

隔水管振动导致的 ADCP 流速测量误差分析*

邓欣¹ 刘晓东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 710000)

摘要: 隔水管是深水钻井的先决条件,是连接海面平台和海底井口的咽喉要道。但是,在洋流作用下隔水管极易产生疲劳损伤。因此,钻井期间监测隔水管处的洋流对隔水管的安全至关重要。提出了按照一定规则沿隔水管外壁布放 ADCP 测点监测其周围流速的新方法。但是,运用此种方法测流时,隔水管的运动给流速测量设备引入测量误差。为此,阐述了误差产生的原因,并对误差进行理论分析。分析结果表明,隔水管振动导致的 ADCP 测流误差可以忽略不计,所提出的测流方法满足监测要求。

关键词: 洋流; ADCP; 隔水管振动; 误差分析

中图分类号: TP274.5 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 510.8040

Error analysis of ADCP velocity measurement caused by riser vibration

Deng Xin¹ Liu Xiaodong² Li Baojun² Shen Xiaohong² Wang Haiyan²

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

2. College of Marine engineering, Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710000, China)

Abstract: Riser, which is a prerequisite for deepwater drilling, is connected to the sea platforms and subsea wellhead choke. However, the riser in the role of ocean currents can easily produce fatigue damage. Therefore, for the safety of riser, it is essential to monitor the ocean currents which across the riser during drilling. In this paper, a new method was proposed, which put some ADCP points along the outer wall covering of riser to measure flow rate according to certain rules. However, when using this method to measure flow rate, riser motion introduce measurement errors to the flow measurement device. To this end, this paper analyzes the causes of errors generated. Second, expand the theoretical analysis, the results from the analysis showed that ADCP flow measurement error caused by riser vibration could neglect. Flow measurement method that described in this paper is also feasible.

Keywords: ocean current; ADCP; riser vibration; error analysis

1 引言

隔水管是深水油气勘探开发的重要武器,也是深水油气开发技术上要求最高、最具挑战性的部分。近年来,在很多地区发生一系列隔水管疲劳失效事故。这不仅体现了深水油气勘探开发的高风险性,更充分说明隔水管疲劳监测的必要性和重要性^[1]。

深水区海域开阔,海洋流速大^[2]。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。隔水

管横向位移的直接后果是产生应力累积与集中加速隔水管疲劳损伤。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,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,应对洋流流速进行长期监测,以达到对潜在危险进行预警目的。其次,流速可用于涡激振动分析,为隔水管的维护、维修提供依据。其测量设备可采用 ADCP^[3-4]。本文提出了沿隔水管外壁按照一定规则布放 ADCP(声学多普勒流速剖面仪)测量流速的新方法。但是,将 ADCP 置于隔水管外壁测流时,会产生如下问题:在洋流的作用下隔水管涡激振动使得 ADCP 的接收换能器处于运动状态,这样 ADCP 就和实际海洋流

收稿日期:2015-04

* 基金项目: 国家科技重大专项(2011ZX05026-001-06)、国家自然科学基金(51249005, 60972153)、教育部博士点基金(20106102120013, 2009610211038)资助项目

速之间有一个相对速度,从而导致其测量的海洋流速与实际海洋流速之间存在一定误差^[5-6]。

本文虽然提出了一种测量流速的新方法。但是,隔水管的振动会给测流设备引入测量误差^[7]。针对此问题,首先陈述了引起 ADCP 测量海洋流速误差的因素。其次,通过理论分析,计算出了该因素引起 ADCP 测量流速的最大误差。

2 问题陈述

实际上,测量流速的方法有很多,可以在钻井平台上放置大功率的 ADCP 测量流速和监测隔水管的动态响应。由于大功率 ADCP 放置深度的局限性,以致于其测量精度不高,监测效果不好。于是提出了一种新的测流方法即按照一定的规则将多个 ADCP 布放在隔水管外壁,如图 1 所示。ADCP 测流网络中的各测点测量其周围的流速并监测隔水管的动态响应,提高了测量精度和监测效果。

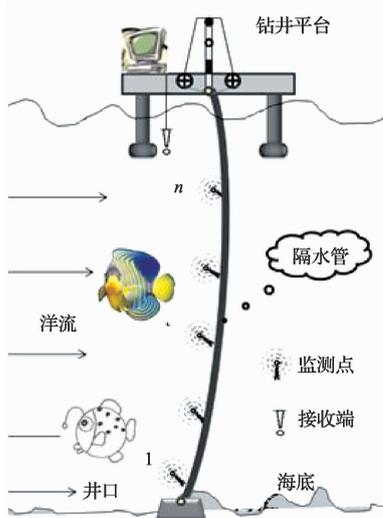


图 1 ADCP 测流网络

ADCP 测量海洋流速时,可采用多普勒频移原理^[8-10]:

$$f_r = \frac{(c + v_r)(c + v_t)}{(c - v_r)(c - v_t)} f_i \quad (1)$$

式中: c 为水中声速, v_t 为 ADCP 换能器的速度, v_r 为水体相对换能器的径向流速, f_i 为 ADCP 换能器发射的声波频率, f_r 为 ADCP 换能器接收的声波频率。

然而,在洋流的作用下隔水管一直处在运动中。根据式(1), v_t 非零会导致 ADCP 测量的 v_r 存在误差。

3 理论分析

以上根据 ADCP 测流原理陈述了隔水管振动会导致 ADCP 测流误差。以下针对此问题,展开理论分析。

根据式(1),构造如下误差比例因子:

$$\lambda = \frac{c + v_t}{c - v_t} \quad (2)$$

那么,式(1)变为如下形式:

$$f_r = \lambda \frac{c + v_r}{c - v_r} f_i \quad (3)$$

式(2)表明,ADCP 换能器的速度 v_t 非零时,将产生测量误差。该误差作为比例因子存在。

式(3)表明,测量误差取决于 ADCP 换能器的速度 v_t 与水中声速 c 的共同影响。如果 $v_t \ll c$,则 $\lambda \sim 1$, v_t 引起的误差可以忽略不计。

同时,定义误差为:

$$\omega = \frac{|\lambda - 1|}{1} \times 100\% \quad (4)$$

v_t 由隔水管的涡激振动(VIV)产生。VIV 的速度取决于隔水管外径(D),海洋流速(v)以及隔水管固有频率等参数。VIV 在数学上近似为多模态正弦振动的加权和,所以其速度难以给出解析解。在此,进行定量分析。根据经验,隔水管 VIV 速度可以用振幅结合振动频率来近似。通常,VIV 振幅最大约为 $1.3D$,频率是各变量,依赖隔水管外径、海洋流速等参数,其有效值一般小于 3 Hz 。速度的最大有效值约为 2 m/s 。

假定水中声速取值为 1500 m/s 。在不同的隔水管运动速度下,式(2)的取值如图 2 所示,其导致的误差详见图 3。

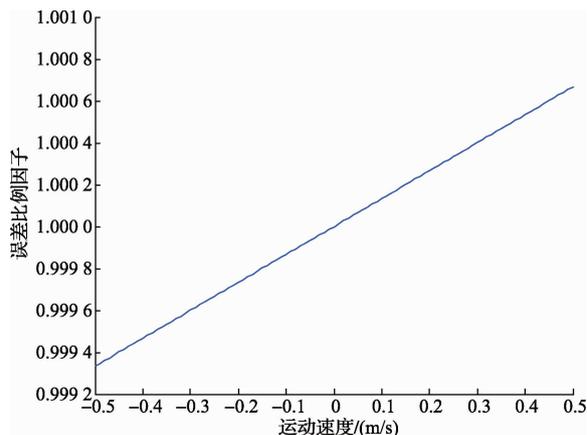


图 2 误差比例因子

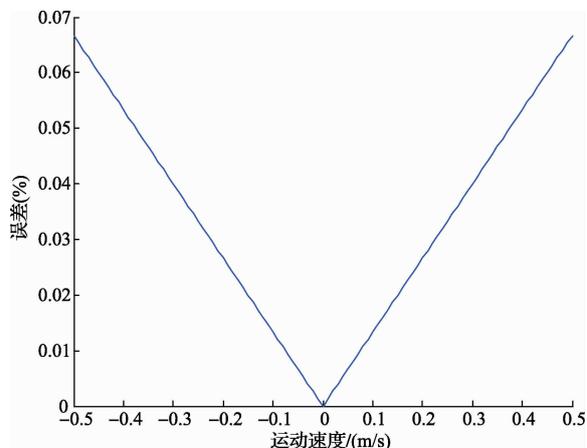


图 3 误差

比较以上结果,可知,VIV导致的 ADCP 运动速度在流速测量时,产生的最大误差小于 0.3%,可以忽略不计。

进一步思考,VIV 导致的 ADCP 运动速度为多大时,其导致的误差不可忽略呢?假定,不可忽略的最小误差为 1%,即:

$$\omega \geq 1\%$$

上述不等式的解为:

$$v_i = \begin{cases} \geq 7.46 \text{ m/s} \\ \leq -7.54 \text{ m/s} \end{cases}$$

目前海况下,深水隔水管的 VIV 运动速度不可能达到此值。

综合上述分析,在目前海况下,隔水管振动速度导致的 ADCP 测流误差可以忽略不计。

4 实验验证实例

基于以上所提测量流速的方法,分别在两种不同的环境下做实验:有振动时的流速测量与无振动时的流速测量。实验数据如表 1 所示。

表 1 两种实验数据

测量值	1	2	3	4	5	平均值
无振动 /(m/s)	0.904	0.906	0.916	0.914	0.908	0.910
振动时 /(m/s)	0.894	0.940	0.952	0.880	0.852	0.904

由表 1 可以看出,在有振动时 ADCP 测流误差为 0.6%,其测量误差小于技术指标(5%),满足测量系统的要求。故隔水管振动导致的 ADCP 测流误差是可以忽略不计的。同时,该测流方法已经成功应用到海洋石油“981”深水半潜式钻井平台,其具体加装方式如图 4 所示。

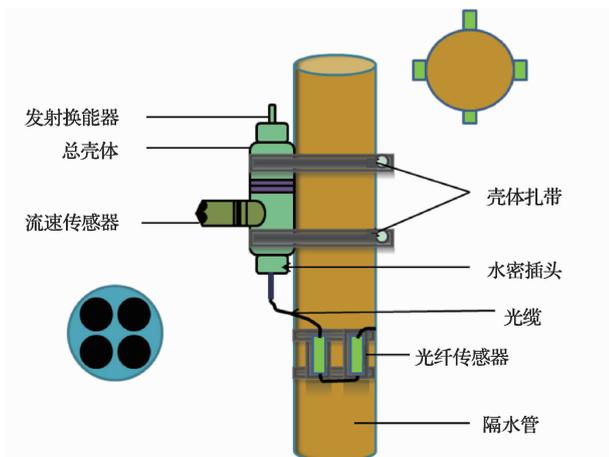


图 4 ADCP 加装

5 结论

本文就隔水管振动导致 ADCP 测流误差的问题,展开深入分析。首先,本文根据 ADCP 测流原理阐述了隔水管的振动速度会给测流设备引入误差。其次,针对此因素展开理论分析。分析结果表明:由隔水管速度导致的 ADCP 流速测量误差可以忽略不计。此外,由分析结果亦可表明本文提出的测流方法满足监测要求。

参考文献

- [1] AN P. Offshore structural monitoring why and how [C]. 2nd. Annual Deepwater Asia-Pacific, 2009.
- [2] 范思航,时文娟,黄艳芝,等. 超声波多普勒流量计换能器的研究与应用[J]. 国外电子测量技术,2014,33(23):89-92.
- [3] 徐修萍,杨明. 基于超声多普勒人工心脏血栓检测系统的研究[J]. 电子测量与仪器学报,2010,24(4):396-401.
- [4] 陈洁,余诗诗,李斌,等. 基于双阈值比较法超声波流量计信号处理[J]. 电子测量与仪器学报,2013,27(11):1024-1033.
- [5] 高军哲,潘孟春,罗飞路,等. 谱分析型多频涡流检测的信号处理方法研究[J]. 电子测量技术,2011,25(1):16-22.
- [6] 李舜酩,郭海东,李殿荣. 振动信号处理方法综述[J]. 仪器仪表学报,2013,34(8):1907-1915.
- [7] LYONS G J, VANDIVER J K, LARSEN C M, et al. Vortex induced vibrations measured in service in the Foinaven dynamic umbilical, and lessons from prediction[J]. Journal of Fluids and Structures,2003,17(8):1079-1094.
- [8] 刘德铸. 声学多普勒流速测量关键技术研究[D]. 哈尔滨:哈尔滨工程大学,2010:15-32.
- [9] 黄霞. 声学多普勒海流流速测量系统的研究与实现[D]. 保定:华北电力大学,2007:6-10.
- [10] 薛敬宏. 声相关测速技术研究[D]. 哈尔滨:哈尔滨工业大学,2007:1-14.

作者简介

刘晓东,1991年出生,工学硕士。主要研究方向为武器系统与运用工程以及海洋管线疲劳监测技术。
E-mail:liuxiaodong618@yeah.net