

# 浮体闸同步的可靠性\*

张 甫

(郑州工学院水环系)

**摘 要:** 本文在分析了浮体闸工作条件和特性的基础上,运用系统可靠性理论,提出了浮体闸同步可靠性的概念和研究的新途径,探讨了该项指标量化的计算方法和设计问题

**关键词:** 浮体闸, 同步, 可靠性

**中图分类号:** TV663

同步是浮体闸的重要性能指标,关系着全闸的运行水平,是判断浮体闸价值的基准之一,也是管理工作最重要的问题之一,一直是工程设计和科研人员关心的问题。以往,人们对浮体闸同步问题的研究多偏重于微观地从水力和结构的因素进行分析和改进,有的还建立了数学方程式作为研究的基础,都取得了可喜的成绩。然而,笔者认为,一个多单元的浮体闸就是一个系统,这不仅要对其各个单元进行研究,而且还必须综合地从系统的角度研究。基于这种认识,本文提出了浮体闸同步可靠性的概念。整体可靠性、闸块可靠性以及在工程设计中的应用。

## 1 浮体闸的同步可靠性

1.1 我们把浮体闸的同步定义为:在浮体闸的寿命期限内,闸的各块之间的运行状态能保证设计要求的协调一致。如果运行状态出现了设计不能允许的不协调一致,就叫做不同步或失步。

影响浮体闸运行状态的因素很多,大致说来有:①闸室水压②闸体重量③河流水面的横比降④闸板的结构尺寸和数量⑤转动部分的情况⑥闸板的初始位置⑦断面上的流速分布⑧波浪压力⑨水流含沙情况⑩漂浮物的情况等等。归纳起来说,一个是闸的工作环境条件,一个是闸自身的条件。正是由于上述条件对各闸块来说有差异,以及实际情况与设计条件有差异,使浮体运行状态产生不同步。由于浮体闸的制作、安装上存在着无法控制的随机波动,使得各闸块的自身条件存在差异,也由于自然条件的随机性,使得各闸块所处环境有异。因而各闸块之间存在着差异是绝对的,这些即使是微小的差异,都会使各块的

---

\* 收稿日期: 1994-12-22

实际运行状态出现程度不同的不一致。从这个意义上讲, 那怕不一致是很微小的, 不同步就是绝对的, 同步成为不可能。当然, 如果这样来定义同步与不同步, 在工程上是没有意义的。因此, 不能说一出现不一致就叫不同步, 可以把这种不一致限制在一定的范围内, 不致因此而产生不能允许的后果。

1.2 建立涉及诸因素的浮体闸运行状态的数学分析方程式是不可能的。但通过观察可以发现, 影响浮体闸同步运行的诸因素几乎都带有随机性, 因而浮体闸的不同步也有随机性, 这就是说, 浮体闸的同步(或者不同步)具有概率特性。由此我们引入了浮体闸同步可靠性这一概念, 并用研究系统可靠性的方法来研究浮体闸的同步问题。

同步可靠性是浮体闸的内在性能, 它指的是在规定的时间内, 在给定条件下完成规定目标的同步运行的概率, 或者说它是在实际条件下和所要求的期限内, 闸的同步参数(如闸顶高差)处于允许公差范围内的概率。

如果把运行期间某时刻各闸块的闸顶高程与同时刻设计要求的闸顶高程公差作为不同步的指标, 那么不同步就是该指标不在允许范围内的运行状态, 而同步则是该指标在允许范围内的运行状态。指标允许范围的确定以不影响闸的正常效益的发挥和产生不能允许的损失为准(具体的确定此文不涉及)。由此看来, 同步可视为闸的正常运行状态, 而不同步则是闸的不正常运行状态, 或者叫做故障状态。

假定浮体闸在时刻  $t$  的同步可靠性为  $R(t)$ , 显然, 不同步的概率即同步不可靠性  $q(t)$  则为

$$q(t) = 1 - R(t)$$

浮体闸不同步的结果, 使其由正常状态过渡到了不正常的运行状态。

1.3 浮体闸同步可靠性的数学表示。设该闸由  $n$  个闸块组成, 以随机参数  $X_i (i=1, 2, \dots, n)$  表示每块的工作状态,  $X_i$  定义为二元随机变量。

$$X_i = \begin{cases} 1, & \text{闸块 } i \text{ 在 } [0, t] \text{ 期间内处于正常状态} \\ 0, & \text{闸块 } i \text{ 在 } [0, t] \text{ 期间内处于不正常状态} \end{cases}$$

若设  $\varphi(x_1, x_2, \dots, x_n)$  表示浮体闸的工作状态函数, 则

$$\varphi(x_1, x_2, \dots, x_n) = \begin{cases} 1, & \text{全闸在 } [0, t] \text{ 期间内工作正常} \\ 0, & \text{全闸在 } [0, t] \text{ 期间内工作不正常} \end{cases}$$

$\varphi$  为  $n$  个随机变量的函数。在浮体闸中, 任一闸块的不同步, 都使全闸工作不正常。换句话说, 为使全闸同步, 必须使各闸块都同步。因此这种功能在图上可以表示为串联系统(这种功能结构表示法与实际系统的结构是否串联无关)。因而浮体闸的结构函数为

$$\varphi(x_1, x_2, \dots, x_n) = x_1 \cdot x_2 \cdots x_n$$

假定随机变量  $x_i (i=1, 2, \dots, n)$  的概率分布表示为

$$P\{x_i = 1\} = P_i$$

$$\text{及 } P\{x_i = 0\} = 1 - P_i = q_i$$

假若认为各闸块运行相互独立(即互不影响), 则(浮体闸的同步可靠性  $R_s$  为

$$R_s = R(P_1, P_2, \dots, P_n) = P_1 P_2 \cdots P_n$$

若各闸块的同步可靠性相同, 并为  $P$ , 则整体同步可靠性  $R_s$  为  $R_s = P_n$

1.4 在研究同步可靠性问题时, 忽略了闸块之间用于保证单元整体性的连接构件以及止水的作用, 我们认为这是可行的。如果要考虑其作用, 那么在分析同步问题时, 就应该把单元作为一个随机变量。

由上述分析可知, 闸块的同步可靠性在一定条件下, 闸块数量越多, 闸的整体同步可靠性越小, 即对实现闸的同步运行越不利。

## 2 闸块不同步分析

2.1 现在来分析闸块的不同步概率。闸块的不同步即可能发生在升降闸的运动状态中, 也可能发生在闸块长期固定在某一位置的静止状态中, 尽管发生的可能性不同, 我们规定: 把浮体闸在一年内发生不同步的次数, 称为闸块的不同步率, 记作  $\lambda$

$$\lambda = \lambda_0 + \lambda_T$$

其中  $\lambda_0$  为闸块在静止状态的不同步率,  $\lambda_T$  为闸块在运动状态的不同步率,  $\lambda$ 、 $\lambda_0$  和  $\lambda_T$  这些数据可以通过对一定数量的闸块在给定时间内发生的不同步数据进行统计分析得出。闸块在升降过程中产生不同步的可能性将远大于静止过程中发生不同步的可能性, 这就为浮体闸的设计和运行指出了值得注意的问题: 必须建立一个优良的运行管理制度, 以尽量减少闸板的升降次数。假定闸块发生一次不同步的平均时间为  $t_a$  (包括由不同步引起的检查维修时间), 那么在一年内不同步的时间的数学期望为

$$\gamma = \lambda t_a \quad (\text{小时/年})$$

而不同步概率为

$$q = \lambda \frac{t_a}{8760} \quad (\text{单位值})$$

尽管浮体闸的  $\lambda$  值没有现成资料, 但由其它种元器件的故障率随时间的变化规律可知, 浮体闸的运行时间的长短将对  $\lambda$  值有影响。一般地, 新投入运行的浮体闸其  $\lambda$  值较高, 在以后相当长一段时间内  $\lambda$  值保持稳定, 等到接近其最大运行期限时  $\lambda$  值又增大。

除此之外,  $\lambda$  值的大小还与浮体闸的结构形式、制造质量、环境条件、升降高度、文明运行水平 (其中包括闸室水压的增加速度) 等有关。因此, 应该考虑各种因素, 以不同水平的观测资料, 进行统计分析, 以确定不同步率  $\lambda$  值, 作为计算闸块的不同步概率的依据。

2.2 用闸顶高差的大小来描述不同步严重程度, 由于它受多种因素的影响, 难以精确计算。我们可以根据实测资料, 进行方差分析, 从而确定各种因素对不同步的主效应和搭配效应, 并分别找出哪种或哪些因素是主要的影响因素。只有这样才能使确定主要因素有充分依据, 避免盲目。同时, 也为可靠性分析提供了条件。

### 3 浮体闸同步可靠性设计

3.1 既然同步是浮体闸的一种特性,因此它应该作为一种设计指标在设计中予以考虑。作为设计用的浮体闸同步可靠性指标是与工程的规模、重要性等有关的。工程规模越大,重要性较高就应该采用较高的可靠性。工程规模小,重要性较低的浮体闸可以采用较低的可靠性。

对一个闸块来说,这种指标既可以以概率的形式给出,也可以给出服从某种分布规律的不同步指标——闸顶高差的数学期望和方差,并由此确定出闸顶高差在某一允许范围的概率。作为例子,若闸顶高差随机地服从正态分布,其数学期望  $M(z)=0$ , 标准离差  $\sigma_z=2$  厘米,要求闸顶高差在  $[-6, 6]$  厘米范围内。那么闸顶高差落在  $[-6, 6]$  内概率即闸块的同步可靠性为

$$\begin{aligned} P_i(-6 \leq Z < 6) &= \frac{1}{\sigma_z \sqrt{2\pi}} \int_{-6}^6 e^{-\frac{(z-M(Z))^2}{2\sigma_z^2}} dz \\ &= \frac{2}{\sigma_z \sqrt{2\pi}} \int_0^6 e^{-\frac{(z-M(Z))^2}{2\sigma_z^2}} dz \\ &= \frac{Z}{2} \Phi\left[\frac{6-0}{2}\right] = \Phi[3] \end{aligned}$$

根据  $\Phi[3]$  查正态分布表,得

$$P_i(-6 \leq Z < 6) = \Phi[3] = 0.9973$$

3.2 由前面的分析可知,浮体闸的同步可靠性不仅与闸块的可靠性有关,而且也与闸块的数目有关。很明显闸块的可靠性愈高,则浮体闸整体可靠性也就愈高。相反闸块的可靠性愈低,整体可靠性也就愈低。在闸块可靠性一定的情况下,闸块的数目愈多,整体同步可靠性就愈低。当然,对同一工程言,闸块数目的变化就意味着闸块尺寸也要随着变化。从理论上讲,当闸块尺寸变大时,影响不同步的各种因素的差异对闸块影响可能会相对减少(即由这些因素的差异产生的力矩增量的相对值将变小),因而这可能有利于闸块的同步可靠性的提高。果然如此的话,那么有利的设计是在制作、安装以及结构条件允许的条件下,尽可能地加大闸块的尺寸。

3.3 同步可靠性主要地反映了浮体闸的同步性能,此外,同步可靠性还与工程的经济性密切相关。对一个工程而言,高的同步可靠性,会增大工程投资,但会使正常发挥效益的时间增长,减少不同步运行的时间,使不同步所带来的经济损失变小;相反,低的可靠性,会使工程投资变小,但会使正常发挥效益的时间变短,不正常的运行时间加长,从而使不同步所带来的经济损失增加。由此看来,同步可靠性及由不同步所带来的经济损失在一定程度上反映着浮体闸的设计水平。因此,在进行工程设计的技术经济比较时,除了涉及投资,年运行费之外,还应该涉及由不同步带来的经济损失。

在一年内由于不同步引起的经济损失可以用下式计算:

$$M(y) = 8760qy_0$$

式中  $q$  为浮体闸的不同步概率;  $y_0$  为每小时由于不同步造成的经济损失, 它应包括由于不同步使正常效益不能发挥引起的经济损失以及用以使浮体闸恢复正常运行的维修费用等。

3.4 下表说明了闸块的同步概率, 闸块数量对整体同步可靠性以及不同步的损失时间的影响

闸块数	闸块的同步概率 $P_i$ 下的 $R_s$ 及 $\gamma$								
	$P_i = 0.98, q_i = 0.02$			$P_i = 0.99, q_i = 0.01$			$P_i = 0.997, q_i = 0.003$		
	$R_s$	$1-R_s$	$\gamma$ (小时)	$R_s$	$1-R_s$	$\gamma$ (小时)	$R_s$	$1-R_s$	$\gamma$ (小时)
2	0.922	0.078	683	0.98	0.02	175	0.994	0.006	53
5	0.9039	0.0961	842	0.95	0.049	429	0.9851	0.0149	131
6	0.8858	0.1142	1000	0.941	0.059	517	0.9821	0.0179	157

3.5 在工程设计时研究可靠性的目的在于: 根据闸块的不同步率, 予估浮体闸的可靠性指标, 作为进行方案比较, 选择最优方案的依据之一。同时, 在已经确定了同步可靠性要求的条件下, 进行可靠性的分配, 确定对闸自身结构的水力条件和环境条件提出要求。

3.6 在可靠性模型中, 各种环节 (包括自身和环境) 的可靠性是不同的, 有的容易做的很高, 有的则较困难。设计时, 我们可以对于那些可靠性容易做的很高的环节, 分配以较高可靠性, 对于那些可靠性不易做的很高的环节, 则分配给较低的可靠性。这样既可以满足整体可靠性的要求, 又不致使某些环节为了达到过高的可靠性要求而增加投资和研制时间。

3.7 如前所述, 浮体闸之所以会产生不同步, 是由于各种影响因素与设计条件不一致所致。这些因素的影响一方面表现在对可靠性的影响上, 另一方面它也表现在对不同步指标——闸顶高差的影响上, 并且影响程度 (效应) 是不同的。闸顶高差的大小是这些因素联合作用的结果, 基于这种认识, 我们就可以根据各因素的效应和所要求的闸顶高差以及可靠性, 确定各种因素的偏差范围。如闸体各种尺寸和重量的精度, 室内水压比降, 河流横向比降等做为制作, 安装和施工时的控制标准。

## 4 几点看法

4.1 浮体闸的同步具有概率的性质, 同步的可靠性是浮体闸客观存在的整体运行性能, 因此, 同步可靠性是浮体闸不可缺少的研究内容之一。并且对工程设计有着现实的意义。从工程措施上, 保证浮体闸在长期运行过程中, 各闸块完全一致的运行几乎是不可能的, 也是不经济的。因此, 不应作为设计者所追求的目标重要的是, 应该研究制定一个符合实际情况的同步可靠性指标。包括闸顶高差的允许范围和同步概率大小。现在困难的是因为还缺乏这方面的观测统计资料。这种指标的制订还无法进行。提出同步可靠性使浮体闸的

同步性能有一数量指标,使工程设计的技术经济比较更趋完善合理,同时,更重要的是通过可靠性分析,可以发现薄弱环节,为浮体闸的改进提供依据。

4.2 由于影响同步的因素是多方面的,因此,为了提高浮体闸的同步可靠性,不应只着眼于闸体本身,还应该从改进各种环境条件考虑。从工程措施上提高可靠性的可能途径大致有:①合理地决定闸块尺寸和数量,使之在保证工程目标的前提下,在可靠性和经济性方面有一最优的结构和组合;②改进充水设施,使各块闸室水压均衡,为此可以增加廊道的进出水口使廊道有一均衡水压的作用;③提高制作安装质量;④设置中间闸墩;⑤使闸址河道平直流速分布均匀,减小横向比降;⑥作为一种可能,是否可以在保证经济的条件下,把闸做成可以用机械化施工方法更换闸块或闸块的薄弱部件的结构形式,这种更换是在不同步率高的后期进行。这样就可以避免一味追求长寿命、高可靠性的结构而使造价昂贵和结构复杂化。

4.3 为了提高同步运行的可靠性,应该建立一个良好的运行管理制度。这种运行制度应该在不妨碍工程目标的前提下,避免在恶劣的环境下进行升降闸的操作,控制升降闸的速度或时间,减少升降次数,加强检查和维修等,并且还要建立观测制度,积累运行资料,为改进运行水平和浮体闸同步问题的研究提供依据。

### 参 考 文 献

- 1 郭永基. 电力系统可靠性原理和应用. 清华大学出版社. 1986年
- 2 V. A. Venikor. Electrical Network Performance Calculations and Analysis. 莫斯科. 1978
- 3 浙江大学高等数学教研组编. 概率论与数理统计. 人民教育出版社. 1979年

## The Reliability of Synchronization of Floating Gates

Zhang Fu

(Zhengzhou Institute of Technology)

**Abstract:** In present paper, the concept concerned with reliability of floating gates synchronization is put forward by means of the theory of systematic reliability after the conditions and characteristics during their operation have been analyzed. A new approach is raised for investigation on the gates. The design problems and a quantitative computational method of the reliable index are probed into.

**Keywords:** floating gates, synchronization, reliability