

涸 11-4 平台综合强度监测技术及实施运行系统

(涸 11-4 平台结构原位监测研究之一)

申仲翰 李 禾 薛以年 王丹峰

中国科学院力学研究所

摘 要 本文介绍了一种固定式导管架平台综合强度监测系统, 它用于对涸 11-4 平台关键部位的应力、加速度及与结构响应相关的环境参数进行长期监测。讨论的重点内容是结构响应的测量方案、设备及实施方法, 并对运行结果作了说明。

关键词 监测技术 综合强度 结构响应 应变密封器

1 引 言

随着海洋石油开采事业的不断发展, 采油区域逐渐从近岸向外海扩拓, 平台承受风、浪、流、冰及地震等多种恶劣环境的干扰, 巨大的风暴往往危及平台的安全, 造成生命和财产的严重损失, 因此, 为了保证平台的安全运行、生产及合理的强度要求, 需要对现行设计的准则和分析方法进行不断验证和完善。事实证明, 对运行中的平台进行长期的全面监测是实现这一目标的有力手段。一般说, 监测之主要内容包括应力、加速度的长期分布, 以及为了研究结构的响应特性而进行的与外载大小密切相关的风、浪、流参数测量。

自 60 年代末期开始, 国外一些大石油公司相继进行了许多实际平台的监测工作, 早期的研究项目多以环境与载荷的关系为主要内容^[1], 近年来的大量文献表明, 研究重点已转移到通过对应力的监测分析平台的疲劳寿命及整体强度特性^[2~6]。在国内, 渤海石油公司也曾与平台结构强度有关的测试方面作了研究工作。

中国科学院海洋工程研究中心与南海西部石油公司自 1991 年开始联合进行了“导管架平台结构强度全尺度原位监测研究”, 这是我国首次开展的海洋工程结构强度原位监测方面的系统性工程科研项目。监测对象为我国自行设计建造的涸 11-4 生产平台, 它位于南海北部湾, 是一座带有裙桩的八桩腿导管架平台, 主要结构由导管架、三层甲板和生活模块三部分组成, 水深 40.8m, 重要设计环境参数为百年一遇风暴, 风速 59m/s, 波高 15.5m, 流速为 1.07~1.83m/s。

平台结构响应监测的主要内容包括如下两个方面, 一是监测导管架关键节点的应力, 给出动态应力的长期分布情况, 二是针对平台重要部位的加速度进行监测, 给出平台的整体运行性能, 监测系统经过一年多时间的运行达到了如下方面的研究目的。

通过实测响应结果与设计分析结果的比较, 更确切地了解了平台的强度及动态特性。

通过将实测响应结果与应用实测环境参数而导出外载所推算出来的结果进行比较, 实现了对现行设计方法和程序的验证和完善, 有利于同类型平台的设计及提高设计水平。

应力的长期分布情况为疲劳分析提供了可靠的数据。

另外, 作为平台结构响应监测的配合工作, 还针对风浪流环境作了测量。

2 平台结构响应监测系统

平台结构响应监测是原位监测的关键, 技术要求高, 难度大, 因此监测系统的合理设计就显得格外重要, 它包含如下几点内容:

2.1 应力测量

如上节所述, 应力测量的重要目的在于以监测值为基础, 通过节点应力分析与疲劳分析, 给出结构的综合强度特性, 提高设计水平, 测量手段是通过应变片测定而换算出应力, 在测点布局方面有如下特点:

1. 通过设计分析选择测点位置

为了选择一批支管应力大, 且疲劳灵敏度较高的管节点作为集中安排应变片的最佳位置, 除了参考设计书中有关准静力分析和相应的疲劳寿命估算结果外, 更重要的是利用了自行研制的近海平台分析计算软件包OPACK^[7]对平台做了静、动力分析, 并以此结果找出合理的测度区域。

2. 选取平面型管节点作为测试对象, 如图 1 所示, A、B、C、D 四个测区分别位于 Row 4、Row A 以及 - 9.6m 层的平面刚架上, 其中 Row 4、Row A 为立面, - 9.6m 层为水平面。由于平面型管节点结构相对简单, 使监测结果和分析结果之间便于比较。

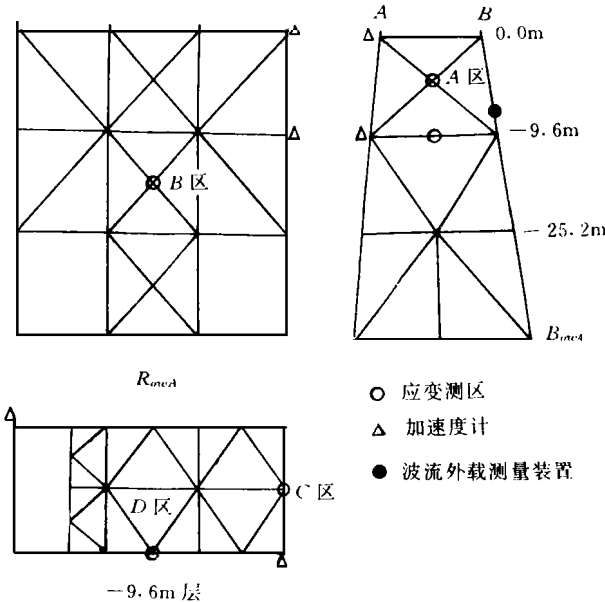


图 1 监测点布局

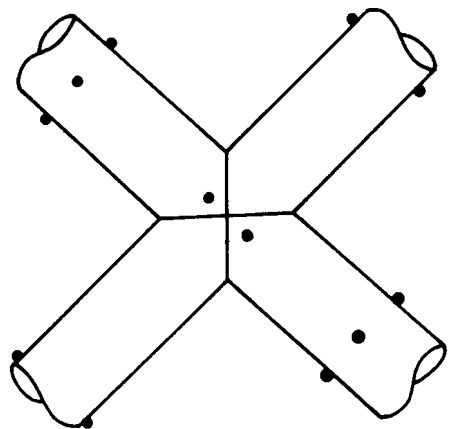


图 2 A 区应变布点

3. 应变测点远离采油区, 这种装置可为监测实施带来方便, 以尽量避免处于工作状态的采油设备给测量信号带来干扰。

4. 如图2所示测点的配置是以被测节点为核心沿杆件扩展, 这样的配置方式主要是为了满足监测信号电缆密封管线的要求。鉴于每个测点由一个密封器作防水保护, 每区之测点都在十个以上, 而自测点至水上6m层的贮线箱之间有10~25m不等的距离, 因此根据防护强度和平台结构布局的要求, 不可能将每根测量电缆分装到通往箱体的单根套管中, 而是将各测点的电缆先装入细管, 各细管汇集于每测区中心部位的接线盒, 然后集成一线束, 并通过一根有相当强度和刚度的管道送至贮线箱。

5. 应片测点之贴片方式分为单片、双片及应变花三种类型, 单片监测杆件之轴向应力, 应变花可求出主应力的大小和方向, 而双片则是贴在靠近焊缝的部位, 粘贴方向沿杆之轴向, 与焊缝垂直, 两片首尾相接, 以便将二者之测值及各自距焊缝的距离为参数通过外推求出焊缝处应力的大小, 也就是热点应力。

四个应变测区的测点分布情况是A区和B区分别为16个测点, C区为15个测点, D区为12个测点。图3、图4所示分别为A、B、C、D各区的测点配置情况。

2.2 加速度测量

加速度测试点共五个, 分别位于A₄腿的水上6m, 以及水上24.6m甲板和水上32.6m甲板的对角部位, 即B₁腿和A₄腿与相应甲板之交叉点(图5), 每个测点监测 x 、 y 两个方向, 其中 x 表示平台的纵向, y 表示平台的横向, x 、 y 均在水平面内。为了防止机械碰撞、潮湿环境和盐雾腐蚀, 针对加速度测量装置采取了严格的密封措施。

2.3 信号电缆的敷设与安装

在应力监测系统中, 从传感元件到测试仪表的距离为50~80m左右, 最小信号为毫伏量级, 特别是应变桥路中阻值误差要求苛刻, 一般要小于 0.5Ω , 这就要求传输电缆的设计应满足如下要求: 一是要有较好的导电率, 二是中间避免转接, 以保证连接同一桥路中的应变导线之阻值相同且量值不会过大。除此之外, 电缆长度的 $1/4$ 处于水下, 因此要有较强的防止性能, 为此, 针对应变传输电缆进行了具有特色的防护设计。

电缆的水下部分采用密封管道敷设, 即每个测点至接线盒之间的电缆段被装入内径为8mm左右的高强度耐腐蚀的橡胶管中而实现密封, 自接线盒到上部贮线箱的电缆段则以内径为60mm的钢管作密封保护, 在导管架下水前的安装过程中, 将+6m层以上的所有电缆全部装入贮线箱, 然后将箱密封, 以保证导管架下水, 拖航期间监测电缆的安全防护和避免安装过程中的意外损伤。待平台上部结构安装完成后, 将电缆自贮线箱中抽出, 穿越三层甲板, 再沿生活模块的外壁上爬, 最终引入到仪器间。其间, 从贮线箱到底层甲板段的电缆敷设于18a型槽钢中, 槽钢通过焊接固定在管柱上, 贮线箱出口用胶密封, 以防大浪或雨水流入箱内。甲板部分的电缆由托架固定, 而由上层甲板至仪器间的电缆段则由焊在生活模块侧壁上的一系列支架来支承。

加速度监测所用电缆基本按与应力测量类似的路径和方式由测点送入仪器间。

2.4 传感元件与测量设备

应变传感元件为电阻丝式应变片, 标距为 3×5 , 阻值 120Ω , 灵敏度系数 $K=2.0$, 测量时按半桥方式接入电桥, 工作片贴在被测结构之测点处, 补偿片贴在与被测结构材质相

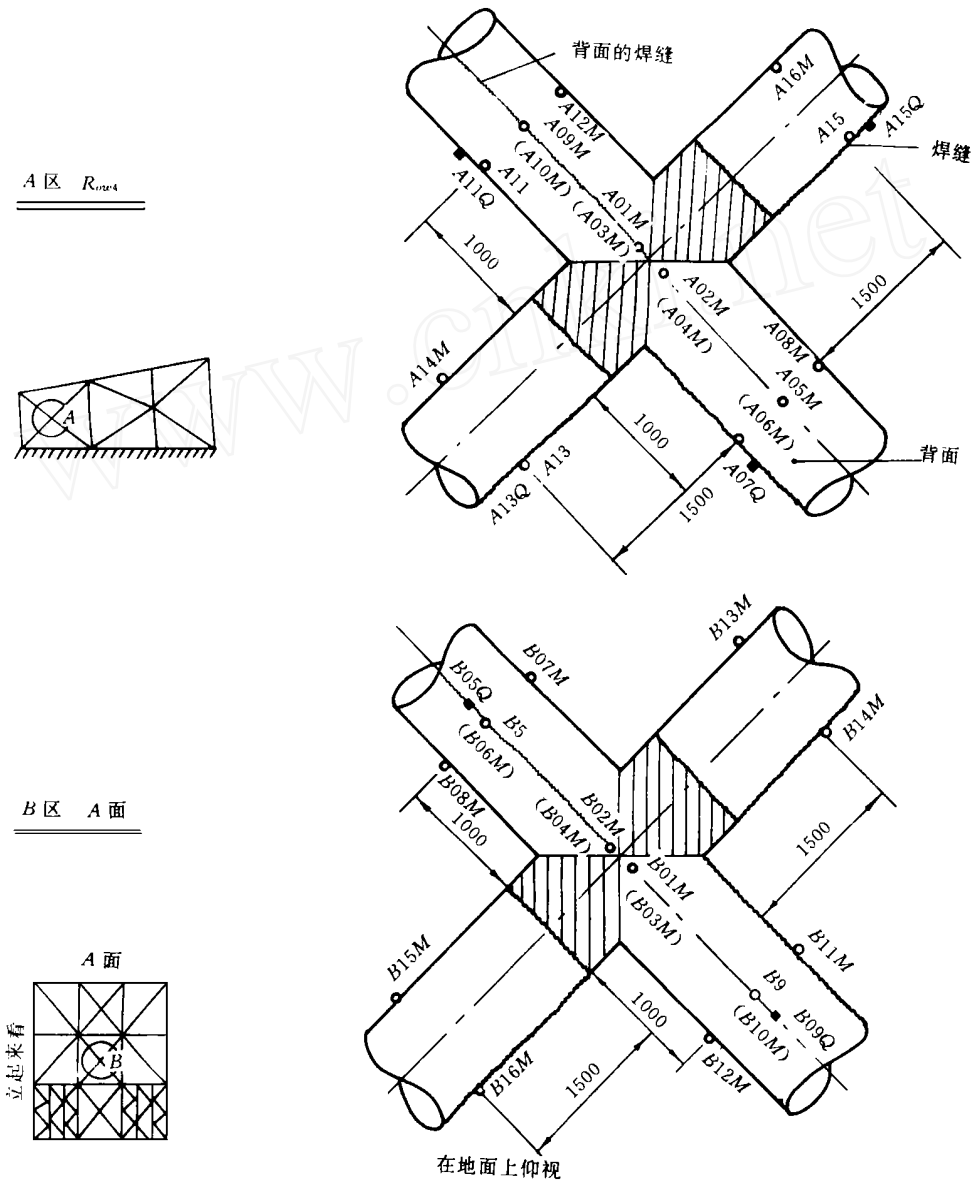


图 3 A 区、B 区应变测点分布图

同的钢片上，并与工作片放在同一密封器中。桥路电压之输出信号送往 YF-3 型应变放大器，桥压选为 5V，电压灵敏度为 $12.5\text{mV}/\mu\text{e}$ 应变放大器中装有三级 Bessel 型有源低通滤波器，截止频率设有 10Hz、100Hz、1kHz、10kHz 及直通等五个档。由于海浪力所致应变信号处于 1Hz 以下之低频范围，所以在测试过程中将截止频率选为 10Hz 档。

加速度监测应用 WLJ-200 型差容式力平衡加速度计，它有极好的超低频性能，灵敏度可高达 $1000\text{V}/\text{g}$ ，即 $1\text{m}/\text{s}^2$ 的加速度信号电压为 100V。在测试中为消除高频成分的影响，提高信噪比值，在其输出端加置了滤波设备，整体测量系统在使用前由中国计量科学研究

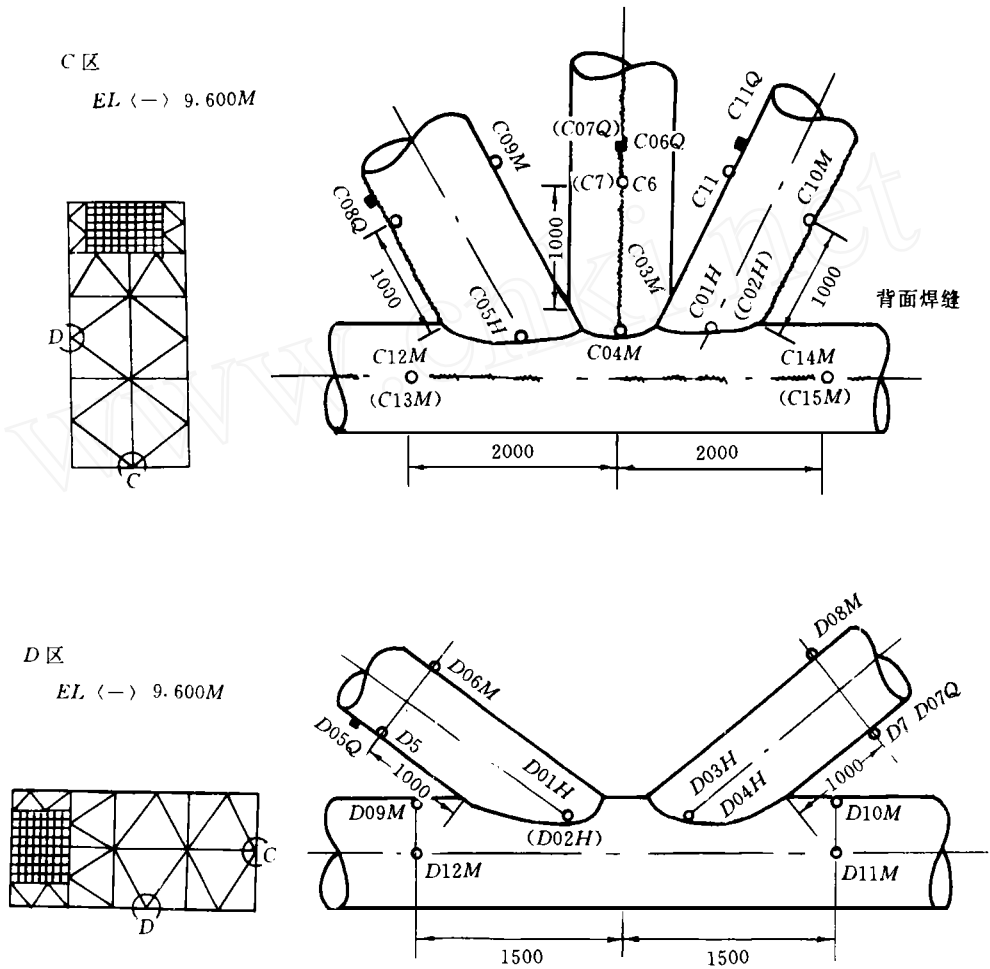


图 4 C 区、D 区应变测点分布图

院进行了标定。

根据数据采集设备的匹配要求, 加速度输出电压应保持 $\pm 5V$ 的范围内, 所以每台加速度的输出信号在送入 A/D 之前进行了衰减以避免数采过程中发生信号超大的削波现象。

应变、加速度的监测系统共有 58 个通道。其中应变测量为 48 通道 (由 24 台应变放大器经一次转换完成), 加速度测量为 10 通道。

2.5 环境参数监测

在平台的顶部安装了单通道 OMC 型内风速风向仪, 可监测瞬时风速及平均风速和风向; 在平台的前缘安装 CBS 型重线测示仪, 以实时监测波高的变化, 并以 Anderaa 海流计及直读式海流计测量水下各层的流速。

平台的监测仪器系统总体配置情况如图 6 所示。

3 实施与运行

涸 11-4 平台监测系统的实施与运行兼有科学试验与工程技术研究的双重特性, 从完成的进程来划分共有三个阶段, 即准备设计、设备安装及调试运行, 现将每个阶段的特点作如下说明。

3.1 准备设计

这个阶段主要工作是预研和设计, 鉴于该项研究为国内首次, 在技术方面存在着很多的困难, 如深水测试中的防水技术, 特别是在长时间受到海水压力的条件下, 如何保证测量应变片不受潮气的影响, 而保持与结构之间的高度绝缘性能, 绝非一件轻而易举的事情。为达到这一目的, 必需经过多次的模拟试验, 这里包括:

1. 应变密封器的抗压密封试验:

在超过使用压力 (5 个大气压左右) 的情况下, 对试制中的长效密封机构作性能考核, 通过

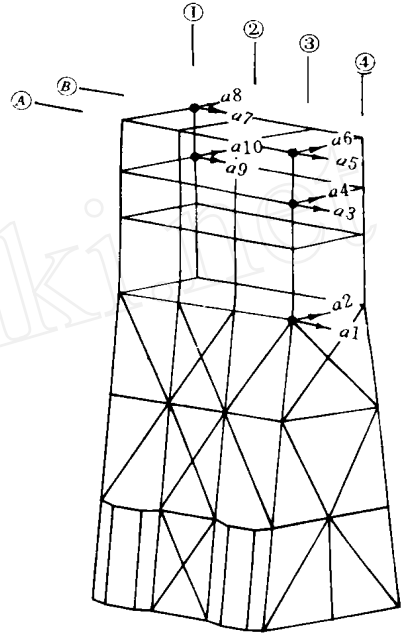
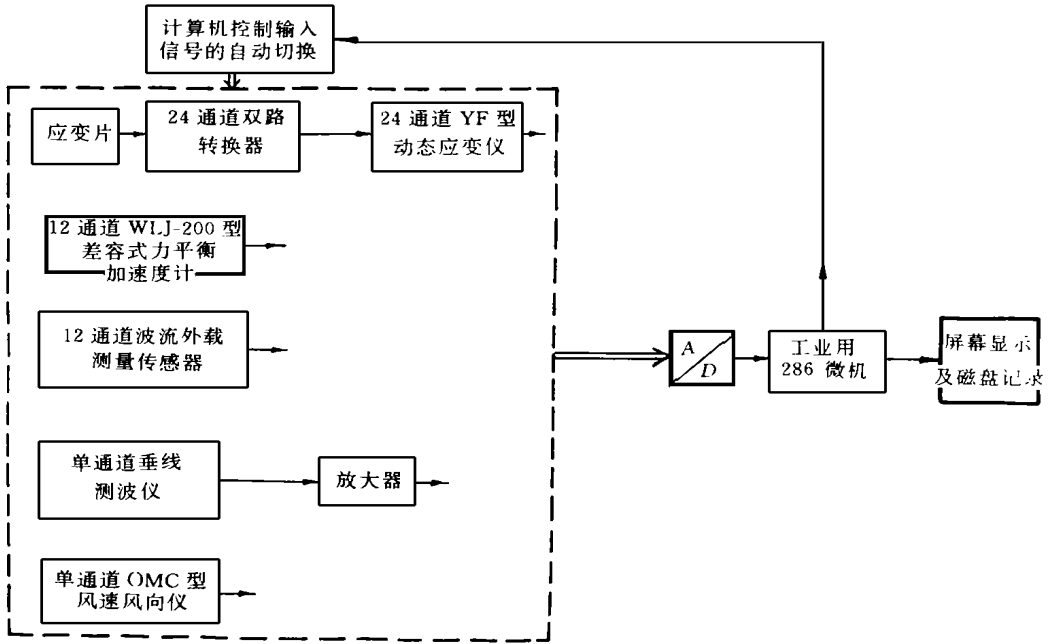


图 5 加速度计布置示意图



Aanderaa 海流计及直读式海流计 (自行采集和记录)

图 6 监测系统配置框图

不断改进, 研制出可在实际测试中付诸使用的设备。

2. 密封胶的粘接试验:

根据密封要求及各种防水之特性研究胶的选用及粘贴技术。

3. 密封罩对被测结构力学特性影响的试验。

4. 密封胶对测量结果的影响试验。

5. 微弱信号、长距离传输中的抗干扰性能试验。

上述 3、4 两项试验研究是通过对比的方法进行的, 试验结果表明, 对测试精度影响极小, 可以忽略。

3.2 设备安装

如上所述的设计工作完成之后, 接着进行设备安装, 主要内容包括在分布于 A、B、C、D 四个测区内的所有应变测点处粘贴应变片, 安装密封保护系统, 最终将近 60 根电缆从测点经密封管道系统集中于贮线箱内封存, 全部电缆长度约计 6000m, 因此, 这是一件艰巨而细致的工作。

加速度计的安装原则是紧靠主框架, 以保证测点与框架之间实现刚性连接, 从而测到平台主体的真实位移, 消除或减弱由动力机械传至甲板并产生放大的各种不在本项目研究范围之列的杂散信号。

海上安装的重要工作是将加速度计妥善装配在密封器内, 并根据预先设计好的原则使加速度计保持水平, 分别座落于平台的纵横两个方向上。

3.3 调试运行

全部安装工作完成之后, 开始进行调试, 此阶段的主要工作内容为应变与加速度通道与测试仪表连接, 仪器的现场标定以及通过 A/D 变换将信号引入计算机进行数据采集等。此外, 为提高应变、加速度及波浪监测系统电源电压的品质和实现风暴期间的自动监测, 给监测系统安装了 UPS 不间断电源。

4 结 论

本项监测研究是连续进行的, 从 1993 年 12 月 1994 年 12 月底持续运行 382 天, 获得了大量具有重要价值的的数据, 成功地完成了计划中的各项内容, 现将几条结论性意见说明于下:

应变和加速度监测系统运行正常、测点布局合理, 可完好地实现监测研究的目的。这表明应变和加速度监测系统的研究技术路线和设计方案是正确的。

应变监测系统及防护设备设计合理, 性能良好。位于导管架上的 83 个应变通道完成安装后, 历经导管架下水、拖航、打桩等一系列施工过程及一年以上的海水浸泡, 仍有 50 通道 (60%) 保持完好的性能。这种情况表明应变片的成活率是相当高的。而且对于已损伤的应变通道进行分析后还可发现, 它们大部分集中于 D 区, 导致这种现象的一个重要因素很可能是导管架运输和打桩过程中发生的意外碰撞, 因为由应变片粘贴及密封技术上的原因而引起的损伤分布应呈现分散的状态。

在性能完好的 50 个应变通道中, 再经过一年多时间的运行至 94 年 12 月, 仍有 96%

的通道一直处于正常工作状态,完全可以继续执行监测研究。如从导管架下水时间起算,这些应变测试系统已在深度为 20m 左右的海水中工作近两年之久,持续给出可靠的数据,如此效果在国内外同类测试中是不多见的。

加速度监测的频响下限调整在 0.1Hz,这将使得由波流引起的平台结构超低频运动监测结果准确有效。

应变和加速度测试中的二次仪表性能良好,与数采系统匹配合理。

有关监测结果及分析情况将在“涸 11-4 平台结构动态响应监测结果分析”一文中作详细阐述。

参考文献

- 1 Thrasher, L. W. , and P. M. Aagaard, "Measured Wave Data on offshore Platforms", OTC 1007, 1969
- 2 Ohmart, R. D. , R. L. Gratz and G. O. Mallery, "Instrumentation Program for Evaluation of Offshore Structure Design", OTC 1264, 1970
- 3 Nataraja, R. , "Structural Integrity Monitoring in Real Sea", OTC 4538, 1983
- 4 Swanson, R. C. , "The Bulk Inkle Platform Instrumentation System", OTC 6052, 1989
- 5 S. Flogeland "A Systematic Development of Seives for Instrumented Structural Monitoring" OTC 5042, 1985
- 6 R. B. Inglis and T. E. Kint "Predicted and Measured Long Term Stress Rance Distributions for the Fulm at a Platform" Behaviour of offshore Structures 1985
- 7 申仲翰、赵强,“近海平台结构分析软件包 OPACK 技术报告”中国科学院力学研究所报告 1991 年 2 月。

COMPOSITE STRENGTH MONITORING TECHNIQUE AND OPERATIONAL SYSTEM FOR W - 11-4 PLATFORM

Shen Zhonghan Li He Xue Yinian Wang Danfeng

(Institute of Mechanics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080)

Abstract In this paper, the composite strength monitoring system for a jacket platform is introduced. The system is used to monitor the long-term stress, acceleration of the platform structure and some environmental parameters. The major contents include program of measuring structure response, instrumentation and implemented method. In addition, operating state of monitoring system is discussed.

Key Words Monitoring technique, composite strength, structure response, strain sealer