

近海石油平台疲劳裂纹控制方法的研究

陈瑞峰 高照杰 陈永福
(中国船级社)

5-6, 11
提 要 基于断裂力学的原理,提出了一种对海洋石油平台进行裂纹控制的方法,应用该方法可以解决工程中遇到的实际问题。

关键词 海洋平台 疲劳 裂纹 海上平台

1 前言

近海石油平台不仅结构复杂、造价昂贵,一旦发生事故,还会对海洋环境造成很大的污染,带来不可估量的经济损失。如何保证近海平台的安全生产已越来越引起人们的重视,成为近年来学术界和工程界的研究热点^[1]。

近海平台长期服役在恶劣的海洋环境中,并受到各种载荷的交互作用(如风载荷、海流、波浪载荷、使用载荷、冰载荷等),其结构不可避免的存在各种形式的疲劳裂纹,这些疲劳裂纹的产生使得疲劳失效成为海洋石油平台结构失效的一种主要形式,它们的出现威胁着平台的安全和继续作业^[2]。如何判断这些裂纹的安全度,并进一步对其进行断裂控制,最大限度地发挥结构潜能,延长平台的使用寿命,这不仅是业主非常关心和重视的,同时也是我们在平台检修中不可避免的一项工作,它将为双方确定平台的检修周期,判定平台是否需要修理或立即停止作业甚至报废提供可靠的依据。

本文基于断裂力学的原理引入损伤容限的思想,提出了一种对海洋石油平台进行断裂控制的方法,应用该方法可以解决工程中遇到的实际问题,具有重要的现实意义。

2 安全寿命法及年累积损伤

在以往对海洋石油平台进行疲劳评估时,

大多使用安全寿命法,该方法基于传统的疲劳理论,依据从实验中得到 $S-N$ 曲线来对结构进行评估。方法采用 Miner 线性损伤累积理论,根据节点全寿命 $S-N$ 曲线,可计算得到第 r 个节点年疲劳累积损伤:

$$Dr = \sum_{i=1}^z \sum_{j=1}^z \frac{n_i}{N_{ij}} p(j) \quad (1)$$

式中 n_i 为第 i 种海况年出现频次数; N_{ij} 为第 j 种波浪方向在第 i 种海况下节点 r 疲劳失效应力循环数,该值根据节点热点应力变程由相应的 $S-N$ 曲线查得; $p(j)$ 为第 j 种波浪方向出现频次; y 和 z 分别为波浪方向数和海况数。 $S-N$ 曲线可由实验得到,另外在实际使用中还应根据具体的结构类型、几何尺寸等因素对 $S-N$ 曲线加以修正。例如对海洋平台用 EH36 钢其 $S-N$ 曲线如下式所示:

空气介质:

$$\log N = 13.267 - 3.173 \log S;$$

海水自由腐蚀:

$$\log N = 12.257 - 2.942 \log S;$$

海水阴极防护:

$$\log N = 12.827 - 3.166 \log S;$$

空气介质中打磨和熔修:

$$\log N = 12.82 - 3.650 \log S。$$

这种方法初期的观点是保证所设计原构件,在规定的安全寿命期间不出现疲劳裂纹。现在的观点则是保证承力构件在不进行检查和维修的条件下,在规定的安全寿命期间,因疲劳破坏的可能性极小,它的安全可靠性是用分散系数来保证的。但这种方法在实际应用中往往会遇到困难,例如,安全寿命法是针对完好结构,并已知结构今后的承载历史所作出的。但在实

际工程中,平台结构大多处于受损状态,并已含有疲劳裂纹和损伤,这里有由于制造不当而造成的微裂纹等,也有材料的原始质量缺陷如夹渣、气泡等多种损伤,这些结论已被大家所公认。由于平台所处环境恶劣,结构所受载荷也极其复杂,很难得到平台的受载历史。因此运用安全寿命法往往会遇到许多困难,而且所做出的疲劳寿命也和实际相去甚远。

3 基于断裂力学的控制方法

本文提出的方法基于断裂力学的理论,并且运用损伤容限法的思想,通过对结构进行安全评估、现场检测以及对结构进行相应的维修来保证结构的安全,方法简便、易行,非常适用于在工程实际中应用。

由 Paris 公式:

$$\frac{da}{dN} = C(\Delta K)^m \quad (2)$$

应力强度因子

$$\Delta K = Y(a) \Delta \sigma \sqrt{\pi a} \quad (3)$$

这里 $\Delta \sigma$ 为热点应力变程, a 为裂纹深度, $Y(a)$ 为形状因子。

形状因子由多种复杂因素决定, Dover 等根据实验结果,给出了形状因子表达式^{[3],[4],[5]}:

$$Y(a) = U \left[\frac{a}{T} \right]^v \quad (4)$$

式中 U 和 v 为实验常数, T 为管壁厚度。引入修正因子 M , 对(4)式进行修正:

$$M = M_c M_t M_w M_s \quad (5)$$

M_c 为形式修正因子, M_t 为壁厚修正因子, M_w 为焊后处理修正因子, M_s 为应力分布不均匀修正因子。式(4)可改写成:

$$Y(a) = MU \left[\frac{a}{T} \right]^v \quad (6)$$

根据(6)式可近似计算出不同结构形式、几何参数、工艺、载荷情况下的形状因子,使得用断裂力学分析海洋石油平台疲劳性能成为可能。

将(3)、(6)式代入(2)式,得到结构对应于临界裂纹扩展深度 a_f 的疲劳裂纹扩展寿命:

$$N = \int_{a_0}^{a_f} \frac{da}{C \left[MU \left(\frac{a}{T} \right)^v \Delta \sigma \sqrt{\pi a} \right]^m} \quad (7)$$

在第 j 种波浪方向,第 i 种海况下,如应力变程为 $\Delta \sigma_{ij}$,则裂纹从初始深度 a_0 扩展到临界深度时的寿命 N_{ij} 可由(7)式积分得出:

$$N_{ij} = \frac{T^{[1-(v+0.5)m]} - a_0^{[1-(v+0.5)m]}}{C[1-(v+0.5)m](MU T^{-v} \sqrt{\pi} \Delta \sigma_{ij})^m} \quad (8)$$

本方法认为所有结构都具有不同形式的损伤,对于完好结构,其损伤为材料或结构的原始质量,它的值对于不同材料、不同工艺是不同的。对于受损结构,其损伤为结构已有的疲劳裂纹的尺寸。方法虽然允许结构有一定的损伤,但要求在使用中疲劳裂纹扩展不会扩展到导致疲劳破坏的临界尺寸,也就是说任何损伤在结构强度降至不可接受的水平前应该发现,它是依靠经常的检查来保证结构安全的。该方法的具体实施步骤如下:

(1)现场检测,确定疲劳裂纹的长度、方向(无损检测、目测等);

(2)对所有已检测出的裂纹根据长度、深度及所处部位、方向进行危险度排序;

(3)根据排序确定哪些裂纹应进行控制,哪些可放宽至下一个检测周期进行控制;

(4)对于应进行控制的裂纹,对照剩余强度曲线判定裂纹是否在安全范围内。若否,则进行修复(TIG 熔修等方法)后重新检测;

(5)根据实际载荷,选定适宜的裂纹扩展模型,计算出下次检测时的裂纹扩展量 Δa ;

(6) $a = a_0 + \Delta a$, 判定 a 是否在剩余强度曲线安全范围内。若否,则修复(TIG 熔修等方法)后重新检测。

本文提出的方法已广泛应用于飞机的断裂控制问题,中国船级社海洋石油工程部目前已将该方法应用于实际工程中,并且证明该方法对于海洋石油平台的断裂问题的研究是行之有效的。有关实际应用的情况限于篇幅在此不再述。

[下转第 11 页]

pp. 14(2). - 11

- 5 B. J. Vickery and P. J. Pike. An Investigation of Dynamic Wind Loads on Offshore Platforms. OTC 4955, 1985
- 6 P. H. Laurich. A Wind Simulation System for the Ocean Ranger Hydrodynamic Model Study. OTC 5361, 1987
- 7 SNAME Panel OC-1. Guidelines for Wind Tunnel Testing of Mobile Offshore Drilling Units. SNAME, 1988
- 8 J. E. Aguirre, T. R. Boyce. Estimation of Wind Force on Offshore Drilling Platforms. The Naval Architect, 1974
- 9 Rules for Classification of Mobile Offshore Units. Det norske Veritas, Oslo, Norway, 1982

[上接第6页]

4 结论

(1) 本文提出了一种海洋石油平台桩腿裂纹的控制方法,该方示基于断裂力学原理,并依靠剩余强度曲线和裂纹扩展计算来对已有损伤进行安全评定,而且保证结构在检测期内不会发生灾难性破坏。该方法简便易行,适用于在工程实际中应用。

(2) 该方法克服了传统的安全寿命法的不足,不需要对平台结构过去的受载历史进行了解,只需知道目前平台结构的受损程度,及今后平台的受载情况,即可对海洋石油平台进行安全评估和断裂控制,并进一步计算其疲劳寿命,最大限度地发挥结构的潜力。

(3) 该方法不但可用于受损结构的安全性评估和断裂控制,还可用于完好结构的疲劳寿

命计算,具有很强的适用性。

参考文献

- 1 陈伯真. 欧洲近海结构用钢研究计划的进展. 力学进展, 1998, 18(3): 353-361
- 2 方华灿. 海洋石油钢结构的疲劳寿命. 石油大学出版社, 1990
- 3 Dover W D, Dharmavasan S. Fatigue fracture mechanics analysis of T and Y joints. Offshore Technology Conference, 1982. OTC 4404
- 4 Dover W D. Fatigue crack growth in T joints, out of Plane Bending. Offshore Technology Conference, 1978. OTC 3252
- 5 Dover W D, Chaudhury G K. Fatigue crack growth in tubular Welded T joints. ICF5, Cannes, 1981

江南造船厂建成世界最大液化气船

迄今世界最大的 22000 立方米乙烯液化气船, 1 月 21 日下午在江南造船厂建成顺利下水, 标志着我国建造高技术水平的液化气船又上了一个新台阶。

乙烯液化气船属特种运输船, 迄今为止, 容量为 22000 立方米的大型乙烯液化气船世界上仅有十多艘, 只有少数几个发达国家能够建造, 江南造船厂曾多次成功建造 16500 立方米及以下液化气船。这次为美国航海人控股公司建造 5 艘 22000 立方米乙烯液化气船, 是该厂承接的最大的一份出口船订单。合同规定, 这 5 艘船将于 1999 年~2000 年间先后交船。

22000 立方米乙烯液化气船由七〇八所、江南造船(集团)和德国乔特波船务咨询公司(IMC)联合设计, 入德国船级社(GL)。该船总长 170 米, 型宽 24.2 米, 型深 16.7 米, 服务航速 16.5 节。

(m/n)