

电力工程输电线路设计要点分析

Analysis of Key Points in Power Engineering Transmission Line Design

寇磊 晋珂璇

Lei Kou Kexuan Jin

中国电建集团河北省电力勘测设计研究院有限公司 中国·河北 石家庄 050000

China Electric Power Construction Group Hebei Electric Power Survey, Design and Research Institute Co., Ltd., Shijiazhuang, Hebei, 050000, China

摘要: 论文深入探讨了电力工程输电线路设计的基础与安全可靠性要点。在安全可靠性方面,并综合考虑了导线选型、绝缘配合、架设与跨越设计以及防雷与接地设计的重要性,并对故障保护与自动化系统的设计提出了要求。通过这些要点的系统分析,论文旨在为输电线路设计提供参考和指导。

Abstract: This paper delves into the foundation and key points of safety and reliability in the design of transmission lines in power engineering. In terms of safety and reliability, the importance of wire selection, insulation coordination, installation and crossing design, as well as lightning protection and grounding design has been comprehensively considered, and requirements have been put forward for the design of fault protection and automation systems. Through the systematic analysis of these key points, this paper aims to provide reference and guidance for the design of transmission lines.

关键词: 输电线路设计; 负荷需求; 额定电压; 导线选型; 防雷接地

Keywords: transmission line design; load demand; rated voltage; wire selection; lightning protection grounding

DOI: 10.12346/peti.v6i1.9088

1 引言

在当代电力工程规划与实施中,输电线路的设计成为确保供电安全和提高电能质量的重要环节。输电线路设计的核心目标是传输电力的效率与可靠性,以满足社会日益增长的能源需求。在这一过程中,技术人员通过对负荷需求进行细致分析,选择合适的传输距离与输电方式,确定恰当的额定电压与电流,并针对特定条件综合考虑线路类型与拓扑结构。此外,为了确保输电的安全性和可靠性,设计过程中还要重视导线选型与绝缘配合、导线架设与跨越问题以及防雷与接地的合理布局。更为关键的是,一个完备的故障保护与自动化系统的设计能够应对各种突发情况,最小化故障影响,确保输电的持续稳定。

2 输电线路设计基础要点分析

2.1 负荷需求分析

在电力输电线路设计中,深入的负荷需求分析是确保电

力系统效率与供电安全的基石。要准确掌握负荷特性,需从多维度对负荷需求进行系统性研究,其中包括对现有用电状况的全面了解与对未来用电模式的科学预测。细致地统计不同用户群体在不同时间段的用电规律,衡量峰谷时段的用电差异,为后续的线路容量设计提供可靠数据支撑。分时间段考虑用电需求的变化,如季节性变动、工作日与节假日的差别,确保在各种情况下均能满足电力供应需求。

负荷需求分析还涉及对特定地理区域内经济发展水平、人口分布以及产业布局的深入调研。辨识主要经济增长点及其对电力需求的推动作用,对未来区域发展趋势进行预估,从而指导电力系统的长远规划与布局。同时,应注重政策导向、技术革新对电力需求结构的潜在影响。例如,可再生能源政策的推进将如何影响区域负荷配置,以及智能制造、电动汽车等新兴产业的发展对电力需求峰谷特性的改变。随着分布式电源和储能技术的广泛应用,未来电网负载模式将更加复杂,需求分析也应充分考虑这些新元素的集成与优化。

【作者简介】寇磊(1986-),男,中国河北无极人,本科,高级工程师,从事线路电气研究。

通过对负荷需求的分析,输电线路的设计能针对性地制定合理的输电容量、线路走向及变电站布点。

2.2 传输距离与输电方式选择

电力在长距离传输过程中的损耗是设计时需要密切关注的一个参数。随着传输距离的增加,线路电阻导致的能量损失将升高,这通常通过提高输电电压来抑制。因此,在长距离输电场景下,高压或者超高压输电成为有效的解决方案。这种方式可以降低线损、提升输电效率,并且对土地资源的占用更少。然而,需要注意的是,随着电压等级增加,相应的绝缘和保护设备的要求也会增加,此外,高压输电对周围环境的电磁影响也不可忽视,需要进行综合评估和适当的电磁兼容设计。

在小范围分布的负载或城市电网中,传输距离较短,通常采用低压或中压的输电方式,因为这样可以节约投资成本并简化系统复杂度。然而低压输电会使得线损增加,因此需要合理规划线路走向,优化结构布局,在关键输电节点设置变电站,使得能量损耗和投资成本达到最佳平衡点。与此同时,中短距离输电还需提供良好的供电质量与服务性能,包括对电压波动、供电可靠性等各项指标的严格控制。

输电方式的选择还受到技术发展水平的影响。例如,直流输电技术以其较低的线损和频率问题无关的特性,成为跨越海底或连接不同电网频率系统的可行选择。直流输电特别适合用于远距离、大容量的输电需求,且在海缆输电、异地可再生能源的集成传输方面有独特优势。随着交流技术的进步,直流输电正在变得更加经济和可靠。

2.3 额定电压与电流选择

引入额定电压的主要考虑是权衡电能传输过程中的损耗与建设及运行成本之间的关系。较高的电压能够有效减小单位传输功率所产生的损耗,但又会增大绝缘和安全措施的要求,对设备和材料的性能提出更高要求。电压等级通常与预期的输电距离和输电容量相匹配。一般情况下,长距离超高压输电为降低线路损耗和增加输电能力提供了解决方案。不过在实际选择时,还需综合考虑目标区域的终端用电特点,电源地与负荷中心的相对位置以及可用技术条件等因素。

选择导线的电流容量时,设计师需要基于导线的材料特性和断面积来确定其热稳定性能。合理的电流设计确保导线在长期运行中不会因超负荷而发热严重,引起短路或损坏导线的风险。另外,电流的选择还与电力系统的动态特性密切相关,包括对短路电流、动态稳定边界和负载分布等因素的分析。正确选择电流,可以最小化变压器、开关及其他配电设备的磁化和热损失,确保系统在经济上的最佳性能。额定电压与电流的选择还必须满足国家标准和安全规定,同时考虑到环境影响及未来电网的可扩展性。

2.4 线路类型与拓扑结构设计

选取线路类型时须考量传输电力的需求、地形地貌、环

境保护要求及经济投资等多重因素。传统的输电线路类型包括架空线路和电缆线路两种基本形态,架空线路在长距离和大容量传输中具备成本低和维护简单的优势,然而其对环境影响较大并需占用较宽的走廊。电缆线路则适用于城市地下或水下传输,对土地资源占用较小,视觉冲击和电磁干扰相对可控,但其造价昂贵且传输损耗相对较大。

对于输电线路拓扑结构的设计,实现可靠性与经济性的最优组合是设计者追求的目标。拓扑结构设计应当保证电能供应的连续性和可靠性,同时避免不必要的资本和运营成本^[1]。在大部分现代电力系统中,采用的是混合式拓扑,以环网结构提供了更好的可靠性。当某一部分线路发生故障时,环网结构允许电力从另一路径传输,以此提高系统的冗余性和灵活性。尽管环网所增加的冗余性有助于提高供电可靠性,但相对地,它也可能增加项目的初期投入和复杂性。

拓扑结构设计时还应纳入扩展性和灵活性的考量,未来电力系统的升级和拓展需要有足够的容量来应对负荷的增长和分布式发电资源的接入。为此,系统设计应具备良好的模块性和适应性,可以在不改变原有系统架构的前提下,方便地增加新的发电站或负载节点。

3 输电线路设计安全可靠要点分析

3.1 导线选型和绝缘配合

选择合适导线材料是保障线路长期稳定运行的必要前提,不仅要求导线具备良好的电气性能,还要注意其物理特性与环境适应性。常用的导线材料包括铜、铝、铝合金、钢芯铝绞线(ACSR)等,每种材料都有其特定的电阻率、强度、弹性模量和热膨胀系数等物理特点,因此在选型时应考虑综合线路长度、跨度、电流负荷及气候条件等因素。导线在运行过程中会因为电流负载产生热量,导致材料的延展和强度变化,因此导线截面积的确定要兼顾其在最高工作温度下的安全载流能力,以及在极端天气下的机械性能。为有效降低导线热量损耗和阻抗,选用低电阻率材料对提高输电效率具有直接益处。而在风力、冰载等外力作用下,选用具有较高机械强度的导线,则有助于保障输电线路的物理稳定性。

除了确保导线自身的电气和机械性能足够出色外,正确的绝缘配合设计亦不可忽视。输电线路的绝缘设计涉及导线与地面或其他导体之间的电压耐受水平,绝缘水平的确定须以系统运行时可能出现的最高电压为基准。线路的绝缘类型和等级影响着其耐污染性能、耐候性和耐老化性,进而关联到整体安全可靠。微气候区域特性、污染程度、技术条件和成本效益比等因素,是决策不同绝缘配置的重要依据。

3.2 导线架设与跨越设计

在架设导线时,采用精确的张力预控系统是做,它能有效地对张力进行实时监控和调整,确保导线张力在合理范围内,从而避免因温度变化引起的导线热胀冷缩出现过大的张力变化。在跨越设计上,输电线路不可避免需要跨

越河流、峡谷、公路或铁路等障碍。跨越设计的首要目的是确保安全距离，防止输电线路与下方物体或人员发生危险接触。对于不同跨越对象的设计要求并不相同。举个例子：跨越大型河流时考虑的是防止航运过程中高大船舶与导线相碰撞；而跨越铁路或公路则需要考量高大车辆通过时的极限高度。在跨越设计中，选择高强度导线或加设护网等安全措施是提高线路安全性的一种方法^[2]。

3.3 防雷与接地设计

一方面，为了降低雷电直击引起的电位升高，架空线路常配备带电避雷线（避雷索）或安装避雷针，其位置布置需确保在雷电条件下能有效引导雷击电流至地面。避雷线的设计参数，包括断面尺寸、强度和绝缘水平，需要根据线路的具体情况精心选择，以保持其在极端天气下的有效性和可靠性。进一步来说，对于经过高雷电活动区域的输电线路，还会采用绝缘子串闪络距离增大、防雷间隔提高以及安装金属氧化物避雷器等多项措施来增强系统的防雷能力。金属氧化物避雷器在工作原理上会响应雷电冲击而导通，快速将冲击电流导向大地，进而避免对输电线路设备造成损坏。

至于接地系统的设计，则需确保在雷电冲击电流作用下，接地电阻满足要求，能够迅速安全地泄放电流至大地，最小化步电压与接触电压，以避免对人员造成伤害。为此，接地体的选材和布置是设计的关键。一般情况下，会采用电阻率低，耐腐蚀性能好的材料如镀锌钢或铜制接地棒，通过建立深埋地网或敷设横向接地带以降低电阻。接地系统的设计亦需要考虑季节变化对土壤电阻率的影响，包括冻土和干旱条件，以维护接地性能的稳定。

3.4 故障保护与自动化系统设计

故障保护系统通常包括过流、距离、零序保护以及差动保护等多种保护方式。过流保护是最基础的保护形式，能根据电流大小响应，而距离保护则是通过计算故障点至保护装置之间的阻抗，快速做出判定。零序保护专门针对单相接地故障，能有效识别并隔离故障^[3]。差动保护则用于对输电

路进出两端的电流进行比较分析，一旦检测到不一致性就发出动作指令。贯穿这些保护策略的是，需要对保护装置进行精确的定时，以确保故障判断与隔离动作的速度和准确性，防止不必要的误动作。

自动化系统的设计则进一步提升了故障保护的智能化水平，提高了输电线路的管理效率。它包含了对输电线路的即时监测、故障分析、决策支持以及远程控制能力，依靠先进的信息技术和通信技术，实现了对输电线路状态的全面感知。这一系统的设计通常涉及智能电子设备（IEDs）、远程终端单元（RTU）及配合使用的监控和数据采集系统（SCADA）。SCADA系统为运维人员提供了实时数据和趋势分析，辅助他们进行决策和快速响应。自动化系统还充分考虑适应性及模块化设计原则，以便随着技术的发展和网络规模的扩展，易于进行升级或扩展。

4 结语

输电线路设计是确保电力系统有效运营的关键环节。所有设计要点均应围绕提升安全性、可靠性、经济性和符合环境标准来展开。一方面，负荷需求分析确保了设计与实际需求高度匹配；传输距离与输电方式、额定电压与电流的合理选择则保证了传输效率与成本控制；线路类型与拓扑结构的科学设计为系统的稳定运行和可扩展性提供了保障。另一方面，优良的导线材质、专业的架设与跨越、精准的防雷与接地以及高效的故障保护与自动化系统是确保输电线路安全可靠的技术支撑。

参考文献

- [1] 温程. 电力工程高压输电线路设计要点解析[J]. 大众标准化, 2021(6):181-183.
- [2] 赵化光. 对电力工程中35kV输电线路的设计分析[J]. 中阿科技论坛(中英阿文), 2020(4):80-81.
- [3] 曾令涛. 关于电力工程输电线路施工技术要点分析[J]. 科技视界, 2017(25):130+137.