

某发动机计量保障特殊用途电子秤计量研究*

郑显锋¹ 郑颖² 武焕¹ 夏锋¹ 汪啸¹

(1. 西安航天计量测试研究所 西安 710100; 2. 西安航空学院 西安 710065)

摘要:电子秤的现场计量中,由于现场情况的特殊性,无法满足 JJG539-2015《数字指示秤检定规程》所规定一些检定条件。为了更好的达到量值传递要求,做好某发动机的计量保障工作。结合现场的实际情况,研究了一套针对此类电子秤的计量方案。分别完成安全性、置零准确度及除皮准确度、称量、去皮后称量、重复性等项目的计量方法设计。对此方法引入测量的不确定度做出分析评定,结果表明此计量方案可以解决此电子秤的现场计量检定难题,符合某发动机流量计量保障任务要求。

关键词:电子秤; 现场计量; 不确定度; 砝码; 替代法

中图分类号: TN06 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 580.2010

Measurement research of a special purpose electronic scale in a metering guarantee task

Zheng Xianfeng¹ Zheng Ying² Wu Huan¹ Xia Feng¹ Wang Xiao¹

(1. Xi'an Aeronautical University, Xi'an 710065, China;

2. Measuring and Testing Institute Under Xi'an Aerospace Corporation, Xi'an 710100, China)

Abstract: In the field of electronic measurement, some verification cannot meet the required conditions of JJG539-2015 <digital-indicating scale verification rules> at the scene of the special environment. In order to better meet the requirements of dissemination, completes a engine of metrological security work. Combined with the actual situation of the scene, studies a set of metering scheme aiming at this kind of electronic scale. There are security, accuracy of the zero, in addition to the skin of accuracy, weighing accuracy and repeatability measurement method of the project such as design included in the plan. This method is introduced into measurement uncertainty evaluation. The results show that the measurement scheme can solve the field calibration of electronic balance problems, as to meet the requirements of a engine flow metering security tasks.

Keywords: electronic scale; field measurement; uncertainty; jordan farmer; alternative method

0 引言

在某发动机流量计量保障任务中,研建油流量标准装置一套。此装置中涉及到电子秤3台,3 kg、60 kg、15 000 kg 量程各一台,其中3 kg、60 kg 量程的两台完全满足 JJG539-97《数字指示秤检定规程》中规定的现场计量检定条件,而1 500 kg 量程的高准确度等级电子秤却无法完全满足,实验室计量又无法复现场复杂情况,所以需要一套保障其量值传递准确性的现场计量方法,并且保证此方法的可靠性。

1 电子秤装置现状

如图1所示,电子秤工作现场情况有以下几点:

- 1) 电子秤采用四脚支撑,4个角放置在4个1.2 m的架子上,1 m为水泥砌成的柱子,20 cm角铁架子;
- 2) 电子秤上面放置一个比秤台面略大的正方体油箱,油箱下水平面的几何中心与秤台面中心几乎重合,空油箱及附件质量约为350 kg;
- 3) 在油箱的上部中心位置有一个圆形的计量用托盘,托盘中心与油箱上水平面的几何中心几乎重合,由于托盘与屋顶的距离限制,20 kg的砝码只能放置10个(即

收稿日期:2017-03

* 基金项目:陕西省科技攻关项目(2016GY-157)资助

200 kg),小砝码可加一部分;

4) 此电子秤主要用于称量静置状态下流入油箱内油的质量,试验中油最大质量不大于1 000 kg。且油箱内油的流入和流出十分方便且可控;

5) 此电子秤的首次检定是在计量机构实验室使用纯砝码进行,其重复性为0.1e,最大误差0.3e。



图1 特殊用途电子秤

2 计量相关问题研究

2.1 此电子秤的计量特点分析

此电子秤的现场计量特点有以下几点:

1) 称量物为油,称量时,油静置在正方形容器内。可以认为油的质量均匀的加载在电子秤的台面上,不存在偏载;

2) 标准的砝码加载位置在秤体中心,可以根据砝码数量,调整砝码位置,使砝码加载不产生偏载;

3) 由于结构的特殊性标准砝码只能使用200 kg,检定满量程需要标准砝码替代物(油)参与;

4) 由于有固化的空油箱质量作为皮重,且无法拆卸,所以此电子秤的实际测量范围约为1 100 kg。此电子秤的实际使用测量范围小于1 000 kg;

5) 日常使用中,每次称量前都要进行置零操作,连续称量时,每次称量前都要进行去皮操作。

2.2 此电子秤的计量方案设计

结合JJG539-2015《数字指示秤检定规程》与现场使用特点,为了保证对于某发动机量值传递的准确可靠,此电子秤的油箱作为固有质量固化在秤台面之上,计量方案设计是对秤台固有质量置零后的零点作为本次计量检定的起始零点,Max=1 000 kg,e=d=100 g,中准确度等级,完

全满足使用要求。

此电子秤的计量检定作为后续检定,检定项目包括:安全性、置零准确度及去皮准确度、称量每200 kg使用替代物(油)替代一次、去皮后称量、重复性。其中去皮后称重项目为使用中经常用的电子秤功能,所以作为必检项目;另外此电子秤使用中不存在偏载,所以偏载在此电子秤的计量检定中不作为必检项目。

为了保证回程的称量数据的可操作性,在称量检定中置零前需在油箱内留存少量质量的油。

2.2.1 安全性

检查此电子秤不存在易于做欺诈性使用的特性,称重指示器和接线盒有铅封且完好。

2.2.2 置零准确度及去皮准确度

置零准确度与称量检定一并进行,去皮准确度与去皮后称量一并进行。其数据记录表格设计如表1所示。

表1 置零及去皮测量记录表

载荷 L_0/g	示值 I_0/g	附加载荷 $\Delta L/g$	误差 E_0/g	MPE/ g
置零准确度				± 25
去皮准确度				± 25

2.2.3 称量检定

为了保证检定结果的准确性,在这里的称量需要做两组称量。

闪变点法是该电子秤称量过程中使用的一个重要方法。对于每一个称量点(包括零点)都需要利用闪变点确定其化整前的示值,对于载荷 L_i ,示值为 I_i ,连续加载0.1e(10 g)附加砝码,秤的示值明显增加一个分度值计($I_i + e$),此时加载的附加载荷为 ΔL_i ,由式(1)可得化整前的示值 P_i ,由式(2)可得化整前的误差 E_i ,由式(3)可得化整前的修正误差 E_{ci} 。

$$P_i = I_i + 0.5e - \Delta L_i \quad (1)$$

$$E_i = P_i - L_i \quad (2)$$

$$E_{ci} = E_i - E_0 \quad (3)$$

式中: P_i 为化整前的示值; I_i 为示值; ΔL_i 为附加载荷; E_i 为化整前的误差; L_i 为载荷; E_0 为零点误差; E_{ci} 为化整前的修正误差。

第一组称量范围(0~200)kg,纯砝码进行称量。称量点、各点最大允许误差及数据记录表格设计如表2所示。

表2 纯砝码测量记录表

载荷/kg L	示值/kg $\downarrow I \uparrow$	附加载荷/kg $\downarrow \Delta L \uparrow$	误差/g $\downarrow E \uparrow$	修正误差/(g) $\downarrow E_c \uparrow$	MPE/ g
0					± 25
2					± 50
50					± 50
100					± 100
200					± 100

第二组称量范围(0~1 000)kg,每 200 kg 使用替代物 (油)替代标准砝码进行称量。称量点、各点最大允许误差及数据记录表格设计如表 3 所示。

表 3 全量程测量记录表

载荷/kg <i>L</i>	示值/kg ↓ <i>I</i> ↑	附加载荷/kg ↓ ΔL ↑	误差/g ↓ <i>E</i> ↑	修正误差/g ↓ E_c ↑	MPE/ g
0					±125
2					±50
50					±50
200					±100
400					±150
600					±150
800					±150
1 000					±150

需要指出,每 200 kg 使用替代物(油)替代标准砝码过程中,分为替代物(油)的加载与卸载两种。

加载 200 kg 砝码,示值为 I_{200i} ,连续加载 $0.1e(10g)$ 的附加砝码,秤的示值明显增加一个分度值计($I_{200i} + e$),此时加载的附加载荷为 ΔL_{200i} ,随后卸下 200 kg 标准砝码,在油箱内注入替代物(油),当示接近 I_{200i} 时,使用标准小砝码进行调整,调整到 I_{200i} 时,连续加载 $0.1e(10g)$ 的附加砝码,秤的示值明显增加一个分度值计($I_{200i} + e$),最后再减去附加载荷 ΔL_{200i} 的砝码,此时的油加和已加载标准小砝码就是 200 kg 标准砝码的替代物质量。

卸载 200 kg 砝码,示值为 I_{200j} ,连续加载 $0.1e(10g)$ 的附加砝码,秤的示值明显增加一个分度值计($I_{200j} + e$),此时加载的附加载荷为 ΔL_{200j} ,随后加载 200 kg 标准砝

码,油箱内替代物(油)缓慢流出,当示接近 I_{200j} 时,使用标准小砝码进行调整,调整到 I_{200j} 时,连续加载 $0.1e(10g)$ 的附加砝码,秤的示值明显增加一个分度值计($I_{200j} + e$),最后再减去附加载荷 ΔL_{200j} 的砝码,此时卸载的油加已调整的标准小砝码就是 200 kg 标准砝码的替代物质量。

替代物(油)的加载与卸载都按照上述方法进行加载与卸载。

2.2.4 去皮后称量

第 3 组称量范围(0~500)kg, 500 kg 替代物(油)放入油箱后进行去皮操作,然后称量范围(0~500)kg,每 200 kg 使用替代物(油)替代标准砝码进行称量。称量点、各点最大允许误差及数据记录表格设计如表 4 所示。

表 4 去皮后全量程测量记录表

载荷/kg <i>L</i>	示值/kg ↓ <i>I</i> ↑	附加载荷/kg ↓ ΔL ↑	误差/g ↓ <i>E</i> ↑	修正误差/g ↓ E_c ↑	MPE/ g
0					±25
2					±50
50					±50
200					±100
400					±150
500					±150

2.2.5 重复性

由于此电子秤的特殊性,以及替代物的使用,此处重复性需要进行 2 个点的称量。

第一点 200 kg,纯砝码进行 3 次装载的称量;第二点 600 kg,400 kg 使用替代物(油)替代标准砝码后,200 kg

纯砝码进行 3 次装载的称量。重复性 E_R 可以由式(4)得到,数据记录表格设计如表 5 所示。

$$E_R = E_{\max} - E_{\min} \tag{4}$$

式中: E_R 为重复性; E_{\max} 为示值误差最大值; E_{\min} 为示值误差最小值。

表5 重复性测量记录表

次数	载荷 L/kg	示值 I/kg	附加载荷 ΔL/kg	误差 E/g	重复性 E _R /g	MPE/ g
200 kg 重复性数据						±500
	1					
	2					
600 kg 重复性数据						±750
	1					
	2					

3 不确定度评定

电子秤示值误差的数学模型如式(5)所示:

$$E = I - L \quad (5)$$

式中: E 为示值误差; I 为示值; L 为载荷折算值。

由不确定度传播公式可得式(6):

$$u^2(E) = u^2(I) + u^2(L) \quad (6)$$

针对此电子秤现场计量检定使用的以上替代法计量

检定方案, 替代法应用中, 被检电子秤作为比较仪使用, 用已有的标准砝码确定替代物(油)的质量, 受到电子秤的重复性及分辨率的影响, 测量结果的不确定度必然会比使用纯砝码时的不确定度大。影响示值的不确定因素有测量重复性、蠕变和滞后、示值分度值以及载荷质量最大允许误差(空气浮力可忽略)等。

电子秤示值的不确定度影响分量 $u(I)$ 的主要影响量如表6所示。

表6 电子秤示值不确定度影响分量表

序号	影响因素	评估方法	灵敏系数	分布	对合成不确定度的贡献	备注
1	测量重复性 ΔI_{rep}	A类	1	/	$u_{rep} = \Delta I_{rep} / (1.64 \sqrt{3})$	电子秤一般重复性测量3次, 用极差法 ΔI_{rep} 表示重复性;
2	示值的分辨率 δ_m	B类	1	均匀	$u_{\delta_m} = \delta_m / (2 \sqrt{3})$	$e = d = 100$ g, 数字显示分辨率为 $\delta_m = 10$ g;
3	蠕变和滞后 δI_{time}	B类	1	均匀	$u_{time} = \delta I_{time} / \sqrt{3}$	替代法中, 量程大、需不断加载与卸载, 耗时较长, 蠕变和滞后 δI_{time} 影响较大。将同一载荷进程回程最大差值 ΔI_{max} 作为蠕变和滞后的极限值。
4	$u^2(I) = u_{rep}^2 + u_{\delta_m}^2 + u_{time}^2$					

表7 载荷不确定度影响分量表

序号	称量范围/ kg	影响因素	评估方法	灵敏系数	分布	对合成不确定度的贡献	备注
1	0~200	标准砝码最大允许误差 δ_{200} $u^2(L) = u_{200}^2$	B类	1	均匀	$u_{200} = \delta_{200} / \sqrt{3}$	未使用替代物, 200 kg 标准砝码的最大允许误差为 δ_{200} ;
2	200~1 000	替代物(油)引入的极限误差 δ_{sdi}	B类	1	均匀	$u_{sdi} = \sqrt{(\delta_{200} / \sqrt{3})^2 + (\delta_{sdi} / \sqrt{3})^2}$	未使用替代物前, 200 kg 标准砝码的最大允许误差为 δ_{200} ; 一次 200 kg 替代物(油)引入的不确定度包括, 200 kg 标准砝码的最大允许误差, 以及因为电子秤的分辨率、重复性等因素引入的误差不大于 $0.1e(10$ g), 两者相互独立。每次替代相互独立。
$u^2(L) = u_{200}^2 + u_{sdi1}^2 + u_{sdi2}^2 + u_{sdi3}^2 + u_{sdi4}^2$							

载荷的不确定度分量 $u(L)$ 的主要影响量如表 7 所示,使用的标准砝码有 F_2 等级 20 kg ($|MPE| = 300 \text{ mg}$) 砝码 10 块, F_1 等级 (100 g~10 kg) 砝码一套, F_1 等级 10 g 砝码一盒。

载荷与电子秤示值相互独立,合成标准不确定度如式(7)所示:

$$u_c = \sqrt{u_{rep}^2 + u_{\rho_a}^2 + u_{time}^2 + u_{200}^2 + u_{sd1}^2 + u_{sd2}^2 + u_{sd3}^2 + u_{sd4}^2} \quad (7)$$

取包含因子 $k=2$,使用以上替代法计量检定此电子秤测量结果的扩展不确定度为:

$$U = k \cdot u_c (k = 2) \quad (8)$$

此电子秤在实验室原始记录中数据记录可以得到该电子秤示值的不确定度影响分量, $u(I) = 7 \text{ g}$; 根据砝码的最大允许误差以及替代物(油)引入的极限误差可以得到载荷不确定度分量的影响量, $u(L) = 13 \text{ g}$; 则合成标准不确定度, $u_c = 14 \text{ g}$ 。上述替代法计量检定此电子秤测量结果的扩展不确定度为: $U = 28 \text{ g} (k=2)$ 。

4 结 论

通过对这种替代法不确定度分析得出,用已有砝码确定替代物的质量,由于受到电子秤的重复性及分辨率的影响,测量结果不确定度必然比单纯使用砝码要大,替代次数越多,不确定度也会越大。另外通过对这种替代法计量检定此电子秤测量结果不确定度的分析,此法完全可以解决此电子秤的现场计量检定任务,检定结果完全符合某发动机流量计量保障任务要求。

参 考 文 献

[1] 国家质量监督检验检疫总局, JJG164-2000 液体流量标准装置检定规程[S]. 北京:中国计量出版社,2000.
[2] 国家质量监督检验检疫总局, JJG539-2015 数字指示

秤检定规程[S]. 北京:中国计量出版社,2015.

[3] 国家质量监督检验检疫总局, JJG99-2006 砝码检定规程[S]. 北京:中国计量出版社,2006.
[4] 侯彦玲. 电子秤示值误差的测量结果的不确定度评定[J]. 计量与测试技术, 2013, 40(5): 89-90.
[5] 王卫忠, 李春燕, 甘罗, 等. 用替代法检定校准电子秤的不确定度分析[J]. 中国计量, 2013(7): 88-90.
[6] 张力, 杨兵, 袁协民. 电子秤示值误差测量结果的不确定度评定[J]. 衡器, 2013, 42(1): 32-33.
[7] 王云, 刘强. 电子秤示值误差不确定度分析[J]. 工业计量, 2004, 19(4): 43-44.
[8] 吴清宇. 电子秤示值误差的测量结果不确定度评定[J]. 计量与测试技术, 2009, 36(8): 90-94.
[9] 周锋, 王瑞宝. 一种选取有效测量点简化测量不确定度计算的方法[J]. 国外电子测量技术, 2015, 34(6): 37-39.
[10] 国家质量监督检验检疫总局, JJF1059-2012 测量不确定度评定与表示[S]. 北京:中国计量出版社,2012.
[11] 胡俊峰, 蔡建阳, 郑昌虎. 一种具有力传感的微夹持器设计与标定[J]. 电子测量与仪器学报, 2016, 30(3): 407-415.
[12] 任亚奇, 滕召胜, 黄强, 等. 电子分析天平模糊自适应PID平衡调节方法研究[J]. 仪器仪表学报, 2015, 36(6): 1424-1432.
[13] 张多利, 王德利. 数字指示秤检定时需要注意的几个要点[J]. 计量与测试技术, 2013, 40(8): 14.

作 者 简 介

郑颖, 1984 年出生, 工学硕士, 讲师, 主要研究方向为仪车辆安全与发动机结构等。
E-mail: zhengying19841986@163.com