

文章编号: 1673- 9620 (2007) 02- 0035- 03

井架结构安全承载力动态参数评定方法^{*}

赵庆梅¹, 周国强², 郭奕珊²

(1. 江苏工业学院 机械工程系, 江苏 常州 213016; 2. 大庆石油学院 秦皇岛分院, 河北 秦皇岛 066004)

摘要: 用振动理论研究井架结构固有频率与作用载荷的关系, 并对现场在用井架模型进行了有限元数值分析, 得出井架结构作用载荷与其固有频率平方之间的线性关系, 提出测试井架在零载和有载作用下的固有频率来评定安全承载能力的方法, 并应用此方法对现场在用井架进行了测试和安全评定。

关键词: 井架; 动态参数; 承载能力; 安全评定

中图分类号: TE 923

文献标识码: A

Safety Bearing Capacity Evaluative Method of Derrick Structures Based on Dynamic Parameter

ZHAO Qing- mei¹, ZHOU Guo- qiang², GUO Yi- shan²

(1. Department of Mechanical Engineering, Jiangsu Polytechnic University, Changzhou 213016, China; 2. Qinhuangdao Division, Daqing Petroleum Institute, Qinhuangdao 066004, China)

Abstract: This paper studies the relationship between frequency of derrick structure and load acting on it by using vibration theory, and the numerical simulations analysis for derrick model- in- use is carried. So the linear relationship between the load acting on the derrick and the square of the basic frequency is deduced. On this basis, a method of evaluating the bearing capacity of the derrick is presented by testing frequencies under different load actions. This method is applied to detection and safety evaluation of derrick- in- use.

Key words: derrick; dynamic parameter; bearing capacity; safety evaluation

准确判定在用或服役多年的井架承载能力, 是保证其安全服役的首要问题。目前国外对钻探井架的安全评定偏重于外观查测、简易诊断和一般处置与预防等 3 个方面。从查测的内容来看, 主要是井架杆件的变形、损伤、磨损、腐蚀等, 诊断的结论多偏重于定性分析。国内对钻探用井架承载性能的研究主要都是以井架上有限的测试数据, 通过强度、刚度、可靠性、稳定性等理论来评价在役井

架承载力。这些仅仅从井架上有限的测点数据, 通过线性外推来评价井架整体性能的方法还欠全面与科学。

本文提出了以实测井架结构固有频率为基础来诊断其承载能力的理论和方法。该方法可以真实地反映井架整体结构的实际性能, 科学全面地对现场井架进行安全评定。

* 收稿日期: 2006- 09- 28

基金项目: 中国石油天然气集团公司科学研究与技术开发项目 (03B209000)

作者简介: 赵庆梅 (1974-), 女, 黑龙江大庆人, 助教。

1 承载能力与振动参数的理论研究

1.1 计算模型

可以将井架结构简化为两端铰支的简支梁^[1]。根据稳定等效原理,引入折算长度 L_z 的概念,即将变刚度、铰支座及空腹组合杆的井架结构折算成一根沿长度上质量均匀分布、刚度恒定的简支梁。

$$L_z = \lambda_e \cdot i \quad (1)$$

式中 L_z —折算长度; λ_e —折算长细比; i —回转半径。

1.2 振动理论

简支梁在两端受轴向力 F 的作用下作弯曲自由振动时,需满足振动微分方程^[2]

$$\frac{\partial^2}{\partial x^2} \left(EI \frac{\partial^2 y}{\partial x^2} \right) + F \frac{\partial^2 y}{\partial x^2} + \rho A \frac{\partial^2 y}{\partial t^2} = 0 \quad (2)$$

可求得简支梁的各阶固有频率为:

$$\omega_{nr} = \frac{r^2 \pi^2}{L_z^2} \sqrt{\frac{EI}{\rho A}} \sqrt{1 - \frac{FL_z^2}{r^2 \pi^2 EI}} \quad (r = 1, 2, 3, \dots) \quad (3)$$

1.3 井架作用载荷与其动态参数间的关系

由于井架一阶固有频率易于识别,精度也较高,因此本文主要以一阶固有频率为研究对象,来分析井架结构作用载荷与其动态参数间的关系。

由式 (3),可得到井架结构的一阶固有频率为

$$\omega_n = \frac{\pi^2}{L_z^2} \sqrt{\frac{EI}{\rho A}} \sqrt{1 - \frac{FL_z^2}{\pi^2 EI}} \quad (4)$$

式 (4) 经过变换,可得到

$$F = \frac{\pi^2 EI}{L_z^2} - \frac{L_z^2 \rho A}{\pi^2} \omega^2 \quad (5)$$

分析式 (4) 和式 (5),得到以下几点结论:

(1) 当轴向力 $F = 0$ 时,则得到无轴向力作用的井架结构固有频率计算式,即

$$\omega_0^2 = \frac{\pi^2}{L_z^2} \sqrt{\frac{EI}{\rho A}} \quad (6)$$

(2) 当轴向力 F 作用时,井架结构的固有频率要发生变化,随轴向力 F 增大固有频率减小。轴向力与固有频率的平方关系如图 1 所示。

(3) 当轴向力 F 趋近于临界值时,井架结构的固有频率趋近于零,此时体系处于不稳定的平衡状态,井架临界载荷为

$$F_E = \frac{\pi^2 EI}{L_z^2} \quad (7)$$

这与工程上用压杆稳定原理所计算出来的井架临界载荷是一致的。

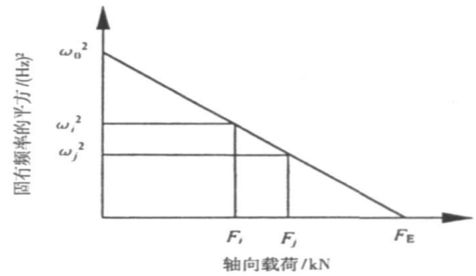


图 1 轴向载荷与固有频率的平方关系

Fig 1 Relationship of axial loads and the squares of frequency

1.4 评定理论

由于井架结构作用载荷与固有频率的平方呈线性关系,本文提出测试井架在两个不同载荷作用下的固有频率来评定井架安全承载能力的方法。由任意两点所确定的线性方程如下

$$F = \frac{F_i - F_j \omega_i^2}{\omega_i^2 - \omega_j^2} + \frac{\omega_i^2 F_j - \omega_j^2 F_i}{\omega_i^2 - \omega_j^2} \quad (8)$$

式中: F_i (F_j)—第 i (j) 种载荷工况, kN; ω_i (ω_j)—在载荷 F_i (F_j) 作用下的井架基本频率, $\omega_{i(j)} = 2\pi f_{i(j)}$; 当 $\omega \rightarrow 0$,可推出井架临界载荷的计算公式

$$F_E = \frac{\omega_i^2 F_j}{\omega_i^2 - \omega_j^2} - \frac{\omega_j^2 F_i}{\omega_i^2 - \omega_j^2} \quad (i, j = 1, 2, 3, \dots \quad i \neq j) \quad (9)$$

式中: F_E —井架结构临界载荷, kN。

当其中一种载荷工况为零时,可得出井架结构临界载荷为

$$F_E = \frac{\omega_0^2}{\omega_0^2 - \omega_i^2} F_i \quad (10)$$

式中: F_i —井架作用载荷, kN; ω_0 —无载作用下的井架基本频率, $\omega_0 = 2\pi f_0$; ω_i —载荷 F_i 作用下的井架基本频率, $\omega_i = 2\pi f_i$ 。

将式 (9) 或式 (10) 得到的试验井架临界载荷与井架设计时的临界载荷相比较,即可确定试验井架结构载荷修正系数 η :

$$\eta = F_e / F_E \quad (11)$$

式中 F_e —井架设计临界载荷, kN; F_E —试验井架临界载荷, kN。

根据式 (9)、式 (11) 可计算出试验井架的实际安全承载能力

$$W = T / \eta \quad (12)$$

式中: T —井架设计额定最大钩载。

2 有限元数值分析

对JJ220/42-K型井架相似模型(1:12)进行有限元计算,其简化计算模型如图2所示,该模型忽略了二层台、天车、人字架及底部连接等附属结构的影响。井架高3.5 m,节点总数103个,计算时用一个单元代表一个杆件,共有197个单元。各杆件均采用Q235钢,共有11种截面特性(如图2)。井架模型的设计最大钩载为17 kN。

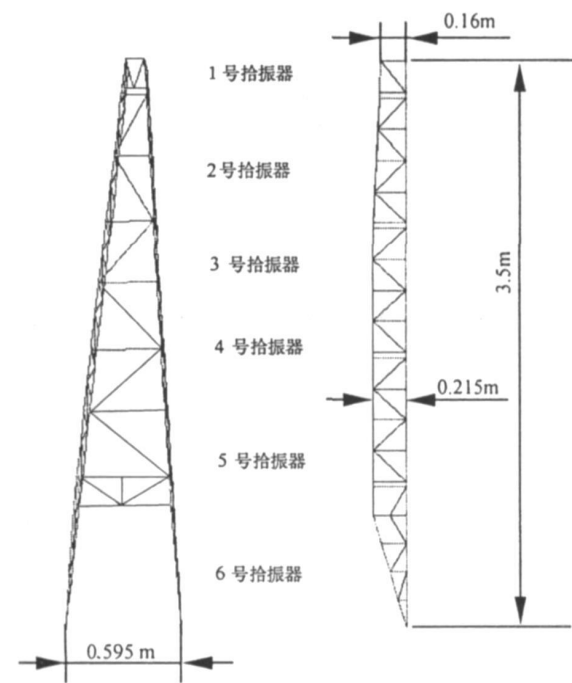


图2 JJ220/42-K型井架相似模型结构计算简图

Fig 2 JJ220/42-K derrick analogical structure diagram

对井架模型进行以下几种载荷工况(以一阶频率作为研究对象)的计算,计算结果见表1。

表1 不同载荷作用时的一阶固有频率值

Table 1 The first basic frequencies of different hook loads

载荷/kN	0	4	8	12	16
频率/Hz	19.20	18.73	18.25	17.73	17.17

井架载荷与结构固有频率的平方关系如图3所示。由此可看出:井架载荷对结构固有频率有影响,随载荷增加固有频率降低,且与固有频率的平方呈良好的线性关系,这与理论分析结果相一致。

3 应用实例

3.1 试验概况

本次试验在长庆油田进行,测试井架型号为JJ90/39-K型钻机井架,井架设计临界载荷为3

653.1 kN。在井架正面沿着井架上下共布置了6个拾振器,其结构简图如图2所示。信号测试采用国家地震局工程力学研究所研制的8914型速度低频传感器(频率范围为0.33~30 Hz,灵敏度为1.5 V·s/m),该传感器与8914型放大器配接后的分辨率为 1×10^{-6} ,测试数据通过计算机采集,并经DASP软件进行分析。

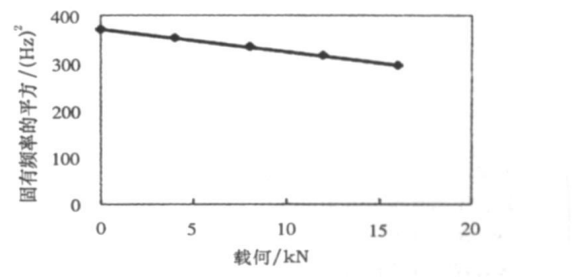


图3 载荷与固有频率的平方关系

Fig 3 Relationship of the basic frequency and the hook

3.2 测试数据及评定结果

现场测试井架在钩载为0和392.0 kN时的频率的平均值分别是0.7813和0.7324。由式(10)得,该试验井架的临界载荷为3232.8 kN。该井架的设计临界载荷 F_e 为3653.1 kN。根据式(11),即可确定试验井架载荷修正系数 $\eta=1.13$ 。根据式(12)可计算出试验井架实际安全承载能力 $W=778.5$ kN。

4 结论

①由于井架结构振动参数取决于井架本身结构的实际性能,所以井架结构振动诊断方法能揭示井架结构的实际承载能力;②井架结构作用载荷对井架结构的固有频率有影响,当载荷增大时,固有频率减小;③通过理论与应用研究表明,井架承载能力动态识别方法以实测井架在不同载荷作用下的固有频率的变化,来确定井架实际承载能力,这对于现场井架的安全评定,指导钻井安全生产将起到重要作用。

参考文献:

[1] 郭奕珊,周国强.井架临界载荷与振动参数的关系[J].石油机械,1995,23(12):18-21.
[2] 屈维德.机械振动手册[M].北京:机械工业出版社,1992.261-281.