

高压直流输电系统中的换流站控制保护技术研究

李冠军

西安领军建筑安装工程有限公司 陕西西安

【摘要】 高压直流输电 (HVDC) 系统中, 换流站控制保护技术是保障系统稳定运行的关键。本文分析了换流站控制保护技术的重要性, 探讨了其现状与挑战, 提出了优化策略, 包括控制策略改进、保护系统升级及仿真验证。研究结果表明, 优化后的技术能显著提升系统可靠性与灵活性, 为 HVDC 系统发展提供技术支持。

【关键词】 高压直流输电; 换流站; 控制技术; 保护技术; 优化策略

【收稿日期】 2025 年 1 月 18 日 **【出刊日期】** 2025 年 2 月 11 日 **【DOI】** 10.12208/j.jeea.20250030

Research on the control and protection technology of converter station in HVDC transmission system

Guanjun Li

Xi'an Leading Construction and Installation Engineering Co., Ltd, Xi'an, Shaanxi

【Abstract】 In the HVDC transmission (HVDC) system, the control and protection technology of the converter station is the key to ensure the stable operation of the system. This paper analyzes the importance of control and protection technology of converter station, discusses the current situation and challenges, and puts forward optimization strategies, including control strategy improvement, protection system upgrade and simulation verification. The results show that the optimized technology can significantly improve the reliability and flexibility of the system and provide technical support for the development of HVDC system.

【Keywords】 HVDC transmission; Converter station; Control technology; Protection technology; Optimization strategy

引言

高压直流输电 (HVDC) 作为一种高效的远距离电力传输方式, 已成为现代电网的重要组成部分。换流站作为 HVDC 系统的核心环节, 其控制保护技术直接关系到系统的安全稳定运行。随着电力系统规模的不断扩大和运行环境的日益复杂, 现有换流站控制保护技术面临着诸多挑战。深入研究换流站控制保护技术的优化策略, 对于提升 HVDC 系统的整体性能具有重要意义。

1 换流站控制保护技术现状

在高压直流输电 (HVDC) 系统中, 换流站控制保护系统扮演着至关重要的角色。它不仅是连接交流电网与直流输电线路的关键枢纽, 更是保障整个输电系统安全、稳定运行的核心保障^[1]。换流站控制保护系统的功能覆盖了从换流器控制到直流线路保

护, 再到交流滤波器保护等多个方面。换流器控制是系统运行的核心, 通过精确调节换流器的触发角和熄弧角, 确保直流电流和电压的稳定输出。直流线路保护则如同系统的“安全卫士”, 能够快速检测并隔离线路故障, 防止故障扩大化。交流滤波器保护则专注于维持交流侧的电能质量, 确保系统在复杂的电网环境下稳定运行。这些功能相互配合, 共同构成了一个复杂而精密的控制保护体系。尽管当前的控制保护技术已经取得了显著的进展, 但在实际运行中仍面临诸多挑战。现有的控制策略往往较为复杂, 涉及多个环节的协调与优化, 这不仅增加了系统的调试难度, 也在一定程度上降低了系统的响应速度。

为了进一步提升 HVDC 系统的性能, 优化换流站控制保护系统成为了一个亟待解决的问题。这

不仅需要从技术层面进行深入研究,还需要结合实际运行经验,开发出更加高效、可靠的控制保护策略。通过引入先进的控制算法,如自适应控制、模糊控制等,可以有效提高系统对复杂工况的适应能力,增强系统的动态响应性能。优化保护逻辑,提高保护动作的准确性和快速性,也是提升系统可靠性的重要途径^[2]。随着智能电网技术的不断发展,利用大数据分析和人工智能算法对系统运行状态进行实时监测和故障预警,也成为了未来换流站控制保护技术发展的一个重要方向。通过这些技术手段的应用,有望进一步提升 HVDC 系统的运行效率和可靠性,使其更好地满足现代电力系统的需求。

总之,换流站控制保护系统是 HVDC 系统的核心,其功能的完善和性能的提升对于整个输电系统的稳定运行至关重要。尽管目前的技术已经取得了一定的成果,但仍存在一些亟待解决的问题。通过不断优化控制策略、提升保护性能,并结合新兴技术的应用,换流站控制保护系统有望在未来实现更加高效、可靠的运行,为 HVDC 系统的广泛应用和发展提供坚实的技术保障。

2 换流站控制保护技术面临的挑战

在当今电力系统快速发展的背景下,高压直流输电(HVDC)技术作为远距离、大容量电力传输的重要手段,其核心组成部分——换流站的控制保护技术正面临着前所未有的挑战。新型电力电子器件的广泛应用对换流站控制保护系统的适应性提出了更高要求。这些新型器件具有更高的开关频率、更低的损耗以及更复杂的动态特性,使得传统的控制保护策略难以充分发挥其性能优势^[3]。基于绝缘栅双极型晶体管(IGBT)的柔性直流输电技术,其快速的开关动作和复杂的拓扑结构,对控制系统的实时性和精确性提出了更高的要求,同时也增加了保护系统识别故障的难度。

随着全球对清洁能源的重视,大规模新能源接入 HVDC 系统已成为发展趋势。新能源的间歇性和不确定性为换流站的控制保护带来了新的挑战。太阳能和风能等新能源的发电功率受自然条件影响较大,其输出功率的波动性和不可预测性使得 HVDC 系统的功率控制更加复杂。在风速突然变化或光照强度快速波动时,新能源发电功率的快速变化可能导致 HVDC 系统的直流电压和功率出现较

大波动,进而影响系统的稳定运行。新能源的接入还可能导致系统故障模式的多样化,增加了保护系统正确动作的难度,需要更加智能和灵活的保护策略来应对这些复杂情况。

除了新型电力电子器件的应用和新能源的接入,系统运行环境的复杂化也对换流站控制保护技术提出了更高要求。现代 HVDC 系统通常需要在复杂的电网环境中运行,包括多端直流输电系统、交直流混合电网等^[4]。这些复杂的运行环境增加了系统故障的可能性和复杂性,同时也对保护动作的可靠性提出了更高标准。在交直流混合电网中,交流系统故障可能会通过换流站传播到直流系统,反之亦然,这就要求保护系统能够快速、准确地识别故障类型和位置,并采取相应的保护措施。随着 HVDC 系统的运行时间增加和设备老化,设备故障的概率也会增加,进一步提高了对保护系统可靠性的要求。如何在复杂多变的运行环境中确保换流站控制保护系统的可靠性和有效性,已成为当前 HVDC 技术发展的重要研究方向。

3 换流站控制保护技术优化策略

在高压直流输电(HVDC)系统中,换流站控制保护技术的优化是提升系统运行效率与可靠性的关键。改进控制策略是优化的核心方向之一。传统的控制方法在面对复杂多变的运行环境时,往往难以满足系统对动态响应速度和精度的要求。引入先进的控制算法,如自适应控制和模糊控制,显得尤为重要^[5]。自适应控制能够根据系统运行状态的变化实时调整控制参数,确保系统在不同工况下均能保持稳定运行;而模糊控制则通过模拟人类的模糊推理过程,有效处理系统中的不确定性和模糊性问题,从而进一步提高控制的灵活性和鲁棒性。

保护系统的升级也是优化换流站控制保护技术的重要环节。随着 HVDC 系统规模的不断扩大和运行环境的日益复杂,对保护动作的准确性和快速性提出了更高的要求。优化保护逻辑是提升保护性能的关键,通过重新设计保护算法和逻辑结构,能够更准确地识别故障类型和位置,避免误动作和拒动作的发生。引入智能诊断技术为保护系统注入了新的活力^[6]。智能诊断技术利用先进的传感器网络 and 数据分析方法,实时监测系统运行状态,提前发现潜在故障隐患,并为保护动作提供更精准的决策

依据。这种技术的应用不仅提高了保护动作的准确性，还缩短了故障处理时间，增强了系统的可靠性。

为了确保优化策略的有效性和可行性，仿真验证是必不可少的环节。通过建立精确的 HVDC 系统模型，对改进后的控制策略和升级后的保护系统进行仿真测试，可以全面评估优化方案在不同运行工况下的性能表现。仿真验证能够提前发现潜在问题，并为优化方案的进一步完善提供理论支持。仿真结果还可以为实际工程应用提供重要的参考依据，帮助工程技术人员更好地理解 and 掌握优化后的控制保护技术，从而在实际运行中充分发挥其优势，提升 HVDC 系统的整体性能。

4 结论与展望

在高压直流输电 (HVDC) 系统中，换流站控制保护技术扮演着至关重要的角色。作为系统的中枢，换流站不仅负责将交流电转换为直流电或反之，还承担着维持系统稳定、保障电力可靠传输的重任。控制保护系统通过精确的监测与调控，确保换流站设备在复杂多变的运行条件下安全运行^[7]。它能够实时监测电压、电流等关键参数，快速响应并处理各种故障，从而最大限度地减少对电网的影响。随着电力系统规模的不断扩大和运行环境的日益复杂，换流站控制保护技术面临着诸多挑战。这些挑战不仅来自于系统本身的复杂性，还来自于新型电力电子器件的广泛应用以及新能源接入带来的间歇性和不确定性。深入研究换流站控制保护技术的优化策略，对于提升 HVDC 系统的整体性能具有极为重要的意义。

目前，换流站控制保护技术已经取得了显著进展，但仍存在一些亟待解决的问题。一方面，现有的控制策略在应对复杂工况时显得较为复杂且不够灵活，难以满足快速变化的系统需求。另一方面，保护系统的动作速度和可靠性仍有提升空间，尤其是在面对新型故障形态和复杂运行场景时。随着新能源的大规模接入，换流站控制保护系统需要更好地适应其间歇性和不确定性，这对现有技术提出了更高的要求^[8]。为了应对这些挑战，必须从控制策略、保护系统设计以及系统集成等多个方面进行优化。通过引入先进的控制算法，如自适应控制、模糊控制等，可以提高系统的动态响应能力；优化保护逻辑并引入智能诊断技术，能够提升保护动作的准确性

和快速性。通过仿真验证优化方案的有效性，为实际工程应用提供理论支持，也是提升换流站控制保护系统性能的重要手段。

展望未来，随着人工智能、大数据、物联网等新兴技术的不断发展，换流站控制保护技术有望实现质的飞跃。智能化、自适应化的控制保护系统将成为未来的发展方向。通过大数据分析，系统可以提前预测潜在故障，实现预防性维护；而人工智能技术则能够实时优化控制策略，提高系统的灵活性和可靠性。这些技术的应用将使换流站控制保护系统更加高效、智能，从而进一步推动 HVDC 系统的高效、稳定运行，为现代电网的发展提供坚实的技术支撑。

5 结语

高压直流输电 (HVDC) 系统的发展离不开换流站控制保护技术的有力支撑。通过深入分析现状、剖析挑战并提出针对性优化策略，换流站控制保护系统的性能得以显著提升。未来，随着人工智能、大数据等新兴技术的深度融合，换流站控制保护技术将朝着智能化、自适应化的方向迈进。这将为 HVDC 系统的高效、稳定运行提供更强大的保障，推动电力传输技术迈向更高水平，助力现代电网的可持续发展。

参考文献

- [1] 张学友,石永建,李冀,等.应用 LSTM-RNN 的特高压直流输电系统继电保护故障检测方法[J].中国测试,2025,51(03):177-184.
- [2] 李建青,潘文明,沈思,等.基于 VDCOL 的高压直流输电换相失败抑制系统[J].电子设计工程,2025,33(05):129-133.
- [3] 曹志刚.高压直流输电系统稳定性与控制策略[J].大众标准化,2025,(04):121-123.
- [4] 卢东斌,黄志岭,龚飞,等.高压直流输电直流线路故障穿越重启策略[J].高电压技术,2025,51(02):828-839.
- [5] 刘熠,王跃,武鸿,等.含单相面对面型 MMC-DC/DC 变换器的高压直流输电系统阻抗建模及稳定性分析[J].高电压技术,2025,51(01):269-280.
- [6] 吴布托,董秋军,邹昊凯,等.特高压直流输电系统大角度控制策略研究[J].山东电力高等专科学校学报,2024,

27(06):12-15.

变量保护影响的研究[J].电工技术,2024,(S2):460-462.

- [7] 王冰倩,肖建民,张庆武,等.送端分址级联特高压直流输电仿真系统设计与开发[J].河北电力技术,2024, 43(06): 11-16.

- [8] 曹宏斌,韩蕾.特高压直流输电线路间电磁耦合对电压突

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