

电力系统短路电流限制技术研究与应用

李高善

广西北泰送变电工程集团有限公司, 广西 柳州 545000

摘要： 本文针对电力系统短路电流限制技术进行了系统研究。本文先分析了短路电流对电力系统的危害，阐述了短路电流限制的基本原则。在此基础上，对短路电流限制技术进行了分类，包括一次设备限制措施、二次设备限制措施以及运行方式调整措施。同时，对短路电流限制技术的关键参数进行了深入分析，包括短路电流计算方法、限制设备参数优化以及短路电流限制效果的评估。进一步地，本文探讨了短路电流限制技术在电网规划与运行中的应用。在电网规划方面，提出了基于短路电流限制的电网规划原则及实施步骤。在电网运行方面，研究了电网运行方式的优化、短路电流限制设备的配置与调整以及短路电流监测与预警系统的构建。

关键词： 电力系统；短路电流；限制技术；理论研究；应用研究

Research and Application of Short-Circuit Current Limiting Technology in Power Systems

Li Gaoshan

Guangxi Zhaotai Power Transmission and Transformation Engineering Group Co., Ltd. Liuzhou, Guangxi 545000

Abstract： This paper systematically studies the short-circuit current limiting technology in power systems. Firstly, it analyzes the hazards of short-circuit current to the power system and elaborates on the basic principles of short-circuit current limitation. On this basis, the short-circuit current limiting technology is classified, including primary equipment limiting measures, secondary equipment limiting measures, and operational mode adjustment measures. Simultaneously, an in-depth analysis of the key parameters of the short-circuit current limiting technology is conducted, including short-circuit current calculation methods, optimization of limiting equipment parameters, and evaluation of the effectiveness of short-circuit current limitation. Furthermore, this paper explores the application of short-circuit current limiting technology in power grid planning and operation. In terms of power grid planning, it proposes principles and implementation steps based on short-circuit current limitation. Regarding power grid operation, it investigates the optimization of power grid operation modes, the configuration and adjustment of short-circuit current limiting equipment, and the construction of a short-circuit current monitoring and warning system.

Keywords： power system; short-circuit current; limiting technology; theoretical research; applied research

引言

随着我国经济的快速发展，电力系统规模不断扩大，电网结构日益复杂。在此背景下，短路电流问题日益严重，对电力系统的安全稳定运行造成了极大威胁。短路电流限制技术作为保障电力系统安全运行的重要手段，已成为业内研究的热点。本文针对电力系统短路电流限制技术进行研究，分析其理论基础，探讨在电网规划与运行中的应用，以期为我国电力系统安全稳定运行提供理论支持和技术指导。

一、电力系统短路电流限制技术理论研究

在电力系统的运行与发展中，短路电流的限制技术扮演着至关重要的角色。为了深入理解这一技术的重要性，本章先探讨了短路电流的危害及其限制原则，随后对短路电流限制技术进行了详细的分类，并分析了关键参数，以期为后续的应用研究提供坚

实的理论基础。

(一) 短路电流的危害及限制原则

在电力系统中发生短路故障时，短路电流要比额定电流大几倍至几十倍，通常可达数千安，在大容量系统中可达几万甚至几十万安，这将会对电力系统的正常运行造成严重影响及后果^[1]。短路电流的危害主要体现在两方面：一是引发电网设备过热，进而

损害绝缘材料并缩短设备的使用寿命。在短路发生时，电流可急剧上升至正常工作电流的数倍至数十倍，释放出大量热量，导致设备承受极高的热应力，最终造成设备损坏。二是短路电流产生的强大磁力对电网设备造成机械性损伤。短路时，电流在导体中产生巨大的电磁力，可能导致导体变形、断裂，甚至引发火灾等安全事故。再次，短路电流会引起系统电压降低，影响其他用户的正常供电。短路故障点附近的电压会大幅度下降，导致周边用户供电质量下降，甚至造成大面积停电^[9]。此外，短路电流还可能引发继电保护装置的误动作或失效，这将对电网的稳定运行造成不利影响。继电保护装置在短路故障时可能因电流过大而损坏，无法及时切除故障，进一步扩大事故范围。

为减轻短路电流带来的危害，必须实施相应的限制措施以降低其影响。短路电流限制原则主要包括以下几点：一是合理规划电网结构，提高电网的可靠性。通过优化电网接线方式、采用限流设备等措施，降低短路电流水平。二是选用合适的设备，提高设备的短路电流承受能力。在设计和选型时，应充分考虑设备在短路条件下的热稳定性和动稳定性，确保设备在短路故障时能够承受一定的电流冲击。三是加强电网运行管理，严格执行调度规程。通过实时监控电网运行状态，发现异常情况及时处理，防止短路故障的发生。四是采用先进的继电保护装置，提高短路故障切除速度^[9]。继电保护装置应具备快速、准确切除短路故障的能力，以减小短路电流对电网的影响。五是加强短路电流计算和分析，为电网运行和改造提供依据。通过对短路电流的计算和分析，制定合理的限制措施，确保电网安全稳定运行。

（二）短路电流限制技术分类

一次设备限制措施，作为直接作用于电网核心部件的策略，旨在通过调整电气参数或采用专门设计的设备来有效降低短路电流。此类措施的实施包括但不限于以下几种方式：在短路电流限制技术中，高阻抗变压器的应用及其较高的漏抗特性，能够在短路事件中有效限制电流的幅值。此外，通过部署分立电抗器或电抗器组，这些设备在电网中引入额外的阻抗，显著减少了短路电流的规模^[4]。此外，限流熔断器或断路器的使用，能够在短路发生时迅速切断电路，从而限制短路电流的持续时间。另外，通过改变电网的接线方式，例如实施部分接地或中性点经电阻接地，也是降低短路电流的有效手段。

二次设备限制措施，则侧重于通过继电保护装置和自动控制设备来管控短路电流。这些措施包括优化继电保护配置，采用快速动作的继电保护装置，确保在短路发生时能够迅速切断故障电流。同时，方向性保护和差动保护的运用，提高了保护的灵敏度和选择性，有效减少了误动作的发生。此外，自动重合闸装置和故障检测系统的利用，能够在短路故障切除后迅速恢复供电，从而减轻短路电流对电力系统的影响。

运行方式调整措施，作为一种灵活且经济的短路电流限制手段，涉及对电网运行模式的优化。具体措施包括电网解列运行，将大型电网分割为若干独立的小型系统，以降低短路电流的幅值^[6]。此外，优化电网的运行结构，如实施开环运行、负荷转移等策略，改变电网潮流分布，进而达到减少短路电流的目的。同

时，合理安排设备的维修和检修，确保在电网高峰负荷期间，所有设备均保持最佳运行状态，从而降低短路故障的发生概率。这些措施共同构成了一个多层次、全方位的短路电流限制体系，为电力系统的安全稳定运行提供了坚实保障。

（三）短路电流限制技术的关键参数分析

短路电流计算方法构成了短路电流限制技术的理论基石，为制定有效的限制措施提供了不可或缺的理论支持。短路电流的计算通常采用多种方法，包括对称分量法、短路电流周期分量法以及短路电流非周期分量法等。对称分量法通过对短路故障时不对称系统的分解，将其转化为正序、负序和零序三个对称系统，分别计算各自的短路电流，并最终合成得到实际短路电流值^[6]。周期分量法主要聚焦于短路电流的稳态值，而非周期分量法则用于深入分析短路电流的暂态过程。在实际计算过程中，必须综合考虑电网的拓扑结构、线路参数、变压器参数、负载状况以及故障类型等多种复杂因素，借助仿真软件或手工计算，以精确获取短路电流值。

在短路电流限制技术中，限制设备参数的优化是核心环节，涉及如何精心选择和配置限制设备以实现最佳的限制效果。优化参数的范围包括但不限于变压器的短路阻抗、电抗器的电抗值、限流熔断器的额定电流和断开时间等。参数优化的过程需要全面考虑电网的实际运行状况、设备的技术性能以及经济成本。通过精心调整这些参数，可以在确保电网安全运行的同时，最大限度地减少对电网性能的影响，并有效降低建设和运行成本。

短路电流限制效果的评估是对所实施限制措施效果的综合评价，它是对短路电流限制技术实用性的最终验证。评估内容涵盖短路电流是否有效控制在预定范围内、限制措施对电网运行的影响、设备的运行效率和可靠性等多个方面。评估方法通常包括现场试验、仿真模拟和实际运行数据分析^[7]。通过对限制前后短路电流的对比分析，以及对电网运行数据的深入挖掘，可以准确评估限制措施的实际效果，识别存在的问题，并为进一步优化限制方案提供科学依据。

二、电力系统短路电流限制技术应用研究

理论研究的深入为短路电流限制技术的实际应用奠定了基础。本部分将着重探讨短路电流限制技术在电网规划和运行中的应用，旨在通过实际操作层面的分析，为电力系统的安全稳定运行提供具体的技术路径和策略。

（一）短路电流限制技术在电网规划中的应用

在电网规划的宏伟蓝图绘制过程中，恪守一系列核心原则是确保电力系统长期稳定运行的关键。在电网规划的核心原则中，安全性居于首位，要求电网在各种运行模式下都能保持安全稳定的供电状态，有效预防大规模停电事故的发生。同时，可靠性原则同样不可或缺，它要求通过周密的规划不断提升电网的抗干扰能力，确保供电的可靠性得到显著增强^[8]。紧接着，经济性原则要求在确保安全可靠的基础上，尽可能地降低电网的建设和运营成本，以实现经济效益的最大化。此外，前瞻性原则也必须得到充

分考虑,即规划时需着眼于未来电网的发展需求,预留充足的扩展空间,以适应不断变化的市场和技术环境。

与此同时,环保性原则亦不可忽视,其核心在于最大限度地减少电力系统对环境的负面影响,推动电力系统的绿色可持续发展。在这一系列原则的指导下,短路电流限制技术在电网规划中的融入显得尤为关键。在规划的初始阶段,深入开展调研与分析是必不可少的步骤,这包括对现有电网结构的全面评估、对未来负荷增长的精确预测,以及对电网发展趋势的深入分析。在这一阶段,短路电流限制技术的核心应用聚焦于预测未来电网可能面临的短路电流水平,并评估现有电网结构对短路电流的制约能力。

随着规划流程的推进,进入设计阶段,短路电流限制技术的实施变得尤为关键。设计师需基于预测的短路电流水平和电网规划的基本原则,精心挑选和配置适宜的短路电流限制措施,如采用高阻抗变压器、设计合理的电网接线模式,以及电抗器的优化布置等。在此过程中,通过精确地计算与分析,确定限制设备的关键参数,如变压器的短路阻抗和电抗器的电抗值,是实现短路电流有效限制的关键。

在规划的评估阶段,利用专业的电力系统分析软件对设计的电网结构和短路电流限制方案进行仿真模拟和效果评估,是检验所采取措施有效性的重要手段。若评估结果显示短路电流仍超出安全限值,则需返回设计阶段对方案进行进一步的优化。最终,在电网规划的决策阶段,短路电流限制技术的应用体现在对规划方案的最终审定上,此时需全面考虑技术可行性、经济合理性、环境影响等多方面因素,确保规划方案在满足短路电流限制要求的同时,也能兼顾电网未来发展的长远需求^[9]。通过这样的综合考量,我们可以为电力系统的安全、稳定、经济和环保运行奠定坚实的基础。

(二) 短路电流限制技术在电网运行中的应用

在电网运行中,优化运行方式是短路电流限制技术的重要应用之一。这涉及根据电网的实际负荷情况、设备状态和短路电流水平,动态调整电网的运行结构。例如,通过开环运行、转移负荷、调整发电机出力等方式,可以改变电网的潮流分布,从而降

低特定区域的短路电流。此外,合理规划电网的解列和并列操作,可以在电网发生故障时快速隔离问题区域,减少短路电流的传播范围。

短路电流限制设备的配置与调整是电网运行中的另一项重要任务。这要求根据电网的发展变化,适时地安装和调整限流设备,如高阻抗变压器、电抗器、限流熔断器等。在设备配置时,需要综合考虑电网的短路电流水平、设备的技术性能以及经济成本^[10]。在电网运行过程中,根据短路电流的实际监测数据,对限流设备的参数进行优化调整,以实现最佳的限制效果。同时,定期对限流设备进行维护和检修,确保其在关键时刻能够可靠动作。

短路电流监测与预警系统的建立为电网运行提供了实时的数据支持和技术保障。该系统通过安装在关键节点上的电流互感器、电压互感器等传感器,实时监测电网的电流和电压数据。利用先进的信号处理技术和数据分析方法,系统能够准确判断电网的运行状态,及时发现短路电流异常情况。当监测到短路电流接近或超过预设阈值时,预警系统会立即发出警报,通知运行人员采取相应的措施,如调整运行方式、隔离故障区域等,以防止短路故障的发生或扩大。

三、结束语

本文针对电力系统短路电流限制技术进行了深入研究,分析了短路电流的危害、限制原则及现有技术分类,探讨了短路电流限制技术在电网规划与运行中的应用。通过对关键参数的优化分析,为我国电力系统短路电流限制提供了理论依据和技术支持。但是本文仍存在一些不足之处,有待进一步研究和完善。在未来的工作进程中,将持续深入研究短路电流限制技术的新方法与新设备,旨在为我国电力系统的安全稳定运行提供更为显著的支持和保障。总之,短路电流限制技术的研究与应用对保障电力系统安全具有重要意义,希望本文的研究成果能为相关领域的技术人员提供参考和启示。

参考文献

- [1] 张相林,陈巧玲.浅析电力系统中短路电流的危害及限流措施[J].技术与市场,2017,24(06):130-131.
- [2] 徐晨璐.短路电流约束的新能源电力系统拓扑优化与运行调度[D].湖南大学,2023.DOI:10.27135/d.cnki.ghudu.2023.000716.
- [3] 王海鸿.零磁通补偿式短路电流限制器研究[J].科技视界,2022,(22):57-59.DOI:10.19694/j.cnki.issn2095-2457.2022.22.15.
- [4] 吴昊.基于短路电流限制的北京电网分区方案制定及评估决策[D].太原理工大学,2021.DOI:10.27352/d.cnki.gylgu.2021.001901.
- [5] 武海燕,张爱军,刘石川,等.内蒙古电网短路电流水平分析及限制措施研究[J].内蒙古电力技术,2021,39(01):14-20.DOI:10.19929/j.cnki.nmgdljs.2021.0004.
- [6] 程浩忠,张程铭,柳璐,等.可再生能源接入下考虑短路电流限制的输电鲁棒规划方法[J].电力系统自动化,2021,45(10):68-76.
- [7] 傅旭,田旭,李富春,等.基于综合等效灵敏度的短路电流抑制措施确定方法[J].电力工程技术,2019,38(05):98-106.
- [8] 刘娟,王志敏.云南电网短路电流升高原因及对策[J].云南电力技术,2017,45(04):108-110.
- [9] 刘宝英.电网短路电流限制技术的应用研究[J].智能电网,2016,4(08):772-775.DOI:10.14171/j.2095-5944.sg.2016.08.008.
- [10] 张玉红,张彦涛,李付强,等.故障电流限制器参数选择的解析法研究[J].电工电能新技术,2016,35(02):31-37.