



采 油 工 程 实 验

讲 义

编写人：曲占庆 周童 焦翠

中国石油大学（华东）石油工程实验教学中心

2006

目 录

实验一 垂直管流实验	1
实验二 抽油泵泵效实验	4
实验三 裂缝导流能力模拟实验	7
参考文献	11
附录	12

实验一 垂直管流实验

一、实验目的

1. 观察垂直井筒中出现的各种流型，掌握流型判别方法；
2. 验证垂直井筒多相管流压力分布计算模型；
3. 了解自喷及气举采油的举升原理。

二、实验原理

在许多情况下，当油井的井口压力高于原油饱和压力时，井筒内流动着的是单相液体。当自喷井的井底压力低于饱和压力时，则整个油管内部都是气-液两相流动。油井生产系统的总压降大部分是用来克服混合物在油管中流动时的重力和摩擦损失，只有当气液两相的流速很高时（如环雾流型），才考虑动能损失。在垂直井筒中，井底压力大部分消耗在克服液柱重力上。在水平井水平段，重力损失也可以忽略。所以，总压降的通式为：

$$\Delta P_{\text{总}} = \Delta P_h + \Delta P_r + \Delta P_a$$

式中： ΔP_h — 重力压降； ΔP_r — 摩擦压降； ΔP_a — 加速压降。

在流动过程中，混合物密度和摩擦力沿程随气-液体积比、流速及混合物流型而变化。油井中可能出现的流型自下而上依次为：纯油流、泡流、段塞流、环流和雾流。除某些高产量凝析气井和含水气井外，一般油井都不会出现环流和雾流。

本实验以空气和水作为实验介质，用阀门控制井筒中的气水比例并通过仪表测取相应的流量和压力数据，同时可以从透明的有机玻璃管中观察相应的流型。

三、实验仪器

1. 仪器与设备：自喷井模拟器（使用方法参见附录），空气压缩机，离心泵，秒表等；
2. 实验介质：空气，水。
3. 设备的流程（如图 1-1 所示）

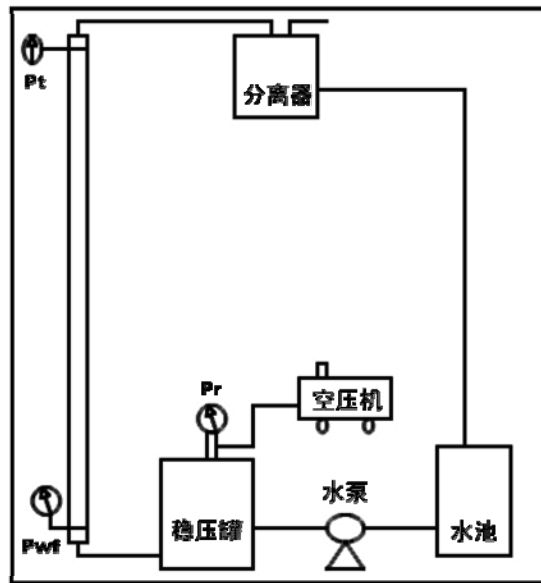


图 1-1 垂直管流实验设备流程图

四、实验步骤

1. 检查自喷井模拟器的阀门开关状态，保证所有阀门都关闭，检查稳压罐的液位(3/4 液位)；
2. 打开空气压缩机及供气阀门；
3. 打开离心泵向系统供液；
4. 打开液路总阀，向稳压罐中供液，控制稳压罐减压阀，保证罐内压力不超过 0.12MPa ；
5. 待液面达到罐体 3/4 高度，关闭液路总阀，轻轻打开气路总阀和气路旁通阀，向实验管路供气，保证气路压力不大于 0.5MPa ，稳压罐压力约为 0.8MPa；
6. 轻轻打开液路旁通阀，向系统供液，待液面上升至井口时，可以改变气液阀门的相对大小，观察井筒中出现的各种流型；
7. 慢慢打开液路测试阀门和气路测试阀门，然后关闭气路旁通阀和液路旁通阀，调节到所需流型，待流型稳定后开始测量；
8. 按下流量积算仪清零按钮，同时启动秒表计时，观察井底流压和气体浮子流量计的示数。当计时到 10 秒时，记录井底流压、气体流量、液体累计流量和所用时间；
9. 改变不同的气液流量，重复步骤 7 到 8 记录数据，一般取 5 组段塞流和 5 组泡流数据点。
10. 打开气、液旁通阀，再关闭测试阀，关闭离心泵和空压机，清理实验装置，实验结束。

五、注意事项

1. 不要踩踏地面的各种管道；
2. 操作自喷井模拟器时要注意稳压罐中的液位，不要打空或溢出；
3. 观察的浮子流量计和压力表示数应读取测量时间内的平均值；
4. 浮子流量计的单位和流量积算仪的单位。

六、实验报告内容

1. 写出实验目的，简述实验原理；
2. 简述垂直井筒中各种流型的特征；
3. 用奥齐思泽斯基方法判断各实验数据点所属的流型并与实验观察到的现象相对比，至少列出一个实验数据点的判别过程。

实验二 抽油泵泵效实验

一、实验目的

1. 观察抽油机、抽油泵的结构和工作过程（机杆泵四连杆机构）；
2. 掌握泵效测量和计算的方法；
3. 观察泵效和产气量之间的关系；
4. 观察气锚的分气效果。

二、实验原理

抽油泵的效率是分析抽油机井工作状况的重要参数,根据气液混合物流过抽油泵的能量方程式和机械能守恒原理可以分析抽油泵的效率。

泵的实际排量要小于理论排量,两者的比值称作泵容积效率,油田统称泵效,也有称作泵的排量系数,即:

$$\eta_v = \frac{Q}{Q_T}$$

式中: Q — 泵的实际排量; Q_T — 泵的理论排量; η_v — 泵效。

$$Q_T = \frac{\pi D^2}{4} S n$$

式中: D — 泵径; S — 冲程; n — 冲次。

影响泵的容积效率的因素是多方面的,如油杆、油管的弹性变形,液体漏失以及泵筒内液体的充满程度和液体在地层与地面体积的差异等。

当有气体进入泵中时,泵效由于气体的影响而降低,增加气锚装置可将部分气体分离到环形空间中,使泵效提高,通过测定油气锚和无气锚时的排量可计算出气锚的分气效果(泵效的相对减少量):

$$\text{泵效的相对减少量} = \frac{\text{未通气时泵效} - \text{通气后泵效}}{\text{未通气时泵效}}$$

实验用供液瓶代替地层供液,用小型抽油机带动活塞产液,由空压机供气。在油管出口用量筒和秒表计量实际排量。

三、实验设备及材料

1. 实验设备: 小型抽油机, 深井泵模型, 空压机, 阀组, 空气定值器, 浮子流量计, 供液瓶, 秒表等。

2. 实验介质：空气，水。

四、实验步骤

1. 记录实验深井泵的泵径；
2. 移动支架使泵筒中心线是否与驴头对准，检查对应泵筒的进气管和进液管是否畅通；
3. 用手转动皮带轮带动驴头上下运动，记录柱塞冲程；
4. 接通抽油机电源，测量冲次；
5. 用量筒和秒表在油管出口记录实际排液量，重复三次；
6. 打开空压机电源，调节空气定值器旋钮，将进入泵筒中的气量定为 0.4 方/小时，待产液稳定后，记录三次井筒的排量；
7. 打开空压机电源，调节空气定值器旋钮，将进入泵筒中的气量定为 0.2 方/小时，待产液稳定后，记录三次井筒的排量；
8. 打开空压机电源，调节空气定值器旋钮，将进入泵筒中的气量定为 0.1 方/小时，待产液稳定后，记录三次井筒的排量；
9. 关闭抽油机和空压机电源，轻抬支架更换泵筒，更换对应的进液管和进气管；
10. 重复 5-9 步；
11. 清扫地面，实验结束。

五、注意事项

1. 不要触摸运转中抽油机的平衡块和刹车；
2. 要保证泵筒中心线与驴头对齐；
3. 开动抽油机前，一定要检查相应的供液管和供气管是否畅通；
4. 不要无休止地拧空气定值器的调节钮；
5. 实验过程中要注意观察柱塞和凡尔的工作情况；
6. 出现意外情况时先关闭电源。

六、实验报告

1. 简述实验目的与实验原理；
2. 处理数据记录表的数据，包括求理论排量、泵效和分气效果；
3. 简述抽油泵的工作原理，画出抽油泵的工作过程简图；
4. 简述气锚的分气原理；
5. 分析实验结果（泵效与气量的关系、误差以及出现误差的原因）。

实验三 裂缝导流能力模拟实验

一、实验目的

1. 了解岩石被支撑裂缝的导流能力随闭合压力变化的关系、以及在相同闭合压力条件下铺有不同层数的支撑剂的裂缝导流能力的差异；
2. 分析说明达西公式与二项式公式计算出的结果不同的原因；
3. 熟悉压力试验机的操作及实验流程。

二、实验原理

裂缝的渗透率可由气体渗流的流量来反映，测量气体在不同入口和出口压力下的流量后，可通过气体径向渗流的达西公式来确定裂缝的导流能力。

三、实验仪器和材料

1. 仪器：NYL—200D 型压力试验机或 NYL—2000D 型压力试验机，空气压缩机—供气源，定值器—气源开关，精密压力表，浮子流量计，岩心（钢板）模，游标卡尺，放大镜。
2. 材料：不同产地的压裂砂、陶粒。

四、实验步骤

（一）实验准备

1. 在附表 1 中记录使用的砂子产地、粒径、名称及某温度下的气体粘度；
2. 用游标卡尺量出岩心模的外径 r_o 及孔眼的内径 r_i 。记录附表 1 中，用作计算岩心模面积；
3. 称一定重量的砂子（记下砂子的颗粒直径）均匀地铺在缠有铜网的岩心面上，要保持单层，铺完后用放大镜检查一下砂子是否铺的均匀和紧密。然后称剩余砂子的重量，二者之差即为铺在岩心上的砂重，并按下式计算出支撑剂的浓度：

$$\text{支撑剂（砂子）的浓度} = \frac{\text{单层支撑剂的重量}}{\text{铺有支撑剂岩心的面积}}, \quad \text{g/cm}^2$$

将此浓度值记入表 1 中。

4. 将上岩心片（孔眼向下）放于下岩心片的上方，然后上下岩心片放在试验机下承压板中心位置。
5. 认真记录试验机载荷刻度盘上读出加载值。

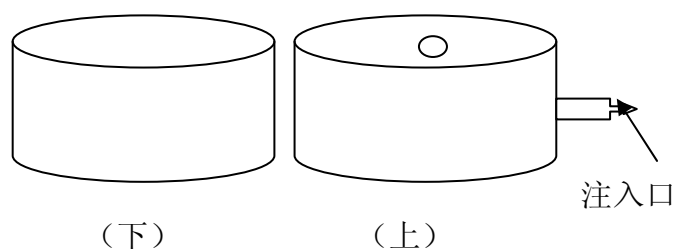


图 3-1 岩心模型

(二) 岩心加压法

1. 岩心放在下承压板上，用手旋转螺杆将上承压板合并，压住岩心模型，准备加载。
2. 旋紧回油阀，按绿钮开机器，用送油阀慢慢加压，通过控制送油阀开启程度控制加压速度，当主动指针（黑针）转到 1.5 吨（或 1KN）时，将送油阀放慢关闭维持此点上，将定值器打开使气体进入浮子流量计中，同时浮子上升，调节定值器旋钮，使浮子指示到流量计刻度的最高度值。
3. 送油阀继续开动，当指针加到所规定的吨数时，保持指针示数不变。同时读出流量数 Q 和对应的压力 P（精密压力表示数），记录在附表 3 中。

4. 需要载荷分别依次加到

3 吨	5 吨	(7 吨)	10 吨	(12 吨)
15 吨	(18 吨)	20 吨	25 吨	30 吨
或				
30KN	50KN	(70KN)	100KN	(120KN)
150KN	(180KN)	200KN	250KN	300KN

读出相应的 P, Q 值，用达西公式计算。

注意：在测点 7、12、18 吨（或 70、120、180KN）处，保持载荷不变，改变 P（调定值器阀），读出 Q，每测点共记 5 组数据于表 2 中，用于二项式公式计算。

5. 试验结束后，关送油阀，按红钮关电源，慢慢打开回油阀卸载，将岩心取出，观察支撑剂破碎情况。
6. 双层支撑剂测定：将重量为岩心上铺设单层时支撑剂重量二倍浓度分量的支撑剂铺于岩心表面，依次按步骤（二）进行操作，测出不同载荷下的 P 及 Q 值记入表 3、表 2 中。

五、实验结果计算

1. 闭合压力计算

$$P_{\text{闭}} = \frac{\text{加压载荷 (kg)}}{\text{铺有支撑剂的岩心面积 (cm)}} , \text{ kg/cm}^2 \quad (\text{a})$$

2. 计算裂缝导流能力 $K_f W$

$$K_f W = \frac{Q \mu P_n \ln \frac{r_o}{r_e}}{\pi(P_i^2 - P_o^2)}, \quad \mu m^2 \cdot cm \quad (b)$$

式中：

Q — 气体流量， cm^3/s ；

μ — 气体的粘度， $mPa \cdot s$ ；

P_i — 流量计进口处压力， atm ；

P_o — 岩心出口处压力， atm ；

P_n — 气体平均压力， $P_n = (P_i + P_o) / 2$ ；

r_o — 岩心的外部半径， cm ；

r_e — 岩心孔眼半径， cm ；

$K_f W$ — 裂缝的导流能力， $\mu m^2 \cdot cm$ 。

六、实验结果分析

1. 计算出各个 $K_f W$ 值；
2. 给出铺有单层及双层支撑剂下导流能力 $K_f W$ 与闭合压力 $P_{闭}$ 的关系曲线；
3. 对实验结果进行分析。

七、实验报告要求

1. 实验目的及实验原理；
2. 给出实验数据；
3. 给出计算公式，代入数据，写简单计算过程；
4. 给出 $K_f W$ 与 $P_{闭}$ 的关系曲线，要求用小方格纸作；
5. 给出实验流程示意图（用方框图表示）；
6. 分析公式（b）的使用条件；
7. 以某一闭合压力下的 PQ 数据为例，用二项式公式：

$$\frac{P_i^2 - P_o^2}{Q} = A + BQ$$

以 $\frac{P_i^2 - P_o^2}{Q}$ 为纵轴， Q 为横轴，做于直角坐标纸上求出截距 A

$$A = \mu / K_f W \cdot \ln \frac{r_o}{r_e}$$

由 A 求出 $K_f W$ ，并与用导流公式（达西公式）求出的值，并对比分析说明。

附表 1

岩心外 半径 r _o (cm)	岩心孔眼 半径 r _e (cm)	岩心 面积 (cm ²)	支撑剂浓度(g/cm ²)		空气粘度 (<i>mPa·s</i>)	支撑剂	
			单层	双层		目数	产地

气测 K（渗透率）：
$$K = \frac{2\mu Q P_o L}{A(P_i^2 - P_i^2)} \quad , \quad \mu m^2$$

空气粘度与温度关系

温 度 °C	粘 度 mPa. S	温 度 °C	粘 度 mPa. S	温 度 °C	粘 度 mPa. S
4	0.01729	16	0.01789	28	0.01849
5	0.01734	17	0.01794	29	0.01854
6	0.01739	18	0.01799	30	0.01859
7	0.01744	19	0.01804	31	0.01864
8	0.01749	20	0.01809	32	0.01869
9	0.01754	21	0.01815	33	0.01874
10	0.01759	22	0.01819	34	0.01879
11	0.01764	23	0.01824	35	0.01884
12	0.01769	24	0.01829	36	0.01889
13	0.01774	25	0.01834	37	0.01894
14	0.01779	26	0.01839	38	0.01899
15	0.01784	27	0.01844	39	0.01905

参考文献

1. 张琪. 《采油工程原理与设计》，石油大学出版社，2000
2. 陈家琅. 《石油气液两相管流》，石油工业出版社，1989
3. 沈迪成. 《抽油泵》，石油工业出版社，1994
4. K. E. 布朗. 《升举法采油工艺》，石油工业出版社，1984
5. 《岩石矿物分析》，石油大学出版社.

附录

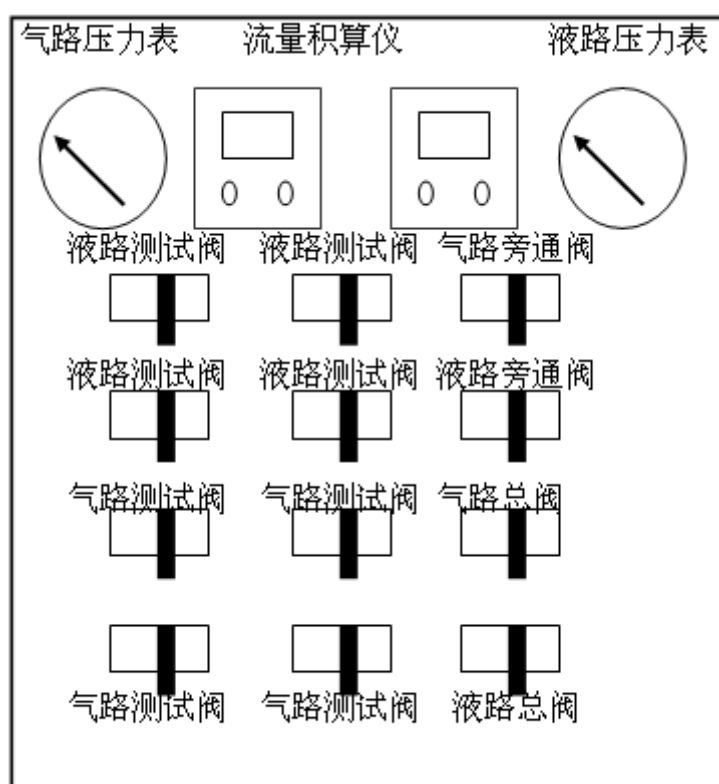
自喷井模拟实验装置的使用

一、设备功能

自喷井模拟实验装置是石油工程系采油实验室自行开发的实验装置,主要用于模拟自喷井的生产。可以用于研究油管或环空垂直多相管流及气举生产等规律。

二、设备结构

自喷井模拟实验设备操作面板示意图如下图所示



三、操作方法

1. 检查面板上各阀门的开启状态,保证都处于关闭的位置;
2. 开启空气压缩机电源,向系统供气;
3. 慢慢打开气路总阀,向设备供气;
4. 待稳压罐压力表压力达到 0.05 MPa 左右时,慢慢打开气路旁通阀,调节稳压罐上减压阀大小,保持稳压罐压力为 0.05 MPa;
5. 开启离心水泵电源,向系统供液;

6. 打开面板上液路总阀，向稳压罐中供液，保持稳压罐压力为 0.05 MPa；
7. 慢慢打开液路旁通阀，向设备供液；
8. 进行测试实验时，先打开仪表前后的测试阀门，然后关闭旁通阀；
9. 按下流量计算仪回零按钮可开始计量某时间段的流量；
10. 停止测试实验时，先打开旁通阀，然后关闭仪表前后的测试阀门。

四、注意事项

1. 要时刻注意稳压罐顶部的压力表，不要让压力大于 0.16 MPa；
2. 要时刻注意稳压罐中的液面，防止罐中液面被打空或者液体溢出；
3. 一定不要让测试阀门和旁通阀门同时处于关闭的状态；
4. 遇到紧急情况，先关闭电源和气源，然后关闭水源，报告指导老师。