

《开关磁阻圆筒直线发电机系统》

(工作组讨论稿)

编制说明

《开关磁阻圆筒直线发电机系统》起草组

二〇二六年三月二十二日

目 录

1. 编制背景.....	2
2. 编制的必要性、可行性	11
3. 国内外标准化情况	15
4. 工作简况.....	15
5. 标准主要技术内容及编制依据	19
6. 与现行相关标准的协调关系	23
7. 重大分歧意见的处理经过和依据	24
8. 标准实施建议.....	25
9. 其他应予说明的情况（涉及专利情况）	26

1. 编制背景

1.1 相关政策

近年来，国家持续加强对海洋能开发利用的政策引导，海浪能发电作为海洋能的重要组成部分，已逐步纳入国家可再生能源发展和海洋经济建设体系。2023 年，国家能源局印发《关于组织开展可再生能源发展试点示范的通知》，其中明确提出“探索推进波浪能发电示范工程建设，推动多种形式的波浪能发电装置应用”，并鼓励开展海岛可再生能源多能互补示范，探索海洋能在海岛多能互补电力系统中的推广应用。

2025 年，相关部门联合发布《关于推动海洋能规模化利用的指导意见》，进一步提出“稳步推进建设兆瓦级波浪能规模化试点工程”，支持波浪能与海上风电同场开发、共建共享配套基础设施，并强调加强装备研发、提升装备可靠性和可维护性、降低建造与运维成本；2024 年，六部门联合发布《关于推动海洋能规模化利用的指导意见》（以下简称《指导意见》），提出“聚焦海洋能规模化利用，培育打造海洋领域新质生产力，促进海洋能新技术、新模式发展，推动海洋能与各类海上生产活动融合发展，拓展海洋能应用场景，提高海洋能开发利用经济效益和社会效益，积极构建安全可靠的海上新型能源体系，为发展海洋经济建设海洋强国提供有力支撑。”，同时，《指导意见》在示范工程建设方面着重从各能种的规模化示范工程进行布局，一是实施百兆瓦级潮流能重点工程，在潮流能资源富集区域，支持将潮流能发电作为沿海地区及海岛绿色能源补充解决方案之一；二是推进波浪能规模化利用，在现有波浪能发电机组基础上，继续稳步推进建设兆瓦级波浪能规模化试点工程；三是支持温差能资源综合利用，在中国地质调查局 20 千瓦温差能发电机组工作基础上，继续支持在温差能资源富集区域开展工程建设；四是开展海岛多能互补应用，支持在海岛建设海洋能多能互补电站，实现向海岛及附近海域持续稳定供电，缓解海岛居民用电短缺，提升海岛能源安全保障能力。

1.2 国内外该产品市场情况

海浪发电装备总体仍处于由示范验证向预商业化过渡阶段，尚未形成类似风电、光伏那

样的大规模成熟市场。特别是就圆筒型海浪发电开关磁阻发电机系统这一细分产品而言，国外目前尚未形成统一产品体系和规模化商品化市场，相关研究和应用更多分布于波浪能发电装置、功率输出系统（PTO）、海上示范平台及小规模波浪能电站项目中，市场特征总体表现为技术路线多样、示范项目先行、商业化进程加快但整体规模仍较小。欧洲委员会《EU Blue Economy Report 2025》指出，当前海洋能仍属于具有发展潜力的新兴领域，欧洲在该领域保持领先地位，但大规模商业化尚未全面展开；与此同时，2014—2022 年间欧盟“Horizon 2020”框架下共有 70 个海洋能项目获得资助，其中波浪能项目获得资金约 8900 万欧元，2021 年以来“Horizon Europe”又继续支持了多项波浪能项目，反映出国外市场目前仍以政策驱动、研发投入和示范工程拉动为主。

欧洲是目前国外波浪能发电市场最活跃的地区，英国、葡萄牙、西班牙、爱尔兰等国家在波浪能试验场建设、设备海试和预商业化项目部署方面处于前列。Ocean Energy Europe 发布的《Ocean Energy Stats & Trends 2024》显示，欧洲海洋能产业在 2024 年继续向商业化迈进，多个全尺度波浪能装置完成部署，且已有 15 个获得公共资金支持的海洋能项目、总计约 165 MW 的项目管线计划在未来五年内投运。同一资料还指出，英国和西班牙继续作为重要测试验证区域，而葡萄牙和爱尔兰则集聚了较多待部署的重点项目。欧洲海洋能源中心（EMEC）披露，Marine Power Systems 已签署协议，将于 2025—2026 年在其 Billia Croo 波浪能测试场开展多兆瓦级波浪能阵列示范；Ocean Energy Europe 也指出，首批波浪能电站项目已在推进过程中，多个技术路线已具备向波浪能场级部署过渡的条件。与此同时，REN21 2025 年全球可再生能源状态报告显示，葡萄牙正在推进 2 MW WaveRoller 阵列项目，另有企业获得资金开发模块化波浪能功率输出系统，并有企业规划建设更大规模商业化项目。这些情况表明，国外波浪能市场虽然总体体量仍不大，但已经进入由技术示范向工程化落地加速过渡的阶段。

国外现阶段商业化推进的重点更多集中于整机波浪能装置、海试验证平台、阵列项目开发以及功率输出与并网系统，而非针对某一种单独发电机拓扑结构形成标准化、大批量商品

市场。也就是说，像本标准所涉及的圆筒型海浪发电开关磁阻发电机系统，其国外情况更接近“具有应用前景的细分技术装备”，目前主要对应的是技术储备和工程示范需求，而不是已经成熟定型的国际通用产品市场。

从国内发展情况看，我国海浪发电及相关海洋能装备总体尚处于由科研样机、海上试验向工程示范和规模化应用过渡的发展阶段，尚未形成大规模成熟商业市场，但政策支持力度持续增强，示范工程加快推进，产业化基础正在逐步形成。2025年，多部门联合发布《关于推动海洋能规模化利用的指导意见》，明确提出到2030年力争实现海洋能装机规模达到40万千瓦，并建成一批海岛多能互补电力系统和海洋能规模化示范工程，同时提出稳步推进兆瓦级波浪能规模化试点工程，完善技术、标准和市场环境。这表明国内海浪发电市场已从前期技术探索阶段进入政策引导下的规模化培育阶段。

从应用场景看，国内海浪发电市场目前主要集中在海岛能源保障、深远海装备供电、海洋牧场与养殖平台供能、海洋观测设备供电以及多能互补系统建设等领域。自然资源系统对《指导意见》的专家解读明确指出，波浪能已经在海岛能源保障、深水养殖、海上设备供电等多个领域开展示范应用，并提出鼓励波浪能与海上风电协同开发，拓展复合利用场景。这说明国内市场需求特征并不是面向普通电网的大规模独立电站，而是首先聚焦于离网、弱网、海上分布式和特种场景供电。

从工程化进展看，我国已形成一批具有代表性的波浪能示范装置和工程实践。2023年，我国首台兆瓦级漂浮式波浪能发电装置“南鲲号”在广东珠海投入试运行，标志着我国兆瓦级波浪能发电技术正式进入工程应用阶段；公开报道显示，该装置是全球首台兆瓦级漂浮式波浪能发电装置，日均发电量可达约1万千瓦时，体现出我国在波浪能工程化装备方面已具备较强研发和示范能力。这类项目虽然尚未意味着市场已全面成熟，但说明国内已经具备从样机验证走向工程示范的现实基础。

从产业基础看，国内波浪能开发已经从单纯科研论证逐步转向“技术攻关—海试验证—检测评价—示范应用”协同推进。国家海洋技术中心公开信息显示，其已取得海洋能领域检

检验检测机构资质，并持续开展海洋能发电装置现场测试与评价技术服务，这表明国内围绕波浪能装备的测试、评价和认证能力正在逐步建立。同时，官方解读材料指出，我国已先后布局实施一批潮流能、波浪能规模化示范工程，波浪能运行装机规模居全球前列，海洋能装备与国际先进水平基本同步，为产业化和标准化奠定了基础。

总体来看，国内该类产品市场目前仍属于成长型、培育型市场，其主要特点表现为：一是市场规模尚小，尚未形成批量化、标准化、系列化商品市场；二是应用需求真实存在，尤其在海岛、深远海和海洋工程装备供电方面具有较强现实牵引；三是政策、示范工程和检测认证体系正在逐步完善，市场发展环境持续改善；四是随着兆瓦级波浪能示范工程推进以及多能互补系统建设加快，相关装备将逐步由单台定制化研发向工程成套化和标准化方向发展。因此，围绕圆筒型海浪发电开关磁阻发电机系统制定团体标准，有助于规范产品设计、制造、试验、检验与应用评价要求，满足国内市场由科研示范向工程推广过渡阶段的标准化需求。

1.3 国内外该技术的研究现状

圆筒型海浪发电开关磁阻发电机系统属于波浪能发电装备与特种电机技术交叉融合形成的新型海洋能装备，其核心技术涉及波浪能俘获装置、机械传动/直驱结构、功率输出装置（PTO）、开关磁阻发电机本体设计、功率变换与控制、海洋环境适应性以及系统集成与测试评价等多个方面。总体来看，国内外相关研究均表明，波浪能发电技术已由早期原理验证逐步发展到样机海试、示范应用和预商业化阶段，而开关磁阻发电机凭借结构简单、可靠性高、容错能力强、适于低速大推力直驱等特点，已成为波浪能直驱发电技术的重要研究方向之一。REN21 2025 全球可再生能源状态报告指出，海洋能在 2024 年继续获得投资和政策支持，行业已由试验与示范部署逐步转向全尺度装置和商业化项目管线建设；与此同时，国家能源局和相关部门也已明确支持波浪能示范工程和规模化试点建设，说明该技术已具备进一步工程化和标准化的现实基础。

从国外研究现状看，波浪能发电技术的发展较早，欧洲尤其是英国、葡萄牙、西班牙、

爱尔兰等国家在波浪能装置设计、功率输出系统优化、海试验证平台建设和并网示范方面处于国际前列。欧盟《Blue Economy Report 2025》显示，海洋可再生能源仍是欧洲重点培育的新兴产业，多个全尺度装置和预商业化项目正在推进；EMEC 2025 年披露的信息表明，英国已开始布局 5 MW 级波浪能阵列项目，说明国外研究正在由单机原型向阵列化和工程化部署过渡。就技术路线而言，国外波浪能研究长期聚焦于点吸收式、振荡水柱式、越浪式等典型装置，并围绕液压式、气动式、机械式和电气式 PTO 展开系统优化。2025 年关于波浪能 PTO 的综述指出，当前研究重点已集中在提高能量捕获效率、降低峰值载荷、增强系统可靠性和改善并网适应性等方面。

在发电机本体方面，国外针对直驱波浪能线性发电机的研究较为系统，尤其以永磁直线发电机研究最多，但开关磁阻发电机也因无需永磁体、耐恶劣环境、适合低速大行程工况而受到关注。IET 2022/2023 年的综述指出，直驱式波浪能系统中，线性发电机由于可以省去中间机械传动环节，在提高系统可靠性和降低维护复杂度方面具有明显优势，但仍面临体积、力密度、控制复杂度和能量平滑输出等挑战。较早的研究如香港理工大学团队关于直线开关磁阻发电机用于波浪能转换的设计与仿真工作，已经验证了双边直线开关磁阻发电机用于波浪能直驱发电的可行性；后续研究则更多聚焦于电磁结构优化、推力波动抑制、控制策略改进和系统级匹配设计。总体而言，国外在该方向上已形成“波浪装置—PTO—线性发电机—后级电力电子”一体化研究框架，但针对特定圆筒型开关磁阻发电机系统的标准化成果仍较少。

从国内研究现状看，我国在波浪能利用领域起步虽晚于欧洲，但近年来发展较快，已形成从理论研究、仿真分析、样机研制、海试验证到示范应用的较完整技术链。国家能源局公开信息显示，截至 2024 年底，我国海洋能总装机规模已超过 1.2 万千瓦，2021 年以来新增海洋能示范电站装机占全球 30% 以上；相关官方表述同时指出，我国已经形成潮流能、波浪能、温差能等多种技术路线的系统性布局，并构建了从理论研究、数值模拟到海试验证的完整研发链条。2025 年自然资源部新闻发布会进一步提到，现有“舟山号”“长山号”“南鲲号”“华

清号”等示范装备已构成我国海洋能工程化推进的重要基础。

在具体技术研究方面，国内高校和科研机构已围绕波浪能直驱发电开展了较多工作，研究重点包括直线发电机拓扑设计、能量俘获控制、四象限运行控制、推力波动抑制、功率平滑以及海洋工况适应性设计等。公开论文显示，国内研究者已针对双边直线开关磁阻发电机用于波浪能发电开展设计分析和仿真研究，并在近年的研究中进一步关注波浪发电工况下的四象限推力分配与控制优化。2024 年《电工技术学报》相关研究明确指出，直线开关磁阻发电机因成本低、可靠性高而适用于直驱式波浪发电场景，并针对波浪发电优化控制需求提出了四象限推力分配策略。除此之外，国内专利和科研项目也反映出“波浪能+开关磁阻发电机”已从概念探索逐步走向装置实现和控制方法研究。

不过，从国内外整体研究现状来看，该技术仍存在一些共性问题。第一，波浪工况具有低频、大幅值、强随机性和长期腐蚀环境等特点，对发电机本体、电力电子接口及控制系统提出了更高要求；第二，开关磁阻发电机本身存在力/转矩脉动、输出波动和噪声振动等问题，在波浪能场景下更容易与机械系统耦合放大；第三，现有研究多数集中于原理验证、仿真分析或单台样机试验，针对圆筒型结构、系统级试验方法、性能评价指标、检验规则及长期运行可靠性的统一规范仍较缺乏；第四，国际上虽然已有大量波浪能装置和 PTO 研究，但尚未形成专门面向“圆筒型海浪发电开关磁阻发电机系统”的成熟标准体系。NREL 对波浪能 PTO 的综述同样指出，当前原型系统的平准化度电成本仍受结构成本高、峰值载荷控制不足以及 PTO 性能受限等因素影响，这也从侧面说明该类技术距离大规模工程应用仍需进一步解决标准化和可靠性问题。

国内外同类技术对比

序号 项目名称	同类技术	与本技术的主要区别
瑞典 Lysekil Project (乌普萨拉大学)	点吸收式波浪能装置 + 直驱永磁直线发电机。	本技术采用开关磁阻发电机而非永磁直线发电机，不依赖稀土永磁体，

		抗退磁、抗腐蚀能力更强，更适合海洋高湿、高盐雾环境；而 Lysekil 路线的优点在于永磁励磁效率较高、技术成熟度较高，但永磁材料成本、退磁风险和海洋环境适应性是其典型短板。
“南鲲”号兆瓦级漂浮式波浪能发电装置	半潜式波浪能平台+液压系统+发电系统，采用“波浪能—液压能—电能”的三级能量转换路线	“南鲲”号属于大型海上平台级波浪能发电系统，技术重点在平台吸波、液压储能与稳定输出；本技术则属于圆筒型开关磁阻发电机系统，核心在于发电机本体及其直接/近直驱发电能力，设备尺度更小、系统更紧凑，更适合面向单机装备、模块化应用和专门标准化定义。

主要应用单位应用情况

序号	应用单位名称	应用技术	应用起止时间	单位类型	效益
1	苏州工学院	圆筒型海浪发电开关磁	2023.06—至今	高校	支撑了系统结构优

		阻发电机系统电磁设计与性能评价技术			化、性能分析和试验研究，提高了相关科研与人才培养水平。
2	烟台仙崮机电有限公司	圆筒型海浪发电开关磁阻发电机系统样机设计与制造技术	2023.06—至今	企业	提升了产品设计与制造规范化水平，增强了样机研制能力，为后续工程化应用奠定了基础。

1.4 国内外该行业管理现状

从国际情况看，海浪能发电所属的海洋能行业目前总体仍处于**“政策支持+项目许可管理+国际标准持续完善+检测认证逐步建立”**的发展阶段，尚未形成类似风电、光伏那样成熟统一的大规模产业管理体系。国际标准化方面，海洋能领域已形成以 IEC TC 114 为核心的国际标准工作体系。美国能源部公开资料显示，IEC TC 114 自 2007 年成立以来，专门负责海洋能转换系统国际标准制定，已发布涵盖资源评估、功率性能、机械载荷、锚泊系统、声学特性等多个方面的技术规范；截至 2025 年初，相关公开资料显示，该技术委员会已有 200 余名专家参与并已发布 20 余项共识性技术文件，说明国外行业管理正在从“项目个案管理”逐步转向“标准化管理”。

在行业准入和项目实施层面，欧美国家目前主要采取海域许可、环境影响评价、并网审批和测试认证并行推进的管理方式。以英国和欧洲为代表，海浪能项目通常需要完成海域使用许可、环境影响评价、并网接入和海上测试许可等程序，行业管理更强调项目全生命周期的合规性。欧洲海洋能源中心（EMEC）长期为波浪能和潮流能装置提供测试场、合规咨询

和许可支持，其公开资料显示，EMEC 已建立面向海洋能装置测试的法定许可支持服务，并且是全球首个获得 ISO/IEC 17025 认可、同时被 IECRE 认可的海洋能测试实验室。这表明国外该行业已初步形成“标准—测试—认证—许可”相衔接的管理模式，但整体仍以示范项目和预商业化项目为主，行业监管体系尚在持续完善之中。

从国内情况看，我国海浪能发电及相关海洋能行业管理已由早期科研管理为主，逐步转向“规划引导、部门协同、标准支撑、示范推动”的管理格局。2025 年发布的《关于推动海洋能规模化利用的指导意见》明确提出，要加强海洋能资源调查评估、科学核算开发潜力、优化空间布局 and 用海保障、推进规模化试点工程，并完善技术、装备、标准和市场环境。这说明我国海洋能行业管理已经不再局限于科技项目支持，而是开始进入面向规模化利用的系统管理阶段。与此同时，国家能源局 2023 年《关于组织开展可再生能源发展试点示范的通知》已明确提出探索推进波浪能发电示范工程建设、推动多种形式波浪能发电装置应用，表明该行业已纳入国家能源示范工程管理体系。

在国内标准化管理方面，我国已初步建立覆盖海洋能开发利用和海洋能装备的标准化组织体系。一方面，全国海洋能转换设备标准化技术委员会（TC546）负责波浪能、潮流能及其他水流能转换设备领域的标准化工作，并明确对口国际 IEC/TC114；另一方面，全国海洋标准化技术委员会（TC283）及其 海域使用及海洋能开发利用分技术委员会（TC283/SC1）负责海洋能源开发、海域使用利用等国家标准制修订工作。这表明国内该行业已形成“装备标准化”和“资源开发/用海管理标准化”并行的管理框架。国家标准检索结果还显示，我国已发布 GB/T 37551-2019《海洋能 波浪能、潮流能和其他水流能转换装置术语》、GB/T 41340.2-2022《海洋能电站发电量计算技术规范 第 2 部分：波浪能》等标准，并持续推进新技术鉴定、锚泊系统评价等标准研制，说明行业管理正在逐步从原则性政策管理向技术规范管理深化。

在检测评价和合规支撑方面，国内相关能力也在逐步建立。国家海洋技术中心公开信息显示，其已取得海洋能领域检验检测机构资质，并持续开展海洋能发电装置现场测试、评价

和认证相关工作。这说明我国该行业的管理方式正在由“科研样机自行验证”为主，逐步转向“第三方测试评价+标准化检验”的规范化路径。与此同时，海洋能规模化利用政策还强调资源调查、空间规划、装备攻关、试点示范和标准体系建设协同推进，反映出当前国内行业管理已呈现多部门协同、全过程监管和工程示范先行的特点。

总体来看，国外该行业管理现状的主要特征是：以项目许可和环境合规管理为基础，以 IEC 国际标准和 IECRE 认证体系为支撑，以测试中心和示范场为重要实施平台；国内该行业管理现状的主要特征是：以国家规划和指导意见为引领，以自然资源、能源、标准化等多部门协同推进为基础，逐步建立资源调查、用海管理、装备标准、试验评价和示范应用相结合的行业管理体系。但无论国内还是国外，波浪能及其专用发电系统目前仍处于产业化培育阶段，针对具体装备产品，尤其是面向圆筒型海浪发电开关磁阻发电机系统的系统性技术标准和应用规范仍相对不足，因此有必要通过制定团体标准，进一步补充和细化行业管理的技术支撑依据。

2. 编制的必要性、可行性

目前，国内外海浪发电技术总体仍处于由科研样机向工程示范过渡的发展阶段，特别是针对圆筒型海浪发电开关磁阻发电机系统这一细分方向，尚缺乏专门、系统、统一的技术标准。现阶段行业主要存在以下几个方面的问题：

一是技术要求不统一。由于该类装备涉及波浪能俘获、机械传动或直驱能量转换、开关磁阻发电机本体、电力电子接口、控制系统以及海洋环境适应性等多个技术环节，不同研究单位和制造主体在结构形式、参数选取、材料配置、性能指标和评价口径等方面差异较大，缺少统一的产品定义和技术要求，容易导致设计依据不一致、产品质量参差不齐、成果之间难以横向比较。

二是试验方法和检验规则不完善。目前相关研究较多集中于仿真分析、原理样机或单项性能验证，针对系统级装备的型式试验、出厂检验、运行评价和可靠性测试方法尚不统一，特别是在波浪工况模拟、电性能测试、环境适应性试验、绝缘和防护能力评价等方面缺少明

确规范，导致产品研发、测试和验收缺乏统一依据，不利于技术成果转化和工程应用推广。

三是工程应用与标准支撑脱节。随着海浪能装备由实验室研究向示范应用推进，工程项目对设备安全性、可靠性、一致性和可维护性提出了更高要求，但目前针对圆筒型海浪发电开关磁阻发电机系统的标准供给不足，难以满足设计、制造、安装、调试、验收和运行维护全过程的规范化需求，也不利于形成行业共识和市场秩序。

四是标准体系衔接不够。现有相关标准多为海洋能领域通用术语、发电量计算、资源评估或旋转电机通用性能标准，针对本类产品的专属性、系统性和应用场景特征覆盖不足，尚不能完全解决圆筒型海浪发电开关磁阻发电机系统在产品分类、技术指标、试验方法、检验规则和运行评价方面的实际问题。因此，有必要结合该类产品结构特点和应用需求，制定具有针对性的团体标准，对其进行规范。

基于上述情况，制定本标准，有利于填补该类产品在标准化方面的空白，统一术语定义、技术要求、试验方法和检验规则，提升产品设计制造和工程应用的规范化水平，推动行业由分散化研发向规范化、标准化发展转变。

本标准拟重点围绕圆筒型海浪发电开关磁阻发电机系统在研发、制造、测试和应用中存在的共性问题开展规范，重点解决以下几个方面的问题：

一是解决产品定义和分类不清晰的问题。通过明确标准适用范围、术语定义和系统组成，统一对圆筒型海浪发电开关磁阻发电机系统的理解和表述，建立统一的标准对象边界，为后续设计、制造和检验提供基础依据。

二是解决技术要求不明确、不统一的问题。通过规定系统在结构、材料、电气性能、绝缘、防护、环境适应性、安全性和可靠性等方面的基本要求，明确产品应满足的关键技术指标，为产品研发、制造和质量控制提供可执行的技术依据。

三是解决试验方法不规范的问题。通过对空载试验、负载试验、输出性能测试、绝缘测试、防护测试和环境适应性试验等内容进行规范，形成统一的试验评价方法，提高不同产品、不同单位之间测试结果的可比性和一致性。

四是解决检验与验收依据不足的问题。通过明确出厂检验、型式检验、抽样规则、判定规则及标志、包装、运输和贮存要求，建立较完整的质量检验与交付评价体系，为产品进入示范工程和后续市场应用提供统一验收依据。

五是解决工程应用过程缺乏统一评价规则的问题。通过建立面向系统性能、运行稳定性和环境适应性的评价框架，促进该类装备从实验室样机向工程产品转化，提升装备的标准化、系列化和工程适用性。

本标准实施后，预计将在以下几个方面取得明显效果：

首先，可形成针对圆筒型海浪发电开关磁阻发电机系统较为系统的技术规范，统一行业对该类产品的术语定义、系统组成、技术要求和试验评价口径，增强产品研发、制造和应用过程中的一致性和规范性。

其次，可为科研单位、生产企业、检测机构和用户单位提供统一的设计、测试、检验和验收依据，提升产品质量控制水平和测试结果的可比性，降低因技术口径不一致造成的重复开发和沟通成本。

再次，可推动该产品由“样机化、定制化”向“规范化、成套化、工程化”方向发展，增强装备在海岛供电、海洋观测、海洋牧场及海上分布式能源系统中的推广应用能力，为后续行业标准、地方标准或更高层级标准的制定提供技术基础。

最后，可进一步促进海浪发电装备标准体系建设，增强我国在海洋能装备领域的技术积累和标准话语权，为海洋能产业发展提供基础支撑。

本标准的制定具有良好的技术可行性、产业可行性和组织实施可行性。

从技术基础看，国内外已围绕波浪能发电系统、直驱发电技术、开关磁阻发电机设计、控制与测试等方面开展了较多研究，相关技术路线、样机试验和工程示范工作不断推进，已具备一定的理论研究基础和工程应用基础。特别是在海浪能装置、功率输出系统、开关磁阻发电机拓扑结构、控制策略和环境适应性设计等方面，已有较为丰富的技术积累，可为本标准制定提供充分支撑。

从产品基础看，圆筒型海浪发电开关磁阻发电机系统已具备一定的研发和试验基础，相关单位在样机设计、性能测试、仿真分析和实验验证方面已形成阶段性成果，能够为标准条款中技术指标和试验方法的确定提供实践依据。

从标准基础看，目前国家和行业层面已发布一批与海洋能装备、旋转电机性能、防护等级、绝缘要求、环境试验等相关的基础标准和通用标准，可作为本标准编制的重要参考依据。本标准在此基础上，结合圆筒型海浪发电开关磁阻发电机系统的结构特点和应用需求，进行针对性细化和补充，具有较强的继承性和可操作性。

从组织实施条件看，相关科研院所、高校、企业和检测机构在该领域已具备一定的人才、技术和测试条件，能够支撑标准编制、征求意见、试验验证和推广实施等工作顺利开展。因此，本标准制定具有较强的现实可行性。

本标准的制定和实施，预计将产生较好的社会效益、经济效益和生态环境效益。

在社会效益方面，本标准有助于促进海洋能装备技术规范化和产业有序发展，提升海浪发电装备研发、制造和应用水平，增强海岛、海洋平台和偏远海域的能源保障能力，为海洋经济发展和海洋资源开发利用提供技术支撑。同时，标准实施将有助于推动相关科研成果工程转化，提升行业协同创新水平和标准化意识。

在经济效益方面，本标准可通过统一技术要求和试验评价方法，降低产品研发、制造、测试和验收过程中的沟通成本和重复投入，提高研发效率和质量控制水平，缩短产品工程化周期，增强产品市场认可度和应用推广能力。标准的实施还将有助于带动相关装备制造、测试服务、系统集成和示范应用等上下游产业发展，形成一定的产业带动效应。

在生态环境效益方面，海浪能属于清洁可再生能源，本标准有助于推动海浪能装备规范化发展和应用推广，促进海洋可再生能源开发利用，提高绿色能源供给能力，减少对柴油发电等传统化石能源的依赖，降低温室气体排放和海洋环境污染风险，对推动绿色低碳发展、服务“双碳”目标具有积极意义。

综上所述，本标准的制定既符合国家发展海洋能和推动绿色低碳转型的政策导向，也符

合行业技术进步和工程应用发展的现实需求，具有明显的必要性、较强的可行性以及良好的社会、经济和生态环境效益。

3. 国内外标准化情况

序号	规范文件	主要内容	与本文件的主要区别
1	IEC 62600 系列标准(海洋能转换系统)	<p>范围: 适用于波浪能、潮流能及其他水流能转换系统的资源评估、功率性能评价、设计要求、测试方法和部分环境影响评价。</p> <p>核心技术要素: 海洋能资源特性表征、发电装置功率性能测试、载荷与设计要求、锚泊系统、测试评价方法等。</p>	本系列标准属于海洋能转换系统通用标准体系，重点解决海洋能装置的资源评估、性能评价和系统级测试问题；而本文件针对的是圆筒型海浪发电开关磁阻发电机系统这一具体产品对象，重点规定其术语定义、技术要求、评价指标、试验方法和检验规则，产品针对性更强，内容更具体。
2	GB/T 41340.2-2022《海洋能电站发电量计算技术规范 第2部分：波浪能》	<p>范围: 适用于波浪能电站发电量的计算与技术评价。</p> <p>核心技术要素: 波浪能资源参数、发电量计算方法、能量转换评价、发电量估算技术要求。</p>	该标准主要面向波浪能电站层面的发电量计算与评价，属于系统运行和能量评估类标准；而本文件面向具体发电机系统产品本体，重点规范其结构、性能、试验和检验要求，两者标准对象和技术层级不同。

4. 工作简况

4.1 任务来源

江苏省能源研究会于 2023 年 11 月批准立项。

4.2 起草单位及分工

序号	起草单位	任务分工
1	中国矿业大学	负责标准编制工作的总体组织与协调，统筹制定编制

		计划，组织开展资料调研、标准框架设计、条文起草、意见汇总、会议组织和文本修改完善等工作；负责《编制说明》的撰写以及标准送审、报批材料的整理。
2	中国矿业大学深圳研究院	负责圆筒型海浪发电开关磁阻发电机系统的电磁结构设计、工作原理分析、关键性能指标研究和评价指标及计算方法的确定；重点参与术语和定义、评价指标及计算方法、技术要求中电机本体相关条款的起草与论证。
3	苏州工学院	负责海浪发电系统总体方案、海洋环境适应性、应用工况及工程场景需求分析；重点参与范围、技术要求中防水、密封、湿热、盐雾、可靠性等条款的研究和起草。
4	烟台仙巖机电有限公司	负责结合产品设计制造实践，提出结构设计、材料选用、加工工艺、装配要求和工程应用方面的意见建议；重点参与基本参数、机壳密封、防护性能、标志、包装、运输和贮存等条款的起草与修改。

4.3 主要起草人情况简介

序号	姓名	职称/职务	工作单位	研究方向
----	----	-------	------	------

1	陈昊	教授	中国矿业大学	电机设计、电力电子与电力传动
2	王星	副教授	烟台仙崮机电有限公司	能源管理
3	胡松	高级工程师	苏州工学院	电机工程应用
4	Marcin Wardach	教授	中国矿业大学	电机设计
5	Olimjon Toirov	教授	中国矿业大学	电力电子与电力传动
6	Sergei Brovanov	教授	中国矿业大学	电力电子与电力传动
7	Sherif Moussa	教授	中国矿业大学	电力电子与电力传动
8	Musolino Antonino	教授	中国矿业大学	电力电子与电力传动
9	Javokhir Toshov	教授	中国矿业大学	电力电子与电力传动
10	Fransisco Danang Wijaya	教授	中国矿业大学	电力电子与电力传动
11	Adam Torok	教授	中国矿业大学	电力电子与电力传动
12	Emmanuel Karapidakis	教授	中国矿业大学	电力电子与电力传动

4.4 主要工作过程

本标准立项后，起草组按照团体标准制定程序，首先对国内外海浪能发电、开关磁阻发电机及相关标准化情况进行了调研，分析了现有标准和技术文件在产品定义、技术要求、试验方法和检验规则等方面的不足，明确了本标准的定位和编制思路。随后，结合已有研究成果、样机研制经验和试验验证情况，完成了标准框架设计和条文起草工作，并围绕术语定义、技术要求、试验方法、检验规则等核心内容进行了多轮讨论和修改完善。在此基础上，起草组广泛征求了相关单位和专家意见，对反馈意见逐条研究并吸收采纳，进一步完善了标准文

本和编制说明，最终形成标准送审稿。

4.4.1 标准预研

2025年01月-2025年12月，编制组调研并系统分析了欧美等发达国家以及我国已发布的相关技术指南，并通过方法学研究手段，获得了大量实验数据，结合国内外相关研究成果及多个实际调查案例，首先，起草组对国内外海浪能发电技术、开关磁阻发电机技术及相关标准化发展情况进行了较为全面的调研，重点收集和分析了海洋能转换系统、波浪能发电装置、开关磁阻发电机、电机试验方法、防护与绝缘要求等方面的标准文献、科研资料和技术文件，系统梳理了现有标准体系、技术路线和工程应用现状，明确了本标准拟规范对象的技术边界和主要内容。其次，围绕圆筒型海浪发电开关磁阻发电机系统的结构组成、工作原理、运行特性和应用需求，起草组结合已有科研成果和样机研究基础，开展了相关技术分析和方案论证工作，对系统组成、关键部件、主要性能指标、环境适应性要求以及试验评价内容进行了初步研究，分析了该类系统在设计、制造、试验和检验过程中存在的共性问题，为标准条款设置提供了依据。同时，起草组结合前期仿真分析、样机设计、实验测试和应用研究成果，对圆筒型海浪发电开关磁阻发电机系统在输出性能、绝缘性能、防护性能、运行稳定性及适应海洋环境能力等方面进行了初步验证和总结，对相关技术指标的合理性、试验项目的可实施性以及检验规则的适用性进行了预研分析，为后续标准技术内容的提出和完善提供了实践支撑。在此基础上，起草组还对标准制定的必要性、可行性和适用范围进行了前期论证，分析认为，现有相关标准多集中于海洋能通用术语、资源评估、发电量计算或电机通用要求等方面，针对圆筒型海浪发电开关磁阻发电机系统这一具体产品对象，尚缺乏专门、系统、可操作的技术标准。因此，有必要结合该类产品的结构特点和应用需求，开展团体标准研制工作，对术语定义、技术要求、试验方法和检验规则等内容进行统一规范。

4.4.2 立项申请

2023年10月，向江苏省能源研究会正式提交立项申请。

4.4.3 标准立项审查会

2024年11月30日，江苏省能源研究会在南京组织召开了标准立项审查会，经专家质询和讨论，同意立项。

4.4.4 标准起草

2025年5月标准编制组针对专家意见进行了认真研讨和修改形成标准初稿。标准编制组针对专家意见进行了认真研讨和修改形成标准征求意见稿。

4.4.5 征求意见

2025年6月8日—2025年7月8日，江苏省能源研究会公开征求意见。

4.4.6 标准修改和送审稿形成

2025年8月，标准编制组根据征集的意见，对标准进行了认真修改，形成送审稿。

4.4.7 标准送审稿审查

2026年4月，江苏省能源研究会组织召开了标准送审稿审查会，经专家质询和讨论，专家组一致同意通过审查，建议起草组根据专家意见修改后提交报批稿，进入发布程序。

4.4.8 标准报批

2026年5月，起草组根据专家意见修改后向江苏省能源研究会提交报批稿。

4.4.9 标准发布

2026年5月30日，江苏省能源研究会于批准发布。

5. 标准主要技术内容及编制依据

本标准围绕圆筒型海浪发电开关磁阻发电机系统的设计、制造、试验、检验和验收需求进行编制。标准内容的确定，既参考了现行相关基础标准和通用标准，又结合了起草组前期在圆筒型海浪发电开关磁阻发电机系统方面开展的技术调研、结构设计、性能分析、样机研究和试验验证等工作基础。各部分主要内容及确定依据说明如下。

(1) 范围的确定依据

本标准第1章规定了圆筒型海浪发电开关磁阻发电机系统的术语和定义、评价指标及计算方法、技术要求、试验方法、检验规则以及标志、包装、运输、贮存和保用期，并明确适

用于该类系统的设计、制造、试验、检验和验收。

该部分内容的确定，主要依据起草组前期对产品对象边界和应用范围的研究结果。前期调研和样机研究表明，圆筒型海浪发电开关磁阻发电机系统并非单一普通电机产品，而是面向海浪能发电场景、具有电机本体、机械连接、密封防护、传感检测及运行控制等综合特征的系统性产品。因此，本标准将对象明确为“系统”，而非仅限于发电机本体；同时，将标准适用环节确定为设计、制造、试验、检验和验收，以满足产品工程应用全过程的规范化需求。

（2）规范性引用文件的确定依据

本标准第2章列入了旋转电机、电工术语、海洋能术语、外壳防护、环境试验、噪声测定、海洋能相关技术规范等规范性引用文件。

该部分内容的确定，主要依据起草组前期对现有标准体系的梳理结果。前期研究表明，目前国内外尚无直接针对圆筒型海浪发电开关磁阻发电机系统的专门标准，但在电机通用性能、绝缘与防护、环境适应性测试、海洋能装置术语和系统评价方面已有一定基础。因此，本标准采用“通用标准继承+专用内容补充”的编制思路，在规范性引用文件中选取与术语、技术要求和试验方法直接相关的标准作为基础依据，以保证本标准与现行标准体系相协调。

（3）术语和定义的确定依据

本标准第3章对圆筒型海浪发电开关磁阻发电机系统、开关磁阻发电机、圆筒型结构、定子、动子、额定电压、额定功率、持续功率、发电效率、潜没深度、自启动能力等术语进行了界定。

该部分内容的确定，一方面参考了电机通用术语和海洋能装置术语，另一方面结合起草组前期对本系统工作原理、结构形式和运行工况的研究进行了补充。前期工作表明，该类系统同时具有“海浪能装置”“往复运动发电系统”“圆筒型结构”“开关磁阻电机”多重技术属性，若不对系统对象、核心部件及主要运行参数进行统一界定，容易在技术要求、试验评价和检验判定中产生理解差异。因此，本标准对通用术语进行了继承，并对与本产品密切相关的系

统级术语进行了专门定义。

（4）评价指标及计算方法的确定依据

本标准第4章规定了平均出力、绕组铜损、出力铜损比、电磁力平滑系数和发电效率等评价指标及其计算方法。

该部分内容的确定，主要依据起草组前期在系统电磁设计、输出特性分析和性能评价方面的研究基础。前期研究表明，圆筒型海浪发电开关磁阻发电机系统与一般旋转发电机相比，具有低速、往复、输入波动明显和输出功率非稳态等特点，仅采用额定功率、额定电压等常规参数难以全面评价其性能。特别是在海浪作用下，系统输出存在周期性波动，电磁力变化对运行平稳性和结构可靠性影响较大，因此有必要引入平均出力、电磁力平滑系数等更符合本产品运行特征的指标。相关指标及公式设置，来源于起草组前期仿真分析、性能测试及评价方法研究结果。

（5）技术要求的确定依据

本标准第5章对系统基本参数、耐振动、防水、机壳密封性能、温升、耐电压、绝缘电阻、湿热、自启动、中性点工作制、噪声、位置传感器、电磁兼容性和可靠性等内容提出了要求。

其中，基本参数的设置主要依据起草组前期在系统方案设计、参数匹配和工程应用需求分析方面的工作基础确定。耐振动要求主要依据海浪发电系统运行环境和机械特性的研究结果确定。防水和机壳密封性能要求主要依据起草组前期对海洋环境适应性、潜没工况和壳体结构设计的研究成果提出。温升要求主要依据起草组前期对绕组损耗、热平衡和运行温升特性的分析结果确定。耐电压和绝缘电阻要求主要依据系统绝缘结构、电气安全和海洋环境下绝缘退化问题的研究结果提出。湿热要求主要依据高湿环境、凝露影响和防腐防潮设计研究成果确定。自启动能力要求主要依据系统启动特性和控制响应研究基础提出。中性点工作制要求主要依据系统接线方式、运行电路和控制接口研究结果提出。噪声要求主要依据电磁力

波动、机械振动及运行声学特性分析结果提出。位置传感器要求主要依据系统运行控制和位置检测研究基础提出。电磁兼容性要求主要依据功率变换单元、控制电路、传感器系统和外部干扰影响分析结果提出。可靠性要求主要依据产品寿命、结构疲劳、环境适应性和长期运行可靠性研究结果提出。

总体来看，第 5 章是本标准的核心部分，其内容设置直接体现了起草组前期研究基础和本产品海洋环境应用特征。

（6）试验方法的确定依据

本标准第 6 章规定了外观及基本参数检查、防水试验、机壳密封性能试验、温升试验、耐电压试验、绝缘电阻测定、湿热试验、自启动试验、中性点工作制检查、噪声试验、位置传感器试验、振动试验、电磁兼容性试验、可靠性试验、盐雾试验和发电效率试验等方法。

该部分内容的确定，主要依据起草组前期样机测试、性能验证和试验方案研究结果。前期工作表明，本产品的试验方法不能简单照搬普通旋转电机的检测流程，而应结合海浪能工况和海洋环境特点，在保留通用测试方法的基础上，增加防水、密封、湿热、盐雾、可靠性等方面的测试内容。因此，第 6 章采用“与第 5 章逐项对应”的编写方式，确保每一项技术要求均有相应的试验方法支撑，增强标准的可检验性和可实施性。

（7）检验规则的确定依据

本标准第 7 章规定了出厂检验和型式试验的适用情形、检验项目和判定原则。

该部分内容的确定，主要依据起草组前期在样机制造、出厂检测、性能验证和工程应用质量控制方面的经验积累。前期研究和产品开发实践表明，该类产品在交付前应对外观、绝缘、电气连接、基本功能等内容进行出厂检验；在产品定型、重大设计变更或恢复生产时，则应通过型式试验验证其综合性能和环境适应能力。因此，本标准根据产品质量控制和工程应用需要设置了出厂检验和型式试验两类检验规则。

（8）标志、包装、运输、贮存和保用期的确定依据

本标准第 8 章规定了标志、包装、运输、贮存和保用期要求。

该部分内容主要依据起草组前期对产品制造交付、现场安装和运行维护条件的分析结果确定。前期工作表明，圆筒型海浪发电开关磁阻发电机系统在运输、装卸和存放过程中，若标识不清、防护不当或环境控制不足，易造成密封损伤、腐蚀和性能下降。因此，本标准对铭牌标识、包装要求、运输防护和贮存条件作出规定，以提高产品交付和应用管理的规范性。

(9)附录 A

本标准附录 A 规定了电机型号编制方法。该部分内容的确定，主要依据起草组前期在产品系列化设计和型号管理方面的工作基础。考虑到本类产品涉及电机类型、结构尺寸、性能参数、信号反馈元件和冷却方式等多个识别要素，为便于产品分类、制造、订货、检验和应用，标准中设置了型号编制规则，以增强标准的完整性和工程适用性。

6. 与现行相关标准的协调关系

本标准在编制过程中，充分考虑了现行国家标准、国际标准及相关通用标准的适用范围和技术内容，注重与已有标准体系的衔接与协调，避免重复、交叉和矛盾，整体上与现行相关标准保持一致，并在此基础上结合圆筒型海浪发电开关磁阻发电机系统的产品特点进行补充和细化。我国全国海洋能转换设备标准化技术委员会（TC546）负责海洋能转换设备领域标准化工作，并对口 IEC/TC114，说明国内海洋能装备标准化体系本身就是按与国际标准接轨的方向推进的。

首先，本标准与现行海洋能领域基础标准和方法标准总体协调一致。现行 GB/T 37551-2019《海洋能 波浪能、潮流能和其他水流能转换装置术语》已对波浪能、潮流能及其他水流能转换装置相关术语进行了统一规范；GB/T 41340.2-2022《海洋能电站发电量计算技术规范 第 2 部分：波浪能》和 GB/T 41341.2-2022《海洋能电站选址技术规范 第 2 部分：波浪能》分别对波浪能电站发电量计算和选址评价作出了规定。上述标准主要面向海洋能开发利用的术语统一、资源评价和电站层面技术方法，而本标准面向的是圆筒型海浪发电开关磁阻发电机系统这一具体产品对象，重点规定其术语定义、技术要求、试验方法和检验规则。因此，本标准与现行海洋能基础标准之间是上下衔接、分工互补的关系，不存在内容冲

突。

其次，本标准与现行国际海洋能标准体系保持技术方向一致。国际上，海洋能标准化工作主要由 IEC/TC114 负责，已形成以 IEC 62600 系列为核心的标准体系，内容覆盖海洋能资源评估、功率性能评价、设计和测试等多个方面。该系列标准主要面向海洋能转换系统的通用层面和系统层面要求，而本标准则聚焦于圆筒型海浪发电开关磁阻发电机系统这一特定产品，属于对国际海洋能通用标准体系在具体装备层面的补充细化。因此，本标准与 IEC 62600 系列在标准对象层级上不同，但在技术原则和标准化方向上保持一致。

再次，本标准与现行电机、电气安全和环境试验类通用标准相协调。本标准在电气性能、绝缘、防护、耐压、温升、环境适应性、电磁兼容等方面，原则上引用或参照现行通用标准的成熟规定；对现有通用标准中已经明确的内容，本标准不再重复规定，而是根据圆筒型海浪发电开关磁阻发电机系统在海浪工况、海洋环境、低速往复运行和密封防护等方面的特殊要求进行补充。这种处理方式既保证了本标准与现行通用标准的一致性，又体现了本产品标准的针对性和可操作性。

总体上看，本标准与现行相关标准的关系可概括为：在术语和基础方法上与现行海洋能标准相衔接，在技术原则上与国际海洋能标准体系相一致，在具体产品要求上对通用标准进行补充和细化。现有标准尚未对圆筒型海浪发电开关磁阻发电机系统形成直接对应的专门规范，因此本标准的制定不会与现行标准产生冲突，而是对现有标准体系的有益补充，有助于完善海洋能装备，特别是波浪能发电专用装备的标准体系建设。

7. 重大分歧意见的处理经过和依据

本标准编制过程中，起草组围绕标准适用范围、技术要求、试验方法、检验规则及部分条文表述等内容进行了多轮讨论和征求意见。总体上，各有关单位和专家对标准制定的必要性、主要框架和核心技术内容认识较为一致，未出现重大分歧意见。对个别意见，起草组结合前期调研、技术研究、样机试验和工程应用需求，按照科学合理、协调统一、便于实施的原则进行了研究和处理，并对相关条款作了相应修改完善，最终形成一致意见。

8. 标准实施建议

（一）组织措施

建议由标准归口单位、牵头起草单位及相关参与单位共同做好本标准发布后的宣贯和实施工作，面向科研院所、高校、生产企业、检测机构和用户单位开展标准宣讲、技术交流和应用培训，提高相关单位对标准内容和实施要求的理解程度，增强标准执行的统一性和规范性。

建议结合海洋能装备研发、制造、测试和示范应用实际，推动本标准在科研项目、样机研制、产品检验、工程示范和成果评价等环节中的应用，逐步扩大标准适用范围。对具备条件的单位，可优先在相关样机试验、示范工程和产品开发过程中采用本标准，以验证标准条款的适用性和可操作性。

建议建立标准实施反馈机制，及时收集标准在执行过程中发现的问题和意见，跟踪本标准在产品的设计、制造、试验、检验和工程应用中的实施效果，为后续标准修订完善提供依据。

（二）技术措施

建议在本标准实施过程中，加强与现行海洋能通用标准、电机类通用标准和相关试验检测规范的衔接应用，形成较为完整的标准配套体系。对本标准中涉及的技术要求、试验方法和检验规则，应结合实际产品特点和应用场景，制定相应的企业技术文件、检验规程或操作细则，以提高标准实施的可操作性。

建议依托相关科研院所、高校、企业和检测机构的技术基础，逐步完善圆筒型海浪发电开关磁阻发电机系统的试验验证条件和检测评价能力，推动标准条款在样机试验、性能评价和质量检验中的落地实施。对标准中涉及的关键技术指标、环境适应性要求和可靠性评价内容，可在后续实施过程中进一步积累试验数据和应用经验，不断提升标准实施的科学性和支撑能力。

建议加强标准实施过程中的技术指导，针对标准应用中涉及的结构设计、性能测试、环境试验、检验判定等重点内容，适时编制相关宣贯资料或应用指南，帮助有关单位准确理解

和执行标准要求。

（三）过渡办法

考虑到圆筒型海浪发电开关磁阻发电机系统目前仍处于由科研样机向工程示范和应用推广过渡的发展阶段，相关产品技术路线、结构形式和试验条件尚在不断完善之中，建议本标准发布后设置合理的实施过渡期。过渡期内，鼓励相关单位优先参照执行本标准，在样机设计、性能测试、产品检验和工程应用中逐步采用本标准要求。

对于标准实施前已经开展研发、制造或试验验证的相关产品，可结合实际情况对照本标准进行补充完善和适应性调整；对新立项研发或新开展示范应用的项目，建议优先按照本标准组织设计、制造、测试和验收，以提高产品的一致性和规范性。

在标准实施初期，建议以推广应用和示范验证为主，对实施过程中出现的新情况、新问题及时总结分析。待标准实施一段时间并积累一定实践经验后，可根据技术发展水平、产业应用需求和反馈意见，适时开展标准复审和修订工作，不断提高标准的先进性、适用性和可实施性。

（四）其他建议

建议在本标准实施基础上，结合圆筒型海浪发电开关磁阻发电机系统后续技术发展和工程应用需求，逐步推进配套标准、试验规范和评价方法研究，形成更加完善的标准体系。对于成熟度较高、应用基础较好的条款内容，可视后续实施效果，进一步推动向行业标准或更高层级标准转化。

综上，为保证本标准顺利实施，建议通过加强组织宣贯、完善技术支撑、合理设置过渡安排和建立持续改进机制等措施，逐步推动本标准在圆筒型海浪发电开关磁阻发电机系统研发、制造、试验和应用中的实施落地，充分发挥标准对行业规范发展和技术进步的支撑作用。

9. 其他应予说明的情况（涉及专利情况）

无