

引用格式: 李南阳, 阙利明, 申旭辉, 等. 海上风电标准体系研究趋势可视化分析[J]. 标准化学报, 2026(5): 85-92.
LI Nanyang, QUE Liming, SHEN Xuhui, et al. Visualization Analysis of Research Trends of Offshore Wind Power Standards System[J]. Journal of Standardization, 2026(5): 85-92.

海上风电标准体系研究趋势可视化分析

李南阳¹ 阙利明^{1*} 申旭辉² 颜克焯³

(1.浙江方圆检测集团股份有限公司; 2.中国华能集团清洁能源技术研究院有限公司; 3.苍南县市场监督管理局)

摘要: 【目的】深入探究我国海上风电领域标准化建设的现状及发展趋势。【方法】采用可视化分析法,对2001年至2025年间全国标准信息公共服务平台和能源标准化信息平台发布的153项国家标准和行业标准进行了全面梳理。通过CiteSpace软件,从标准体系分布、标准类型与发布趋势、归口机构、起草单位及核心起草人等多个维度进行了可视化分析。【结果】我国海上风电领域的标准化建设正处于快速增长期,但标准体系尚待完善,标准归口机构中NEA/TC 1占据主导地位,标准起草单位主要集中在经济发达的北京、长三角、珠三角等地区,标准起草人合作网络呈现出明显的“核心—边缘分化”特征。【结论】未来应着力实施5个“强化”策略,进一步提升我国海上风电产业的国际竞争水平,为实施海洋强国战略及实现“双碳”目标提供标准化支撑。

关键词: 海上风电; 标准; 可视化分析

DOI编码: 10.3969/j.issn.2097-857X.2026.05.010

Visualization Analysis of Research Trends of Offshore Wind Power Standards System

LI Nanyang¹ QUE Liming^{1*} SHEN Xuhui² YAN Keye³

(1. Zhejiang Fangyuan Test Group Co., Ltd.; 2. China Huaneng Group Clean Energy Technology Research Institute Co., Ltd.; 3. Market Supervision and Administration Bureau of Cangnan County)

Abstract: [Objective] The study aims to investigate the current status and trends in China's offshore wind power standardization. [Methods] This study employs visualization analysis to comprehensively review 153 national and industry standards published between 2001 and 2025 on China's National Standards Information Public Service Platform and Energy Standardization Information Platform. Using CiteSpace software, we conducted visualized analyses across multiple dimensions including standards system distribution, type and release trends, coordinating institutions, drafting entities, and key contributors. [Results] The findings indicate that while China's offshore wind power standardization is experiencing rapid growth, the standards system requires further refinement. The NEA/TC 1 remains dominant among coordinating institutions, with drafting entities concentrated in economically developed regions like Beijing, Yangtze River Delta, and Pearl River Delta. A "core-periphery differentiation" pattern emerges in the collaborative network of standard drafters. [Conclusion] Based on these insights, the study proposes five "enhancement" strategies to strengthen China's international

基金项目: 本文受浙江省市场监督管理局“2024年标准化战略重大辅助服务项目”(项目编号: ZZCG2024Y-GK-135)资助。

作者简介: 李南阳, 本科, 正高级工程师, 研究方向为智能技术标准化。

阙利明, 通信作者, 硕士, 高级经济师, 研究方向为质量技术基础。

competitiveness in offshore wind power, thereby providing standardization support for implementing the maritime power strategy and achieving the dual carbon goals.

Keywords: offshore wind power; standard; visualization analysis

0 引言

我国拥有长达1.8万km的大陆海岸线、6 500多个沿海岛屿和1.4万km的岛屿岸线,可利用海域面积300多万km²^[1],风能资源条件较好。自2007年我国首台海上风电机组成功投运以来^[2],海上风电装机容量已从2015年的101万kW大幅增长至2024年的4 127万kW^[3],约占全球海上风电装机总容量的一半,稳居全球首位。

标准在海上风电发展中具有关键性作用。2010年,国家能源局发布《风电标准体系框架》^[4],首次系统性梳理了风电领域标准体系,为国家标准与行业标准的制定奠定了理论基础。2022年,国家能源局颁布《能源碳达峰碳中和标准化提升行动计划》,明确提出实施“风电光伏标准体系完善行动”“抓紧补充完善一批标准,形成完善的风电光伏技术标准体系”^[5]。在海上风电标准体系建设方面,学界已开展系统性探索。王琳一等^[6]、李天宇等^[7]、孙建生等^[8]、卢启付等^[9]、杨传健等^[10]学者分别在漂浮式海上风电机组支撑结构、海上风电工程质量验收、海缆系统、检测认证及风机制造质量等细分领域开展研究。安再展等^[11]、谢珺等^[12]则基于海上风电整体体系视角进行研究,初步构建了海上风电标准体系框架。

可视化分析是一种以应用数学和统计学为基础,用于挖掘不同研究领域发展动态的方法,可帮助研究人员迅速掌握该领域的研究现状、趋势及热点^[13-15]。本文运用CiteSpace软件,从标准体系分布、标准类型与发布趋势、归口机构、起草单位及核心起草人等关键维度,对我国海上风电国家标准和行业标准现状进行可视化分析,以探寻海上风电现有标准的研究重点与不足,为提升我国海上风

电产业竞争力,支撑海洋强国建设和“双碳”目标的实现提供标准参考。

1 数据来源和研究方法

本研究通过全国标准信息公共服务平台及能源标准化信息平台,以“海上风电”“风电”“电力”为关键词进行检索,筛选条件限定为“现行”标准状态,时间截至2025年10月。经逐一审查标准适用范围,排除与海上风电领域无关的标准后,最终确立29项国家标准与124项行业标准作为研究对象。

为便于系统化分类研究,本研究依据国家能源局《风电标准体系框架》,构建了海上风电标准体系框架(图1)。该体系涵盖海上风电全生命周期过程,包括设计、制造、安装、运维、改造及拆除等环节,具体划分为八大子体系:基础通用、海上风电场规划设计、海上风电场施工安装、海上风电场运行维护、海上风电场并网管理、海上风电机械设备、海上风电电气设备、海上风能资源测量评价与气象保障。

按照CiteSpace软件的数据格式要求,本研究对153项标准的统计数据进行了清洗、转换、聚合、优化处理,并通过CiteSpace软件完成可视化输出。参数设置如下:时间切片单位为1年,节点间关系强度选择Cosine算法,分析范围限定在时间切片内部(Within Slices),节点筛选采用g-index指标,比例因子k设置为25。

2 结果分析

2.1 标准体系分布

根据海上风电标准体系框架对153项标准

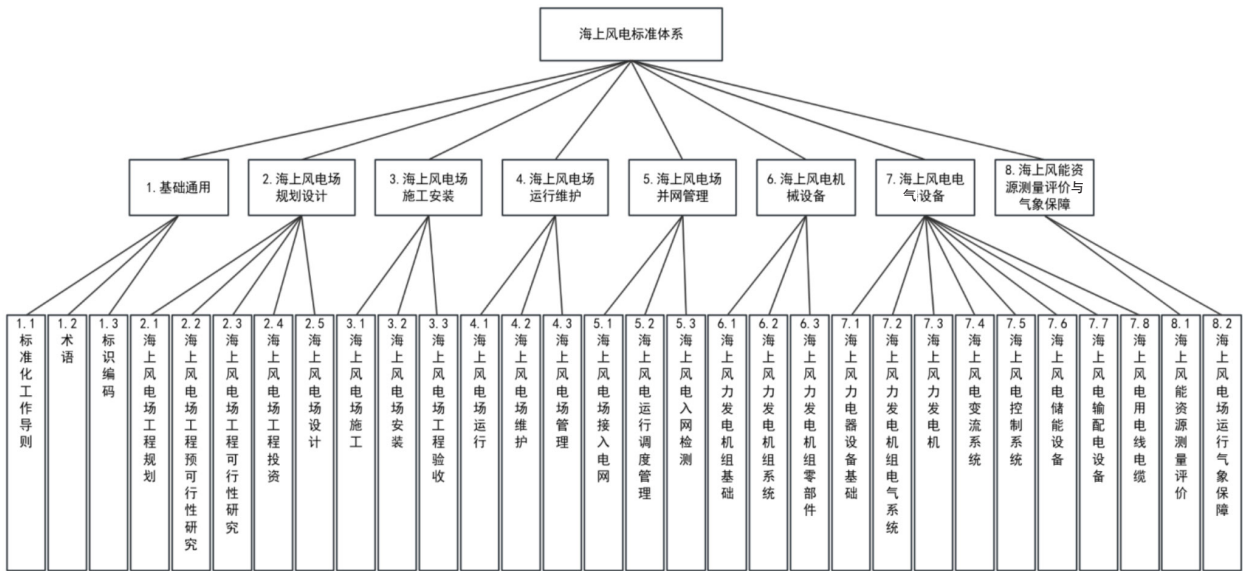


图1 海上风电标准体系框架

进行分类(表1)结果显示行业标准在标准体系中占据主导地位,电气设备(23.5%)与机械设(19.0%)标准合计占比达42.5%,反映出硬件制造环节在标准体系中的核心地位,这与我国作为制造业大国的产业特征相契合。运行维护标准占比(15.7%)显著高于施工安装标准(9.8%),表明行业对后期运维阶段的重视程度较高,但同时也凸显了深远海施工技术标准建设的滞后性。值得注意的是,基础通用、并网管理等关键支撑性标准占比均不足4%,风能资源测量评价与气象保障标准

占比亦仅为3.9%,这些关键领域的标准供给不足可能对深远海风电开发进程构成制约。

2.2 标准类型与发布趋势

我国海上风电领域标准制定始于2001年,总体呈现增长趋势。截至2024年底,主要经历了3个典型阶段(图2):基础探索期、缓慢建设期、快速增长期。

2001—2011年,我国海上风电标准研究步入基础探索期。2001年9月,由全国风力机械标准化技术委员会秘书处起草,全国风力机械标准化技

表1 海上风电标准数量统计

序号	标准子体系	国家标准数量/项	行业标准数量/项	合计/项	占比/%
1	基础通用	1	5	6	3.9
2	海上风电场规划设计	3	28	31	20.3
3	海上风电场施工安装	2	13	15	9.8
4	海上风电场运行维护	2	22	24	15.7
5	海上风电场并网管理	1	5	6	3.9
6	海上风电机械设备	8	21	29	19.0
7	海上风电电气设备	11	25	36	23.5
8	海上风能资源测量评价和气象保障	1	5	6	3.9

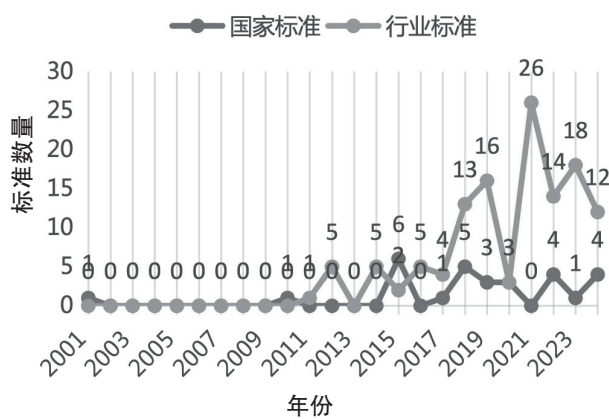


图2 海上风电标准发布趋势

术委员会和全国电工术语标准化技术委员会归口的国家标准GB/T 2900.53—2001《电工术语 风力发电机组》是国内最早制定的涉及海上风电领域的国家标准，其规定了风力发电机组常用的基本术语和定义^[16]；随后的8年间，海上风电相关标准的发布陷入了沉寂，直至2010年5月，由中国长江三峡集团公司牵头起草，中国电力企业联合会管理的国家标准GB/T 50571—2010《海上风力发电工程施工规范》^[17]正式发布；2011年8月，由南京水利科学研究院牵头起草，能源行业风电标准化技术委员会（NEA/TC 1）归口的第一项行业标准NB/T 31006—2011《海上风电场钢结构防腐蚀技术标准》^[18]正式发布，为海上风电标准化发展奠定了坚实的基础。2012—2017年，我国海上风电标准研究步入缓慢建设期。受“十二五”期间多重因素制约，我国海上风电发展相对缓慢，实现装机容量不足100万kW，年均标准发布数量也保持在个位数。2018—2024年，基于“十三五”时期更加成熟的技术储备、更加完善的产业链和更加透明的投资环境^[19-20]，我国海上风电标准研究迎来快速增长期。尤其是2021年，26项行业标准的发布标志着历史峰值的到来。

2.3 标准归口机构

我国海上风电领域标准由11家标准化技术委员会和相关部门归口管理，各自归口标准数量如图3所示。其中，能源行业风电标准化技术委员会（NEA/TC 1）占据主导地位，归口标准数量达116

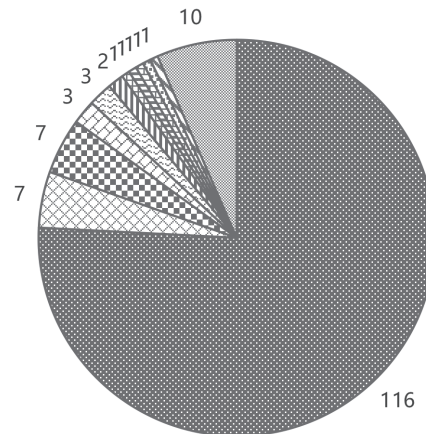


图3 海上风电标准机构归口标准数量统计

项，占标准总量的75.8%，表明其在行业标准制定中具有核心地位。该标委会成立于2011年，下设风电场规划设计（NEA/TC 1/SC 1）、风电场施工安装（NEA/TC 1/SC 2）、风电场运行维护（NEA/TC 1/SC 3）、风电并网管理（NEA/TC 1/SC 4）、风电机械类设备（NEA/TC 1/SC 5）、风电电气类设备（NEA/TC 1/SC 6）、风能资源监测评价和预报（NEA/TC 1/SC 7）7个分技术委员会，负责风电场规划设计、施工安装、运行维护、并网管理，以及风电机械设备、电气设备等专业标准化工作。全国风力发电标准化技术委员会与全国电线电缆标准化技术委员会（SAC/TC 213）归口标准占比均为4.6%。值得注意的是，以上3家机构累计归口标准占比达85.0%，帕累托效应显著。

2.4 标准起草单位

本研究采用CiteSpace软件对海上风电标准起草单位合作关系进行可视化分析，构建起草单

位合作网络图谱(图4)。图4中各节点代表起草单位,其节点尺寸与该单位参与起草的标准数量呈正相关。节点间连线表征合作关系,连线密度反映合作频次。

如图4所示,该合作网络共包含296个节点及1 425条边,网络密度为0.032 6,表明起草单位合作网络具有高度专业化特征,但整体合作连接相对稀疏。单位间的直接合作主要集中于网络核心区域,而跨技术领域的协作则较为薄弱,缺乏广泛互动与整合机制。权威单位占据网络核心位置,在技术协调中发挥关键作用,同时作为结构桥梁连接不同子群;部分边缘单位则高度依赖核心单位接入标准网络体系,致使资源分配失衡与协作效率受限。

在此基础上,依据标准起草数量统计分析,遴选出前22家高产单位。其中,中国电建集团华东勘测设计研究院有限公司起草标准数量最多,共计39项;中国电力科学研究院有限公司次之,共计30项;明阳智慧能源集团股份有限公司位列第三,共计29

项。企业主导率达81.6%,表明标准制定已形成以企业为主导,科研院所、高等院校及行业协会多元协同的模式。

从地域分布特征看(图5),北京市以20.13%的占比处于绝对领先地位,其起草数量约为第二名广东省的1.5倍,这得益于国家级能源管理机构与标准化技术组织的集聚效应,以及大型央企总部和顶尖科研院所高校的空间集中性。随后的广东、江苏、上海、浙江、山东、福建等沿海经济强省合计占比49.5%,这得益于绵长的海岸线资源、丰富的风能禀赋、雄厚的经济基础及活跃的产业链体系。而内陆及经济发展滞后区域因无海上风电应用场景与相关产业布局,参与程度显著较低。总体而言,海上风电标准起草单位呈现显著的空间集聚特征,高度集中于北京,以及长三角、珠三角等沿海经济发达区域,与区域经济发展水平呈正相关性。

2.5 核心标准起草人

采用CiteSpace软件对海上风电领域标准起草

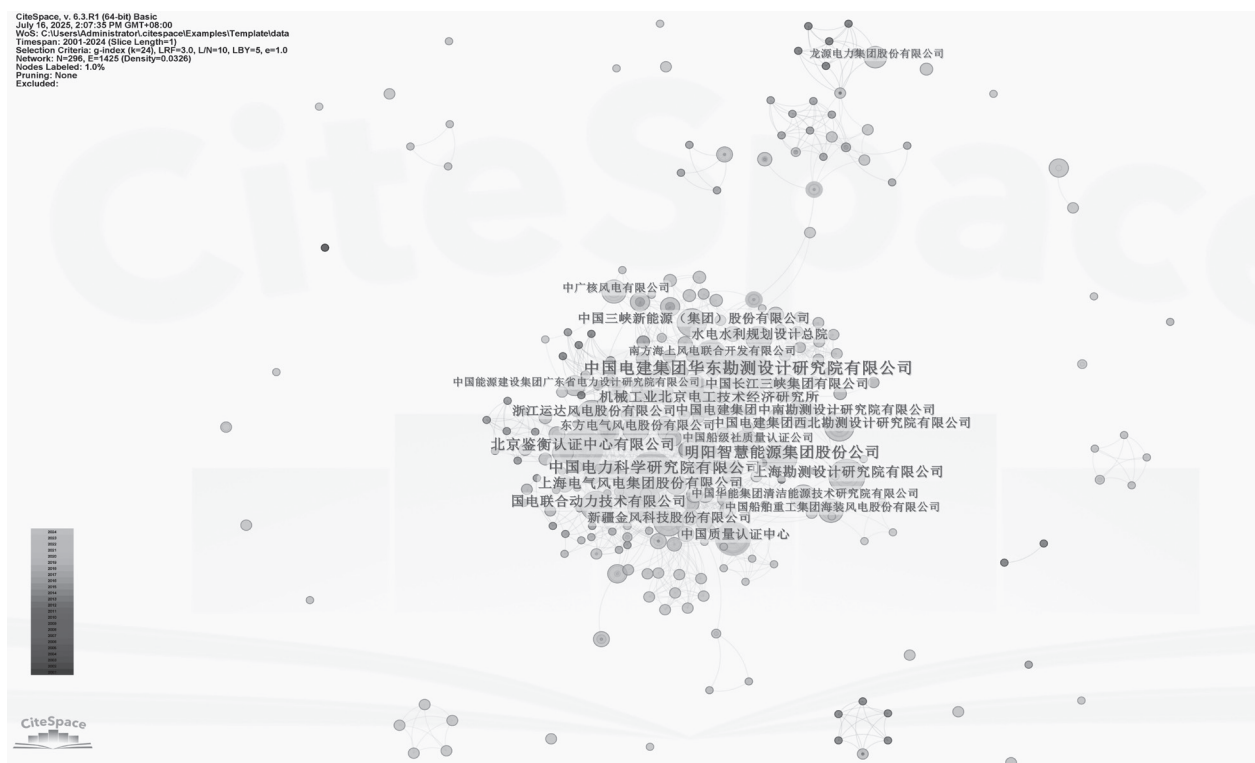


图4 起草单位合作网络图谱

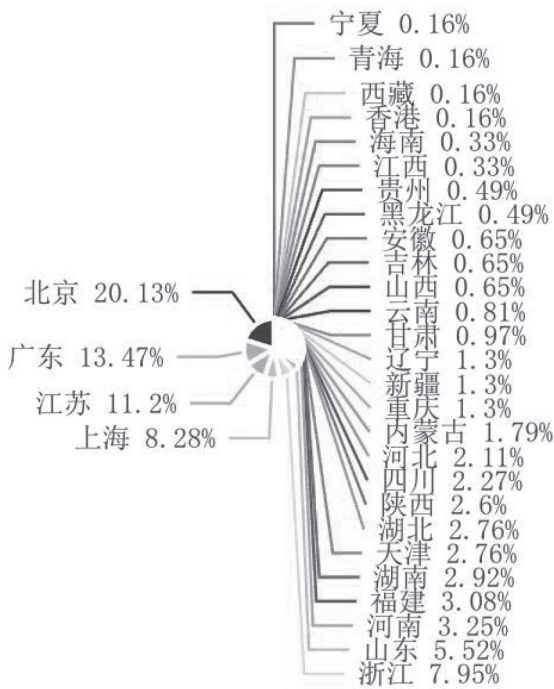


图5 海上风电标准起草单位地域分布

人的合作关系进行可视化分析, 绘制起草人合作网络图谱(图6)。在该图谱中, 节点代表起草人, 其尺寸与起草人参与起草的标准数量呈正相关。节点间的连线表征起草人间的合作关系, 连线密度反映合作频次。

如图6所示, 该网络包含289个节点和784条连线, 网络密度为0.018 8。这表明, 海上风电领域的标准起草人数量众多, 但实际存在合作关系的比例较低(不足2%), 呈现出显著的“集群化”特征。进一步分析识别出4个主要合作子网络。其中, 以果岩为核心节点的子网络影响力最大, 其成员间合作密切且标准产出量高; 林毅峰、赵生校和潘文林为核心节点的3个子网络紧随其后, 各自具备扎实的标准研究基础, 形成了稳定的合作单元。然而, 不同子网络之间的连接稀少且密度低, 跨团队合作明显不足, 呈现出“核心—边缘分化”的结构特征, 可能制约标准的协同创新。

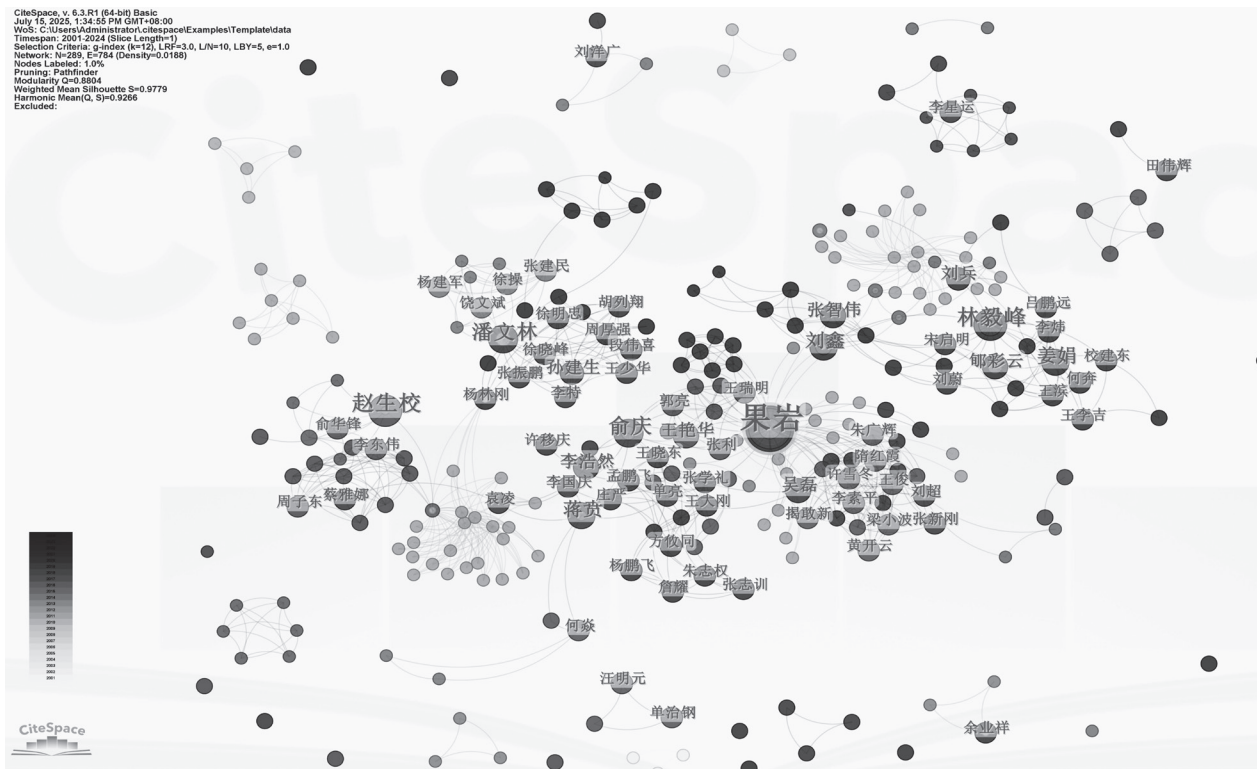


图6 起草人合作网络图谱

同时,根据普赖斯定律^[21],核心标准起草人计算公式为:

$$M=0.749 \times (N_{\max})^{0.5} \quad (1)$$

式中: M 为核心标准起草人应达到的最少标准数量; N_{\max} 为统计年限内最高产起草人的标准数量。

基于样本统计 N_{\max} 为19,计算得出 $M \approx 3.26$,即起草标准数量大于3项的为核心标准起草人。由此得出海上风电核心标准起草人共有15位(表2),占总起草人数的5.19%,构成了我国海上风电领域标准化的主要研究力量。除起草人果岩外,其他起草人的标准数量均未超过10项,这反映核心起草人标准产出能力有待加强。

表2 海上风电核心标准起草人统计

序号	标准起草人	标准数量	占比/%
1	果岩	19	12.42
2	林毅峰	7	4.58
3	赵生校	7	4.58
4	潘文林	6	3.92
5	俞庆	6	3.92
6	刘鑫	5	3.27
7	蒋贲	5	3.27
8	姜娟	5	3.27
9	吴磊	4	2.61
10	孙建生	4	2.61
11	李浩然	4	2.61
12	刘兵	4	2.61
13	张智伟	4	2.61
14	郇彩云	4	2.61
15	王艳华	4	2.61

3 结语

本研究构建了海上风电标准体系框架,通过可

视化分析发现:行业标准在标准体系中占据主导地位,基础通用、并网管理、风能资源测量评价与气象保障标准占比均不足4%,可能对深远海风电开发进程构成制约;标准建设经历了基础探索期、缓慢建设期、快速增长期3个典型阶段,与国家政策的支持力度、产业发展的现实需求密切相关;能源行业风电标准化技术委员会(NEA/TC 1)在标准归口机构中占据主导地位,归口标准数量占标准总量的75.8%,帕累托效应显著;标准起草单位合作网络密度为0.032 6,以企业为主导,科研院所、高等院校及行业协会多元协同,具有高度专业化特征,北京、广东、江苏、上海、浙江、山东、福建等沿海经济强省合计占比49.5%,与区域经济发展水平呈正相关性;标准起草人合作网络密度为0.018 8,合作关系的比例不足2%,呈现出“核心—边缘分化”的结构特征,核心标准起草人占总起草人数的5.19%,研究能力有待加强。

建议:一是加快制定覆盖海上风电设计、制造、安装、运维、改造、拆除等全生命周期的标准体系建设指南,强化标准体系顶层设计。二是面向深远海风电技术发展与市场需求,打造“技术+标准+应用”三维联动机制,强化标准协同创新。三是建设海上风电国家标准验证点,有效推进标准化试点和重点标准实施效果评估,强化标准实施监测^[22]。四是建设海上风电标准化实训基地,培育标准化复合型人才,强化标准化人才培养。五是推动中国专家深度参与国际标准化组织相关技术委员会工作,注册成为工作组专家,持续深化国内外标准互认,推动中国标准“走出去”,为全球海上风电产业的高质量、可持续发展贡献中国智慧。

参考文献

- [1] 蒋兴伟.我国海洋卫星系列的发展及其应用展望[J].中国航天,2001(9):13-17.
- [2] 赵世明,姜波,徐辉奋,等.中国近海海洋风能资源开发利用现状与前景分析[J].海洋技术,2010,29(4):117-121.
- [3] 陈鹏.“双碳”目标下风电产业跃迁与设计院战略转型探析[J].施工企业管理,2025(3):106-109.

- [4] 国家能源局. 国家能源局关于印发《风电标准建设工作规则》、《能源行业风电标准化技术委员会章程》和《风电标准体系框架》的通知[EB/OL]. (2010-05-31) [2025-07-12]. https://www.nea.gov.cn/2013-10/12/c_132792051.htm.
- [5] 国家能源局. 国家能源局关于印发《能源碳达峰碳中和标准化提升行动计划》的通知[EB/OL]. (2022-09-20) [2025-07-12]. https://www.nea.gov.cn/2022-10/09/c_1310668927.htm.
- [6] 王琳一, 范可, 杨欣, 等. 漂浮式海上风电机组支撑结构(国内外)标准体系分析及发展建议[J]. 能源工程, 2025, 45(1): 40-47.
- [7] 李天宇, 胡安, 陈晓义. 海上风电工程质量验收标准探讨[J]. 中国标准化, 2023(1):156-159.
- [8] 孙建生, 夏俊峰, 曹俊平等. 中国海上风电用海缆系统标准体系研究[J]. 船舶工程, 2021, 43(S1):121-123.
- [9] 卢启付, 余超耘, 王红星, 等. 中国海上风电检测与认证标准体系研究[J]. 广东电力, 2020, 33(3):1-6.
- [10] 杨传健, 张红霞. 海上风电风机制造质量标准化的研究和实践[J]. 设备监理, 2022(4):11-14.
- [11] 安再展, 刘荣丽, 胡灵芝, 等. 我国海上风电标准化建设现状与发展思考[J]. 科技成果管理与研究, 2024, 19(12): 51-57.
- [12] 谢珺, 张全成. 国内海上风电标准化与认证发展探讨[J]. 质量与标准化, 2012(10):41-44.
- [13] 杨玉飞, 卢永琦, 刘婷婷, 等. 基于CiteSpace可视化分析粉煤灰堆存对水环境影响研究进展[J]. 科学技术与工程, 2025, 25(13):5285-5296.
- [14] 李瑞瑞, 党佩佩, 李琛. 生物炭农田利用领域的研究热点与趋势: 基于文献计量学的可视化分析[J]. 科学技术与工程, 2021, 21(33):14440-14450.
- [15] 褚旭龙, 史冬梅, 刘进长. 近20年中国智能机器人领域研究热点: 基于CiteSpace的文献计量分析[J]. 科学技术与工程, 2023, 23(6):2477-2484.
- [16] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. 电工术语 风力发电机组: GB/T 2900.53—2001[S].
- [17] 海上风力发电工程施工规范: GB/T 50571—2010[S].
- [18] 海上风电场钢结构防腐蚀技术标准: NB/T 31006—2011[S].
- [19] 秦海岩. 我国海上风电发展回顾与展望[J]. 海洋经济, 2022, 12(2):50-58.
- [20] 饶伟, 曹柏寒, 李志川, 等. 我国海洋能源综合开发路径思考[J]. 海洋开发与管理, 2025, 42(1):15-22.
- [21] PRICE D J. Little science, big science and beyond [M]. New York: Columbia University Press, 1986.
- [22] 吴梦龙, 何凤东, 房佳瑶, 等. 海上风机叶片腐蚀数据规范化研究[J]. 标准科学, 2025(6):98-103.