

泵站流速仪测流精度的研究*

王 洋

(江苏理工大学)

提 要 根据理论分析和泵站现场采用流速仪测流的数据,分析了产生误差的原因,阐述了提高流速仪测流精度的措施。

关键词 泵站 流速仪 测流精度

Study on the Measuring Precision of Current Meter in Pump Station

Wang Yang

(Jiangsu University of Science and Technology, Zhenjiang)

Abstract Based on the data of on-the-spot measuring, the factors of causing error were analysed, and the method to improve measuring precision of current meter was provided

Key words Pump station Current meter Measuring precision

1 引 言

泵站现场测流对泵站节能改造提供准确的依据是非常重要的。由于泵站现场的水泵是已安装定位的,其现场的条件各异,影响测试的因素很多,它不同于实验室测试,既要考虑测试的科学性,又要考虑测试的简易和实用性,还要保证测量精度的可靠性。因此,从泵站现场的实际状况出发,对泵站测流采用流速仪进行测量具有广泛的推广应用价值,可提高泵站节能改造的效果。本文以泵站现场采用流速仪测量流量的实例分析研究其测流精度。

2 测流误差的理论分析

泵站流速仪是将旋浆式流速仪固定在某一几何形状的测流断面上或预定的测点上,测量流经该点的时间流速,然后通过其流速和过流断面面积确定所测流量。流速仪测流时的流量一般表达式为

$$Q = \sum_i^n Q_i = \sum_i^n \bar{V}_i A_i$$

式中 \bar{V}_i ——第 i 部分平均流速; A_i ——第 i 部分面积。

——部分面积是矩形或梯形断面,则 $Q_{Ji} = \frac{V_{i-1} + V_i}{2} B_i h_i$; $Q_{Ti} = \frac{V_{i-1} + V_i}{2} \cdot \frac{B_{i1} + B_{i2}}{2} \cdot h_i$

收稿日期:1997-06-01

* 水利部、机械部、江苏省“农村泵站测试方法与节能测改研究”项目

王 洋,工程师,副所长,镇江市 江苏理工大学排灌机械研究所,212013

表 1 钱家电灌站现场测试结果

测试时间	流 速 /m · s ⁻¹				旋浆转数	部分面积 /m ²	部分流量 /m ³ · s ⁻¹	流 量 /m ³ · s ⁻¹	平均流量 /m ³ · s ⁻¹
	测量位置	线 速	边岸流速	部分流速					
10 25	0	0	1.83	1.99	366	0.061	0.121	0.7215	
	I	2.15	—	2.17	430	0.108	0.235		
	II	2.19	—	2.21	438	0.108	0.239		
	III	2.23	—	2.21	446	0.108	0.239		
	IV	0	1.90	2.07	380	0.061	0.126		
10 35	0	0	1.80	1.96	360	0.061	0.120	0.7136	0.715
	I	2.12	—	2.15	424	0.108	0.233		
	II	2.18	—	2.19	436	0.108	0.237		
	III	2.20	—	2.19	440	0.108	0.237		
	IV	0	1.86	2.04	372	0.061	0.124		
10 45	0	0	1.80	1.96	360	0.061	0.120	0.709	
	I	2.12	—	2.13	424	0.108	0.231		
	II	2.14	—	2.17	428	0.108	0.231		
	III	2.19	—	2.17	438	0.108	0.231		
	IV	0	1.86	2.03	372	0.061	0.124		

注: 表中边岸流速为靠近渠边测得的流速, 部分流速为相邻测点的平均值。

由流速仪的检定公式和流速仪使用要求, 取 $k = 0.242$, $c = 0.0075$ 。

当 $k = 0.242$ 时, 对应的测流时间为 48.4 s 。由于流速仪计数器记数周期为 0.2 s , 则流速仪的时间系统误差为 $\delta_t = dT/T = 0.2/48.4 = 0.41\%$

又因流速仪自身显示计数原因, $S_N = \frac{1}{N}$ 。

则在 10 25 时刻的测试误差:

$$\begin{aligned} \delta_{0.1} &= \delta_{v.1} + \delta_{r.1} + \delta_{s.1} + \delta_{t.1} = \frac{1}{398} + \frac{2.2}{48.4} + \frac{0.6}{200} + \frac{0.5}{305} \\ &= 1.2\% \end{aligned}$$

由 $\delta_{0.1}$ 计算知: N 未按表 1 所列数值计算, 因为流速仪测流是采用部分平均速度计算流量的, 故以部分平均速度对应的转速 N 计算其系统相对误差。

同理 $\delta_{I-II} = 1.01\%$, $\delta_{II-III} = 1.0\%$, $\delta_{III-IV} = 1.12\%$

则系统误差为 $\delta_i = 1.07\%$

同理其随机误差为 $\sigma_0 = \sqrt{\sigma_{0.1}^2 + \sigma_{I-II}^2 + \sigma_{II-III}^2 + \sigma_{III-IV}^2} = 0.004$

取置信度为 0.95, 则最大极限误差为 $\Delta = 2\sigma_0/\sqrt{3} = 0.0046$

最大相对随机误差为 $\delta_2 = \frac{\Delta}{Q} = 0.64\%$

所以总误差为 $\delta = \sqrt{\delta_i^2 + \delta_2^2} = 1.25\%$

表 2 是采用流速仪对 8 台泵现场测试精度的统计。

由表 2 可以看出, 采用流速仪测流总误差在 $3.82\% \sim 6.1\%$ 之间。其误差范围大, 原因是流速仪测流时的水头波动大, 水深测量误差大和测流时间长所致。而这种误差是由于流速

仪测流方法本身所引起的。因此,对影响现场测试精度的主要因素加以控制,可有效地减小误差。控制主要误差因素的现场测流精度的统计见表 3。与表 2 相比,其误差远小于表 2,且其测量精度完全符合 ISO 2548C 级流量误差 2.8% 的要求。

表 2 采用流速仪对 8 台泵现场测试精度的统计

站 名	流量 单 项 误 差 /%			流量最大 波动 /%	流量变化 界限 /%
	系统误差	随机误差	合成值		
华家站 1 [#]	0.93	5.9	5.97	± 6	8.4
华家站 2 [#]	1.0	5.1	5.19	± 2.7	4.9
华家站 3 [#]	2.1	3.2	3.82	± 1.7	3.5
华严站 1 [#]	1.73	4.1	4.5	± 4	7.1
华章北站	1.65	4.1	4.4	± 0.8	1.1
虞桥站	1.62	5.9	6.1	± 6.1	11.4
观咀站 1 [#]	1.5	4	4.3	± 1.5	2.9
大墩站 1 [#]	1.5	4.1	4.36	± 4.9	8.2

表 3 控制主要误差因素的现场测流精度统计

站 名	流量 单 项 误 差 /%			流量最大 波 动	流 量 变化界限
	系统误差	随机误差	合成值		
观咀站 2 [#]	1.4	1.30	1.9	± 1	2.1
新华站 1 [#]	1.54	1.30	2.07	± 2	3.4
华桥站	2.35	1.50	2.79	± 0.5	1
钱家站	1.07	0.64	1.79	± 0.9	1.75

4 结 论

测流精度主要是由测流时的水头波动、测流时间长和水深测量视差导致随机误差过大所造成。这种误差可以通过适当的方法加以控制,即选择合理的测流断面,保证测流时的几何断面尺寸,对水流采取相应的稳流措施,如加稳流栅等,并用浮筒法测量水深,利用流速信号自动记录与计时装置缩短测流的时间,使测量与泵稳定运行工况相一致,可大大提高流速仪测流的精度。

参 考 文 献

- 1 李建威. 水力机械测试技术. 北京: 机械工业出版社, 1982. 206 ~ 268
- 2 国际标准化组织. 离心泵、混流泵和轴流泵验收试验规范 C 级. ISO 2548—1973(E)

式中 Q_{Ji} ——矩形断面流量; B_i ——过水断面宽度; h_i ——过水断面水深; Q_{Ti} ——梯形断面流量; B_{i1} ——梯形下底宽度; B_{i2} ——梯形上底宽度。

分别对 Q_{Ji} 和 Q_{Ti} 两式取对数并微分整理得

$$\frac{dQ_{Ji}}{Q_{Ji}} = \frac{dQ_{Ti}}{Q_{Ti}} = \frac{d(V_{i-1} + V_i)}{V_{i-1} + V_i} + \frac{dB_i}{B_i} + \frac{dh_i}{h_i} \quad (1)$$

应当指出: 由上式知, 梯形断面和矩形断面微分表达的形式一样, 但 B_i 的含义不同, 前者是平均宽度, 后者是宽度, 故计算方式亦有所不同。

又
$$\frac{dV_{i-1}}{V_{i-1}} \doteq \frac{dV_i}{V_i} \doteq \frac{dV}{V} = \frac{d(V_{i-1} + V_i)}{V_{i-1} + V_i}$$

(1) 式可改写为

$$\frac{dQ_{Ji}}{Q_i} = \frac{dQ_{Ti}}{Q_i} = \frac{dV}{V} + \frac{dB_i}{B_i} + \frac{dh_i}{h_i} \quad (2)$$

当流速仪在 i 点测流时, 其最大相对误差为
$$\delta_i = \delta_v + \delta_{B_i} + \delta_{h_i} \quad (3)$$

流速仪的测速公式为
$$V = k \cdot \frac{N}{T} + c$$

式中 k, c ——常数; N ——旋浆转数; T ——时间。

因 c 与 $k \cdot \frac{N}{T}$ 比较, 是微小量可以忽略不计, 同理对测速公式取对数并微分得

$$\frac{dV}{V} = \frac{dN}{N} - \frac{dT}{T}$$

流速仪在 i 点测速时的最大相对系统误差为
$$\delta_i = \delta_v + \delta_{T_i} = \left| \frac{dN}{N} \right|_i + \left| \frac{dT}{T} \right|_i$$

由于测量部分宽度 B_i 和水深 h_i 通常采用钢卷尺和钢板尺测量, 其示值允许误差分别为 $\pm 0.6\text{mm}$ 和 0.5mm , 故

$$\delta_{B_i} = \left| \frac{\Delta B_i}{B_i} \right| = \frac{0.6}{B_i} \quad \delta_{h_i} = \left| \frac{\Delta h_i}{h_i} \right| = \frac{0.5}{h_i}$$

这样就得到在 i 点测流时的最大相对系统误差
$$\delta_i = \delta_v + \delta_{T_i} + \frac{0.6}{B_i} + \frac{0.5}{h_i}$$

因此, 流速仪在整个断面的测流相对误差为
$$\delta_0 = \frac{dQ_0}{Q_0} = \delta_0 \quad (4)$$

因为流速仪的测流公式为 $Q = \sum_{i=1}^n Q_i$, 各 Q_i 是独立的测量值, 其总的随机误差为

$$\delta_0 = \sqrt{\sum_{i=1}^n \alpha_i^2}$$

式中 Q_1, Q_2, \dots, Q_n ——部分流量;

$\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n$ ——相对应的标准方差;

总误差为 $\delta = \sqrt{\delta_0^2 + \delta_c^2}$

3 现场测流精度的分析

图 1 是宜兴县钱家电灌站测流过水断面(水深 305 mm), 表 1 是流速仪测试结果

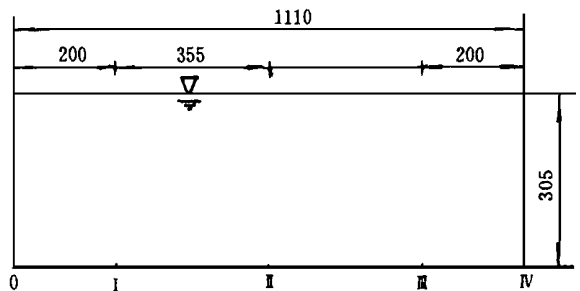


图 1 钱家电灌站流速仪测流过水断面