

# 气液两相流液压抽油泵模拟试验装置设计

林 盛<sup>\*</sup>

(中国科学院力学研究所)

罗延生 方华灿

(石油大学 北京)

**摘要** 研究泵内流场尤其是混相流流场,是改善抽油泵性能的关键所在。石油大学(北京)为此研制了一套气液两相流液压抽油泵模拟试验装置。这种装置由单相流试验装置和混相流试验装置构成,前者能比较真实地模拟井下的各种工况和抽油泵内液体的流动状态,后者可模拟不同的油气比。为了在不干扰流场的条件下定量完成流场的瞬态测量,给出平面流场的速度矢量图和旋度场等揭示流场瞬态流动结构的图像处理结果,采用了具有测量精度高、空间分辨率强和动态响应快等特点的粒子成像测速(PIV)先进技术。

**主题词** 两相流 抽油泵 流场 模拟 试验装置

抽油泵是油田开发过程中的主要设备之一,改善抽油泵的性能可有效地提高油田的原油产量,从而提高油田开发的经济效益。目前对抽油泵的研制工作大致可分为以下三个方面。

(1) 基于力学分析,通过对运动条件和受力条件的简化,对泵阀开启和下落过程进行力学描述;

(2) 根据生产需要以功能设计为原则,在原抽油泵结构基础上进行技术改造,如防砂卡泵和防气抽稠油泵的开发;

(3) 以研究抽油泵效率及其影响因素为目的进行实验室内的有关测试和观察研究。

如大庆石油学院进行的抽油泵能耗测试研究,采用压力传感器和位移传感器测量抽油泵进出口压力历程曲线、阀球压差变化曲线以及示功图、漏失量等。

目前,对改善泵性能的最根本的问题——泵内流场还无人涉及。关于泵阀运动规律、泵内结构的合理性论证及其改进等问题的关键因素是泵内的流场状态,所以研究泵内流场尤其是混相流流场是改善抽油泵性能的关键所在。随着PIV(粒子成像

测速)技术、LDV(激光多普勒液流速度计)技术及超声波技术的日趋成熟,人们可以利用这些先进的流场测试技术在不干扰流场的情况下达到测定的高精度,在加拿大已有使用这些先进技术研究抽油泵流场的实例,但未见有关成果的发表。因此,利用PIV等先进技术对抽油泵内流场进行研究以改进抽油泵的结构是今后发展的大方向。鉴于此,石油大学(北京)海洋工程研究室开展了抽油泵内流场可视化研究,由于这方面尚无先例可循,计划先从试验着手,理论与实践并举。

## 抽油泵模拟试验装置设计思路

抽油泵在井下的工作介质不是单相的,故对现场工作的抽油泵泵腔内流场的实际测试比较困难。为了节省时间和资金,又能测试一般情况下抽油泵泵腔内流场状况,必须使抽油泵模拟试验装置具有气源和液源,以及可视化研究条件,而且流量可调,还应能对单一液相和气液两相时泵内流场的特点进行可视化观察和记录,因此整个泵腔应是透明

<sup>\*</sup> 林 盛,生于1971年,1996年毕业于石油大学(北京)(机电系)海洋工程专业,获硕士学位,现在中国科学院力学研究所攻读断裂力学专业博士学位。地址:(100080)北京市海淀区。电话:(010)62554158。

(收稿日期:1998-05-12;修改稿收到日期:1998-10-22)

的。另外, 由于流场变动特性较强, 应有相应的数据采集和处理系统。为观察泵冲次对流场的影响, 抽油杆动力驱动系统应可调。

## 模拟试验装置结构设计

为模拟现场抽油泵的柱塞及光杆的上下往复运动, 必须选择合适的动力系统。一种方案是缩小现场抽油泵的地面动力系统, 即采取电动机带动的驴头驱动方式。这种方案的缺点是造价昂贵, 占地面积大, 不适合于实验室用。另一种方案是直接用电动机带动绳索通过滑轮使光杆及柱塞上下运动, 但为保证系统平衡需配置平衡重, 另外换向微电动机的选择也有困难。以上两种方案都无法模拟泵内进出口压力, 也不能调节泵流量。为解决以上问题, 笔者采用液压控制系统及气动控制系统来实现动力系统的模拟。液压控制系统主要是实现柱塞的上下往复运动和控制进出口压力, 气动控制系统则控制混相流时的进气。同时, 液压控制系统又分为两大部分: 第一大部分是动力油缸液压系统, 它是主要的动力源; 第二大部分是抽油泵压力补偿系统, 主要是用来控制抽油泵进出口压力并为泵供油。下面分别就这三个部分加以介绍。

### 1. 动力油缸液压系统<sup>[1]</sup>

动力油缸液压系统主要由动力油缸、行程开关、二位四通电磁换向阀、溢流阀、油泵和调速阀构成, 流程如图 1 所示。

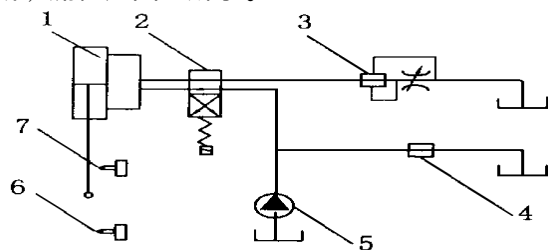


图 1 动力油缸液压系统流程图

1—动力油缸; 2—二位四通电磁换向阀; 3—调速阀; 4—溢流阀; 5—油泵; 6、7—行程开关

工作原理: 当动力油泵向动力油缸上端供油时, 驱动活塞向下运动, 从而带动光杆向下运动, 当光杆触动行程开关 6 时, 二位四通电磁换向阀换向, 动力油泵开始向动力油缸下端供油, 驱动活塞向上运动, 从而带动光杆向上运动; 当光杆触动行程开关 7 时, 二位四通电磁换向阀再次换向, 重新

开始下一个冲程。调速阀可以调节活塞运动速度, 从而来改变冲次, 溢流阀则可调节动力油缸内的压力, 改变柱塞驱动力。

### 2. 抽油泵压力补偿系统

抽油泵压力补偿系统主要由油箱、油泵、顺序阀、蓄能器、抽油泵、压力表、压力油箱和溢流阀组成, 流程如图 2 所示。

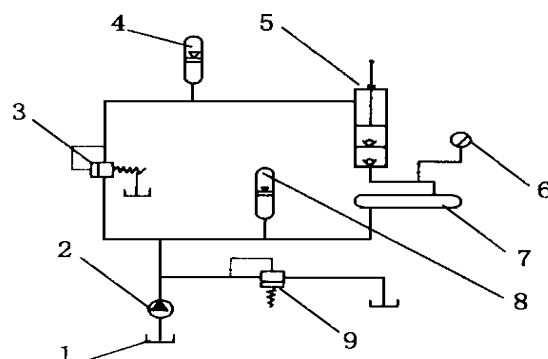


图 2 抽油泵压力补偿系统流程图

1—油箱; 2—油泵; 3—顺序阀; 4—蓄能器; 5—抽油泵; 6—压力表; 7—压力油箱; 8—蓄能器; 9—溢流阀

工作原理: 油泵始终处于工作状态, 溢流阀则调节到一定压力, 当抽油泵进出口压力超过调节压力时, 溢流阀溢流, 进口压力降低; 当进口压力过低时, 油泵向压力油箱注油, 从而使进口压力上升至调节压力。两个蓄能器的作用是避免抽油泵进出口压力的剧烈波动, 保证抽油泵的进出口压力达到工况要求。

### 3. 气动控制系统

气动控制系统由气泵、气体流量计、电磁开关、单向阀和行程开关组成, 流程如图 3 所示。

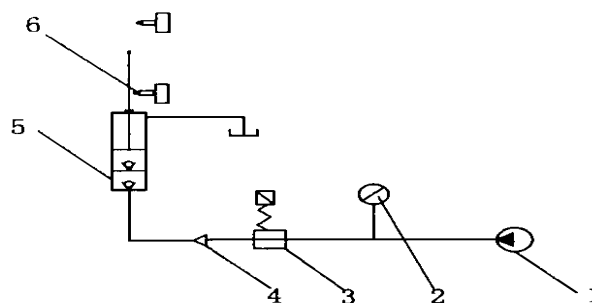


图 3 气动控制系统流程图

1—气泵; 2—气体流量计; 3—电磁开关; 4—单向阀; 5—抽油泵; 6—行程开关

工作原理: 当抽油泵做上冲程运动时, 电磁开关打开, 气体通过单向阀进入抽油泵, 当光杆接触到上行行程开关时, 电磁开关关闭, 气路不通, 这时抽油泵

做下冲程运动。当光杆再次接触下行程开关时,电磁开关打开,气路开通,再次向抽油泵内供气。

## 模拟试验装置的特点

模拟试验装置分为两大部分:第一大部分是单相流试验装置,主要由动力油缸、有机玻璃泵筒及柱塞、液压控制系统组成,是抽油泵模拟试验装置的核心部分,其最突出的特点在于利用液压控制系统带动柱塞做上下往复运动,具有行程稳定、换向迅速、模拟井下工况完备等特点,能比较真实地模拟井下的各种工况及抽油泵内液体的流动状态。第二大部分是混相流试验装置,主要由气泵、气体流量计、电磁开关及水箱组成。这套混相流装置的特点在于简单易行,功能相对完善,可以模拟不同的油气比,而且进气完全由行程开关带动的电磁开关控制,能够比较真实地模拟井下的各种工况。另外,为便于观察和测试,柱塞和泵筒用有机玻璃制成,从而达到了利用本试验装置观察、测试泵内流场的目的。试验装置是经过不同方案的优化论证最终选定的,结构轻巧,功能完备,控制系统简单可靠,操作方便,能够很好地模拟抽油泵的运行及泵内的各种工况。这套试验装置是具有创新特点的模拟抽油泵试验装置,与国内外同类模拟装置相比,无论在造价上还是综合性能上都有其独特之处。

## 图象采集及处理系统

为了在不干扰流场的情况下,能定量完成流场的瞬态测量,并能给出平面流场的速度矢量图、旋度场等揭示流场瞬态流动结构的图象处理结果,采用了粒子成像测速(PIV)技术。粒子成像测速技术具有测量精度高、空间分辨率高和动态响应快等特点,是目前测量复杂流场较先进的技术。它可以冻结某一时刻的流场流动状态,从而揭示出隐藏的湍流流动结构。测量结果具有足够的精度,可以从一个矢量中减去大的平均速度,因而可以分别给出平均速度、脉动速度、漩涡等全面反映流场状况的流动参数,这是热线热膜法以及 LDV 等测试技术所不具备的。

PIV 图象采集及处理系统配置如图 4 所示。

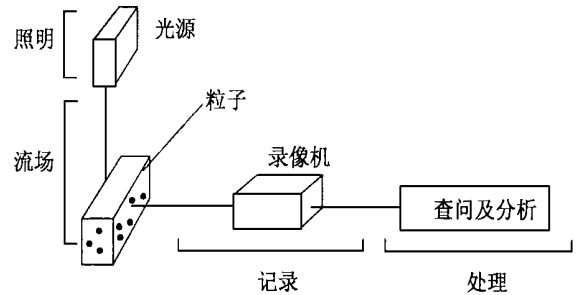


图 4 PIV 系统的原件配置

从总体上看,一个完整的 PIV 系统可分为三大部分:一是照明系统,它的功能是产生光源;二是记录系统,它的功能是产生粒子流动的双(多)曝光图象;三是查询系统,它的功能是提取和显示图象中的速度场等流动参数。

模拟试验装置中照明系统采用 10W 的氙激光器,记录系统采用录像机,查询系统采用石油大学(北京)开发的 PIV 图象处理软件。

## 参 考 文 献

- 1 华东石油学院矿机教研室. 石油钻采机械. 北京: 石油工业出版社, 1980: 282 ~ 284

(本文编辑 赵连禄)

## ABSTRACTS

Liu Zongliang( *Huadong Prospecting and Design Research Institute, CNPC, Jiaozhou City, Shandong Province* ), Liu Nongji. **Current status and task of China petrochemical industry —the country's petrochemical machinery in the period of century changing( )**. CPM, 1999, 27(4) :1 ~ 4

Great progress has been made in production and technology in the petrochemical circle in China. However, distances in productive scale, product quality, product varieties and technologies still exist in comparison with the world advanced level. The petrochemical enterprises in China have to face the challenge of overseas large enterprises occupying the market. For the sake of the existence and development of the country's petrochemical industry, countermeasures for reducing the above-mentioned distances must be put into effect. In the coming 5 to 10 years, technical reform should be strengthened and heavy-duty equipment should be popularized as management and administration improved.

**Subject Concept Terms** petrochemical industry equipment status developing strategy technical reform

Wang Youqiang ( *University of Petroleum, Beijing* ), Zhang Siwei. **Determining the fatigue life distribution of coiled tubing by fuzzy Bayes method**. CPM, 1999, 27(4) :5 ~ 7

The model for determining the probability distribution of fatigue life of coiled tubing is established by using fuzzy Bayes theory and method. According to the fatigue life data of 31.75mm OD coiled tubings, the distribution parameters are estimated with fuzzy Bayes method, and it is indicated that the fatigue life of coiled tubing is subordinate to two-parameter Weibull distribution. The function of the fatigue life distribution pattern is obtained, and the equation for calculating the reliability of  $\phi 31.75\text{mm}$  coiled tubing is derived.

**Subject Concept Terms** coiled tubing fatigue life distribution fuzzy analysis reliability

Lin Sheng( *Mechanics Research Institute of the Chinese Academy of Sciences, Beijing* ), Luo Yansheng, Fang Huacan. **Simulation test device for hydraulic subsurface pump**. CPM, 1999, 27(4) :8 ~ 10

The investigation in the flow field particularly the miscible - phase flow field in a subsurface pump is the key to improvement of the performance of the pump. The University of Petroleum(Beijing) thereby develops a simulation test device for hydraulic subsurface pump for gas and liquid two-phase flow. The device consists of a single-phase flow test device, which can make a real simulation of the downhole working conditions and the flow of the liquid in the subsurface pump, and a miscible-phase flow test device, which can simulate various oil-gas ratios. To accomplish the transient test of the flow field without interference, the velocity vectogram and rotation field of the plane flow field are given by using the PIV technology.

**Subject Concept Terms** two-phase flow subsurface pump flow field simulation test device

Zhao Lixin( *Daqing Petroleum Institute, Anda City, Heilongjiang Province* ), Jiang Minghu, Li Feng, et al. **Effect of structure and operating parameters of hydrocyclone on its axial velocity field —study of liquid-liquid hydrocyclone's velocity field ( part )**. CPM, 1999, 27(4) :11 ~ 13

Based on an analysis of distribution pattern of hydrocyclone's axial velocity, by changing the inlet flow rate ( $Q_i$ ) and split ratio ( $F$ ) and making an investigation in the effect of  $Q_i$  and  $F$  on axial velocity field, the factors causing the forming of short-cut circuit and circulating flow are found. It is considered that the short-cut circuit and circulating flow are produced by the structure of the hydrocyclone, and can't be eliminated completely, though they interfere the flow field inside a hydrocyclone and affect the separation accuracy. Test results show that, by increasing  $Q_i$  and  $F$  and controlling them in a certain range, the separation efficiency of the hydrocyclone can be improved.

**Subject Concept Terms** hydrocyclone velocity distribution structure parameter effect