

变电站电气一次设计重点分析

张红伟¹ 孙冰洋²

1. 河南省中工设计研究院集团股份有限公司 河南 郑州 450000

2. 国网河南省电力公司上蔡县供电公司 河南 驻马店 463000

摘要: 变电站电气一次设计作为电力系统稳定运行的关键环节, 涵盖主接线设计、设备选型、短路电流控制及配电装置布局等核心内容。通过合理规划主接线结构, 科学选型电气设备, 精准计算并限制短路电流, 优化配电装置布置, 可有效提升变电站运行效率与可靠性。智能化、环保节能、小型紧凑及高可靠免维护等发展趋势, 为变电站电气一次设计指明方向, 推动电力工程技术不断革新。

关键词: 变电站电气; 一次设计; 重点

引言

随着电力行业的快速发展, 变电站在电力系统中的枢纽作用愈发显著, 其电气一次设计的科学性与合理性直接影响电力传输质量和系统运行稳定性。本文聚焦变电站电气一次设计的关键环节, 深入分析主接线设计、电气设备选型、短路电流计算与限制及配电装置布置等重点内容, 并探讨智能化、环保节能化等发展趋势, 旨在为提升变电站设计水平、保障电力系统安全高效运行提供理论参考与实践指导。

1 变电站电气一次设计概述

变电站电气一次设计是电力系统建设的核心环节, 旨在构建稳定可靠的电能传输与分配架构。其核心任务是确定变电站的电气主接线形式、设备选型及平面布置方案, 确保在满足电力负荷需求的同时, 实现电能安全、高效、经济的转换与输送。电气主接线设计作为一次设计的关键, 需综合考量供电可靠性、灵活性和经济性。通过合理选择接线方式, 如单母线分段、双母线接线或桥形接线等, 满足不同供电等级与负荷特性的要求。要保证在设备检修或故障时, 系统仍能维持必要的供电能力, 避免大面积停电事故。主接线设计还需与电网规划相匹配, 预留未来扩建和升级的接口, 适应电力负荷增长的需求。设备选型环节中, 需根据系统电压等级、短路电流水平、环境条件等参数, 精准选定断路器、隔离开关、变压器、互感器等关键设备。变压器容量与台数的确定, 要结合区域负荷预测与发展规划, 既要满足当前用电需求, 又要为未来负荷增长留出裕度。高压开关设备的选择则需注重开断能力、绝缘水平及操作性能, 确保在正常运行和故障情况下均能可靠动作。变电站的平面布置同样至关重要, 需结合电气主接线和设备特点, 科学规划配电装置、变压器区、控制楼等区

域的布局。合理的平面布置不仅能优化站内电气距离, 降低占地面积, 还能提高运行维护的便利性与安全性。要考虑防雷、接地系统的设计, 有效降低雷击过电压和跨步电压对设备与人身危害, 保障变电站长期稳定运行。通过各环节的精细设计与协同配合, 变电站电气一次设计为电力系统的稳定运行奠定坚实基础。

2 变电站电气一次设计重点分析

2.1 主接线设计

主接线设计是变电站电气一次设计的核心环节, 其设计质量直接关系到变电站运行的可靠性、灵活性与经济性。在设计过程中, 需综合考量多种因素, 如变电站的电压等级、出线回路数、负荷性质与重要程度等。以10kV变电所单母线分段接线方式为例, 该接线形式在单母线基础上增设分段断路器, 将母线分为两段, 每段母线分别连接若干出线回路与电源进线。正常运行时, 分段断路器处于闭合状态, 两段母线并列运行, 可实现负荷的均衡分配; 当其中一段母线因故障跳闸时, 分段断路器会迅速断开, 将故障段隔离, 此时非故障段母线仍能通过另一段进线维持供电, 大幅降低了全站停电的风险。这种接线形式适用于出线回路数6-12回、负荷中含有部分二级负荷的工业企业或住宅小区变电所。例如某中型机械厂, 其生产车间的数控机床属于二级负荷, 采用单母线分段接线后, 即使一段母线出现故障, 另一段母线仍能保证关键设备的持续供电, 减少生产中断损失。设计时需合理选择分段断路器的额定电流与开断容量, 并配置可靠的继电保护装置, 确保故障时能快速动作。还需考虑两段母线的负荷分配均衡性, 避免某一段母线长期过载, 在满足可靠性的前提下兼顾经济性^[1]。

2.2 电气设备选型

电气设备选型对变电站安全稳定运行至关重要, 需

综合多因素考量。变压器选型依据容量需求、电压等级、负荷特性,确定容量、绕组数等参数。负荷变化大的变电站宜选有载调压变压器,容量需留余量应对负荷增长。断路器选型需考虑额定电压、电流、开断与关合电流等,关注操作性能及寿命。10kV变电所断路器必须进行动、热稳定校核:热稳定校核需满足 $I_t^2 t \geq I_k^2 t_k$ (I_t 为热稳定电流, t 为热稳定时间, I_k 为短路电流有效值, t_k 为短路持续时间);动稳定校核要求其极限通过电流峰值不小于短路冲击电流峰值,确保抗电动力损坏。隔离开关选型依据额定电压、电流及热、动稳定电流,保证断开点明显,满足短路工况。互感器选型需其准确级、额定容量适配测量、保护与计量需求,如计量用电流互感器选0.2或0.5级。母线选型按载流量、热动稳定性选铜或铝材质及矩形、槽形等截面,平衡性能与成本。还需考虑设备可靠性、维护便利性、经济性及兼容性,综合评估选最优设备。

2.3 短路电流计算与限制

短路电流计算是变电站电气一次设计的重要内容,目的是确定各类短路故障时流经设备的电流大小,为设备选型、校验及继电保护整定提供依据。计算步骤:第一,收集系统参数(电源容量、线路阻抗、变压器参数等),确定基准容量(通常100MVA)和基准电压;第二,绘制等值电路,按标幺值法换算元件阻抗(标幺值=元件实际阻抗 $\times$ 基准容量/基准电压²);然后简化网络,合并阻抗得到短路点至电源的总等效阻抗;第三,计算电流,三相短路电流标幺值=1/总等效阻抗标幺值,再通过基准电流(基准容量/($\sqrt{3} \times$ 基准电压))换算为实际值,其他类型短路需用对应公式修正。计算需考虑系统运行方式、电源容量等因素,需分别计算三相、两相、单相接地等短路电流。短路电流过大会导致设备发热、变形、损坏甚至火灾,需采取限制措施:合理选择主接线与运行方式(如母线分段、变压器分列);串联电抗器(出线或母线分段处)利用感抗限制;选择高阻抗变压器等。准确计算并采取有效措施,可确保设备安全运行,减少故障影响^[2]。

2.4 配电装置布置

配电装置布置需综合考虑电气设备的类型、数量、尺寸、运行维护要求及场地条件等因素,以实现安全、可靠、经济且便于操作与维护的目标。在布置时,先要根据电压等级将配电装置分为不同的区域,如高压配电装置区、低压配电装置区等。对于屋内配电装置,要合理规划配电室的空间布局,确保设备之间有足够的安

全距离,满足检修与巡视的要求。设备的排列应整齐有序,便于操作与维护,例如将开关柜按功能分组排列,设置必要的通道与操作空间。对于屋外配电装置,要考虑设备的安装高度、防污、防风、防雨等因素,选择合适的设备安装方式,如采用构架式安装或箱式安装等。要合理布置母线、隔离开关、断路器等设备,保证电气连接的合理性与可靠性。还需考虑电缆沟、电缆桥架的布置,确保电缆敷设路径合理,便于施工与维护。在配电装置布置过程中,要严格遵循相关的电气安全标准与规范,如保证电气设备的最小安全净距、设置必要的防护设施等,以保障人员与设备的安全。

3 变电站电气一次设计的发展趋势

3.1 智能化与数字化

(1)随着信息技术的飞速发展,智能化与数字化成为变电站电气一次设计的重要趋势。在智能化方面,利用先进的传感器技术,可实时监测电气设备的运行状态,如变压器的油温、绕组温度,断路器的触头磨损、分合闸状态等。通过智能算法对这些数据进行深度分析,能提前预测设备故障,实现主动维护,大幅提高设备运行的可靠性。例如,智能变压器可根据负载变化自动调整分接头,优化电压输出,提升电能质量。(2)数字化则体现在变电站电气一次系统的信息交互上。采用数字化互感器,将传统的模拟量转换为数字信号,通过光纤进行高速、准确的传输,减少了信号传输过程中的损耗和干扰。基于IEC 61850标准构建统一的通信网络,实现了不同厂家设备之间的互操作性,使得变电站内的设备能够高效协同工作。如智能开关柜可将运行数据数字化后上传至监控系统,便于运行人员全面掌握设备运行情况。(3)智能化与数字化的融合,使变电站具备了自我诊断、自我优化的能力。借助大数据分析和人工智能技术,变电站可根据实时负荷、电网状态等因素,自动优化运行方式,降低能耗,提高电网运行效率。例如,智能变电站可根据不同时段的用电需求,自动调整无功补偿装置的投入量,保证电网的功率因数在合理范围内,减少线损。

3.2 环保与节能化

(1)在全球倡导绿色发展的背景下,变电站电气一次设计的环保与节能化至关重要。从设备选型来看,越来越多的环保型设备被应用于变电站。如采用SF₆气体替代传统的油绝缘设备,可避免油泄漏对土壤和水源造成的污染。新型的干式变压器因其无油、无污染、防火防爆等特点,在城市变电站中的应用日益广泛。(2)节能方面,通过优化变电站的电气主接线和设备配置,降低电能损耗。采用高效节能的变压器,其空载损耗和负载

损耗均显著低于传统变压器。合理规划变电站的无功补偿,可提高功率因数,减少无功功率在电网中的传输,降低线路损耗。例如,在负荷波动较大的变电站中,安装动态无功补偿装置,能实时跟踪负荷变化,快速调整无功补偿量,有效提高电能利用效率。(3)变电站的建设还注重对周边环境的保护。在变电站选址时,充分考虑对生态环境的影响,尽量避开生态敏感区域。在变电站建筑设计中,采用节能灯具、节能空调等设备,降低变电站自身的能耗。通过合理的绿化设计,减少变电站运行产生的噪音和电磁辐射对周边环境的影响,实现变电站与环境的和谐共生^[3]。

3.3 小型化与紧凑型

(1)随着城市土地资源的日益紧张,变电站电气一次设计的小型化与紧凑型成为必然趋势。在设备设计上,通过采用先进的制造工艺和新材料,减小设备的体积。例如,紧凑型GIS(气体绝缘金属封闭开关设备)将断路器、隔离开关、接地开关、电流互感器、电压互感器等设备集成在一个密封的金属外壳内,采用SF₆气体作为绝缘介质,大大缩小了设备的占地面积。(2)在变电站布置方面,采用紧凑化的设计理念,优化设备的布局。将功能相关的设备集中布置,减少设备之间的连接电缆和母线长度,降低投资成本的同时,也提高了变电站的可靠性。如采用模块化设计,将变电站划分为多个功能模块,每个模块在工厂预制完成后,运输到现场进行组装,不仅缩短了建设周期,还能更好地保证工程质量。(3)小型化与紧凑型的变电站设计,还能降低运行维护成本。这种设计模式下,设备得以集中布置,空间利用更为高效。巡检时,工作人员无需在偌大的场地中来回奔波,维护操作也更为便捷,大大减少了运行人员的工作量。紧凑的结构还便于统一防护,提升了整体安全性。例如,一些小型化变电站采用全封闭的结构设计,有效防止了小动物进入和灰尘积累,降低了设备故障的风险。

3.4 高可靠性与免维护化

(1)电力系统的稳定运行对社会经济发展至关重要,变电站电气一次设计的高可靠性与免维护化成为发

展的重要方向。设计过程中,会充分考量运行环境与负荷特性。在设备制造上,采用高可靠性的材料和先进的制造工艺,从源头提升设备质量与可靠性。例如,高压断路器采用新型的灭弧材料和结构,提高了其开断能力和使用寿命,减少了故障发生的概率。(2)通过智能化监测和诊断技术,实现设备的状态检修,向免维护化迈进。实时监测设备的运行参数,如温度、压力、振动等,当设备出现异常时,能及时发出预警,并提供故障诊断信息,运行人员可根据这些信息进行针对性地进行维护,避免了传统定期检修的盲目性,减少了设备停电时间,提高了设备的可用率。(3)在变电站设计中,采用冗余设计和备用电源自动投入等技术,是提高变电站整体可靠性的关键举措。具体而言,不仅重要的电气设备采用双重化配置,线路、保护装置等也进行冗余设置。当一台设备出现故障,其他冗余部分能自动投入运行,维持正常工作。备用电源自动投入装置可在市电停电时,迅速将备用电源接入,确保变电站的关键设备继续运行,保障电网的稳定运行^[4]。

结束语

综上所述,变电站电气一次设计是一项系统性、综合性的工程,主接线设计、电气设备选型、短路电流计算与限制、配电装置布置等重点环节相互关联、相互影响。在设计过程中需统筹兼顾,确保变电站运行安全可靠。面对智能化、环保节能等发展趋势,设计人员应紧跟技术前沿,不断优化设计方案,推动变电站电气一次设计迈向更高水平,助力电力行业可持续发展。

参考文献

- [1]任涛.变电站电气一次设计重点分析[J].光源与照明,2023(1):177-179.
- [2]孙艳艳.变电站电气一次设计重点分析[J].车时代,2025(3):127-129.
- [3]石宇.变电站电气一次设计重点分析[J].信息技术时代,2023(2):188-190.
- [4]李巍.变电站电气一次设计重点分析[J].中国电力企业管理,2022(24):53.