

复杂尾水系统调压室涌波计算

王效东 陈家远

(成都科技大学)

一、引言

由于地形、地质及枢纽布置上的限制和要求，我国许多大中型水电站常常采用地下式厂房，这就不可避免长尾水洞的布置形式。为了减小水击压力和满足机组调节保证计算的要求，需要在尾水道上设置调压室。计划在四川兴建的某大型水电站，拟利用前期施工导流洞作为工程后期部分发电尾水洞，以减少新开尾水洞的开挖和衬砌费用。由于导流洞与尾水洞的断面形状、断面面积和长度都不同，这就形成由不同断面面积 f ，不同长度 l 串联的复杂尾水系统。对于这种串联复杂系统的调压室涌波计算，当断面变化不大时，以往采用简单等效管作近似计算，如果断面变化较大时（该工程两断面之比大于 2.39）能否还用它作近似计算，尚未见诸报道。我们在对该工程尾水系统进行过渡过程研究的同时，推导出这种由 n 段不同断面 f ，不同长度 l 串联组成的复杂尾水系统调压室水位波动基本微分方程，以及计算调压室稳定断面的通用公式，给出这种复杂尾水系统调压室涌波计算的数字模型和在 IBM 微机上实现的通用程序，结合工程实例，借用实验数据对采用不同方法计算的结果进行了验证。

二、基本方程

复杂尾水系统调压室布置如图 1 所示。机组引用流量由尾水管经过尾水管段（指尾水管到调压室的连接段）流入调压室，然后由调压室经过尾水洞、导流洞流入下游河道。调压室水位 Z 以下游河道水位为基准，向上为正，向下为负。

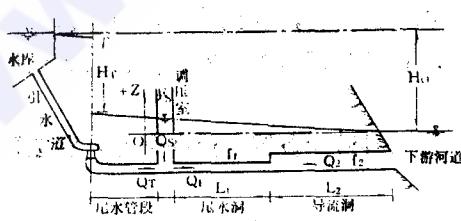


图 1 复杂尾水系统布置示意图

由图 1 所示，可以写出复杂尾水系统调压室的基本方程如下：

1. 连续方程

$$Q_T = Q_1 + F_S \frac{dz}{dt} = f_1 V_1 + F_S \frac{dz}{dt} \quad (1)$$

$$Q_1 = Q_2 \quad (2)$$

2. 运动方程

不计调压室内水体的惯性作用和尾水系统结构的弹性变形的影响，取尾水洞和导流洞中水体为脱离体，应用动量守恒定律，可推导出该复杂尾水系统的运动方程为：

$$\left(\frac{L_1}{gf_1} + \frac{L_2}{gf_2} \right) \frac{dQ_1}{dt} = Z - h_w \quad (3)$$

式中 Q_T —— 水轮机引用流量, m^3/s ;
 Q_1, Q_2 —— 分别为尾水洞和导流洞的过流量, m^3/s ;
 F_S —— 调压室断面积, m^2 ;
 L_1, L_2 —— 分别为尾水洞和导流洞的长度, m ;
 f_1, f_2 —— 分别为尾水洞和导流洞断面积, m^2 ;
 h_w —— 为尾水洞和导流洞的水头损失之和, m ;

$$h_w = \alpha_1 V_1^2 + \alpha_2 V_2^2 \quad (4)$$

α_1, α_2 —— 分别为尾水洞和导流洞的水头损失系数;

$$\alpha_i = \frac{L_i}{C_i^2 R_i} + \sum \xi_i \frac{1}{2g} \quad (5)$$

V_1, V_2 —— 分别为尾水洞和导流洞的流速, m/s 。

三、复杂尾水系统调压室水位波动及其稳定性

在调压室水位发生微小波动前, 水轮机的有效水头为 H_{T0} , 水轮机引用流量为 $Q_T = Q_0$, 机组出力为 N_0 , 即:

$$H_{T0} = H_0 - h_{w0} - h_{m0} \quad (6)$$

$$N_0 = 9.81 \eta_0 Q_0 H_{T0} \quad (7)$$

式中 h_{w0} —— 流量为 Q_0 时调压室下游尾水洞和导流洞的水头损失之和;

h_{m0} —— 流量为 Q_0 时调压室上游引水道和尾水管段等水头损失之和。

当调压室水位发生微小波动 x 后, 水轮机的水头为 H_T , 为了保持机组的固定出力, 调速器动作, 控制导水叶使机组引用流量改变一个微量 q , 此时的出力为 N_t :

$$H_T = H_0 - h_{w0} - h_m - x \quad (8)$$

$$N_t = 9.81 \eta_t (Q_0 + q) H_t \quad (9)$$

若近似流量变化前后水轮机的效率不变, 即 $\eta_0 = \eta_t$, 令 $N_0 = N_t$, 则:

$$Q_0 (H_0 - h_{w0} - h_{m0}) = (Q_0 + q) (H_0 - h_{w0} - h_m - x) \quad (10)$$

式中 h_m —— 流量为 $(Q_0 + q)$ 时调压室上游的引水道和尾水管段等水头损失之和, 忽略二阶微量的影响, 则:

$$h_m = h_{m0} \left(1 + 2 \frac{q}{Q_0}\right) \quad (11)$$

代入(10)式, 略去微量得:

$$q = \frac{Q_0}{H_1} \cdot x \quad (12)$$

$$\text{式中 } H_1 = H_0 - h_{w0} - 3h_{m0} \quad (13)$$

当水轮机引用流量由 $Q_T = Q_0$ 变为 $Q_T = (Q_0 + q)$ 时尾水洞和导流洞的流速分别由 V_{10} 和 V_{20} 变为 $(V_{10} + y_1)$ 和 $(V_{20} + y_2)$ ，其中 y_1 和 y_2 为微量，代入连续方程(1)得：

$$Q_0 + q = f_1(V_{10} + y_1) + F_s \frac{dZ}{dt} \quad (14)$$

由于调压室水位变化 x 是以电站正常运行时为基点，故 $Z = h_w + x$ ，所以 $dz/dt = dx/dt$ ，同时， $Q_0 = f_1 V_{10}$ ，则上式为

$$q = f_1 y_1 + F_s \frac{dx}{dt} \quad (15)$$

和(12)式相比得

$$\frac{Q_0}{H_1} x = f_1 y_1 + F_s \frac{dx}{dt} \quad (16)$$

或 $y_1 = \frac{Q_0}{f_1 H_1} x - \frac{F_s}{f_1} \frac{dx}{dt} \quad (17)$

微分得 $\frac{dy_1}{dt} = \frac{Q_0}{f_1 H_1} \frac{dx}{dt} - \frac{F_s}{f_1} \frac{d^2x}{dt^2} \quad (18)$

由于
$$\begin{aligned} h_w &= \alpha_1 V_{10}^2 + \alpha_2 V_{20}^2 \\ &= \alpha_1 (V_{10} + y_1)^2 + \alpha_2 (V_{20} + y_2)^2 \\ &= h_{w0} + 2\alpha_1 V_{10} y_1 + 2\alpha_2 V_{20} y_2 \end{aligned} \quad (19)$$

且
$$\left. \begin{aligned} \frac{dV_{10}}{dt} &= \frac{1}{f_1} \frac{dQ_1}{dt} = \frac{dy_1}{dt} \\ \frac{dV_{20}}{dt} &= \frac{1}{f_2} \frac{dQ_2}{dt} = \frac{dy_2}{dt} \end{aligned} \right\} \quad (20)$$

又因为 $f_1 y_1 = f_2 y_2 \quad (21)$

所以
$$\left. \begin{aligned} y_2 &= \frac{f_1}{f_2} y_1 \\ \frac{dy_2}{dt} &= \frac{f_1}{f_2} \frac{dy_1}{dt} \end{aligned} \right\} \quad (22)$$

将(20)、(22)式代入运动方程(3)得

$$\left(\frac{L_1}{g} + \frac{L_2 f_1}{g f_2} \right) \frac{dy_1}{dt} = x - 2 \left(\alpha_1 + \alpha_2 \frac{f_1^2}{f_2^2} \right) V_{10} y_1 \quad (23)$$

将(17)、(18)式代入(23)式得

$$\begin{aligned} &\frac{L_1 f_2 + L_2 f_1}{g f_1 f_2} F_s \frac{d^2x}{dt^2} + \left[2V_{10} \frac{\alpha_1 f_2^2 + \alpha_2 f_1^2}{f_2^2} \frac{F_s}{f_1} - \frac{L_1 f_2 + L_2 f_1}{g f_1 f_2} \frac{Q_0}{H_1} \right] \frac{dx}{dt} \\ &+ \left\{ 1 - 2V_{10} \frac{\alpha_1 f_2^2 + \alpha_2 f_1^2}{f_2^2} \frac{Q_0}{f_1 H_1} \right\} x = 0 \end{aligned} \quad (24)$$

若令

$$\begin{cases} n = \frac{1}{2} \frac{gf_1 f_2}{(L_1 f_2 + L_2 f_1)} \left[2V_{10} \frac{\alpha_1 f_2^2 + \alpha_2 f_1^2}{f_2^2} \frac{1}{f_1} - \frac{L_1 f_2 + L_2 f_1}{g f_1 f_2} \frac{Q_0}{F_s H_1} \right] \\ p^2 = \frac{gf_1 f_2}{F_s (L_1 f_2 + L_2 f_1)} \left[1 - 2V_{10} \frac{\alpha_1 f_2^2 + \alpha_2 f_1^2}{f_2^2} \frac{Q_0}{f_1 H_1} \right] \end{cases} \quad (25)$$

则(24)变为

$$\frac{d^2x}{dt^2} + 2n \frac{dx}{dt} + p^2 x = 0 \quad (26)$$

这就是该复杂尾水系统调压室水位波动微分方程。其波动稳定的重要条件是 $n > 0$ 和 $p^2 > 0$ 。由 $n > 0$ 得

$$F_s > \frac{(L_1 f_2 + L_2 f_1) f_1 f_2}{2g(\alpha_1 f_2^2 + \alpha_2 f_1^2) H_1} \quad (27)$$

这就是该复杂尾水系统调压室的稳定断面面积计算公式。如果某复杂尾水系统不只两段串联，而是有 n 段不同断面面积 f_i 、不同长度 l_i 的串联组成的复杂尾水系统时，可以用同样的方法推出其计算稳定断面 F_s 的通用公式为：

$$F_s > \frac{\left(\prod_{i=1}^n f_i \right) \left[\sum_{i=1}^n \left(l_i \cdot \prod_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n f_j \right) \right]}{2g H_1 \left[\sum_{i=1}^n \left(\alpha_i \cdot \prod_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n f_j \right) \right]} \quad (28)$$

如不计水头损失，复杂系统调压室水位波动的周期 T 为：

$$T_{\text{复杂}} = 2\pi \sqrt{\frac{\left[\sum_{i=1}^n \left(l_i \prod_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n f_j \right) \right] \cdot F_s}{g \left(\prod_{i=1}^n f_i \right)}} \quad (29)$$

当 $f_1 = f_2 = f$, $L_1 = L_2 = L$, $\alpha_1 + \alpha_2 = \alpha$ 时，由(27)式可得简单系统调压室稳定断面（托马）公式

$$F_s = \frac{Lf}{2gaH_1} \quad (30)$$

其水位波动周期为：

$$T_{\text{等效}} = 2\pi \sqrt{\frac{LF_s}{gf}} \quad (31)$$

由 $p^2 > 0$ 得

$$h_{m0} + h_{W0} < \frac{1}{3} H_0 \quad (32)$$

四、复杂尾水系统调压室涌波计算的电算方法

根据连续方程和运动方程，可以写出 n 段不同断面面积 f_i 、不同长度 L_i 和不同水头损失系数 α_i 组成的复杂尾水系统调压室涌波计算的差分方程如下

$$\left. \begin{aligned} \Delta Z_{i+1} &= (Q_T - Q_{1i}) \frac{\Delta t}{F_s} \\ Z_{i+1} &= Z_i + \Delta Z_{i+1} \\ \Delta Q_{1i+1} &= (Z_{i+1} - HW_i) \frac{g \cdot \prod_{j=1}^n f_j}{\sum_{i=1}^n (L_i \prod_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n f_j)} \cdot \Delta t \\ Q_{1i+1} &= Q_{1i} + \Delta Q_{1i+1} \\ HW_{i+1} &= \left(\sum_{i=1}^n \frac{\alpha_i + \xi_i}{f_i^2} \right) Q_{1i+1} + |Q_{1i+1}| \end{aligned} \right\} \quad (33)$$

其中水轮机过流量 Q_T 用直线关闭或直线开启的阀门近似模拟

$$\text{开启: } Q_T = \begin{cases} Q_{1b} + \frac{t}{T_{s0}} (Q_{10} - Q_{1b}) & t < T_{s0} \\ Q_{10} & t \geq T_{s0} \end{cases} \quad (34)$$

$$\text{关闭: } Q_T = \begin{cases} (Q_{10} - Q_{1x}) (1 - \frac{t}{T_{sc}}) + Q_{1x} & t < T_{sc} \\ Q_{1x} & t \geq T_{sc} \end{cases} \quad (35)$$

式中 Q_{10} ——阀门开启终了或关闭前水轮机过流量, m^3/s ;

Q_{1b} ——阀门开启前水轮机过流量, m^3/s ;

Q_{1x} ——阀门关闭终了水轮机过流量, m^3/s ;

T_{sc}, T_{s0} ——分别为阀门关闭和开启时间, s 。

水轮机工况用变量 CORO 控制, 当 $CORO > 0$ 时表示水轮机开启, 当 $CORO < 0$ 时, 表示关闭。

复杂尾水系统调压室涌波计算的通用程序可在 IBM 微机上实现(略), 程序框图见图 2 所示。

五、用特征线法计算复杂尾水系统调压室涌波

1. 基本方程

$$\text{运动方程 } L_1 = g \left(\frac{\partial H}{\partial x} \right) + V \left(\frac{\partial V}{\partial x} \right) + \left(\frac{\partial V}{\partial t} \right) + g S_f = 0 \quad (36)$$

$$\text{连续方程 } L_2 = \left(\frac{\partial H}{\partial t} \right) + \frac{a^2}{g} \left(\frac{\partial V}{\partial x} \right) + V \left(\frac{\partial H}{\partial x} \right) = 0 \quad (37)$$

式中 $S_f = Q | Q | / K^2$ ——摩擦坡降；

$K = f R^{2/3} / n$ ——流量模数；

R ——水力半径；

H 、 V ——分别为测压管水头和流速；

a ——水击波速，

n ——糙率；

g ——重力加速度。

2. 特征方程

由于 $\partial V / \partial x$ 与 $\partial V / \partial t$ 相比， $\partial H / \partial x$ 与 $\partial H / \partial t$ 相比均很小，可以略去。设特征值 λ ，将方程 (36) 和 (37) 简化后进行线性组合得

$$L = L_1 + \lambda L_2 = \lambda \left[\frac{\partial H}{\partial t} + \frac{g}{\lambda} \left(\frac{\partial H}{\partial x} \right) \right] + \left[\frac{\partial V}{\partial t} + \lambda \frac{a^2}{g} \left(\frac{\partial V}{\partial x} \right) \right] + g S_f = 0 \quad (38)$$

如果 $V = V(x, t)$ 和 $H = H(x, t)$ 是方程 (36) 和 (37) 的解，则由微分法则得

$$\left. \begin{aligned} \frac{dH}{dt} &= \frac{\partial H}{\partial t} + \frac{\partial H}{\partial x} \frac{dx}{dt} \\ \frac{dV}{dt} &= \frac{\partial V}{\partial t} + \frac{\partial V}{\partial x} \frac{dx}{dt} \end{aligned} \right\} \quad (39)$$

令：

$$\frac{dx}{dt} = \frac{g}{\lambda} = \lambda \frac{a^2}{g} \quad (40)$$

则方程 (38) 转变为全微分方程式

$$\lambda \frac{dH}{dt} + \frac{dV}{dt} - g S_f = 0 \quad (41)$$

满足方程 (40) 的两个特征值 λ 为

$$\lambda = \pm \frac{g}{a} \quad (42)$$

将入值代入 (40) 式得

$$\frac{dx}{dt} = \pm a \quad (43)$$

将 λ 值代到方程 (41) 中得到两组方程，分别以 C^+ 和 C^- 来命名，即

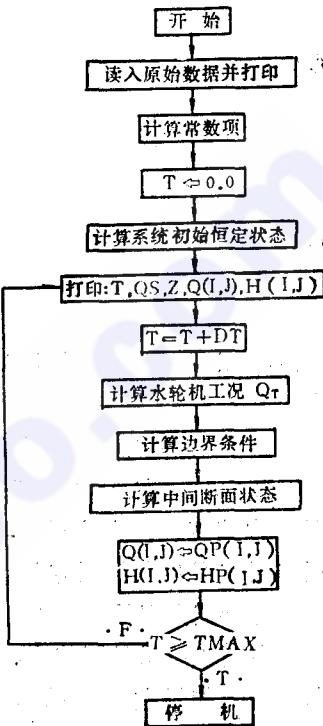


图2 复杂尾水系统调压室涌波计算框图

$$C^+ \left\{ \begin{array}{l} \frac{g}{a} \frac{dH}{dt} + \frac{dV}{dt} - gS_t = 0 \\ \frac{dx}{dt} = a \end{array} \right. \quad (44)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{dx}{dt} = -a \end{array} \right. \quad (45)$$

$$C^- \left\{ \begin{array}{l} -\frac{g}{a} \frac{dH}{dt} + \frac{dV}{dt} + gS_t = 0 \end{array} \right. \quad (46)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{dx}{dt} = -a \end{array} \right. \quad (47)$$

注意，在 C^+ 和 C^- 两组方程中，只有每组的第二个式子得到满足时，第一个式子才成立。

因为水击波速 a 对于给定的引水道一般为常数，因而(45)和(47)式在 $x \sim t$ 坐标平面内代表两条直线，如图3所示。这些直线称为特征线，因此，方程(44)和(46)分别称为正特征方程和负特征方程。

3. 特征方程的差分形式

在图4所示的网格中， PR 和 PS 线分别满足方程(45)和(47)，如果在 R 点的因变量 V 和 H 值已知，则方程(44)可以在 R 和 P 之间积分；用 R 点的已知量和 P 点的未知量来表示该方程。同样，沿 PS 对方程(46)积分，用 S 点的已知量和 P 点的未知量表示第二个方程，联解这两个方程，就可以求出 P 点的未知量 V 和 H 值。

用 dt 乘以方程(44)~(47)，用流量 Q 表示流速 V ，并在积分中采用一阶近似，得到方程组的有限差分形式为

$$H_P - H_R + \frac{a}{gf} (Q_P - Q_R) + aS_{tR}(t_P - t_R) = 0 \quad (48)$$

$$x_P - x_R = a(t_P - t_R) \quad (49)$$

$$H_P - H_S - \frac{a}{gf} (Q_P - Q_S) - aS_{tS}(t_P - t_S) = 0 \quad (50)$$

$$x_P - x_S = -a(t_P - t_S) \quad (51)$$

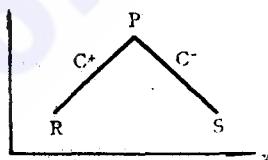


图3

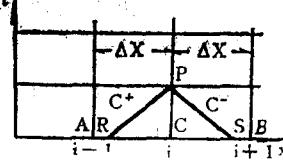


图4

在图4中，如果ABC三点的状态已知，可用线性插值法求 R 和 S 点的状态值。

由于

$$\frac{x_C - x_R}{x_C - x_A} = \frac{Q_C - Q_R}{Q_C - Q_A} \quad (52)$$

且有

$$x_C = x_P, \quad x_C - x_A = \Delta x$$

故有

$$Q_R = \frac{Q_C - \zeta_R(Q_C - Q_A)}{1 + \frac{\theta}{f}(Q_C - Q_A)} \quad (53)$$

同理，可以对 Q_S 、 H_R 和 H_S 求得内插值

$$Q_s = \frac{Q_c - \zeta_s(Q_c - Q_B)}{1.0 - \frac{\theta}{f}(Q_c - Q_B)} \quad (54)$$

$$H_R = H_c - \left(\frac{Q_R}{f} \theta + \zeta_R \right) (H_c - H_A) \quad (55)$$

$$H_S = H_c + \left(\frac{Q_S}{f} \theta - \zeta_s \right) (H_c - H_B) \quad (56)$$

式中 $\theta = \Delta t / \Delta x$ 为网格比, $\zeta = \theta a$

若令

$$\begin{aligned} C_P &= H_R + B Q_R - a S_{fR} \cdot \Delta t \\ C_M &= H_S - B Q_S + a S_{fS} \cdot \Delta t \end{aligned} \quad (57)$$

则(48)和(50)式变为:

$$C^+ \quad H_P = C_P - B Q_P \quad (58)$$

$$C^- \quad H_P = C_M + B Q_P \quad (59)$$

式中 $B = \frac{a}{g f}$

联解(58)和(59)式可以求出 P 点的 H 和 Q 值。

为了保证解的稳定和收敛, 对网格比 θ 要严格控制, 即必须满足柯兰特(Courant)条件。

4. 边界条件

(1) 调压室 按图 5 所示调压室边界条件可列出如下方程。

连续方程

$$Q_S = Q_T - Q_{P1,1} \quad (60)$$

水量平衡方程

$$Z_P = Z + Q_S \cdot \Delta t / F_S \quad (61)$$

运动方程

$$Z_P = H_{P1,1} + \Delta h_1 \quad (62)$$

负特征方程 C^-

$$H_{P1,1} = C_M + B Q_{P1,1} \quad (63)$$

将这些方程用矩阵表示为

$$\begin{Bmatrix} 1 & 0 & 1 & 0 \\ \frac{\Delta t}{F_S} & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & -1 \\ 0 & 0 & -B & 1 \end{Bmatrix} \begin{Bmatrix} Q_S \\ Z_P \\ Q_{P1,1} \\ H_{P1,1} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} Q_T \\ -Z \\ \Delta h_1 \\ C_M \end{Bmatrix} \quad (64)$$

用高斯消元法解此矩阵就可求得调压室边界条件: Q_S , $Q_{P1,1}$, $H_{P1,1}$, Z_P 。

式中 $\Delta h_1 = e_1 \frac{V_1^2}{2g}$ —— 调压室与尾水洞连接处水头损失, e_1 为水头损失系数。

(2) 串联管道 图 6 所示尾水洞与导流洞连接处的边界条件, 可列出如下基本方程:

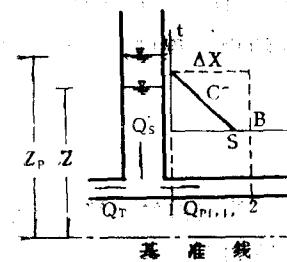


图 5

连续方程

$$Q_{P1,NS} = Q_{P2,1} \quad (65)$$

运动方程

$$H_{P1,NS} = H_{P2,1} + \Delta h_2 \quad (66)$$

正特征方程 C^+

$$H_{P1,NS} = C_P - B_1 Q_{P1,NS} \quad (67)$$

负特征方程 C^-

$$H_{P2,1} = C_M2 + B_2 Q_{P2,1} \quad (68)$$

用矩阵表示为

$$\begin{Bmatrix} 1 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & -1 \\ B_1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -B_2 & 1 \end{Bmatrix} \begin{Bmatrix} Q_{P1,NS} \\ H_{P1,NS} \\ Q_{P2,1} \\ H_{P2,1} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 0 \\ \Delta h_2 \\ C_P \\ C_M2 \end{Bmatrix}$$

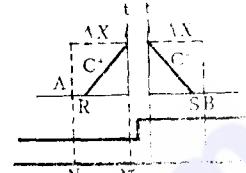


图 6

(69)

同样用高斯消元法解此矩阵就可求得由尾水洞与导流洞连接处的边界条件: $Q_{P1,NS}$, $H_{P1,NS}$, $Q_{P2,1}$, $H_{P2,1}$ 。

(3). 下游河道 图 7 所示下游河道边界条件, 利用下游水位、流量关系曲线可查得下游水位 y_{res} , 其边界条件为:

$$\text{运动方程 } H_{P2,NS} = y_{res} + \Delta h_3 \quad (70)$$

$$\text{正特征方程 } C^+ \quad H_{P2,NS} = C_P - B Q_{P2,NS} \quad (71)$$

联解(70)、(71)式可得下游河道边界条件: $Q_{P2,MS}$, $H_{P2,NS}$ 。

5. 电算框图及程序 前面介绍了用特征线法计算复杂尾水系统调压室涌波的数学模型, 据此编制了在 IBM 微机上进行电算的电算程序, 程序框图见图 8。

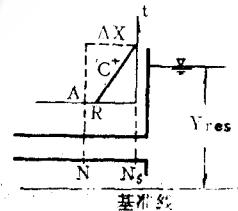


图 7

六、实 例

某工程复杂尾水系统调压室布置示意如图 1 所示。具体参数如下:

水轮机最大引用流量 Q_T 为 $3 \times 364.0 = 1092.0 \text{ m}^3/\text{s}$, 最小水头 H_{min} 为 135.0 m , 启闭时间 T_s 为 12 s , 尾水洞长 L_1 为 252.98 m , 其断面积 f_1 为 176.63 m^2 , 直径 D 为 15.0 m , 导流洞长 L_2 为 304.91 m , 其断面积 f_2 为 422.76 m^2 , 断面形状及尺寸见图 9; 隧洞平均糙率为 0.016 , 调压室上游的引水道、尾水管段等水头损失之和 h_{wp} 为 5.87 m 。

按复杂尾水系统调压室稳定断面公式(27)或(28)计算得稳定断面面积 F_S 复杂应大于 463.54 m^2 ; 若按等效简单管公式(30)计算, 则稳定断面面积 F_S 等效应大于 689.56 m^2 。

为了验证本文所介绍的模型与程序的通用性, 我们对该工程复杂尾水系统调压室涌波进行了计算, 其方法分别采用本文介绍的复杂系统法、特征线法和简单等效管近似计算法, 且将计算结果与模型实验结果加以比较^[3]。计算工况为:

(1). 丢弃全负荷: Q_T 从 1092.0 变到 $0.0 \text{ m}^3/\text{s}$, 波动过程

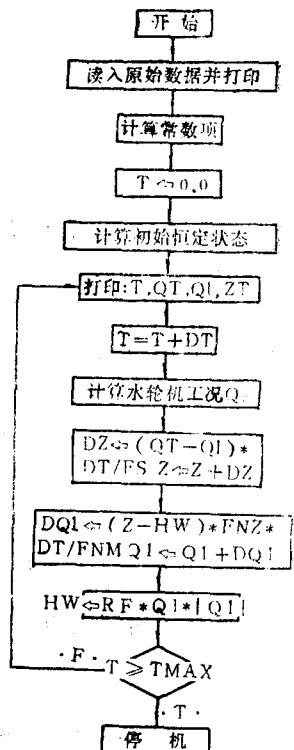


图 8 特征线法程序框图

线见图 10 所示。

(2). 增加负荷: Q_T 从 $364.0 \text{ m}^3/\text{s}$ 变到 $1092.0 \text{ m}^3/\text{s}$, 波动过程线见图 11 所示。

为了与实验工况一致, 计算中调压室断面积 F_s 采用实验数据 ($F_s = 765.0 \rightarrow 1105.0 \text{ m}^2$), 其分界高程为 1027.0 m , 下游水位为 1030.0 m 。

计算结果汇总于表 1。

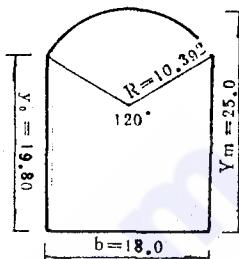


图 9

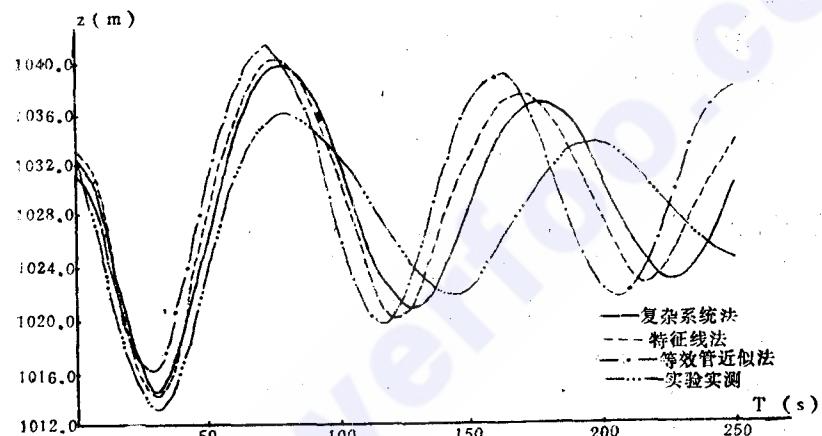


图10 丢弃负荷调压室水位波动过程线

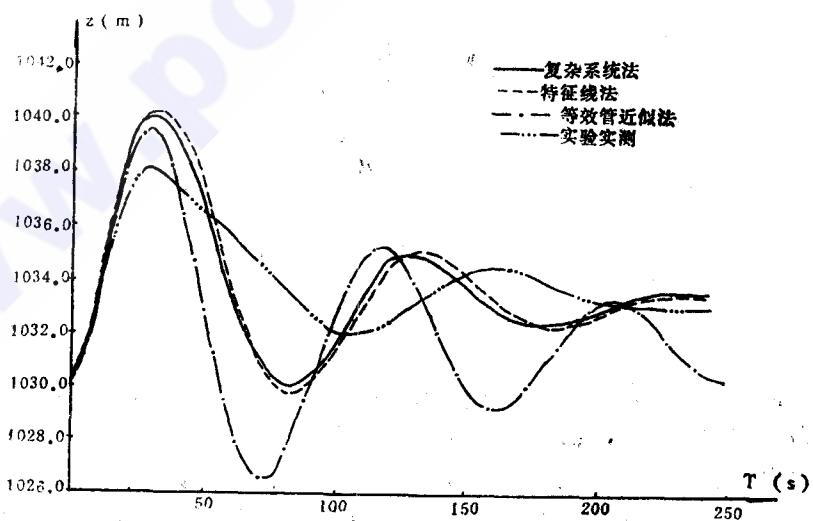


图11 增强负荷调压室水位波动过程线

表1 计算成果汇总表

项 目	计算稳定周期 断面 F_s (m^2)	T (s)	丢弃负荷				增加负荷			
			Z ₁ (m)	出现时间 (s)	Z ₂ (m)	出现时间 (s)	Z _{1'} (m)	出现时间 (s)	Z _{2'} (m)	出现时间 (s)
实验结果*		113	1013.0	7.8	1036.2	80	1038.11	28	1032.0	105
特征线法		93	1014.33	29.85	1040.2	76	1040.88	32.38	102968	82.47
复杂系统法	463.54	98	1015.0	30	1039.5	80	1040.6	29	1029.8	80
简单等效管近似法	689.56	87	1016.2	30	1041.2	73	1039.11	29	1026.4	72

注: *1. 系借用天津大学给该工程作的模型试验结果;

2. $F_s = 765.0 - 1105.0 m^2$

七、结束语

当电站采用地下厂房布置时, 常常可以利用前期施工、导流洞作为工程后期发电尾水洞, 以节省电站投资, 但由于断面形状、断面面积的不同, 因而造成系统的复杂化, 这对实际工程的计算带来一定的麻烦和近似性。利用本文所介绍的方法和通用程序可以达到比较好的结果。该程序不仅适用于复杂系统, 也适用于简单系统, 通用性强。计算精度几乎与特征线法一致, 而且比特征线法大大地节省计算机的时间。

按照本文推导的复杂尾水系统调压室稳定断面面积计算通用公式(28)计算所需的稳定断面面积, 比按简单等效系统所需的稳定断面要小, 从而可以进一步节省投资。

参 考 文 献

- [1] 陈家远, 设有气垫式调压室的水电站引水道非恒定流计算方法, 四川水力发电, No.2 1986
- [2] 王树人等, 《水电站建筑物》, 清华大学出版社, 1984年
- [3] 天津大学水利系不恒定流组, ××水电站尾水系统模型试验报告, 1985年4月
- [4] 水电部成都勘测设计院, 《水电站过渡过程电算方法论文汇集》, 1987年3月

观音岩水电站列入我省基建项目

凉山彝族自治州今年大型基建项目之一的冕宁县观音岩水电站, 被四川省计经委和省水电厅列入基本建设项目, 已于7月份破土动工。

观音岩水电站装机容量为1.6万kW, 年发电量10.4亿度, 总投资2749万元, 计划三年建成。这个电站是该县继1982年投产发电装机容量3750kW的红星电站以后建设的又一个水力发电站, 建成以后, 每年可创产值675万元。对缓和西昌地区的供电紧张状况, 促进少数民族地区工农业生产发展, 加快边远山区电气化建设将发挥积极作用。

(凉山彝族自治州冕宁县经委 毛幼熙)

一九八七年七月二十九日