨量站，用 1970 年的 10 次降雨资料勾绘每次降雨的等雨量线图，并量出流域平均雨量，以此为标准来检验上述二种方法的精度。

表 1 结 合 法 的 站 权 计 算

站 名 (1)	泰森多边形 内平均雨量 (2)	泰森权重 (%) (3)	泰森代表站 的实测雨量 (4)	新 权 重 $(5) = \frac{(3) \times (2)}{100 \times (4)}$
岳 坝	41	16.4	48.3	0.14
钢 铁	19	57.2	15.0	0.72
两河口	90	26.4	124.6	0.19

注：（2）栏根据等雨量线用求积仪量得
（5）栏各站权重之和不一定等于 1.0

表 2 流 域 平 均 时 段 雨 量 计 算 表

时 段	岳 坝		钢 铁		两 河 口		流域平 均时段 雨 量 Σ (2)	流域平 均时段 雨 量 (老方法)
	时段 雨量 (1)	$0.14 \times (1)$ (2)	时段 雨量 (1)	$0.72 \times (1)$ (2)	时段 雨量 (1)	$0.19 \times (1)$ (2)		
1	16.6	2.3	0.4	0.3	5.9	1.1	3.7	4.5
2	14.1	2.0	0.7	0.5	19.0	3.6	6.1	7.7
3	9.3	1.3	1.2	0.9	0.4	0.1	2.3	2.3
4	8.3	1.2	9.9	7.1	87.3	16.6	24.9	30.2
5	0	0	2.8	2.0	12.0	2.3	4.3	4.8
Σ	48.3	6.8	15.0	10.8	124.6	23.7	41.3	49.5

检验时，在 47 个雨量站中只选出 20 个站，用“泰森法”，“两轴法”和“距离权网格法”，依据

20 个站的相同资料分别计算出流域平均雨量。然后与用 47 个站资料以等雨量线法算得的标准值相比较，并计算其误差、其成果见表 3，从成果表可知：“距离权网格法”误差最小。“泰森法”次之，“两轴法”稍偏大。但三个方法的成果都可以应用

表 3 各种方法精度比较表

日 期	等雨量线法		泰 森 法		两 轴 法		距离权网格法	
	$\overline{P}$	δ (%)	$\overline{P}$	δ (%)	$\overline{P}$	δ (%)	$\overline{P}$	δ (%)
6.5~6.7	26.8	0	26.7	-0.4	29.4	9.7	28.0	-4.5
6.26~6.27	16.0	0	14.8	-7.5	18.4	15.0	15.9	-0.6
7.1~7.1	14.5	0	14.9	2.8	19.7	36.0	14.0	-3.5
7.22~7.25	51.3	0	45.6	-11.0	48.0	-6.5	49.4	-3.7
7.27~7.28	55.0	0	54.7	-0.6	57.4	4.3	58.8	6.9
8.28~8.29	37.6	0	39.0	3.7	40.6	8.0	39.8	5.8
9.6~9.10	63.9	0	61.6	3.6	73.6	15.2	64.5	0.9
9.23~9.27	80.3	0	75.0	6.6	80.4	0.1	30.7	0.5
10.7~10.10	48.7	0	49.1	0.8	50.0	2.7	51.2	4.9
10.13~10.13	13.7	0	13.1	-4.4	13.2	-3.7	13.5	-1.4

参 考 文 献

[1] 施成熙：《陆地水文学原理》工业出版社 1964 年 PP₂₀₋₂₂

[2] Nedavia Bethlahmy: The Two-axis Method: A New Method to Calculate Average Precipitation over A Basin
Hydrological Sciences Bulletin Vol.21 No.3 1976

[3] 《Design of Gravity Dams》Appendix G 1976 PP₄₃₉₋₄₄₆

[刊于《水利水电技术》水文副刊 1979 年第 3 期]

水库群对径流影响的估算

(1979 年)

概 述

建国后,全国开展了规模巨大的水利和水土保持运动,各地新出现星罗棋布的堰塘和水库群,流域内渠道纵横,灌溉着千百万亩耕地。昔日荒山秃岭,如今绿树成荫,层层梯田。流域自然面貌已发生显著变化。尤其是我国南方一些工程集中的水库群地区,变化更为突出。由此而使流域水文特性发生明显变化,水文资料产生不一致、不连续的问题。使水文计算和水文预报发生困难。为了正确估算这种影响,首先通过调查研究,弄清小型水库群的特点和运用方式,寻找建库前后的水文规律,然后针对具体情况,制订合理可行的估算方法从而解决水文计算中存在的问题。

水库群的特点是:数量多,小型分散,水库上游多为山区丘陵,下游多为灌溉区域。大多数水库为并联水库,它们的规模主要决定于地形条件。由于工程的群众性,有些水库未经深入地进行水文计算,因此在同一地区常常有的水库经常泄洪,而另一些水库则多年蓄不满,也就是水库的拦蓄能力(库容与集水面积的比值)参差不变。另外,中小型水库群绝大多数为土坝,且无闸门控制。

水库群的另一特点是其修建的目的是为了解决农田灌溉问题,其操作运用均按农作物灌溉需要进行。根据当地气象条件及水库本身安全要求,一般有二种运用方式。对于拦蓄能力大的水库,即常年不易蓄满的水库,一般以“需水即放,有水即蓄”的原则进行调度。而对于拦蓄能力小的水库,即容易蓄满的水库,为了确保水库本身的安全,要根据当地降雨规律,规定各时期的防洪限制水位,超过规定就要泄弃部分水量,即按“需水即放,控制蓄水”的原则进行调度。这二种调度方式,直接与水库群实际拦蓄量计算有关,在估算水库群对产流影响时应分别予以考虑。

水库群所在的流域的水利化措施主要是蓄水工程,其它如封山育林、植树造林,坡改梯等水土保持措施,此处计算暂不考虑。与堰塘、水库群对产流直接有关的主要措施是旱地改水田(旱改水)和单季稻改双季稻(单改双)。因为修建蓄水工程,灌溉水源有了保证,原来只能种旱作的耕地,就可改种水稻。因此在我国南方地区修建堰塘水库的目的就是保证灌溉水源,以单改双和旱改水来提高农作物产量。所以在进行流域产流计算时就要考虑这些措施的影响。

二、水库群产流计算的基本原理和步骤

水库群的作用一是拦蓄径流,一是调节径流。拦蓄径流是研究的重点。调节径流的作用对大流域而言其作用虽不显著,但对小流域而言就不可忽视。无论是拦蓄作用还是调节作用都存在降雨不均和工程分布不均的问题。针对此种情况,就水库群数量多、拦蓄能力不均,降雨不均和调度方式不同等方面对拦蓄作用和调节作用的影响,提出下列的估算方法原理和步骤。

(一) 基本工作和分项分析

1、流域分区和分区单位线的推求

流域分区是解决降雨不均和工程分布不均的有效方法。结合计算的精度要求,把流域分为几条

等流时带，如图 1 所示将整个流域划分为 14 条等流时带，再结合流域内的雨量站分布情况以几条等流时带归并为一个计算区，图为三个雨量站，故分为三个计算区，流带 $f_1 \sim f_4$ 为 (I) 区， $f_5 \sim f_8$ 为 (II) 区， $f_9 \sim f_{14}$ 为 (III) 区。

分区单位线的推求步骤是：先估计一个从流域分水岭到出口断面的总汇流时间 τ_m ，以流带条数 n 除之，即得每个流带的汇流时间 τ 。根据 n 、 τ 值，应用长办汇流曲线，就可推出时段为 Δt ，净雨深为 10mm，在流域出口断面产生的流域单位线。

将求得的流域单位线与实测的降雨资料分析出的单位线进行绘图比较，若相差不大，说明估计的 τ_m 值基本正确，也就是选用的 n 、 τ 值基本上符合实际。如果相差较大则另估计一个 τ_m 值，再重复进行上述计算，直到成果接近为止。

流域单位线是由各流带在流域出口断面所产生的单位线迭加而成，所以分区单位线 $Q_{分}$ 就是把相应流带单位线 q 迭加即可。亦即：

$$\left. \begin{aligned} q_i &= \frac{Rf_i}{\Delta t} p \\ Q_I &= \sum_{i=1}^4 q_i \\ Q_{II} &= \sum_{i=5}^8 q_i \\ Q_{III} &= \sum_{i=9}^{14} q_i \end{aligned} \right\}$$

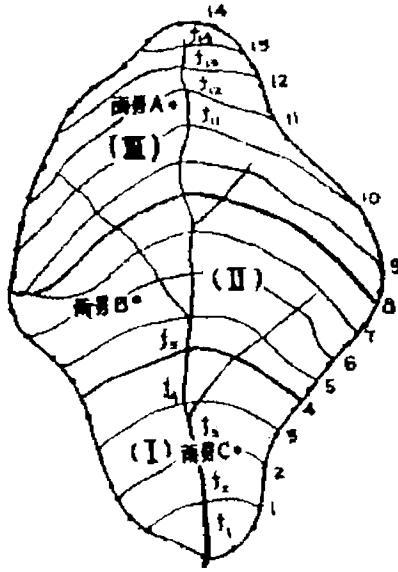


图 1
(1)

- 式中 q ——流带单位线；
 Δt ——净雨时段长；
 R ——净雨量；
 F ——流带面积；
 P ——汇流曲线纵标 (n 、 τ 、 Δt 值查长办汇流曲线表)；
 I ——以流域出口断面起算的流带序号。

2、拦蓄不均曲线的建立

流域内塘堰、水库的数量是很多的。为了科学地精确地计算它们产流的拦蓄情况，既不能把众多塘库的拦蓄容积累加起来，当作一个大水库来演算（这种简化方法夸大了塘库群的拦蓄作用，不符合实际情况）。又不能把众多塘库逐个进行演算（这样做工作量太大，太笨）。所以必须寻找适当的计算方法，既省力，又符合实际情况的计算方法。这便是应用拦蓄不均曲线。

为了说明拦蓄不均曲线的建立原理，有必要简单叙述一下水库群拦蓄径的过程。当流域内产生均匀净雨时，各个塘堰水库的拦蓄情况是各不相同的，那些集水面积大而库容小的塘库先蓄满，集水面积小而库容大的塘库后蓄满。也就是说按其拦蓄能力（库容 V 与集水面积 A 的比值）的大小不同，从小到大的先后次序逐个蓄满的。因此流域净雨只要超过拦蓄能力（ V/A ）最小的一个水库，水库群便有弃水（如果把流域内所有塘库加起来当作一个大水库计算，则无弃水）。

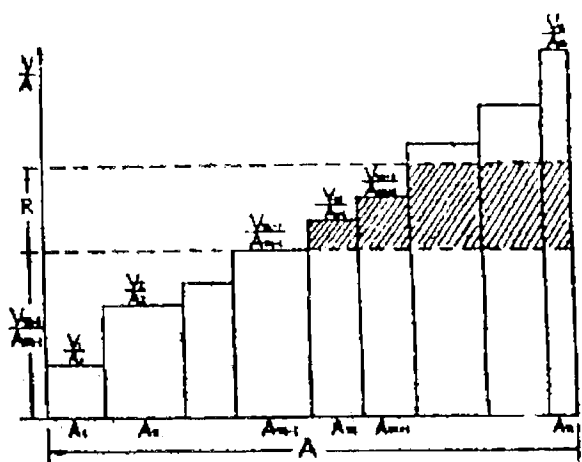


图 2

如图 2 所示，各水库的拦蓄能力小到大， V_1/A_1 、 V_2/A_2 、…… V_n/A_n ，排列的柱状。在某一时段内，库区净雨 R 产生的来水量（ W_* ）

$$W_* = AR$$

设时段初拦蓄能力小于第 $(m-1)$ 个水库的所有水库均已蓄满（即底水）而无拦蓄作用，第 (m) 个至第 $(m+1)$ 水库剩下的库容也只能拦蓄时段净雨的一部分，因此水库群的时段实际拦蓄量为图 2 中的阴影部分：

$$W_{实} = \left(\frac{V_m}{A_m} - \frac{V_{m-1}}{A_{m-1}} \right) A_m + \left(\frac{V_{m+1}}{A_{m+1}} - \frac{V_{m-1}}{A_{m-1}} \right) A_{m+1} + R \sum_{i=m+2}^n A_i$$

显然，时段实际拦蓄量，是随着时段来水量和时段初水库群底水而变的。为便于计算，可从水库群的底水为零开始绘制来水量（ W_* ）与实际拦蓄量（ $W_{实}$ ）的关系曲线，其计算步骤如下：

设净雨深 $R_1 < R_2 < R_3 \dots \dots < R_n$ ，

则当净雨深为 $R_1 = V_1/A_1$ 时， $W_{*1} = AR_1$

而水库群的实际拦蓄量 $W_{实1} = AR_1$ ；

当净雨深为 $R_2 = V_2/A_2$ 时， $W_{*2} = AR_2$

$$W_{实2} = W_{实1} + (R_2 - R_1) (A - A_1)$$

.....

当净雨深为 $R_m = V_m/A_m$ 时， $W_{*m} = AR_m$

$$W_{实m} = W_{实m-1} + (R_m - R_{m-1}) \left(A - \sum_{i=1}^{m-1} A_i \right)$$

.....

当净雨深为 $R_n = V_n/A_n$ 时， $W_{*n} = AR_n$

$$W_{实n} = W_{实n-1} + (R_n - R_{n-1}) A_n$$

应用上述步骤就可算出水库群的来水量（ W_* ）与实际拦蓄量（ $W_{实}$ ），并可点绘 $W_* \sim W_{实}$ 相关曲线如图 3，以供实际拦蓄量计算时应用。这就是“拦蓄不均曲线”。计算实例见表 1。

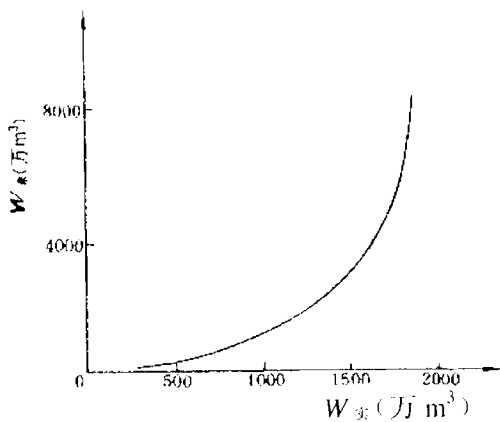


图 3 拦蓄不均曲线图

表 1 水库群拦蓄不均曲线计算表

序号	集水面积		库容	拦蓄深度		来水量	实际拦蓄量	
	A_i (km^2)	$A - \Delta A_{i-1}$ (km^2)		R_i (mm)	ΔR_i (mm)		W_{i-1} (10^4m^3)	ΔW_{i-1} (10^4m^3)
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	3.0	53.85	27.0	90	90	485	485	485
2	3.2	50.85	49.0	153	63	824	320	805
3	3.0	47.65	50.0	167	14	899	67	872
4	0.8	44.65	14.0	175	8	942	36	908
5	1.0	43.85	18.0	180	5	969	22	930
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
30	3.8	5.78	280.0	737	20	3969	12	1799
31	0.38	1.98	34.0	895	158	4820	31	1830
32	0.1	1.60	10.0	1000	105	5385	17	1847
33	0.5	1.50	66.0	1320	320	7108	48	1895
34	1.0	1.00	140.0	1400	80	7539	8	1903
Σ	53.85		1903.0				1903.0	

计算说明

- 1、先算出各水库的拦蓄能力（深度），然后以拦蓄能力大小编号，最小的编为 1 号。
- 2、按序号将其相应的集水面积填入第②栏，拦蓄能力填入第④栏。
- 3、将第②栏倒序求和填入第③栏。
- 4、第⑤栏后项减前项，其差值填入第⑥栏。
- 5、⑦=⑤×② $A_1=90\times 53.85$ 。
- 6、⑧=⑥×④
- 7、⑨=Σ⑧

3、洪前底水的确定

在水库群计算中，第一个时段的起算库容（ V_{H0} ）叫“洪前底水”或“汛前底水”，这是决定水库拦蓄量大小的因素，必须合理确定。

根据凯江径流实验站在四川地区观测研究结果，提出洪前底水的确定方法。它是通过每年水库群最低水位及其出现时间的规律来确定洪前底水的。因为堰塘和中小型水库都是为农业灌溉而修建的，其蓄水情况决定于库区来水和灌区用水。而来水与用水都与雨量有密切的关系。故可建立最低水位与其前期雨量的经验关系。在实际工作中，由于水库的库容各年不等，雨量在各个时期的变化也较大，故以绘制相对前期雨量与相对最少蓄水量的经验关系，其相关系数较大。即建立 $\alpha \sim \beta$ 相关关系（ α —相对前期雨量，即某时段总雨量与该时段多年平均总雨量的比值； β —相对最少蓄水量，即某年最少蓄水量与该地区总有效库容之比值）。在四川凯江地区，最少蓄水量多出现在 6 月下旬至 7 月中旬，所以用前一年 7~10 月（充水期）和本身 4~6 月（用水期）的相对雨量之和，作为前期雨量较好（即 $\alpha = \alpha_1 + \alpha_2 = P_{7-10}/\bar{P}_{7-10} + P_{4-6}/\bar{P}_{4-6}$ ）。而在湖南邵水地区，则直接使用本年 1~3 月的相对雨量较好（ $\alpha = P_{1-3}/\bar{P}_{1-3}$ ）。有了上述关系，就能确定任何典型年的最少蓄水量。但这个最少蓄水量，究竟发生在什么时候，还应确定出其具体日期才能进行演算。其方法是：将计算地区历年实测平均水稻需水量作累积线（ $\Sigma \Delta e$ ）与雨量累积线（ $\Sigma \Delta P$ ）绘于同一坐标纸上，两累积线的纵标间距最大处相应的时间，即为最少蓄水量出现的时间。这个方法确定最少蓄水量（亦即最低库水位出现的日期颇为准确）。有了最少蓄水量和其出现的日期，则任何需要的起算底水，都可通过适当演算得到。）

4、控制蓄水时的泄水量估算

中小型水库群的调度，传统的方法是按“需水即放，有水即蓄”的原则进行的，通过对云南、湖南等一些地区的实测资料的分析 and 调查了解，有一部分水库是不按上述原则调度的，而是按“需水即放，控制蓄水”的原则进行的。后一种调度方式的数目亦相当多，也不可能逐个调度演算。实际上这二种调度方式并不盲目规定的，而是人民群众与大自然斗争中，根据当地降雨条件和水库实际情况得出的经验总结。通过对有观测资料的水库进行分析，那些水库应控制蓄水、什么时候开始控制泄放，泄放多少水量等等，都是有规律可循的。我们把某水库开展泄水的库容与该库有效总库容的比值（始泄系数 η ）与

其拦蓄能力（ V/A ），建立相关关系，其规律性很好，如图 4。从图 4 可见，在拦蓄能力约相当于多年平均径流深处，相关线成为转折点，也就是说，拦蓄能力大于多年平均径流深的所有水库，均按“需水即放，有水即蓄”的原则调度，而与始泄系数 η 无关。凡小于多年平均径流深的各水库，其始泄系数 η 与拦蓄能力成正比，相关线为一直线，应按“需水即放”控制蓄水调度。因此，水库群拦蓄能力结合当地径流规律，就能判定此水库的调度方式。

对于以“控制蓄水”方式调度的水库又怎样具体计算拦蓄过程呢？首先要了解各个水库的泄水

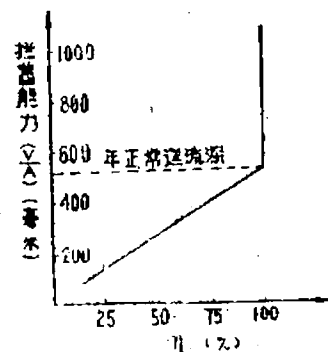


图 4

能力（即其泄水设备一日之内能泄放的平均水量），一般情况下，水库的库容越大，其泄水能力也越大，可以建立库容与日泄放量的经验关系。再根据图 4 可查出任何水库的始泄系数，将始泄系数乘上其拦蓄能力，就求得开始泄水时相应净雨深，再乘集水面积就得到开始泄水时的相应库区来水量。当库区来水量超过此数量时，此水库即开始泄水。流域内各水库的拦蓄能力不同，相应于开始泄水的库区来水量也不一样，拦蓄能力小的先泄水，大的后泄水，随着库区来量的增大，开始泄水的水库也增多，直到所有控制蓄水的水库都泄水为止。

在算得任一水库开始泄水的相应库区来水量，根据库容与日泄水量的关系可查出该水库的一日泄水量。累加每个水库的一日泄水量，就是该流域在某一库区来水情况下的日泄水总量，点绘如图 5，供演算时使用。

在使上述工作曲线的同时，要注意了解各地对控制蓄水某些具体规定。例如在汛初连续泄放三天，而在汛末，只泄放一天等。

5、灌溉用水和旱改水、单改双拦蓄量计算

水库群的拦蓄作用直接与其灌区灌溉过程有关，在水利化对径流影响估算时，对原为旱地改为水田或原为单季改为双季稻的面积内也要考虑径流

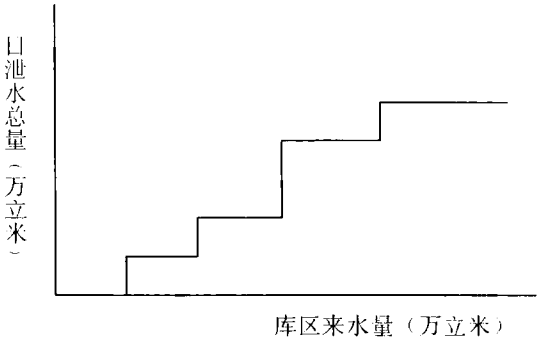


图 5

的变化，所以在进行水库群拦蓄计算时首先要掌握灌溉过程。其水量平衡方程式为：

$$h_k = h_{初} + P - r$$

式中 h_k ——时段末水田田中水深（时段以日计）；

$h_{初}$ ——时段初水田田中水深；

P ——日降雨量；

r ——水稻一日需水深。

由于水稻生理需要，在不同的生长阶段，要求田中有不同的最大淹没水深（ h_M ）及最低淹没水深（ h_m ），当田中水深大于 h_M 时需要排水，一般由田缺高度自动控制。据湖南邵水的调查 h_M 平均为 50mm。当田中水深小于 h_m 时，就要灌溉（为简化计，可采用 $h_m=0$ 时才灌溉），其具体操作如下：

当 $h_k = h_{初} + P - r > h_M$ 时，

则排水，使 $h_k = h_M$ ，其排水深为

$$d = h_{初} + P - r - h_M$$

当 $h_k = h_{初} + P - r < h_m$ ，

则灌水，使田中水深达到 h_m ，即 $h_k = h_m$ ；

而灌水 $深 = h_m - (h_{初} + P - r)$ ，由水库供水。

由上述操作可求出各日排水深（ d ），将（ d ）与相应日净雨深（ y ）（即旱地改水田前的径流深）相比较，即可求出由于旱改水所拦蓄的径流深：

$$\Delta y_{改水} = y - d \quad (d > 0) \tag{2}$$

式中 $\Delta y_{\text{改水}}$ 可正可负，正号表示拦蓄径流，负号表示增加径流。以 $\Delta y_{\text{改水}}$ 乘上旱改水面积，即得旱改水的拦蓄量。

在我国南方，单季稻改为双季稻是提高单位面积产量的有效措施。单改双的面积很大。单季稻一般指中稻，双季是指早稻和晚稻。对某一田块来说，单改双相当于时间上的旱改水，因为早稻比中稻提前插秧，水田拦蓄径流的时间提早了，晚稻又比中稻晚收割，水田拦蓄径流的时间延长了，提前和延后的时间合计约 90 天左右，在 90 天期内，改前是旱作，改后是水稻。这段就是旱改水，如图 6 所示，5 月 5 日到 15 日，和 8 月 21 日到 11 月 1 日，可按旱改水相同的方法计算拦蓄量。至于双季和单季重叠的时段，

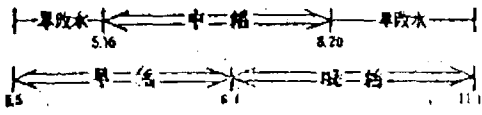


图 6

如 5 月 16 日~8 月 20 日，均为水稻，虽然二稻的需水量略有差异，可不予考虑。

6、灌溉回归系数及其过程的确定

灌溉水的回归百分数，决定于土壤地形条件及管理水平。一般砂壤土回归系数大，粘壤土回归系数小。管理水平差者，回归系数大；管理完善者，回归系数小。其数据应从各地实验观测资料分析取得。根据凯江径流实验站的调查，灌溉回归系数为 35~49%，多数为 35% 左右。

灌溉回归水为地下水，因此其分配过程可以假定它服从退水曲线的规律，即：

$$Q=Q_0 \exp(-\alpha t)$$

式中 Q_0 为退水起点流量， α 为退水常数。

此处需确定 Q_0 和 α 二个参数，设一次灌溉回归水总量为 W ，则

$$W = \int_0^{\infty} Q_0 \exp(-\alpha t) dt$$

积分得 $Q_0 = \alpha W$ ，又根据浅丘地区，土壤为亚粘土和砂壤土的凯江黄水河流域实验观测结果，回归水在 60 天内基本回归完毕，其第一个月回归量占一次灌溉用水的 70%，其后为 30%，故有：

$$0.7W = \int_0^{30} \alpha W \exp(-\alpha t) dt$$

$$\therefore \alpha = 0.04$$

将 Q_0 及 α 值代入上述公式并作单位转换，得实用的公式：

$$Q = 0.0046W \exp(-0.04t) \tag{3}$$

式中 Q ——回归流量以万 m^3/s 计；

W ——一次回归水总量，以万 m^3 计；

t ——时间，以日计。

7、各级水库调节系数 K 值分析

为了使水库群调洪计算简化，假定各水库的滞洪库容 (V) 与其下泄量 (Q) 间的关系为线性，则 $V/Q=K=\text{常数}$

由于水库众多，不可能对每个水库都进行分析并确定 K 值，只能选择各级不同典型水库调查所得的库容曲线 ($V \sim H$)，泄洪道宽 (B)，过水深 (h) 及流量系数 (M) 等项资料分析求得：