

文 96 储气库注采井井口安全控制系统

腰世哲¹ 丁亚涛² 申云鹏² 刘佳佳¹

1. 中国石油化工股份有限公司天然气榆济管道分公司, 河南 濮阳 457001;

2. 廊坊开发区中油龙慧自动化工程有限公司, 河北 廊坊 065002

摘 要: 保证地下储气库长期安全运行的关键之一是注采井的可靠运行, 井口安全控制系统是气井安全生产的重要保障。储气库注采井运行过程中须承受强注、强采的工况, 因而对井口安全控制系统提出了更高的要求。针对地下储气库运行特点, 基于井口安全控制整体理念, 从远程控制终端、井场 ESD 系统及井口液压控制系统等方面开展了详细研究, 设计形成一套具备远程紧急关井、低压自动关井、火灾关井等多项功能的注采井井口安全控制系统。现场实践证明, 文 96 储气库注采井井口安全控制系统具有性能稳定可靠、操作方便等特点, 保障了文 96 地下储气库 14 口注采井安全平稳运行。研究结果可为油田高压气井在用井口安全控制系统优化改造、后续地下储气库注采井井口安全控制系统设计及设备选型提供参考。

关键词: 地下储气库; 注采井; 逻辑; 远程控制终端; 液压控制系统

DOI:10.3969/j.issn.1006-5539.2018.03.005

Wellhead Safety Control System of Wen 96 Gas Storage for Injection-Production Wells

Yao Shizhe¹, Ding Yatao², Shen Yunpeng², Liu Jiajia¹

1. Yuji Pipe Branch of Gas Company, Sinopec, Puyang, Henan, 457001, China;

2. Longhui Automation Engineering Co., Ltd, CNPC, Langfang, Hebei, 065002, China

Abstract: The reliable operation of injection-production wells is one of the key elements for the safety of the underground gas storage (UGS). It is necessary to use the safety control system of wellhead for the security production. Influenced by intensive injection and production, a higher requirement is proposed for wellhead safety control system. Focused on the characteristics of UGS and the overall concept of security control, which includes the remote control terminal, the ESD system in the well site and hydraulic control system in the wellhead, this paper designed a system safety control system with such functions as remote emergency shut-in, low-pressure automatic shut-in and fire shut-in. The site practice has proved it to be reliable and easy to be operated, which could provide safe and smooth operation for the 14 injection-production wells in the UGS of Wen 96. The results provide reference for the optimization of wellhead safety control system, design of underground gas storage injection-production wellhead safety control system and equipment selection of oilfield high pressure gas well.

收稿日期: 2017-09-12

基金项目: 中国石化“中原文 96 枯竭气藏储气库注采技术研究”(310013)

作者简介: 腰世哲(1985-), 男, 河北邢台人, 工程师, 硕士, 主要从事天然气地下储气库建设与运行管理工作。

Keywords: Underground gas storage; Injection-production well; Logic; Remote control terminal; Hydraulic control system

0 前言

天然气地下储气库具有安全可靠、存储量大及运行成本低等优势,目前已经成为各国储存、调配天然气的基础设施,是长输管道重要的配套部分^[1-4]。注采井一般为注采合一井,生产过程中注采井强注、强采,周期性承载交变载荷的变化^[5-11]。因此,储气库注采井要求气密封性好、服役时间长,对其井口安全控制系统提出了更高的要求。

文96地下储气库为典型的枯竭气藏型储气库,由原文96气藏改建而成,气库设计14口注采井。由于地处油区,为了减少土地占用,实施井口集中管理,满足后期生产频繁操作的要求,通过综合对比分析,注采井采用丛式井组布井。其注采井口安全控制系统可靠性、稳定性要求极为苛刻。

1 控制系统构成及功能

1.1 系统组成

井口安全控制系统由地面控制系统和封井装置两部分组成,其中地面控制系统是指注采井井口液压控制柜、低压限压阀、易熔塞及现场仪表;封井装置则包括井口部分和井下部分,井口部分主要指安装在采气树上的地面安全阀,而井下部分指安装在油管内的井下安全阀和安装在油套环空内的封隔器^[12-14]。文96地下储气库注采井井口安全控制系统设计采用地面和井下二级双重安全控制,通过井下和井口安装的压力传感器和易熔塞,将异常低压和火灾信息传递给控制面板,由其发出报警信号,自动关闭井下和井口安全阀。井口安全控制系统也可实现就地手动控制,对开关井所需的各种功能和状态进行自动监控,监控信号可通过远程控制终端(RTU)实现远传至注采站ESD系统。井口安全控制系统组成见图1。

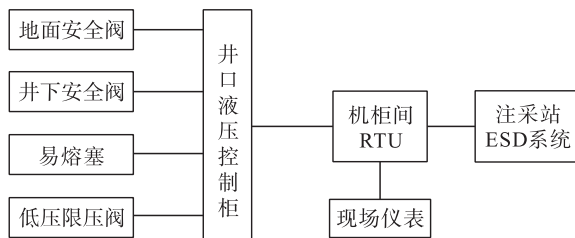


图1 井口安全控制系统组成

1.2 主要功能

井口安全控制系统是一种结合现场实际工况的ESD

系统,是文96地下储气库ESD系统的重要组成部分,主要包括以下功能:

1)能够实现对接采井地面安全阀和井下安全阀的有效控制,在紧急情况需要关闭井口时,依次关闭地面安全阀和井下安全阀。

2)完全关井时地面安全阀和井下安全阀的先后关井时间在0~80 s内可调节;任何关井状态必须手动复位,重新手动开井。

3)井口注采管线上的低压限压阀检测到低压信号时关闭采气树上的地面安全阀,切断气源。

4)地面安全阀和井下安全阀的液压控制回路可自动补压,超压自动排放,以维持安全阀正常开启。

5)井场失火时易熔塞在超过允许温度时融化,井口液压控制柜自动关断地面安全阀、井下安全阀,实现关井。

6)井口安全控制系统上传8个信号(井口压力/温度、油套压力/温度、易熔塞状态、注采管线压力、地面及井下安全阀状态),接受中控室1个ESD系统远程关断信号。

2 设计与实现

井口安全控制系统设计采用地面安全阀、井下安全阀、低压限压阀和易熔塞4个控制点实现动态监测和紧急关断控制,井口安全控制系统示意图见图2。

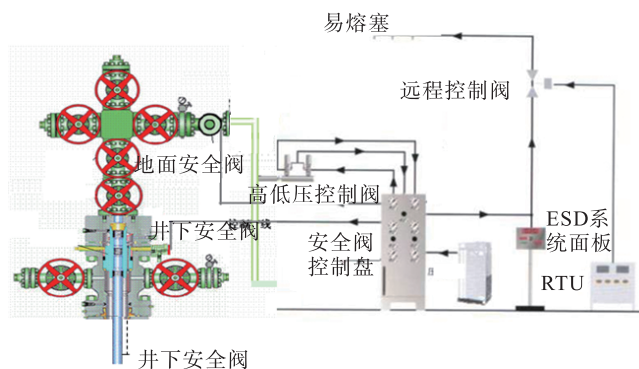


图2 井口安全控制系统示意图

注采井井口安全阀关断控制逻辑见表1。在紧急情况下,地面安全阀和井下安全阀均可实现手动控制和自动控制。地面安全阀采用远程ESD、易熔塞和低压传感器3种方式实现自动控制,井下安全阀采用远程和易熔塞2种方式实现自动控制。

2.1 井口液压控制系统

井口液压控制系统是井口安全控制系统的一个重要

表 1 注采井井口安全阀关断控制逻辑

控制方式	自动控制动作			手动控制
	远程 ESD	易熔塞	低压传感器	
地面安全阀	√	√	√	√
井下安全阀	√	√	×	√

组成部分^[15],主要包括液压动力部分、低压先导部分及控制模块,流程见图 3。采用自带液压装置驱动,不需要外部高压动力设备即可实现井下安全阀、地面安全阀的开启和关闭;当阀后压力超低、火灾易熔塞融化或管线破裂时可实现安全阀的自动关闭。井口液压控制柜选用电-液综合控制系统^[16],具有旁路控制、就地 ESD 和远程 ESD 功能。液压主体控制分地面安全阀控制及井下安全阀控制两部分,基于液压油先导低

压路控制高压动力路的工作方式,通过先导压力控制液控阀动作,液控阀控制动力路导通或关闭,从而对管线进行控制,达到打开地面安全阀和井下安全阀的目的。

地面安全阀采用带有活塞式执行机构的逆向动作的闸阀,闸阀的开、关由执行机构完成;通过地面关断阀的低压先导路控制地面安全阀动力路液控三通的开关,实现对地面安全阀的控制;地面安全阀顶部设置备帽,当对井口液压管线检修时,可拧紧备帽,强制打开地面安全阀,实现对地面安全阀的屏蔽。井下安全阀设在井下 90 m 处,主要由阀体、锁定装置、传压通道、活塞、弹簧及阀瓣等组成^[17],井下安全阀设为常闭阀门;采气树设置井边针阀,正常生产时,井边针阀处于常开状态;关闭井边针阀可实现对井下安全阀的屏蔽。

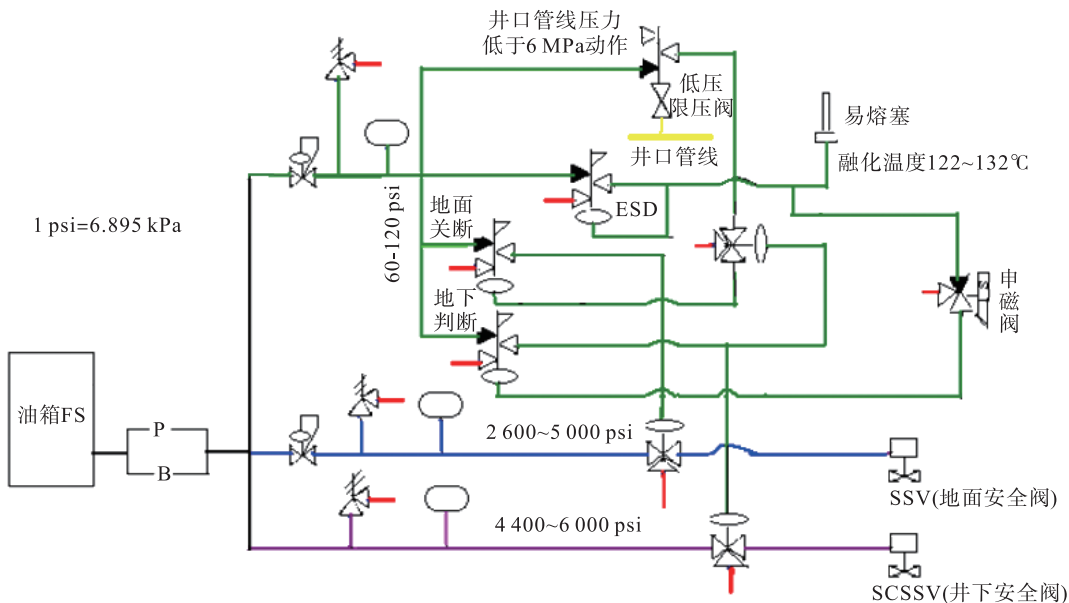


图 3 井口液压控制系统流程

2.2 远程控制终端

井场设置远程控制终端(RTU),负责采集井场智能仪表及井口液压控制系统的相关数据,并通过通信光纤将数据上传至注采站 SCADA 系统上位机,从而实现注采站对井场的远程监控;同时接受注采站对井口设备的远程操作,井口安全控制系统数据流向见图 4。

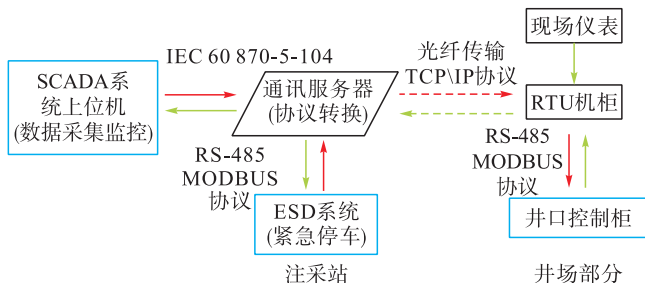


图 4 井口安全控制系统数据流向

RTU 控制系统采用高度集成的冗余架构方案^[18],通过光纤传输与注采站 SCADA 系统进行数据交换。其主要功能:1) 采用预留两线制 RS-485 接口,通过 MODBUS 协议与井口液压控制系统进行通讯,上传井口压力/温度、油套压力/温度、易熔塞状态、注采管线压力、地面安全阀和井下安全阀状态等信号;2) 通过数据采集模块采集井口管线上的压力和温度,并对压力信号进行逻辑判断是否为超低压报警;3) 将井口数据按照逻辑运算后打包发送到注采站 ESD 控制系统,并将注采站 SCADA 系统下发的关断信号传输至井口液压控制系统,按顺序关断 SCSSV、SSV 阀^[19-20]。RTU 控制系统配置见图 5。

2.3 井场 ESD 系统

文 96 地下储气库工艺系统按照功能可分为注气工艺与采气处理工艺。ESD 控制系统分四级:一级,火灾全站关断、泄压;二级,超限(可燃气体浓度、压力)全站关断;

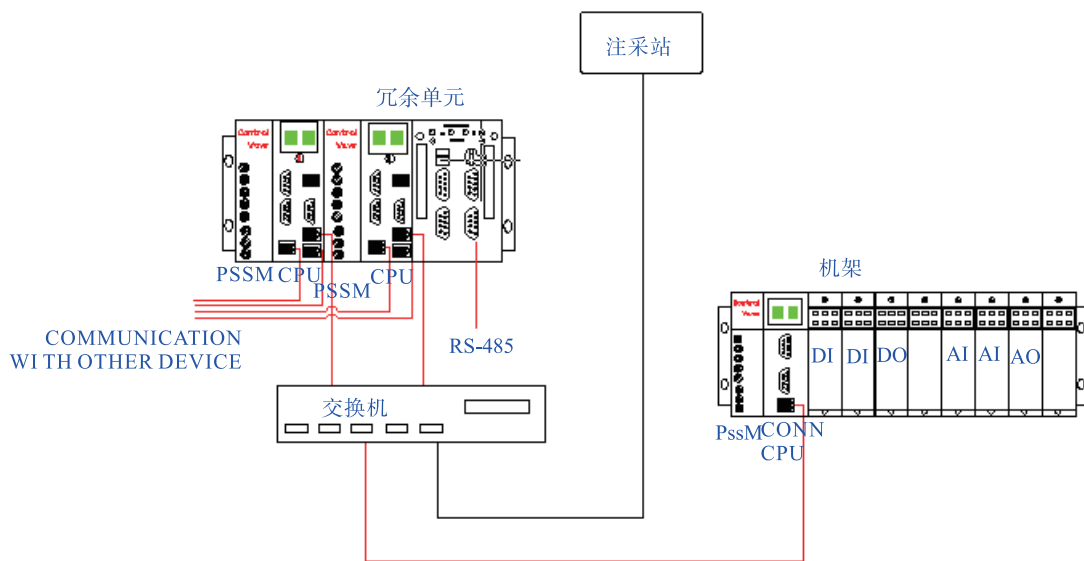


图5 RTU 控制系统配置

三级,单元关断、保压;四级,单体关断、保压。注采站内站控室设置辅助操作台,设置一级关断、二级关断、三级关断、四级关断按钮,均由人工触发。

井场 ESD 的控制属于第四级控制,主要实现以下功能:

1) 注采井单井管线压力过低时,触发井口低压限压阀动作,井口液压控制系统关断地面安全阀;同时 RTU 检测到现场智能仪表低压数据,经逻辑运算触发单井管线超低压报警,并将该报警上传至 SCADA 系统;由人工确认报警信息,触发 ESD 辅操台第四级关断按钮,ESD 系统经逻辑运算触发注采站对应单井管线紧急关断阀紧急关断。

2) 注采井井场发生火灾时,井口易熔塞融化,井口液压控制系统关断地面安全阀、井下安全阀;同时 RTU 检测到井口液控系统易熔塞状态变化,并将火灾信息上传至 SCADA 系统;由人工确认报警信息,触发 ESD 辅操台第四级关断按钮,ESD 系统经逻辑运算触发注采站对应井场所有单井管线紧急关断阀紧急关断。

3 现场实施

文 96 地下储气库地处中原油区,为了实施井口集中管理,满足后期生产频繁操作的要求,14 口注采井采用丛式井组布井,分布在 5 个井场,设计、实施了 5 套注采井井口安全控制系统。注采井井口安全控制系统安装在距井口不小于 50 m 范围内,能够实时监测注采井的井口、套管压力和温度,以及地面安全阀、井下安全阀的开关状态、易融塞状态,可实现同一井场 1~5 口井井下安全阀和地面安全阀的有效控制;既可人工现场控制,又可远程控制,具有低压限压保护、防火安全控制功能。自文 96 地下储气库投产以来,井口安全控制系统运行稳定,各项性能可靠,基本实现了对注采井井口生产的自

动化控制,紧急情况下可达到快速、有效关井的目的,较好地保障了储气库安全、平稳运行。

4 结论与建议

基于系统化设计思想,注采井井口安全控制系统充分运用工业网络、数据通信及自动控制技术,将 RTU、ESD、液压控制及 SCADA 系统等有机地连接起来,实现了对注采井快速、准确的控制。

建议在 SSV/SCSSV 液压管路上安装压力变送器,将数据经 RTU 远传至中控室,在线监控液压压力,实时掌握井口液压控制柜运行状况,确保井口安全控制系统紧急关断功能可靠;因地面安全阀、井下安全阀为常开阀门,运行人员不便从 SCADA 系统中判断注采井是否参与注采气生产,后期考虑在井口管线上增加 1 台电动阀门,接入 RTU 并上传至 SCADA 系统,以方便生产调度。

参考文献:

- [1] 付太森,腰世哲,纪成学,等. 文 96 地下储气库注采井完井技术[J]. 石油钻采工艺,2013,35(6):44-47.
Fu Taisen, Yao Shizhe, Ji Chengxue, et al. Injecting-Producing Well Completion Technique in Wen 96 Underground Gas Storage [J]. Oil Drilling & Production Technology, 2013, 35 (6): 44-47.
- [2] 华爱刚,李建中,卢从生. 天然气地下储气库[M]. 北京:石油工业出版社,1999.
Hua Aigang, Li Jianzhong, Lu Congsheng. Underground Storage for Natural Gas [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1999.
- [3] 苏欣,张琳,李岳. 国内外地下储气库现状及发展趋势[J]. 天然气与石油,2007,25(4):1-4.

- Su Xin, Zhang Lin, Li Yue. Status and Development Trend of Domestic and Overseas Underground Gas Storage [J]. Natural Gas and Oil, 2007, 25 (4): 1-4.
- [4] 石磊,王皆明,廖广志,等.水驱气藏型储气库运行指标动态预测[J].中南大学学报:自然科学版,2013,44(2):701-706.
- Shi Lei, Wang Jieming, Liao Guangzhi, et al. Dynamic Prediction of Operation Indexes of Flooded Gas Storage [J]. Journal of Central South University: Science and Technology, 2013, 44 (2): 701-706.
- [5] Costa A. Permeability-Porosity Relationship: A Re-examination of the Kozeny-Carman Equation Based on a Fractal Pore-Space Geometry Assumption [J]. Geophysical Research Letters, 2006, 33 (2): 87-94.
- [6] Xu Peng, Yu Bomeng. Developing a New Form of Permeability and Kozeny-Carman Constant for Homogeneous Porous Media by Means of Fractal Geometry [J]. Advances in Water Resources, 2008, 34 (1): 74-81.
- [7] Rios R B, Bastos-Neto M, Amora M R, et al. Experimental Analysis of the Efficiency on Charge/Discharge Cycles in Natural Gas Storage by Adsorption [J]. Fuel, 2011, 90 (1): 113-119.
- [8] 唐立根,王皆明,丁国生,等.基于开发资料预测气藏改建储气库后井底流入动态[J].石油勘探与开发,2016,43(1):127-130.
- Tang Ligen, Wang Jieming, Ding Guosheng, et al. Downhole Inflow-Performance Forecast for Underground Gas Storage Based on Gas Reservoir Development Data [J]. Petroleum Exploration and Development, 2016, 43 (1): 127-130.
- [9] 丁国生,王皆明.枯竭气藏改建储气库需要关注的几个关键问题[J].天然气工业,2011,31(5):87-89.
- Ding Guosheng, Wang Jieming. Key Points in the Reconstruction of an Underground Gas Storage Based on a Depleted Gas Reservoir [J]. Natural Gas Industry, 2011, 31 (5): 87-89.
- [10] 王皆明,王丽娟,耿晶.含水层储气库建库注气驱动机理数值模拟研究[J].天然气地球科学,2005,16(5):673-676.
- Wang Jieming, Wang Lijuan, Geng Jing. The Numerical Simulation Study on the Gas-Drive Mechanism of Aquifer Gas Storages [J]. Natural Gas Geoscience, 2005, 16 (5): 673-676.
- [11] 王皆明,张昱文,丁国生,等.任11井潜山油藏改建地下储气库关键技术研究[J].天然气地球科学,2004,15(4):406-411.
- Wang Jieming, Zhang Yuwen, Ding Guosheng, et al. Methods of Rebuilding Well Ren-11 Buried Hill Oil Reservoir as Underground Gas Storage [J]. Natural Gas Geoscience, 2004, 15 (4): 406-411.
- [12] 尹双江.万顺场石炭系气藏改建地下储气库可行性研究[D].成都:西南石油大学,2012.
- Yin Shuangjiang. The Feasibility of Building Underground Gas Storage in Wanshun Gas Field [D]. Chengdu: Southwest Petroleum University, 2012.
- [13] 范伟华,冯彬,刘世彬,等.相国寺储气库固井井筒密封完整性技术[J].断块油气田,2014,21(1):104-106.
- Fan Weihua, Feng Bin, Liu Shibin, et al. Wellbore Seal Integrity Cementing Technology of Underground Gas Storage in Xiangguosi [J]. Fault-Block Oil & Gas Field, 2014, 21 (1): 104-106.
- [14] 武玉贵.井口安全系统设计与研究[D].青岛:中国石油大学(华东),2013:13-14.
- Wu Yugui. The Design and Research of Wellhead Safety System [D]. Qingdao: China Petroleum University, 2013: 13-14.
- [15] 吴云才,何银达,易飞,等.井口安全控制系统自控部分现状分析及优化[J].天然气与石油,2014,33(1):93-97.
- Wu Yuncai, He Yinda, Yi Fei, et al. Optimization of Wellhead Automatic Safety Control System [J]. Natural Gas and Oil, 2014, 33 (1): 93-97.
- [16] 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.
- Li Yu, Zhong Jinrui, Zhang Yunsheng, et al. Status Quo and Basic Countermeasures for Wellhead Safety System in China and Other Countries [J]. Natural Gas Industry, 2008, 28 (1): 140-142.
- [17] 吴庆伦,李捷.高酸性气田井口安全控制系统设计分析[J].石油与天然气化工,2010,39(5):457-458.
- Wu Qinglun, Li Jie. Design Analysis of Wellhead Safety Control System Applied in High-Sour Gas Field [J]. Chemical Engineering of Oil & Gas, 2010, 39 (5): 457-458.
- [18] 李文杰.浅谈数字化原油管道SCADA系统的构建[J].石油石化管业与技术,2009,3(3):31-36.
- Li Wenjie. Introduction to Digital Construction of Crude Oil Long-Distance Pipeline SCADA System [J]. Petroleum & Petrochemical Pipelines and Technology, 2009, 3 (3): 31-36.
- [19] 陈擎东,李军,罗辉,等.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.
- Chen Qingdong, Li Jun, Luo Hui. Control Cabinet Remote On-Off System in High Pressure Transducers [J]. Oil-Gasfield Surface Engineering, 2011, 30 (8): 76-77.
- [20] 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.
- Liu Zhirong, Yu Zhongren, Zhong Xiaomu, et al. Application of Wellhead Safety System [J]. Natural Gas and Oil, 2009, 27 (4): 38-40.