doi: 10.3969/j.issn.1003-2029.2024.01.012

# 浮式风机一体化模拟的计算参数设置影响研究

林子赫1,易 丛2,刘利琴1,李 昊1

(1. 天津大学建筑工程学院, 天津 300350; 2. 中海油研究总院技术研发中心, 北京 100028)

摘 要:随着海上浮式风机的大型化发展,针对漂浮式风机的一体化耦合分析越来越重要。本 文利用 Simo-Riflex-Aerodyn 仿真工具建立 OC4-Deepcwind 漂浮式风机一体化耦合模型,分析计 算时间步长、初始截断时间、弹性结构单元离散数等计算参数对模拟结果的影响,包括浮式基 础运动、系缆张力、叶片受力等。结果表明:当计算时间步长为 0.005 s、0.01 s、0.02 s 时,浮 式风机的响应结果差别较小,而计算消耗时间相差较大,0.01 s、0.02 s 的计算时间分别是 0.005 s 的 70%、37%。相同工况下,不同参量响应达到稳定所需时间不同,纵荡需要的时间较长,最 长达 200 s;不同工况下,同一参量达到稳定所需时间也不相同,切出工况需要的时间最短,较 额定工况快约 60 s。结构单元离散数对塔柱受力影响较小,对叶片变形影响相对明显,当叶片 离散数目减小时,响应值增大 12%。实际中应根据具体工况选择合理的计算时间步长、初始截 断时间和弹性结构单元离散数量。

关键词: 浮式风机; 一体化计算; 耦合分析; 参数设置影响 中图分类号: TK81 文献标识码: A 文章编号: 1003-2029 (2024) 01-0100-09

海上风电作为未来风电发展的核心,近年来一 直快速发展。目前,漂浮式风机向着深远海及大型 化方向发展,风机的气动、水动、结构、控制耦合 更加明显,一体化耦合数值模拟研究对于漂浮式风 机的实际设计显得尤为重要。

浮式风机作为一种大型海洋结构物,许多学者 对其进行了水动力分析及优化设计。刘周等<sup>III</sup>以OC4-Deepcwind、Windfloat、Ideol 3 种半潜式浮式风机基 础为研究对象,利用 AWQA 软件建立了水动力模 型,基于三维势流理论对比了 3 种基础的水动力性 能,结果显示,OC4 基础在深水的适应性优良, Windfloat 在中等水深适应性较好。RONG X P 等<sup>III</sup> 以 OC4 海上风机为研究对象,设计了全新的四浮标 系泊系统,利用 AQWA 软件对其进行时域耦合分 析,结果显示,悬链线系泊系统在风机定位和运动 控制方面更有优势。蔡新等<sup>III</sup>基于 NREL 5 MW 风机 的上部机型参数,提出一种新型浮式平台,利用考 虑结构全耦合的一体化数值计算方法,对比分析了 新型风机基础与半潜式风机、单柱式风机的水动力 性能,结果显示,新型风机基础可有效降低垂荡峰 值并减小发生垂荡共振的可能性。随着对浮式风机 认识的不断加深,人们逐渐聚焦浮式风机动态运动 响应,开始研究考虑刚-柔耦合、气动-水动-控制耦 合的一体化分析方法并开发了相关的商业计算软 件,例如 Sesam 软件的 Sima 模块、Fast 软件等。 RONY JS 等<sup>14</sup>对 3 种不同配置的 Spar 平台进行了耦 合动力学建模,利用气动-伺服-水动耦合仿真工具 得到基础六自由度响应结果,研究表明,随着风速 和波高的增大,平台的响应结果呈现增加态势,在 3种不同配置的平台响应中,纵荡、纵摇占据主导 地位。LIL<sup>®</sup>建立了一个多体水弹性模型,并将其耦 合至超大型浮式风力机的气动-水动-伺服-弹性分析

收稿日期: 2023-08-11

作者简介:林子赫 (1999—),男,硕士研究生,主要从事海上新能源研究。E-mail: zihe\_lin0212@163.com

**通讯作者:**刘利琴(1976—),女,博士,教授,主要从事船舶与海洋结构动力学、海洋结构物非线性动力学、海上新能源研究。 E-mail: liuliqin@tju.edu.cn 中进行分析,结果显示,当子结构为柔性时,浮式 风机发电波动增大 22.5%。肖昌水<sup>[6]</sup>基于Jour-dain 速度变分原理建立浮式风机的刚柔耦合动力学模 型,对旋转叶片的"动力刚化"进行分析和研究。 此外,学者也在不断探索新理论研究浮式风机耦合 问题,SILVALSP等四通过使用统计二次化的方法 研究了浮式风机在波流耦合下的一阶、二阶响应。 尽管目前对浮式风机的一体化耦合研究有了一定的 进展并开发了相关计算软件,但还有很多问题需要 深入研究。例如,如何提高计算速度,如何合理设 置计算参数(时间步长、初始截断时间等),参数 的设置对计算结果有何影响等。研究这些问题有助 于优化一体化耦合数值模拟效能,提升模拟结果的 准确性,更充分地利用耦合模拟工具。

本文以浮式风机 OC4-Deepcwind 为例研究一体 化耦合计算时参数设置对计算结果的影响。基于 Simo-Riflex-Aerodyn 仿真工具对水平轴风机进行一 体化仿真计算,在不同工况下对浮式水平轴风机系 统进行全耦合时域模拟,探讨计算时间步长、初始 截断时间、结构单元离散数目等参数对一体化数值 模拟结果的影响。

## 1 浮式风机一体化耦合分析理论及过 程介绍

在对浮式风机进行刚柔耦合一体化计算时,通 常将浮式基础、轮毂、机舱处理为刚体,将塔柱、 叶片、系泊缆处理为弹性体,采用非线性方法进行 同步动态分析,实现风机各子部分间的耦合。

考虑风浪流载荷的浮式基础六自由度运动方程如下。

$$(\boldsymbol{M} + \boldsymbol{m})\ddot{\boldsymbol{X}}(t) + \boldsymbol{C}\dot{\boldsymbol{X}}(t) + \boldsymbol{K}\boldsymbol{X}(t) + \int_{0}^{t} \boldsymbol{R} (t - \tau)\dot{\boldsymbol{X}}(\tau) d\tau = \boldsymbol{F}_{\text{wave}} + \boldsymbol{F}_{\text{current}} + \boldsymbol{F}_{\text{moor}} + \boldsymbol{F}_{\text{up}} \quad (1)$$

式中, *M* 为质量矩阵; *m* 为附加质量矩阵; *C* 为 阻尼矩阵; *K* 为静水恢复刚度矩阵; *F*<sub>wave</sub> 为浮体所受 波浪力矩阵; *F*<sub>curent</sub> 为浮体所受流力矩阵; *F*<sub>mox</sub> 为浮体 所受系缆力矩阵; *F*<sub>up</sub> 为风机上部向下传递的力矩 阵; *R* 为速度脉冲函数矩阵, 其与辐射阻尼矩阵 *B* 的关系如下。

$$\boldsymbol{R}(t) = \frac{2}{\pi} \int_{0}^{\infty} \boldsymbol{B}(\omega) e^{i\omega t} \mathrm{d}\omega \qquad (2)$$

在柔性体的计算中,叶片、塔柱计算时考虑抗 弯抗剪刚度,采用 Beam 单元进行计算,系泊缆计 算时未考虑抗弯抗剪刚度,采用 Bar 单元进行计 算,具体的计算理论见参考文献[8]。

在浮式风机一体化刚柔耦合计算过程中,考虑 的环境载荷主要包括波浪载荷和风载荷,其中时域 的波浪载荷依赖于水动力参数,水动力参数是由三 维势流理论<sup>10</sup>求得;对于塔柱、基础,其所受风载 荷采用传统的风压理论<sup>10</sup>进行计算;叶片的气动载 荷则使用经典叶素动量理论<sup>110</sup>进行求解。在时域计 算过程中,全跨转子桨距控制器、发电机转矩控制 器分别在额定风速以上范围及以下范围对风机进行 控制。两个控制器独立工作,在额定风速以下,发 电机转矩控制器可实现最大限度地捕获风能;在额 定风速以上,全跨转子桨距控制器可维持风机的平 稳发电<sup>111</sup>。

本文的耦合计算通过不同结构之间信息的传递 实现,即通过 Simo 计算浮体运动,将平台运动结 果传递至 Riflex 中,基于基础运动变化计算风机、 系泊缆响应,得到塔底六自由度载荷、系缆力,后 将载荷传递至 Simo 中,计算下一时间步的运动响 应,所用理论及数据传递过程如图 1 所示。

在仿真工具的使用上,利用 Genie 建立基础及 连接杆件的有限元模型,借助 Hydrod/Wadam 模块 计算浮式基础的水动力参数(附加质量、势流阻 尼、波浪力、幅值响应算子等),在 Simo-Riflex-Aerodyn 中建立完整的浮式风机模型并进行一体化 耦合时域分析,得到动态运动响应结果。

### 2 浮式风机系统模型建立

本文采用的浮式风机系统为 OC4-Deepcwind 式 风机,其上部为 NREL-5 MW 风机,下部为 Deepcwind 式浮式基础,其基础、系泊系统的具体参数 见参考文献 [11-12]。塔柱及风机系统参数如表 1 所示。

本文建立的浮式风机系统一体化耦合动力学模型如图2所示,该模型由3部分组成,包括上部风



 塔柱高度
 77.6 m

 材料密度
 8 500 kg·m<sup>-3</sup>

 額定功率
 5 MW

 叶片数
 3

 风轮/轮毂直径
 126 m/3 m

 切入/额定/切出风速
 3 m·s<sup>-1</sup>/11.4 m·s<sup>-1</sup>/25 m·s<sup>-1</sup>

 悬伸长度/轴倾角/叶片锥角
 5 m /5°/2.5°



机、下部基础和系泊系统。本文浮式风机的系泊系 统如图 3 所示,采用 3×1 的系泊布置方式,3 根缆 完全一致且间隔 120°,其中与风、浪方向相同的缆 为1 号缆。

浮式风机的研究通常考虑切入、额定、切出、 极限4种工况,在极限工况下风机停止运行,其对 各种参数敏感性相对较低,因此仅考虑切入、额 定、切出工况,在这3种工况下,风浪同向均为 0°,波浪为随机波,采用 JONSWAP 波浪谱,风为 定常风,各工况具体参数如表2所示。



图 3 系泊缆布置图

表 2 工况参数

工况	风速/(m・s <sup>-1</sup> )	波浪周期/s	波高/m	谱峰因子
切入工况	3	7.5	2	2.2
额定工况	11.4	10	6	3
切出工况	25	13	10.5	3.3

## 3 数值模拟结果及分析

#### 3.1 时间步长影响分析

在一体化的时域模拟时,计算时间步长的选择 对时域结果的稳定性、精度和计算效率都有重要的 影响,通常与波浪周期、非线性程度及分析公式有 关。本节以风机正常发电的额定工况为例,研究时 间步长对时域模拟结果的影响。

在 SESAM 系列软件中, 建议用于浮式风机动

态响应模拟的时间步长为 0.005 s,这个时间步长分 别是用于浮式生产储卸油装置(Floating Production Stor-age and Offloading, FPSO)和海底管道模拟 0.1 s 的二十分之一及用于半潜式平台模拟 0.05 s 的 十分之一。为了研究时间步长对浮式风机动态响应 的影响并合理选择时间步长以提高时域仿真速度, 本文选用了 0.005 s、0.01 s、0.02 s、0.03 s、0.05 s 等时间步长进行时域计算,分析表征浮式风机系 统动力响应的重要参数,包括浮式基础运动、系 缆力、风机转矩、发电功率和叶片变形等在不同时间步长下的差异。结果显示,当时间步长设为0.03 s、0.05 s及更大步长时,计算结果不收敛,这限定了可供选择的时间步长范围。此时,将前文设定中可进行正常计算的时域模拟时间步长 0.005 s、0.01 s、0.02 s 依 次 命 名 为 STEP1、STEP2 和 STEP3,计算结果如表 3 所示,部分结果时域对比曲线如图 4 所示。

图 4 中(a)(b)(c)(d)依次为输出功率、转矩、

表 3 不同时间步长的响应结果对比(额定工》
------------------------

项目	STEP1	STEP2	STEP3
纵荡均值/m	8.822	8.826	8.826
纵荡标准差/m	0.992	0.991	0.991
垂荡均值/m	-0.028	-0.028	-0.028
垂荡标准差/m	0.271	0.271	0.271
纵摇均值/deg	2.929	2.931	2.931
纵摇标准差/deg	0.516	0.517	0.517
缆1张力均值/N	1.647e+06	1.647e+06	1.648e+06
缆1张力标准差/N	1.413e+05	1.410e+05	1.413e+05
缆2张力均值/N	9.213e+05	9.213e+05	9.210e+05
缆 2 张力标准差/N	2.633e+04	2.628e+04	2.624e+04









图 4 不同时间步长下功率、转矩、叶片变形时域曲线(额定工况)

叶片平面外变形/m

叶片平面内变形、叶片平面外变形,结果显示,3 种不同步长下的功率、转矩、叶片变形曲线基本一 致,此外,参照表3内统计结果可知,3种时间步 长下,叶片变形、基础运动、转矩、发电功率、系 泊力均值和标准差受影响很小。相对而言,最大的 结果差异出现在 STEP1 和 STEP3 的叶片平面外变



形,其均值相差约 1.67%。此外, STEP1、STEP 2、 STEP 3 的计算时间依次为 1 294 s、895 s、480 s, STEP3 的计算时间远少于 STEP1 和STEP2。

对受时间步长影响较大的叶片平面外变形,进行 切入、切出工况下不同时间步长的模拟, 计算结果 如图 5 所示,其中(a)为切入工况,(b)为切出工况。



图 5 不同时间步长下叶片变形时域曲线

可以看出, 在切入工况下, 3种步长结果差别 较小,最大差别出现在 STEP1 和 STEP3 之间,叶 片平面外变形相差 2.5%; 在切出工况下, STEP3 步长过大,计算发散,而STEP1、STEP2的差别很 小。以上结果表明,不同工况下,能正常计算的最 小时间步长不同,在额定工况下,步长 0.03、0.05 s 无法计算; 在切出工况下, STEP3 (0.02 s) 也无法 计算,这说明,当外部环境更加恶劣时,较大的步 长可能会使计算结果发散,因此,在恶劣的海况 下,需要采用较小的时间步长。相对于 STEP1, STEP2、STEP3在不同程度上减少了时域模拟时间 且计算结果差别很小。

#### 3.2 初始截断时间的影响分析

时域模拟的初始状态是不稳定的, 故在进行数 据统计时需对模拟的时域长度进行截断以消散初始 阶段瞬态响应的影响。依据规范与经验,可初步确 定截取的时间长度是与阻尼、波浪周期相关的函 数,本小节探究不同工况下同一响应结果及同一工 况下不同响应结果的初始截断时间差异,选用工况 为风机工作的切入、额定、切出3个工况。计算工 况的波浪和风同方向且为0°方向,浮式基础的运动 考虑纵荡、纵摇、垂荡3个自由度,运动响应、系 缆力及 X 向气动力的响应时历曲线如图 6 所示。

相较于额定、切出工况,切入工况的风速、波 浪较小,运动响应结果较小,故重点比较额定、切 出工况。从时域响应曲线可看出,垂荡响应很快 进入稳定,基本无需进行时间截取。由于风浪方向 均为0°,横向载荷小,而2号系缆力又主要受到横 向载荷影响, 故2号系缆力响应结果也相对稳定; 但时域曲线显示,纵荡、纵摇初始瞬态响应与稳 定阶段有明显差异,1号系缆力与X向气动力因受 纵荡、纵摇影响差异也较明显,其中,纵荡、纵摇、 系缆力、气动力的响应稳定时间统计如表4所示。

表 4 响应稳定时间对比

	表 4	响应稳定时	单位: s	
截断时间	纵荡	纵摇	系缆力	气动力
额定工况	200	89	204	99
切出工况	136	55	151	69

给出浮式基础的纵荡、纵摇在不同截断时间下 的统计结果,将3种不同的截断方式依次命名为 L<sub>1</sub>、L<sub>2</sub>、L<sub>4</sub>截断。在额定和切出工况下,纵荡、纵 摇3种不同截断方式截断的时间如表5所示。不同

表 5 纵荡、纵摇不同截断方式的截断时间 单位:s

~	<ul> <li>th det a 1 d ⇒</li> </ul>	thuir - Lot	- +b blat = 1 b) →
坝目	L <sub>1</sub> 截断时间	L <sub>2</sub> 截断时间	L3 截断时间
额定纵荡	200	600	1 000
切出纵荡	136	536	936
额定纵摇	89	489	889
切出纵摇	55	455	855





#### 图 6 浮式风机响应时历曲线对比

工况、截断方式下,纵荡、纵摇响应结果如表6所示,对比同工况下3种不同的截断方式时,若L<sub>1</sub>

与 L<sub>2</sub>、L<sub>3</sub> 的均值及标准差差异在 5%以内,则认为 L<sub>1</sub> 截断后达到稳定状态。

表6 纵荡	荡、纵摇不	同截断位置结果
-------	-------	---------

	项目	L <sub>1</sub> 均值	L₂均值	L₃均值	L <sub>1</sub> 标准差	L₂标准差	L,标准差
	额定-纵荡/m	8.826	8.819	8.820	0.954	0.914	0.918
	切出-纵荡/m	5.104	5.075	5.102	1.867	1.861	1.879
	额定-纵摇/(°)	2.928	2.931	2.927	0.548	0.541	0.552
	切出-纵摇/(°)	1.280	1.280	1.280	1.009	0.994	0.999
_							

以上结果表明,同一工况下,各响应结果达到 稳定时间不同,纵荡达到稳定需要的时间最长,在 额定工况下最长需要 200 s,由于风机的纵荡位移 直接影响系缆力的响应值,系缆力所需稳定时间也 相对较长。不同的工况下,同一个量响应结果达到 稳定的时间也有所不同,切出工况需要截断的时间 较少,以纵荡为例,切出工况相较于额定工况提前 约 60 s 达到稳定状态。

#### 3.3 弹性结构离散的分段数目

刚柔耦合一体化分析计算柔性结构的动力响 应,结构离散分段数量至关重要,合理的分段数目 可保证计算精度同时减少计算时间。基于此,对浮 式风机的风机叶片和塔柱分段数目进行研究。针对 风机叶片,在额定工况下,将叶片离散为23段、 17段和10段,分别进行计算并统计,摆振与挥舞 时域响应曲线如图7所示,统计结果如图8所示。



图 7 不同叶片离散单元数时的叶尖位移



图 8 不同叶片离散单元数时叶尖位移统计

结果表明,叶片离散单元 17 段与 23 段的计算 结果基本一致;在仿真工具中,叶片每个单元截面 会有详细的几何尺寸、升阻力系数,而当叶片的离 散单元数由 17 段降至 10 段时,部分分段参数发生 变化,导致模型无法精准描述叶片的复杂外形,进 而引起挥舞的标准差和摆振的平均值结果发生变 化,均增大了约 12%,可见这种叶片离散单元数较 少的计算方法结果偏保守,在对计算时间要求严 格,对结果精度要求不高时可采用该方法进行估算。

同理,以下分析离散单元数对塔柱结果的影响。取塔柱离散单元数分别为15段、10段和5段 进行一体化计算并进行统计,塔柱轴向力、塔柱 Y 向力矩、塔柱 X 向弯矩结果依次如图9所示。



以上计算表明,由于塔柱外形相对规则,当塔 柱结构被离散为5段、10段、15段时,计算结果 相差无几;从时历曲线上看,塔柱轴向力均值受影 响较大,但由于其数值本身较大,变化百分比仅在 2%左右。

### 4 结 论

本文建立了浮式风机的一体化耦合动力学模型,对切入、额定、切出3个工况进行了时域模拟,研究了计算时间步长、初始截断时间、弹性结构离散单元数目对浮式风机系统动力响应模拟结果的影响,结论如下。

(1) 载荷情况越恶劣,正常计算浮式风机运动 响应所需的时间步长越小。在额定工况下,相对于 0.005 s 的时间步长, 0.01 s 和 0.02 s 的时间步长在 不同程度上减少了时域模拟计算时间且计算结果差 别很小,特别是当时间步长为 0.02 s 时,完成相同 时间长度的时域模拟仅需步长 0.005 s 耗时的 37%。 (2) 1 号系缆力的轴向方向与纵荡方向一致,因此,其系缆力响应达到稳定需要的时间主要与纵荡稳定时间相关,X 向气动力主要受到入流风速影响,而纵摇会影响入流风速,故X 向气动力响应达到稳定的时间主要与纵摇的稳定时间相关;相同的工况下,不同参量响应达到稳定需要的时间不同,其中纵荡所需时间较长,在额定工况下时间最长,约 200 s;同一个参量在不同的工况下响应达到稳定所需要的时间不同,切出工况需要的时间较短,相较额定工况提前约 60 s 稳定。

(3) 塔柱由于外形结构相对规则,受结构离 散单元数目影响较小,各响应结果变化百分比均在 2%以内;当叶片离散单元数为17和23时,响应 结果基本一致;由于叶片外形复杂,当叶片离散单 元数为10时,离散单元较少,部分单元的外形、升 力系数及阻力系数与17单元数时不同,无法精准 地捕捉浮式风机叶片的动态响应,导致挥舞的标 准差和摆振的平均值响应结果明显增大,增大 近12%。

#### 参考文献:

- [1] 刘周, 樊天慧, 陈超核, 等.3种典型半潜式浮式风机基础水动力性能比较[J].中国海洋平台, 2021, 36(2): 1-10.
- [2] RONG X P, DOU P L, CHEN J X. Time-domain coupling analysis of semi-submersible floating foundation with four buoys for offshore wind turbine and its mooring system[J]. Journal of Physics: Conference Series, 2021, 2005(1): 012208.
- [3] 蔡新,张洪建,王浩,等.面向深远海的新型海上风力机浮式平台水动力性能研究[J].中国电机工程学报,2022,42 (12):4339-4352.
- [4] RONY J S, KARMAKAR D, SOARES C G. Coupled dynamic analysis of spar-type floating wind turbine under different wind and wave loading[J]. Marine Systems & Ocean Technology, 2021, 16(3-4): 1-30.
- [5] LI L. Full-coupled analysis of offshore floating wind turbine supported by very large floating structure with consideration of hydroelasticity[J]. Renewable Energy, 2022, 189 (Apr.): 790–799.
- [6] 肖昌水.海上浮式风机气动载荷及刚-柔耦合动力响应研究[D].天津:天津大学,2018.
- [7] SILVA L S P, CAZZOLATO B, SERGIIENKO N Y, et al. Nonlinear dynamics of a floating offshore wind turbine platform via statistical quadratization: mooring, wave and current interaction[J]. Ocean Engineering, 2021, 236(Sep.15): 109471.
- [8] 李莎航.系缆全生命期内极限破断和疲劳损伤特性及影响研究[D].大连:大连理工大学,2023.
- [9] 张轲. 浮式风机半潜式平台水动力及其运动响应分析[D]. 大连: 大连理工大学, 2021.
- [10] 刘利琴,肖昌水,郭颖.海上浮式水平轴风力机气动特性研究[J].太阳能学报, 2021, 42(1): 294-301.
- [11] JONKMAN J, BUTTERFIELD S, MUSIAL W, et al. Definition of a 5-mw reference wind turbine for offshore system development[R].
   Golden, CO: National Renewable Energy Laboratory, 2009.
- [12] ROBERTSON A, JONKMAN J, MASCIOLA M, et al. Definition of the semisubmersible floating system for phase II of OC4[R]. Golden, CO: National Renewable Energy Laboratory, 2014.

## Study on the Influence of Calculation Parameters Setting in Integrated Simulation of Offshore Floating Wind Turbine

#### LIN Zihe<sup>1</sup>, YI Cong<sup>2</sup>, LIU Liqin<sup>1</sup>, LI Hao<sup>1</sup>

(1. School of Civil Engineering, Tianjin University, Tianjin 300350, China; 2. Technology Research Department, China National Offshore Oil Corporation Research Institute Co., Ltd., Beijing 100028, China)

**Abstract:** With the large-scale development of offshore floating wind turbine, the integrated coupling analysis of floating wind turbine is becoming more and more important. The Simo-Riflex-Aerodyn simulation tool is used to establish an integrated coupled model of the OC4-Deepcwind floating wind turbine, and to analyze the effects of parameters such as time step, initial cut-off time and discrete number of elastic structural elements on the simulation results, including the floating foundation motion, mooring line force, blade force, etc. The results show that when the calculation time step is 0.005 s, 0.01 s and 0.02 s, the difference in the response results of the floating wind turbine is small, but the calculation consumption time has a large difference, with 0.01 s and 0.02 s consuming 70% and 37% of the computational time required for 0.005 s. Under the same working condition, the time required for different parameter responses to reach stability differs, with surge requiring the longest time, reaching stability at a maximum of 200 s; Under different working conditions, the time required for the same parameter to reach stability is different, and the time required for cut-out is the shortest, which is faster than that of the rated condition by about 60 s. The discrete number of structural element has smaller influence on the force of tower column, but relatively obvious influence on the deformation of blade. When the discrete number of blade decreases, the response value increases by 12%. In practice, reasonable calculation time step, initial cut-off time and discrete number of elastic structural elements are selected according to specific working conditions.

Key words: floating wind turbine; integral calculation; coupling analysis; parameter setting influence