



中国石油大学(北京)

油气水多相流计量的研究 与应用

演讲人：吴浩达

演讲日期：2017年10月17日

汇报提纲



- 
1. 多相流量计发展现状
 2. 多相流量计系统研制
 3. 系统测试结果及分析
 4. 结论

多相流计量发展现状

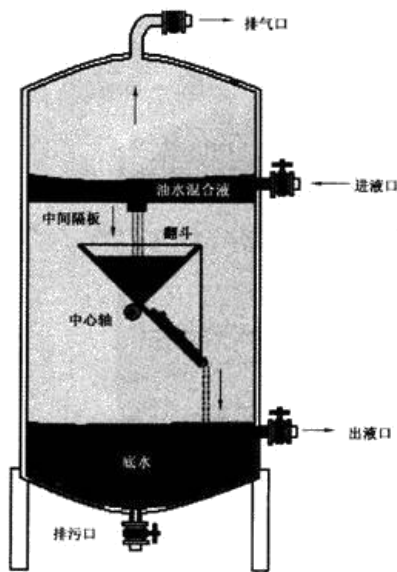
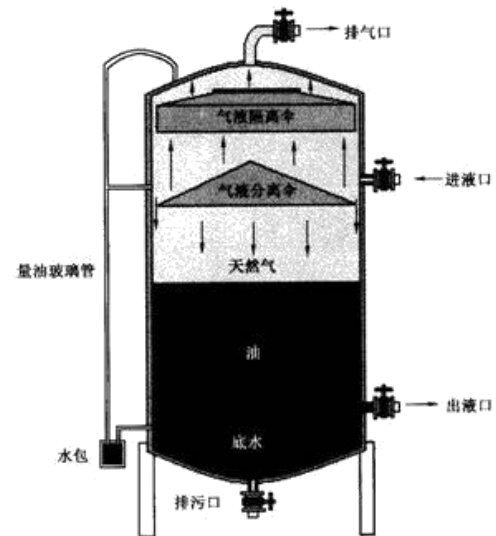
国外方面，早在二十世纪七八十年代，美国的Tulsa大学在其流体流动工程环道和挪威的SINTEF环道上对多相流计量方面展开了研究。八十年代中期英国石油公司、美国德士古公司相继发表了第一批关于多相流量计量的论文，并研制出了第一代多相流量计。

国内方面，西安交通大学、中国石油大学等高校进行油气水多相流量计的设计和研发，取得了一些理论成果，但这些研究多处于实验室试验阶段。

大庆油田、华北油田采油工艺研究院建立相关项目，搭建了多相流检定、测试平台，为国内的多相流量计量系统的研制提供了实验平台。

多相流计量发展现状

(1) **玻璃管量油孔板测气**：国内各油田普遍采用的是计量间计量分离器传统的气液分离、分别计量的方法，约占油井总数的80%以上。该方法装备简单、运行可靠、投资少，但由于采用间歇量油的方式来折算产量，导致原油系统误差为10% ~ 20%。



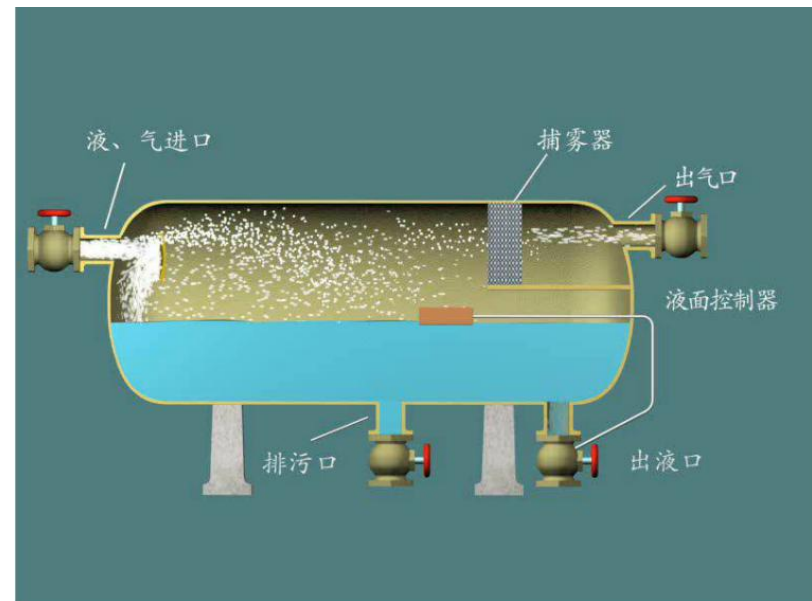
(2) **翻斗量油孔板测气**：翻斗量油采用的是在计量分离器内部设置翻斗计量装置和计数器。一个斗装满时翻倒排油，另一个斗装油，这样反复循环计数来累积油量。这种量油装置结构简单，具有一定计量精度。

多相流计量发展现状

(3)**两相分离计量**：采用计量分离器，将气液分离，产气量采用孔板、罗茨、腰轮等计量仪表进行计量；液体产量采用容积式流量计进行计量，并通过密度计测取混合液体密度，实现油、水产量的计量。

(4)**三相分离计量**：通过在计量间采用计量阀组手动或多通阀自动选井，采用多相流计量装置实现单井的气液瞬间分离在线计量。

(5)**示功图法计量**：通过示功仪测得的悬点载荷功图，无线远传到上位机，根据数学模型计算出单井产量。





多相流计量发展现状

多相流计量系统的发展方向是拥有相密度、相含率和相速度测量部件以利于各相流体的质量流量的测量，但针对油井采出液这种流量和相含率波动范围大和流动复杂的工况，现有技术的应用依然有很大困难。

目前多相流量计的有效相含率测量主要依赖放射线技术，但是我国近年来大幅度提高了对放射线的使用监管，不鼓励放射线的使用，同时在放射技术应用的工业领域也对放射线的使用持有相当的戒心，普遍持不欢迎的态度。

多相流计量发展现状

存在问题

实时性差，计量误差较大，占地面积大
造价高，适用范围窄，放射线危险系数高

需求分析

减少计量环节
保证计量时效
降低计量成本

提高计量精度
缩减装置尺寸

目的意义

研制一套适用于国内油田的油气水多相流量计量系统，
实现油气水多相流体的实时、准确的、适用范围宽的、
分相流量计量，提高油田计量的自动化水平和效率。

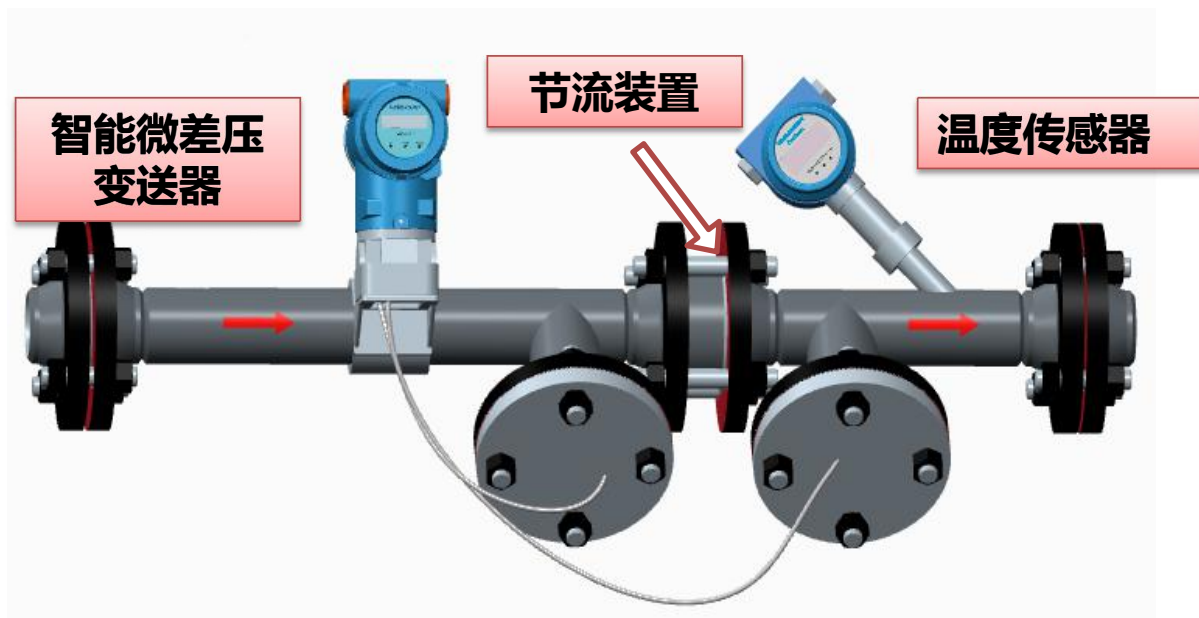
汇报提纲



- 
1. 多相流计量发展现状
 2. 多相流计量系统研制
 3. 系统测试结果及分析
 4. 结论

多相流计量系统研制

多相流计量系统通过在油井口安装测量装置采集流体的**压差**、**静压**、**温度**、**含水**、**密度**等参数，经过**理论计算**和**温压补偿**修正，实现多相流的分相的准确计量。



多相流计量系统研制

混相流量的测控方法：

差压法

流体通过节流装置时，由于流通面积的缩小，在节流件前后会产生压力差，流量与差压相关。

$$q_v = KA\sqrt{\Delta p/\rho}$$

速度法

当流体充满管道时，测量管道流动截面处流体的平均流速，通过计算得到多相流体的流量。

$$q_v = A \cdot \bar{v}$$

容积法

利用具有固定体积的标准容器对多相流体进行反复测量，通过对标准容器的测量计数，得到流经测控装置的体积流量。

$$q_v = n \cdot v$$

质量法

- 直接式质量流量测量方法
- 间接式质量流量测量方法
- 补偿式质量流量测量方法

多相流计量系统研制

分相含率的测控方法：

快关阀门法：

在测量管道的进口端和出口端各安装一个快关阀，稳定流动时，同时关闭阀门，对测量管道内的油气水三相流体**分别进行计量**。

射线散射法：

可分为 **γ 射线散射法**和**中子散射法**，前者通过检测 γ 射线经多相流体散射的光子数目；后者通过超热中子束经多相流体后的中子通量。

密度法：

由于油、气、水三相的密度不同，通过测量测试管段内混相流体的平均密度，可得到分相含率的相关关系式。

电学法：

电学法可分为**电容法**和**电导法**两种，两种方法分别利用油、气、水三相流体介电常数和电导率差异较大，通过测量多相流体的电容和导电特性实现分相含率的测控。

微波法：

微波通过流体介质是会出现**极化现象**，产生**能量衰减**，通过测量能量衰减量，实现流体含水率的测控。

超声法：

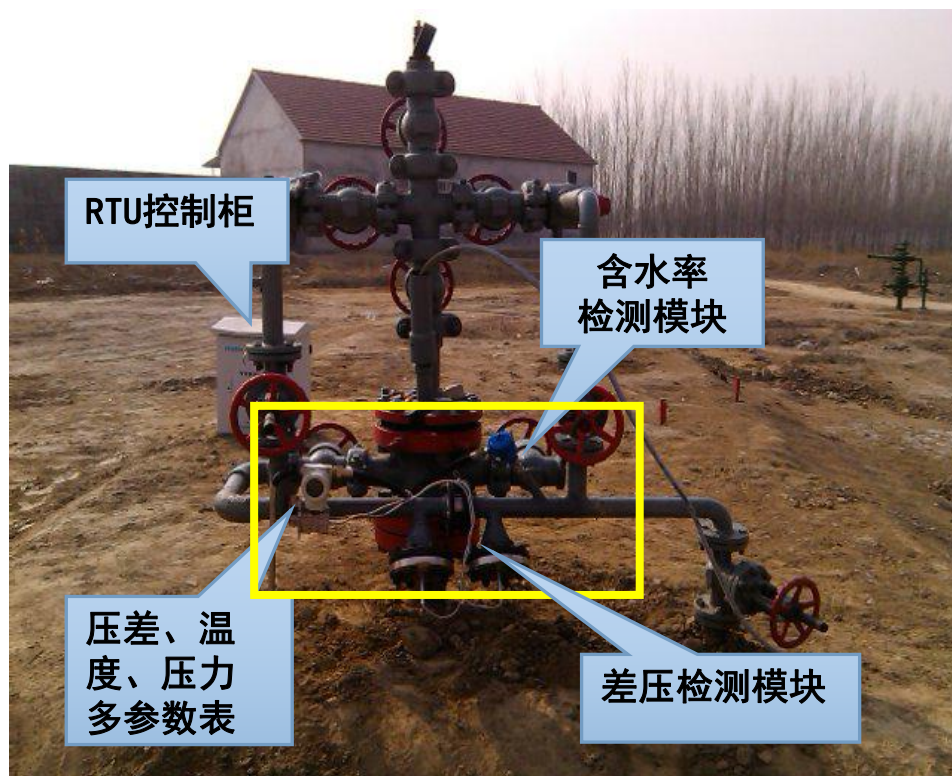
超声波在多相流体中传播时，其**速度**和**强度**都会发生变化，通过检测这些变化，实现分相含率的测控。

热学法：

在测试管段入口处对多相流体加热，在出口处检测**温度变化**，以此计算多相流体的分相含率。

多相流计量系统研制

硬件系统：



含水率检测模块：

- (1)微波信号源；(2)隔离器和衰减器
- (3)信号发射器；(4)检波器
- (5)数据处理单元

密度检测模块：

- (1)音叉体；(2)永久磁铁；
- (3)固支体；(4)线圈

差压检测模块：

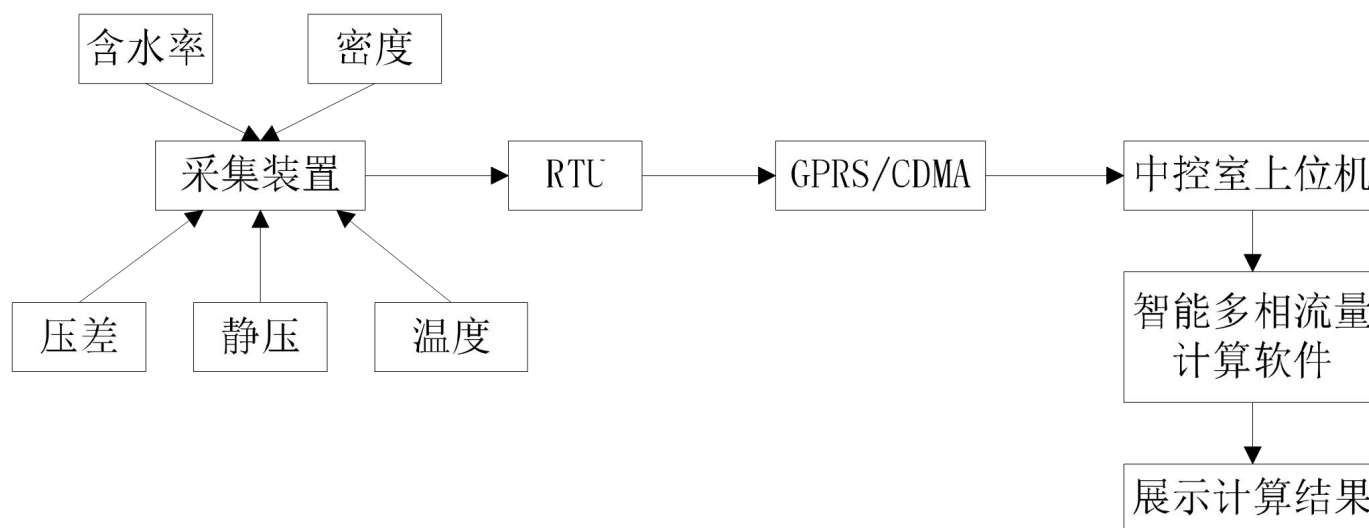
选用喷嘴作为节流元件，大大减少了由于流通截面减小造成的压力损失，延长了节流件的使用寿命。

温度压力检测模块
通讯控制模块

多相流计量系统研制

软件系统：

油气水多相流量测控系统软件是与其硬件系统配套的软件系统。整套系统由**系统管理子系统**、**数据采集子系统**、**远程计量子系统**、**生产报表子系统**四大子系统模块组成。软件系统处于多相流量测控系统的上游。



多相流计量系统研制

系统管理子系统：

系统用户的管理：

- (1)维护用户信息主要用来确定每个用户对系统各个模块的操作权限；
- (2)同时对不同的用户角色所能操作的组织机构进行管理。

维护角色信息

| 角色描述 | 角色名称 | 模块权限 |
|------|------|---|
| 超级用户 | 资料员 | <input type="checkbox"/> 系统管理 <input checked="" type="checkbox"/> 启用该角色 |
| 数据浏览 | | |
| 资料员 | | |

| 模块 | 模块描述 | 模块权限 |
|-------------------------------------|--------------|------|
| <input checked="" type="checkbox"/> | 维护作业区信息 | 浏览 |
| <input checked="" type="checkbox"/> | 维护角色信息 | 浏览 |
| <input checked="" type="checkbox"/> | 维护操作信息 | 浏览 |
| <input checked="" type="checkbox"/> | 属性值维护 | 浏览 |
| <input checked="" type="checkbox"/> | 电动机数据 | 浏览 |
| <input checked="" type="checkbox"/> | 油管数据 | 浏览 |
| <input checked="" type="checkbox"/> | 抽油泵数据 | 浏览 |
| <input checked="" type="checkbox"/> | 抽油杆数据 | 浏览 |
| <input checked="" type="checkbox"/> | 抽油机数据 | 浏览 |
| <input checked="" type="checkbox"/> | 电潜泵数据 | 浏览 |
| <input checked="" type="checkbox"/> | 绘制电潜泵特性曲线 | 浏览 |
| <input checked="" type="checkbox"/> | 维护井信息 | 设置 |
| <input checked="" type="checkbox"/> | 抽油机井参数修改日志 | 浏览 |
| <input checked="" type="checkbox"/> | 螺杆泵井参数修改日志 | 浏览 |
| <input checked="" type="checkbox"/> | 电泵、自喷井参数修改日志 | 浏览 |
| <input checked="" type="checkbox"/> | 开停井管理 | 设置 |
| <input checked="" type="checkbox"/> | 设置电量计费时段 | 设置 |
| <input checked="" type="checkbox"/> | 泵功固定点修正 | 设置 |
| <input checked="" type="checkbox"/> | 电泵井口压力录入 | 浏览 |
| <input checked="" type="checkbox"/> | 电泵井下数据导入 | 浏览 |
| <input checked="" type="checkbox"/> | 油井产量查询 | 浏览 |
| <input checked="" type="checkbox"/> | 功图对比查询 | 浏览 |
| <input checked="" type="checkbox"/> | 系统效率数据查询 | 浏览 |
| <input checked="" type="checkbox"/> | 系统效率曲线查询 | 浏览 |
| <input checked="" type="checkbox"/> | 电泵综合曲线查询 | 浏览 |
| <input checked="" type="checkbox"/> | 电泵运行曲线查询 | 浏览 |

电潜泵井参数维护

井号：[河31-平1] 所在采油队：[胜利测试区块]

直井/斜井：[直井] 工作状态：[通讯异常] 单井计量系数：[1]

抽汲参数 计算分析设置 属性设置

电泵型号：[A20] 气油比：[17]

额定排量 (m³/d)：[300] 电泵井油嘴直径 (mm)：[4]

油井含水率 (%)：[98.3] 饱和压力 (MPa)：[7]

地面原油粘度 (MPa·s)：[41] 地面原油密度 (g/cm³)：[0.8949]

嘴前压力最小值 (MPa)：[0.1] 嘴前压力最大值 (MPa)：[50]

保存(S) 关闭(C)

单井参数的维护：

主要是对单井的基本信息进行修改和维护，包括单井的**生产油气比**、**喷嘴节流件的直径**、**饱和压力**、**原油密度**、**粘度**等参数，以及单井的**井号**、所属的**组织机构**等。

多相流计量系统研制

数据采集子系统：

非抽油机井在线计量

日报数据 采集数据 曲线查询

井号: CDC43-P2 日期: 2017-10-10 每页行数: 100 开始查询 生成Excel

总记录数: 253

第1页共3页: 首页 上一页 1 2 3 下一页 末页

| 井号 | 采集时间 | 油压(MPa) | 油温(°C) | 差压(KPa) | 瞬时体积产液量(m³/d) |
|----------|---------------------|---------|--------|---------|---------------|
| CDC43-P2 | 2017-10-10 21:40:00 | 1.150 | 70.370 | 5.700 | 376.123 |
| CDC43-P2 | 2017-10-10 21:35:00 | 1.150 | 70.370 | 5.660 | 374.811 |
| CDC43-P2 | 2017-10-10 21:30:00 | 1.150 | 70.360 | 5.710 | 376.450 |
| CDC43-P2 | 2017-10-10 21:25:00 | 1.150 | 70.370 | 5.690 | 375.795 |
| CDC43-P2 | 2017-10-10 21:20:00 | 1.150 | 70.350 | 5.740 | 377.431 |
| CDC43-P2 | 2017-10-10 21:15:00 | 1.150 | 70.380 | 5.730 | 377.105 |
| CDC43-P2 | 2017-10-10 21:10:00 | 1.150 | 70.370 | 5.780 | 378.734 |
| CDC43-P2 | 2017-10-10 21:05:00 | 1.150 | 70.380 | 5.600 | 372.833 |
| CDC43-P2 | 2017-10-10 21:00:00 | 1.150 | 70.380 | 5.680 | 375.468 |
| CDC43-P2 | 2017-10-10 20:55:00 | 1.150 | 70.380 | 5.650 | 374.482 |
| CDC43-P2 | 2017-10-10 20:50:00 | 1.150 | 70.370 | 5.680 | 375.467 |

RTU手动控制 - 电泵 [含水]

全部: 1 在线数: 0

全部类型: [含水] 开组 合水 无井组井

控制参数 油井或终端井参数 版本信息 RTU升级

GPS上线起始时间: [] 整点, 如5表示凌晨5点开始

GPS上线结束时间: [] 整点, 如18表示下午18点结束

GPS上线时间间隔: [] 小时, 如2表示间隔2小时上线一次, 如果为0表示从起始时间到结束时间持续在线

RTU通信功率 (0~15): [] 读取 设置

RTU采集间隔 (分钟): []

终端采集间隔 (分钟): []

RTU通信信道 (0~15): []

电泵 螺杆泵点间隔 (10ms): []

动液面采集间隔 (min): []

动液面预采集: [] 请慎重填写, 如不想要改原值, 请先采集后再对参数进行设定, 不输入则为不设置此参数。

油管设置流量: []

套管设置流量: []

设置流量精度 (1~5)%: []

加热器设定温度值: []

加热器温度精度 (°C): [] 读取 设置

启停井控制: []

设置变频器频率: []

RTU 网关ID: [] 设定

指令透传 [] 发送 透传方式: []

只显示在线 []

清除存储记录 []

立即采集实时数据 [] 立即采集存储数据 []

可设置现场的RTU采集的数据类型、采集时间和采集间隔等。RTU会根据采集指令自动向现场的各类仪表发出指令，现场仪表将采集到的实时数据发送给RTU，由RTU打包后远传至上位机，并进行展示。

若想获取实时数据，也可手动对RTU进行控制，实时采集现场的参数，及时了解设备运行情况。

多相流计量系统研制

远程计量子系统：

喷嘴流量计 (微差压) 计算器

喷嘴流量计 (微差压) 计算器

基本数据

| | | | |
|---|---------------------------------------|----------------|------|
| 生产气油比 (m ³ /m ³) | 8 | 饱和压力 (MPa) | 10 |
| 地面原油密度 (g/cm ³) | 0.8 | 地面原油粘度 (mPa·s) | 102 |
| 管道内径 (mm) | 50.00 | 节流件开孔直径 (mm) | 10.5 |
| 含水 (%) | 70 | | |
| 管道材料热膨胀系数 | 11.16 * 10 ⁻⁶ (mm/mm · °C) | | |
| 节流件材料热膨胀系数 | 16.60 * 10 ⁻⁶ (mm/mm · °C) | | |

实测数据

| | | | | | |
|----------|---|----------|-----------|---------|----|
| 油压 (MPa) | 3 | 压差 (kPa) | 35.000000 | 油温 (°C) | 32 |
|----------|---|----------|-----------|---------|----|

计算结果

| | | | |
|----------------------------|-------|--------------|-------|
| 计算产量 (m ³ /day) | 44.37 | 计算产量 (t/day) | 41.71 |
|----------------------------|-------|--------------|-------|

计算 运行状态: 计算成功

远程计量子系统是软件系统的核心部分，通过采集到的温度、压力、差压、含水率、密度数据，计算出多相流体的实际流量。先根据不同的单井存入相关参数，如生产油气比、地面原油密度、饱和压力、地面原油粘度、管道内径、节流件开孔直径以及管道材料和节流件材料的热膨胀系数，然后采集现场的温度、压力、差压、含水、密度等数据，实现油气水多相流流量的计算。

多相流计量系统研制

生产报表子系统：

非抽油机井在线计量

日报数据 采集数据 曲线查询

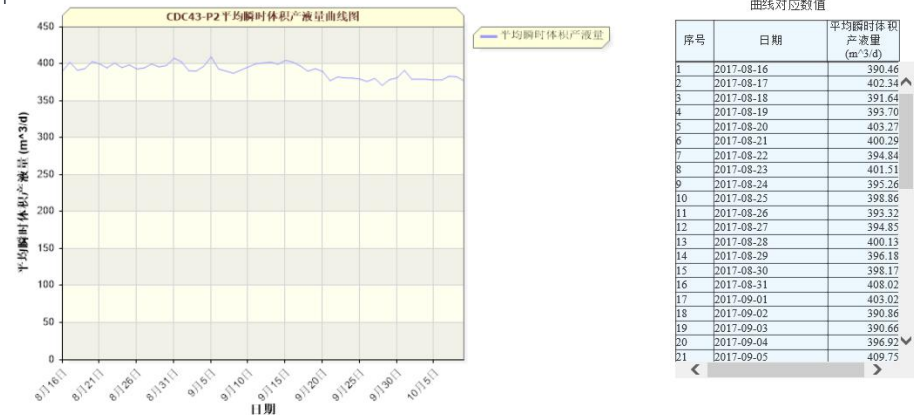
井号: CDC43-P2 开始日期: 2017-08-16 结束日期: 2017-10-10 每页行数: 100 开始查询 生成Excel

总记录数: 52

| 井号 | 日期 | 油压(MPa) | 油温(摄氏度) | 平均瞬时体积产液量(m ³ /d) | 日累计体积产液量(m ³) |
|----------|------------|---------|---------|------------------------------|---------------------------|
| CDC43-P2 | 2017-08-16 | 1.410 | 48.780 | 390.460 | 392.1200 |
| CDC43-P2 | 2017-08-17 | 1.400 | 51.890 | 402.340 | 397.7600 |
| CDC43-P2 | 2017-08-18 | 1.410 | 50.530 | 391.640 | 391.5400 |
| CDC43-P2 | 2017-08-19 | 1.400 | 48.030 | 393.700 | 392.4800 |
| CDC43-P2 | 2017-08-20 | 1.410 | 50.050 | 403.270 | 401.7800 |
| CDC43-P2 | 2017-08-21 | 1.390 | 50.790 | 400.290 | 400.7500 |
| CDC43-P2 | 2017-08-22 | 1.400 | 48.870 | 394.840 | 390.1000 |
| CDC43-P2 | 2017-08-23 | 1.410 | 49.370 | 401.510 | 398.4800 |
| CDC43-P2 | 2017-08-24 | 1.390 | 48.900 | 395.260 | 398.0200 |
| CDC43-P2 | 2017-08-25 | 1.390 | 50.320 | 398.860 | 399.6400 |
| CDC43-P2 | 2017-08-26 | 1.410 | 51.380 | 393.320 | 388.5700 |
| CDC43-P2 | 2017-08-27 | 1.410 | 49.170 | 394.850 | 397.6100 |
| CDC43-P2 | 2017-08-28 | 1.390 | 49.680 | 400.130 | 398.8300 |
| CDC43-P2 | 2017-08-29 | 1.420 | 50.370 | 396.180 | 392.5700 |
| CDC43-P2 | 2017-08-30 | 1.420 | 49.480 | 398.170 | 400.3300 |
| CDC43-P2 | 2017-08-31 | 1.380 | 48.740 | 408.020 | 412.3000 |

生产报表子系统主要是为了方便油田现场工作人员对采集、计算的油气水多相流流量数据进行汇总和分析，可生成每日的生产报表。

可根据采集到的生产数据，绘制相关曲线、柱状图和饼状图，使用户可以直观的了解单井生产的变化情况，通过对数据的分析，指导油田的生产。



汇报提纲



- 
1. 多相流计量发展现状
 2. 多相流计量系统研制
 3. 系统测试结果及分析
 4. 结论

系统测试结果及分析

系统的校准与标定：

油气水三相流模拟实验装置，主要用于模拟油、水井中油气水三相流的流型流态、流量及三者的配比量，是开展生产测试技术研究以及油气田开发中油气水三相流研究的基础实验装置，也是进行地面测试计量仪器的标定校检装置。油气水三相流模拟流量装置由以下两部分组成：油水气三相介质系统、计量检测及控制系统。

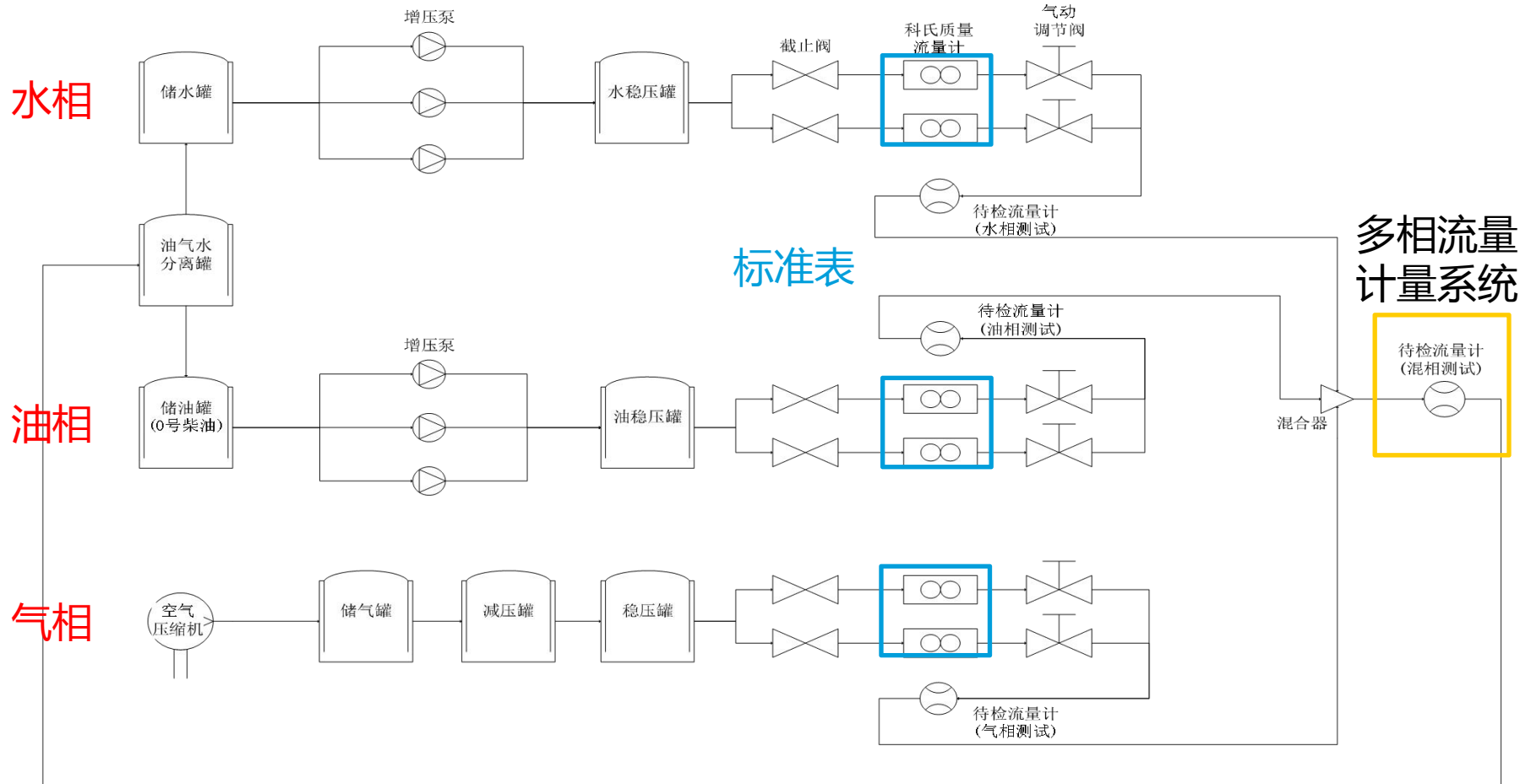
(1)油气水三相介质系统

油气水三相介质系统为整套装置提供所需的介质和稳定的压力，由稳压变频油泵、稳压变频水泵、螺杆式空气压缩机、油稳压罐、水稳压罐、气稳压罐、油气水分离装置、过滤器等组成。

(2)计量检测及控制系统

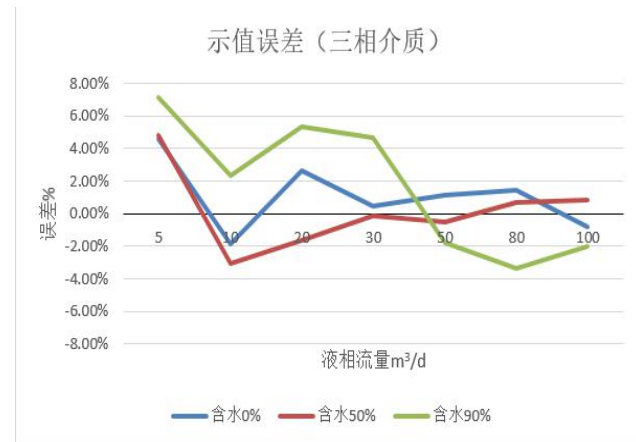
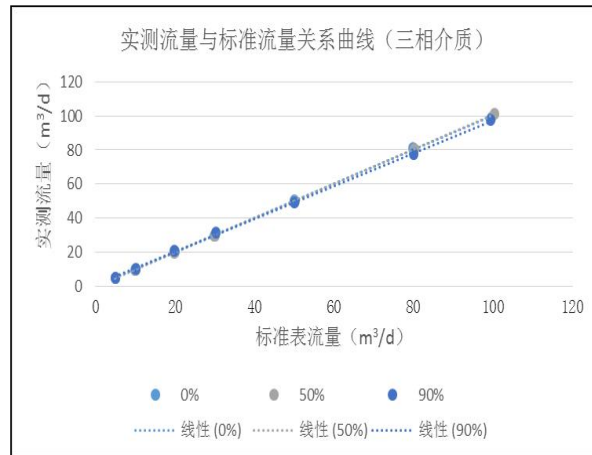
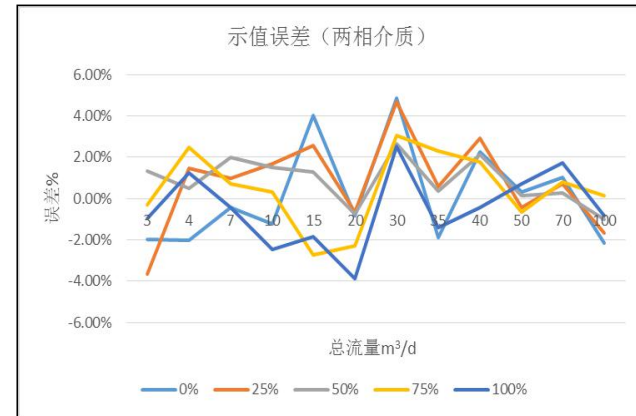
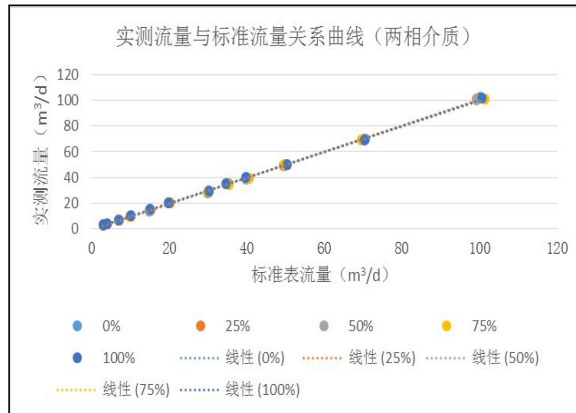
由油气水标准流量计、自动流量调节阀、温度压力变送器、数据采集处理系统、试验管路等组成。

系统测试结果及分析



系统测试结果及分析

系统的校准与标定：



系统测试结果及分析

系统的校准与标定：

华北油田计量中心站

校准证书

证书编号：JZ-C16-0009 号

客户名称：中国石油大学（北京）

器具名称：油井智能微差压多相流量计系统

型号/规格：YD-W-II

出厂编号：15SYD502015032810

制造单位：北京雅丹石油技术开发有限公司

校准依据：《JJG640-1994》差压式流量计检定规程

批准人：[Signature]

(检定专用章)

核验员：[Signature]

校准员：[Signature]

校准日期：2016 年 4 月 29 日

计量检定机构授权证书号：（冀）法计（2015）SH035 号
地址：河北任丘建设中路 12-678
E-mail: cyy_wang@petrochina.com.cn

电话：0317-2727683
邮编：062552
传真：0317-2756240

| 理论设计流量 | 实测标准表 | 实测被检仪器 |
|--------|-------|--------|
|--------|-------|--------|

表二 微差压多相流量计系统在油气水三相介质下的流量数据

| 序号 | 理论设计流量 | | | 实测标准表 | | | | | | 实测被检仪器 | | |
|----|--------------|---------|-----------|--------------|---------|-----------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------|
| | 液相流量 m³/d | 含水 % | 生产 气油比 | 混相流量 m³/d | 含水 % | 生产 气油比 | 水相流量 m³/d | 油相流量 m³/d | 气相流量 m³/d | 实测差压值 kPa | 实测流量 m³/d | 示值误差 |
| 1 | 5 | 0 | 6 | 5.03 | 0.00 | 5.93 | 0.00 | 5.03 | 29.83 | 27.10 | 5.26 | 4.57% |
| 2 | 5 | 50 | 12 | 4.96 | 48.39 | 11.77 | 2.40 | 2.56 | 30.12 | 28.12 | 5.20 | 4.84% |
| 3 | 5 | 90 | 60 | 4.92 | 91.26 | 69.88 | 4.49 | 0.43 | 30.05 | 30.85 | 5.27 | 7.11% |
| 4 | 10 | 0 | 3 | 9.87 | 0.00 | 3.07 | 0.00 | 9.87 | 30.26 | 87.77 | 9.69 | -1.82% |
| 5 | 10 | 50 | 6 | 10.10 | 50.40 | 6.02 | 5.09 | 5.01 | 30.17 | 98.32 | 9.79 | -3.07% |
| 6 | 10 | 90 | 30 | 10.08 | 91.87 | 37.37 | 9.26 | 0.82 | 30.64 | 119.07 | 10.32 | 2.38% |
| 7 | 20 | 0 | 1.5 | 20.05 | 0.00 | 1.50 | 0.00 | 20.05 | 30.12 | 4.71 | 20.58 | 2.64% |
| 8 | 20 | 50 | 3 | 19.89 | 48.62 | 2.93 | 9.67 | 10.22 | 29.99 | 4.55 | 19.56 | -1.66% |
| 9 | 20 | 90 | 15 | 19.87 | 88.88 | 13.74 | 17.66 | 2.21 | 30.36 | 5.37 | 20.94 | 5.39% |
| 10 | 30 | 0 | 1 | 29.88 | 0.00 | 1.03 | 0.00 | 29.88 | 30.77 | 9.61 | 30.02 | 0.47% |
| 11 | 30 | 50 | 2 | 30.12 | 48.94 | 1.95 | 14.74 | 15.38 | 29.94 | 10.38 | 30.07 | -0.17% |
| 12 | 30 | 90 | 10 | 30.22 | 90.00 | 10.14 | 27.20 | 3.02 | 30.64 | 11.99 | 31.64 | 4.70% |
| 13 | 50 | 0 | 0.6 | 50.06 | 0.00 | 0.61 | 0.00 | 50.06 | 30.59 | 4.53 | 50.65 | 1.18% |
| 14 | 50 | 50 | 1.2 | 50.17 | 50.61 | 1.21 | 25.39 | 24.78 | 29.89 | 4.76 | 49.93 | -0.48% |
| 15 | 50 | 90 | 6 | 50.09 | 91.22 | 6.87 | 45.69 | 4.40 | 30.25 | 4.81 | 49.20 | -1.78% |
| 16 | 80 | 0 | 0.375 | 79.81 | 0.00 | 0.38 | 0.00 | 79.81 | 30.33 | 11.30 | 80.99 | 1.48% |
| 17 | 80 | 50 | 0.75 | 80.23 | 49.52 | 0.74 | 39.73 | 40.50 | 30.07 | 12.26 | 80.78 | 0.69% |
| 18 | 80 | 90 | 3.75 | 80.15 | 92.81 | 5.17 | 74.39 | 5.76 | 29.76 | 11.87 | 77.47 | -3.34% |
| 19 | 100 | 0 | 0.3 | 99.56 | 0.00 | 0.30 | 0.00 | 99.56 | 29.88 | 16.74 | 98.73 | -0.83% |
| 20 | 100 | 50 | 0.6 | 100.34 | 50.02 | 0.60 | 50.19 | 50.15 | 30.11 | 19.32 | 101.20 | 0.86% |
| 21 | 100 | 90 | 3 | 99.43 | 90.68 | 3.24 | 90.16 | 9.27 | 30.02 | 18.88 | 97.41 | -2.03% |

注：理论设计流量 5、10m³/d 时使用型号 YD-W-II-3.5 装置进行测试；理论设计流量 20、30 m³/d 时使用 YD-W-II-10 装置进行测试；理论设计流量 50、80、100 m³/d 时使用 YD-W-II-15.5 装置进行测试；

注：理论设计流量 3、4、7、10m³/d 时使用型号 YD-W-II-3.5 装置进行测试；理论设计流量 15、20、35、50 m³/d 时使用 YD-W-II-10 装置进行测试；理论设计流量 30、40、70、100 m³/d 时使用 YD-W-II-15.5 装置进行测试；

系统测试结果及分析

现场试验：

该系统于2015年11月至2017年6月，在某油田某区块针对抽油机井、电潜泵井、螺杆泵井等现场单井的多相流量计量，先后进行了18个月现场试验应用。

| 试验阶段 | 试验目的 | 试验时间 | 试验井数 |
|------|--------------|-----------------|------|
| 一期试验 | 产量对比试验 | 2015.11-2015.11 | 2 |
| 二期试验 | 变频对比试验 | 2015.12-2016.1 | 1 |
| 三期试验 | 高套压、高产气井对比试验 | 2016.01-2016.05 | 3 |
| 四期试验 | 长期稳定性试验 | 2017.01-2017.06 | 4 |

系统测试结果及分析

一期试验：

| 井号 | 采集时间 | 计算产量 (t/d) | 体积产量 (m ³ /d) | 分离器计量 (m ³ /d) | 误差 % |
|----|------------------|---------------|-----------------------------|------------------------------|---------|
| 1 | 2015/11/11 0:01 | 181.01 | 191.81 | 199.50 | -3.85% |
| | 2015/11/13 12:01 | 184.66 | 195.47 | 199.50 | -2.02% |
| | 2015/11/15 5:01 | 178.50 | 199.29 | 199.50 | -0.11% |
| 平均 | — | 181.39 | 195.52 | 199.50 | -1.99% |

| 井号 | 采集时间 | 计算产量 (t/d) | 体积产量 (m ³ /d) | 分离器计量 (m ³ /d) | 误差 % |
|----|-----------------|---------------|-----------------------------|------------------------------|---------|
| 2 | 2015/11/11 0:32 | 188.24 | 188.50 | 190.80 | -1.21% |
| | 2015/11/13 2:32 | 185.63 | 185.89 | 190.80 | -2.57% |
| | 2015/11/15 6:32 | 186.58 | 186.84 | 190.80 | -2.08% |
| 平均 | — | 186.82 | 187.08 | 190.80 | -1.95% |

试验结论

通过两表中多相流量测控系统以及现场分离器计量的结果对比。井1测试结果中，测控系统计产相比于计量小队分离器计产测量数值较小，误差大约为**0.1%-3.9%**之间。井2测试结果中，测控系统相比于小队计产测量数值较小，误差大约为**1.0%-3.0%**之间。通过两口单井的计量对比结果，**验证了整套系统的计量准确性。**

系统测试结果及分析

二期试验：

| 井号 | 采集时间 | 运行频率 | 螺杆泵实际转速 (n/min) | 测控系统计产 (t/d) | 小队计产 (t/d) | 误差 % |
|----|------------------|------|--------------------|-----------------|---------------|---------|
| 3 | 2015/11/21 15:17 | 50 | 102 | 185.94 | 190.80 | -2.55% |
| | 2015/11/21 15:32 | 50 | 102 | 186.98 | 190.80 | -2.00% |
| | 2015/11/22 14:46 | 40 | 82 | 149.61 | 150.00 | -0.26% |
| | 2015/12/4 17:47 | 45 | 92 | 166.80 | 171.00 | -2.46% |
| | 2015/12/6 6:47 | 45 | 92 | 165.78 | 171.00 | -3.05% |
| 平均 | — | 46 | 94 | 171.02 | 174.72 | -2.12% |

试验结论

经过一段时间的测试，不同频率下螺杆泵井3的计量系统计产结果以及小队计产计量结果对比，总体来说计量系统的计产结果小于小队计量结果，计量偏差率从0.3%到3.1%，**平均为2.1%**。通过对比不同频率下的计产结果，验证了测控系统在**产量波动情况下**，仍具有**较高的精度和稳定性**。

系统测试结果及分析

三期试验：

| 井号 | 计算产量 (t/d) | 体积产量 (m ³ /d) | 分离器计量 (m ³ /d) | 误差 % |
|----|---------------|-----------------------------|------------------------------|---------|
| 4 | 245.00 | 256.08 | 263.70 | -2.89% |
| | 239.59 | 260.65 | 268.50 | -2.92% |
| | 249.67 | 255.77 | 268.50 | -4.74% |
| | 257.42 | 258.55 | 268.50 | -3.71% |
| | 253.87 | 258.99 | 268.50 | -3.54% |
| | 239.63 | 256.69 | 268.50 | -4.40% |
| | 259.91 | 261.06 | 268.50 | -2.77% |
| | 267.62 | 268.79 | 264.00 | 1.81% |
| 平均 | 251.59 | 259.57 | 267.34 | -2.90% |

| 井号 | 计算产量 (t/d) | 体积产量 (m ³ /d) | 分离器计量 (m ³ /d) | 误差 % |
|----|---------------|-----------------------------|------------------------------|---------|
| 6 | 105.74 | 103.80 | 99.00 | -4.85% |
| | 109.29 | 101.35 | 96.60 | -4.92% |
| | 100.44 | 100.50 | 96.60 | -4.04% |
| | 102.35 | 101.41 | 96.60 | -4.98% |
| | 101.91 | 82.97 | 80.05 | -3.65% |
| | 100.72 | 98.78 | 95.70 | -3.22% |
| | 101.45 | 99.51 | 95.70 | -3.98% |
| | 101.70 | 99.76 | 95.70 | -4.24% |
| 平均 | 102.95 | 98.51 | 94.49 | -4.25% |

| 井号 | 计算产量 (t/d) | 体积产量 (m ³ /d) | 分离器计量 (m ³ /d) | 误差 % |
|----|---------------|-----------------------------|------------------------------|---------|
| 5 | 81.72 | 74.05 | 76.50 | -3.20% |
| | 74.70 | 75.00 | 76.50 | -1.96% |
| | 74.50 | 74.80 | 76.50 | -2.22% |
| | 73.79 | 82.08 | 85.50 | -4.00% |
| | 73.86 | 83.16 | 85.50 | -2.74% |
| | 73.73 | 82.02 | 85.50 | -4.07% |
| | 73.45 | 71.74 | 74.10 | -3.18% |
| | 74.43 | 74.73 | 74.10 | 0.85% |
| 平均 | 75.02 | 77.20 | 79.28 | -2.62% |

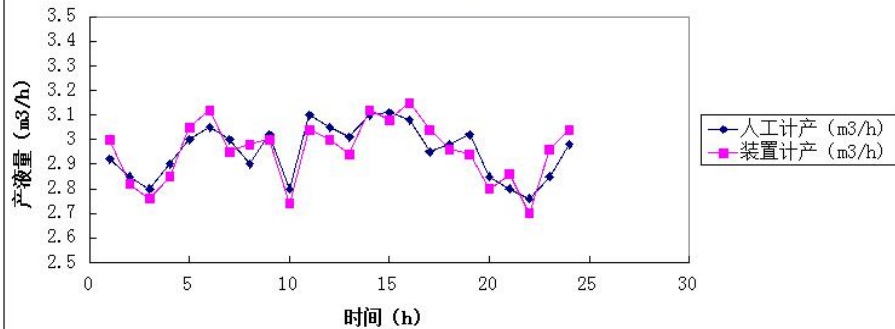
试验结论

通过3口井分离器量油和微差压装置量油数据结果对比结果来看，井4平均计量对比偏差为2.9%；井5测试结果中，平均计量对比偏差为2.62%；井6平均计量对比偏差为4.25%。通过对比3口单井的计产数据，多相流量测控系统在单井**含气率较高**的情况下，计量误差仍**小于5%**。

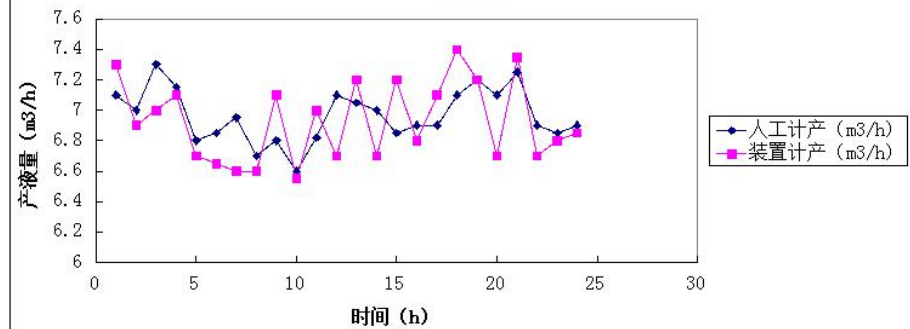
系统测试结果及分析

四期试验：

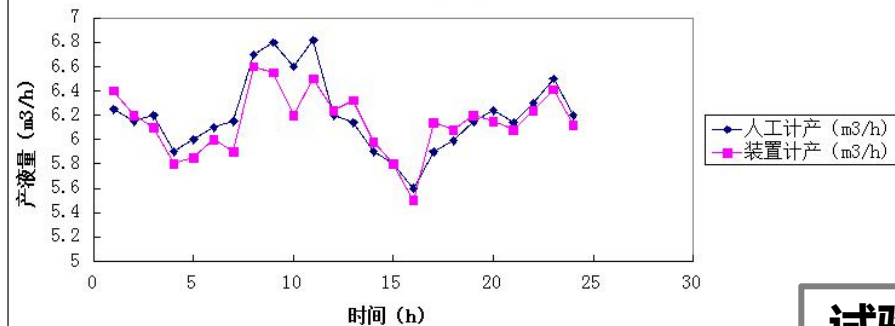
H31-X137井计量对比



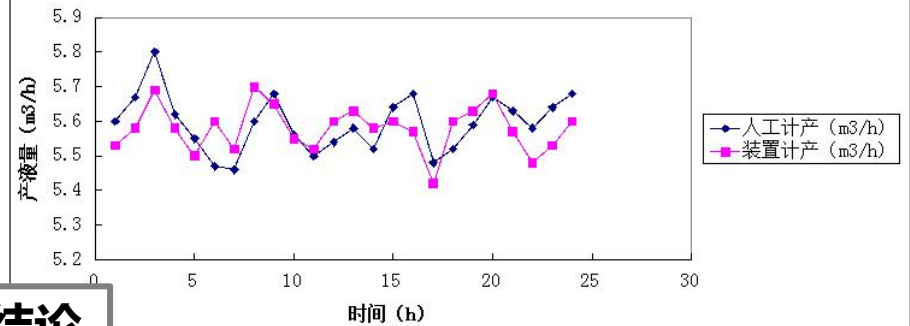
H31-X138井计量对比



H14-X284井计量对比



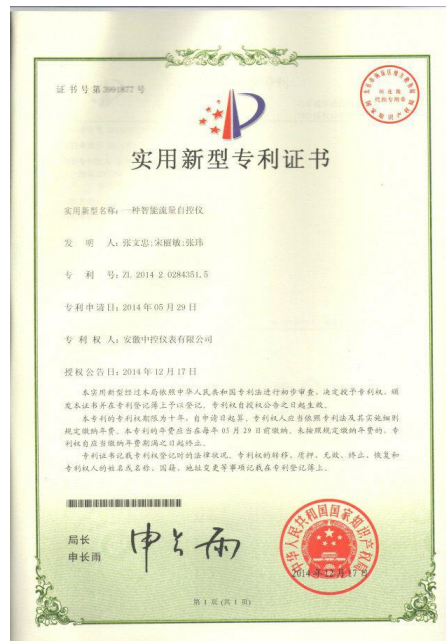
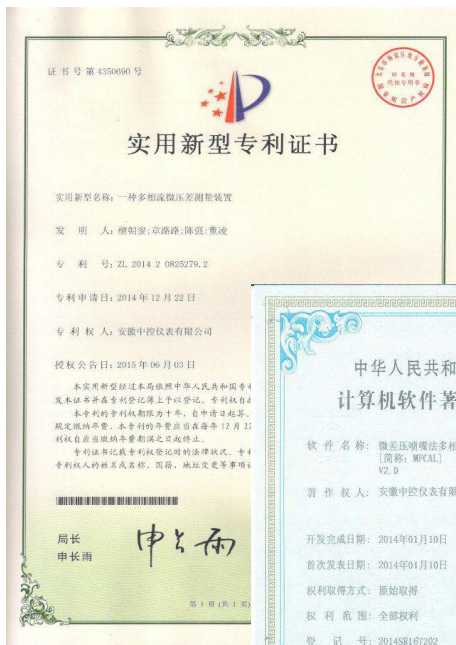
H4-X113井计量对比



试验结论

通过多相流量测控系统在4口单井上的长期试验，系统运行过程中基本未出现使用问题，满足不同井型井况的多相流计量需求，验证了整套系统的**长期运行稳定性**。

发明专利



汇报提纲

- 
1. 多相流计量发展现状
 2. 多相流计量系统研制
 3. 系统测试结果及分析
 4. 结论

结论

结 论

- 国内外多相流量测控技术的发展迅速，理论基础扎实，但现场应用存在诸多问题，通过对油气水三相流体混相流量和分相含率的计量，可以满足油田现场对多相流的计量需求。
- **差压法**原理简单、成本较低、实现难度小，可满足油气田开发的混相流量计量需求。在计算混相流体流量时，考虑到流出系数等参数对流量计算的影响，采用**迭代法**实现多相流混相流量的计算。
- 采用**密度法**和**微波法**两种方式，分别采集多相流体的混合密度和含水率参数，通过两种方法的融合，可以实现油气水多相流体分相含率的检测。
- 根据计量方案，搭建油气水多相流计量硬件系统。选取**喷嘴**作为节流元件，在保证计量精度的前提下，大大降低了压力损失，整体压损不超过**0.06MPa**。整套硬件系统硬件组成合理，基本满足现场的应用需求。
- 与硬件系统配套，构建了多相流测控软件系统，针对油田现场工程师的不同需求，开发了四个子系统，各子系统间协同作用，实现了油气水多相流流量及相关参数的采集、展示、汇总、分析，提高了油田的数字化水平。
- 对研制开发的整套多相流量测控系统进行校准和标定，并通过在胜利油田数十口不同类型的单井长达18个月的试验，验证了整套系统的可用性，与现场人工计产数据相比**平均误差均低于5%**。



中国石油大学(北京)

Thanks

谢谢！