

# 称重计量罐测量（校准）系统的设计与实现

□葛锐<sup>1</sup> 徐晓峰<sup>2</sup>

（1 浙江省计量科学研究院；2 江苏省计量科学研究院）

**【摘要】**针对目前称重计量罐必须在线检测，且无大面积承载器（罐体）等平台或空间可以堆放标准砝码，检测过程中基本无法满足大称量、满量程不停机、停产检测费时费力的情况。研究新的方法和标准装置对称重计量罐进行检测，准确获取称重计量罐的计量特性，统一称重计量罐的技术指标。

**【关键词】**称重计量罐；标准装置；计量特性

文献标识码：B

文章编号：1003-1870（2023）07-0032-04

## 引言

对由承载器（料罐、储罐、反应釜等罐体）、称重模块、称重显示仪表等组成的用于液体、固体的称重计量罐校准，目前采用标准砝码来对称重计量罐进行校准。由于称重计量罐属于在线运行设备，必须在线校准，无大面积承载器（罐体）等平台或空间堆放标准砝码，无法满量程校准，且费时费力，以及受到环境等客观条件限制，不能准确可靠地反映出计量性能。为此，亟需研制新的计量标准装置开

展称重计量罐校准，统一称重计量罐的技术指标，加强监督管理。

## 1 工作原理

称重计量罐测量系统工作时，如图1所示。其包括：罐体(1)，吊耳(2)，支脚(3)，标准加载装置单元(4)，称重模块(5)，地脚(6)，所述的测量系统设置多组标准加载装置单元(4)，所述的标准加载装置单元(4)上端与吊耳(2)连接，下端与地脚(6)固定，地脚(6)固定至地面。

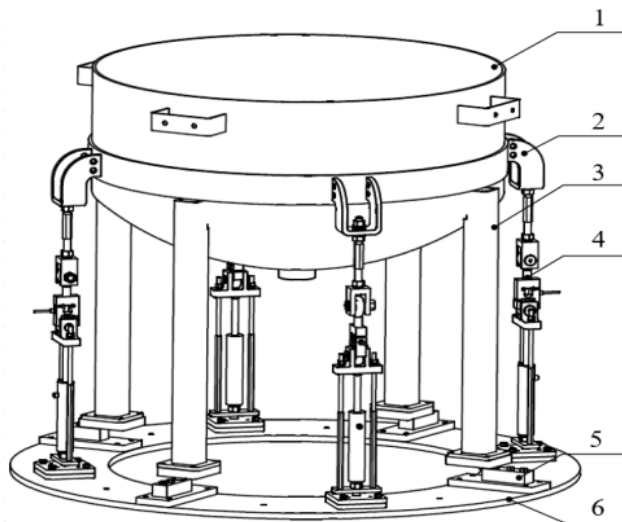


图1 校准系统安装示意图

控制液压系统通过液压油缸的线性运动，从而把标准加载装置单元的整个机构间隙消除，达到逐步把载荷量传递到称重计量罐底部的称重模块上，通过配套称重仪表显示量值，液压油缸可以双向线性运动，实现对称重计量罐加载和卸载。

## 2 测量系统的设计

### (1) 测量原理

以数字称重传感器作为核心单元与加载工装配合，作为标准加载装置对称重计量罐的计量特性进行检测。

称重计量罐的校准采用标准加载装置作为校准用标准器。标准加载装置由准确度为C4的称重传感器和相关工装组成，其结构如图2所示。

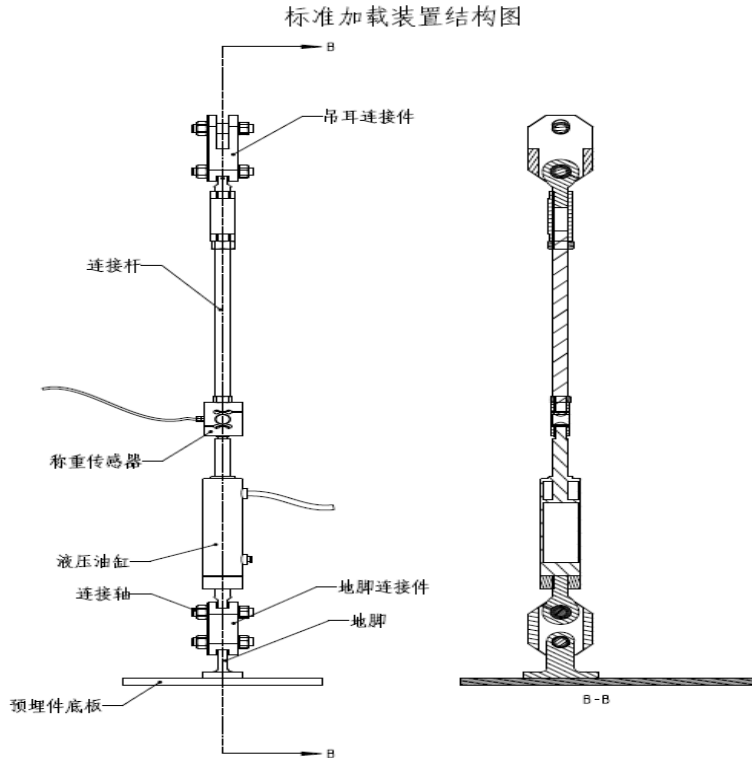


图2 标准加载装置图

### (2) 标准加载装置的计量特性要求

标准加载装置复现的质量值误差应不大于被校准称重计量罐相应载荷允许误差的1/3，其短时稳定性应不大于  $\pm 0.01\%/30s$ 。

标准加载装置和专用受力框架的安装要求：

预埋件应保持水平，水平度偏差应小于 $1^\circ$ ；

预埋件的地平面找平偏差小于2mm；

所有专用受力框架应在同一水平面，高度差小于2mm；

标准加载装置的安装垂直度（对地面）应保持垂直，偏差应小于 $1^\circ$ 。

### (3) 技术方案

将标准加载装置均匀分布安置于承载器（罐体），并与底板和专用受力框架相连接，同时与控制系统联通。液压泵将压力从分压器中同步输入油缸，控制系统控制力保证力的均衡加载，并保持加载的稳定性，称重传感器受到力的作用，通过称重显示器读取数据。

为实现多组标准加载装置单元给定的标准载荷值一致，利用S型称重传感器实时将信号反馈给单片机，多组标准加载装置单元同步工作，采用单片机技术，采集多路AD值，计算换算成数字信号，通

过485 串口通信显示在称重仪表上，根据各个标准加载装置单元的受力状态，输入指令控制各路液压油缸，实现每个标准加载装置单元受力均匀同步运行。

#### (4) 标准加载装置技术指标

称重传感器：准确度C4；

指示仪表：最大检定分度数 $n=10000$ ；

### 3 检测项目和检测方法

#### 3.1 示值误差的测量

称量点的选择：根据料罐的最大校准载荷，选取以下载荷点进行校准：25% 最大校准载荷、50% 最大校准载荷、75% 最大校准载荷、最大校准载荷，或按照用户的要求选取校准载荷点。

检测方法：用标准器对料罐逐级施加标准载荷至最大校准载荷点，分别确定各载荷点的示值误差 $E$ ，用公式（1）进行计算：

$$E_i = I_i - L_i \quad (1)$$

$E_i$ ——各载荷点示值误差，kg 或t；

$I_i$ ——料罐施加标准载荷后的示值，kg 或t；

$L_i$ ——标准值，kg 或t；

#### 3.2 重复性的测量

在重复性条件下，以实际一致的方法用接近50% 最大校准载荷进行一组测量，读数应在料罐加载后达到稳定时读取。如用户有特殊需求，可调整试验载荷测试点。每次加载前应将载荷卸载至零，待料罐读数稳定后再进行加载。

在测量之前，将料罐示值置零。加载试验载荷至少6次。每次加载载荷时，记录示值。测量中每次卸载后，应检查示值。如果显示不为零，可以置零。根据重复性测量点试验载荷，用公式（2）计算相对实验标准偏差 $s$ 作为重复性的表征。

$$s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (I_i - \bar{I})^2} \quad (2)$$

式中：

$s$ ——实验标准偏差；

$I_i$ ——第 $i$ 个载荷显示值；

$\bar{I}$ —— $n$ 个显示值的平均值。

## 4 不确定度分析

### 4.1 测量模型

$$E_i = I_i - L_i$$

式中：

$E_i$ ——各载荷点示值误差，kg 或t；

$I_i$ ——料罐施加标准载荷后的示值，kg 或t；

$L_i$ ——标准值，kg 或t；

### 4.2 不确定度来源分析

不确定度来源主要包括：

- (1) 重复性测量引入的标准不确定度分量 $u_1$ ；
- (2) 料罐分辨力引入的标准不确定度分量 $u_2$ ；
- (3) 标准器引入的标准不确定度分量 $u_3$ ；

### 4.3 标准不确定度评定

- (1) 重复性测量引入的标准不确定度分量 $u_1$

$$s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (I_i - \bar{I})^2}$$

$u_1 = s$

- (2) 料罐分辨力引入的标准不确定度分量 $u_2$

料罐分辨力为 $d$ ，假设服从均匀分布， $k = \sqrt{3}$ ，则其标准不确定度 $u_2$ 为：

$$u_2 = d / 2\sqrt{3}$$

- (3) 标准器引入的标准不确定度分量 $u_3$

标准器校准证书中给出的扩展不确定度为 $U$ ，包含因子为 $k$ ，则

$$u_3 = U / k$$

### 4.4 合成标准不确定度

上述标准不确定分量均不相关，则合成不确定度为( $u_1$ 与 $u_2$ 取大者)：

$$u_c = \sqrt{u_1^2 + u_2^2 + u_3^2}$$

### 4.5 扩展不确定度

取包含因子 $k=2$ ，则扩展不确定度按下式计算：

$$U = 2u_c$$

## 5 测量不确定度评定示例

### 5.1 称重计量罐校准概况

采用标准器，对一台最大秤量约为20t、分度值为20kg的料罐进行校准，标准器测量范围为0~24t，

标准器引入的不确定度为  $U=4\text{kg}$  ( $k=2$ )。

5.2 料罐校准示值误差标准不确定度评定

以20t 载荷测量点为例评定。

5.3 重复性测量引入的标准不确定度分量 $u_1$

采用A类评定方法,在重复性条件下,施加20t 载荷6次,料罐初始示值6次都为0,施加标准载荷后示值分别为20020kg、20040kg、20060kg、20060kg、20060kg、20040kg。

$$u_1 = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (I_i - \bar{I})^2} = 16.4\text{kg}$$

5.4 料罐分辨力引入的标准不确定度分量 $u_2$

料罐分辨力 $d=20\text{kg}$ ,服从均匀分布,  $k = \sqrt{3}$ , 则其标准不确定度 $u_2$ 为:

$$u_2 = d/2\sqrt{3} = 5.8\text{kg}$$

5.5 标准器引入的标准不确定度分量 $u_3$

$$u_3 = U/k = 2.0\text{kg}$$

5.6 合成标准不确定度计算( $u_1$ 与 $u_2$ 取大者)

$$u_c = \sqrt{u_1^2 + u_3^2} = 16.6\text{kg}$$

5.7 扩展不确定度 取包含因子 $k=2$ , 则扩展不确定度为

$$U=2u_c=34\text{kg}$$

## 6 结语

目前,称重计量罐在线检测存在的客观条件缺陷,通过调研分析称重计量罐的原理结构,主要技术参数及称重方法,采用标准加载装置施加标准载荷的系统设计,实现了对称重计量罐的检测校准,并且为起草“计量罐称重系统校准规范”打下基础,促进称重计量罐溯源的规范化和标准化,对称重计量罐加强监督管理,引导称重计量罐规范检测,具有重要的意义。

## 参考文献

- [1] 刘伟等 JJG 539-2017《数字指示秤》[S].北京:中国标准出版社,2017.
- [2] 余松青等 JJF 1911-2021《大量程散料料仓称重装置》[S].北京:中国标准出版社,2021.
- [3] 池辉等 JJG 1118-2015《电子汽车衡(衡器载荷测量仪法)》[S].北京:中国标准出版社,2015.

## 作者简介

葛锐,高工,全国质量密度计量技术委员会委员,计量标准国家一级考评员,研究方向为力学计量。