

第七节 超渗产流模型



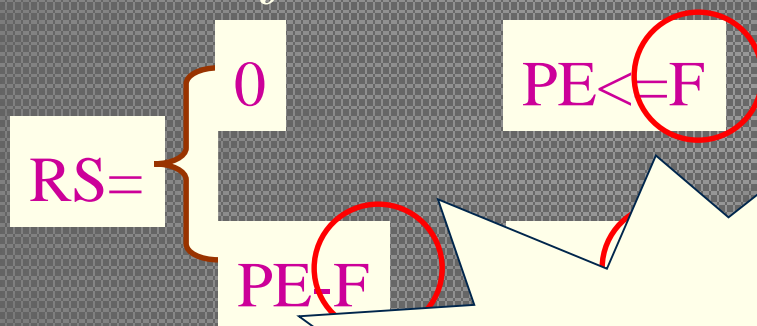
第七节 超渗产流模型

超渗产流概念

干旱和半干旱地区的地下水埋藏很深，包气带可达几十米甚至上百米，降水不易使包气带蓄满，下渗的水量一般不会产生地下径流。只有降水强度超过下渗率时才有地面径流产生 R_S ，地下径流量 R_G 很少。这种产流方式，称为超渗产流。

一、超渗产流模型原理

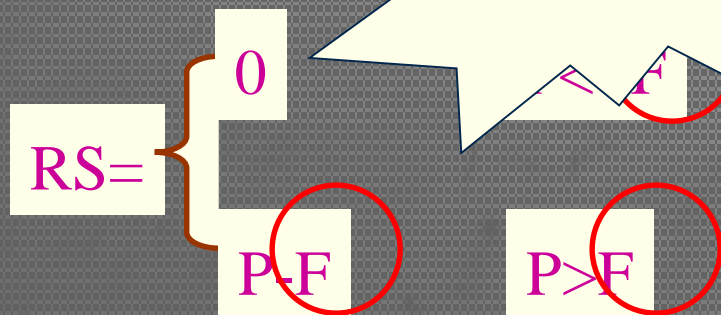
超渗产流: $i > f$



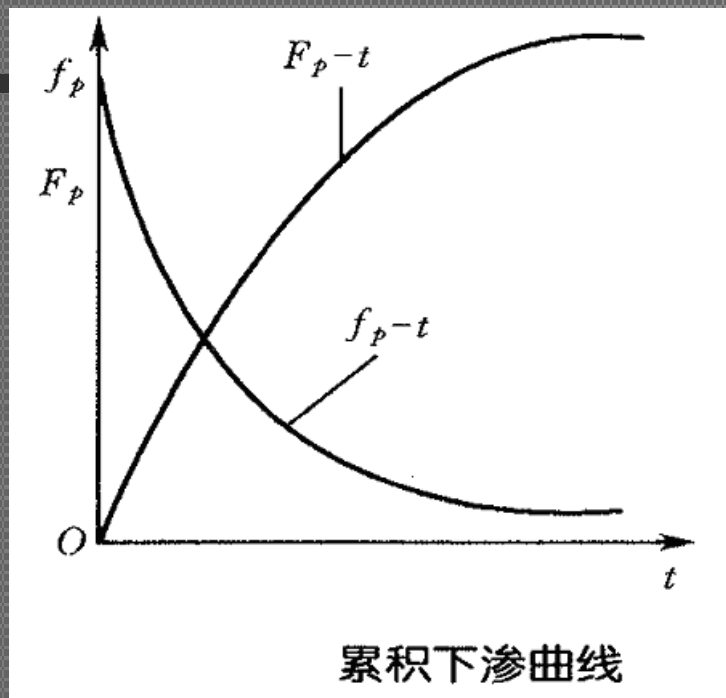
F的确定是关键

一般, 干旱地区, F 较小

F 可忽略, PE可由P代替



二、下渗曲线



下渗能力随时间的变化过程线，称为下渗能力曲线，简称下渗曲线。以 $f(t) \sim t$ 表示。下渗的水量用累积下渗量 F 随时间的增长曲线来表示。

下
渗
关
系

物理概念公式

下渗方程

经验相关关系图

(一) 物理概念公式(Green-Ampt公式) :

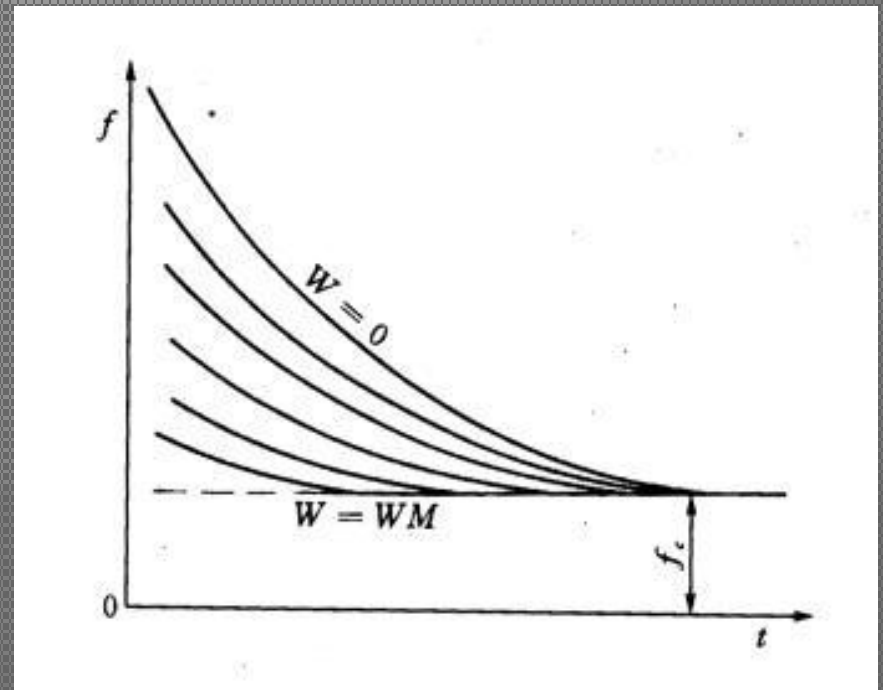
$$f = K + \sqrt{\frac{KH_K D}{2t}}$$

K : 饱和土壤导水率

H_K : 土壤最干燥时的毛管上升高度

D : 土壤缺水率

对特定流域，土壤特性不变
 H_K 与渗透系数 K 一样，不随
时间变化，故 f 为 D 和 t 的函数
 D 反映初始含水量的大小。



(二) 理论公式



Horton公式:

Horton公式: $f_t = f_c + (f_M - f_c)e^{-kt}$

f_c : 稳定下渗率

f_M : 最大下渗能力

k : 参数

Note: $f(t=0)=f_M$, 每次降雨起始时刻下渗率不一定等于 f_M , 起始时间不一定为0, 设开始时刻下渗率为 f_0 , 相应 t_0 :

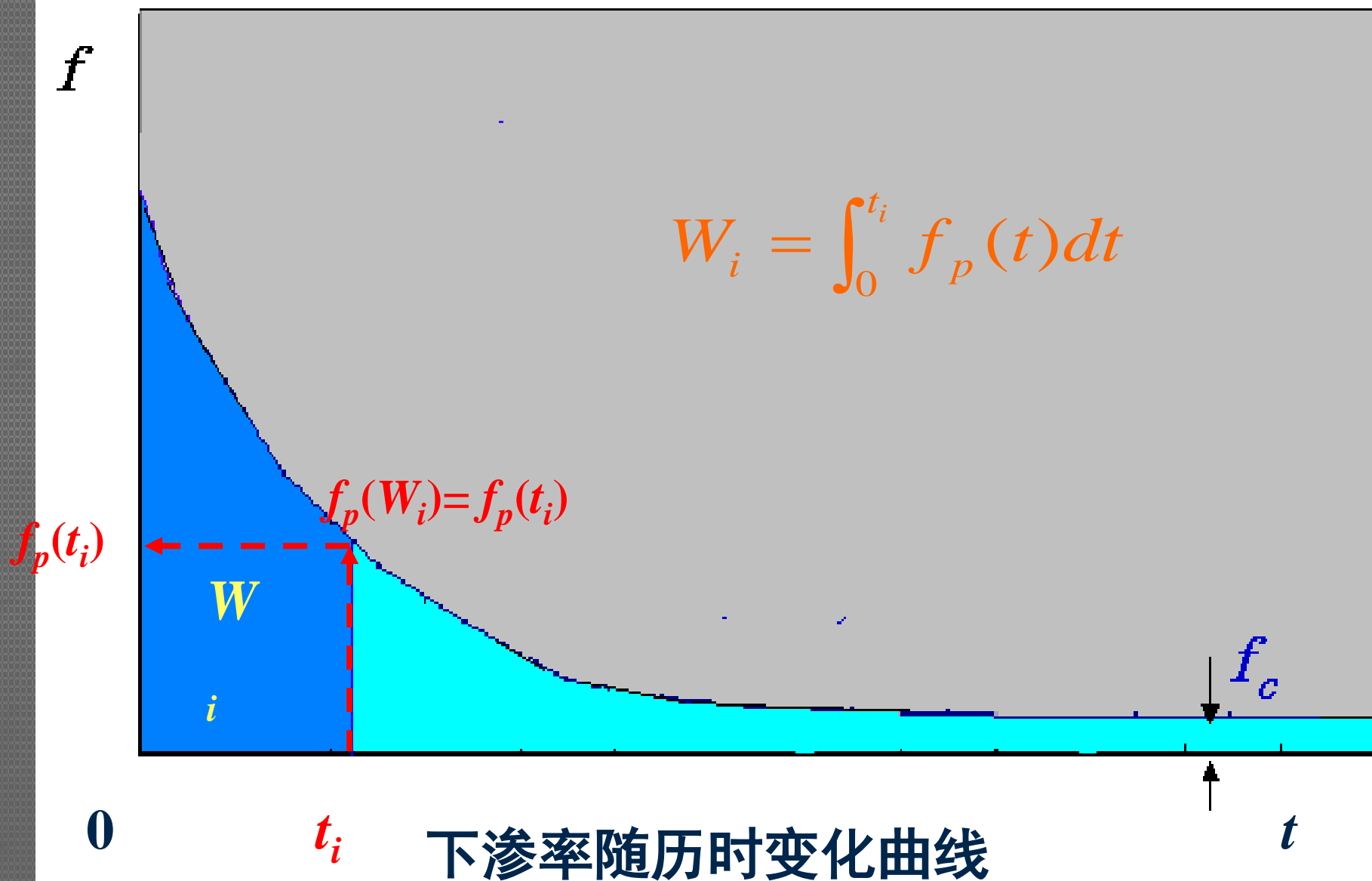
$$t_0 = -\frac{1}{k} \ln \frac{f_0 - f_c}{f_M - f_c}$$

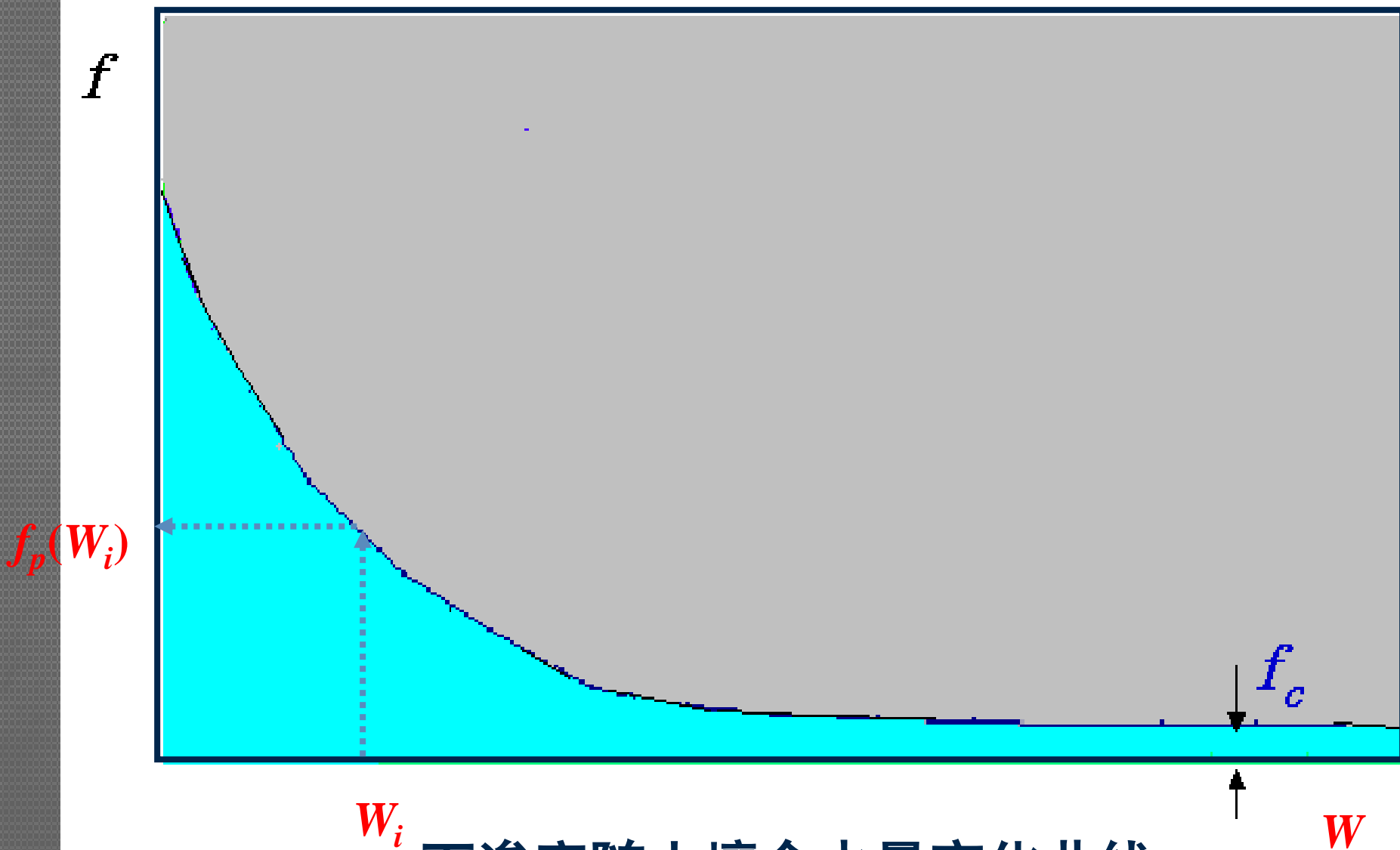
$f_p(t) \sim f_p(W)$ 转换

流域上每次降雨的强度并非持续大于下渗率，不能保证充分供水条件；其次是初始土壤含水量不等于0。因此，每次降雨实际下渗曲线是不同的。

解决方法是将下渗率随历时变化的曲线 $f_p(t)$ 转换成随土壤含水量 W 变化的曲线 $f_p(W)$

$$W = F = \int_0^t f_p(t) dt$$





W_i

下渗率随土壤含水量变化曲线

W

Horton公式:

Horton公式:

$$f_t = f_c + (f_M - f_c)e^{-kt}$$

Horton累积下渗量公式:

$$F_t = \int_0^t (f_c + (f_M - f_c)e^{-kt}) dt = f_c \cdot t + \frac{1}{k} (f_M - f_c) (1 - e^{-kt})$$

$$f_t = f_c + (f_M - f_c)e^{(f_M - f_t - kF_t) / f_c}$$

Philip公式:

Philip公式:

$$f_t = A + Bt^{-\frac{1}{2}}$$

Philip累积下渗量公式:

$$F_t = 2B\sqrt{t} + A.t$$

$$f_t = B^2 (1 + \sqrt{1 + AF_t / B^2}) / F_t + A$$

Philip公式:

$$f_t = B^2 (1 + \sqrt{1 + AF_t / B^2}) / F_t + A \quad A=0.1; B=5.6$$

表 2-19 超渗产流计算 单位: mm

时:分	P	W	f	ΔW	RS	时:分	P	W	f	ΔW	RS
14:39		12.8				15:1	2.3	35.1	2.0	2.0	0.3
41	0.3	13.1	5.0	0.3		3	0.5	35.6	1.9	0.5	
43	0.6	13.7	4.9	0.6		5	0.5	36.1	1.9	0.5	
45	0.7	14.4	4.7	0.7		7	0.5	36.6	1.9	0.5	
47	2.7	17.1	4.5	2.7		9	0.5	37.1	1.9	0.5	
49	2.8	19.9	3.8	2.8	0.0	11	0.3	37.4	1.8	0.3	
51	3.4	23.2	3.3	3.3	0.1	13	0.3	37.7	1.8	0.3	
53	4.0	26.0	2.8	2.8	1.2	15	0.3	38.0	1.8	0.3	
55	4.0	28.6	2.6	2.6	1.4	17	0.1	38.1	1.8	0.1	
57	5.0	30.9	2.3	2.3	2.7	19	0.1	38.2	1.8	0.1	
59	5.0	33.1	2.2	2.2	2.8	Σ	33.9			25.4	8.5

(三) 经验关系

$$z_f = F_t / D$$

$$K = f_c$$

$$f = K \left(1 + \frac{H_K}{z_f} \right)$$

$$D = \frac{WM - W}{z_f}$$

$$f - f_c = \frac{f_c \cdot H_K}{F_t \cdot z_f} (WM - W)$$

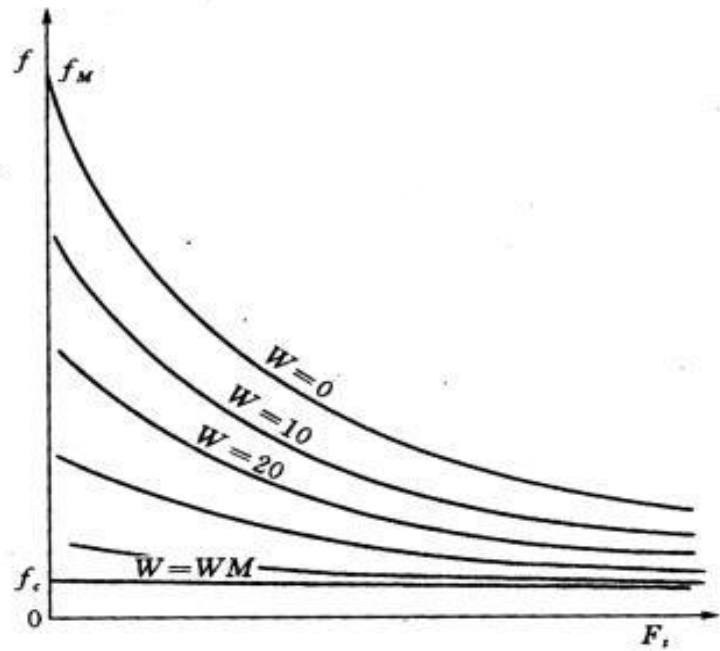


图 2-42 $f - W - F_t$ 关系示意图

三、下渗曲线的制作

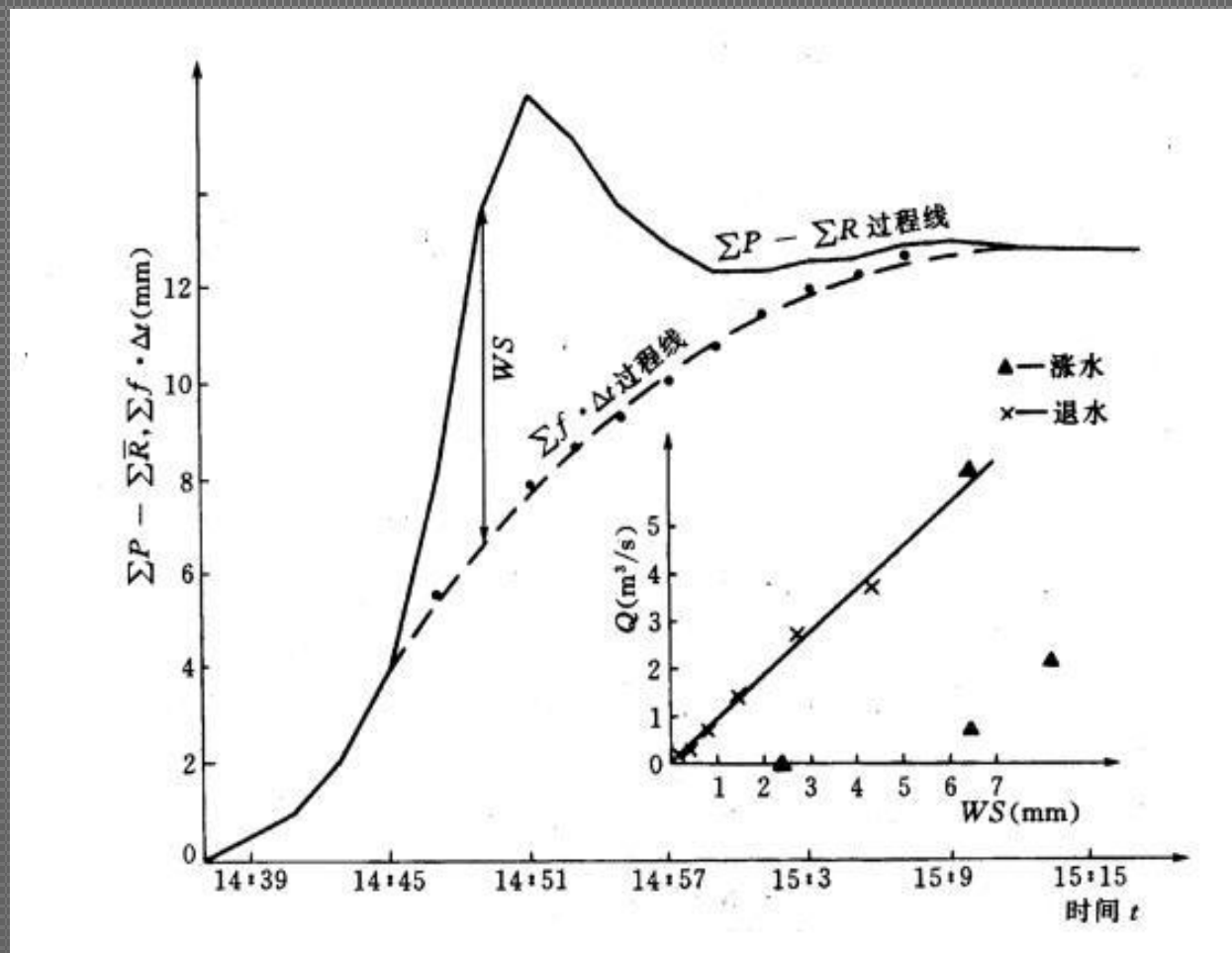
(一) 水量平衡法推求下渗曲线

$$\sum_{t=1}^T P_t - \sum_{t=1}^T TR.Q_t = \sum_{t=1}^T f_t.\Delta t + WS_t$$

求解步骤:

- 1) 先假定一条下渗曲线 $f \sim t$
- 2) 点绘 $Q \sim WS$ 关系图
- 3) $Q \sim WS$ 近似直线, 则假设的 $f \sim t$ 合理

(一) 水量平衡法推求下渗曲线



(二) Philip下渗曲线的分析计算

一次洪水:

$$F_t = P - RS$$

T_F : 超渗历时

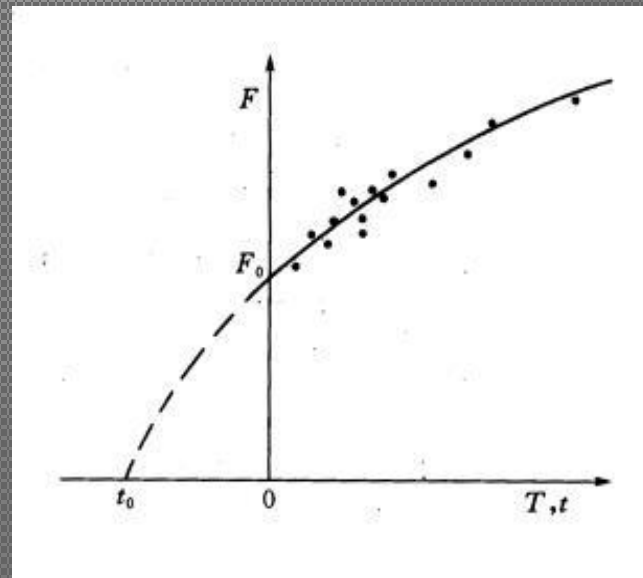
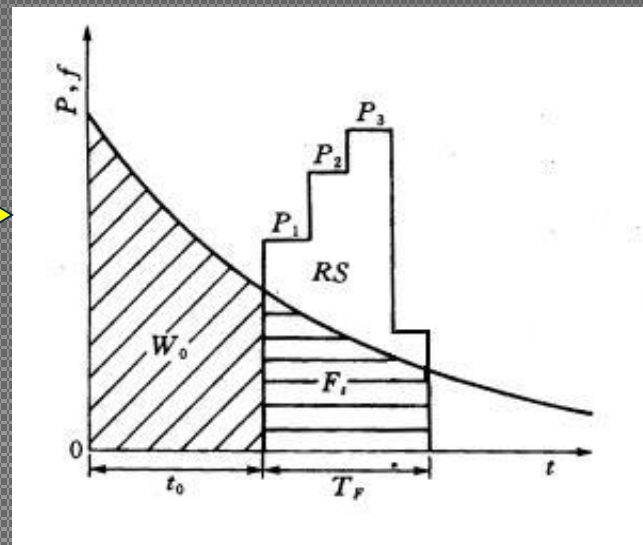
n次洪水:

$$(F_{t1}, T_{F,1}), (F_{t2}, T_{F,2}), \dots, (F_{tn}, T_{F,n})$$

$$F_i = W_{0,i} + F_{ti} \quad i=1, 2, \dots, n$$

$$T_i = t_{0,i} + T_{F,i} \quad i=1, 2, \dots, n$$

点绘 (F_i, T_i)



(二) Philip下渗曲线的分析计算

推求A,B:

Philip下渗公式: $F_i = A(t_0 + T_{F,i}) + 2B\sqrt{t_0 + T_{F,i}}$

假设一组 t_0 , 最小二乘法确定A,B

推求 t_0 :

将A,B代入, 再用最小二乘法, 确定 t_0

$$E = \sum_{i=1}^n [F_i - \hat{A}(t_0 + T_{F,i}) - 2\hat{B}\sqrt{t_0 + T_{F,i}}]^2 = \min$$

Notes:1)选择多次洪水的初始土壤含水量要比较接近

2)统计下渗历时 T_F , T_F 内 $i > f$

(三) 经验下渗关系和Horton下渗公式的分析计算

一场降雨：

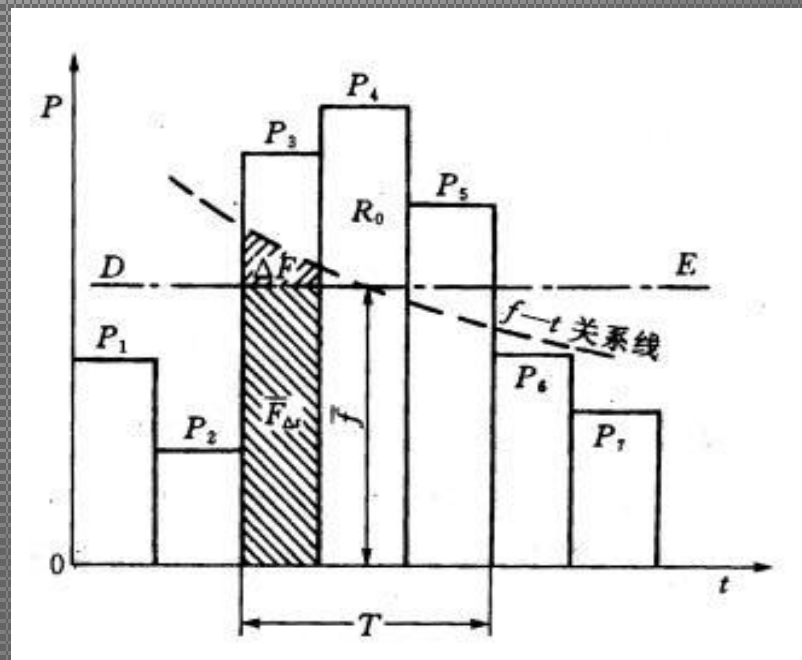


$T/2$ 处超渗累积下渗量：

$$F_t = \overline{F}_{\Delta t} + \frac{1}{2} \overline{F}_{\Delta t}$$

超渗产流开始时的土湿：

$$W'_0 = W_0 + P_1 + P_2$$



(三) 经验下渗关系和Horton下渗公式的分析计算

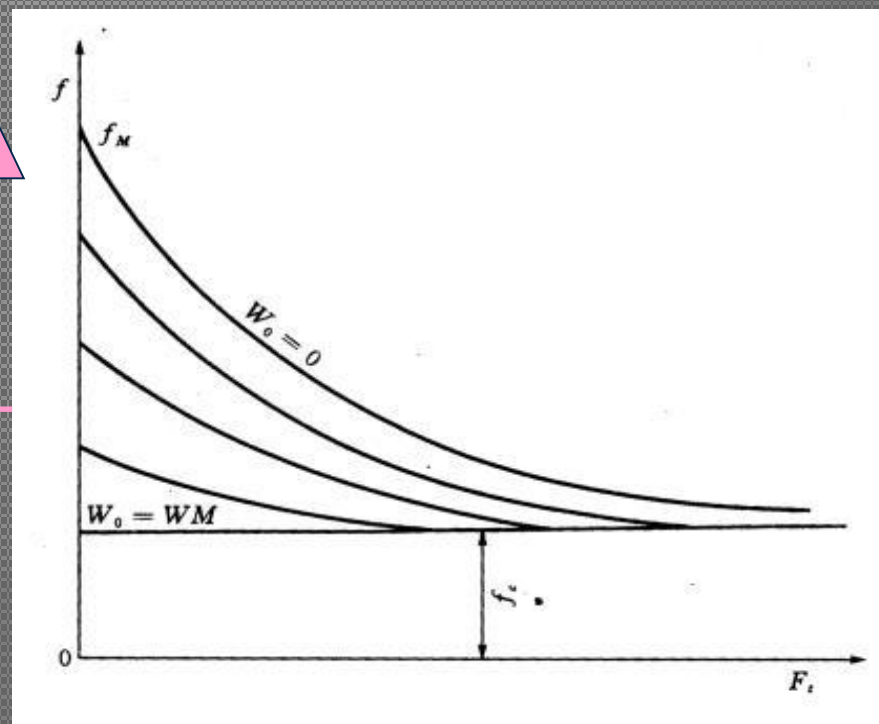
若干次洪水:

$$(f_1, W'_{01}, F_{t,1}) \quad (f_2, W'_{02}, F_{t,2}) \quad \dots \quad (f_n, W'_{0n}, F_{t,n})$$

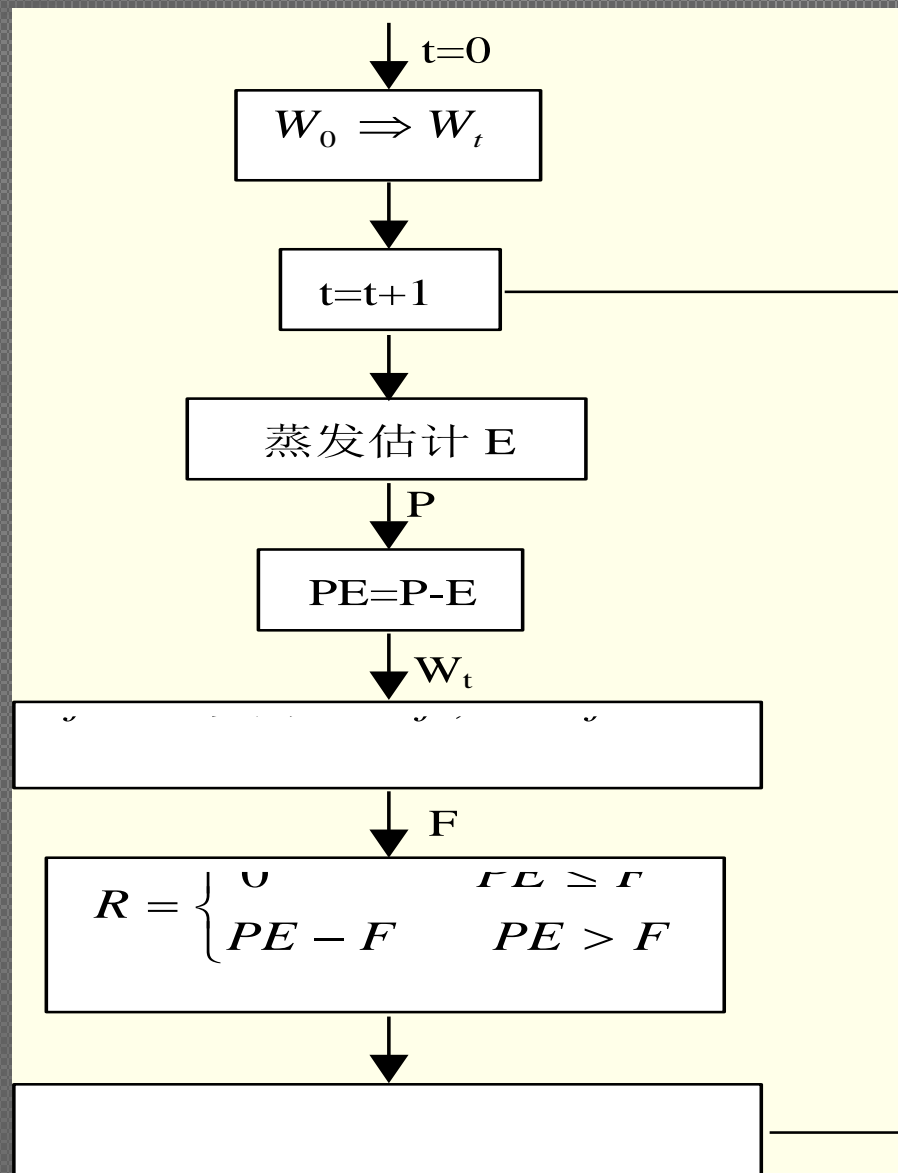
$$f - W'_0 - F_t$$

查图得 f_M, f_c

率定Horton公式中的 k



超渗产流计算框图



Discussion:

蓄满产流：R取决于
 W, P ，有地下径流；

超渗产流：R取决于
 W, i ，无地下径流。

思考题：

超渗产流会有什么
误差？怎么造成的？
如何改进？

补充：超渗产流的另外几种计算方法

（一）列表法：

将 $f_p \sim t$ 曲线转换为 $f_p \sim F_p$ 的下渗容量曲线。由于当初始流域含水量为零时，到某时刻的累积下渗量 F_p 就是该时刻的流域含水量 θ ，故 $f_p \sim F_p$ 曲线实际上就是 $f_p \sim \theta$ 曲线。 $f_p \sim \theta$ 曲线反映了流域含水量对下渗容量的影响，其作用与以 θ 为参变数的一组 $f_p \sim t$ 曲线一致。

补充：超渗产流的另外几种计算方法

（一）列表法计算超渗产流步骤如下

1) 根据降雨开始时的流域土壤含水量 θ_0 查 $f_p \sim \theta$ 曲线，求得该时刻的地面下渗容量为 f_{p0} 。

2) 如果计算时段不长，可近似用时段初地面下渗容量代替时段平均下渗容量。于是的第一时段的平均下渗容量为：
$$f_{p1} = f_{p0}$$

3) 将第一时段的平均降雨强度与上述求得的平均下渗容量进行比较，以确定本时段降雨产生的地面径流和下渗水量。

(一) 列表法计算超渗产流步骤如下

4) 计算第一时段末的流域土壤含水量:

$$\theta_1 = \theta_0 + I_1 - E_1$$

5) 转如第二时段, 步骤同上。

超渗产流地面径流量列表算法：

日 时 分	P(mm)	W(mm)	I(mm)	f _p (mm/min)	RS(mm)
11, 16:8	0	0			
9	0.3	0.3	0.3		
10	0.3	0.6	0.3	2.60	0
11	0.3	0.9	0.3	2.54	0
12	0.3	1.2	0.3	2.50	0
13	1.0	2.2	1.0	2.47	0
14	1.0	3.2	1.0	2.34	0
15	1.9	5.1	1.9	2.25	0
16	1.9	7.0	1.9	2.03	0
17	1.9	8.86	1.86	1.86	0.04
18	1.9	10.52	1.66	1.66	0.24
19	3.3	12.08	1.56	1.56	1.74

(二) 图解法计算超渗产流

图解法直接使用累积下渗容量曲线 $F_p \sim t$ ，在图上用作图的方法确定超渗产流的地面径流量。步骤如下：

1) 在图上作出 $F_p \sim t$ 曲线；

2) 根据降雨开始时的流域土壤含水量 θ_0 在曲线上找到A点；

3) 从A点开始作本次降雨的累积降雨量曲线 $\Sigma P \sim t$

4) 比较 $\Sigma P \sim t$ 曲线与 $F_p \sim t$ 曲线的坡度，判断是否有超渗产流发生及确定超渗地面径流量。两条曲线的坡度分别为降雨强度和下渗容量。

(二) 图解法计算超渗产流

在右图中，由于AB段不产流而BC段产流，故将BC段平移至B'C'，这样从C'曲线 $F_p \sim t$ 的垂直距离C'C''即为BC段降雨产生的地面径流量。

再将CD段平移至C''D'，由于其坡度小于 $F_p \sim t$ 曲线的坡度故CD段不产流，这样逐段比较下去就能得一场降雨的超渗地面径流量及其时程分配。

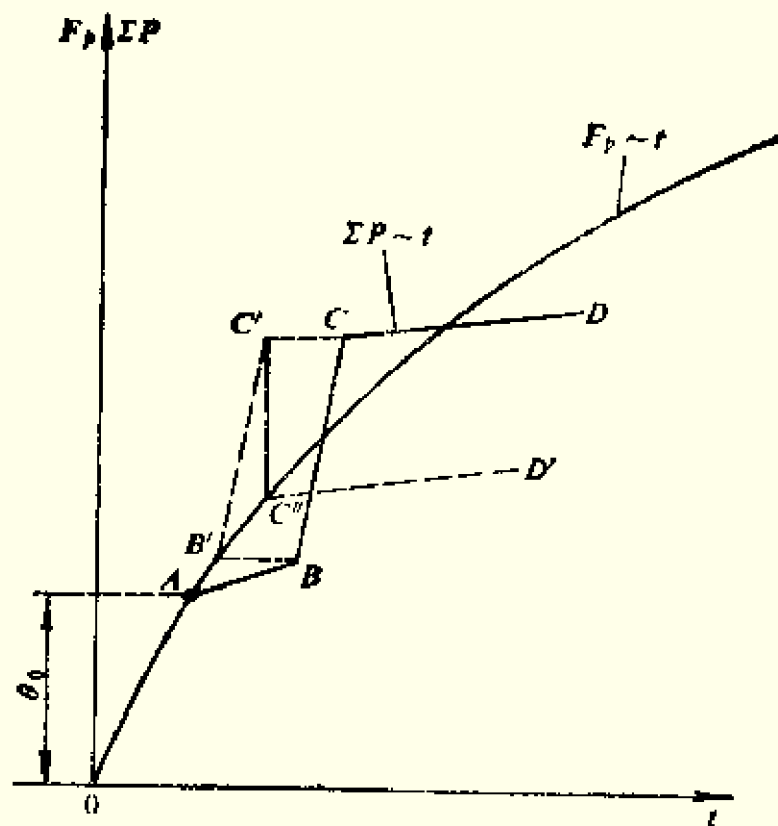


图 6-17 确定超渗地面径流的图解法

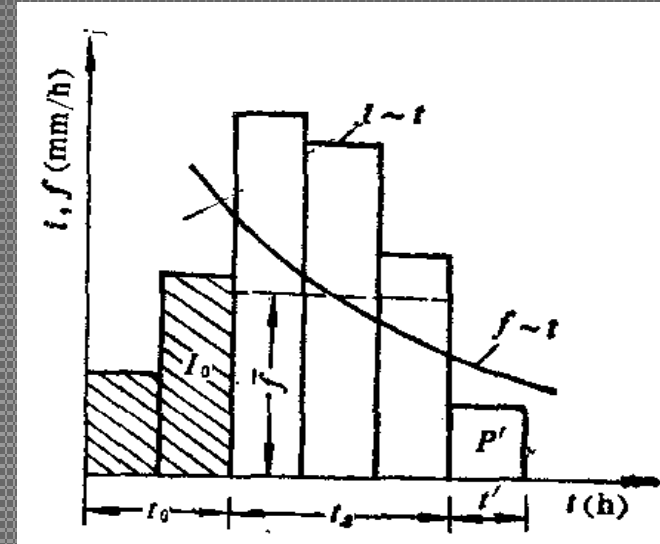
(三) 初损后损法

下渗曲线法的一种实用简化

初损后损法将下渗损失过程简化为初损后损两个阶段，如图所示。

1)初损：降雨开始到出现超渗产流时，历时 t_0 ，降雨全部损失，包括初期下渗 I_0 ，植物截留，填洼等。

2)后损：产流以后损失阶段，超渗历时 t_s 内的平均下渗能力 \bar{f} 。

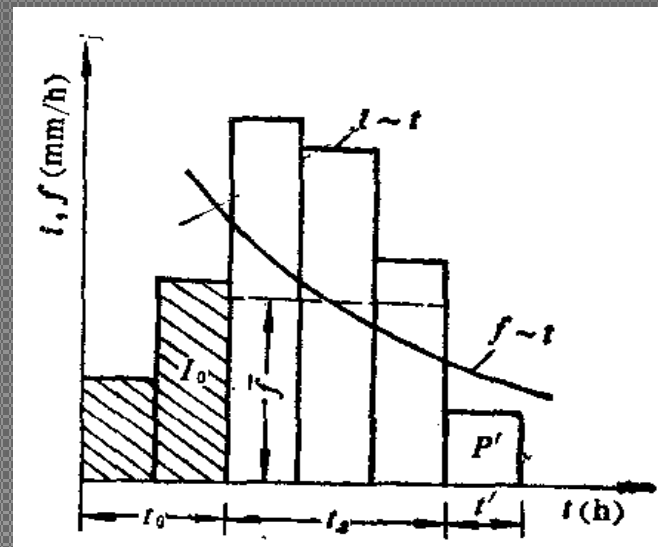


当时段内 $i > \bar{f}$ 时, 按 \bar{f} 入渗, 入渗量为 $\bar{f}\Delta t$

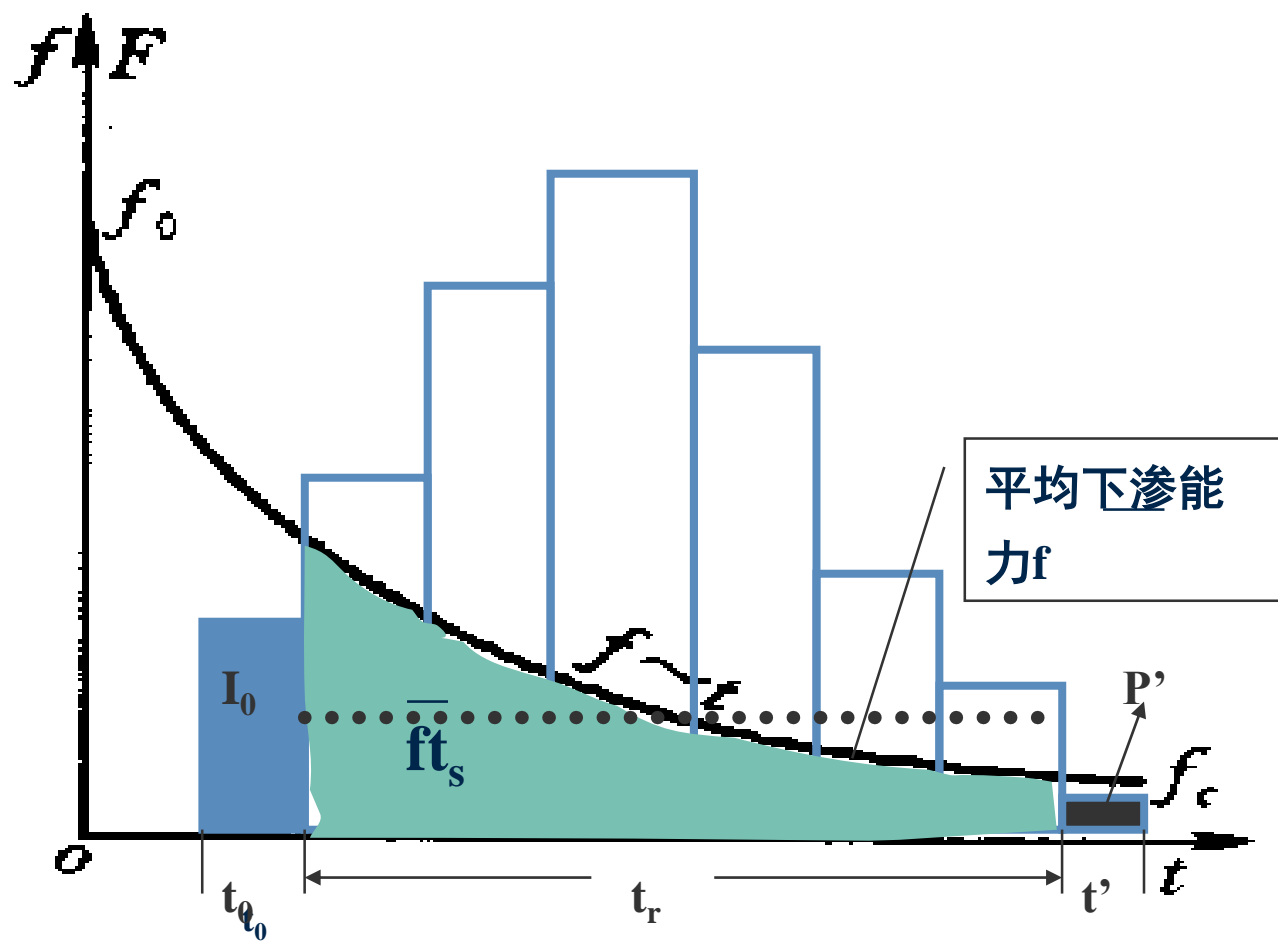
当时段内 $i \leq \bar{f}$ 时, 按 i 入渗, 入渗量为 $i\Delta t$

由水量平衡原理, 净雨深 R_s 用下式计算:

$$R_s = P - I_0 - \bar{f} t_s - P'$$



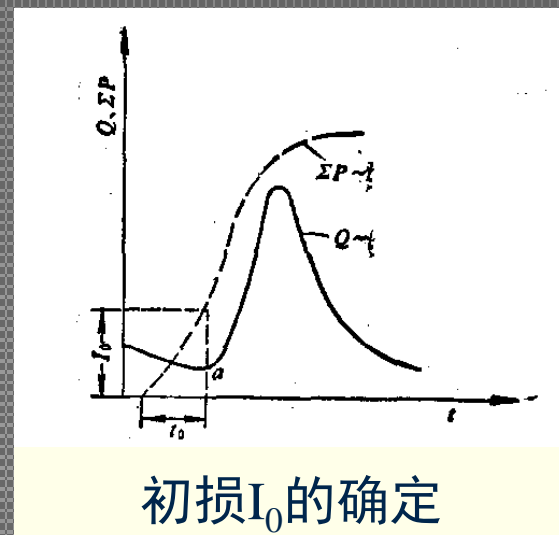
式中 P 为次降雨深 (mm); R_s 为 P 形成的地面净雨深 (mm); I_0 为初损 (mm); t_s 为后损阶段的超渗历时 (h); \bar{f} 后期 t_s 内的平均后损率 (mm / h); P' 为后损阶段非超渗历时 t' 内的雨量 (mm)。



下渗曲线

各场暴雨的 I_0 及 \bar{f} 并不相同，对于洪水预报及洪水设计，应通过实测暴雨洪水资料分析它们的变化规律，然后再依预报及设计的具体情况，确定相应 I_0 及 \bar{f} ，从而进一步由降雨过程推算净雨过程。

初损 I_0 的确定：



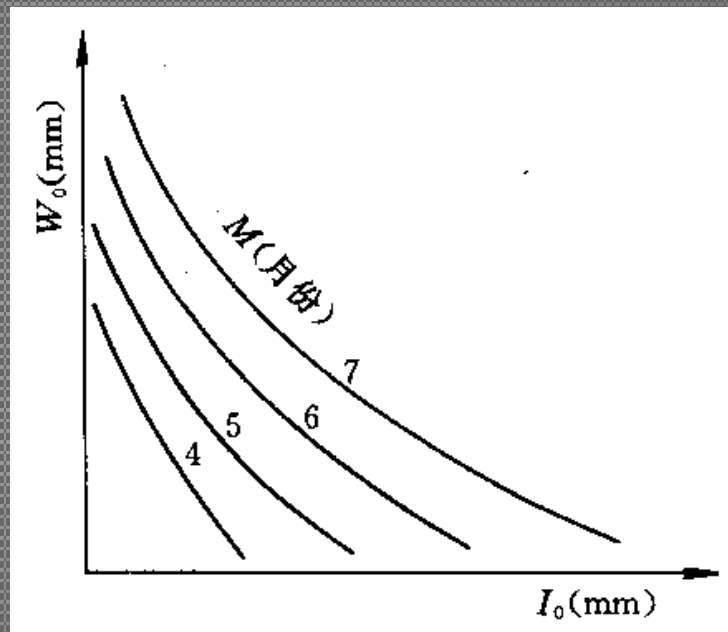
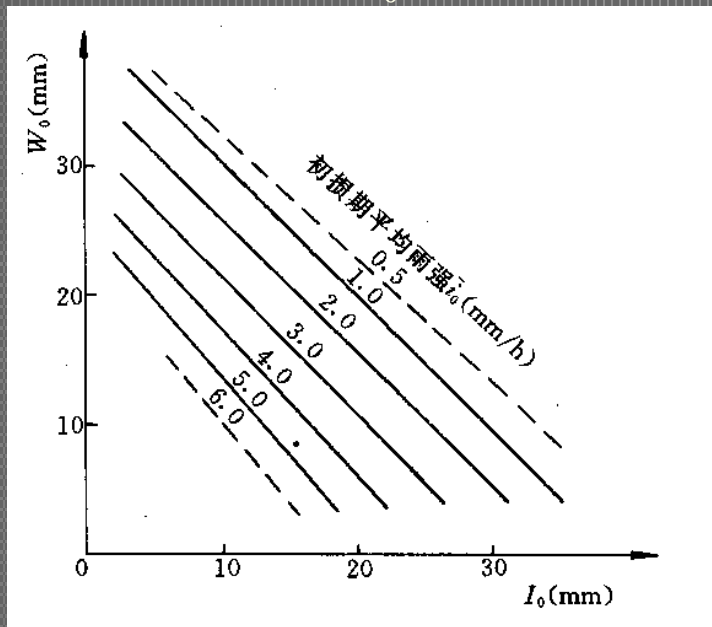
1) 由实测资料分析各场洪水的初损 I_0

流域较小时，降雨基本一致，洪水过程线起涨点前的累积雨量就是初损 I_0 。

对于较大的流域，可在其中找小流域水文站按上述方法确定 I_0 。

2) 综合分析 I_0 的变化规律

利用实测雨洪资料，分析各场洪水的 I_0 及相应的流域起始蓄水量 W_0 ($P_{a,0}$)，初损期的平均雨强 \bar{i}_0 ，并建立相关图，如图



湟水西宁～民和区间初损关系曲线

为水宁乡站流域初损关系曲线

由于植被和土地利用具有季节性变化特点，初损量 I_0 还受到季节的影响。因此，也可以建立如图右图所示的以月份为参数的初损相关图

3) 平均后损率 \bar{f} 的确定

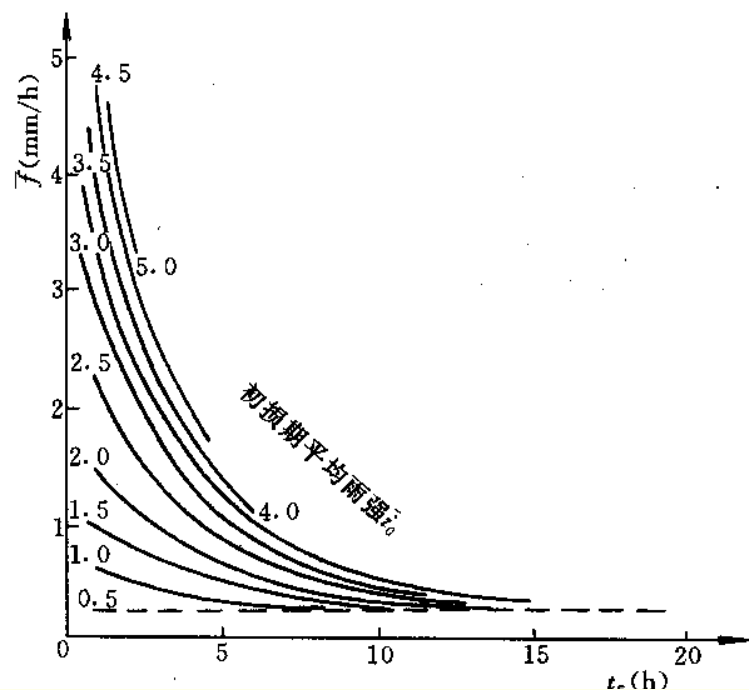
1. 由实测资料分析各场洪水的 \bar{f}
平均后损率 \bar{f} 的计算式为

$$\bar{f} = \frac{P - R_s - I_0 - P'}{t_s}$$

对于实测暴雨洪水， P 、 R_s 和 I_0 为已知， P' 、 t_s 、 \bar{f} 均与降雨过程有关，可以采用类似的试算方法，求平均后损率 \bar{f} 。

2. 综合分析 \bar{f} 的变化规律

一次降雨过程中，由于后损是初损的延续，初损量越大，土壤含水量越大，则后损能力越低， \bar{f} 就越小，所以后损下渗率 \bar{f} 不仅与流域起始土壤含水量 w_0 有关，而且与初期降雨特性有关，初期降雨特性用初损期平均雨强 \bar{i}_0 表示。因此，可以根据实测雨洪资料，分析建立 \bar{f} 与 t_s 及 \bar{i}_0 的关系



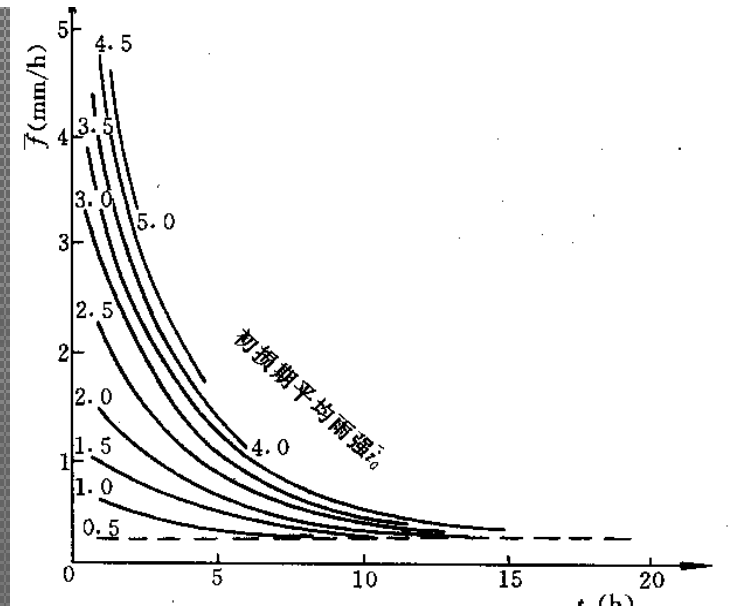
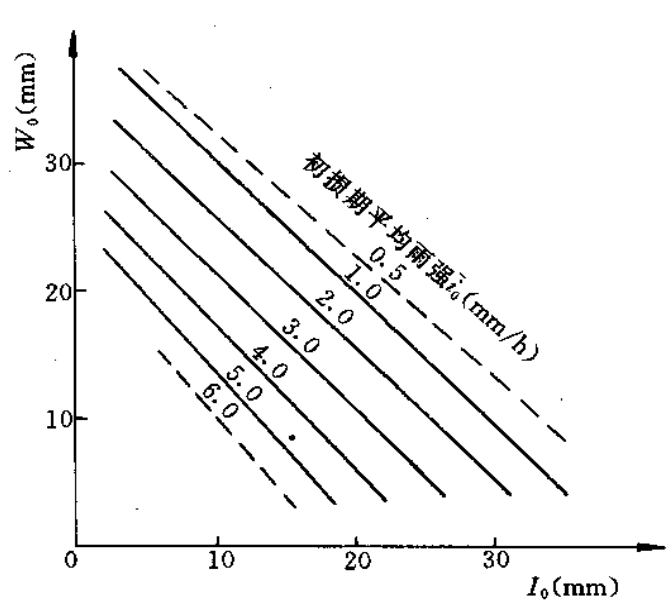
湟水西宁～民和区间后损关系曲线

产流量计算

有了初损 $W_0 \sim \bar{i}_0 \sim I_0$ 和后损 $\bar{f} \sim \bar{i}_0 \sim t_s$ 关系图后，根据已知的降雨过程就可推求产流量（净雨）过程。具体步骤见下例。

【例】已知湟水西宁～民和区间初损和后损关系曲线如图所示。实测降雨过程见表，降雨开始时 $P_a=18.1\text{mm}$ ，计算时段 $\Delta t=1\text{h}$ 。试推求产流量过程。

时 段	P (mm)	I_0 (mm)	$\bar{f}\Delta t$ (mm)	R (mm)	时 段	P (mm)	I_0 (mm)	$\bar{f}\Delta t$ (mm)	R (mm)
1	2.5	2.5			6	4.6		1.3	3.3
2	3.8	3.8			7	4.0		1.3	2.7
3	4.6	4.6			8	3.1		1.3	1.8
4	11.2		1.3	9.9	9	0		0	0
5	7.8		1.3	6.5	Σ	41.6	10.9	6.5	24.2



①从降雨起始时刻开始，先设 $t_0=2h$ ，则 $I_0=2.5+3.8=6.3mm$ ， $\bar{i}_0=I_0/t_0=6.3/2=3.15mm/h$ ；

②由 $W_0=P_a=18.1mm$ ， $\bar{i}_0=I_0/t_0=6.3/2=3.15mm/h$ 查图，得 $I'_0=13.5mm\neq I_0$ ；

③再设 $t_0=3h$ ，则 $I_0=2.5+3.8+4.6=10.9mm$ ， $\bar{i}_0=10.9/3=3.63mm/h$ ；

④由 $W_0=18.1mm$ ， $\bar{i}_0=3.63mm/h$ 查图，得 $I'_0=10.9mm=I_0$ ，所以初损量 $I_0=10.9mm$ ，从第4个时段开始产流。

⑤设产流历时 $t_s=4h$ ，由 $\bar{i}_0=3.63mm/h$ 查图，得 $\bar{f}=1.75mm/h$ 。查表中降雨过程，第8时段 $i=3.1mm/h$ ， $i>\bar{f}$ ，该时段可以产流；

⑥故重新设 $t_s=5h$ ，重复上述步骤最后得 $\bar{f}=1.3mm/h$ 。各时段产流量 $R=P-\bar{f}\Delta t$ 。产流过程见表中最后一栏，该过程为地面径流（净雨）过程。

时 段	P (mm)	I_0 (mm)	$\bar{f}\Delta t$ (mm)	R (mm)	时 段	P (mm)	I_0 (mm)	$\bar{f}\Delta t$ (mm)	R (mm)
1	2.5	2.5			6	4.6		1.3	3.3
2	3.8	3.8			7	4.0		1.3	2.7
3	4.6	4.6			8	3.1		1.3	1.8
4	11.2		1.3	9.9	9	0		0	0
5	7.8		1.3	6.5	Σ	41.6	10.9	6.5	24.2

17. 已知某流域面积 $F = 1800 \text{ km}^2$ ，某次暴雨洪水资料如表 1-7-17，采用斜线分割法（地面径流终止点为 9 日 20 时）割除基流，用初损后损法扣损，试求该流域的后损率 \bar{f} 。

表 1-7-17

某流域一次暴雨洪水资料

时间 (日.时)	6.20	7.2	7.8	7.14	7.20	8.2	8.8	8.14	8.20	9.2	9.8	9.14	9.20
实测流量 Q(m ³ /s)	144	133	1539	1481	962	700	420	309	264	237	202	166	156
降雨量 (mm)	15.6	68.2	4.2										

(四) 超渗产流误差分析

误差原因：

降雨量的时段均化

地面以下径流

下渗率的空间变化

降雨量的时空变化

雨强是超渗产流的决定性因素，要求雨量的计算时段要短，若时段较长，会带来均化误差。

表3-22	时间均化误差分析				单位: mm			
时: 分	delta t =1 min				delta t =5 min			
	P	W	f * delta t	RS	P	W	f * delta t	RS
18:38		23	1			23		
39	1	24	1					
40	1	25	1					
41	1	26	1					
42	1	27	1			28	5	
43	1	28	1		5			
44	4.5	29.3	1.3	3.2				
45	1.1	30.4	1.1					
46	1	31.4	1					
47	1	32.4	1					
48	1	33.4	1		8.6	34.4	6.4	2.2
49	1.5	34.5	1.1	0.4				
50	1.5	35.6	1.1	0.4				
51	1	36.6	1					
52	1	37.6	1					
53	1	38.6	1		6	39.8	5.4	0.6
sum	19.6		15.6	4	19.6		16.8	2.8

地面以下径流

超渗产流机制只计算超渗地面径流，不考虑地下径流，实际上在干旱和半干旱地区的许多流域，存在一定比例的地下径流，忽略地下径流会带来误差，这也是超渗产流的不完善之处。

下渗率的空间变化

下渗率的空间变化是由下垫面特征的空间分布不均匀引起的，包括土质、植被、土湿等因素。

对较大流域面积采用平均的下渗曲线，常带来较大的误差。下渗率空间变化的不均匀性可用类似于蓄满产流模型中的蓄水容量曲线表示：

$$\alpha f = 1 - \left[1 - \frac{f}{\bar{f} (1 + BF)} \right]^{BF}$$

f 是点下渗能力， FA 是实际下渗量， αf 是下渗率小于某定值 f 的面积比。

下渗率的空间变化

对降雨量 P ，时段下渗量为：

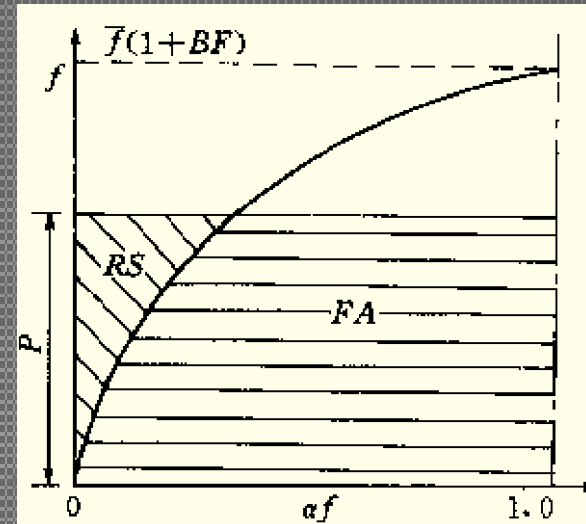


图 3-49 下渗分布曲线示意图

$$FA = \begin{cases} \bar{f} \cdot \Delta t, & P \geq \bar{f}(BF + 1)\Delta t \\ \left\{ \bar{f} - \bar{f} \left[1 - \frac{P}{\bar{f}(1 + BF)} \right]^{BF+1} \right\} \Delta t, & P < \bar{f}(BF + 1)\Delta t \end{cases}$$


时段产流量为：

$$RS = P - FA$$

第八节 混合产流

典型产流模型：

蓄满产流模型 + 超渗产流模型

- 
- 1)较湿润地区，久旱后遇雨强很大的暴雨，会发生超渗产流
 - 2)较干旱地区，发生较长期连绵的低强度降雨后，也会发生蓄满产流
 - 3)一场降雨，前期时超渗，后期是蓄满

混合产流

面积比例法

垂向混合法

第八节 混合产流

面积比例法：把流域划分为超渗产流面积和蓄满产流面积，分别用超渗模型和蓄满模型计算产流量，然后按流域面积权重相加即为流域产流量。

特点：方法简单，概念直观；

缺点：效果不好，原因是超渗和蓄满的面积比例随气候条件的改变而变化，用固定比例值必然会影响计算精度。

第八节 混合产流

垂向混合产流中蓄满、超渗的流域面积比例是随前期土壤含水量 W 和下渗水量 FA 的变化而改变的，即：

$$\alpha = 1 - \left(1 - \frac{FA + a}{WMM}\right)^B$$

面积比例为 α 的部分为蓄满产流，剩余流域面积为超渗产流或不产流。

第八节 混合产流

垂向混合法：把超渗产流和蓄满产流在垂向上进行组合的一种混合计算方法。

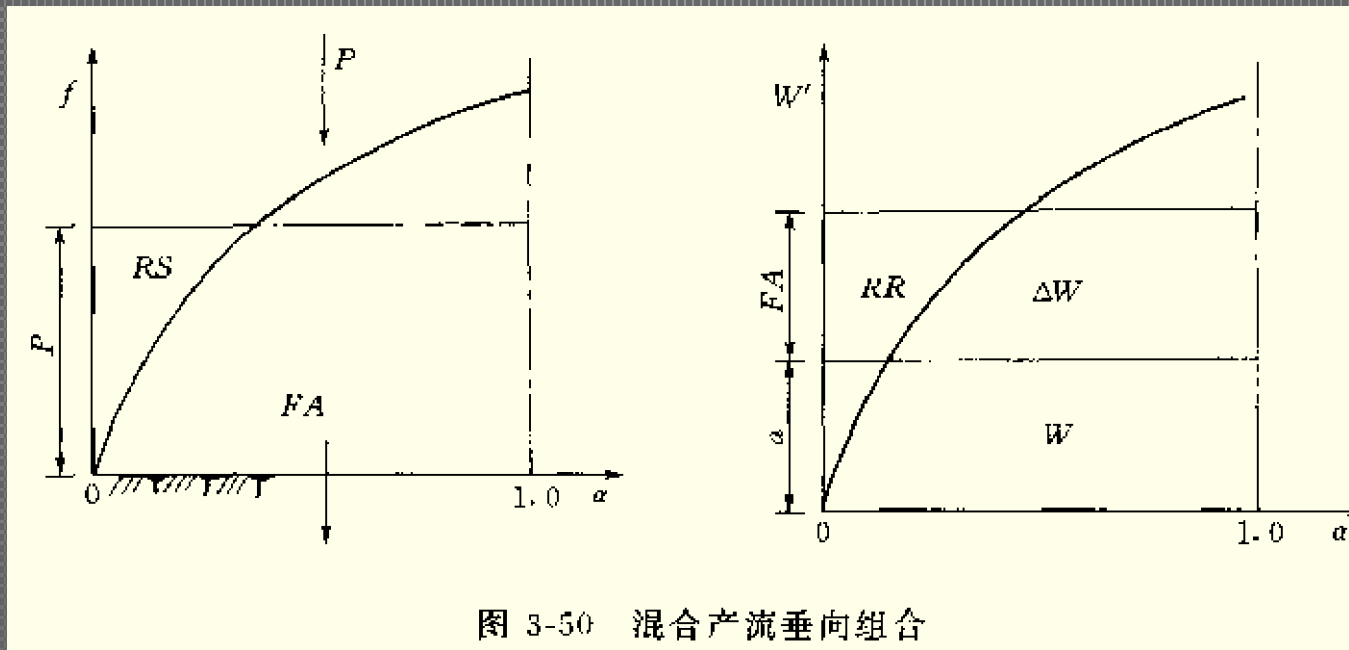


图 3-50 混合产流垂向组合

第八节 混合产流

垂向混合产流计算模式可由下列公式组成：

$$RS = P - FA$$

$$FA = \begin{cases} \bar{f} \cdot \Delta t, & P \geq \bar{f}(BF + 1)\Delta t \\ \left\{ \bar{f} - \bar{f} \left[1 - \frac{P}{\bar{f}(1 + BF)} \right]^{BF+1} \right\} \Delta t, & P < \bar{f}(BF + 1)\Delta t \end{cases}$$

$$RR = \begin{cases} FA + W - WM, & FA + a \geq WMM \\ FA + W - WM + WM \left(1 - \frac{FA + a}{WMM} \right)^{B+1}, & FA + a < WMM \end{cases}$$

$$R = RS + RR$$

第八节 混合产流

例：陡河水库流域面积为 519km^2 ，多年平均降雨量为 680mm 左右，年均径流系数为 0.2 ，已发生的洪水中，有些以蓄满产流为主，有些以产渗产流为主，因此，可采用混合产流模型。确定的模型参数为 $WM=250\text{mm}$ ， $WUM=15\text{mm}$ ， $WLM=85\text{mm}$ ， $B=0.3$ ，下渗采用改进的格林—安普特公式(2-117)，参数 $f_c=1.0$ ， $KF=9.0$ ，下渗分布曲线指数 $BF=1.0$ ，初始土壤含水量为 63.5mm ，试计算产流量。

第八节 混合产流

解：1)按改进的格林—安普特公式(2-117)和给定的W计算流域平均下渗能力 f 。

$$f = f_c \left(1 + KF \frac{WM - W}{WM} \right)$$

2)按下式求流域时段下渗量FA（式2-135）

$$FA = \begin{cases} \bar{f} \cdot \Delta t, & P \geq \bar{f}(BF + 1)\Delta t \\ \left\{ \bar{f} - \bar{f} \left[1 - \frac{P}{\bar{f}(1 + BF)} \right]^{BF+1} \right\} \Delta t, & P < \bar{f}(BF + 1)\Delta t \end{cases}$$

第八节 混合产流

3)按式(2-136)求地面产流量RS

$$RS=P-FA$$

4)按式(2-58)由W求a

$$a = WMM \left[1 - \left(1 - \frac{W}{WM} \right)^{\frac{1}{1+b}} \right]$$

5)按式(2-141)由FA求地下径流RR

$$RR = \begin{cases} FA + W - WM, & FA + a \geq WMM \\ FA + W - WM + WM \left(1 - \frac{FA + a}{WMM} \right)^{B+1}, & FA + a < WMM \end{cases}$$

第八节 混合产流

6)得总产流量 $R=RS+RR$

7)求土壤水分补充量 ΔW , $\Delta W=P-E-R$

8) 时段末土壤含水量为 $W+\Delta W$, 再回到1), 逐时段循环进行。

第八节 混合产流

上例中，降雨初始流域缺水量大，遇大雨强时段，产流以地面径流为主，见表中4、5、8时段。

本次降雨的地面径流占总径流的90%以上，而地面以下径流补足8%。说明本流域以超渗产流为主。第4时段系全流域产生地面径流，按式（2-138）计算产生地面以下径流的面积比例为：

$$\alpha = 1 - \left(1 - \frac{7.6 + 70.2}{250 * 1.3}\right)^{0.3} = 0.079$$

即该时段内仅7.9%的流域面积为蓄满产流，约92%的面

第八节 混合产流

随着降雨过程的继续，土壤含水量增大，地面以下径流比例有所增加，如第24、25、26、27等时段， $RR > RS$ 。

在垂向混合产流计算中，若取 $B=0$ ，即为超渗产流模式；同理，若取 $BF=0$ ， FC 取得足够大即属蓄满产流。