

文章编号: 1000-8241(2021)08-0903-06

# Shafer 气液联动执行机构开路先导阀喷油故障处理

闫广涛 杨永超 韩治广

国家管网集团北方管道公司中原输油气分公司

**摘要:** 为了推动油气管道场站区域化管理模式的发展,提升运行人员处理进口设备故障的能力水平,针对生产运行过程中 10726-S 型 Shafer 气液联动执行机构发生的两起同类型典型喷油故障,对该型号执行机构的主要部件功能、正常状态下气路工作原理、执行场站 ESD 系统关阀命令时的气路工作原理进行分析,深入查找设备喷油故障原因。结合现场设备运行状况及日常维护保养情况,提出具体的故障处理方法和切实有效的预防措施,以保障设备安全平稳运行。研究成果可为今后 Shafer 气液联动执行机构出现各类故障的原因判断及维修处理提供理论基础,并提升场站运维人员的故障处理能力。(图 3,参 20)

**关键词:** 气液联动执行机构; 喷油故障; 故障原因; 先导阀; 处理方法; 预防措施

中图分类号: TE832

文献标识码: A

DOI: 10.6047/j.issn.1000-8241.2021.08.010

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



## Treatment to oil injection failure of open-circuit pilot valve of Shafer pneumatic-hydraulic actuator

YAN Guangtao, YANG Yongchao, HAN Zhiguang

Zhongyuan Oil &amp; Gas Transportation Sub-Company, PipeChina North Pipeline Company

**Abstract:** Two typical oil injection failures of the same type occurred to 10726-S pneumatic-hydraulic actuators during production and operation. In order to better promote the development of the regional management mode of oil/gas pipelines and stations and improve the capability of the operators to treat failures of imported equipment, deep analysis was conducted to the functions of the main components of the 10726-s actuators, the operating principle of the gas circuit under normal conditions, and the operating principle of the gas circuit in performing the command of station ESD system for valve shutdown, so as to find out the root causes of oil injection failure. With reference to the operation status and the daily maintenance of field equipment, specific solutions and effective preventive measures were put forward to ensure the safe and stable operation of the equipment. Thus, the research results could provide theoretical basis for judging the causes of various faults and the maintenance treatment methods of various failures of the Shafer pneumatic-hydraulic actuator and they are also helpful to enhance the fault treatment capability of the operation and maintenance staffs. (3 Figures, 20 References)

**Key words:** pneumatic-hydraulic actuator, injection failure, failure cause, pilot valve, treatment method, preventive measures

随着国家能源战略的转型与发展,天然气已经逐渐成为各行各业不可或缺的绿色能源,推动着社会经济的发展。中国天然气长输管道的建设正处于高速发展期,油气管道点多线长,处于开放的社会环境中,沿线自然环境、人为因素时刻影响着管道安全,运行风险高。

Shafer 气液联动执行机构凭借自身安全、稳定、可

靠的性能,被广泛应用于长输管道上的干线截断阀上。管道一旦发生事故,通过 LineGuard 控制系统,实现干线阀门的快速关断,从而减少天然气的泄漏,达到保护管道安全、防止事故扩大及减少经济损失的目的<sup>[1-2]</sup>。Shafer 气液联动执行机构的功能包括:检测及记录管道中气体的压力、就地气动操作、就地液压操作、远程

控制操作、故障工况时阀门自动关断,主要应用于进站、出站、越站、分输及沿线阀室,运行过程安全、高效、稳定,故障率极低。

为提升天然气管道管理水平,确保设备在运行过程中的稳定性,以平泰线(平顶山—泰安)进出站 ESD 系统紧急截断阀的 10726-S 型 Shafer 气液联动执行机构喷油故障为例,对该型号执行机构的主要部件功能、提升阀气路控制块、液压操作系统、执行器、正常状态下气路工作原理及执行场站 ESD 系统关阀命令下的气路工作原理进行分析,深入查找设备发生喷油故障原因,并提出具体的故障处理方法及切实有效的预防措施。

## 1 Shafer 气液联动执行机构

Shafer 气液联动执行机构主要由提升阀气路控制

块、液压操作系统及执行器 3 大部分组成(图 1)。其中,提升阀气路控制块是 Shafer 执行机构控制系统的核心。两个三位手动手柄的设计使 Shafer 气液联动执行机构具有可选的方向性操作。通过梭阀控制模块使动力气源直接进入气液罐,产生液压压力推动阀门执行器旋转驱动阀门动作,或使液压系统压力直接进入阀门执行器来控制阀门动作。液压操作系统由手动液压活塞泵、活塞导向器、减压杆、减压弹簧等组成。当采用手动液压操作模式时,推入气液联动执行机构手动换向阀的左侧手柄,压动液压油泵操作杆,将开阀气液罐内的液压油压入执行器内,同时执行器内的液压油被压入关阀液压罐,实现开阀操作。同理,推入手动换向阀右侧手柄进行操作,实现关阀操作。执行器主要由定子、定子密封、转子、旋转叶片、叶片密封、止动棒等组成,通过外界传导的液压压力,推动叶片旋转实现阀门的开关操作。

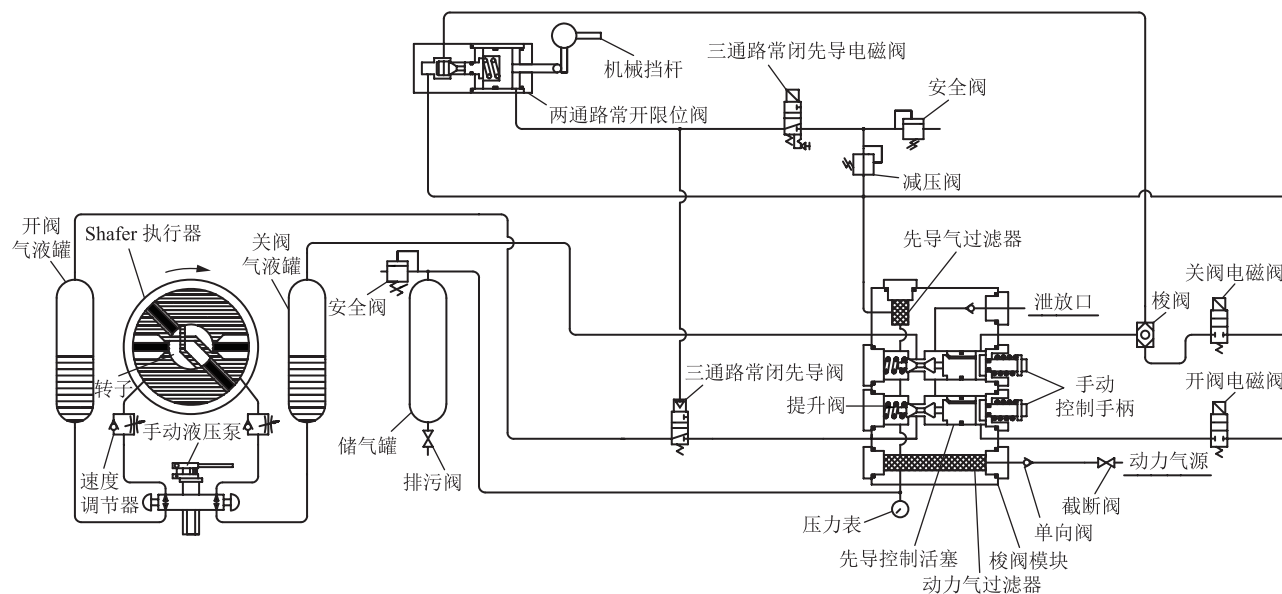


图 1 10726-S 型 Shafer 气液联动执行机构组成及控制原理示意图

## 2 喷油故障

平泰线各站场的进出站截断阀均采用 10726-S 型气液联动执行机构进行驱动,并接入站场 ESD 系统,实现紧急情况下的自动关断。在投产运行初期,由于设备调试运行不稳定,Shafer 气液联动执行机构先后多次出现喷油故障。2014 年,平泰线菏泽分输站在进行 ESD 测试时,进出站截断阀在完全关断后,进站截断阀 1201<sup>#</sup> 气液联动执行机构随即出现大量油雾喷出现象。工作人员立即关闭执行机构两侧引压管进气

阀动力气源,待喷油现象停止后,立即查找原因及故障点,发现油雾是从三通路常闭先导阀(简称开路先导阀)泄放口处喷出。2017 年,平泰线泰安压气站压缩机厂房火焰探测器报警,导致站内一级 ESD 触发,进出站气液联动阀关闭,其中泰安压气站平泰线方向进站截断阀 1101B<sup>#</sup> 阀门关闭后,气液联动执行机构出现喷油现象,值班人员紧急关闭两侧引压管进气阀动力气源,发现喷油位置也位于开路先导阀泄放口处。

维修人员根据现场故障情况进行深入分析,发现两起故障均是 10726-S 型气液联动执行机构(图 1)执

行 ESD 关阀命令时所致,喷油位置都在开路先导阀的泄放口处,属于同一型号设备、同一类型故障,非常具有典型性。

10726-S 型气液联动执行机构具有手动液压开关控制、手动气动开关控制、远程开关控制、ESD 紧急关断控制、ESD 关阀后手动复位等功能。其中, ESD 关阀后手动复位功能保证了 ESD 关阀命令的最高优先等级<sup>[3-5]</sup>。

该型号的气液联动执行机构有 3 个电磁阀,分别为关阀电磁阀、开阀电磁阀及三通路常闭先导电磁阀。开(关)电磁阀在阀门开(关)到位后会收到一个开(关)到位的反馈信号,从而控制电磁阀的开关状态,切断动力气源。而三通路常闭先导电磁阀触发后,会执行关阀动作,在阀门关到位后,由于 ESD 系统的最高优先等级,系统无关到位的逻辑反馈信号,只能通过下游的两通路

常开限位阀切断动力气源,控制关阀动作<sup>[6-11]</sup>。

## 2.1 正常状态下的气路工作原理

10726-S 型气液联动执行机构在正常状态下的气路工作原理(图 2)为:动力气源通过干线引压管(或储气罐)分别到达减压阀、关阀电磁阀 P4 点处、开阀电磁阀 P5 点处及两通路常开限位阀的 P2 点处;经过减压阀减压之后的气体作为先导气源,通过三通路常闭先导电磁阀分别到达两通路常开限位阀的 D2 点处及开路先导阀的 D3 点处。此时先导气主要具有两个作用:①先导气进入两通路常开限位阀的 D2 点处,通过活塞压缩内部弹簧,推动内部提升阀切断 P2 点与 C2 点之间气源。②先导气进入开路先导阀的 D3 点处,通过活塞压缩内部弹簧,顶开内部提升阀,导通 P3 点、C3 点气源,保证开阀气路畅通。

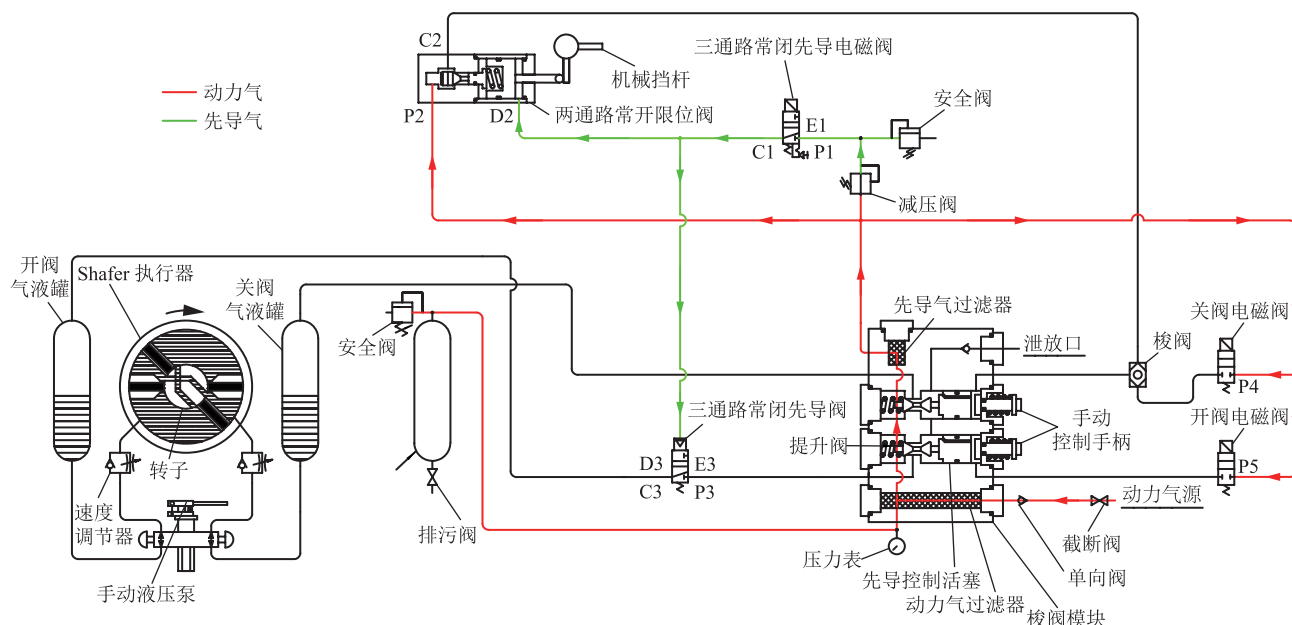


图 2 10726-S 型 Shafer 气液联动执行机构在正常状态下的气路工作原理示意图

## 2.2 执行 ESD 关阀命令下的气路工作原理

10726-S 型气液联动执行机构作为进出站截断阀执行器驱动阀门动作,接入站场 ESD 系统,以实现紧急情况下的自动关断功能,切断场站进口气源,确保天然气场站遇紧急情况能够及时放空。10726-S 型气液联动执行机构在执行 ESD 命令下的气路工作原理(图 3)为:当场站遇突发情况时,系统发出 ESD 命令,10726-S 型气液联动执行机构作为场站进出站截断阀动力驱动源,会同时进行连锁关阀响应,实现阀门的自动关断。控制系统切断三通路常闭先导电磁阀底部电磁阀电源,导通内部先导气源,推动先导阀活塞上移,断开三通路常闭先导电磁阀红色手柄并进行机械锁

定;切断系统绿色先导气源,同时导通 C1 点和 E1 点气路,然后通过泄放口 E1 放空三通路常闭先导电磁阀与两通路常开限位阀、开路先导阀区间段的先导气。与此同时,开路先导阀的内部弹簧会自动释放,推动内部提升阀导通 E3 点与 C3 点之间的气路,切断 P3 点与 C3 点之间的气路,从而断开开阀气路气源,防止阀门误操作被打开,保障场站 ESD 系统优先独立原则不受干扰。两通路常开限位阀也会在弹簧释放力的作用下,自动复位,导通左侧 P2 点与 C2 点之间的关阀执行器气路,通过梭阀,进入提升阀,推动提升阀上移,关阀动力气源进入关阀气液罐,推动液压油进入 Shafer 执行器关阀腔,推动旋转叶片顺时针转动,关闭阀门,



## 4 故障处理及预防措施

### 4.1 故障处理

在生产运行过程中,10726-S 型气液联动执行机构一旦在执行 ESD 命令过程中出现喷油故障,应立即切断进气阀动力气源。在确认喷油现象结束后,应查明原因,并及时处理,确保设备设施完好。

根据直接故障原因,首先调整两通路常开限位阀右侧的顶杆长度,在阀门关到位之后,两通路常开限位阀能够及时切断 P2 点与 C2 点之间的关阀执行器气源,以确保限位阀的精确性。若故障仍未排除,则关闭引压管进气阀动力气源,将储气罐中的气体排空,拆卸两通路常开限位阀并进行解体,检查其 P2 点与 C2 点之间的密封面是否有杂质或损伤,并对其进行处理。

在故障处理完成后,采用手动液压开关控制方式将阀门置于中间态,检查两个气液罐油位情况,若油位不足应及时补充,保持两个气液罐油位充足且平衡。同时,对 Shafer 执行器内两个腔室的液压油进行排气处理。

针对间接故障原因,应对 Shafer 执行器液压摆缸内的转子密封不严问题进行评估,在确保不影响设备正常运行的情况下,做好监控工作;如果泄漏量过大,影响阀门正常开关作业,应及时进行修复或更换叶片密封组件。

### 4.2 预防措施

在生产运行过程中,气液联动执行机构发生喷油故障,会严重损坏 Shafer 执行器液压摆缸内的转子叶片密封。一旦叶片密封泄漏严重,摆缸内开阀腔和关阀腔会直接导通,导致整个执行机构失效,无法操作阀门,因此要提前采取以下预防措施。

(1) 定期检查执行机构各油路连接点有无漏油情况;查看两个气液罐液压油油位是否正常,发现油位不足时,应及时进行补充;发现油位不平衡时,应立即进行平衡处理。若日常维护保养不及时、不到位,对两个气液罐和执行器进行常规排污作业时,会造成不同程度的液压油损耗,直接导致油位下降。Shafer 执行器内部旋转叶片的密封采用软密封,当旋转叶片动作到位时,如未及时切断动力源,持续施加高压动力,会导致动力侧储油罐内的液压油经过叶片密封流入另一侧,进入另一个储油罐,最终导致两个储油罐的油位不平衡,影响设备正常运行。若设备操作不正确,在阀门

动作时出现设备漏油、喷油等故障,也会导致油位下降和储油罐油位不平衡的现象发生。

(2) 对站场内所有配置两通路常开限位阀的 Shafer 气液联动执行机构进行排查,检测限位阀的限位准确性及能否关闭到位,根据实际情况及时进行调整。

(3) 定期检测两通路常开限位阀的密封是否严密。如果干线动力气源气质较差,会使动力气过滤器和先导气过滤器滤芯破损,过滤效果不好,气体杂质附着在两通路常开限位阀的密封面上,高压气体冲刷会直接损坏密封面,导致密封不严;限位阀密封老化,也会导致密封失效。

(4) 定期对 Shafer 执行器进行排污,检测液压油油质情况及旋转叶片密封是否严密。如果执行器内液压油杂质较多,会造成密封面的磨损,导致密封不严,应及时对执行器进行解体作业,修复磨损的密封,并更换液压油,以确保设备在运行过程中的完好性<sup>[17-20]</sup>。

## 5 结束语

目前,Shafer 气液联动执行机构作为中国长输天然气管道上的重要设备,一直发挥着积极稳定的作用。虽然结构较复杂,但功能齐全、性能稳定、安全高效。随着油气管道场站区域化管理模式的推广和应用,对运维人员的技术水平提出了更高的要求。在日常生产运行过程中,运维人员应熟练掌握设备基本结构及工作原理,定期做好设备设施巡回检查及维护保养工作。

### 参考文献:

- [1] 宫川宝. Shafer 气液联动执行机构紧急自动关断功能失效分析与预防措施[J]. 化工设计通讯, 2017, 43(2): 65, 88.  
GONG C B. Fault analysis and preventive measures of emergency automatic shutdown function of Shafer pneumatic-hydraulic driven actuator[J]. Chemical Engineering Design Communications, 2017, 43(2): 65, 88.
- [2] 黄晓琳, 张兴盛, 罗长兵. Shafer 气液联动阀的应用与维护[J]. 石油化工应用, 2004, 23(4): 48-49.  
HUANG X L, ZHANG X C, LUO C B. Application and maintenance of gas-oil valve[J]. Petrochemical Industry Application, 2004, 23(4): 48-49.

- [3] 李锴, 牛树伟. LineGuard 电控单元失效故障分析及对策[J]. 仪器仪表用户, 2012, 19(6): 81-83.
- LI K, NIU S W. The analysis and countermeasures to failures of LineGuard electronic devices[J]. Instrumentation Customer, 2012, 19(6): 81-83.
- [4] 宁双生. Shafer 气液联动执行机构异常关断典型事件分析[J]. 化学工程与装备, 2015(5): 131-133.
- NING S S. An analysis of the abnormal automatic shutdown to Shafer gas-liquid linkage actuator[J]. Chemical Engineering & Equipment, 2015(5): 131-133.
- [5] 王多才, 高鹏, 王海峰, 彭太翀, 田家兴, 苍松. 气液联动执行机构意外关断分析及在西气东输的应用[J]. 石油规划设计, 2012, 23(2): 51-53.
- WANG D C, GAO P, WANG H F, PENG T C, TIAN J X, CANG S. Gas-liquid linkage actuator accident shutdown analysis and application in West-to-East Gas Transmission Pipeline Project[J]. Petroleum Planning & Engineering, 2012, 23(2): 51-53.
- [6] 张兵强, 黄云, 刘愉, 李阳阳. 输气站场干线气液联动执行机构气路改造探讨[J]. 山东化工, 2017, 46(4): 96-98.
- ZHANG B Q, HUANG Y, LIU Y, LI Y Y. Discussions on the reconstruction of the gas path of pneumatic-hydraulic actuator on main trunk line in gas transmission station[J]. Shandong Chemical Industry, 2017, 46(4): 96-98.
- [7] 汪世军. Shafer 气液联动阀执行机构功能与维护[J]. 油气储运, 2010, 29(4): 296-298.
- WANG S J. Function of Shafer gas-hydraulic valve actuator and care[J]. Oil & Gas Storage and Transportation, 2010, 29(4): 296-298.
- [8] 徐文强. 长输管道 Shafer 干线截断阀动作过程分析[J]. 产业与科技论坛, 2012(9): 71-73.
- XU W Q. Analysis on the action process of Shafer main line block valve of long distance pipeline[J]. Estate and Science Tribune, 2012(9): 71-73.
- [9] 杨日永, 康亮, 彭振华. Shafer 气液联动执行机构维保探讨[J]. 科学之友, 2010(8): 25-26, 28.
- YANG R Y, KANG L, PENG Z H. Discussion on safeguard and maintenance of Shafer pneumatic-hydraulic actuator[J]. Friend of Science Amateurs, 2010(8): 25-26, 28.
- [10] 胡银龙. MSIV 先导阀无法开启故障分析及改进研究[J]. 机电工程, 2019, 36(2): 174-178.
- HU Y L. Defect analysis and improvement of the MSIV pilot valve[J]. Mechanical & Electrical Engineering Magazine, 2019, 36(2): 174-178.
- [11] 闫广涛. 气液联动执行机构倒油装置的研制及应用[J]. 通用机械, 2020(3): 21-23.
- YAN G T. Development and application of oil pouring device for pneumatic hydraulic actuator[J]. General Machinery, 2020(3): 21-23.
- [12] 王志辉, 杨海英, 谭洪伟, 马佐. Shafer 气液联动执行机构喷油故障分析与防治[J]. 科技创新导报, 2014(35): 38-39.
- WANG Z H, YANG H Y, TAN H W, MA Z. Injection failure analysis and prevention of Shafer pneumatic-hydraulic actuator[J]. Science and Technology Innovation Herald, 2014(35): 38-39.
- [13] 任霖钦, 陈鹏, 任浩渊. 浅谈 Shafer 气液联动执行机构驱动器密封故障对阀门控制的影响[J]. 价值工程, 2016, 35(11): 135-137.
- REN L Q, CHEN P, REN H Y. Effect of seal failures in drivers of Shafer gas-hydraulic actuator on the valve control[J]. Value Engineering, 2016, 35(11): 135-137.
- [14] 任小川. 西二线站场 Shafer 气液联动执行机构调试案例分析[J]. 东方企业文化, 2014(9): 268.
- REN X C. Shafer pneumatic-hydraulic actuator debugging case study of West Second Line station[J]. Oriental Enterprise Culture, 2014(9): 268.
- [15] 肖旺, 冯亮, 黄伟. Shafer 气液联动执行机构存在问题分析及对策探讨[J]. 机电信息, 2012(15): 60-61.
- XIAO W, FENG L, HUANG W. Problems analysis and countermeasures study of Shafer[J]. Mechanical and Electrical Information, 2012(15): 60-61.
- [16] 王正刚, 张兵强. ESD 联锁测试中气液联动执行机构喷油故障处理与预防[J]. 石油石化节能, 2019, 9(7): 35-38.
- WANG Z G, ZHANG B Q. Treatment and prevention of gas-liquid linkage actuator oil spout fault in ESD interlocking test[J]. Energy Conservation in Petroleum & Petrochemical Industry, 2019, 9(7): 35-38.
- [17] 范祯科. 电液控制液压支架大通径电磁先导阀关键技术研究[D]. 徐州: 中国矿业大学, 2016.
- FAN Z K. Research on key technology of large diameter solenoid pilot valve for electro-hydraulic control hydraulic support[D]. Xuzhou: China University of Mining and Technology, 2016.

(下转第 924 页)

- al. Analysis of the influence factors on leakage detection based on ultrasonic principle for natural gas station[J]. Process Automation Instrumentation, 2018, 39(3): 92-94.
- [16] 严密, 袁晓骏, 管文涌. 站场天然气泄漏激光监测系统的设计及应用[J]. 油气储运, 2021, 40(6): 685-691.
- YAN M, YUAN X J, GUAN W Y. Design and application of laser monitoring system for natural gas leakage in stations[J]. Oil & Gas Storage and Transportation, 2021, 40(6): 685-691.
- [17] 李锴, 李江, 顾清林, 王多才. 西气东输智慧管网建设实践[J]. 油气储运, 2021, 40(3): 241-248.
- LI K, LI J, GU Q L, WANG D C. Practice of intelligent pipeline network development in West-East Gas Pipelines[J]. Oil & Gas Storage and Transportation, 2021, 40(3): 241-248.
- [18] IWASZENKO S, KALISZ P, SLOTA M, RUDZKI A. Detection of natural gas leakages using a laser-based methane sensor and UAV[J]. Remote Sensing, 2021, 13(3): 510.
- [19] XIA G X. Study on the causes of valve leakage and detection methods in natural gas station[C]. Shenyang: International Conference on Application of Intelligent Systems in Multimodal Information Analytics, 2019: 1375-1378.
- [20] 王天锡, 迟国敬, 刘波, 黄征, 丁淑兰, 候朝齐, 等. 管道燃气自闭阀: CJ/T 447—2014[S]. 北京: 中国标准出版社, 2014: 2-4.
- WANG T X, CHI G J, LIU B, HUANG Z, DING S L, HOU C Q, et al. Automatic shut-off valves for pipeline gas: CJ/T 447—2014[S]. Beijing: China Standards Press, 2014: 2-4.
- [21] PREM C J, MANOJ K M, MUGUNDAN N C, YASWANTH V, MANJU P. Gas leakage detection and shutoff system[C]. Singapore City: Springer, 2021: 785-793.
- [22] 高洁, 李蛟, 梁建青, 李麟, 茹治敏, 李丹, 等. 油气管道地区公司集中监视系统及其应用[J]. 油气储运, 2017, 36(9): 1099-1102.
- GAO J, LI J, LIANG J Q, LI L, RU Z M, LI D, et al. The centralized monitoring system for oil and gas pipeline regional companies and its application[J]. Oil & Gas Storage and Transportation, 2017, 36(9): 1099-1102.
- [23] 王振声, 董红军, 张世斌, 赵国辉, 张舒, 余冬, 等. 天然气管道压气站一键启停站控制技术[J]. 油气储运, 2019, 38(9): 1029-1034.
- WANG Z S, DONG H J, ZHANG S B, ZHAO G H, ZHANG S, YU D, et al. Control technologies for the one-key start and stop of compressor stations of gas pipelines[J]. Oil & Gas Storage and Transportation, 2019, 38(9): 1029-1034.
- [24] 房汝洲. 实用阀门设计手册[M]. 北京: 中国知识出版社, 2006: 510-516.
- FANG R Z. Practical design manual for valve[M]. Beijing: China Knowledge Press, 2006: 510-516.
- (收稿日期: 2020-02-15; 修回日期: 2021-06-11; 编辑: 王雪莉)
- 
- 作者简介:** 吕勃蓬, 男, 1988年生, 工程师, 2014年硕士毕业于中国石油大学(北京)石油与天然气工程专业, 现主要从事天然气长输管道生产运行管理工作。地址: 江西省南昌市红谷滩区绿茵路129号联发广场42层, 330038。电话: 021-50953834。Email: smilelbp@sohu.com

(上接第908页)

- [18] 张力伟. Shafer气液联动阀远控开关工作原理[J]. 广东石油化工学院学报, 2014, 24(1): 42-45.
- ZHANG L W. The principle of remote control switch of Shafer pneumatic hydraulic valve[J]. Journal of Guangdong University of Petrochemical Technology, 2014, 24(1): 42-45.
- [19] 袁金宁, 陈黎明, 廖福金. Shafer气液联动执行机构异常关断事故树分析[J]. 油气储运, 2013, 32(10): 1093-1097.
- YUAN J N, CHEN L M, LIAO F J. Fault tree analysis on abnormal shutoff of Shafer pneumatic-hydraulic actuator[J]. Oil & Gas Storage and Transportation, 2013, 32(10): 1093-1097.
- [20] 陈川, 尹克江, 龚丽, 菅秀洋, 胡钰杰. 忠武管道气液联动阀故障分析及改进措施[J]. 油气储运, 2009, 28(9): 33-36.
- CHEN C, YIN K J, GONG L, JIAN X Y, HU Y J. Fault analysis of gas-liquid valve and improvement in Zhongxian-Wuhan Gas Transmission Pipeline[J]. Oil & Gas Storage and Transportation, 2009, 28(9): 33-36.
- (收稿日期: 2019-07-15; 修回日期: 2021-06-01; 编辑: 张雪琴)
- 
- 作者简介:** 闫广涛, 男, 1985年生, 工程师, 2011年毕业于中国石油大学(华东)油气储运工程专业, 现主要从事输油气站场设备管理方面的研究工作。地址: 山东省枣庄市市中区永安乡遗棠村国家管网集团北方管道公司中原输油气分公司枣庄维抢修队, 277116。电话: 13863268119。Email: 58694957@qq.com