

# Research on a New Type of Wireless Pole Deflection Measurement System

Xiaopeng Yu<sup>1</sup>, Yekai Huang<sup>1</sup>, Shengxi Dai<sup>1</sup>, Xiao Ma<sup>1</sup>, Junrong Ding<sup>2</sup>

<sup>1</sup>State Grid Jinhua Electric Power Supply Company, Jinhua Zhejiang

<sup>2</sup>Jinhua Electricity Transmission Engineering Co., Ltd., Jinhua Zhejiang

Email: 522455891@qq.com

Received: June 1<sup>st</sup>, 2019; accepted: Jun. 21<sup>st</sup>, 2019; published: Jun. 28<sup>th</sup>, 2019

---

## Abstract

A new type of wireless pole deflection measurement system is developed in this paper to solve the problems including complex operation, disjointed wiring and cumbersome data processing of traditional concrete pole deflection detection equipment. The measuring system has the advantages of simple structure, strong portability, convenient operation and intuitive data, which greatly improves the detection efficiency and reduces the operational risk. The deflection measurement system can meet the expected test requirements and has a broad prospect in engineering applications.

## Keywords

Concrete Pole, Deflection Measurement, Wireless Transmission

---

# 新型无线式电杆挠度测量系统研究

俞晓鹏<sup>1</sup>, 黄晔凯<sup>1</sup>, 代盛熙<sup>1</sup>, 马 骁<sup>1</sup>, 丁俊荣<sup>2</sup>

<sup>1</sup>国网金华供电公司, 浙江 金华

<sup>2</sup>金华送变电工程有限公司, 浙江 金华

Email: 522455891@qq.com

收稿日期: 2019年6月1日; 录用日期: 2019年6月21日; 发布日期: 2019年6月28日

---

## 摘 要

针对传统水泥杆挠度检测设备操作复杂、接线杂乱以及数据处理繁琐等问题, 本文研发了一种新型无线电杆挠度测量系统。该测量系统具有结构简单, 便携性强, 操作便捷, 数据直观等优点, 极大地提高了检测效率, 降低了作业风险。该挠度检测系统能够满足预期测试要求, 在工程应用中具有广阔前景。

文章引用: 俞晓鹏, 黄晔凯, 代盛熙, 马骁, 丁俊荣. 新型无线式电杆挠度测量系统研究[J]. 输配电工程与技术, 2019, 8(2): 69-76. DOI: 10.12677/tdet.2019.82008

## 关键词

混凝土电杆, 挠度测量, 无线传输

Copyright © 2019 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

近年来,我国农村电网改造和移动通讯建设迅猛发展,混凝土电杆作为电网线路中的重要构建,其质量好坏直接影响输电线路的稳定运行[1][2]。根据国家标准 GB 4623-2014《环形混凝土电杆》[3]显示,混凝土电杆的质量检验项目主要包括:混凝土抗压强度、外观质量、尺寸偏差、力学性能和保护层厚度。其中,电杆挠度测试作为力学性能检测的一项重要指标,在电杆安全性测试中具有至关重要的作用。

电杆挠度检测方法和设备发展缓慢,近年来主要依靠挠度测试仪、手拉链条葫芦、荷载传感器等检测设备进行试验[4]。这种检测方法现场布线复杂,检测时需要进行一一组装,测试耗时长且安全性低;整套设备的配件种类多、数量大,外出试验时不易运输;设备采用薄膜按钮与黑白液晶显示屏进行人机交互,自动化程度低,操作繁琐不易掌握[5]。

针对传统电杆挠度检测中存在的以上缺陷,我们结合各项标准,设计研发了一种新型的无线式电杆挠度测量系统,能够有效地提高检测效率,保障检测人员作业安全。

## 2. 无线式电杆挠度测试系统架构

无线式电杆挠度测试系统的结构如图1所示,主要由手持控制平台、四个采集节点、荷载传感器以及位移传感器组成。



Figure 1. Wireless pole deflection measuring system

图1. 无线式电杆挠度测量系统

## 2.1. 硬件组成

### 2.1.1. 手持控制平台

手持控制平台是硬件组成部分的核心控制设备，用于控制电杆检测，获取传感器发送过来的检测数据，并生成检测报告。我们选用工业级三防触屏式平板，防摔、防水、防尘，能够胜任户外恶劣环境。如图 2，该平板尺寸小，结构轻便，便于携带，内置锂电池，检测人员可以在无线网络覆盖范围内完成控制操控。相比于笔记本电脑或者常规平板电脑，该触屏式平板操作便捷，更适合于电杆挠度测试的室外工作场景。

### 2.1.2. 数据采集节点

数据采集节点包括位移采集节点和荷载采集节点。图 3 是位移采集节点结构图，由控制盒、底板、安装杆、夹具以及位移传感器组成。底板作为整个数据采集节点的基底，用于固定安装其他零件。位移传感器固定在夹具上，夹具可以在总长 30 厘米的安装杆上进行调节，以满足不同场景需求。



Figure 2. Handheld control platform  
图 2. 手持控制平台

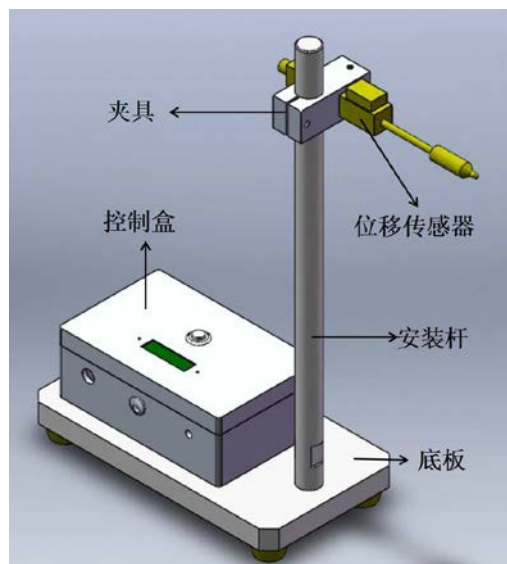


Figure 3. Structure diagram of displacement acquisition node  
图 3. 位移采集节点结构图

控制盒的作用是对移动传感器采集得到的数据进行处理、传输。其内部使用飞思卡尔汽车级单片机作为主控芯片，稳定可靠；使用 ADI 公司的 24 位 AD 转换芯片处理模拟信号，精度高、数据稳定性好；采用高可靠性的 WIFI 模块进行设备组网、数据传输，保证网络稳定高速。

数据采集节点采用微电脑控制板，结构紧凑，并通过数据线与传感器相连。一键启动后，控制盒信号指示灯显示绿色代表供电正常，红色代表供电不足。如图 4 所示，当荷载采集节点作为系统中央节点被启动时，该采集节点会向位移采集节点和手持控制平板发射 WIFI 信号。测试人员需要将手持控制平板连上该 WIFI，从而利用无线数据传输将所有采集节点与手持控制平台相连接，进行数据传输与程序控制。

### 2.1.3. 荷载传感器

荷载传感器采用 S 型拉压力传感器，该传感器具有 S 型梁结构，测量精度高，稳定性好，输出对称性好，根据实际测量情况可以选择 0~20 KN 量程或者 0~100 KN 量程的传感器。

### 2.1.4. 位移传感器

电杆挠度测量系统中的位移传感器根据使用情况不同，主要分为以下两种。一种是量程为 50 毫米的位移传感器，结构轻巧，测量杆用双重支撑，配备有回程弹簧，传感器的头部可自动定位。以 GB 4623-2014 标准[3]所示的悬臂式试验方法为例，该位移传感器用于检测支座 A、B 处的位移，如图 5 所示。

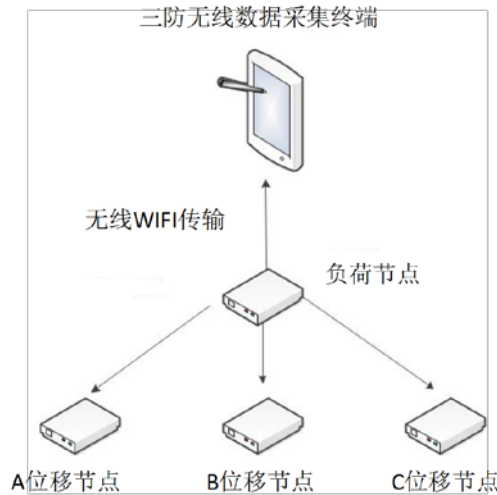


Figure 4. Topological graph of acquisition system  
图 4. 采集系统拓扑图

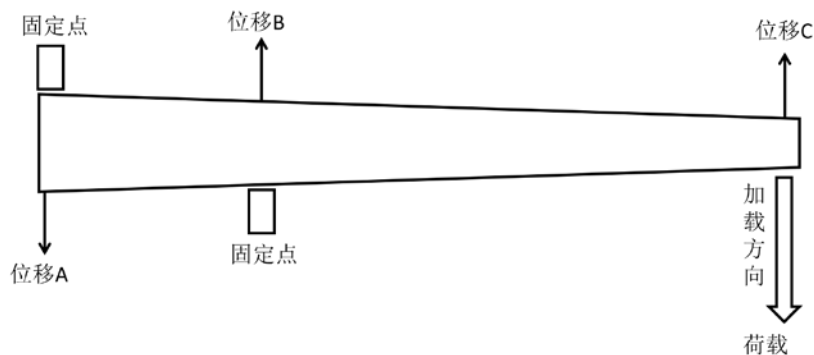


Figure 5. Schematic diagram of cantilever test device  
图 5. 悬臂式试验装置示意图

另一种为拉线式位移传感器,测量行程大,量程为 1500 毫米,结构小巧,安装空间尺寸小,测量精度较高。该传感器用于测量施加荷载处 C 点的位移。

## 2.2. 软件组成

### 2.2.1. 关键技术

软件部分专为混凝土电杆力学性能试验设计,整个软件系统设计采用 WPF 框架、WIFI 物联网组网技术、虚拟串口技术以及嵌入式 RTOS 等关键技术。

WPF (Windows Presentation Foundation)是基于 Windows 的用户界面框架,在 .NET Framework 3.0 及以上版本下运行。它提供了统一的编程模型、语言和框架,真正做到了分离界面设计人员与开发人员的工作;同时它提供了全新的多媒体交互用户图形界面,使开发人员和设计人员可以创建更好的视觉效果、不同的用户体验。

WIFI (Wireless Fidelity)技术是一种短距离无线通讯技术。由于 WIFI 组网方式成熟,并且组网距离可达数百米,还具备可靠性情况高、传输速率快速等特点,因而在物联网方面得到了广泛的应用。

虚拟串口是用操作系统的虚拟驱动技术产生的串口(COM 口),相对于计算机本身的硬件串口(COM1 等)来说虚拟串口并不对应一个物理上的串口,但是计算机应用软件可以像硬件串口一样地使用虚拟串口。

嵌入式实时操作系统(Embedded Real-time Operation System, RTOS)是嵌入式应用软件的基础和开发平台,是针对不同处理器优化设计的高效率实时多任务内核。采用 RTOS 能够支持多任务,使得程序开发更加容易,便于维护,同时能够提高系统的稳定性和可靠性。

### 2.2.2. 软件界面

针对混凝土电杆力学性能试验设计的软件界面布局合理简洁,操作便捷层次少,大大减少用户操作难度,符合人机学原理。如图 6 所示,用户通过软件导航界面可以直接进入试验界面或者校准界面。

试验界面基于 WPF 框架进行开发,以功能为核心进行模块化设计,主要包含通信管理模块、现场布置辅助模块、数据分析显示模块、数据导出模块。如图 7 所示,通信管理模块(后台模块,未显示)使用了虚拟串口软件,配合 WIFI 模块实现无线通信。现场布置辅助模块支持电杆力学性能的多种试验方案,如悬臂式与简支式。软件显示了试验方案示意图与加载位置提示,现场布局一目了然。一键开始测量后,



Figure 6. Software navigation interface  
图 6. 软件导航界面

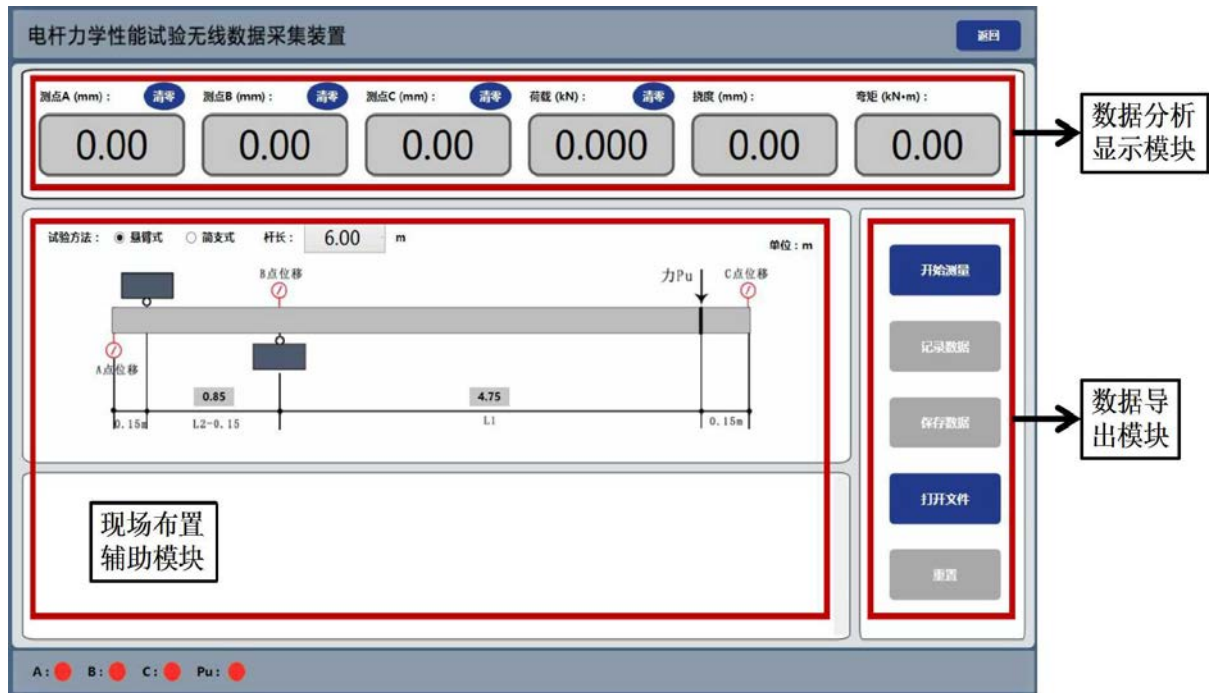


Figure 7. Test interface

图 7. 试验界面

数据分析显示模块能够直接显示三个位移数据以及荷载数据，并自动计算挠度和弯矩的测量结果，采集过程轻松直观，数据处理高效准确。数据导出模块采用 Microsoft Excel 电子表格方式显示试验结果，支持打印或浏览自定义试验报告。

此外，该软件还支持追溯历史试验数据，便于用户查找分析，避免试验数据丢失的风险。试验操作过程中，系统软件具有及时的操作纠正提示功能，确保试验步骤合理进行，有效提高作业安全性。为提高数据采集测试的准确度，该软件还集成了校准功能，可以对传感器进行快速校准。

### 2.3. 主要技术指标

本文中的无线式电杆挠度测量系统测试方案实施 GB 4623-2014《环形混凝土电杆》标准[3]，系统制造标准实施 GB/T 2611-92《试验机通用技术要求》[6]。电杆挠度测量系统的传感器主要技术参数如表 1 所示。

## 3. 力学性能试验原理

### 3.1. 基本工作方法

进行挠度试验前，首先确保试验环境满足 GB 4623-2014 要求[3]。试验加载前保证传感器与对应采集节点控制盒之间接线正确紧固，确保手拉接线和连接头应无松动，并用塞尺检查确认传感器端面到电杆之间距离符合检定证书的要求。其中，无线荷载传感器方向应与拉力方向平行。

启动手持平板的测试软件，试验前期需确保无线荷载传感器荷载参数及位移传感器长度等参数经计量检定合格。确保数据节点与手持控制平板间的无线通信连接成功，连接指示灯均为绿色。结合电杆在实际运行过程中的受力状态，选用悬臂式或者简支式试验方法进行加载试验。

采取手拉葫芦进行加载，过程中尽可能地降低手拉葫芦加载方式对钢筋电杆的冲击作用。额定荷载

**Table 1.** Parameters of sensors  
**表 1.** 传感器技术参数

	GEFRAN 位移传感器	拉绳式位移传感器	S 型拉压力传感器	S 型拉压力传感器
线性量程	0~50 mm	0~1200 mm	0~20 kN	0~100 kN
绝对误差	±0.01 mm	±0.1 mm	±0.001 kN	±0.001 kN
分辨率	0.01 mm	0.1 mm	0.001 kN	0.001 kN
采集频率	5 Hz	5 Hz	5 Hz	5 Hz

依据 GB 4623-2014 [3]进行设置,当荷载达到额定开裂检验荷载  $P_k$  的 20%、40%、60%、80%、90%、100% 时分别保持载荷 3 min,并一键记录各位移传感器所处点的位移值。试验结束后,卸载载荷并拆卸各传感部件,手持平板自动生成结果记录单。

### 3.2. 试验操作步骤

试样安装、检查完毕后进行加载试验,具体软件操作步骤如下。

- 第 1 步: 启动程序,选择进入试验,打开试验界面。
- 第 2 步: 根据电杆类型选择试验方法,锥形杆选择悬臂式,等径杆选择简支式。
- 第 3 步: 选择试验电杆的杆长。
- 第 4 步: 试验前按照需要对负载、位移调零,以保证试验的准确性。
- 第 5 步: 点击开始测量,读取采集节点数据。
- 第 6 步: 点击记录数据,将单次实验采集的数据简单整理,显示在屏幕文本框中。
- 第 7 步: 试验完成后,点击保存数据,将采集数据导出为 Excel 文件。
- 第 8 步: 卸除试样后点击重置。
- 第 9 步: 点击打开文件,浏览或打印试验报告。

### 3.3. 校准操作步骤

为确保试验结果的准确性,避免系统误差的存在对试验结果造成影响,需对传感器设备进行周期性校准,具体操作步骤如下。

- 第 1 步: 启动程序,选择校准,进入校准界面。
- 第 2 步: 点击校准对象,选择需要校准的采集节点。
- 第 3 步: 校准之前将已选采集节点的数据清零,进而比较实际数值与显示数据存在的误差。
- 第 4 步: 根据实际情况,输入传感器量程。
- 第 5 步: 设定修正系数以减少系统误差,范围为 0~10。
- 第 6 步: 将修改的量程与系数写入设备后,并返回导航界面。

### 3.4. 工程应用

新型无线式电杆挠度测量系统研制成功后,我们在水泥厂使用该无线式电杆挠度测量系统进行电杆力学性能试验(见图 8)。经过多次试验研究,结果表明该试验系统便携性强,现场布置简洁,软件使用简单,数据输出直观,极大地提高了检测效率,具有良好的用户体验。目前,该系统已经正式投入工程应用,为电网物资质量检测做出了一定贡献。



Figure 8. Field test of wireless pole deflection measurement system

图 8. 无线式电杆挠度测量系统现场试验

#### 4. 结论

电杆是配网线路重要物资之一，其质量对电网的稳定性和安全性具有重要意义。电杆挠度测量系统 是进行混凝土电杆力学性能检测的重要试验设备，其测量过程的便捷性，试验结果的准确性与科学性， 都会直接影响电杆检测效率。本文根据相关试验机的标准要求制造了一种新型的无线式电杆挠度测量系 统，该系统和传统的电杆挠度测量设备相比具有明显优势，其主要特点有：

1) 试验系统便携性强。整个测试系统仅由一台三防平板与四个采集节点组成，相对传统挠度测量设 备来说，整体结构紧凑，尺寸小，设备运输十分便捷。

2) 现场布局简洁。该无线式电杆挠度测试系统通过 WIFI 在手持平板与采集节点间组网，形成试验 专用网络，试验过程中开启采集节点与手持平板，确认网络连接后即可进行数据采集，无需现场布线。

3) 数据直观，操作简单。使用专用的电杆挠度试验软件，试验软件界面更直观。测量结果在触摸界 面上完成一键记录，测量结果自动计算，操作更便捷，能直接生成完整的电杆挠度测量力学性能试验结 果单。

随着社会现代化进程的加快，利用自动化技术以及物联网技术等实现传统检测领域的改造是大势所 趋。深化输配电工程领域检测设备的改造升级，使数据检测进一步自动化、高效化、精确化，将是我们 未来研究的重点方向。

#### 参考文献

- [1] 李涛, 孙学武, 杜晓平, 等. 浅谈环形混凝土电杆的无线自动化检测及质量防控[J]. 国网技术学院学报, 2018, 21(6): 33-36.
- [2] 黄秀超, 钟建伟, 张建业, 等. 基于 ZigBee 技术的输电杆塔倾斜在线监测系统设计[J]. 现代电子技术, 2019, 42(5): 95-99.
- [3] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. GB 4623-2014 环形混凝土电杆[S]. 北京: 中国标准出版社, 2014.
- [4] 陆琛杰, 金坤鹏, 钱锡颖, 等. 新型混凝土电杆挠度测量系统研究[J]. 混凝土与水泥制品, 2018(8): 33-36.
- [5] 杨伟东, 李亮, 丛培军, 等. 锥形混凝土电杆全自动力学性能检测设备设计[J]. 农村电工, 2019, 27(4): 31-32.
- [6] 国家技术监督局. GB/T 2611-92 试验机通用技术要求[S]. 北京: 中国标准出版社, 1992.



**知网检索的两种方式：**

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>  
下拉列表框选择：[ISSN]，输入期刊 ISSN：2160-441X，即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>  
左侧“国际文献总库”进入，输入文章标题，即可查询

投稿请点击：<http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱：[tdet@hanspub.org](mailto:tdet@hanspub.org)