

The difficulty and countermeasure of making steel wire rope inspection robot

Jialong Zhang

Technical Monitoring Center, Zhongyuan Oilfield Branch, SINOPEC, Puyang, Henan, 457003, China

Abstract

Wire ropes are widely used as key load - bearing components in various industries. Given their close relation to production, personal and property safety, in - service wire ropes need to be regularly inspected and maintained. However, the current towing or pulling - type wire rope flaw detection methods are inefficient and difficult to meet the requirements of detection quality and customer needs. Therefore, testing institutions often try to purchase or manufacture rope - climbing robots to improve the detection efficiency and quality. Combining with the author's work experience, this paper elaborates on the difficulties in the manufacturing of wire rope detection robots, analyzes the factors affecting the manufacturing of robots, and puts forward some beneficial ideas for discussion among colleagues.

Keywords

Wire Rope; Nondestructive Testing; Robot; Difficulties; Countermeasures

钢丝绳检测机器人的制作难点与对策

张家龙

中国石油化工股份有限公司中原油田分公司技术监测中心，中国·河南 濮阳 457003

摘 要

钢丝绳在各行各业中作为关键承载部件被广泛应用。鉴于其与生产、人身及财产安全紧密相关，在役钢丝绳需定期检验和维护。然而，现行拖行或拉拽式的钢丝绳探伤方法经常影响数据质量、效率低下、检测人员劳动强度高，难以满足检测质量要求和客户需求。因此，检测机构需设法采购或制作爬绳机器人，以保证检测质量和提升检测效率。本文结合工作经历，分析了钢丝绳检测机器人的现状和设计制作难点，分析了影响机器人设计制作的因素，提出了一些针对性的对策，希望这些思路能给同行的机器人研制带来帮助。

关键词

钢丝绳；无损检测；机器人；难点；对策

1 引言

在现代工业生产体系中，钢丝绳凭借其高弹性、高强度和良好柔韧性等独特优势，广泛应用于建筑、矿山、交通运输、石油等众多领域，成为各类机械设备中不可或缺的关键承载部件。在石油行业，钢丝绳常用于石油钻井架等设备的吊装任务。由于钢丝绳的运行状况直接关系到生产的顺利进行、人员的生命安全以及巨额财产的安全保障，一旦发生断裂，极有可能引发严重安全事故和巨大经济损失。所以，对在役钢丝绳进行定期的检验和维护尤为重要^[1]。

在不同行业中，检测钢丝绳的方式因工作环境和条件的差异而有所不同。对于电梯、索道、煤炭等行业，检测钢丝绳的位置通常配备专门的平台或设施，这使得安置钢丝绳

探伤仪进行检测相对便捷。检测人员能够在相对稳定和安全的环境下，高效完成对钢丝绳检测工作。然而，石油行业的工作环境却极为复杂和恶劣，石油开采多在野外进行，受到风沙、雨雪等恶劣天气的影响，且往往生产进度和时间要求紧张。在这种情况下，常采用沿被检钢丝绳拖行或拉拽钢丝绳探伤仪上下移动的方法进行无损检测。但这种传统方法存在诸多弊端，一是仪器在拖行过程中容易受到地形、钢丝绳表面状况等因素的影响而发生波动，导致检测数据不准确，二是钢丝绳表面的油污、杂质等会干扰漏磁检测，使得数据质量难以保证，三是这种检测方式效率低下，检测人员需要耗费大量的体力和时间，劳动强度较大。检测机构对数据质量的严格要求以及客户对高效、准确检测服务的迫切期望，都要求钢丝绳检测行业必须改造传统检测方法以满足工作需要^[2]。

为突破这一困境，提升钢丝绳检测效率和质量，检测机构纷纷致力于采购或自主制作爬绳机器人。爬绳机器人能

【作者简介】张家龙（1985-），男，中国河南濮阳人，本科，助理工程师，从事石油设备无损检测研究。

够沿着钢丝绳自主移动,实现对钢丝绳的快速高效检测,有效避免人工拖行探伤仪带来的诸多问题。业内实现爬绳机器人辅助检测主要有三种技术路线。一是将爬绳机器人与钢丝绳探伤仪统合成一体机,这种设计方式使爬绳机械部分和钢丝绳漏磁检测部分一体成型,在制作和装配过程中具有一定的便利性。然而,其缺点也十分明显,整体重量往往偏大,给运输和携带带来了较多不便。对于需要频繁前往不同地区进行检测的专业检测机构来说,沉重的一体机增加了运输成本和操作难度,限制了其应用范围。二是将爬绳机器人与钢丝绳探伤仪分体设计,检测时通过特定的连接方式将两者组合为一体,或者利用爬绳机器人的结构将探伤仪包在内腔,实现协同工作。完成检测后又可方便地将两者拆开,分别携带。此种方式增加了使用便利性和操作灵活性。但它也存在兼容性问题,一种爬绳机通常只能适配一种特定品牌或型号的探伤仪。一旦两者分离,爬绳机很难再与其他品牌的探伤仪兼容,这在一定程度上限制了设备的通用性和可扩展性。三是单独购置爬绳机器人,用于配合探伤仪进行检测。单独售卖的爬绳机器人虽然在使用上具有一定的灵活性,但价格普遍较贵,增加了检测机构的成本。而且这类机器人同样存在重量较大的问题,实际检测过程中经常出现打滑的情况,导致机器人无法稳定地在钢丝绳上移动,影响了检测工作的正常开展,降低了检测效率和准确性。

2 爬绳机器人制作的难点

作为专门用于钢丝绳无损检测的爬绳机器人,必须同时满足多方面要求。在功能方面,它必须具备牢固抓绳能力,以确保检测过程中不会因钢丝绳的晃动、振动等因素从高处滑落,保障检测工作的安全性;上下行要顺畅无阻,能快速、稳定地沿着钢丝绳移动,提高检测效率;悬停功能也至关重要,要能方便检测人员发现局部异常信号时及时让机器人停止移动,返回复查,以获取更准确的检测数据;必须满足方便携带的要求,要易于拆卸,方便运输,能够在不同检测现场迅速部署和调整位置,适应检测机构频繁出差的需求;还能远距离遥控操作,使检测人员能够在安全距离外控制机器人的运行,减少人工靠近危险区域的风险。然而在实际设计制作过程中,存在诸多因素严重影响着以上目标的实现。

2.1 钢丝绳表面状况复杂

在役钢丝绳的表面状况千差万别,给爬绳机器人的设计和制作带来了极大挑战。有的钢丝绳表面光滑,使得爬绳机运行时容易打滑,难以稳定地攀爬。轮式爬绳机主要依靠轮子与钢丝绳表面的摩擦力来实现移动,当钢丝绳表面过于光滑时,摩擦力不足,机器人就会出现滑动现象,无法按照预定的路径移动,导致检测工作中断或检测数据不准确。大部分钢丝绳长期露天使用,经受风吹日晒雨淋,表面会逐渐积累一层厚厚的油灰混合污物。这些油泥不仅影响机器人的抓绳能力,还极易进入机器人内部电路或机械部件间,导致

短路、接触不良问题,影响机器人内部电控系统正常工作或加剧部件磨损,降低机械结构的可靠性,使机器人损坏,增加维修成本和检测延误的风险。

2.2 钢丝绳绳径跨度大

我国钢丝绳种类繁多,应用领域广泛,不同行业所采用的绳径差异巨大。常见的较细钢丝绳绳径仅12mm,而较粗的钢丝绳绳径可达85mm。通常, $\Phi 20$ 以下的细直径钢丝绳由于采购成本相对较低,大部分用户在发现问题时更倾向于直接更换,对其检测需求较少。只有 $\Phi 20$ 以上粗直径钢丝绳才有检测需求。即便如此,20mm—85mm钢丝绳在绳径跨度上很大,要研发出一款能够适应如此广泛绳径范围的爬绳机器人,实现一机多用,难度极大。爬绳机器人的抓绳机构需要根据不同的绳径进行调整和适配,以确保能够牢固地抓住钢丝绳。然而,现有的抓绳机构设计很难兼顾如此大跨度的绳径范围。如果设计过于复杂的可调节结构,又会增加机器人的重量和体积,降低其可靠性和稳定性。

2.3 悬停功能要求苛刻

悬停功能对于钢丝绳检测爬绳机器人来说至关重要。在检测过程中,检测人员一旦发现局部有断丝、磨损等异常信号时,就需要机器人能够迅速悬停并返回复查,对该部位进行加密检测,以准确判断缺陷的程度和性质。然而,实现可靠的悬停功能并非易事。一方面,机器人需要具备足够的制动力和摩擦力,以克服钢丝绳的晃动和自身的惯性,保持稳定的静止状态;另一方面,悬停机构的设计要简单可靠,便于控制,同时不能对机器人的整体结构和性能产生负面影响。

2.4 兼顾坚固与轻便的矛盾

钢丝绳检测仪大多属于强磁设备,会对设备内部电子元器件的正常使用造成干扰。出于安全考虑,所有强磁设备都不允许通过飞机空运。对于专业检测机构而言,需要经常前往全国各地开展检测工作,这就对爬绳机器人的重量提出了严格要求,不能太重,否则不利于长途携带。检测人员可能需要携带机器人乘坐火车、汽车等交通工具前往偏远的检测现场,如果机器人重量过大,会给他们的出行带来极大的不便。但在实际检测环境中,机器人面对的是大型的钢制结构件,检测环境较为恶劣,其外壳必须具备较强的抗磕碰能力,才能有效保护内部的精密器件。在石油钻井等工作场景中,机器人可能会受到周围设备的碰撞、震动等影响,如果外壳不够坚固,内部的检测零部件易被损坏,导致检测工作无法正常进行。这就形成了坚固与轻便之间的矛盾,给爬绳机器人的设计和制作带来了很大的困难。

3 对策

3.1 解决油脂对机器人性能的影响

针对钢丝绳表面光滑或表面污物较多的问题,可采取多方面措施。一方面可考虑在其前端和后端额外设置油脂清

除器。清除器的材质可选用耐磨塑料或有机玻璃,这两种材料不仅重量较轻,不会给机器人增加过多重量,且具有良好的耐磨性和耐腐蚀性。另一方面,可选用先进的重量轻的检测仪器,如采用声发射检测技术。该技术通过传感器采集钢丝绳在受力过程中产生的声发射信号,从而实现对钢丝绳内部缺陷的无损检测。声发射检测技术具有检测灵敏度高、实时性强等优点,能够在不接触钢丝绳的情况下,快速、准确地检测出钢丝绳的缺陷。而且,由于该技术不需要复杂的机械结构和大型的检测设备,检测仪器重量较轻,便于与爬绳机器人集成使用,降低了油脂等因素的干扰。

3.2 设计通用性强的机构

为解决钢丝绳绳径跨度大、难以适应的问题,可采用分段更换抱紧滑轮的形式。通过设计一系列不同规格的抱紧滑轮,选择性安装和更换。这种方式能在一定程度上满足不同绳径的检测需求,且结构相对简单,成本较低。在更换滑轮时,只需要使用简单的工具,即可快速完成操作,提高机器人的通用性和灵活性。虽然有人提出过采用伸缩式抱紧机构的方法,但此方法实际上增加了结构的复杂性,不仅增加了设计难度,还会导致机构尺寸增大,不利于机器人的小型化和便携性。相比之下,分段换装机器人爪轮机构更加简单实用,能在保证通用性前提下,降低机器人的设计和制作成本。

3.3 采用兼顾坚固和轻便的新型材料

随着材料科学的不断发展,许多新材料不断涌现。铝合金材料具有密度低、强度较高的特点,可以代替钢铁材料制作机器人的主承载框架。铝合金的密度约为钢铁的三分之一,但其强度能够满足机器人在一般工作环境下的承载要求。碳纤维材料具有高强度、低密度的优势,其强度比钢铁高很多,而密度却比铝合金还低。可将碳纤维材料用于制作机器人的外壳等部件,既能有效减轻机器人的重量,又能提高外壳的抗磕碰能力和耐磨性。硬质耐磨塑料具有良好的耐磨性和一定的强度,且成本较低,可用于制作机器人的一些非关键部件,如防护板、连接件等。此外,3D打印技术的兴起也为机器人制作带来了新的思路,可直接打印复杂零部

件,替代多环节连接机构,减少零部件数量,提高结构的整体性和可靠性,实现轻量化设计,进一步减轻机器人重量。

3.4 解决机器人的悬停问题

为实现钢丝绳检测爬绳机器人的悬停功能,建议选择磁性滚轮作为机器人的主动轮。由于钢丝绳属于磁性材料,磁性滚轮在与钢丝绳接触时,除了原本的摩擦力外,还会产生磁性吸力。这种磁性吸力实际上变相增加了部分摩擦力,提高了机器人对钢丝绳的抓紧力。当需要悬停时,通过控制磁性滚轮的电磁力,使其与钢丝绳之间的磁性吸力增大,从而实现可靠的悬停。这种方法对于一般的钢丝绳爬绳检测非常适用,尤其是在油脂较多的场合。

4 结语

本文针对钢丝绳爬绳机器人制作过程中出现的诸多难点,提出了一系列具有针对性的对策。其中一些对策如增加刮平机构、采用磁性滚轮等,只需对机器人进行简单改造即可实现,操作相对容易,能在现有机器人基础上快速实施,提高机器人的性能。而有些对策如设计通用性强的机构、采用新型材料等,则需要对仪器的设计进行较大幅度改动,涉及机械结构设计、材料选择、电控系统优化等多个方面。这就需要仪器制造厂家与检测机构紧密合作,充分了解现场需求。仪器制造厂家要根据检测机构反馈的实际问题和需求,不断优化产品设计,提高产品质量和性能;检测机构则要积极参与到机器人的研发过程中,提供实际工作中的数据和经验,为厂家的设计改进提供依据。只有双方相向而行,共同努力,才能制造出更多满足客户实际需要的钢丝绳检测用爬绳机器人。随着技术的不断进步和创新,相信未来的钢丝绳检测爬绳机器人将在性能、便携性和通用性等方面取得更大的突破,为保障钢丝绳的安全运行发挥更大的作用,推动整个钢丝绳检测行业的发展。

参考文献

- [1] 浅谈石油钻机起升大绳的无损检测. 黄永生; 曾诚臣. 装备维修技术. 2021年第35期. 329;
- [2] 石油钻机井架底座起升钢丝绳检测难点与对策. 黄永生; 明兵; 崔大宇. 装备维修技术. 2022年27期. 292。