

# 丛式井大井台规模化应用高效举升技术优化 及其经济效益研究

侯贵峰 朱 玮 戴白妹 曲晓鸣 王家庆

(中国石油化工股份有限公司胜利油田分公司滨南采油厂, 山东 滨州 256600)

**摘要:** 丛式井大井台规模化开发, 是当前油田的一种重要技术模式。它能有效提高项目的采收率, 带来巨大的开发效益。当前的此类平台的举升技术在技术适应性、流程耦合等方面, 都面临着一定的挑战。本文围绕丛式井大井台开发需求进行研究。其中, 重点对多技术协同、数据管理等方面, 进行优化策略建议。总体上看, 优化策略可有效降低单井举升能耗与维护成本。从而, 为项目开发带来巨大的经济效益。

**关键词:** 丛式井; 大井台; 高效举升; 技术优化; 经济效益

**中图分类号:** TE355 **文献标识码:** A **文章编号:** 1674-5167 (2026) 009-0106-03

## Research on Optimization of Efficient Lifting Technology and Its Economic Benefits for Large-Scale Application in Cluster Well Platforms

Hou Guifeng, Zhu Wei, Dai Baimei, Qu Xiaoming, Wang Jiaqing (Binnan Oil Production Plant, Shengli Oilfield Branch, Sinopec Ltd., Binzhou Shandong 256600, China)

**Abstract:** The large well platform development of cluster wells is an important technical mode in current oil fields. It can effectively increase the recovery rate of the project and bring significant development benefits. The current lifting technology of such platforms faces certain challenges in terms of technical adaptability and process coupling. This paper focuses on the development requirements of cluster well large well platforms and conducts research. In particular, it provides optimization strategy suggestions for multi-technology collaboration and data management. Overall, the optimization strategies can effectively reduce the energy consumption and maintenance costs of single-well lifting. Thus, it brings huge economic benefits to project development.

**Keywords:** cluster wells; large well platform; efficient lifting; technology optimization; economic benefits

随着我国油气田开发向纵深推进, 油藏条件日趋复杂。单井自然能量逐步衰减。依靠自喷方式生产的油井持续减少。在此背景下, 如何通过工程技术维持油井稳定生产, 成为油田开发的重要课题。丛式井大井台开发模式, 在陆上油田应用广泛。该模式占地面积小, 地面设施集中, 便于统一管理。其核心, 是在同一井场内, 集中部署多口定向井或水平井, 以实现油气资源规模化开发。生产过程中, 各油井需要配套举升系统, 才能长期稳定运行<sup>[1]</sup>。因此, 举升技术成为保障大井台正常生产的关键环节。在多井同时生产条件下, 举升系统面临双重任务。既要满足单井举升要求, 又要兼顾整体运行的稳定性和经济性。因此, 有必要从系统角度出发, 对规模化应用的高效举升技术, 进行深入研究和优化, 从而提升项目的整体经济效益。

### 1 丛式井大井台规模化应用高效举升技术概述

#### 1.1 丛式井大井台开发模式及其核心特征

丛式井大井台开发模式, 是指在有限地面空间内, 集中布设多口定向井或水平井的模式。该模式具有较

强的工程应用价值。从地面工程看, 该模式设施高度集中。从生产管理看, 该模式便于集中调度和统一管理。但是, 地面设施虽集中, 客观的地下条件却是分散的。不同油井钻遇油层的埋深、压力, 以及对应的流体性质差异都会比较大。这种“地上集中、地下分散”的特点, 会对举升系统要求会更高<sup>[2]</sup>。因而, 举升技术的改进必须兼顾单井适应性, 以及规模化协调运行的双重要求。

#### 1.2 适用于规模化应用的主流高效举升技术

##### 1.2.1 电动潜油离心泵举升技术及其适应性分析

电动潜油离心泵 (ESP) 举升技术, 是指通过电缆驱动井下电机, 带动多级离心泵连续举升的一种技术。其排量大、扬程高。更适用于供液充足的中高产井。在规模化应用中, 多台 ESP 可集中供电控制。管理起来会更加统一方便。但 ESP 在高含气井中应用的话, 容易出现气锁问题, 出砂或高黏井磨损会比较严重。而在低产井用的话, 则容易能耗高, 效率会比较低。因此规模化应用的话, 还需根据井况, 进行更为深入的筛选和优化。

### 1.2.2 潜油螺杆泵举升技术及其适应性分析

潜油螺杆泵(PCP)是一种容积式举升设备。系统可以通过地面驱动装置,带动抽油杆旋转。井下转子会在定子内作行星运动。从而,对井液实现连续输送。而与离心泵相比的话,PCP对井液性质的适应性会更强。它能较好地适应高含砂、高黏度及高气油比等复杂工况。对流体黏度的变化也更不敏感一些。这样的情况下,在复杂井况中,PCP就会更具优势一些。因此,在丛式井大井台开发中,PCP也常用于出砂严重、原油黏稠或气液条件复杂的油井。

但PCP在规模化应用中,仍会有一些现实问题。如,抽油杆与油管之间,易发生偏磨。在井斜较大的定向井中,磨损问题也会更为突出。同时,定子橡胶材料长期运行的话,容易老化。检修频次就必须跟着增加上去,经济性就会下降一点。此外,PCP在扬程和排量方面也会有一定的限制。比如,在超深井或大排量工况下的话,其应用可能就没那么友好。因此,在大井台开发中,PCP常需与其他举升方式,组合起来使用。

### 1.2.3 柱塞气举与数字化间歇举升技术及其适应性分析

柱塞气举是利用气体动力,推动柱塞周期性举升,减少气液滑脱损失的一种开发技术。数字化间歇举升的话,则是通过智能控制设备,进行周期性启停,从而避免空转浪费的一种技术。这两类技术均适用于低产井,也都能显著降低能耗。在错峰运行下的话,还可平衡电力负荷。但二者应用效果方面,都需要有详细的参数辅助优化。这就需要有精准化的数据支撑。因此,项目必须进行精细化管理,否则单用此二种技术的效果,可能也比较有限。

## 2 丛式井大井台规模化应用高效举升技术面临的现实挑战

### 2.1 单一举升技术适应性受限,难以覆盖井间生产差异

在丛式井大井台内,不同油井的地质条件和生产动态差异显著。井台中往往同时存在多种类型油井。例如高产井、低产井、高含水井、高含气井以及出砂井。这种井况高度多样化的现状下,举升需求就会呈现明显的分层特征<sup>[1]</sup>。在此条件下,任何单一举升技术都难以兼顾所有油井。这种不匹配问题,不仅会降低单井运行效率。还会对井组整体生产节奏产生不利影响。最终,成为制约大井台规模化开发效果的重要因素。

### 2.2 举升系统与地面集输流程耦合增强,系统瓶颈效应突出

在大井台规模化运行条件下,井下举升系统与地面流程的耦合关系会显著增强。单井举升参数的变化,往往会通过汇管系统传递至整个井台。如,某一油井举升

压力波动,会直接引起汇管压力变化,影响邻井的生产压差和流量分配,而当井台内有些关键环节的处理能力,如果比较有限的话,这种耦合效应就会被进一步放大。分离器处理能力不足、汇管管径偏小等问题,都可能会演变为系统瓶颈。因而,在缺乏一体化设计和动态调控的情况下,仅对单井或局部进行优化,往往难以带来整体效益提升。不合理的局部调整,还可能引发连锁反应。最终,影响井台整体运行的稳定性。

### 2.3 大规模举升设备群运行状态复杂,故障识别与维护难度大

丛式井大井台通常配置数十台甚至上百台举升设备。各设备运行年限、工况条件和健康状态,存在明显差异。设备群整体运行状态,呈现出高度复杂的特征。目前,许多井台仍主要依赖人工巡检和定期检修。这种管理模式响应速度较慢,工作量大。难以满足规模化运行的实际需求。一些早期故障征兆,往往难以及时发现。而当潜在问题慢慢演变为严重故障时,设备往往早已停机。此时,故障定位就需要多个专业人员进行协同处理。检修周期会被迫延长。非计划停机时间也会增加。最终,就会导致产量损失进一步扩大。

### 2.4 生产数据分散,难以支撑规模化举升系统的智能决策

在实际生产中,举升系统相关数据来源广泛。SCADA系统、人工填报报表、设备厂家软件平台等,都会有数据归集过来。而这些数据在格式、通信协议和存储方式上,又往往缺乏统一标准。数据分散且难以集成。实时数据、历史数据与设备状态数据之间,难以建立有效关联。因此,生产分析工作往往只能停留在单井层面。难以从井台整体角度,识别井间干扰关系和系统能效瓶颈。

## 3 丛式井大井台规模化应用高效举升技术优化方案

### 3.1 多举升方式协同配置及动态切换策略

在丛式井大井台开发中,应摒弃“一刀切”的单一选型思路。改为建立多种举升方式协同配置的技术体系,以油井的全生命周期井况预测为基础,结合不同开发阶段的生产特征,进行合理规划。如,在新井投产阶段,可根据钻井、测井及邻井数据,对生产动态进行初步判断。预计高产液井,可优先配置ESP,对流体性质复杂的油井,则选择PCP,对于低产井,则应预先考虑数字化间歇举升接口。这种规划可为后续调整留有空间。油井进入中后期开发阶段,产量、含水率和气油比等参数都会发生明显变化。原有的举升方式,可能经济性会变差,因此有必要在井筒工艺设计阶段,提前考虑举升方式切换的可行性。如,为ESP井向柱塞气举井转换,预留必要条件等。

### 3.2 举升系统与地面集输流程协同优化策略

在大井台规模化开发条件下,应将井下举升与地面集输流程,视为统一的水力系统,开展一体化设计与优化,建立水力—热力耦合模型,涵盖油藏流入、井筒举升、地面管网等,系统对井间压力干扰机制进行分析。基于模型计算结果,可对集输管网结构和管径,进行优化配置。从而,提前规避潜在的流程瓶颈。在实际运行阶段,应实施井口压力协同控制策略,以地面系统约束为导向,当分离器处理能力接近上限时,系统应优先对高产液井进行泵速或产量调节,不能简单的执行平均限产策略。在此基础上,还可探索系统内部能量的梯级利用方式,提升井台整体的能源利用效率。

### 3.3 关键举升设备效率提升与寿命延长技术

针对 ESP 系统,可重点推广高效永磁同步电机,以及变频驱动技术。永磁电机运行效率高、发热量低。变频驱动技术则可实现软启动,并能根据供液能力变化,对排量进行连续调节。从而,使泵组长期运行在高效区间。同时可在井下配置高效气体处理器,或是紧凑型分离装置,减轻气体对泵运行的影响。而对于 PCP 系统,则应重点提升耐磨性能,改用高强度抗磨抽油杆、等壁厚定子、内衬耐磨材料转子等设备,缓解杆管偏磨和定子溶胀问题,延长设备寿命。

### 3.4 群井举升系统数据集成与智能监控技术

为支撑规模化举升系统的精细化管理,有必要构建统一的数据集成平台,整合井下传感器、井口 RTU 等多源数据。并制定统一的数据接口和通信协议,消除信息孤岛问题。在此基础上,可开发群井举升系统,做好智能监控与预警功能设计,为每台举升设备建立正常运行状态的“数字画像”,实时将采集数据与该“画像”进行比对,自动识别异常运行模式,并提前发出预警,提升故障处理效率。

### 3.5 举升系统运行参数优化与综合能效控制策略

在丛式井大井台运行管理中,应以井台综合能效最大化为目标,建立统一的运行参数优化模型,综合考虑单井产量、系统总耗电等因素,对综合运行成本,进行量化评估。可以基于实时优化算法,动态求解各油井的最优工作参数集。如,根据电价变化规律,优化间歇举升井的启停时序。尽量将提液作业集中在低电价时段。依据汇管压力变化,反向修正各井流压设定值等。此外,还应对变频泵运行频率,进行统一协调,整个管网系统需要维持在水力最优状态。

## 4 优化方案的经济效益分析

### 4.1 直接效益分析

优化方案实施后,最直接的经济效益,体现在运营成本降低之上。其中,举升系统能耗水平的下降

效果,尤为突出。在变频调速技术的加入后,系统协同运行的效果会得到加强,加上间歇生产方式的推广,可使举升设备,长期运行在高效工况区,减少无功损耗和能源浪费。综合分析表明,井台平均举升单耗预计可降低约一至两成。与此同时,设备维护和更换成本也会得到有效控制。预测性维护策略的引入,能使潜在故障在早期就可以被识别出来,并快速进行处理,可以避免严重故障的发生,从而显著延长设备的连续运行周期。以电动潜油离心泵为例,其平均检泵周期,优化后可由传统的 400 ~ 500 天,延长至 600 天以上。此外,多种举升技术的协同应用,以及动态切换机制,一旦应用,亦可避免设备在的长期运行疲劳问题,减小砂卡、气锁和异常磨损等原因的影响,避免大量的非正常损坏。举升能耗和设备维护两方面成本也会同步下降,这也会直接提升油田的操作成本利润率。

### 4.2 间接效益分析

除直接经济收益外,优化方案还带来了显著的间接效益。随着举升系统运行稳定性的增强,非计划停机事故的发生频率和持续时间会明显减少,生产过程会更加平稳,产量波动也会更加稳定。在运维管理层面,智能监控和数据分析平台,可以显著提高企业的工作效率。运维人员可以基于实时数据,开展状态分析和决策优化,效率和准确性也会更好。而故障识别和处理的响应速度也会明显加快。

## 5 结语

丛式井大井台的高效开发,在很大程度上依赖于举升技术的系统性优化,井台规模不断扩大,举升系统所需要面临的挑战,也会日益突出。而仅靠单井优化或单一技术改进,确实很难满足到规模化开发的实际需求。因此,必须跳出单井视角,从井台整体出发,对举升系统进行系统性重构,加强井下举升与地面流程的全流程耦合,以数据驱动为核心手段,实现系统运行参数和综合能效的整体优化。未来,一是要继续深化人工智能在故障预警与决策优化中的应用,二是要切实推进设备全生命周期数字化管理的进程,三是要继续探索新能源与举升系统的更多融合模式,降低规模化应用的复杂性和总体成本,提升开发项目的整体经济效益。

### 参考文献:

- [1] 张义威. 采油工程举升装备技术发展探讨 [J]. 石油石化节能, 2020,10(02):44-46+10.
- [2] 张词. 长寿命深井举升及配套技术研究 [J]. 中国石油大学胜利学院学报, 2022,36(01):83-85.
- [3] 张春凯. 低产低效井举升方式优化策略 [J]. 化学工程与装备, 2023,(11):104-106.