

面向(10~30)t 量程范围电子衡器校准的 衡器载荷测量仪研究

□王秀荣^{1,2,3}

(1. 福建省计量科学研究院; 2. 国家市场监督管理总局重点实验室(力值计量测试);
3. 福建省力值计量测试重点实验室)

【摘要】为对量程小于30 t的电子衡器采用非实物(砝码)方法进行校准,本文提出研制一种量程为30 t的小量程衡器载荷测量仪。依据该类电子衡器的校准需求,设计了测量仪的组成与性能指标。研制的测量仪在质量比较仪上与砝码进行ABA方法的校准后,对两台量程分别为30 t和10 t的电子衡器进行校准检测。结果表明,采用衡器载荷测量仪法与砝码法对电子衡器校准结果一致性好。研制的30 t小量程衡器载荷测量仪,具有很高的准确度和可靠性,适用于(10~30)t量程范围电子衡器的校准。

【关键词】电子衡器; 衡器载荷测量仪; 校准; 计量

文献标识码: B 文章编号: 1003-1870 (2023) 04-0023-06

引言

电子衡器,如电子汽车衡、电子飞机秤等,是在港口码头、工矿企业、公路治超等领域常用的计量器具,其准确与否直接关系到贸易结算的公平、治超执法的公正^[1]。因此,实现对其精确校准,保证其测量结果的准确可靠具有十分重要的意义。本课题组所在福建省计量科学研究院承担的国家重大科学仪器设备开发专项——高精度衡器载荷测量仪开发与应用项目,成功研制了一种非实物法校准大型电子汽车衡(一般量程在80 t以上)的计量标准器具——衡器载荷测量仪(以下简称“测量仪”)^[2,3]。该设备的成功研制解决了传统只能采用砝码实物进行大型电子汽车衡检定带来的砝码运输量大、成本高、检定工作量巨大、耗时长等难题^[4,5]。因此,在福建、北京、江苏等地全面实现推广应用,效果显著。随着衡器载荷测量仪的不断推广应用,对于小于30 t的电子衡器,例如量程为10 t、15 t、30 t等小

型电子衡器,计量部门和衡器用户也迫切希望采用衡器载荷测量仪进行计量校准。对于小量程衡器载荷测量仪,并不是原来大量程的缩小,其计量性能指标必须覆盖所校准的电子衡器的量程范围,并满足相应的计量准确度要求。

本文通过对小于30 t电子衡器的量程及其误差要求的分析,设计制造了一种小量程衡器载荷测量仪,并实现对其标定。然后,用其对两台量程分别为30 t和10 t的电子衡器进行了校准测试验证。

1 小量程测量仪原理与设计

1.1 测量仪原理与组成

如图1所示,衡器载荷测量仪由若干个标准载荷单元和液压伺服控制系统等组成。采用高精度液压伺服控制系统作为动力源,在反力装置作用下,通过液压油缸对电子衡器秤台施加稳定的载荷,通过比对衡器载荷测量仪高精度称重传感器的载荷示值与电子衡器的示值,实现对电子衡器的校准^[6]。

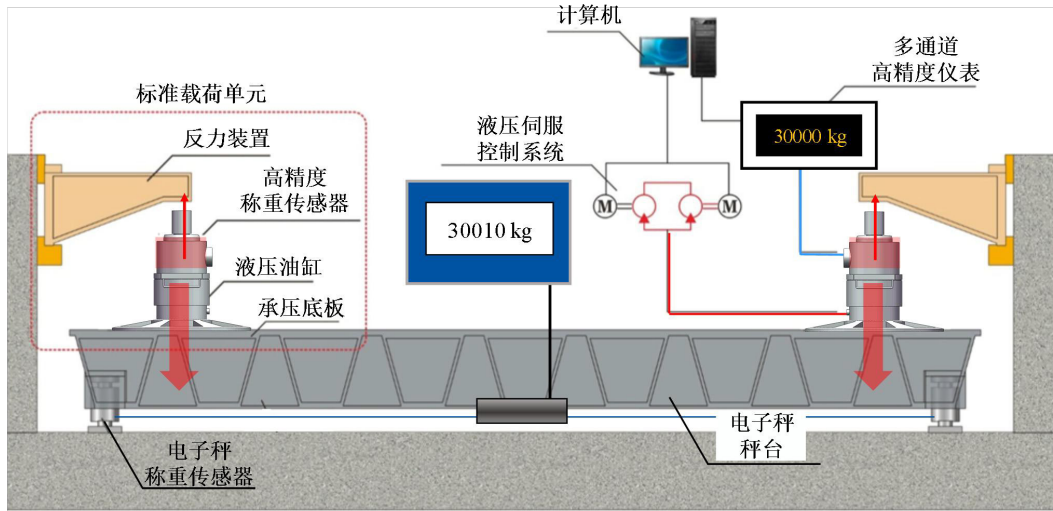


图1 衡器载荷测量仪原理图

目前，市场上常用小于30t的电子衡器的量程主要有10t、15t、20t、30t等。依据相应的国家计量检定规程——JJG 539-2016《数字指示秤》^[7]和JJG 1118-2015《电子汽车衡（衡器载荷测量仪法）》^[8]的要求，确定其称量性能和偏载校准点（见表1）及其最大允许误差（见表2）。对于偏载校准，根据规程要求，需采用N个标准载荷单元依次对秤台的N个区域进行加载校准。表1显示各类型电子衡器支承点数最大为6，故需配备6个标准载荷单元。

1.2 测量仪性能指标要求

对于称量性能校准，采用N个标准载荷单元组成的标准载荷单元组对秤进行校准。标准载荷单元组的最大允许误差（ MPE_{US} ）不超过称量性能校准点最大允许误差（ MPE_{S-W} ）的1/3，即 $MPE_{US} \leq \frac{1}{3}MPE_{S-W}$ 。因此，根据误差评定要求，在称量性能校准中，每个标准载荷单元在各校准点1/N的载荷点上，其最大允许误差（ MPE_U ）不超过 $\frac{1}{3} \cdot \frac{\sqrt{N}}{N}MPE_{S-W}$ ，如图2中

正方形点所示。特殊地，对于称量性能校准的第一个校准点，其量值一般较小，故一般只采用单个标准载荷单元对秤进行加载。因此，单个标准载荷单元在第一个校准点的载荷点上，其最大允许误差（ MPE_U ）不超过 $\frac{1}{3}MPE_{S-W}$ ，即 $MPE_U \leq \frac{1}{3}MPE_{S-W}$ ，如图2中三角形点所示。对于偏载校准，标准载荷单元在偏载校准点的载荷点上，其最大允许误差（ MPE_U ）不超过偏载校准点最大允许误差（ MPE_{S-E} ）的1/3，即 $MPE_U \leq \frac{1}{3}MPE_{S-E}$ ，如图2中圆点所示。综上，每个标准载荷单元的量程应选择6t，规定其在测量范围内各载荷点的最大允许误差如图2中实线所示。

标准载荷单元如图3所示，其上部为高精度称重传感器，下部为单向油缸。传感器采用叠加组合式传感器设计，由3台量程为2.5t小传感器，采用本课题组发明的带约束双球头叠加系统结构叠加组合而成。采用该叠加结构组成的传感器系统，具有很强的抗偏心、倾斜载荷能力，线性好，方位误差很小^[9,10]。

表1 称量性能和偏载校准点

最大称量 Max (t)	分度值e (kg)	支承点数 N	称量性能校准点 (t)						偏载 校准点 (t)
			10e	500e	1000e	1/2 Max	2000e	Max	
10	2	4	0.02	1	2	5	4	10	3
10	2	6	0.02	1	2	5	4	10	2
15	2	6	0.02	1	2	7.5	4	15	3
20	5	6	0.05	2.5	5	10	10	20	4
30	10	6	0.1	5	10	15	20	30	6

表2 称量性能和偏载校准对应的最大允许误差

最大称量 Max (t)	分度值 e (kg)	支承点数 N	称量性能最大允差 (kg)						偏载 最大允差 (kg)
			10e	500e	1000e	1/2 Max	2000e	Max	
10	2	4	1	1	2	3	2	3	2
10	2	6	1	1	2	3	2	3	2
15	2	6	1	1	2	3	2	3	2
20	5	6	2.5	2.5	5	5	5	7.5	5
30	10	6	5	5	10	10	10	15	10

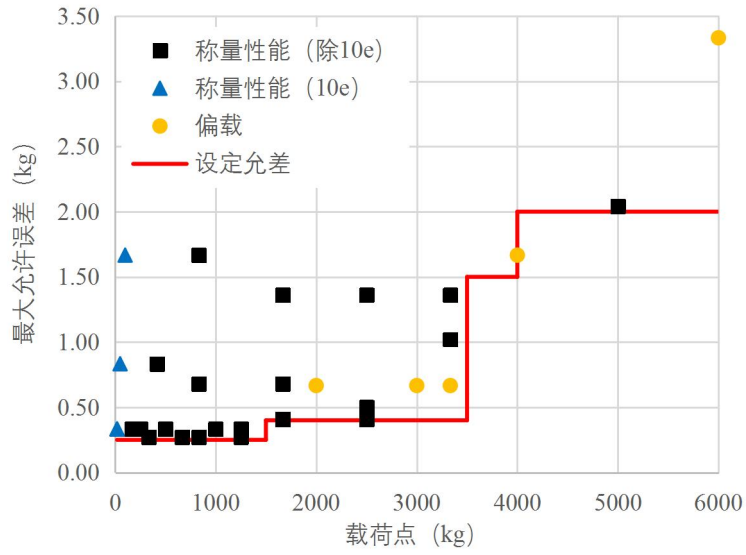


图2 标准载荷单元的最大允许误差



图3 标准载荷单元照片

2 测量仪校准

保证该衡器载荷测量仪满足量程小于30 t 电子衡器的校准要求，必须对其进行校准。衡器载荷测量仪校准过程主要分成两个步骤。第一步骤为标准载荷单元的校准，第二步骤为标准载荷单元组的校准。

2.1 标准载荷单元校准

本课题组的衡器载荷测量仪量传实验室，对该1~6号各标准载荷单元依次进行校准。如图4所示，该实验室拥有一台量程为150 t 的质量比较仪（分辨率为0.1 kg）和150 t 的F₁级不锈钢砝码。在该质量比较仪上，对该6个标准载荷单元在20 kg~6 t 的量程范围分别进行校准。采用A₁BA₂的质量比较方法对该衡器载荷测量仪进行校准。A₁为采用F₁级砝码在标准载荷单元量程范围内的各校准点上对质量比较仪施加相应的载荷，并读取比较仪的示值输出。B为采用标准载荷单元对质量比较仪施加相应载荷值的载荷，并记录比较仪的输出。A₂采用砝码，重复A₁过程，并记录相应输出。以A₁和A₂过程质量比较仪输出的平均值为标准，判断标准载荷单元的误差是否小于图2所设定的标准载荷单元的允许误差要求。



图4 衡器载荷测量仪在质量比较仪上进行校准

标定校准后，标准载荷单元误差如表3所示，从中可以明显看出，标准载荷单元误差很小，满足图2规定的允许误差要求。

表3 标定校准后标准载荷单元误差（单位：kg）

校准点	误差					
	1号	2号	3号	4号	5号	6号
20	-0.1	-0.2	-0.3	-0.3	0.1	0.2
100	-0.2	-0.2	-0.5	-0.3	-0.1	0.2

续表

校准点	误差					
	1号	2号	3号	4号	5号	6号
200	0.2	-1.1	0.2	-0.7	0.2	0.0
400	0.2	-0.2	0.1	-0.2	0.2	0.1
1000	-0.1	-0.2	-0.3	-0.3	0.1	0.2
1500	-0.2	-0.2	-0.5	-0.3	-0.1	0.2
2500	-0.3	-0.5	-0.5	-0.3	-0.6	0.1
3750	-0.3	-0.4	-0.5	-0.2	-1.0	-0.6
5000	-0.3	-0.2	-0.5	-0.2	-1.0	-0.8
6000	-0.3	-0.3	-0.7	-0.2	-1.1	-1.2

2.2 标准载荷单元组校准

各标准载荷单元校准完成后，同样在该质量比较仪上，对由标准载荷单元组成的标准载荷单元组进行校准。

首先，将1~4号标准载荷单元组成第1标准载荷单元组，并对其进行校准。该第1标准载荷单元组用于表1所示的量程为10 t、支承点数为4的电子衡器的校准。针对该电子衡器的各校准点，对标准载荷单元组进行校核，判断其误差是否小于相应载荷下秤最大允许误差的1/3。然后，将1~6号标准载荷单元组成第2标准载荷单元组进行校准。该第2标准载荷单元组用于表1所示的量程为（10~30）t、支承点数为6的电子衡器的校准。针对该电子衡器的各校准点，对第2标准载荷单元组进行校核，判断其误差是否小于相应载荷下秤最大允许误差的1/3。

标准载荷单元组的校准结果如图5所示，从图中可以看出，第1和第2标准载荷单元组的误差均小于表2规定的电子衡器最大允许误差的1/3，其满足校准电子衡器校准的要求。

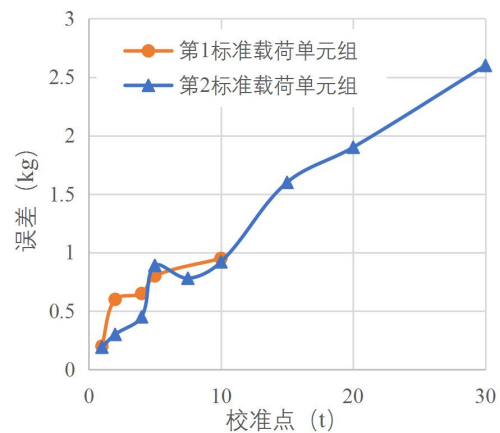


图5 标准载荷单元组校准结果

3 电子衡器校准

为验证该衡器载荷测量仪的准确性和适用性，挑选两台最大秤量分别为30 t和10 t的电子衡器，分别采用砝码和测量仪对其分别进行校准。

3.1 30 t电子衡器校准

该30 t电子衡器为某特殊用途的电子衡器，采用两节秤台，6个支承点。两节秤台的尺寸均为3.5 m×4.5 m，6只传感器为赛多利斯公司的10 t柱式称重传感器。

该电子衡器于2022年9月26日采用30 t砝码校准完成，结果如表4所示，其偏差和称量性能满足表2规定的最大允许误差要求。2022年10月13日，采用研制的该衡器载荷测量仪对其进行校准。该电子衡器下方预留了与衡器载荷测量仪反力装置（龙门架）相连接的基础。校准时，将龙门架安装到基础上，采用该6只标准载荷单元装到该秤台上。参考JJG 1118-2015《电子汽车衡（衡器载荷测量仪法）》国家计量检定规程，首先对该电子衡器预压3遍30t载荷。然后，采用6只标准载荷单元，依次施加偏载载荷6 t，采用闪变点法，测量得到各个偏载位置的角差。最后，采用该6只标准载荷单元组成的标准载荷单元组，按照表1所示的各称量性能校准点，对该电子衡器进行称量性能检测。3遍称量性能检测结果如表4所示，从表中可以看出，该电子衡器的3遍检测结果的重复性很好。采用测量仪法检测出的电子衡器的偏载和称量性能的误差均小于表2规定的电子衡器的最大允许误差的要求。该电子衡器采用砝码法

和衡器载荷测量仪法的检测结果均为“合格”，且对比砝码和测量仪对电子衡器偏载与称量性能的检测结果可以看出，两种方法检测结果在5t和10t校准点结果一致，在15 t相差为1kg，在30 t偏差仅为2kg。由此证明，两种方法的校准结果高度一致。

3.2 10 t电子衡器校准

该10 t电子衡器为单节秤台，4个支承点，采用4只量程为5 t的德国HBM传感器公司生产的柱式称重传感器。如图6所示，将1~4号标准载荷单元装到该秤台上。采用龙门架式的反力结构，该龙门架与电子衡器基础固定连接。同样，参考JJG 1118-2015《电子汽车衡（衡器载荷测量仪法）》国家计量检定规程，首先对该电子衡器预压3遍10 t载荷。然后，采用各标准载荷单元依次对秤的各偏载区域进行3 t载荷的偏载检测。最后，对采用标准载荷单元组进行3遍的称量性能检测，结果如表5所示。从表中可以看出，该10 t电子衡器误差小于表2规定的最大允许误差。为验证检测结果的准确性，用该电子衡器对一辆两轴车在空车与满载状态下分别进行测量，结果分别为2678 kg和4796 kg。该两轴车在一台经计量部门检定合格的80 t汽车衡上称量，结果分别为2680 kg和4800 kg。同一车辆，在空车与满载两种状态下，分别采用两台电子衡器进行称量，结果基本一致。由此可以判定，经过衡器载荷测量仪校准合格后的该10 t电子衡器，具有很高的准确性。

表4 30 t电子衡器采用砝码法与衡器载荷测量仪法校准结果对比

检测区域	偏载校准结果		称量性能校准结果				
	砝码法 (kg)	测量仪法 (kg)	校准点 (t)	砝码法 (kg)	测量仪法 (kg)		
					第1遍	第2遍	第3遍
1#	2	2	0.1	0	0	0	0
2#	4	3	5	2	2	2	2
3#	2	1	10	6	6	6	5
4#	4	4	15	6	7	6	7
5#	6	5	20	7	8	7	8
6#	2	1	30	8	10	10	10

表5 10 t电子衡器采用衡器载荷测量仪法校准结果

偏载校准结果		称量性能校准结果			
检测区域	偏载 (kg)	校准点 (t)	称量性能 (kg)		
			第1遍	第2遍	第3遍
1#	2	0.02	0	0	0
2#	3	1	1	0	1
3#	1	2	1	1	1
4#	4	4	2	1	1
		5	1	2	2
		10	2	2	3



图6 衡器载荷测量仪校准10 t电子衡器

4 结语

为实现对量程小于30 t的电子衡器的非实物(砝码)方法校准,本文研制了一种量程为30 t的小量程衡器载荷测量仪。该衡器载荷测量仪经过在质量比较仪上校准后,分别对两台量程分别为30 t和10 t的电子衡器进行校准检测。采用衡器载荷测量仪法与砝码法对30 t电子衡器校准结果对比表明,两种方法校准结果最大偏差仅为2kg。经过衡器载荷测量仪法校准合格后的10 t电子衡器,对一部两轴车的称量结果与另外一台汽车衡对该车辆的称量结果也高度一致。由此证明,本文研制的30 t小量程衡器载荷测量仪,具有很高的准确度和可靠性,适用于(10~30)t量程范围电子衡器的校准。

参考文献

- [1] 韩炜虹,毛晓辉,赵志灏,陈洁. 整车式汽车衡ETC称重技术方案研究[J]. 衡器,2017,46(03):31-33.
- [2] 池辉,梁伟.JJG1118-2015《电子汽车衡(衡器载荷测量仪法)检定规程》解读[J]. 中国计量,2016(02):124-126.
- [3] 笈梁. 计量科研成果助力福建高速计重收费系统质量提升[J]. 福建质量技术监督,2017(11):23-24.
- [4] 王奕槟. 静动态组合式动态汽车衡校准方法探讨[J]. 福建交通科技,2021(12):94-100.
- [5] 陈素萍. 电子汽车衡加载状态与检定结果研究[J]. 计量与测试技术,2016,43(02):14-16+19.
- [6] 陈心东.JJG1119-2015《衡器载荷测量仪检定规程》解读[J]. 中国计量,2016(01):118-122.
- [7] JJG 539-2016, 数字指示秤[S]. 国家市场监督管理总局.
- [8] JJG 1118-2015, 电子汽车衡(衡器载荷测量仪法)[S]. 国家市场监督管理总局.
- [9] LIANG W, YANG X, YAO J, et al. Influence of build-up structure on the output of force transducer build-up system[J]. Measurement, 2019,138(5): 672-680.
- [10] 梁伟,韦铁平,杨晓翔等. 应变片排布位置对柱式力传感器输出影响[J]. 仪器仪表学报, 2019,40(05): 132-143.

作者简介

王秀荣,女,1983年出生,汉族,研究生,福建省计量科学研究院智能测量研究所高级工程师,从事力值计量设备的科研开发,主要是传感器、力标准装置的结构优化设计及力学分析。