

《海上风电平台强度直接计算技术导则》(征求意见稿)  
编制说明

《海上风电平台强度直接计算技术导则》

起草工作组

二〇二五年七月

# 《海上风电平台强度直接计算技术导则》(征求意见稿)

## 编制说明

### 1. 国内外情况

国内对固定式海上风电平台的强度直接计算，已纳入《海上风力发电场设计标准》(GB/T 51308-2019)等行业标准，主要沿用石油平台荷载-抗力系数法(SY/T 10009)并通过有限元校核关键节点强度与疲劳。

漂浮式风电方面，我国正同步推进国家标准《风能发电系统 漂浮式海上风力发电机组一体化计算分析导则》的编制，直接计算内容涵盖浮体水动力-系泊-塔架-机组全耦合分析、极限强度与疲劳强度一体化评估，并借鉴新版 IEC 61400-3-2:2025 的设计要求，形成从环境载荷、锚固系统到混凝土构件的完整直接计算体系。

### 2. 研究目的及意义

海上风电作为清洁能源的重要组成部分，其安全性和可靠性直接关系到项目的长期稳定运行。海上风电基础结构承受复杂的海洋环境荷载(如风、浪、流等)，其强度设计是确保整体结构安全的关键环节。本技术导则的制定，旨在规范海上风电基础结构的强度直接计算方法，为设计、施工和评估提供科学依据，从而提升结构的可靠性和经济性。

本技术导则的意义在于：1) 技术标准化：通过统一的计算方法和评判标准，减少设计过程中的主观性和不确定性，提高行业整体技术水平。2) 安全性保障：直接计算技术能够更精确地模拟结构在复杂荷载下的响应，避免传统简化方法可能存在的保守或不足，确保基础结构在全生命周期内的安全。3) 经济性优化：科学的计算手段有助于优化材料用量和结构形式，降低工程造价，提高海上风电的市场竞争力。4) 行业推动：为新兴的海上风电产业提供技术支撑，促进技术创新和工程实践的结合，推动行业可持续发展。

本技术导则的必要性在于：1) 环境复杂性：海上风电基础面临恶劣的海洋

环境，传统经验公式或简化方法难以全面反映实际受力状态，直接计算技术成为必要手段。2) 规范空白：目前国内针对海上风电基础强度直接计算的专项技术文件较少，亟需系统性导则填补这一领域的技术标准空缺。3) 国际接轨：欧美等海上风电领先国家已广泛应用直接计算技术，制定符合中国海域特点的导则，有助于提升国内技术的国际认可度。4) 风险控制：海上风电项目投资大、维修难，通过精确计算可提前规避潜在风险，减少运营期的安全隐患和经济损失。

综上，该导则的出台是海上风电行业高质量发展的必然要求，对实现“双碳”目标、保障能源安全具有重要的战略和实践价值。

### 3. 主要研究内容

本标准主要规定了固定式和漂浮式风电机组平台在设计阶段的结构强度直接计算技术要求及检验标准，适用于固定式和漂浮式海上风电平台结构强度直接计算评估。

### 4. 与现有标准、制定中标准的协调配套情况

海上风电平台计算技术领域已有部分国内标准，如 GB/T 31519-2015《海上风力发电机组 设计要求》涵盖海上风电机组的整体设计，包括基础结构的载荷计算和强度要求，但未专门针对直接计算技术进行详细规定；NB/T 10311-2019《海上风电场工程风电机组基础设计规范》专门针对海上风电基础设计，包括载荷分析、结构强度校核等内容，但直接计算方法仍需结合具体工程实践补充；中国船级社（CCS）的《海上风力发电机组认证规范》包含对海上风电结构强度的认证要求，涉及疲劳分析、极限强度计算等，部分内容可参考直接计算方法。国内标准在直接计算的细节（如局部强度、非线性分析）方面仍需进一步细化；中国船级社的规范逐步与国际接轨，但针对中国特殊海况（如台风、软土地基）的适应性仍需完善。综上所述，目前国内未见有针对海上风电基础直接计算的规范和标准。

## 5. 与其他行业或领域的关系及跨行业、跨领域的协调情况

本标准属于海上风电平台的计算方法方面规范，不涉及具体的产品制造及检验相关内容，所采用的具体产品需参照相应的国家标准。相关内容详见标准的规范性引用文件。

## 6. 标准对产业发展的支撑作用及解决的主要问题

近年来，海上风电的单机容量大型化、新型基础形式（如吸力桶、张力腿平台）和新材料的不断出现，海上风电基础结构的屈曲、弹塑性破坏、疲劳和断裂等问题日趋受到重视。传统的海上风电基础结构设计和分析方法已难以胜任，寻找更加有效的结构分析方法势在必行，也对强度评估提出了更加全面、更加先进的要求。新型基础形式缺乏历史工程经验数据，直接计算法是验证其可行性的必要手段。

首先，海上风电基础需承受风、浪、流、冰、地震等多重动态荷载，且这些荷载具有随机性、非线性和耦合性，传统的简化方法（如等效静力法）难以准确模拟实际工况，而直接计算法（如时域或频域动态分析）能更精确地反映荷载的真实作用。第二，海上风电基础（如单桩、导管架、浮式基础）与海底地基的相互作用涉及复杂的土力学问题（如循环退化、液化风险），直接计算法（如有限元法）可模拟土-结构相互作用，优化桩基设计。最后，海上风电设计需满足极端荷载下的强度要求和长期循环荷载下的疲劳寿命（通常 20-30 年），直接计算法可精确预测应力集中、损伤累积，避免过度保守或不足的设计，减少安全余量的不确定性，降低钢材、混凝土等材料的用量，控制项目成本（海上施工成本占比高达 30%-50%）。

综上所述，直接计算法通过高精度数值模型（如有限元、边界元、CFD）整合多物理场耦合作用，是确保海上风电基础安全性、经济性和适应性的关键技术手段，尤其在深水、大容量风机（>10MW）和恶劣海况项目的必要性更为突出。

## 7. 与国际标准（国外先进标准）的对比分析及采用国际标准（国外先进标准）的情况

IEC 61400-3《海上风力发电机组设计要求》是国际通用的海上风电设计标准，涵盖环境载荷、结构强度、疲劳分析等，但它并未提出关于海上风电基础的强度计算流程及要求；挪威船级社（DNV）的 DNVGL-ST-0126《海上风力发电机组支撑结构设计》提供详细的结构强度直接计算方法，包括极限状态分析、疲劳分析、局部强度评估等，但船级社属于民间组织机构，该规范的适用范围有限且各船级社之间的规定多有不同。中国需结合中国地域的本土海况特点（如复杂地质、极端气候），制定更细化的直接计算技术导则，以提升设计精度和安全性。本标准在制定过程中没有查询到相应的国际、国外标准，因此没有采标。

## 8. 涉及国内外专利及处置情况

本申报标准属于防腐技术规范，所采用的技术均为成熟产品，不涉及专利问题。

## 9. 其他需要说明的情况

提出单位相关业绩情况如下：

山东电力工程咨询院有限公司成立于 1958 年，是山东省首家具有全国最高资质等级“工程设计综合甲级”单位，在全国电力勘察设计行业率先同时拥有国内外百万千瓦级超超临界火电、特高压输变电、中国三代核电工程、海上风电、海上光伏 EPC 总承包业绩，同时也是国家高新技术企业、山东省电力勘测设计协会会长单位。

## 10. 规范框架设计

从标准适用范围、规范性引用文件、术语和定义、基本要求、柔性支架结构及基础设计、防腐等几个方面进行设计。具体内容见标准大纲，初步框架设计如

下：

前言
引言
1 范围
2 规范性引用文件
3 术语和定义
4 总则
5 设计荷载与工况
5.1 一般规定
5.2 设计荷载
5.3 设计工况
6 固定式海上风电基础
6.1 设计原则
6.2 API 法
6.3 m 法
6.4 双曲线型 P-Y 曲线
6.5 数值模拟法
7 漂浮式海上风电基础
7.1 一般规定
7.2 三维有限元建模
7.3 荷载预报
7.4 强度结果校核
8 系泊系统
8.1 一般规定
8.2 系泊系统设计分析
9 动态电缆
9.1 电缆构型设计
9.2 专用附件
附录 A（资料性） 海上风电平台强度直接计算流程图

附录 B（资料性）	钢管桩刚柔性的定义
附录 C（规范性）	砂土中非柔性桩基 P-Y 曲线修正方法
附录 D（规范性）	黏土中非柔性桩基 P-Y 曲线修正方法
参考文献	

## 11. 进度安排

项目实施期限为 1 年，起止时间为 2024 年~2025 年。主要进度如下：

### 2024 年：

- （1）项目实施方案编制。
- （2）开展国内外固定式和漂浮式海上风电平台的强度直接计算方案及发展状况调研。
- （3）开展海上风电平台的强度直接计算技术研究，初步形成设计标准体系，明确相关计算方法。
- （4）收集并翻译 IEC 61400-3-2:2025、DNV-GL、API RP 2A 等国外最新条款，整理国内已投运及在建固定式/漂浮式项目实测数据。

### 2025 年：

- （1）组建由整机企业、设计院、高校及第三方检测机构组成的“海上风电平台直接计算团体标准”联合工作组。
- （2）组织相关设计单位、海上风电生产及建设厂家等进行内部探讨和征求意见，优化规程。
- （3）开展海上风电平台强度直接计算技术导则的应用。
- （4）总结试点项目的设计经验，优化设计规程。
- （5）召开专家研讨会、交流会，征求各方意见，提高成果质量。
- （6）形成《海上风电平台强度直接计算技术导则》及其编制说明（建议稿），发布实施。

