

水文预报技术 经验汇编

水利电力部水文水利管理司主编



水利电力出版社

内 容 提 要

本《汇编》选自一九七七年四月水利电力部在广西南宁召开的水文预报技术经验交流会议文章共十二篇，着重介绍我国短期洪水预报方面的经验，主要内容有产流方式的分析、验证和参数地区综合，河道洪水演算方法及非线性变化，降雨径流的流域模型，电子计算机在洪水预报调度上的应用，中小型水库区域预报、简易调洪以及河库联合调度等方面的经验。

本书可供水文水利工作者，勘测设计、工程管理、水利调度人员，以及有关院校师生和科研工作者阅读参考。

ZV35/08

水文预报技术经验汇编

水利电力部水文水利管理司主编

*

水利电力出版社出版

(北京德胜门外六铺炕)

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

水利电力出版社印刷厂印刷

*

1978年8月北京第一版

1978年8月北京第一次印刷

印数 00001—12450 册 每册 0.61 元

书号 15143·3357

前 言

一九七七年四月，水利电力部在广西南宁市召开了水文预报技术经验交流会，会议交流文件近百篇，内容比较丰富，反映了我国近年来水文预报技术上的部分成果。

为了更好地互通情报，交流经验，促进水文预报技术的不断发展，我们从中选择各方面较有代表性的十二篇文章，汇编成册，供各地从事水文工作的同志们参考。

由于水平有限，经验不足，调查不够，汇编还不能充分反映我国水文预报的成就和水平，书中还会存在不少缺点和错误，请各地同志们广泛提出意见。

水利电力部水文水利管理司

一九七七年十月

目 录

前 言

湿润地区降雨产流分层计算法

.....浙江省水文总站 南京大学地理系 (1)

辽宁省东部河流降雨产流计算方法的探讨

.....辽宁省水文总站 (23)

滏阳河产流特性研究河北省水文站 (49)

湟水中下游黄土区产流特性的初步分析

.....成都工学院水文预报教学小组 (66)

黑龙江省产流参数的地区规律

.....黑龙江省水文总站 黑龙江水利工程学校 (80)

非线性洪水演算在郁江南宁河段的应用

.....广西壮族自治区水文总站 (96)

纳希瞬时单位线在河道洪流演算中的初步应用

.....长江流域规划办公室水文处预报科 (102)

应用“单元汇流单位线”预报径流过程的尝试

.....辽宁省大伙房水库管理局 (122)

富春江水电站洪水预报调度计算方案

.....华东水利学院水文系 富春江水力发电厂
.....上海计算技术研究所 华东电业管理局总调度所 (140)

应用电子计算机分析研究单位线的变化

.....水利电力部洪水预报会战小组 (167)
.....水利电力部第十一工程局勘测设计研究院

中小型水库简易洪水预报方法山东省水文总站 (186)

沙河流域河库联合调度方案.....广东省水文总站 (214)

编 后 (236)

湿润地区降雨产流分层计算法

浙江省水文总站 南京大学地理系

近几年来，湿润地区用蓄满产流的概念编制产流方案，越来越得到广泛应用。蓄满产流概念明确，它把一个流域的降雨径流关系变成一个数学模式，用实际资料进行参数的优选，计算简便。根据浙江省多年来的实践，降雨径流关系是符合这种数学模式的。在产流计算中，关键是蒸发量的计算。本文着重介绍分层计算蒸散发的方法，并以逐日实测的水面蒸发值代替以往按季节采用的蒸散发能力计算产流，不论在雨季或旱季都能得到较满意的成果。

一、流域蓄水曲线

蓄满产流的物理过程：当整个土层的湿度未达到田间持水量（蓄满）之前，不产流，达到以后全部雨量都产流。下渗部分为地下径流和表层流，超渗部分为地面径流。对一个流域而言，由于土层缺水量在流域上分布是不均匀的，沟边、洼地等处缺水量小，易于蓄满，先产流；在广大坡面上缺水量大，后产流。在一次降雨过程中，产流面积在不断变化，这种变化决定于土层缺水量随流域面积的分布情况，这种分布情况可用图 1 所示的流域蓄水曲线来表示。

流域蓄水曲线的纵坐标是流域上某地点的最大蓄水量 W' ，即土壤蓄水量中的可变部分，在数值上也就等于该地点

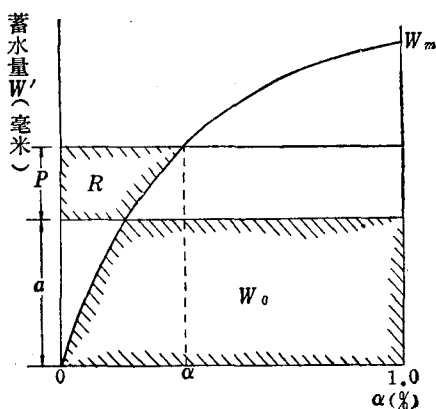


图 1 流域蓄水曲线

的最大缺水量。横坐标是产流面积与全流域面积的比值 α ， $\alpha = 0 \sim 1$ 。图 1 中流域蓄水曲线以下所包围的面积就是流域最大蓄水量 W_m （以全流域平均计）。如降雨开始时流域蓄水量为 W_0 ，降雨量为 P ，则产流面积将沿流域蓄水曲线逐渐增大至 α ，这时降雨量 P 、损失量 I 、产流量 R 与 W_0 之间的关系就如图 1 所示。

根据浙江省过去制作降雨径流图经验及华东水利学院近几年对湿润地区流域蓄水曲线线型的研究，认为湿润地区流域蓄水曲线的线型以 n 次方抛物线比较合适，可表达为：

$$\alpha = 1 - \left(1 - \frac{W'}{W_m}\right)^n \quad (1)$$

式中 α —— 产流面积与全流域面积的比值；

W' —— 流域某地点的最大蓄水量（毫米）；

W'_m —— 流域上 W' 的极大值（毫米）；

n —— 流域蓄水曲线指数。

上式有两个待定数值 n 和 W'_m 。

由流域蓄水曲线方程可导出降雨径流的计算式。令雨前流域蓄水量为 W_0 ，其相应的蓄水曲线纵坐标为 a ，见图 1，则

$$W_0 = \int_0^a (1 - \alpha) dW'$$

将 (1) 式代入积分后整理得：

$$W_0 = \frac{W'_m}{n+1} \left[1 - \left(1 - \frac{a}{W'_m} \right)^{n+1} \right] \quad (2)$$

当 $a = W'_m$ 时， $W_0 = W_m$ ，由 (2) 式可得：

$$W'_m = (1+n)W_m \quad (3)$$

此值代入 (2) 式整理得：

$$a = W'_m \left[1 - \left(1 - \frac{W_0}{W'_m} \right)^{\frac{1}{n+1}} \right] \quad (4)$$

产流量为：

$$R = \int_a^{a+P} \alpha dP$$

当 $a+P < W'_m$ 时，将 (1) 式代入上式积分整理得：

$$R = P + W_0 - W_m + W_m \left(1 - \frac{a+P}{W'_m} \right)^{n+1} \quad (5)$$

当 $a+P \geq W'_m$ 时：

$$R = P + W_0 - W_m \quad (6)$$

二、降雨径流相关图制作

有了上述产流模式，用电子计算机计算径流就十分方

便。在无电子计算机时，可根据实际资料分析 W_m 和优选 n 值，用 (4) (5) (6) 式制作 $R = f(P + W_0, W_0)$ 相关图，步骤如下：

(1) 假设一组 W_0 ，利用 (4) 式列表算出相应的 a 值，见表 1。

表 1 a 值 计 算 表

W_0 (毫米)	$\frac{W_0}{W_m}$	$\left(1 - \frac{W_0}{W_m}\right)^{\frac{1}{n+1}}$	$1 - \left(1 - \frac{W_0}{W_m}\right)^{\frac{1}{n+1}}$	a (毫米)	说 明
10	0.1	0.9222	0.0778	10.1	$n = 0.3$
20	0.2	0.8423	0.1577	20.5	$W_m = 100$
30	0.3	0.7601	0.2399	31.2	$W_m' = 130$
40	0.4	0.6751	0.3249	42.2	
50	0.5	0.5869	0.4131	53.7	
60	0.6	0.4942	0.5058	65.7	
70	0.7	0.3961	0.6039	78.5	
80	0.8	0.2899	0.7101	92.3	
90	0.9	0.1701	0.8299	107.9	
100	1.0	0.0000	1.0000	130.0	

(2) 利用 (5) 式列表计算各个 W_0 时不同 P 值的径流深 R ，见表 2。 W_0 、 P 值根据作图需要假定。因 (5) 式适用范围是 $a + P < W_m'$ ，所以假定的 P 值应小于或等于 $W_m' - a$ 。

(3) 由表 2 中的 $P + W_0$ 与 R 点绘以 W_0 为参数的 $R = f(P + W_0, W_0)$ 关系图，见图 2。关系图的上部是一条 45° 直线（即 $dR = dP$ ），与纵坐标的截距为 W_m 。关系图的下部是以 W_0 为参数的一组曲线（ $dR < dP$ ）， $W_0 = 0$ 的曲线与直线的交点，在纵坐标上的读数为 W_m' 。这些特性与蓄水曲线是一致的。

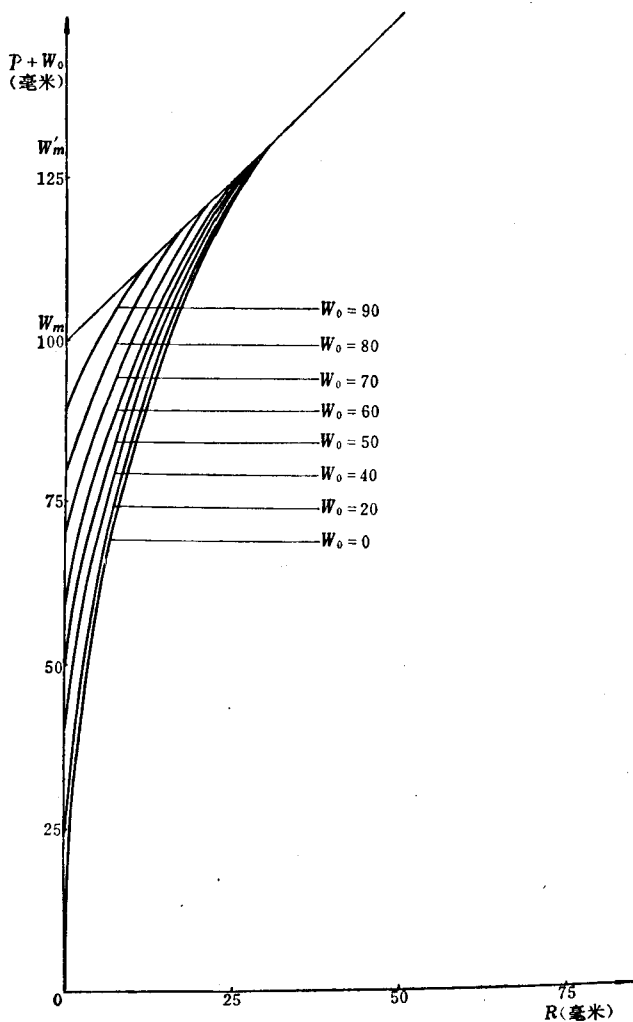


图 2 降雨径流相关图
 $n = 0.3$, $W_m = 100$, $W'_m = 130$

表 2

降雨径流关系计算表

W_0 (毫米)	P (毫米)	$P + W_0$ (毫米)	a (毫米)	$1 - \frac{a + P}{W'_m}$	$W_m \left(1 - \frac{a + P}{W'_m} \right)^{\frac{1}{n+1}}$	R (毫米)
0	20.0	20.0	0	0.8462	80.5	0.5
	40.0	40.0		0.6923	62.0	2.0
	60.0	60.0		0.5385	44.7	4.7
	80.0	80.0		0.3846	28.9	8.9
	100.0	100.0		0.2308	14.9	14.9
	120.0	120.0		0.0769	3.6	23.6
	130.0	130.0		0.0000	0.0	30.0
20	20.0	40.0	20.5	0.6885	61.6	1.6
	40.0	60.0		0.5346	44.3	4.3
	60.0	80.0		0.3808	28.5	8.5
	80.0	100.0		0.2269	14.5	14.5
	109.5	129.5		0.0000	0.0	29.5
40	20.0	60.0	42.2	0.5215	42.9	2.9
	40.0	80.0		0.3677	27.2	7.2
	60.0	100.0		0.2138	13.5	13.5
	87.8	127.8		0.0000	0.0	27.8
60	20.0	80.0	65.8	0.3400	24.6	4.6
	40.0	100.0		0.1862	11.2	11.2
	64.2	124.2		0.0000	0.0	24.2
80	20.0	100.0	92.3	0.1362	7.5	7.5
	37.3	117.3		0.0000	0.0	17.7

注 $n = 0.3, W_m = 100, W'_m = 130$ 。

三、分层蒸散发计算论证

在蓄满产流条件下，只要流域蓄水曲线确定了，降雨径流之间的关系就决定于雨前流域蓄水量(W_0)。而 W_0 又决定

于雨前的蒸散发。所以如何计算土壤水的蒸散发，就成为产流量计算中的关键问题。

关于计算方法，根据理论分析和浙江省多年来的实践，认为采取分层计算方法是比较合理的，现以土壤含水量的增长过程和消退规律以及土壤蒸发观测资料加以论证。

(1) 广大坡面上土壤含水量的增长是由于降雨入渗。当地面承受雨水时，入渗水将首先使表层饱和，然后逐渐向下浸润。由于土壤毛管作用大小不一，入渗水的下端将成楔形锋面，随着时间增长，饱和带逐渐加厚。当雨水停止，地面水消失后，表层自由重力水将继续下渗，直至表层土壤含水量降至田间持水量为止。其变化过程见图3，图3为1966年9月3日至8日一次降雨土壤含水量增长过程，并可看出土壤含水量锋面下移的过程。4日表层土壤10厘米深度范围内首先饱和，随着降雨下渗增加，锋面下移，至6日锋面最大值在20~30厘米深度。这个过程，水分除不断填补中、下

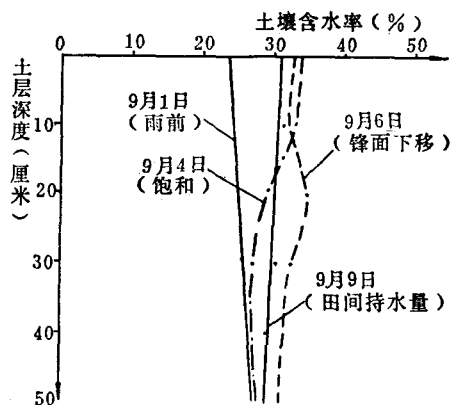


图3 姜湾站实测土壤含水量增长过程

层土壤缺水量外，其余部分形成表层流和稳定入渗，一直继续到9日，相当深度的土层都达到田间持水量。

(2) 土壤含水量的消退是由于蒸散发，当土壤充分湿润(达到田间持水量)后，土壤含水量自表层开始消退，消退速度随着土层深度而减缓，其消退规律见图4。图4为姜湾站1966年9月9日到26日土壤含水率消退规律，可以看出，9~16日八天中，深度在20厘米范围平均消减达7.5%，至30厘米深度仅消减2%，至40厘米深度消减甚微。其后又经过十一天(至26日)，至50厘米深度亦消减甚微。

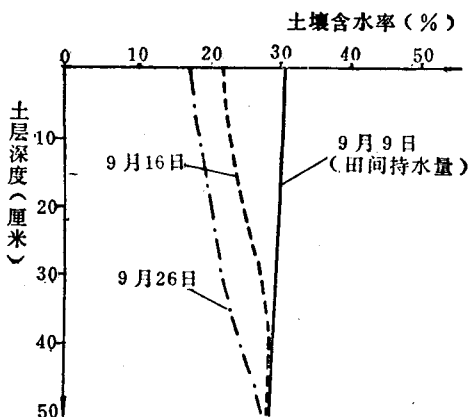


图4 姜湾站土壤含水率消退规律

(3) 影响流域蒸散发的因素，有气象因素与下垫面因素。蒸发能力 E_m 是指充分供水条件下土壤的日蒸发量，它集中反映了影响土壤蒸发量的气象因素，在数值上大致与水面蒸发量相当(80厘米套盆蒸发皿)。下垫面因素中有土壤含水量、土壤质地与结构、地形、植被等，对一定流域来说，

这些因素中只有土壤含水量是变化的，其余均不变。因此在土壤蒸散发计算中，土壤含水量和蒸发能力是两个主要指标。例如，我们采用了姜湾站暴雨后全流域均蓄满，并且以后无雨的资料，分析该站的土壤含水量（ W ）与土壤蒸发量（ $E_{\pm}$ ）、水面蒸发量（ $E_{\text{水}}$ ）之间的关系。按公式

$$W_t = W_{t-1} + P - E_{\pm}$$

列表计算逐日的 W ，见表3其中 W_{t-1} 和 W_t 分别代表每日开始和结束时的土壤含水量。同时点绘 $W \sim E_{\pm}/E_{\text{水}}$ 关系图，如图5所示。图5明显反映了一次降雨蓄满后，土壤蒸发量

表 3 姜湾站一次降水饱和后 W 与 $E_{\pm}/E_{\text{水}}$ 计算表

日 期	P (毫米)	$E_{\text{水}}$ (毫米)	$E_{\pm}$ (毫米)	$E_{\pm}/E_{\text{水}}$	W (毫米)
7月8日	13.7	3.9	4.8		100
9日	0.6	1.7	2.2	1.29	98.4
10日	3.0	2.2	2.2	1.00	99.2
11日	0.3	4.5	4.2	0.93	95.3
12日		5.6	5.8	1.04	89.5
13日		5.3	5.2	0.98	84.3
14日		4.7	4.9	1.04	79.4
15日		5.4	5.2	0.96	74.2
16日		5.4	4.6	0.85	69.6
17日		6.0	4.4	0.73	65.2
18日		5.4	4.7	0.87	60.5
19日		6.4	4.8	0.75	55.7
20日	0.6	5.5	3.4	0.62	52.9
21日		5.6	4.6	0.82	48.3
22日		6.2	3.3	0.53	48.0
23日		5.7	3.1	0.54	41.9
24日		5.2	1.8	0.35	40.1
25日		4.3	1.4	0.33	38.7

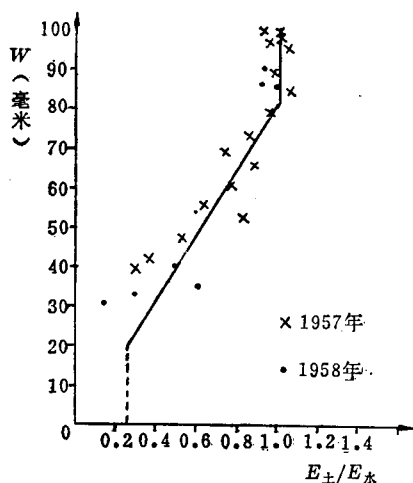


图 5 姜湾站一次降雨蓄满后
 $W \sim E_{\pm}/E_{\text{水}}$ 关系图

随土壤含水量消退的变化特性。

从姜湾站点上资料分析，我们认为流域蒸散发以下列三个阶段进行：

(1) 表层土壤含水量达到(或超过)田间持水量时，流域蒸散发量为最大阶段。这时土壤水的蒸散发虽然是在表面进行的，但随着表面土壤水分的耗损，表层土壤水将以毛管水的形态向蒸发面补充，在

一定阶段内，水分供应仍是充分的。从图 5 可见， $E_{\pm}/E_{\text{水}} \approx 1$ ，即这一阶段的平均蒸散发率相当于蒸散发能力。这一阶段的范围大致在土壤蓄水量 100~80 毫米之间，就相当于图 5 中的上层 20 毫米左右的蓄水量。

(2) 当表层土壤含水量下降到田间持水量以下时，由于毛管输送能力的降低，蒸散发率开始渐减，此时的蒸散发量同时受到土壤含水量和气象因素的影响，可用 W 与 $E_{\pm}/E_{\text{水}}$ 成正比的关系表示，即 $E_{\pm} = K E_{\text{水}} W$ ，此阶段将一直维持到毛管断裂。这一阶段的总蒸散发量，就相当于图 5 层大约 60 毫米（80~20 毫米之间）。

(3) 当土壤含水量缓慢移动，或以气体水的形态向土壤表面扩散，供给蒸散发；尤其在湿润地区深层含水量相当

充足，这种向上转移量虽然不大，但能源源不断保持一个较稳定的数值 E_0 ；同时有的地区植物根系吸取深处含水量以供给植物散发。

综上所述，流域蒸散发的三个阶段，实际上反映了不同深度土壤含水量变化与蒸散发的关系。因此计算流域蒸散发时，必须考虑不同深度土壤含水量这个因素。根据以上分析，可把整个土层大致分为上、中、下三层，分层计算蒸散发量。

四、产流（扣损）计算

流域的产流计算，需要确定下列参数：流域蓄水曲线的指数 n 值；流域平均最大蓄水量 W_m ；上、中、下三层最大蓄水量 W_{Am} 、 W_{B_1m} 、 W_{B_2m} ；流域蒸散发能力 E_m ；下层土壤蒸发率的上限 E_0 。我们根据浙江和各地的经验，大致确定一个范围进行试算优选。现以浦阳江街亭站为例，参数的范围是： $n=0.2\sim0.3$ ； $W_m=100\sim120$ 毫米； $W_{Am}=20\sim25$ 毫米； $W_{B_2m}=20$ 毫米； $W_{B_1m}=W_m-W_{Am}-W_{B_2m}$ ； $E_m\approx E_K$ （80厘米套盆式蒸发皿观测值）； $E_0\leq 1$ 毫米

$$\left[\text{当 } \frac{W_{B_2m}}{W_{Bm}}(E_m - E_A) \leq 1, \text{ 则 } E_0 = \frac{W_{B_2m}}{W_{Bm}}(E_m - E_A) \right].$$

每确定一组参数要进行一次 W_0 及 R 的计算。如街亭站参加优选的18组参数(包括不分层)中，以 $n=0.3$ ， $W_m=100$ 毫米， $W_{Am}=20$ 毫米， $W_{B_1m}=60$ 毫米， $W_{B_2m}=20$ 毫米精度最高，即为最优方案而取用，据此，用前法制作降雨径流相关图。现以街亭站1971年9月21日~23日的一次雨洪为例，计算如下：

(1) 计算流域蓄水量 W_0 ：必须从6月22日全流域蓄满

之日，即 $W_0=100$ 毫米时开始。计算 W_0 可按水量平衡方程：

$$W_{0,t+1} = W_{0,t} + P_t - E_t - R_t \quad (7)$$

式中 $W_{0,t}$ —— t 日蓄水量（毫米）；
 $W_{0,t+1}$ —— $t+1$ 日蓄水量（毫米）；
 P_t —— t 日降水量（毫米）；
 E_t —— t 日蒸散发量（毫米）；
 R_t —— t 日的径流深（毫米）。

设上层为 A 层，蓄水量为 W_A ，中下层为 B 层，蓄水量为 W_B ，则 $W_0 = W_A + W_B$ ， $E_m = E_A + E_B$ 。 W_A 与 W_B 的增长（降水下渗）与消退（蒸散发）均按先 A 层后 B 层的规则进行。流域蓄水量 W_0 的计算公式列如表4，街亭站1971年的 W_0 值计算列如表5。

（2）产流（扣损）计算：9月21日～23日降雨量 $\bar{P} = 99.8$ 毫米，表5中21日8时 $W_0 = W_A + W_B = 20 + 29.5 = 49.5$ 毫米，按（4）式计算得 $a = 53.3$ 毫米，因 $\bar{P} + a = 99.8 + 53.3 = 153.1 > W'_m$ ，根据（6）式考虑雨期蒸发计算产流量：

$R = \bar{P} + W_0 - W_m - E_{雨} = 99.8 + 49.5 - 100 - 2.2 = 47.1$ 毫米，这次雨洪的扣损量为流域缺水量 $W_m - W_0 = 50.5$ 毫米和雨期蒸发量2.2毫米。

（3）为了对比分层和不分层计算成果的精度，表5中将不分层计算成果也同时列出。现取9月21日至23日的产流量对比如下：

分层计算： $R_{分} = 47.1$ 毫米， $R_{实} = 50.5$ 毫米， $\Delta R = -3.4$ 毫米；

不分层计算： $R_{分} = 78.3$ 毫米， $R_{实} = 50.5$ 毫米， $\Delta R = 27.8$ 毫米。

表 4 流域蓄水量计算公式 (单位: 毫米)

条 件	流 域 蒸 散 发 量 $E = E_A + E_B$		次日流域蓄水量		说 明	算 例
	$W_{A,t} + P_t$	$W_{B,t}$	E_A	E_B		
$\geq E_m$			E_m	0	$W_{0,t+1} = W_{A,t+1} + W_{B,t+1}$	
					$W_{A,t+1}$	
$\geq E_m$			E_m	0	$W_{B,t} + (W_{A,t} + P_t - R_t - E_m) - W_{Am}$	表 5 中的 9 月 19 日一栏
					W_{Am}	
$< E_m$	$\geq W_{B_2m}$	$\frac{W_{A,t} + P_t}{P_t}$	$\frac{W_{A,t} + P_t}{P_t}$	$\frac{W_{B,t}}{W_{Bm}}$	$W_{A,t} + P_t - R_t - E_m$	表 5 中的 9 月 8 日一栏
					$W_{B,t}$	
$< E_m$	$< W_{B_2m}$	$\frac{W_{A,t} + P_t}{P_t}$	$\frac{W_{A,t} + P_t}{P_t}$	$\frac{W_{B,t}}{W_{Bm}}$	$W_{A,t} + P_t - R_t - E_m$	表 5 中的 7 月 11 日一栏
					$W_{B,t} - E_B$	
$< E_m$	$< W_{B_2m}$	$\frac{W_{A,t} + P_t}{P_t}$	$\frac{W_{A,t} + P_t}{P_t}$	$\frac{W_{B,t}}{W_{Bm}}$	$W_{A,t} + P_t - R_t - E_m$	表 5 中的 7 月 20 日一栏
					$W_{B,t} - E_0$	

注 R_t 是在降雨径流相关图上查得。