

无线电能传输技术在可再生能源利用中的应用探索

罗睿杰

华电金沙江上游水电开发有限公司 四川成都 610000

【摘要】随着全球对清洁能源的需求日益增长，可再生能源的开发与利用成为能源领域的关键发展方向。太阳能、风能、水能等可再生能源虽具有绿色环保、可持续等优势，但在电能传输环节存在诸多问题，如传统有线传输方式面临线路铺设复杂、维护成本高、传输效率易受环境影响等困境。无线电能传输技术作为一种新兴的电能传输方式，为可再生能源利用提供了新的解决思路。基于此，本文针对无线电能传输技术在可再生能源利用中的应用展开深入分析，从技术原理、适配性、应用模式、面临挑战及应对策略等多个维度进行研究，旨在探索出无线电能传输技术与可再生能源高效融合的路径，提升可再生能源的利用效率，推动清洁能源产业的进一步发展。

【关键词】无线电能传输技术；可再生能源；电能传输效率；应用模式

1 引言

在全球能源转型的大背景下，可再生能源因其清洁、可持续的特性，成为缓解能源危机与环境问题的关键。太阳能、风能、水能等可再生能源蓬勃发展，然而传统有线电能传输存在布线繁琐、维护成本高、灵活性差等弊端，在一定程度上限制了可再生能源的高效利用。无线电能传输技术作为一种新型输电方式，突破了传统线缆束缚，为可再生能源的传输与利用开辟了新路径。研究无线电能传输技术在可再生能源利用中的应用，既能提升可再生能源的传输效率与灵活性，降低传输损耗，又能推动能源产业的智能化升级，具有重大的理论研究意义与现实应用价值，有望为构建绿色、高效、智能的能源体系提供有力支撑。

2 无线电能传输技术原理与关键要素

2.1 电磁感应式无线电能传输原理剖析

电磁感应式无线电能传输基于法拉第电磁感应定律。当交变电流通过发射线圈时，会产生交变磁场，处于该磁场中的接收线圈因磁通量变化而感应出电动势，进而实现电能从发射端到接收端的传输。这种方式原理相对简单，技术较为成熟，在低功率短距离应用场景中广泛使用，像手机无线充电就是常见例子^[1]。它的优势在于能量传输效率较高，在近距离下能达到较高水平，系统结构也不复杂，成本相对较低。但缺点也很明显，传输距离被严格限制，通

常在几厘米以内，且对发射和接收线圈的对准精度要求极高，一旦偏离最佳位置，传输效率会大幅下降。

2.2 磁共振式无线电能传输原理详解

磁共振式无线电能传输利用了共振耦合原理。发射端和接收端分别设置有固有频率相同的共振线圈，当发射端共振线圈在交变电流激励下产生磁共振时，周围会形成一个高强度的交变磁场。接收端共振线圈因频率相同而发生共振，从而高效地从发射端获取能量，实现电能传输。它的突出优势是传输距离比电磁感应式更远，能达到数米甚至更远，并且对线圈的对准精度要求相对较低，在一定范围内的位置偏差不会对传输效率造成过大影响。不过，磁共振式无线电能传输系统结构更为复杂，成本较高，同时传输效率在长距离传输时会受到一定程度的限制。（见图1）

2.3 影响无线电能传输效率的关键因素

影响无线电能传输效率的因素众多。首先是传输距离，无论是电磁感应式还是磁共振式，随着传输距离增加，磁场强度会减弱，传输效率降低。其次是线圈的品质因数，高品质因数的线圈能减少能量损耗，提高传输效率。再者，发射和接收线圈的对准程度至关重要，对准偏差会导致磁场耦合变弱，效率下降。此外，工作频率也有影响，不同的无线电能传输方式有其最佳工作频率范围，偏离该范围，传输效率会受影响。还有环境因素，如周围存在金

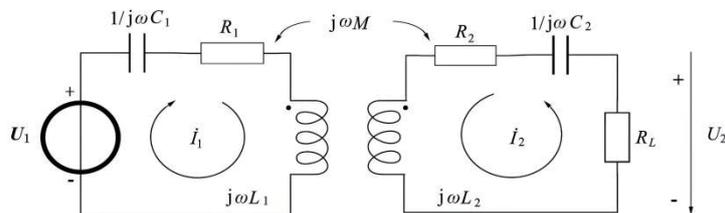


图1 磁共振式无线电能传输原理图

属物体等会干扰磁场分布，从而降低传输效率。

3 无线电能传输技术与可再生能源的适配性

3.1 太阳能发电系统与无线电能传输的融合优势

太阳能发电系统与无线电能传输融合具有多方面显著优势。从安装便捷性来看，传统太阳能发电需通过复杂的线缆连接组件与用电设备，而无线电能传输技术摆脱了线缆束缚，在一些特殊场景，如偏远山区、屋顶不规则的建筑等，可大幅简化安装流程，降低施工难度和成本。在灵活性上，太阳能电池板布局更自由，无需受线缆走向限制，能更好地利用空间，适应不同形状和大小的安装区域，还能方便地对电池板进行位置调整，以获取最佳光照条件^[2]。从维护角度，减少了线缆老化、破损等故障点，降低维护工作量和成本。此外，这种融合能提升系统安全性，避免因线缆外露引发的漏电、火灾等安全隐患，为太阳能发电系统的稳定运行提供保障，使其在分布式能源领域具有更大的应用潜力。

3.2 风能发电系统适配无线电能传输的可行性

风能发电系统适配无线电能传输具备较高可行性。在海上风电场，线缆铺设难度大、成本高，还容易受到海水腐蚀和恶劣天气影响，无线电能传输技术可避免这些问题，降低建设和维护成本，提高系统可靠性。在陆上风电场，对于一些分散布局的小型风力发电机，无线电能传输能简化布线，灵活整合电能，实现更高效的电力收集。同时，无线电能传输技术能让风力发电机的叶片、机舱等部件的供电摆脱线缆束缚，避免因机械转动导致线缆磨损，提高设备使用寿命。而且，随着无线电能传输技术的发展，其传输功率和效率不断提升，能满足不同规模风力发电机的电能传输需求，为风能发电系统的智能化、高效化发展创造条件。

3.3 其他可再生能源与无线电能传输的契合分析

其他可再生能源与无线电能传输也存在良好的契合点。对于水能发电，在小型水电设施中，无线电能传输可简化水下设备与岸上用电设施的连接，避免因线缆长期浸泡在水中带来的损坏风险，降低维护成本，同时提高设备布局的灵活性。地热能发电方面，在一些偏远的地热电站，无线电能传输能减少长距离线缆铺设成本，方便将地热产生的电能传输到附近用电区域。生物质能发电中，无线电能传输技术可以灵活应用于生物质发电设备与周边小型用电设备的连接，尤其是在一些生物质资源分散的农村地区，无需复杂布线就能实现电能的有效分配。此外，潮汐能发电由于工作环境特殊，设备受海水侵蚀和潮汐冲击影响大，无线电能传输可减少线缆维护，提高系统稳定性，为这些可再生能源的高效利用提供新的技术途径。

4 无线电能传输技术在可再生能源场景中的应用模式

4.1 分布式可再生能源发电中的无线电能收集

在分布式可再生能源发电场景下，无线电能收集技术优势显著。分布式能源发电设备通常分散在不同区域，如城市屋顶的太阳能板、小型风力发电机等。传统有线收集方式需大量布线，成本高昂且施工难度大。无线电能收集技术通过发射端将电能以电磁形式发射，接收端可灵活布置在各发电设备处，实现电能高效收集^[3]。例如在工业园区，屋顶分布式太阳能板可利用无线电能收集装置，将产生的电能汇聚后传输至集中存储或使用区域，避免了复杂的线缆铺设，降低了建设成本和维护难度。而且，无线电能收集不受地理环境和设备位置限制，可随时根据发电设备布局调整接收端位置，提高了能源收集的灵活性和适应性，为分布式可再生能源发电的广泛应用提供有力支持。

4.2 离网型可再生能源供电系统的无线电能传输

离网型可再生能源供电系统常应用于偏远地区、野外作业站点等，对供电稳定性和独立性要求高。无线电能传输技术能有效解决此类系统中电能传输问题。以偏远山区的气象监测站为例，采用太阳能离网供电系统，通过无线电能传输可将太阳能板产生的电能高效传输至监测站内设备，无需繁琐的线缆连接，避免了因线缆损坏或恶劣天气导致的供电中断。在野外勘探营地，风能离网供电系统利用无线电能传输，能方便地为各种勘探设备供电，灵活调整供电布局。这种方式不仅增强了离网型可再生能源供电系统的稳定性和可靠性，还减少了设备间物理连接，降低了故障风险，提高了系统整体运行效率，满足了特殊环境下对能源稳定供应的需求。

4.3 智能微电网中无线电能传输的应用架构

在智能微电网中，无线电能传输构建起独特而高效的应用架构。智能微电网包含多种分布式能源、储能设备和负载，需实现能源的灵活分配与管理。无线电能传输作为关键技术，可在不同组件间实现电能灵活传输。在一个包含太阳能、风能、储能电池的智能微电网社区中，无线电能传输可将分布式能源产生的电能按需传输至储能设备存储，或直接供给用户负载^[4]。通过智能控制中心，根据能源供需实时调整无线电能传输的功率、方向等参数，实现能源优化配置。例如，在用电低谷时，将多余电能无线传输至储能设备；用电高峰时，快速从储能设备无线取电供给负载。这种架构增强了智能微电网的灵活性和响应速度，提升了能源利用效率，促进了分布式能源在微电网中的高效整合与协同运行。

5 无线电能传输技术应用面临的挑战与应对策略

5.1 技术层面的难题与解决方案

无线电能传输技术在应用中面临诸多技术难题。传输效

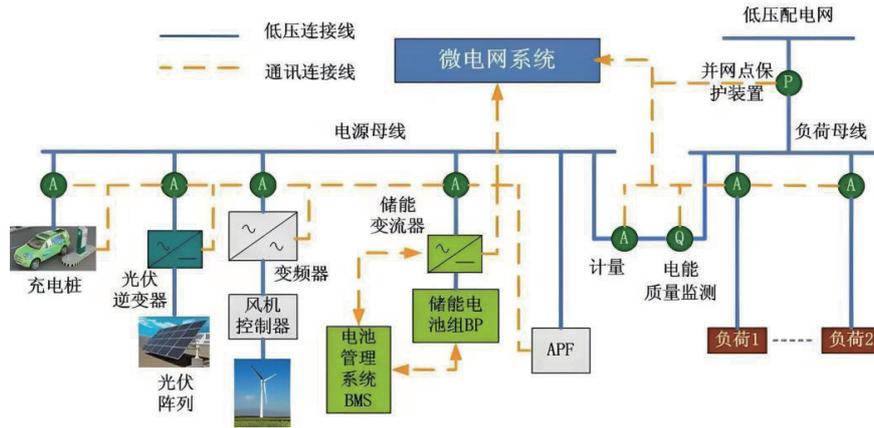


图2 智能微电网系统架构图

率随距离增加而急剧下降是关键问题，远距离传输时，电磁信号在空间传播会不断衰减，导致大量能量损耗。多设备同时传输时还存在电磁干扰，不同设备的电磁场相互影响，会扰乱传输的稳定性与准确性。针对传输效率问题，可通过优化线圈设计，采用高导磁率材料、改进线圈形状与匝数，提高磁场耦合强度，增强传输效率。研发自适应调谐技术也很关键，它能根据传输距离和环境变化实时调整工作频率，保持最佳传输状态。对于电磁干扰，可利用智能编码技术，给不同设备传输信号赋予特定编码，接收端精准识别，还能通过合理规划设备布局，加大设备间距，减少干扰影响，确保无线电能传输的高效与稳定^[5]。

5.2 经济成本的挑战与控制措施

经济成本是阻碍无线电能传输技术广泛应用的重要因素。一方面，无线电能传输设备的研发、生产与制造成本高，如高性能的发射与接收线圈、复杂的控制电路等，涉及大量精密技术和昂贵材料，导致设备售价高昂。另一方面，大规模应用时，基础设施建设成本巨大，需要铺设众多无线电能传输基站等配套设施。为控制成本，在研发阶段，科研人员可探索新型材料和简化电路设计，降低设备制造成本，如寻找价格亲民且性能优良的替代材料用于线圈制作。在生产环节，引入自动化生产工艺，提高生产效率，降低人工成本。对于基础设施建设，可与现有电力网络或通信基站等设施进行整合，实现资源共享，减少额外建设投入，逐步提升无线电能传输技术的经济可行性。

5.3 安全与标准规范的问题及应对思路

安全与标准规范是无线电能传输技术推广的重要保障，但目前存在一些问题。在安全方面，无线电能传输产生的电磁场可能对人体健康造成潜在影响，如长期暴露在强电磁场下，可能干扰人体细胞的正常生理活动。同时，电磁辐射还可能对周围电子设备产生干扰，影响其正常运行。在标准规范上，当前缺乏统一、完善的行业标准，不同厂家的产品在技术参数、接口规范等方面存在差异，不利于设备互联互通

与大规模应用。应对安全问题，需深入开展电磁场生物效应研究，明确安全阈值，制定防护标准，开发屏蔽技术，减少电磁辐射影响。针对标准规范，政府、行业协会和企业应加强合作，共同制定统一标准，涵盖设备性能、安全指标、接口规范等，促进无线电能传输技术健康有序发展。

6 结语

本次研究全面探究无线电能传输技术在可再生能源领域的应用，梳理了技术原理、适配性及应用模式，也针对应用难题提出了应对策略。研究成果为二者的融合发展提供了理论依据与实践指导。展望未来，随着技术持续创新，无线电能传输效率有望大幅提升，传输距离进一步增加，成本显著降低。一方面，它将在偏远地区供电、海上能源开发等特殊场景发挥关键作用，推动可再生能源在全球范围内的广泛应用；另一方面，无线电能传输技术与可再生能源的深度融合，将助力构建更加智能、高效、绿色的能源体系，为解决全球能源危机和环境问题提供有力支撑，引领能源领域朝着可持续方向大步迈进，创造更加美好的生态与生活环

参考文献：

- [1] 孙荟晶, 孙世梅. 热管技术在可再生能源利用中的研究与探索[J]. 现代化工, 2007, 27(S2): 517-520.
- [2] 吴健, 吴奎华, 蔡陆杰, 等. 可再生能源电源的电能传输线路损耗评估模型分析[J]. 电源学报, 2022, 20(2): 8.
- [3] 石坤宏, 程志江, 王维庆, 等. 3种谐振式无线电能传输系统的电路法模型及其特性[J]. 高电压技术, 2021, 47(6): 2240-2249.
- [4] 范祖良. 新能源汽车电池无线充电功率控制系统设计[J]. 科技创新与应用, 2020(24): 73-74+77.
- [5] 白亮宇, 齐力. 无线电能传输技术在海陆空天领域应用浅谈[J]. 海陆空天惯性世界, 2015(8): 151-152.

作者简介：

罗睿杰(1988.8.24-)男,汉族,籍贯:四川南充,研究方向:电气工程。