

蒸汽吞吐采油井筒氮气隔热技术研究及优化

从斌斌

辽河石油勘探局有限公司石油化工技术服务分公司

DOI: 10.12238/jpm.v6i5.8017

[摘要] 针对注汽吞吐井存在套变,无法采用封隔器隔热的注汽井、水平注汽井、封隔器隔热套管温度高于规定温度值的注汽井。研究应用了蒸汽吞吐采油井筒氮气隔热技术。该技术利用氮气导热系数低的特点,在蒸汽吞吐过程中从环空注入定量的氮气,达到保护套管,减少热损失等目的。

[关键词] 氮气隔热;蒸汽吞吐;采油井;优化

Study and optimization of nitrogen insulation technology for steam injection and production Wells

Cong Binbin

Liaohu Petroleum Exploration Bureau Co., LTD. Petrochemical Technology Service Branch

[Abstract] For steam injection wells with casing deformation, where packer insulation is not applicable, horizontal steam injection wells, and steam injection wells where the temperature of the packer insulated casing exceeds the specified value, this study applies nitrogen insulation technology to steam injection production wells. This technique leverages the low thermal conductivity of nitrogen, injecting a measured amount of nitrogen into the annulus during steam injection to protect the casing and reduce heat loss.

[Key words] nitrogen insulation; steam injection; oil well; optimization

引言

曙光采油厂稠油区块经过 30 多年的开发,形成了多种开发方式,目前以蒸汽吞吐开发方式为主,产量占到了全厂产量的 57%。蒸汽吞吐过程中,随着吞吐轮次的增加,套管损坏严重,热采封隔器无法通过套变位置进行隔热,只能依赖氮气隔热方式。曙光采油厂氮气隔热年实施 600 井次左右。

1 氮气隔热措施实施的必要性

1.1 不能封隔器隔热的套变井

注汽井发生套变后,套管内径缩小,封隔器不能通过套变位置或存在起下过程中卡井,造成大修可能的热采井。套变位置在油层顶界 50 米以上位置的注汽井,采用氮气隔热管柱。

1.2 封隔器隔热失效井

(1) 蒸汽吞吐井封隔器失效。套管壁不平整、封隔器自身质量等原因,造成封隔器密封不严,失去隔热作用的热采井,环套空间需注入氮气来保护套管。

(2) SAGD 注汽井封隔器失效。SAGD 注汽井长时间注汽后,封隔器胶筒损坏,密封不严,井筒温度上升,需注入氮气来保护套管。

(3) 蒸汽驱封隔器失效。蒸汽驱注汽井长时间注汽后,封隔器胶筒损坏,密封不严,井筒温度上升,需注入氮气来保护套管。

1.3 下入注采一体化管柱的注汽井

新井前几轮的生产周期短,频繁的吞吐下泵,增加了作业

成本,降低了生产时率,对油井也造成了一定伤害,需要实施注采一体化管柱,该管柱需采用氮气进行隔热。

1.4 配合工艺措施的氮气隔热井

蒸汽吞吐井实施防砂措施后,套管壁容易残留砂粒,下入封隔器管柱,起下过程中容易卡管柱,需采用氮气进行隔热。部分压力高的出砂井不适合封隔器隔热。水平井分段注汽在实施过程中,阻隔器下在水平井筛管段,因此环套空间需注入氮气来保护套管。

1.5 新井

新井前几轮的生产周期短,频繁的吞吐下泵,增加了作业成本,降低了生产时率,对油井也造成了一定伤害,需要实施注采一体化管柱,该管柱采用氮气进行隔热。蒸汽吞吐井实施防砂措施后,套管壁容易残留砂粒,下入封隔器管柱,起下过程中容易卡管柱,需采用氮气进行隔热。部分压力高的出砂井不适合封隔器隔热。水平井分段注汽在实施过程中,阻隔器下在水平井筛管段,因此环套空间需注入氮气来保护套管。

2 氮气隔热技术

2.1 氮气的一般性质

在常温常压下,氮气为无色无臭的气体,在压力为 1 大气压、温度为 0℃时,氮气密度为 1.25kg/m³;氮气的导热系数为 0.0205kcal/m·h·℃;1 升液氮可变为 643 升气氮。在常压下,温度为-195.78℃时,氮气将变成无色透明的液体;温度为-210℃时,氮将凝固成雪状的固体。氮是化学性质极不活

跃的气体, 在常态下表现为很大的惰性。

(1) 在常用的注入天然气和非烃类气体的采油方法中, 氮气的压缩系数较大, 它的压缩系数(0.291)是二氧化碳的3倍, 也比天然气和烟道气的压缩系数大, 所以, 其较大的膨胀性有利于驱油。它受温度的影响较小, 其原因是氮气的临界温度较低。

(2) 氮气在淡水和盐水中的溶解性都很微弱。二氧化碳和天然气比氮气易溶于水, 该特性对于注氮气保持油藏压力开采来说十分重要。

(3) 在相同的油层压力和温度条件下, 氮气的粘度比CO₂和天然气都低。

(4) 在相同的温度压力条件下, 氮气的密度要比CO₂、烟道气的密度小, 比甲烷的密度高, 但比其它烃类气体的密度低得多。一般情况下, 氮气的密度要低于气顶气的密度。

(5) 氮气不同于理想气体。氮气的地层体积系数随着压力的增加而均匀地下降。在相同的温度条件下, 氮气的体积系数要比CO₂和烟道气的体积系数大; 注入相同体积的气体, 氮气可驱替更多的油气, 因而注氮气比较优越。

(6) 氮气是惰性气体, 不易燃、干燥、无爆炸性、无毒和无腐蚀性。

2.2 氮气的隔热机理

N₂的比热为0.2488 J/(g·K)(温度为250℃), 导热系数为0.0228W/m·K(压力在0.1MPa, 温度为0℃), 具有很强的绝热性。因而在稠油热采中, 油管注蒸汽, 套管注N₂, 使注入蒸汽热量损失很小。另外, 还能改善套管的受热状况, 延长其使用寿命, 大大改善套管的力学性能, 保护套管,

2.3 氮气隔热的实验研究

通过对注蒸汽井氮气隔热物模和数模研究分析, 得出以下3方面结论:

(1) 氮气隔热随注入氮气压力的升高, 套管环空中氮气的导热系数和比热容增加, 氮气有效换热系数增大, 套管环空热量传递增加, 环空温度有所升高, 套管温度也随之上升。

(2) 当油套管环空连通时, 若油管环空注氮气压力低于油管内注汽压力时, 隔热管基本失去了隔热作用, 套管温度急剧上升; 当环空注氮气压力持续高于或等于注汽压力时, 此时油套管环空虽然连通, 但氮气的存在保证了蒸汽不能窜入套管环空, 可以有效地抑制蒸汽对流换热, 起到保护套管作用。

(3) 氮气隔热, 隔热管的隔热作用好于光油管的隔热作用。

2.4 氮气隔热热损失时间计算

当压力为10MPa条件下, 注蒸汽前氮气温度50℃, 注蒸汽温度为300℃, 多长时间套管壁温度能上升至160℃。

热量损耗公式

$$Q = 2\pi r_{\text{ins}} U_{\text{tl}} (T_s - T_a) d \quad (1)$$

式中: r_{ins} —套管外径=0.159m; s —蒸汽温度=300℃; d —隔热管长度=1000m

U_{tl} —总传热系数, W/(m²·℃)(未知, 由下公式可得)

$$U_{\text{tl}} = \left[\frac{r_{\text{ins}} \ln \frac{r_{\text{ins}}}{r_{\text{to}}}}{\lambda_{\text{ins}}} \right]^{-1}$$

式中: r_{to} —隔热管外径=0.114m;

λ_{ins} —导热系数=0.0228W/(m·K)(不确定, 取经验值)

$$\left[\frac{0.159 \times \ln \frac{0.159}{0.114}}{0.0228} \right]^{-1} = 0.43 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{℃)}$$

带入(1)式中 $Q=107325\text{w}$, 氮气吸收的热量为 107325w

$$m = \rho v = 1.25 \times 10 = 12.5 \text{ kg}$$

温度由50℃到160℃氮气比热容

$$C = \frac{Q}{m \Delta t} = \frac{107325}{12.5 \times 110} = 78.1 \text{ w/(kg} \cdot \text{K)}$$

$$D = \frac{\lambda}{C \rho} = \frac{0.0228}{78.1 \times 1.25} = 0.00023 \text{ m}^2/\text{s} \quad (2)$$

D —热扩散速度, m²/s

在体积为10m³, 压力为10MPa条件下的氮气密度未知, 我们取1.25kg/m³

氮气从50℃升温至160℃时间

$$t = \frac{S}{D} = \frac{0.009}{0.00023} = 40 \text{ s} \quad (3)$$

在体积为38.57m³, 压力为10MPa条件下的氮气密度未知, 取值为1.25。

2.5 氮气隔热方式

(1) 水平井隔热: 起炉开始注入蒸汽, 同步选用1000标方/小时以上排量(含1000标方/小时)氮气机组, 注氮气4小时。以后每隔2天, 选用1000标方/小时以上排量(含1000标方/小时)氮气机组, 补注氮气4小时, 直到蒸汽注完为止。

(2) 直井氮气隔热(单井蒸汽设计量大于1000吨): 起炉开始注入蒸汽, 同步选用1000标方/小时以上排量(含1000标方/小时)氮气机组, 注氮气4小时。到蒸汽注一半时, 选用1000标方/小时以上排量(含1000标方/小时)氮气机组, 补注氮气4小时。

(3) 直井氮气隔热(单井蒸汽设计量小于等于1000吨): 起炉开始注入蒸汽, 同步选用1000标方/小时以上排量(含1000标方/小时)氮气机组, 注氮气4小时。

2.6 氮气隔热措施设计

2.6.1 设计依据

井型、井身结构、注汽锅炉排量、井口温度、注入压力、注汽天数等。

2.6.2 氮气纯度、注入压力、注入量等设计

(1) 氮气纯度: ≥98%。

(2) 注入压力: ≤20兆帕。

(3) 开始注入氮气3000标方。到蒸汽量注一半时, 补注氮气3000标方。

2.7 氮气隔热措施施工步骤及要求

2.7.1 施工要求

(1) 连接地面施工管线, 在低压端安装甲方气体流量计, 试压合格后方可进行施工。

(2) 注氮气施工结束后, 关闭相关阀门, 拆卸地面施工管线。

(3) 负责好工程方案设计, 组织、协调、监督施工。

(4) 负责好现场施工及施工过程中的安全环保工作。

(5) 施工时遇到突发事件由采相关方协商解决。

2.7.2 井控及HSE要求

(1) 井控方面

在注氮气过程中随时跟踪井口油套压数据, 观察井口是否有蒸汽、氮气的泄露情况, 做好油井防喷工作。若发生气体泄漏或与邻井发生汽(气)窜反应, 当班负责人立即停止注气、停运设备、并立即撤离现场, 同时向工艺所、作业区汇报。

(2) HSE 方面风险分析

氮气隔热技术上较为成熟, 但有一定的危害性, 可能存在的主要风险有井控风险、氮气窒息、高温高压刺漏伤人、氮气纯度不够发生爆炸等风险, 对本次施工的风险提示及要求如下:

①邻井汽(气)窜的风险。削减措施及要求: 按照地质设计要求, 在本井作业、注气及注蒸汽期间, 同层位邻井严禁注蒸汽。

②氮气窒息的风险。削减措施及要求: 按照相关操作标准施工, 一旦发生氮气气体泄漏事件, 施工队伍应按相关规程及时启动应急响应, 防止各项事故发生。

③高温高压刺漏伤人的风险。削减措施及要求: 该井存在高温高压刺漏伤人的风险, 请施工单位按照要求采取适当的安全防护措施。施工过程中严格注意注气井的注气情况, 和相邻油井的生产情况, 包括温度、压力等。

④氮气纯度不够发生爆炸的风险。削减措施及要求: 按照施工方案要求, 严格控制氮气纯度98%以上, 防止爆炸事故发生。

⑤环空氮气停注时间过长, 氧气重新运移, 局部达到爆炸极限, 发生爆炸的风险。

削减措施及要求: 按照施工方案要求, 在保证氮气纯度98%以上的同时, 严禁氮气停注时间超过5天, 防止爆炸事故发生。

(2) HSE 要求

①进入现场人员必须劳保着装穿戴齐全。

②施工现场地面平整、无杂物、无油污; 生活区、施工区、动力设备以及高温高压区用安全警戒带明确划分; 高压区及危险区要有明显标识牌; 设置紧急集合点和逃生路线。

③施工现场高压区内严禁非工作人员入内, 如高压管线刺漏时, 必须先放压再整改。

④出现油气火灾, 人员首先撤离, 再拨打当地消防队电话或所在采油厂消防队电话汇报火情, 地点, 并在路口指引。

⑤所有各道操作工序必须按有关安全、环保、技术操作规程进行施工, 在施工前对现场施工及工作人员进行安全交底, 施工各工序必须要连续进行。

⑥注氮过程中, 要求现场施工操作平稳, 防止井喷事故发生。

⑦该井处于含有二氧化碳、硫化氢等有毒有害气体的区域, 一旦发生有毒有害气体浓度大于安全临界浓度时, 所有人员应采取应急措施, 按逃生路线撤离, 同时向相关部门汇报。

2.7.3 氮气施工作业程序

(1) 设备车辆抵达施工现场后, 根据现场场地和风向正确摆放车辆, 要求安全施工距离 ≥ 15 米, 若安全距离不够, 与甲方确定车辆摆放位置, 车轮用掩铁固定。

(2) 按照施工方案正确连接增压机终端出口到井口的高压管线, 连接膜组出口管线到增压机一级进口管线, 快速接头

由铁丝捆扎固定; 连接发电机到膜组操作柜电缆。

(3) 施工区域拉警戒带, 摆放灭火器、正压式呼吸器、警示牌、紧急出口、机组接地、紧急集合点。

(4) 连接管线应固定牢靠, 对接处加装防脱链。

(5) 检查设备车辆及管线连接处, 确认完好情况下, 按照设备操作规程启动注氮设备, 作业前对车辆管线进行试压, 高于工作压力1.5倍, 稳压5分钟不渗漏为合格。确认氮气纯度大于99%, 关闭放空阀门, 开启设备生产阀门、井口阀门。

(6) 根据设计方案制定的氮气体量进行注气, 记录流量计初始数、氮气纯度、设备启动时间、注气时间, 记录各种技术参数, 按照甲方要求, 拍照上传流量计、氮气纯度读数。

(7) 定期巡检, 检查设备运行状态、工艺管线压力, 发现异常问题及时停机处理。

(8) 按照要求, 达到设计注气量后, 停止注气, 按照设备停机操作规程进行停机操作, 关闭井口阀门、打开放空阀门, 记录流量计读数、氮气纯度并拍照上传。确认管线压力放净后, 拆除注氮车管线连接, 电缆, 恢复施工现场至正常状态。

(9) 双方确认注氮工作量, 并在工作量签证单签字认可。

3 氮气隔热技术优化

3.1 注氮工艺优化

氮工艺优化前是注入蒸汽3-4小时后, 开始注入氮气。但是在实施过程中, 发现未注氮气的3-4小时内, 套管头温度上升迅速。优化后调整为启炉开始注入蒸汽, 同步开始注入氮气。

3.2 补氮时机优化

补氮时机优化前是以直井套管头温度 $\geq 160^{\circ}\text{C}$, 水平井套管头温度 $\geq 180^{\circ}\text{C}$ 为依据进行补氮设计。为进一步提升氮气隔热效果, 优化后, 将补氮时机调整为套管头温度 $\geq 120^{\circ}\text{C}$ 时, 进行补氮。

4 结论及建议

(1) 套管变形是导致实施氮气隔热的主要原因, 隔热管内注入蒸汽的过程中, 利用氮气导热系数低的特点, 从油套环空注入定量的氮气, 来达到隔热的目的。

(2) 油井受注汽影响易发生套管损坏, 氮气隔热建议要明确隔热时机及注入量, 不断优化氮气隔热施工方式及设计参数, 优化氮气注入量, 不断提高氮气隔热技术的实施效果。

(3) 考虑氮气车频繁施工, 氮气大量浪费, 井筒温度处于交变波动中, 易引起井筒套变, 建议连续补氮, 以提高氮气的利用率。

[参考文献]

[1]余天创.浅谈氮气隔热注汽在八面河油田的应用[J].百科论坛电子杂志.2018, (21).

[2]孙景涛, 吕瑞典, 周锡容.油田注汽井氮气隔热技术的研究与应用[J].重庆科技学院学报(自然科学版).2008, (5).

[3]欧阳波, 陈书帛, 刘东菊.氮气隔热助排技术在稠油开采中的应用[J].石油钻采工艺.2003, (z1).1-3.