

# 磨溪气田井安系统应用现状探讨

卓宇晨, 伍修国

西南油气田川中油气矿, 四川 遂宁

收稿日期: 2024年6月24日; 录用日期: 2024年8月26日; 发布日期: 2024年9月2日

## 摘要

近年来, 随着我国能源需求的增加和资源开发的深入, 油气开采的风险也随之增大。在油气开发过程中, 易出现管线超压、破裂泄漏、失压、火灾等危险情况。为了及时发现意外事故的发生, 确保生产安全, 需要在井口设置高效的安全系统。本文主要介绍井安系统(井口地面安全控制系统)工作原理及结构, 探讨了井安系统在磨溪气田的运行情况和使用方法, 分析了磨溪气田目前井安系统运行维护过程中存在的主要问题, 提出了解决方案。本研究为提高气井天然气的安全生产保障能力提供了经验和思路, 具有一定的实用价值。

## 关键词

井安系统, 安全设备, 运行维护, 优化措施

# Discussion on the Current Application Status of Well Safety System in Moxi Gas Field

Yucheng Zhuo, Xiuguo Wu

Southwest Oil and Gas Field Chuenzhong Oil and Gas Mine, Suining Sichuan

Received: Jun. 24<sup>th</sup>, 2024; accepted: Aug. 26<sup>th</sup>, 2024; published: Sep. 2<sup>nd</sup>, 2024

## Abstract

In recent years, with the increase in China's energy demand and the deepening of resource development, the risk of oil and gas exploitation has increased. In the process of oil and gas development, pipelines are prone to overpressure, rupture and leakage, loss of pressure, fire, and other dangerous situations. In order to detect accidents in time and ensure production safety, an efficient safety system is required at the wellhead. This paper mainly introduces the working principle and structure of well-safety system (wellhead surface safety control system), discusses the operation and use of well-safety system in Moxi gas field, analyses the main problems in the opera-

tion and maintenance of well-safety system in Moxi gas field, and puts forward solutions. This study provides experience and ideas to improve the safety and security of natural gas production from gas wells, which has some practical value.

## Keywords

Well-Safety System, Security Equipment, Operation and Maintenance, Optimisation Measures

Copyright © 2024 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 绪论

随着天然气工业的发展,尤其是含硫天然气的开发。为了保证天然气生产本质安全和井口装置上下游站场的安全运行,根据国家标准要求,必须在天然气井井口装置上安装井口高低紧急关断阀,也就是井安系统[1],以便在采集气站场发生意外和失控的情况下快速截断井口气源[2]。因此,井安系统在天然气井的安全生产上发挥着越来越重要的作用,是气井生产安全的第一道防线。我国过去只在一些高危气井安装井安装置,随着国家对安全和环境的高度重视,油气行业在井口安全系统方面的应用也逐渐得到加强。中国石油天然气集团公司在其长庆油田的井口安全系统中也采用了智能化技术。他们引入了物联网和大数据分析技术,实现了对油井设备的实时监测和预测性维护[3]。通过系统的智能化管理,大大提高了生产效率,降低了事故风险,为长庆油田的生产运营提供了重要支持。

国外从事石油勘探开发已有许多年的历史,具有丰富的工程实践经验。美国石油公司 BP 在其位于北海的油田中使用先进的井口安全系统,采用了先进的传感器技术和远程监控系统,实现对油井的实时监测和控制。一旦发生异常情况,系统会自动发出警报并采取相应的措施,保障了员工的安全和设备的稳定运行[4]。

井安系统是在天然气和石油井口附近设置的关键安全装置,主要用于监测和应对突发事件,确保井口运行的安全稳定。这些系统通常包含一到多个自持式截断阀门,当站场发生管线超压、破裂泄漏、失压、火灾等危险情况或者遭遇意外断电等情况时,系统会自动触发关闭井口操作,并同时发出警报信号,以防止事故的发生或扩大[5]。此外,井安系统还具备远程控制的功能,可以通过远程指令实现关井操作,保护井场设备和人员安全。通过高效的监测和响应机制,井口安全系统为天然气生产提供了关键的保障,最大程度地确保生产安全,同时也为实现油气生产的本质安全目标作出了重要贡献。本文对井口安全系统进行介绍,同时对井安系统的种类、作用进行分析,最后根据天然气田的实际生产经验,提出井安系统使用的评价和总结[6]。

## 2. 井安系统介绍

根据生产厂家的不同,井安系统的结构和组成有细微的差异,但是大体上由井安控制阀,井安控制柜、检测管道高低压先导阀、易熔塞和配套管路等组成。

### 2.1. 高低压导阀

高低压先导阀是安装在需要超压或失压保护的管段的机械压力传感装置。在井安系统中,一般安装于二级节流后,在压力较高的气井中,也在一级节流后的测温测压套上设置导阀[7]。井安系统使用的先

导阀远离与先导式安全阀类似, 通过调节导阀弹簧的力大小设置高低压起跳值。在正常情况下, 管段内部所取输压在导阀限值之内, 驱动控制回路压力被隔断, 当管段内部压力超出导阀限值, 感测阀芯推动阀芯克服弹簧力向上向下运动, 控制回路中的压力经管路进入控制阀门, 使井口控制阀关闭。当管道内的流体压力降低到设定的低压限制值时, 低压导阀会自动启动以增加压力, 确保管道系统能够维持运行所需的最低压力水平。还可以根据设定的压力范围, 实现对流体压力的调节和控制, 以确保管道内的流体在安全范围内稳定流动。

## 2.2. 井安控制柜

井安控制柜是现场自力式控制回路检测控制信号以及安全仪表控制回路信号接收、联锁执行, 为井安控制阀提供驱动介质和动力的集成体, 是安全联锁的“中枢神经”[7]。它安装在现场高低压先导阀(或者安全仪表控制回路中的电磁阀)与井口安全切断阀的中间, 具有手动调节驱动压力和检测控制回路压力状态, 可实现人工手动、远程或者自动关闭的功能。在正常操作时, 面板上中继阀球形手柄通常被手动拉出, 控制信号气体压力(现场高低压先导阀或者电磁阀)进入中继器使之处于开启状态, 供压井口的压力通过供压出口进入执行器或系统; 当感应装置(高低压先导阀或者安全仪表信号)开始触发, 中继阀控制信号管线压力迅速降低或者丢失, 在弹簧的压缩作用下处于关闭状态, 中继阀供压出口与泄放口连通排出执行气介质, 从而触发执行器快速泄放阀关闭执行器或系统[8]。

## 2.3. 井安控制阀

井口安全控制阀通常是指用于油气井口安全系统中的阀门, 其作用是在井口发生紧急情况或异常情况时, 通过控制阀门的开启或关闭来实现对井口压力、流量等参数的调节和控制, 以确保井口的安全运行。井口安全控制阀在油气开采行业中扮演着关键的角色, 通过对井口系统压力、流量等参数的控制和调节, 确保井口设备和管道系统的安全运行, 保障生产过程的安全和稳定。

井安控制阀放置于井口的各个部分, 根据生产气井的压力, 安全等级分别配置于地面节流针阀前, 井口四号阀, 井下三处, 井口压力越大, 需设置的控制阀越多, 按应急响应规范, 正常情况下使用地面翼安全截断阀关断, 其一般得电关, 井口四号阀和井下安全阀仅火灾和大型联锁关断、紧急停车时触发, 井下安全阀和井口四号阀使用液压油作为压力介质, 由压缩氮气供能, 井口地面翼截断阀一般使用氮气作为驱动介质, 有时也使用液压油, 当井安系统触发时, 井安系统所使用的闸阀与动力源配合, 完成启闭, 从而保障生产站场的安全。

## 3. 井安系统使用方法

### 3.1. 离线就地控制

井安系统就地控制是指通过现场设备和控制器, 在油气井口附近的设备控制室或操作台上进行对井口安全系统的实时监控和操作。与远程控制相比, 就地控制更加便捷直接, 操作人员可以在井口附近实时监控井口安全系统的运行状态、参数数据, 并通过控制器对系统进行调节和控制。操作人员可以通过控制室或操作台上的监视器、显示屏实时查看油气井口安全系统的运行状态、泵浦、阀门等设备的工作情况, 及时了解井口设备的运行状态。就地控制系统通常配备有控制器, 操作人员可以通过控制器对井口安全系统的参数进行调节, 如调节阀门开度, 调整泵浦的运行速度等, 以实现系统的准确控制。在出现系统故障时, 操作人员可以通过现场就地控制系统进行故障诊断和排除, 确保井口安全系统能够尽快恢复正常运行。

井安系统就地控制分为自动触发和人工手动关闭两种方式, 其中一种自动触发方式主要是取压口输

压超过设置的导阀阈值, 触发井安控制系统, 地面翼安全阀关闭, 高低压先导阀压力值可通过自力式弹簧调整, 以满足工艺参数值管理要求[9]。另一种自力式触发方式是高温触发, 指井口, 井安控制柜处, 布置的易熔塞在环境温度超过 120℃的情况下, 易融塞中不耐热部分融化, 控制回路中的压力经管路进入控制阀门, 触发井安控制系统, 地面翼安全阀关闭。人工触发方式是操作人员在生产过程中, 发现危及安全生产, 或其他需要关井的场合时, 在井安控制面板上拍下井口安全切断阀的按钮实现关闭。在断电的情况下, 以上离线功能需要通过切换到不经过电磁阀的旁路实现[10]。

### 3.2. 远程控制

井安系统远程控制是指通过中心站站控系统(DCS)或者单井控制系统(RTU)远程终端发出的连锁控制信号或者关井信号, 作用于井安控制柜中电磁阀, 电磁阀断电, 触发控制回路, 地面翼井安阀关井。单井一般设置有 RTU 系统, 以完成场站工艺参数的采集、控制和安全连锁保护[11]。同时, DCS 和 RTU 系统可以实现对井口安全系统的连锁控制, 当其他阀门, 井口发生紧急关断时, 可以控制连锁关井。

## 4. 常见问题及解决方案

在磨溪气田现场对井安系统的使用和故障分析中, 归纳出井安系统使用过程中常见故障, 具体故障分类如表 1 所示。

不难看出, 在磨溪气田, 井安系统最主要的问题是管路泄漏和无法远程关井, 对以下常见故障进行分析, 归纳出解决方法, 如表 2 所示。

**Table 1.** Analysis of common failures of well-security system in Moxi gas field

**表 1.** 磨溪气田井安系统常见故障分析

故障类型	故障数目	占比
漏气/漏油	18	47.30%
无法远程关井	7	18.40%
无法打开井安阀	11	30%
阀位问题	1	3%
调压阀故障	1	3%

**Table 2.** Solutions to common problems of well-safety systems

**表 2.** 井安系统常见问题解决方法

常见问题描述	常见原因分析	解决方法
井安阀无法打开	电磁阀失电	检查信息化问题
	氮气压力不足	更换氮气瓶
	输压处于导阀调校值外	重新调校导阀
井安阀无法远程关闭	井口安全阀阀板与天然气介质直接接触, 从井底携带出的粘稠物等高分子化合物造成阀板卡阻等。	更换截断阀
	超压、失压先导阀或者 RTU 系统超压失压信号未传至井安控制柜中继阀, 导致执行器气缸未泄压。	检查信息化问题
阀位显示异常	井安阀开关未完全到位	进一步分析
	阀位感应霍尔开关损坏	更换霍尔开关
	阀位感觉存在虚接	重新接线

续表

井安阀失压	氮气泄漏	紧固接口
	液压油控制回路腐蚀, 发生泄漏	紧固接口
	液压油蓄能器损坏	更换液压蓄能器

## 5. 目前主要问题和问题解决方案

井安系统主要用于紧急情况关井, 日常中不作为日常开关井使用。在川中油气矿磨溪气田对井安系统的使用过程中, 对日常所发生的问题进行分析, 可以得到如下结论:

### 5.1. 井安系统关阀速度慢

在设计阶段, 控制柜和取压口, 信息化机柜应尽量设计于相对较近的区域, 取压管与气路越短, 关阀用时越短, 在正常情况下, 这个时间应在 5 秒以内, 磨溪气田大量井口投产于 2000~2010 年, 在设计阶段并未考虑井口安全系统和信息化问题, 井安系统为生产后期改造后设置, 其取压流程管道 - 控制柜 - 井口 - 信息化机柜四者距离较远, 关断时间长至 10 秒左右, 并且压力不足, 存在一定隐患, 对于改造型号, 可以在取压导阀处[12], 井口执行器处, 各加装一个泄放阀加快控制信号管线气体泄放, 快速触发井安切断阀关阀动作。

### 5.2. 液动井安系统故障率高

目前磨溪气田使用井安系统动力源具有手动和使用压缩氮气两种类型, 对于只含有地面翼安全截断阀的井安系统, 压缩氮气既是动力源也是介质, 对于含有井口四号阀和井下安全阀的井安系统, 和手动蓄能的井安系统, 使用液压油作为动力介质[13]。在设计目标中, 手动蓄能的井安系统适用于平均气温较低, 同时无法及时提供压缩氮气的生产井口, 但其存在故障率高, 易损坏的问题, 液动井安柜液压油注入密封不严, 液压油被水稀释污染, 导致系统工作不稳定。同时液压油在井安系统开启关闭中温度升高, 液压油内的水被气化, 液压油的压缩性增大, 影响液压系统工作的平稳性; 油中含有气体会导致液压系统的容积效率下降, 能量损失增大, 传递效率下降; 气化后产生的气泡在高压作用下被击碎, 造成局部无力, 使元件动作响应性大为降低, 动作迟滞, 并导致液压元件气蚀, 使金属表面产生点状腐蚀性磨损, 同时气泡被压缩时放出大量热量, 局部燃烧氧化液压油, 严重时会造成碳元素游离, 使液压油发黑, 导致液压油劣化变质[14]。严重影响系统正常工作, 同时会造成过滤器堵塞, 降低精确度。在磨溪气田 2024 年度的 40 井安系统故障中, 有 37 次是尤其是蓄能器损坏, 液压油泄漏等使用液压油的井安控制柜故障, 如表 3 所示。综合四川盆地的气候条件, 磨溪气田毗邻遂宁市区, 压缩氮气易于获取的特点, 建议在接下来的产能建设中, 使用压缩氮气作为动力源。对于故障率过高的液压井安系统, 应该逐步替代为使用压缩空气的型号[15]。

**Table 3.** Distribution of well-safety types and failures

**表 3.** 井安种类和故障分布表

井安种类	井安	占比
液动	37	92%
气动	3	8%

## 6. 总结

目前, 磨溪气田大部分生产井实行无人生产, 井安系统担负第一时间紧急关井的功能, 同时, 磨溪

气田生产井数量庞大, 分布分散, 距中心站时间长, 因此, 井安系统在天然气安全生产中占有越来越重要的地位。但井安系统故障的问题同样突出, 在接下来的生产中, 应当强化与井安系统生产厂家的合作, 集中解决井安系统失效, 故障率高的问题, 探索出高效处理故障, 维护井安系统的方案, 为安全生产做出贡献。

## 参考文献

- [1] 江通, 冯应海, 王丽萍, 等. 苏里格气田井口紧急截断阀应用现状探讨[J]. 中国石油和化工标准与质量, 2021, 41(13): 113-114.
- [2] 刘志荣, 余忠仁, 钟小木, 等. 井口安全系统的应用[J]. 天然气与石油, 2009, 27(4): 38-40.
- [3] 李瑜, 钟谨瑞, 张运生, 等. 国内外井口安全系统的现状及基本做法[J]. 天然气工业, 2008, 28(1): 140-142.
- [4] American Petroleum Institute (2001) Recommended Practice for Analysis, Design, Installation, and Testing of Basic Surface Safety Systems for Offshore Production Platforms. API Recommended Practice 14C Seventh Edition.
- [5] 赵果, 王洪松, 陈刚, 等. 井口控制系统用于普光气田[J]. 油气田地面工程, 2011, 30(12): 104-105.
- [6] 李战平, 鲁艳峰. 长北气田气井井口控制系统的设计与应用[J]. 自动化仪表, 2008, 29(3): 44-46, 49.
- [7] 许亚辉. 超高压含硫气井井口地面安全控制系统应用分析及问题对策研究[J]. 广东化工, 2023, 50(5): 94-96.
- [8] 贺洪波, 杨田, 廖青松, 等. 超高压气井井口安全系统及其应用[J]. 天然气勘探与开发, 2017, 40(3): 96-101.
- [9] 腰世哲, 丁亚涛, 申云鹏, 等. 文 96 储气库注采井井口安全控制系统[J]. 天然气与石油, 2018, 36(3): 23-27.
- [10] 李国娜, 吉万成, 张春生, 等. 塔里木高压气田井口安全控制系统[J]. 油气田地面工程, 2014, 33(9): 18.
- [11] 陈擎东, 李军, 罗辉. 高压气井井口控制柜远程关断系统[J]. 油气田地面工程, 2011, 30(8): 76-77.
- [12] 武玉贵. 井口安全系统设计与研究[D]: [硕士学位论文]. 青岛: 中国石油大学(华东), 2013.
- [13] Jian, L. and Hailin, X. (2015) Design Method of Offshore Oil Platform Wellhead Control Panel. *Automation in Petro-Chemical Industry*, **51**, 25-27.
- [14] 侯宗伦, 吕卓, 钟涛, 等. 液压井安系统油品变质问题分析及改进[J]. 石化技术, 2021, 28(2): 50-51.
- [15] 杜龙飞, 张瑶. 元坝气田井口安全控制系统优化[J]. 内蒙古石油化工, 2014, 40(22): 80-82.