

# 全自动液压扭矩扳手校准装置的设计研究

□张雪梅 阮秋实 王涛

江苏省计量科学研究院（江苏省能源计量数据中心）

**【摘要】**本文提出了一种全自动液压扭矩扳手校准装置的设计方案，包括硬件和软件设计。通过对精密液压驱动系统进行闭环控制，驱动被校液压扳手精密加载，同时采集标准扭矩传感器和液压压力的精密数据，实现校准过程中全自动加载与数据采集处理，以实现现场校准液压扳手更加快速、高效、便捷、安全的目的。

**【关键词】**液压扭矩扳手；校准装置；设计

文献标识码：A 文章编号：1003-1870（2026）02-0013-03

## Research on Design of A Fully Automatic Hydraulic Torque Wrench Calibration Device

**【Abstract】** This paper proposes a design scheme for a fully automatic hydraulic torque wrench calibration device, including hardware and software design. By implementing closed-loop control on the precision hydraulic drive system, the hydraulic wrench under calibration is precisely loaded, and at the same time, the precise data of the standard torque sensor and hydraulic pressure are collected. This enables fully automatic loading and data acquisition and processing during the calibration process, achieving faster, more efficient, convenient, and safer on-site calibration of hydraulic wrenches.

**【Keywords】** hydraulic torque wrench; calibration device; design

### 引言

大型扭矩类计量仪器的性能将直接影响到风电、船舶、飞机、汽车等行业的产品及装配质量。在影响装配性能指标的诸多参数中，控制武器装备中各类螺栓、螺母、螺钉等螺纹副的拧紧扭矩达到技术要求，是影响装配性能的关键。重要的螺纹副在装配拧紧过程中，均有明确的输入拧紧扭矩值的要求，从而使螺纹副装配达到足够的预紧力，以避免出现连接松动，或是出现预紧力过大造成螺纹副被拉伸变形损坏的现象。如果输入扭矩没有达到设备的设计要求，则很可能发生严重的事故，例如对船舶、风电等大型设备，螺纹副拧紧扭矩控制是重中之重。对于柴油

发动机、轴系等重要部件的安装而言，都严格规定了螺纹副拧紧扭矩值，舰用柴油机缸体的螺纹副需要特别培养技术人员专人操控，如不达到标准要求，不仅影响设备性能，甚至将会引起严重的事故。

为了确保这些扭矩类仪器量值的准确可靠，每年需要对大型扭矩仪进行定期检定或校准。船舶及风电等各类制造企业较多，有大量用于设备安装、调试及检测的大型扭矩仪器，如液压扳手、大型扭力扳手及扭矩仪。但液压扳子和扭矩倍增器等扭矩设备的结构形式多种多样，因此，应用面广、应变能力、扭矩量程大的液压扭矩扳手全自动校准装置（以下简称装置）的设计研制十分必要。

项目来源：  
江苏省市场监督管理局科研项目KJ2024042  
江苏省市场监管重点实验室（负荷传感器计量）

## 1 技术路线

本文所述全自动液压扭矩扳手校准装置由机架、精密液压驱动系统、标准扭矩传感器、电液伺服控制系统（以下简称电控系统）与软件组成。通过对精密液压驱动系统进行闭环控制，驱动被校液压扳手获得精密加载，同时采集标准扭矩传感器感知数据和液压扳手压力数据，预期实现整个校准过程中力值全自动加载与数据自动采集处理功能，从而实现液压扳手现场快速校准，耗时短、安全性高。

### 1.1 机械结构设计

机械结构由机架、精密液压驱动系统、标准扭矩传感器三部分组成，机械结构设计的第一要点是保障安全性。在检测过程中，由于标准扭矩传感器和液压扳手固定机构承受极大的反作用力，固定标准扭矩传感器的台面必须能够承受设计测量上限的扭力、以及固定机构的弯矩。机架部分在保障工作安全性和计量稳定性的前提下，需进行轻量化、紧凑化设计，以实现现场检测需求。为了保障装置的量值可溯源，标准扭矩传感器需要设计为可拆卸。为了保证对被检器具的兼容性，被检器具固定机构需要考虑后期可调整尺寸。为了提高普适性，整套装置需控制尺寸和重量，便于运输且电源适配。

作为关键测量标准的标准扭矩仪，采用17-4PH弹性体材质，整体结构十分紧凑，具有抗弯性，可

有效克服工作时造成的弯矩影响，便于现场使用。目前已经突破了大量程、快速响应等技术难题，可选择满足液压扭矩扳手测量的不同等级测量标准。标准扭矩传感器可选用成熟的抗弯型号，消除或减少弯矩带来的系统误差，可有效提高装置的测量准确度。而精密液压驱动系统在液压千斤顶检测技术的推动下，已经可提供相当精确的液压压力稳定控制。

### 1.2 电控系统及软件设计

电控系统用于对精密液压驱动系统进行闭环控制，对被校液压扳手精密加载力值，并通过标准扭矩传感器实现数据采集。精密液压驱动系统在电控系统的控制中应尽可能稳定在设定压力值处，以保证整个装置的准确性，而标准扭矩传感器将在压力稳定的状态下感知足够的扭矩数据，以使被测值尽量接近真值。

软件界面需要简洁友好，易操作，不易产生歧义。压力数据和扭矩数据可实时显示，可以被记录、保存，可自动生成“压力—扭矩”线图和表格，拟合出校准方程。智能化软件的作用是在整个检测过程中对电控系统全自动加载、卸载实施控制，并进行数据处理与分析。

电控系统及软件的逻辑设计需符合液压扭矩扳手的工作原理、计量性能指标要求、合理的定向设计。

### 1.3 技术路线图（如图1）

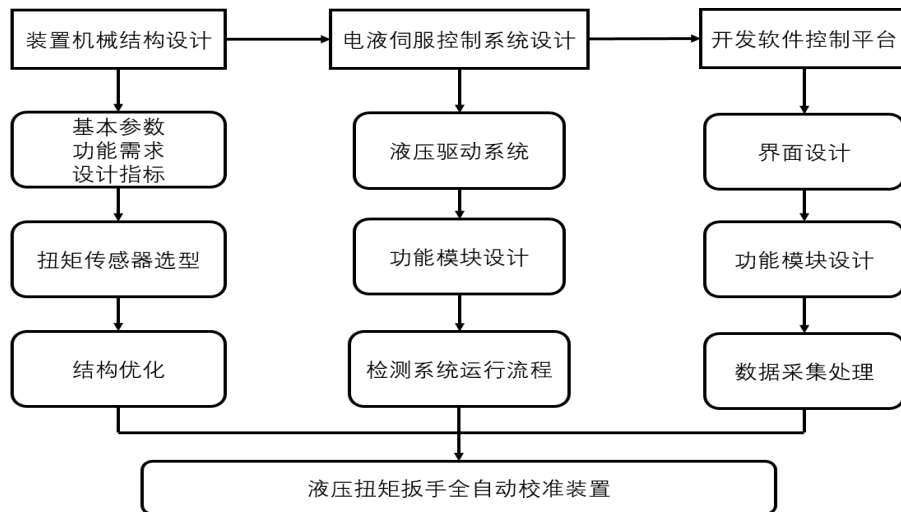


图1 技术路线图

## 2 关键技术

### 2.1 高响应频率的扭矩校准技术

标准扭矩传感器是该装置的核心部件，其准确性直接影响装置的性能。其中，传感器的响应频率

是其准确性的关键参数，而传统的传感器无法准确考核响应频率。液压扳手工作时是一个扭矩量值动态变化的过程，需要标准扭矩仪具备准确的快速响应特性，保证扭矩量值能快速响应变化量，保障校准装置的准确性。设计标准扭矩传感器时，通过仿真分析，兼顾传感器结构与固有频率之间的相关性，保证传感器的响应频率，并采用负阶跃动态扭矩校准装置进行验证响应时间，从而实现标准扭矩传感器响应频率的定量化考核，满足液压扳手在实际工况中的使用要求。

## 2.2 全自动的智能校准技术

全自动液压扭矩扳手校准装置的校准软件主要由计量检测数据处理模块、系统执行控制模块与监测控制模块三部分组成。计量检测数据处理模块的作用：对数据及时分析处理，实时图表分析重复性、示值误差等各项指标，各类符合规程的检测校准报告与原始记录生成。系统执行控制模块的作用：上位软件控制全自动液压扭矩扳手校准装置的全套电控系统，使装置按照相应的规程执行测量，同时对装置的运行进行系统的流程控制。监测控制模块的作用：实时采集监测传感器的数据，提供监测数据显示与报警，确保装置的运行安全性与可靠性。

传统上的液压扳手校准采用手动方式，存在较大安装误差、人工误差，且操作效率非常低下，不适合现场校准。设计的液压扳手全自动校准装置通过以上三个软件模块，采用PID闭环控制技术，将实现液压压力与扭矩值的精准控制，整个校准过程高度自动化、智能化，节省人力资源，能实现数据自动处理、并自动生成校准报告，提高液压扳手的校准效率。不但适用于实验室环境，而且适用于现场。

## 2.3 整体优化的工作场景

整套装置自身具有良好的安全性，对被检仪器具有极佳的兼容性，大大节省了设备资源。且使用场景不仅适用于实验室环境，也适用于现场校准。装置可在国内计量系统推广应用，广泛开展校准工作，准确获取液压扭矩扳手的计量特性、统一液压扭矩扳手的技术指标，加强液压扭矩扳手监督管理，促进液压扭矩扳手规范化校准，为船舶工程、石油化工、风电等应用大扭矩仪器的行业提供快速、高效、安全的现场计量技术服务。

## 3 工作流程

图2是根据上述技术路线设计的装置模型图。

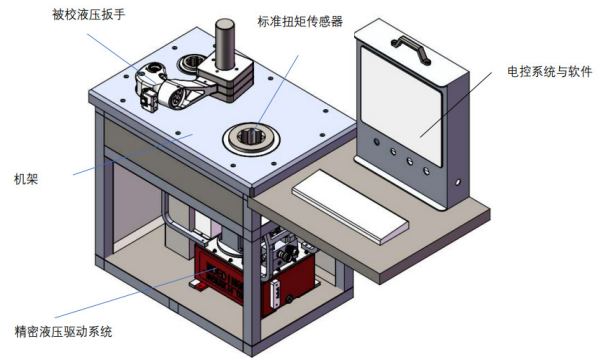


图2 装置设计模型

装置的工作流程如下：待检液压扳手将在接好油管后接入已清零的标准扭矩传感器。液压驱动系统将从零压力开始，以一个合理的速度加压，标准扭矩传感器此时可以低速采集数据。当压力检测装置检测到压力接近设定值时，液压驱动系统将进行精密控制，压力值将被以最小的波动幅度控制在设定值。与此同时，标准扭矩传感器将密集采集实时数据，依次加压至后续的设定校准点，完成全部校准点测量后，液压驱动系统泄压。对整套装置进行复现性、重复性试验，以保证其计量特性。

## 4 结语

随着我国工业体系的不断完善，作为法定计量检定机构，有职责和使命研制满足社会检测需求的高水平测试装置。而建立全自动液压扭矩扳手校准装置，第一，将为各类大型设备的安装、维修保养等过程中必须使用的螺纹副装配扭矩专业工具赋予更加精准的扭矩标准值，从而有效避免因为扭矩量值不准确导致工业上装配质量的下降甚至安全事故。第二，将为多种型号尺寸不一的扭矩类仪器提供兼容性校准服务，及时响应现场校准需求，保障和促进工业快速发展。第三，全自动化的智能控制、数据采集，将为实验室的数字化转型打下良好基础，在数据应用领域开拓仪器综合质量分析，疲劳寿命分析，维保建议提供等增值服务。

## 作者简介

张雪梅，高工，国家一级计量标准考评员。研究方向：力学计量。