

数字量水堰

吴建纲

(河海大学水利水电工程学院 , 江苏南京 210098)

摘要 : 用量水堰施放不稳定流 , 需要调节量水堰的水头高度 , 以往的调节控制都是采用常规的闭环控制方法 , 精度、稳定性和跟踪效果不够理想 . 数字量水堰是开环控制方式 , 方法简便可靠 , 可以按给定的过程曲线精确可靠地施放流量 . 本文介绍了数字量水堰的设计原理和应用方法 .

关键词 : 数字量水堰 ; 水工模型试验 ; 自动控制 ; 流量

中图分类号 : TV131.66 文献标识码 : A 文章编号 : 1000-198X(2000)02-0085-03

在水工模型试验中 , 常常需要进行不稳定流的过程模拟 . 模拟不稳定流的过程通常有两种方法 : 一种方法是采用调节溢流闸改变流量堰水位 , 以此实现量水堰的流量调节 ; 另一种方法是采用电动调节阀直接调整流量的方法 (图 1). 这两种方法都需要检测被调量 , 再经比较计算 , 修正调节量 . 在实际应用中 , 要做到高精度、高可靠性和理想地动态跟踪效果往往较难 , 尤其是在小流量控制时 , 偏差较大 .

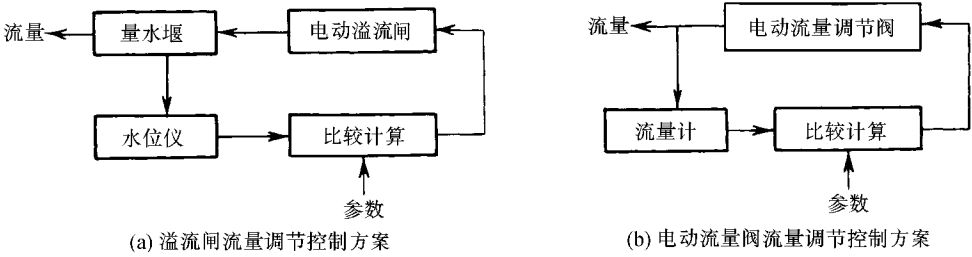


图 1 两种流量调节方案
Fig.1 Two flow-adjusting schemes

1 数字量水堰的设计原理

1.1 量水堰应用方法

量水堰作为一种计量准确的量水装置 , 在水工模型试验中被广泛应用 . 量水堰的出流量 , 与其水面的高度有较精确的函数关系 . 若函数条件满足 , 则只要给出精确的水头高度就可以得到精确的出流量 . 如果要得到某一确定的非恒定流量过程 $Q(t)$, 则需要有对应的水头高度过程 $H(t)$. 在以往用量水堰施放非恒定水流的方案中 , 堰板固定 , 用水位仪检测堰上水头高程 H , 通过调节溢流闸开度 , 使堰上水头高程 H 与目标曲线一致 (图 2). 在这种闭环调节控制方案中 , 难以得到精确、可靠的效果 . 这主要有以下两个原因 : 一是电动执行机构控制不够稳定 , 误差较大 . 它大多采用 PID 算法 , 以调整堰上水头高程 . 对于特定的量水堰 , 甚至是某个特定的流量曲线 , 往往需要反复调整电动执行机构的速度、溢流闸的尺寸和 PID 算法的参数 , 才能得到较好的动态跟踪效果 . 二是在水工模型现场 , 水位检测设备稳定性、可靠性不够理想 . 在模拟过程长 , 或有多非恒定流支口的水工模型中 , 上述问题更为突出 .

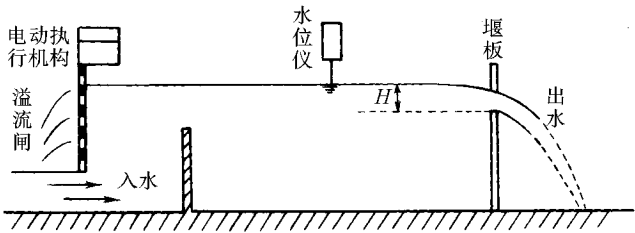


图 2 量水堰的应用方案
Fig.2 Scheme of weir application

程 H 与目标曲线一致 (图 2). 在这种闭环调节控制方案中 , 难以得到精确、可靠的效果 . 这主要有以下两个原因 : 一是电动执行机构控制不够稳定 , 误差较大 . 它大多采用 PID 算法 , 以调整堰上水头高程 . 对于特定的量水堰 , 甚至是某个特定的流量曲线 , 往往需要反复调整电动执行机构的速度、溢流闸的尺寸和 PID 算法的参数 , 才能得到较好的动态跟踪效果 . 二是在水工模型现场 , 水位检测设备稳定性、可靠性不够理想 . 在模拟过程长 , 或有多非恒定流支口的水工模型中 , 上述问题更为突出 .

1.2 数字量水堰的设计原理

考虑堰上水头 H 是堰板出水口下沿与水面的距离,如果我们将水面相对槽体的高度保持恒定不变,调节堰板相对槽体的高度,就可以得到精确的堰上水头高程.为保持水面的高度恒定,量水堰设有固定的溢流边板,而堰板制成可以上下移动的形式,由计算机控制步进电机带动堰板上下移动,从而得到所需的堰上水头高度,准确地调节量水堰的流量(图3).控制关系^[1]如图4所示.

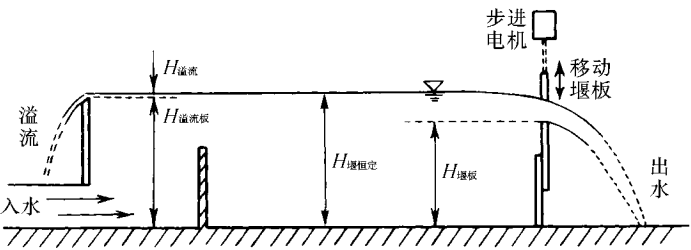


图 3 数字量水堰的应用方案
Fig.3 Scheme of digital-weir application

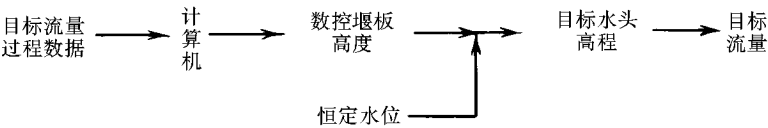


图 4 流量控制关系
Fig.4 Flow control

因为数字量水堰将对水的检测、跟踪、调控转变成了对机械堰板的已知量的位移控制,所以精度和跟踪速度可以大大高于水工模拟对水的测控要求.

1.3 数字量水堰恒定水位的变差

数字量水堰的恒定水位采用溢流水库的方法实现.溢流水库周边用等高溢流边板围成,如图5所示.参见图3,其水位关系为

$$H_{\text{堰恒定}} = H_{\text{溢流板}} + H_{\text{溢流}} \quad (1)$$

上式表明,只要 $H_{\text{溢流}}$ 变化足够小,就可得到足够恒定的水位 $H_{\text{恒定}}$.

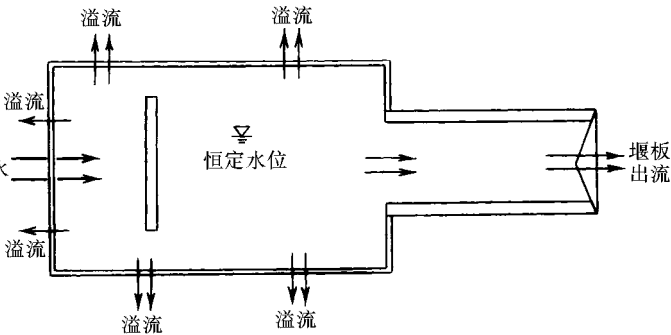


图 5 数字量水堰的溢流水库
Fig.5 Overfall reservoir of digital-weir

参见图5,数字量水堰的流量关系为

$$Q_{\text{溢流}} = Q_{\text{入堰}} - Q_{\text{堰板出流}} \quad (2)$$

溢流水库周边的等高溢流边板可以认为是一种薄壁平顶堰,其溢流流量与溢流水头高程的关系为^[2]

$$Q_{\text{溢流}} = m_0 l \sqrt{2g} H_{\text{溢流}}^{3/2}$$

式中: m_0 ——流量系数; l ——溢流边板长度.

即,溢流水头高程为

$$H_{\text{溢流}}^{3/2} = \frac{Q_{\text{溢流}}}{m_0 l \sqrt{2g}}$$

由式(2)得

$$H_{\text{溢流}}^{3/2} = \frac{Q_{\text{入流}} - Q_{\text{堰板出流}}}{m_0 l \sqrt{2g}}$$

由式(1)得

$$H_{\text{堰恒定}} = H_{\text{溢流板}} + \left[\frac{Q_{\text{入堰}} - Q_{\text{堰板出流}}}{m_0 l \sqrt{2g}} \right]^{2/3} \quad (3)$$

上式中的 $Q_{\text{堰板出流}}$ 是数字量水堰的目标出流量, $Q_{\text{入堰}}$ 是数字量水堰的入水量,可以是用水泵注入的水量.由该式可以看出,只要选取适当的 $Q_{\text{入堰}}$ 和足够大的 l ,就可以得到变化足够小的 $H_{\text{溢流}}$ 和足够恒定的水位 $H_{\text{堰恒定}}$.

2 数字量水堰的流量算法

以直角三角形薄壁量水堰板为例 ,其流量为^[2]

$$Q_{\text{堰板出流}} = 1.343 H_{\text{堰上水头}}^{2.47} = 1.343 (H_{\text{堰恒定}} - H_{\text{堰板}})^{2.47}$$

由式(3)得

$$Q_{\text{堰板出流}} = 1.343 \left[H_{\text{溢流板}} + \left[\frac{Q_{\text{入堰}} - Q_{\text{堰板出流}}}{m_0 l \sqrt{2g}} \right]^{2/3} - H_{\text{堰板}} \right]^{2.47}$$
$$H_{\text{堰板}} = H_{\text{溢流板}} + \left[\frac{Q_{\text{入堰}} - Q_{\text{堰板出流}}}{m_0 l \sqrt{2g}} \right]^{2/3} - \left(\frac{Q_{\text{堰板出流}}}{1.343} \right)^{1/2.47}$$

根据雷伯克公式计算溢流流量系数 m_0 的近似值 :

$$m_0 = \frac{2}{3} \left(0.605 + \frac{0.001}{H_{\text{溢流}}} + 0.08 \frac{H_{\text{溢流}}}{P} \right)$$

设 $H_{\text{溢流}} = 0.025\text{ m}$, $P = 0.75\text{ m}$,则

$$m_0 = 0.4318$$

$$H_{\text{堰板}} = H_{\text{溢流板}} + 0.649 \left(\frac{Q_{\text{入堰}} - Q_{\text{堰板出流}}}{l} \right)^{2/3} - 0.8875 Q_{\text{堰板出流}}^{1/2.47}$$

对于目标流量过程 $Q_{\text{堰板出流}}(t)$,可得数字量水堰堰板的对应位移过程 $H_{\text{堰板}}(t)$:

$$H_{\text{堰板}}(t) = H_{\text{溢流板}} + 0.649 \left(\frac{Q_{\text{入堰}} - Q_{\text{堰板出流}}(t)}{l} \right)^{2/3} - 0.8875 Q_{\text{堰板出流}}^{1/2.47}(t)$$

在数字量水堰的应用中 ,对水头高程的不同区间进行标定 ,可进一步修正流量算法 ,得到全应用区间的精确关系 .

3 结 语

如何稳定和精确地按目标曲线施放流量 ,一直是水工试验中的一个课题 .数字量水堰可以按给定的曲线精确地施放流量过程 ,方法简明可靠 ,改变了以往水流模拟试验中需要连续检测和调控的闭环控制方式 ,提高了精度和稳定性 ,为水工模型试验提供了一种理想的流量过程模拟装置 .

本文撰写得到了李福田教授的指点 ,在此表示感谢 .

参考文献 :

[1] 吴建纲 .集散型计算机模拟和数据采集系统 [A] .见 :江苏科学技术协会 .计算机科学与技术及其在高新技术领域的应用 [C] .北京 :中国科学技术出版社 ,1994 .160 ~ 168 .
[2] 清华大学水力学教研组 .水力学 [M] .北京 :人民教育出版社 ,1981 .550 ~ 554 ,145 ~ 149 .

Digital-Weir

WU Jian-gang

(College of Water Conservancy and Hydropower Engineering ,Hohai Univ. ,Nanjing 210098 ,China)

Abstract :The generation of unsteady flow with a weir needs adjustment of water head on the weir .The usual method of adjustment is closed-loop control .The precision ,stability and effect of tracking is often not perfect .In a digital-weir ,open-loop digital control is applied ,and the method is simple and reliable .And it can give accurate flow according to the given process curve .In this paper ,the principle of design and the method for application of the digital-weir are described .

Key words :digital-weir ;hydraulic model test ;auto-control ;flow