

# 数字量水堰的应用研究

吴建纲

(河海大学水利水电工程学院,江苏南京 210098)

**摘要** 通过对原理和试验数据的分析,指出了入堰流量和溢流水库的形式是数字量水堰在应用中影响精度的主要因素,并对它们做了定量的分析研究.结果表明,使用数字量水堰能够获得零至足够大的非恒定流,流量精度可以达到 5% 的全量程,并具有理想的稳定性.

**关键词** 数字量水堰;水工模型试验;流量

中图分类号:TV131.61 文献标识码:A 文章编号:1000-198X(2003)06-0652-03

## 1 造成数字量水堰误差的因素

采用量水堰施放水流时,量水堰的出流量与堰上水头具有一定的函数关系,只要有准确的堰上水头,即可得到所需的目标流量.因为堰上水头是量水堰水位与堰板高度位置的差,所以,调节量水堰水位或者调节堰板高度位置,都可以改变堰上水头.常规量水堰是固定堰板的高度并调节量水堰的水位,数字量水堰是保持堰水位的恒定并调节堰板的高度.数字量水堰的应用主要需考虑以下几个方面:

a. 流量算法的误差.对于某个具体应用的量水堰,其参数条件不同和应用范围不同,流量算法公式有不同的误差.量水堰有多种的应用方法,可以提供较高的算法精度,另一方面,这类误差可以通过对量水堰进行细致地率定来修正算法.这里应该特别指出的是,与常规量水堰不同,数字量水堰可以方便和稳定地在任意所需的堰上水头处定位,从而可以方便地和准确地率定数字量水堰的水位-流量关系.

b. 控制调节系统的误差.这类误差是常规量水堰在施放非恒定流的应用中的主要误差,由于需要不断地检测被调节的水位,并对其采用适当的控制算法进行分析后做进一步的调整,所以较难做到较高的精度和稳定性.数字量水堰是通过改变堰板高度来调节量水堰流量的,采用计算机控制和步进电机拖动,拖动机构简单,由步进电机轴连螺杆直接带动堰板,步距为 0.025 mm 左右,其定位精度可以方便地做到 0.1 mm,所以调节量可以准确实现,无需检测.这样的精度可以满足绝大多数水利实验的要求.

c. 数字量水堰溢流水库的恒定水位的变差是影响数字量水堰精度的主要因素.数字量水堰的目标出流量

$$Q_d = f(H_r - H_s)$$

式中: $Q_d$ ——数字量水堰的出流量; $H_r$ ——水库水位; $H_s$ ——堰板高度.

由于数字量水堰的堰板高度  $H_s$  可以达到足够的精度,因此其目标出流量  $Q_d$  的精度主要取决于数字量水堰水库水位  $H_r$  的精度.

## 2 数字量水堰的精度分析

### 2.1 堰板定位精度对数字量水堰精度的影响

以直角三角形薄壁量水堰为例,其流量与堰上水头的关系为

$$Q = 1.343 H_{\text{堰上水头}}^{3/2} \quad (1)$$

设堰板定位误差  $\Delta H_s = 0.1 \text{ mm}$  根据式(1)在水头为 7 cm、20 cm 时的流量误差分别为 0.35% 和 0.12%,其误差给数字量水堰造成的流量误差很小.通过选择数字量水堰的堰板形式,可以减小由水头误差产生的流量误差.例如,需要施放较大流量时,可以采用大角度的三角堰板;若需要施放较小流量时,可以采用小角度的三角堰板.

### 2.2 入堰流量误差对数字量水堰精度的影响

数字量水堰水库的入流可选用水泵灌注,水泵的工作流量是一个有一定变差的额定值,当其流量发生变化时,会造成数字量水堰水库水位的变化,并影响数字量水堰目标出流的流量.数字量水堰流量<sup>[1]</sup>

$$Q_{出堰} = Q_{入堰} - Q_{溢流}$$

若选用直角三角形堰板时,堰板出流与水头的关系为<sup>[2]</sup>

$$Q_{出堰} = 1.343H_{堰板}^{3/2}$$

数字量水堰水库的溢流板由薄板围成,溢流板的出流可以认为是矩形薄壁量水堰的出流,当溢流水头很小时,溢流水股受表面张力的作用会贴附溢流板下流,所以仅用矩形薄壁量水堰的流量公式作分析估算,给数字量水堰的设计和应用作参考,精确的流量施放关系数据需经率定获得.溢流板溢流量与水头的关系为<sup>[2,3]</sup>

$$Q_{溢流} = m_0 l \sqrt{2g} H_{溢流}^{3/2} \quad m_0 = \frac{2}{3} \left( 0.605 + \frac{0.001}{H_{溢流}} + 0.08 \frac{H_{溢流}}{P} \right)$$

设水库溢流板的长度  $l = 20 \text{ m}$ ,数字量水堰的最大目标出流  $Q_{max} = 0.1 \text{ m}^3/\text{s}$ .若选  $Q_{入堰} = 5Q_{max} = 0.5 \text{ m}^3/\text{s}$  时,根据以上关系式,当水库水位由于水泵流量变化发生变差  $\Delta H_{水库}$  时,数字量水堰在最大目标出流 ( $0.1 \text{ m}^3/\text{s}$ ) 和较小目标出流 ( $0.01 \text{ m}^3/\text{s}$ ) 时出堰流量的变化如表 1,若  $Q_{入堰} = 2.5Q_{max} = 0.25 \text{ m}^3/\text{s}$ ,则出堰流量的变化如表 2.

表 1 入堰流量较大时的出堰流量误差

Table 1 Errors of outflow under large volume of inflow

$Q_{出堰}$ ( $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ )	$\Delta H_{水库}$ /cm	$H_{出堰}$ /cm	$\Delta Q_{出堰}$		$H_{溢流}$ /cm	$\Delta Q_{溢流}$		$\Delta Q_{入堰}$	
			( $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ )	/%		( $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ )	/%	( $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ )	/%
0.1	+0.4	34.94	0.1029	2.8	4.81	0.4503	12.6	0.5531	10.6
0.01	+0.4	13.75	0.0107	7.3	5.59	0.5436	10.9	0.5537	10.9

表 2 入堰流量较小时的出堰流量误差

Table 2 Errors of outflow under small volume of inflow

$Q_{出堰}$ ( $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ )	$\Delta H_{水库}$ /cm	$H_{出堰}$ /cm	$\Delta Q_{出堰}$		$H_{溢流}$ /cm	$\Delta Q_{溢流}$		$\Delta Q_{入堰}$	
			( $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ )	/%		( $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ )	/%	( $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ )	/%
0.1	+0.26	34.94	0.1018	1.8	2.49	0.1741	16.1	0.2760	10.4
0.01	+0.24	13.75	0.0104	4.4	3.4	0.2655	10.7	0.2760	10.4

若选  $Q_{入堰} = 5Q_{max}$  时,10%的入堰流量变化会产生 2.8% ~ 7.3% 的出流误差;若选  $Q_{入堰} = 2.5Q_{max}$  时,10%的入堰流量变化则会产生 1.8% ~ 4.4% 的出流误差.在实际应用中,数字量水堰的入堰流量  $Q_{入堰}$  可选择略大于  $Q_{max}$ ,如  $Q_{入堰} = 1.2Q_{max}$ ,这样入堰流量的不稳定对目标出流的影响很小.

### 2.3 水库溢流边线长度对数字量水堰恒定水位精度的影响

数字量水堰的溢流水库保持其水位恒定的原理是它具有足够长的溢流板,使得数字量水堰的入流和出流变化时,其水库水位基本保持不变,仍然可以满足目标出流的精度要求.溢流水库水位与溢流量的关系为

$$H_{溢流} = \left( \frac{Q_{溢流}}{m_0 l \sqrt{2g}} \right)^{2/3} = \left( \frac{Q_{入堰} - Q_{出堰}}{m_0 l \sqrt{2g}} \right)^{2/3}$$

由该关系式可以看出,选用较长的溢流板长度  $l$ ,则可以使得  $H_{溢流}$  较为稳定.在数字量水堰应用设计时,可以根据精度要求和场地大小等因素选择溢流水库的溢流板长度.

## 3 数字量水堰的应用方案

### 3.1 数字量水堰水库的设计

在实际应用中,为了有较长的溢流边线但又不占用过大的面积,可以将溢流水库设计成图 1 的形式.

### 3.2 应用实例

在某防洪试验研究模型中,共有 8 个非恒定

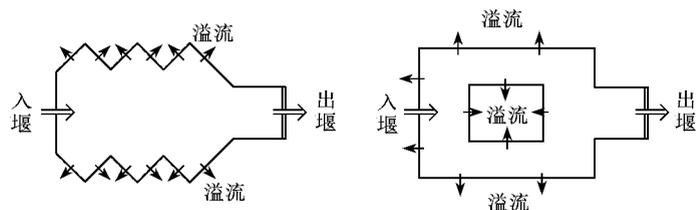


图 1 溢流水库的形式

Fig.1 Shapes of overflow reservoir

流入口,全部采用数字量水堰,其中干流最大出水量为  $Q_{\max} = 17 \text{ L/s}$ ,其它7个支流的最大出水量为  $2 \sim 7 \text{ L/s}$ .干流的数字量水堰采用直角三角形量水堰板,7个支流流量较小,采用  $53^\circ 08'$ 的三角形量水堰板,出流量约为直角三角形量水堰的一半.干流量水堰的溢流围板长度为  $20 \text{ m}$ ,各支流流量水堰的溢流围板长度为  $10 \text{ m}$ .堰板动作步距为  $0.017 \text{ mm}$ ,并设有堰板零位传感器.从有流量的位置向上移动堰板的位置,当堰口出流小到可以忽略不计时,堰板的位置为零位,零位对位及位移定位均采用单向方式,以减少往复误差.该防洪试验研究模型所用的数字量水堰制作安装完成后,进行了率定,率定数据见表3和表4.实用时,计算机不断地根据所需的流量和率定数据表控制堰板定位于对应的高度,以此复演天然水流.这8个数字量水堰的实际运行误差小于  $3\% / \text{FS}$ ,取得了理想的效果.

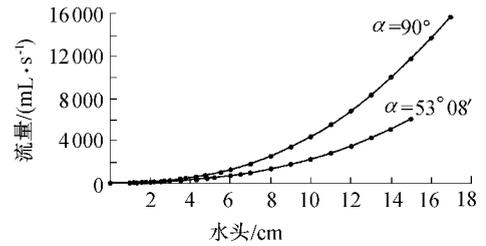


图2 率定的水头—流量关系曲线

Fig.2 Calibrated curves of water head vs. flow rate

表3 堰口角度  $\alpha = 53^\circ 08'$  时的水头—流量关系Table 3 Relation of water head and flow rate for  $\alpha = 53^\circ 08'$ 

水头 /cm	率定流量 $(\text{mL} \cdot \text{s}^{-1})$	计算流量 $(\text{mL} \cdot \text{s}^{-1})$	水库水位变差/mm
0	0		
1.0	12.59		
1.3	23.07		
1.5	31.15		
1.6	36.17		
1.65	40.00		
1.7	43.50		
2.0	58.88		
2.5	97.72		
3.5	206.10		
4.3	324.82		
4.8	422.62		
5.2	504.73		
6.0	650.0		
6.5	803.2		
7.0	902.0	905	-0.2
8.0	1296.0	1265	-0.3
9.0	1734.0	1700	-0.4
10.0	2240.0	2215	-0.5
11.0	2783.0	2810	-0.6
12.0	3457.0	3490	-0.7
13.0	4220.0	4265	-0.9
14.0	5075.0	5135	-1.1
15.0	6029.0	6100	-1.4

表4 堰口角度  $\alpha = 90^\circ$  时的水头—流量关系Table 4 Relation of water head and flow rate for  $\alpha = 90^\circ$ 

水头 /cm	率定流量 $(\text{mL} \cdot \text{s}^{-1})$	计算流量 $(\text{mL} \cdot \text{s}^{-1})$	水库水位变差/mm
0	0		
1.2	30.90		
1.5	51.28		
1.8	71.46		
2.2	119.70		
2.7	186.20		
3.0	246.85		
3.5	350.14		
3.75	407.00		
4.3	565.50		
4.7	696.70		
5.5	1010.5		
6.0	1230.0	1257	-0.1
7.0	1800.0	1836	-0.2
8.0	2510.0	2551	-0.3
9.0	3360.0	3409	-0.4
10.0	4312.0	4420	-0.5
11.0	5467.0	5502	-0.6
12.0	6793.0	6935	-0.8
13.0	8298.0	8458	-1.1
14.0	9987.0	10167	-1.4
15.0	11671.0	12065	-1.7
16.0	13732.0	14169	-2.1
17.0	15673.0	16477	-2.5

## 参考文献:

- [1] 吴建纲. 数字量水堰[J]. 河海大学学报(自然科学版), 2000, 28(2): 85—87.  
 [2] 清华大学水力学教研组. 水力学(上册)[M]. 北京: 人民教育出版社, 1981. 550—554.  
 [3] 清华大学水力学教研组. 水力学(下册)[M]. 北京: 人民教育出版社, 1981. 145—149.

## Study on application of digital weirs

WU Jian-gang

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

**Abstract** Based on an analysis of the principle of and test data about the digital weir, it is pointed out that the inflow into the weir and configuration of the overflow reservoir are important factors affecting the accuracy of the application of the digital weir. A quantitative analysis shows that, by use of the digital weir, unsteady flows of arbitrary flow rate can be easily obtained, and the accuracy of flow rate can reach  $5\%$  of the full measuring range, and that the digital weir is of high stability.

**Key words** digital weir; hydraulic model test; flow rate