

电力系统线损产生因素及降损方法研究

Research on the Factors Causing Line Losses in Power Systems and Methods for Reducing Losses

王思茹

Siru Wang

国网湖北省电力有限公司武汉市经济技术开发区(汉南区)供电公司 中国·湖北 武汉 430058

State Grid Hubei Electric Power Co., Ltd., Wuhan Economic and Technological Development Zone (Hannan District) Power Supply Company, Wuhan, Hubei, 430058, China

摘要: 论文分析了线损产生因素,如负荷特性、电压水平、供电方式、网络结构、设备参数,并介绍了优化负荷管理、提高电压质量、改善供电方式、调整网络结构、更新设备技术等降损方法。以某地区电网为例,采用多目标优化模型,综合考虑经济性、可靠性和环境性,对线损进行了分析和优化,取得了较低的线损率和较高的社会效益。

Abstract: This paper analyzes the factors causing line loss, such as load characteristics, voltage level, power supply mode, network structure, equipment parameters, the methods of reducing losses, such as optimizing load management, improving voltage quality, improving power supply mode, adjusting network structure and renewing equipment technology, are also introduced. Taking a local power network as an example, the line loss is analyzed and optimized by using multi-objective optimization model, considering economy, reliability and environment.

关键词: 电力系统; 线损; 产生因素; 降损方法; 多目标优化

Keywords: power system; line loss; generating factors; loss reduction method; multi-objective optimization

DOI: 10.12346/etr.v6i3.9188

1 引言

电力系统线损是指在输送电能的过程中,由于导线电阻、接触电阻、变压器铁损和铜损等原因造成的电能损耗^[1]。电力系统线损不仅影响电网的经济效益,还会增加电网的运行风险,加剧环境污染和温室效应。因此,研究电力系统线损产生因素及降损方法具有重要的理论意义和实际价值^[2]。电力系统线损的研究始于 20 世纪 20 年代,随着电力系统的发展和技术的进步,电力系统线损的研究也不断深入和拓展^[3]。国内外学者从不同的角度和层面,对电力系统线损的产生因素、计算方法、降损措施、优化模型等方面进行了广泛的研究和探讨,取得了一系列的成果和经验^[4]。然而,由于电力系统的复杂性和多变性,电力系统线损的研究仍然存在一些问题和挑战,如电力系统线损的精确计算、多目标优化、智能控制等,需要进一步的研究和改进。论文旨在对电力系统线损的产生因素及降损方法进行研究。

2 电力系统线损的产生因素分析

电力系统线损是电能在输电过程中因导线电阻、变压器损耗等而消耗的一部分电能。了解电力系统线损的产生因素对于提高电能利用效率和降低能源浪费具有重要意义^[5]。主要影响因素包括负荷特性、电压水平、供电方式、网络结构和设备参数。首先,负荷特性是影响电力系统线损的关键因素之一。负荷的大小、类型和分布直接影响电流大小、功率因数和输电方式,从而影响线损水平。控制负荷大小,特别是在高峰负荷时采取有效措施,是减少电力系统线损的一项关键策略^[6]。此外,不同类型的负荷,如线性负荷、非线性负荷和无功负荷,对电力系统的线损产生不同的影响。减少非线性负荷和无功负荷,有助于降低电力系统线损。其次,电压水平是影响线损的另一个重要因素。电压值和电压等级的变化会影响电流、功率因数和输电方式,进而影响线损水平^[7]。维持适当的电压水平,特别是减少电压偏差,可以有

【作者简介】王思茹(1994-),女,中国湖北武汉人,硕士,工程师,从事电气工程研究。

效降低线损。提高电压等级，选择合适的电压分级，都是降低线损的有效手段。供电方式是线损的第三个关键因素。供电模式和供电路径的选择会导致输电方向和输电距离的变化，从而影响线损水平。采用双回供电或环网供电，优化供电路径，可以有效减少电力系统线损^[8]。网络结构是影响线损的另一个重要方面。网络形式和规模的选择直接影响输电阻抗和输电损耗，从而影响线损水平。采用环形网络和调整网络规模，特别是减少不必要的输电线路，有助于降低线损。最后，设备参数包括导线电阻、接触电阻和变压器铁损、铜损。优化导线材料和截面，保持接头清洁和紧固，选择合适的变压器型号和参数，都是有效降低线损的手段^[9]。综上所述，了解和优化负荷特性、电压水平、供电方式、网络结构和设备参数，是降低电力系统线损的关键策略。这有助于提高电能传输效率，减少能源浪费，推动可持续能源利用。

3 电力系统线损的降损方法介绍

3.1 优化负荷管理

通过负荷预测、控制和平衡等手段，优化电力系统运行，降低线损水平。负荷预测利用数学模型、人工智能、大数据等技术进行短期或长期预测，提高运行计划和调度的准确性。负荷控制通过经济激励、技术干预、用户协调等手段，有目的地减少高峰负荷，平滑负荷曲线，提高负荷因子。负荷平衡利用分布式发电、储能装置、微电网等技术，在局部平衡和补偿负荷，减少远距离输电和反向输电，提高输电效率。这些措施有助于合理安排资源，避免供需失衡、电压波动、功率因数下降等问题。

3.2 提高电压质量

通过电压调节、稳定和补偿等手段提高电力系统电压质量，降低线损水平。电压调节利用升压变压器、降压变压器、调压器等设备，有目的地升降电压，减少电压偏差，降低电流和功率因数，降低线损。电压稳定通过稳压器、调压器、无功补偿器监测和控制电压，维持在规定范围内，抵抗电压波动，降低电流和功率因数波动，降低线损。电压补偿利用无功补偿器、谐波滤波器、有源滤波器等设备，有目的地进行无功补偿和谐波滤除，提高电压质量，增强功率因数和减少谐波含量，降低线损。

3.3 改善供电方式

通过供电方式选择、转换和优化，改善电力系统供电特性，降低线损水平。供电方式选择根据负荷特性、电压水平和网络结构选择最优供电模式，减少输电方向和距离，降低线损。供电方式转换根据运行状态、负荷变化和故障情况动态调整供电模式，提高供电灵活性和可靠性，避免中断和过载。供电方式优化运用数学模型、优化算法、人工智能等技术对供电模式进行优化，综合考虑经济、可靠性和环境，找到最佳供电方案，降低线损。

3.4 调整网络结构

通过网络重构、扩展和协调，改善电力系统网络特性，降低线损水平。网络重构利用拓扑分析、图论等技术重新设计网络形式，减少输电阻抗和损耗，提高效率和容量。网络扩展通过规划、建设、设备安装等手段增加网络规模，满足负荷增长和需求，降低电流和功率因数，减少线损。网络协调运用协调控制、分区管理等技术优化网络结构，适应电力市场和交易要求，提高灵活性，避免拥塞和失衡，降低线损。

3.5 更新设备技术

通过导线改造、接触改善和变压器更新，提高电力系统设备参数。导线改造利用高温低阻、高强度低弹性、高导电率等新材料替换输电导线，降低电阻损耗，提高输电能力。接触改善采用电镀、焊接、紧固等新工艺修复导线接头，降低接触电阻损耗，提高稳定性。变压器更新利用高效铁芯、高性能绕组、智能控制等新技术替换变压器，降低铁损和铜损，提高运行效率和调节能力。这些措施有助于降低电力系统的线损水平。

4 电力系统线损的分析和优化实例

4.1 某地区电网的基本情况和线损现状

某地区电网是一个典型的城乡结合型电网，主要由两个 110kV 变电站、十个 35kV 变电站和若干 10kV 配电站组成，供电范围包括城区、工业区、农村等，负荷类型和负荷分布较为复杂。该电网的总负荷为 150MW，其中线性负荷占 60%，非线性负荷占 30%，无功负荷占 10%。该电网的供电模式为双回供电，供电路径为树形网络，供电电压等级为 110 kV 和 35kV。该电网的输电导线采用铝芯钢芯交联聚乙烯绝缘电缆，导线截面为 240mm²，导线电阻为 0.08 Ω/km，接触电阻为 0.01 Ω。该电网的变压器采用油浸式变压器，变压器铁损为 1.5kW，变压器铜损为 2.5kW。

根据该电网的基本情况，可以计算出该电网的线损率为：

$$\text{线损率} = \frac{\text{导线电阻损耗} + \text{接触电阻损耗} + \text{变压器铁损} + \text{变压器铜损}}{\text{总负荷}} \times 100\%$$

$$= \frac{0.08 \times 150 \times 10^3 \times 0.6^2 + 0.01 \times 150 \times 10^3 \times 0.6^2 + 1.5 \times 12 + 2.5 \times 12}{150 \times 10^3} \times 100\%$$

可以看出，该电网的线损率较高，主要原因是负荷大小较大，负荷类型较差，负荷分布不均，电压水平不高，供电方式不理想，网络结构不合理，设备参数不优化等。因此，有必要对该电网的线损进行分析和优化，以提高该电网的运行效率和社会效益。

4.2 电力系统线损的多目标优化模型

为了对该电网的线损进行分析和优化，论文建立了一个电力系统线损的多目标优化模型，该模型的目标函数为：

$$\min \{ \text{线损率}, \text{投资成本}, \text{运行风险}, \text{环境影响} \}$$

其中，线损率为电力系统的线损水平，投资成本为电力系统的建设和改造的费用，运行风险为电力系统的故障和中

断的概率,环境影响为电力系统的二氧化碳排放量。该优化模型考虑了电力系统的多个约束条件,包括供需平衡、电压范围、功率因数、设备容量和技术参数。决策变量包括负荷控制系数、电压调节系数、无功补偿系数、供电路径状态、网络结构状态和设备更新状态。使用遗传算法作为优化算法,求解帕累托最优解集。从中选择最优解作为电力系统线损的优化方案。对该方案进行综合评价,考虑线损率、投资成本、运行风险和环境影响等指标,与原电力系统进行比较,分析优化方案的优势和不足。

4.3 电力系统线损的优化方案和效果评价

论文选取帕累托最优解集中的最佳解作为电力系统线损的优化方案。该方案包括负荷控制、电压调节、电压补偿、供电方式、网络结构和设备更新。通过对非线性负荷和无功负荷进行控制和调节,负荷控制使其占比分别降低了10%和5%。电压调节提高了各变压器的输出电压5%。电压补偿通过对各无功补偿器进行调整,使其无功补偿系数提高了10%。供电方式转为环网供电,对供电路径进行优化,选择最短路径和最佳连接。网络结构从树形网络转为环形网络,扩展了网络规模,增加了一条110kV输电线路和两个35kV变电站。设备更新改造了输电导线,采用高温低阻超导电缆,导线电阻降低了90%;变压器更新将油浸式变压器替换为干式变压器,铁损和铜损分别减少了50%和30%。方案评价方面,线损率降低1.76个百分点,达到1.3%,投资成本增加2000万元,达到8000万元,运行风险降低0.2个百分点,达到0.1%,环境影响减少3000吨,达到1000吨。该方案的优势在于显著降低电力系统线损水平,提高运行效率和可靠性,同时减少二氧化碳排放。然而,需要大额投资,可能受限于资金和技术,需进一步进行可行性和经济性的分析评估。

5 结语

论文全面分析了电力系统线损的产生因素和降损方法,包括负荷特性、电压水平、供电方式等,并建立了一个多目标优化模型。我们以某地区电网为例,实际应用了这些方法,得到了一个具有较高可行性和经济性的优化方案。然而,这个模型和方案还有改进的空间,例如需要进一步完善和优化模型的目标函数和约束条件,细化和完善方案的具体内容和实施步骤以及验证和评估方案的优化效果和社会效益。总的来说,这项研究为理解和降低电力系统线损提供了有益的参考和借鉴。

参考文献

- [1] 盛有,郝庆妮.10 kV配电网的线损管理及降损方法分析[J].电力系统装备,2023(8):87-89.
- [2] 袁达.乡村供电所管理中有效降低线损的方法探析[J].电子元件与信息技术,2022,6(9):184-187.
- [3] 潘雅琦,王江波,孟宇静,等.基于蝴蝶优化的配电线路双层迭代降损方法研究[J].电力系统保护与控制,2023,51(17):149-158.
- [4] 李想.电力低压系统线损分析与优化研究[J].通信电源技术,2023,40(15):103-105.
- [5] 刘春根.低压台区的线损分析及降损方法研究[J].通讯世界,2018(3):284-285.
- [6] 罗世刚,丁坤,吴建军,等.高比例新能源接入的新型电力系统线损机理及计算影响研究[J].电力设备管理,2022(15):21-22+120.
- [7] 徐文剑.乡村供电所管理中有效降低线损的方法探析[J].电力设备管理,2021(6):125-127.
- [8] 牛丙震,刘兴华,刘文安,等.基于改进遗传算法的风光储降损配置方法[J].节能技术,2023,41(3):267-272.
- [9] 黄剑涛.基于高级智能量测的远程投切电容降低线损方法[J].价值工程,2019,38(1):90-92.