

井下安全阀现场操作常见问题及解决办法

王福祥

中国石油集团长城钻探工程有限公司测试公司 北京 100101

通讯作者: Email: wfux.gwdc@cnpc.com.cn

引用: 王福祥. 井下安全阀现场操作常见问题及解决办法[J]. 油气井测试, 2023, 32(5): 19-23.

Cite: WANG Fuxiang. Common issues and solutions for on-site operation of downhole safety valves[J]. Well Testing, 2023, 32(5): 19-23.

摘要 伊拉克格拉芙油田使用的 BAKER Thunder TE-5 型井下安全阀现场应用时常出现不能打开、不能关闭、开启压力偏高和开启后压力下降等情况。对于故障原因的排查, 遵循先易后难、先地面后井下的原则。针对地面控制单元及辅助设备设施的故障, 通过修复或更换故障零部件的方式来恢复井下安全阀的功能; 对于安全阀本体、阀瓣及井下控制管线等地下部分的故障, 处置措施则相对困难, 当采取常规解决措施无效时, 可采取更换安全阀或将安全阀锁定在常开状态进行生产, 或结合钢丝作业及连续油管作业的配合施工解决。该方法为后续现场施工提供借鉴和参考, 有效防止了井喷, 保证了生产安全。

关键词 完井; 井下安全阀; 现场应用; 故障分析; 预防措施; 开启压力; 关闭压力

中图分类号: TE35 **文献标识码:** B **DOI:** 10.19680/j.cnki.1004-4388.2023.05.004

Common issues and solutions for on-site operation of downhole safety valves

WANG Fuxiang

CNPC, Great Wall Drilling Company, Beijing 100101, China

Abstract: In the field application of the BAKER Thunder TE-5 downhole safety valve in the Graff Oilfield in Iraq, various issues have been encountered, including the valve not opening, not closing, high opening pressure, and pressure drop after opening. To troubleshoot the causes of these issues, a systematic approach following the principle of addressing easier problems before tackling more challenging ones and addressing surface issues before downhole ones was applied. For problems related to surface control units and auxiliary equipment facilities, the functionality of the downhole safety valve was restored by repairing or replacing faulty components. In cases where the issues are related to the downhole safety valve itself, the valve disk, or downhole control tubing, the solutions become relatively more complex. When conventional methods prove ineffective, alternative measures such as replacing the safety valve or locking it in an open position for production can be considered. Additionally, coordinated operations involving wireline and continuous tubing can be employed for effective on-site solutions. This approach can serve as a reference for future on-site operations, which may effectively prevent blowouts, and ensure production safety.

Keywords: well completion; downhole safety valve; on-site application; failure analysis; preventive measures; opening pressure; closing pressure

完井用井下安全阀(Sub Surface Safety Valve)是一种在油气井内连接于油管上设定位置的安全装置,其作用是在生产设施发生火警、管线破裂、发生不可抗拒的自然灾害(如地震、战争、强台风)、井喷等异常情况时实现自动关闭,防止井喷失控,保证油气井生产安全的井下工具,从而可以避免严重的人员伤亡、井喷和环境污染等恶性事故的发生。伊拉克格拉芙油田目前很多为自喷井,在完井设计时要求必须下入井下安全阀。

针对井下安全阀的研究,大多集中在对国内外

井下安全阀的发展方向的思考与探讨,如刘威^[1]、周大伟等^[2]对国内外井下安全阀的研究现状及成果进行分析,针对中国目前技术现状,提出井下安全阀国产化的亟待解决关键技术的方法和思路。也有针对不同井况的新型井下安全阀研制与优化方面的研究,如刘亚静等^[3]研制了盐穴储气库低节流井下安全阀,蒋召平等^[4]设计了海上耐高温深水式井下安全阀,黎伟等^[5]设计了滑套式井下安全阀,牛贵锋等^[6]研究了高温高压井下安全阀阀板优化。另外就是对井下安全阀技术应用方面及管柱

力学方面的研究,如周亮等^[7]主要研究了超级安全阀内防喷技术为安全高效试油作业提供的技术支持,李英松等^[8]通过对启闭阀板的流体动力学和应力应变的模拟分析为安全阀启闭系统的结构设计提供了技术参考。而在井下安全阀的现场应用方面的研究比较少(张伟国等^[9],张俊良等^[10]),其中张伟国主要是针对预防气体水合物的产生而对深水油气井井下安全阀的下入位置进行了研究,而张俊良主要研究了对某高含硫气井井下安全阀无法打开的情况的现场处置方案。综上所述,国内针对井下安全阀在现场操作时发生的常见问题及故障分析方面的研究较少,而本文以油田常用的油管可回收式井下安全阀为出发点,结合井下安全阀在伊拉克格拉芙油田完井过程中应用的实际情况,从安全阀不能打开、安全阀不能关闭、安全阀开启压力偏高和开启后压力下降等众多方面入手,总结了井下安全阀现场常见问题及预防措施,初步明确了井下安全阀比较常见故障的表现形式、主要原因及对应处置措施,对后续施工提出一些有意义的借鉴。

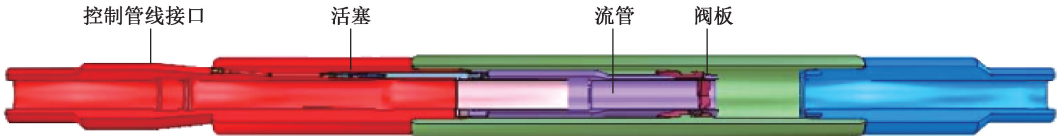


图 1 TR-SCSSV 结构图
Fig. 1 TR-SCSSV structure diagram



图 3 井下安全阀完全开启示意图
Fig. 3 TR-SCSSV full open diagram

2 井下安全阀开关注意事项

(1) 正确选用液压油,常规液压油温度用在-6℃~149℃(20~300 ℉)油井环境,如果实际的

1 TR-SCSSV 的工作原理

完井用井下安全阀有很多种类型,按控制方式分为地面控制和井下控制;按回收方式分为油管回收式和钢丝回收式,按结构分为提升杆式、球阀式和阀板式等。目前,地面控制油管下入式井下安全阀的应用最广泛。伊拉克格拉芙油田使用的井下安全阀即为 TR-SCSSV (Tubing Retrievable-Surface Controlled Subsurface Safety Valve)。下面以 BAKER Thunder TE-5 井下安全阀的结构说明其工作原理。当控制管线内加压时,液压推动活塞下行,活塞压缩弹簧。当活塞继续下行时,活塞带着内套向下首先顶开平衡孔,阀瓣下部的高压液体通过平衡孔进入阀瓣上部油管内而逐渐平衡阀瓣上下的压差。一旦阀瓣上下压力达到完全平衡或基本平衡时,在额定控制管线压力下,安全阀被打开,并保持在打开状态,同时内套会伸出将阀瓣封闭保护起来。当控制管线泄压时,活塞在弹簧作用下复位,阀瓣关闭,安全阀保持在关闭状态^[11](见图 1~图 3)。

井温不在此范围,则要选用特殊液压油。BAKER Thunder TE-5 安全阀使用的液压油特性为:油等级,10 W;黏度,150 SUS at 38℃,44 SUS at 38℃;黏度指数,最小值 100;倾点,-2℃;闪点,204℃,添加防锈剂、氧化剂和泡沫抑制剂。市面上符合要求的液压油推荐见表 1^[12]。

表 1 井下安全阀液压系统使用液压油型号推荐表
Table 1 The recommendation table of TR-SCSSV hydraulic oil model

液压油品牌	型号
Chevron	OC Turbine 32
Citgo	Pacemaker T32
Exxon	Terrestic 32, Nuto 32, Secunity 32
Shell	Tellus 22, Turbo 32, Corena 32
Sun	Sunvis 916
Texaco	Rando HD 32

(2)掌握控制管线的最大控制压力,避免盲目加压。

(3)掌握正确的操作程序,以免损坏或者使安全阀不能正常工作。

(4) 无论是否有自动平衡功能,安全阀重新打开的最好方法:首先油管内加平衡压,然后控制管线内加压打开安全阀。

(5) 长期关井时,每月应对井下安全阀打开-关闭操作一次。

3 井下安全阀常见故障分析

在井下安全阀的使用过程中,不可避免地会出现一些功能故障,根据伊拉克格拉芙油田的大量现场实践与分析研究,初步明确了井下安全阀常见故障的表现形式、主要原因及对应处置措施。

3.1 TR-SCSSV 地面如何正确判断井下安全阀状态

(1) 压力特性曲线判断法^[13]。通常情况下,观察井下安全阀开启压力特性曲线是否有平台期。所谓平台期,是指向井下安全阀液控管线内持续打压,达到某一特定压力值后,有一段时间压力不涨的现象。这是因为液压油在推动活塞行程期间空间在变大,所以压力不会上涨,安全阀完全开启后,压力会继续上升。如图 4 所示为安全阀打开,图 5 为安全阀未开。

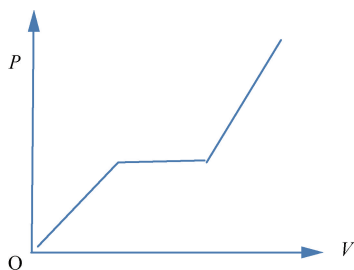


图 4 安全阀打开
Fig. 4 TR-SCSSV open

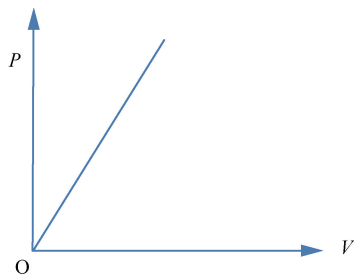


图 5 安全阀未开
Fig. 5 TR-SCSSV close

(2) 遇到异常情况时,测量液压油回吐量。这个方法主要是通过测量进入活塞腔的液压油体积,来判断安全阀是否完全开启。根据这个原理,开启安全阀后,再关闭安全阀,测量液压油回吐量即可。BAKER Thunder TE-5 安全阀:活塞容积参考值为 17 cm^3 。

3.2 安全阀不能打开

3.2.1 控制管线压力迅速上升

(1) 如果连接了控制柜,确认控制柜工作正常,或不通过控制柜直接将手压泵连到井口对安全阀进行测试;

(2) 检查井口连接是否正确,确认井口穿越模块是否是通孔;

(3) 检查井口连接处是否有堵塞情况,更换井口连接或尝试直接连接控制管线打压;

(4) 检查井口穿越模块和控制管线,是否有异物堵塞控制管线。打压至控制管线最高工作压力,然后泄压并精确计量返出量,连续操作至少 20 次,以此判断控制管线里的堵塞物是否移动,如果堵塞物移动,返出量会增加。重复 n 次操作直至安全阀功能正常或堵塞物不再运动为止,若最终堵塞物仍无法排除,只能起出安全阀。

3.2.2 控制管线压力正常

(1) 给予充分的时间让阀瓣上下压力平衡或者在油管内打平衡压;

(2) 打压至控制管线最高工作压力,观察活塞开启动作。如果依然不能打开,保持油管内压力重复打压安全阀 20 次,若仍旧不能打开,建议起出安全阀。

3.2.3 控制管线不能稳住压力

(1) 如果连接了控制柜,请确认控制柜工作正常,或直接不通过控制柜将手压泵连到井口对安全阀进行测试;

(2) 检查井口连接是否有漏点;

(3) 检查控制管线是否有漏点。环空打压 7 MPa,从控制管线接一个压力表观察压力是否上升;

(4) 检查控制柜或者手压泵内是否缺油。

3.3 安全阀不能关闭

(1) 台阶面有异物或者结晶堵塞。打压观察活塞是否有动作,如果活塞有开启动作,开井流动以清理安全阀处。

(2) 阀瓣弹簧断裂。打压泄压观察活塞是否有动作,如果活塞没有开启动作,打压至控制管线最高工作压力;然后泄压并精确计量返出量,以此观察活塞是否有动作。连续操作至少 20 次,如果活塞依然没有活动,建议起出安全阀。

3.4 安全阀出现开启压力偏高现象

(1) 安全阀的开启压力要考虑控制管线里液压

油的静液压和油管里的静液压;

(2) 确认安全阀在地面做的功能试验开启压力;

(3) 安全阀阀瓣上下存在压差,需要平衡压差。

TR-SCSSV 的开启压力计算^[14]:

最大保持打开压力:

最大控制管线压力 = 油管压力 + 安全阀额定工作压力

最小保持打开压力:

最小控制管线压力 = 油管压力 + 安全阀开启压力

推荐的保持打开压力:

推荐的控制管线压力 = 油管压力 + 安全阀开启压力 + 3.5 MPa

3.5 打压开启后压力明显下降

由于井下安全阀上下压力不平衡,打开时未等安全阀平衡压差,此时安全阀并未打开或未完全打开,经过一段时间压差平衡后安全阀完全打开,由于活塞继续运动而导致压力下降,等压力稳定后继续补压至正常压力即可。

4 井下安全阀现场常见问题实例

经统计伊拉克格拉芙地区井下安全阀的现场使用情况,井下安全阀故障主要发生在地面部分,但也有少数的井出现了较为复杂的井下故障。

4.1 手压泵起压后压力突然下降为 0

问题描述:某井在作业前进行对井下安全阀液压系统进行打压,在手压泵打压至 10 MPa 后压力突然下降为 0,尝试几次后情况相同。

采取措施:

(1) 检查井口各个连接处是否有漏点,无泄漏。

(2) 检查手压泵状态,发现手压泵内液压油量不足。

在补充泵内液压油后再次尝试打压开启安全阀,安全阀开启正常。

4.2 井下安全阀低压流动测试不合格

问题描述:某井在下入完井管柱对井下安全阀进行低压流动测试的时候始终不能稳压,现场怀疑安全阀阀瓣处有异物导致未关严而存在微漏。

采取措施:

(1) 尝试多次打压泄压,然后对安全阀试压,不合格。

(2) 尝试直接打高压挤压阀瓣,安全阀不能

稳压。

(3) 继续往井筒内泵入完井液循环洗井,试图冲洗掉安全阀阀瓣处的异物。然后再次关井下安全阀试压,试压不合格。

后因不能耽误作业时间,更换了备用安全阀。

4.3 井下安全阀打不开

问题描述:某井在完井之后,要进行测试作业,于是操作开安全阀。给液控管线打压至安全阀开启压力,过一段时间液控压力慢慢下降;尝试多次打压卸压后发现手压泵不能起压。井口压力逐渐降为 0,判断安全阀没有开启。

采取措施:

(1) 换手压泵后多次打压泄压,液控管线无法打压至安全阀开启压力。

(2) 检查井口所有连接处,没有漏点。

(3) 将液控压力卸为 0 后,环空打压 7 MPa,发现液控压力有显示。

至此判断安全阀液控系统泄漏,由于各种原因不能起完井管柱修井,于是采取钢丝作业坐放一个安全阀常开工具^[15],保持安全阀常开状态进而测试投产。

5 结论

(1) 通过对伊拉克格拉芙油田现场使用的井下安全阀的现场操作情况分析,总结了现场施工过程中发现的问题,并针对问题提出了解决对策和现场经验,为井下安全阀在现场的操作提供了参考,为后续施工提供了借鉴。

(2) 针对现场施工过程中发现的问题,提出预防措施:安全阀入井之前进行功能试验和试压验收;井筒洗井要彻底,完井液性能良好,减少颗粒沉淀;控制管线内部充油的标号合格,保持液压油干净,防止异物进入液压系统;控制管线穿越时保护金属密封,扭矩适中;开安全阀之前注意补偿阀瓣上下的压差。

致谢:感谢中国石油集团长城钻探工程有限公司测试分公司同意本文公开发表。

参考文献

[1] 刘威, 杨松, 买煜, 等. 井下安全阀国内外研究现状与国产化思考[J]. 西南石油大学学报(自然科学版), 2018, 40(3): 164-174.

LIU Wei, YANG Song, MAI Yu, et al. Reflection on domestic and foreign research status of subsurface safety

- valves and their domestication [J]. Journal of Southwest Petroleum University (Science & Technology), 2018, 40(3): 164-174.
- [2] 周大伟,钟功祥,梁政. 国内外井下安全阀的技术现状及发展趋势[J]. 石油矿场机械, 2007, 36(3): 14-16.
ZHOU Dawei, ZHONG Gongxiang, LIANG Zheng. The study of technical state and development tendency for downhole safety valve of domestic and foreign [J]. Oil Field Equipment, 2007, 36(3): 14-16.
- [3] 刘亚静,姜海涛,康延鹏,等. 盐穴储气库低节流井下安全阀的研制[J]. 石油钻采工艺, 2020, 42(4): 518-522.
LIU Yajing, JIANG Haitao, KANG Yanpeng, et al. Research and development of low-throttling downhole safety valve for salt-cavern underground gas storages [J]. Oil Drilling & Production Technology, 2020, 42(4): 518-522.
- [4] 蒋召平,王通,李海涛,等. 海上耐高温深水式井下安全阀的设计与试验[J]. 石油机械, 2019, 47(8): 74-78.
JIANG Zhaoping, WANG Tong, LI Haitao, et al. Design and test of high temperature deep-water subsurface safety valve [J]. China Petroleum Machinery, 2019, 47(8): 74-78.
- [5] 黎伟,宋伟,李乃禾,等. 滑套式井下安全阀设计及动态特性分析[J]. 中国安全生产科学技术, 2017, 13(2): 159-163.
LI Wei, SONG Wei, LI Naihe, et al. Design and dynamic characteristic analysis of sliding-sleeve subsurface safety valve [J]. Journal of Safety Science and Technology, 2017, 13(2): 159-163.
- [6] 牛贵锋,杨万有. 高温高压井下安全阀阀板优化研究[J]. 石油矿场机械, 2017, 46(2): 11-16.
NIU Guifeng YANG Wanyou. Optimization of valve plate of high temperature and high pressure downhole safety valve [J]. Oil Field Equipment, 2017, 46(2): 11-16.
- [7] 周亮,周元杰,王晋,等. 超级安全阀内防喷技术[J]. 油气井测试, 2021, 30(3): 13-19.
ZHOU Liang, ZHOU Yuanjie, WANG Jin, et al. Inner blowout prevention technology of super safety valve [J]. Well Testing, 2021, 30(3): 13-19.
- [8] 李英松,董社霞,付强,等. 井下安全阀启闭阀板流场及应力场有限元分析[J]. 钻采工艺, 2017, 40(1): 61-64.
LI Yingsong, DONG Shexia, FU Qiang, et al. Finite element analysis on flow field and stress field of SSSV flapper open/close [J]. Drilling & Production Technology, 2017, 40(1): 61-64.
- [9] 张伟国,曹波波,金颢,等. 预防气体水合物堵塞的深水油气井测试安全阀下入位置研究[J]. 石油钻探技术, 2019, 47(4): 110-115.
ZHANG Weiguo, CAO Bobo, JIN Hao, et al. The setting depth of the testing safety valve in deepwater oil and gas wells for gas hydrate blockage prevention [J]. Petroleum Drilling Techniques, 2019, 47(4): 110-115.
- [10] 张俊良,邵勇,贾长青,等. 高含硫气井井下安全阀失效的对策及现场实践[J]. 天然气技术与经济, 2018, 12(1): 32-34.
ZHANG Junliang, SHAO Yong, JIA Changqing, et al. Countermeasures against failure of subsurface safety valve used for a high sour gas well and their application [J]. Natural Gas Technology and Economy, 2018, 12(1): 32-34.
- [11] 李林涛,万小勇,李渭亮,等. 高压井下安全阀的研制及性能评价[J]. 重型机械, 2018(6): 12-16.
LI Lintao, WAN Xiaoyong, LI Weiliang, et al. Development and performance evaluation of high pressure subsurface safety valve [J]. Heavy Machinery, 2018(6): 12-16.
- [12] 罗衡,胡尚明,雷正,等. 井下安全阀失效原因分析[J]. 石油石化物资采购, 2020(8): 52-52.
LUO Heng, HU Shangming, LEI Zheng, et al. Failure cause analysis of SSSV [J]. Petroleum & Petrochemical Material Procurement, 2020(8): 52-52.
- [13] 刘鹏,罗建伟,王新涛. 井下安全阀力学性能分析[J]. 石油矿场机械, 2020, 49(4): 36-39.
LIU Peng, LUO Jianwei, WANG Xintao. Mechanical performance analysis of subsurface safety valve [J]. Oil Field Equipment, 2020, 49(4): 36-39.
- [14] 刘益维,陈国明,朱渊,等. 基于马尔可夫的地面控制井下安全阀可靠性评估[J]. 中国安全生产科学技术, 2019, 15(1): 139-144.
LIU Yiwei, CHEN Guoming, ZHU Yuan, et al. Markov-based reliability assessment for surface controlled subsurface safety valve system [J]. Journal of Safety Science and Technology, 2019, 15(1): 139-144.
- [15] 杨晓勇,边小玲,王振德,等. 地面控制井下安全阀配套工具技术研究[J]. 机械工程师, 2018(2): 124-125.
YANG Xiaoyong, BIAN Xiaoling, WANG Zhende, et al. Technical research on accessory tools of surface controlled subsurface safety valve [J]. Mechanical Engineer, 2018(2): 124-125.

编辑 吴志力

第一作者简介:王福祥,男,1988年出生,工程师,2011年毕业于中国石油大学(华东)石油工程专业,主要从事测试及钢丝完井相关技术服务工作。电话:010-59286531,15306330590,Email: wflux.gwdc@cnpc.com.cn。通信地址:北京市朝阳区安立路长城钻探工程有限公司测试分公司,邮政编码:100101。