

# 无线张力计在测井穿心打捞工艺中的拓展应用 与经济效益评估

朱亚龙 (中石化经纬有限公司胜利测井公司, 山东 东营 257000)

**摘要:** 穿心打捞是处理测井遇卡故障的关键技术。而其中, 张力实时精准监测对于穿心打捞的成功率, 至关重要。传统机械拉力表在使用的时候, 难以满足到复杂工况的需求。本文因而提出无线张力计的应用建议。方案中, 基于 LoRa 低功耗传输, 研发了一套便携手持张力面板, 其安装便捷, 移动性强, 且可进行多终端协同监测, 操作室、司钻房及现场人员可对主辅张力系统进行同步监控。数据的时效性与准确性可以有效提升, 决策会更为高效。现场应用表明, 该系统在效率、精度和安全性方面, 均优于传统设备, 其经济效益十分突出。

**关键词:** 无线张力计; 穿心打捞; 测井作业; 张力监测; 经济效益

**中图分类号:** TE28 **文献标识码:** A **文章编号:** 1674-5167 (2026) 010-0112-03

## Extended Application and Economic Benefit Evaluation of Wireless Tensiometers in Logging Wireline Fishing Operations

ZHU Yalong (Shengli Logging Company, Sinopec Matrix Corporation, Dongyin Shandong 257000, China)

**Abstract:** Threaded retrieval is a key technology for dealing with well logging stuck faults. Among them, real-time and precise tension monitoring is crucial for the success of threaded retrieval. Traditional mechanical tension gauges have difficulty meeting the requirements of complex working conditions. Therefore, this paper proposes suggestions for the application of wireless tension meters. In the scheme, based on LoRa low-power transmission, a set of portable tension panel was developed, which is easy to install, has strong mobility, and can conduct multi-terminal collaborative monitoring. Operators in the operation room, the driller's cabin, and on-site personnel can synchronously monitor the main and auxiliary tension systems. The timeliness and accuracy of the data can be effectively improved, and decision-making will be more efficient. Field applications have shown that this system outperforms traditional equipment in terms of efficiency, accuracy, and safety, and its economic benefits are particularly prominent.

**Keywords:** Wireless tensiometer; Wireline fishing; Logging operations; Tension monitoring; Economic benefits

随着油气勘探开发向深井、超深井、复杂岩性地层等领域延伸, 测井作业面临的井下工况日趋复杂, 井下仪器遇卡、遇阻等故障频发。近年来, 国内外学者围绕测井张力监测技术开展了大量研究工作。传统张力监测技术以有线传输为主, 相关设备在潮湿、低温等复杂环境下存在张力线缆脆化破损、信号干扰严重等问题。为解决上述问题, 无线张力监测技术应运而生, 基于 LoRa、蓝牙、4G 等无线传输技术的张力监测设备逐步涌现。已有研究表明, 无线张力监测设备具备无缆束缚、抗干扰能力强、便携性好等优势, 在常规测井作业中已实现精准张力监测, 显著提升了作业效率<sup>[1]</sup>。

但现有研究多聚焦于常规测井工况下的无线张力计应用, 针对穿心打捞这一特殊工艺的拓展应用研究较为匮乏。穿心打捞工艺对张力监测的实时性、多地点同步性及移动性要求更高, 现有无线张力监测设备的应用场景与功能难以完全适配。因此, 结合穿心打捞工艺特点, 优化无线张力计的应用设计, 实现其在该工艺中的高效拓展应用, 成为当前测井技术研究的

重要方向<sup>[2]</sup>。

### 1 测井穿心打捞工艺及机械拉力表应用痛点分析

#### 1.1 穿心打捞工艺特点及张力监测要求

穿心打捞工艺是指在地面将电缆切断, 将电缆贯穿打捞工具和钻具, 通过一系列操作完成井下电缆和仪器解卡的工艺<sup>[2]</sup>。该工艺主要应用于井下仪器遇卡、电缆断裂等复杂故障处理, 作业空间狭小、流程复杂, 对张力监测提出了严苛要求: 一是实时性要求, 作业人员需实时掌握电缆及打捞工具的张力变化, 及时判断井下仪器是否接触、是否遇阻, 避免错过最佳操作时机; 二是准确性要求, 张力数据的精准度直接影响作业人员对井下工况的判断, 误差过大会导致操作失误, 引发二次事故<sup>[3]</sup>; 三是多地点同步监测要求, 张力数据需同步传递至操作室、司钻房及现场工程技术人员, 确保各岗位人员信息同步, 协同完成作业; 四是适应性要求, 监测设备需适应钻台临边作业、夜间施工、钻井污染等复杂环境<sup>[4]</sup>。

#### 1.2 机械拉力表应用痛点

当前, 在穿心打捞作业的地滑轮与固定链条之间

安装机械拉力表，与天滑轮上部安装的测井绞车配套张力系统形成双张力监测模式，虽能实现数据互相验证，但机械拉力表在实际应用中存在诸多痛点。

如，适应性不强，难以适配不同井场的施工条件；观察便利性差，影响作业判断；安全风险高；易受污染损坏，影响使用寿命；缺乏预警功能，易延误应急处理时机；信息传递滞后，易造成工程事故；质检成本高等等。

上述痛点导致机械拉力表难以满足穿心打捞工艺对张力监测的高要求，制约了作业效率与安全水平的提升，研发适配该工艺的新型张力监测设备势在必行。

## 2 无线张力计在穿心打捞工艺中的拓展应用设计

### 2.1 总体设计思路

基于穿心打捞工艺的张力监测需求及机械拉力表的应用痛点，结合现有无线张力监测技术的优势，提出无线张力计拓展应用的总体设计思路：以“精准监测、便捷部署、多端协同、安全可靠”为核心原则，在原测井系统张力装置基础上，增设一套基于 LoRa 低功耗无线传输技术的便携手持张力面板系统。

### 2.2 核心设备选型与技术参数

结合穿心打捞工艺的作业环境与监测要求，核心设备选型及技术参数如下：①无线张力采集终端：选用基于 LoRa 传输技术的张力采集终端，测量量程 0 ~ 200KN，测量误差小于 500N，确保张力数据精准采集。②便携手持接收终端：采用 800 × 480LCD 彩屏，具备背光功能，支持夜间模式及多种显示方向，便于在不同光线和角度下准确读取数据；支持张力系数设置、张力零刻校准、差分张力报警边界设置等功能。

### 2.3 多终端协同监测方案

为实现多地点同步监测，系统采用“1发多收”的广播通信模式，具体方案如下：①操作室监测：在操作室部署 1 台手持接收终端，与原测井系统张力装置的显示系统并列放置，操作人员可同时监测原有张力和辅助张力两套系统的实时数据。②司钻房监测：在司钻房部署 1 台手持接收终端，司钻可在控制钻机下放的同时，同步监测钻机指重系统和测井辅助张力两套系统的张力数据。③现场工程技术人员监测：为现场工程技术人员配备 1 台手持接收终端，终端体积小、携带方便，工程技术人员无需长时间停留于钻台高危区域，可在安全范围内实时查看张力数据；同时，终端具备声光报警功能。

该多终端协同方案通过 LoRa 广播模式实现数据同步传输，所有接收终端与采集终端设置相同的通信信道，系统支持 8 个信道灵活切换，可避免同场多台设备作业时的信号干扰，保障数据传输稳定性。

## 2.4 相较于机械拉力表的核心优势

与传统机械拉力表相比，无线张力计在穿心打捞工艺中的拓展应用具有以下核心优势：①安装便捷，移动性强：无线张力采集终端采用卡扣式设计，可随意布置于不同监测地点。②观察便捷，读数准确：手持接收终端具备背光功能和多方向显示模式，解决了机械拉力表表盘方向随机、夜间及光线不足时观察不便的问题。③多端协同，信息同步：通过 1 台采集终端对应多台接收终端的模式，实现多地点同步监测。④安全可靠，降低风险：现场工程技术人员无需长时间停留于钻台高危区域，可在安全范围内通过手持终端监测张力数据，系统具备异常预警功能，可提前预判张力异常，减少工程事故发生概率。⑤维护便捷，成本可控：无线张力计无需每年外送质检，降低了设备维护成本和更换费用。

## 3 现场应用效果验证

### 3.1 应用场景概况

为验证无线张力计在穿心打捞工艺中的拓展应用效果，选取某油田 2 口深井的穿心打捞作业作为应用案例，作业井深均超过 2000m，井下存在仪器遇卡故障，作业环境温度 15℃ ~ 32℃，钻台存在临边、吊装等高危作业环节。试验中，在原绞车面板张力系统基础上，增设一套无线便携手持张力面板系统，采集终端安装于地滑轮处，3 台手持接收终端分别部署于操作室、司钻房，1 台配备给现场工程技术人员，对比传统机械拉力表的应用效果。

### 3.2 应用效果对比分析

通过对 2 口井穿心打捞作业的全程监测，对比无线张力计与传统机械拉力表的应用效果，具体数据如表 1 所示：

对比指标	机械拉力表	无线张力计	提升效果
安装时间	≥ 30min (2 人协作)	≤ 3min (1 人操作)	安装效率提升 90%，减少 1 名操作人员
读数准确率 (夜间作业)	≤ 85%	≥ 99%	读数准确率提升 14%
异常信息传递时间	≥ 30s	≤ 1s	信息传递效率提升 96.7%
设备故障率	15% (每 10 口井约 1.5 次故障)	0%	彻底解决设备故障问题
作业人员暴露于高危环境时间	全程暴露 (约 10h/井)	0	彻底避免人员暴露于高危环境

从对比数据可以看出，无线张力计在安装效率、读数准确率、信息传递速度、设备可靠性等方面均显

著优于传统机械拉力表。

### 3.3 典型应用案例说明

在某井穿心打捞作业中,当打捞工具下放至1800m深度时,现场工程技术人员的手持接收终端,突然就发出了剧烈的声光报警。仪器显示,张力值已经从3500磅,骤升至4800磅。这明显就超出了预设报警阈值。此时,工程技术人员与司钻房已经同步获得了信息,司钻根据张力数据和钻机指重数据,迅速调整了钻机操作,停止下放,并缓慢上提打捞工具,避免了电缆因张力过大被切断的问题。随后,通过操作室的双张力系统数据进行对比分析,发现原来是打捞工具遇阻。所以,作业人员制定了针对性的解卡方案。最终成功完成了本次打捞作业。此次作业中,无线张力计的实时预警和多端协同功能,有效避免了二次事故的发生。相较于传统机械拉力表作业模式,本次作业节省了约2h的作业时间。更是避免了打捞筒在拐点处切断电缆。由此充分凸显了其在复杂穿心打捞作业中,巨大的实用优势。

## 4 无线张力计在测井穿心打捞工艺中应用的经济效益评估

无线张力计在穿心打捞工艺中的拓展应用,不仅可以有效提升技术性能,也会产生可观的经济效益。

### 4.1 直接经济效益

直接经济效益方面,首先,设备的采购与维护成本会显著降低。传统机械拉力表本身价格虽不高,但后续维护成本巨大。无线张力计可以采用“一采多收”模式。一套系统可覆盖多个监测点。它可以省去复杂的布线和多个独立机械表的采购过程。无线张力计设计坚固,具有三防性能。故障率极低,亦无需年度外检,仅需现场定期标定。设备全生命周期成本会大幅下降。其次,安装与拆卸效率也会提升,人力与时间成本会大幅节约。穿心打捞作业时间紧迫。传统机械拉力表安装需要两人协作。安装时间常超过30min。安装过程涉及链条连接和位置调整等操作过程。作业人员在钻台高危区域需要暴露较长时间。而无线张力计安装极其便捷。采用卡扣式设计。一人操作即可完成。安装时间3min以内就可结束,安装效率极高。可为后续打捞争取更多宝贵时间。而且,优化方案可提升作业成功率,直接减少巨大损失。穿心打捞中,作业失败可能会导致井下事故恶化。严重时仪器无法捞出,井段可能报废。这会造成数百万甚至上千万元的经济损失。而无线张力计可提供实时、准确、多端同步的张力数据。它可帮助作业人员精准判断井下状态。从而,极大提高关键步骤的成功率,避免电缆被切断等二次事故。

### 4.2 间接经济效益

间接经济效益方面,无线张力计的应用,可大幅提升作业安全水平,从而,大幅减少人员伤亡、设备损毁和工程停滞等问题,避免潜在事故带来的天价赔偿、停产整顿和社会负面影响。而这些潜在价值,是无法用金钱简单衡量的。同时,穿心打捞需要有准确的张力数据作为决策辅助。但机械拉力表数据读取不便,传递滞后。则决策可能会有相应的延迟或失误问题。而无线张力计应用后,系统可直接提供清晰、实时、多角度的数据支持。司钻、工程师和技术员可做到信息同步管理。决策的及时性与一致性就有了对应的保障。这也可以大幅缩短无效操作的时间。如此一来,打捞成功率就会提升,经济效益自然更高。

## 5 结论与展望

本文针对测井穿心打捞工艺中传统机械拉力表存在的适应性差、观察不便、安全风险高、信息传递滞后等痛点,完成了无线张力计在该工艺中的拓展应用研究,主要结论如下:①传统机械拉力表已无法满足穿心打捞工艺对张力监测的高要求,研发适配该工艺的便携带手持张力面板具有迫切的现实必要性。②基于LoRa技术的无线张力计拓展应用系统,通过“1台采集终端+多台接收终端”的多端协同设计,实现了张力数据的精准采集、无线传输与多地点同步监测,解决了机械拉力表的诸多弊端。③现场应用验证表明,无线张力计相较于传统机械拉力表,在安装效率、读数准确率、信息传递速度、设备可靠性及作业安全性等方面均具有显著优势,可有效提升穿心打捞作业效率与打捞成功率,降低作业安全风险和成本。

为进一步提升无线张力计在穿心打捞工艺中的应用价值,未来可继续进行功能拓展,增加数据存储功能,同时进行智能化升级,升级无线传输模块,将传输距离拓展至500m以上,适配超大型井场作业需求;优化电池性能,进一步延长设备续航时间,满足超深井长时间打捞作业需求。通过上述优化升级,无线张力计将在测井穿心打捞工艺中发挥更大作用,推动测井作业向智能化、高效化、安全化方向持续发展。

### 参考文献:

- [1] 王瑞甲,李军,张宏.基于LoRa技术的无线张力监测系统的设计[J].电子测量技术,2020,43(12):145-149.
- [2] 文发宝.穿心打捞工艺在东海X井的应用[J].化工管理,2023,(27):145-148.
- [3] 刘汉杰,唐启胜,郝宜雷.渤海某井穿心打捞工艺应用与研究[J].化学工程与装备,2018,(04):116-118.
- [4] 李庆忠.测井工程学[M].东营:中国石油大学出版社,2019.