

Study on Fatigue Life Analysis Method of Coiled Tubing

Zhongjian Yi, Jing Li, Wei Nie, Hongbao Tang, Rongrui Jia, Jixian Yang

Downhole Operation Branch, Bohai Drilling Engineering Company, CNPC, Renqiu Hebei
Email: yizhongjian@cnpc.com.cn

Received: Apr. 5th, 2019; accepted: May 25th, 2019; published: Oct. 15th, 2019

Abstract

In this paper, the failure classification of coiled tubing was introduced according to different damage modes and damage forms, and the commonly used fatigue life analysis methods of coiled tubing are described. The life prediction models based on Miner linear accumulation theory, strain parameter criterion and three-parameter power function energy method were mainly introduced. Finally, based on the above fatigue life analysis method, the development trend and research direction of modern life prediction model are proposed.

Keywords

Coiled Tubing, Fatigue Life, Prediction Model

连续油管疲劳寿命分析方法研究

仪忠建, 李进, 聂伟, 唐宏宝, 贾容锐, 杨继现

渤海钻探工程有限公司井下作业分公司, 河北 任丘

作者简介: 仪忠建(1979-), 男, 高级工程师, 现主要从事油气田勘探开发方面的工作。

Email: yizhongjian@cnpc.com.cn

收稿日期: 2019年4月5日; 录用日期: 2019年5月25日; 发布日期: 2019年10月15日

摘要

根据连续油管的不同损伤方式对其失效形式进行分类, 对目前常用的连续油管疲劳寿命分析方法进行了研究, 重点分析了Miner线性累积理论、应变参数准则、3参数幂函数能量法的寿命预测模型。最后, 根据上述疲劳寿命分析方法, 笔者指出了现代寿命预测模型的发展趋势与研究方向。

关键词

连续油管, 疲劳寿命, 预测模型

Copyright © 2019 by author(s), Yangtze University 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. 连续油管失效形式

连续油管在使用过程中, 会受到物理破坏、化学腐蚀等不同形式的损伤, 按照连续油管的损伤方式[1][2], 其失效形式可分为3种类型: ① 物理破坏损伤。连续油管作业工程中, 受到挤压、扭转、弯曲、拉伸等力学破坏, 在周期性的力学破坏下连续油管产生疲劳损伤, 会在一定程度上减少连续油管的使用寿命。② 化学腐蚀损伤。连续油管作业常常在腐蚀性介质环境中, 在高温高压的条件下, 会增加设备的腐蚀速率。③ 人为因素损伤。主要指装备制造安装失误、作业中操作不当等人为因素造成的连续油管损伤行为。

基于连续油管的受损程度、受损形式各不相同[3], 可将其分为以下3种类型: ① 变形失效。变形失效是指连续油管作业过程中产生的塑性变形失效。变形失效的主要表现形式为油管鼓胀和截面扁平等。连续油管的塑性变形可能会使油管产生塑性疲劳损伤。② 表面损伤失效。有表面腐蚀损伤与表面接触损伤2种失效形式。表现形式有局部穿孔、压痕、摩痕以及凹陷等[4]。③ 断裂失效。断裂失效是连续油管最为普遍的失效形式, 包括过载断裂、应力断裂和疲劳断裂。

2. 连续油管寿命预测方法

针对连续油管较为成熟的疲劳寿命预测理论有: Miner 线性累积理论、应力及应变准则和三参数幂函数能量法。基于现场应用与试验数据基础上的经验公式法也较为常见。

1) 基于 Miner 线性累积损伤理论的疲劳寿命预测方法

该预测方法主要适用于多轴高周疲劳问题，基于线性 Miner 疲劳法则，构建寿命预测模型，其计算关系式如下[5]：

$$N = \frac{N_M \sigma_M^2}{\sigma_r^2 + 2\sigma_g^2} \quad (1)$$

式中： N 是连续油管基于疲劳累积损伤理论下的计算寿命，次； N_M 为连续油管可靠度是 0.5 时所对应的寿命，次； σ_M 为可靠度是 0.5 时对应的应力，MPa； σ_r 、 σ_g 分别为卷筒与导向架弯曲导致的连续油管的等效应力，MPa。

2) 以应变为参数的疲劳寿命预测模型

该预测模型一般应用于完整连续油管的低周疲劳寿命研究，主要是根据等效塑性应变原理进行计算，对于存在损伤的连续油管预测效果会降低。

基于等效应变理论[6]，在径向应力与环向应力耦合作用下连续油管的等效塑性应变关系式为：

$$\varepsilon_{pe} = \frac{\sqrt{2}}{3} \sqrt{(\varepsilon_{p'} - \varepsilon_{hp})^2 + (\varepsilon_{hp} - \varepsilon_{tp})^2 + (\varepsilon_{tp} - \varepsilon_{p'})^2} = \frac{2}{3} \varepsilon_{p'} \quad (2)$$

连续油管在径向应力与环向应力耦合作用下的疲劳寿命计算公式为：

$$\varepsilon_{pe} = CN^{-\alpha} \quad (3)$$

式中： ε_{hp} 、 ε_{tp} 分别为连续油管在内压 p 作用下的径向应力与环向应力，MPa； α 为材料的塑性指数，1； N 为连续油管的计算寿命，次。

3) 三参数幂函数能量法连续油管寿命预测模型

连续油管疲劳寿命预测中常常采用能量法，三参数幂函数能量法能够兼顾考虑连续油管缺陷因素对疲劳寿命的影响(Manson-Coffins 方程、幂指数函数模型等能量法都忽略连续油管缺陷的影响)，结合三参数幂函数能够综合考虑内压以及初始状态对连续油管疲劳寿命的影响。

4) 疲劳寿命经验公式方法由于在一定程度上忽略了各种因素对寿命的影响，其预测效果具有一定的局限型，但对于环境工况等外部因素相似的连续油管作业，其预测依然具有实用价值，可与理论寿命计算方法进行对比验证，为理论研究提供依据。

3. 连续油管寿命预测方法发展趋势

1) 基于现有的疲劳寿命预测方法进行改进

基于现有的疲劳寿命预测方法进行改进主要从考虑因素多样化、不确定参数精确化以及适用范围全面化等角度进行深入研究。实际作业中，影响连续油管寿命的因素很多，影响程度也各不相同，且存在不同因素之间相互影响或组合作用的情况，多因素考虑意味着其寿命预测方法具有更加广泛的适用性和更加准确的预测效果；不确定参数精确化应用在基础预测模型建立完成后的修正过程。实际应用时，很难出现两个完全相同的工作环境，参数的选取会影响预测效果，不确定参数精确化不是提高数值精度，而是结合参数的具体影响程度、参数选取的范围来确定参数；适用范围全面化需要脱离单个预测模型的局限性，能够适用于尽可能多的情况(如对含缺陷连续油管的寿命预测等)。

2) 基于计算机仿真技术进行分析

计算机应用能够对具体的连续油管模型进行仿真分析，计算机仿真技术具有分析精确、计算全面的特点[7] [8]。如何建立出能够反映现场实际的连续油管分析模型是该技术的难点，目前主要是基于计算机的有限元分析建立寿命预测简化模型[9]。

3) 基于现代优化算法的进行预测模型建立

神经网络、模拟退火算法、模糊算法等现代优化算法技术已经应用于连续油管的寿命预测中，最优化理论能够大幅提升寿命预测效果。

4. 结语

连续油管在高温高压、高腐蚀性的环境下工作，极易出现失效状况。几种常规的连续油管疲劳寿命分析模型可以在一定情况下预测连续油管的疲劳寿命，但这些预测方法往往不能够满足实际工作需求(如含缺陷连续油管的疲劳寿命预测等)。目前国内对于连续油管疲劳寿命的分析计算处于基于试验法的数据积累阶段，对于复杂状况的寿命预测研究还亟待深入。

基金项目

中国石油天然气集团公司重大工艺研究项目“华北油田套损套变井连续油管修井工艺技术研究”(2018ZD21Y-03)。

参考文献

- [1] 赵昆. 国外连续油管作业机研究进展及国内现状[J]. 石油矿场机械, 2012, 41(2): 78-84.
- [2] 李斌. 连续油管失效的机理与原因分析[J]. 石油机械, 2007, 35(12): 73-76, 78.
- [3] 李建文. 连续油管变形行为研究及疲劳寿命预测[D]: [硕士学位论文]. 青岛: 中国石油大学(华东), 2016.
- [4] 程文. 连续油管力学特性分析与疲劳寿命研究[D]: [硕士学位论文]. 成都: 西南石油大学, 2016.
- [5] 何春生. 连续油管低周疲劳寿命预测及屈曲分析方法研究[D]: [硕士学位论文]. 大庆: 东北石油大学, 2014.
- [6] 李伟权. 连续油管疲劳寿命实验与评估技术研究[D]: [硕士学位论文]. 大庆: 东北石油大学, 2012.
- [7] 李雪娇. 预弯曲连续油管及其疲劳寿命预测[D]: [硕士学位论文]. 秦皇岛: 燕山大学, 2012.
- [8] 肖晖. 连续油管力学行为及低周疲劳寿命研究[D]: [硕士学位论文]. 成都: 西南石油大学, 2017.
- [9] 王优强, 张丽伟. 连续油管疲劳寿命的预测及模糊优选化[J]. 石油矿场机械, 2001, 30(5): 13-17.

[编辑] 帅群