

柔腹式浮体闸不同步分析

吴 桢 祥

(水利系)

提 要: 本文以模型实验水力现象为基础分析了浮体闸的不同步机理, 讨论了不同步与失控的联系与区别, 用力矩变率方法, 证明静态降闸曲线的凸点可作为失控的临界点。文中引入不同步力的概念, 指出不同步力是招致不同步运行的外因, 并给出不同步力的表达式。通过闸室廊道系统的水力分析, 对一确定的降闸曲线, 使不同步力计算成为可能。在此基础上, 提出可供工程应用的柔腹式浮体闸不同步计算方法。

关键词: 浮体闸, 不同步

自1968年临颍第一座浮体闸建成至今, 全国已兴建浮体闸二十余座。由于链板式结构存在较多、构件多、接缝多、止水线长等问题, 施工维修均不便。1978年, 光山五岳水库建成新一代的柔腹式浮体闸, 他在结构上介于链板式浮体闸与橡胶坝之间, 以尼龙橡胶织物等柔性材料代替链板式闸的上下付闸板及中铰链板, 与主闸板一道构成活动的腔体, 借助上、下游充、排水廊道调节闸室水压, 控制闸板升降。实践证明, 柔腹式浮体闸集中了老式浮体闸和橡胶坝的优点, 克服了他们各自的缺点, 是很有希望的闸型。本文着重论述柔腹闸的不同步问题, 它的性能计算可查阅有关资料[1][3][6]。

浮体闸各闸板单元的不同步起落现象已有不少工程实例。严重的不同步, 不但影响运用, 而且也是闸结构破坏的原因。据资料记载, 河南鄆城浮体闸运用中, 曾多次出现不同步, 致使单元间止水橡皮撕裂, 联结钢轨折坏。安阳白壁闸, 闸宽23米, 高2.5米, 不同步高差竟达0.6~0.9米。北京曹碾闸也出现过显著的不同步。因此, 不同步问题引起普遍的关注。近十年来, 随着原型观测, 模型试验, 理论分析工作的进展, 认识逐渐深入。浮体闸的不同步问题已可通过正确的设计而加以控制。

1 柔腹式浮体闸的溢流降落与起升诸水力现象分析

溢流升降特性常只限于在静力平衡情况考虑。作用于如图1所示的浮体闸上的诸外力对后铰心的力矩和可写成如下形式: [3]

$$\begin{aligned} \Sigma M(H \cdot h) = & h \left[\frac{H^2}{2} (1 + \operatorname{ctg}^2 \alpha) - B \cdot C + R \cdot r \right] - \frac{H^3}{3} (1 + \operatorname{ctg}^2 \alpha) - m_1 \\ & - m_2 + (B \cdot C - R \cdot r) H \end{aligned} \quad (1)$$

式中: H ——闸顶高程(以后铰心为 O , 下同);

h ——闸室水压;

收到日期: 1989.03.12.

H_0 ——上游库水位;

m_1 ——溢流水压力矩;

m_2 ——主闸板浮重力矩;

α ——相对于闸顶高 H 的主闸板张开角(度);

R ——柔腹圆弧半径;

r ——柔腹拉力对后铰心力臂;

B ——柔腹贴附主闸板的长度;

C ——贴附力对后铰心力臂。

对于任一平衡闸位, 可从式(1)得到闸室水压与闸顶高程的关系式:

$$h = \frac{\frac{1}{3}H^3(1 + \text{ctg}^2\alpha) + (R \cdot r - B \cdot C)H_0 + m_1 + m_2}{\frac{1}{2}H^2(1 + \text{ctg}^2\alpha) + R \cdot r - B \cdot C} \quad (2)$$

若闸的几何参数一定, 上式就是通常的静力平衡降闸曲线 $h = f(H)$, 可由专门的电算程序计算^[6]。降闸曲线的型式分两类: 单值型和双值型分别为图1中的曲线A、B, 它对闸的性能如失控、快降、不同步、自锁等有直接影响。大量的实验室模型试验, 可知失控、快降、不同步的联系和区别。表1列出实验的一般情况。

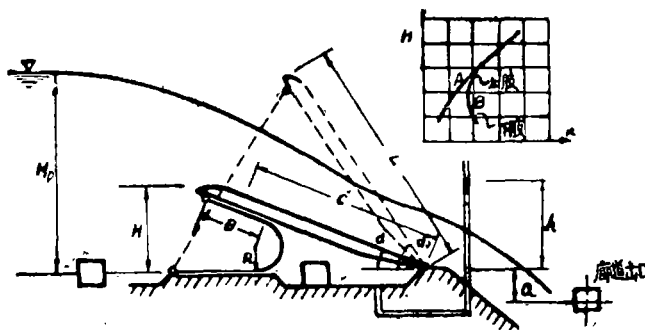


图 1

从表中实验可以得出如下结论:

①快降和失控是由于B型(凸肚)降闸曲线引起, 它可以通过密闭闸室得到控制。

②不同步主要是由于主闸板缺乏纵向抗扭刚度引起。即使A型降闸曲线, 不同步现象同样会出现。

③密闭闸室和改善降闸曲线可以减轻不同步的强度, 但不能以此来避免不同步。同时, 实验还发现, 不同步现象与降闸速度有一定关系。

从这些结论还可得出如下认识: 不同步的主要问题是闸的刚度问题, 或者说, 不同步问题是一个在内、外水压力作用下主闸板的大变形问题。不同步的内因在主闸板本身, 外因则为运用操作时内外水荷载对主闸板的扭力矩。前述实验中绝对刚性闸板是没有的, 主闸板在内外水作用下总要有一定的变形, 如何把变形控制在一定范围内, 工程上就可以说“消除了不同步”。计算和估计这一变形值必须先知道外力, 为此首先应对失控问题进行水力分析。

表1

组次	条 件	实 验 情 况	
		A型曲线(单值)	B型曲线(双值)
1	刚性主闸板, 断面模型试验, 闸室不密封。	闸顶可停留在任一高程。同顶。	闸顶下降至某一位置, 对闸室水压变化非常敏感。闸顶降至反弯点以下, 几乎无法控制, 常落到底。同步
2	刚性、主闸板、断面模型、闸室, 密封。	同实验1	闸顶可停留在任一高程。同步。
3	刚性主闸板, 整体模型, 闸室不密封。	同实验1	同实验1
4	刚性主闸板、整体模型、闸室密封。	同实验1	同实验2
5	柔性主闸板(无抗扭刚度)、整体模型, 闸室不密封。	闸顶在升降过程中出现不同步情况。	闸顶在升降过程中出现严重的不同步。
6	柔性主闸板(无抗扭刚度)整体模型、闸室密封。	有不同步, 但较实验5减轻。	同实验5、但较减轻。

2 柔腹式浮体闸的失控临界点

失控, 即浮体闸不能稳定平衡在某一闸位。文献[1][2]对失控问题进行了全面分析, 指出: 出现与闸顶变位方向相同的合力矩增量是失控的根本原因。即当 $\left. \frac{d \sum M(H \cdot h)}{dH} \right|_h =$

$c > 0$ 时, 一定发生失控, 而当 $\left. \frac{d \sum M(H \cdot h)}{dH} \right|_h = c < 0$ 为稳定的平衡区, $\left. \frac{d \sum M(H \cdot h)}{dH} \right|_h =$

$c = 0$ 为临界失控点。(力矩以顺时针方向为正)

处于某平衡闸位A的浮体闸, 如图2示, 此时闸室水压为闸 h_c , 顶高程为 H_c , 可以通过减小闸室水压至 h 使闸顶降至 $M(h \cdot H)$ 点。现由于某一扰动力, 使闸室水压基本维持不变情况下, 闸顶由A点到达N点, 如图2示。

诸外力作用于后铰心的力矩之和为:

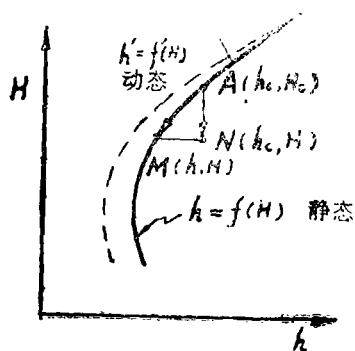


图 2

对A点成立:

$$\Sigma M(H_c \cdot h_c) = h_c \left(\frac{1}{2} H_c^2 (1 + \text{ctg}^2 \alpha_c) - B_c \right.$$

$$\left. C_c + R_c \cdot r_c \right) - \frac{1}{3} H_c^3 (1 + \text{ctg}^2 \alpha_c) - m_{c1} - m_{c2} +$$

$$(B_c \cdot C_c - R_c \cdot r_c) \cdot H_0 = 0$$

对N点则为:

$$\Sigma M(H \cdot h_c) = h_c \left[\frac{1}{2} H^2 (1 + \text{ctg}^2 \alpha) - B \cdot C \right.$$

$$\left. + R \cdot r \right] - \frac{1}{3} H^3 (1 + \text{ctg}^2 \alpha) - m_1 - m_2 + (B \cdot C - R \cdot r) H_0 = f_1(H) \quad (3)$$

式中有脚标C的量为闸顶位于A的各物理量, 否则为闸顶在N点的各物理量。

由于上式后四项只是闸顶高的函数, 故可用M点的值代换, 且由于M点为降闸曲线上的平衡点, 成立如下关系:

$$\Sigma M(H \cdot h) = h \left[\frac{1}{2} H^2 (1 + \text{ctg}^2 \alpha) - B \cdot C + R \cdot r \right] - \frac{1}{3} H^3 (1 + \text{ctg}^2 \alpha) - m_1 - m_2 + (BC - Rr) H_0 = 0$$

故式(3)变成如下形式:

$$\Sigma M(H \cdot h_c) = h_c \left[\frac{1}{2} H^2 (1 + \text{ctg}^2 \alpha) - B \cdot C + R \cdot r \right] - h \left[\frac{1}{2} H^2 (1 + \text{ctg}^2 \alpha) - B \cdot C + R \cdot r \right]$$

$$= (h_c - h) \left[\frac{1}{2} H^2 (1 + \text{ctg}^2 \alpha) - B \cdot C + R \cdot r \right] = [h_c - f(H)] \left[\frac{1}{2} H^2 \right.$$

$$\left. (1 + \text{ctg}^2 \alpha) - B \cdot C + R \cdot r \right] = f_1(H)$$

对H求导:

$$\frac{d \Sigma M(H \cdot h_c)}{dH} = [h_c - f(H)] \left[-\frac{dBC}{dH} + \frac{dRr}{dH} \right] - \frac{df(H)}{dH} \cdot \left[\frac{1}{2} H^2 (1 + \text{ctg}^2 \alpha) - BC + Rr \right]$$

如果令上式等零即为失控的临界状态^[1]。

在不同步计算中控制 $h_c - f(H)$ 为一微量, 且由于 $-\frac{dBC}{dH} + \frac{dRr}{dH}$ 二项和也甚小^[2], 故上式可简化成:

$$\frac{d \Sigma M(H \cdot h_c)}{dH} = -\frac{df(H)}{dH} \left[\frac{1}{2} H^2 (1 + \text{ctg}^2 \alpha) - BC + Rr \right]$$

失控临界点的条件是使力矩变率为零, 即: $-\frac{df(H)}{dH} = 0$ 而该条件恰是双值降闸曲线的

凸点条件,即:降闸曲线的凸点位置恰是力矩变率为零的失控临界点位置。降闸曲线的上肢, $\frac{df(H)}{dH}$ 为正,故 $\frac{d\Sigma M(H \cdot h_c)}{dH} < 0$, 可知该区为稳定区,曲线的下肢 $\frac{df(H)}{dH}$ 为负, $\frac{d\Sigma M(H \cdot h_c)}{dH} > 0$, 故该区为失控区。这一结论与模型实验观察完全符合。因此,要消除失控可以采用两种措施:①设计一单值降闸曲线,或②把闸室密闭。

3 不同步力计算

不同步与失控有某些联系,但又是两个不同的概念。不同步常发生在局部单元而后向整个闸体扩展。设想一虚拟的多单元浮体闸,处于某一闸位,其单元宽度为B。各单元间无刚性联系。假设某单元发生一微小扰动使闸板发生位移 ΔH_1 ,则由此扰动而产生一合力矩增量

$$\left. \frac{d\Sigma(H \cdot h)}{dH} \right|_{h=c \cdot \Delta H \cdot B} \text{作用于该闸板,从而破坏该闸板的平衡状态,同时,此不平衡}$$

力矩又以外力形式作用于与其毗邻的单元闸板。(由于是微小的局部扰动,可以认为此时闸室水压不变。)从而发生该单元闸板的新扰动 ΔH_2 使之失去平衡。这样,一个微小扰动将沿闸长方向发生不同步链锁反应,形成多单元浮体闸的不同步过程,如图3示。

微小闸顶扰动量 ΔH 所产生的作用于毗邻闸板闸头连结件的力通常可称为第一不同步力,可用下式计算:^[2]

$$F_1 = K \frac{B}{L} \frac{d\Sigma M(H \cdot h_c)}{dH} \cdot \Delta H = -K \frac{B}{L} \frac{df(H)}{dH} \left[\frac{1}{2} H^2 (1 + \cot^2 \alpha) - BC + Rr \right] \cdot \Delta H = -K \frac{B \Delta H}{L} \varphi(H) \operatorname{tg} \alpha_H \quad (5)$$

式中: $\varphi(H)$ ——H的某一函数

α_H ——降闸曲线上相对于闸顶高H处切线与H轴夹角。

B——单元闸板宽

L——主闸板长度

K——系数, $K = 1.5 \sim 2.0$ 。

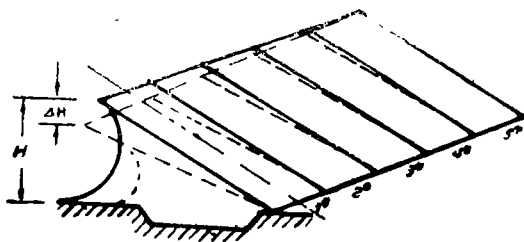


图 3

式(5)可知,不同步力的计算需要预知降闸曲线以及各闸位的贴附长B,贴长臂C、柔腹半径R,柔腹拉力臂r等,这些已有专门的计算机程序可供应用。^[1]实际上,升、降闸时,闸室水流沿纵向有一定的水力坡降,即各单元闸板的内水压是不同的,由此产生毗邻闸板上的作用力可称为第二不同步力,并可以下式计算:

$$F_2 = K \frac{B}{L} \frac{d \sum M(H \cdot h)}{dh} H = C \cdot \Delta h = K \frac{B}{L} \left[\frac{1}{2} H^2 (1 + \operatorname{ctg}^2 \alpha) - \overline{B} \overline{C} + Rr \right] \cdot \Delta h$$

$$= K \frac{B \Delta h}{L} \varphi(H) \quad (6)$$

式中:

Δh ——某闸位相邻闸板单元最大水压差值

K ——系数, $K = 1.5 \sim 2.0$

从不同步力的式(5)看出, 相同的微小扰动产生的不同步力随闸位而异, 在凸点(失控临界点)由于 $\alpha_H = 0$, 微小扰动并不产生不同步力, 闸几乎呈自由悬浮状态, 对双值降闸曲线的低闸位下肢, α_H 绝对值随降位下降而迅速增加, 因而第一不同步在低闸位最大。

由不同步力的式(6)可知, 第二不同步力除了与闸位有关外, 还决定于水压差值 Δh , 而 Δh 又决定于闸室水流的特性。

4 闸室廊道系统水力分析

从式(6)知, 欲求第二不同步力, 必须已知闸室水压值, 这要通过闸室廊道系统水力计算来解决, 同时, 该计算过程还可以求出各闸位的降闸速度, 降闸流量、降闸历时等、初估闸板落底的冲击力。

闸室水流及廊道水流所遵循的基本关系式, 在忽略惯性水头情况下为:

连续性方程:

$$\frac{\partial A(s \cdot t)}{\partial t} + \frac{\partial Q(s \cdot t)}{\partial s} = 0 \quad (7)$$

能量方程:

$$\frac{\partial h(s \cdot t)}{\partial s} + \frac{v(s \cdot t)}{g} \frac{\partial v(s \cdot t)}{\partial s} = - \frac{Q^2(s \cdot t)}{K^2(s \cdot t)} \quad (8)$$

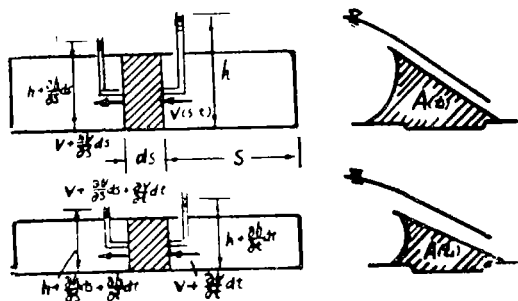


图 4

廊道出流控制方程:

$$Q_t = \mu_t \Omega (2gE_t)^{0.5} \quad (9)$$

降闸过程控制方程:

$$h = f(H) \quad (10)$$

实际工程的浮体闸不允许出现过大的不同步, 故式(7)、(8)可简化为差分形式:

$$\frac{\Delta A}{\Delta t} + \Delta q(t) = 0$$

$$h_w(t) = \frac{\Delta Q^2 \cdot B}{K^2} (1^2 + 2^2 + 3^2 + \dots)$$

式中: K ——闸腔断面流量模数

ΔA —— Δt 时段闸室断面的改变量

Δq ——单位闸长所提供的流量, $\Delta q = \frac{\Delta Q}{B}$

B ——单元闸板宽

$h_w(t)$ —— t 时刻的能耗

μ_t —— t 时刻廊道系统流量系数

E_t —— t 时刻廊道进口处闸室水流的单位能量(以廊道出口中心为基面)

h ——闸室水压, 对多单元闸、应理为纵向闸室水压的等效水压。

进行降闸计算时, 首先将降闸过程分成几个子过程, 按下列方程计算该子过程的降闸时间值 T_i :

$$T_i = [4.43 M_1 \cdot W \cdot (h - S_2 + B_1 + 0.204 \frac{N_2^2 \cdot Q^2}{(A_i + A_{i+1})^2}) \frac{1}{2}] \cdot (A_i - A_{i+1}) \cdot B \cdot N_2 \quad (11)$$

式中: h ——对应于该闸顶高的闸室水压(等效),

A_i —— i 闸位的闸腔过水断面积

S_2 ——从等效闸室水压所在位置至廊道进口的水头损失

N_2 ——浮体闸闸板单元个数

M_1 ——廊道系统流量系数

W ——廊道过水断面积

Q ——单元宽流量

B_1 ——廊道出口至后铰心垂距

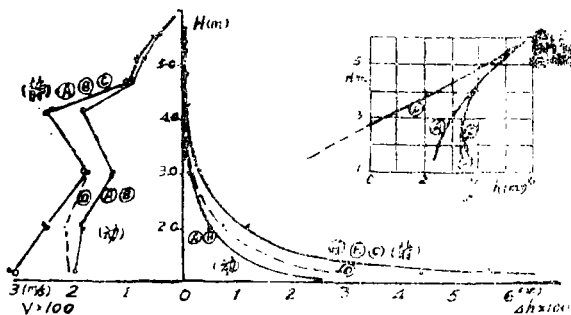
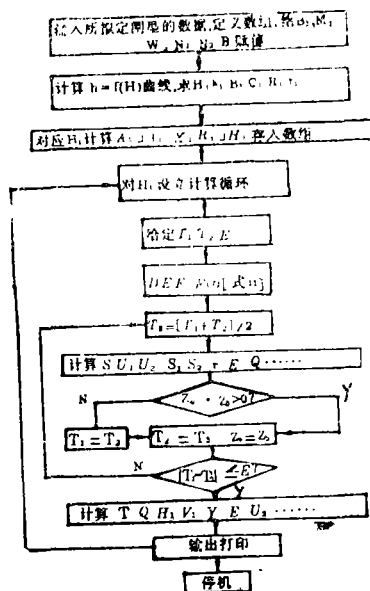


图 5

T_i ——子降闸过程的降闸时间

计算流程如下:

现给出一代表性算例:

对挡水高度 $H_0 = 6\text{m}$, 主闸板长度 $L = 7.9\text{m}$, 最大张开角 $\alpha_0 = 50^\circ$ 的浮体闸, 在四种不同的降闸曲线下, 所得的计算结果绘于图5和表2。(注: 为简化计算闸腔面积用相同值。)

表2 降闸计算成果

降闸曲线	相邻闸板最大水压 差值 (m)	最大降闸速度 (m/s)	临底碰撞速度 (m/s)	最大流量 (m ³ /s)	降闸总时间 (s)
A	0.0575	0.0286	0.0286	5.87	340.3
A'	0.0207	0.0172	0.0172	4.68	469.1
B	0.0651	0.0304	0.0304	5.87	338.4
B'	0.0259	0.0162	0.0192	4.69	460.7
C	0.0651	0.0304	0.0304	5.87	338.4
D	0.0284	0.0228	0.0201	5.87	368.6

从计算结果可知:

①就闸的降落速度而论, 在廊道阀门恒定开度时, 低闸位明显加快, 故适当把闸头抬高可以控制降闸速度。

②双值凸肚型降闸曲线可使降闸速度提高。消除曲线的凸肚, 可降低降闸速度。

③相邻闸板的闸室水压差, 低闸位比高闸位大数百倍, 故第二不同步力受低闸位控制。

④平缓的降闸曲线, 其相邻闸板的水压差也较小。

⑤降闸速度的绝对值, 对 $N = 30$ 的多单元闸, 并不算大, 每秒几厘米的落底速度不致于产生很大的冲击荷载。

5 考虑动态降闸的降闸过程计算

上述计算是以静力平衡降闸曲线进行计算。当考虑动态情况时必须计及:

①闸结构的惯性

②闸体在水中运动的阻力

③动水荷载的作用

④闸室纵向水力坡降作用

这就使计算复杂化。由实验可知, 和静态降闸曲线相比, 当闸顶以一定速度到达 H 时, 闸室水压已不是静态的 h , 而是动态的 h' , 且 $h' < h$ 如图(二)所示, 说明动态降闸需要更小的闸室水压。动态降闸时, 对任一闸位外力矩不为零:

$$\Sigma M_0(H, h') = h' \left[\frac{1}{2} H^2 (1 + \operatorname{ctg}^2 \alpha) - BC + Rr \right] - \frac{1}{3} H^3 (1 + \operatorname{ctg}^2 \alpha) - m_1' - m_2' + (BC - Rr) H_0 \neq 0$$

假定上式的后四项与静态降闸时的后四项(式(1))相等, 则上式成为:

$$\Sigma M_0(H \cdot h') - (h' - h) \left[\frac{1}{2} H^2 (1 + \operatorname{ctg}^2 \alpha) - BC + Rr \right] = \Delta h \varphi(H)$$

由于 $\Sigma M_0(H \cdot h')$ 实际上是比静态平衡降闸时多出的量, 故也可写成 $\Delta \Sigma M_0(H \cdot h)$, 称为阻力矩。则:

$$\Delta h = \frac{\Delta \Sigma M_0(H \cdot h)}{\varphi(H)}$$

如果阻力矩无量纲化, 则可定义阻力系数 ξ 为:

$$\xi = \frac{\Delta h \varphi(H)}{h \varphi(H)} = \frac{\Delta h}{h}$$

$$\Delta h = \xi \cdot h$$

可知, 无量纲数 ξ 反映同一闸位动、静水压差值与静态闸室水压之比。阻力系数决定于闸的外形以及闸下降速度, 但由于浮体闸的外形均相差无几, 故降闸速度成为影响阻力系数的主要因素, 可由模型试验求得。现有的较大比尺的浮体闸模型试验多是断面或局部模型, 整个闸腔体积相对于廊道断面较小, 故降闸速度与实际工程相比较快, 据此求得的阻力系数应是偏大值。图6给出根据龙门闸快降试验资料整理出的阻力系数随闸位的变化规律, 此规律可近似地以下式表达:

$$\xi = 0.49 - 0.51 (H/H_0) \quad (13)$$

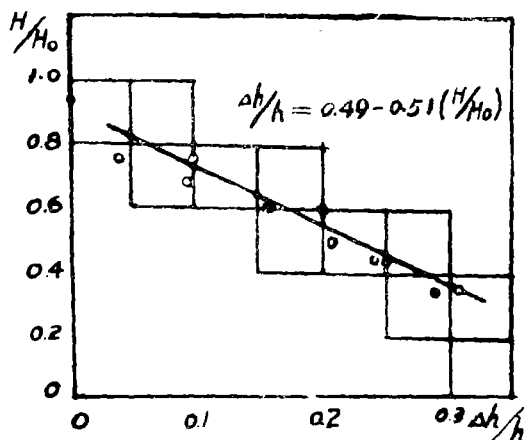


图 6

如前述, 此关系可理解为最大阻力系数随闸位的变化规律。根据各闸位的阻力系数, 可以将静态降闸曲线改正成动态降闸曲线, 此动态降闸曲线可以理解为多单位浮体闸动态降闸曲线的极限情况。通常浮体的降闸曲线一定处在静态降闸曲线与极限情况之间。只要计算出该两种特殊情况降闸的特征值: 闸顶下落速度, 闸板最大水压差, 降闸历时等, 就可作为设计的依据。

图(五)中绘出了对静态降闸曲线进行动态改正后的动态降闸情况。与静态降

闸时所得到的闸室水压、降闸速度变化情况相比, 他们的规律基本相同。但是, 一些降闸特性数值如: 闸板间最大水压差值, 闸头下落速度、底部碰撞速度、廊道最大流量等均比静态

降闸计算所得出的数值小, 相应的降闸历时则比按静态闸线的降闸计算值大。也说明, 对第二不同步力的计算来说, 按静态降闸结果计算偏于安全。

6 柔腹闸的不同步设计

合并式(5)和式(6), 则总的不同步力为:

$$F = F_1 + F_2 = K \frac{B}{L} \varphi(H) (\Delta h - \Delta H \operatorname{tg} \alpha) \quad (14)$$

总的不同步力是闸顶高程 H 的函数。由于在低闸位 Δh 达最大值, $\operatorname{tg} \alpha$ 达最小值, 故此时总的不同步力最大。此总不同步力是柔腹闸不同步计算的依据。在不同步力作用下主闸板顶部的变形量, 也即相邻闸板闸顶高差 ΔH 可按如下公式计算: [2][11]

$$\Delta H = \eta \frac{B^3}{\Phi} \varphi(H) [\Delta h - \Delta H \operatorname{tg} \alpha] \quad (15)$$

式中: Φ ——主闸板轴向抗扭刚度

η ——系数, $\eta > 1$, 考虑未计及因素的影响。

由式(15)可求得相邻闸板顶部高差为:

$$\Delta H = \frac{\eta \frac{B^3}{\Phi} \varphi(H) \Delta h}{1 + \eta \frac{B^3}{\Phi} \varphi(H) \operatorname{tg} \alpha} \quad (16)$$

若 ΔH 小于工程应用所要求的 ΔH 允许, 则应该说浮体闸运用是同步的, 即不存在不同步问题。这种情况常发生在钢筋砼闸板。若 ΔH 的计算大于 ΔH 允许, 则应通过以下途径消除过大的不同步:

①调整闸的溢流降落性能改变降闸曲线形状, 增加低闸位的 $\operatorname{tg} \alpha$ 值, 以减小第一不同步力。

②减小廊道闸门的开度, 降低降闸速度, 以减小 Δh 和第二不同步力。

③增加主闸板的抗扭刚度 Φ 。

综上所述, 浮体闸的不同步问题是可以被认识, 且在设计阶段加以控制的, 对钢筋砼主闸板, 只要注意加强单元联结件的刚度就不会发生过大的不同步, 对钢结构的主闸板, 则要从结构上采取抗扭措施增加整体抗扭刚度, 不同步现象也会得到控制。具体计算例可参看参考文献[2]。

7 结 论

7.1 实验和分析说明, 不同步现象区别于失控与快降, 因此解决的方法也应有区别。不同步现象是不同步力引起的主闸板扭曲变形沿闸长的叠加。

7.2 根据实验成果, 可近似地将静态降闸曲线改正为动态降闸曲线。在确定相邻闸板单元水压差等参数时, 按前者所得数值大于按后者所得数值, 从而说明目前按静态降闸曲线研究浮体闸的性能是偏安全的。

7.3 文中提出总的不同步力的计算式:

$$F = K \frac{B}{L} \varphi(H) (\Delta h - \Delta H \operatorname{tg} \alpha)$$

同时提出在此不同步力作用下, 相邻闸板顶部高差 ΔH 的计算式:

$$\Delta H = \frac{\eta \frac{B^3}{\phi} \varphi(H) \Delta h}{1 + \eta \frac{B^3}{\phi} \varphi(H) \operatorname{tg} \alpha}$$

为不同步计算提供依据。

7.4 低闸位不同步力最大, 是不同步计算的关键闸位。文中对各种型式降闸曲线的计算成果可作为工程应用的参考。

参 考 文 献

- [1] 吴桢祥, 柔腹式浮体闸研究的若干问题, 郑州工学院水利系, 1981年6月。
- [2] 吴桢祥, 柔腹式浮体闸的不同步问题, 郑州工学院水利系, 1983年8月。
- [3] 郑州工学院水利系, 柔腹式浮体闸的实验室研究, 1979年6月。
- [4] 郑州工学院水利系, 龙门柔腹的试验研究, 1981年6月。
- [5] 郑州工学院水利系, 浮体闸不同步问题的试验研究, 1984年9月。
- [6] 郑州工学院水利系, 柔腹式浮体闸性能计算, (毕业论文), 1987年8月。

Desynchronizing Analysis of Floating Dam with Flexible Fabric

Wu Zhengxiang

(Department of Hydraulic Engineering)

Abstract: This paper studies the effect of hydraulic and structural factors on the desynchronizing phenomenon of floating dam with flexible fabric, revealing for the first time the mechanism of the desynchronizing problem. The test results coincide with the theoretical analysis. Based on the tests, the computation formulas for desynchronizing force and design methods for desynchronizing control are analytically given. Finally, Engineering measures free from serious desynchronizing are also mentioned.

Keywords: floating dam, desynchronizing