

同塔双回输电线路电气不平衡度的改善措施

曾仁远

佛山电力设计院有限公司

DOI:10.12238/etd.v6i6.16797

[摘要] 同塔双回输电线路电气不平衡度受固有参数、运行状态等多种因素影响,会导致设备损耗增加等问题。改善措施主要从线路设计和运行调控两方面展开。线路设计上,可优化相序排列、应用导线换位技术、优化塔型与导线结构;运行调控方面,采取负荷均衡调控策略、应用柔性补偿装置,并针对新能源并网实施平衡控制措施,以降低电气不平衡度,保障线路稳定运行。

[关键词] 同塔双回线路; 电气不平衡度; 改善措施

中图分类号: TM721 文献标识码: A

Improvement measures for electrical unbalance of double-circuit transmission lines on the same tower

Renyuan Zeng

Foshan Electric Power Design Institute Co., Ltd.

[Abstract] The electrical imbalance of double-circuit transmission lines on the same tower is influenced by various factors such as inherent parameters and operating conditions, which can lead to issues like increased equipment losses. Improvement measures primarily focus on two aspects: line design and operational control. In terms of line design, phase sequence arrangement can be optimized, conductor transposition technology can be applied, and tower configurations and conductor structures can be improved. For operational control, load balancing strategies can be implemented, flexible compensation devices can be utilized, and balanced control measures can be applied for renewable energy integration to reduce electrical imbalance and ensure stable line operation.

[Key words] double-circuit line on the same tower; electrical unbalance rate; improvement measures

引言

在电力系统中,同塔双回输电线路凭借其高效利用土地资源等优势,应用日益广泛。然而,其电气不平衡度问题却不容忽视,这关乎电力设备的正常运行、用户的用电质量以及整个电力系统的稳定性。电气不平衡度受多种因素共同作用,成因复杂。因此,深入探究其改善措施,对于提升同塔双回输电线路的性能,保障电力系统的安全可靠运行,具有重要的现实意义。

1 同塔双回输电线路电气不平衡度基础理论

1.1 电气不平衡度的定义与评价指标

电气不平衡度是衡量同塔双回输电线路电气性能的重要指标,它反映了线路在运行过程中三相电气量(如电压、电流)的不对称程度。在电力系统中,理想情况下三相电压和电流应该是对称的,即大小相等、相位互差 120° 。然而,由于多种因素的影响,实际运行中的同塔双回线路往往存在一定程度的不平衡。电气不平衡度通常采用负序分量与正序分量的比值来表示。对于电压不平衡度,它是电压负序分量有效值与正序分量有效值的百

分比;对于电流不平衡度,则是电流负序分量有效值与正序分量有效值的百分比^[1]。这些指标能够直观地反映出线路三相电气量的不对称状况,为评估线路的运行质量和稳定性提供了重要依据。当电气不平衡度超过一定限值时,会对电力设备和用户产生不利影响,如增加设备损耗、影响电机性能、干扰通信系统等,因此准确计算和有效控制电气不平衡度具有重要意义。

1.2 同塔双回线路的电气参数特性

同塔双回输电线路具有独特的电气参数特性,与单回线路相比,其参数计算更为复杂。线路的电阻、电抗、电纳和电导等参数不仅与导线的材料、截面积、几何尺寸等因素有关,还受到双回线路之间的相互影响。由于两回线路共塔架设,它们之间存在电磁耦合和静电耦合,使得线路的零序参数和正序、负序参数之间存在差异。在计算线路参数时,需要考虑导线间的距离、排列方式以及塔型结构等因素。例如,导线水平排列和垂直排列时,其互感和电容参数会有所不同;不同的塔型设计也会对线路的参数产生影响。另外,同塔双回线路的参数还会随着环境条件的

变化而变化,如温度、湿度、风速等因素都会影响导线的电阻和电抗。了解同塔双回线路的电气参数特性是分析电气不平衡度产生机理和制定改善措施的基础,只有准确掌握这些参数,才能对线路的运行状态进行准确评估和有效控制。

1.3 电气不平衡度的产生机理

同塔双回输电线路电气不平衡度的产生是由多种因素共同作用的结果。从线路本身来看,固有参数不对称是导致电气不平衡度产生的原因之一。由于制造工艺、安装误差等因素的影响,线路的导线长度、截面积、电阻等参数可能存在微小差异,这些差异会导致三相参数不对称,从而产生电气不平衡度。此外,运行状态不对称也是引起电气不平衡度的关键因素。在实际运行中,负荷的不均衡分配会使三相电流不一致,进而导致电压不平衡;线路发生故障时,如单相接地故障、相间短路故障等,会破坏线路的三相对称性,使电气不平衡度急剧增加。同时,同塔双回线路之间的电磁耦合和静电耦合作用也会对电气不平衡度产生影响,两回线路的电流和电压相互干扰,使得线路的电气特性更加复杂,进一步加剧了电气不平衡度的产生。

2 同塔双回输电线路电气不平衡度的成因分析

2.1 固有参数不对称成因

固有参数不对称是同塔双回输电线路电气不平衡度的内在成因。在导线制造过程中,由于生产工艺的限制,导线的电阻、电感等参数可能存在一定差异。即使同一批次生产的导线,其截面积、长度等也可能存在微小偏差,这些偏差会导致三相导线的电阻和电抗不一致。在安装过程中,导线的架设位置、弧垂等也可能存在差异,进一步加剧了参数的不对称性。线路的金具、绝缘子等附件的性能差异也会对线路的参数产生影响^[2]。例如,不同型号的绝缘子其电容和电导可能不同,安装在不同的相上会导致线路的电容和电导参数不对称。固有参数不对称会在线路正常运行时就产生一定的电气不平衡度,而且这种不平衡度相对稳定,难以通过运行调控来消除,需要通过线路设计优化等措施来改善。

2.2 运行状态不对称成因

运行状态不对称是同塔双回输电线路电气不平衡度的主要外部成因。负荷不均衡是导致运行状态不对称的常见原因之一。在实际电力系统中,由于用户的用电习惯和用电设备的不同,三相负荷往往难以做到完全均衡分配。当某一相的负荷过大或过小时,会导致该相的电流增大或减小,从而使三相电流不平衡,进而引起电压不平衡。线路的故障也是导致运行状态不对称的重要因素,当线路发生单相接地故障、相间短路故障等时,故障相的电流会急剧增大,电压会大幅下降,破坏了线路的三相对称性,使电气不平衡度显著增加。同时新能源的大规模并网也给线路的运行状态带来了新的挑战,新能源发电具有间歇性和波动性的特点,其输出功率会随着自然条件的变化而变化,这会导致并网点的电压和频率波动,进而影响线路的电气平衡。

2.3 不平衡度的量化分析方法

为了准确评估同塔双回输电线路的电气不平衡度,需要采

用合适的量化分析方法。常用的方法有对称分量法和瞬时功率法等。对称分量法是将三相不对称的电气量分解为正序、负序和零序三个对称分量,通过计算负序分量与正序分量的比值来确定电气不平衡度。这种方法理论成熟、计算简单,能够清晰地反映出线路的不对称程度,在电力系统中得到了广泛应用。瞬时功率法则是基于瞬时功率理论,通过计算三相瞬时功率的波动情况来评估电气不平衡度。该方法能够实时监测线路的不平衡状态,对动态不平衡度的分析具有优势。在实际应用中,可以根据具体需求选择合适的方法进行量化分析。为了提高分析的准确性,还需要结合现场实测数据和仿真计算结果进行综合评估,为制定改善措施提供可靠依据。

3 基于线路设计优化的不平衡度改善措施

3.1 相序排列优化设计

相序排列优化设计是改善同塔双回输电线路电气不平衡度的有效措施之一。合理的相序排列可以减少线路之间的电磁耦合和静电耦合作用,降低电气不平衡度。常见的相序排列方式有同相序排列、逆相序排列和换相序排列等。同相序排列是指两回线路的相序相同,这种排列方式在理论上可以使线路的参数对称性较好,但在实际运行中,由于两回线路之间的相互影响,电气不平衡度仍然可能较大。逆相序排列是将两回线路的相序相反排列,能够在一定程度上抵消线路之间的耦合作用,降低电气不平衡度^[3]。换相序排列则是根据线路的具体情况,在不同的区段采用不同的相序排列方式,以进一步优化线路的电气性能。在进行相序排列优化设计时,需要综合考虑线路的长度、导线型号、塔型结构等因素,通过仿真计算和现场试验来确定最佳的相序排列方案。

3.2 导线换位技术应用

导线换位技术是改善同塔双回输电线路电气不平衡度的传统方法。通过导线换位,可以使三相导线在空间位置上轮流交换,从而平衡三相参数,减少电气不平衡度。导线换位的方式有多种,如完全换位、不完全换位和滚式换位等。完全换位是指将三相导线在一个换位周期内依次交换位置,使每相导线在三个位置上停留的时间相等,能够最大程度地平衡三相参数。不完全换位是指导线换位不完全,每相导线在三个位置上停留的时间不相等,虽然不能完全消除电气不平衡度,但可以在一定程度上降低不平衡度。滚式换位则是通过特殊的导线排列方式实现导线的连续换位,适用于长距离输电线路。在实际应用中,需要根据线路的具体情况选择合适的导线换位方式,并合理确定换位周期和换位位置,以达到最佳的改善效果。

3.3 塔型与导线结构优化

塔型与导线结构优化也是改善同塔双回输电线路电气不平衡度的重要措施。合理的塔型设计可以减少导线之间的电磁干扰和静电耦合,降低电气不平衡度。例如,采用紧凑型塔型可以缩短导线之间的距离,减少线路的电抗和电容,提高线路的电气性能。同时,优化导线结构也可以改善线路的电气不平衡度。采用分裂导线可以增加导线的等效半径,降低导线的电抗,减少线

路的损耗和电压降,从而提高线路的电压稳定性。另外,还可以通过调整导线的弧垂、张力等参数,优化导线的空间布局,进一步改善线路的电气性能。在进行塔型与导线结构优化时,需要综合考虑线路的机械强度、安全距离、施工难度等因素,确保优化方案既能够改善电气不平衡度,又能够满足线路的安全运行要求。

4 基于运行调控的不平衡度改善措施

4.1 负荷均衡调控策略

负荷均衡调控策略是改善同塔双回输电线路电气不平衡度的重要运行调控措施。通过对三相负荷进行实时监测和调整,使三相负荷尽可能均衡分配,可以有效降低电气不平衡度。可以采用自动调压装置、负荷分配控制器等设备,根据负荷的实时变化情况,自动调整各相的负荷,实现负荷的均衡分配。同时,还可以通过制定合理的用电计划,引导用户合理用电,避免出现某一相负荷过大的情况。此外,对于大型工业用户,可以要求其安装负荷均衡装置,对其内部的三相负荷进行均衡调控,减少对线路电气平衡的影响。负荷均衡调控策略具有实施方便、成本较低等优点,能够在一定程度上改善线路的电气不平衡度,提高线路的运行质量。

4.2 柔性补偿装置应用

柔性补偿装置作为先进的电力电子设备,在改善同塔双回输电线路电气不平衡度方面发挥着关键作用。它能够迅速且精准地补偿线路的无功功率和负序电流,有效提升线路的电气性能。常见的柔性补偿装置中,静止无功补偿器(SVC)应用广泛。它借助控制晶闸管的触发角,灵活调节电抗器的无功功率输出。当线路负荷发生变化时,SVC能快速响应,及时补偿无功功率,增强电压的稳定性,避免电压出现较大波动,保障电力设备在稳定的电压环境下运行。静止同步补偿器(STATCOM)同样表现出色,它采用自换相桥式电路,通过调节该电路交流侧输出电压的相位和幅值,实现无功功率的连续调节。与SVC相比,STATCOM响应速度更快,能在更短时间内完成补偿;补偿精度更高,可更精准地匹配线路的无功需求;运行范围也更宽,能适应不同工况下的补偿要求。在实际应用中,需依据线路的具体情况,如线路长度、负荷特性等,挑选合适的柔性补偿装置,并科学确定其安装位置和

容量。如此,才能充分发挥柔性补偿装置的优势,最大程度减少电气不平衡度对电力设备和用户造成的不利影响,确保电力系统的安全稳定运行。

4.3 新能源并网的平衡控制措施

随着新能源的大规模并网,其对同塔双回输电线路的电气平衡带来了新的挑战。为了实现新能源并网的平衡控制,需要采取一系列措施。首先,在新能源发电侧,可以采用最大功率点跟踪(MPPT)技术,使新能源发电设备在不同的自然条件下都能输出最大功率,同时通过功率预测技术,提前预测新能源的发电功率,为电网的调度提供依据^[4]。其次,在并网点处安装无功补偿装置和电能质量调节装置,对新能源发电的电压和频率进行实时调节,保证并网点的电能质量。另外,还可以通过优化新能源的并网方式和控制策略,实现新能源与电网的协调运行。例如,采用分布式发电与集中式发电相结合的方式,合理分配新能源的发电功率,减少对线路电气平衡的影响。新能源并网的平衡控制措施能够有效解决新能源并网带来的电气不平衡问题,促进新能源的可持续发展。

5 结束语

综上所述,同塔双回输电线路电气不平衡度的改善需综合运用线路设计优化与运行调控等多种措施。通过合理设计相序排列、应用导线换位技术等优化线路设计,以及实施负荷均衡调控、应用柔性补偿装置等运行调控手段,可有效降低电气不平衡度。未来,随着电力系统的发展,还需持续探索更先进、更有效的改善措施,以适应不断变化的电力运行需求。

参考文献

- [1]胡泰山,刘刚,蔡汉生,等.500kV 同塔双回线路相序与换位对电流不平衡影响分析[J].电气应用,2022,41(02):13-19.
- [2]张飞龙.同塔双回输电线路电气不平衡度的改善措施探讨[J].电力设备管理,2025(7):38-40.
- [3]殷胜荣.同塔双回输电线路电气不平衡度的改善措施探讨[J].科技创新与应用,2020(11):129-130.
- [4]黄海.同塔双回输电线路电气不平衡度的改善措施探讨[J].科学技术创新,2019(02):25-26.