

大吨位料罐秤校准装置的研究

□福建省计量科学研究院，国家市场监管重点实验室（力值计量测试），

福建省力值计量测试重点实验室 阙鹏峰

【摘要】料罐秤的示值准确与否直接关系到工业生产的产品质量和生产安全。由于大吨位料罐高度高、体积大，现场通常不具备吊装标准砝码的条件，导致大吨位料罐秤计量校准的难度非常大。本文根据衡器载荷测量仪法的基本原理，设计了一套用于校准最大量程40t的料罐秤的装置。该装置由龙门式反力架、标准载荷测量单元和液压控制系统等部件组成，成功解决了料罐秤的校准难题，可实现40t料罐秤的全量程校准。

【关键词】料罐秤；校准装置；大吨位

文献标识码：B

文章编号：1003-1870（2023）02-0025-05

引言

在工业生产中，通常需要大型的料罐对工业生产的原材料进行储放。例如，在化工生产中，大吨位料罐常用于存储电解液等液体。这些料罐的质量由安装在底部的料罐秤进行计量。料罐秤的示值准确与否，直接关系到工业生产的产品质量和生产安全。但是，由于大吨位料罐高度高、体积大，如图1所示，而且现场通常不具备放置标准砝码的条件，导致对大吨位料罐秤计量校准的难度非常大。目前，大部分料罐秤的计量校准采用砝码法或者替代法，这些校准方法可操作性差，校准效率低下且误差较大。本文根据衡器载荷测量仪法的基本原理，对已投入生产使用的料罐进行改造，将力传感器和油缸组成载荷测量单元，通过智能液压伺服控制系统和软件控制平台，研制出一套料罐秤的校准装置，其测量范围为10~40000kg，MPE： $\pm 4\text{kg}$ ，分度值 $d=0.2\text{kg}$ 。



图1 40t料罐实物图

1 料罐秤称重原理与常见校准方法

1.1 料罐秤称重原理

料罐秤的称重系统主要由称重传感器、传感器接线盒、称重仪表等部件组成。料罐秤的称重原理：料罐的重量通过秤体传递到安装在底部的称重传感

器上，重量信号通过称重传感器转换为相应的电信号，该电信号再经放大电路放大、A/D转换等处理后显示在称重仪表上^[1]。

1.2 料罐秤主要校准方法

目前，料罐秤的校准主要有以下两种方法：

(1) 砝码校准。这是最直接的校准方式。但是，大吨位罐体秤的量程较大，需要标准砝码的数量较多。而且料罐周围通常布满了各种管线，罐体顶部非常高，有些罐体还是密封的，无法吊装进行砝码的加卸载。所以，在实际应用中，用砝码校准是很难实现的。

(2) 替代法校准。JJG539-2016《数字指示秤检定规程》中对标准砝码的替代有如下规定：“当秤在其使用地点进行检定时，可以用替代物(其他质量稳定的载荷)来代替部分标准砝码；若秤的重复性大于 $0.3e$ ，使用的标准码质量至少为最大秤量的 $1/2$ 。若秤的重复性大于 $0.2e$ 但不大于 $0.3e$ ，使用的标准码质量可以减少到最大秤量的 $1/3$ 。若秤的重复性不大于 $0.2e$ ，使用的标准码质量可以减少到最大秤量的 $1/5$ 。”替代法校准虽然可以减少标准砝码的用量，但是依然难以操作。例如，当最大秤量为 $40t$ 时，即使重复性不大于 $0.2e$ 时也至少需要 $8t$ 的砝码，更何况大多数时候是需要 50% 最大秤量($20t$)的砝码去实现校准。很多企业会采用水作为替代物进行校准，但是该方法测量误差大，量值难以溯源^[2]。

2 料罐秤校准装置设计

如前文所述，目前常用的料罐秤校准方法操作难度大，校准效率低。本文参考衡器载荷测量仪法设计一种独立的辅助校准装置，对 $40t$ 量程的料罐秤实现全量程的校准。衡器载荷测量仪法是以力传感器和液压油缸组成标准载荷测量单元，采用智能液压控制系统作为载荷动力源，借助反力辅助装置对电子汽车衡的台面施加标准载荷，从而实现对电子汽车衡量值溯源的检定方法^[3]。

2.1 料罐秤校准装置的整体结构

2.1.1 结构设计。料罐秤通常由四个称重传感器组成。校准装置分别布置在四个称重传感器的上方，整体的结构如图2所示。装置分别由龙门式反力架、力传感器、液压油缸、预埋连接杆等部件组成。其中力传感器型号为RTNC3/10t，精度等级为C3。在安装料罐秤的校准装置前，需要对四个称重传感器支撑柱进行改造，在称重传感器上方的支撑柱上焊接承载板，并且在承载板下方的相应位置安装预埋连接杆，用于安装龙门式反力架^[4]。

其测量原理为：液压油缸和力传感器组成为标准载荷测量单元，采用高精密液压作为载荷动力源将油缸升起，载荷(F_1)通过标准载荷测量单元加载至龙门式反力架。通过反作用力原理，标准载荷测量单元底部对料罐承载板施加标准载荷(F_2)，从而实现对比料罐秤标准载荷的加载。最后，通过对比料罐秤和校准装置的示值，评价其计量性能。

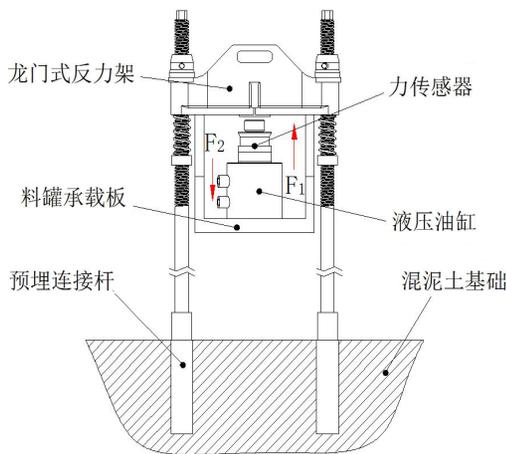


图2 料罐秤校准装置

2.1.2 强度分析。该料罐秤的最大量程为40t，共有四个称重传感器分布在四个支撑柱的底部，所以每个载荷测量单元需要承受的最大载荷约为100kN。该校准装置主要的承载部件为料罐承载板和龙门式反力架，故，着重对这两个部件进行强度分析。承载板材料为Q235，屈服强度为 $2.35 \times 10^8 \text{N/m}^2$ ；龙门式反力架的杆材料为40Cr，屈服强度为 $7.85 \times 10^8 \text{N/m}^2$ ，反力架的横梁材料为球墨铸铁

QT450-10，屈服强度 $3.10 \times 10^8 \text{N/m}^2$ 。通过Solidworks软件中的Simulation功能，对这两个部件进行受力分析，模拟实际使用时固定的方式，对受力区域施加100kN的力。受力分析结果如图3、图4所示，料罐承载板最大应力为 $9.84 \times 10^7 \text{N/m}^2$ ，最大位移为0.23mm；龙门式反力架最大应力为 $2.01 \times 10^8 \text{N/m}^2$ ，最大位移为0.39mm。最大应力均小于材料的屈服极限，变形量较小。

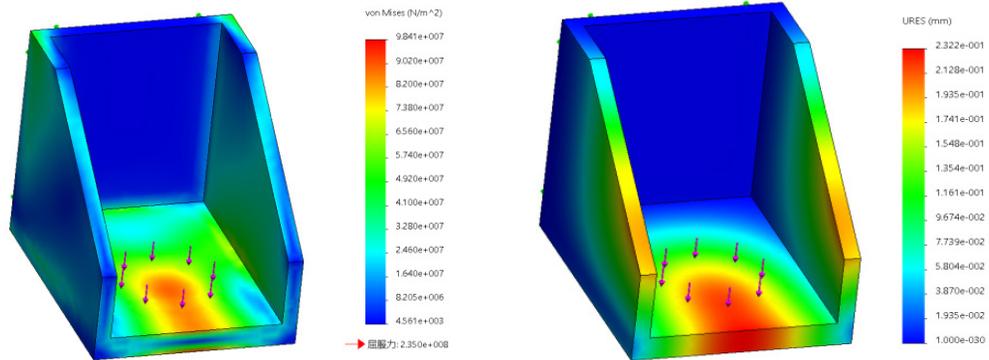


图3 承载板受力分析

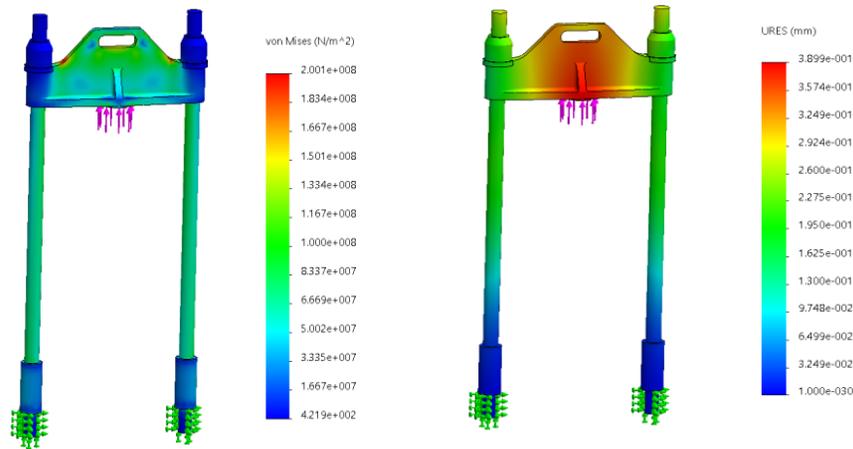


图4 龙门式反力架受力分析

2.2 智能液压控制系统

装置的智能液压控制系统采用双泵联动控制技术。系统采用两组伺服驱动单元，一组控制机构进油的伺服驱动单元，由油泵、电机、电机驱动组成，电机与油泵相连，电机驱动器与电机相连。电

机驱动器与数据采集和控制系统相连；另外一组负责控制机构出油的伺服驱动单元，各模块和进油端的伺服驱动单元类似，如图5所示。控制系统可以同时采集四个标准载荷测量单元的反馈信号，通过电脑端的操控软件控制标准载荷的加卸载^[5]。

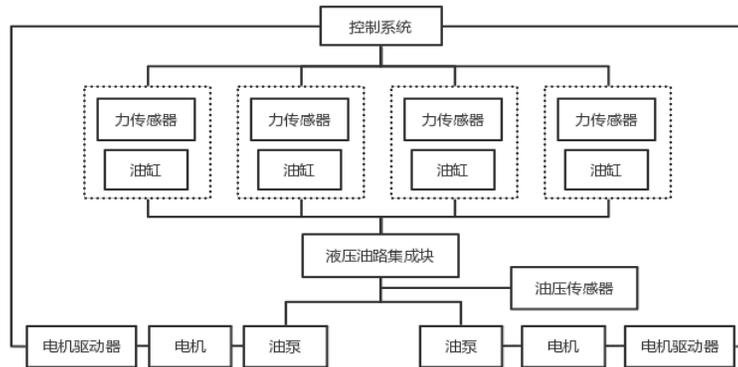


图5 液压控制系统原理图

2.3 操控软件

操控软件采用VisualBasic 编程语言编写，界面如图6所示。软件控制采用自适应PID 控制算法，精准控制载荷点。操控软件可实现参照《JJG539-2016 数

字指示秤》检定规程对料罐秤进行示值误差、重复性等计量性能指标的校准控制。软件具有良好的人机交互界面，功能模块划分清晰，操作界面美观简洁。

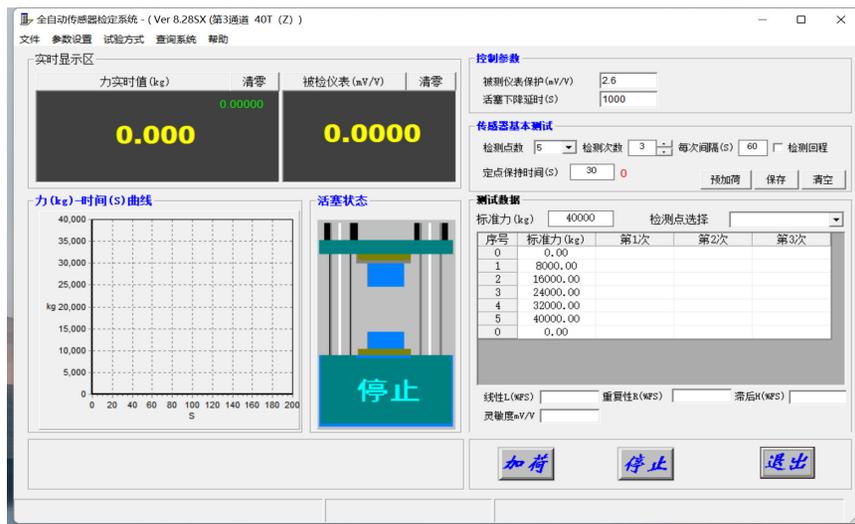


图6 料罐秤校准装置操控软件界面

3 料罐秤校准装置的应用

如图7所示，运用研制的料罐秤校准装置对某企业锂电车间的40t 料罐秤进行标定并校准。该料罐秤的最大秤量为40000kg，分度值为4kg，中准确度级，用户的精度要求为0.1%。标定和校准的方法如下：

(1) 试验前，先安装标准载荷测量单元与龙门式反力架，然后将被测料罐秤和校准装置开机预热30min，每项测试加载结束后，预留足够的恢复时间。

(2) 在第一次测试前，对被测料罐秤预加三次最大秤量载荷（40000kg）。然后，将被测料罐秤和校准装置分别置零，选择三个称量标定点（8000kg，16000kg，32000kg），用标准载荷测量单元组对被测料罐秤施加到相应载荷后进行标定，标定结束后缓慢卸载。

(3) 将标准载荷测量单元组逐步施加载荷至最大秤量（40000kg），然后缓慢卸载。重复测试三次，进行称量示值误差的计算，取三次误差的平均值作

为测量结果计算误差值。

(4) 将标准载荷测量单元组施加荷载至20000kg,

重复测试三次, 待示值稳定后读数, 计算其重复性。



图7 料罐秤校准试验现场

该料罐秤的称量示值误差和重复性的测量结果见表1、表2, 其称量最大允许误差和重复性均符合JJG539-2016《数字指示秤检定规程》中的要求。同时, 该料罐秤的示值相对误差均小于0.1%, 符合该企业的使用要求。本文所研制的料罐秤校准装置满足该企业料罐秤的计量需求。

表1 40t料罐秤称量的示值误差

测试点 (kg)	示值 (kg)	标准载荷 (kg)	修正误差 (kg)	相对误差
80	80	82.0	0	0.000%
2000	2000	2002.8	-0.8	-0.040%
8000	8000	8001.6	0.4	0.005%
16000	16000	16000.8	1.2	0.008%
24000	24000	24000.4	1.6	0.007%
32000	32000	32005.2	-3.2	-0.010%
40000	40000	40007.4	-5.4	-0.014%

表2 40t料罐秤的重复性

测试点 (kg)	次数	示值 (kg)	标准载荷 (kg)	修正误差 (kg)	重复性 (kg)
20000	1	20000	20000.4	1.6	0.8
	2	20000	20000.4	1.6	
	3	20000	20001.2	0.8	

4 结论

本文介绍了一种根据衡器载荷测量仪法的基本原理开发的用于大吨位料罐秤校准的装置, 该装置由龙门式反力架、标准载荷测量单元和液压控制系统等部件组成。该装置成功解决了料罐秤的校准难题, 提高了料罐秤的校准效率, 并且可实现40t 料罐秤的全量程校准。最后, 经过对某企业料罐秤的校准试验, 初步验证了该装置可实现对最大称量为40吨的料罐秤的标定和校准, 符合预期设计目标。

参考文献

- [1] 刘志超. 一种罐体秤示值误差校准装置的研究[J]. 计量技术. 2017 (07): 65-67.
- [2] JJG539-2016 数字指示秤检定规程 [S]. 2016.
- [3] 姚进辉. 采用非砝码检定大型固定式电子衡器的研究[J]. 中国计量, 2011(05):88-90.
- [4] 吴泓. 衡器载荷测量仪法检定龙门式反力装置研究[J]. 市场监管与质量技术研究, 2022 (04):34-37.
- [5] 李海根. 多油路协同控制恒载荷液压控制系统研究[J]. 衡器. 2021, 50(11):9-14.

作者简介

阙鹏峰 工程师, 国家一级注册计量师, 主要研究方向: 力值计量, 机械设计。