

基于水电站电气一次设计的技术研究核心思路分析

王琦

中电(福建)电力开发有限公司 福建 南平 353000

摘要:水电站作为清洁能源领域的关键基础设施,其电气一次设计对于保障电站安全、稳定、高效运行起着决定性作用。本文深入剖析基于水电站电气一次设计的技术研究核心思路,详细阐述电气一次设计的关键技术要点,全面分析所面临的挑战,并提出针对性解决策略。通过对电气一次设计各个环节的细致探讨,旨在为水电站电气一次设计提供坚实的理论支撑与实用的实践指导,进而提升水电站的整体性能与经济效益。

关键词:水电站;电气一次设计;技术研究;核心思路

1 引言

在全球能源需求持续攀升以及环境保护意识日益增强的时代背景下,水电站凭借其清洁、可再生的特性,在能源结构中的地位愈发凸显。电气一次设计作为水电站建设过程中的核心环节,直接关乎水电站的发电能力、运行可靠性以及经济效益。合理的电气一次设计能够确保水电站电气设备在复杂工况下安全稳定运行,有效提高发电效率,大幅降低运行成本,同时最大程度减少对周边环境的影响。因此,深入研究水电站电气一次设计的技术研究核心思路,对于推动水电行业的可持续发展具有不可忽视的重要意义。

2 水电站电气一次设计的技术研究核心思路

2.1 系统分析与规划

在进行水电站电气一次设计之前,需要进行全面的系统分析与规划。这包括对水电站所在地区的电力系统现状和发展规划进行调研,了解电网的电压等级、负荷特性、供电可靠性要求等信息。同时,还需要对水电站的水文、地质、气象等自然条件进行分析,为电气一次设计提供基础数据。通过系统分析与规划,确定水电站的装机容量、出线回路数、电气主接线形式等关键参数,为后续的设计工作奠定基础。

2.2 可靠性评估与优化

可靠性是水电站电气一次设计的重要目标之一。在设计过程中,需要对电气主接线、电气设备等进行可靠性评估,分析其不同运行方式下的可靠性指标,如故障率、平均无故障工作时间等^[1]。通过可靠性评估,可以发现设计中存在的薄弱环节,并采取相应的优化措施。例如,可以采用增加备用设备、优化接线方式等方法提高系统的可靠性。同时,还可以利用可靠性软件进行模拟分析,为设计决策提供科学依据。

3 水电站电气一次设计关键技术要点分析

3.1 发电机选型与参数匹配

发电机作为水电站的核心设备,其选型和参数匹配对发电效率及稳定性极为关键。选择时需考虑水头、流量等要素。水头的增加能提升转速和功率,例如水头从50米增至100米,相同流量下转速由300r/min升至600r/min,功率也翻倍。流量加大则要求发电机容量相应增大。不恰当的水轮机与发电机匹配可导致效率下降10%-20%,故应与制造商合作进行优化。此外,发电机电压、频率需与电网匹配,常见电压等级有10.5kV、35kV等,频率为50Hz,并配备自动电压调节器和调速器。

3.2 变压器容量与台数确定

变压器的选择对于水电站电气设计至关重要,需综合考量发电量、负荷变化、供电可靠性等因素。准确计算最大负荷下的电能需求,同时预留10%-20%的增长空间应对未来需求。大型水电站通过多台变压器并列运行提高可靠性,但增加了成本。单台变压器适用于小负荷或对可靠性要求不高的情况。高效节能变压器较传统型号损耗减少,有助于提升经济效益。合理规划运行避免轻载或过载状态,安装负载监测系统以实时调整参数,确保最佳工作状态,延长使用寿命^[2]。

3.3 高压试验要点

在水电站电气一次设备中,高压试验是确保设备安全可靠运行的关键环节,通过科学严谨的试验,能够提前发现设备潜在缺陷,避免设备投运后发生故障,保障水电站的稳定供电。

3.3.1 发电机试验

(1) 直流电阻试验,检测定子和转子绕组直流电阻,判断焊接、导线及匝间问题。用高精度仪器测量,不同温度下测值换算到同一温度比对,各相绕组直流电阻相互差不超过最小值的2%(无中性点引出绕组,线间差不超过1%)。(2) 交流耐压试验,对定子绕组施压考验

绝缘强度,电压依额定电压和绝缘水平确定。试验时密切监视仪表及发电机内部情况,异常时立即降压断电排查。(3)局部放电试验,检测绝缘内部局部放电,用专门仪器在绕组施压,测放电量、次数等参数与标准值比对判断绝缘状况。

3.3.2 主变试验

(1)绝缘电阻和吸收比试验,测量主变绕组的绝缘电阻和吸收比,以评估绕组绝缘的受潮程度和整体绝缘状况。绝缘电阻的测量应在不同温度下进行,并根据温度换算公式进行修正。吸收比是指在同一次试验中,加压60s时的绝缘电阻值与加压15s时的绝缘电阻值之比,一般要求吸收比不低于1.3(对于额定电压为1000V及以上的绕组)。(2)介质损耗因数($\tan \delta$)试验,介质损耗因数是反映绝缘介质在交流电压作用下能量损耗的一个参数,它对绝缘受潮、老化等缺陷较为敏感。通过测量主变绕组的介质损耗因数,可以判断绝缘的性能。试验时,应采用精度较高的介质损耗测试仪,在规定的试验电压和频率下进行测量,并与历史数据和标准值进行比较。(3)绕组变形试验,主变在运输、安装或运行过程中,可能会受到短路电流的冲击,导致绕组发生变形。绕组变形会影响主变的电气性能和机械强度,严重时甚至会引发主变损坏事故。绕组变形试验通常采用频率响应分析法或低压脉冲法,通过测量主变绕组在不同频率下的频率响应特性或低压脉冲响应波形,与原始数据进行比较,判断绕组是否发生变形。

3.3.3 断路器试验

(1)机械特性试验,包括断路器的分合闸时间、分合闸同期性、分合闸速度等参数的测量。这些参数直接影响到断路器的开断性能和灭弧能力。试验时,采用断路器机械特性测试仪,按照规定的试验方法和接线方式,对断路器进行多次分合闸操作,记录相关参数,并与产品技术条件进行比较,要求各项参数符合规定要求。(2)导电回路电阻试验,测量断路器导电回路的电阻值,以检查导电回路连接部位是否接触良好,有无过热、氧化等缺陷。导电回路电阻的测量应采用直流压降法,在断路器合闸状态下,在导电回路两端施加一定的直流电流,测量回路两端的电压降,根据欧姆定律计算出导电回路电阻值。一般要求导电回路电阻值不大于产品出厂试验值的120%。(3)绝缘电阻和交流耐压试验,对断路器的绝缘部分进行绝缘电阻测量和交流耐压试验,以检验其绝缘性能。绝缘电阻测量应包括对地绝缘电阻和相间绝缘电阻,测量方法和要求与发电机、主变类似。交流耐压试验应根据断路器的额定电压和绝缘水平确定试

验电压,试验过程中应密切监视断路器的运行状态,确保试验安全^[3]。

3.3.4 避雷器试验

(1)绝缘电阻试验,测量避雷器的绝缘电阻,以判断其绝缘是否受潮或存在其他缺陷。测量时,采用绝缘电阻测试仪,在避雷器两端施加规定的直流电压,测量绝缘电阻值。对于不同类型和电压等级的避雷器,其绝缘电阻值的要求有所不同,一般应符合相关标准的规定。(2)直流1mA电压(U_{1mA})及0.75 U_{1mA} 下的泄漏电流试验, U_{1mA} 是指通过避雷器的泄漏电流为1mA时的直流电压值,它反映了避雷器阀片的非线性特性。0.75 U_{1mA} 下的泄漏电流则是衡量避雷器在正常运行电压下的绝缘性能和受潮情况的重要指标。试验时,应采用直流高压发生器,逐步升高电压,测量 U_{1mA} 和0.75 U_{1mA} 下的泄漏电流值,并与出厂试验值和历史数据进行比较,要求 U_{1mA} 实际值与初始值或制造厂规定值比较,变化不应大于 $\pm 5\%$,0.75 U_{1mA} 下的泄漏电流不应大于50 μA 。

3.4 开关站设计要点置

开关站是水电站电气一次系统的重要组成部分,它承担着电能的汇集、分配和传输任务,其设计的合理性直接影响到水电站的运行可靠性、安全性和经济性。以下是开关站设计的关键要点:

3.4.1 电气设备选型与布置

(1)主变压器选型,主变压器的容量应根据水电站的装机容量、发电出力曲线和系统负荷需求等因素进行选择,要保证在各种运行工况下都能满足电能传输和变换的要求。同时,要考虑主变压器的短路阻抗、损耗、温升等技术参数,选择性能优良、可靠性高的产品。主变压器的布置应便于散热、检修和运输,一般采用户外布置方式,设置在专门的主变压器区域内,周围应设置防护围栏和消防设施。(2)高压开关设备选型,高压开关设备包括断路器、隔离开关、接地开关等,其选型应根据开关站的额定电压、额定电流、短路容量等技术参数进行选择。要选择具有良好开断性能、机械寿命长、操作可靠的产品。高压开关设备的布置应符合电气安全距离的要求,便于操作和维护。断路器一般采用户外敞开式布置或GIS(气体绝缘金属封闭开关设备)布置,GIS具有占地面积小、可靠性高、维护工作量小等优点,但造价较高,应根据实际情况进行选择。(3)无功补偿装置选型与布置,为了提高水电站的功率因数,减少电能损耗,改善电压质量,开关站应设置无功补偿装。常优点,适用于对电压波动和闪变要求较高的场合。无功补

偿装置的布置应考虑其散热、防被保护设备处于避雷针或避雷线的保护范围内。同时,要在电气设备上装设避雷器,以限制用的无功补偿装置有并联电容器组和静止无功补偿器(SVC)等。并联电容器组具有结构简单、造价低、运行维护方便等优点,适用于对无功补偿要求不高的场合;SVC具有响应速度快、调节性能好等火、防爆等要求,一般设置在专门的无功补偿区域内,并与周围设备保持一定的安全距离。

3.4.2 防雷与接地设计

(1) 防雷设计,开关站应设置完善的防雷保护装置,以防止雷电过电压对电气设备的损坏。一般采用避雷针、避雷线作为直击雷保护装置,将其安装在开关站的适当位置,确保雷电过电压的幅值,保护设备绝缘。避雷器的选择应根据设备的额定电压和绝缘水平进行,其安装位置应靠近被保护设备。(2) 接地设计,良好的接地系统是保证开关站安全运行的重要措施。开关站的接地网应采用水平接地体和垂直接地体相结合的方式,形成均匀的接地网络。接地网的接地电阻应满足相关标准的要求,一般不大于 0.5Ω (对于大型开关站或对接地电阻要求较高的场合)。在接地网的设计中,要考虑土壤电阻率、接地体的材料和尺寸等因素,并采取降低接地电阻的措施,如换土、使用降阻剂等。同时,要确保电气设备的外壳、构架等与接地网可靠连接,保证人身和设备安全^[4]。

3.4.3 电缆敷设与防火设计

(1) 电缆敷设,开关站内的电缆敷设应根据电缆的类型、数量、走向等因素进行合理设计。电缆可以采用电缆沟、电缆隧道、电缆桥架等方式敷设。电缆沟和电缆隧道应具有良好的防水、排水、通风等设施,并设置防火隔墙和防火门,以防止火灾蔓延。电缆桥架应具有足够的强度和刚度,能够承受电缆的重量和外界荷载,同时要考虑电缆的散热和检修方便。(2) 防火设计,由于开关站内电气设备集中,电缆数量多,一旦发生火灾,后果将十分严重。因此,必须采取有效的防火措施。在电缆敷设过程中,要对电缆进行防火分隔,采用防火涂料、防火包带等对电缆进行防火处理。在电缆夹层、电缆竖井等部位,应设置火灾自动报警系统和灭火装置,如气体灭火系统、水喷雾灭火系统等,以便及时发现和

扑灭火灾。同时,开关站的建筑物应采用耐火材料建造,设置防火门窗和疏散通道,确保人员安全疏散。

4 水电站电气一次设计面临的挑战及解决策略

水电站电气一次设计面临复杂地质与环境条件、新能源接入与电网协调、智能化自动化要求提高及环保生态约束增强等挑战。在地质环境方面,需考虑山区或高海拔地区的特殊风险,如地质灾害和空气稀薄对绝缘性能的影响;新能源接入则要求解决与风电、光伏等的协同运行问题,确保电网稳定;智能化与自动化需求推动了更复杂的通信网络与控制系统设计;环保要求注重减少噪音、电磁辐射,并保护河流生态系统。针对这些问题,提出了以下策略:加强地质勘探与环境评估以降低不利因素影响;研究新能源接入技术并优化联合调度模型;引入先进技术和人工智能构建安全可靠的智能监控系统;将环保理念融入设计全过程,采用环保材料和技术手段减轻对生态环境的影响。通过这些措施,可以有效应对水电站电气一次设计中的各项挑战,实现高效、安全、环保的电站建设目标。

结语

水电站电气一次设计是一个复杂而系统的工程,涉及多个方面的技术研究和决策。基于系统分析、可靠性评估等核心思路,能够确保电气一次设计满足水电站的实际运行需求。在关键技术要点上,如发电机选型、变压器配置等,需要精心规划和优化。未来,随着技术的不断进步和能源需求的持续变化,水电站电气一次设计需要不断创新和完善,以更好地服务于水电站的安全稳定运行和可持续发展,为能源供应和环境保护做出更大贡献。

参考文献

- [1]杨倩.水电站电气一次设计方案的优化[J].四川水力发电,2023,42(04):114-118.
- [2]何锴君,余位权,何科.大龙潭水电站电气一次设计[J].小水电,2023,(06):39-42.
- [3]李亚,常学军.CCS水电站电气一次设计主要特点及思考[J].电气技术与经济,2024,(04):353-355.
- [4]龚定文.基于水电站电气一次设计的技术研究[J].内蒙古水利,2020,(01):74-76.