

自营深水井环空压力管理措施首次应用实践

刘正¹ 郑金龙² 刘立焱¹ 柳亚亚²

(1. 中海油能源发展股份有限公司深水钻采技术公司, 广东 湛江 524057)

(2. 中海石油(中国)有限公司湛江分公司, 广东 湛江 524057)

摘要: 基于自营深水井的测试或生产考虑, 笔者在设计之初就考虑测试或生产时套管环空压力增长对套管安全带来的影响。本文首先从环空压力预测模型着手, 基于典型的井身结构和井筒传热过程, 结合能量守恒定律和 PVT 关系, 通过调研建立深水井环空压力预测模型。在适应对环空压力有效预测基础上, 调研当前国际上可行的环空压力管理措施, 再结合本次自营深水井实际情况形成有效的环空压力管理应用实践, 实践表明: 本次环空压力管理措施适应于自营深水井的测试高产条件。

关键词: 深水井; 高产测试; 预测模型; 管理措施; 应用实践

1 引言

当环空压力增长到一定程度(大于套管的抗内压强度、抗外挤强度或抗拉强度)时, 将导致套管因承压不足而破裂, 从而破坏井筒的完整性。对于正常生产或测试过程, 完整的井筒是确保安全有效生产的可靠保证, 面对环空压力圈闭可能引起的井筒完整性破坏, 需采取相应的技术措施, 减少或避免环空压力对井筒完整性的影响。环空压力增长问题在深水井中普遍存在, 对环空压力管理措施的研究将有助于保持井筒的完整性, 确保井筒安全可控。本文基于自营深水井环空压力管理应用实践, 在结合前期对环空压力预测的基础上, 结合对环空压力管理措施的调研, 形成环空压力管理措施。结合自营深水井测试条件, 笔者所选用的环空压力措施成功应用于我国自营深水井高产测试条件。

2 环空压力管理预测模型

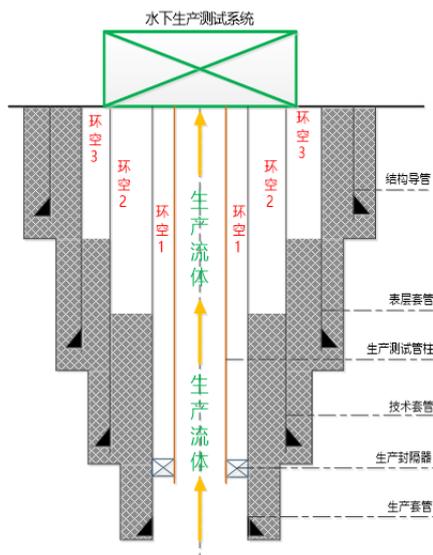


图1 典型深水井密闭环空示意图

对于一个典型的深水井生产测试系统, 其井口与井筒环空形成密闭的环空空间, 密闭环形空间如图1所示。生产测试时, 产生的高温流体将加热环空流体, 流体受热膨胀, 环空压力增大, 有文献显示: 若不对环空压力进行预防, 将导致套管的损坏, 井筒的完整性将破坏。为保证井筒的

完整性, 需对套管密闭环空的压力进行预测, 为采取合适的环空压力管理措施提供依据, 以实现井筒完整性的保证。

深水井测试生产过程, 清井或生产时可通过水下井口控制环空1的压力, 因此, 对密闭环空压力的预测主要是对环空2及环空3环空压力的预测。对环空压力的预测主要基于 PVT 状态方程, 对 PVT 状态方程中的三个变量求积分可得:

$$\Delta p = \frac{\alpha_1}{k_T} \Delta T - \frac{1}{k_T V} \Delta V + \frac{1}{k_T V_f} \Delta V_f \quad (1)$$

套管环空为密闭环空, 环空流体质量不变, 环空内流体体积不发生变化, 则 ΔV_f 为 0, 式中的热膨胀系数 α_1 值及等温压缩系数 k_T 值取决于环空内流体的类型。套管环空体积的变化主要由于套管和环空流体的热膨胀和压缩, 环空体积变化主要分为: 环空流体的热膨胀、环空流体压缩、套管的热膨胀、套管的压缩四个部分。由于各个环空的体积变化过程相同, 文中主要以环空2为例进行说明。

在套管长度方向取小的微元段 dx , 则环空体积变化单位微量分别为 dV_1, dV_2, dV_3, dV_4 , 环空体积单位微量 dV 。

油套管受热伸长量为:

$$\Delta L = \alpha_1 \Delta T L \quad (2)$$

套管径向热膨胀, 套管温度变化引起的径向位移为:

$$S_{r1} = \frac{1+\mu}{1-\mu} \int_{r_{1i}}^r \Delta T r dr \quad (3)$$

当温度差是常数时, 套管外表面法向位移为:

$$u_1 = \alpha \Delta T \frac{1+\mu}{1-\mu} \frac{r_{1o}^2 - r_{1i}^2}{2r_{1o}} \quad (4)$$

径向热膨胀引起的体积缩小为:

$$V_1 = -\pi (2u_1 r_{1o} - u_1^2) dx \quad (5)$$

联立温度、体积变化及压力变化关系, 通过数值计算方法求解环空压力的变化。

3 环空压力管理应用实践

随着国内自营深水的发展, 自营深水井首次进行测试作业, 测试作业实现中海油单层测试最高记录, 最高测试

产量约为 160 万方 / 天, 测试过程井筒完整性良好, 油套管处于安全状态。自营深水成功测试井水深 1447.2m, 4 层次井身结构。

设计阶段, 作业者即对本井的井筒完整性进行全局性的考虑, 研究本井在不同的测试或生产状态下的井筒完整性, 创新性提出深水井探井转生产井的深水勘探开发一体化思路, 从钻探开始即着眼于后续的开发过程。

考虑环空压力管理的套管校核过程, 套管的抗内压及抗外挤安全系数选取《海洋钻井手册》规定的高值, 其中抗内压安全系数取 1.25, 抗外挤安全系数取 1.125。

表 1 套管强度设计及测试实施结果

套管尺寸	套管钢级	单位长度重量, ppf	设计阶段校核结果	采取措施	套管测试实施结果
13-3/8	N-80	68	不安全	措施 1 及措施 2	安全
9-5/8	N-80	53.5	安全	-	安全

为保证井筒完整性, 作业者调研大量的文献资料, 结合可利用的资源, 最终为本井选择了两种环空压力管理措施: ①注入弹性隔离液; ②控制水泥返高。对于环空压力管理措施和方法的调研, 当前国际上对存在环空压力管理风险的井至少选择 2 种以上的环空压力管理措施以实现对井筒完整的保护。结合对环空压力措施的选择, 设计井成功经历了测试高产 (日产 160 万方 / 天) 条件的考验, 中

国自营深水井首次环空压力管理应用实践获得成功, 测试实践过程有效验证了环空压力管理措施的有效性。

4 结论

①笔者结合传热相关理论, 建立井筒传热模型及井筒密闭环空的压力变化模型, 利用数值计算方法对密闭环空的温压变化进行预测, 进而实现对套管强度的进一步校核; ②笔者结合切实可行的环空压力管理措施及井筒密闭环空的温压预测, 成功实现对井筒完整性的保证, 使环空压力措施首次成功应用于中国自营深水井的测试实践过程。

参考文献:

- [1] 杨进, 曹式敬. 深水石油钻井技术现状及发展趋势 [J]. 石油钻采工艺, 2008,30(2):10-13.
- [2] 邓元洲, 陈平, 张慧丽. 迭代法计算油气井密闭环空压力 [J]. 海洋石油, 2006,29(6):149-152.
- [3] 车争安, 张智, 施太和等. 高温高压含硫气井环空流体热膨胀带压机理 [J]. 天然气工业, 2010,30(2):88-90.
- [4] 高宝奎. 高温引起的套管附加荷载使用计算模型 [J]. 石油钻采工艺, 2002,24(1):8-10.
- [5] Hasan A R, Izgec B, Kabir C S. Ensureing sustained production by managing annular-pressure buildup [R]. SPE121754, 2009.

作者简介:

刘正 (1985-), 男, 毕业于西南石油大学, 深水钻井工程师, 现主要从事海洋深水井现场作业及管理工作。

(上接第 143 页) 集中的管控, 实现电气控制装置的流程优化, 进而提升矿井提升机的运行质量^[5]。

2.3 PLC 技术在控制系统中的应用

在矿井提升机应用变频调速技术的具体策略中, 需要重视在控制系统的应用。控制系统作为矿井提升机系统的重要控制软件, PLC 变频调速技术在控制系统中的应用, 能够实现系统的自动化管控和矿建提升机的实时监测。PLC 变频调速技术在控制系统中的运用, 不仅可以集中性的对系统进行控制, 实现控制系统的高效运行, 同样也能够进行分散性系统控制, 有助于控制系统成本的降低。PLC 变频调速技术在控制系统中的运用, 可以能够将安全监控系统并入, 实现自动化的管控保护, 以此来提高气控制装置运行质量, 模拟量输出模块通过输出电流或电压的变化来传递电机速度大小的信息。因此, PLC 变频调速技术应用到控制系统当中, 能够提升全面监控运输系统, 保证系统的运行安全稳定, 提高效率, 确保控制系统更加精准灵敏, 从而实现可编程控制器的优化应用, 为控制系统的智能化发展提供保障^[6]。

3 结束语

由此可见, 基于 PLC 变频调速技术应用到矿井提升机控制系统当中, 不仅可以有效的降低控制装置的运行故障, 同样也能够保证电气控制系统的稳定性, 从而提升矿建提

升机的性能。在煤矿机械开采的自动化发展下, PLC 技术应用到矿井提升机能够实现性能的创新优化, 从而提升反应速度, 确保控制系统更加精准灵敏, 从而提高矿建提升机控制装置的安全性和可靠性, 为矿建开采企业机械化、自动化以及智能化发展提供重要保障。

参考文献:

- [1] 赵仕艳, 谢子殿. 低压变频调速技术在矿井提升机中的应用 [J]. 黑龙江电力, 2020,42(02):130-135.
- [2] 乔志军. 变频调速技术在矿井提升机中的应用 [J]. 矿业装备, 2018(01):74-75.
- [3] 种庆福. 高压变频调速技术在矿井提升机中的应用 [J]. 内燃机与配件, 2018(03):234-235.
- [4] 孙亮. 变频调速技术在矿井提升机中的应用 [J]. 内蒙古煤炭经济, 2014(04):203.
- [5] 唐先春. 交流变频调速技术在矿井提升机调速控制系统中的应用 [J]. 机械, 2013,40(05):51-54.
- [6] 熊永超, 卢万杰, 薛永存. 变频技术和模糊自适应控制在矿井提升机调速系统中的应用 [J]. 煤矿机械, 2006(07):168-170.

作者简介:

闫志民 (1984-), 山西榆次人, 2004 年 7 月毕业于山西省煤炭职业技术学院, 主要从事煤矿机电方面工作。