

[光伏发电]

海上漂浮光伏系统设计研究

文/孙慧丽

国家电投集团资产管理有限公司

随着对可再生能源的需求不断增加，海上漂浮光伏系统作为一种利用海洋空间发电的可再生能源技术受到了广泛关注。海洋环境中存在复杂多变的气象和水文条件，这对海上漂浮光伏系统的设计提出了挑战。本研究旨在探索海上漂浮光伏系统的设计方法，以提高其性能和可靠性，并推动海洋可再生能源的发展。

随着全球能源需求的快速增长和对碳排放的日益关注，海上漂浮光伏系统作为一种可持续发展的能源解决方案备受关注。在海洋环境中，腐蚀、水动力学、风浪等因素对漂浮光伏系统的设计和运行产生重要影响。本研究旨在深入研究海上漂浮光伏系统的设计原理，以提高其适应海洋环境的能力，并为相关工程实践提供可靠的指导。

海上漂浮光伏系统的优势

1. 充分利用海洋资源

海洋资源非常丰富，而海上漂浮光伏系统可以在海洋上进行部署，能够有效利用这些资源。海上的平坦水面提供了广阔的空间，可以容纳大面积的光伏板，从而增加太阳能的收集效率。同时水面反射光也增加了太阳能的利用率。

2. 高能量密度

相比于陆地上的光伏系统，海上漂浮的光伏系统能够获得更高的能量密度。由于海上的平坦水面和较少的遮挡物，使得光照更加均匀稳定，进而提高了光伏系统的发电效率。

3. 自然冷却效果

海洋拥有较高的热容量和热导率，可以为海上漂浮光伏系统提供自然冷却效果。相对于陆地上的光伏系统，海上的气温波动较小，同时水体的冷却效应可以有效降低光伏组件的温度，提高系统的发

电效率和寿命。

海上漂浮光伏系统的设计

1. 选址和环境条件分析

详细分析目标海域的波浪、风速、潮汐等海洋环境条件，了解海域的气候特点和季节变化，以确定海上漂浮光伏系统的适应性。根据环境条件分析结果，选择合适的海域进行光伏系统的部署，考虑地理位置、水深、海流等因素。

2. 光伏模块的选用与布置

研究不同类型的光伏模块，如单晶硅、多晶硅、薄膜等，分析其效率、成本、耐腐蚀性等特点，评估适应海上环境的能力。根据环境分析结果和目标要求，选择符合海洋环境的光伏模块，考虑耐腐蚀能力、抗风能力、可靠性等因素。

3. 支撑结构设计

根据海域水深、波浪条件等因素，选择合适的浮力材料和结构形式，如浮筒、浮框结构等，并进行结构强度分析和便于维护的设计。通过对海洋环境下的波浪荷载、风力荷载和振动等进行分析，设计支撑结构以确保漂浮光伏系统在不同环境条件下的稳定性和耐久性。

4. 抗风、抗浪、抗冰等支撑结构设计

根据不同海域的水深、波浪条件等因素，选用合适的浮力材料和结构形式，如浮筒、浮框等，并

进行结构强度分析和便于维护的设计。为了满足抗风、抗浪、抗冰等要求，还需考虑材料的耐腐蚀性和抗紫外线能力。对海洋环境下可能发生的波浪荷载、风力荷载和振动等进行详细的分析，设计支撑结构以确保漂浮光伏系统在不同环境条件下的稳定性和耐久性。针对寒冷地区可能出现的冰雪覆盖情况，支撑结构需要具备抗冰能力，以避免冰的积聚对结构造成损害。

5. 锚固系统

根据海洋环境特征和工程要求，选择合适的锚具类型，如重锚、地锚、浮力球等。也可以考虑使用多个锚固点以提供更稳定的支持。针对海上漂浮光伏系统，通常采用下沉式潜锚来固定漂浮平台。潜锚下沉后负责承受锚固系统的拉力，并将其传递到海床上。潜锚与漂浮平台之间需要使用锚链或钢缆进行连接，传递水平力和垂直力。相对于链条，钢缆通常具有较高的拉力强度和较小的体积。浮标的设计要考虑光伏平台与锚固系统的连接，确保在不同海洋环境下锚具的稳定性。

海上漂浮光伏系统的可持续性和经济性

1. 洋流能与太阳能的协同利用

通过在海洋环境中布置适当的设备或结构，将洋流能转化为电能。洋流能具有稳定可预测的特点，可以提供连续不间断的能源供应。海上漂浮光伏系统利用太阳能将光能转化为电能。

2. 经济效益分析

海上漂浮光伏系统的投资和运营成本相对较高，但随着技术成熟度的提高和规模效应的产生，成本逐渐下降。与传统能源相比，太阳能的成本优势和长期的可持续性使得海上漂浮光伏系统在长期运营中具备较高的经济竞争力。海上漂浮光伏系统能够利用海上开阔的空间以及洋流能和太阳能的协同利用，提高发电效益。

3. 环境效益分析

海上漂浮光伏系统利用太阳能发电，无须燃烧化石燃料，减少了温室气体的排放，对抗气候变化具有积极影响。相比于陆地光伏系统，海上漂浮光伏系统对海洋生态影响较小。合理设计和布置可以减少对海洋生物和海洋生态环境的干扰和破坏。

案例分析

以中国澎湖海域的海上漂浮光伏示范项目为例，该项目于2021年在位于福建省莆田市澎湖县的海域展开，由中国电建集团、华能国际电力股份有限公司和台资企业联合开展。

该项目利用了漂浮式光伏组件，将光伏电池板安装在具有浮力的材料上，并固定在海面上，形成一个巨大的太阳能光伏发电场。这样的安装方式不仅节约了土地资源，还能充分利用海洋空间，为我国清洁能源的开发做出贡献。

案例分析展示了关于海上漂浮光伏系统设计的具体研究。

1. 选址和环境条件分析

选择位于东海的一个开阔海域，水深适中，没有明显的岩石或沉积物。

经过对该海域的调查，得到平均波高为1 m，且平均风速介于5~7 m/s之间的结果。

2. 光伏模块的选用与布置

经过比较不同类型的光伏模块，选择使用多晶硅光伏模块，因其具有较高的效率和稳定性，且能够适应海洋环境。

考虑海洋环境条件和波浪荷载，将光伏模块安装在可调节角度的浮动支架上，使其可以在波浪影响下保持稳定，并最大限度地捕获太阳能。

3. 支撑结构设计

浮筒材料选择：选择耐腐蚀性能优良的玻璃钢作为浮筒的材料，以确保其能够长期在海上环境中使用。

结构设计：通过计算波浪荷载和风力荷载，设计出稳定的浮筒结构，并在角部安装稳定器以增强结构的稳定性。

4. 锚固系统

锚点选择：在设计锚固系统时，需要对海洋环境特征进行充分调研和评估。根据水深、波浪和风力等因素，确定适合的锚点位置，以确保足够的稳定性。

锚具类型：根据海洋环境和锚固需求，常见的锚具类型包括重型迎浪锚（Drag Embedment Anchors, DEA）、铁锚、地锚和浮力球等。不同的锚具类型有各自的特点和适用范围。

（下转第79页）

考虑设计、施工、运行、管理和维护，需要根据项目特点选择合适的消防电气系统；根据使用功能选择合适的设备种类和末端点位；根据管理要求选择合适的子系统或分系统；根据维护要求选择合适的线路走向路由。在商业综合体消防系统调试、验收和使用移交阶段需要设计师积极参与，一方面协助排查和处理故障和缺陷，另一方面也收集详实的经验教训，以便补足漏洞，提高设计水平。EA

(收稿日期：2023-10-16)

参考文献

[1] 陈敏, 郭岱杰. 智能消防应急照明系统在民用建筑中的应用[J]. 灯与照明, 2022, 46(2): 22-25.

[2] 邱全春. 民用建筑智能消防应急照明系统的应用研究[J]. 光源与照明, 2022(4): 60-62.

[3] 季华路. 商业综合体供电系统设计探索[J]. 电气时代, 2023(5): 10-11.

[4] 王大晓, 浦培林, 刘彬, 等. 浅析智能照明系统在数据中心的应用[J]. 电气应用, 2021, 40(11): 26-31.

[5] 中国建筑东北设计研究院有限公司. 民用建筑电气设计标准: GB51348—2019[S]. 北京: 中国建筑工业出版社.

[6] 公安部沈阳消防研究所. 火灾自动报警系统设计规范: GB50116—2013[S]. 北京: 中国计划出版社.

[7] 中国建筑标准设计研究院有限公司. 建筑电气与智能化通用规范: GB55024—2021[S]. 北京: 中国建筑工业出版社.

[8] 公安部天津消防研究所. 建筑设计防火规范(2018年版): GB50016—2014[S]. 北京: 中国计划出版社.

[9] 应急管理部天津消防研究所. 《建筑防火通用规范: GB55037—2022[S]. 北京: 中国计划出版社.

[10] 应急管理部沈阳消防研究所. 消防应急照明和疏散指示系统技术标准: GB51307—2018[S]. 北京: 中国计划出版社.

[11] 合肥工业大学建筑设计研究院. 商店建筑电气设计规范: JGJ392—2016[S]. 北京: 中国建筑工业出版社.

(上接第75页)

锚链或钢缆：锚链或钢缆用于连接潜锚和漂浮平台，承受由海流、波浪和风力等引起的水平力和垂直力。根据设计要求和负载情况，选用合适强度和质量的锚链或钢缆。

锚固系统布置：根据项目需求、海底地形和水深等因素，设计合理的锚固系统布置方案。可以采用单点锚固、多点锚固或网格锚固等形式增加稳定性。

结束语

本研究对海上漂浮光伏系统的设计从多个方面进行了深入研究和探讨，为未来海洋可再生能源的发展提供了有价值的指导和参考。通过优化材料选择、改进防腐涂层技术、深入研究腐蚀机理、探索新的监测技术和集成智能化腐蚀管理系统等措施，海上漂浮光伏系统的性能和可靠性得到进一步提升。相信未来海上漂浮光伏系统将成为海洋领域可再生能源开发的重要组成部分，为能源结构转型做

出重要贡献。EA

(收稿日期：2023-08-29)

参考文献

[1] 陈继平, 李刚, 刘博, 等. 薄膜型海上漂浮式光伏技术现状及展望[J]. 南方能源建设, 2019, 10(2): 1-10.

[2] 鲁文鹤, 练继建, 董霄峰, 等. 波浪作用对海上漂浮式光伏光照辐射能的影响[J]. 水力发电学报, 2019, 42(5): 35-42.

[3] 黄翔. 海上光伏风生水起万华化学组团布局[N]. 证券时报, 2019-12-07(A06).

[4] 赵靓. 全球漂浮式海上风电市场现状概览与发展潜力展望[J]. 风能, 2019(5): 54-58.

[5] 吴润泽. 环境因素影响下漂浮光伏电站布设研究[D]. 邯郸: 河北工程大学, 2019.

[6] 武天雨, 王宁. 基于多变量灰色模型的光伏短期预测[J]. 电气应用, 2021, 40(6): 17-23.