

使用科式力质量流量计的多相流量计的研制

王永强¹,张凯权²,汪建伟²,贾琳珊²,苏璇²,赵磊磊²

- 1. 中国石油集团渤海钻探工程有限公司国际工程公司 天津 300457
- 2. 中国石油集团渤海钻探工程有限公司油气井测试分公司 河北廊坊 065000

通讯作者:Email:zkaiquan@cnpc.com.cn

引用:王永强,张凯权,汪建伟,等. 使用科式力质量流量计的多相流量计的研制[J]. 油气井测试,2021,30(3):20-24.

Cite: WANG Yongqiang, ZHANG Kaiquan, WANG Jianwei, et al. Development of multiphase flowmeter using Coriolis force mass flowmeter [J]. Well Testing, 2021,30(3):20-24.

摘要 常规多相流量计在不使用放射源时计量精度不足。通过分析多相流量计的相关技术难点,以及科式力质量流量计的计量原理和技术优势,研发的使用科式力质量流量计的多相流量计,解决了传统多相流量计小产量下计量精度差的问题。在华北油田某采油厂进行了多井次测试施工,与传统的三相分离器的计量结果进行对比,其误差均小于5%,达到了计量作业的要求。该设备在中低产量井况下可以代替三相分离器,减少复杂设备配置,具备一定的推广价值。

关键词 多相流量计;地面计量;科式力质量流量计;流量;计量精度;三相分离器

中图分类号:TE353 文献标识码:B DOI:10.19680/j.cnki.1004-4388.2021.03.004

Development of multiphase flowmeter using Coriolis force mass flowmeter

WANG Yongqiang¹, ZHANG Kaiquan², WANG Jianwei², JIA Linshan², SU Xuan², ZHAO Leilei²

- 1. International Engineering Company, CNPC Bohai Drilling Engineering Company Limited, Tianjin 300457, China
- 2. Well Testing Branch, CNPC Bohai Drilling Engineering Company Limited, Langfang, Hebei 065007, China

Abstract: The measurement accuracy of conventional multiphase flowmeter is not enough when the radioactive source is not used. By analyzing the related technical difficulties of multiphase flowmeter, as well as the measurement principle and technical advantages of Coriolis mass flowmeter, the multiphase flowmeter using Coriolis mass flowmeter is developed, which solves the problem of poor measurement accuracy of traditional multiphase flowmeter under small output. In a production plant of Huabei Oilfield, multi well test operations were carried out. Compared with the measurement results of traditional three-phase separator, the error was less than 5%, which meet the requirements of measurement operation. The equipment can replace the three-phase separator and reduce the complex equipment configuration in medium and low production wells, which has a certain promotion value.

Keywords: multiphase flowmeter; ground measurement; Coriolis force mass flowmeter; flow rate; measurement accuracy; three-phase separator

多相流量计是一种在不分离流体(油、气、水)的情况下计量井内产出流体产量的设备。作为三相分离器的替代产品,多相流量计在油田服务市场的接受度越来越高^[1-2]。目前,市场上的多相流量计采用的技术并不统一。使用的技术包括:压差法、介电法、伽马吸收法等^[3-5]。但是以上几种的技术都有其局限性。使用伽马吸收法的多相流量计,由于要使用放射源,其管理成本相对较高,而且存在较大的安全风险;对于使用压差法的多相流量计来说,其计量的准确度,特别是低产量下的准确度不能满足施工要求;对于使用介电法的

多相流量计来说,由于该方法使用的是非侵入式传感器,乳化液、矿化水、游离气都会影响测量准确度^[6-9]。

本文提出一种新型的多相流量计,既解决了低产量下的计量精度问题,又避免了放射源使用带来的施工风险,具有体积小,量程比高,安装简便,占地面积小,无污染的优点,具有一定的推广价值。

1 计量原理及难点

各种多项流量计的计量原理基本上都是相同

的,即测量产出流体的混合密度、总流量,以及含水率(有时是气产量)^[10-11]。这样就能联立三个方程,求得油、气、水的分别产量($Q_{\text{油}}$ 、 $Q_{\text{气}}$ 和 $Q_{\text{水}}$)。实际上,在施工中,“解方程”的计算过程是通过数据采集系统(DAS)来实时完成的。需要测得的三个参数中,含水率可以利用高精度的含水仪来测得,混合密度的可靠计量方法也比较多^[12-13]。而总流量的计量则面临一定的困难,主要的难度在于总流量的范围比较大。油的日产量从不到 1 方到数千方不等。天然气的日产量则范围更大,从日产几千方到几百万方不等^[14-15]。因此,目前还没有一个在不使用放射源的情况下同时满足测量量程足够大和准确性足够高(特别是小流量井况下的准确度)这两个要求的计量方法^[16-18]。

2 多相流量计的研制

科式力质量流量计是根据科里奥利力原理设计的一种流量计,这种流量计可以同时测量流体的混合密度和总流速这两个物理量。将这种流量计使用在多相流量计上,可以实现在不使用放射源的情况下,对流量相对较小的流体进行准确计量。

2.1 科式力质量流量计的工作原理

科式力质量流量计也叫科里奥利质量流量计。该流量计是一种利用被测流体在振动管道中流动时,产生与质量流量成正比的科里奥利力原理来直接测量被测流体的质量流量的装置^[19-20]。科式力质量流量计让被测量的流体通过一个振动中的测量管,流体在管道中的流动相当于直线运动,测量管的振动产生一个有着固定的频率角速度。流体为了反抗这种强迫振动,给管子一个与其流动方向垂直的反作用力(也就是科里奥利效应力)。这样管子的震动不同步了,上游处与下游处在振动的时间先后会出现差异,(差异是由于入口段和出口段流体流向是相反的),这叫做相位时间差。这种差异与流过管子的流体质量流量的大小成正比。通过电路能检测出这种时间差异的大小,则就能确定质量流量的大小^[21]。

科式力质量流量计均由流量传感器以及信号转换处理器两部分组成,二测量管则有多种不同形式:比如双直管、双 U 形管、双 S 形管、双 Ω 形管等。现在就以双 U 形管科式力质量流量计为例,说明一下其工作原理。双直管形双直管形科式力质量流

量计是由两根测量管,一个驱动线圈,上游传感器和下游传感器构成的(图 1a)。当仪表工作时,驱动线圈驱动测量管振动,产生正弦波。正弦波通过上游传感器和下游传感器检测(图 1b)。当液体或气体流过测量管,科式力效应在正弦波上产品相位差,并通上下游传感器传感器检测(图 2)。由于相位差和质量流量呈线性关系,则可以计算出通过测量管流体的质量流量。

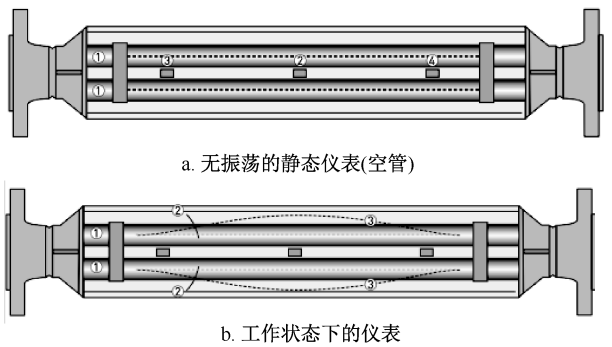


图 1 双直管形科式力质量流量计结构原理示意图
Fig. 1 Schematic diagram of structure principle of double straight tubular Coriolis force mass flowmeter

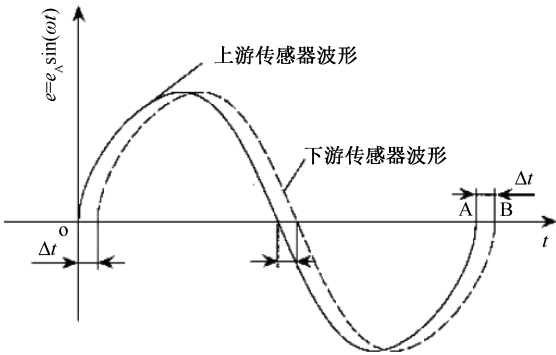


图 2 相位差信号波形示意图
Fig. 2 Waveform diagram of phase difference signal

同时,由于科式力质量流量计工作时需要对测量管施加一个共振频率,而共振频率与通过测量管的流体的总质量有关,因此可以从所测得的共振频率计算出通过测量管的流体总质量。真空管的体积是已知的,从而能测得通过真空管流体的混合密度。

因此,通过一个科式力质量流量计能录取到两个参数:总产量和混合密度。在知道原油密度的情况下,只需要一个科氏流量计加一个温度传感器(进行温度补偿),就能准确计量油水两相流的油水各自产量。而对于油气水三相流来说,需要再测定含水量,通过含水量、混合密度、总流量三个参数就能确定油气水各自的产量。

含水仪将录取到的液相流体中水含量上传到数据采集系统(DAS),数据采集系统可以根据含水率与液相混合密度计算出 *GVF*、*LVF* 等过程参数最终计算出气相流量、液相流量、平均含水率、气相发热量、平均 *GVF* 等参数。

3 实例应用

使用科式力质量流量计的多项流量计在华北油田某采油厂进行了二十余口井的测试施工。

3.1 油水两相流计量

庄1-9X井是冀中坳陷霸县凹陷郑州构造带庄1断鼻构造上的一口生产井。2017年9月21日采用工作压力为10 MPa的使用科式力质量流量计的多相流量计进行计量。根据9月21日5:00-11:00的稳产数据定产,油压0.41~0.51 MPa,井口温度27.5~29.6℃,产油2.84 m³,折日产油11.36 m³,产水0.54 m³,折日产水3.24 m³。整个施工过程仅用时10 h,所获得的产量数据准确可靠。对于油水两相流的计量,该种流量计不但能用科式力质量流量计很快速地计量出油、水产量,还能用含水仪验证所计量产量是否正确,确保数据的准确性。对油水两相流的计量,该种多项流量计具有施工时间短,数据准确,施工费用低的优点。在此井况下,使用使用科式力质量流量计的多相流量计可以完全替代传统的三相分离器。

3.2 油气水三相流计量

岔83-110X井是华北油田岔河集区块岔211断块的一口生产井,2017年9月27日采用工作压力为10 MPa的使用科式力质量流量计的多相流量计进行计量。根据9月27日11:00-13:00的稳产数据定产:油压1.56~1.54 MPa,井口温度24.8~24.7℃,产油1.49 m³,折日产油17.88 m³,产水0.35 m³,折日产水2.80 m³,产气73 m³,折日产气876 m³。从设备到井开始安装到施工结束仅用时8 h,如使用传统的三相分离器进行计量,则最少需要3 d,大大地缩短了施工的周期。

通过和传统的三相分离器的计量结果进行对比,其误差均小于5%,达到了计量作业的要求。

4 结论

(1)使用科式力质量流量计进行总流量测量的多项流量计对中低产量井况的计量有足够的准确度,其轻便、安装迅速、不使用放射源的特点使其可

以在很多应用场景下代替三相分离器。

(2)科式力质量流量计可以同时测量混合密度和总流量,很方便计量油水两相流体的流量。

(3)此种多相流量计无法对较大的流量进行准确计量,同时其工作压力无法很高(35 MPa以上),因而在勘探施工中具有较大的局限性,仍不能完全替代传统的三相分离器。

致谢:感谢渤海钻探国际工程公司同意本文公开发表;感谢渤海钻探油气井测试分公司科技研发中心提供技术支持。

参考文献

- [1] 吕宇玲,何利民. 多相流量计及其在石油工业中的应用[J]. 石油规划设计,2005,16(2):47-48.
LYU Yuling, HE Limin. Multiphase flowmeter and its application to petroleum industry [J]. Petroleum Planning & Engineering, 2005,16(2):47-48.
- [2] 李明海,李孝岭,张兴龙. 海上采油平台多相流量计优化改造[J]. 当代化工研究,2020(7):131-132.
LI Minghai, LI Xiaoling, ZHANG Xinglong. Optimization of multiphase flowmeter on offshore oil production platform [J]. Modern Chemical Research, 2020(7):131-132.
- [3] 张琳,李长俊. 多相流量计的应用研究[J]. 计量技术,2006(9):30-32.
ZHANG Lin, LI Changjun. Application research of multiphase flowmeter [J]. Metrology Science and Technology, 2006(9):30-32.
- [4] 方代煊,朱云祖. 国外多相流量计开发与应用现状[J]. 石油机械,1999,27(7):44-47.
FANF Daixuan, ZHU Yunzu. Current status of development and application of multiphase flowmeters [J]. China Petroleum Machinery, 1999,27(7):44-47.
- [5] 蔡珂盈,黄琬曦,郭碧清,等. 油气水三相流量计发展现状[J]. 中国石油和化工标准与质量,2018,38(24):92-93.
CAI Keying, HUANG Wanxi, GUO Biqing, et al. Development status of three-phase flowmeter for oil, gas and water [J]. China Petroleum and Chemical Standard and Quality, 2018,38(24):92-93.
- [6] 苏欣,范小霞,袁宗明. 多相流量计研究探讨[J]. 河南石油,2005,19(5):61-62.
SU Xin, FAN Xiaoxia, YUAN Zongming. Study on multiphase flowmeter [J]. Henan Petroleum, 2005,19(5):61-62.
- [7] MERIBOUT M, SHEHZAD F, KHAROUA N, et al. An ultrasonic-based multiphase flow composition meter [J]. Measurement, 2020,161:107806.
- [8] BARBARIOL T, FELTRESI E, SUSTO G A. Self-diagnosis of multiphase flow meters through machine learning-based anomaly detection [J]. Energies, 2020,13(12):3136.
- [9] 姚海元,宫敬. 多相流量计及其标定装置[J]. 油气田

- 地面工程,2004,23(9):33-34.
- YAO Haiyuan, GONG Jing. Multiphase flowmeter and its calibration device [J]. Oil-Gas Field Surface Engineering, 2004,23(9):33-34.
- [10] 洪毅,毕晓星. 多相流量计的研究及应用[J]. 中国海上油气(工程),2003,15(4):16-20.
- HONG Yi, BI Xiaoxing. Multiphase flow meter's research and development [J]. China Offshore Oil and Gas (Engineering), 2003,15(4):16-20.
- [11] 曹学文,林宗虎. 在线多相流量计测量技术研究[J]. 中国海上油气(工程),2002,14(2):37-40.
- CAI XUEWEN, LIN ZONGHU. Study on metering techniques of in-line multiphase flow meters[J]. China Offshore Oil and Gas (Engineering), 2002, 14 (2): 37-40.
- [12] 何云腾,吴奇霖,陈三君,等. 定容管活塞式油气水多相流量计[J]. 油气井测试,2019,28(4):45-50.
- HE Yunteng, WU Qilin, CHEN Sanjun, et al. Piston-type oil-gas-water multiphase flowmeter with constant volume tube [J]. Well Testing, 2019, 28(4):45-50.
- [13] 姜兴伟,吕德东,杜怀栋. 橇装实流三相标准计量装置的研制[J]. 油气田地地面工程,2019,38(S1):159-162,165.
- JIANG Xingwei, LYU Dedong, DU Huaidong. Development of the three-phase standard metering device for skid-mounted real flow [J]. 2019,38(S1):159-162,165.
- [14] 李明海,强群. 海上生产平台测试多相流量计改造[J]. 化学工程与装备,2018(12):51-53.
- LI Minghai, QIANG Qun. Transformation of multiphase flowmeter for offshore production platform test [J]. Chemical Engineering & Equipment, 2018(12):51-53.
- [15] 吴生杰,解安伟. 多相流量计自动检测系统的设计和应用分析[J]. 智能城市,2018,4(23):157-158.
- WU Shengjie, XIE Anwei. Design and application analysis of automatic detection system for multiphase flowmeter [J]. Intelligent City, 2018,4(23):157-158.
- [16] ELOBEID M O, AHMAD A, AL-SARKHI A, et al. Pressure drop measurements in venturi meters of different beta ratios for oil-water flow experiments [J]. Arabian Journal for Science & Engineering, 2018,43(2):1-20.
- [17] 王靖淇,文宏武. 一种新型气液两相质量流量计的探讨与研究[J]. 中国石油和化工标准与质量,2018,38(19):44-45.
- WANG Jingqi, WEN Hongwu. Discussion and research on a new gas liquid two phase mass flowmeter [J]. China Petroleum and Chemical Standard and Quality, 2018,38(19):44-45.
- [18] 刘平,雷聚明. γ 源多相流量计在延长测试中的应用分析[J]. 自动化仪表,2018,39(8):77-79,83.
- LIU Ping, LEI Juming. Application analysis of γ -source multiphase flowmeter in extended test [J]. Process Automation Instrumentation, 2018,39(8):77-79,83.
- [19] 彭卫芳,尧振宇,睢罡,等. 2015年某海域油气生产平台多相流量计辐射检测结果[J]. 职业与健康,2017,33(10):1300-1302.
- PENG Weifang, YAO Zhenyu, SUI Gang, et al. Radiation detection results of multiphase flowmeter for an offshore oil and gas production platform 2015 [J]. Occupation and Health, 2017,33(10):1300-1302.
- [20] 许晓英,赵庆凯,陈丰波,等. 多相流量计在国内市场的应用及发展趋势[J]. 石油与天然气化工,2017,46(2):99-104.
- XU Xiaoying, ZHAO Qingkai, CHEN Fengbo, et al. Application and development trend of multiphase flow meter in the domestic market [J]. Chemical Engineering of Oil & Gas, 2017,46(2):99-104.
- [21] 王晋,刘士旺,程高峰,等. 多相流量计在油气井测试中的应用[J]. 油气井测试,2013,22(6):45-48.
- WANG Jin, LIU Shiwang, CHENG Gaofeng, et al. Application of multiphase flowmeter in oil and gas well testing [J]. Well Testing, 2013,22(6):45-48.

编辑 穆立婷

第一作者简介:王永强,男,1970年出生,工程师,2007年毕业于中国石油大学(华东)石油工程专业。目前从事石油勘探开发项目管理工作。电话:022-59862898,13833648967; Email:wang_yq@cnpc.com.cn。通信地址:天津市滨海新区第二大街83号天津中石油大厦渤海钻探国际工程公司,邮政编码:300457。