

►技术讨论◀

# 海洋平台受力改善及能量耗散疲劳延寿方案<sup>\*</sup>

陈养厚 陈团海  
(中国石油大学(华东))

**摘要** 采用能量耗散及受力缓冲原理,对正在服役的海洋平台添加部分可更换的阻尼减振耗能装置,以减小平台所受的最大作用力,减少平台疲劳振动次数,从而有效延长平台剩余服役期限。为了减小冲击的影响,采用起缓冲作用的措施:在平台构件的受外力端点处配置弹簧、放置橡皮垫圈;添加阻尼器,直接改变构件结构。结果认为:受力改善及能量耗散思想可以应用于浅海平台的延寿;采用加大受力点阻尼,减小系统弹性系数,可明显减小系统受到不恒定力的最大值;阻尼耗能装置也可直接应用于平台的初期建造;在不改变传统设计的基础上,延长平台的设计年限。

**关键词** 海洋平台 能量耗散 阻尼减振 耗能装置 疲劳寿命

## 引言

海洋石油平台是海洋石油开发的关键设备,结构复杂、造价高昂。它们通常都是大型多构件复杂装置,由很多样式及不同材料组成,长期处于复杂的海洋环境下。在不同的服役区,平台承受风、浪、流、地震以及冰等载荷的作用,其受力十分复杂,基本上都是随机性载荷。这些载荷对平台的作用力不恒定,引起平台构件应力、应变不断变化,易产生疲劳损伤<sup>[1-4]</sup>。在未受到结构性破坏前,希望在保证海洋平台安全的前提下,尽可能使平台的使用寿命延长,以降低海洋石油的开发成本,提高经济效益。采用能量耗散及受力缓冲原理,对正在服役的海洋平台添加部分可更换的阻尼减振耗能装置,以减小平台所受的最大作用力,减少平台疲劳振动次数,不必进行大规模改造,从而有效延长平台剩余服役期限。

欧进萍<sup>[5]</sup>、刘山<sup>[6]</sup>、嵇春艳<sup>[7]</sup>等人对导管架阻尼隔振方法进行了研究。嵇春艳主要进行振动的主动控制,对平台的振动控制效果以及海洋平台的振动控制特点进行分析。欧进萍等人是在导管架端帽与上部组块之间设置阻尼隔振层,主要目的是减小结构振动反应,并针对渤海JZ20—2MUQ导管架

式海洋平台结构冰振进行控制,分析装置对导管架上部位移、振动频率、加速度的影响。

笔者的研究主要是通过对输入作用(冰载、波浪)峰值的缓冲和减小,使导致疲劳的作用力幅值减小,从而增大系统疲劳寿命。装置的放置点主要在导管架腿海平面处以及上部组件斜撑内。

## 平台的力学能耗分析

### 1. 海洋石油平台的受力

平台受到风、浪、流、地震以及冰等载荷的作用,具有较大的随机性,其中对平台疲劳寿命影响较大的是冰力及波浪力。一般认为,在平台桩柱上安装冰锥结构后,可采用岳前进提出的简化冰力函数对其进行冰激振动分析,函数形式可表示为

$$F(t) = \begin{cases} F_0 \left( 1 - \frac{t}{T} \right) & (0 \leq t < T) \\ 0 & (t \geq T) \end{cases} \quad (1)$$

式中  $F_0$ ——冰力幅值;

$T$ ——冰力周期;

——冰与锥体结构的作用时间。

冰力随时间的变化如图1所示。

设某平台桩腿的波浪载荷如图2所示。由图2可以看出,平台所受的波浪力不是稳定载荷,可将

<sup>\*</sup> 基金项目:国家863海洋油气勘探开发技术专项课题“近海石油老龄平台延寿技术研究”(2006AA09Z355)。

其近似为脉冲型的冲击性载荷。

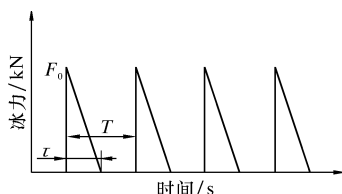


图1 冰力随时间的变化关系

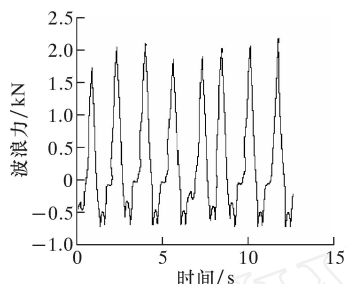


图2 某平台桩腿的波浪载荷

## 2. 平台系统的受力缓冲

平台的受力不是恒定载荷，各种外力都会对系统产生冲击作用，容易造成结构损坏。由于被冲击的构件具有弹性，冲击作用并非立即传到构件全部，而是以类似于冲击波的形式传播。在冲击作用的局部（往往不是直接冲击点）会产生很大的塑性变形，以致破坏，冲击载荷为

$$F_d = F \left( 1 + \sqrt{1 + \frac{v_0^2}{g s_f}} \right) \quad (2)$$

式中  $F_d$ ——冲击载荷的最大值；

$F$ ——冲击物自重；

$s_f$ ——静变形；

$v_0$ ——冲击速度。

冲击载荷的最大值  $F_d$  不仅与冲击物自重  $F$  有关，而且与被冲击物的静变形有关，显然  $s_f$  愈大， $F_d$  愈小。为了减小冲击的影响，采用如下可起缓冲作用的措施：在平台构件的受外力端点处配置弹簧、放置橡皮垫圈；添加阻尼器，直接改变构件结构。

## 3. 平台系统的能量耗散

服役中的海洋石油平台可以看作一个完整系统，外力对其做功，平台本身消耗一定能量，其余能量对外输出。在平台服役的连续阶段内，当外力对平台的总输入功率不大于平台本身消耗的总功率时，平台处于安全稳定状态。

海洋平台在服役期间受到风、浪、流、冰、地震等载荷，平台系统主要吸收这些载荷所做的功，平台的受力模型可以简化为

$$M \ddot{x}(t) + C \dot{x}(t) + Kx(t) = F(t) \quad (3)$$

式中  $M$ 、 $C$ 、 $K$ ——平台的质量矩阵、阻尼矩阵及刚度矩阵；

$F(t)$ ——平台所受的总外力（总激励）；

$\ddot{x}(t)$ 、 $\dot{x}(t)$ 、 $x(t)$ ——平台的加速度向量、速度向量及位移向量。

将平台想象成完全理想的弹性体，则刚度系数  $K$  对能量的消耗没有贡献，平台的能量耗散主要依靠阻尼系数  $C$ 。 $K$  主要影响系统储能的大小，系统所含能量为

$$E(t) = \frac{1}{2} M \left[ \ddot{x}(t) \right]^2 + \frac{1}{2} K \left[ x(t) \right]^2 \quad (4)$$

系统的能量方程为

$$\dot{E}(t) = P_{in}(t) - P_{dis}(t) \quad (5)$$

式中  $P_{in}(t)$ ——总激励  $F(t)$  对平台系统的总输入功率；

$P_{dis}(t)$ ——系统的阻尼耗散功率。

若系统阻尼耗散功率小于激励输入功率，系统本身所含能量会不断增加，直至达到系统极限而发生破坏。另外，系统本身能量不断与外界互换，可能造成在未达到系统本身极限而发生高应力导致的疲劳破坏。因此，不但要防止平台达到系统极限而发生破坏，而且要防止平台在达到系统极限前的高应力疲劳破坏。因而在外力一定的情况下，需要在系统中添加具有缓冲及能量耗散的阻尼器件，适度增大阻尼系数，增加系统的能量消耗。

## 平台缓冲及耗能方案

对单个导管架而言，其内部的连接杆可以做可拆卸的减振器形式，也可在平台主要承受波浪和冰载荷的水平面处设置一吸能缓冲装置。

### 1. 波浪及海冰作用处阻尼装置

此结构是在海平面处的导管架腿柱放置外部钢套，在桩腿与钢套间放置橡胶。当波浪或海冰等载荷对平台作用时，外力首先作用于外部钢套上，然后传递给弹性较大的橡胶（或塑料）。经过橡胶（或塑料）将力作用于桩腿主导管，这样就会减小外力对平台的最大冲击，从而减小应力幅。橡胶厚度根据需要的阻尼大小决定。为了获得更好的阻尼特性，也可以采用多层橡胶的办法。

### 2. 平台系统内部斜撑阻尼装置

对于斜撑杆结构，可将杆件分为相互联通的几个腔室，里面充满液压油，腔室之间通过阻尼孔连通（图3），也可在各个腔室内配置弹性系数不同的弹簧。当两端受拉力时，两端腔室中的液压油通

过阻尼孔进入中间腔室；当两端受压时，中间腔室中的液压油通过阻尼孔进入两端腔室，从而有效消耗外部对系统所做的功，减小系统内部冲击力的传递。腔室中的 2 个活塞杆可以分别设置在各自的极限位置，因而能承受初始的稳定预拉力及压力，单方向刚度、强度与未安装阻尼装置相同。

图 3 中的阻尼孔可根据阻尼大小来决定，也可以增加孔的深（长）度来调节阻尼的大小，或者在腔室内设置一定弹性系数的弹簧实现不同的阻尼刚度比。

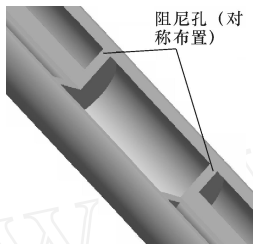


图 3 腔室阻尼孔放大图

一般在位移相差较大的点连接耗能构件中，可直接将对结构强度影响不大的斜撑构件改为耗能构件。所有增大（或减少）系统阻尼的措施都是建立在满足系统刚度及强度的基础上，若无限增大（减小）阻尼，可能引起系统的不稳定，同时应该避开系统所受外力的共振频率。添加耗能构件后，平台的受力模型如下

$$M\ddot{x}(t) + \left[ C + \tilde{C} \right] \dot{x}(t) + \left[ K + \tilde{K} \right] x(t) = F(t) \tag{6}$$

式中  $\tilde{C}$ 、 $\tilde{K}$ ——附加耗能构件的阻尼矩阵及刚度矩阵。

算 例 分 析<sup>[8-9]</sup>

如图 4 所示，在某导管架平台海面受冰力作用下，设置冰锥橡胶包覆桩腿的缓冲装置。外部设置

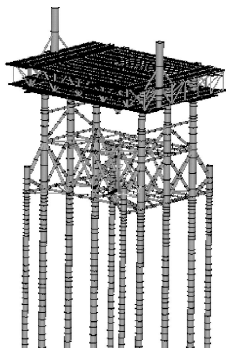


图 4 某平台有限元模型

破冰锥，破冰锥内部放置具有一定弹性系数和阻尼系数的橡胶。

对该平台，当装置阻尼系数和刚度系数之比为 0.1 时，在受到图 1 所示的冰力作用下，设置缓冲装置前后，传递给导管架桩腿柱的力对比图如图 5 所示。由图 5 可知，桩腿柱所受的力有趋于平滑的趋势，受到的最大冲击力明显减小，约为原值的 85%。

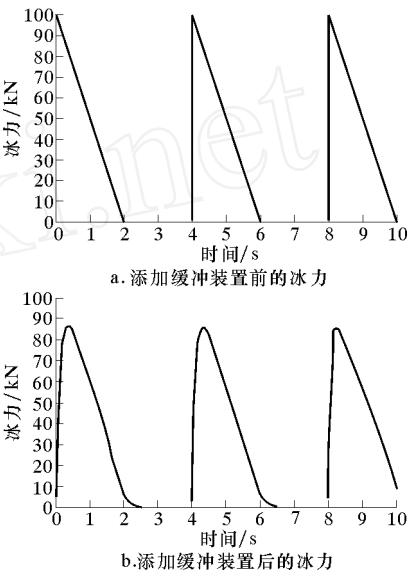


图 5 设置缓冲装置前后导管架桩腿柱所受冰力对比图

图 6 为平台受到图 5 所示作用力下的某点内力对比图。由图 6 可知，在添加缓冲装置后平台内部节点应力幅减小，受力情况得到改善。

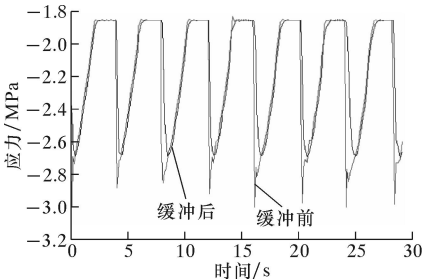


图 6 缓冲前后平台内部某点应力对比

图 7 所示为阻尼系数和刚度系数之比为 0.4，受到周期为 7.85 s 规则波浪力时，平台设置缓冲装置前后的受力。由图可知，设置缓冲装置后力的最大值约为原值的 95%。

疲劳  $S-N$  曲线一般以幂指数形式表示，即

$$\lg N = \lg a - m \lg S \tag{7}$$

式中  $N$ ——在应力幅  $S$  内产生疲劳失效的预计循环次数；

$S$ ——应力幅；

$m$ —— $S-N$  曲线斜率的负倒数；

$\lg a$ —— $S-N$  曲线在  $\lg N$  轴上的截距。

由此可知,对于同一条疲劳曲线,当  $\lg a$  和  $m$  一定时,应力幅减小,相应的循环次数  $N$  会增大,即疲劳寿命增加。

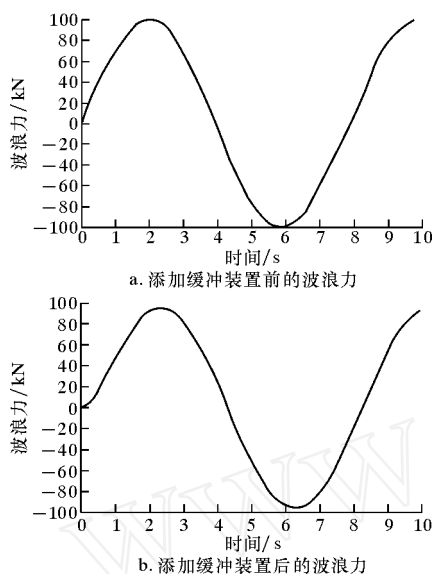


图7 平台受到的波浪力

## 结 论

(1) 由以上计算可知,受力改善及能量耗散思想可以应用于浅海平台的延寿。

(2) 采用加大受力点阻尼,减小系统弹性刚度系数,可明显减小系统受到不恒定力的最大值;通过减小系统的应力幅值,可减小平台的累积疲劳损伤;平台系统内部的阻尼装置可以减小、延缓系统中冲击力的传播,在系统中采用卡箍的方式添加斜撑阻尼装置,既不会引入新的应力集中,又可以分担原有支撑的受力,可以直接用于在役平台的维修加固。

(3) 阻尼缓冲装置大量消耗能量,与其它构件相比会较快达到疲劳寿命,因而需要定期更换。

(4) 阻尼耗能装置也可直接应用于平台的初期建造,在不改变传统设计的基础上,延长平台的设计年限。

采用缓冲及能量耗散装置,不但可以延长平台的检测维修年限,而且简化了平台的常规维修过

程,大大减少了平台的大修次数。通过减小系统所受到的冲击力、热点应力最大值、系统振动频率和振动位移,可以达到延长平台疲劳寿命、增加平台服役期限的目的。但是,装置的功能及其带来的负面影响也需要进一步研究。

## 参 考 文 献

- [1] 陈国明,李继志.基于极值载荷的平台寿命模型.石油工业技术监督,2000,16(9):1-4.
- [2] 方华灿.海洋石油钢结构的疲劳寿命.东营:石油大学出版社,1990.
- [3] 方华灿,陈国明.海洋平台结构整体疲劳寿命的预测.石油矿场机械,2000,29(5):1-5.
- [4] 胡军,李长升.影响浅海平台自振特性的敏感因素分析.中国海洋平台,2005,20(6):30-33.
- [5] 欧进萍,魏津生.设置粘弹性耗能器的JZ20—2MUQ平台结构冰振控制.海洋工程,2000,18(3):9-14.
- [6] 刘山,麦汉超,申仲翰.海上导管架平台结构隔振控制方案与减振效果分析.强度与环境,2004,31(3):12-18.
- [7] 嵇春艳.主动质量驱动器对导管架式海洋平台振动控制效果研究.华东船舶工业学院学报:自然科学版,2004,18(6):1-7.
- [8] Gupta S, Shabakhty B, Gelder P. Fatigue damage in randomly vibrating jack-up platforms under non-Gaussian loads. Applied Ocean Research, 2006(28):407-419.
- [9] 刘健,陈国明,杨晓刚,等.基于ANSYS软件实现平台结构的冰激振动分析.中国海上油气(工程),2005,17(1):65-69.

第一作者简介:陈养厚,工程师,生于1971年,1995年毕业于山东工业大学机械制造工艺及设备专业,现为中国石油大学(华东)博士研究生,主要从事海洋装备及老龄石油钻采平台延寿技术研究工作。地址:(257061)山东省东营市。电话:(0546)8391113。E-mail:chenyanghai@126.com。

收稿日期:2008-07-15

(本文编辑 王刚庆)

争创世界一流,振兴中国石油

ultrasonic cyclone atomization, fluid displacement and gas production

Feng Ding (Yangtze University, Jingzhou City, Hubei Province), Tang Haixiong, Zhou Kui, et al The status quo and development trend of modularized drilling rig CPM, 2008, 36(9): 143 - 147

The feature of modularized drilling rig and the difference between it and movable drilling rig are presented briefly in this paper Based on several kinds of modularized drilling rigs, the development level and status quo of the modularized drilling rig home and abroad are elaborated, and the offshore modularized drilling rig is introduced briefly And the development trend of the modularized drilling rig is analyzed It will develop towards higher modularization, automation and intelligentization The AC variable frequency electric - driven drilling rig will become the replaced product for inland and offshore use And the use of disc brake and top drive drilling system makes the safety coefficient of drilling improved greatly In addition, the full - hydraulic movable modularized drilling rig has obvious advantage, which will be developed greatly

Key words: modularized drilling rig, offshore drilling rig, status quo, development trend

Ma Dekun (Southwest Petroleum University, Chengdu). Specialized drill bit design for special use CPM, 2008, 36(9): 148 - 150, 173

With the enlarged drilling range, the current drill bit can not meet the special operation demand The new drill bit for specific purpose needs to be developed In foreign drill bit companies, the design method with simulation technology as core is used to design the specialized drill bit It cannot only create benefit for the companies, but also save cost for the drilling team The key points of designing specialized drill bit are elaborated from the accumulation of field data and test data, the computer simulation of drill bit - rock - lower drill string system and drill bit selection and optimizing design software

Key words: specialized drill bit, computer simulation, optimization design, software development

Chen Yanghou (China University of Petroleum, Dongying City, Shandong Province), Chen Tuanhai Reduction of fatigue damage of offshore platform based on energy dissipation and shock absorption CPM, 2008, 36(9): 163 - 166

The paper presents a new method for the extension of fatigue life of offshore platform based on energy dissipation and shock absorption A damping apparatus is assembled around the pile leg and it is easy to be replaced The damping apparatus can be used to depress the outside load Another damping apparatus is installed on the brace It is also easy to be replaced And it can decrease the force along the brace From

the S - N curve, the cycle number N is increased with the reduction of the stress range According to the results of given examples, the apparatus is available for prolonging the platform's life

Key words: offshore platform, energy dissipation, damping vibration isolation, damping apparatus, fatigue life

Zhang Junliang (China University of Petroleum, Beijing), Wang Xiaobo, Lin Li, et al Analysis of tension system of tensioner for pipe - laying vessel CPM, 2008, 36(9): 167 - 169, 178

The tensioner is the key device of offshore pipe - laying vessel and the tension system of the tensioner ensures the constant tension The status quo of the tension system home and abroad is introduced and analyzed It is concluded that the tension way in shallow sea uses the method of screw clamping and motor driving, while the tension way in deep sea uses the method of hydraulic cylinder clamping and AC servo motor driving By simulation, the hydraulic clamping cylinder can reach the demand of the system in every stage The AC servo motor controls the constant force of the pipeline through the output of constant rotating torque under the precondition of hydraulic cylinder being clamped tightly The analysis result shows that the system and the motor drive system meet the operating demand of the system with stability and reliability

Key words: pipe - laying vessel, tensioner, tension system, clamping, drive, simulation

Chang Yulian (Daqing Petroleum Institute, Daqing City, Heilongjiang Province), Zhan Guanjie, Gao Sheng, et al Study of design scheme for new workover mechanical system. CPM, 2008, 36(9): 188 - 191

In workover operation, running and pulling tubing and threading and unthreading in conventional way make the process complex, labor intensity high and operating environment hostile For solving the problem, the new design scheme for workover wellhead mechanical system is put forward The existing drifting device is still used in the new system, but an automatic hanger and a power slip are used to replace the previous two sets of hangers The automatic hanger guide rail is installed on the derrick The seating - type automatic closed hydraulic power tong is used to replace the previous hanging open hydraulic tong, and the automatic string laying tackle mechanism is prepared to lay the tubing The unmanned operation at the wellhead can be realized in this scheme The devices are controlled via the control table, which improves the workover environment, keeps safe and environment - friendly, and provides the preliminary exploring for the automation of workover operation

Key words: workover operation, mechanization, closed hydraulic tong, automatic hanger, scheme design