

# 水库调洪演算的图解法

杜耀星

(土木工程系)

水库兴建后就起到拦蓄洪水、调节流量的作用。洪水经过水库，其中一部分被拦蓄在库中，另一部分经水库的泻洪建筑物泻入下游。因此，入库的洪水过程线，经水库调、泻后就发生变形：洪峰流量被削减，洪水的退落也因水库拦蓄的洪水逐渐泻放而延缓，如图（一）的 $Q \sim t$ ， $q \sim t$ 曲线所示。

洪水经过水库调泻后的出流过程线 $q \sim t$ 如何求得，截至目前为止，工程上应用的较多的有试算法，程学敏的图解法，M、B波塔波夫的图解法等，本文将介绍另一种图解法，这是作者在工作中摸索到的一种图解法。

## （一）水库调洪演算的基本原理

当上游洪水进入水库时，初期因入库流量大于水库的泻洪流量，即 $Q > q$ ，于是两者之差就拦蓄在水库中。因而库水位就逐渐上升。库水位上升后，水库的泻洪流量 $q$ 也就增大，当洪峰过后的某一时刻 $t_0$ ，洪水入库流量与水库的泻洪流量 $q$ 相等时，水库所泻放的洪水达到最大值 $q_{max}$ ，在 $t_0$ 后，洪水入库流量小于水库泻洪流量，于是水库的水位也就逐渐下降，相应的泻洪流量也逐渐减少。

如图（一）所示，设时段开始时刻为 $t_1$ ，终了为 $t_2$ ，则在这时段内水库的水量平衡方程为：

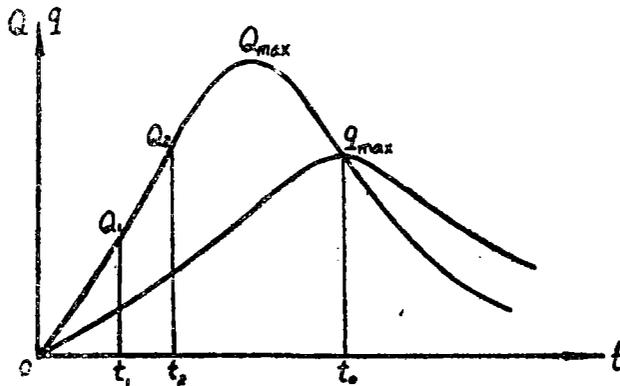


图 一

$$\int_{t_1}^{t_2} Q dt - \int_{t_1}^{t_2} q dt = w_2 - w_1 \quad (1)$$

而水库的蓄水量 $W$ 与水库的泻洪流量 $q$ 又有如下关系式,

$$q = f(W) \quad (2)$$

以上两式中:

$Q$ 为入库流量, 立方米/秒;

$q$ 为出库流量, 立方米/秒;

$W$ 为水库蓄水量, 立方米;

$W_1$ 为相应于时刻 $t_1$ 的水库蓄水量, 立方米;

$W_2$ 为相应于时刻 $t_2$ 的水库蓄水量, 立方米。

如果在 $\Delta t = t_2 - t_1$ 时段内, 将入流与出流过程线近似地以直线代替, 则水量平衡方程式可以改写为:

$$\left( \frac{Q_1 + Q_2}{2} \right) \Delta t - \left( \frac{q_1 + q_2}{2} \right) \Delta t = W_2 - W_1 \quad (3)$$

式中 $\Delta t = t_2 - t_1$ ;

$Q_1, q_1$ 分别为时段开始时 $t_1$ 时刻的入流量与出流量;

$Q_2, q_2$ 分别为时段终了时 $t_2$ 时刻的入流量与出流量。

联解(2), (3)式即可得经水库调节后的出流过程 $q$ 与 $t$ 的关系, 但必须指出, 这必须用试算法才能求得 $q \sim t$ 的关系, 那是相当烦杂的, 特别是对于调洪演算没有经验的同志, 那就更麻烦了。本文提出了利用(2), (3)式可以采用图解法直接求出 $q \sim t$ 过程线的方法, 而不必试算, 这就可以节省很多时间。

## (二) 水库调洪演算的图解法

### 1. 资料及辅助曲线的绘制:

在进行水库调洪演算时, 首先必须收集如下三种资料:

(1) 水库水位与库容关系, 即 $H \sim W$ 曲线;

(2) 水库水位与泻洪建筑物的泻洪流量关系, 即 $H \sim q$ 曲线;

对于采用溢洪道泻洪时:  $q = m_1 B H_0^{\frac{3}{2}}$ ;

对于采用孔口泻洪时:  $q = m_2 w H_0^{\frac{3}{2}}$ ;

式中,  $m_1, m_2$ 分别为溢洪道和孔口的流量系数,

$B$ 为溢洪道的溢流总净宽度,

$w$ 为泻洪孔口的总过水面积,

$H_0$ 为水头。

(3) 洪水过程线, 即 $Q \sim t$ 曲线。

根据所收集的资料，列表求出水库水位 $H$ ，库容 $W$ ，溢洪流量 $q$ 和 $\Delta t$ 时段出流量之半

$\frac{q\Delta t}{2}$ 的对应关系，具体计算建议采用如下表格。其中 $\Delta t$ 的长短应依据计算所要求的精度而选定，要求精度高些， $\Delta t$ 取短些，反之取长些。本方法要求整个调洪过程中均取同样的 $\Delta t$ 大小。

表(一)

水库水位(m)	$H_1$	$H_2$	$H_3$	.....	$H_i$	...	..
水库库容( $m^3$ )	$W_1$	$W_2$	$W_3$	.....	$W_i$	...	...
泻洪流量 $q$ ( $m^3/sec$ )	$q_1$	$q_2$	$q_3$	.....	$q_i$	...	...
$\frac{q\Delta t}{2}$ ( $m^3$ )	$\frac{q_1\Delta t}{2}$	$\frac{q_2\Delta t}{2}$	$\frac{q_3\Delta t}{2}$	.....	$\frac{q_i\Delta t}{2}$	...	...

在第一象限内作入库洪水过程线 $Q \sim t$ ;

在第二象限内作 $W \sim q$ 的关系曲线，以及与水平轴成 $45^\circ$ 角的直线 $00'$ ;

在第三象限内作出 $W \sim \frac{q\Delta t}{2}$ 曲线及 $Q \sim Q\Delta t$ 曲线，此为一条直线，只需依已选定的 $\Delta t$ ，然后任意给出两个 $Q$ 值，就可定出二点，联以直线即得 $Q \sim Q\Delta t$ 关系曲线。

作出以上辅助曲线后，如图(二)所示，就可逐手进行图解。

**2、图解的具体步骤:**

(1) 设某一时刻 $t_1$ 起，水库的蓄水量为 $W_1 = OB$ ，洪水流量在 $t_1$ 至 $t_2$ 的 $\Delta t$ 时段内平均入流量为 $\bar{Q}_1$ ，过 $\bar{Q}_1$ 作水平线与 $00'$ 线(与水平轴成 $45^\circ$ 角的斜直线)相交于 $M_1$ 点;

(2) 过 $M_1$ 点作铅直线交 $Q \sim Q\Delta t$ 曲线于 $N_1$ 点;

(3) 过 $N_1$ 点作水平线 $N_1A_1$ ;

(4) 过 $B$ 点作铅直线与 $N_1A_1$ 相交于 $A_1$ 点，并与 $W \sim \frac{q\Delta t}{2}$ 曲线交于 $C$ 点;

(5) 过 $A_1$ 点朝 $W$ 轴的正方向作与水平轴成 $45^\circ$ 角的斜直线 $A_1D_1$ ，(若水库水位下降时，此斜直线应朝 $W$ 轴的负方向作);

(6) 在 $A_1D_1$ 线与 $W \sim \frac{q\Delta t}{2}$ 线之间，用两脚规截取线段 $E_1D_1 = BC$ ( $E_1$ 点在 $W \sim \frac{q\Delta t}{2}$ 曲线上);

曲线上);

(7) 延长 $D_1E_1$ 线与 $W$ 轴交于 $F_1$ ，并与 $W \sim q$ 曲线交于 $G_1$ 点，其中 $OF_1$ 即代表这时段末水库的蓄水量;

(8) 过 $G_1$ 作水平线与时段末 $t_2$ 的纵标线交于 $A_1'$ ，此即为此时段末水库的泻洪流量;

(9) 按上述步骤逐时图解即得 $A_1', A_2', \dots$ 诸点，联成光滑曲线，即得所求的洪水经水库的出流过程线 $q \sim t$ 。

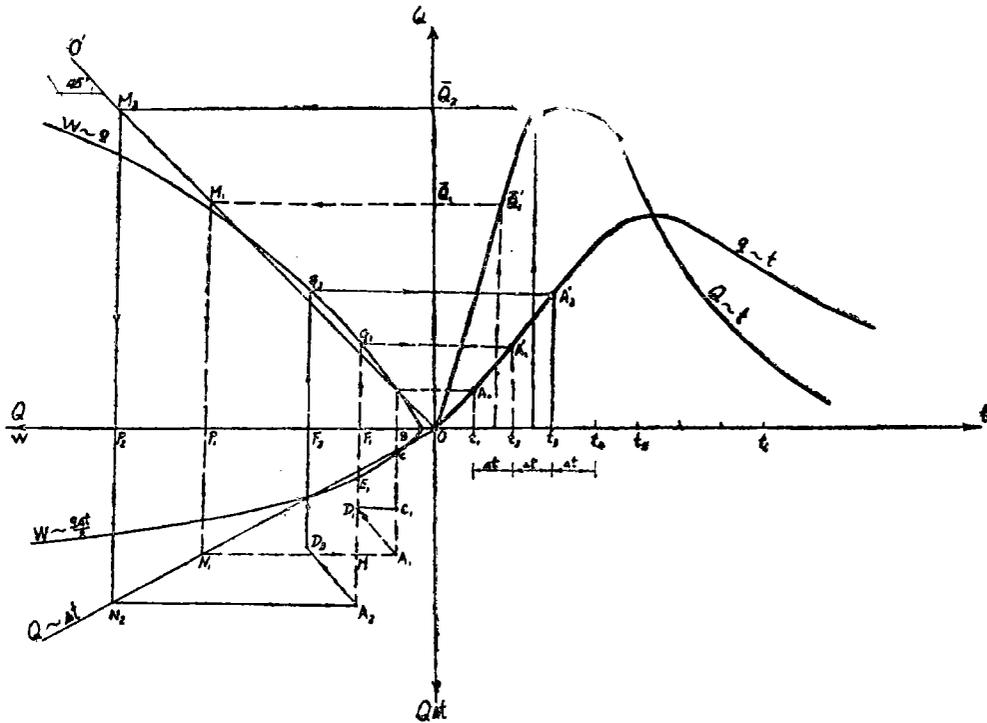


图 二

3. 以上图解法正确性的证明:

水量平衡方程式(3)可以改写为,

$$\bar{Q} \Delta t - \left( \frac{q_1 \Delta t}{2} + \frac{q_2 \Delta t}{2} \right) = \Delta W \quad (4)$$

式中,  $\bar{Q} = \frac{Q_1 + Q_2}{2}$  为时段  $\Delta t$  内的洪水平均入流量(立方米/秒),

$\Delta W = W_2 - W_1$  为时段  $\Delta t$  内水库的增蓄水量(立方米)由图(二)可知:

$$P_1 N_1 = B A_1 = \bar{Q} \Delta t$$

$oB$  代表时段初水库的蓄水量,  $C$  点在  $W \sim \frac{q \Delta t}{2}$  线上, 所以  $BC = \frac{q_1 \Delta t}{2}$ ,

若  $OF_1$  为时段末水库的蓄水量,  $E_1$  点在  $W \sim \frac{q \Delta t}{2}$  线上, 则有,

$$F_1 E_1 = \frac{q_2 \Delta t}{2},$$

因为  $BC = D_1 E_1 = \frac{q_1 \Delta t}{2}$ , 所以

$$F_1 D_1 = E_1 F_1 + E_1 D_1 = \frac{q_1 \Delta t}{2} + \frac{q_2 \Delta t}{2}$$

在 $\Delta t$ 时段内流入水库的水量为:

$$p_1 N_1 = F_1 H = \bar{Q} \Delta t$$

而写出的水量为:

$$F_1 D_1 = \frac{q_1 \Delta t}{2} + \frac{q_2 \Delta t}{2}$$

所以在 $\Delta t$ 时段内, 水库增减的水量为:

$$\Delta W = F_1 H - F_1 D_1 = D_1 H = \bar{Q} \Delta t - \left( \frac{q_1 \Delta t}{2} + \frac{q_2 \Delta t}{2} \right)$$

由于 $A_1 D_1$ 为与 $A_1 H$ 成 $45^\circ$ 交角的直线。所以,

$$D_1 C_1 = D_1 H = BF_1 = \Delta W = \bar{Q} \Delta t - \left( \frac{q_1 \Delta t}{2} + \frac{q_2 \Delta t}{2} \right)$$

因此,  $OF_1$ 即为时段末水库的蓄水量,  $F_1 G_1$ 即代表时段末水库的泻洪流量。

### (三) 计算实例

已知某水库的水位 $H$ 与库容 $W$ 的关系, 水位 $H$ 与泻洪流量 $q$ 之间的关系如表二, 洪水过程线的数据列于表三, 今要求经水库调节后的洪水出流过程线。

表(二)  $H \sim W, H \sim W \sim q$

水库水位 $H$ (m)	50.0	50.5	51.0	51.5	52.0	52.5	53.0	53.5	54.0	54.5	55.0	55.5
水库库容 $W$ ( $10^6 m^3$ )	0.0	0.3	0.7	1.5	2.5	4.0	6.6	10.0	15.2	22.0	30.0	38.8
泻洪流量 $q$ ( $m^3/sec$ )		0	80	180	310	480	675	875	1090	1350	1620	1900
$\frac{q \Delta t}{2}$ 取 $\Delta t = 1$ 小时 ( $10^6 m^3$ )		0	0.014	0.324	0.558	0.864	1.210	1.570	1.960	2.420	2.920	3.420

首先依据表二, 表三资料绘制洪水过程线及水库容积 $W$ 与泻流量 $q$ 的关系曲线, 如图三所示, 然后依表二资料计算出 $W$ 与  $\frac{q \Delta t}{2}$  关系, 如表二。

表(三)  $Q \sim t$

时间 $t$ (小时)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
洪水流量 $Q$ ( $m^3/sec$ )	0	235	465	780	1120	1400	1570	1650	1630	1520	1400	1265
时间 $t$ (小时)	12	13	14	15	16	18	20	22	24	26		
洪水流量 $Q$ ( $m^3/sec$ )	1125	930	840	710	680	370	220	125	70	40		



根据表二的 $W$ 与 $\frac{q\Delta t}{2}$ 点绘成 $W \sim \frac{q\Delta t}{2}$ 关系曲线,如图三所示。此外,作出 $Q \sim$

$Q\Delta t$ 关系曲线,它是一条直线,只要任意给出二个 $Q$ 值,按所选定的 $\Delta t$ 就可以定出两点,联成直线,即为所得。

按上述图解步骤逐时图解可得相应点子,联成光滑曲线,即得洪水经水库调节后的出流过程线 $q \sim t$ 。

### 参 考 资 料

- |                |                             |
|----------------|-----------------------------|
| 1. 《水文学及水文测验学》 | 西安交通大学水利系编 1958年            |
| 2. 《工程水文学》     | 清华大学水利系编 1959年              |
| 3. 《工程水文学》     | 华东水利学院、陕西工业大学、成都工学院合编 1961年 |