

## 修井机绞车制动片更换工具的创新设计与应用研究

吕震 闫立军 冯福林 王俊昌

中国石油天然气股份有限公司华北油田分公司第四采油厂应急抢险站, 河北 廊坊 065000

**[摘要]**在油气田修井作业体系中,修井机绞车作为起升系统的核心动力设备,其制动性能直接决定管柱起升、下放过程的稳定性与安全性。制动片作为绞车制动系统的核心执行元件,通过摩擦作用将钻柱动能转化为热能,实现管柱精准控制,其工作状态与作业安全息息相关。随着作业频次与强度提升,制动片磨损超限会导致制动力衰减,引发严重安全事故,定期更换制动片是绞车日常维护的核心任务。当前传统制动片更换方法存在操作繁琐、安全风险高、人力成本高昂、设备损耗严重等弊端,难以满足行业规模化、高效化、安全化发展需求。文中针对这一痛点,开展新型更换工具的创新设计与应用研究。研究首先阐述绞车及制动片的功能定位与工作特性,剖析传统更换方法的技术缺陷;继而以“便捷操作、安全可靠、适配性强、经济高效”为核心设计理念,完成新型工具的结构设计与工作原理构建;通过多型号绞车的现场应用测试,验证工具性能;实践表明,新型更换工具有效解决传统方法的诸多问题,显著降低作业风险、节约成本、提升效率,为修井机绞车维护提供了高效可行的解决方案,具有重要工程应用价值与推广前景。

**[关键词]**修井机绞车; 制动片; 更换工具; 结构创新; 安全效益; 经济效益; 维护技术

DOI: 10.33142/ec.v9i1.18882

中图分类号: TE935

文献标识码: A

### Innovative Design and Application Research of Brake Pad Replacement Tool for Workover Machine Winch

LYU Zhen, YAN Lijun, FENG Fulin, WANG Junchang

Emergency Rescue Station of the Fourth Oil Production Plant of China National Petroleum Corporation North China Oilfield Branch, Langfang, Hebei, 065000, China

**Abstract:** In the oil and gas field well repair operation system, the winch of the workover rig is the core power equipment of the lifting system, and its braking performance directly determines the stability and safety of the lifting and lowering process of the pipe string. As the core actuator of the winch braking system, the brake pad converts the kinetic energy of the drill string into thermal energy through friction, achieving precise control of the pipe string. Its working state is closely related to operational safety. As the frequency and intensity of homework increase, excessive wear of brake pads can lead to a decrease in braking force, causing serious safety accidents. Regular replacement of brake pads is the core task of winch daily maintenance. The current traditional method of replacing brake pads has drawbacks such as cumbersome operation, high safety risks, high labor costs, and serious equipment wear and tear, making it difficult to meet the industry's needs for large-scale, efficient, and safe development. In response to this pain point, the article conducts innovative design and application research on new replacement tools. The study first elaborates on the functional positioning and working characteristics of winches and brake pads, and analyzes the technical defects of traditional replacement methods; Subsequently, with the core design concept of "convenient operation, safety and reliability, strong adaptability, and economic efficiency", the structural design and working principle construction of the new tool were completed; Verify tool performance through on-site application testing of multiple models of winches; Practice has shown that the new replacement tool effectively solves many problems of traditional methods, significantly reduces operational risks, saves costs, and improves efficiency. It provides an efficient and feasible solution for the maintenance of workover rig winches and has important engineering application value and promotion prospects.

**Keywords:** workover rig winch; brake pads; replace tools; structural innovation; safety benefits; economic performance; maintenance technology

#### 1 概述

##### 1.1 研究背景

油气田修井作业是保障油气井正常生产、提高采收率的关键环节,涵盖大修、小修、酸化压裂等多种作业类型。修井机作为核心作业设备,承担管柱起升、下放、悬停等操作,绞车作为其起升系统核心,性能稳定性直接影响作

业效率与安全。据中国石油天然气集团公司统计,近五年修井作业中,绞车制动系统故障引发的安全事故占比达18.7%,制动片磨损超限是主要诱因之一。

制动片作为绞车制动系统的核心易损部件,工作环境恶劣,需长期承受高频摩擦冲击与高温作用。传统更换方法沿用多年,虽能满足基本需求,但弊端日益凸显,成为

制约修井作业效率提升、增加安全风险的重要因素。

近年来,油气田行业对修井作业的安全标准与成本控制要求不断提高,优化制动片更换流程成为亟待解决的技术难题。但针对制动片更换这一关键维护环节的研究较少,相关工具研发滞后,传统方法的弊端长期未能解决。

## 1.2 研究意义

(1) 安全意义:传统更换方法涉及吊车吊装、高处作业等高危环节,存在吊车倾覆、高处坠物、刹车带变形等隐患。新型工具摒弃吊装作业,简化操作流程,从根本上消除相关安全风险,保障作业人员人身安全与设备完好。

(2) 经济意义:传统方法需 3-4 名作业人员协同配合,且需调用吊车等重型设备,人工与设备租赁成本高昂,同时吊装易造成刹车带变形报废,增加设备维护成本。新型工具可显著减少人力投入与设备损耗,降低作业成本。

(3) 技术意义:新型工具的研发填补了修井机制动系统维护工具领域的技术空白,为绞车维护技术升级提供新路径,其结构创新与适配性设计可为同类设备维护工具研发提供参考。

(4) 行业意义:随着油气田开发进入中后期,修井作业量持续增加,新型工具的推广应用可提升设备利用率,缩短维护周期,保障作业连续性,为行业降本增效、高质量发展提供支撑。

## 1.3 研究内容与技术路线

(1) 研究内容:一是阐述修井机绞车及制动片的结构组成、功能定位与工作特性;二是分析传统更换方法的操作流程与技术缺陷;三是基于现场需求完成新型工具的设计理念确定、核心结构设计与工作原理构建;四是通过现场应用验证工具的适配性、操作性与安全性。

(2) 技术路线:采用“理论分析-设计研发-现场验证-效益评估”的技术路线。首先通过文献查阅与现场调研,明确研究基础与技术痛点;其次确定新型工具的设计理念与技术指标,完成结构设计;然后开展多型号绞车现场应用测试;最后结合应用数据量化分析工具效益。

## 2 修井机绞车及制动片概述

### 2.1 修井机绞车系统的结构与功能

修井机绞车由滚筒、刹车系统、传动系统、控制系统等关键部件构成,是整个起升链的核心环节,通过滚筒正反转配合刹车系统制动力调节,实现管柱起升、下放与悬停控制。

滚筒作为核心承载部件,表面设螺旋槽用于缠绕钢丝绳。刹车系统是安全保障核心,由刹车带、制动片、刹车轮毂、操纵机构等组成,为带式刹车类型,带式刹车因结构简单、制动力矩大,在中小型修井机中应用广泛,其工作原理是通过操纵机构使刹车带与轮毂贴合,利用摩擦力实现管柱减速或悬停。传动系统负责将发动机动力传递至滚筒,通过调速满足不同作业场景下管柱起升、下放速度

需求。控制系统包括司钻控制台、实现对绞车运行状态的实时控制。

### 2.2 制动片的结构特性与核心作用

制动片由摩擦材料层、黏接层组成,通过螺栓固定在刹车带上,与刹车轮毂配合实现制动功能。摩擦材料层是核心工作部分,直接与轮毂接触产生摩擦力,常用材料石棉型、在修井机中应用日益广泛;钢带为摩擦材料提供支撑,需具备足够强度与刚度;螺栓保证摩擦材料层与钢背连接牢固,且具备良好耐高温性能。

制动片的核心作用是将钻柱动能转化为热能,实现管柱精准控制。修井作业中,管柱重量可达数十吨,制动片需承受巨大摩擦力与高温,下放过程中摩擦温度可达 300~500°C。当摩擦材料层厚度磨损至 11mm 以下(行业安全阈值)时,制动力显著下降,继续使用会引发刹车失灵,造成严重安全事故,因此定期检查更换制动片至关重要。

### 3 传统制动片更换方法的困境

传统制动片更换方法操作流程包括作业准备、护罩拆除、刹车带吊装、制动片更换、部件复位等环节,在长期应用中暴露出诸多弊端,严重影响作业效率与安全。

#### 3.1 操作流程繁琐,作业周期长

传统更换作业准备工作复杂,需拆除绞车上方护罩及机械防碰罩,这些护罩螺栓长期暴露户外易生锈腐蚀,拆卸需 1~2h。护罩拆除后,需用钢丝绳固定滚筒、防护布覆盖刹车轮毂,防止部件位移或损坏,该过程需 30~60min。更换完成后,还需重新安装护罩并调试检查,整个作业周期长达 4~6h,严重影响修井作业连续性。

#### 3.2 安全风险突出,事故隐患多

传统方法需用吊车将刹车带从滚筒上调出,该环节存在多重安全隐患。一方面,吊装过程中刹车带承受自身重量与吊装拉力,极易变形,现场统计显示,传统方法更换制动片时刹车带变形率高达 35% 以上,部分严重变形的刹车带只能报废;另一方面,吊装作业涉及高处作业与重型设备操作,场地狭小或地面不平整易导致吊车倾覆,钢丝绳捆绑不牢或吊装角度不当易引发刹车带坠落,高处作业人员防护措施不到位则易发生坠落事故,相关安全事故时有发生,给企业造成巨大经济损失与不良社会影响。

#### 3.3 人力成本高昂,资源浪费严重

传统更换作业需 3~4 名人员协同配合,包括 1 名吊车操作人员、1~2 名地面配合人员、1 名高处作业人员。吊车调用需提前协调,常出现人员到位但吊车未到的情况,导致作业延误,间接增加成本。某油气田企业统计数据示,传统方法单次作业人均工时成本 200 元/h,人工成本达 800~1200 元,加上吊车租赁费用 1500~2000 元/次,单次更换直接成本超 2000 元。

#### 3.4 设备损耗严重,维护成本增加

传统方法中刹车带的强制扩张是设备损耗的主要原

因, 刹车带钢带采用弹簧钢制造, 虽有弹性, 但强制扩张会导致永久性变形。变形后的钢带无法与刹车轮毂紧密贴合, 制动时受力不均, 易出现制动抖动, 加剧制动片磨损, 缩短其使用寿命。同时, 变形严重的钢带需更换, 一根普通型号刹车钢带价格约 5000~8000 元, 某修井队每年因传统更换方法报废 3~4 根钢带, 仅钢带更换费用就达 1.5~3.2 万元, 此外, 操作不当还可能损坏刹车轮毂、螺栓等部件, 进一步增加维护成本。

## 4 新型制动片更换工具的设计

### 4.1 设计理念与技术指标

(1) 设计理念: 针对传统方法的弊端, 新型工具以“便捷操作、安全可靠、适配性强、经济高效”为核心设计理念。便捷操作方面, 通过结构创新简化流程, 实现单人独立操作; 安全可靠方面, 摒弃吊车吊装, 保护刹车钢带不受损伤; 适配性强方面, 采用可调节结构, 适配不同型号绞车; 经济高效方面, 减少人力投入与设备损耗, 缩短作业周期。

(2) 技术指标: 基于现场需求与绞车技术参数, 新型工具主要技术指标如下: 跨距调节范围 780mm~1100mm, 适配 XJ250、XJ350、XJ550 等常用型号绞车; 额定承载能力 $\geq 5\text{kN}$ , 确保工具稳定锁止; 手动操作, 无需外接动力源; 单次更换作业时间 $\leq 1.5\text{h}$ , 较传统方法缩短 60% 以上; 重量 $\leq 15\text{kg}$ , 便于携带; 使用寿命 $\geq 5$  年或累计作业 $\geq 100$  次。

### 4.2 核心结构与工作原理

#### (1) 主体结构设计

新型工具主体以高强度合金钢旋转管体为核心, 两端加工正反丝扣, 连接两根空心钢管伸缩杆, 形成双向伸缩结构, 伸缩杆表面设刻度标识, 便于掌握伸缩量。作业时, 将工具放入滚筒内部, 调整伸缩杆伸出长度, 使其跨距与滚筒内径匹配, 顺时针转动旋转管体, 驱动两端伸缩杆同步向外伸出, 顶紧滚筒内壁, 通过摩擦力实现自定锁止, 无需额外固定装置, 操作简便快捷, 且能确保作业过程中工具稳定。

#### (2) 导板设计

伸缩杆两段焊接加宽导板, 导板采用 10mm 厚耐磨钢板制造, 宽度 80mm, 大于刹车块间隙 (5~60mm), 表面经打磨处理, 光滑耐磨。制动片更换时, 刹车带沿导板移动, 导板起到导向与支撑作用, 避免刹车带偏移、卡滞, 同时使刹车带受力均匀, 防止变形。实践证明, 加宽导板使卡滞现象发生率降至 5% 以下, 提升作业连续性与稳定性。

#### (3) 刹车带连接方式

采用钢片打孔连接方式固定刹车带, 在刹车带钢带两端接 8mm 厚连接钢片, 钢片加工 4 个直径 12mm 通孔, 通过螺栓将两根刹车带连接成环形结构, 保持刹车钢带原

有形状, 避免吊装或拉伸导致变形。作业时, 将连接好的刹车带套在导板上, 旋转钢带使制动片依次对准更换位置, 拆卸旧片螺栓, 安装新片并紧固, 重复操作直至完成所有制动片更换, 流程简单便捷。

#### (4) 辅助结构设计

为提升操作便捷性与安全性, 新型工具增设多项辅助结构: 伸缩杆顶端安装丁腈橡胶防滑胶垫, 增大与滚筒内壁摩擦力, 提高锁止效果, 避免划伤滚筒; 在旋转管体与伸缩杆上加工重量减轻孔, 将工具重量从 20kg 降至 15kg, 便于携带且不影响强度与刚度。

### 4.3 工具优势

(1) 适配性强: 跨距调节范围 780mm~1100mm, 适配多种常用型号绞车, 无需为不同型号单独配备工具, 降低设备投入成本, 且结构紧凑, 适应不同作业场地空间需求。

(2) 安全性能高: 摒弃吊车吊装作业, 消除倾覆、坠物等安全风险, 自定锁止结构与导板设计确保工具与刹车带稳定, 防滑胶垫避免损伤滚筒, 现场应用安全事故发生率为 0。

(3) 操作便捷: 手动操作无需外接动力源, 单人即可完成全部作业, 工具重量仅 15kg, 便于携带安装, 大幅降低作业强度与人力投入。

(4) 成本节约: 保护刹车钢带避免变形, 每年节约钢带更换费用约 2 万元; 人工投入从 3~4 人减至 1 人, 单次作业节约人工成本 600~800 元; 无需调用吊车, 每年节约租赁费用约 3 万元; 作业周期缩短至 1.5 小时以内, 提高设备利用率, 间接创造经济效益, 综合年节约成本超 5 万元。

## 5 新型工具的现场应用与效益分析

### 5.1 现场应用验证

为验证新型工具的适配性、操作性与安全性, 选取某油气田修井队 3 台不同型号修井机 (XJ250、XJ350、XJ550) 开展现场应用测试, 累计完成 20 场次制动片更换作业。

(1) 应用条件: 作业场地为修井现场, 地面平整, 空间满足操作需求; 绞车处于停机状态, 安全防护措施到位; 作业人员经专业培训, 熟悉工具结构原理与操作流程。

(2) 应用流程: 一是作业准备, 检查工具状态, 清理滚筒内部粉尘油污, 准备新制动片与配件工具; 二是工具安装, 将工具放入滚筒, 调整跨距并转动管体实现锁止, 检查锁止状态; 三是刹车带安装, 将待更换刹车带连接成环形, 套在导板上并调整位置; 四是制动片更换, 旋转钢带依次拆卸旧片、安装新片; 五是工具拆除与复位, 逆时针转动管体收回伸缩杆, 拆除工具, 检查刹车带与制动片安装状态, 清理作业现场。

(3) 应用结果: 新型工具适配性良好, 满足不同型号绞车更换需求, 单人可在 1.5h 内完成单次作业, 过程无卡滞、移位现象, 刹车钢带保持原型无变形, 更换后绞

车制动性能达标,制动平稳、制动力充足,无抖动、制动力不足等问题,完全满足现场维护需求。

## 5.2 效益分析

### (1) 安全效益

新型工具彻底消除传统方法吊装作业的安全隐患,避免刹车带变形导致的制动系统故障,20 场次应用未发生任何安全事故,保障作业人员人身安全与设备完好,显著提升现场作业安全水平。

### (2) 经济效益

一是钢带更换费用节约,传统方法刹车带变形率超35%,某修井队每年更换3~4根钢带,每根价格约7000元,年费用2.1~2.8万元,新型工具应用后钢带零变形,年节约费用约2.5万元;二是人工成本节约,传统方法单次作业人工成本800~1200元,新型工具单次仅需300元,修井队每年作业40次,年节约成本约2.8万元;三是吊车租赁费用节约,传统方法单次租赁费用约1800元,年费用7.2万元,新型工具无需吊车,年节约7.2万元。扣除工具购置成本1.5万元,年综合节约成本达11万元以上,经济效益显著。

### (3) 综合效益

一是作业效率提升,单次作业时间缩60%以上,减少绞车停机维护时间,提高设备利用率,保障修井作业连续性;二是维护成本降低,适配性强可推广应用,无需单独配备工具,且工具使用寿命长、维护成本低,降低整体维护成本;三是劳动强度降低,单人即可完成操作,无需高处作业与重物搬运,减轻作业人员劳动强度,提高工作积极性与作业质量;四是行业推广价值高,填补修井机制动系统维护工具领域空白,为维护技术升级提供新路径,符合行业发展需求,具有广泛推广前景。

## 6 结论与展望

### 6.1 结论

本文针对传统修井机绞车制动片更换方法的弊端,开展新型更换工具的创新设计与应用研究,得出以下结论:

(1) 新型工具以“便捷操作、安全可靠、适配性强、经济高效”为设计理念,核心结构采用旋转管体与正反丝扣伸缩杆,实现自定锁止,加宽导板避免刹车带卡滞,钢片打孔连接方式保护刹车钢带,结构设计科学合理。

(2) 新型工具跨距调节范围780mm-1100mm,适配多种常用型号绞车,单人操作可在1.5小时内完成更换作业,摒弃吊车吊装,安全性能显著提升。

(3) 现场应用验证表明,新型工具性能稳定,更换后绞车制动效果达标,年综合节约成本超11万元,同时提升作业效率、降低劳动强度,综合效益显著。

(4) 新型工具填补修井机制动系统维护工具领域空白,为绞车维护技术升级提供新路径,对推动油气田修井作业降本增效、安全发展具有重要意义。

### 6.2 展望

新型修井机绞车制动片更换工具的研发与应用,为油气田修井作业维护技术升级提供重要支撑,随着技术不断优化完善,将在保障作业安全、降低维护成本、提升作业效率等方面发挥更大作用,助力油气田行业高质量发展。

### [参考文献]

- [1]张宏.修井机设备维护与故障处理技术[M].北京:石油工业出版社,2020.
  - [2]李建军.绞车制动系统优化设计研究[J].石油机械,2019,47(8):56-61.
  - [3]王强.修井作业安全管理与风险控制[J].安全、健康和环境,2021,21(3):45-48.
  - [4]刘刚.液压盘式刹车在钻井修井设备中的应用与性能优化[J].石油矿场机械,2022,51(4):38-43.
  - [5]孙伟.修井机绞车制动系统安全标准解读与实践应用[J].石油工业技术监督,2020,36(7):29-32.
  - [6]陈亮.修井机带式刹车控制模式优化及司钻操作改进[J].机械工程师,2023(2):124-126.
  - [7]中国石油天然气集团公司.石油修井机安全操作规程[S].2018.
  - [8]中国石油化工集团公司.绞车制动系统技术条件[S].2019.
  - [9]赵明.摩擦材料在制动片中的应用研究[J].材料科学与工程学报,2020,38(5):789-793.
  - [10]李强.修井机绞车制动系统故障分析与处理[J].石油机械,2021,49(10):78-83.
- 作者简介:吕震(1972.8—),性别:男,毕业院校:中国石油大学,石油工程专业,职称:工程师。