

引文: 陈悦, 段峰波. 先导式水击泄压阀设定压力关键影响因素确定与验证[J]. 油气储运, 2024, 43(7): 833-839.

CHEN Yue, DUAN Fengbo. Determination and verification of key factors influencing the set pressure of pilot-operated surge relief valve[J]. Oil & Gas Storage and Transportation, 2024, 43(7): 833-839.

先导式水击泄压阀设定压力关键影响因素确定与验证

陈悦¹ 段峰波²

1. 重庆交通大学机电与车辆工程学院; 2. 自贡新地佩尔阀门有限公司

摘要:【目的】先导式水击泄压阀是用于输油管道防止水击压力破坏的关键设备, 研究先导式水击泄压阀设定压力的影响因素有助于准确控制先导式水击泄压阀的设定值。【方法】从先导式水击泄压阀的结构组成与工作原理入手, 分别讨论了弹簧力、摩擦力、导阀芯与导阀座密封结构、导阀活塞对先导式水击泄压阀设定压力的影响, 得出先导式水击泄压阀设定压力的关键影响因素是导阀弹簧与导阀活塞的配置, 并提出确保先导式水击泄压阀设定压力精度的主要措施, 建立了试验系统对相关结果进行验证。【结果】当导阀弹簧选定时, 在一定范围增大导阀活塞面积有利于提高先导式水击泄压阀设定压力的整体精度; 当活塞面积与弹簧不变时, 设定压力越大, 设定压力精度越高; 当导阀活塞面积一定时, 增大弹簧力可使先导式水击泄压阀可调整的设定压力范围扩大。在试验验证测试中, 通过配置不同的导阀活塞与不同的弹簧, 得出在设定压力不变的条件下, 随着活塞面积增大, 先导式水击泄压阀实际起跳压力越接近设定压力, 设定压力精度越高; 在活塞大小不变的条件下, 设定压力越高, 先导式水击泄压阀实际起跳压力越接近设定压力, 设定压力精度越高。【结论】为了进一步提升先导式水击泄压阀设定压力的设定精度, 建议在工程应用中, 结合实际优选弹簧与活塞结构、材质并进行优化组合。(图 4, 表 1, 参 21)

关键词: 输油管道; 先导式水击泄压阀; 设定压力; 水击; 密封

中图分类号: TE89

文献标识码: A

文章编号: 1000-8241(2024)07-0833-07

DOI: 10.6047/j.issn.1000-8241.2024.07.013

Determination and verification of key factors influencing the set pressure of pilot-operated surge relief valve

CHEN Yue¹, DUAN Fengbo²

1. School of Mechatronics and Vehicle Engineering, Chongqing Jiaotong University; 2. Zigong New Dipper Valve Co. Ltd.

Abstract: 【Objective】 Pilot-operated surge relief valves play a critical role in safeguarding oil pipelines against surge pressure-induced damage. Therefore, investigating the factors affecting their set pressures is essential for precise control over their set values. 【Methods】 Analyzing the structural composition and operational mechanism of pilot-operated surge relief valves, this study investigated the influential factors of their set pressures. It explored influences such as spring force, friction force, sealing structures between the guide valve core and guide valve seat, and pilot valve piston configurations. Specifically, the configurations of springs and pistons were identified as critical influencing factors. Drawing from these insights, the study proposed key measures for ensuring precision in setting the pressures of pilot-operated surge relief valves. Additionally, an experimental system was established to validate the analysis results. 【Results】 When choosing a specific pilot valve spring, enlarging the piston area of the pilot valves within a specified range resulted in enhanced overall accuracy in the set pressures of the pilot-operated surge relief valves. Maintaining a constant piston area and the chosen spring unchanged, a higher set pressure was proportionate to increased set pressure accuracy. With a consistent pilot valve piston area, elevating the spring force broadened the adjustable set pressure range of the pilot-operated surge relief valves. Subsequent experimental verification was conducted using different pilot valve piston and spring configurations. With set pressures held constant, the actual opening pressures of the pilot-operated surge relief valves converged closer to their set pressures as the piston area increased, signaling improved accuracy in the set pressures. Conversely, at constant piston sizes, higher set pressures resulted in closer alignment of the actual valve opening pressures with their set values, reflecting

enhanced accuracy in the set pressures. **[Conclusion]** For enhanced accuracy in the set pressures of pilot-operated surge relief valves, it is recommended to select springs and pistons based on their structures and materials, aiming for optimal combinations tailored to specific conditions in engineering applications. (4 Figures, 1 Table, 21 References)

Key words: oil pipeline, pilot-operated surge relief valve, set pressure, water hammer, seal

水击是长输油品管道运行中一种常见的冲击波，多产生于突然停泵、阀门快速开启与关断等使平稳运行状态遭到干扰的工况^[1]。水击现象及其危害性是长输油品管道密闭输送工艺中的重要问题，通常有以下解决方法：增大管道壁厚、SCADA 系统设置事故连锁控制、泵站进出口设置水击泄压阀^[2-4]。当 SCADA 系统无法消除已经形成的水击波时，需使用水击泄压阀泄放水击压力，以防止管道因压力异常波动与水击导致设备损坏甚至管道破裂^[5]。

水击泄压阀通常选用流通能力强的轴流式水击泄压阀，其通常分成两种类型：①先导式水击泄压阀，适用于输送清洁且黏度较低的介质，如成品油管道；②氮气式水击泄压阀，适用于输送高黏度或含小颗粒的介质，如原油管道^[6]。先导式水击泄压阀依靠开启先导阀促进主阀开阀泄压，属于纯机械自力式结构，不需要额外辅助设施，在工程应用中，其可能在管道压力达到或超过设定压力时无法开启，造成管道、设备超压甚至管道破裂，安全隐患极大^[7]。因此，先导式水击泄压阀的压力设定关乎输油管道安全，系统分析先导式水击泄压阀设定压力的影响因素对于准确控制先导式水击泄压阀的压力设定、保证先导式水击泄压阀可靠准确泄压具有指导意义^[8]。

1 先导式水击泄压阀

1.1 结构组成

先导式水击泄压阀由泄压主阀、先导阀及相应管路组成(图 1)：泄压主阀是泄放水击压力的主体；先导

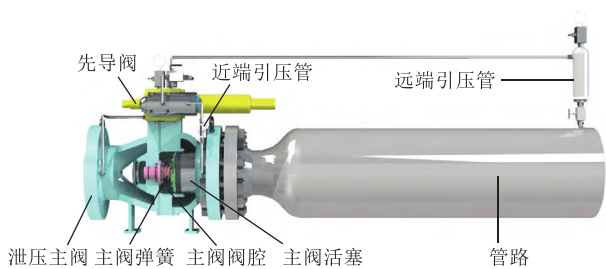


图 1 先导式水击泄压阀系统结构模型图
Fig. 1 Structure of pilot-operated surge relief valve system

阀感应管道压力并引导主阀开启或关闭^[9]；远端引压管用于将管道压力传递至先导阀活塞，先导阀活塞通过感应管道压力确定是否动作；近端引压管用于将管道压力引入泄压主阀的阀腔内。

泄压主阀主要由阀体、主阀活塞、阀座、主阀弹簧、其他零件等组成(图 2)：阀体设计为轴流式结构，是承载管路载荷并泄放水击压力的主体；主阀芯沿阀体轴线方向布局，是泄压的动作元件。阀体与主阀芯等元件构成流线形的流道，流道设计满足文丘里原理，具备泄放能力大的优点。主阀弹簧是阀门关闭的关键元件，设置于阀腔内，当水击压力释放的压力低于泄压阀设定压力时，先导阀关闭，主阀活塞在主阀弹簧与介质的共同作用力下关闭。

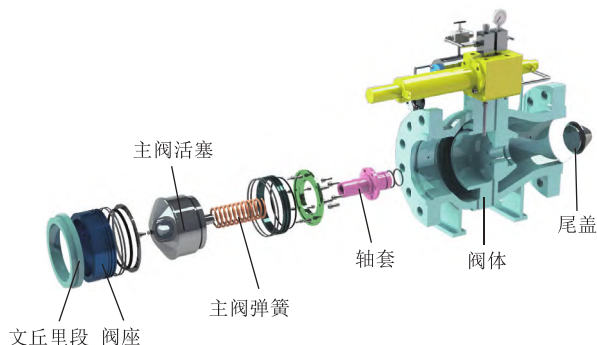


图 2 先导式水击泄压阀泄压主阀结构模型图
Fig. 2 Structure of main relief valve in pilot-operated surge relief valve

先导阀由导阀芯、导阀体、导阀座、导阀弹簧、导阀活塞等组成(图 3)。导阀芯与导阀座形成密封副，

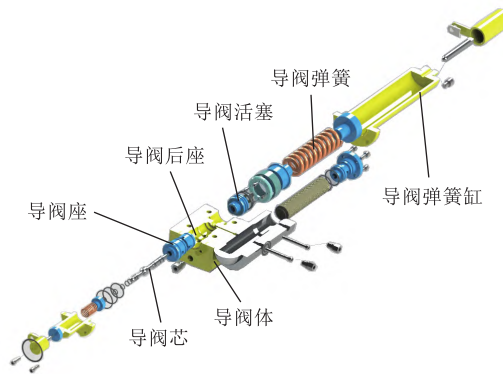


图 3 先导式水击泄压阀泄压先导阀结构模型图
Fig. 3 Structure of relief pilot valve in pilot-operated surge relief valve

是开启或关闭导阀的关键密封件;导阀座、导阀芯等均安装在导阀体内,沿轴线布局;导阀弹簧设置在活塞后部,处于压缩状态,导阀弹簧力通过弹簧座传递至导阀芯,并促使导阀芯与导阀座实现密封。导阀芯与活塞连接在一起,共同感应引压管路压力,当管道发生水击导致水击波压力超过泄压阀设定压力时,活塞带动导阀芯动作,克服导阀弹簧力打开导阀,泄放泄压主阀阀腔压力。

1.2 工作原理

水击泄压阀起跳动作泄压的关键是管道压力达到或超过设定压力,设置设定压力的意义在于当管道压力达到或超过设定压力时,泄压阀能够迅速打开。先导式水击泄压阀的设定压力由导阀系统决定,当管道压力低于设定压力时,导阀座处于密封状态;当管道压力达到或超过设定压力时,导阀芯与导阀座脱离,二者脱离密封状态,使泄压主阀阀腔与泄压阀后部管路连通。实质上,在导阀芯关闭密封与打开泄压的过程中,存在一个临界点,确定该临界点是确定先导式水击泄压阀何时起跳动作的关键。

先导式水击泄压阀工作原理主要包括3个过程:

①关闭运行。近端引压管接入先导阀,将管输介质连接到泄压主阀阀腔,依靠主阀芯后侧面积大于主阀芯入口面积的活塞效应实现泄压主阀关闭。②超压开阀泄压。在管道发生水击后,远端引压管将水击波压力传递至导阀活塞,当水击波压力大于泄压阀设定压力时,导阀活塞带动导阀芯打开导阀,泄压主阀阀腔内的介质通过导阀芯与导阀座间隙排出到泄压主阀阀后,主阀阀腔压力来不及补压,阀腔内受力降低,泄压主阀活塞前端压力推动泄压主阀活塞打开,实现泄压主阀泄压^[10]。③降压关阀。当水击压力降至泄压阀设定压力以下时,导阀活塞与导阀弹簧感应到压力变化而推动导阀芯关闭,管路介质通过近端引压管逐渐补压至泄压主阀阀腔,当主阀活塞前后压力达到均衡时,在主阀弹簧作用下,主阀活塞关闭,泄压阀实现降压关阀。

2 先导式水击泄压阀设定压力

导阀设定压力与导阀弹簧力、导阀所受摩擦力、导阀芯密封面积、导阀活塞直径、导阀芯直径及导阀芯与导阀座密封结构(密封角度、密封面宽度、导阀芯尺寸)相关^[11]。

2.1 影响因素

2.1.1 导阀弹簧力

导阀弹簧力使导阀芯与导阀座压紧实现密封,当水击压力超过设定压力时,导阀克服导阀弹簧力打开,实现泄压。导阀弹簧力的作用在于提供稳定的力保持导阀关闭密封,同时需保持导阀弹簧力处于恒定输出状态。为了保证导阀设定压力的精度,需要满足两个条件:①弹簧力应足够大。弹簧力越大,越利于对设定压力的控制,有助于降低其他因素对设定压力的影响。②弹簧力保持恒定。设计导阀弹簧时,应充分考虑导阀弹簧长期受压所致的弹力衰减问题,因此,需要控制导阀弹簧的工作载荷,使其处于极限载荷条件以下,并选择切变弹性模量优异的材料制造弹簧。此外,需要考虑疲劳、腐蚀及塑性变形引起的弹簧断裂问题^[12],弹簧制作后需作喷丸处理,以在弹簧表面产生压应力及加工硬化,提高弹簧的疲劳强度^[13]。

需要说明的是,对于不同的应用工况,泄压阀的设定泄压值可能不同,因此,同一规格泄压阀的设定压力需要能够适应不同工况条件,泄压动作压力设定值应能调节^[14]。同一台先导式水击泄压阀设定压力范围越宽,越有利于满足客户的不同工况使用需要。

2.1.2 导阀摩擦力

导阀摩擦力通常由两部分组成,即导阀芯与导阀体间摩擦力、导阀活塞与导阀体间摩擦力,其对泄压阀设定压力的影响主要集中在低压力工况。当设定压力较高时,上述摩擦力可忽略;但对于低压的泄压工况,则需考虑摩擦力对设定压力的影响。可以通过设置低摩擦阻力的结构与选择低摩擦因数的材料来降低上述摩擦力,如结合聚四氟乙烯(Polytetrafluoroethylene, PTFE)材料优良耐磨性能与橡胶材料自密封性能的组合密封方式^[15]。

2.1.3 导阀芯与导阀座的密封结构

为便于导阀芯启动,导阀芯通常设计为锥面密封结构。锥面密封是流体机械常用密封结构,具有结构小巧、易加工等特点,在航空航天、国防工程中应用广泛^[16-17]。由导阀芯与导阀座组成的整个锥面密封副的密封原理是:通过密封件与被密封件相互挤压形成密封面,阻止气液外溢^[18]。通过控制导阀芯尺寸减小导阀芯与导阀座共同形成的密封面面积,从而降低密封力在导阀芯总受力中所占比例;当导阀芯尺寸无法改变时,选择高强度材料及设计很窄的密封面,以降低所需密封

力在导阀芯总受力中所占比例。保持导阀芯与导阀座尺寸稳定,是确保导阀使用一段时间后泄压点仍然稳定的关键,故需要对导阀座与导阀芯进行充分的硬化处理。此外,需要考虑更换阀座后的泄压点稳定性问题。

2.1.4 导阀活塞

导阀活塞是检测及响应水击波压力的第1个元件,同时也是执行打开导阀的驱动元件。当升跃的水击波压力超过导阀设定压力时,活塞动作带动导阀芯打开,促使泄压阀阀腔泄压,进而使主阀打开实现泄压。因此,导阀活塞的灵敏度与动作可靠性是决定导阀乃至先导式水击泄压阀是否能够动作的重要因素。

2.2 精度控制要点

在先导式水击泄压阀设计制造过程中,为确保设定压力可控,需要使导阀芯结构小型化,以降低导阀芯所受摩擦力、导阀芯密封面积、密封角度、密封面宽度等对设定压力精度的影响。工程上通常要求水击泄压阀设定压力精度达到 $\pm 1\%$ ^[19],即泄压阀应该在设定压力的 $\pm 1\%$ 内动作起跳。

当导阀弹簧选定时,导阀活塞是决定泄压阀设定压力精度的关键。导阀活塞面积越大,产生的作用力越大,相对较小的压力升跃便能使先导阀打开泄压,有利于提高先导式水击泄压阀设定压力精度。但增大活

塞面积将增加成本,设计时需要考虑实际工程的经济效益。当活塞面积与弹簧力不变时,设定压力越大,活塞推动力在导阀芯总受力中所占比例越大,越利于活塞打开泄压,受其他力干扰越小,设定压力精度越高。通过调整导阀弹簧力,可实现先导阀对不同输油管道泄放压力的设定需要。当活塞面积一定时,弹簧力越大,先导阀可调整的设定压力范围越大。

同时需要注意:当面对高压设定压力条件时,往往需要同时兼顾弹簧力与活塞面积,不同结构组合的尝试与调整才可能实现设定压力的精确获得。此外,水击泄压阀每半年及每次启动泄放动作后都要进行校验^[20],以验证其是否处于可靠工作状态。若校验发现导阀设定压力飘逸,可通过调整导阀弹簧力重新确定设定压力^[21]。

3 试验验证

3.1 试验系统与流程

构建试验系统(图4)对先导式水击泄压阀设定压力进行测试。系统的测试流程:通过泵将水池中的水增压后流经待测先导式水击泄压阀及各测试仪表,再输送回水池,该回路即为试验主管路。

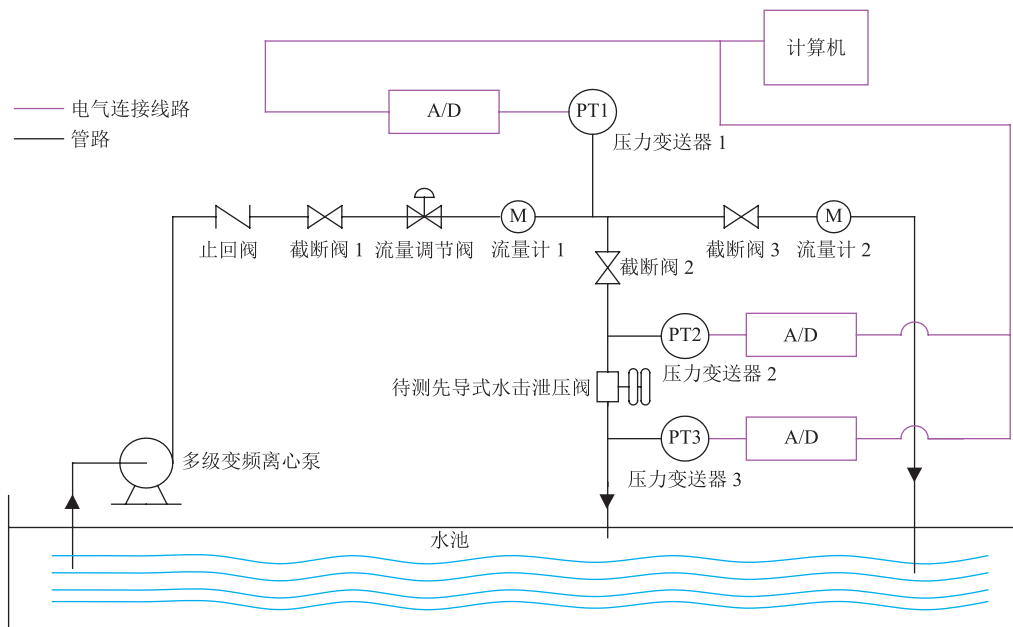


图4 先导式水击泄压阀设定压力测试系统示意图
Fig. 4 Schematic of experimental system for set pressure of pilot-operated surge relief valve

测试时,管路元件止回阀、截断阀、流量调节阀、流量计开启运行,待测先导式水击泄压阀设定压力之后保持关闭状态,压力变送器均处于连通状态。待主管

路运行稳定后,通过关闭支路截断阀3,使主管路产生水击,当水击压力超过待测先导式水击泄压阀设定压力时,开启泄压。抓取压力变送器2与压力变送器3

的压力变化,可以获得待测先导式水击泄压阀的实际泄放压力;通过对比泄放压力与设定压力,可获得设定压力与实际泄放压力之间的偏差,该偏差与设定压力之比即待测先导式水击泄压阀的设定压力精度。

利用该试验系统,对设定压力是否主要由导阀活塞面积与弹簧力决定进行验证,并验证先导式水击泄压阀设定压力精度与活塞面积、设定压力的关系。配置不同的导阀活塞与不同的弹簧,设定不同的设定压力进行测试。活塞面积使用活塞外径表征,活塞外径分别设置为 20 mm、25 mm、30 mm、35 mm、40 mm,对应不同的活塞面积,配置不同的活塞弹簧;设定压力分别设置为

0.8 MPa、1.6 MPa、2.4 MPa、3.2 MPa、4.0 MPa。

3.2 试验结果

首先固定设定压力,调整导阀活塞面积,测试先导式水击泄压阀实际泄放起跳值与设定压力的差异;其次固定活塞面积,调整先导式水击泄压阀设定压力,测试先导式水击泄压阀实际泄放起跳值与设定压力的差异。结果表明:当设定压力不变时,随着活塞面积增大,先导式水击泄压阀实际起跳压力越接近设定压力,设定压力精度越高;当活塞大小不变时,设定压力越高,先导式水击泄压阀实际起跳压力越接近设定压力,设定压力精度越高(表 1)。

表 1 先导式水击泄压阀在不同设定压力及活塞外径下的实测起跳压力数据表
Table 1 Measured opening pressures of pilot-operated surge relief valves at different set pressures and piston outer diameters

外径/ mm	设定压力/ MPa	起跳压力/ MPa	偏差比例	外径/ mm	设定压力/ MPa	起跳压力/ MPa	偏差比例	外径/ mm	设定压力/ MPa	起跳压力/ MPa	偏差比例
20	0.8	0.809	1.125%	25	2.4	2.421	0.875%	35	1.6	1.609	0.556%
20	0.8	0.792	-1.000%	25	2.4	2.366	-1.400%	35	1.6	1.600	-0.012%
20	0.8	0.818	2.250%	25	3.2	3.245	1.400%	35	1.6	1.593	-0.431%
20	0.8	0.798	-0.200%	25	3.2	3.227	0.831%	35	1.6	1.586	-0.875%
20	0.8	0.822	2.750%	25	3.2	3.182	-0.563%	35	2.4	2.421	0.875%
20	0.8	0.784	-2.000%	25	3.2	3.200	-0.006%	35	2.4	2.420	0.825%
20	1.6	1.629	1.800%	25	3.2	3.160	-1.250%	35	2.4	2.411	0.475%
20	1.6	1.577	-1.438%	25	3.2	3.181	-0.594%	35	2.4	2.399	-0.054%
20	1.6	1.611	0.687%	30	0.8	0.812	1.500%	35	2.4	2.380	-0.825%
20	1.6	1.596	-0.238%	30	0.8	0.810	1.250%	35	2.4	2.375	-1.042%
20	1.6	1.638	2.375%	30	0.8	0.795	-0.625%	35	3.2	3.220	0.628%
20	1.6	1.571	-1.800%	30	0.8	0.801	0.175%	35	3.2	3.172	-0.875%
20	2.4	2.438	1.600%	30	0.8	0.786	-1.750%	35	3.2	3.213	0.391%
20	2.4	2.391	-0.375%	30	0.8	0.789	-1.375%	35	3.2	3.197	-0.109%
20	2.4	2.448	2.000%	30	1.6	1.624	1.500%	35	3.2	3.215	0.469%
20	2.4	2.394	-0.250%	30	1.6	1.619	1.194%	35	3.2	3.185	-0.469%
20	2.4	2.361	-1.625%	30	1.6	1.590	-0.631%	40	0.8	0.805	0.625%
20	2.4	2.376	-1.000%	30	1.6	1.598	-0.137%	40	0.8	0.796	-0.500%
20	3.2	3.248	1.500%	30	1.6	1.618	1.125%	40	0.8	0.807	0.875%
20	3.2	3.221	0.656%	30	1.6	1.578	-1.375%	40	0.8	0.794	-0.750%
20	3.2	3.185	-0.469%	30	2.4	2.431	1.300%	40	0.8	0.806	0.750%
20	3.2	3.180	-0.622%	30	2.4	2.378	-0.917%	40	0.8	0.795	-0.625%
20	3.2	3.231	0.969%	30	2.4	2.417	0.725%	40	1.6	1.610	0.625%
20	3.2	3.141	-1.844%	30	2.4	2.391	-0.367%	40	1.6	1.612	0.750%
25	0.8	0.814	1.750%	30	2.4	2.428	1.167%	40	1.6	1.591	-0.563%
25	0.8	0.812	1.500%	30	2.4	2.369	-1.300%	40	1.6	1.600	0.006%
25	0.8	0.809	1.125%	30	3.2	3.235	1.094%	40	1.6	1.590	-0.637%
25	0.8	0.802	0.262%	30	3.2	3.167	-1.031%	40	1.6	1.596	-0.250%
25	0.8	0.795	-0.625%	30	3.2	3.217	0.522%	40	2.4	2.419	0.792%
25	0.8	0.783	-2.125%	30	3.2	3.201	0.016%	40	2.4	2.418	0.750%
25	1.6	1.626	1.600%	30	3.2	3.181	-0.588%	40	2.4	2.383	-0.708%
25	1.6	1.571	-1.813%	30	3.2	3.165	-1.100%	40	2.4	2.403	0.108%
25	1.6	1.610	0.612%	35	0.8	0.806	0.750%	40	2.4	2.418	0.750%
25	1.6	1.592	-0.481%	35	0.8	0.809	1.125%	40	2.4	2.382	-0.750%
25	1.6	1.620	1.256%	35	0.8	0.808	1.000%	40	3.2	3.211	0.344%
25	1.6	1.574	-1.600%	35	0.8	0.799	-0.075%	40	3.2	3.217	0.544%
25	2.4	2.437	1.525%	35	0.8	0.789	-1.375%	40	3.2	3.181	-0.594%
25	2.4	2.372	-1.162%	35	0.8	0.792	-1.000%	40	3.2	3.201	0.031%
25	2.4	2.416	0.646%	35	1.6	1.617	1.062%	40	3.2	3.187	-0.416%
25	2.4	2.395	-0.192%	35	1.6	1.616	1.013%	40	3.2	3.185	-0.469%

4 结论

先导式水击泄压阀的设定压力关乎输油管道泄放安全,是研究水击泄压阀的关键参数。基于理论分析,提出决定先导式水击泄压阀设定压力设定精度的关键因素:导阀弹簧与导阀活塞。试验验证结果表明,通过优选二者材质与结构并实现优化配置,可以有效提高先导式水击泄压阀设定压力的设置精度。实现导阀结构设计小型化,可以有效降低导阀芯所受摩擦力、导阀芯密封面积、密封角度、密封面宽度、导阀芯尺寸,有利于先导式水击泄压阀设定压力的稳定。在工程应用中,结合不同工况条件及设定压力需求,优选弹簧与活塞结构、材质并进行优化组合,可以进一步提升先导式水击泄压阀设定压力的精度。

参考文献:

- [1] 段峰波,李柏松,张兴,安治旭,李科. 氮气式水击泄压阀设定压力精度的影响因素[J]. 油气储运, 2016, 35(8): 903-908. DOI: 10.6047/j.issn.1000-8241.2016.08.020.
DUAN F B, LI B S, ZHANG X, AN Z X, LI K. Factors affecting set pressure precision of nitrogen surge relief valve[J]. Oil & Gas Storage and Transportation, 2016, 35(8): 903-908.
- [2] 王军防,宇波,李亚平,曹旦夫,余红梅,焦开拓,等. 国产化液体管道云仿真软件 CloudLPS 的研发[J]. 油气储运, 2023, 42(11): 1275-1290. DOI: 10.6047/j.issn.1000-8241.2023.11.008.
WANG J F, YU B, LI Y P, CAO D F, YU H M, JIAO K T, et al. Research and development of domestic cloud simulation software CloudLPS for liquid pipelines[J]. Oil & Gas Storage and Transportation, 2023, 42(11): 1275-1290.
- [3] 宫敬. 从旁接油罐到管网联运再到智能调控: 中国输油管道工艺技术 50 年发展回顾与展望[J]. 油气储运, 2020, 39(8): 841-850. DOI: 10.6047/j.issn.1000-8241.2020.08.001.
GONG J. Review and outlook for development of oil pipeline technology in the past 50 years in China, from floating tank process to joint operation of pipeline network and further to intelligent control[J]. Oil & Gas Storage and Transportation, 2020, 39(8): 841-850.
- [4] 于京平,冯坤. 水击泄压阀的应用及失效分析[J]. 油气储运, 2016, 35(2): 173-175. DOI: 10.6047/j.issn.1000-8241.2016.02.011.
YU J P, FENG K. Application and failure analysis of surge relief valve[J]. Oil & Gas Storage and Transportation, 2016, 35(2): 173-175.
- [5] 代一平,谢志斌,云向峰,李牛牛,冯振国. 先导式水击泄压阀泄漏原因及解决措施[J]. 油气储运, 2017, 36(2): 236-240. DOI: 10.6047/j.issn.1000-8241.2017.02.019.
DAI Y P, XIE Z B, YUN X F, LI N N, FENG Z G. Causes and solutions for the leakage of water-hammer pilot relief valve[J]. Oil & Gas Storage and Transportation, 2017, 36(2): 236-240.
- [6] 王成林,李凤绪,尚增辉. 水击泄压系统失效分析及保护措施[J]. 油气田地面工程, 2021, 40(1): 57-61. DOI: 10.3969/j.issn.1006-6896.2021.01.011.
WANG C L, LI F X, SHANG Z H. Failure analysis and protection measures of water hammer pressure relief system[J]. Oil-Gas Field Surface Engineering, 2021, 40(1): 57-61.
- [7] 李云昌,刘军辉,续成伟,梁海晨,杨武堂. 长输管道水击泄压阀的改进与应用[J]. 油气储运, 2010, 29(6): 440-442. DOI: 10.6047/j.issn.1000-8241.2010.06.011.
LI Y C, LIU J H, XU C W, LIANG H C, YANG W T. Improvement and application of surge reliever in long-distance pipelines[J]. Oil & Gas Storage and Transportation, 2010, 29(6): 440-442.
- [8] 骆正山,钟强. 多相流耦合水击模型在泄压阀压力精度设定中的应用[J]. 中国安全生产科学技术, 2018, 14(7): 148-153. DOI: 10.11731/j.issn.1673-193x.2018.07.022.
LUO Z S, ZHONG Q. Application of multi-phase flow coupled water hammer model in pressure accuracy setting of pressure relief valve[J]. Journal of Safety Science and Technology, 2018, 14(7): 148-153.
- [9] 区启升. 先导式水击泄压阀在华南管网遇到的问题分析[J]. 化工管理, 2013(4): 60. DOI: 10.3969/j.issn.1008-4800.2013.04.050.
OU Q S. Analysis of the problems encountered by pilot-operated water hammer relief valves in the south china pipeline network[J]. Chemical Enterprise Management, 2013(4): 60.
- [10] 董朋,杨昌群,杨光,赵升吨,王永飞,周昊,等. 水击泄压阀在成品油输送管路中的应用[J]. 机床与液压, 2021, 49(9): 182-186, 195. DOI: 10.3969/j.issn.1001-3881.2021.09.034.
DONG P, YANG C Q, YANG G, ZHAO S D, WANG Y F, ZHOU H, et al. Application of the surge relief valve in refined oil transportation pipeline[J]. Machine Tool & Hydraulics, 2021, 49(9): 182-186, 195.
- [11] 陆培文. 实用阀门设计手册[M]. 北京: 机械工业出版社, 2002: 1-740.

- LU P W. Practical valve design manual[M]. Beijing: China Machine Press, 2002: 1-740.
- [12] 曹海平, 顾涛, 王晶, 吕文成. 注水泵与输油泵安全阀弹簧断裂失效分析[J]. 石油工业技术监督, 2023, 39(12): 24-28. DOI: 10.20029/j.issn.1004-1346.2023.12.006.
- CAO H P, GU T, WANG J, LYU W C. Fracture failure analysis of safety valve spring of injection pump and delivery pump[J]. Technology Supervision in Petroleum Industry, 2023, 39(12): 24-28.
- [13] 郭泽尧, 冯玉洁, 袁桥军, 杨小军. 60Si2MnA 钢弹簧疲劳断裂原因分析[J]. 热处理, 2023, 38(4): 46-48. DOI: 10.3969/j.issn.1008-1690.2023.04.011.
- GUO Z Y, FENG Y J, YUAN Q J, YANG X J. Analysis on cause for fatigue failure of 60Si2MnA steel spring[J]. Heat Treatment, 2023, 38(4): 46-48.
- [14] 王传鸿, 鄢标, 周歆, 邹刚, 杨小城, 孙巧雷. 井下安全阀特殊气密封螺纹密封性能分析[J]. 石油机械, 2022, 50(7): 107-114. DOI: 10.16082/j.cnki.issn.1001-4578.2022.07.015.
- WANG C H, YAN B, ZHOU X, ZOU G, YANG X C, SUN Q L. Analysis of sealing performance of special gas seal thread of downhole safety valve[J]. China Petroleum Machinery, 2022, 50(7): 107-114.
- [15] 章荣, 高鹏阳, 薛宪波, 张诚成, 曲跃, 关皓伦. 结构及材料参数对组合密封圈动密封特性影响[J]. 山东石油化工学院学报, 2023, 37(1): 84-86. DOI: 10.3969/j.issn.1673-5935.2023.01.016.
- ZHANG R, GAO P Y, XUE X P, ZHANG C C, QU Y, GUAN H L. Influence of structure and material parameters on dynamic sealing characteristics of composite seal ring[J]. Journal of Shandong Institute of Petroleum and Chemical Technology, 2023, 37(1): 84-86.
- [16] 郝木明, 宋勇, 王顺吉, 孙彭涛, 任宝杰, 李勇凡, 等. 接触式机械密封稳态摩擦特性研究[J]. 石油机械, 2023, 51(4): 1-7. DOI: 10.16082/j.cnki.issn.1001-4578.2023.04.001.
- HAO M M, SONG Y, WANG S J, SUN P T, REN B J, LI Y F, et al. Steady-state friction characteristics of contact mechanical seal[J]. China Petroleum Machinery, 2023, 51(4): 1-7.
- [17] 韩冲, 张勇. 导管连接件球头-锥面结构密封性能研究[J]. 润滑与密封, 2012, 37(10): 105-111. DOI: 10.3969/j.issn.0254-0150.2012.10.024.
- HAN C, ZHANG Y. Research on sealing property of globe-cone joint for pipeline[J]. Lubrication Engineering, 2012, 37(10): 105-111.
- [18] 杨卓然, 张亮亮, 孙明艳, 周英平, 黄姝珂, 蒋晗. 锥面管接头界面密封性能研究[J]. 润滑与密封, 2021, 46(7): 1-7. DOI: 10.3969/j.issn.0254-0150.2021.07.001.
- YANG Z R, ZHANG L L, SUN M Y, ZHOU Y P, HUANG S K, JIANG H. Investigation on the interface sealing performance of conical pipeline joint seals[J]. Lubrication Engineering, 2021, 46(7): 1-7.
- [19] 瞿慧卿, 李素杰, 雍永鹏. 泄压阀在成品油管道上的应用[J]. 自动化仪表, 2013, 34(4): 84-86. DOI: 10.3969/j.issn.1000-0380.2013.04.024.
- QU H Q, LI S J, YONG Y P. Application of the pressure relief valve in refined oil pipeline[J]. Process Automation Instrumentation, 2013, 34(4): 84-86.
- [20] 周豪杰, 张彪, 田雨. DANFLO 水击泄压阀校验情况分析[J]. 中国石油和化工标准与质量, 2013, 34(4): 18, 31.
- ZHOU H J, ZHANG B, TIAN Y. Analysis of the calibration status of DANFLO water hammer relief valve[J]. China Petroleum and Chemical Standard and Quality, 2013, 34(4): 18, 31.
- [21] 雍永鹏, 李素杰, 李铁钉. 先导式泄压阀在成品油管道上的应用[J]. 石油库与加油站, 2013, 22(1): 9-11. DOI: 10.3969/j.issn.1008-2263.2013.01.004.
- YONG Y P, LI S J, LI T D. Application of piloted operated relief valve on oil product pipeline[J]. Oil Depot and Gas Station, 2013, 22(1): 9-11.

(编辑:刘朝阳)

作者简介: 陈悦,女,2003年生,在读本科生,现主要从事机械设计制造及其自动化专业的学习及长输油气管道阀门的探索性研究。地址:重庆市南岸区学府大道66号,400074。电话:15982171979。Email:3322078871@qq.com

通信作者: 段峰波,男,1984年生,工程师,2015年硕士毕业于兰州理工大学动力工程专业,现主要从事大型油气管道阀门的研究开发与技术管理工作。地址:四川省自贡市高新工业园区玉川路12号,643000。电话:13778569232。Email:dfb19840321@163.com

- Received: 2024-04-09
- Revised: 2024-05-29
- Online: 2024-06-07

