

doi: 10.11823/j.issn.1674-5795.2020.05.08

一种立式磁致伸缩液位计校准装置的研制

乔磊, 孙安斌, 高廷

(航空工业北京长城计量测试技术研究所, 北京 100095)

摘要: 作为一种高精度液位测量装置, 磁致伸缩液位计应用日渐广泛。针对现有磁致伸缩液位计校准装置存在的操作复杂、设备占地面积大、精度相对较低等问题, 设计了一种立式磁致伸缩液位计校准装置, 采用精密光栅尺作为测量标准, 应用机械定位方法实现液位计的快速装调, 采用竖直导轨系统自动实现浮子的上下定点移动, 通过专用控制软件实现液位计的自动精确测量。对该装置进行测量不确定度评定, 证明其具有很好的准确性与可靠性, 可有效满足紧凑空间下测量范围为 0~2 m 的磁致伸缩液位计的校准需求, 具有技术推广价值。

关键词: 磁致伸缩液位计; 校准装置; 光栅尺;

中图分类号: TB92

文献标识码: A

文章编号: 1674-5795(2020)05-0043-05

Development of a Vertical Calibration Device for Magnetostrictive Liquid Level Meter

QIAO Lei, SUN Anbin, GAOting

(Changcheng Institute of Metrology and Measurement, Beijing 100095, China)

Abstract: As a high-precision liquid level measurement device, magnetostrictive liquid level gauge is widely used. Aiming at the problems existing in the magnetostrictive liquid level meter calibration device, such as complicated operation, large equipment area and relatively low accuracy, a vertical magnetostrictive liquid level meter calibration device is designed. A high-precision grating ruler is used as the measurement standard, the mechanical positioning method is used to realize the rapid adjustment of the liquid level meter, and a vertical guide rail system is used to automatically realize the up and down fixed-point movement of the float. The automatic and accurate measurement of liquid level meter is realized by special control software. The measurement uncertainty of the device is evaluated, which proves that the device has good accuracy and reliability. It can effectively meet the calibration requirements of magnetostrictive liquid level gauge with a measurement range of 0~2 m in compact space, and has the value of technology promotion.

Key words: magnetostrictive liquid level meter; calibration device; grating ruler

0 引言

磁致伸缩液位计是一种常用于炼油厂、油库、石化企业库区储罐、油罐车等场合测量存储介质液位的设备^[1], 主要应用于液罐的液位工业计量和控制, 相较于其他类型的液位计量系统, 具有测量精度高、可靠性好、安装维护简单等优势^[2-3]。

现有液位计校准手段众多^[4-5], 校准装置以卧式设计为主, 这类装置容易实现, 但存在测量过程复杂、设备占地面积大、现场条件要求高、精度相对较低等问题。本文研制了一种以精密光栅尺作为测量标准的磁致伸缩液位计校准装置, 该装置采用立式设计, 利用电机驱动浮子沿竖轴移动, 通过计算机分析处理浮子的实际位移值和液位计输出值数据, 可对测量范围为 0~2 m 的磁致伸缩液位计或其他浮子式液位计进行校准。

1 工作原理

1.1 磁致伸缩液位计工作原理

磁致伸缩液位计利用磁致伸缩的物理特性进行液位测量^[1], 去除了介质的介电常数、温度或压力变化等影响因素。电路单元沿非磁性传感管内的磁致伸缩线发射电流脉冲, 在磁致伸缩线周围形成环形磁场, 液位浮子内的永久磁钢自带的磁场可以令磁致伸缩线沿轴向磁化。当电流磁场和磁铁磁场叠加时, 浮子位置处的磁致伸缩线将产生一个瞬时扭力, 同时产生沿磁致伸缩线向两端传送的返回脉冲。变送器电子单元接收向顶端返回的脉冲波, 根据脉冲波传播速度恒定原理, 电子单元只需通过计算起始脉冲和返回脉冲的时间差, 即可得出浮子中磁钢的位置, 从而获得较为精确的液位值。

输出的电流信号与液位的转换公式为

$$I_{\text{输出}} = \left(\frac{16D_{\text{液位}}}{D_{\text{总}}} + 4 \right) \text{mA} \quad (1)$$

式中: $I_{\text{输出}}$ 为输出电流; $D_{\text{液位}}$ 为液位位置; $D_{\text{总}}$ 为总液位量程。

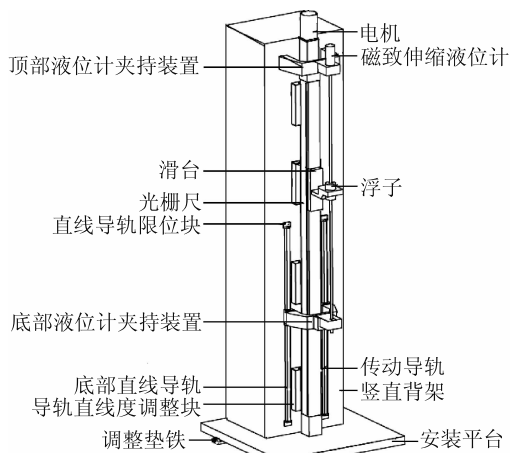
1.2 校准需求

为满足现场空间紧凑条件下的校准需求,研制的磁致伸缩液位计校准装置采用立式设计方案。为满足简单方便、高效快捷的应用要求,本装置采用比较法进行测量,以光栅尺做为标准,并采用非金属装置对磁致伸缩液位计进行夹持,保证装置操作的便捷性。根据实际应用需求,设计该装置量程为2 m,可对测量范围为0~2 m的磁致伸缩液位计进行校准。

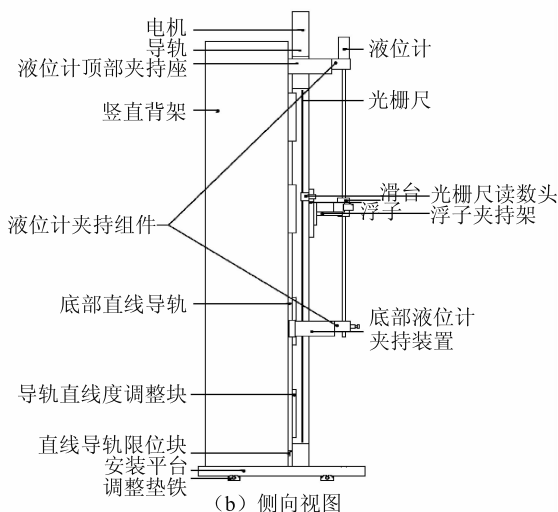
2 结构设计

2.1 总体结构

磁致伸缩液位计校准装置的总体结构如图1所示,主要包括竖直背架支撑系统、液位计夹持调整系统、浮子运动控制系统、辅助导轨系统和测量系统。



(a) 立体结构图



(b) 侧向视图

图1 校准装置结构图

使用时,首先通过装置顶部和底部的夹持单元将磁致伸缩液位计安装到位,并将浮子固定在移动滑台上,使浮子可以与滑台同步移动。然后利用电机驱动滑台移动,移动量可通过光栅测量得出,而浮子的同步移动使磁致伸缩液位计的电流输出发生变化,根据式(1)计算得出浮子所在液位位置的变化,与光栅的标准值进行比较,实现对液位计的校准。

2.2 竖直背架支撑系统

竖直背架支撑系统包括安装平台、竖直背架和调整垫铁。竖直背架通过螺栓固定在安装平台上,用于固定支撑传动导轨和底部直线导轨。安装平台底部设计有调整垫铁,调整垫铁放置于地基上,分别置于平台四角处,通过调整螺栓实现设备调平。

2.3 液位计夹持调整系统

液位计夹持调整系统包括顶部、底部液位计夹持装置。顶部液位计夹持装置固定在竖直背架精加工面上,底部液位计夹持装置固定在底部直线导轨滑块上,可上下滑动。顶部、底部液位计夹持装置分别包含一个液位计夹持组件,用于固定液位计的上下两端。安装过程中,应保证两个液位计夹持尼龙组件中心于竖直方向重合,且二者连线与传动导轨运动方向平行。

2.4 浮子运动控制系统

浮子运动控制系统包括传动导轨、滑台、导轨直线度调整块、电机和传感器。导轨直线度调整块沿竖直背架的精加工面按竖直方向依次固定布置,用于安装固定传动导轨并调整导轨直线度。电机安装于传动导轨顶端,带动安装在滑台上的浮子沿传动导轨运行方向移动。

2.5 辅助导轨系统

辅助导轨系统主要由底部直线导轨、直线导轨限位块构成,底部直线导轨安装在竖直背架精加工面上,与导轨传动方向平行且对称布置,上下两端分别设置直线导轨限位块。底部直线导轨上安装有滑块,用于固定底部支撑架两支脚。

2.6 测量控制系统

测量控制系统包括光栅尺、温湿度传感器、控制柜和计算机。光栅尺安装在传动导轨一侧,用于记录位移。控制柜分别连接电机、读数头、温湿度传感器和限位传感器,用于控制滑台手动、自动、循环等不同运动模式。计算机连接控制柜,内装控制与数据分析处理软件,主要用来实现测量时的位置控制、光栅尺数据和液位数据采集与处理、温度数据采集与处理、

数据管理与报告生成等功能。

3 测量过程

3.1 液位计安装调整

在校准磁致伸缩液位计之前,需进行相关位置调整,以保证设备测量精度。首先通过参照放置在安装平台上的电子水平仪来调整装置整体水平,通过调整安装平台底部的垫铁来实现安装平台的水平调整,从而保证液位计在校准过程中处于铅垂于水平面的状态。

然后调整顶部与底部液位计夹持装置的相对位置,使二者的垂直基准面与竖直背架基准面之间的距离相同,保证处于同一铅垂面垂直于安装平台。竖直背架与液位计夹持组件基准面俯视示意图如图2所示。

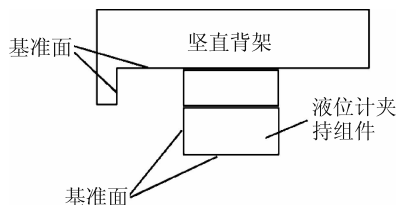


图2 竖直背架与液位计夹持组件基准面俯视示意图

安装时,首先利用顶部液位计夹持装置紧固夹持磁致伸缩液位计顶部;然后沿导轨方向调整底部液位计夹持装置的位置,对磁致伸缩液位计尾端进行紧固夹持,使液位计与传动导轨方向平行;最后用浮子夹持架固定浮子,保证磁致伸缩液位计在浮子中间位置。

3.2 液位计校准测量

通过控制柜控制电机驱动传动导轨上的滑台沿传动导轨上下移动,在滑台移动过程中通过读数头实时读取并记录光栅尺的位置变化,以确定滑台沿传动导轨方向的位移大小。通过记录的光栅尺位置变化得出浮子沿竖直方向位移量的大小,用计算机将其与磁致伸缩液位计自身测量浮子位置的变化量进行比较,同时对温湿度进行采集用以补偿,即可实现对磁致伸缩液位计的校准功能。

检测工作通过控制与数据分析处理软件进行,软件主要包括光栅尺测长模块、液位计数据采集模块、环境监控模块、直线运动控制模块、数据管理模块等。测量系统模块关系如图3所示。

通过应用软件可准确且高效地实现液位计测量时的位置控制、光栅尺数据和液位计数据采集与处理、温度数据采集与处理、数据管理与报告生成等功能。

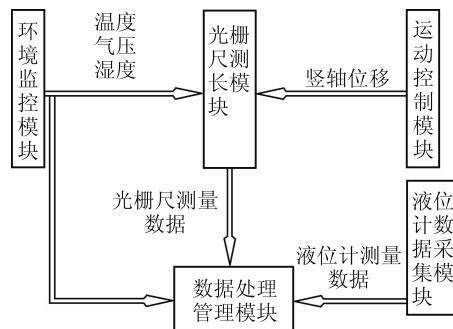


图3 测量系统模块关系图

4 不确定度分析

4.1 液位计安装垂直度对测量误差影响分析

磁致伸缩液位计在校准装置上安装的垂直度对整个校准过程的测量误差有很大影响,理论上调平后浮子应沿垂直于水平面的铅垂线方向上下运行,实际安装固定后液位计轴向相对于铅垂线的夹角(如图4所示)会导致测量结果产生误差^[6]。

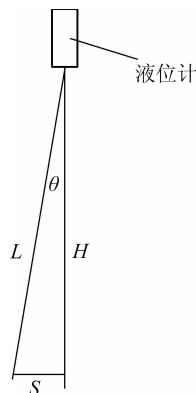


图4 液位计轴向与铅垂线的夹角示意图

尽管机械装配精度、水平调整人为操作、光栅尺安装位置等因素依然会带来误差,但考虑到这些误差相对较小,有些可以通过补偿方式进行计算,因此在考虑夹角问题时,假定其他参量均为理想数值。设此时液位计轴向与铅垂线的夹角为 θ 。

产生的偏移量 S 和处于测量范围内的量程 H 与实际量程 L 的关系为

$$S = L \times \sin\theta \quad (2)$$

$$H = L \times \cos\theta \quad (3)$$

当量程为最大值2 m时,最大偏移量小于等于20 mm,即

$$S = L \times \sin\theta \approx 20.00 \text{ mm}$$

经过计算 $\theta \approx 0.57^\circ$,对于0~2 m量程范围内的磁致伸缩液位计而言,实际量程 $L = 2000 \text{ mm}$,因此可以

计算出处于测量范围内的量程

$$H = 2000 \text{ mm} \times \cos 0.57^\circ = 1.999.9 \text{ mm}$$

由计算公式可知, 校准装置此时的最大偏差为 0.1 mm。

对于 0~2 m 量程范围内的磁致伸缩液位计而言, 由于顶部液位计夹持装置结合端面机械配合带来的偏差角小于 0.3° , 因而依靠其自身重即可保证铅垂线夹角在要求范围内。但为进一步提高测量精度, 避免因人工安装产生的误差问题, 使用底部液位计夹持装置对磁致伸缩液位计尾端进行固定, 该装置可沿底部直线导轨上下移动, 适应夹持磁致伸缩液位计的尾端。

采用图 2 所示的双基准面对准法对上下两个夹持装置进行对准, 使二者处于同一铅垂轴向上, 即控制了磁致伸缩液位计轴向与铅垂线的夹角。机械对准偏差按 $\pm 1 \text{ mm}$ 计算, 可得出此时

$$\theta = \arcsin(S/L) = \arcsin(2/2000) \approx 0.057^\circ$$

$$H = L \times \cos\theta \approx 1999.999 \text{ mm}$$

此时由安装垂直度带来的偏差为 0.001 mm。

4.2 不确定度计算

本装置主要针对量程范围为 0~2 m, 测量误差范围为 $\pm 1 \text{ mm}$ 的液位计进行相关校准工作。其误差来源主要有以下几方面^[4-6]: 光栅尺测量精度引入误差、阿贝误差、液位计安装垂直度误差、平台调平误差、液位计测量重复性和分辨力带来的误差, 以及来自现场环境的其它误差。不确定度分量^[7-8]计算如下:

1) 光栅尺精度不确定度分量

光栅尺本身的测量精度为 $15 \text{ }\mu\text{m}$, 按均匀分布计算其不确定度分量

$$u_1 = \frac{15 \text{ }\mu\text{m}}{\sqrt{3}} \approx 0.009 \text{ mm}$$

2) 阿贝误差引起的不确定度分量

由液位计安装位置产生的阿贝误差为 0.05 mm, 按均匀分布计算其不确定度分量

$$u_2 = \frac{0.05 \text{ mm}}{\sqrt{3}} \approx 0.029 \text{ mm}$$

3) 安装垂直度误差不确定度分量

通过调整顶部和底部的夹持装置控制液位计本身的安装垂直度误差, 计算其不确定度分量时予以适当放大, 按 0.04 mm 且均匀分布计算其不确定度分量

$$u_3 = \frac{0.04 \text{ mm}}{\sqrt{3}} \approx 0.023 \text{ mm}$$

4) 平台调平误差不确定度分量

采用水平仪调平误差为 $\pm 0.1^\circ$, 换算成液位计测

量误差为 0.003 mm, 按均匀分布计算其不确定度分量

$$u_4 = \frac{0.003 \text{ mm}}{\sqrt{3}} \approx 0.002 \text{ mm}$$

5) 液位计测量重复性不确定度分量^[9]

液位计本身的重复性为 0.001%, 其不确定度分量

$$u_5 = 0.001\% \times 2000 \text{ mm} = 0.020 \text{ mm}$$

6) 液位计分辨力不确定度分量

由于光栅尺分辨力较高, 可忽略其影响, 考虑液位计本身的分辨力为 0.04 mm, 按均匀分布计算其不确定度分量

$$u_6 = 0.04 \text{ mm} \times 0.29 = 0.012 \text{ mm}$$

7) 其它误差不确定度分量

来自现场环境的冲击振动、磁场等因素带来的误差, 设为 $\pm 0.1 \text{ mm}$, 按均匀分布计算其不确定度分量

$$u_7 = \frac{0.1 \text{ mm}}{\sqrt{3}} \approx 0.058 \text{ mm}$$

考虑到已对温湿度进行补偿, 因而温湿度导致的不确定度分量忽略不计。

4.3 合成标准不确定度与扩展不确定度

各不确定度分量之间相互独立, 按照标准不确定度合成原理^[10], 该装置合成标准不确定度为

$$u_c = \sqrt{u_1^2 + u_2^2 + u_3^2 + u_4^2 + u_5^2 + u_6^2 + u_7^2} = 0.073 \text{ mm}$$

则其扩展不确定度为

$$U = k \times u_c = 2 \times 0.073 \approx 0.15 \text{ mm} (k=2)$$

经计算, 满足校准需求, 其各项指标见表 1。

表 1 磁致伸缩液位计校准装置技术指标

参量	指标/mm
光栅尺测量精度引入误差引起不确定度分量	0.009
阿贝误差引起不确定度分量	0.029
液位计安装垂直度引起不确定度分量	0.023
平台调平误差引起不确定度分量	0.002
液位计测量重复性引起不确定度分量	0.020
液位计分辨力引起不确定度分量	0.012
其它误差引起不确定度分量	0.058
合成标准不确定度	0.073
扩展不确定度	0.15
量程	0~2000

5 结论

研制了一套立式磁致伸缩液位计校准装置, 该装置以高精密光栅尺作为测量标准, 采用机械定位方法实现液位计的高效安装及调整, 通过竖直导轨系统自

动实现浮子的上下定点移动,利用专用控制软件实现液位计的准确测量,可有效满足测量范围为 $0\sim 2\text{ m}$ 的磁致伸缩液位计的校准需求。对装置进行测量不确定度评定,其扩展不确定度为 0.15 mm ,总之,装置具有准确性高、易操作、设备占地面积小等优点,有较高实际应用价值。

参 考 文 献

- [1] 孙德利,王长河.磁致伸缩液位计在罐区储罐上的应用[J].自动化博览,2016(12):96-97.
- [2] 邓君,白雪莲.基于磁致伸缩液位计的油罐监测系统[J].中国仪器仪表,2014(8):19-22.
- [3] 于秀丽,杨瑞江.磁致伸缩液位计在油品储运系统中的应用[J].甘肃科技,2002(8):101.
- [4] 邵学君,傅青喜,李学宝,等.磁致伸缩液位计测量装置的研制[J].工业计量,2014,24(1):24-27.
- [5] 王慧源,王慧勇,裴国林,等.磁致伸缩液位计检测装置:205002834[P].中国,2016-01-27.
- [6] 王德利.磁致伸缩液位计原位校准技术的研究[D].2018.
- [7] 段晖,罗永红.计量检测中不确定度和误差的分析[J].计量与测试技术,2015,42(5):39-41.
- [8] 马江峰,柏航.检测结果的测量不确定度评定[J].计量与测试技术,2015,42(9):65-67.
- [9] 马立军,郭绍忠.磁致伸缩液位计的研究与应用[C]//石化产业创新·绿色·可持续发展——第八届宁夏青年科学家论坛石化专题论坛论文集.2012,543-545.
- [10] 沈乐书.大量程液位计远程校准系统研究[D].杭州:中国计量大学,2016.

收稿日期:2020-08-24;修回日期:2020-09-07

作者简介



乔磊(1989-),男,工程师,硕士,主要研究方向为大尺寸几何量及相关机械设计。2011年毕业于北方工业大学机械设计制造及自动化专业,获工学学士学位;2014年毕业于北京科技大学机械工程专业,获工学硕士学位。