

含水天然气井排水采气工艺优化路径探讨

牛勇强

中国石油化工股份有限公司中原油田分公司石油工程技术研究院 河南 濮阳 457001

摘要: 文章聚焦含水天然气井排水采气工艺优化。首先阐述排水采气基础理论, 涵盖核心概念、积液机理及主流工艺原理与适用范围。接着剖析现有工艺在匹配性、动态调整、能耗成本等方面存在的问题。随后提出优化路径, 包括工艺精准选型、核心参数精细化优化、技术升级创新、监测调控体系优化以及运维管理与成本控制优化。通过这些措施, 可提升排水采气效率, 降低成本, 实现气井高效稳定生产, 延长气藏开发寿命。

关键词: 含水天然气井; 排水采气; 工艺优化

引言: 在天然气开发进程中, 含水天然气井的积液问题严重影响气井正常生产与气藏采收率。排水采气作为解决这一问题的关键技术, 其工艺的合理性与有效性至关重要。然而, 现有排水采气工艺在实际应用中暴露出诸多问题, 难以满足不同工况气井的需求。因此, 深入探讨含水天然气井排水采气工艺优化路径, 对提升气井生产效益、保障天然气稳定供应具有重要的现实意义。

1 含水天然气井排水采气基础理论

1.1 核心概念界定

含水天然气井排水采气是指当地层天然气携液能力不足, 地层水、凝析液在井内积聚形成积液, 阻碍气藏有效产气时, 通过人工干预手段排出井内积液, 恢复气井正常生产能力的一系列技术与工程实践。其核心目标是打破积液对气流通道的阻塞, 维持气井稳定产气, 延长气藏开发寿命, 提升气藏整体采收率。核心概念涵盖积液临界携液流量、排水采气工艺适配性、气液两相流态控制三大核心维度^[1]。其中, 积液临界携液流量是判断气井是否需要排水的关键指标, 指天然气能够携带井内液体连续排出井筒的最低气流量; 工艺适配性强调根据气井工况、地层特性选择匹配的排水技术; 气液两相流态控制则聚焦于通过技术手段优化井内气液流动状态, 减少积液形成概率, 为气井高效生产提供保障。

1.2 含水气井积液机理与影响因素

含水气井积液机理核心是气井产出的天然气携液能力不足以克服液体重力, 导致液体在井筒底部或中部逐渐积聚, 形成稳定积液柱。气井生产过程中, 天然气从地层产出后沿井筒上升, 带动地层水、凝析液一同流动, 此时气液两相处于复杂流动状态, 当气流量降低、气流速度减缓, 天然气携带液体的动能减弱, 液体受重力作用下沉, 逐步脱离气流并积聚, 随积液量增加, 积液柱压力升高, 进一步抑制地层天然气产出, 形成“积液增

多—产气下降—携液能力更弱”的恶性循环。影响积液形成的因素可分为内在因素与外在因素: 内在因素包括气藏压力、气井产量、气液比、流体黏度等, 气藏压力递减、气井产量过低会直接降低气流速度, 气液比失衡、流体黏度增大则会增加气液分离难度; 外在因素涵盖井筒结构、井斜角度、地层出水规律等, 井筒直径过大、井斜角度异常易导致气液流态紊乱, 地层出水突然增多则会超出天然气瞬时携液能力, 加速积液形成。

2 含水天然气井排水采气现有工艺存在的问题

2.1 工艺匹配性差 (如高含水井泡排效果衰减)

现有排水采气工艺存在明显的工况适配短板, 难以实现不同含水等级、不同生产阶段气井的全覆盖适配, 其中高含水井泡排效果衰减问题尤为突出。泡排工艺依赖起泡剂与积液形成稳定泡沫, 当气井含水饱和度超过60%后, 积液中水分占比过高, 起泡剂浓度被稀释, 泡沫生成量减少、稳定性下降, 无法有效包裹液体形成可携排泡沫, 导致排水效率大幅衰减, 甚至完全失效^[2]。同时, 现有工艺选型多基于气井初始工况, 未充分考虑气井生产过程中含水、压力、产量的动态变化, 如低含水井选用的泡排工艺, 当气井进入高含水阶段后, 未及时切换适配工艺, 仍沿用原有技术, 造成排水效果不佳。另外, 对于复杂工况气井, 如高含砂、高含蜡、高矿化度含水气井, 现有工艺适配性更差, 高含砂易磨损机械排水设备, 高含蜡易堵塞工艺通道, 高矿化度会破坏起泡剂性能, 进一步加剧工艺与工况的不匹配问题。

2.2 动态调整能力不足 (无法适应气井压力递减规律)

含水气井在整个开发周期内, 气藏压力、产量、含水等核心参数呈动态递减或波动变化, 而现有排水采气工艺多为固定参数运行模式, 动态调整能力不足, 难以适配气井压力递减规律及工况动态变化。多数工艺在投运初期根据气井当前工况设定固定运行参数, 如泡排工

艺的起泡剂注入量、电潜泵的抽排速率、气举工艺的注气压力等,后续运行中缺乏针对参数动态变化的实时调整机制。当气藏压力逐步递减,气井产量随之下降,原有固定参数下的排水工艺无法同步降低排水强度或调整运行模式,导致要么排水过度造成能量浪费,要么排水不足无法有效清除积液。同时,现有工艺调整多依赖人工定期检测与手动调控,调控滞后性强,无法实时捕捉气井压力递减过程中的工况突变,如压力骤降、积液快速积聚等情况,进一步降低了工艺对气井动态变化的适应能力,影响气井长期稳定生产。

2.3 能耗与成本过高(如电潜泵适用性受限)

现有排水采气工艺普遍存在能耗偏高、运维成本过高的问题,部分工艺因自身特性还存在适用性受限问题,进一步推高了综合开发成本,其中电潜泵排水工艺表现尤为典型。电潜泵排水依赖井下电机驱动泵体运行,需持续消耗大量电能,对于偏远气井,还需配套建设供电设施或依赖柴油发电机供电,能耗成本占比可达工艺总运行成本的60%以上。电潜泵对工况条件要求严苛,适用性受限问题突出,在高温、高压气井中,电机易出现过热损坏;在高含砂气井中,泵体叶轮易被砂粒磨损,导致设备故障率高,维修更换频率高,大幅增加了设备运维成本。此外,其他工艺也存在成本隐患,如气举排水需消耗大量高压天然气,若气藏自身气源不足,需额外采购气源,增加原料成本;泡排工艺虽初期投资低,但长期注入起泡剂的化学药剂成本累计较高,且部分药剂会对地层造成污染,后续治理需额外投入成本^[3]。

3 含水天然气井排水采气工艺优化路径

3.1 工艺精准选型优化:基于气井工况分类适配

工艺精准选型优化的核心是建立基于气井工况多维度分类的适配体系,打破传统“一刀切”的选型模式,实现排水工艺与气井工况的精准匹配。首先,构建气井工况分类指标体系,涵盖含水饱和度、气藏压力、气井产量、气液比、地层特性、井筒结构六大核心指标,将气井划分为低含水低压力、中含水中等压力、高含水深井、复杂工况(高含砂/高含蜡)等不同类型。针对不同类型气井制定差异化选型标准:低含水低压力气井优先选用泡排工艺,搭配消泡辅助技术,降低能耗与成本;中含水中等压力气井可选用速度管柱排水工艺,通过优化管柱直径提升携液能力;高含水深井适配电潜泵或气举排水工艺,若气源充足优先选用气举工艺,若电源条件便利则选用电潜泵;复杂工况气井采用复合工艺,如高含砂气井选用防砂型电潜泵搭配泡排工艺,高含蜡气井选用加热辅助型泡排工艺。同时,建立工况动态跟踪机制,

实时更新气井参数,当工况发生跨类别变化时,及时切换适配工艺,确保工艺始终处于最优运行状态。

3.2 核心工艺参数精细化优化

核心工艺参数精细化优化以提升排水效率、降低能耗成本为目标,针对不同排水工艺的核心参数,建立基于工况动态变化的精准调控模型,实现参数从“固定设定”向“动态优化”转变。对于泡排工艺,重点优化起泡剂注入量、注入频率及药剂配比,结合气井含水饱和度、气流量动态调整注入参数,如高含水阶段适当提高起泡剂浓度,降低注入频率,避免药剂浪费;低含水阶段减少注入量,保持泡沫稳定性。对于电潜泵排水工艺,优化泵体运行转速、抽排流量,结合井内积液量、气藏压力调整转速,避免过度抽排导致气井脱气,同时设定转速保护阈值,延长设备使用寿命。对于气举排水工艺,优化注气压力、注气量及注气点位置,根据气井产量、积液柱高度精准调控注气参数,确保注入气体能有效推动积液排出,减少高压气体浪费。建立参数优化验证机制,通过现场试验与数值模拟结合,持续迭代优化参数区间,提升参数适配精度。

3.3 工艺技术升级与创新应用

工艺技术升级与创新应用是突破现有工艺瓶颈、提升排水采气效率的核心路径,重点聚焦高效化、智能化、绿色化技术研发与落地。在传统工艺升级方面,对泡排工艺进行药剂升级,研发耐高矿化度、高温、高含水的高效起泡剂,解决高含水井泡排效果衰减问题;对电潜泵进行结构升级,开发防砂、防蜡、耐高温高压的新型电潜泵,拓宽其适用范围。在创新技术研发方面,推广应用智能排水采气复合工艺,如泡排-电潜泵联合工艺,低含水阶段采用泡排工艺,高含水阶段切换为电潜泵工艺,实现不同工况下的高效衔接;研发气液分离一体化排水技术,通过井下气液分离装置提前分离天然气与液体,减少液体对气藏产气的影响。同时,推动绿色技术应用,研发可降解起泡剂,降低化学药剂对地层与环境的污染;利用新能源供电技术,为偏远气井电潜泵、气举设备提供电力支持,降低化石能源消耗,实现节能降耗与环保协同。

3.4 监测与调控体系优化:实现实时精准管控

监测与调控体系优化核心是构建“实时监测-数据分析-智能调控-反馈优化”的闭环管理体系,打破传统人工监测调控的滞后性,实现排水采气全流程实时精准管控。在监测体系建设方面,部署多维度井下监测设备,包括积液液位传感器、压力传感器、温度传感器、气液比检测仪等,实时采集井内积液量、气藏压力、温度、气

液比等核心参数,通过无线传输技术将数据实时上传至地面控制中心,实现工况参数可视化。在数据处理方面,引入大数据与人工智能算法,构建气井工况预测模型,对积液量变化趋势、气藏压力递减规律进行精准预测,提前预判积液风险,为调控决策提供数据支撑。在智能调控方面,搭建自动化控制平台,将监测数据与工艺参数调控系统联动,当参数超出设定阈值时,系统自动调整工艺运行参数,如积液量超标时,自动增加起泡剂注入量或提高电潜泵转速;压力骤降时,自动降低抽排速率,避免气井脱气。同时建立远程管控机制,实现多口气井集中管控,减少人工现场操作,提升调控效率与准确性。

3.5 运维管理与成本控制优化

运维管理与成本控制优化围绕降本增效、提升运维质量展开,通过建立标准化运维体系、优化成本管控机制,实现排水采气全生命周期成本最优化与运维效率最大化。在运维管理方面,制定标准化运维流程,明确不同工艺设备的日常巡检、维护、维修规范,定期开展设备保养与故障排查,减少设备故障率,延长设备使用寿命;建立运维人员专业化培训体系,提升操作人员对智能设备、新型工艺的操作能力与应急处理能力,避免因操作不当导致的工艺失效或设备损坏^[4]。在成本控制方面,构建全成本核算体系,细化能耗成本、设备成本、药剂成本、人工成本等各项支出,明确成本控制责任主体;优化药剂采购与使用管理,通过集中采购降低药剂采购成本,结合工况优化减少药剂消耗量;推广设备国产化替代,降低进口设备采购与维修成本。另外,建立成本动态分析机制,定期分析各项成本支出变化趋势,识别成本管控薄弱环节,持续优化成本控制措施,实现排水采气工艺经济效益最大化。

3.6 多工艺协同集成优化:构建复合排水体系

单一排水采气工艺在应对复杂工况时存在局限性,多工艺协同集成优化通过整合不同工艺优势,构建复合排

水体系,可显著提升排水效果与适应性。针对高含水且伴砂伴蜡气井,可构建“泡排-防砂电潜泵-加热辅助”复合工艺:泡排工艺在低含水阶段初步降低积液量,当含水上升、积液量增大时,切换至防砂电潜泵,其防砂结构可避免砂粒磨损设备,同时高效抽排积液;若井筒出现蜡沉积,开启加热辅助装置,降低流体黏度,减少蜡堵风险,保障工艺稳定运行。对于气藏压力递减快、积液量波动大的气井,采用“气举-速度管柱”复合工艺,初期气藏压力较高时,利用速度管柱优化气液流态,提升携液能力;随着压力下降,启动气举工艺,通过注入高压气体补充能量,推动积液排出。多工艺协同集成需建立智能切换机制,依据实时监测数据自动判断工况变化,实现不同工艺间的无缝衔接,确保复合排水体系高效运行,提升气井生产效益。

结束语

含水天然气井排水采气工艺优化是一项系统且复杂的工作,涉及工艺选型、参数调控、技术创新、监测管控及运维成本等多个方面。通过本文提出的优化路径,从精准适配工艺到实时精准管控,再到降本增效,全方位提升了排水采气工艺的效能。未来,随着技术的不断进步,应持续探索更高效、智能、绿色的排水采气技术,以更好地应对复杂多变的天然气开发场景,推动天然气产业的高质量发展。

参考文献

- [1]王帅真.含水天然气井排水采气工艺优化路径探析[J].中国石油和化工标准与质量,2025,45(13):155-157.
- [2]闫敏辉.天然气井排水采气工艺方法优化研究[J].中国石油和化工标准与质量,2020,40(22):153-155.
- [3]张飞,仇素辉,彭均,等.天然气井泡沫排水采气用起泡剂的研究与应用[J].当代化工,2023,52(7):1651-1655.
- [4]宋成立,宁长春,方艳,等.排水采气井场工艺管道腐蚀失效分析[J].材料保护,2025,58(1):141-148.