

考虑短路电流限制的 500 千伏线路电抗器配置优化

杨震 盛琪真

内蒙古电力勘测设计院有限责任公司 内蒙古 呼和浩特 010020

【摘要】：伴随电网规模持续扩张，500 千伏线路短路电流问题愈发凸显。为保障电网安全稳定运行，需对线路电抗器进行合理配置。本文深入探究考虑短路电流限制的 500 千伏线路电抗器配置优化，分析短路电流对电网的影响，研究电抗器配置原则，构建优化模型并采用有效算法求解，旨在实现短路电流有效限制，提升电网运行可靠性，为实际工程提供理论依据与技术支撑。

【关键词】：500 千伏线路；短路电流限制；电抗器配置；优化模型；算法求解

DOI:10.12417/2811-0528.25.20.040

引言

在电力系统不断发展的当下，500 千伏电网作为重要输电网络，其规模与容量持续增长。短路电流问题随之而来，给电网安全稳定运行造成严重威胁。短路电流过大，可能引发设备损坏、系统解列等严重事故。线路电抗器作为限制短路电流的重要设备，其配置优化至关重要。如何在满足短路电流限制要求的实现电抗器配置的经济性与可靠性，成为亟待解决的关键问题。

1 500 千伏线路短路电流问题剖析

500 千伏线路短路电流产生的原因多样，其中设备绝缘老化是常见因素之一。随着运行时间增长，线路设备的绝缘性能逐渐下降，易引发短路故障。雷击等自然因素也不容忽视，强大的雷电流可能瞬间击穿线路绝缘，导致短路。人为误操作，如违规带电作业等，同样可能引发短路。短路电流一旦产生，危害巨大。过高的短路电流会使电气设备承受远超正常运行时的热应力与电动力，加速设备老化，甚至直接损坏设备，如烧毁变压器绕组、熔断输电线路等。而且，短路电流还可能造成电网电压大幅下降，影响周边用户的正常用电，严重时可导致系统解列，引发大面积停电事故。

目前，针对 500 千伏线路短路电流限制，已采取多种措施。调整电网运行方式是较为常用的方法，例如通过改变电网的接线方式，将环网运行改为开环运行，以此增加短路回路的阻抗，进而限制短路电流。但这种方式可能会降低电网的供电可靠性，影响部分地区的电力供应。采用高阻抗变压器也是一种手段，高阻抗变压器能够在短路发生时，增大短路回路的阻抗，起到限制短路电流的作用。高阻抗变压器的制造成本较高，且会增加变压器自身的能耗。还可安装短路电流限制器，其能在短路瞬间迅速动作，增大短路回路阻抗，有效限制短路电流。不过，短路电流限制器技术尚不成熟，存在成本高、维护复杂等问题。

对 500 千伏线路短路电流水平的现状评估，需从多个维度展开。从地域分布来看，在负荷密集的城市区域，由于电网结构复杂，电力需求大，短路电流水平普遍较高。如一些大型工业集中区，众多企业的用电需求使得电网中的短路电流容易超标。从时间维度分析，随着季节变化，电力负荷也会发生波动，进而影响短路电流水平。在夏季高温时段，空调等制冷设备大量使用，电力负荷增大，短路电流水平相应升高。从不同线路类型而言，同塔多回线路由于线路间的电气耦合紧密，短路电流水平相对较高。

2 500 千伏线路电抗器配置原则与方法

500 千伏线路电抗器配置需遵循多项基本原则。短路电流限制效果是首要考虑因素，配置的电抗器应能有效降低短路电流，确保其在设备允许范围内。根据线路短路电流的计算结果，合理选择电抗器的容量与电抗值，使短路电流得到显著抑制。要保障电网运行可靠性，不能因电抗器的配置而对电网正常运行产生负面影响。如在配置电抗器时，需充分考虑对电网电压稳定性的影响，避免出现电压波动过大的情况。经济性也是重要原则，应在满足短路电流限制和电网运行可靠性要求的前提下，尽量降低电抗器的配置成本，包括设备采购成本、安装成本以及后期维护成本等。

常见的 500 千伏线路电抗器有串联电抗器和并联电抗器。串联电抗器的主要特性是在正常运行时，其阻抗较小，对电网的正常运行影响较小；而在短路发生时，能迅速呈现较大阻抗，有效限制短路电流。因此，串联电抗器适用于短路电流较大且对短路电流限制要求较高的线路，如连接大型发电厂与负荷中心的输电线路。并联电抗器的特性是主要用于补偿线路的电容电流，降低线路的电容效应，防止电压升高。在长距离输电线路中，由于电容效应明显，容易出现末端电压升高的问题，此时并联电抗器就可发挥重要作用，稳定线路电压。不同类型的电抗器在结构、性能以及成本等方面存在差异，在实际配置时，需根据线路的具体情况，如线路长度、短路电流大小、电压稳

定性要求等,合理选择电抗器类型。

在电抗器配置方法上,传统方法多依靠经验和反复试验,这种方式效率较低,且难以保证全局最优。随着技术发展,出现了多种优化算法用于电抗器配置。例如遗传算法,它模拟生物进化过程,通过选择、交叉和变异等操作,在解空间中搜索最优解,能有效提高电抗器配置的优化程度。粒子群算法也是常用方法,它通过模拟鸟群觅食行为,使粒子在解空间中不断迭代搜索,寻找最优配置方案。与传统方法相比,这些优化算法能够更全面地考虑各种约束条件,如短路电流限制要求、电网运行可靠性约束以及经济性约束等,从而得到更优的电抗器配置方案。在实际应用中,需根据电网的复杂程度、计算资源等因素,合理选择配置方法。

3 500 千伏线路电抗器配置优化策略与实践

构建 500 千伏线路电抗器配置优化模型,需综合考虑多方面因素。目标函数方面,通常以配置成本最小化或短路电流限制效果最优为目标。若以配置成本最小化为目标,需考虑电抗器的设备成本、安装成本以及后期维护成本等。约束条件众多,短路电流约束要求配置电抗器后,线路短路电流必须满足设备的耐受能力和电网运行安全标准。确保短路电流不超过断路器的遮断容量。电压约束则要保证在电抗器配置后,电网各节点电压处于正常运行范围内,避免出现电压过高或过低的情况。还需考虑电网的暂态稳定性约束,保证在发生短路故障等暂态过程中,电网能够保持稳定运行。

在电抗器配置优化中,多种优化算法发挥着重要作用。以

粒子群算法为例,其原理是将每个可能的电抗器配置方案看作空间中的一个粒子,粒子具有速度和位置两个属性。通过不断迭代,粒子根据自身经验和群体中最优粒子的经验,调整速度和位置,从而在解空间中搜索最优的电抗器配置方案。在实际应用中,首先要对粒子进行初始化,确定粒子的初始位置和速度。然后,在每次迭代过程中,计算每个粒子对应的目标函数值,即配置方案的优劣程度。根据目标函数值,更新粒子的速度和位置。经过多次迭代,粒子逐渐向最优解靠近,最终得到满足要求的电抗器配置方案。

以某地区 500 千伏电网为例,该地区部分线路短路电流超标,对电网安全运行构成威胁。通过构建电抗器配置优化模型,并采用遗传算法进行求解,得到了优化后的电抗器配置方案。在实施该方案前,对线路短路电流进行了详细计算,发现部分节点短路电流远超断路器遮断容量。实施优化方案后,再次对短路电流进行监测与计算,结果表明短路电流得到了有效限制,各节点短路电流均在安全范围内。对电网的电压稳定性和暂态稳定性进行评估,发现电网的运行可靠性得到显著提升。

4 结语

对 500 千伏线路电抗器配置进行优化,在限制短路电流、保障电网安全稳定运行方面成效显著。通过剖析短路电流问题,明确电抗器配置原则与方法,构建优化模型并应用算法,有效提升了短路电流限制效果与电网可靠性。未来,随着电网持续发展,短路电流问题将更复杂。需深入研究新型电抗器技术与优化算法,进一步完善配置优化策略,以更好应对挑战,推动电网向安全、高效、可靠方向发展。

参考文献:

- [1] 李勇,张宁.考虑短路电流限制的电网电抗器优化配置研究[J].电力系统保护与控制,2023,51(15):123-130.
- [2] 王强,刘畅.500 千伏线路短路电流分析及限流措施研究[J].高电压技术,2022,48(8):2765-2772.
- [3] 赵辉,孙晓雅.基于优化算法的电力系统电抗器配置优化[J].电力自动化设备,2021,41(6):189-195.