

隔水管尾流误差补偿技术研究*

邓欣¹ 朱赛健² 李保军² 申晓红² 王海燕²

(1. 湛江南海西部石油勘察设计有限公司 湛江 524000 2. 西北工业大学航海学院 西安 710072)

摘要:深水隔水管是深水油气勘探开发不可或缺的重要武器,也是深水油气开发技术上要求最高、最具挑战性的部分。随着海洋石油不断向深水进军,深水隔水管的疲劳监测技术在预防隔水管事故方面起到重要的作用。然而,海洋流速是导致深水隔水管疲劳的重要原因之一,为了监测海洋流速常用的方法是对洋流进行原位监测。但是,该法存在一个缺陷:由于隔水管的动态响应,特别是尾流区的存在,使得海洋流速测量存在一定误差。本文根据隔水管尾流特征、流速测量原理以及作业环境特点,提出通过隔水管监测系统内的 MEMS 三轴加速度传感器和陀螺仪来补偿流速的新方法。

关键词:深水隔水管;疲劳;尾流;误差补偿

中图分类号: TN606 **文献标识码:** B **国家标准学科分类代码:** 510.8040

Research of error compensation for riser wake

Deng Xin¹ Zhu Saijian² Li Baojun² Shen Xiaohong² Wang Haiyan²

(1. Survey&Design Company, CONHW, Zhanjiang 524000, China;

2. College of Marine engineering, Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710072, China)

Abstract: Deepwater riser is an important weapon for deepwater oil and gas exploration, and it is the most challenging part of deepwater oil and gas development technology. Along with the continuous development of the offshore oil, the fatigue monitoring technology of the deep water riser plays an important role in the prevention of the water pipe accidents. However, ocean current velocity is one of the important reasons leading to the fatigue of deep water. In order to monitor ocean velocity is commonly used in situ monitoring of ocean currents. However, there is a defect in this method: Because of the dynamic response of the riser, especially the existence of the wake region, there are some errors in the measurement of ocean current velocity. According to the characteristics of the wake flow, the flow velocity measurement principle and the operating environment characteristics of the pipe, a new method for compensating the velocity of the MEMS three axis accelerometer and gyroscope is proposed.

Keywords: deepwater riser; fatigue; wake; error compensation

1 引言

深水区海域开阔,海洋流速大。在洋流的作用下,隔水管一直处于运动中,极易产生涡激振动^[1-3],使隔水管疲劳甚至有断裂破坏的风险。同样,在洋流作用下会使得海面钻井平台振荡、漂移和扭转使得隔水管横向位移增大。隔水管横向位移增大的直接后果是产生应力累积与集中加速隔水管疲劳损伤^[4-5]。此外,横向位移增大还会导致隔水管强度降低,亦将加速隔水管的疲劳损伤^[6-8],缩短其使用寿命^[9-10]。可见,洋流是导致隔水管疲劳的重要因素

之一。因此,应对洋流流速进行长期且准确的监测^[11],以达到对潜在危险进行预警目的。其次,海洋流速可用于涡激振动分析,为隔水管的维护、维修提供依据。现阶段最常采用 ADCP^[12](声学多普勒流速剖面仪)进行原位监测。ADCP 是一种利用声学多普勒原理测验水流速度剖面的仪器^[13-15],它一般配备有 3~4 个换能器。换能器与 ADCP 轴线成一定夹角,ADCP 工作时,换能器发出的声波沿着射线在传播的过程中,水体中的散射体将一部分能量反射回换能器。测量时假设水体在一个水平平面内的流速是均匀的。在测量范围内,将能得到任意层面的水体速度矢

收稿日期:2015-12

* 基金项目:国家科技重大专项(2011ZX05026-001-06)资助

量在四束波束上的投影速度。

然而,处于深水中的隔水管,在流体力作用下发生倾斜,其倾斜方向与洋流方向一致,如图1所示。此时多普勒流速测量仪就会产生相对误差。于是本文提出了一种新方法,即通过隔水管监测系统内的MEMS^[16-18]三轴加速度传感器和陀螺仪补偿误差。

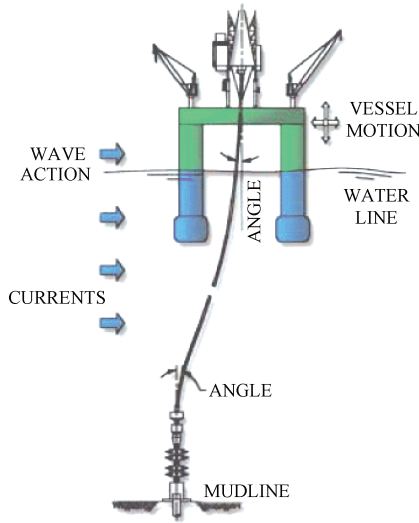


图1 隔水管姿态示意图

2 海洋流速补偿方法

隔水管倾斜方向未知,故作以下3种假设。如图2所示,隔水管绕X轴倾斜、绕Y轴倾斜和两个轴同时倾斜。隔水管绕X轴倾斜时,倾角为 φ ,隔水管Y轴加速度变化;绕Y轴倾斜时,倾角为 θ ,隔水管X轴加速度变化;两轴都有倾斜时,隔水管倾角为 γ 。

流速仪的测量值为 v_t ,海洋流速为 V_c 。隔水管的倾斜由安装在监测系统壳体内部的MEMS三轴加速度和三轴陀螺仪检测。壳体外的流速测量仪与三轴加速度的Y轴平行。

隔水管绕X轴倾斜时,倾角为 φ ,加速度测量值为:

$$a_y = \ddot{y}(t) + g\varphi \quad (1)$$

真实值为

$$\ddot{y}(t) = a_y - g\cos(\varphi(t)) \quad (2)$$

隔水管的运动速度为

$$v_y = \int \ddot{y}(t) dt \quad (3)$$

壳体外的流速测量仪与三轴加速度的Y轴平行。若隔水管做周期性振动,则隔水管运动的矢量和为0,所以此时隔水管运动对流速仪测量无影响。

隔水管绕X轴倾斜时,

$$a_x = \ddot{x}(t) - g\theta \quad (4)$$

隔水管加速度真实值为:

$$\ddot{x}(t) = a_x + g\cos(\theta(t)) \quad (5)$$

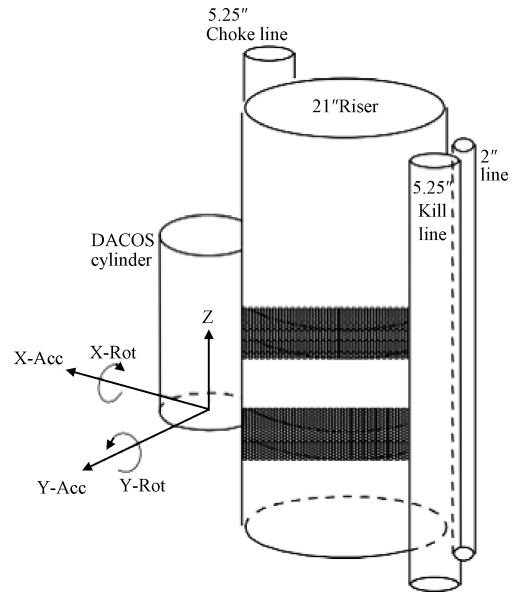


图2 隔水管倾斜示意图

隔水管振动速度为:

$$v_x = \int \ddot{x}(t) dt \quad (6)$$

海洋流速为:

$$V_c = v_t + v_x \cos(\theta) \quad (7)$$

当二者都有倾斜时,隔水管的加速度为:

$$a_{xy} = \sqrt{\dot{y}(t)^2 + \dot{x}(t)^2} \quad (8)$$

速度为:

$$v_{xy} = \int a_{xy} dt \quad (9)$$

隔水管倾角为:

$$\gamma = \arcsin\left(\frac{a_{xy}}{g}\right) \quad (10)$$

洋流速速为

$$V_c = v_t - v_{xy} / \sin\gamma \quad (11)$$

流向隔水管的洋流所在区域定为迎流区,洋流流经隔水管后所在的区域称为尾流区。如图3所示。

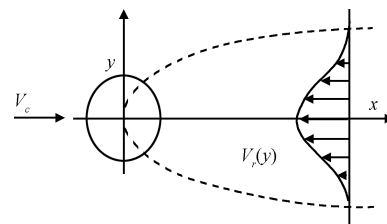


图3 隔水管尾流流速示意图

根据流体力学理论,隔水管尾流区的流速为:

$$V_r(x, y) = k_2 V_c \sqrt{\frac{C_D D_e}{x_s}} e^{-0.693(\frac{x}{b})^2} \quad (12)$$

式中: $x_s = x + \frac{4D_e}{C_D}$, $b = k_1 \sqrt{D_e C_D x_s}$ 。 D_e 为隔水管直径, k_1

取值为 0.25, C_D 为曳力系数, 取值为 1, k_2 取值为 1, x 为尾流区流速方向上, 与隔水管圆心的距离。

若流速仪在尾流区内, 则洋流速度为:

$$V_c = \frac{V_r(x, y)}{k_2} \sqrt{\frac{x_0}{C_D D_e} e^{-0.693(\frac{x}{D_e})^2}} \quad (13)$$

当流速为 0.5 m/s 时, 尾流区流速剖面如图 4 所示。

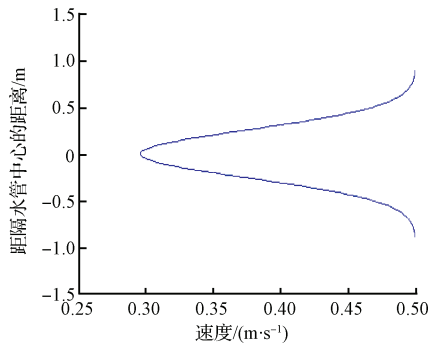


图 4 尾流流速剖面示意

流速仪是否处在尾流区, 可用以下准则判断。

旋涡脱落的频率 f_s , 其表达式为:

$$f_s = \frac{StV_c}{D} \quad (14)$$

式中: U 为流体速度, m/s; D 为隔水管直径; St 是 Strouhal 数, 取 0.2。

对加速度数据进行 FFT 分析可得出隔水管的振动频率 f 。若 $f=f_s$, 则, 流速仪不在尾流区; 反之则处在尾流区内。

综上所述, 海洋流速误差可由隔水管监测系统内的 MEMS 三轴加速度传感器和陀螺仪补偿。

3 流速补偿试验

为了检验本文所提误差补偿方法的可行性, 在陕西省咸阳市礼泉县泔河水库做了一系列的试验, 试验数据如表 1 所示。

表 1 误差补偿试验数据

次数	1	2	3	4	5	平均值
实际流速 (m/s)	0.290	0.280	0.288	0.285	0.281	0.285
补偿流速 (m/s)	0.291	0.279	0.286	0.285	0.280	0.284

经过补偿后的测量误差为 0.4%, 其测量精度比未经过补偿的测量误差(1.3%)小的多。满足深水钻井隔水管疲劳监测系统测流误差指标要求(1.5%)。

4 结论

在洋流的作用下, 隔水管一直处于运动中, 极易产生涡激振动, 使隔水管疲劳甚至有断裂破坏的风险。同样,

在洋流作用下会使得海面钻井平台振荡、漂移和扭转使得隔水管横向位移增大, 加速隔水管疲劳损伤, 缩短其使用寿命。可见, 洋流是导致隔水管疲劳的重要因素之一。因此, 应对洋流流速进行准确, 以达到对潜在危险进行预警目的。由试验数据表明: 本文所提的通过隔水管监测系统内的 MEMS 三轴加速度传感器和陀螺仪流速补偿误差的新方法是行之有效的。

参考文献

- [1] SHI C, MANUEL L, TOGNARELLI M A, et al. On the vortex-induced vibration response of a model riser and location of sensors for fatigue damage prediction[C]. International Conference on Offshore Mechanics & Arctic Engineering, 2010:901-910.
- [2] BAARHOLM G S, LARSEN C M, LIE H. On fatigue damage accumulation from in-line and cross-flow vortex-induced vibrations on risers[J]. Journal of Fluids and Structures, 2006, 22(1): 109-127.
- [3] WILLIAMSON C H K, GOVARDHAN R. A brief review of recent results in vortex-induced vibrations[J]. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 2008, 96(6-7): 713-735.
- [4] LI X M, GUO H Y, MENG F S. Fatigue life assessment of top tensioned risers under vortex induced vibrations[J]. Ocean University of China, 2010, 9(1): 43.
- [5] MODARRES-SADEGHI Y, MUKUNDAN H, DAHL J M, et al. The effect of higher harmonic forces on fatigue life of marine risers[J]. J Soundan Vibration, 2010, 329(1):43-45.
- [6] 孙友义, 鞠少栋, 蒋世全, 等. 超深水钻井隔水管一井口系统涡激振动疲劳分析[J]. 石油学报, 2011, 32(6):1050-1054.
- [7] 孙友义, 陈国明. 超深水钻井系统隔水管波致疲劳研究[J]. 石油学报, 2009, 30(3):460-464.
- [8] Det Norske Veritas. DNV-RP-F204. Riser fatigue[S]. Oslo:Det Norske Veritas, 2005.
- [9] Iranpoura M, Taheri F, Vandiver J K. Structural life assessment of oil and gas risers under vortex-induced vibration[J]. Marine Structures, 2008, 21(4):353.
- [10] BAARHOLM G S, LARSEN C M, LIE H. On fatigue damage accumulation from in-line and cross-flow vortex-induced vibrations on risers[J]. J Fluids and Structures, 2006, 22(1):109-127.
- [11] COOK H, DOPJERA D, THETHI R, et al. Riser Integrity Management for Deepwater Developments[C]. The 2006 Offshore Technology Conference, 2006.
- [12] Ukani S. Monitoring and instrumentation[C]. SUT London, 2010.

(下转第 50 页)