

Research on PD Reserves Optimization Based on Sensitivity Analysis and Practice of Benefit Reserve Increase

Haonan Chen

College of Engineering, Tibet University, Lhasa, Tibet, 850011, China

Abstract

PD reserves (remaining economically recoverable reserves) represent a critical metric in oilfield development, directly impacting development potential, economic performance, and the level of resource management. Taking a specific oilfield as a case study, this paper conducts a sensitivity analysis of PD reserves by examining multiple factors, including initial production rate, decline rate, oil prices, and operating costs. The study investigates the mechanisms through which these factors affect reserve dynamics and proposes tailored strategies for reserve enhancement and cost reduction based on practical considerations. The findings reveal significant variations in the sensitivity of different operational units to key influencing factors. Initial production rate and decline rate are particularly prominent in determining the economic recoverability of reserves, while oil prices and operating costs play a pivotal role in defining the economic thresholds for reserve utilization. On this basis, the study recommends measures such as optimizing injection-production relationships, enhancing single-well productivity, and improving the management of low-efficiency wells. These approaches, when integrated with advanced technologies and management strategies, are shown to enhance reserve recovery efficiency and extend the economic lifespan of reserves. This research provides a robust scientific foundation and practical guidance for the refined management and profitability optimization of oilfield development.

Keywords

PD Reserves; Sensitivity Analysis; Economic Recoverability; Cost Reduction and Efficiency Enhancement

基于敏感性分析的 PD 储量优化研究及效益增储实践

陈浩楠

西藏大学工学院, 中国·西藏 拉萨 850011

摘要

PD储量(剩余经济可采储量)作为油田开发的关键指标,直接关系到开发潜力、经济效益和资源管理水平。本文以某油田为例,围绕初始产量、递减率、油价、操作成本等多重因素开展了PD储量的敏感性分析,探讨各因素对储量变化的作用机制,并结合实际情况提出了差异化的增储降本策略。研究表明,不同经营单元对关键影响因素的敏感性差异显著,初始产量和递减率对储量的经济可采性影响尤为突出,而油价和操作成本则进一步调节了储量利用的经济边界。在此基础上,研究提出通过优化注采关系、提高单井产能、加强低效井治理等手段,结合高效技术和管理策略,提升储量动用效率,延长储量的经济寿命。本研究为油田开发的精细化管理和效益优化提供了科学依据和实践指导。

关键词

PD储量; 敏感性分析; 经济可采性; 降本增效

1 引言

随着全球能源需求的增长和油气开发难度的加大,如何在经济与技术的双重约束下挖掘剩余资源潜力、提升经济效益,成为油田企业亟需解决的核心问题。PD储量作为剩余经济可采储量的体现,不仅是油田开发的重要物质基础,更是技术水平、经济管理和政策决策的综合反映^[1]。近年来,国内外学者围绕储量管理与效益优化开展了大量研究,但关于PD储量敏感性及其增储方向的系统性探讨仍显不足。

PD储量的影响因素多样且复杂,主要包括初始产量、递减率和经济极限产量等,后者又受到油价、操作成本及税费政策等多重变量的控制。由于这些因素的动态性与区域差异,PD储量的变化不仅直接影响开发经营指标,如资产折耗率、开发成本和油田利润,还对资源管理与政策制定提出了更高要求。因此,针对PD储量进行敏感性分析,以明确其关键影响因素及其作用强度,为效益开发提供科学依据,是提高资源利用效率和企业经济效益的重要手段。

本文以油田某采油厂为研究对象,结合其作业区和经营单元的具体情况,通过PD储量及储采比的对标分析,开展了多维敏感性研究。在此基础上,提出了针对不同区块的技术增储与降本增效的策略,为油田高效开发和精细化管理

【作者简介】陈浩楠(2001-),男,中国吉林松原人,在读硕士,从事地质物探研究。

提供指导。

2 研究背景与技术路线

2.1 PD 储量评估的重要性

评估 PD 储量是具有技术和经济双重意义的油田开发基础环节之一。从技术角度分析，直接决定油田发展潜力的是剩余可采储量中最核心的组成部分——PD 储量。从经济角度来看，直接影响折现率、开发成本和企业利润的油田资产评估，PD 储量是重要的依据。例如，增加 PD 储备可以降低企业的 ROE，从而降低单位折耗成本^[1]。另外，在油价高的情况下，PD 储备的增加能够为企业提供更多的资源保障，而在低油价的情况下，储备的稳定则需要通过成本控制以及效益的优化来实现。

2.2 影响 PD 储量的关键因素

从 PD 储量的计算公式可知，其主要受到初始产量、递减率和经济极限产量的影响。其中，经济极限产量取决于油价^[2]、操作成本、税费政策等多项外部因素，且各因素之间存在复杂的相互作用^[3]。例如，油价不仅直接影响经济极限产量，还通过调整税费政策间接作用于储量；操作成本的变化则直接影响储量的经济可采性。此外，不同作业区和经营单元的资源条件与开发水平差异显著，其对这些因素的敏感性也存在较大差异。

2.3 技术路线

本研究以油田某采油厂为例，按照“计量单元独立、储量单元清晰、管理单元科学”的原则，将全厂划分为三个作业区和八个经营单元，并通过以下技术路线展开研究：储量对标分析：评估各作业区和经营单元的 PD 储量及储采比变化，发现其潜力与不足；敏感性研究：量化初始产量、递

减率、油价、操作成本等因素对 PD 储量的影响，并分析折耗成本与资产净额的敏感性；增储降本策略：结合敏感性分析结果，提出针对性的增储和降本措施，为油田开发提供实践指导。

3 储量对标与敏感性分析

3.1 作业区与经营单元储量变化分析

自 2016 年以来，各作业区和经营单元的 PD 储量总体呈现增长趋势，主要得益于油价上升及技术、管理优化的共同作用。数据显示，剩余技术可采储量保持相对稳定，而经济可采储量（PD 储量）显著提升，这表明成本控制和技术升级有效提高了资源的经济可采性。

以某区块为例，通过优化注采关系及高效开发措施，其 PD 储量大幅增加；另一区块在高油价条件下优先开发优质储层，储采比显著提高。但部分区块由于资源动用不足或开发成本较高，在经济储量改善方面表现相对滞后。这些差异反映了不同区域在资源条件与开发水平上的特点，为制定后续发展策略提供了重要依据。

3.2 PD 储量的敏感性分析

影响 PD 储量的首要因素是初始产量。有研究显示，初始产量对 PD 储量的拉动作用最显著的是在单井日产潜力较高的区块中。如：通过注水治理和生产优化，促使储量规模显著增长，从而进一步提高了这些区域的初始产量稳定性^[4]。递减率的变化对储量寿命的影响是十分深远的。研究发现，在资源条件较好的区块中，递减速度可以明显减缓，经济可采储量的寿命可以随着注水结构的优化以及地层能量的补充而延长。另外，加强递减管理和注采调控，在新井产能下降较快的地区，同样可以有效的提高储量的利用效率。

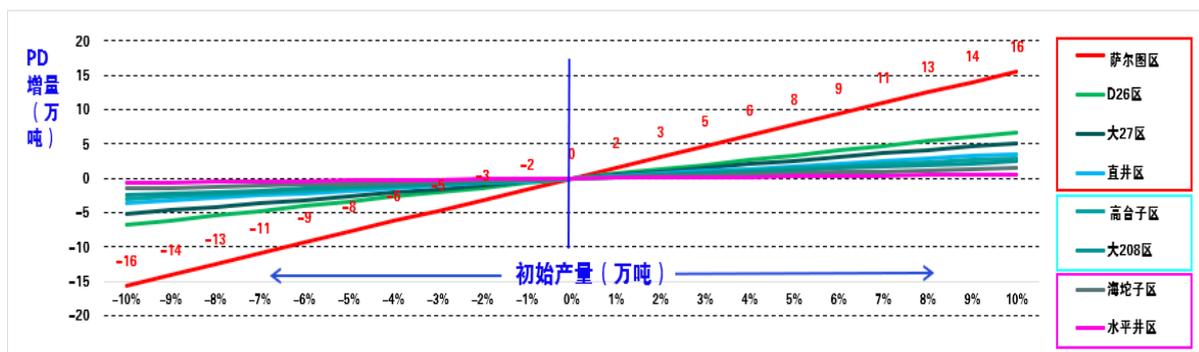


图 1 PD 储量增量与初始产量关系图

作为经济极限产量的主要推动因素，油价对 PD 储备的冲击呈现出非线性的特点。储量增幅随着油价由低位逐步回升而逐步放缓，说明单纯依靠油价来拉动高油价下的储量增幅作用有限。因此，在油价高企的背景下，确保储量稳定的关键在于通过技术手段，更加注重开发效率的提升和成本的降低。

经营成本的变化直接影响了储量的节约。研究表明，在一些区块中，运营成本的降低使 PD 储量的经济可采性明

显增强，特别是在成本控制较为激烈的地区，显著优化了储量的使用效率。另外，储量的潜在价值也通过低效井盘点和运营成本优化^[5]得到了进一步释放。

3.3 折耗与资产敏感性分析

PD 储量的变化不仅对产量和经济效益有直接影响，还通过折耗成本和资产净额影响油田整体开发效益。研究显示，随着 PD 储量的增加，单位折耗成本下降幅度逐渐趋于平缓，这提示在高储量阶段，更应关注储量利用效率的持续优化。

从资产角度来看,资源潜力大的区域可通过低效资产清理和经济性调整显著提高资产回报率;而资源有限的区域则需通过加强技术管理和资源动用实现效益提升。此外,敏感性分析表明,部分区块通过资产整合和高效开发策略,不仅扩大了储量规模,也显著降低了运营成本。

4 增储降本方向与实施策略

PD 储量的敏感性分析结果显示,各作业区及经营单元在资源潜力、开发技术和成本控制方面存在显著差异。因此,为实现效益最大化,需要针对不同区块的特点,制定差异化的增储降本策略。以下从技术增储、措施挖潜和降本增效三个方面进行详细阐述。

4.1 技术增储方向

技术增储是提升 PD 储量的核心手段,主要包括深挖已开发储量(PDP)的潜力、动用未开发储量(PUD)以及提高新资源开发效率。以大 27 区为例,通过深化地质再认识,明确未动用储量的分布,并采用集约化开发模式,优先动用高效储层,同时通过精细注采开发次级储层。研究表明,该策略可显著提升单井产能并延长稳产周期。在大 26 区,通过综合治理措施,改善注采关系、补充地层能量,并实施压裂改造等技术手段,预计可新增可采储量 12 万吨以上,优化储量利用效率。研究还显示,针对递减率高、储量利用不足的直井区,通过优化注水结构和低成本开发策略,可显著提高经济极限产量。

4.2 措施挖潜方向

在稳定老区产量、延长井组寿命方面,措施挖潜是一个重要手段。厂积蓄经验丰富,为全厂 PD 储量规模的稳定“压舱石”,在老井控递减和无效水治理方面都有所积累。

(1) 萨尔图作业区:细化落实堵水措施。作为该厂主要发展区的萨尔图区,近年来在控水稳油方面成效显著。三年来,共实施堵水 129 眼,45.2 万方无效水循环成功消减。尤其在“无人值守示范区”建设中,堵水治理效率通过智能化监控、自动化作业等方式得到提升。深化注水结构调整:实施多轮注水调整,改善油井间动态关系,针对注采不平衡的区域;对堵漏水量、施工参数等进行精确设计,确保针对性强、效果稳定的堵漏措施。实施堵水后的井组日均增油 0.8 吨,降低了油井减速率 1.6 个百分点,为实现全区稳产目标打下了基础。

(2) 高台子区与水平井区:老井恢复与低效井清查并行。高台子区与水平井区老井较多,长期受注采不均衡和能量不足影响。通过对长期停产井进行筛查和分类恢复,有效挖掘了剩余储量潜力。例如:2023 年恢复长停油井 15 口,

累计新增日增油 2.4 吨;对部分低效井进行转注改造,优化井网布局和注采关系。

此外,通过对全区低效井进行清查并实施经济性评估,已完成 21 口无效井的封堵,为后续开发降低了运行成本。

5 结论与展望

本研究以 PD 储量敏感性分析为基础,结合实际生产条件,对影响储量及其作用机制的关键因素进行了系统的探讨,提出了增储降本的科学策略。研究结果显示,作为油田开发的重要指标,PD 储量在不同区块和运营单元中表现出明显的分化特征,受初始产量、递减率、石油价格和运营成本等因素的显著影响。针对这些差异,储量的经济可采性和油田的整体效益可以通过优化注采结构,提高单井生产能力,降低开发成本等措施得到有效改善。

PD 储量是长期摸索的过程,目前 PD 储量的优化虽然取得了一定的成绩,但今后的研究还需要在以下几个方面进一步加深。一方面要把更多的动态变量引入研究当中,比如储层的变化,井网布局的改变,以及注采政策的出台等等,把储量管理模型构建得比较周全一些;另一方面,大数据以及人工智能工具的应用,通过实时数据监控以及智能决策支持,使储量变化得到更精确的预测,开发计划得到优化。另外,在目前“双碳”目标背景下,油田开发环境约束逐步增强,碳排放成本评估将在未来一段时间内引入到储量管理中,从而为低碳开发与资源高效利用之间探索一条平衡路径。

总之,既要理论上不断提高,在实际中不能脱离动机的动态调节,PD 储量的优化和管理是一项复杂而又系统工程。本课题研究通过多要素敏感性分析和实际开发资料校验,科学依据,切实为 PD 储量优化提供切实的依据,为 PD 储量的优化提供实事求是的借鉴。今后工作中,要继续结合技术进步、调适政策,在油田经济、环境、效益双赢的基础上,不断摸索适应不同开发环境的储量优化模式。

参考文献

- [1] 王伟,李明,张强.油田开发中剩余油分布特征及挖潜对策研究[J].石油勘探与开发,2018,45(3):123-130.
- [2] 李华,赵磊.油价波动对油田经济可采储量的影响分析[J].国际石油经济,2019,27(4):45-52.
- [3] 陈刚,刘洋.油田开发成本控制与效益分析[J].石油工程建设,2020,36(2):78-84.
- [4] 张丽,王强.油田注采结构优化对提高采收率的研究[J].油气田地面工程,2017,36(5):89-95.
- [5] 刘峰,周敏.油田低效井治理技术及其应用效果分析[J].石油钻采工艺,2016,38(6):102-108.