

作业：水库调洪计算——瞬态法

（一为必做题，二、三选做一个）

瞬态法是将水库调洪过程中的连续动库容平衡问题转化为一系列离散时刻的静库容平衡问题，其算法概念清楚、方法简单、且能达到满意的精度，因此应用较为广泛。

水库水量平衡方程如下：

$$\frac{Q_{rk}(t) + Q_{rk}(t+1)}{2} \Delta t - \frac{Q_{ck}(t) + Q_{ck}(t+1)}{2} \Delta t = V(t+1) - V(t) = \Delta V(t) \quad (t=1 \sim T) \quad (1)$$

式中： T 为总时段数； Δt 为计算时段长（ s ）； $Q_{rk}(t)$ 、 $Q_{rk}(t+1)$ 分别为 t 时段初、末入库流量（ m^3/s ）； $Q_{ck}(t)$ 、 $Q_{ck}(t+1)$ 分别为 t 时段初、末出库流量（ m^3/s ），包括发电和泄流等； $V(t)$ 、 $V(t+1)$ 、 $\Delta V(t)$ 分别为 t 时段初、末库蓄水量及时段内水库蓄水变化量（ m^3 ）。

上式表示一个时段内进入水库和流出水库的水量之差，等于该时段内水库蓄水量的变化值。显然，它没有反映洪水演进过程，即没用考虑沿程水位和流速变化等的影响。但静库容调洪算法计算简单、基本抓住了问题的主要方面，能较理想地用于调蓄能力大的水库的调洪计算。

静库容调洪算法用水库泄洪建筑的泄流特性方程为：

$$Q_{ck}(t) = f(V(t)) \quad (2)$$

式中： $f(\bullet)$ 表示水库出流的综合特性函数，包括发电、泄流及其它出流的流量特性。

在进行水库调洪计算中，一般已知入库洪水过程 $Q_{rk}(t)$ 和出流特性，需要推求的是水库的出流过程 $Q_{ck}(t)$ 及相应的蓄水量过程 $V(t)$ 或水位过程 $Z_{sy}(t)$ 。对任

一时段 t ，联合求解式 (1) 和式 (2) 组成的方程组，即可得到时段末的 $V(t+1)$ 、 $Q_{ck}(t+1)$ 。由于式 (2) 是非线性的，求解该方程组常用试算法或图解法。

下面以无闸门控制的自由泄流水库为例，说明联立求解式 (1) 和式 (2) 进行调洪计算的过程，参见图 1。

一、 水库调洪演算的试算法——迭代法

(一) 基本理论

在泄洪期间，水电站一般以最大过流能力 Q_T 进行发电。假设调洪计算起始时刻，水库水位为防洪限制水位 Z_{FX} ，即 $V(1)=V_{FX}$ ，则

$$Q_{qs}(1) = 0, Q_{ck}(1) = Q_T + Q_{qs}(1) = Q_T。$$

对于第一个时段，时段末 $Q_{ck}(2)$ 和 $V(2)$ 由试算确定。其步骤是，先假设一个 $Q_{ck}(2)$ 值并代入式(1)算出相应的 $V(2)$ ，再据 $V(2)$ 由式 (2) 计算得出相应的 $Q'_{ck}(2)$ 值，若 $|Q_{ck}(2) - Q'_{ck}(2)| > \varepsilon_Q$ (允许误差)，重新假设 $Q_{ck}(2)$ ，并重复上述计算；否则 $V(2)$ 、 $Q'_{ck}(2)$ 即为所求的时段末库蓄水量和出库流量，然后逐时段进行类似的计算，便可求得该场洪水整个调洪期间水库的泄流过程 $Q_{ck}(t+1)(t=1 \sim T)$ 和蓄水量过程 $V(t+1)(t=1 \sim T)$ 。从而可求得最大下泄流量 Q_{ck}^{\max} 、最大库蓄水量 V^{\max} 及相应的最高洪水水位 Z_{sy}^{\max} 。

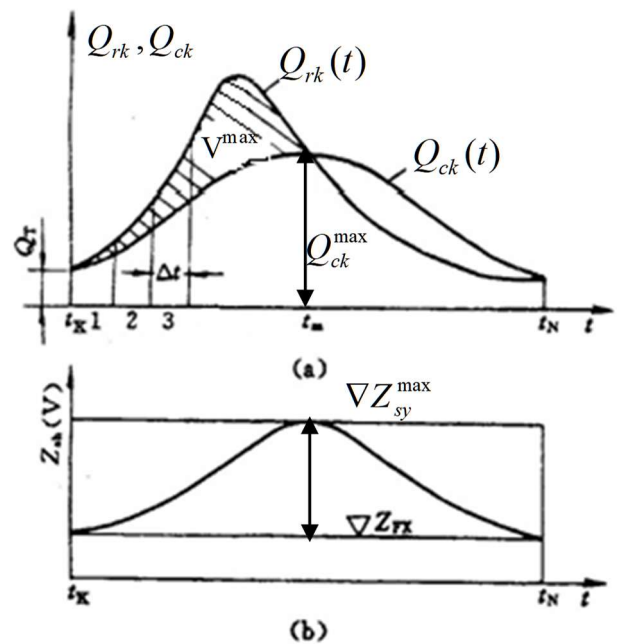


图 1 自由溢流水库调洪示意图

(二) 实例资料及要求

实例资料：

采用附件 1. BS 水库基本资料。

要求：

- 1) 根据所给资料对给定的洪水系列进行调洪计算，绘制水库调洪计算结果图（即各个时段水库的入流和出流过程线，水位变化过程线）。
- 2) 尽量实现程序的通用性，即可方便改变基础数据，无需更改程序代码即可计算。

二、 水库调洪演算的半图解法

（一） 基本理论

水库调洪演算就是在拟定水库泄洪建筑物形式、尺寸等条件下，利用水库水量平衡方程式和水库蓄泄方程进行联解，由入库洪水推求水库下泄流量过程，常用的调洪计算方法有列表试算法和图解法。列表法虽然概念清晰，容易掌握，但是试算工作量较大。图解法在计算技巧和公式上有所改换，避免了列表法带来的不足之处，对水库进行多种方案和多种频率的设计洪水调洪计算更显其优越性。

用半图解法求解。需要水量平衡方程和水库蓄泄方程，首先将水量平衡方程整理移项得：

$$\left(\frac{V_2}{\Delta t} + \frac{q_2}{2} \right) = \frac{Q_1 + Q_2}{2} - q_1 + \left(\frac{V_1}{\Delta t} + \frac{q_1}{2} \right)$$

式中： Q_1 、 Q_2 为计算时段 Δt 始、末的入库流量； q_1 、 q_2 为计算时段 Δt 始、末的出库流量； V_1 、 V_2 为计算时段 Δt 始、末的水库蓄水量； Δt 为计算时段。

根据确定的溢洪建筑物的类型，尺寸和库容曲线以及计算时段作好

$q = f(\frac{V}{\Delta t} + \frac{q}{2})$ 的辅助线。

具体步骤如下：

(1) 从第一时段开始，由入库洪水过程和起始条件就可以知道 Q_1, Q_2 ，

q_1, V_1 ，从而可以计算出上式右端的数值，并以此值查 $q = f(\frac{V}{\Delta t} + \frac{q}{2})$

曲线，便可以得到第一时段末 q_2 值。

(2) 第一时段末各项的数值就是第二时段初的各项数值。重复第一时段的

解算方法，又可以得第二时段求得 q_2 值。这样逐时段进行，就可以得

出整个下泄流量过程线 $q \sim t$ 。

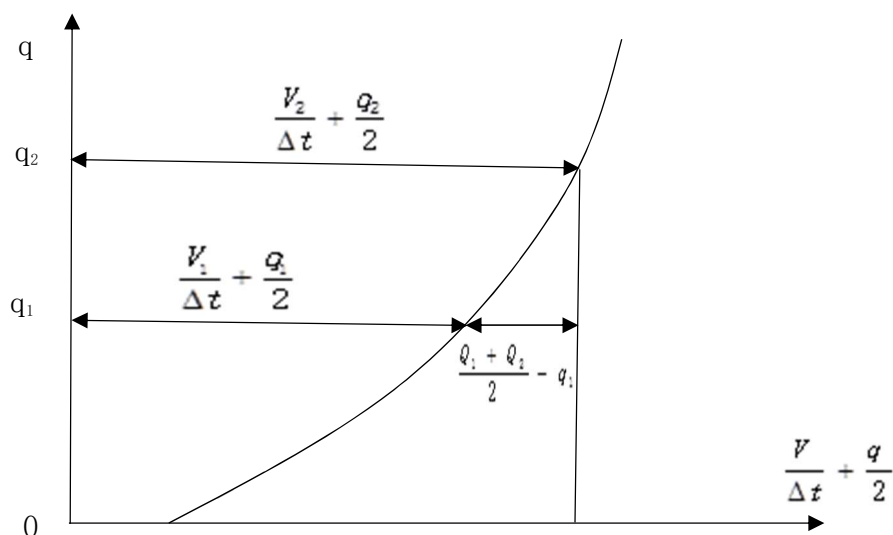


图 2 半图解法求解示意图

(二) 实例资料及要求

实例资料：

采用附件 1. BS 水库基本资料。

要求：

1) 根据所给资料绘制单辅助线，并利用该辅助线对给定的洪水系列进行调

洪计算，绘制水库调洪计算结果图（即各个时段水库的入流和出流过程

线，水位变化过程线)。

- 2) 尽量实现程序的通用性，即可方便改变基础数据，无需更改程序代码即可计算。

注：图解法可参考锥文生《工程水文及水利计算》，中国水利水电出版社。

三、 水库调洪演算的双辅助线图解法

(一) 基本理论

水库调洪演算的图解法避免了列表法带来的不足之处，对水库进行多种方案和多种频率的设计洪水调洪计算更显其优越性。

双辅助线图解法将水量平衡方程改写为：

$$\left(\frac{V_2}{\Delta t} + \frac{q_2}{2} \right) = \bar{Q} + \left(\frac{V_1}{\Delta t} - \frac{q_1}{2} \right)$$

式中 \bar{Q} 为时段的平均流量，即 $\bar{Q} = \frac{Q_1 + Q_2}{2}$ ，并把蓄泄曲线改成 $q \sim \frac{V}{\Delta t} + \frac{q}{2}$

和 $q \sim \frac{V}{\Delta t} - \frac{q}{2}$ 两条辅助曲线，如图所示。具体步骤如下：

从第一时段开始，已知时段的平均流量 $\bar{Q} = \frac{Q_1 + Q_2}{2}$ 和时段初的 q_1 ，以 q_1 在图 S 的纵坐标上定出 A 点，作水平线交曲线 $q \sim \frac{V}{\Delta t} - \frac{q}{2}$ 于 B 点，延长 AB 线到 C 点，使 $BC = \bar{Q}$ ，过 C 点作垂线与曲线 $q \sim \frac{V}{\Delta t} + \frac{q}{2}$ 交于点 D，则点 D 的纵坐标即为时段末的下泄流量 q_2 ，第一时段 q_2 作为第二时段的 q_1 ，用同样的方法进行图解计算，即可得到整个下泄过程 $q \sim t$ 。

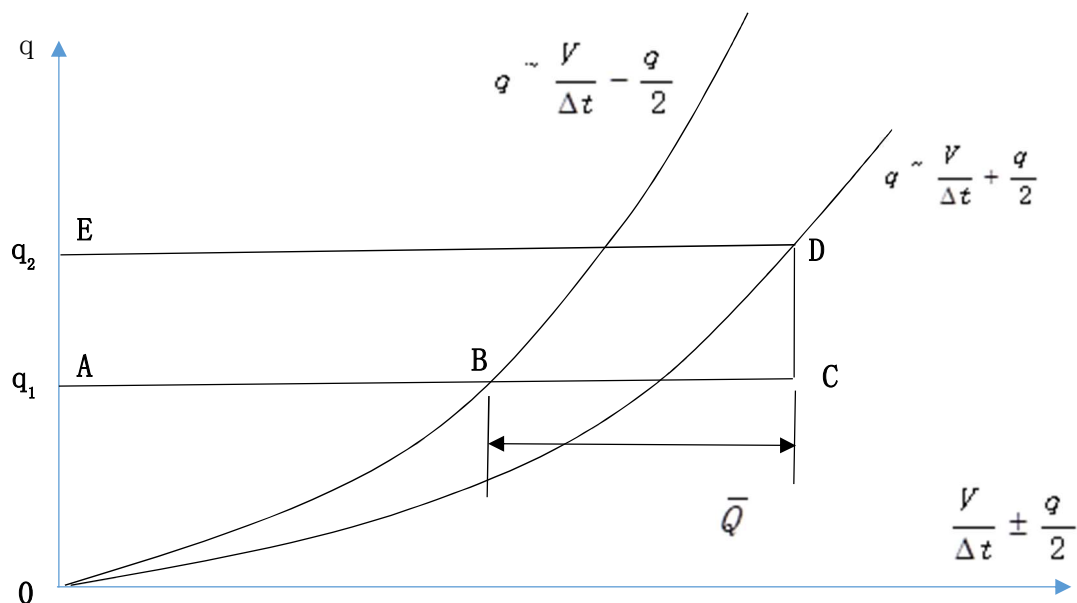


图3 双辅助线图解法示意图

对于溢洪道有闸门控制时，水库调洪计算原理和过程与自由溢流时完全类似，只是有闸控制时泄流特性曲线是以不同闸门开度为参数的一组曲线，计算过程要繁琐一些。

（二）实例资料及要求

实例资料：

采用附件 1. BS 水库基本资料。

要求：

- 1) 根据所给资料可以实时绘制双辅助线，并利用该辅助线对给定的洪水系列进行调洪计算，绘制水库调洪计算结果图（即各个时段水库的入流和出流过程线，水位变化过程线）。
- 2) 尽量实现程序的通用性，即改变基础数据后无需更改程序代码仍可计算。

注：图解法可参考雒文生《工程水文及水利计算》，中国水利水电出版社。

附件 1. BS 水库基本资料

表 B1: BS 水库水位特性 (单位: m)

汛限水位	214
防洪高水位	228
设计洪水位	229.63
校核洪水位	231.27

表 B2: BS 水库特性曲线及洪水过程

(水位单位: m, 库容单位: $10^8 m^3$, 流量单位: m^3/s , 洪水时段间隔: 1 小时)

水位	库容	泄流	洪水过程					
Z	V	Qx	序号	Qin	序号	Qin	序号	Qin
170	4.79	73	1	634.6	31	5923.3	61	4361.4
170.78	5.00	120	2	648.1	32	6207.5	62	4209.4
175	6.51	377	3	681.0	33	6491.7	63	4078.8
177.5	7.40	593	4	713.8	34	6775.9	64	3948.2
180	8.46	809	5	746.7	35	7060.1	65	3817.6
183.63	10.00	948	6	779.5	36	7344.3	66	3687.0
185	10.71	1000	7	812.4	37	7628.4	67	3556.4
187.5	12.00	1080	8	845.3	38	7711.6	68	3425.7
190	13.39	1160	9	878.1	39	7593.6	69	3295.1
192.88	15.00	1241	10	911.0	40	7475.7	70	3164.5
195	16.20	1300	11	943.8	41	7357.7	71	3033.9
200	19.63	1426	12	976.7	42	7239.8	72	2903.3
200.54	20.00	1439	13	1009.5	43	7121.8	73	2772.7
203	21.88	1496	14	1164.9	44	7003.9	74	2678.1
205	23.40	1542	15	1442.7	45	6885.9	75	2619.5
207.06	25.00	1586	16	1720.6	46	6768.0	76	2560.9
210	27.60	1650	17	1998.4	47	6650.0	77	2502.3
212.58	30.00	2269	18	2276.3	48	6532.1	78	2443.7
214	31.60	2610	19	2554.2	49	6414.1	79	2385.2
215	32.50	2850	20	2832.0	50	6268.4	80	2326.6
217.33	35.00	3948	21	3109.9	51	6095.1	81	2268.0
220	38.01	5207	22	3387.7	52	5921.7	82	2209.4
221.76	40.00	6320	23	3665.6	53	5748.4	83	2150.8
225	44.15	8370	24	3943.5	54	5575.0	84	2092.3
228	48.00	10719	25	4221.3	55	5401.6	85	2033.7
229.66	50.47	12019	26	4502.3	56	5228.3	86	1989.7
230	50.98	12285	27	4786.5	57	5054.9	87	1960.4
231.49	53.20	13666	28	5070.7	58	4881.5	88	1931.2
233	55.49	15065	29	5354.9	59	4708.2	89	1901.9
233.73	56.60	15065	30	5639.1	60	4534.8	90	1872.6