

气井积液可视化实验

魏 纳¹, 李颖川², 李悦钦³, 刘安琪¹, 廖开贵¹, 喻 欣¹

(1 西南石油大学研究生院 2 “油气藏地质及开发工程”国家重点实验室·西南石油大学

3 西南石油大学机电工程学院)

魏 纳等. 气井积液可视化实验. 钻采工艺, 2007, 30(3): 43-45

摘 要: 气藏在开发过程中都会产地层水或凝析液。产出液若不能及时排出, 就会聚积在井底, 增大井底回压、降低产气量, 严重时造成气井水淹停产。为此, 文章在实验研究建立总高为 16 m、Ø40 有机玻璃管可视化实验架的基础上, 通过实验手段采用压缩空气和水作为实验介质(气液比 > 10000), 模拟气井连续排液和积液这一物理现象, 并测试井口压力、井口温度、注入气量及实验液量等参数, 采用现代化技术手段捕捉高速气流中液滴实际形状。通过实验后对测试数据处理发现, 实验结果同 Turner 液滴模型公式计算结果基本相符。该实验研究成果对于科研教学以及指导现场应用均有重要意义。

关键词: 气井积液; 液滴模型; 实验研究; 物理模拟; 临界流速; 临界产量

中图分类号: TE 311 **文献标识码:** A **文章编号:** 1006-768X(2007)03-0043-03

天然气如果没有充足的能量把液体举升出地面, 液相物质随着时间的推移将在井眼中形成积液, 从而增加井底回压, 降低气井产能。因此, 实验研究气井的临界携液流速和产量有着实际意义。

1969 年 Turner^{[1],[2]} 认为并提出高速气流携液液滴模型更适合用来解释气井积液以及计算气井的积液问题。在假设气井中的液滴是圆球形以及液滴曳力系数为 0.44 的前提下, 推导出了携液最小气体流速和临界产量的公式, 并增加 20%, 其临界流速公式和临界产量公式分别为:

$$u_g = 6.6 \sqrt[4]{\frac{(\rho_L - \rho_g)\sigma}{\rho_g^2}}; q_c = 2.5 \times 10^8 \frac{Apu_g}{zT}$$

最小气体流速和产量通常被称为最小速度和临界产量。Turner 认为气液比大于 1370^[4] 之间的雾流情况下, 井口的条件影响气井积液生成。

2001 年, 文献^[4] 作者于 spe70016 提出椭球体^[4] 液滴模型, 并认为液滴的阻力系数为 1.0, 在该前提下修正 Turner 模型, 提出连续携液临界流速及临界产量公式, 其临界流速公式和临界产量公式分别为:

$$u_g = 2.5 \sqrt[4]{\frac{(\rho_L - \rho_g)\sigma}{\rho_g^2}}; q_c = 2.5 \times 10^8 \frac{Apu_g}{zT}$$

一、实验流程及方法

1. 实验流程

实验流程如图 1 所示, 实验架总高 16 m, 采用 Ø40 有机玻璃管材作为流道以达到可视化实验研究的目的。实验用液体在进入雾化发生短节之前, 通过计量水箱(离地面 16 m)计量后进入实验管路。在水进入到短节后, 液体流经液体雾化喷嘴, 从而产生高压雾化小液滴以用于积液液滴模型实验研究。高压气体通过均匀注气短节(离地面 2 m)进入到实验流道, 气流在离地面 4 m 高的雾化液滴注入短节处与液体混合并向上流动, 实验气液比大于 10 000 m³/m³。

实验通过数码相机捕捉微观液滴实际形状, 采用数字流量计对注入高压气体计量。积液实验先采用小气量实验, 然后增大注气量, 待注入液体不再回落使井底积液实现稳定, 这时的注气量即为相应井口条件下的临界产量。同时, 观察压力传感器的数据, 该数据即为对应井口压力值, 观测数字温度计得到该组实验对应的井口温度。

2. 测试仪器及设备

实验主要设备包括液滴注入短节、压差传感器、压力传感器、数字式温湿度计、空气压缩机、储气罐、注入气测量系统、均匀注气短节等, 其中主要设备介

收稿日期: 2007-01-13; 修回日期: 2007-04-03

基金项目: 国家自然科学基金项目资助, 编号: 50374057。

作者简介: 魏纳(1980-), 硕士研究生, 现从事油气田排水采气方面研究。地址: (610500) 四川成都市新都区西南石油大学教工宿舍 7-106, 电话: 13518163748, E-mail: weina8081@126.com

绍如下:

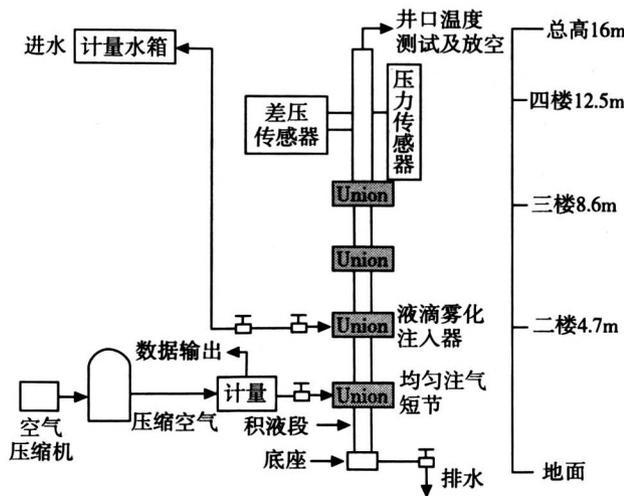


图 1 实验流程示意图

表 1 观察井底积液测试数据

井口温度 (°C)	井口表压 (kPa)	实验气流量 (m ³ /h)	相同井口条件下国内新模型气流量 (m ³ /h)	相同井口条件下 Turner 模型气流量 (m ³ /h)	实验气量与 turner 调整系数模型公式计算结果比率
25.5	51.35	88	36.4	96.0	0.916
26.9	47.32	84	35.8	94.4	0.889
26.1	38.13	85	34.8	91.6	0.927
24.8	36.16	85	34.6	91.2	0.931
25.1	28.44	82	33.6	88.6	0.92
24.8	26.70	80	33.4	88.1	0.90
26.1	20.19	80	32.5	85.6	0.93
26.1	20.00	82	32.5	85.5	0.95
24.9	15.10	76	31.9	84.0	0.90
24.9	14.63	78	31.8	83.8	0.930
25.2	11.49	77	31.4	82.6	0.931
25.2	9.181	75	30.6	80.7	0.92
24.5	6.27	74	30.7	80.8	0.915
24.5	5.37	74	30.5	80.5	0.918
25.0	2.87	72	30.2	79.5	0.905
25.1	2.88	71	30.2	79.4	0.893
实验气量与 turner 公式计算结果比率均值	—	—	—	—	0.919
文献 4 新模型公式系数	2.5				
turner 公式系数	6.6				
实验结果系数 1	6.07				

2.1 注入气测量系统

注入气测量系统位于储气罐出口处,由调压阀、截断阀、气体流量计、压力传感器、温度传感器串联组成。调压阀用于稳定注气压力,实现恒压气源。温度传感器与压力传感器用于对涡轮转子流量计测量的气体流量进行自动补偿,同时也可实时记录注入气压力及温度。

2.2 液滴雾化注入短节

液滴雾化注入短节,采用雾化喷嘴金属三通组合的形式,液体通过该喷嘴可以实现实验液体沿气流方向上的雾化(雾化粒度约为 0.15mm),从而,较好地模拟气流中的液滴。

2.3 压力传感器

压力传感器采用重庆靠利特仪器研究所产品,测试范围:0~500 kPa,测试精度:0.1 kPa。

2.4 数字式温度计

采用 CT-138 数字式温度计测量井口温度,该温度计测量精度可达 ±0.5°C。

表 2 观察井口连续携液测试数据

井口温度 (°C)	井口表压 (kPa)	实验气流量 (m ³ /h)	相同井口条件下国内新模型气流量 (m ³ /h)	相同井口条件下 Turner 模型气流量 (m ³ /h)	实验气量与 turner 调整系数模型公式计算结果比率
20	57.7	76	37.7	99.2	0.765
23	50.0	68	36.5	96.1	0.707
22	45.0	67	36.0	94.7	0.712
22	38.0	66	35.1	92.4	0.713
21	35.0	64	34.8	91.8	0.675
21	32.0	64	34.2	90.0	0.710
21	24.0	63	33.4	87.9	0.716
22	21.0	62	32.9	86.7	0.737
19.2	16.6	62	32.5	85.6	0.688
22	8.22	60	31.2	82.2	0.729
19.8	5.70	59	30.9	81.5	0.760
22	2.60	58	30.5	80.2	0.722
实验气量与 turner 公式计算结果比率均值	—	—	—	—	0.719
文献 4 新模型公式系数	2.5				
turner 公式系数	6.6				
实验结果系数 2	4.75				

二、测试结果

1. 实验物理现象

实验测试井口温度以及井口压力,在临界点测试该井口温度、井口压力条件下的临界流量。通过测试发现,实验结果与 Turner 公式吻合较好,而通过实际拍摄的液滴发现,在带压气流中,运动的液滴近似为椭球体的形状(高宽比约为 0.9)。

2. 数据处理

根据测试仪器,实验测试出每一临界流量所对应的井口压力及温度,通过压缩空气物性参数计算公式,计算出压缩空气物性。按照文献^[4]推荐新模型公式及 turner 推荐天然气井连续携液临界产量公式,计算出相应井口条件下连续携液临界产量。表 1、表 2 对比实验数据和国内新模型及 turner 模型公式计算结果,发现实验数据处理结果同 turner 公式稳合较好。

3. 实验数据同现有连续携液计算模型对比曲线图(图 2、图 3)

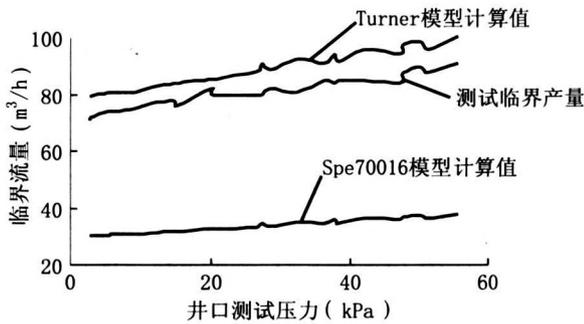


图 2 观察井底积液时测试结果同现有连续携液临界流量计算模型对比曲线图

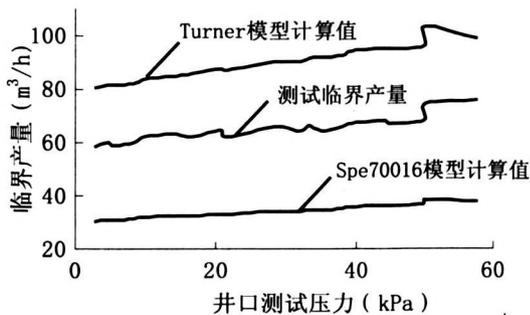


图 3 观察井口排液时测试数据同现有连续携液临界流量计算模型对比曲线图

三、结论

(1)本文在广泛调研的基础上,建立高 16 m, Ø40 有机玻璃管材的可视化气井积液和连续携液的实验架。

(2)实验观测井底积液时测试数据得出的最小流速和临界产量比 Turner 调整系数模型公式计算结果略小,但远大于文献^[4]新模型所推荐的公式计算值;观测井口连续携液时测试数据得出的最小流速和临界产量比 Turner 未调整系数模型公式计算结果略小,但也大于文献^[4]新模型所推荐的公式计算值。

(3)观测井底积液时测试数据与观察井口连续携液时测试数据得出的临界产量不一致,可能是由于在观察井底积液时部分雾化液体喷到管壁形成液膜导致需要较大气量携液,而观察井口连续携液时只考虑井口能有液相产出即可。

符号说明

- u_g —气井排液最小流速, m/s;
- q_c —临界产气量, m^3/d ;
- ρ_L —液体的密度, kg/m^3 ;
- ρ_g —天然气密度, kg/m^3 ;
- C_d —曳力系数, 无因次;
- σ —气液表面张力, N/m;
- p —压力, MPa; T —温度, K;
- Z — p 、 T 条件下的气体偏差系数;
- A —油管截面积, m^2 。

参考文献

- [1] TURNER R G, HUBBARD M G, DUKLER A E. Analysis and prediction of minimum flow rate for the continuous removal of liquids from gas wells[J]. published in JPT, 1969.
- [2] COLEMAN S B, et al. A new look at predicting gas well load up[J]. published in JPT, SPE 20280, 1991.
- [3] 李颖川, 等. 球塞气举可视化物理模拟实验研究[J]. 天然气工业, 2004, 24(11): 103 - 105.
- [4] MING Li. New View on continuous removal liquids from gas wells[J]. SPE70016, 2001.
- [5] 杨川东. 采气工程[M]. 北京: 石油工业出版社, 1999.

(编辑: 黄晓川)