

高温超导电缆在城市电网改造中的损耗对比分析

邱 林

四川兴网电力设计有限公司 四川成都

【摘要】 高温超导电缆作为新型输电技术，具有显著的低损耗和高效率优势，已逐渐成为城市电网改造的重点研究方向。本文对比分析了高温超导电缆与传统电缆在城市电网中的损耗差异，探讨了超导电缆在实际应用中的优势及其面临的技术挑战。通过数据对比，分析了不同电缆在不同负载条件下的能效表现，进一步揭示了高温超导电缆在减少电力损耗、提升电网稳定性和优化能源结构中的潜力。虽然高温超导电缆的初期投资较高，但其在长远的运营中具有明显的经济效益和环境优势，适合在未来城市电网中推广应用。

【关键词】 高温超导电缆；城市电网；能效；电力损耗；技术应用

【收稿日期】 2025 年 11 月 5 日 **【出刊日期】** 2025 年 12 月 6 日 **【DOI】** 10.12208/j.jeea.20250218

Loss comparison analysis of high-temperature superconducting cables in urban power grid upgrades

Lin Qiu

Sichuan Xingwang Electric Power Co., Ltd. Chengdu, Sichuan

【Abstract】 As a novel power transmission technology, high-temperature superconducting (HTS) cables offer significant advantages in terms of low losses and high efficiency, and have gradually become a key research focus in urban power grid upgrades. This paper compares and analyzes the differences in power losses between HTS cables and conventional cables within urban power grids, and discusses the advantages of superconducting cables in practical applications as well as the technical challenges they face. Through data comparison, the energy efficiency performance of different cable types under various load conditions is analyzed, further revealing the potential of HTS cables in reducing power losses, enhancing grid stability, and optimizing energy structures. Although the initial investment for HTS cables is relatively high, they offer clear economic and environmental benefits over long-term operation, making them suitable for wider application and promotion in future urban power grids.

【Keywords】 High-temperature superconducting cable; Urban power grid; Energy efficiency; Power loss; Technology application

引言

电力传输是现代城市基础设施中至关重要的一部分，传统的电力传输技术在高负荷和长距离输送中往往面临较大的能量损失，影响电网的稳定性和运行效率。高温超导电缆由于其几乎零电阻的特性，成为解决电力传输损耗问题的创新方案之一。近年来，随着超导技术的快速发展，尤其是高温超导材料的不断突破，使得超导电缆在城市电网中的应用前景愈加广阔。本文将深入探讨高温超导电缆在城市电网改造中的优势，重点分析其与传统电缆相比在电力损耗、经济效益和技术挑战等方面的表现，从而为未来电网升级提供理论支持和技术指导。

1 传统电缆与高温超导电缆的损耗对比分析

在现代城市电网中，电缆的传输损耗是影响电力传输效率的关键因素之一。传统电缆主要采用铜或铝作为导电材料，这些材料具有一定的电阻，在电流流动过程中会产生不可避免的能量损失。尤其在长距离输送和高负荷运行下，传统电缆的损耗更加显著，这不仅影响了电力系统的稳定性，还增加了运营成本。根据不同电缆的规格和材质，传输损耗可达到总输送功率的几个百分点，尤其在高电压下，电缆损耗的比例会更高。这些损耗对电网的运营效率和环境友好性产生了直接的负面影响。

与传统电缆相比，高温超导电缆的损耗具有显著的优势。超导电缆采用的高温超导材料在低温下几乎呈现零电阻的特性，这意味着电流通过时几乎没有电

能损失。通过使用高温超导电缆,电力传输过程中的能量损耗可以降到极低水平,理论上甚至可以达到零损耗^[1]。虽然高温超导电缆在成本和技术要求上较高,但其低损耗特性使得其在长时间、大规模电力传输中具有显著的经济优势。许多研究和实验已表明,超导电缆在解决传统电缆损耗问题上具有很强的应用潜力,尤其在电网的高负荷区域和长距离传输中,更能够发挥其独特的优势。

尽管高温超导电缆在降低电力损耗方面表现出明显的优势,实际应用中依然面临诸多挑战。超导电缆的材料成本较高,且需要在低温环境下才能发挥其超导特性,这就要求复杂的冷却系统配合使用,这也增加了系统的投资和运行维护成本。超导电缆的技术难度和施工难度较大,需要较高的技术门槛和专业操作。在传统电缆与高温超导电缆的损耗对比中,虽然超导电缆具有低损耗的优势,但其高昂的建设成本和技术壁垒也是不可忽视的因素。

2 高温超导电缆的技术优势与应用挑战

高温超导电缆的核心技术优势在于其能够实现近乎零电阻的电能传输特性,这使得其在电网中传输电力时几乎不产生任何能量损失。与传统电缆相比,超导电缆不仅能够显著提高电力传输效率,还能降低电缆的体积和重量,节省空间并提高电网的灵活性。高温超导材料具有较低的工作温度,通常在液氮温度(-196°C)下工作,这使得其在输电过程中不会受到常规电缆材料电阻的影响,从而进一步优化电网的能效。超导电缆可以承载更高的电流密度,这意味着它能够在相同的传输容量下,减少电缆的尺寸和材料使用,进一步降低电网的建设成本和维护难度。

尽管高温超导电缆在技术上具有众多优势,其应用也面临着不小的挑战。超导电缆的制备和生产成本远高于传统电缆,主要是因为超导材料的制造过程复杂且昂贵。高温超导电缆的使用需要依赖于低温冷却系统,这要求在电网中安装专门的冷却装置,增加了系统的总体成本和维护难度^[2]。超导电缆的冷却技术涉及到液氮的运输和储存问题,这在一些高温环境下可能面临着冷却设备不稳定的挑战。另外,高温超导电缆在电网中应用时的适配性也需要考虑,在已有的电网系统中,如何与传统电缆兼容,避免对电网运行带来不必要的负担。

超导电缆的技术稳定性和长期运行问题也需要进一步研究和解决。虽然高温超导电缆在短期内能够实现低损耗传输,但在长时间、大规模应用中,其材料老

化、冷却系统故障等因素可能会影响其性能的稳定性的。这就要求在实际应用过程中,不仅要关注技术研发,还要对电网的运维进行全面的规划,确保超导电缆能够在复杂的电网环境中稳定运行。尽管高温超导电缆具有较为明显的技术优势,但其高成本、冷却要求和稳定性问题仍然是制约其广泛应用的关键挑战。

3 高温超导电缆在城市电网中的应用前景

随着全球对能源效率和环境保护的关注日益增加,城市电网的改造和升级已成为许多国家和地区的重中之重。高温超导电缆在这一过程中展现出了巨大的潜力,特别是在城市电网的高负荷区域和长距离传输系统中,其低损耗特性为电力传输提供了更高效的解决方案。随着超导材料和冷却技术的不断进步,高温超导电缆的经济性和技术可行性逐步得到改善,其在城市电网中的应用前景逐渐明朗。

在实际应用中,高温超导电缆尤其适用于城市电网的高密度负载区域和电力需求量大的场所。在一些老旧电网的改造过程中,使用高温超导电缆可以大大降低电力传输过程中的能量损失,提高电网的运行效率^[3]。超导电缆的紧凑设计和较小的体积,使其在城市狭小的空间中更具优势,能够减少传统电缆占用的空间,便于在有限的土地资源上建设更为高效的电网系统。未来,随着超导电缆技术的成熟和成本的逐渐下降,超导电缆将在城市电网中扮演越来越重要的角色,成为电网升级和优化的关键组成部分。

高温超导电缆在城市电网中的应用前景仍然需要解决一系列技术难题和工程挑战。尽管超导电缆的损耗较低,但其安装和维护成本较高,这对一些资金紧张的城市电网改造项目来说是一个重要的制约因素。超导电缆的冷却技术依赖于液氮等低温冷却液体的支持,如何保证冷却系统的长期稳定运行和安全性是另一个需要克服的技术瓶颈。虽然超导电缆在理论上具有巨大的应用潜力,但在实际应用中,仍需要解决一系列的经济和技术难题。随着技术的不断进步和应用案例的增多,超导电缆在城市电网中的前景无疑将更加广阔。

4 优化高温超导电缆在电网中的损耗管理策略

为了进一步提升高温超导电缆在电网中的应用效率,优化其在电网中的损耗管理成为了一个关键课题。高温超导电缆在降低电力传输损耗方面具有显著优势,特别是在长距离、大功率电力输送中,能显著提高电网的能源利用率。然而,超导电缆的实际应用效果却常常受到多种因素的影响,这些因素包括电缆的运行环境、冷却系统的稳定性、以及电网负载波动等。电缆的性能

可能受到气温变化、负载高峰等外部条件的影响,而冷却系统不稳定则可能导致超导电缆的超导特性无法完全发挥^[4]。电网负荷的波动也可能影响电缆的能效表现,导致传输损耗的增大。如何在实际应用中通过技术手段,制定一套科学、合理的损耗管理策略,确保高温超导电缆能够在不同负荷和环境条件下高效、稳定地运行,成为电力行业亟待解决的重大技术挑战。

在损耗管理策略中,首先要对超导电缆的运行环境进行精确监控和优化。电网的负载波动、温度变化等因素都会显著影响超导电缆的传输效率,实施实时监控电网中的各种参数是至关重要的。这不仅有助于动态调整电网运行状态,还能有效预防因负载不均或温度异常带来的电缆损耗。通过对电流密度、温度等数据的实时采集与分析,可以提前发现电缆潜在的运行问题,并采取相应的调节措施。冷却系统的管理同样不可忽视。由于超导电缆依赖于低温环境才能发挥其优越性能,定期检修和优化冷却设备,确保冷却系统长期稳定运行,能够避免由于冷却不充分导致的电缆性能下降。还可以通过智能化手段,动态调整电网的负载和线路配置,避免电缆在超负荷的情况下工作,从而进一步减少不必要的能量损耗。

高温超导电缆的长期稳定性直接影响到电网的运行效率,制定科学的维护和检修策略至关重要。定期检测电缆的损耗情况、材料老化程度、以及冷却系统的有效性,能够及时发现潜在的技术问题并进行调整^[5-8]。尤其在高温超导电缆的运行过程中,材料老化和环境变化对其性能的影响不容忽视,随着时间推移,超导材料可能会出现微小裂纹或其他损伤,这些都可能导致电缆效率下降。采取合适的技术手段,如增强冷却效果、优化材料的替换周期和提升监测技术,可以有效延长电缆的使用寿命。通过优化电网的运行策略,灵活调整负荷分配,加强对超导电缆的动态管理,可以进一步提升其在电网中的损耗管理效率,确保超导电缆在电力传输中发挥最佳性能。

5 结语

高温超导电缆作为一种具有巨大潜力的电力传输

技术,在降低电网损耗、提升传输效率方面展现了显著优势。尽管其应用前景广阔,但在实际使用中仍面临诸多技术和经济挑战。通过精确的损耗管理、优化冷却系统以及动态调节电网负荷等措施,可以进一步提升超导电缆的应用效率,减少损耗,实现电力资源的高效利用。未来,随着相关技术的不断成熟和成本的逐步降低,高温超导电缆将在城市电网中发挥更加重要的作用,推动电力系统的升级与优化,为能源的可持续发展作出积极贡献。

参考文献

- [1] 刘华祥,张朋松,方进. 基于高温超导电缆终端的应力锥设计与分析[J].低温与超导,2025,53(07):12-16+50.
- [2] 沈赞,宗鹏鹏. 高温超导电缆在配电系统中的应用前景与关键技术研究[J].电工技术,2025,(S1):367-369.
- [3] 周小盟,赖小强,朱运鹏,等. 第二代高温超导带材及堆叠电缆交流损耗的仿真研究[J/OL].核聚变与等离子体物理,1-8[2025-09-12].
- [4] 陈晓清.高温超导电缆地下直埋敷设施工工艺及关键参数控制[C]//重庆市大数据和人工智能产业协会,重庆建筑编辑部,重庆市建筑协会.智慧建筑与智能经济建设学术研讨会论文集(一).杭州中大电器承装有限公司,;2025:135-137.
- [5] 伍岳,肖立业. 超导体在电力输送与储能领域的应用[J].现代物理知识,2025,37(01):3-10.
- [6] 刘亦婷,顾洁,吕忠麟,等. 考虑高温超导电缆接入的配电网变电站及网架协同规划[J].供用电,2025,42(02):12-21.
- [7] 成健,赵雅轩,胡力广,等. 自屏蔽高温超导直流电缆的故障电流分析[J].低温与超导,2025,53(01):9-14.
- [8] 魏万博.高温超导带材及 Roebel 电缆的热-力学行为研究[D].兰州大学,2024.

版权声明: ©2025 作者与开放获取期刊研究中心(OAJRC)所有。本文章按照知识共享署名许可条款发表。

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



OPEN ACCESS