

ICS 07.060

CCS P 60



# 团体标准

T/CEATEC XXX—2026

## 海洋平台结构模态参数智能识别技术规范

Technical specification for intelligent identification of modal parameters of offshore platform structures

2026-X-XX 发布

2026-X-XX 实施

中国欧洲经济技术合作协会 发布

# 目 次

前言 .....	II
1 范围 .....	1
2 规范性引用文件 .....	1
3 术语和定义 .....	1
4 基本要求 .....	1
4.1 环境要求 .....	1
4.2 设备要求 .....	2
4.3 人员要求 .....	2
5 传感器布置与数据采集 .....	2
5.1 传感器布置原则 .....	2
5.2 传感器布置方案 .....	2
5.3 数据采集要求 .....	2
5.4 数据预处理 .....	3
6 智能识别方法 .....	3
6.1 识别方法分类及适用范围 .....	3
6.2 特征提取 .....	3
6.3 识别流程 .....	3
6.4 关键参数设置 .....	4
7 结果验证与报告编制 .....	4
7.1 结果验证方法 .....	4
7.2 验证判定规则 .....	4
7.3 报告编制要求 .....	4
8 质量控制与安全要求 .....	4
8.1 质量控制 .....	4
8.2 安全要求 .....	5

## 前言

本文件按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由中国欧洲经济技术合作协会提出并归口。

本文件起草单位：。

本文件主要起草人：。

本文件为首次编制。

# 海洋平台结构模态参数智能识别技术规范

## 1 范围

本文件规定了海洋平台结构模态参数智能识别的基本要求、传感器布置与数据采集、智能识别方法、结果验证与报告编制、质量控制与安全要求。

本文件适用于各类海洋平台的结构模态参数智能识别工作。

## 2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB/T 4208 外壳防护等级（IP代码）

GB/T 32907 信息安全技术 SM4分组密码算法

## 3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

### 3.1

**海洋平台结构模态参数** modal parameter of offshore platform structure

描述海洋平台结构振动特性的参数，主要包括固有频率、振型和阻尼比。

### 3.2

**智能识别** intelligent identification

基于智能传感设备采集的结构振动数据，通过机器学习、深度学习等智能算法自动提取海洋平台结构模态参数的过程。

### 3.3

**固有频率** natural frequency

海洋平台结构在无外力作用下自由振动时的频率，单位为赫兹（Hz）。

### 3.4

**振型** mode shape

海洋平台结构在某一固有频率下振动时，结构各质点的振动位移相对比值所构成的图形。

### 3.5

**阻尼比** damping ratio

实际阻尼与临界阻尼的比值，无量纲，用于描述海洋平台结构振动能量耗散的特性。

## 4 基本要求

### 4.1 环境要求

4.1.1 进行海洋平台结构模态参数智能识别时,环境海况应满足:有效波高不大于1.5m,风速不大于8m/s,水流速度不大于1.0m/s。

4.1.2 数据采集期间应避免强电磁干扰,若无法避免,应采取屏蔽措施,确保传感器及采集设备的正常工作。

4.1.3 环境温度应在-10℃~45℃范围内,相对湿度应不大于85%(无凝露)。

## 4.2 设备要求

4.2.1 传感器的测量范围应覆盖结构预期振动幅值的1.5倍以上,加速度传感器的量程宜为 $\pm 1g \sim \pm 5g$ ,频率响应范围应不小于0.1Hz~100Hz,分辨率不低于0.001g。

4.2.2 数据采集设备的采样频率应不低于识别最高固有频率的5倍,采样位数不低于24位,数据传输速率不小于1Mbps。

4.2.3 智能识别系统应具备数据预处理、特征提取、模态参数识别及结果可视化等功能,运算延迟不超过10s/组数据。

## 4.3 人员要求

4.3.1 操作人员应具备海洋平台结构相关专业知识,熟悉传感器原理及数据采集设备的操作方法,并经过专业培训合格后上岗。

4.3.2 分析人员应具备结构动力学基础及人工智能相关知识,能够理解智能识别算法的原理及应用限制。

## 5 传感器布置与数据采集

### 5.1 传感器布置原则

5.1.1 传感器布置应覆盖海洋平台主要受力构件及关键部位,包括立柱、横梁、甲板主梁、支撑腿等核心结构。

5.1.2 振型测量时,传感器布置应满足振型识别的空间采样要求,在结构高度方向和水平方向的布置间距不应大于结构特征尺寸的1/5。

5.1.3 传感器应布置在结构刚度均匀的部位,避开焊缝、孔洞、边角等应力集中区域,距离焊缝边缘不应小于50mm。

5.1.4 每个结构独立构件上的传感器数量不应少于3个,且应沿构件长度方向均匀布置。

### 5.2 传感器布置方案

不同类型海洋平台的传感器布置方案要求见表1。

表1 海洋平台传感器布置方案

平台类型	传感器数量	主要布置部位	布置高度要求
固定式导管架平台	$\geq 32$ 个	导管架立柱、甲板主梁、支撑斜杆	从甲板到底部每隔 8m~10m 布置一层
半潜式平台	$\geq 48$ 个	浮体、立柱、甲板支撑结构	浮体周向均匀布置,立柱每 6m 布置一层
自升式平台	$\geq 36$ 个	桩腿、主体框架、甲板主梁	桩腿每 10m 布置一层,主体框架节点处均布置

### 5.3 数据采集要求

5.3.1 数据采集前应进行传感器校准,校准误差应不大于 $\pm 2\%$ 。

5.3.2 采样频率应根据平台结构类型确定,固定式平台采样频率宜为50Hz~200Hz,浮式平台采样频率宜为20Hz~100Hz。

5.3.3 每个采集通道的采样时长不应少于120s,数据完整率应不低于99%。

5.3.4 采集数据应包含时间戳信息,时间同步误差应不大于1ms。

5.3.5 数据采集期间应记录环境参数,包括风速、波高、水流速度、温度、湿度等,记录间隔不应大于10min。

## 5.4 数据预处理

- 5.4.1 应对采集数据进行滤波处理，采用低通滤波器，截止频率应根据结构固有频率范围合理选择。
- 5.4.2 数据中的异常值应采用插值法修正，单个通道的异常值比例不应超过该通道数据总量的3%。
- 5.4.3 预处理后的数据应进行平稳性检验，采用ADF检验法，检验统计量的P值应小于0.05。

## 6 智能识别方法

### 6.1 识别方法分类及适用范围

海洋平台结构模态参数智能识别方法分为基于机器学习的识别方法和基于深度学习的识别方法，其适用范围见表2。

表2 智能识别方法分类及适用范围

识别方法类型	具体方法	适用场景	识别精度要求
机器学习	支持向量机 (SVM)	简单结构、模态参数较少的情况	固有频率误差 $\leq \pm 2\%$ ,
			阻尼比误差 $\leq \pm 5\%$
机器学习	随机森林 (RF)	中等复杂结构、多模态耦合不严重的情况	固有频率误差 $\leq \pm 1.5\%$
			阻尼比误差 $\leq \pm 4\%$
深度学习	卷积神经网络 (CNN)	复杂结构、多模态耦合严重的情况	固有频率误差 $\leq \pm 1\%$ ,
			阻尼比误差 $\leq \pm 3\%$
深度学习	长短时记忆网络 (LSTM)	动态变化结构、非平稳信号情况	固有频率误差 $\leq \pm 1.2\%$
			阻尼比误差 $\leq \pm 3.5\%$

### 6.2 特征提取

- 6.2.1 时域特征应提取峰值、均值、方差、峭度、偏度等统计特征，共不少于8项特征参数。
- 6.2.2 频域特征应提取功率谱密度、频谱峰值、谱峭度等特征，采用FFT变换进行频谱分析，频率分辨率应不低于0.01Hz。
- 6.2.3 时频域特征应提取小波包能量熵、短时傅里叶变换特征等，小波基函数宜选择db4小波，分解层数为4~6层。

### 6.3 识别流程

#### 6.3.1 机器学习

基于机器学习的识别流程：

- 数据预处理：包括滤波、去噪、异常值修正；
- 特征提取：提取时域、频域及时频域特征；
- 模型训练：采用训练数据集训练机器学习模型，训练集比例不应低于总数据集的70%；
- 模态识别：将测试数据集输入训练好的模型，输出模态参数；
- 结果优化：采用遗传算法对识别结果进行优化。

#### 6.3.2 深度学习

基于深度学习的识别流程：

- 数据预处理：同6.3.1a)；
- 数据增强：采用信号加噪、时移、缩放等方法扩充数据集；
- 网络训练：构建深度学习网络，设置学习率为0.001~0.01，迭代次数为100~200次；
- 模态识别：输入预处理后的信号，通过网络输出模态参数；
- 结果校准：结合数值模拟结果对识别结果进行校准。

## 6.4 关键参数设置

- 6.4.1 支持向量机模型的惩罚参数 $C$ 宜设置为1~10，核函数选择径向基函数，核参数 $\gamma$ 宜设置为0.1~1.0。
- 6.4.2 随机森林模型的决策树数量宜设置为50~100棵，每棵决策树的最大深度不应超过15层。
- 6.4.3 卷积神经网络模型的卷积层数量宜为3~5层，池化层采用最大池化，池化核大小为 $2 \times 2$ ，全连接层数量为2~3层。
- 6.4.4 长短时记忆网络模型的隐藏层数量宜为2~4层，每个隐藏层的神经元数量为64~256个，dropout率设置为0.2~0.5。

## 7 结果验证与报告编制

### 7.1 结果验证方法

#### 7.1.1 数值模拟验证

采用有限元软件建立海洋平台结构模型，计算模态参数，与智能识别结果进行对比，固有频率相对误差应不大于3%，振型相似度应不低于0.85（采用MAC准则评价）。

#### 7.1.2 试验验证

采用激振试验方法，通过模态激振器对平台结构进行激励，采集响应信号并识别模态参数，与智能识别结果对比，阻尼比相对误差应不大于10%。

#### 7.1.3 交叉验证

采用至少两种不同的智能识别方法对同一组数据进行识别，结果的一致性应满足固有频率差值不大于0.5Hz，阻尼比差值不大于0.2%。

### 7.2 验证判定规则

满足下列条件之一时，判定识别结果有效：

- 数值模拟验证与智能识别结果的固有频率相对误差 $\leq 3\%$ ，且振型相似度 $\geq 0.85$ ；
- 试验验证与智能识别结果的阻尼比相对误差 $\leq 10\%$ ，且固有频率相对误差 $\leq 2\%$ ；
- 两种不同智能识别方法的结果一致性满足7.1.3要求，且数值模拟验证的固有频率相对误差 $\leq 5\%$ 。

注：不满足上述任何条件时，应重新进行数据采集或调整智能识别模型参数，直至验证合格。

### 7.3 报告编制要求

#### 7.3.1 报告内容

报告应包括以下主要内容：

- 项目概况：包括海洋平台类型、结构尺寸、建造年份、检测目的等；
- 检测依据：包括本文件及其他相关标准、规范；
- 检测设备：传感器型号、数量、校准情况，数据采集设备及智能识别系统信息；
- 检测过程：传感器布置图、数据采集参数、智能识别方法及参数设置；
- 识别结果：固有频率、振型、阻尼比等模态参数，振型图及数据表格；
- 结果验证：验证方法、验证数据及验证结论；
- 结论与建议：根据识别结果给出结构振动特性评价及后续使用建议。

#### 7.3.2 附件要求

报告应附传感器布置图、振型示意图、数据采集原始记录及验证报告等附件。

## 8 质量控制与安全要求

### 8.1 质量控制

8.1.1 数据采集前应制定详细的检测方案，明确传感器布置、采集参数及识别方法等内容，并经技术负责人审核批准。

8.1.2 检测过程应进行全程质量记录，包括设备校准记录、数据采集记录、模型训练记录及结果验证记录等。

8.1.3 检测数据应进行备份，采用本地备份和云端备份双重方式，采用SM4加密算法进行数据加密，应符合GB/T 32907要求，备份数据保存时间不应少于5年。

8.1.4 智能识别模型应进行验证，采用第三方数据集对模型泛化能力进行测试，测试准确率应不低于85%。

## 8.2 安全要求

8.2.1 海上作业时，操作人员应遵守海洋平台安全管理规定，穿戴个人防护装备，包括救生衣、安全帽、防滑鞋等。

8.2.2 传感器安装和数据采集设备布置应符合平台用电安全要求，电气设备应具备防水、防腐功能，防护等级不低于IP65（GB/T 4208）。

8.2.3 作业过程中应关注气象海况变化，当海况超过本文件4.1.1规定的范围时，应立即停止作业。

8.2.4 高空作业时，应搭设安全防护设施，作业人员应系安全带，安全带应高挂低用。

---