

DOI: 10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2019.02.001

海上风电场设施技术规范综述

李红涛, 王宾, 唐广银

(中国船级社海洋工程技术中心, 天津 300457)

摘要: [目的]文章旨在推动我国海上风电场设施技术规范的建立健全。[方法]指出了我国海上风电场建设中存在的问题,总结了国内外海上风电场设施规范标准,介绍了中国船级社对海上风电场设施技术规范的探索及成效。[结果]尽管国内海上风电的发展迅猛,但配套的海上风电场设施技术规范并没有及时跟进,更没有形成从设计、建造、安装、运维直至弃置的全生命周期技术规范体系;尽管欧洲拥有较为成熟的海上风电规范体系,但并不能完全照搬使用,如结构设计的LRFD方法,其分项系数与海域的环境条件和可靠性指标相关,适用于欧洲海域的分项系数并不适用于中国海域。[结论]因此,国内海上风电场技术规范体系的建立,需要业界共同努力、多方协作。传统的海洋工程专业应在该领域发挥更大的作用。中国船级社多年在海上风电领域的研究和积累,可为构建国内海上风电场设施技术规范体系提供借鉴和参考。

关键词: 海上风电; 规范标准; 海洋工程; 浮式风机; 中国船级社

中图分类号: TK89; TM614

文献标志码: A

文章编号: 2095-8676(2019)02-0001-06

Summary of Technical Specifications for Offshore Wind Farm Facilities

LI Hongtao, WANG Bin, TANG Guangyin

(Offshore Engineering Technology Center, China Classification Society, Tianjin 300457, China)

Abstract: [Introduction] This paper aims to promote the establishment of a complete technical standards system for offshore wind farms. [Method] The problems existing in the construction of offshore wind farms in China were pointed out, the standards for offshore wind farm facilities at home and abroad were summarized, and the exploration and effectiveness of the technical specifications for offshore wind power facilities by China Classification Society (CCS) were introduced. [Result] Despite the rapid development of offshore wind power in China, the supporting technical specifications for offshore wind power facilities have not been followed up in time, and the whole life cycle technical specifications system, including design, construction, installation, operation and maintenance and abandonment, has not been established. Although Europe has a mature specifications system for offshore wind power facilities, it cannot be completely copied and used, such as the LRFD method of structural design which is related to the environmental conditions and reliability index of the sea area, and the partial factor applicable to the European sea area is not applicable to the Chinese sea area. [Conclusion] Therefore, the technical specification system for the domestic offshore wind power facilities requires the joint efforts and cooperation of the industry, traditional ocean engineering specialty should play a greater role in this field, and the research achievements by CCS in this field can provide some reference values for the establishment of the technical specification system.

Key words: offshore wind power; technical standards; ocean engineering; floating wind turbine; China Classification Society

欧洲作为海上风电的先驱力量,持续引领全球海上风电的发展及技术革新。截至2017年底,欧

洲各国累计海上风电装机容量为15.8 GW,累计投产海上风电场92个,累计投产海上风机4149台。2018年,欧洲的18个海上风电项目共有409台海上风机成功并网,使欧洲的海上风电装机容量增长2.65 GW^[1],比2017年下降了33%^[2]。目前,欧洲共有11个国家累计安装了105座海上风电场,

收稿日期: 2019-06-03 修回日期: 2019-06-05

基金项目: 工业和信息化部资助项目“海上浮式风电装备研制”(工信部装函[2018]473号)

总装机容量达到 18.5 GW, 约占欧洲风电总装机容量的 10%。从 2018 年到 2022 年, 预计欧洲的风力发电机的装机容量平均每年增加 17.4 GW, 陆上和海上风电将实现同步增长^[3]。

相比于美国陆上风电以及英国、德国和丹麦等国家, 美国海上风电起步较晚且发展极其缓慢。2015 年, 美国海上风电机组的平均单机容量仅有 3.4 MW。2016 年底, 美国成功安装了 5 台 6 MW 海上浮式风机, 总装机容量为 30 MW, 实现了美国海上风电场的零突破。预计到 2023 年, 美国将有 2 GW 海上风电项目投产运营。根据美国能源部计划, 预计在 2030 年美国海上风电装机容量将增至 10 GW。

日本的海上风电潜能为 1.6 TW, 其中 80% 位于水深超过 50 m 的深水地区^[4], 因此对浮式海上风电的开发格外重视。目前, 日本政府拟颁布新法律鼓励海上风电, 从而将大规模增加日本海上风电装机容量。根据日本通商产业省的能源规划, 日本海上风电产能将达到 10 GW。

近些年, 我国海上风电场项目逐渐从潮间带区域向近海水域迈进。2015 年, 随着中广核集团如东 150 MW 海上风电场项目的开工建设, 我国的近海风电场实现了零的突破。目前, 我国已建成的海上风电场的海上风机和升压站的下部结构均为固定式结构。

2018 年, 我国海上风电新增装机容量约为 1.6 GW, 位居全球第二。截至目前, 我国投入使用的海上风电已超过 3.6 GW, 已开工在建项目超过 6.5 GW, 已核准的海上风电达到了 27 GW。目前我国在建海上风电项目共计 23 个, 主要分布在江苏、福建、广东等沿海省份。预计到 2020 年底, 广东省将开工建设海上风电装机容量 12 GW 以上, 其中建成投产 2 GW 以上; 到 2030 年建成海上风电总装机容量约 30 GW。目前, 我国海上风电规划总量超过 80 GW。

本文从海上风电场标准体系尚不健全的角度指出了我国海上风电场建设中存在的问题, 对国内外海上风电场设施的技术标准进行了较为全面的总结分析, 并对中国船级社在海上风电场设施规范领域做出的探索与成效进行了较为细致的介绍, 旨在推动我国海上风电场设施规范体系进一步完善直至健全, 为我国海上风电产业的健康发展保驾护航。

1 国内海上风电场建设中存在的问题

尽管我国海上风电发展很快, 但在项目开发过程中逐步暴露出一些问题^[5], 典型问题如下:

1) 技术标准体系尚不健全。目前国家只在海上风电场建设前期的规划(预可研和可研)阶段出台了一些相关标准要求, 而在设计、陆地制造、海上施工、运营、弃置等阶段, 尚未形成系统的、全生命周期的技术要求。各单位只能依靠各自的理解, 套用电力行业、水工行业或建筑行业规范, 这无疑对海上风电场建设的安全质量造成潜在的风险。

2) 海上安全技术要求并不明晰。涉及到海上风电场设施安全的相关技术要求缺乏明确规定, 如逃救生、防火、消防、无线电、信号配备、防污染等, 均无权威规范可依, 也没有明确的主管机关监管要求, 对相关建设单位造成一定的困扰。

3) 建设采标尚不完善。欧洲海上风电场开发经验往往来自于传统的海洋工程, 如各类风机支撑结构、海上升压站结构以及浮式风机基础形式, 溯其根源, 都来自于传统的油气设施类型, 其海上风电场的规范标准技术要求也来自于传统海洋工程的相关做法。目前国内海上风电行业建设采标往往采用电力行业、水港或建筑行业标准, 部分也采用了海洋工程规范标准, 造成设计中采标多样, 分散多线, 这与遵循主线规范标准的建设理念相悖。从国外经验看, 传统海洋工程行业的规范和做法较为成熟, 较其他行业规范存在明显优势, 能够较好地指导海上风电场设施设计建造, 尤其是深远海的海上浮式风电设施, 更隶属于传统的海洋工程范畴。

4) 海上施工阶段缺乏统一的规范标准。例如, 缺乏海上吊装和打桩的施工技术标准依据, 导致现场施工过程中能否作业争论较大; 缺乏电缆埋设深度的具体技术要求, 当海上风电场的电缆埋设跨航道时, 如埋设深度不够, 容易遭到抛锚破坏, 等等。缺乏统一的技术标准, 使得海上施工设计缺少规范性和可操作性, 给海上施工带来诸多安全风险。

5) 海上风电场海事安全监管以及海事保险检验尚不清晰和明确。海上风电场设施涉及到的人命及财产安全、防污染等海事监管要求仍不明确, 如海上升压站的救生、消防验收该由谁来承担, 防污染该由谁来监管, 这些问题目前仍未得到解决。欧洲

海上风电成熟的海事保险检验对于保证设施质量和安全、保险商的切身利益发挥了重要的积极作用,但在国内目前仍未被业界所接受,推行起来举步维艰,还需要很长的路要走。

2 海上风电场设施规范标准

2.1 国外海上风电场设施规范标准

目前国外海上风电设施规范标准主要以国际电工委员会(IEC)颁布的系列风机规范以及船级社发布的相关规范标准。

1) IEC 61400 规范

IEC 61400 系列标准是海上风电工业中常用的标准,并且已成为世界各国进行风电设施设计的基础标准。欧洲各国的风力发电机组标准、检验规则围绕 IEC 61400 系列标准建立。

2) 国外船级社规范标准

以 DNV-GL 船级社为代表,借鉴海洋工程相关经验,结合欧洲海上风电场设施特点,发布了一系列关于海上风电场设施的相关规范标准。近几年,美国船级社(ABS)、日本船级社(NK)也相继颁布了关于海上浮式风机的相关规范。

3) 海上油气行业规范标准

传统的海上油气行业规范标准也能够为海上风电场设施提供一定的借鉴意义,如 ISO 系列标准、API 系列标准等。

2.2 国内海上风电场设施规范标准

目前,由于我国海上风电场技术规范标准体系尚未建立和健全,项目建设关于海上风电标准采标并不系统和全面,往往还附加水工、建筑和海工等行业规范标准。项目实施各个阶段我国已有的海上风电技术标准如表 1 所示。

1) 在规划阶段,我国已经具有一系列针对于海上风电场工程项目的编制规程。

2) 在设计阶段,除表 1 所示的几部规范标准外,我国暂无其他的统一标准。设计院在对海上风电场设施进行设计时,主要依据我国的水工、建筑、海工行业标准或国外相关标准,涉及到 LRFD/WSD 结构设计规范、结构荷载规范、抗震设计规范、结构钢规范、桩基设计规范和防腐技术规范等。目前,国标《海上风力发电场设计规范》处于征求意见状态暂未发布,该规范涵盖基础资料、风能资源电力系统、总体设计、风电机组选型、布置及

表 1 我国已有的海上风电场设施技术标准

Tab. 1 The present state of the technical standards for offshore wind power facilities in China

开发阶段	统一的技术标准
规划阶段	《近海风电场工程规划报告编制办法(试行)》(FD 005—2008)
	《风电场工程安全预评价报告编制规程》(NB/T 31028—2012)
	《海上风电场工程预可行性研究报告编制规程》(NB/T 31031—2012)
	《海上风电场工程可行性研究报告编制规程》(NB/T 31032—2012)
设计阶段	《海上风电场风能资源测量及海洋水文观测规范》(NB/T 31029—2012)
	《海上风电场工程施工组织设计技术规定》(NB/T 31033—2012)
	《风力发电机组设计要求》(GB/T 18451.1—2012)
	《风电场工程 110 kV ~ 220 kV 海上升压变电站设计规范》(NB/T 31115—2017)
陆地建造阶段	《海上风电场交流海底电缆选型敷设技术导则》(NB/T 31117—2017)
	《海上风电场钢结构防腐技术标准》(NB/T 31006—2011)
海上施工阶段	《海上风力发电工程施工规范》(GB/T 50571—2010)
运营及维护阶段	《海上风力发电机组运行及维护要求》(GB/T 37424—2019)
弃置阶段	暂无

发电量计算、电气、建筑与结构、给排水、供暖、通风和空气调节、辅助及附属设施、施工组织设计、消防、信息系统、环境保护与水土保持、劳动安全与工业卫生等方面内容。

3) 在陆地建造阶段,除《海上风力发电工程施工规范》(GB/T 50571—2010)、《海上风电场钢结构防腐技术标准》(NB/T 31006—2011)外,我国暂无其他的统一的技术标准,主要采标水工、建筑、海工行业标准或参照国外相关标准。

4) 在海上施工阶段,除《海上风力发电工程施工规范》(GB/T 50571—2010)外,目前还有 1 部能标《海上风电场工程施工安全技术规范》处于送审阶

段暂未发布。

5) 在运营阶段,一般前期的运营均由风机制造商完成风机的运营维护,企业参照厂家运维说明、国外标准或其它行业标准开展工作。近日,新颁布的国标《海上风力发电机组运行及维护要求》(GB/T 37424—2019)将于2019年12月1日起生效,填补了国内运维标准的空白。

6) 在弃置阶段,目前由于尚未涉及到风电场设施弃置的工程实例,所以我国暂无相关的规范标准。

综上,我国海上风电场建设除规划阶段具备较完善的技术要求,其他阶段相关技术要求尚不明确,均需进一步补充,有待建立完整的海上风电场技术规范体系。

3 中国船级社在海上风电场设施规范方面的探索及成效

中国船级社(China Classification Society,以下简称CCS)是国家船舶与海洋工程技术研究和检验机构,依据国家有关法规和国际公约、规则,为船舶及海上设施提供技术规范和标准,并进行法定检验、入级检验和认证认可等服务。CCS于2006年开始进入海上风电场设施及装备领域,开展规范标准研究与制定、装备入级与检验及相关认证和技术咨询工作。

对于海上风电施工装备,如自升式风电安装平台、浮式起重船等,CCS按照传统的海上设施进行入级检验,目前国内所有自升式风电安装平台已建、在建合计40多座,均入级CCS,拥有数量已经位居世界第一位。对于海上风电场设施,如海上升压站、海上风机支撑结构等,CCS积极开展相关技术探索和研究,充分借鉴和参考CCS在海洋工程领域近40多年的经验,结合海上风电场设施的具体特点,按照“全领域、全生命周期”的海洋工程理念,建立了较为完善的海上风电场设施技术规范体系,系统地提出了海上风电场设施涉及安全、环保等方面的技术要求。目前,CCS完成海上风电场设施规范标准5部、在编规范4部,同时受国家海事局委托,编制关于海上风电场在内的固定、浮动设施法定检验技术规则2部。具体规范体系如表2所示。同时,该规范体系随着国内海上风电的发展不断扩充和完善。

表2 CCS海上风电场设施技术规范体系

Tab. 2 CCS technical standards system for offshore wind power facilities

规范体系	海上风电场设施规范体系(涵盖风机支撑结构、海上升压站、测风塔、海底电缆、浮式风机基础等)
已经颁布	《海上风力发电机组规范》(2010) 《海上风电场设施检验指南》(2017) 《海上升压站指南》(2019) 《海上风力发电机组基础结构的设计和分析推荐做法》(2013) 《海上风电场设施消防验收指南》(2019)
计划生效	《海上风电场设施施工指南》 《浮式风机入级指南》 《海上风电场设施延寿和弃置指南》 《海上风电场设施营运失效分析及风险控制指南》

下面主要对《海上风电场设施检验指南》、《海上升压站指南》和《海上风电场设施施工指南》展开介绍,其他规范标准也是对海上风电场设施的具体类型或不同阶段提供相关的技术要求,在此不再一一赘述。

3.1 《海上风电场设施检验指南》

《海上风电场设施检验指南》(2017)主要结合海上风电场设施的具体特点,借鉴和参考传统海洋工程经验,对海上风力发电机组、海上风机支撑结构、海上测风塔以及升压站进行系统研究,提出了具体检验技术要求,可为第三方检验和相关方提供指导。

指南分别由4章正文、1个附录组成。第1章明确本指南的目的、适用范围、定义、检验与证书的要求。第2章对海上风力发电机组提出了具体的检验技术要求;第3章给出了海上风力发电机组下部支撑结构及测风塔的相关检验技术要求;第4章给出海上升压站检验的具体技术要求;附录1为海上风电场设施符合证书样例。具体内容详见指南^[6]。

该指南已经在国内几个新建的海上风电场设施检验项目中得到了应用。

3.2 《海上升压站指南》

《海上升压站平台指南》(2019)以CCS《海上风电场设施检验指南》为依据,充分借鉴和参考国内外海洋工程行业及CCS在海上设施领域的相关

经验,结合目前国内已建、在建以及正在进行检验的海上升压站工程项目,研究海上升压站功能需求和设计特点,梳理海上升压站相对于固定式海洋油气平台的异同点,编制形成《海上升压站平台指南》,并开展海上升压站载荷抗力系数法和抗力系数适用性研究,提出海上升压站 LRFD 设计载荷分项系数和载荷抗力系数,纳入指南具体技术条款。该指南可为海上升压站的第三方检验和相关方提供参考。

该指南由 11 章正文、2 个附录组成。第 1 章明确该指南的适用范围、定义、检验与证书的要求。第 2 章至第 12 章给出了总体布置、结构、电气一次、电气二次、机械和公用系统、消防安全、逃救生、通信与信号、防污染设备的技术要求。附录 1、2 分别为海上风电场设施符合证书样例和海上升压站平台图纸审查范围。具体内容详见指南^[7]。

该指南已经在江苏海域几个新建的海上升压站检验项目中得到了应用。

3.3 《海上风电场设施施工指南》

针对目前国内海上风电场施工过程相关规范标准的缺失问题,CCS 编制形成《海上风电场设施施工指南》(2019)。该指南主要参考国内外海洋工程施工过程的相关经验,结合国内海上风电场施工具体特点,对海上风电场设施施工的全过程提出了具体技术要求,可为第三方检验、海事保险检验以及相关方提供指导。

该指南共分为 8 章:第 1 章明确该指南的适用范围和依据、定义、检验与证书的要求;第 2 章给出了海上风电场设施施工规划与设计的相关要求;第 3 章提出了施工设计与施工过程的环境条件操作要求;第 4 章对各种码头装船形式给出了详细的技术要求;第 5 章针对各种海上运输形式和运输过程的船舶稳性、强度及设施本身提出相关技术要求;第 6 章对整个海上作业环节,包括吊装、沉桩、嵌岩、连接、筒型基础安装、辅助工装等提出详细要求;第 7 章主要给出了海缆敷设和海缆保护等过程的相关规定;第 8 章给出了人员健康与保护的相关内容。具体内容详见指南^[8]。

4 海上风电场设施规范发展趋势

随着国内海上风电主战场的南移,国内海上风电的发展进入了艰难期,尤其是广东、福建复杂的地质条件和恶劣的海洋环境,适用于江苏等海域的单桩、高桩承台等海上风机支撑结构型式很难广泛地应用于南海地区,尤其是嵌岩桩的施工成本及难度问题,迫切地需要对风机基础型式和施工工艺进行进一步探索和研究。同时,随着海上风机容量进一步加大,海上风电逐步向深水发展,传统的固定式风机基础不再适用,浮式风机必将得到广泛应用。

因此,对于国内海上风电场设施规范的发展,必将面向适用于南海海域的新型的风机支撑结构和施工工艺以及深远海的浮式风机基础,包括将来可能出现的浮式升压站等。这些新颖的海上风电场设施必将对国内海上风电场设施规范研究提出更高的挑战。同时,随着国内更多的海上风电场走向运维阶段,运维甚至弃置相关的规范标准亟需出台,这也是必须提上日程的重要工作。

CCS 紧跟海上风电场设施发展趋势,依托多年的海洋工程浮式设施经验,开展了海上浮式风电设施的研究工作,并开始了《海上浮式风机入级规范》的编制工作,拟从入级原则、设计条件与载荷、结构设计、稳性与分舱、定位系泊系统以及平台系统与设备等几个方面给出详细的技术要求,以期为国内海上风机下部结构设计、入级检验以及相关方提供技术指导。

5 结论

国内海上风电开发如火如荼,但相比较欧洲较为成熟的技术规范体系,我国关于海上风电设施的设计、建造、安装、运维以及弃置的规范标准尚欠缺很多,更没有形成体系,势必对国内海上风电产业的健康、持续发展产生影响。尤其是当海上风电进入深远海、浮式风机应运而生时,其载荷响应、运动表现、结构强度、稳性等要求更属于海洋工程范畴,传统的海洋工程学科应发挥更大作用。CCS 经过多年在海上风电领域的研究和积累,初步形成了较为完善的海上风电设施规范体系,愿与业界共

同努力,一起构建海上风电场设施技术规范体系,为国内海上风电健康、持续发展保驾护航。

参考文献:

- [1] Wind Europe. Offshore wind in Europe: key trends and statistics 2018 [R]. Brussel: Wind Europe, 2018.
- [2] Wind Europe. Wind energy in Europe in 2018: Trends and statistics [R]. Brussel: Wind Europe, 2018.
- [3] Wind Europe. Wind energy in Europe: Outlook to 2022 [R]. Brussel: Wind Europe, 2018.
- [4] 伍绍博,尹海卿,张开华,等.日本漂浮式风电技术现状及未来发展方向[J].中国港湾建设,2017,37(6):108-114.
WU S B, YIN H Q, ZHANG K H, et al. Status and future development direction of Japan floating wind turbine theology [J]. China Harbour Engineering, 2017, 37(6): 108-114.
- [5] 中国船级社.海上风电场设施法规研究报告[R].天津:中国船级社,2018.
China Classification Society. Research report of regulations for offshore wind power facilities [R]. Tianjin: China Classification Society, 2018.
- [6] 中国船级社.海上风电场设施检验指南[M].北京:人民交通出版社,2017.
China Classification Society. Guidelines for offshore wind power facilities inspection [R]. Beijing: China Communications Press, 2017.
- [7] 中国船级社.海上升压站平台指南[M].北京:人民交通出版社,2019.
China Classification Society. Guidelines for offshore substations [R]. Beijing: China Communications Press, 2019.
- [8] 中国船级社.海上风电场设施施工指南[M].北京:人民交通出版社,2019.
China Classification Society. Guidelines for offshore wind power facilities construction [R]. Beijing: China Communications Press, 2019.

作者简介:



LI H T

王宾

1988-,女,天津市人,中国船级社海工技术中心工程师,天津大学船舶与海洋工程系博士,主要从事海上风电下部浮体结构研究工作(e-mail) wangbin@ccs.org.cn。

唐广银

1982-,男,河北唐山人,中国船级社海工技术中心高级工程师,天津大学船舶与海洋工程系硕士,主要从事海上风电下部支撑结构研究工作(e-mail) tangguangyin@ccs.org.cn。

李红涛(通信作者)

1976-,男,河北黄骅人,中国船级社海工技术中心经理,教授级高级工程师,天津大学船舶与海洋工程系博士,主要从事船舶与海洋工程研究工作(e-mail) htli@ccs.org.cn。

项目简介:

项目名称 海上浮式风电装备研制(工信部装函[2018]473号)

参研单位 中国船舶重工集团海装风电股份有限公司

项目概述 为适应我国海上风电发展需要,通过开展海上浮式风电装备总体设计,系泊系统设计,制造与调试等技术研究,完成3MW以上海上浮式风电装备研制,适用水深不小于50m,海流不低于1m/s,能够抵御我国海域五十年一遇海况,实现海上浮式风电装备的工程示范应用。

主要创新点 (1)研究复杂海洋环境下风电机组-浮体-系泊系统气动弹性和水动载荷及其耦合动力性能分析技术;(2)研究海上浮式风电装备整体控制技术,保障平台与机组的安全运行;(3)提出风电机组-浮体-系泊系统全耦合运动的水池模型试验方法,研究浮式风电机组全耦合水池模型试验技术等。

(责任编辑 郑文棠)

