



# 中华人民共和国国家标准

GB/T 31517.1—2022/IEC 61400-3-1:2019

代替 GB/T 31517—2015

## 固定式海上风力发电机组 设计要求

Fixed offshore wind turbines—Design requirements

(IEC 61400-3-1:2019, Wind energy generation systems—Part 3-1: Design requirements for fixed offshore wind turbines, IDT)

2022-10-12 发布

2022-10-12 实施

国家市场监督管理总局  
国家标准化管理委员会 发布

## 目 次

|                             |      |
|-----------------------------|------|
| 前言 .....                    | VII  |
| 引言 .....                    | VIII |
| 1 范围 .....                  | 1    |
| 2 规范性引用文件 .....             | 1    |
| 3 术语和定义 .....               | 2    |
| 4 符号和缩略语 .....              | 9    |
| 4.1 符号和单位 .....             | 9    |
| 4.2 缩略语 .....               | 10   |
| 5 基本要求 .....                | 10   |
| 5.1 概述 .....                | 10   |
| 5.2 设计方法 .....              | 11   |
| 5.3 安全等级 .....              | 12   |
| 5.4 质量保证 .....              | 12   |
| 5.5 风轮-机舱组件铭牌 .....         | 12   |
| 6 外部条件 定义和评估 .....          | 12   |
| 6.1 概述 .....                | 12   |
| 6.2 风力发电机组等级 .....          | 13   |
| 6.3 海上风力发电机组场址外部条件定义 .....  | 13   |
| 6.3.1 概述 .....              | 13   |
| 6.3.2 风况 .....              | 13   |
| 6.3.3 海洋条件 .....            | 14   |
| 6.3.4 电网条件 .....            | 18   |
| 6.3.5 其他环境条件 .....          | 18   |
| 6.4 海上风力发电机组场址的外部条件评估 ..... | 19   |
| 6.4.1 概述 .....              | 19   |
| 6.4.2 海洋气象数据库 .....         | 19   |
| 6.4.3 风况评估 .....            | 20   |
| 6.4.4 海洋条件评估 .....          | 21   |
| 6.4.5 其他环境条件评估 .....        | 24   |
| 6.4.6 电网条件评估 .....          | 25   |
| 6.4.7 地质条件评估 .....          | 25   |
| 7 结构设计 .....                | 26   |
| 7.1 概述 .....                | 26   |
| 7.2 设计方法 .....              | 26   |
| 7.3 载荷 .....                | 26   |
| 7.3.1 概述 .....              | 26   |

|        |                                |    |
|--------|--------------------------------|----|
| 7.3.2  | 重力和惯性载荷                        | 26 |
| 7.3.3  | 空气动力载荷                         | 26 |
| 7.3.4  | 驱动载荷                           | 27 |
| 7.3.5  | 水动力载荷                          | 27 |
| 7.3.6  | 海冰/湖冰载荷                        | 27 |
| 7.3.7  | 其他载荷                           | 27 |
| 7.4    | 设计状态和载荷工况                      | 27 |
| 7.4.1  | 概述                             | 27 |
| 7.4.2  | 发电(DLC 1.1~DLC 1.6)            | 33 |
| 7.4.3  | 发电兼有故障或失去电网连接(DLC 2.1~DLC 2.5) | 33 |
| 7.4.4  | 启动(DLC 3.1~DLC 3.3)            | 35 |
| 7.4.5  | 正常关机(DLC 4.1~DLC 4.2)          | 35 |
| 7.4.6  | 紧急停机(DLC 5.1)                  | 36 |
| 7.4.7  | 停机(停止或空转)(DLC 6.1~DLC 6.4)     | 36 |
| 7.4.8  | 停机兼有故障(DLC 7.1~DLC 7.2)        | 37 |
| 7.4.9  | 运输、安装、维护和维修(DLC 8.1~DLC 8.4)   | 37 |
| 7.4.10 | 海冰/湖冰设计载荷工况                    | 40 |
| 7.5    | 载荷和载荷效应计算                      | 41 |
| 7.5.1  | 概述                             | 41 |
| 7.5.2  | 水动力载荷的相关性                      | 41 |
| 7.5.3  | 水动力载荷的计算                       | 41 |
| 7.5.4  | 海冰/湖冰载荷计算                      | 41 |
| 7.5.5  | 支撑结构响应评估的整体阻尼评估                | 41 |
| 7.5.6  | 仿真要求                           | 42 |
| 7.5.7  | 其他要求                           | 43 |
| 7.6    | 极限状态分析                         | 44 |
| 7.6.1  | 方法                             | 44 |
| 7.6.2  | 极限强度分析                         | 45 |
| 7.6.3  | 疲劳失效                           | 46 |
| 7.6.4  | 特殊局部安全系数                       | 46 |
| 7.6.5  | 基础评估的周期性载荷评估                   | 46 |
| 8      | 控制系统                           | 47 |
| 9      | 机械系统                           | 47 |
| 10     | 电气系统                           | 47 |
| 11     | 基础和下部结构设计                      | 47 |
| 12     | 组装、安装和吊装                       | 48 |
| 12.1   | 概述                             | 48 |
| 12.2   | 计划                             | 49 |
| 12.3   | 安装条件                           | 49 |
| 12.4   | 场址道路                           | 49 |
| 12.5   | 环境条件                           | 49 |
| 12.6   | 文件                             | 49 |

|            |                                 |    |
|------------|---------------------------------|----|
| 12.7       | 接收、装卸和储存                        | 50 |
| 12.8       | 支撑结构系统                          | 50 |
| 12.9       | 海上风力发电机组组装                      | 50 |
| 12.10      | 海上风力发电机组吊装                      | 50 |
| 12.11      | 紧固件和附件                          | 50 |
| 12.12      | 起重机、卷扬机和起吊设备                    | 50 |
| 13         | 调试、运行和维护                        | 50 |
| 13.1       | 概述                              | 50 |
| 13.2       | 安全运行、检查和维护的设计要求                 | 51 |
| 13.3       | 调试说明书                           | 51 |
| 13.3.1     | 概述                              | 51 |
| 13.3.2     | 接通电源                            | 52 |
| 13.3.3     | 调试测试                            | 52 |
| 13.3.4     | 记录                              | 52 |
| 13.3.5     | 调试后的工作                          | 52 |
| 13.4       | 运行人员指导手册                        | 52 |
| 13.4.1     | 概述                              | 52 |
| 13.4.2     | 运行维护记录说明                        | 52 |
| 13.4.3     | 自动故障关机指南                        | 53 |
| 13.4.4     | 可靠性降低的指南                        | 53 |
| 13.4.5     | 工作规程                            | 53 |
| 13.4.6     | 应急计划                            | 53 |
| 13.5       | 维护手册                            | 54 |
| 附录 A (资料性) | 海上风力发电机组关键设计参数                  | 55 |
| A.1        | 海上风力发电机组标识                      | 55 |
| A.1.1      | 概述                              | 55 |
| A.1.2      | 风轮-机舱组件(机械设备)参数                 | 55 |
| A.1.3      | 支撑结构参数                          | 55 |
| A.1.4      | 风况(基于 10 min 基准期并包含风电场尾流效应,若相关) | 55 |
| A.1.5      | 海况(基于 3 h 基准期,若相关)              | 56 |
| A.1.6      | 风力发电机组电网条件                      | 56 |
| A.2        | 其他环境条件                          | 57 |
| A.3        | 运输、吊装和维护的限制条件                   | 57 |
| 附录 B (资料性) | 浅水流体力学和破碎波                      | 58 |
| B.1        | 选择合适的波浪理论                       | 58 |
| B.2        | 不规则波列的模拟                        | 59 |
| B.3        | 波高分布                            | 59 |
| B.3.1      | 概述                              | 59 |
| B.3.2      | 最大波高的 Goda 模型                   | 59 |
| B.3.3      | Battjes-Groenendijk 波高分布曲线      | 61 |
| B.3.4      | Forristall 波和波峰高度分布             | 64 |
| B.4        | 破碎波                             | 65 |

|                                                |    |
|------------------------------------------------|----|
| B.5 参考文献                                       | 66 |
| 附录 C (资料性) 水动力载荷计算导则                           | 67 |
| C.1 概述                                         | 67 |
| C.2 Morison 方程                                 | 68 |
| C.3 衍射                                         | 68 |
| C.4 拍击和冲击载荷                                    | 69 |
| C.5 涡激振动                                       | 71 |
| C.5.1 概述                                       | 71 |
| C.5.2 横向涡激振动的临界流速                              | 72 |
| C.5.3 纵向涡激振动的临界速度                              | 73 |
| C.6 附属装置                                       | 73 |
| C.6.1 概述                                       | 73 |
| C.6.2 考虑附属装置和海生物,估算水动力系数的方法                    | 73 |
| C.7 计算方法                                       | 79 |
| C.7.1 概述                                       | 79 |
| C.7.2 显式方法                                     | 79 |
| C.7.3 约束波的方法                                   | 79 |
| C.8 参考文献                                       | 80 |
| 附录 D (资料性) 冰载作用下海上风力发电机组支撑结构的设计建议              | 81 |
| D.1 引言                                         | 81 |
| D.2 概述                                         | 81 |
| D.3 冰厚度的选择                                     | 81 |
| D.4 载荷工况                                       | 82 |
| D.4.1 概述                                       | 82 |
| D.4.2 固定冰盖中由于温度波动产生的水平载荷(DLC D1)               | 82 |
| D.4.3 固定冰盖中由于水位波动和拱效应产生的水平载荷(DLC D2)           | 83 |
| D.4.4 流冰产生的水平载荷(DLC D3、DLC D4、DLC D7 和 DLC D8) | 83 |
| D.4.5 固定冰盖产生的竖向载荷(DLC D5)                      | 86 |
| D.4.6 冰脊压力(DLC D6)                             | 87 |
| D.4.7 动载荷(DLC D3、DLC D4、DLC D7 和 DLC D8)       | 87 |
| D.5 随机仿真的要求                                    | 89 |
| D.6 模拟试验的要求                                    | 89 |
| D.7 参考文献                                       | 90 |
| D.8 冰况参考资料                                     | 91 |
| 附录 E (资料性) 海上风力发电机组的基础及下部支撑结构设计                | 93 |
| 附录 F (资料性) 用于极限强度分析的海洋气象运行参数的统计外推              | 94 |
| F.1 概述                                         | 94 |
| F.2 运用 IFORM 测定平均风速条件下 50 年重现期的有义波高            | 94 |
| F.3 $V$ 和 $H_s$ 的联合分布以及环境等值线的近似值               | 95 |
| F.4 海况持续时间选择                                   | 96 |
| F.5 确定 SSS 中的单个极大波高                            | 97 |
| F.6 参考文献                                       | 97 |

|                                   |     |
|-----------------------------------|-----|
| 附录 G (资料性) 腐蚀防护 .....             | 98  |
| G.1 概述 .....                      | 98  |
| G.2 海洋环境 .....                    | 98  |
| G.3 腐蚀防护注意事项 .....                | 98  |
| G.4 腐蚀防护系统-支撑结构 .....             | 99  |
| G.5 风轮-机舱组件腐蚀防护 .....             | 99  |
| G.6 参考文献 .....                    | 99  |
| 附录 H (资料性) 热带气旋引起的极大波高预测 .....    | 101 |
| H.1 概述 .....                      | 101 |
| H.2 热带气旋影响下的风力发电场计算 .....         | 101 |
| H.3 热带气旋影响下的波浪估计 .....            | 101 |
| H.4 参考文献 .....                    | 101 |
| H.5 热带风暴数据库 .....                 | 102 |
| 附录 I (资料性) 对热带气旋区域安全等级调整的建议 ..... | 103 |
| I.1 概述 .....                      | 103 |
| I.2 全局坚固性等级标准 .....               | 103 |
| I.3 设计载荷工况 .....                  | 103 |
| 参考文献 .....                        | 105 |

## 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。

本文件是 GB/T 31517 的第 1 部分。GB/T 31517 已经发布了以下部分：

——GB/T 31517.1 固定式海上风力发电机组 设计要求。

本文件代替 GB/T 31517—2015《海上风力发电机组 设计要求》，与 GB/T 31517—2015 相比，除结构调整和编辑性改动外，主要技术变化如下：

- a) 更改了“外部条件”，将“海上风力发电机组场址外部条件评估”并入“外部条件”形成“外部条件 定义和评估”，因为海上项目的风力发电机组支撑结构通常采用特定场址设计（见第 6 章，2015 年版的第 6 章、第 12 章）；
- b) 更改了设计载荷表，以简化波浪的表现方法，也适用于极端海况的情况，对载荷计算的导则也进行了相应的修改（见 7.4，2015 年版的 7.4）；
- c) 更改了载荷安全系数编写依据，载荷安全系数直接按 IEC 61400-1:2019（见 7.5.1，2015 年版的 7.5、7.6）；
- d) 更改了控制系统的一些规则，控制系统与 IEC 61400-1:2019 一致（见第 8 章，2015 年版的第 8 章）。

本文件等同采用 IEC 61400-3-1:2019《风能发电系统 第 3-1 部分：固定式海上风力发电机组设计要求》。

本文件做了下列最小限度的编辑性改动：

——为与现有标准协调，将标准名称改为《固定式海上风力发电机组 设计要求》；

——由于 IEC 61400-3-1 在编制阶段，第 2 章规范性文件中引用的 IEC 61400-1 处于 2018 年的最终国际标准版草案 (FDIS) 阶段。IEC 61400-3-1 于 2019 年 4 月发布时，IEC 61400-1 已于 2019 年 2 月发布，因此将本文件中的 61400-1:2018 更正为 IEC 61400-1:2019。

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。

本文件由中国机械工业联合会提出。

本文件由全国风力发电标准化技术委员会 (SAC/TC 50) 归口。

本文件起草单位：中国船舶重工集团海装风电股份有限公司、上海电气风电集团股份有限公司、中国电建集团华东勘测设计研究院有限公司、中国电力科学研究院有限公司、新疆金风科技股份有限公司、中国船舶重工集团(天津)海上风电工程技术有限公司、国华能源投资有限公司、北京鉴衡认证中心有限公司、中车株洲电力机车研究所有限公司、上海勘测设计研究院有限公司、中国质量认证中心、中国船级社质量认证公司、东方电气风电股份有限公司、中国电建集团中南勘测设计研究院有限公司、国电联合动力技术有限公司、中国电建集团西北勘测设计研究院有限公司、中国能源建设集团广东省电力设计研究院有限公司、明阳智慧能源集团股份公司、哈电风能有限公司、山东电力工程咨询院有限公司、龙源(北京)风电工程设计咨询有限公司、中国华能集团清洁能源技术研究院有限公司、山东中车风电有限公司。

本文件主要起草人：文茂诗、韩花丽、许移庆、邓雨、李华祥、王滨、付德义、李荣富、刘扬、高辉、蔡继峰、李秀珍、林毅峰、李常、刘芝娜、曾庆忠、周凯、褚景春、田伟辉、杨敏冬、王超、徐可、王宇、李星运、刘鑫、田家彬。

本文件及其所代替文件的历次版本发布情况为：

——2015 年首次发布为 GB/T 31517—2015，本次为第一次修订。

## 引 言

本文件描述了海上风力发电机组的最低设计要求,但其不是完整的设计规范或安装指导手册。

在海上风力发电机组设计、制造、组装、装配、调试、运行及维护等环节中,不同的合同方可能负责不同的工作,但要确保满足本文件的要求。这些合同方之间的责任划分问题,不在本文件的讨论范围内。

本文件是 GB/T 31517 的第 1 部分,GB/T 31517 拟由两个部分构成。

- GB/T 31517.1 固定式海上风力发电机组 设计要求。规定了海上风力发电机组场址外部条件评估的附加要求,以及确保固定式海上风力发电机组工程完整性的基本设计要求。其目的是在风力发电机组的预期寿命期间,提供适当等级的防护,以防止各种危险对风力发电机组造成损害。
- GB/T 31517.2 漂浮式海上风力发电机组 设计要求。规定了漂浮式海上风力发电机组(FOWT)场址外部条件评估的附加要求,以及确保 FOWT 工程完整性的基本设计要求。其目的是在风力发电机组的预期寿命期间,提供适当等级的防护,以防止各种风险对风力发电机组造成损害。



# 固定式海上风力发电机组 设计要求

## 1 范围

本文件规定了海上风力发电机组场址外部条件评估的附加要求,以及确保固定式海上风力发电机组工程完整性的基本设计要求。其目的是在风力发电机组的预期寿命期间,提供适当等级的防护,以防止各种危险对风力发电机组造成损害。

本文件重点关注海上风力发电机组各结构部件的工程完整性,同时也涉及各子系统,如控制和保护机构、内部电气系统以及机械系统。

如果海上风力发电机组的支撑结构承受水动力载荷并固定在海床上,那么该发电机组为固定式海上风力发电机组。本文件中的设计要求无法确保漂浮式海上风力发电机组的工程完整性。漂浮式海上风力发电机组设计要求参见 IEC 61400-3-2。本文件所述海上风力发电机组是指固定式海上风力发电机组。

本文件宜与第 2 章中提到的适用的 IEC、ISO 标准一起使用。特别注意的是本文件完全符合 IEC 61400-1 的要求。由本文件设计的海上风力发电机组的安全等级应不低于 IEC 61400-1。在某些章节中,为了能清晰地描述规定的要求,复制了 IEC 61400-1 的内容。

## 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。

ISO 2394 结构可靠性的一般原则(General principles on reliability for structures)

ISO 2533:1975 标准大气(Standard atmosphere)

ISO 19900 石油天然气工业 海洋结构的一般要求(Petroleum and natural gas industries—General requirements for offshore structures)

注: GB/T 23511—2021 石油天然气工业 海洋结构的通用要求(ISO 19900:2019, IDT)

ISO 19901-1:2015 石油天然气工业 海上结构的具体要求 第 1 部分:海洋气象设计与运行条件(Petroleum and natural gas industries—Specific requirements for offshore structures—Part 1: Meteorological design and operating conditions)

ISO 19901-4 石油天然气工业 海上结构的具体要求 第 4 部分:岩土与基础设计要点(Petroleum and natural gas industries—Specific requirements for offshore structures—Part 4: Geotechnical and foundation design considerations)

ISO 19902 石油天然气工业 固定式海上钢结构(Petroleum and natural gas industries—Fixed steel offshore structures)

ISO 19903 石油天然气工业 海上固定式混凝土结构(Petroleum and natural gas industries—Fixed concrete offshore structures)

IEC 61400-1:2019 风力发电机组 设计要求 (Wind energy generation systems—Part 1: Design requirements)

注: GB/T 18451.1—2012 风力发电机组 设计要求(IEC 61400-1:2005, IDT)