

深海阀门载荷分析

□ 张希恒 □ 黄婉茹 □ 周璟莹
兰州理工大学 石油化工学院 兰州 730050

摘要:在对海底管线载荷类型归纳的基础上,分析深海阀门载荷的种类及组合方式。对波浪、海流规律进行研究,采用莫里森方程计算深海阀门受到的波流作用力,采用极限地震应力法或动力分析法对深海阀门抗震能力进行分析。

关键词: 阀门 载荷 分析

中图分类号: TH123

文献标志码: A

文章编号: 1000-4998(2017)04-0035-04

Abstract: Based on the classification of load types of submarine line, the types of deep sea valve loads and combinations were analyzed. The wave and ocean current laws were studied, and the wave-current force applied to the deep-water valve was calculated by the Morison equation. The seismic restraint of the deep-sea valve was analyzed by the ultimate earthquake stress method or the dynamic analysis method.

Key Words: Valve Load Analyses

陆地和近海油气资源储量减少,深海油气资源丰富,于是人们便把目光转向深海,深海水域成为如今海洋石油开发的主战场。管线系统广泛用于石油天然气工业,深海阀门是海洋管道系统的重要组成部分,深海阀门的设计尤为重要。载荷是深海阀门研发的重要内容,而现有对阀门的研究主要集中在陆上阀门,对深海阀门研究则较少。

在阀门设计时,常考虑阀门在设计寿命期限内的结构完整性和使用性载荷。除了设计压力外,深海阀门载荷受多种因素影响。海洋环境特殊,常见的海洋环境有风、海流、海冰、地震及波浪等^[1]。

根据海底管道资料^[2-6]中载荷的分类,可将深海阀门载荷分为功能性载荷、环境载荷及偶然载荷,这些载荷对海洋设备颇有影响。在海底管道标准资料的基础上,根据深海阀门的工作环境对深海阀门载荷进行分析确定。

目前,海洋阀门设计采用的标准主要有 API 6DSS—2009^[7]、API 6A—2010^[8]、API 17D—2011^[9]和 ISO 13628-1—2005^[10]等。其中,API 6A—2010对深海阀门的载荷未作规定,API 17D—2011指出水下阀门的设计需考虑内部流体条件、外部静水压力及环境的影响。

API 6DSS—2009与 ISO 14723—2009^[11]等同采用,在 API 6DSS—2009和 ISO 14723—2009中指出阀门按内部压力、温度和外部静水压力设计。对于需要考虑功能和意外载荷的阀门,采购方可参考 ISO

13623—2009^[12]作出规定。ISO 13623—2009标准适用于陆上和近海管道系统,同时指出深海阀门需满足 ISO 14723—2009标准的要求。将 API 6DSS—2009与 ISO 13623—2009进行对比,可知对深海阀门载荷没有作出明确规定,仅依采购方的需求而定。笔者通过归纳海底管道的载荷,确定深海阀门的载荷种类、载荷组合及计算方法。

1 载荷种类

1.1 环境载荷

ISO 13623—2009和 GB/T 24259—2009中指出,环境载荷由海洋环境产生,由海浪、海流、潮水、风、雪、冰、地震、交通、捕鱼,以及设备振动和海床上结构引起位移产生的载荷等组成。《海洋石油工程设计指南》第12册所述环境载荷指由环境现象产生的载荷,可参考第5册中的环境参数:①海洋、气象数据,如水深、风、波浪、海流、水位、冰、环境温度、海生物、冲刷及其它参数;②地震参数。

同时,SY/T 10037—2010和 DNV-OS-F101—2013指出,环境载荷由风载荷、流体动力载荷、波浪和海流载荷、冰载荷组成。对于地震载荷,可根据发生的概率划为偶然载荷或环境载荷。

另外,在《海洋油气管道工程》、GB/T 21412.1—2010、ISO 13628-1—2005、SY/T 10050—2004和 DNV-CN30.5—1991等^[13-16]中指出,重要的环境因素有风载荷、流载荷、波浪载荷、冰载荷、地震载荷,以及海床基础变形、锚、渔具和船舶作用载荷等。

收稿日期:2016年9月

风载荷通常作用在海平面以上,因此在安装和工作状态下不考虑风载荷对阀门的影响。

我国的海冰都属于一年冰,主要出现在渤海和黄海北部^[17],浮冰深度有限,深海海底不生成固定冰,因此阀在深海工作状态下无冰载荷,若安装期错开冰期,则不需考虑冰载荷作用。

雪载荷主要针对陆上阀门,深海阀门无雪载荷作用。

潮汐涨落影响水位升降,对海岸和海洋平台的结构物影响较大,但对深海结构物影响较小。

海床变形引起的载荷主要影响阀门放置时的稳定性,且阀门轴向尺寸与径向尺寸相差不大,海床变形对阀门稳定性影响较小,因此可不考虑海床变形引起的载荷。

船舶、渔具尺寸有限,因此不考虑由船舶、渔具引起的载荷。

可见,总体而言,深海阀门所受的环境载荷有波浪、海流及地震作用载荷。其中,环境载荷取100年(南海、东海)或50年(渤海)内所遇最大载荷,也可取3倍设计寿命期内的最大载荷;施工期取1年一遇最大载荷或3倍施工期内最大载荷,但不得少于3个月^[2,4,12]。

1.2 功能性载荷

ISO 13623—2009和GB/T 24259—2009中指出,功能性载荷包括重力、压力、温度应力、施工过程预加应力与残余应力、土壤覆盖层作用力、外部静水压力、海洋生物沉降、冻胀、融沉、由结冰引起的持续载荷,以及以上载荷引起的支撑反作用力。SY/T 10037—2010^[5]和DNV-OS-F101—2013中指出,功能性载荷由重力、静水外压、介质温度、构件反作用力、覆盖作用力、工作介质压力、海床反作用力、预应力、支撑结构永久变形,以及清管引起的载荷等组成。

通常认为深海水深大于300 m,受水深影响,深海阀门通常置于海床上,因此不存在土壤对阀门的覆盖作用力。深海阀门主要用于输送管道上,内部介质通过换热设备使温度降至常温状态,而深海的环境温度一般为2~10℃,对于深海阀门的分析不需考虑温差应力。《海洋石油工程设计指南》第12册中说明,功能性载荷又分为运行期功能性载荷和安装期功能性载荷,运行期功能性载荷主要包括重力、压力、温度应力、海床反作用力等,安装期功能性载荷包括安装时施加的外力和挖沟埋设时挖沟机产生的作用力等。

因此,忽略非重要因素,在强度分析中,深海阀门的功能性载荷主要有重力、外部静水压力、内部介质压力、管道及底部支座反作用力等。

1.3 偶然载荷

由《海洋石油工程设计指南》第12册可知,偶然载

荷是在异常和意外情况下产生的。ISO 13623—2009、GB/T 24259—2009、SY/T 10037—2010及DNV-OS-F101—2013中将偶然载荷分为火灾、爆炸、突然降压、物体下落及第三方设备等引起的载荷。另外,GB/T 21412.1—2010和ISO 13628-1—2005中指出,落物、渔网拖拽及地震等偶然载荷应通过专门的风险分析来确定。

2 载荷组合

上一节是对深海阀门受到的载荷种类进行分析,在强度分析中,还需对不同类型的载荷进行组合。特殊的海洋工作环境,增加了阀门维护及维修的难度,使载荷组合更为严苛,阀门须在不同工况下选取同时发生的最不利载荷组合方式。由于海底管道与深海阀门工作环境相近,因此深海阀门的载荷组合方式可借鉴海底管道的载荷组合方式。查阅相关标准和手册,海底管道的载荷组合见表1。

表1 海底管道载荷组合

标准与手册	载荷组合
ISO 13623—2009与GB/T 24259—2009	1. 设计环境载荷+适当降低的功能性载荷; 2. 设计功能性载荷+同时发生的最大环境载荷; 3. 在预测到偶然载荷同时发生的条件下,偶然载荷+环境载荷,否则不考虑这一组合
DNV-OS-F101—2013、SY/T 10037—2010、《海洋石油工程设计指南》第12册	1. 在操作极限状态、疲劳极限状态和极端极限状态下,功能性载荷+环境载荷+压力载荷; 2. 偶然极限状态下,功能性载荷+环境载荷+偶然载荷+压力载荷
《海洋石油工程设计指南》第5册	1. 功能性载荷; 2. 设计环境载荷和同时作用的功能性载荷; 3. 水压试验或停输再启载荷; 4. 地震载荷是特殊的环境载荷,一般不与其它环境载荷进行组合
《海洋油气管道工程》	1. 正常运行状态的工作载荷+相应的环境载荷; 2. 施工状态的工作载荷+相应的环境载荷; 3. 正常运行状态的工作载荷+地震载荷

参考表1中的组合方式,可得深海阀门的载荷组合类型有:①功能载荷+环境载荷(除地震外);②工作状态下的功能载荷+地震载荷。除非偶然载荷可预测到同时发生,否则不考虑其与其它载荷组合。

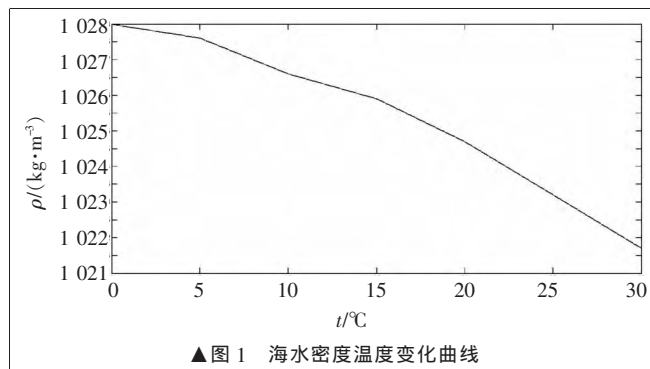
3 载荷计算方法

上一节分析了深海阀门的载荷种及组合方式,功能性载荷的分析计算与陆上阀门相同,在此不多叙述,以下对环境载荷及地震载荷的计算方法进行分析确定。

3.1 外部静水压力

随着海洋深度的增加,海洋中的斜压场逐渐减弱,

当达到一定深度时,斜压场不存在^[18],因此在深海中仅考虑正压场的作用。若以海平面为基准面,取向向下为正,由流体静力学方程可得深度为 z 处的压力 $p=\rho gz$,其中 ρ 为海水密度。海水密度主要与海水温度有关,根据DNV-RP-C205—2010^[19]附表可得海水密度随温度的变化,如图1所示。对于海洋工程研究,一般取重力加速度 $g=9.8\text{ m/s}^2$ 。



▲图1 海水密度温度变化曲线

3.2 波浪力

海水有波浪运动,深海阀门受到波浪力的作用。波浪对阀门的作用力主要包括拖拽力、惯性力、冲击力及升力。当波浪较大时,需考虑波浪对阀门的作用力。

当结构物尺寸较小($D/L < 0.2$, D 为结构物公称直径, L 为波浪波长)时,采用莫里森方程计算波浪力,因此,阀体受到的波浪力也采用莫里森方程进行计算。由于受到接近海底的波浪作用,水质点竖直方向的速度和加速度较小,竖直方向上的拖拽力和惯性力可以忽略不计。假定波浪的波峰线与阀门轴线平行, dl 长度上波浪力的计算公式^[20]为:

$$\begin{cases} dF_{Hi}=dF_{DH}+dF_{IH}=\frac{1}{2}C_D\rho Du_x|u_x|dl+C_M\rho\frac{\pi D^2}{4}\frac{\partial u_x}{\partial t}dl \\ dF_V=dF_L=C_L\rho Du_x^2dl/2 \end{cases} \quad (1)$$

式中: F_{Hi} 为水平波浪力, N ; F_V 为竖直波浪力, N ; F_L 为竖直方向的升力, N ; F_{DH} 为水平拖拽力, N ; F_{IH} 为水平惯性力, N ; C_D 为拖拽力因数; C_M 为质量因数; C_L 为升力因数; u_x 为水质点的水平速度, m/s 。

在波浪冲击区,波浪冲击力^[4] $dF_s=C_s\rho Dv^2dl/2$ 。其中 C_s 为冲击因数, v 为垂直水面的流速, m/s 。

常见的波浪理论有线性波理论、斯托克斯波理论、椭圆余弦波理论、孤立波理论及白线波理论,根据不同波浪理论适用范围的研究,可采用斯托克斯 V 波计算水质点水平速度等参数^[1,20]。

3.3 海流力

海流的速度随时间变化缓慢,可以认为海流是定常流动的。海流力主要由拖拽力和升力组成,其中拖拽力与海流同向,升力与海流流速垂直。海流力常与波浪一起考虑,利用莫里森方程计算波流联合作用下的拖

拽力,流速为波浪和海流速度的矢量和。海流的速度可以采用下式计算^[4]:

$$\begin{cases} u_1=u_0(y_1/d)^{1/7} \\ v_{eff}=[0.778u_1^2(D/y_1)^{0.286}]^{0.5} \end{cases} \quad (2)$$

式中: u_0 为水深 d 处的流速, m/s ; u_1 为离海底 y_1 处的流速, m/s ; d 为水深, m ; y_1 为离海底的高度, m ; v_{eff} 为有效稳定流速, m/s 。

3.4 地震力

我国是地震多发国家,海底地震频繁发生。地震分为天然地震与人工地震,天然地震又分为构造地震、火山地震等,人工地震则主要是人类活动引起的地震。目前国内外并没有对深海阀门进行抗震分析的规范或标准,只规定在抗震设防区内需考虑地震载荷的作用。

目前,国内外对裸露在海床上的阀门一般不进行地震应力校核,工作人员根据经验常作如下假设:海床土壤比较密实,承载能力较大,放置在海床上的阀门不发生沉降;对于较松软的海床,由于自然沉降及海生物覆盖等会发生自埋现象,导致阀门被浅埋。参考海底管道地震分析可知,对于浅埋的阀门可采用极限地震应力法进行地震分析。极限地震应力法是在塑性滑移理论的基础上得到的,当阀门与土壤之间的约束由弹性约束进入塑性约束时,通过土壤作用于阀门的地震作用不会因土壤变形的增大而增大。此时,阀门的地震应力达到最大值^[21]。

另外,在波浪海流等的作用下,海床受到冲刷,阀门也有可能被悬空。根据悬置海底管道的地震分析可知,悬置阀门可采用动力分析法进行地震响应分析。动力分析又有时域分析和频域分析之分。阀门的地震分析多采用时域分析。时域分析法通过对地震波的分析,得到地震加速度时域曲线。运用ANSYS Workbench中的Acoustic Extension模块进行模态分析^[22-23],再输入地震加速度时域曲线,从而进行地震响应分析,模拟阀门在地震波作用下的动力响应。

4 总结

(1)深海阀门载荷有功能性载荷、环境载荷和偶然载荷三种。功能性载荷由重力、外部静水压力、内部介质压力、管道及底部支座反作用力组成。环境载荷包括海流、波浪与地震载荷。偶然载荷有火灾、爆炸、突然降压、物体下落及第三方设备等引起的载荷。

(2)载荷组合方式为功能性载荷+环境载荷(除地震外),以及工作状态下的功能性载荷+地震载荷。除非偶然载荷可预测到同时发生,否则不考虑其与其它载荷组合。

(3)外部静水压力根据流体静力学方程求得,波流作用力根据莫里森方程求解,地震作用力可通过极限

地震应力法或动力学分析法进行分析。

参考文献

[1] 徐兴平.海洋石油工程概论[M].青岛:中国石油大学出版社,2007.

[2] 石油天然气工业 管道输送系统:GB/T 24259—2009[S].

[3] 《海洋石油工程设计指南》编委会.海洋石油工程设计指南第12册.海洋石油工程深水油气田开发技术[M].北京:石油工业出版社,2011.

[4] 《海洋石油工程设计指南》编委会.海洋石油工程设计指南第5册.海洋石油工程海底管道设计[M].北京:石油工业出版社,2007.

[5] 海底管道系统:SY/T 10037—2010[S].

[6] Submarine Pipeline Systems:DNV-OS-F101—2013[S].

[7] Specification for Subsea Pipeline Valves:API 6DSS—2009[S].

[8] Specification for Wellhead and Christmas Tree Equipment:API 6A—2010[S].

[9] Design and Operation of Subsea Production Systems—Subsea Wellhead and Tree Equipment:API 17D—2011[S].

[10] Petroleum and Natural Gas Industries—Design and Operation of Subsea Production Systems—Part 1: General Requirements and Recommendations:ISO 13628-1—2005[S].

[11] Petroleum and Natural Gas Industries—Pipeline Transportation Systems—Subsea Pipeline Valves:ISO 14723—2009[S].

[12] Petroleum and Natural Gas Industries—Pipeline Transporta-

tion Systems:ISO 13623—2009[S].

[13] 杨明华.海洋油气管道工程[M].天津:天津大学出版社,1994.

[14] 石油天然气工业 水下生产系统的设计与操作 第1部分:一般要求和推荐做法:GB/T 21412.1—2010[S].

[15] 环境条件和环境荷载规范:SY/T 10050—2004[S].

[16] Environmental Conditions and Environmental Loads:DNV CN30.5—1991[S].

[17] 中国海冰条件及应用规定:Q/HSn 3000—2002[S].

[18] 冯士筌,李凤岐,李少菁.海洋科学导论[M].北京:高等教育出版社,1999.

[19] Environmental Conditions and Environmental Loads: DNV—RP-C205—2010[S].

[20] 竺艳蓉.海洋工程波浪力学[M].天津:天津大学出版社,1991.

[21] 孙政策,段梦兰,刘立名,等.海底管线地震应力分析方法和建议[J].中国工程科学,2003,5(8):76-80.

[22] 刁红旗.近海地震动特性及衰减规律[D].哈尔滨:中国地震局工程力学研究所,2014.

[23] 姜峰,郑运虎,梁瑞,等.海洋立管湿模态振动分析[J].西南石油大学学报(自然科学版),2015,37(5):159-166. ▲

作者简介:

张希恒(1966—),男,副教授,主要研究方向为阀门设计与开发。

(编辑 小 前)

(上接第23页)

对应每个滚针,销轴的外径上需要磨削出一定厚度(图2中为0.05 mm)的平面,这样直径上就对称磨去0.1 mm,精密滚针的圆周位置可以由保持架来确定。

使用时,将薄壁胀套插入与之相配合的工件定位孔中,然后转动销轴,这时均匀分布在销轴圆周上的滚针就会在摩擦力的作用下从销轴上小平面处逐渐滚动至销轴外径处,薄壁胀套就随之在径向胀开一定的尺寸,从而消除了弹性胀套与定位孔之间的间隙,完成胀紧,实现定位和夹紧功能。

3 结束语

精密薄壁胀心定位机构结构简单紧凑,定位精确、快速方便,且成本低廉,具有普适性,在各种机床夹具、装配夹具、检验夹具及各种机械产品零部件之间的可拆定位结构中都可以方便应用,既能提高生产效率,又能更好地保证产品精度。这一机构已经获得国家专利。

参考文献

[1] 许雯,张树礼.高精度盘套类零件自动定心夹具设计[J].金属加工(冷加工),2009(16):46-47.

[2] 姚广鹰.胀条式自动定心夹具[J].机械制造,1998,36(4):39.

[3] 肖继德,陈宁平.机床夹具设计[M].2版.北京:机械工业出版社,2011.

[4] 张毅锋,杜金霞,税阿英.一种用于盘类工件端面铣齿的弹性夹具[J].机械制造,2012,50(8):83-84.

[5] 赵诗若,赵忠兴.基于零间隙配合的精密摩擦胀芯定位机构的开发设计[J].制造技术与机床,2016(9):135-136.

[6] 侯家驹.汽车制造工艺学[M].北京:机械工业出版社,1991.

[7] 王伟斌.薄壁件胀芯车夹具的改进[J].机械制造,2001,39(9):57.

[8] 姚惠权.脊椎式弹性薄壁心轴[J].机械加工,1966(7):41.

[9] 于志生.加工偏心的心轴[J].机械工人(冷加工),1981(11):18.

作者简介:

赵诗若(1987—),女,讲师,主要研究方向为数控加工与测量;赵忠兴(1959—),男,教授,主要研究方向为制造技术与装备。

(编辑 丁 罡)

