

海洋能发电装置室内试验的测量不确定度评定

李健, 路宽, 王花梅

(国家海洋技术中心 天津 300112)

摘要:为完善我国海洋能发电装置室内试验的量值溯源和量值传递,提高实验室测量数据的科学性和严谨性,保障海试工作的顺利开展,文章根据相关国际指南和标准,以潮流能发电装置模型能量俘获效率的室内试验为例,研究测量不确定度的评定方法。研究表明:根据潮流能发电装置模型能量俘获效率的计算公式,其测量不确定度评定的分量包括叶轮半径、水流速、水密度以及扭矩仪扭矩和转速;分别计算各分量的标准不确定度并进行合成,最终得出俘获效率的分散区间;该方法可为海试阶段样机的测量不确定度评定奠定基础。

关键词:潮流能;海洋标准计量;不确定度;计量溯源性;室内试验

中图分类号:P743

文献标志码:A

文章编号:1005-9857(2018)12-0070-04

The Evaluation of Uncertainty Measurement on Tidal Current Energy Converter in Laboratory Tests

LI Jian, LU Kuan, WANG Huamei

(National Ocean Technology Center, Tianjin 300112, China)

Abstract: In order to improve the traceability and transmission of the value on the laboratory test of the ocean power generation devices in China, and improve the scientificity and rigor of the laboratory measurement data, ensure the smooth development of the sea test work, this paper took the laboratory test of the energy capture efficiency of the model of tidal power generation devices as an example, based on the relevant international guidelines and standards, studied the measure method of the uncertainty. The results showed that according to the formula for calculating the energy capture efficiency of the model of tidal current power generation device, the uncertainty of measurement included impeller radius, water velocity, water density, torque and rotational speed of the torque meter. The standard uncertainty of each component was calculated and synthesized respectively, finally the dispersion region of the capture efficiency was obtained. This method could lay a foundation for the uncertainty evaluation of the prototype in the sea trial stage.

Key words: Tidal current energy, Oceanographic standards and metrology, Uncertainty, Metrological traceability, Laboratory tests

收稿日期:2018-05-21;修订日期:2018-12-03

基金项目:2017年海洋能专项资金项目“海洋能综合支撑服务平台建设”(GHME2017ZC01);2018年国家海洋技术中心创新基金项目“水平轴潮流能模型能力俘获效率的测量不确定度评定研究”(Y5180Z001)。

作者简介:李健,助理研究员,硕士,研究方向为海洋能开发利用技术和标准化

随着全球海洋能技术研发逐渐进入商业化阶段,研发过程中的风险控制成为亟须解决的关键问题。目前我国海洋能基础理论研究初步成熟,开展了多项潮流能发电装置和波浪能发电装置的室内试验,取得一定的成果;但多数室内试验的数据测量环节缺少详细的量值溯源和量值传递过程,降低了试验数据的科学性和严谨性^[1]。本研究以水平轴潮流能发电装置模型能量俘获效率的室内试验为例,提出测量不确定度的评定方法。

1 测量不确定度评定

美国国家标准局(NBS)于 1963 年提出“不确定度”。国际方面经过多年探讨,对测量不确定度的表示形成不同意见。1977 年国际计量委员会(CIPM)要求国际计量局(BIPM)与各国标准计量研究院协调解决该问题,来自 11 个国家的相关专家参加讨论,并由相关工作组起草建议书即《实验不确定度表示》,编号为 INC-1(1980)。该建议书的主要内容包括:将测量结果的不确定度按其值的评定方法,分为 A 类标准不确定度分量和 B 类标准不确定度分量;合成不确定度及其分量,应用标准偏差的形式表示;针对特殊用途,如需对合成不确定度乘以某个因子以获得总不确定度时,须对所乘因子加以说明。CIPM 于 1981 年批准该建议书,并于 1986 年重新加以肯定。1993 年,根据 7 个专门的国际组织对测量不确定度评定的研究成果,《测量不确定度表示指南》(GUM)和第 2 版《国际通用计量学基本术语》(VIM)发布,1995 年 GUM 的修订版发布。GUM 和 VIM 为全球统一采用测量不确定度的评定和表示奠定基础。

随着不确定度理论的进一步发展,新版 GUM 和 VIM 于 2008 年发布。同时,国际实验室认可合作组织(ILAC)承认了 GUM,意味着在各国检测或校准实验室认可工作中,测量不确定度评定均以 GUM 为基础^[2]。

2 测量不确定度评定的分量和步骤

本研究涉及的潮流能发电装置模型能量俘获效率试验在国家海洋技术中心风浪流生成水槽中进行。

在测量不确定度评定时,首先应确定潮流能发电装置模型能量俘获效率的计算公式。能量俘获

效率 η 的计算公式为:

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} \times 100\% \quad (1)$$

式中: P_1 为室内试验的流功率,单位为 kW; P_2 为潮流能发电装置模型的输出轴功率,单位为 kW。

为计算室内试验的流功率,需先确定潮流能发电装置模型的叶轮面积和水密度,其中:

$$A = \pi r^2 \quad (2)$$

式中: A 为潮流能发电装置模型的叶轮面积,一般情况下采用正圆形面积的计算公式,单位为 m^2 ; r 为叶轮半径,单位为 m。

当水流速趋于稳定且变化细微时,流功率的计算公式为:

$$P_1 = \frac{1}{2} \rho v^3 \times A \times 10^{-3} \quad (3)$$

式中: ρ 为水密度,单位为 kg/m^3 ; v 为某一瞬时水流速的采样值,单位为 m/s 。

在本试验中,潮流能发电装置模型的输出轴功率为扭矩仪的测量输出,计算公式为:

$$P_2 = \frac{M \times n}{9\,550} \quad (4)$$

式中: M 为扭矩仪扭矩的采样值,单位为 $\text{N} \cdot \text{m}$; n 为扭矩仪转速的采样值,单位为 r/min 。

根据上述公式,潮流能发电装置模型能量俘获效率测量不确定度评定的分量和步骤如图 1 所示。

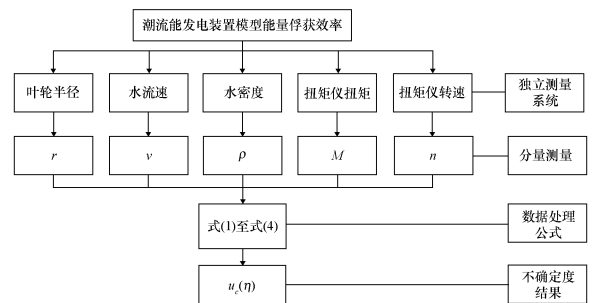


图 1 潮流能发电装置模型能量俘获效率测量不确定度评定的分量和步骤

3 测量不确定度分析

根据方差合成定理,当各输入量相互独立时,合成不确定度公式为:

$$u_c^2(y) = \sum_{i=1}^N \left[\frac{\partial f}{\partial x_i} \right]^2 u^2(x_i) \quad (5)$$

式中: y 为被测量的估计值; f 为测量函数。

根据式(1)至式(4),潮流能发电装置模型能量俘获效率测量不确定度的计算公式为:

$$u_c^2(\eta) = \left[\frac{\partial \eta}{\partial P_2} \right]^2 u^2(P_2) + \left[\frac{\partial \eta}{\partial P_1} \right]^2 u^2(P_1) \quad (6)$$

$$u^2(P_2) = \left[\frac{\partial P_2}{\partial M} \right]^2 u^2(M) + \left[\frac{\partial P_2}{\partial n} \right]^2 u^2(n) \quad (7)$$

$$u^2(P_1) = \left[\frac{\partial P_1}{\partial \rho} \right]^2 u^2(\rho) + \left[\frac{\partial P_1}{\partial v} \right]^2 u^2(v) + \left[\frac{\partial P_1}{\partial A} \right]^2 u^2(A) \quad (8)$$

$$u^2(A) = \left[\frac{\partial A}{\partial r} \right]^2 u^2(r) \quad (9)$$

4 各分量的标准不确定度

根据式(6)至式(9),若计算潮流能发电装置模型能量俘获效率的不确定度,需先计算叶轮半径、水流速、水密度以及扭矩仪扭矩和转速的标准不确定度。由于试验环境的温度对各分量的影响很小,本研究计算标准不确定度时忽略温度产生形变和运动特性的影响。

4.1 叶轮半径

试验采用直径为 1 m 的六叶片装置,叶轮半径的测量工具为由中国航空工业集团北京长城计量测试技术研究所检定的 SATA 的 10 m 钢卷尺。

根据检定证书,叶轮半径测量的标准不确定度为:

$$u(r) = 0.25 \times 10^{-3} \text{ (m)} \quad (10)$$

4.2 水流速

试验测流采用小威龙点式流速仪,测流范围为 0~4 m/s,精度为测量值的 0.5% (± 1 mm/s),采样输出功率为 1~25 Hz/1~200 Hz。由于该型号测流传感器检定的环境要求较特殊,目前尚无相应的检定方法,无法对水流速进行标准不确定度 B 类评定。基于此,项目组对水流速采用 A 类标准不确定度评定方法分析。

在试验中开展 4 次独立观测,水流速数据分别为 0.94 m/s、0.94 m/s、0.98 m/s 和 0.94 m/s。根据《测量不确定度评定与表示》(JJF 1059.1—2012)对极差法的相关技术要求^[3],水流速最大值与最小值的差值为 0.04 m/s,极差系数为 2.06,因此水流

速测量的 A 类标准不确定度为:

$$u(v) = \frac{0.04}{2.06 \times \sqrt{4}} = 0.010 \text{ (m/s)} \quad (11)$$

4.3 水密度

当 $g = 9.81 \text{ m/s}^2$ 时,温度与密度的关系可表示为^[4]:

$$\rho = 1\,000.1 + 0.055\,2 \times t - 0.007\,7 \times t^2 + 0.000\,04 \times t^3 \quad (12)$$

在计算水密度的标准不确定度时,首先应确认试验时的水温。水温测量采用二等标准水银温度计,测量范围为 $-30^\circ\text{C} \sim 20^\circ\text{C}$,分度值为 0.1°C ,读数分辨力为分度值的 1/10,则其不确定度区间半宽为 0.005°C ;设为均匀分布,取 $k = \sqrt{3}$,则该温度计的测量不确定度为:

$$u(t) = \frac{0.005}{\sqrt{3}} = 0.002 \text{ (}^\circ\text{C)} \quad (13)$$

当试验水温 $t = 15^\circ\text{C}$ 时,水密度测量的标准不确定度为:

$$u^2(\rho) = \left[\frac{\partial \rho}{\partial t} \right]^2 u^2(t) = (0.055\,2 - 2 \times 0.007\,7 \times t + 0.000\,04 \times 3 \times t^2)^2 \times 0.002^2 \quad (14)$$

$$u(\rho) = 2.98 \times 10^{-4} \text{ (kg/m}^3\text{)} \quad (15)$$

4.4 扭矩仪扭矩和转速

潮流能发电装置模型能量俘获效率一级转换的扭矩试验采用北京中航科电测控技术有限公司的 ZH07 型扭矩转速传感器,扭矩量程为 $200 \text{ N} \cdot \text{m}$ 。该传感器为一体传感器,可同时获取扭矩和转速的数值,并实时显示发电装置模型输出轴功率的数值。根据中国航空工业集团北京长城计量测试技术研究所的检定证书,该传感器测量的标准不确定度为:

$$u(M) = 0.03 \text{ (N} \cdot \text{m)} \quad (16)$$

$$u(n) = 0.15 \text{ (r/min)} \quad (17)$$

5 合成不确定度

在潮流能发电装置模型能量俘获效率的测量不确定度评定时,试验温度为 15°C ,水流速为 0.98 m/s ,叶轮半径为 0.5 m ,扭矩为 $1.72 \text{ N} \cdot \text{m}$,转速为 240 r/min ;将各分量的标准不确定度带入式(6)至式(9),得到合成不确定度为:

$$u_c(\eta) = 4.294\ 24 \times 10^{-6} \quad (18)$$

$$u_c(\eta) = 2.07 \times 10^{-3} = 0.21(\%) \quad (19)$$

$$\eta = (11.69 \pm 0.42)\% \quad (25)$$

6 测量不确定度的扩展计算和表示

根据式(1)至式(4),可得:

$$A = 3.141\ 592\ 6 \times 0.5^2 = 0.785\ 4(\text{m}^2) \quad (20)$$

$$P_2 = \frac{1.72 \times 240}{9\ 550} = 0.043\ 22(\text{kW}) \quad (21)$$

$$P_1 = \frac{1}{2} \times 10^3 \times 0.98^3 \times 0.785\ 4 \times 10^{-3} = 0.369\ 61(\text{kW}) \quad (22)$$

$$\eta = \frac{0.043\ 22}{0.369\ 61} \times 100\% = 11.69\% \quad (23)$$

对于正态分布来说,在包含概率约为 95% 的条件下,取包含因子 $k=2$,即

$$U(\eta) = 2 \times u_c(\eta) = 0.42(\%) \quad (24)$$

因此,在上述分量条件下,潮流能发电装置模型能量俘获效率为:

7 结语

测量不确定度表征测量值的分散区间,不确定度越小,测量质量越高,所得数据越可靠。测量不确定度评定即表征测量结果是否准确和准确程度的程序和方法。本研究针对潮流能发电装置模型能量俘获效率开展测量不确定度评定研究,可积累室内试验中测量不确定度评定经验,为海试阶段样机的测量不确定度评定奠定基础。

参考文献

- [1] 国家海洋技术中心.中国海洋能技术进展 2016[M].北京:海洋出版社,2016.
- [2] 倪育才.实用测量不确定度评定[M].北京:标准出版社,2014.
- [3] 范巧成.计量基础知识[M].北京:标准出版社,2014.
- [4] 史圣哲,郑亚雄.潜艇标模阻力试验的不确定度分析[J].实验流体力学,2015,29(5):66-69.

精彩的海鸟图鉴

——《南大洋海鸟鉴别——登临渔船科学观察员指南》书评

《南大洋海鸟鉴别——登临渔船科学观察员指南》由南极海洋生物资源保护委员会编著,初衷是为国际科学观察员登临《南极海洋生物资源养护公约》缔约国在限定区域以内的作业渔船时使用,目的在于观察和记录由兼捕造成的死亡海鸟的种类和数量。

近年来全球海鸟的种群数量显著下降,其被广泛归因于延绳钓渔业。本书涵盖已被证明与渔业相关且生存受到威胁的 36 种海鸟,涵盖南极以及环南极大陆 40°S 以南的大西洋、印度洋和太平洋的亚南极海域。多种海鸟分布广泛,尤其是冬天,有几种海鸟几乎遍布南大洋海域。

根据包括 DNA 研究在内的现有的生物系统学研究,南极的信天翁由 10 种上升到 20 种,然而若非经过详细和深入的研究、测量和雌雄鉴别,有些种类无法当场鉴别。本书所列海鸟的种类和引用的名称可能与其他专著存在差异,主要是因为本书仅介绍观察员有把握鉴别的海鸟,如仅 15 种信天翁可通过直接鉴别进行分类(包括其成长的不同时期)。一些渔业数据库常将很容易区分的鸟类归为一类,如白顶信天翁、萨氏信天翁和查岛信天翁,但我们并不建议如此,相反希望本书使用的种类和名称被广泛采纳。

《南大洋海鸟鉴别——登临渔船科学观察员指南》不仅可供科学观察员登船使用,其丰富的细节对于海鸟爱好者来说也有帮助,甚至可作为普通读者了解海鸟的启蒙读物。除图片外,本书对于所涉及海鸟种类的繁殖状况、种群数量、区域分布和行为特征等有精要的文字介绍,虽体量不大,却是精彩的海鸟图鉴。

(海洋出版社 王溪)