

柱塞式测压及配套工具的应用研究

赵丹, 杨辉, 毛珍, 郭丽雪, 罗舒元

中国石油西南油气田分公司川中油气矿, 四川 遂宁

收稿日期: 2023年4月10日; 录用日期: 2023年6月19日; 发布日期: 2023年6月26日

摘要

随着近几年经济的高速发展, 对能源的需求也在逐年递增, 天然气是一种不可再生的稀缺资源, 在工业生产及经济发展中发挥着重要的作用, 市场需求量极大, 我国天然气资源较为丰富, 分布较为广泛, 但开采难度大, 尽管近几年天然气开采技术得到了极大的发展, 仍然难以应对复杂气矿, 影响开采质量及效率, 为进一步提升天然气开采质量, 需要提升测试数据的精确性, 因此加强对井下压力测试方法的研究十分重要, 当前主要采用的几种井下压力测试方法存在测试难度较大、费用高、危险性高等问题, 难以保障数据的真实性与精确性, 基于此, 本文就柱塞式测压及配套工具的应用开展研究, 为进一步提升井下测压质量提供参考。

关键词

柱塞式, 测压工具, 试井, 动态监测

The Application Research of Plunger Pressure Measurement and Supporting Tools

Dan Zhao, Hui Yang, Zhen Mao, Lixue Guo, Shuyuan Luo

Central Sichuan Oil and Gas Distract, Petrochina Southwest Oil and GasField Company, Suining Sichuan

Received: Apr. 10th, 2023; accepted: Jun. 19th, 2023; published: Jun. 26th, 2023

Abstract

With the rapid economic development in recent years, the demand for energy is increasing year by year, natural gas is a non-renewable scarce resource and plays an important role in industrial production and economic development, market demand is huge, the natural gas resources in Chi-

na are abundant and widely distributed, but it is difficult to exploit. Although the technology of natural gas exploitation has been greatly developed in recent years, it is still difficult to deal with the complex gas deposits, which affects the quality and efficiency of exploitation, in order to further improve the quality of natural gas production, it is necessary to improve the accuracy of test data, so it is very important to strengthen the research of downhole pressure test method, at present, the main methods of downhole pressure testing have some problems, such as difficult test, high cost and high risk, which cannot guarantee the authenticity and accuracy of data, in this paper, the application of plunger pressure measurement and its supporting tools is studied to provide reference for further improving the quality of downhole pressure measurement.

Keywords

Plunger Type, Pressure Measuring Tools, Well Testing, Dynamic Monitoring

Copyright © 2023 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

近几年工业化的迅速发展, 天然气作为能源在工业化发展的过程中发挥着极为重要的作用, 但在当前天然气的高效开采依旧是一个有待解决的难题[1], 其中天然气井下压力测试可以实时监测气井的泵吸入口压力变化, 分析气井的工况及地层液压能力的变化, 及时掌握气井的动态生产变化, 从而为采取合理的气井开采工作提供更为精确的数据参考[2], 传统井下测压方法存在较多的问题, 基于此, 本文在脱挂器和柱塞游动测井方法的基础上优化投捞方式, 减少压力计的投捞成本和钢丝作业的安全风险, 形成一套成本更低、安全风险更小、时效性更长的井下压力测试方法, 同时针对其使用的配套工具进行分析, 从而进一步提升数据采集的精确性, 以确保天然气开采效率的提升。

2. 动态监测系统现状

2.1. 监测覆盖率低

川中天然气地质情况较为复杂, 具备低孔、低渗以及低产的特征, 在 2020~2022 年这 3 年期间共开展各类试井作业 866 此, 为研究气藏工程特征、动态特征及气井生产组织提供相应的数据参考, 但在近三年的 1289 次试井工程中, 完成率极大的降低, 这主要是由于川中天然气的试井工程任务量较大, 且当前所使用的动态监测系统覆盖率比较低, 难以适应如此复杂且工程量较大的试井工作, 在一定程度上影响了开采效率[3]。

2.2. 监测时间长、成本高

通过对川中天然气集中测试项目所用市场及耗费成本进行统计, 发现其使用时间均比较长, 且耗费成本比较高, 其中常规试井耗时 4 天、产能试井耗时 7~17 天、干扰试井 8~15 天, 可见动态监测周次比较长, 且在磨溪 27 井 1 个月的连续压力监测中, 若采用常规压力监测方法, 需要耗费 112.8 万元, 整体成本费用比较高。

2.3. 作业风险高

传统采用的钢丝测井方式属于带压作业, 需要确保长时间的稳定吊装, 一旦出现操作失误则可能会

导致气树损坏,在钢丝的长距离往复密封运输的过程中,还可能存在着泄漏、钢丝断裂及缠绕的风险,且在这个过程中需要大量人工参与,控制和管理的风险也比较大[4]。

2.4. 数据完整性较差

在确保数据完整性中需要满足一下三个条件:其一,需要高频次开展测井作业,以确保总测井时;其二,要求每次有足够时长测井,确保数据采集量;其三,测井状态为气井完整生产工艺状态,确保数据对实际生产工艺效果的真实反应[5],但传统采用的钢丝测井方式费用高、风险高等原因,在一定程度上影响了测井频次及时长,进而导致数据完整性较差,难以满足生产开发对数据完整性的要求。

3. 现有井下压力监测工具优缺点

3.1. 永久式井下压力监测法

永久式井下压力监测法是在井下安装的一种永久性压力监测系统[6],能够实现长期实时监测,但这种监测方法造价较高,不适用于产量较低的气井中,具有一定的局限性。

3.2. 不定期压力监测方法

不定期压力监测方法是通过运用电缆及钢丝将压力记下入气井中,从而对不同项目的压力进行监测,这种监测方法相较于其他方式造价更便宜,但钢丝作业存在一定的风险性,且监测时间比较短,难以完整、真实的反应压力实时变化情况,不利于全面认识井下情况。

3.3. 脱挂器压力监测

脱挂器的使用能够实现将压力计、腐蚀挂片及腐蚀探针等置于井下开展监测工作,同时可以完成长时间的实时监测,可以确保数据的采集量,但在这个过程中需要采用钢丝作业投劳,在一定程度上存在着安全风险。

3.4. 柱塞游动测井方法

柱塞游动测井是将压力计集成在柱塞内部,同时随着柱塞运动获得井筒中的压力分布数据。这种压力监测方法不需要采用钢丝作业,在一定程度上减少了作业的风险性[7]。但仅适用于柱塞工艺井,不属于井底压力定点测试,且需要泄压开柱塞防喷缓冲器取柱塞作业,存在一定的涉压操作安全风险。

4. 工作原理及结构设计方案

柱塞式测压方法是针对脱挂器和柱塞游动测井方法的投捞方式进行优化,从而减少成本和降低钢丝作业风险,形成的一套成本更低、安全性更高且实效性更长的压力监测系统,其需要达成的技术要求包括一下三个方面:其一,无需采用钢丝作业,依照柱塞工艺流程,开展压力数据采集投捞工作;其二,确保井下压力采集器在井筒中的速度及动能的可控性;其三,确保压力监测系统的可靠性及工作的稳定性。

4.1. 柱塞式测压及配套工具的工作原理

柱塞式测压借助于排水采气的工作原理,从而实现井下长时间定点测压工作。其中采用的定点测压工作若不适用专业捕捞柱塞捞取,则会一直保持井下定位流体控制器的上部,不会应为开关流体状态的变化发生位移,且在井下定点测压的过程中,不会对正常的排采工艺造成影响,见图1。柱塞式测压方法为减少钢丝作业,仅需在改造初期下限位器一趟钢丝做业务,后期便可不适用钢丝作业同样能够实现井下压力数据的长时间监测及读取。若存在气管上部缩径工作筒的状况,可以通过使用缓冲装置定点测压工具及捕捞柱塞的方式,这种情况则不需要在初期钢丝作业下限位器,但需要确保井筒的清洁。

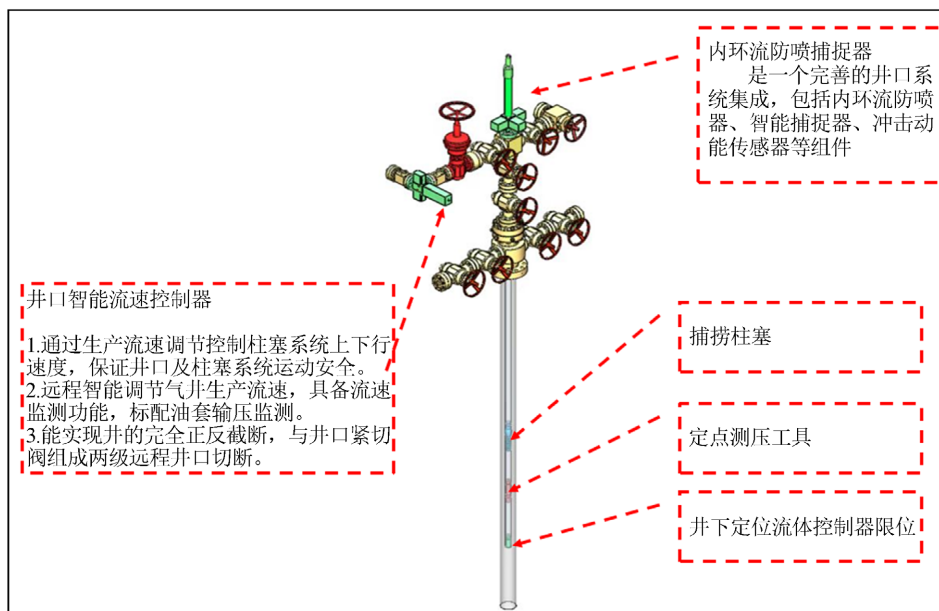


Figure 1. Schematic diagram of plunger

图 1. 柱塞总成示意图

4.2. 柱塞式测压及配套工具的结构设计方案

为确保柱塞式测压及配套工具的可靠性，其捕捞柱塞主体及捕捉器流体结构均采用页岩气井柱塞成熟紊流结构方案，并对其再用计算机进行流体仿真校核，检验相关数据监测的精确性。其定点测压工具整体结构则借鉴钢丝测井工具结构，采用浮动导流扶正翼与成品测井仪的组合方式，同时通过计算机流体仿真以提升测压工具的可靠性翼外沿与气管内壁的摩擦力，从而避免流体上顶力，同时采用上下交叉 90° 的设计布局方式，避免测井工具偏斜问题，减少阻流面积。定点测压工具及捕捞柱塞结构参数，见表 1。

Table 1. Structure parameters of fixed-point pressure measuring tool and fishing plunger

表 1. 定点测压工具及捕捞柱塞结构参数

结构名称	结构参数
定点测井工具	适配 2-3/8 气管
	浮动翼收缩: 42 mm
	浮动翼展开: 52 mm
	打捞头: 35 mm
	长度: 860 mm
	重量: 6 KG
捕捞柱塞	测井仪外径: 35 mm
	适配 2-3/8 气管
	刚体最大外径: 46 mm
	打捞头: 35 mm
	捕捉器内径: 37 mm
	长度: 420 mm
	重量: 4 KG

根据伯努利方程原理采用计算机流体仿真检验柱塞式测压及配套工具的可靠性。低速气体流动视为不可压缩状态，下面是计算过程公式：

步骤 1：由伯努利方程求得定点测井工具组前后压差 ΔP ：

$$\frac{P_1}{\rho} + \frac{V_1^2}{2} + gh_1 = \frac{P_2}{\rho} + \frac{V_2^2}{2} + gh_2 \quad (1)$$

$$\Delta P = P_1 - P_2 \quad (2)$$

P_1 ：流体在进入定点测井工具前处压强(单位 MPa)；

P_2 ：流体在定点测井工具处压强(单位 MPa)；

ρ ：流体在进入定点测井工具前处密度(单位 kg/m^3)；

V_1 ：流体在进入定点测井工具前处速度(单位 m/s)；

V_2 ：流体在定点测井工具处速度(单位 m/s)；

G ：重力加速度(取 $9.8 \text{ m}/\text{s}^2$)；

h_1 ：流体在进入定点测井工具前处高度(单位 m)；

h_2 ：流体在定点测井工具处高度(单位 m)。

步骤 2：根据 ΔP 求出作用在定点测井工具组的力，当作用力等于定点测井工具组的重力时，定点测井工具组被举升。

$$\Delta P = \frac{Mg\Delta h}{\Delta S} \quad (3)$$

Δh ：定点测井工具组长度；

ΔS ：定点测井工具最大截面积。

步骤 3：根据流体不可压缩，质量守恒定律可知前后速度比值为前后截面积反比：

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{S_2}{S_1} \quad (4)$$

S_1 ：油管截面积(单位 m^2)；

S_2 ：定点测井工具处流体流动截面积(单位 m^2)。

根据以上公式代入计算可得油管内临界流体速度。

其中气相流体仿真中，若采用 2-3/8 气管，工具组总重量为 10 Kg、压力为 10 MPa、气体流速为 2 m/s 以上、折合开井瞬产 3.5 万方左右，工具组将被举升；若采用 2-7/8 气管，工具组总重量为 11 Kg、压力为 10 MPa、气体流速为 3 m/s 以上、折合开井瞬产 6 万方左右，工具组将被举升。在液相流体仿真中，当水流速在 0.6 m/s，折合开关井瞬产 3 万方左右，工具组将被举升，压力与管径所产生的变化对最终监测结果影响较小。实际气井生产中的参数大多处于液相流体状态，因此，预测实际开镜瞬量为 3 万方左右，举升力大于工具组 10 Kg，工具组被举升。

5. 柱塞式测压及配套工具应用试验

5.1. 室内试验

对柱塞式测压及配套工具开展相应的功能试验，其中捕捉动作执行、45°倾斜气管及 20°狗腿测试中均未出现卡阻问题，捕捞柱及测压工具技术指标，见表 2。

Table 2. Technical specifications of fixed-point pressure measuring tool and fishing plunger
表 2. 捕捞柱塞及定点测压工具技术指标

技术指标	捕捞柱塞	定点测压工具
最大工作井斜	45°	45°
狗腿度	20°	20°
温度	120℃	120℃
产水	<30 m ³ /d	<30 m ³ /d
产气	<20 × 10 ⁴ m ³ /d	<20 × 10 ⁴ m ³ /d
砂液比	<1/1000	<1/1000
砂液比	≥180 天	≥180 天

通过开展流体测试, 其结果表明实际气井生产中大多数处于气液相混的状态, 因此视含水量多少, 在开井瞬产的举升临界流量将低于干气流量, 在实际入井测试中, 应通过井口智能流量调节器控制井下流速不超过 8 m/s (2-3/8 气管)、11 m/s (2-7/8 气管)为宜, 以防止净水流造成测井工具位移, 偶尔水流冲击位移对测井结果影响较小, 流速稳定后测井工具将会回落至卡定器。

5.2. 现场试验

为进一步确保柱塞式测压及配套工具的可靠性, 需要结合其实际使用情况开展相应的现场试验, 检验数据采集的精确性, 以便于及时对监测技术进行相应的调整, 川中致密气在 2018 年后陆续开展了相应的新井投产工作, 投产初期井筒状况良好, 适合针对柱塞式测压及配套工具开展现场试验工作, 同时也有利于为后期排采工艺提供相应的数据支撑。

5.2.1. 选择合适的试验井

在投产的 53 口气井中, 包含 17 口连续气管、30 口金属气管以及 6 口套管生产。其中连续气管井口, 其井筒内径在 51.5~52.3 之间, 与 2-3/8 气管较为接近, 同时考虑到井筒内可能存在的内焊缝及无接箍特征[7], 因此采用特殊设计的捕捉柱塞、定点测压工具及光管坐卡限位器, 如果气管尾端存在缩径的状况, 则需要采用自带缓冲功能的捕捞柱塞及定点测压工具, 而对于金属气管井口, 其大多与 2-3/8 气管较为接近, 由于气管磅重存在一定的差异, 其内径通常在 50.1~50.64 范围中, 结合柱塞及测压工具的特点, 试验初期采用 2-3/8 管柱, 后期则可结合实际试验状况覆盖 2-7/8 管柱, 如果存在微端缩径状况, 同样可以考虑使用自带缓冲功能的捕捞柱塞及定点测压工具, 通过对各个气井实际情况进行相应的分析, 本次现场试验选择在秋林 213-8-H1 井开展工作, 此为金属气管完井, 且井筒状况良好, 符合此次现场试验需求。

5.2.2. 现场施工改造

在开展现场试验之前还需要结合柱塞式测压及配套工具的工艺特点进行相应的现场施工改造, 分别为井下作业与地面改造安装, 在井下完成钢丝通井工作之后, 在地面安装相应的井口内环流防喷器及柱塞井口捕捉器。

5.2.3. 工具的投放与打捞

首先对定点测压工具上的点设置进行相应的设定, 之后依照常规柱塞投放方式开展防喷器泄压及工具投放工作完成相应的测压工具投放工作, 最后以常规柱塞作业方式将两级捕捞柱塞进行投放, 以便于对测压工具进行捕捞, 打捞时需要等到两级捕捞柱塞与测压工具捕捞结合且达到井口捕捉后采取开井工作, 之后采用打捞杆, 以传统柱塞泄压方式开展打捞工作, 打捞完成后检验整体柱塞式测压及配套工具,

验证其工具串完好, 整个监测环节动作更为可靠, 且在保养良好的情况下能够实现监测系统的重复使用, 极大的降低了压力监测成本。

6. 结论

在开展天然气开发工作中, 动态监测技术是提升对气藏正确认识和评价的一种有效手段, 能够极大提升天然气开发的合理性与高效性, 然而当前采用的监测方法往往存在监测时间短、监测费用高、安全性低等问题, 具有一定的局限性, 本文对脱挂器和柱塞游动测井方法的投捞方式优化设计出柱塞式测压及配套工具, 以降低成本, 减少钢丝作业风险, 提升监测数据的可靠性, 通过柱塞式测压及配套工具的室内试验与现场试验工作, 表明该系统具有一定的可靠性与稳定性, 且无需钢丝作业, 同时在保养良好的状况下还能够实现重复利用, 由此可见, 柱塞式测压及配套工具的使用在气井动态监测中具有重要意义, 在日后的工作中还需进一步加强对该监测方法的优化。

参考文献

- [1] 苗跃. 随钻地层压力监测技术在石油勘探中的运用[J]. 石油石化物资采购, 2021(24): 115-116.
- [2] 王泉, 陈超, 哈萨亚提·萨依提, 等. 基于压力监测的水平井临界出砂预警模型——以新疆 H 储气库为例[J]. 新疆石油地质, 2022, 43(2): 214-220.
- [3] 张菲菲, 李白雪, 于琛, 等. 基于井下多点压力测量和数据驱动的实时井眼清洁监测新方法[J]. 天然气工业, 2023, 43(2): 104-113.
- [4] 刘合, 郑立臣, 俞佳庆, 等. 分层注水下监测与数据传输技术的发展及展望[J]. 石油勘探与开发, 2023, 50(1): 174-182.
- [5] 冯明, 李淑霞, 郭洋, 等. 天然气水合物试采监测井技术研究进展[J]. 当代化工研究, 2023(3): 22-24.
- [6] 佟音, 宋兴良, 金振东, 等. 大庆油田电缆直控实时监测注水技术研究与应用[J]. 石油石化节能, 2022, 12(9): 1-6.
- [7] 陈燕, 李信晔, 徐凤兰, 等. 利用垂向脉冲干扰试井技术确定油藏类型的方法[J]. 油气井测试, 2023, 32(1): 69-73.