

水库洪水调节全图解法

林远谟

(四川省水利水电勘测设计院规划四队)

水库洪水调节全图解方法较多,如像常用的程学敏法、M·B·波达波夫法(即蓄率中线法)等。这些方法大多需要绘制2至3条工作曲线。本文提出的全图解方法,仅需要一条工作曲线,即可解答水库调洪演算中顺时序和逆时序两类问题,图解方便、精度可以满足要求。

调洪全图解法的原理和应用简述如下:

由水量平衡方程式:

$$\frac{1}{2}(Q_1+Q_2)\Delta t - \frac{1}{2}(q_1+q_2)\Delta t = W_2 - W_1$$

移项整理可得:

$$(Q_1+Q_2) - q_1 = (2W_2/\Delta t - 2W_1/\Delta t) + q_2$$

$$\text{令 } Q_{cp} = (Q_1+Q_2)/2$$

则得到:

$$2Q_{cp} - q_1 = (2W_2/\Delta t - 2W_1/\Delta t) + q_2$$

$$\text{及 } 2Q_{cp} - q_2 = (2W_2/\Delta t - 2W_1/\Delta t) + q_1$$

式中 Q_1 、 Q_2 ——分别为时段 Δt 始、末的入库流量(米³/秒);

q_1 、 q_2 ——分别为时段 Δt 始、末的出库流量(米³/秒);

W_1 、 W_2 ——分别为时段 Δt 始、末的水库蓄水容积(米³);

Δt ——计算时段;

Q_{cp} ——时段 Δt 的平均入库流量(米³/秒)。

在水库泄洪方式和建筑物尺寸一定的情况下,当水库不用挡水闸门控制出库流量,并且出流量不受下游水位影响时,水库下泄流量与库水位以及相应的蓄水容积之间成函数关系:

$$q = f(H) = f(W)$$

故可作出 q —— $2W/\Delta t$ 关系曲线,作为图解工作曲线,图中纵座标为出流量 q ,间距为 AD 的两条横座标轴分别为 $2W/\Delta t$ 和 q_1 、 q_2 、 $2Q_{cp}$ 。纵座标比例尺与横座标比例尺之比为 $m:1$ 。

不同情况下的调洪图解方法的步骤分别介绍如下:

(一)已知水库的入流过程,推求水库出流过程、最大出库流量和相应的最高库水位。由顺时序调洪图解法推求。

1. 自确定的汛前防洪限制水位 H_1 起调。由相应的已知下泄流量为 q_1 的 B 点,引水平线 BB' ,交工作曲线于 B' 点;

2. 由 B' 点作垂线交横坐标轴 $2W/\Delta t$ 于 A' 点, 得 $2W_1/\Delta t$;
3. 在横坐标轴 q_1 、 $2Q_{cp}$ 上, 取 E 点等于 q_1 , 取 F 点等于 $2Q_{cp}$;
4. 连结 EA' , 由 F 点作 EA' 的平行线 FF' , 交横坐标轴 $2W/\Delta t$ 于 F' 点;
5. 由 F' 点作斜度为 $m:1$ 的倾斜线 $F'C'$ (平行于 PN), 交工作曲线于 C' 点;
6. 由 C' 点作水平线 $C'C$, 交纵坐标轴于 C 点, 即得所求时段末的出流量 q_2 ;
7. 由 C' 点作垂线 $C'G$, 交横坐标轴 $2W/\Delta t$ 于 G 点, 得 $2W_2/\Delta t$ 。

第一个时段的图解便完成。然后用第一个时段末的出流量 q_2 作第二个时段的初始出流量 q_1 , 用同样的步骤, 便可图解得第二个时段末的出流量 q_2 。再继续逐时段循环图解, 便可求得水库的出流过程, 最大的下泄流量以及相应的最高库水位。

证明:

因为 $C'G:GF' = m:1$

$$A'E \parallel FF'$$

$$2Q_{cp} - q_1 = (2W_2/\Delta t - 2W_1/\Delta t) + q_2$$

$$\begin{aligned} \text{故 } A'F' &= EF = DF - DE = 2Q_{cp} - q_1 \\ &= (2W_2/\Delta t - 2W_1/\Delta t) + q_2 \end{aligned}$$

故必然 $AC = q_2$, $A'G = (2W_2/\Delta t - 2W_1/\Delta t)$

(二) 已知水库入流过程 $Q \sim t$ 和允许的最大泄流量 q_m , 推求汛前防洪限制水位或推求预留的防洪库容, 只能用逆时序图解法来推求。

1. 确定调洪起始时间: 从洪水落洪期入流量等于 q_m 的时刻开始, 即采用 $q_2 = q_m = Q_2$;

2. 由纵坐标轴上相应于时段末出流量 q_2 等于 q_m 的 C 点作水平线 CC' , 交工作曲线于 C' 点;

3. 由 C' 点作垂线 $C'G$, 交横坐标轴 $2W/\Delta t$ 于 G 点, 得 $2W_2/\Delta t$;

4. 在横坐标轴 q_2 、 $2Q_{cp}$ 上, 取 E' 点等于 q_2 , 取 F 点等于 $2Q_{cp}$;

5. 连结 FG , 由 E' 点作 $E'G'$ 平行于 FG , 交横坐标轴 $2W/\Delta t$ 于 G' 点;

6. 由 G' 点作斜度为 $m:1$ 的斜线 $G'B'$ (平行于 PM), 交工作曲线于 B' 点;

7. 由 B' 点作垂线 $B'A'$, 交横坐标轴 $2W/\Delta t$ 于 A' 点, 得 $2W_1/\Delta t$;

8. 由 B' 点作水平线 $B'B$, 交纵坐标轴于 B 点, 即得所求时段初出流量。

用同样步骤, 逐时段图解便可求得各时段的初始出流量;

9. 涨洪期某时段初始入库流量 Q_1 等于初始出流量 q_1 , 则相应该时段初始流量 q_1 的库水位即为所求的汛前防洪限制水位, 相应的调节库容即为预留防洪库容。

图解推求 q_1 的证明与情况(一)证明相似。

全图解调洪演算实例:

某水库, 布置开敞式溢洪道7孔, 每孔净宽14米, 埝顶高程655米, 电站引用流量为500米³/秒, 水库无其它泄洪建筑物。已知水库入流过程(详表1), 汛前水位655米, 用全图解法推求水库出流过程、最大下泄流量和相应的最高库水位。

1. 计算 $H-q$ 和 $q-2W/\Delta t$ 关系曲线, 计算时段 $\Delta t = 8$ 小时 = 28800秒。结果如表1所示。

表 1 $q-2W/\Delta t$ 关系曲线计算表

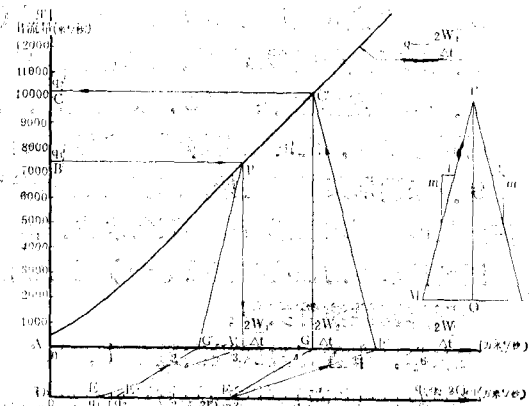
水库水位 (米)	水库容积 (10^6 米 ³)	坝顶以上容积 W (10^6 米 ³)	$2W/\Delta t$ (米 ³ /秒)	出流量 q (米 ³ /秒)
1	2	3	4	5
655	1010	0	0	500
656	1040	30	2083	698
657	1070	60	4167	1060
658	1100	90	6250	1529
659	1145	135	9375	2084
660	1190	180	12500	2713
661	1235	225	15625	3409
662	1280	270	18750	4166
663	1325	315	21875	4979
664	1370	360	25000	5845
665	1415	405	28125	6760
666	1475	465	32292	7722
667	1535	525	36458	8729
668	1595	585	40625	9779
669	1655	645	44792	10870
670	1715	705	48958	12000
671	1785	775	53819	13169
672	1870	860	59722	14376

2. 绘制 $q-2W/\Delta t$ 工作曲线，纵横坐标比例尺之比为 $m:1=4:1$ 。

3. 按前述情况(一)的步骤，顺时序逐时段图解，即可求得水库的出流过程。第三日24小时末出库流量达最大值： $q_{max}=11200$ 米³/秒，相应最高库水位由 $H-q$ 关系曲线查得： $H_{max}=669.30$ 米(插图)。

全部结果如表1、2所示。

本图解法之精度，除了取决于 $q-2W/\Delta t$ 工作曲线和纵横坐标比例尺的比例尺度线的绘制精度、以及图解工作的耐心和仔细程度外，尚与合理的选取纵横坐标比例以及纵横坐标比例的比值 m 有关。大多数情况下， $2W/\Delta t$ 大于 q 值的若干倍，一般来说，图幅愈大，图解程度就愈高，则图解不方便，影响图解的速度。因此，在读数方便，并能满足要求的读数精度的前提下，图幅不宜过大。



图解实例

辅助横坐标 $q_1, q_2, 2Q_{cp}$ ，可位于主横坐标轴 $2W/\Delta t$ 之下，也可位于其上。后者在不增大图幅的情况下，可保证两横坐标轴具有足够大的间距，有利于提高图解精度。

表2 图解调洪成果表

时程 Δt	时段未入流量 Q	时段平均入流量 $Q_{CP} = (Q_1 + Q_2) / 2$	$2Q_{CP}$	时段未出流量 q	时段末水位 H	
日 小时	(米 ³ /秒)	(米 ³ /秒)	(米 ³ /秒)	(米 ³ /秒)	米	
0	500			500	655	
1	8	2000	1250	2500	640	655.34
	16	2300	2150	4300	1000	656.85
	24	2900	2600	5200	1600	658.14
2	8	4000	3450	6900	2140	659.09
	16	5600	4800	9600	3050	660.50
	24	8000	6800	13600	4510	662.43
3	8	15000	11500	23000	7430	665.70
	16	13900	14450	28900	10240	668.43
	24	11300	12600	25200	11200	669.30
4	8	9000	10150	20300	10780	668.92
	16	7100	8050	16100	9630	667.86
	24	5900	6500	13000	8350	666.63
5	8	5100	5500	11000	7240	665.50
	16	4300	4700	9400	6230	664.43
	24	3600	3950	7900	5200	663.26
6	8	3000	3300	6600	4400	662.29
	16	2400	2700	5400	3530	661.16
	24	1900	2150	4300	2850	660.20

但图幅内纵横交错的图解辅助线太多，影响图面的清晰和美观，甚至引起错误，前者情况则相反。在横坐标轴 $2W/\Delta t$ 下面图幅无什么限制的条件下，以放在下面为宜，并适当增大两横坐标轴之间距，以提高图解精度。