

海外油田连续自动选井计量研究

赵珂珂^{1,2}, 房 昆¹, 邢 明¹, 焦圣华¹, 孙 越¹

¹中国石油工程建设有限公司北京设计分公司, 北京

²中国石油大学(华东), 山东 青岛

收稿日期: 2022年4月21日; 录用日期: 2022年5月19日; 发布日期: 2022年5月26日

摘 要

海外油田单井产量高、气油比大, 使得国内已成熟使用的站外计量技术不能满足其大规模快速上产的要求。本文针对中东地区社会局势动荡、工业及人力资源依托差等地缘政治特点, 对选井系统、计量系统和控制系统分别进行研究优化, 提出一种自动化程度高、无人值守的适用于海外油田的连续自动选井计量装置, 其主要由自动选井系统、连续计量系统和RTU控制系统组成, 具有单井产能计量范围广、自动化程度高、倒井时间短、计量精度高等优点。本连续自动计量系统已在中东地区某油田计量站成功应用, 并取得了良好效果, 其广泛推广将有助于全面实现未来油田生产的数字化和自动化目标。

关键词

海外油田, 自动选井, 连续计量, 数字化

Continuously and Automatically Selecting Measurement Research for Overseas Oilfield

Keke Zhao^{1,2}, Kun Fang¹, Ming Xing¹, Shenghua Jiao¹, Yue Sun¹

¹China Petroleum Engineering & Construction Corp. Beijing Company, Beijing

²China University of Petroleum (Huadong), Qingdao Shandong

Received: Apr. 21st, 2022; accepted: May 19th, 2022; published: May 26th, 2022

Abstract

To meet the requirements of large-scale and fast production, conventional metering technology will fail in the production well with high production and gas-oil ratio in overseas oilfields. In this

paper, we research the well selecting system, the metering system and the control system separately, and propose a high degree of automation, unattended, continuously and automatically selecting measurement system, which consists of automatic selecting system, continuous metering system, and Remote Terminal Unit (RTU) control system. This continuously automatic metering system has many advantages, such as wide measurement range, high automation, short inversion time, and high measurement accuracy. It has been successfully applied in an oil field metering station in the Middle East, and has achieved good performance. We expect that its extensive promotion will benefit the digitization and automation of future oilfield production.

Keywords

International Oilfield, Automatic Selection, Continuous Metering, Digitization

Copyright © 2022 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

在油田地面生产过程中, 为便于生产管理和数据采集, 井流物从采油树采出汇入处理系统前, 需要对单井的油、气产量进行检测和计量, 所以单井计量是油气田地面工程常见的工艺技术。由于国内油田单井产量和气油比通常较低, 目前大多采用传统的单井计量方法, 其自动化程度低、计量精度低、计量范围窄。然而, 海外油田普遍单井产量大且气油比高, 例如中东地区哈法亚油田, 单井产量和气油比最高可达 6000 BOPD 和 3000 SCF/STB。因此, 国内已掌握的成熟的计量站计量技术不能满足海外地区油田的计量需求, 亟需研发一种连续自动选井计量技术。

2. 连续自动选井计量研究

2.1. 选井系统研究

Table 1. The classification of metering station

表 1. 计量站建站模式分类

分类	人工操作计量站	自动计量站 (电动三通阀)	自动计量站 (电动多通阀)
特点	需要人工手动倒井	电动三通阀自动选井, 占地面积大、维护困难	通过多通阀自动选井, 占地面积小、操作方便

如表 1 所示, 油田主要有三种计量站建设模式, 即全手动的人工操作计量站、电动三通阀选井的全自动计量站和电动多通阀选井的自动计量站。全手动的人工操作计量站需要人工手动倒井把需要计量的单井来液导入计量管线, 电动三通阀选井的计量站将人工手动倒井改为电动三通阀自动选井, 但存在占地面积大、维护工作量大的缺点, 电动多通阀选井的自动计量站通过多通阀自动选井, 占地面积小、操作方便, 且能够满足无人值守的要求。

考虑到海外地区社会局势欠稳定、油田人力资源依托差, 多通阀选井自动计量站以其自动化程度高、维修操作方便等优点备受青睐。采用电动多通阀选井模式, 可在站内设 RTU 单元进行计量及选井控制, RTU 采集的数据需要上传到 SCADA 系统进行集中监控。

针对上述问题,对多通阀自动选井流程进行研究优化:油井来液进入多通阀橇,多通阀由电动/手动执行器带动阀芯旋转,当阀芯上口与被选油井的来油入口接通时,被选油井的来油由多通阀的入口进入阀芯,通过多通阀的计量出口进入计量管线,其他油井来油在多通阀内汇集,由集输管线进入生产管道[1]。计量完毕时,RTU系统发出信号,电动执行器电机启动,转动阀芯至下一个需要计量的油井入口,继续计量。不同油井轮换计量前,测试分离器内先进行自动排液,即待分离器液位从正常值降到低值时,再切换下一口单井来液进入测试分离器,轮换计量的周期为2小时,这段时间足以充分的排空测试分离器内的上一口单井残留伴生气,以降低各单井介质之间的返混。

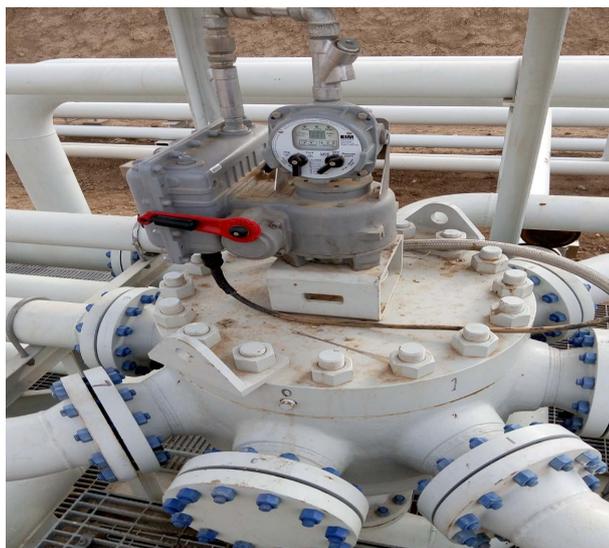


Figure 1. The 8-port valve at the overseas oilfield site
图 1. 海外油田现场的 8 井式多通阀

如图 1 所示,海外油田使用最多的是 8 井式多通阀[2],其阀体包含 8 个入口和 2 个出口,通常连接 7 口生产井,预留 1 个空头作为临时检修的观测口或者作为冲洗阀体的冲洗口,还可以保证不计量状态下所有井口来液进入生产汇管。当需要计量的井超过 8 口时,需 2 台(或以上)多通阀选井装置并联操作,这时每口井最大外接井数仍为 7 口,即 1 台多通阀的单井在计量阀位上时,另 1 台多通阀的计量阀位必须对应空头阀位。

2.2. 计量系统研究

由于海外大型油田单井产量高、范围跨度大,单块计量仪表不能满足计量精度的要求,气相和液相计量均采用大、小量程双路计量,但若量程选择需要人工手动切换,将不能实现连续自动计量,也不满足海外无人值守的要求。针对上述问题,对计量系统进行研究优化,包含至少 2 条气相计量回路和至少 2 条液相计量回路,在所有计量回路均设置 MOV 阀,并接入 RTU 控制系统。首先根据接入井的预测产能选择一条量程回路,其中,预测产能可以为产液量和气油比,假设选择了液相某量程回路,再根据流量计实测的数据控制该回路 MOV 阀的开关。若流量值正好处于该量程范围,则仪表读数即为本井液相流量;若超过本回路量程范围,则 MOV 阀关断,另一回路 MOV 阀打开,自动切换到另一量程回路,直至该井产量正好处于某计量回路的量程范围内。可以允许气相或液相各自计量回路的量程范围有重叠的部分,以避免伴生气或者原油产量的微小变化引起 MOV 阀的频繁切换,同时各计量范围的跨度可以彼此相同也可以不同,具体量程范围需要根据实际需求进行设置。上述气相和液相流体测量完成后汇入生

产汇管。此外，遇故障或 MOV 阀检修时，该计量系统也可在中控室手动切换选择合适的量程回路，以保证油井的正常生产和计量。

2.3. 控制系统研究

控制系统[3][4]是一个独立的数据获取与控制单元，支持 SCADA 控制中心与现场器件间的通讯，即在远端控制现场获得数据并传给 SCADA 系统调度中心，其安全性和可靠性尤为重要。针对上述问题，对控制系统进行研究优化：

1) 可以通过设置 RTU 操作盘选择所需计量的单井，RTU 系统通过信号线将信号传至多通阀旁边的控制柜，控制多通阀的转动，使多通阀的入口管线与待测井的管线连接，从而实现远程智能自动选井。

2) 可根据各测量回路上的流量计实测的数据自动控制 MOV 阀的开关，若流量值正好处于该量程范围，则不执行动作，若超过本回路量程范围，则控制此 MOV 阀关断，另一回路 MOV 阀打开，直至单井产量与计量回路的量程范围相匹配。另外，此 MOV 阀即可通 RTU 系统远程操作，也可调节电动执行器现场操作，且 MOV 阀的开关状态需要上传至 RTU 系统，然后再传至 SCADA 系统。

3) 可实现测试分离器在不同油井轮换计量前进行自动排液，即待分离器液位从正常值降低到低值时再通过 RTU 系统切换单井，以此降低各单井介质间的返混。

2.4. 连续自动选井计量系统

综上所述，针对海外油田的油田人力资源依托差、单井产量大、气油比高等特点，连续自动选井计量系统的设计除需要满足自动化程度高、维修操作方便等条件之外，还应当考虑到单井产能变化范围跨度大、倒井时间短、计量精度高等实际应用需求。将上述 2.1~2.3 的研究内容进行优化组合，得到如图 2 所示的连续自动选井计量装置，包括自动选井系统、连续计量系统和 RTU 控制系统。

其主要设计思想是：

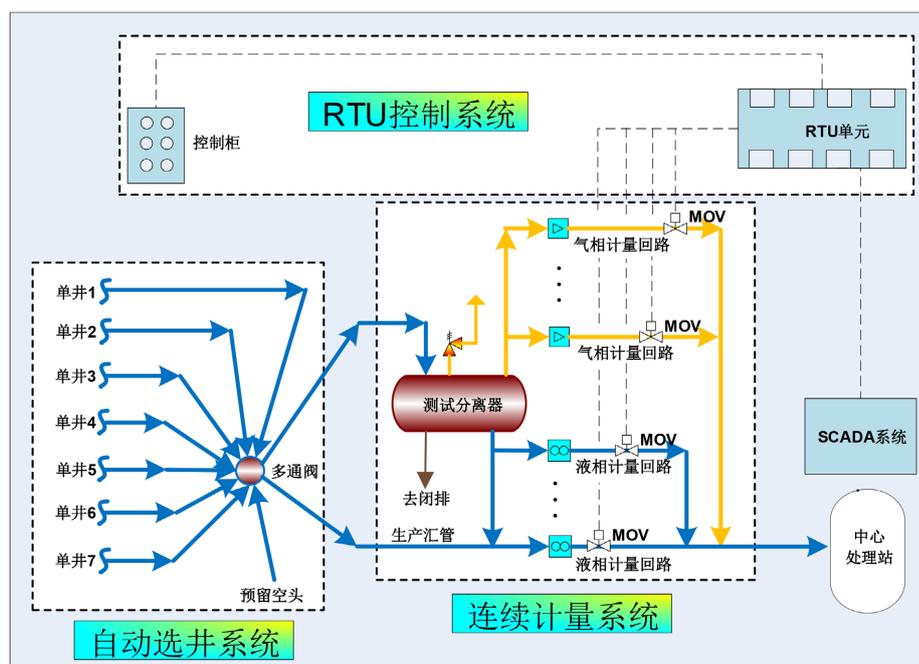


Figure 2. Continuous automatic well selection metering process

图 2. 连续自动选井计量流程

- 1) 针对单井产能范围跨度大的问题, 拟采用大、小量程双路计量;
- 2) 针对海外局势欠稳定、人力资源依托差等问题, 拟通过多通阀组自动选井、计量;
- 3) 在测试分离器内通过自动排液降低轮换计量时, 不同油井介质之间的返混提高计量精度。

具体工作流程为: RTU 控制系统通过发出信号指示电动执行器将阀芯转动至需计量的油井入口, 油井来液进入多通阀橇, 再流入测试分离器, 经气液两相分离后, 气体自动选择相匹配的气相量程回路进行计量, 液体自动选择相匹配的液相量程回路进行计量, 计量完成的气体和液体汇入生产汇管, 测试分离器开始向闭排排液, 待液位排至低值时, 再切换下一口单井来液进入测试分离器后进行计量, 最终实现单井井流物的“连续”和“自动”计量。

3. 现场应用实例

本连续自动计量系统已在中东地区某油田计量站成功应用, 如图 3 所示, 该计量站所计量单井产量范围为 100~9500 BLPD ($0.66\sim 62.9 \text{ Nm}^3/\text{h}$), 气油比范围为 540~1000 SCF/STB ($96\sim 178 \text{ Nm}^3/\text{h}$)。所选井产出液通过多通阀出口管线从测试分离器顶部进口进入, 分离成气液两相后再分别计量。根据所测单井产量范围, 利用上述研究成果, 液相和气相均设置两个量程回路, 大小量程覆盖所有接入井的产能预测值, 且大量程和小量程有交叉部分。液相大量程回路可测液体产量范围为 $707\sim 11,210 \text{ Nm}^3/\text{h}$, 液相小量程回路可测液体产量范围为 $64\sim 1300 \text{ Nm}^3/\text{h}$; 气相大量程回路可测气体产量范围为 $6.6\sim 62.9 \text{ Nm}^3/\text{h}$, 气相小量程回路可测气体产量范围为 $0.66\sim 13.2 \text{ Nm}^3/\text{h}$ 。



Figure 3. The application of the continuous automatic metering system proposed in this article in the Middle East oilfield metering station

图 3. 本文所提出的连续自动计量系统在中东地区某油田计量站的应用

下面结合该油田的上述生产参数, 介绍本文所提出连续自动计量系统的工作流程。首先, 根据接入井的预测产能选择一条量程回路。假设选择了 $64\sim 1300 \text{ Nm}^3/\text{h}$ 的液相小量程回路, 而流量值正好处于 $64\sim 1300 \text{ Nm}^3/\text{h}$ 之间, 则仪表读数即为本井液相流量。若超过 $1300 \text{ Nm}^3/\text{h}$, 则 MOV 阀关断, 大量程回路 MOV 阀打开, 自动切换到 $707\sim 11,210 \text{ Nm}^3/\text{h}$ 量程回路。若 MOV 阀失效或检修, 也可在中控室手动切换选择合适的量程回路。其次, 气相两量程回路上设置有 2 个 PV 阀, 用来控制测试分离器内压力稳定在

正常值；液相两量程回路上设置有 2 个 LV 阀，用来控制测试分离器内液位稳定在正常值。当测试分离器液位从正常值降低到低值时，再切换下一口单井来液进入测试分离器后进行计量。所有计量完成的气相和液相流体重新汇入生产汇管。

4. 小结

油井采出液计量是进行生产动态分析、实时调整措施的重要依据。本文对选井系统、计量系统和控制系统分别进行了研究优化，最终提出了连续自动选井计量装置。该装置可以很好的适应海外油田单井产量高、气油比大、单井产量差异大等特点，且满足无人值守的要求。本装置的特点总结如下：

1) 适用单井产能变化范围广。气相和液相计量均采用大、小量程双路计量，计量范围基本覆盖全油田单井产能。

2) 自动化程度高。通过多通阀组自动选井，根据来油自动选择使用量程回路进行计量，实现了连续自动计量，尤其适用于海外大型油田单井计量。

3) 倒井时间短，计量精度高。在测试分离器内通过自动排液，降低轮换计量时，不同油井介质之间的返混，提高计量精度，缩短不同单井倒井计量的时间。

数字化、自动化是未来油田生产计量的必然发展趋势，能够有效提高劳动效率，降低工人的劳动强度，提高油气生产管理水平和安全，特别是对于安全风险较高的地区，能够减少现场操作的风险。目前，该连续自动选井计量系统已成功应用于中东某油田，并取得了良好效果。本系统的广泛推广将有助于全面实现未来油井的数字化、自动化。

参考文献

- [1] 王祖元, 张继. 分配计量多通阀技术分析[J]. 流体机械, 2007, 35(9): 41-43.
- [2] 姜建胜. 多通阀选井技术在智能原油计量站中的应用研究[J]. 辽宁石油化工大学学报, 2014, 34(1): 69-73.
- [3] 赵才先. 整装油田控制系统规划及研究[J]. 仪器仪表用户, 2020, 27(11): 1-3+105.
- [4] 任健. 数据采集监控技术在油田数字化建设中的应用[J]. 化工管理, 2021, 15(79): 161-162.