

高温高压气田井口控制盘稳定性提升及经济效益

张晓璐 (中海石油 (中国) 有限公司海南分公司, 海南 海口 570100)

摘要: 南海某平台为高温高压无人井口平台, 井口控制盘公共模块井下安全阀液压供给回路压力长期处于 9400psi 的备件量程极限压力临界值, 导致井口控制盘因高压工况频发先导阀泄露、安全阀频繁动作、液压泵频繁打压等故障, 井口控制盘运行稳定性存在一定的挑战。本文主要通过对高温高压气田井口控制盘的故障研究, 找到故障根源, 分析影响稳定的温度、储能器等因素, 通过数据计算, 创新提出降低高温高压气田井口控制盘整体工作压力的技术方案, 实现降低井口控制盘液压回路备件故障率, 提升了井口控制盘稳定运行。验证了随着气井井口压力不断下降, 无人井口控制盘高压力设点可实现同步降低调整, 实现稳产高效, 为南海高温高压无人井口控制盘设计提供实际参考标准。

关键词: 高温高压; 井口控制盘; 降压; 稳定性; 经济效益

中图分类号: TE54 **文献标识码:** A **文章编号:** 1674-5167 (2026) 005-0071-03

Enhancing Stability and Economic Benefits of Wellhead Control Panels in High-Temperature, High-Pressure Gas Fields

Zhang Xiaolu (CNOOC China Limited, Hainan Branch, Haikou Hainan 570100, China)

Abstract: A platform in the South China Sea is an unmanned wellhead platform operating under high-temperature and high-pressure (HTHP) conditions. The hydraulic supply circuit pressure of the subsurface safety valve in the common module of its wellhead control panel has long been maintained near the upper limit of the spare parts' pressure rating (approximately 9400 psi). This critical pressure condition frequently leads to operational failures such as pilot valve leakage, repeated activation of safety valves, and frequent pumping by hydraulic pumps, posing significant challenges to the stability of the wellhead control panel. This paper investigates the root causes of these failures by analyzing factors affecting stability, such as temperature and accumulator performance. Through data calculations, an innovative technical solution is proposed to reduce the overall operating pressure of the wellhead control panel in HTHP gas fields. This approach effectively decreases the failure rate of hydraulic circuit components and enhances the panel's operational stability. Furthermore, it is verified that as the wellhead pressure gradually declines, the high-pressure set point of the unmanned wellhead control panel can be adjusted downward accordingly, ensuring stable production and operational efficiency. The findings provide practical reference standards for the design of unmanned wellhead control panels in HTHP environments in the South China Sea.

Keywords: High-temperature and high-pressure; Wellhead control panel; Pressure reduction; Stability; Economic benefits

1 背景

海南某平台 (以下简称 A 平台) 是高温高压无人井口平台, 天然气年产量达到 10 亿方, 井口控制盘作为关键设备若不能稳定运行将严重影响生产时效。基于高温、高压、无人三个特点, A 平台井口控制盘的设计与一般井口控制盘有两个不同点, ①由于无人平台没有仪表风系统, 其气动控制回路气源由氮气瓶单独提供而非一般由仪表风系统提供, 如果气源回路存在泄漏井口控制盘将无法稳定运行; ②由于地层压力高, 而液压回路压力须大于井底压力才能打开井下安全阀, 因此电动液压泵的压力设点高达 9400psi, 也使得整个井下液压回路压力趋近达到 10000psi 的临界点。

在正常运行中, 井口控制盘液压泵出口压力到达 9400psi, 整个液压回路安全阀压力设点为 10000psi, 各回路安全阀、减压阀设计压力为 4000-10000psi,

公共模块井下安全阀液压供给回路压力约为 9000psi, 主阀、翼阀回路液压压力从 9400psi 经过一级减压到 4500psi, 前后差压高达 4900psi, 已达到减压阀和安全阀量程极限值, 长期运行导致井口控制盘液压回路元器件故障率高, 自运行起, 陆续出现三通先导阀内漏、指示器故障、减压阀失效、安全阀内漏等故障。并且由于 A 平台是高温高压气田, 井口控制盘单井模块井下安全阀液压油在长期高温后, 液压油压力由于“热胀冷缩”导致液压油压力升高, 在 9000psi 压力下, 持续升高, 会导致单井井下安全阀设点起跳回流, 导致电动液压泵的频繁打压, 进而影响井口控制盘稳定性。

由于 A 平台为无人值守井口平台, 井口控制盘发生故障后维修人员无法及时到场处理, 将导致维修时间延长, 每延迟一小时恢复生产就会额外造成气量损失约 10 万方, 根据故障率、影响结果、维修时间估算,

井口控制盘故障导致的气量损失一年可达 1500 万方，严重影响 A 平台的产能释放。因此，如何降低井口控制盘设备故障率，提高运行稳定性是一个亟需研究和解决的问题。

2 井口控制盘控制原理

A 平台井口控制盘从控制回路主要分为气动控制回路和液压控制回路。由于处于无人井口高温高压平台，平台没有空压机等仪表风设备，气动控制回路气源由氮气瓶单独提供，主要由易熔塞控制回路、ESD 手动报警站回路及内部逻辑控制回路组成。液压控制回路压力源由电动液压泵提供，由于处于高温高压气田，液压回路压力须大于井底压力，才能打开井下安全阀，井口盘内配备两台电动液压泵，一主一备，电动液压泵根据压力开关实现自动启停，当压力开关低于 8000PSI，启动主泵打压，当压力继续低于 7000PSI，启动备用泵，当压力高于 9300PSI，停主备泵。

液压回路分为井上、井下及关断阀三路，井上液压回路上压力设定值为 1800PSI（设计压力 6000PSI），井下液压回路上压力设定值为 9000psi（设计压力 10000PSI），现场关断阀液压压力设点 2500PSI，为保证液压回路中压力在正常范围内，配备有手动液压泵（1 台）用于紧急操作，当液压系统气源出现故障时，可手动操作此泵来保证液压系统的正常工作。

3 井口控制盘稳定性提升

A 平台为高温高压气田，井口控制盘内液压压力最高超过 9000psi，电动液压泵的频繁启动，会打破井口控制盘内液压回路的稳定性，启泵会存在脉冲冲击，影响井口控制盘内元件使用寿命。井口控制盘稳定性提升主要目的是降低电动泵频繁打压，减少启停泵对备件的冲击影响，提高设备的运行稳定性。主要从整体降压、储能器对井口控制盘稳定性影响两方面进行分析及提升。

3.1 井口控制盘整体降压依据及方案

通过手动打压的方式测试采油树井下安全阀最小开井压力，用以降低井口控制盘公共模块井下安全阀液压回路供给压力，尽量远离 10000psi 极限工况，提高元器件使用寿命及稳定性。

井下安全阀开井压力通常与关井压力 shut-in pressure（油嘴全关，开井时采油树静压）有线性关系，以贝克休斯公司井下安全阀为例：

井下安全阀开启压力（operating pressure at safety valve equalizing pressure is same as opening pressure）设定 = 1950psig + shut-in pressure。

依据上述公式，井下安全阀相关控制压力可以

逐年调整，根据实际各单井气井工况，单井采油树静压最高约为 5100psi，故第一次测试开井压力设为 7050psi。

在整个测试过程中，用手动打压泵连接在采油树井下安全阀仪表液控管线，手动打压至给定压力值，通过采油树油嘴流量判断井下安全阀是否开启。

表 1 井下安全阀最小开启压力测试

位号	当前压力 (psi)	当前采油树静压 (psi)	井下安全阀理论开启压力 (=1950+ 静压) psi	现场实际测试最小开井压力 (psi)
A1	8900	5100	7050	7000
A2	8800	5100	7050	7000
A3	8800	5000	6950	7000
A4	8800	4950	6900	7000
A5	8800	4180	6130	6200
A6	8800	4900	6850	7000
A9	8800	4960	6910	7000
A10	8800	3650	5600	5700

从测试结果与理论开启压力对比，开井压力与理论压力差别不大，可根据采油树静压压力，反推井下安全阀最小开井压力，后续在工况由调整情况下，可根据此公式进行调整压力。A 台井下安全阀最大开启压力为 7000psi，即液压油压力在 7000psi 的时候能够打开 A 台所有井井下安全阀，可将 A 台井口控制盘公共模块整体液压回路调整至 7000psi。

A 台井口控制盘公共模块液压回路整体从 9400psi 降压到 7000psi 左右，其中电动液压泵出口压力调至 7500psi 左右，经过减压后的控制回路压力调至 7000psi，以达到井口控制盘整体降压目的。调整内容包括液压泵的启停设点调整、公共模块井下安全阀回路减压阀设点调整。

表 2 整体减压各系统设定调整表

序号	设点调整内容	具体位号	调整前设点 (psi)	调整后设点 (psi)	备注
1	启液压泵主泵压力开关	C21D.2	8000	6500	井口控制盘
2	启液压泵备泵压力开关	C21D.1	7000	5500	
3	停液压泵压力开关	C21D.3	9400	7500	
4	井下安全阀回路减压阀 (主)	C12C.1	9000	7000	
5	井下安全阀回路减压阀 (备)	C12C.2	9000	7000	

3.2 储能器对井口控制盘稳定性影响分析

井口控制盘储能器作用是当回路因管线渗漏、液压油受热膨胀等原因造成压力波动时，储能器可释放或吸收部分能量来维持液压回路压力的相对稳定，以免液压油泵频繁启动。同时在开井时，为快速打开液压阀门提供能量。A 台井口控制盘电动液压泵出口有

表 3 A 台井口控制盘储能器概览

储能器编号	储能器容量	数量	MWP 压力	使用位置
C18A	10L	2	10000psi	电动液压泵出口； 井下安全阀供给回路；
C18B	20L	2	5800psi	地面安全阀一级、二级减压阀后；
C18C	2L	1	1450psi	液压控制回路一级减压阀后；
C18D	32L	1	5800psi	关断阀一级减压阀后；
C18E	50L	3	4785psi	关断阀二级减压阀后；

10L 储能器 1 个，低压回路中，MSSV/WSSV 低压回路一级减压阀后有 20L 储能器 1 个，二级减压阀后有 20L 储能器 1 个，SDV/BDV 低压回路一级减压阀后有 32L 储能器 1 个，二级减压阀后有 50L 储能器 3 个，低压回路储能器容量大，数量多。

井口控制盘电动液压泵出口储能器只有 10L，而下游低压回路储能器容量大，数量多，当低压回路有液压油消耗压力降低时，上游高压回路将会向低压回路补充液压油，导致电动液压泵出口压力降低，降低到压力开关设点后，电动液压泵将启动补压，由于液压泵输出流量远大于向低压回路补压的流量，泵出口压力快速上涨，由于无人井口平台使用的是电动液压泵，控制方式为开环启停控制，而不是闭环控制，不能根据泵出口压力情况调节泵的输出流量，当泵出口压力达到泵停止设点时，电动液压泵将停止。而在低压回路压力未达到设点前，系统将持续向低压回路补压，会导致泵出口压力再次下降，电动液压泵会再次启动，并重复上述过程，直到低压回路达到压力设点，液压回路系统才会进入稳定状态，在此之前，电动液压泵将会频繁启动。

在环境温度过低时，由于存在“热胀冷缩”原理，低压回路储能器压力降低，液压泵出口储能器补压，由于存在容量差，液压泵也会频繁打压，直至低压回路储能器压力达到稳定状态。电动液压泵的频繁启动，会导致对泵出口储能器以及对下游低压回路各控制元件的冲击，缩短电动液压泵、储能器、减压阀及安全阀等元件的使用寿命，并导致设备元件故障率增高。

通过分析储能器安装位置、容量大小及环境温度对其工作的影响，在井口控制盘电动泵出口新增储能器或更换容量大的储能器，在下游压力波动及下降情况下，由电动泵出口储能器稳定、持续供压，不会导致电动泵频繁打压，从而实现液压压力稳定，提升井口控制盘稳定性。

4 改造成果及经济效益

通过对高温高压无人井口平台井口控制盘电动液压泵频繁打压故障及问题分析，采用井口控制盘整体降压方案，降低公共模块整体工作压力，使其工作压力远离设备元件极限工作压力，降压后低压回路一级

减压阀差压从 4900psi 降低至 2500psi，提高了减压阀稳定性，进而整体提升井口控制盘稳定性，通过观察对比，井口控制盘故障率减低了 90% 左右。同时针对储能器的安装位置及容量进行分析，从根源上分析、解决了电动液压泵在环境温度变化情况下，频繁打压问题。此次整体降压改造的成功实践，取得了如下成果：

4.1 安全稳产方面

井口控制盘故障率降低，维修人员无需频繁前往 A 平台，减少了人员攀爬软梯登临 A 平台的次数，降低了人员坠海风险，也降低了拖轮靠泊时撞击平台的风险。

4.2 经济效益方面

此次改造提高了井口控制盘设备稳定性，每年减少往来井口检维修作业拖轮成本、配件采购以及人员作业等综合成本近 50 万，减少天然气产量损失约 1500 万方/年。

4.3 应用前景

南海作为国家海洋油气资源准备的重要海域，大量丰富的海洋油气资源亟需开发，而高温高压，甚至超高温超高压是将来南海主要的油气生产领域。而此次井口控制盘的整体降压成功实践为南海高温高压无人井口控制盘设计提供了两个改进方向，一是高低压分离设计，将井口控制盘液压系统的高压与低压系统分开，防止高压侧备件损坏导致整个系统备件故障；二是逐年降压设计，根据实际地层压力逐年进行压力设点调整，延长设备备件使用寿命。

参考文献：

- [1] 王树青, 乐嘉谦. 自动化与仪表工程师手册 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2018-10-1.
- [2] 张超. 浅谈海上平台井口控制盘的设计工作 [J]. 仪器仪表用户, 2020, 27(7): 99-101.
- [3] 吕瑞升, 李勇, 刘海涛, 李菲, 张龙, 何金平. 适用于浅水的水下生产控制系统研究 [J]. 天津科技, 2018, 45(5): 59-61, 64.
- [4] 井口控制盘技术手册 [Z]. PETRICO PTE LTD, 2018.
- [5] 屈少林. 高压气田井口控制盘的优化研究及应用 [J]. 石油石化自动化, 2017, 53(01): 37-40.