# 长喉道量水槽的设计新方法

沈波1, 吉庆丰2, 程吉林2

(1. 江苏省南通市水利局、江苏 南通 226000; 2. 扬州大学水建学院, 江苏 扬州 225009)

摘 要: 在总结国内外长喉道量水槽研究成果和近几年在江苏省南通市实际应用经验的基础上,全面系统地介绍了长喉道量水槽的结构、量水原理、设计计算方法,在灌区量水现场对设计计算方法 作了一系列的验证试验。试验结果表明:按该设计方法设计的长喉道量水槽具有很高的测流精度,流量相对误差小于5%。

关键词: 量水: 长喉道量水槽: 设计方法

中图分类号: S277 文献标识码: A 文章编号: 1005-6254(2003)06-0023-04

## 0 引言

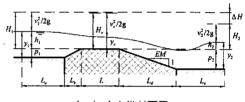
长喉道量水槽与其它堰类、槽类量水设施相比,主要有如下一些优点:①结构简单,施工方便;②行近渠道断面、喉道断面可为任意形状,适应性强;③自由出流时,上游水头与流量的关系稳定,测流精度高;④上游壅水小;⑤水头损失小,且可以精确计算;⑥流量率定表可根据现场已建量水槽的具体尺寸计算确定,率定工作简便可靠;⑦不易产生泥沙淤积、漂浮物阻塞。长喉道量水槽是一种简便、可靠、实用的灌区量水工具<sup>11.21</sup>。

尽管长喉道量水槽有许多突出的优点,相关的应用研究成果也较多,但目前国内对长喉道量水槽的计算、设计方法的介绍却不多,这使得长喉道量水槽的推广应用受到限制。为了解决这一问题,结合近几年在江苏省南通市灌区开展的量水应用研究工作,在汲取前人大量研究成果的基础上,总结了长喉道量水槽的结构、量水原理、设计计算方法,并在灌区量水现场对该设计计算方法进行了多次验证试验。

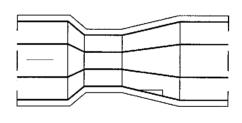
## 1 结构

长喉道量水槽一般由上游收缩段、喉道段和下游扩散段组成,图1为一梯形断面长喉道量水槽。上游收缩段的形式以不产生明显的流动分离为基本原则,喉道段的断面可根据渠道流量的变化幅度采用矩形、梯形、U形、三角形等形状,

下游扩散段可采用突扩、渐扩的过渡形式,具体形式主要由量水槽最小水头损失决定。



(a) 中心纵剖面图



(b) 俯视图



(c) 左视图

图 1 梯形长喉道量水槽结构图

### 2 量水原理

长喉道量水槽通过进口收缩段,使水流在侧向或垂向产生收缩,并在喉道段形成临界水流,使流量与上游堰顶水头构成稳定单一的关系,从而

作者简介: 沈 波(1968-), 男, 江苏如皋人, 工程师, 处长, 主要从事农田水利科研及技术推广工作。

**达到测流的目的**。

#### 2.1 流量与上游水头的关系

假定堰顶水流流线近似为平行的直线,上游行近渠道及堰顶控制断面处的水流流速按均匀分布,不计进口收缩段的水头损失,对行近渠道断面和堰顶控制断面列能量方程,得理想情况下的流量:

$$Q_i = A_c [2g(H_1 - y_c)]^{0.50} \tag{1}$$

根据临界流条件又有:

$$y_c = H_1 - A_c / 2B_c {(2)}$$

式中 $y_c$ 是堰顶控制断面临界水深, $A_c$ 、 $B_c$ 是与 $y_c$ 对应的过水断面面积和水面宽度, $H_1$ 是上游行近渠道测量断面堰顶总水头。

实际水流的流量为:

$$Q = C_d Q_i \tag{3}$$

 $C_{\star}$ 为流量系数,由经验方程确定<sup>[1]</sup>:

$$C_d = 0.93 + 0.10 H_1/L \tag{4}$$

式中L为喉道堰顶在水流方向的长度,  $0.1 \le H_1/L$   $\le 1.0$ 。

## 2.2 Q-h,率定关系的迭代计算

流量Q与上游堰顶水头 $h_1$ 的率定关系,在已知上游行近渠道及喉道断面形状尺寸、喉道上游堰高 $P_1$ 和堰顶长度L情况下,可采用迭代方法计算。计算程序框图见图2。

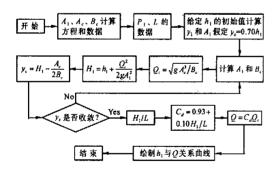


图2 Q-h,率定关系计算程序框图

## 2.3 Q-h,率定关系的迭代计算程序

以上游渠道断面、喉道断面形状是梯形的长喉道量水槽为例,给出如下确定Q-h<sub>1</sub>率定关系的迭代计算的 Fortran 源程序。程序中 bl、ml 为上游梯形渠道底宽、边坡系数; bc、mc 为梯形喉道断面底宽、边坡系数; pl、L 为喉道上游堰高、堰顶沿水流方向的长度。

real m1, mc, L dimension Q(61), h1(61)

c--输入长喉道量水槽的尺寸

b1 = 0.45

m1 = 0.9327

bc = 0.2

mc = 0.9512

p1 = 0.1

L = 0.91

c--根据实际情况给定一系列上游堰顶水头值

do 10 i=1,61

h1(i) = 0.0+0.01\*(i-1)

10 continue

c--迭代计算

do 100 i=1.61

yl = hl(i)+pl

a1 = (b1 + m1\*y1)\*y1

ye = 0.7 \* h1(i)

ac=(bc+mc\*yc)\*yc

bbe = bc + 2\*me\*ye

Qi = sqrt(9.8\*ac\*\*3.0/bbc)

hh1 = h1(i) + Qi + Qi/(2\*9.8\*a1\*a1)

yen = hh1 - ac/(2\*bbc)

if(abs(yc-ycn).gt.0.001)then

yc= ycn

goto 20

end if

cd = 0.93 + 0.1 \* hh 1/L

Q(i) = cd\*Qi

c--输出计算结果

write(\*,50)i,h1(i),Q(i)

50 format(1x, i5, 5x, f10.4, 5x, f10.4)

100 continue

open(1,file='Q\_h.dat')

write(1,110)(h1(i),Q(i),i=1,61)

110 format(1x,e10.4,5x,e10.4)

close(1)

end

## 3 水头损失计算

长喉道量水槽的流量与水头的关系可写成如 下幂函数形式:

$$Q = C_{u}KH_{1}^{u} = C_{u}C_{u}Kh_{1}^{u} \tag{5}$$

式中K是一有量纲的常数,由量水槽的具体形式、尺寸决定;C,为行近流速系数;指数u由下式确定:

$$u = \frac{h_1}{Q} \cdot \frac{\mathrm{d}Q}{\mathrm{d}h_1} \tag{6}$$

长喉道量水槽的最小总水头损失 $\Delta H$ 由上游收缩段的水头损失  $H_1$ - $H_c$ 、下游扩散段的沿程水头损失  $\Delta H_t$ 和局部水头损失  $\Delta H_d$ 三部分组成 $^{[1.3]}$ .

$$\Delta H = H_1 - H_2 = H_1 - H_c + \Delta H_f + \Delta H_d$$
 (7)

$$H_1 - H_c = H_1(1 - C_d^{1/n})$$
 (8)

$$\Delta H_f = \frac{1}{3} L \left( \frac{nQ}{A_c R_c^{2/3}} \right)^2 + \frac{1}{3} L_d \left( \frac{nQ}{A_d R_d^{2/3}} \right)^2 + \frac{1}{3} L_d \left( \frac{$$

$$\frac{1}{3}L_{c}\left(\frac{nQ}{A_{2}R_{2}^{2/3}}\right)^{2}\tag{9}$$

$$\Delta H_d = \zeta \frac{(\nu_c - \nu_2)^2}{2g} \tag{10}$$

式中  $A_d$ = $(A_c+A_2)/2$ ;  $L_e \approx 5y_2$ ;  $\zeta$  为下游局部阻力系数,与下游过渡段底部或边壁扩散比 EM 的关系如图 2 所示。

长喉道量水槽的临界淹没度为:

$$ML = (H_2/H_1)_{ML} = C_d^{Vu} - \Delta H_f/H_1 - \zeta (v_c - v_2)^2/2gH_1$$
 (11)

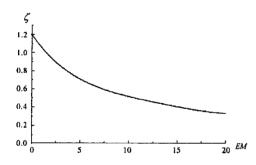


图 2 局部阻力系数 5 与下游过渡段扩散比 EM 的关系

## 4 设计步骤

在给定渠道断面形状尺寸、底坡 $S_b$ 、糙率n和渠道最大允许水深 $y_{lmax}$ 及测流范围 $Q_{min} \sim Q_{max}$ ,设计长喉道量水槽的基本步骤是:

- 1)根据使用时间长短和 $Q_{max}$ ,确定是建造移动式、临时式还是永久式量水槽;
- 2 )根据实际应用要求,给定 $Q_{\min}$ 和 $Q_{\max}$ 的测量允许误差;

- 3)由 $r = Q_{max}/Q_{min}$ 的数值,选择喉道控制断面的具体形式(r < 35矩形,r > 35梯形、U形、复合形、三角形等);
  - 4)按均匀流初步估算出 Q-y, 的关系;
- 5)由  $y_{lmax}$  算出上游行近渠道断面面积  $A_l$  和  $Fr_1$ , 查图 3 的  $Fr_1$   $A^*/A_l$  经验曲线得与  $y_{lmax}$  对应的 喉道控制断面面积  $A^*$ ;
- 6)由 $A^*$ 及断面形式,初步确定喉道控制断面尺寸、上游堰高 $p_1$ ;

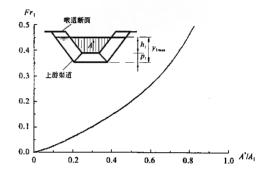


图 3  $A^*/A_1$  上限值与最大流量时上游行近渠道  $Fr_1$  的关系

- 7)根据初算的上游堰顶总水头  $H_{lmax}$ , 估算出喉道长度 L, 使得各种流量下满足  $0.1 \le H_1/L \le 1.0$ ;
- 8)根据初步确定的喉道断面尺寸、上游堰高,用迭代法计算出 $Q-h_1$ 的关系,并据此确定与 $Q_{\min}$ 和 $Q_{\max}$ 对应的水头 $h_{\min}$ 和 $h_{\max}$ ;
- 9)由流量系数误差  $X_c=\pm(3|H_1/L-0.55|^{1.5}+4)$ %、流量误差  $X_Q=[X_c^2+(uX_{h1})^2]^{0.50}$ % 及上游水头误差  $\Delta h_1=(h_1\times X_{h1})\times 100$ ,计算与  $Q_{\min}$  和  $Q_{\max}$  测量 允许误差对应的上游最小、最大水头测量误差  $\Delta h_{1\min}$  和  $\Delta h_{1\max}$ ,如实际水头测量设备不能满足上 述精度要求,缩小喉道断面底宽尺寸,返回 6);
- 10) 按条件  $p_2+(ML \times h_1)>y_2$ , 确定自由出流下与  $Q_{\min}$  和  $Q_{\max}$  对应的上游水头  $h'_{\min}$  和  $h'_{\max}$ , 其中临界淹没度 ML,对行近渠道中的量水槽,可取 0.85 试算,对下游联接宽广渠道或水库的量水槽,可取 0.60 试算;
- 11)比较  $h_{1min}$  和  $h'_{1min}$ ,若  $h_{1min} < h'_{1min}$ ,则提高 堰高  $p_1$ ,为满足第 5)步  $A^*$ 的要求,喉道断面底 宽也应相应加大,返回 7);
- 12)比较  $h_{lmax}$  和  $h'_{lmax}$ , 若  $h_{lmax} \ge h'_{lmax}$ , 则喉 道断面尺寸、堰高及上下游过渡形式满足要求;
- 13)用 11)式计算  $Q_{min}$  和  $Q_{max}$  情况下的临界 淹没度 ML,返回 10)再验证 11)和 12);

Z<sup>1</sup>

14)根据最后确定的量水槽尺寸, 计算绘制  $h_1 - Q$ 关系曲线,并在同一图上绘出 $y_1 - Q$ 和 $y_2 - Q$ 的关系曲线。

#### 5 现场验证试验

为了检验上述长喉道量水槽计算方法的可靠性,我们做了现场试验。试验选在南通市一个电灌区的一条梯形干渠和一条梯形支渠上进行,这两条渠道均为有混凝土衬砌的规则渠道,在各渠道上分别建有梯形控制断面的长喉道量水槽,每个长喉道量水槽的上游量测断面和喉道断面的形状尺寸以及喉道堰顶长度、堰顶高度见表1。

表 1 两种量水槽的主要尺寸

虽水槽	上游量测断面		喉道断面		上游堰	堰河长
	底宽 b <sub>l</sub> (m)	边坡系数 mc	底宽 bc(m)	边坡系数 mc	上wr≠x 南 p₁(m)	
梯形下渠	0.50	0.95	0,26	1.01	0.10	0.90
梯形支渠	0.45	0.93	0,20	0.95	0.10	0.91

表 2 是用流速法在每个量水槽上游量测断面处实测的流量,表中还列出由水头流量率定曲线查得的量水槽流量。量水槽流量与实测流量的相对误差绝对值最大为4.34%,最小为0.4%,由此可见,按要求设计的长喉道量水槽具有足够高的测流精度,流量相对误差绝对值<5%,可以满足灌区各类渠道的测流精度要求。另外,两种量水槽的收缩进口形式不同,一个是斜坡进口,一个是圆弧进口,从试验结果看,进口形式的差异对量水槽水头流量关系没有显著影响。

表2 流量实测结果分析

量水槽	堰顶水深 h <sub>i</sub> (m)	实测流量 <i>Q</i> ₀(m³/s)	量水槽流量 <i>Q</i> (m³/s)	相对误差 (%)
梯形干渠	0.41	0.2596	0.2582	-0.54
	0.44	0.2889	0.3015	4.34
	0.57	0.5458	0.5450	-0.14
	0.59	0.5929	0.5905	-0.40
	0.28	0.0977	0.0973	-0.42
19 1-3	0.31	0.1198	0.1207	0.74
梯形支渠	0.37	0.1752	0.1775	1.30
	0.38	0.1842	0.1882	2.19

#### 6 结语

长喉道量水槽是一种结构简单、施工率定方便、测流精度较高的量水工具。本文全面系统地介绍了长喉道量水槽的设计计算方法,并通过现场试验验证了这种方法,解决了长喉道量水槽设计和率定计算难以实施的问题,使长喉道量水槽能够真正方便可靠地推广应用于灌区量水。

#### 参考文献:

- M.G.Bos. Long-throated Flumes and Broad-crested Weirs.
  Martinus Nijhoff/Dr W.Junk Publishers, 1985.
- [2] 范家炎, 史伏初, 郑浩杰. 灌区量水设备. 北京: 水利电力出版社, 1987.
- [3] Samani, Z. and Magallanez, H. Simple flume for flow measurement in open channel. J.Irrig. and Drain. Engrg. ASCE, 2000, 126(2): 127~129.

#### Design Method of Long-throated Flumes

SHEN Bo 1, JI Qing-feng 2, CHEN Ji-lin 2

(1. Bureau of Water Resources of Nantong, Nantong 226000, China; 2. Yangzhou University, Yangzhou 225009, China)

Abstract: The structure, flow measurement principle and design method of long-throated flumes are described. Applying the continuity equation and the energy equation of flow ,the fundamental principle of hydraulic calculation for long-throated flumes is discussed. The head loss of fluid which flows through the long-throated flume is analyzed by using the boundary layer theory. A method for calculating the relationship between water level and discharge of long-throated flume is obtained. Long-throated flumes can be calibrated using computer programs, thus eliminating the need for laboratory calibration. The field testing showed that the calculating method can predict the measured flow rate with less than 5% error.

Key words: Flow measurement; Long-throated flumes; Design method