

电力高压输电线路设计的优化分析

Optimization Analysis of High Voltage Transmission Line Design

李晟

Sheng Li

新疆水利水电勘测设计研究院有限责任公司 中国·新疆 乌鲁木齐 830000

Xinjiang Water Resources and Hydropower Survey, Design and Research Institute Co., Ltd., Urumqi, Xinjiang, 830000, China

摘要: 论文以电力工程高压输电线路设计作为切入点,分析线路设计基本原则,并围绕早期电力高压输电工程常见问题,阐述高压输电线路的优化设计措施。旨在保障高压输电线路平稳运行,满足中国电力事业发展需要。

Abstract: This paper takes the design of high-voltage transmission lines in electric power engineering as a starting point, analyzes the basic principles of line design, and elaborates on the optimal design measures for high-voltage transmission lines around common problems in early electric power high-voltage transmission projects. The purpose is to ensure the smooth operation of high-voltage transmission lines and meet the development needs of China's electric power industry.

关键词: 电力工程; 高压输电; 线路设计

Keywords: electric power engineering; high voltage transmission; line design

DOI: 10.12346/edwch.v1i2.7833

1 引言

高压输电作为主要输电形式,是拓展电力系统服务范围、满足用电需求的基础。高压输电线路运行受到复杂环境、恶劣天气、电磁干扰等因素影响,故障问题时有发生,运行稳定性较差。这就要求设计人员结合电力工程的实际建设情况,运用科学的设计理念和办法,以提升输电质量和效率为核心目标,最大程度地保证高压线路设计的合理性,使输电能效得到充分发挥。

2 电力高压输电线路设计原则

2.1 安全性

高压输电线路是一项危险系数较高的工程项目,在输电系统运行期间,会在导线周边 3~4m 范围内形成强大高频电场,如果地面上导体进入电场范围,则会出现高频放电现象,向地面泄入高压电流,严重时引发人员触电、电气火灾等安全事故的出现。同时,在导线和配套装置出现绝缘失效等运行故障时,也会随之带来安全问题。因此,为保证电力高压输电系统始终处于平稳运行状态,从根源上预防、减少各类

安全事故的出现,设计人员必须遵循安全性原则,综合采取防雷、防覆冰等多项安全设计措施,把外部因素对线路运行工况、结构状态造成的影响压制到最低程度。

2.2 因地制宜

现代电力高压输电工程有着建设规模庞大的特征,沿途地形较为复杂,不同地区的地形地貌存在明显差异。如果盲目开展线路设计工作,或是照搬同类项目设计案例,则会导致工程建设质量、线路运行情况充满不确定性。以杆塔设计为例,现场地面与杆塔塔腿的相对高差值缺乏规律性,如果在工程沿途采取完全一致的杆塔设计方案,会导致部分区域的杆塔塔腿级差值超过 1.0m,无法保证杆塔结构稳定性。因此,设计人员应遵循因地制宜原则,提前做好现场实地考察与工程地质勘察工作,全面掌握地形地貌、水文地质条件等信息,在其基础上制定专项设计方案,如在杆塔设计环节,根据现场地形对部分杆塔的基础柱顶部标高进行抬高或是降低调整。

2.3 深化设计

电力高压输电线路设计是一项综合性活动,涉及杆塔选

【作者简介】李晟(1991-),男,中国四川达州人,本科,工程师,从事输电线路研究。

型、基础选型、导线选型等多个方面,任意方面形成设计纰漏,都会对整体设计效果、输电线路运行工况造成深远影响。根据同类项目设计案例来看,在初步设计阶段,设计成果与现场情况往往存在一定出入,导线错误选型、线路路径不合理等问题时有发生。因此,为保证设计成果质量,设计人员应遵循深化设计原则,在初步设计方案制定完毕后,对设计内容进行可行性论证,从工艺可操作性、经济适宜性等维度出发,从中找出设计问题,把解决问题作为深化设计方向。

3 电力高压输电线路的优化设计措施

3.1 路径优化

在路径优化环节,设计人员提前收集工程资料与做好实地勘察工作,在线路起始点与目的地沿途拟定布置多条备选路径,以缩短布线距离、节省造价成本作为路径设计的基本原则。随后,根据所掌握工程情况,对各条路径方案内容进行调整,尽量避开沿途的公路桥梁、住宅建筑、工业厂房、林木密集覆盖区、河流等障碍物。如果无法避开不良地质地带,则根据岩土勘察报告来掌握不良地质问题,采取相应处理措施,如对岩溶地带采取注浆加固措施,对湿陷性黄土软基采取垫层换填处理措施。最后,对各类备选路径进行综合评价打分,设立路径长度、工程投资、实施难度、拆迁补偿等多项指标,从中挑选综合评分最高的路径方案。

此外,设计人员还应重点关注部门协调、时效性两项问题。第一,对于部门协调问题,在路径设计期间,充分征求工程所在地区的国土、规划、环保等部门的意见,根据所提建议来调整方案内容,并在获取批准协议后再行组织现场施工活动。如果输电线路无法避开军事设施、林木密集覆盖区时,还应征求军事、林业部门的意见。第二,对于时效性问题,电力高压输电工程的设计周期较长,在路径规划期间,工程现场及周边区域情况可能会发生改变,如更新城市总体规划、拟定线路路径沿途新建公路桥梁工程。要求设计人员持续收集工程资料信息,在施工图设计阶段复查路径协议,如果在设计与现场施工阶段出现突发状况,及时变更路径设计方案^[1]。

3.2 杆塔型式优化

在杆塔设计环节,设计人员需要全面掌握各类型杆塔的适用条件,结合工程实际情况来挑选最佳杆塔类型。在现代电力高压输电工程,主要使用到直线杆塔、转角杆塔、耐张杆塔、终端杆塔、跨越杆塔等类型。第一,直线杆塔也被称为中间杆塔,负责承受导线与避雷线垂直荷载、线路方向水平风力,适宜布置在高压输电线路的耐张段中间部位以及直线段上,仅能支持导线与绝缘子等配件,正常情况下无需在杆塔上设置人字形防风拉线。第二,转角杆塔是转角前原有线路方向延长线、转角后线路方向二者保持一定夹角,杆塔负责承受导线和避雷线垂直荷载、分线方向水平分离荷载,以及线路张力合力,优先把此类杆塔布置在输电线路易

于检修的位置。第三,耐张杆塔也被称为承力杆塔,优先布置在高压输电线路分段承力位置,负责同时承受导线与避雷线不平衡张力,如果在线路运行期间出现断线故障,还可以承受断线张力,避免杆塔倾倒。设计人员需要根据线路电压等级来控制耐张段长度,如把35~110kV线路耐张段长度控制在3~5km内。第四,终端杆塔优先布置在高压输电线路的首尾两端,首端布置在发电厂或是变电站出线段,尾端布置在线路末端节段,杆塔负责承受单侧导线垂直荷载、单侧导线张力。第五,跨越杆塔布置在河流、山谷等区域输电线路节段当中,起到跨越复杂地形与地面障碍物的作用。同时,把线路电压等级作为杆塔高度的设计依据,如把220kV输电线路杆塔高度控制在30~40m以内,把500kV输电线路杆塔高度控制在50m左右^[2]。

3.3 基础结构优化

基础结构优化设计环节,设计人员根据岩土勘察报告来掌握工程现场地形地貌和水文地质条件,判断各类型基础结构是否满足工程建设需要。如果错误选择基础型式,不但会增加施工难度、抬高造价成本与产生额外工程量,还有可能在现场施工、输电线路投运使用期间出现基础沉降、杆塔倾斜、线路断线等质量问题。第一,在工程现场分布覆盖层较浅的强风化岩石地基时,可采取岩石嵌固基础型式,全部掏挖基坑,在基坑内部绑扎钢筋与浇筑少量混凝土。此类基础有着无需支设模板、基坑土石方量少、具备优异抗拔承载能力的优势。第二,现场分布中等风化程度硬岩基时,采取岩石锚杆基础型式,在岩基内钻设若干孔洞,孔内插入锚杆与灌注浆液,浆液固结后保持锚杆、岩石紧密粘附状态。此类基础有着材料耗用量少、成本低廉的优势。第三,现场分布硬塑粘性土地基、无地下水时,采取掏挖基础型式,全部掏挖或是半掏挖地基,再对基坑进行回填夯实处理。此类基础有着上拔荷载承受能力强、造价成本低廉的优势,相比于阶梯型基础,在相同工程情况下,可以节省10%~20%混凝土用量、节省3%~7%钢材用量。第四,在现场分布流塑性地基、持力层较深并布置耐张塔时,采取灌注桩基础型式,利用桩身与桩间土相互摩擦作用力来承受上拔力、下压力。第五,在现场天然地基力学性能较佳、塔位基础负荷小时,可采取原状土基础型式,仅需对天然地基进行夯实、整平处理即可。此类基础有着工程量大、易于操作、成本低廉的优势^[3]。

3.4 导线优化

首先,设计人员优选布线方式。在早期电力高压输电线路工程,由于布线方式不当,在运行期间受到多种线路静电耦合、电磁耦合影响,持续形成感应电流,感应电场强度高情况下会出现电晕放电、高频脉冲电流现象,造成额外的输电损耗,并对周边区域电信设施的正常运行造成强烈干扰。因此,设计人员需要在方案中优先采取正三角布线方式,以此来取代水平布线、倒三角布线等传统方式,并把导线垂

弧最低点离地高度控制在18.0~20.0m以内。

其次,在导线连接设计环节,根据工程情况来选择恰当的连接方式,当前主要采取电缆进线段变电、高压电缆线变电、全线变电三种方式。第一,电缆进线段变电是对高压电缆进行出线间隔处理,再通过高压线方式把高压电缆与对侧变电站电缆相互连接。第二,高压电缆线变电是把高压线路中间部分线路使用电力运输电缆补上,使得电缆两端均为高压线路,中间节段为电力电缆,解决部分线路不宜选择合理路径的问题。第三,全线变电是在变电所内配备高压电缆,使得高压输电线路全部为高压电缆。

最后,在导线选型设计环节,早期电力工程主要选用圆线同心绞钢芯铝绞线作为高压输电线路,此类导线具备良好的稳定性,基本满足高压输电需要,但在运行期间会产生较高的线损量,进而抬高了电力高压输电工程的总体运行成本。因此,为强化电力供应能力,把输电期间的电流损失量控制在合理范围内,设计人员需要优先选用中强度全铝合金绞线、铝合金芯高导铝绞线、高导电率钢芯铝绞线等新型导线,根据工程情况来确定导线种类型号。例如,以改善输电系统节能效果为首要设计目标时,选用铝合金芯高导铝绞线,此类导线的节能表现最为优异,不适用于采取普通钢芯铝绞线等类型导线。而在以控制工程造价成本为首要设计目标时,则选用普通钢芯铜绞线,如果导线机械和电气性能不达标,则选用钢芯高导电率铝绞线。

3.5 防雷设计

为避免高压输电线路在运行期间因遭受雷击而产生严重损失,设计人员应做好防雷设计工作,具体采取降低杆塔接地电阻、减小保护角、加装避雷器三项措施。第一,降低杆塔接地电阻,在各根杆塔上加装接地装置,保持接地装置和地线的连接状态。在杆塔顶部或是地线内流经雷电流时,由于电力接地电阻较低,可以迅速把雷电流泄入大地,从而强化线路抗雷击能力。以500kV输电线路为例,对接地装置的布置,可以把接地电阻降低5Ω左右,强化20%线路耐雷击能力、降低40%~50%跳闸率。第二,减小保护角,在输电线路遭受雷击时,雷电流直击导线概率与杆塔高度、保护角度存在紧密联系,由于杆塔高度不宜调整,需要从保护角调整方面着手,根据线路电压等级、现场地质条件来计算最佳的保护角。以500kV高压输电线路为例,当输电线路地处山区时把保护角控制在-5°以内,输电线路处在平原地区时把保护角控制在0°以内。第三,加装避雷器,为阻挡雷电流直接流入导线,造成提高导线电位、绝缘子闪络、线路跳闸等后果,需要在杆塔三相或是单侧部位安装避雷器,优先选用带有间隙的避雷器,此类避雷器实际使用寿命较长,在高压输电线路投运使用期间无需频繁更换、检修避雷器。待避雷器安装完毕后,还需要对各单位连接情况进行检查,开展调试运行试验。

3.6 抗覆冰设计

覆冰是高压输电线路运行期间最为常见的一类故障问题,在低温天气下,输电线路表面雨雪冻结成冰,随着时间推移,覆冰厚度持续增加,最终引发导线断线、相间短路、覆冰闪络等事故发生。例如,在覆冰重量超出线路杆塔承重能力后出现断线倒塔事故,在覆冰期间受迎风阻力影响出现不均匀脱冰情况时造成相间短路故障,在覆冰状态下导致相邻伞盖被冰棱桥接时因缩短绝缘子泄露距离而出现覆冰闪络事故。

对此,设计人员需要做好抗覆冰设计工作,在方案中采取热力除冰、机械除冰、憎水材料防冰三项措施。第一,热力除冰是在高压输电线路沿途加装微波热效应除冰装置、电热风机装置或是高频激励装置,在当地气温偏低或是线路出现覆冰现象后,启动加热装置,在高温条件下使线路覆冰层逐渐融化。也可选择采取激励调节手段,通过发电机零起升压与全电压冲击合闸,利用所产生短路电流的热量进行除冰。第二,机械除冰是在高压输电线路沿途配备多台除冰机器人,机械人搭载摄像头与滑轮装置,摄像头负责校正位置,滑轮装置负责铲除线路表面覆冰层,但在除冰期间可能会破坏线路结构和外部绝缘层。也可采取机翼除冰方式,配备飞行器与风机叶片,飞行器按照既定路线抵达各处位置,启动风机叶片来刮除线路表面覆冰层。第三,憎水材料防冰是在输电线路表面涂刷多道疏水涂层,在绝缘子等装置表面覆盖室温硫化硅橡胶防护层,在憎水材料作用下,可以消除线路与配套装置表面绝大多数的残留雨雪,虽然在极端恶劣条件下仍会出现覆冰层,但可以把覆冰层厚度控制在合理范围内,基本不会影响输电线路运行工况。

4 结语

综上所述,电力工程在社会发展进程中扮演着重要角色,并且在社会经济推动的推动下,其建设规模和数量不断扩增。为建设高规格电力高压输电线路工程,确保输电线路功能效用得到完全发挥。在输电线路设计阶段,设计人员必须树立优化设计意识,严格遵循安全性、因地制宜、深化设计三项基本原则,结合设计要求,采取相关的优化措施,为供电质量与安全提供保障,最大程度地保证高压线路设计的合理性,也为中国电力事业的健康发展提供助力。

参考文献

- [1] 谢延凯,孟欢,李炜,等.基于高压输电线路优化设计的感应电减缓措施研究[J].甘肃科技,2021,37(6):39-42+29.
- [2] 杨强.高压输电电气线路优化设计方法[C]//江西省电机工程学会.2021年江西省电机工程学会年会论文集,2022.
- [3] 黄泓云.解析电力高压输电线路设计要点[J].冶金管理,2020,407(21):35+38.