

基于数字孪生的深水导管架杆件轴力反演方法

张艳芳¹, 程丛志^{2,3}, 周雷¹, 王巍巍¹, 于思源^{2,3}, 武文华^{2,3*}, 刘磊⁴, 朱东旭⁴

1. 海洋石油工程股份有限公司, 天津 300451

2. 大连理工大学工业装备结构分析优化与CAE软件全国重点实验室, 大连 116024

3. 大连理工大学运载工程与力学学部, 大连 116024

4. 大连科迈尔防腐科技有限公司, 大连 116024

摘要 深水导管架平台是我国南海具有广泛应用前景的海洋油气装备。实时、准确地获取深水导管架关注杆件的受力行为可以及时评估导管架的在役安全状态。基于数字孪生方法开展了深水导管架杆件轴力反演方法研究,并在亚洲最大的导管架——陆丰15-1平台进行现场验证。结合深水导管架现场监测系统,建立数字孪生系统框架;开展了基于实测海况的海洋环境载荷特征提取和SACS-ANSYS仿真数据库构建;结合海况插值算法,给出了监测海况下关注杆件轴力的计算过程;基于监测部分海况数据验证了本文算法在陆丰15-1深水导管架平台的可行性。

关键词 数字孪生;深水导管架;轴力反演

在中国南海在300~500 m水深范围内,具有众多大规模未被开采的油气资源区^[1-4]。深水导管架由腿柱和若干连接腿柱用的连杆构成^[5],具有稳定性好、操作方便、建造简单等优点,是中国300~500 m水深范围具有广泛应用前景的海洋油气装备^[1-2]。

深水导管架平台在国外油气开采应用广泛^[6]。

1978年Shell公司位于墨西哥湾313 m水深的Cognac平台是世界上第一座超过300 m水深的导管架平台;1988年投产于墨西哥湾Bullwinkle油田的平台,水深412 m,是现今最深的导管架平台;2015年投产于墨西哥湾Coelacanth油田,水深360 m^[1,7]。

中国深水导管架的设计和实际应用尚处于初

收稿日期:2023-03-04;修回日期:2023-06-30

基金项目:国家重点研发计划项目(2021YFA1003501);国家自然科学基金项目(U1906233);山东省联合基金项目(2019JZZY010801);深圳市自由探索类基础研究项目(2021Szzup021);中央高等学校基本科研业务费项目(DUT22ZD209)

作者简介:张艳芳,高级工程师,研究方向为海洋工程结构设计,电子信箱:zhangyf2@enooc.com.cn;武文华(通信作者),教授,研究方向为海洋工程结构监测,电子信箱:lxyuhua@dlut.edu.cn

引用格式:张艳芳,程丛志,周雷,等.基于数字孪生的深水导管架杆件轴力反演方法[J].科技导报,2023,41(15):97-105;doi:10.3981/j.issn.1000-7857.2023.15.010

级阶段。2022年中国陆丰海域的陆丰15-1深水导管架平台(图1)是国内首个300 m级的深水导管架平台,该导管架平台为4腿12裙桩结构,顶部水平层尺寸为42.0 m×18.0 m,底部水平层尺寸为95.0 m×95.0 m,导管架长度为305 m,装船重量为30200 t^[7]。由于体积巨大且服役于环境恶劣的南海陆丰海域,导致导管架结构质量较大、自振周期较长、波浪动力响应和结构疲劳问题突出^[6],准确地实时计算导管架的各类杆件的轴力响应,可为平台的安全运营提供数据依据。相对于浅水导管架,深水导管架平台杆件众多,在役过程中无法获得直接测量导管架平台所有关注杆件的轴力状态。基于有限监测信息的深水导管架关注杆件的反演研究十分关键。



图1 “海基一号”深水导管架(陆丰15-1)

随着大数据、云计算、物联网和人工智能等新一代信息技术的发展,世界各国纷纷确立了智能制造的国家发展战略。2003年,密歇根大学的Grieves^[8]首次提出数字孪生技术。数字孪生是一种基于物理模型,利用传感器感知数据,继承多学科、多物理、多尺度、多概率的仿真过程,在虚拟空间中完成对实体装备的高保真映射,为物理实体增加或扩展新的能力^[9-10],实现对物理装备全生命周期的健康管理和维护的技术。作为物理世界与数字世界交互、共融的桥梁,数字孪生在航天、航空、机械、船舶和海洋工程等领域得到广泛关注^[11]。罗岚等^[12]开发了深海采矿动态数字孪生系统;张侨禹等^[13]提出了基于数字孪生的舰船动力系统智能运维技术框架;常进云^[14]在海洋平台原型监测技术和数字孪生技术的基础上,实现了对软刚臂单点系泊

系统铰节点的全生命周期健康管理。

本研究针对深水导管架平台关注杆件众多、难以直接获得关注杆件轴力的问题,基于数字孪生系统理论和方法,提出用于深水导管架平台关注轴力反演的框架体系,并利用监测信息、SACS仿真分析、插值算法等手段,形成了以数据库为核心深水导管架平台轴力反演方法,并在陆丰15-1深水导管架平台数字孪生系统上进行验证。

1 深水导管架关键杆件轴力反演方法

1.1 深水导管架现场监测和数字孪生系统

深水导管架现场监测和数字孪生系统由监测端、中央控制器和显示端等组成(图2)。其中,中央控制器采用工控机与信号接收器电连接;信号接收器与监测端内的物联网传输节点电连接;监测端内的风速仪、测波雷达、海流计、光纤光栅应变传感器与物联网传输节点电连接。

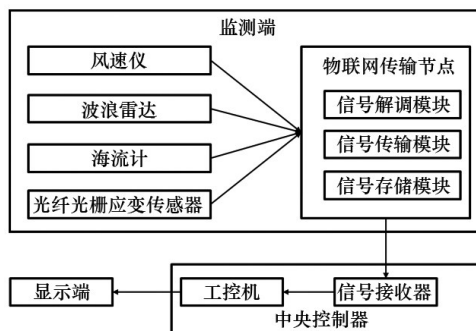


图2 数字孪生系统硬件

现场监测系统通过利用不同传感器实现了对深水导管架结构响应和海洋环境载荷全面、长期的测量。

环境载荷分析工作针对导管架主要承受的风、波浪和海流3类环境载荷开展。其中风载荷测量选用风速仪对风速和风向的变化以10 Hz采样频率进行连续测量,为避免周边结构对风速风向的影响,结合现场调研情况将风速风向仪安装在井架天车台立柱上。波浪载荷主要测量波浪方向、谱峰周期、跨零周期、有义波高和最大波高;将波浪雷达安装在下甲板右舷船尾处,利用区域内雷达波反射记录波浪的变化。海流载荷主要测量表层流速和表层

流向,利用区域内雷达波反射记录表层海流的变化。

导管架的结构响应主要监测部分杆件的轴力响应、加速度、甲板位移、甲板倾角。其中轴力测量是在导管架下水前,将水下光纤光栅传感器布置在水深 188 m 到水面上 9.1 m 的待测斜撑、支腿的管相交节点附近,最后焊接保护罩加以封装如图 3 所示;当测点发生变形时,光信号波长也会随之变化,可以通过波长的变化解算应变,进而解算待测斜撑、支腿轴力。倾角和位移测量利用布置在下甲板左右舷的 8 个倾角传感器和 4 个位移传感器表征甲板的倾斜和平移程度。

1.2 基于实测信息的海况特征提取

数字孪生需要在不同海况载荷特征下,根据事先的海洋环境前期监测数据开展海况特征提取。图 4、图 5 分别给出了陆丰 15-1 深水导管架海域以 30°为间隔所绘制的风和海流玫瑰图,可以发现,方位角为 270°~360°(方位角以 0°为北向,90°为东向,



图 3 封装后的光纤测点

顺时针定义)的风速出现频率较低,60°方位角出现频率最高。而海流的方向分布较为均匀。

依照挪威船级社规范^[15],建议风速 U 、有义波高 H 、表层流速 C 分别服从二参数 (a, b) Weibull、三参数 (a, b, c) Weibull 和 Gumbel 分布,其中, a 为尺度参数, b 为形状参数, c 为位置参数, m 为 Gumbel 分布位置参数, n 为 Gumbel 分布尺度参数。其概率密度函数公式如表 1 所示。

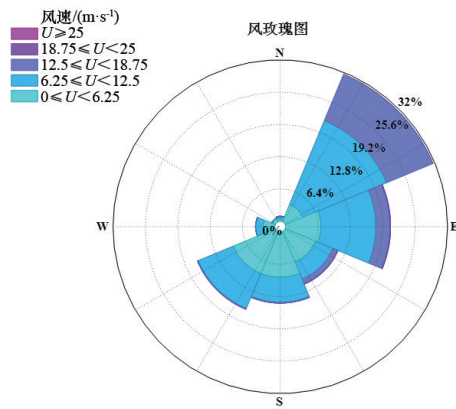


图 4 风速风向联合分布玫瑰图

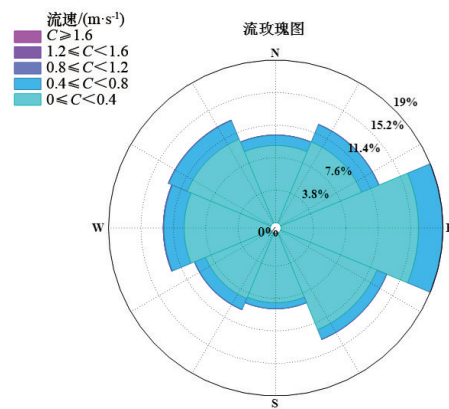


图 5 第 1 层流速流向联合分布玫瑰图

表 1 环境参数边缘分布

环境参数	分布类型	密度函数
平均风速 U	二参数 Weibull	$f(u) = \frac{b}{a} \left(\frac{u}{a}\right)^{b-1} e^{-\left(\frac{u}{a}\right)^b}$ (1)
有义波高 H	三参数 Weibull	$f(h) = \frac{e}{d} \left(\frac{h-c}{d}\right)^{e-1} \exp\left[-\left(\frac{h-c}{d}\right)^e\right]$ (2)
表层流速 V	Gumbel	$f(v) = \frac{1}{n} \exp\left\{-\left[\frac{v-m}{n} + \exp\left(-\frac{v-m}{n}\right)\right]\right\}$ (3)

图 6 给出了风速、有义波高和表层流速的实测拟合分布,通过其分布直方图发现,各参数拟合效

果均较为理想。其中: $a=8.89, b=2.09, c=0.27, d=1.15, e=1.59, m=0.14, n=0.07$ 。

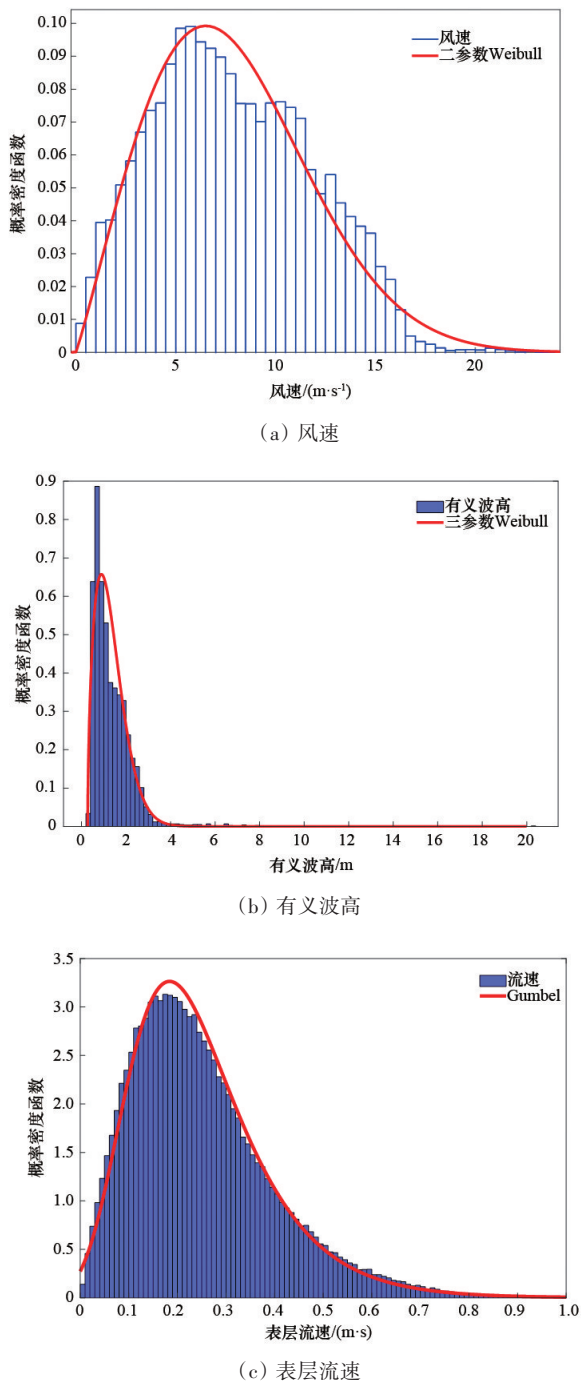


图6 风速、有义波高和表层流速分布直方图

为了减少海况特征抽样的数量,通常认为风速与波高具有较强的相关性,在基于风速的载荷特征分析中,通常首先确定风速值,然后采用风速与波高的联合分布确定对应的波高值。

因此,当风速服从二参数 Weibull 分布,有义波高 H 的条件分布特征可以用对数正态分布进行描

述,其密度函数表达式为:

$$f(h|\mu,\sigma) = \frac{1}{h\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left\{-\frac{(\ln h - \mu)^2}{2\sigma^2}\right\} \quad (4)$$

式中, μ 、 σ 通常为与风速 U 相关的多项式表达式。

类似的,通常认为波高与周期具有较强的相关性,在波高确定后,可采用波高与周期的联合分布确定对应的周期值。跨零周期 T 对有义波高 H 的条件分布同样符合对数正态分布,分布参数与有义波高的关系式为

$$f(t|\alpha,\beta) = \frac{1}{t\beta\sqrt{2\pi}} \exp\left\{-\frac{(\ln t - \alpha)^2}{2\beta^2}\right\} \quad (5)$$

式中, α 、 β 为与有义波高 H 相关的多项式表达式。

1.3 基于 SACS-ANSYS 的导管架平台轴力分析数据库

仿真数据库的构建以在海洋工程领域中广为接受的 SACS 仿真软件为基础。考虑到 SACS 仿真分析的准静态计算,即将海洋结构所受的海洋载荷(风、浪、流等)等效成静力载荷施加在结构对应位置上进行静力仿真,再通过规范对计算的响应结果施加放大系数,形成最后的输出结果。而海洋结构在海洋载荷作用下的真实响应为随时间变化的动态行为,与 SACS 准静态的计算方法存在着结果的不一致性,同时还需要考虑仿真模型与实体结构本身的差异、载荷模型简化、加载形式简化等因素,因此引入了表征实际结构动力学效应和 SACS 计算静力学结果的“动态修正系数”,以修正二者之间的差异,获得较为真实可靠的导管架在实际海洋环境载荷下的关注的立面斜撑轴力响应结果。

提取风、浪、流监测量的最大采样周期,通过统计分析选取风向、平均风速、有义波高、谱峰周期、表层平均流速等参数,将上述参数作为 SACS 仿真的输入工况,获取测点及其他关注杆件的轴力响应。在该工况下,将测点轴力极值记作 F_M ,将 SACS 静力仿真得到的对应测点的轴力记作 F_{SACS} ,定义轴力动态修正系数,计算公式为

$$\lambda = \frac{F_M - F_{SACS}}{F_{SACS}} \quad (6)$$

可见动态修正系数综合考虑了动力系数、仿真

模型化差异等因素。在算法应用中该测点轴力实测动载荷响应极值为

$$F_M = (1 + \lambda) F_{SACS} \quad (7)$$

所述动态修正系数是表征 ANSYS 动力学响应和 SACS 静力学响应的修正系数,为了确保系统上线前,数据库中有充足的数据,保障监测孪生系统在服役初期的正常工作,利用 ANSYS 响应代替实测响应的临时数据,计算公式为

$$\lambda_A = \frac{F_{ANSYS} - F_{SACS}}{F_{SACS}} \quad (8)$$

式中, λ_A 为某特定海况下某特定杆件的“仿真动态修正系数”; F_{ANSYS} 为该海况下,该杆件的 SACS 动力仿真轴力响应极值; F_{SACS} 为该海况下,该杆件的 SACS 静力仿真轴力的响应。

为此需要分别建立一个高保真的导管架平台的 ANSYS 模型和 SACS 模型,利用历史海况的统计规律设计海量的联合仿真工况并进行 ANSYS-SACS 联合仿真,分别提取仿真模型关注杆件的静态和动态轴力响应并结合式(8)计算出导管架各个关注杆件的仿真动态修正系数。最后构建联合仿真工况与关注杆件轴力、动态修正系数的映射关系,并纳入数据库。

1.4 基于反距离加权插值方法的关键杆件轴力反演计算

由于计算成本限制,所选取的联合仿真工况数量有限,而实际的环境工况具有随机性。此时,对实际工况待求响应的求解问题转换为基于联合仿真工况响应的多维空间网格的插值问题。研究的科学问题可以归纳为

$$Z = f(U, \theta, H, T, V, \varphi) \quad (9)$$

式中, Z 为待求的结构轴力响应; U 为风速; θ 为风向; H 为有义波高; T 为谱峰周期; V 为流速; φ 为流向。

上述函数具有 6 个自变量,即对应的空间网格为六维网格,传统的主要应用于二维和三维的线性插值表达式将非常复杂,同时涉及较大的计算量,不利于编程求解。本文考虑应用一种基于空间距离的插值方法,即反距离权重插值法。其原理是通过计算未测量点附近各个点的测量值的加权平均

进行插值,根据空间自相关性原理,在空间上越靠近的事物或现象就越相似,则其在最近点处取得的权值为最大^[16],如图 7 所示。

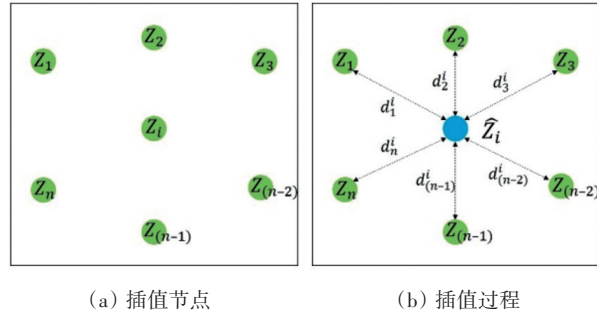


图 7 反距离加权算法示意

设已知的插值节点为 (x_i, Z_i) , 其中向量 $x_i = (U_i, \theta_i, H_i, T_i, V_i, \varphi_i)$ 为节点坐标, Z_i 为 i 节点的轴力值,则算法所定义的插值函数表示为:

$$Z(x) = \begin{cases} \frac{\sum_{i=1}^N w_i(x) Z_i}{\sum_{i=1}^N w_i(x)}, & d(x, x_i) \neq 0 \\ Z_i, & d(x, x_i) = 0 \end{cases} \quad (10)$$

式中, $d(x, x_i)$ 为待求点与第 i 个网格点之间的距离,常用欧氏距离定义;权重 $w_i(x) = \frac{1}{[d(x, x_i)]^p}$, p 为正实数, p 越大则距离较近的点对应的函数值所占权重越高,通常取 $p=2$ 。

系统服役后,如图 8 所示,在海洋环境载荷监测传感器的最大采样周期内,实时提取风向、风速、流向、流速、有义波高、谱峰周期 6 个载荷参数;通过上述 6 个参数值在数据库中开展数据检索,获取参数最近的动态修正系数和轴力静态仿真响应文件,作为插值所需网格节点输出,进而利用反距离加权插值算法计算出关注杆件的轴力响应,并在显示端对各杆件的轴力计算结果进行显示。

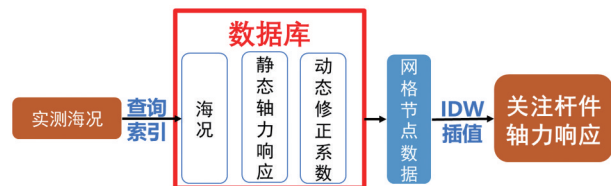


图 8 反演算法实施技术路线

2 陆丰 15-1 深水导管架轴力反演案例分析

基于提出的深水导管架轴力反演方法,在亚洲最大深水导管架平台陆丰 15-1 平台现场监测系统中,开展轴力反演研究工作。

2.1 基于实测海洋环境数据的仿真海况抽取

对于海洋工程结构的设计与运维,需要计算结构在不同海洋环境工况下的响应。为了保证计算结果的合理性,环境工况应基于所研究海域的实测数据获得。基于陆丰海域中实测所得的风、波浪和海流的监测数据,开展载荷特征统计分布分析工作,获得了各环境参数的边缘分布与联合分布特

征。进一步地,基于各分布函数的分位点选取了联合仿真工况。

所选取的联合仿真工况共包括 4 个风速、6 个风向、3 个流速、5 个流向,每个风速对应 4 个波高,每个波高对应 4 个周期,共 5760 种工况,如表 2、表 3 所示。

表 2 平均风速与有义波高联合仿真工况特征值

1 min 平均风速特征值/(m/s)	有义波高特征值/m			
5.38	1.02	1.14	1.28	1.47
6.95	1.22	1.35	1.49	1.69
8.67	1.46	1.61	1.77	1.99
10.96	1.84	2.03	2.25	2.55

表 3 谱峰周期联合仿真工况特征值

1 min 平均风速特征值/(m/s)	谱峰周期特征值/s
5.38	{5.16, 5.53, 5.28, 5.63, 5.40, 5.73, 5.56, 5.86, 5.87, 6.29, 5.95, 6.34, 6.04, 6.39, 6.13, 6.47}
6.95	{5.34, 5.68, 5.46, 5.78, 5.57, 5.87, 5.71, 5.99, 5.99, 6.37, 6.07, 6.42, 6.14, 6.48, 6.24, 6.55}
8.67	{5.55, 5.85, 5.65, 5.94, 5.76, 6.03, 5.87, 6.13, 6.13, 6.46, 6.20, 6.52, 6.27, 6.57, 6.37, 6.64}
10.96	{5.79, 6.06, 5.88, 6.14, 5.95, 6.20, 5.98, 6.24, 6.30, 6.59, 6.37, 6.65, 6.43, 6.70, 6.48, 6.76}

极端工况共包括 6 个风向、5 个流向以及 10 个重现期对应的流速、风速、波高和周期,共 300 种工况,如表 4 所示。

表 4 极端工况的风速、流速、波高与周期信息

重现期/ a	1 min 平均 风速/(m/s)	表层流速/ (m/s)	有义波高/ m	谱峰周期/ s
1	34.8	1.14	8.2	12.7
3	39.6	1.37	9.3	13.2
5	41.9	1.49	9.8	13.5
8	44.0	1.60	10.3	13.7
10	45.0	1.63	10.5	14.1
15	46.7	1.75	11.0	14.2
20	48.0	1.81	11.4	14.3
25	48.9	1.83	11.8	14.4
50	52.0	2.03	12.7	14.7
100	55.2	2.21	13.7	15.5

2.2 陆丰 15-1 平台 ANSYS-SACS 联合仿真数据库

为实现反演功能,需要计算 5760 组联合仿真工况和 300 组极端工况下关注杆件轴力响应,并将

仿真数据整理、整合为数据库。依照工程图纸文件,分别利用 ANSYS WorkBench 和 SACS 构建了陆丰 15-1 导管架平台的高保真仿真模型,模型材料为 DH36 结构钢,屈服强度 380 MPa、杨氏模量 210 GPa,为简化计算,ANSYS 模型底部固支。

利用上述总结的联合仿真工况开展了导管架结构 ANSYS 动力学仿真和 SACS 静力仿真工作,并分别提取了仿真模型关注杆件的轴力动、静态响应。参照式(4)得到同组工况下、每根杆件的“仿真动态修正系数”。为了便于修改和查阅,按照一定规则对每组工况的全部杆件的 SACS 轴力响应数据和“动态修正系数”进行编号并存储进数据库,如图 9 所示。

2.3 陆丰 15-1 关键轴力反演效果

在考虑到立面斜撑是导管架主要承重结构,也是损坏风险最高的结构,故在导管架的 3 个不同立面上各选取了 3 个立面斜撑,共 9 个具有代表性的斜撑测点(图 10),研究本文方法中轴力反演算法的准确性。

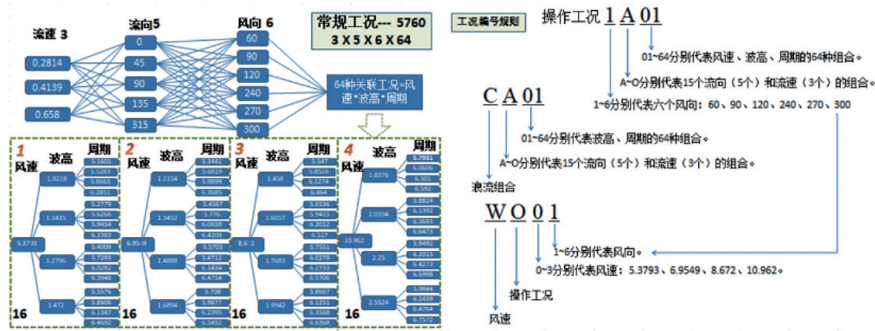


图9 工况命名规则

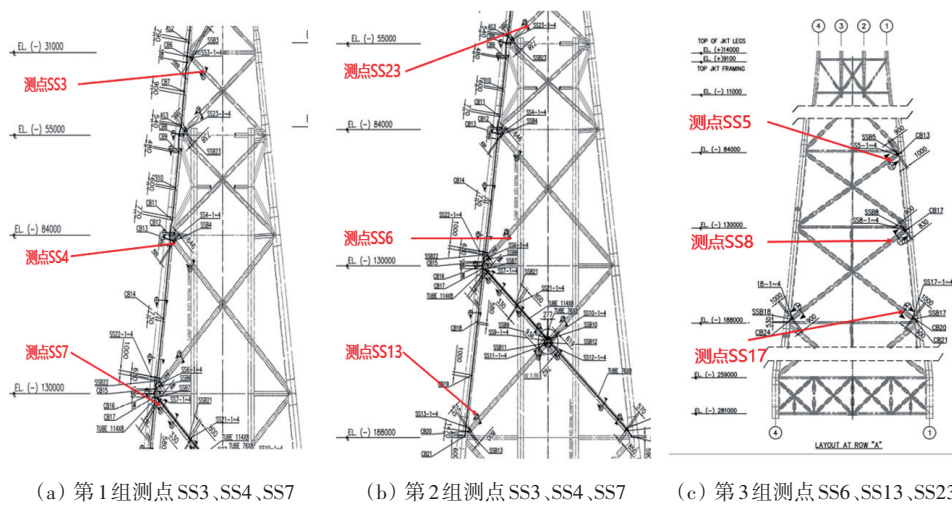


图10 具有代表性的斜撑测点布置

2022年8月24日,台风“马鞍”经过陆丰海域,故在8月24—26日,台风前后3 d的监测数据中,找出了剧烈、较温和、温和的3组具有代表性的海

况作为验证海况,如表5所示,对比测点的实测轴力和反演计算的轴力。

表5 验证海况

验证海况	时间	浪向/(°)	有义波高/m	谱峰周期/s	流向/(°)	流速/(m/s)
1	2022-08-24 20:05	304	4.8	10.8	145	0.2
2	2022-08-25 13:51	379	2.6	9.4	275	0.5
3	2022-08-26 07:13	345	1.3	7.8	159	0.3

验证结果显示反演算法可以得到较高精度的反演结果,每个单独测点轴力反演的相对误差均小于10%,如表6所示,该算法精度可以满足大部分工程应用需求。

上述示例验证了基于数字孪生的深水导管架关注杆件轴力反演方法的可行性,通过事先完成大量仿真计算并在平台数字化运营系统中扩展相应的监测设施和轴力反演算法模块,即可实现本文方

法对关注深水导管架关注杆件轴力准确、实时、动态反演的效果。

3 结论

以提升深水导管架数字化、智能化运维水平为目标,发展了基于数字孪生的深水导管架关注杆件轴力反演方法。首先,建立了基于数字孪生的轴力

表6 反演和实测结果对比

测点 编号	目标海况1			目标海况2			目标海况3		
	反演轴力/ kN	实测轴力/ kN	误差/%	反演轴力/ kN	实测轴力/ kN	误差/%	反演轴力/ kN	实测轴力/ kN	误差/%
SS3	-568	-605	6.1	-440	-411	7.1	-452	-442	2.4
SS4	-399	-423	5.6	-287	-281	2.0	-270	-254	6.2
SS5	-762	-697	9.4	-663	-723	8.3	-456	-419	8.8
SS6	-517	-524	1.4	-499	-476	4.8	-371	-358	3.6
SS7	-459	-492	6.8	-401	-372	7.9	-386	-372	3.7
SS8	-785	-719	9.1	-717	-739	3.0	-509	-477	6.8
SS13	-921	-860	7.0	-967	-895	8.1	-1021	-931	9.7
SS17	-1046	-957	9.3	-991	-986	0.5	-818	-762	7.4
SS23	651	672	3.2	388	382	1.5	436	412	5.8

反演架构,实现了海洋环境载荷数据采集、杆件轴力监测、数据综合管理等功能;然后,仿真数据库的建立、反距离加权插值算法,以实现了关注杆件轴力的实时反演;并提出了考虑了深水导管架动力学特性的基于实测轴力数据的修正方法,使得反演精度会随着数据积累进一步提升。本文方法已在中国首个300 m级深水导管架平台—陆丰15-1平台上得到现场实施,现场监测结果表明本文所提出的方法具有可行性。

参考文献(References)

- [1] 谭越,李新仲,王春升.深水导管架平台技术研究[J].中国海洋平台,2016,31(1):17-22.
- [2] 张煜,冯永训.海洋油气田开发工程概论[M].北京:中国石化出版社,2011.
- [3] 余建星.深海油气工程[M].天津:天津大学出版社,2010.
- [4] 邱炜,崔广亮,于文太,等.300m级超大型深水导管架装船关键技术研究[J].中国石油和化工标准与质量,2022,42(11):196-198.
- [5] 修宗祥.深水导管架海洋平台安全可靠分析优化设计[D].东营:中国石油大学(华东),2010.
- [6] 陶飞,刘蔚然,刘检华,等.数字孪生及其应用探索[J].计算机集成制造系统,2018,24(1):1-18.
- [7] 陆文发,李林普,高明道.近海导管架平台[M].北京:海洋出版社,1992.
- [8] Grieves M. Virtually perfect: Driving innovative and lean products through product lifecycle management[M]. Cocoa Beach: Space Coast Press, 2011.
- [9] Negri E, Fumagalli L, Cimino C, et al. FMU-supported simulation for CPS digital twin[J]. Procedia Manufacturing, 2019, 28: 201-206.
- [10] 庄存波,刘检华,熊辉,等.产品数字孪生体的内涵、体系结构及其发展趋势[J].计算机集成制造系统,2017,23(4):753-768.
- [11] 彭宇,刘大同.数据驱动故障预测和健康管理综述[J].仪器仪表学报,2014,35(3):481-495.
- [12] 罗岚,周崇尧,胡琼,等.深海采矿动态数字孪生系统开发[J].哈尔滨工程大学学报,2023,44(2):197-203.
- [13] 张侨禹,宋汉江,李良才,等.基于数字孪生的舰船动力系统智能运维技术[J].中国舰船研究,2022,17(增刊1):73-80.
- [14] 常进云.基于数字孪生的SYMS铰节点健康管理研究[D].大连:大连理工大学,2021.
- [15] Environmental conditions and environmental loads: DNV-RP-C205[S]. Oslo: DNV, 2017.
- [16] 刘光孟,汪云甲,王允.反距离权重插值因子对插值误差影响分析[J].中国科技论文在线,2010,5(11):879-884.

Axial force inversion method of deepwater jacket platform based on digital twin method

ZHANG Yanfang¹, CHENG Congzhi^{2,3}, ZHOU Lei¹, WANG Weiwei¹, YU Siyuan^{2,3}, WU Wenhua^{2,3*}, LIU Lei⁴, ZHU Dongxu⁴

1. Offshore Oil Engineering Co., Ltd., Tianjin 300451, China
2. State Key Laboratory of Structural Analysis, Optimization and CAE Software for Industrial Equipment, Dalian University of Technology, Dalian 116024, China
3. Faculty of Vehicle Engineering and Mechanics, Dalian University of Technology, Dalian 116024, China
4. Dalian Kingmile Anticorrosion Technology Co.,Ltd., Dalian 116024, China

Abstract Deepwater jacket platform has found wide application in the South China Sea. Real-time and accurate acquisition of the forcing state of concerned members of the deepwater jacket platform can assess the safety status of the platform in service. Using the digital twinning methodology, this paper presents an axial force inversion method of deepwater jacket platform and carries out field verification on the LF 15-1 platform which is the largest jacket in Asia. Firstly, a digital twinning framework is established through an on-field monitoring system. Then, based on SACS simulation database and sea state interpolation algorithm, a procedure to calculate the axial force of concerned member under monitoring is developed. Finally, feasibility of the algorithm is verified on the LF 15-1 deepwater jacket platform with the prototype of monitored sea state data. The research results can provide reference for operation and maintenance of deepwater jacket platforms.

Keywords digital twin; deepwater jacket platform; axial force inversion ●



(责任编辑 刘志远)