

Discussion on the application of oil testing and well completion integration technology in “three super” gas Wells

Bo Rong

Sichuan Qing Drilling Engineering Co., Ltd., Test Company, Chengdu, Sichuan, 610051, China

Abstract

As oil and gas exploration and development delve deeper into the subsurface, the unique geological environment poses significant challenges to well testing and completion operations. Traditionally, well testing and completion are separate processes, which in practice result in segmented workflows, increasing operational time and potentially polluting or damaging the reservoirs. This undoubtedly affects the gas production and capacity of the oil and gas layers. Integrated well testing and completion technology combines these two processes, creating a new type of process technology that takes advantage of their respective characteristics. By exploring the application of this technology in “three super” gas wells, it can enable more thorough and effective well testing, thereby promoting increased production capacity.

Keywords

oil testing and completion integration technology; “three super” gas well; application; value; key points; discussion

试油完井一体化技术在“三超”气井中的应用探讨

荣波

川庆钻探工程有限公司试修公司, 中国·四川成都 610051

摘 要

油气勘探开发越向地下深处发展, 由于其特殊的地质环境特征, 给试油完井工作提出了极大挑战。传统意义上的试油与完井是两个独立的过程, 在实际生产中则呈现为分段式的作业流程, 因而会增加一定的作业时间, 并造成油层被污染甚至损害, 这无疑会影响油气层的产气量和产能。试油完井一体化技术则是试油与完井的同时进行, 结合二者的特点而产生的一种新型工艺技术。通过探索该技术在“三超”气井的应用, 可以使后者试油更为充分有效地开展, 促进产能提升。

关键词

试油完井一体化技术; “三超”气井; 应用; 价值; 要点; 探讨

1 引言

随着天然气开发转向深层、超深层、异常高压等复杂的地质构造区, 这就意味着开采工作遇到的“三超”气井(高含硫化氢、高水、高酸性气体)明显增多。相较于常规气井, “三超”气井存在着井壁稳定性差、储层保护难度大、井筒完整性不易保障、作业过程风险大等诸多技术难点。面对这种局面, 以往气井开采的分段作业模式无法实现高效安全的要求。试油完井一体化技术地出现, 可将“试油”“完井”两项工序合二为一, 不仅减少了开采工序, 并且能够实现作业连续性与储层响应及时性, 凭借于此其正逐渐应用到“三超”气井中^[1]。

2 试油完井一体化技术概述

油完井一体化技术是在同一作业周期内把试油、完井两项工序打通, 并采用一套工艺流程与设备, 最大限度避免了多次施工、进退井场, 减少对地层扰动以及保持井筒稳定和储层完整性。对于深层复杂油气井而言, 该技术地应用能够极大提高开采效率, 压缩作业周期, 节约综合成本。

油完井一体化技术工艺流程为: 下方试油完井一体化管柱, 调整射孔枪对准产层—换装井口并试压合格—连接地面流程井口管线并试压—加加压射孔—油管内投坐封入座—逐级加压坐封封隔器—验封—加压憋掉球座—酸化施工—放喷排液—测试求产—油管内直推压井液, 投入暂堵球—环空加压启动 RDS 循环阀, 循环压井—对井内部情况进行观察—对井口进行换装—上提管柱倒开锚定密封实现丢手—起出锚定密封以上管柱—结束本次试油工作。

【作者简介】荣波(1983—), 男, 中国重庆人, 本科, 工程师, 从事试油、修井、页岩气排采方面等研究。

3 试油完井一体化技术在“三超”气井中的应用价值

试油完井一体化技术应用于“三超”气井开发具有以下重要价值：一是能大幅减少复杂井段的重复施工次数，从而减少了对井筒的扰动，极大程度降低井壁坍塌和井漏的发生概率，并且可以有效地保证井筒稳定；二是测试阶段该技术地应用可凭借连续作业模式取得“三超”气井储层参数，并据此直接进行完井设计，以便于作业方案实时调整，从而增强设计的适应性和完井效率；三是该技术应用

实现减少施工环节，这使得“三超”气井作业周期、设备占井时间和运转费用等大幅减少，特别是在地面条件非常恶劣的超深井更为显著；四是高温高压条件下，气井常规分段作业时由于长期处于高温状态下的各种工具等会受高温影响而发生退化、压力泄放等现象，导致测量数据错误、作业失效情况出现，但应用试油完井一体化技术则可凭借连续作业模式与高可靠性工具体系予以杜绝，从而完全保证测试数据和施工开采作业连续性；五是试油完井一体化技术地应用能够通过“三超”气井地层压力反馈进行智能调节作业节奏，避免遇产层时因钻速过快等原因造成地流体突涌或是破坏风险，从而增强了作业的安全性^[2]。

4 试油完井一体化技术在“三超”气井中的应用要点

4.1 精细化井筒结构设计

为了完成“三超”气井试油与完井作业一体化操作任务，需要从井筒结构上予以保证，实现结构适应性和施工兼容性的兼顾。首先是井眼尺寸，要按设计井眼所对应的目标层段内使用的测试工具组合外径、完井管柱连接形式及防喷器通径大小，同时以反演方法计算得出各级别井眼尺寸，在设计过程中留足各井段的过渡段井径以保证通井的余量，从而保障有足够大尺寸的测试工具以及强度等级高的完井管柱能顺利下入井内并起下。其次是井轨设计，使用小斜度垂井或微斜井轨迹，采取精准导向工具、随钻测控系统使井眼轨迹得到精准控制，减小井下工具承受的偏心受力程度，从而达到封隔器坐封可靠以及测试管柱承压稳定的目地。接着是套管强度设计，结合“三超”气井地层孔隙压力和破裂压力梯度，随后根据井筒热力耦合应力分析结果选取高钢级、高屈服强度套管，按照每一层地层的孔隙压力及破裂压力的不同值，采取相应的分层设置抗压、抗拉及抗扭组合段，同时预留测试封隔器承压所需的加厚套管段、高强接头，从而保证井筒在井下多次高压封隔和压裂等作业条件的要求下能得到满足。最后，完钻之后要使用旋流除砂器与环空洗井装置，在完钻后采用分段循环、变排量的方式冲洗完钻之后的井底和井壁固相残留物，同时再利用高温稳定的井液体系确保井筒的稳定，防止产生滤饼污染、堵塞，从而为后续测试与完井工具运行提供可靠的运行环境，继而给“三超”气井开采

作业的成功与安全奠定基础。

4.2 高可靠性测试管柱配置

在“三超”气井试油完井一体化技术应用上，高可靠性的测试管柱配置是其中一项重要环节，重点在于充分考虑高温、高压、超深的工作环境，以保证全过程作业的安全和测井数据采集的精准。首先选择的测试管柱主体材料宜选高强度的镍基合金，并经过固溶强化和时效热处理来提高材料力学的稳定性和抗硫化氢腐蚀的能力[3]。其次，测试管柱的功能模块采用一体化集成设计，配备包含高精度石英谐振压力计、铂电阻温度传感器以及文丘里流量计等在内的井下实时数据采集单元，同时管柱关键部位须布置上传感器，以准确获取到试井全过程中地层压力和温度变化、产能指标等数据。需注意为保证测试数据真实准确性，测量单元要做抗震防冲击设计且采取金属封装。接着，测试封隔器用金属筒式多锚定结构代替原有金属骨架封隔器装配橡胶密封胶筒形式，一方面保证了在超过 220℃井温下可实现可靠的封隔性，另一方面不容易发生由于热老化而导致的橡胶材料失效的问题。封隔器启闭机构采用液压驱动、机械锁定二重控制结构，方便下井操作。此外，基于增强测试管柱各段连接的抗压密封性能目的，还可以采用 API- 金属密封结构的梯形螺纹（如 PH6、HT-VC），配合使用扭矩锁紧环避免产生螺纹松脱漏失，并且对管柱所有连接端部都采用氟碳涂层，减少螺纹接触面摩擦系数，在高温下避免产生金属冷焊。最后，测试管柱在地面组装后要先行进行现场高压模拟加载温控环境下的现场试验，校核所有连接段是否满足密封一至性和试压要求，同时在系统中安设一台机械式的应急泄压阀，放置于主通道旁通口的位置，一旦出现井涌、卡管和封隔器失效等情况时可以起到迅速释放井筒压力的作用，确保人身安全和设备正常运转。

4.3 同步式测试与完井转换机制

基于“三超”气井试油与完井地层能量大且作业周期短的特点，建立同步式测试与完井转换机制尤为必要。同步式测试与完井转换机制重点是设计一种可转换测试管柱，并配套液压驱动的转换滑套结构，当完成试油作业后，管柱无需起拔，直接依靠测试管柱内的压力信号触发将测试段的关闭以及完井段的导通实现二者实时切换。具体层面上，在测试管柱中段安装可控液压滑套组，通过设定井下压力变化梯度，实现滑套启闭控制，当测试完油层后立即切换至完井模式，避免中途停顿和井筒内液体紊乱。下端安装具备锚定能力的永久封隔器，测试完收到作业结束指令，立即到位展开，在金属套管径向膨胀力的作用下与套管紧密结合封堵起隔离作用，后续压裂排液或投产可以有单独的通道路径。同时下部可以设置一种液压触发式桥塞，在试油转换后精准坐封，形成多段独立，以便根据实际情况调配。转换过程中需应用地面、井下压力的联动监控装置，实现转换过程参数的反馈和闭环控制，保证滑套转换、封隔器展开及桥塞坐封都

在受控压力窗口完成^[4]。在同步过程中,要考虑到井温、井压对工具材料性能和液压系统响应时效的影响,为此需要经过大量的实验验证后保证其在高温高压环境中具有良好的可靠性和良好的响应一致性能,之后再将该方法标准编制成相应适用“三超”气井的作业程序。

4.4 完井管柱部署与多段封隔工艺

针对“三超”气井储层埋深大、压力高、温度高、层系复杂的客观情况,试油完井一体化技术必须考虑完井管柱部署以及多段封隔工艺能否满足层间独立控制、井筒安全以及后续施工所要求。对此,“一趟管柱、多点封隔”的机械式分段完井系统是首选方案,以“多封隔-单通道”结构能够实现多产层的分控、封隔。其中,管柱顶部采取套管头密封器+抗高压封隔器设计,用于隔离井口环空压力;管柱中部采用组合式机械滑套和连续封隔器总成,每级滑套对应一个控流通道,滑套采用地面管柱内压控制方式开启和关闭,以避免出现高温井下电控装置失效情况发生;各段封隔器之间用连接短节加劲环连接起来,使管柱的轴向受力更加均匀,同时也可防止出现封隔器所在部位的管柱局部屈曲。同时滑套间装入旁通流道,便于保持井筒通道畅通的同时满足酸化压裂的需求,下入完井管柱使用标准工艺压载控制,通过封隔器定位段使用加厚外径限位环实现封隔器到位后贴合套管内壁压住进行扶正。完井后通过井口地面管汇系统调节内部的压力梯度实现滑套段逐级激活及封隔层段的动态测试。

4.5 井口装置与压力控制系统优化

试油完井一体化技术在“三超”气井中应用时,为适应井口装置与压力控制系统,保证高温、高压、高硫环境下的作业安全性、高效性,宜选用抗高温耐腐蚀的铬钼合金钢井口装置,其密封件应为金属—金属密封结构(比如镶嵌碳化钨密封环和双锥面配合式刚性接触面),以提高温压波动大的条件下保持密封性;井口内侧设置两层截断井控单元,分别安装手动操作的楔式闸板防喷器和液压驱动的全通径球阀,以便实现测试、完井过程中的紧急快速井控切断,同时保证其可靠性和响应速度;系统压力调节采用高压分体式节流管汇系统,串联式可调节节流阀,利用设置的压力平衡

缓冲腔控制瞬时压差波动,使套管头至测试管柱间的压差始终处在可承受范围之内;压力控制系统采用机加工螺纹式机械自锁型液压阀组,在主控台上预留了应急泄压旁通通道,以便于系统遇到高压工况时有一定的冗余和手控响应时间;井口的安装过程中进行了高温预热负载试验,按照从低到高的等级由低温升至高温负荷,通过现场实际试验达到设备从常温至工作状态下温态紧固的效果,作业过程中按每小时为周期进行稳态条件下的微泄露检测,其中检测值不大于0.001MPa/h;所有紧固连接部位均按照三重扭矩预紧要求进行装配,在高压状态下保证高压端头抵抗振动、抗密封的一致性,并按照相关标准完成井口装置的总体结构与工艺流程设计、试验以及组装等工作^[5]。

5 结语

综上所述,针对“三超”气井开发上试油完井一体化技术逐渐成为了一项重要的技术手段,同时从众多研究与实践表明其在不少复杂气藏开采作业取得了很好的效果。在具体应用中,借助于井筒结构、测试管柱、转换、压控等各项措施的系统优化,试油完井一体化技术不仅极大程度地增加高难井作业安全及资源利用率,同时也有利于提高非常规气藏开发效益。今后,试油完井一体化技术须加大工艺配套性和现场执行标准建设研究工作,以推动其在更大范围内的标准化、规模化应用,从而为我国能源的高质量发展提供强有力的支持。

参考文献

- [1] 杨浦.高温高压气井试油完井一体化工艺技术的应用[J].中文科技期刊数据库(全文版)工程技术,2021.
- [2] 徐文光,邵振鹏,李璐,等.巴彦油田深井高凝油藏试油完井一体化技术[J].油气井测试,2024,33(1):26-31.
- [3] 龚浩,唐庚,张林,陆林峰,张健涛.川西地区超深高温高压气井完井试油技术研究与应用[J].钻采工艺,2020(z1):61-63.
- [4] 周凡,吴昊.试油完井一体化技术在“三超”气井中的应用[J].化工设计通讯,2019(001):045.
- [5] 马群,张宏强,徐鹏海,等.“三超”气井永久式封隔器完井管柱处理工艺技术研究及实践[J].天然气与石油,2023,41(3):87-94.v