

文章编号: 1005-0930(2016)01-0071-010 中图分类号: TU312.1; TU312.3 文献标识码: A  
doi: 10.16058/j.issn.1005-0930.2016.01.007

# 地震与波浪作用下近海风电结构 响应及倒塌模式

柳国环<sup>1,2</sup>, 练继建<sup>1,2</sup>, 于通顺<sup>3</sup>

(1.天津大学水利工程仿真与安全国家重点实验室,天津 300072; 2.天津大学建筑工程学院,天津 300072; 3.中国海洋大学工程学院,山东 青岛 266100)

**摘要:** 极端地震作用下近海风电结构反应的数值模拟涉及几方面问题: 塔筒-基础-地基-边界系统有限元模型建立的合理与便利性; 地震作用联合波浪力作用; 不同地震波对风电结构体系不同作用特点. 首先, 开发了塔筒-复合筒型基础-地基-透射边界的可视化智能建模程序 TJU.WPS(Wind Power Structure). 然后, 计算分析大震和波浪联合作用的风电结构动力响应, 研究结构体系的地震反应对波浪力和不同地震波的敏感性; 最后, 分析超大震作用下风电结构的倒塌破坏模式. 结果表明: (1) 开发的 TJU.WPS 程序界面友好方便、快捷、实用可靠; (2) 分析并解释了天津波、迁安波和 Taft 波 3 种典型地震动及与波浪力共同作用时风机结构振动的频谱特性, 强调了波浪力的不容忽视性; 与单独输入地震波相比, 波浪力能够显著改变结构动力响应功率谱中能量的分布; (3) 论述了 3 种典型地震动作用下风机结构的破坏模式相同点及其区别: 超大震作用下风机结构都将脱离地基向上运动, 最终回落到地基, 但是风机结构脱离地基所需的不同地震波的最小峰值及脱离时刻不同.

**关键词:** 近海风力发电结构; 地震; 复合筒型基础; 波浪力; 倒塌

海上风电结构体系处于复杂环境中, 承受的外界自然激励复杂多样. 国内外专家关于风电结构体系在风、浪、流、地震荷载作用下的动力响应已经做了不少研究<sup>[1-5]</sup>. 对风电结构体系, 地震作用会引起基础上的动水压力变化<sup>[6]</sup>, 尤其是地震作用下考虑次生灾害波浪力多激励作用下动力反应、破坏以及倒塌模式的研究少见文献, 甚至关于开展这项研究的意义和内容尚未引起足够的重视和关注.

风电塔筒质量分布均匀, 具有高、柔特性, 基础质量集中、体积大、刚度强. 这种典型的刚柔复合型结构体系有如下动力特性: (1) 塔筒振动体现低频特性, 对低频段激励敏感; (2) 基础的振动体现高频短周期特性, 对高频激励敏感. 地震卓越频率一般为 0.6~10Hz

收稿日期: 2014-07-28; 修订日期: 2015-05-04

基金项目: 国家国际科技合作专项资助(2012DFA70490); 国家创新研究群体科学基金资助项目(51021004)

作者简介: 柳国环(1980—), 男, 博士, 副教授. E-mail: carecivil@sina.com

通信作者: 于通顺(1986—), 男, 博士, 讲师. E-mail: tshyu707@ouc.edu.cn