

渠道流量量测中的不确定度分析及其应用

张丽花, 吕宏兴

(西北农林科技大学 水利与建筑工程学院, 陕西 杨凌 712100)

摘要: 流速仪断面测流是渠道流量量测的常用方法, 量测精度受多种因素的影响, 量测结果都会或多或少地偏离被测流量的真值, 因此在给出测量结果的同时还要指出其可靠程度, 以往的误差评定存在着难以得到真值和评定方法不统一的问题, 而测量不确定度的概念以及不确定度的评定和表示方法的采用正是在这种情况下产生的, 它是计量领域的一个新进展。通过渠道流量量测的不确定度评定实例, 介绍了不确定度理论在渠道流量量测中的应用及其实际意义。

关键词: 测量不确定度; 流量; 渠道; 电磁流速仪

中图分类号: TV131.66 **文献标识码:** A

Analysis and Application of Uncertainty in canal discharge measurements

ZHANG Li-hua, LV Hong-xing

(College of Water Resources and Architectural Engineering, Northwest A & F University, Yangling 712100, Shanxi Province, China)

Abstract: The cross-section flow measurement with current meter is the common method in canal discharge measurements. Because the precision of measurement is influenced by several factors, the measurement results may deviate from true value. The reliability must be pointed while the results of the measurement are given. The former error evaluations have the problem of true value and unified method. In this case, the concept, evaluation and representation of measurement uncertainty appear. It is a new advance in the field of measurement. The paper introduces the application and practical significance of uncertainty theory in canal discharge measurements through the example of uncertainty evaluation in canal discharge measurements.

Key words: uncertainty of measurement; discharge; canal; electromagnetic current meter

测量不确定度的概念以及不确定度的评定和表示方法的采用, 是计量科学的一个新进展。它是误差理论的进一步发展。测量结果的不确定度定义为: 表征合理地赋予被测量之值的分散性, 与测量结果相联系的参数^[1,2]。测量不确定度仅与测量方法有关, 而与具体测得的数值大小无关, 所述的测量方法包括测量原理、测量仪器、测量环境条件、测量程序、测量人员、以及数据处理方法等。而根据定义, 测量结果的误差与测量结果以及真值有关, 而与测量方法无关, 所以说测量不确定度的出现使测量领域对测量结果的评定更加合理化^[3]。下面以实例来说明它的具体应用步骤。

1 渠道流量测量的不确定度评定

1.1 测量原理及数学模型的建立

某灌溉渠道断面为宽 4.8 m, 深 4.48 m 的矩形, 某次输水水深 2.741 m, 采用流速—面积法求其流量, 在选定的测流断面, 用日本亚力克公司的 ACM250-D 电磁流速仪量测流速, 其

中用流速仪测流法所需条件为: ①测流断面内大多数测点的流速不超过流速仪的测速范围; ②垂线处水深不小于流速仪用一点法测速的必要深度; ③水中漂浮物不致影响流速仪正常工作; ④在一次测流时段内水位平稳, 水位涨落差不大于平均水深的 2%^[4]。测流断面测速垂线数目确定为 6 条, 位置均匀分布, 垂线对称布设, 流速测点根据水深大小确定, 应满足过水断面和部分平均流速测量精度的要求, 测线间距及测点测量精确到 5 mm。本次流速测点取 6 点, 测点设在 0.0(水面)、0.2、0.4、0.6、0.8、1.0(渠底) 相对水深处。

垂线平均流速可按下式计算:

$$v_m = \frac{1}{10}(v_0 + 2v_{0.2} + 2v_{0.4} + 2v_{0.6} + 2v_{0.8} + v_{1.0}) \quad (1)$$

式中: v_m 为垂线平均流速, m/s; v_0 、 $v_{0.2}$ 、 $v_{0.4}$ 、 $v_{0.6}$ 、 $v_{0.8}$ 、 $v_{1.0}$ 分别为 0(水面)、0.2、0.4、0.6、0.8、1.0(渠底) 相对水深处流速。

$$Q = \sum_{m=1}^6 v_m S_m \quad (2)$$

式中: S_m 为垂线控制面积。

1.2 不确定度分量评定

1.2.1 面积测量引入的不确定度分量

断面面积测量的不确定度由两部分组成:一是钢卷尺的示值误差导致的不确定度,二是操作误差所引入的测量不确定度。

(1)钢卷尺示值误差导致的不确定度 $u_1(l)$ 。所用的钢卷尺已经计量部门校准,校准证书上提供的不确定度为 $U=0.2 \sim 2.0 \text{ mm}, k=2$,由 JJF1059-1999 表 2 可知,对于与正态分布有关的 B 类标准不确定度,包含因子 $k_p=2$ 时,置信水准 $p=95.45\%$,故长度计量仪器的标准不确定度:

$$u_1(l) = 2/2 = 1.000 \text{ (mm)}$$

(2)由操作误差所引入的测量不确定度 $u_2(l)$ 。经验估计,该测量误差在 $\pm 5 \text{ mm}$ 范围内,以均匀分布估计,则:

$$u_2(l) = 5/\sqrt{3} = 2.887 \text{ (mm)}$$

两者的合成标准不确定度为:

$$u(l) = \sqrt{1.000^2 + 2.887^2} = 3.055 \text{ (mm)}$$

若以相对不确定度表示,则宽度及深度测量的不确定度分别为:

$$u(b) = 3.055/4800 = 0.064\%$$

$$u(h) = 3.055/2741 = 0.111\%$$

于是面积测量的不确定度为:

$$u_{rel}(S) = \sqrt{u^2(b) + u^2(h)} = \sqrt{(0.064\%)^2 + (0.111\%)^2} = 0.128\%$$

1.2.2 流速测量不确定度分量 $u(v)$

流速 v 的测量不确定度共有 3 个不确定度分量:仪器校准的不确定度、仪器测量的不确定度和读数的不确定度。

(1)仪器校准的不确定度 $u_1(v)$ 。

根据仪器说明书,仪器校准准确度为,置信因子 k 取 2,于是标准不确定度

$$u_1(v) = 2\%/2 = 1\%$$

(2)仪器测量不确定度 $u_2(v)$ 。

在重复性条件下进行 9 次独立重复观测,观测结果经式(1)计算得垂线平均流速,因垂线控制面积相同,故取平均得表 1 所示值,观测值为 $v_i (i=1, 2, \dots, 9)$

表 1 垂线平均流速 m/s

序号	1	2	3	4	5	6	7	8	9
测量结果	1.836	1.807	1.802	1.822	1.811	1.812	1.799	1.816	1.821

算术平均值 \bar{v} 为:

$$\bar{v} = \frac{1}{9} \sum_{i=1}^9 v_i = 1.814 \text{ (m/s)}$$

$s(v_i)$ 为单次的实验标准差,由贝塞尔公式计算得到:

$$s(v_i) = \sqrt{\frac{1}{9(9-1)} \sum_{i=1}^9 (v_i - \bar{v})^2} = 0.379\%$$

(3)读数不确定度 $u_3(v)$ 。

仪器显示测量结果小数保留到小数点后 6 位,但因测量时需连续读数,时间间隔过短,只能读到小数点后 3 位,依相对值估计及为 $0.000001/0.001=0.001=0.1\%$,故标准不确定度为:

$$u_3(v) = 0.1\%/\sqrt{3} = 0.0577\%$$

于是流速测量的不确定度为:

$$u(v) = \sqrt{u_1^2(v) + u_2^2(v) + u_3^2(v)} = \sqrt{(1\%)^2 + (0.379\%)^2 + (0.0577\%)^2} = 1.071\%$$

1.3 不确定度概算

表 2 给出不确定度分量汇总表。

表 2 流量测量不确定度分量汇总表

量 X_i	估计值	标准不确定度 /%	概率分布	灵敏系数	不确定度分量 /%
S	13.157 m ²	0.128		1	0.128
b	4.8 m	0.064	均匀		
h	2.741 m	0.111	均匀		
v	1.814 m/s	1.071		1	1.071

合成相对标准不确定度 $u_{rel}(Q) = 1.079$,合成标准不确定度 $u_c(Q) = u_{rel}(Q) \times (Q) = 0.258 \text{ m}^3/\text{s}$

由表 2 中各影响量的数值及式(2)可以计算渠道流量 $Q = 23.865 \text{ m}^3/\text{s}$

1.4 合成标准不确定度 $u_c(Q)$

$$u_{rel}(Q) = \sqrt{u_{rel}^2(S) + u_{rel}^2(v)} = \sqrt{(0.128\%)^2 + (1.071\%)^2} = 1.079\%$$

$$u_c(Q) = u_{rel}(Q) \times Q = 1.079\% \times 23.865 = 0.258 \text{ (m}^3/\text{s)}$$

1.5 扩展不确定度

取包含因子 $k=2$,于是 $U=2 \times u_c = 0.516 \text{ (m}^3/\text{s)}$ 。

1.6 测量不确定度报告

渠道流量 $Q = (23.865 \pm 0.516) \text{ m}^3/\text{s}$ 。其中扩展不确定度 $U = 0.516 \text{ m}^3/\text{s}$ 由标准不确定度 $u_c(Q) = 0.258 \text{ m}^3/\text{s}$ 乘以包含因子 $k=2$ 得到。

2 结 语

渠道流量量测是量化灌溉输水量和有效配水的重要科学依据,是提高灌溉管理水平和实行节约用水的重要技术措施。测量不确定度评定还处于初步试行阶段,不同试验检测项目的不确定度评定有不同的数学模型,这有待于各个测量领域中的广大工程技术人员在实践中不断研究、完善。 □

参考文献:

- [1] JJF1059-1999,测量不确定度评定与表示[S]. 北京:中国计量出版社,1999.
- [2] JJF1001-1998,通用计量术语及定义[S]. 北京:中国计量出版社,1999.
- [3] 倪育才.实用测量不确定度评定[M]. 北京:中国计量出版社,2004.
- [4] GB50179-93,河流流量测验规范[S]. 中华人民共和国国家标准,1993,13-26.
- [5] 钱绍圣.实验数据的处理和表示[M]. 北京:清华大学出版社,2002.
- [6] 范巧成. Excel 在测量不确定度评定中的应用[M]. 北京:中国计量出版社,2003.
- [7] 王竹青.水泵效率现场测试结果的不确定度评定[J]. 中国农村水利水电,2006(12):76-77.
- [8] 蒋远顺.影响灌区流量测验精度因素的探讨[J]. 中国农村水利水电,1996(4):27-28.