

# Research on Service Life of Wire Rope of Hoisting System in Ultra-deep Mine

Ting Yang

School of Mechanical and Power Engineering, Chongqing University of Science and Technology, Chongqing, 401331, China

## Abstract

With the increasing exploitation of deep strata mineral resources, the research of ultra-deep mine hoist technology becomes the key point. As the main parts of the ultra-deep mine hoisting system, the research on the mechanical properties and service life of the hoisting rope is very important. This paper summarizes the research on hoisting wire rope, and puts forward some suggestions and prospects from the angle of extending the service life of wire rope.

## Keywords

ultra-deep mine hoisting system; wire rope; service life

## 超深矿井提升系统钢丝绳使用寿命研究综述

杨汀

重庆科技学院机械与动力工程学院, 中国·重庆 401331

## 摘要

随着对地层深部矿产资源开采力度的不断加大,超深矿井提升机技术的研究成为重点。提升钢丝绳作为超深矿井提升系统的主要部件,其力学性能和使用寿命研究至关重要。论文对提升钢丝绳相关研究进行总结,并从延长钢丝绳使用寿命的角度提出一些建议和展望。

## 关键词

超深矿井提升系统; 钢丝绳; 使用寿命

## 1 引言

钢丝绳柔性好、抗拉伸能力强等优点,在机械、冶金、矿山等工程领域中被广泛应用于拉曳提升作业。随着矿产资源开采力度增加,中国逐渐进入深井开采模式,多绳缠绕式提升机是最适合超深矿井提升的提升方式,其通过钢丝绳在卷筒上的缠绕与解缠绕行为,带动容积罐做起升和下降运动将地层矿物提升到地面。钢丝绳作为连接卷筒、天轮和罐笼的重要部件,其力学性能与提升系统的安全运行和提升效率密切相关。

论文从提升机钢丝绳的常见失效形式的角度出发,对目前针对钢丝绳展开的相关研究进行总结与概括,分析钢丝绳使用寿命的影响因素,并提出一些建议和展望。

【基金项目】重庆科技学院项目——超深矿井提升系统多层缠绕提升机钢丝绳绳状态下的力学特性研究(项目编号: YKJCX2020317)。

【作者简介】杨汀(1998-),男,中国四川泸州人,硕士,从事资源与环境(油气装备技术工程)研究。

## 2 提升机钢丝绳常见失效形式

超深矿井多层缠绕提升机在工作时钢丝绳主要承受沿钢丝绳轴向的拉伸载荷,钢丝绳在卷筒、天轮上缠绕时的弯曲载荷以及钢丝绳在提升过程中自身产生的扭转载荷。此外,钢丝绳股内以及绳股之间钢丝在载荷作用下存在复杂的摩擦、磨损等相互作用。在不断重复的提升与下降过程中,钢丝绳承受多种载荷的耦合作用,并逐渐发生破坏,直至失效。提升钢丝绳的主要失效形式有以下几种。

### 2.1 磨损

提升钢丝绳进行提升和下放工作的过程中,由于与卷筒、天轮、制动器以及调绳装置等接触造成磨损,导致钢丝绳界面减小,机械性能降低,直至破坏。此外,由于钢丝绳的提升过程中各钢丝绳承受载荷情况不同,造成钢丝绳张力、变形不均匀,各钢丝之间的相互作用,也会对钢丝绳造成内部磨损。

### 2.2 疲劳

提升机工作时的提升速度并不是恒定不变的,其变化总体为加速—匀速—减速模式,整个过程中钢丝绳所承受载荷不断变化。钢丝绳在提升过程中承受载荷情况较为复杂,

且不断变化的载荷对于钢丝绳会造成疲劳损伤,最终影响钢丝绳的使用寿命。此外,钢丝绳在天轮和卷筒上重复进行弯曲和缠绕,随着钢丝绳提升次数的增加,钢丝绳的使用寿命也会存在一定程度的降低。

### 2.3 锈蚀

多数矿井提升机工作环境较为潮湿,空气水分较大,提升钢丝绳在此环境下工作时表面易发生氧化锈蚀。造成钢丝绳表面钢丝出现凹坑,影响钢丝绳的机械性能,严重者由于钢丝绳表面不平造成应力集中,最终导致断丝现象,引发断绳事故。因此,锈蚀对钢丝绳使用寿命的影响不容忽视。

### 2.4 振动

超深矿井提升机钢丝绳的柔韧性较好,在进行超深提升过程中易发生振动、晃动现象,对钢丝绳滋生造成剧烈冲击,不仅影响钢丝绳的提升效果,还对钢丝绳使用寿命造成影响。

## 3 中国和其他国家的研究现状

随着有限元分析方法和相关软件的发展,有限元技术以计算机分析代替人工演算,不仅节约了研究周期和研究成本,而且研究结果也与工程实际情况相符,因此被广泛应用于各大工程领域。近年来,中国和其他国家的诸多学者以有限元方法建立钢丝绳仿真模型,对其各种载荷和材料参数进行设置,模拟钢丝绳在实际工况中的工作状态,针对钢丝绳的力学性能进行了很多研究。

Stanová E 等人<sup>[1]</sup>对钢丝绳轴向载荷下的应力分布进行研究。V Fontanari<sup>[2]</sup>对钢丝绳在轴向拉伸载荷作用下的内部应力分布进行了研究。但并未考虑钢丝绳在轴向载荷作用下自身发生扭转对钢丝绳力学性能的影响。

吴娟、寇子明等人<sup>[3]</sup>就捻向对外层钢丝的应力分布和变形规律的影响进行了研究。C Erdem imrak、Cengiz Erdönmez 利用 abaqus 对钢丝绳实体模型进行力学分析,对钢丝绳应变与轴向力的关系进行研究。马军等人就轴向载荷作用下钢丝绳内部应力分布与变形规律进行了研究。C Erdonmez、C E Imrak、刘玉辉、戴珊珊等人对承受轴向载荷的钢丝绳的应力与应变关系进行阐述,但忽略了钢丝绳内部钢丝之间的接触摩擦与相对变形。

Dagang Wang、陈原培、姜海波等人考虑钢丝绳内部钢丝之间的接触和摩擦,对钢丝绳使用寿命进行研究。任志乾等从载荷冲击的角度对钢丝绳进行研究,并进行实验验证,发现冲击载荷造成钢丝绳失效的原因是内部钢丝的接触损伤。考虑钢丝绳在载荷作用下内部钢丝之间的相互行为,对钢丝绳的接触损伤和使用寿命的影响进行分析。

Yusuf Aytac Onur 和 C Erdem Imrak 对绕过滑轮承受拉伸载荷的 6×36Warrington-Seale 型钢丝绳疲劳寿命情况进行分析,发现载荷和弯曲程度对钢丝绳使用寿命都有影响。熊伟红等将有限元分析方法与 Manson-Coffin 钢丝绳结合建立了钢丝绳的疲劳寿命计算模型,并进行了实验验证。贾小凡、张德坤、李巍等人对钢丝绳在载荷作用下疲劳寿命的影响因素

展开研究。胡志辉发现钢丝绳的缠绕形式对钢丝绳使用寿命影响较大,且不同缠绕位置的钢丝绳寿命损伤程度有所不同。

综上所述,钢丝绳自身结构独特以及其在工作时所承受载荷状态复杂,关于钢丝绳使用寿命方面的研究,主要集中在拉伸、弯曲以及扭转载荷以及钢丝绳钢丝之间的相互作用等因素对钢丝绳使用寿命的影响。

## 4 延长提升钢丝绳使用寿命的措施

钢丝绳的正确选型。提升钢丝绳的种类繁多,不同的提升钢丝绳力学性能存在较大差异,适用于不同的工作环境。因此,钢丝绳是否正确选型,对提升效果以及钢丝绳的使用寿命有很大影响。

消除钢丝绳之间提升不同步现象。超深矿井缠绕式提升机与浅井缠绕式提升机不同,采用多绳同步作用对提升容器进行提升和下降。提升过程中由于制造、安装以及提升重心的影响,各根钢丝绳之间变形伸长量存在差异,并随着提升不断累积,造成钢丝绳提升不同步的现象,严重时甚至会引发钢丝绳骤断,造成安全事故。此外,提高浮动天轮或游动卷筒等结构对钢丝绳变形差进行补偿,对延长钢丝绳的使用寿命很有必要。

钢丝绳的正确保养与维护。提升机钢丝绳新绳在安装时必须对其进行浸油、注油处理。但提升钢丝绳的工作具有高强度、高重复的特点,在使用一段时间后钢丝绳变得干涩,此时为保证钢丝绳正常工作和稳定提升,需要对钢丝绳进行定期保养,否则由于缺乏润滑,钢丝绳磨损加剧,且由于矿井潮湿易发生锈蚀破坏,严重降低钢丝绳的机械性能和使用寿命。因此,正确合理的保养维护措施一定程度上可以延长钢丝绳的使用寿命。

## 5 结语

随着对超深矿井钢丝绳研究的逐渐深入,在现有单一工作载荷研究基础上,对钢丝绳多种载荷耦合作用下的力学特性进行研究,实现对矿井提升系统钢丝绳复杂的实际工况进行深度模拟仿真分析将成为研究趋势。从而对钢丝绳使用寿命做出准确预测,及时更换钢丝绳,避免安全事故的产生。此外,对钢丝绳在瞬态载荷冲击下的应力应变规律进行分析,并研究瞬态冲击对钢丝绳力学性能和使用寿命的影响对于超深矿井提升技术具有重要意义。

### 参考文献

- [1] Stanová E, Fedorko G, Fabian M, et al. Computer modeling of wire strands and ropes part II: Finite element-based applications[J]. Advances in Engineering Software, 2011,42(6):322-331.
- [2] V Fontanari, M Benedetti, B D Monelli. Elasto-plastic behavior of a Warrington-Seale rope: Experimental analysis and finite element modeling[J]. Engineering Structures, 2015(82):1132-1134.
- [3] 吴娟,寇子明,刘玉辉.独立钢丝绳芯钢丝绳应力及变形分布[J].煤炭学报,2014,39(11):2340-2347.