

关于海上风电场用海面积界定的探讨

惠秀娟

(中国能源建设集团广东省电力设计研究院有限公司, 广东 广州 510663)

摘要 风电是发电成本最接近常规能源的可再生能源之一。近二十年来, 全球风力发电增长迅猛。世界风电装机容量以年均 30% 以上的速度快速增长, 风电技术不断升级, 单机容量不断增加, 然而目前对于海上风电场用海面积的界定方法存在不足之处, 故本文以广东省内近海各风电场为例, 基于现存用海用地界定方法进行验证及优化补充, 采用投影面积最大化作为用海面积界定方法, 旨在为其他海上风电项目计算提供参考依据。

关键词 海上风电场; 用海面积; 界定方法

中图分类号: TM61

文献标志码: A

文章编号: 2097-3365(2024)11-0001-03

风能资源作为可持续发展能源之一, 其开发利用强度及经济性非常可观, 带来的社会效益也非常可观。同时, 随着技术发展, 风机容量(包括总装机容量及单机容量)的快速增加, 发电成本很大程度地减少, 风力发电市场开发前景一片大好。在此种情况下, 不仅陆地风电开发已形成很大规模, 而且海上风电发展也得到高度重视, 成为潜力巨大的风电发展新领域, 展现出广阔的发展前景。

1 风力发电的发展

随着时代的发展, 在可再生能源中, 风力发电成本最接近常规能源。基于传统风力发电模式, 随之带来的是, 风力发电发展快速增长, 全球风电容量快速增长。增长见图 1 所示。

以目前的情况来看, 全球风电发展经历了三个重

要阶段: 第一个阶段是从 2001 年开始的 9 年为全球风电发展的迅速增长期, 最新增加的风机容量超过 20%。此阶段以欧洲国家的海风为主, 海风技术相对欠缺。第二个阶段是从 2010 年开始的 4 年, 风电发展脚步放缓, 我国开始进行海域资源的开发, 逐步进入海风市场, 海风技术进一步完善。第三个阶段是从 2014 年开始, 迎来海上风电发展的高潮期, 全球风电发展稳步持续推进, 海风技术得到很大完善。至 2018 年全球风电新增装机容量 51.3 GW, 全球风电累计装机 591 GW。

随着风力发电场的发展, 为充分合理地利用海上风能资源, 国家海洋部门通过发布相关红头文件, 强调集约用海的必要性, 指出坚持集约节约用海, 严格控制用海面积的重要性, 本文基于现存项目情况对海上风电场用海面积界定方法进行研究^[1-2]。

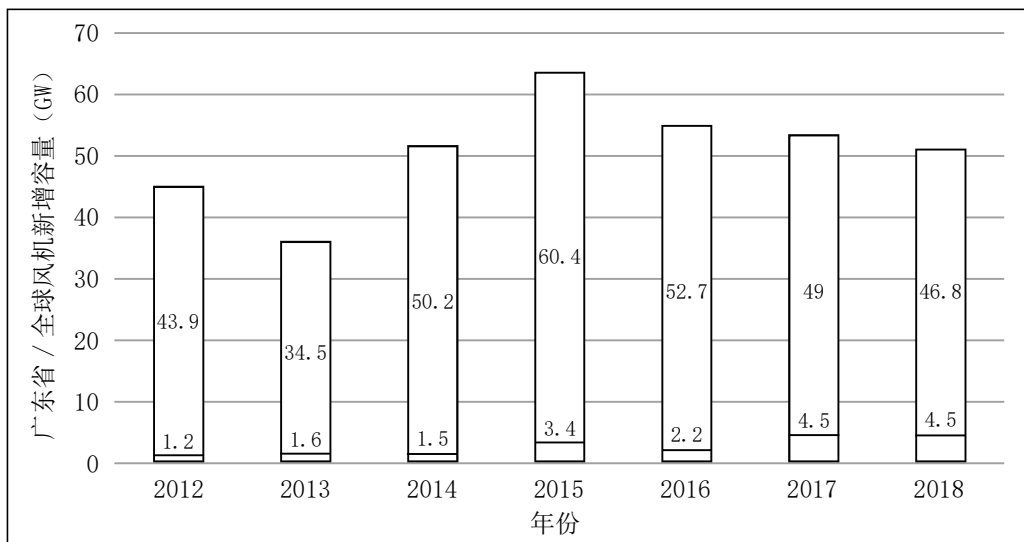


图 1 2012—2018 年全球风电新增装机容量变化情况

2 广东省内各海上风电场案例分析

2.1 用海面积计算方法

1. 风电场建设用海的政策与原则：为保证海洋资源的合理开发利用和相关产业活动的协调发展，根据《中华人民共和国海域使用管理法》，在中华人民共和国内水、领海持续使用特定海域三个月以上的排他性用海活动，建设单位在向政府海洋行政主管部门申请使用海域时必须出具海域使用论证材料^[3]。根据《海籍调查规范》，本工程为海上风电场，工程海域使用范围主要为风力发电机组基础用海、海上升压站基础用海、风电场内集电海底电缆用海和送出海底电缆用海等。以上用海均为永久用海。其中风力发电机按电力工业用海性质考虑，海底电缆用海按海底电缆管道用海性质考虑。

2. 其用海计算原则如下：（1）单个风力发电机组用海：以塔架中心为圆心，塔架中心点至塔架基础最外边点外扩 50 m 为半径的用海范围。风电场发电机组基础用海为每个风机所占海域面积的代数总和。（2）海底电缆包括两个部分：一部分是相连风机间的集电海缆；另外一部分为连接海上升压站至陆上集控中心段的送出海缆。计算原则为：以电缆管道外缘线向两侧外扩 10 m 距离为界。（3）海上升压站用海：以海上升压站设施外缘线外扩 50 m 距离为界。

2.2 案例分析

随着电力能源结构优化趋势，根据国家的政策及规划原则，结合海域的开发及利用现状，同时兼顾风电场远期发展预期，结合我省海上风电发展实际，对广东省内海上风电场址进行规划。本项目以广东省 300 ~ 600 MW 部分近海海上风电场为例进行分析。

1. 根据现有技术而言，基于目前项目的实际应用情况，近海区域的海上风电基础形式一般存在 3 种形式：单桩、多桩（三桩导管架及四桩导管架最主）及高桩承台基础。根据《海籍调查规范》^[4]，各种常见基础形式的海上风电机组的用海面积计算示意图如图 2 所示。

风机为获取风能，叶片会根据风的方向进行相应转动，风机叶片在一个水平面上的转动轨迹近似圆形，《海籍调查规范》中的海上风电机组用海面积的制定标准主要是为了覆盖叶片的圆形区域，起到保护风机叶片的作用。但现阶段在考虑风机用海面积时将上部平台及风机叶片与风机基础相剥离，未将风机上部平台、风机塔筒及风机叶片作为完整的透水构筑物来考虑^[5]。

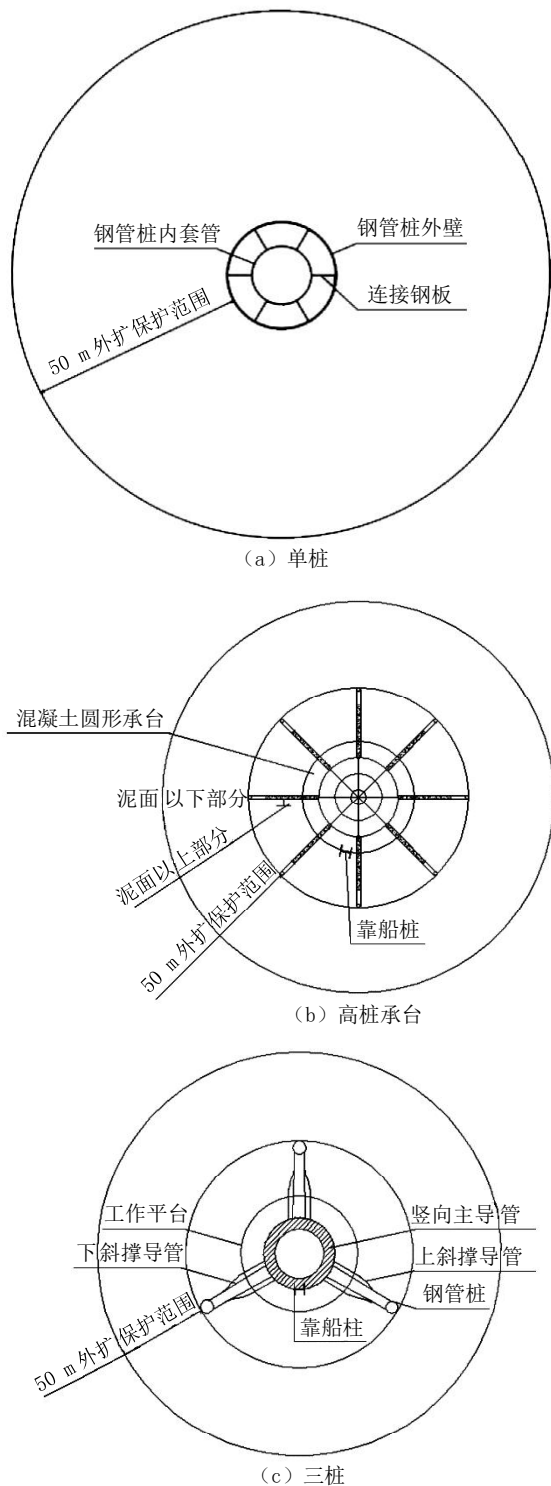


图 2 不同基础形式用海面积界定

风机基础外缘用海面积界定：根据图 1，桩外壁外扩 50 m 作为用海范围。风机上部平台用海面积界定：根据图 2，上部平台外切圆外扩 50 m 作为用海范围。

风机叶片水平投影面积界定：以风机叶片水平垂直圆形投影作为用海范围。计算结果见表 1 所示。本次研究建议将通过三者中投影最大者作为风机用海面积的界定标准^[6]。

2. 根据《海籍调查规范》，海缆面积仅考虑单根电缆情况。实际项目中同一工程两回平行送出海缆间存在安全施工距离，且造成其他项目无法使用的情况，造成实际用海。《海籍调查规范》对这一情况并无明确说明。单根外缘用海面积界定：以风电海缆外边线向左右两侧分别外扩 10 m 距离为界定。用海通道为 20 m+ 管径。两根平行送出海缆考虑安全间距造成实际用海界定：20 m+ 安全间距+2 倍管径。计算结果见表 2 所示。本次研究建议取上述数值大者作为用海面积的界定标准。

3. 海上升压站用海面积界定：包括下部根开外缘界定及上部平台投影界定两种可能。

下部根开外缘界定：以下部桩外轮廓外切圆外扩 50 m 作为用海面积。上部平台投影界定：以上部最大水平垂直投影外扩 50 m 作为用海面积。计算结果见表 3 所示。本次研究建议取上述数值大者作为用海面积的界定标准。以湛江某风电场为例，本项目风机采用明阳 5.5 MW 风机，采用单桩基础，风机桩径为 8 m，叶片直径为 158 m，上部平台外切圆直径为 17 m；采用两回 220 kV 海底电缆送出，海缆直径约 26 cm；升压站桩根开约 26×22 m，上部平台最大尺寸为 41×43 m。

根据上述的用海面积不同界定方法，风机、海缆及海上升压站面积统计如表 1、表 2、表 3 所示。

表 1 湛江某风电场单机风机用海面积

项目	基础外缘界定	上部平台外缘界定	叶片水平垂直投影
面积	0.91 hm ²	1.08 hm ²	1.96 hm ²

表 2 湛江某风电场 1 km 两回平行送出 220 kV 海缆用海面积

项目	单根海缆外缘界定	考虑安全间距造成实际用海界定
面积	4.05 hm ²	7.05 hm ²

表 3 湛江某风电场海上升压站用海面积

项目	下部根开外缘界定	上部投影界定
面积	1.54 hm ²	2.02 hm ²

综上所述，投影最大化方法与《海籍调查规范》用海界定方法存在较大差异，故建议在以后的工程设

计中综合考虑各种因素，确定适合各项目合理的用海界定方法。

2.3 存在问题及建议

1. 现阶段在考虑风机基础用海面积时仅考虑从风机基础外边缘界定，未将上部平台及风机叶片考虑在内，如果考虑风机投影最大化的面积计算原则，此种计算方法存在一定的缺陷。故在考虑风机用海面积时应综合考虑上部平台、叶片及风机基础，建议取水平垂直投影最大者作为用海面积界定。

2. 现工程海底电缆面积计算仅考虑单根海缆外边缘用地界定，未考虑两根及多根 220 kV 送出海底电缆同时平行敷设间造成的实际用海情况。故在考虑同一项目 220 kV 送出海底电缆面积计算时，应考虑两根海缆 50 m，施工安全距离造成的用海更切实、更为合理。

3. 现工程海上升压站面积计算以基础根开外轮廓界定居多，未进行上部平台与基础根开的综合考虑。故考虑此项时，建议取投影最大值作为用海面积界定。

3 结束语

随着时代与技术的发展，我国海域开发强度日益递增，海域的利用率越来越高，作为新型能源形式，风能将成为未来能源发展的一种重要形式。同时，随着城市的高速发展，电力缺口越来越大，风能的利用与开发对社会及电力行业的发展起着至关重要的作用。综上所述，本文结合《海籍调查规范》及已建工程实际情况，针对规范不完善之处，提出投影最大化原则用海界定方法，旨在为后期风电场宗海面积的计算等提供有效依据。

参考文献：

- [1] 杜剑强, 仲俊成, 李斌, 等. 中国海上风电发展现状及展望 [J]. 油气与新能源, 2023(03):1-7.
- [2] 徐佳楠, 张天瑞, 李玉龙. 基于自适应遗传-粒子群优化算法的风电场微观选址优化 [J]. 科学技术与工程, 2023(16): 6917-6922.
- [3] 刘小燕, 韩旭亮, 秦梦飞. 漂浮式风电技术现状及中国深远海风电开发前景展望 [J]. 中国海上油气, 2024(02): 233-242.
- [4] 李岩, 吴迪, 苗得胜, 等. 海上风电机组单桩基础设计研究进展 [J]. 风能, 2023(01):80-87.
- [5] 王晓理, 杨凤志, 张棚, 等. 复杂地形风电场微观选址优化算法研究 [J]. 风机技术, 2024(01):77-82,87.
- [6] 王晴勤, 许婷芳. 近海深水海上风电场的选址 [J]. 船舶工程, 2020(S1):94-96,604.