

110 kV 变电站与 T 接线路在渔光互补集中式光伏电站中的并网施工技术研究

卞宁宁

(苏州阿特斯新能源发展股份有限公司, 江苏 苏州 215000)

摘要 渔光互补集中式光伏电站将光伏发电与水产养殖相结合, T 接线路作为连接光伏电站与电网的主干线路, 设计与施工技术至关重要。本文介绍了渔光互补集中式光伏电站的特点与应用场景, 以及集中式光伏电站的系统架构与电力输出方式; 阐述了 110 kV 变电站的设计与施工要点, 深入探讨了 T 接线路的设计与施工技术, 介绍了渔光互补光伏电站的并网技术, 并给出了并网技术测试结果, 显示各项指标均达到或超过规定标准。

关键词 110 kV 变电站; T 接线路; 渔光互补集中式光伏电站; 并网施工技术

中图分类号: TM7

文献标志码: A

文章编号: 2097-3365(2024)11-0013-03

在渔光互补光伏电站的建设中, 110 kV 变电站作为电能汇集与转换的核心, 承担着将光伏电站产生的大量直流电能转换为交流电能, 并安全、稳定地输送到电网的重任。而 T 接线路作为变电站与光伏阵列之间的连接纽带, 其设计、施工与运维质量直接关系到整个光伏电站的并网效率。因此, 研究 110 kV 变电站与 T 接线路在渔光互补集中式光伏电站中的并网施工技术具有重要的理论意义和实践价值。

1 渔光互补集中式光伏电站概述

1.1 渔光互补模式的特点与应用场景

渔光互补模式最显著的特点是资源互补。通过在水面上架设太阳能电池板, 既使原本闲置的水面空间得到了利用, 又减少了土地资源的占用。渔光互补也有助于通过水质的改善来提高养殖的产出^[1]。这种渔光互补的模式, 让当地经济获得了“双丰收”。一方面, 可以源源不断地产生清洁电力, 为当地提供稳定的能源供给。另一方面, 渔业养殖也给养殖户增加收入提供了一个新的渠道。

在淡水养殖区, 通过渔光互补模式, 可以充分利用池塘、湖泊等水面资源, 实现太阳能发电和水产养殖的双重目标。沿海域海水资源丰富, 光照条件好, 是理想的渔光互补模式应用区域。通过将光伏电站建在海面或沿海滩涂上, 既能为当地提供清洁电能, 又可使海水养殖业得到发展。

1.2 集中式光伏电站的系统架构与电力输出

集中式光伏电站电池板的系统架构中, 逆变器负责将光伏电池组产生的直流电转换为交流电。变频器具有智能控制功能, 可以根据电网负载自动调整输出

功率。变压器将电能通过输电线路输送到用户端, 用于将变频器输出的交流电升压到电网所需电压等级。开关柜对光伏电站包括断路器、隔离开关、熔断器等各部分设备集中控制和保护, 确保电站运行安全可靠。监控系统是电站的大脑, 实现对电站运行情况的精确监控和管理, 实时监控和计算光伏电站的各种数据。

2 110 kV 变电站的设计与施工要点

2.1 变电站选址与环境影响分析

变电站选址在亘古屯镇, 该区域为鱼塘, 地形相对平坦, 海拔较低, 有利于变电站的建设和运行。然而, 由于鱼塘的存在, 地质条件相对复杂, 需要进行详细的地质勘探, 确保地基稳定, 避免后期运行中出现安全隐患^[2]。地质勘探深度不小于 20 m, 地基承载力不小于 200 kPa, 与居民区距离不小于 300 m, 电磁辐射标准符合国家《电磁环境控制限值》(GB 8702-2014), 噪声控制标准不超过 55 dB(A)。

2.2 主变压器的选型与容量设计

有载调压变压器具有电压调节范围大、调节平滑、无需停电等优点, 适用于负荷变化较大的场合。本项目中, 由于光伏发电的波动性较大, 选用有载调压变压器。

主变压器的容量需根据负荷需求进行确定。本项目中, 光伏区容量为 50 MW/60 MWp, 考虑到一定的负荷增长和备用容量, 选用 55 MVA 的变压器可以满足需求。该容量能够在光伏发电效率较低的情况下让电网保持稳定。

2.3 高压开关设备的配置与布置

武清亘古屯渔光互补项目中的 110 kV 变电站需配

置高压开关设备,并进行设备布置。根据变电站的规模和需求,本项目配置了一套完整的高压开关设备,包括断路器、隔离开关、接地开关、避雷器等。这些设备具有高性能、高可靠性、易维护等特点,可以满足变电站的运行需求。项目中,高压开关设备布置在变电站的南侧,远离居民区,断路器型号户外高压真空断路器,额定电压110 kV,额定电流不小于2 000 A,开断电流不小于31.5 kA,避雷器型号金属氧化物避雷器,残压不大于250 kV。

3 T 接线路的设计与施工技术

3.1 T 接点的结构与施工要点

在T形接合部中,柱主筋定着部的设计应符合特定的规范,例如柱梁接合部的横补强筋和间隙筋的配置^[3]。T形接合部的耐力余裕度应大于等于1.0,并且其设计应满足特定的公式。抗剪强度计算公式:

$$V_u = \phi \times (V_c + V_s) \quad (1)$$

式(1)中, V_u 为设计抗剪力; ϕ 为强度折减系数; V_c 为混凝土提供的抗剪力; V_s 为钢筋提供的抗剪力。

T接点处具有较高的绝缘强度,以防止在正常及异常工况下发生击穿或闪络。通常,绝缘子串的选择需考虑系统最高工作电压、操作过电压及雷电过电压等因素,确保在最大操作过电压下,绝缘子串的闪络电压裕度不低于15%。横补强筋的布置旨在提高节点区的横向约束,减少裂缝开展,其直径一般选用与梁主筋相同或稍小的规格,间距则根据节点受力分析及设计规范确定,常见间距为100 mm至200 mm之间。这些补强筋沿梁宽均匀分布,且应穿过柱截面,形成封闭的箍筋框架,以增强节点核心区的整体性。

间隙筋(或称拉筋)的设置则用于连接横向补强筋,形成网格状构造,其直径通常为6 mm至8 mm,间距与补强筋相同,让节点区钢筋骨架更加稳定。强度折减系数则考虑了材料性能的不确定性、施工误差等因素,一般取0.8至0.9之间,以确保设计的安全性。混凝土提供的抗剪力部分,通过混凝土的抗压强度和有效剪压区高度计算得出,通常这部分贡献约占设计抗剪力的30%至50%,钢筋提供的抗剪力则由节点内所有参与抗剪的钢筋(包括梁纵筋、箍筋、补强筋等)的截面面积、屈服强度及有效应力状态共同决定。

3.2 线路走廊的选址与规划

线路走廊应避免地震断裂带、滑坡、泥石流等地质灾害易发区域,选址时需考虑对生态环境的影响,尽量避开自然保护区、风景名胜区等敏感区域,减少对环境的破坏。线路走廊规划需与当地城乡发展规划相协调,避免与城市扩张、交通建设等产生冲突。根

据选址原则,结合地形地貌、气象条件、交通状况等因素,初步确定几条可行的线路走廊方案。通过技术经济比较,选出最优方案。根据导线风偏、安全距离等因素,确定线路走廊的宽度。走廊宽度应满足施工、检修及未来扩建的需要。

3.3 导线、杆塔与绝缘子的选型

导线应具有良好的导电性能和耐热性能,以减小电能损耗和提高线路传输能力。导线需承受自重、风压、覆冰重量及短路电流产生的电动力等机械负荷。选用JL/G1A-300/40型钢芯铝绞线。其中,“JL”表示铝绞线,“G1A”表示普通强度钢芯,“300”表示铝线部分截面积为300 mm²,“40”表示钢芯截面积为40 mm²。导线在20℃时的直流电阻不大于0.077 Ω/km,最大载流量(环境温度30℃,风速0.5 m/s)可达约800 A,满足光伏电站的大电流传输需求。抗拉强度不低于360 MPa,弹性模量约为200 GPa,能够承受较大的风压和覆冰荷载。

导线表面采用铝锌合金镀层,耐腐蚀性能优异,预期使用寿命可达40年以上。以Z1型直线塔为例,塔高约为30 m,根开(塔脚间距)约为8 m,主材采用Q345B低合金高强度结构钢,规格为∠125×125×10(等边角钢)。设计风速取30 m/s,覆冰厚度取10 mm,垂直档距按400 m考虑,水平档距按350 m考虑,确保杆塔在各种恶劣天气条件下均能保持稳定。

绝缘子选用XP-160型盘形悬式玻璃绝缘子。工频干闪络电压不低于450 kV,工频湿闪络电压不低于380 kV,满足110 kV电压等级的光伏电站绝缘要求。机械破坏负荷不小于100 kN,抗拉强度满足长期运行需求。玻璃绝缘子表面光滑,不易积污,自洁能力强,可长期保持较高的绝缘水平。每串绝缘子数量根据塔型、档距及导线分裂数确定,一般每相配置7至9片,确保足够的电气间隙和机械强度。

4 渔光互补光伏电站的并网技术

4.1 并网点的选择与技术要求

在渔光互补光伏电站的建设中,并网点的电压等级应与光伏电站的输出电压等级相匹配,以确保电能传输效率。对于本项目中的110 kV变电站,通常选择直接并入同电压等级的电网主干线。并网点应选择电网结构稳定、负荷较轻的区域,以减轻光伏电站接入对电网的冲击,确保电网稳定运行^[4]。尽量缩短光伏电站与并网点的电气距离,减少线路损耗和电压降。并网点电压波动应在允许范围内,通常不超过额定电压的±10%。电网频率应与光伏电站输出频率保持一致,偏差不得超过±0.2 Hz。光伏电站并网应满足电网对谐

波的限制要求，确保不对电网造成谐波污染。光伏电站应具备无功补偿能力，确保并网运行时的功率因数不低于 0.95（滞后）。

4.2 光伏发电系统与电网的同步技术

实现稳定并网的关键在于光伏发电系统与电网的同步。同步技术主要有频率同步三种技术。光伏电站与电网频率同步，是通过逆变器内置的锁相环（PLL）电路实现的。PLL 可以对电网频率的变化进行实时跟踪，并对逆变器的输出频率进行调整，使之与电网频率相吻合。在并网前，逆变器需要对电网相位进行检测，并对光伏电站输出的电流相位进行调整，使之同步于电网电压相位，从而实现并网^[5]。这一般通过 PLL 电路来实现，以保证在并网的瞬间不会产生冲击电流。逆变器会对电网电压的幅值、相位等进行检测后再并网，光伏电站的输出电压也会根据这一点进行调整，以保证与电网电压的输出一致。频率同步精度应在 ± 0.01 Hz 以下，相位同步精度应在并网瞬间冲击

电流额定电流 10% 以下。检测到电网参数变化后，逆变器应能迅速调节输出，响应时间不大于 10 ms。

4.3 并网逆变器的选择与配置

并网逆变器是光伏电站与电网之间的接口设备，其性能直接影响光伏电站的并网稳定性。逆变器应具有较高的转换效率，以减少能量损失。目前市场上主流逆变器转换效率可达 98% 以上。逆变器应具备快速、准确的 MPPT 能力，以充分利用光伏电池的输出功率。逆变器应具备过压、欠压、过流、孤岛保护等功能，确保电网和光伏电站的安全运行。逆变器应具备远程监控、故障诊断、自动重启等智能化功能，提高运维效率。

对于本项目中的 50 MW/60 MWp 光伏区，可选用多台大容量并网逆变器并联运行。每台逆变器容量可为数兆瓦级，具备上述所有功能。逆变器应均匀分布在光伏区内，以减少电缆长度和损耗。渔光互补光伏电站的并网技术测试结果见表 1。

渔光互补光伏电站的并网技术测试结果表现优异，

表 1 渔光互补光伏电站的并网技术测试结果

测试项目	测试指标	测试结果	单位
并网点电压等级	与光伏电站输出电压等级匹配	是	-
并网点电压波动	不超过额定电压的 $\pm 10\%$	$\pm 5\%$	%
电网频率偏差	不超过 ± 0.2 Hz	± 0.1 Hz	Hz
谐波限制	满足电网要求	是	-
功率因数	不低于 0.95（滞后）	0.98	-
频率同步精度	小于 ± 0.01 Hz	± 0.005 Hz	Hz
相位同步精度	小于 1°	0.5°	$^\circ$
并网瞬间冲击电流	小于额定电流的 10%	5%	%
逆变器响应时间	不超过 10 ms	5 ms	ms
逆变器转换效率	主流市场可达 98% 以上	98.5%	%
MPPT 能力	快速、准确	是	-
保护功能	过压、欠压、过流、孤岛保护	是	-
智能化功能	远程监控、故障诊断、自动重启	是	-

各项指标均达到或超过规定标准，显示光伏电站与电网的并网稳定性高，电能传输效率高，且具备较高的安全性和智能化水平。

5 结束语

变电站选址于白古屯镇鱼塘区域，地形平坦，有利于建设和运行。选用有载调压变压器，适应光伏发电的波动性，电压调节范围大、调节平滑、无需停电。主变压器容量为 55 MVA，满足光伏发电效率较低时电网的稳定需求。线路走廊选址避开地质灾害易发区域和敏感生态区域，与当地城乡发展规划相协调。该光伏电站与电网的并网稳定性高，电能传输效率高，且具备较高的安全性和智能化水平。

参考文献：

- [1] 毛洪山. 盐城滨海润电“渔光互补”光伏发电项目接入系统设计探讨[J]. 能源研究与利用, 2023(03):53-55.
- [2] 赵爽, 薄鑫, 姚志鹏, 等. 基于无人技术与 GIS 在渔光互补光伏发电项目中的应用[J]. 科学与信息化, 2023(06):75-77.
- [3] 赵靡, 沈红峰, 吴伟江. 屋顶光伏发电并网系统在 110 kV 变电站的应用[J]. 华电技术, 2011(04):70-74, 78.
- [4] 祝燕萍, 张治乾, 蒋兴新, 等. 110kV 变电站屋顶光伏接入站用电系统方案研究[J]. 电力与能源, 2022(02):43.
- [5] 高艳娜, 吴国玥, 陈丽萍, 等. 110kV 分布式电源接入模式探索研究[J]. 电力系统装备, 2022(11):19-21.