

从大连输油管爆炸反思油气设备驱动方式 ——非能动控制驱动对油气储运的特殊意义

曾祥炜¹, 陈 崑², 邱小平³, 曾小舸⁴, 向北平¹, 臧红彬¹, 石 磊¹, 龚 伟¹

(1. 西南科技大学制造科学与工程学院, 四川绵阳 621000; 2. 四川大学制造科学与工程学院, 成都 610065;

3. 西南交通大学物流学院, 成都 610031; 4. 四川孚略技术公司, 成都 610041)

[摘要] 通过分析大连输油管爆炸,对当今国内外油气储运设备驱动方式进行反思。提出非能动控制原理和方法,阐述非能动控制梭式核心元件的结构和原理;对非能动梭式控制管道爆破保护系统、巨型油罐梭式消防止回阀进行分析,得出非能动控制驱动对油气储运具有特殊意义。

[关键词] 非能动;控制;油气储运;泄漏

[中图分类号] U17 [文献标识码] A [文章编号] 1009-1742(2010)09-0034-05

1 大连输油管爆炸事故分析及建议

据新华网等媒体报导:2010年7月16日,大连新港油轮卸油作业发生操作失误,造成管线内原油泄漏发生火灾,引发管廊道管线爆裂,两条管道发生爆炸(900 mm,700 mm)、 10^5 m^3 油罐烧光,大火于18日彻底扑灭。油气、有毒、易燃、易爆、放射性等特殊介质储运设备极易发生泄漏,若不精心防范,类似事件还可能发生。笔者等根据资料和自身的技术能力提出判断和建议,仅供参考。

1) 卸油始端至油罐进口输油管应装三级切断装置:紧急切断阀、常规截断阀、止回阀。

2) 三级切断装置全部失效导致油罐烧毁:截断阀、紧急切断阀均为电动,火灾失电无法关闭;最后一道防线止回阀,通常采用旋启式,由于结构原因,难于实现零泄漏。

3) 库区内另设外输泵房、独立消防给水环状管网、油罐采用固定喷淋系统、固定泡沫灭火系统,因火灾失电(失无动力源)无法运转,形同虚设。

如最后一道防线改用梭式消防止回阀,它的对称平衡原理靠背压可实现零泄漏,不会因泄漏引发

油罐燃烧爆炸。目前,已有150个民航工程安装了数千台梭式消防止回阀,零泄漏免维修运行近20年,油气和其他特殊介质储运可以借鉴。

2 从大连油管爆炸反思储运管道爆破保护装置动力源的可靠性

现有技术^[1,2]:

1) 设立了自动控制系统:建立了许多自动化控制系统,如SCADA,VSAT,DCS等系统可以把状态、信号、指令传达到每一个点,准确地实现紧急切断。

2) 制定了防止爆破的标准规范:对有毒、有害、高温、高压、强腐蚀等特殊介质有相应的标准规范、规定按距离或工艺要求设置截断装置。

3) 制造出多种紧急截断装置:从最古老的重锤式、液压式、气液式等到与现在的卫星控制、总线控制、计算机控制相结合的各种现代方式。

4) 控制系统已由人工单元控制、发展到卫星系统与智能化集中控制相结合的现代体系,已经非常先进精准,但仍不能完全解决安全可靠控制的问题。主要原因是执行器(主阀)为外设动力源驱动,恶劣的环境使其外设动力源或传动机构失效,主阀仍然不能关闭。

[收稿日期] 2010-08-04

[作者简介] 曾祥炜(1944-),男,重庆市人,西南科技大学教授,从事流体控制研究;E-mail:kxzxw@163.com;陈 崑(1968-),男,重庆市人,博士,主要研究领域为自动控制;E-mail:ckyasuko@163.com

长距离输送管道大多铺设在野外、地下、水中等环境恶劣的地方,而他們都需要外加能源来驱动主阀,管道爆破后不能及时关闭的现象时有发生。

上述技术中的控制、敏感、执行元件的可靠性,在航空、航天、核电和一般工业等领域,经过了各种环境的考验,均是能够达到保护要求的,唯有外设动力源的可靠性难以保证。为此有必要反思其技术路线,找到一种最简单、可靠、节约、本质的方法。非能动梭式控制系统是集控制、敏感、执行为一体的,贯流置于管道轴心线,靠系统自身能量驱动的最简单保护装置。

3 非能动梭式控制技术与核心元件

3.1 非能动梭式控制技术

对“非能动”的定义有几种描述:非能动是指依靠系统介质的物理特性来完成系统的功能(比如重力或压差),即利用系统内部的能量来安全可靠地改变系统自己的状态;美国 AP1000 的“非能动安全系统”认为,非能动是依靠自然力的安全特性,采用重力流、自然循环、对流、压缩空气实现系统自身驱动的安全系统,不需泵、风机、柴油机等能动设备;曾祥炜认为:非能动梭式控制系统依靠系统自身能量,采用重力、压力流、压力差、系统与大自然循环;实现依靠系统自身能量驱动调节与控制,不需外设动力源和能动设备^[3]。

管道输送中介质传递流体信息、表达流体变化,是传递控制能量最直接、真实、可靠的载体,压力波传递速度足以满足非能动控制响应速度要求,比任何模拟、虚拟更准确。笔者等对密闭管道非能动梭式控制技术进行了长期的研究,获多国发明专利权。该技术无需任何附加的能源,无需昂贵而复杂的控制(SCADA)系统,可与现有控制系统兼容,能够适应沙漠、河流、海洋、森林、冰雪等恶劣的自然条件,比附加电机、压力油罐、柴油动力,燃气轮机发电等

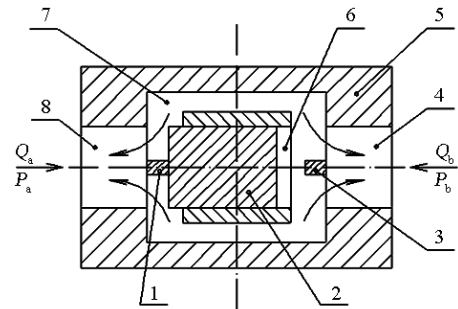
外能驱动的系统简单可靠。以管道和输送的介质为工程的根本,将其为控制调节基础,解决一系列管道技术难题。

笔者等从梭式非能动控制元件到梭式结构智能化单元,率先在国际上建立起压力管道梭式结构智能化控制系统。研制出 73 种新元件,在 500 多项中外工程为特殊介质、环境、工况系统提供新的技术支持;为石油化工、浅海石油输送,沙漠输油管道,海洋钻井平台、核电、国防等工程技术服务,安全运转 15~20 年,超前成功实践非能动控制技术。

3.2 非能动梭式控制系统核心元件

差流可调梭阀(DFASV)是非能动梭式控制技术核心元件,非能动梭式控制系列元件的基础^[4-9]。

1) 工作原理,如图 1 所示。



1—调节件A;2—梭芯;3—调节件B;4—端口B;5—壳体;6—梭腔;7—旁通道;8—端口A

图 1 差流可调梭阀的工作原理

Fig. 1 The action principle of DFASV

差流可调梭阀具有在单通道中实现双向差流、双向节流、双向交替逆止、双向截止、双动等驱动方式。差流可调梭阀在单通道内可以实现介质的正反方向流通,控制梭芯的位置可调节进出口流量大小,获得需要的流量。进口流量 $Q_1 = (0\% \sim 100\%) Q_H$, Q_H 为额定流量;出口流量 $Q_2 = (0\% \sim 100\%) Q_H$, $Q_1 \neq Q_2$ 。由于流体可以均衡的调到很小,从趋近于零至最大流量,获得的控制时间范围很宽。

2) 差流可调梭阀多种功能(见表 1)。

表 1 差流可调梭阀的功能

Table 1 The functions of DFASV

功能	单元图例	压力流量关系
单向逆止		当 $P_b > P_a$ 时 $Q_b = 0$; 当 $P_a > P_b$ 时 $Q_a = (0\% \sim 100\%) Q_H$
单向节流		当 $P_b > P_a$ 时 $Q_b = Q_H$; 当 $P_a > P_b$ 时 $Q_a = (0\% \sim 100\%) Q_H$

功能	单元图例	压力流量关系
变径双向等流		当 $P_b > P_a$ 时 $Q_b = Q_a = (0\% \sim 100\%) Q_h$; 当 $P_a > P_b$ 时 $Q_a = Q_b = (0\% \sim 100\%) Q_h$
双向截止		当 $P_b > P_a$ 时 $Q_b = 0$; 当 $P_a > P_b$ 时 $Q_a = 0$
双向交替通道		当 $P_b > P_a$ 时 $Q_b = Q_a = Q_h$; 当 $P_a > P_b$ 时 $Q_a = Q_b = Q_h$
双向交替节流		当 $P_b > P_a$ 时 $Q_b = (0\% \sim 100\%) Q_h$; 当 $P_a > P_b$ 时 $Q_a = (0\% \sim 100\%) Q_h$; $Q_a \neq Q_b$

差流可调梭阀用两端压差而具备的智能双向调节功能,极大地改变了现有阀门仅有的单向调节功能,为管道控制的简化提供新型基础元件,创造出新的控制系统。

4 非能动梭式特种止回阀

梭式特种止回阀:梭式止回阀赋予特殊结构,强化单一专有功能的止回阀。

1)梭式消防特种止回阀:多元密封、零泄漏。解决了多年航空煤油泄漏问题。采用合成橡胶密封,聚合密封,金属密封副密封(DN15-100)均达到零泄漏运行10~20年。适用储运系统零泄漏、低启闭压力系统。

2)泄漏检测。梭式止回阀泄漏量试验共做2种型号。第1种为消防止回阀ZSXH41X216C,

DN50,阀座密封为软密封(橡胶阀座),试验结果泄漏量为零,在低背压下密封良好,无泄漏。用于消防系统常闭管道上使用,可靠地运行18年。第2种为普通止回阀ZSH41W216C, DN50,阀座密封为金属密封。泄漏量试验结果见表2。

第2种型号的试验分两次测量,第一次测量后,将阀瓣转动180°再进行第二次测量。试验结果每分钟最大泄漏量为10滴,最小泄漏量为1滴。国家标准ZBJ16006290规定,止回阀金属密封最大允许泄漏量(参照国际标准)为 $DN25 \times 3 \text{ cm}^3/\text{min}$ 即通径50 mm止回阀液体试验最大允许泄漏量为 $6 \text{ cm}^3/\text{min}$ 。该阀最大泄漏量小于 $1 \text{ cm}^3/\text{min}$,是国标规定中最大合格值的1/6。密封性能高于国内外一般止回阀标准。

表2 泄漏量试验结果

Table 2 The test results of leakage test

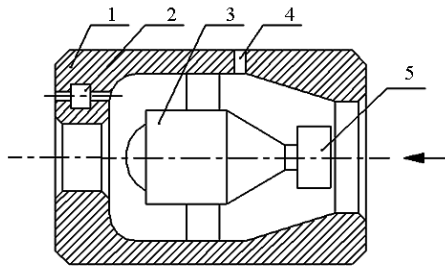
压力/MPa	一次泄漏量 /(滴·min ⁻¹)	二次泄漏量 /(滴·min ⁻¹)	序号	压力/MPa	一次泄漏量 /(滴·min ⁻¹)	二次泄漏量 /(滴·min ⁻¹)
1.2	9	6	8	0.5	10	3
1.1	9	6	9	0.4	10	3
1.0	9	5	10	0.3	9	3
0.9	9	5	11	0.2	7	3
0.8	9	5	12	0.1	5	2
0.7	9	5	13	0.05	4	1
0.6	9	5	—	—	—	—

为防泄漏专一功能设计的:DN50-150,PN200,合成橡胶密封、聚合密封梭式特种止回阀长年达“0”滴泄漏;金属密封可达连续施压30 min,试验检测:“0”滴泄漏。

5 小口径非能动梭式管道爆破保护系统^[9]

系统的结构与工作原理水击压力波形图如图2、3所示。

系统包括阀体、阀体一端的左流道和另一端的右



1—阀体；2—调节器；3—阀芯；4—泄压孔；5—缓冲器

图2 结构示意图

Fig.2 Schematic

流道、左右流道之间的相并连的控制通道和外侧流道、控制通道中可作往复运动的阀芯和阀芯的阻尼件,阻尼件可以是弹簧、剪断销、剪断膜、阻尼缸结构。

为防止关闭管道过快而产生的水击现象从而引起的再爆破,系统增加了缓闭功能,特别设置了泄压孔、调节器、缓冲器。当阀芯关闭时,泄压孔由阀前向阀后泄压,中间连接一个调节阀,泄压后自动关闭。由于阀芯关闭时,瞬时压力突然增高,而通过泄压孔泄出部分压力(调节阀泄压滞后3 s后自动关闭),使水击产生的压力降低一部分。缓冲器作用是当阀芯关闭时可以减缓关闭时间,从而减缓阀芯关闭速度,使水击产生的压力降到最低点。如图3所示。

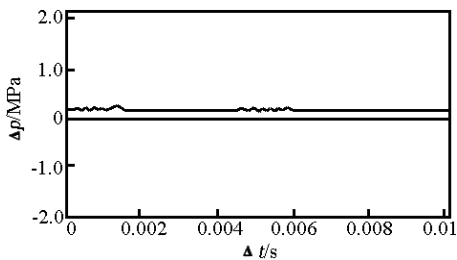


图3 水击压力波形图

Fig.3 Water hammer pressure waveform

正常情况下,由于流道采用梭形,流阻小,阀芯3两侧的压力近似相等,系统不做出动作。当上游的管道发生爆破,由于流体管道中流速发生急剧变化,出口压力降低,装置的进口压力与出口压力差加大,阀芯3在压差的作用下克服阻尼件阻力(阀芯3内)向左移动,并关闭出口以保护管道和减少损失。当事故处理完成后,装置可在阻尼件的作用下自动复位。

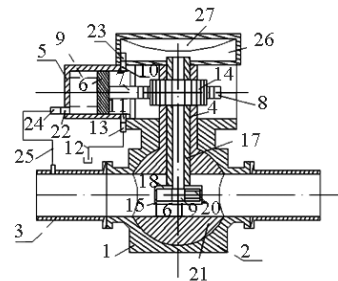
系统具有造价低、响应速度快、流阻小、安装方向及安装环境不限等优点,可有效解决输送流体管道发生爆破事故时无人力或外加动力时紧急切断阀门的问题。目前它已可靠地在大港油田、新疆克拉玛依油田等部分 DN200 以下的管线运行。

6 大口径非能动控制压力管道爆破保护系统^[9,10]

基于一体化思想,将控制件置于管道轴心线上,全部密闭、浸泡在管道输送的介质中。依靠执行器两端的压差与给定值的比较,实现管道爆破保护。制造时选择该装置的材质与管道材质一致,从而可避免不受自然环境、地理位置和控制系统失误的影响,只要管道内有介质输送,它就可以与管道共存,保持自身独有的保护功能。

6.1 系统的结构

非能动控制压力管道爆破保护系统结构如图4所示,由主阀、信号感应采集系统和驱动系统构成。信号感应采集系统由一系列传感器和信号传输装置构成,还包括与主阀做成一体的感流器。驱动系统由一个驱动液压缸和一个蓄能器以及连接软管组成。



1—主阀；2—阀体；3—主管道；4—阀杆；5—控制缸；6—塞；7—控制杆；8—齿条；9—压缩弹簧；10—控制缸进口；11—控制缸出口；12—连接管；13—电磁阀；14—驱动齿轮；15—感流器；16—感流管；17—控流管；18—阀座；19—阀芯；20—复位弹簧；21—阀芯底座；22—缸口；23—反向阻尼器；24—反向阻尼器；25—连接管；26—储压缸；27—储气气囊

图4 非能动控制压力管道爆破保护系统结构原理图

Fig.4 The structural principle diagram of passive control pressure pipe burst protection system

6.2 系统的工作原理

保护系统在正常工作状态时,感流器呈闭合配合,即感流器呈关闭状态,保证主阀呈全开状态,(见图4位置)。当管道右端某位置发生爆破后,高速流体从左端进入感流器,推动阀芯右移,并压缩阀芯右侧的复位弹簧,使阀芯与阀座呈开启状态,流体经感流管,阀座,控流管,储压缸并压缩气囊,再经反向阻尼阀,控制缸的缸口,进入控制缸右端缸腔,控制杆随活塞左行,经控制杆上的齿,驱动齿轮连同主阀杆转动,关闭主阀。当管线修复后,感流器仍保持关闭状态,控制缸右端缸口的电磁阀开启,控制缸右端缸腔中的流体,液压缸而泄压。控制缸在从流体

管进入右端缸腔的流体压力和弹簧的联合作用下,推动控制活塞及控制杆右行回位,控制杆上的齿条反向驱动齿轮连同主阀杆反转,主阀回位开启直至全开,保护器恢复输送流体的工作状态。

7 结语

石油、化工、天然气的储运和过程设备应尽量采用非能动控制技术。应提升石油、化工、天然气的储运和过程设备的安全性审查、安全监督级别。把核心件的设计、制造安全性提升到核能堆芯、航天飞行器、火箭推进器等高技术领域相应技术的要求和元件审查、监督标准。

参考文献

- [1] Zeng Xiangwei, Qiu Xiaoping, et al. Shuttle - type passive control system for pressure pipeline conveying, proc [A]. 8th Conference on Systemics [C]. Florida: Cybernetics and Informatics, 2004
- [2] Xiangwei Zeng, Hua Huang, Mingheng Xu, et al. FSB passive shuttle - controlled PSA devices [A]. Proc 10th World Multi -

Conference on Systemics [C]. Florida : Cybernetics and Informatics, 269 - 279

- [3] Zeng Xiangwei, et al. FSB passive shuttle - controlled PSA devices [A]. 10th World Multi - Conference On Systemics [C] . Florida : Cybernetics and Informatics, 2006
- [4] 曾祥炜. 差流可调梭阀 [P]. 中国/日本/加拿大发明专利: 87103004. 7/25372/1281256, 1991
- [5] Zeng Xiangwei. Adjustable differential flow shuttle valve [P]. USP: 4872475, 1989
- [6] Zeng Xiangwei. Reversible adjustive valve [P]. Germany Invention Patent: 3814248, 1994
- [7] Zeng Xiangwei, et al. A novel gas/hydraulic speed adjustment system [J]. Proc. ASME DEDSM, 2001
- [8] Zeng Xiangwei, Chen Kun, Qiu Xiaoping. The burst protectors for the pressure pipeline in shuttle - type passive control system [A]. Proc. 9th World Multi - Conference on Systemics, Cybernetics and Informatics [C]. USA: Cybernetics and Informatics, 2005
- [9] Zeng Xiangwei. Self - operated protection device for pipeline [P]. USP: 6895994B2, 2005
- [10] Zeng Xiangwei. A protection device in event of pipe rupture [P]. USP: 6895994B2, 2005

Discussion on the collection and transmission equipments' drive method of oil or gas from the explosions of Dalian pipeline —gathering and conveyance of oil or gas with the help of passive control drive technology

Zeng Xiangwei¹, Chen Kun², Qiu Xiaoping³, Zeng Xiaoge⁴,
Xiang Beiping¹, Zang Hongbin¹, Shi Lei¹, Gong Wei¹

(1. School of Manufacturing Science and Engineering, Southwest University of Science and Technology, Mianyang, Sichuan 621000, China; 2. School of Manufacturing Science and Engineering, Sichuan University, Chengdu 610065, China; 3. School of Logistics, Southwest Jiaotong University, Chengdu 610031, China; 4. Sichuan Fluid Technology Development Co., Chengdu 610041, China)

[Abstract] Based on the analysis of the current explosions of Dalian pipeline in China, this paper focused on the collection and transmission equipments' drive method of oil or gas in the world and proposed a passive control principle and method. With the introduction of structure and principle of passive control shuttle-type key component, the passive shuttle-type control pipeline explosion protection system and the shuttle-type fire-fighting check valve for the huge oilcan were discussed in detail, which was very helpful for the collection and transmission of oil or gas.

[Key words] passive ; control; gathering and conveyance of oil or gas; leakage