

# 柔性交流输电技术在电力系统中的应用研究

李章军 刘维维

山东中茂实业集团有限公司

DOI : 10.12238/jpm.v5i7.6987

**[摘要]** 文章对柔性交流输电技术进行了概述介绍基本原理、核心组件以及工作机制。深入分析柔性交流输电技术在电力系统中的应用包括电网稳定性提升、输电能力优化、新能源接入与消纳等多个方面。通过具体的应用案例分析,展示柔性交流输电技术在提高电力传输效率、增强系统稳定性与可靠性、促进新能源并网等方面的显著效果。文章也探讨柔性交流输电技术的优势与挑战有技术成本、运维管理、安全风险以及技术创新与升级需求等问题。柔性交流输电技术在电力系统中的应用前景广阔但也需要不断克服技术挑战以实现更大的潜力和价值。

**[关键词]** 柔性交流; 输电技术; 电力系统。

## Research on the application of flexible AC transmission technology in power system

Li Zhangjun, Liu Weiwei

Shandong Zhongmao Industrial Group Co., LTD

**[Abstract]** The paper introduces the basic principle, core components and working mechanism of the flexible AC transmission technology. In-depth analysis of the application of flexible AC transmission technology in the power system, including power grid stability improvement, transmission capacity optimization, new energy access and consumption and other aspects. Through specific application case analysis, it shows the remarkable effect of flexible AC transmission technology in improving the efficiency of power transmission, enhancing the stability and reliability of the system, and promoting the grid connection of new energy, etc. The paper also discusses the advantages and challenges of flexible AC transmission technology, including technology cost, operation and maintenance management, security risk, and technology innovation and upgrading needs. The application of flexible AC transmission technology in power system is promising, but it also needs to overcome technological challenges to achieve greater potential and value.

**[Key words]** flexible AC; transmission technology; power system.

## 引言

电力系统的不断发展和升级柔性交流输电技术作为一种新型的输电方式逐渐受到广泛关注。本文深入探讨在电力系统中的应用情况及优势与挑战。柔性交流输电技术通过灵活调节交流输电参数实现了对电网运行状态的精准控制为电力系统的稳定、高效运行提供了有力支持。在电力系统中柔性交流输电技术广泛应用于输电网络优化、新能源接入与消纳等领域显著提升了电网的输电能力和稳定性。柔性交流输电技术也面临着一些挑战,技术成本较高、运维管理复杂、安全风险等因素制约了其在电力系统中的广泛应用。随着电力系统的不断发展,对柔性交流输电技术的要求也在不断提高,需要不断进行技术创新和升级。本文将从柔性交流输电技术的概述入手深入分析在电力系统中的应用情况并探讨其优势与挑战,为柔性交流输电技术的进一步发展和应用提供有益的参考和借鉴。

## 一、柔性交流输电技术概述

柔性交流输电技术 (FACTS) 是一种利用电力电子技术和

现代控制技术对交流输电系统进行灵活、快速控制的技术,核心组件主要包括电力电子装置和先进的控制系统这些组件共同工作,实现对交流输电系统参数的精确调节和控制。在柔性交流输电技术中电力电子装置发挥着至关重要的作用,这些装置利用半导体功率器件,如可控硅整流器 (SCR)、可关断晶闸管 (GTO) 等,实现对交流输电系统电压、电流、相位等参数的灵活调节,通过改变这些参数可以实现对输电系统功率流、无功功率补偿、谐波抑制等功能,从而优化电网的运行状态。先进的控制系统是柔性交流输电技术的另一大支柱,系统通过实时采集电网数据运用现代控制算法和计算机技术,对电力电子装置进行精确控制。控制系统可以根据电网的运行状态和需求,自动调节电力电子装置的工作状态实现对电网的智能化、自动化控制。工作原理与运行机制方面,柔性交流输电技术主要基于电力电子装置的快速响应能力和控制系统的精确计算能力。当电网发生波动或故障时控制系统可以迅速检测到变化,并计算出所需的调节量。通过控制电力电子装置的工作

状态实现对电网参数的快速调节，这种快速响应和精确调节的能力使得柔性交流输电技术可以有效地应对电网的各种变化和

挑战提高电网的稳定性和可靠性。

在国内外研究现状柔性交流输电技术自提出以来就受到了广泛关注，各国的研究机构和学者纷纷投入研究力量，探索其在电力系统中的应用潜力和优势。随着技术的不断进步和成熟柔性交流输电技术逐渐从实验室走向实际应用成为电力系统中的重要组成部分。技术创新与突破方面柔性交流输电技术不断取得新的进展，一方面新的电力电子器件和材料的不断涌现为柔性交流输电技术的发展提供了物质基础。另一方面现代控制理论和计算机技术的快速发展为柔性交流输电技术的控制系统提供了强大的支持。这些技术创新和突破使柔性交流输电技术能够更好地适应电力系统的需求和发展趋势。柔性交流输电技术以其独特的优势和潜力，在电力系统中发挥着越来越重要的作用。随着技术的不断进步和应用范围的扩大，相信柔性交流输电技术将为电力系统的稳定、高效运行提供更加有力的支持。我们需要不断关注和研究新技术、新方法，以推动柔性交流输电技术的持续发展和创新。

## 二、柔性交流输电技术在电力系统中的应用分析

输电网络优化是柔性交流输电技术的重要应用之一，随着电力需求的不断增长和电网规模的扩大输电网络的优化很重要，柔性交流输电技术通过调节输电参数如电压、电流和相位等可以实现对输电网络的灵活控制，这不仅可以提高输电效率，减少输电损耗还能优化电网的功率分布降低网络阻塞和故障的风险。电力系统稳定性提升是柔性交流输电技术的另一个重要应用场景，电力系统的稳定性直接关系到电网的安全运行和供电可靠性，柔性交流输电技术通过精确控制输电系统的运行参数，可以有效提高电网的稳定性和可靠性。它能够在电力系统发生故障或异常时，迅速响应并采取相应的控制措施防止故障扩大和连锁反应的发生，保障电网的稳定运行。新能源接入与消纳是柔性交流输电技术在电力系统中的重要应用场景之一。随着可再生能源的快速发展新能源接入电网的规模不断扩大。新能源发电具有波动性和间歇性等特点对电网的稳定运行和调度带来了一定的挑战。柔性交流输电技术可以通过灵活调节电网参数实现对新能源发电的平稳接入和高效消纳。可以根据新能源发电的实际情况调整电网的运行状态提高电网对新能源的接纳能力促进新能源的可持续发展<sup>[2]</sup>。

在国外美国、欧洲和日本等国家在柔性交流输电技术的应用方面取得了显著的成果，例如美国某电力公司采用柔性交流输电技术对输电网络进行了优化，通过调节输电参数成功提高了输电效率减少了输电损耗。该公司还利用柔性交流输电技术提高了电力系统的稳定性有效应对了多次自然灾害对电网的冲击。在国内柔性交流输电技术也得到了广泛的应用，以我国某大型电网为例该电网引入了柔性交流输电技术通过精确控制输电系统的运行参数显著提高了电网的稳定性和可靠性。该电网还利用柔性交流输电技术实现了新能源的平稳接入和高效消纳为新能源的发展提供了有力支持。以上应用案例可以看

出柔性交流输电技术在电力系统中的应用效果显著，它不仅能够提高输电效率、优化电网运行，还能提升电力系统的稳定性和可靠性促进新能源的接入和消纳。在应用过程中也需要注意一些问题如技术成本、运维管理、安全风险等。在实际应用中需要综合考虑各种因素制定合理的应用方案以确保柔性交流输电技术的有效应用。

## 三、柔性交流输电技术的优势与挑战

### (一) 技术优势分析

柔性交流输电技术显著提高电力传输效率，传统的交流输电系统受到线路电阻、电感等参数的限制导致在传输过程中会产生一定的功率损耗，而柔性交流输电技术通过灵活调节输电参数可以优化电能的传输路径减少传输损耗。例如通过调整电压和电流的大小可以实现对输电功率的精确控制从而提高输电效率，不仅有助于减少能源浪费还有助于降低电力系统的运行成本。柔性交流输电技术增强电力系统的稳定性与可靠性，电力系统在运行过程中常常会受到各种因素的影响如负荷变化、设备故障等这些因素可能导致系统失稳或发生故障。柔性交流输电技术通过实时监测和调整电网参数，可以实现对电力系统的快速响应和精确控制。当系统发生波动或故障时该技术可以迅速调整输电参数抑制故障扩大保持系统的稳定运行。柔性交流输电技术还可以提高电网的供电可靠性，降低因故障导致的停电风险为电力系统的安全稳定运行提供有力保障。柔性交流输电技术促进新能源的并网与消纳，随着可再生能源的快速发展新能源接入电网的规模不断扩大。新能源发电具有间歇性和波动性等特点给电网的稳定运行和调度带来了一定的挑战。柔性交流输电技术通过灵活调节电网参数，可以实现对新能源发电的平稳接入和高效消纳。可以根据新能源发电的实际情况调整电网的运行状态，提高电网对新能源的接纳能力。不仅有助于推动新能源的发展还有助于优化能源结构实现可持续发展。

### (二) 技术挑战与问题

技术成本与投资回报是柔性交流输电技术面临的一个重要问题，柔性交流输电技术的实现需要依赖于先进的电力电子装置和控制系统这些设备的研发和制造成本相对较高。在实际应用中需要考虑到电网的改造和升级成本以及新技术的推广和普及成本。如何降低技术成本提高投资回报是柔性交流输电技术在实际应用中需要解决的一个重要问题<sup>[1]</sup>。运维管理与安全风险也是柔性交流输电技术面临的挑战之一，由于柔性交流输电技术涉及到复杂的电力电子设备和控制系统运维管理相对较为困难，需要专业的技术人员进行设备的维护和检修，同时也需要建立完善的监控和预警系统确保设备的正常运行。柔性交流输电技术的引入也可能带来新的安全风险如电磁干扰、网络安全等问题，如何加强运维管理降低安全风险是柔性交流输电技术在实际应用中需要解决的关键问题。技术创新与升级需求也是柔性交流输电技术面临的重要挑战。随着电力系统的不断发展和升级，对柔性交流输电技术的要求也在不断提高。

下转第 118 页

料,如橡胶垫圈、胶带或砂浆,用于确保水密连接并防止管道接头处泄漏。正确的密封能更长时间保持排水系统的完整性、功能性和使用效率,防止水渗入周围土壤,加剧土壤侵蚀和地面沉降等现象。(4)地表水管理:除了地下排水管外,地表水管理技术(例如洼地、渠道和集水池)也用于收集和输送不透水表面(例如道路、停车场和屋顶)的径流。这些地表排水功能可在雨水积聚并导致洪水或侵蚀之前拦截和转移雨水,从而补充地下排水系统。主要考虑因素:其一,水力设计:正确的水力设计能够确定排水管道的尺寸以及确定所需的坡度、容量和对齐方式,以适应预期的流量和排水负荷。水力计算考虑降雨强度、流域特征和土壤入渗率等因素,以确保足够的排水能力和效率。其二,土壤条件:土壤条件,包括土壤类型、压实度和渗透性,影响排水管材料、安装方法和回填材料的选择。土壤测试和分析有助于识别潜在问题,例如土壤沉降、侵蚀或堵塞,并为适当的设计和施工措施提供信息,以减轻风险并确保长期性能<sup>[5]</sup>。其三,维护和检查:应采用定期维护和检查技术,进行排水系统的检查维护。检查管道是否有损坏、堵塞或恶化的迹象,以便及时维修或更换,防止代价高昂的故障,并最大限度地减少对排水作业的干扰。

### 上接第 115 页

新的应用场景和需求不断涌现,需要不断进行技术创新和升级,以满足电力系统的实际需求。同时,随着新技术的不断涌现和市场竞争的加剧,柔性交流输电技术也需要不断进行技术升级和优化,以保持其在市场上的竞争力。柔性交流输电技术具有显著的技术优势但同时也面临着一些技术挑战与问题。在实际应用中需要综合考虑各种因素制定合理的应用方案和技术路线,以充分发挥其优势并克服挑战。加强技术研发和创新推动柔性交流输电技术的不断进步和发展为电力系统的稳定、高效运行和可持续发展做出更大的贡献<sup>[3]</sup>。

### (三) 策略和建议

对于技术成本问题一方面可以通过政策扶持和资金补贴来降低技术应用的初期成本,另一方面可以加强产学研合作推动技术创新和成果转化降低技术研发和制造成本。通过推广和应用示范项目提高新技术的接受度和普及率也可以在一定程度上降低技术成本。在运维管理和安全风险方面需要建立完善的运维管理体系和安全防护机制,通过加强设备维护和检修提高设备的可靠性和稳定性,通过加强网络安全防护和电磁干扰抑制降低安全风险。加强人员培训和技术交流提高运维管理人员的专业水平和应对突发情况的能力。针对技术创新与升级需求,需要持续关注和跟踪新技术的发展动态加强技术研发和创新,通过引入新的电力电子器件和控制算法优化设备性能和功能,通过开发新的应用场景和解决方案拓展技术的应用范围和深度,还需要加强国际合作与交流借鉴和吸收国际先进经验和成果推动柔性交流输电技术的不断进步和发展。柔性交流输电技术虽然具有显著的技术优势但也面临着一些挑战和问题,通过制定合理的应用方案和技术路线、加强技术研发和创新、建立完善的运维管理体系和安全防护机制等措施可以充分

### 结束语

总而言之,为了整体优化土地平整的效果,进一步提高排水工程的施工质量,利益相关者必须灵活运用上述的关键技术,进行关键技术的有效整合,并积极探索新技术、新方法和新工艺,根据不同的工程要求,构建更加完善的排水系统,为土地的可持续利用、经济的可持续增长与社会的可持续发展贡献力量,推动环境保护、资源开发、城市建设等工作走向更大的成功。

### [参考文献]

- [1]陈启平.土地整治工程复核测绘技术设计研究[J].上海国土资源,2023,44(02):85-89+125.
- [2]雷国平.土地整治工程中生态修复技术研究[J].城市建设理论研究(电子版),2023,(16):1-3.
- [3]连敏.浅谈市政排水工程的施工技术与质量管控[J].居业,2024,(03):215-217.
- [4]李红贺.西非地区防洪排水工程混凝土箱涵施工技术分析[J].工程建设与设计,2023,(21):172-174.
- [5]蒋佰果.市政排水工程施工技术要点[J].建筑技术开发,2022,49(24):24-26.

发挥其优势并克服挑战为电力系统的稳定、高效运行和可持续发展做出更大的贡献<sup>[4]</sup>。

### 结语

通过对柔性交流输电技术的深入探讨我们发现这一技术以独特的优势在电力系统中扮演着越来越重要的角色,不仅能够优化输电网络提高电力传输效率还能显著增强系统的稳定性与可靠性为电力系统的安全稳定运行提供了有力保障。柔性交流输电技术在新能源并网方面展现出巨大的潜力,随着可再生能源的大规模接入柔性交流输电技术能够实现新能源发电的平稳接入和高效消纳有效促进新能源的发展和应用。柔性交流输电技术也面临着一些挑战和问题,技术成本、运维管理、安全风险以及技术创新与升级需求等都是我们在实际应用中需要关注和解决的关键问题。柔性交流输电技术以其显著的优势和潜力为电力系统的发展注入了新的活力。在未来我们应继续加强对该技术的研发和应用充分发挥其优势克服挑战推动电力系统的稳定、高效运行和可持续发展。

### [参考文献]

- [1]李海锋,许永治,刘沈全,等.柔性低频输电系统的故障分量特征及保护适用性分析[J/OL].高电压技术,1-14[2024-04-23].
- [2]刘文韬,黄莹,王国腾,等.新能源基地柔直送出系统单极闭锁场景下交流电压序贯波动机理与抑制策略[J/OL].电网技术,1-16[2024-04-23].
- [3]胡应宏,李雨,李阳,等.面向柔直换流站高频谐振问题的换流变压器建模与参数辨识[J/OL].电工技术学报,1-14[2024-04-23].
- [4]向念文,王书来,邵冰冰,等.柔性低频输电系统宽频振荡研究现状与展望[J/OL].高电压技术,1-11[2024-04-23].