

响水风电场风力发电机组的一次电气接电技术

李 勇

(中国水电七局有限公司机电安装分局,四川 彭山 620860)

摘要 介绍响水风电场 FD77-1.5MW 风力发电机组一次电气接电技术中的接入电力系统方式 给出了电气主接线的几种方案,并对方案进行比较,提出更佳的接线方案,使主接线更加经济可行。给出了 220 kV 配电装置主变压器和风力发电机组选型与布置以及 2 种配电方案及其经济性比较,提出了更优方案。最后对过电压保护及接地和接地装置的相关技术进行了介绍。

关键词 风电机组;一次电气 接线方案 响水风电场

中图分类号 TM645.1

文献标识码 B

文章编号 1006-7647(2010)S2-0030-03

江苏响水风电场共安装 134 台 1.5 MW 风力发电机组,采用两级升压方式。电气接线和电气连接应可靠,所需要的连接件如接插件、连接线、接线端子等应能承受所规定的电(电压、电流)、热(内部或外部受热)、机械(拉、压、弯、扭等)和振动影响;母线和导电或带电的连接件按规定使用时,不应发生过热松动或造成其他危险的变动;在风力发电机组组装时,应标明发电机转向及发电机出线端的相序,应按标号接线,并在第一次并网时检查相序是否相同;电气系统及防护系统的安装应符合图样设计要求,保证连接安全、可靠,不得随意改变连接方式。电气设计图样规定连接内容外的其他附加电气线路的安装(如防雷系统)应按有关文件或说明书的规定进行;机舱至塔架底部控制柜的控制及电力电缆应按国家电力安装工艺中的有关要求安装;承包人负责导电轨的安装,并负责风机高压绝缘测试。这些电气设备的接线非常重要,其好坏将影响风电机组的整体性能。

1 一次电气

1.1 接入电力系统方式

目前江苏电网缺电严重,并且缺乏可供开发的煤炭、水力资源,一次能源主要靠省外供给。响水风电场位于响水县陈家港沿海滩涂,风能资源丰富,具有较高的开发价值。响水风电场的投产对改善和缓解县电网的供电压力起到积极的作用。

响水电网位于盐城电网北部末端,北部为连云港电网。2005 年新建投产的 220 kV 响水变电所,一期工程主变规模为 $1 \times 120 \text{ MVA}$ 。220 kV 响水变电所建成投产后,响水电网改由 220 kV 响水变电所主供,大大增加了供电的安全性和可靠性。

响水电网无地方小电源,主要依赖大电网供电。2004 年响水县最高供电负荷约 65 MW,2005 年最高供电负荷约 67 MW,“十一五”规划末期供电负荷达到 112.81 MW。因此,响水风电场的建设投产,对改善盐城市电网的供电能力起到极大的作用。

响水风电场按接入系统统计报告及该工程装机容量大、出力变化频繁的特点,应接入 220 kV 电网。风电场以 1 回 220 kV 线路接入 220 kV 响水变电所,线路长度为 37 km。为此风电场配套建设 1 座 220 kV 升压变电站。

1.2 电气主接线

响水风电场风电机单机容量为 1.5 MW,风电机出口电压为 690 V,每台风电机配置 1 台箱式变电站。分解风电场装机规模及接入系统电压等级,风电场输变电系统采取二级升压方式。箱变高压侧电压等级有 10 kV 或 35 kV 两种电压可供选择,现对 10 kV、35 kV 两种升高电压的输电线路方案进行比较。

a. 采用 10 kV 架空线输电方案。联合后由 LGJ150 线送至 220 kV 升压变电站,通过经济电流密度计算,每回线路最大可输送约 4 500 kW。根据风电机布置情况,风电场共设 45 回 10 kV 架空线路。

由于集电线路输电距离较远,电压损失较大,较远处架空集电线路回路电压损失超过 7%,且线路走廊十分拥挤。由于 10 kV 架空线路损耗较大,年运行费用较高,该方案经济及技术性能均不理想,故该工程不予考虑。

b. 采用 10 kV 电缆输电方案。690 V 风机电电压经箱变升压至 10 kV,联合后经 ZSFF-YJYJ22-3 × 400 ~ 3 × 5 008.7/10 kV 防水防腐电缆送至 220 kV 升压变电站,每回线路最大输送容量约 9 000 kW。根据风电机布置情况,5 ~ 6 台风电机组成 1 个联合单元,风电场共设 23 回 10 kV 电缆集电线路。由于 10 kV 电缆集电线路输送容量不大,输电回路较多,且联合单元输电回路电缆截面大,该方案投资高,故不予考虑。

c. 采用 35 kV 架空线输电方案。690 V 风机电电压经箱变至 35 kV 联合后经 LGJ-150 架空线送至 220 kV 升压变电站,通过经济电流密度计算,每回线路最大可输送约 15 000 kW。根据风电布置情况,风电场共设 14 回 35 kV 架空集电线路。

d. 采用 35 kV 电缆输电方案。690 V 风机电电压经变升压至 35 kV,联合后经 ZSFF-YJYJ22-3 × 15 026/35 kV 防水防腐电缆送至 220 kV 升压变电站,每回线路最大可输送 18 000 kW。根据风电机布置情况,风电场共设 14 回 35 kV 电缆集电线路。

对风电场 35 kV 电压等级 2 种集电线路方案进行经济比较,见表 1,表 2。

经比较可以发现:架空线输电方案的年电能损耗比电缆输电方案高 50 万元,而架空线输电方案可比投资比电缆输电方案低 5 649 万元。集电线路运行的安全性、可靠性方面:电缆输电方案要高于架空线输电方案。因此,响水风电场集电线路推荐选用 35 kV 架空线输电方案。

风电机-箱变接线方式:风电机出口电压为 690 V,通过箱式变电站升压值为 35 kV。单元接线具有电能损耗少、接线简单、操作方便以及任何 1 台风电机故障不影响其他电机运行等优点,因此该工程推荐风电机-箱变组合采用单元接线方式,箱变高压侧采用联合单元接线方式。

表 2 35 kV 集电线路的运行经济性比较

电缆规格	35 kV 架空线路 损耗/(万元·a ⁻¹)	35 kV 电缆线路 损耗/(万元·a ⁻¹)
ZSFF-YJYJ22-3 × 50 ~ 150	3	163
LGJF-150/25	210	

注 35 kV 架空线路损耗合计 213 万元/a,差价 0 万元/a;35 kV 电缆线路损耗合计 163 万元/a,差价 50 万元/a;变压器负载损耗参照 GB/T 6451《线路参数手册》;最大运行时间取 2 200 h,损耗时间取 1 000 h;电价取 0.6 元/(kW·h)。

集电线路及主变压器按风电机布置及线路走向划分,风电场共设 14 回 35 kV 架空集电线路。各联合单元由 1 回 35 kV 架空集电线路接至 220 kV 升压变电站 35 kV 配电装置。主变压器设置:该工程总装机容量为 201 MW。考虑风电场风电机满发同时率极低,风电场设置了 2 台 100 MVA,220/35 kV 升压变压器,可满足要求。

2 升压变电站接线方式

升压变电站及 2 种接线方式:①35 kV 配电装置接线,风电场 35 kV 配电装置 14 回进线、2 回出线,采用单母线分段接线方式;②220 kV 配电装置接线,配电场 220 kV 配电装置 2 回进线、1 回出线,采用单母线接线方式。

2.1 场用电源

工程场用电设 2 台常用变压器互为备用,电源分别引自 35 kV 母线的 I、II 段,变压器采用 SC-200/35,200 kVA,35 ± 2 × 2.5%/0.4 kV。为提高风电场场用电供电可靠性,保留施工外接电源作为场用电源的备用电源,低压侧各设 6 面场用配电盘。

2.2 消弧消弧

因风机数量较多,每台风电机引至 35 kV 架空线,以 35 kV 架空线进入 220 kV 升压变电站,水库边缘部分采用交联铠装电力电缆,35 kV 系统单相节点电容电流大于 10 A。根据规范要求,对 35 kV 系统进行消弧消弧补偿。因此,工程装设 2 台 XHB35-63/1 型或类似型号消弧消弧设备。

2.3 无功补偿

按计入系统设计报告要求,风电场采用双馈风力发电机,则风电场可不装设无功补偿装置。该工

表 1 风电场 35 kV 两种方案经济比较

电缆规格	单位费用/ (万元·kW ⁻¹)	35 kV 架空线参数	35 kV 架空线输电 方案费用/万元	35 kV 电缆线参数	35 kV 电缆输电 方案费用/万元
ZSFF-YJYJ22-3 × 50 26/35 kV	43	18.0	774	50	2 150
ZSFF-YJYJ22-3 × 70 26/35 kV	47	0.7	33	19	893
ZSFF-YJYJ22-3 × 120 26/35 kV	60			20	1 200
ZSFF-YJYJ22-3 × 150 26/35 kV	70	7.0	490	78	5 460
LGJF-150 35 kV 单回	30	85.0	2 550		
LGJF-150 35 kV 双回	36	47.0	1 692		

注 35 kV 架空线输电方案可比投资合计 6 364 万元,差价为 0 万元;35 kV 电缆输电方案费用可比投资合计 12 013 万元,总价 5 649 万元。

程风电机拟采用带变频系统的双馈电机,功率因数可调,风电机可发出或吸收少量无功,功率因数在-0.95~+0.95范围内可调。因此,该风电场不安装并联电容器补偿装置。

2.4 主要电气设备的选择

根据一次介入系统设计报告短路电流计算,系统提供至风电场 220 kV 母线短路远景电流值为 13.4 kA。根据现有条件,经计算,风电场等值阻抗示意图如图 1 所示,电流汇总表如表 3 所示。

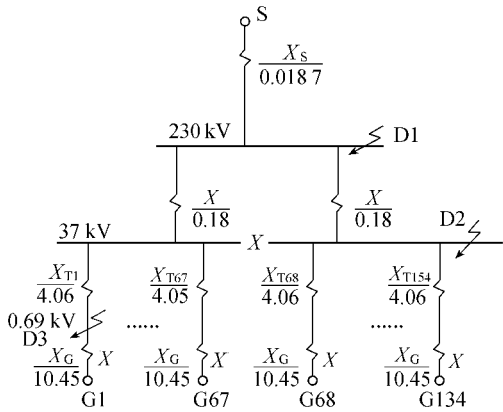


图 1 风电场等值阻抗示意图

表 3 电流汇总表

短路点 编号	短路点 电压/kV	短路电流 值/kA	冲击系数 k_{ch}	冲击电流 $i_{ch} = \sqrt{2} k_{ch} I''_z$ /kA	短路容量 s/MW
D1	230	14.28	1.85	37.36	5713
D2	37	23.67	1.85	61.93	1517
D3	0.69	19.28	1.90	51.81	23

风电场变电站位于沿海滩涂,处于环境潮湿、重烟雾地区。同时土壤含盐量较高,在设备选择与安装敷设时应考虑上述不利因素。主要设备选择如下:

a. 风力发电机组。采用变桨距风力机,发电机是带转子绕组、滑环和变频系统的双馈异步电机。风电机可在不同速度进行运转,功率因素可调。主要电气参数:额定容量为 1.5 MW,额定电压为 690 V,额定功率为 50 Hz,额定功率因素 $\cos \varphi = 1$ (-0.95 ~ +0.95 可调),数量为 134 台。

b. 主变压器。风电场总装机容量为 201 MW。选用 2 台 100 MVA 三相铜绕组自然油循环自冷却型油浸式有载调压电力变压器。主要电气参数:型号为 SZ10-100 000/220,容量为 100 000 kVA,电压组合为 $230 \pm 8 \times 1.25\% / 25$ kV,连接组标号为 YNd11,阻抗电压 $U_k = 18\%$,数量为 2 台。

c. 220 kV 配电装置选型与布置。风电场 220 kV 配电装置 2 回进线 1 回出线,采用单母线接线。

下面对 SF6 全封闭组合电器(GIS)设备户内布

置和常规设备户外敞开布置 2 种 220 kV 配电方案进行比较。

方案 1:采用 GIS 设备户内布置。根据 220 kV 侧接线,GIS 室面积为 362 m²,层高为 8.1 m,占地面积和空间较小,运行可靠性高,外绝缘事故少。由于 SF6 气体性能衰减以及因电弧开段引起的弧触头磨损很小,断路器几乎不需要检修,安装调试容易,维护工作量极小,检修周期比常规设备长约 5~10 倍,环境保护好,适应性强,适合于该工程。GIS 设备比常规敞开式设备价格稍高,均按国产设备考虑。

方案 2:采用常规设备户外敞开式布置。根据 220 kV 侧接线方式及进出线方向,220 kV 配电装置采用屋外支持式管母中型断路器单列布置方式,占地面积为 2 115 m²。该方案占地面积大,电气设备需加强绝缘。

2 种方案的优缺点比较如下:①电气设备投资。方案 1 中国产 GIS 设备投资约为 800 万元,方案 2 中电气设备投资约为 500 万元。②土建费用。方案 1 占地面积为 29 m×12.5 m,GIS 室建筑物及土建综合投资约 50 万元,方案 2 占地面积为 45 m×47 m,电气设备基础及支架、进出线构架土建综合投资约为 100 万元。③风资源是不可存储的随机能源,可靠性高,对风电场 25 年经营期的经济效益更为可观。而 GIS 设备在可靠性方面远高于敞开设备,比较适合该工程选用。

综上所述,方案 1 投资比方案 2 高出 250 万元,但方案 1 维护工作量小、适应性强、运行可靠性高、经营期的经济效益较好。此外,因 220 kV 升压变电站地处海滩,长年受盐雾侵袭,容易造成设备放电事故。如果事故频繁出现,将严重影响风电场安全运行,并对电网造成一定冲击。虽然一次性投资较少,却会因此增加运行维护工作量及停电损失的费用。

35 kV 输电线路经比较,该工程输电线路选用架空线路,每台风电机引致 35 kV 架空线,输电线路进变电站,水库边缘部分采用高压电缆。

3 过电压保护及接地

a. 直击雷保护。响水地区雷电活动频繁,应加强防雷保护。除风力发电机本身设置防雷装置外,还要采用相应的措施,如风力发电机机壳、塔架应与接地网可靠相连、风力发电机防雷引下线与接地网相连处应敷设冲击接地网、利用管桩作为冲击接地极、风电场综合楼屋顶采用避雷带保护、主变采用配电楼顶避雷带保护、35 kV 集电架空线路全线架设避雷线保护等。

(下转第 36 页)

关系发出控制指令,自动联动停止相关部委的风机,关闭防火风口和防火阀,启动声光报警器,也可由值班人员在火灾报警控制器上远方手动操作。

火灾报警控制自带备用电源,正常工作电源交流 220 V 由动力配电箱供给,当交流电消失时,自动切换至直流备用电源供电,保证系统正常工作。电缆采用阻燃屏蔽控制电缆和阻燃屏蔽双色双绞电线,电缆敷设在电缆桥架上的火电缆沟内,电线采用穿金属管保护或线槽内敷设。

区域火灾报警控制器向升压站图像监控系统输送区域火灾报警控制系统内任何一点的火警信号,以实现图像监控系统监视画面与火警信号的视频联动,提高升压站的监控水平。

7 通 信

a. 系统通信。通信采用 SDH 光纤传输方式设计,作为系统调度通信的主、备通道。最终设计应以今后提供的施工设计图纸和技术文件为准。对外联络永久通信建立与电信公网之间的通信线路。

b. 升压站站内通信。中控室内设行调合一数字式程控调度交换机 1 套,作为中控室、风电场生产、行政通信用。厂内行政和调度交换机有数字中继和各类模拟中继接口,可与电力系统、邮电公网及 220 kV 响水变电站之间实现通信联网,满足电网运行调度和管理的通信需要。

c. 集群移动通信。在站内设置 1 套 5 信道集

(上接第 32 页)

b. 配电装置的侵入雷电波保护。根据 DL/T 620—1997《交流电气装置的过电压保护和绝缘配合》的规定,在风电场 35 kV 配电装置母线及 220 kV 架空线入口处装设氧化锌避雷器保护,风电机配套的箱式变电站高压侧采用氧化锌避雷器保护,35 kV 电缆线路上架空集电线路处装设氧化锌避雷器保护。

4 接地装置

首先充分利用各个风电场的风力发电机基础作为自然接地体,根据现场实际情况及土壤电阻率敷设人工接地网,以满足接地电阻的要求,重点区域加强布置以满足接触电势和跨步电势的要求。

变电站接地装置采用方孔网格状布局,网格间距 10 m 左右,靠近围墙侧网格间距适当加密,接地网采用阴极保护。水平接地扁钢截面为 60 mm × 6 mm,敷设深度为 0.8 m,接地扁钢与基础管桩钢筋网可靠连接。

对于单台风电机接地,以风电机基础中心为圆

群移动通信系统,以满足电场基建施工指挥、生产检修、户外检修、库内调度、场内应急通信等多种情况的需要。集群系统以 4 线 E&M 接口接入电站交换机,实现有线、无线及对外的通信联络。并配置 3 部移动车载台和 30 部手持机。

d. 通信电源。通信电源采用高频开关式稳压稳流电源系统,配置 2 组 100 Ah 阀控式密封铅酸蓄电池。二路取自厂用电不同母线段的交流 220 V 作为主供电源,电源系统输出交流 220 V 及直流 48 V 供通信设备用。当厂用电消失或输入电压低于 198 V 时,自动转为由电源屏内的阀控式密封铅酸蓄电池组供电。通信系统电源由通信系统自行配套。

8 结 语

介绍了响水风电场风力发电机组及其 35 kV 箱式变电站的控制、保护、测量和信号处理;主变压器及线路设备控制测量中的控制技术、测量技术和信号处理技术;继电保护和自动装置中的主变压器保护配置、220 kV 线路及母线的保护、35 kV 母线保护;运动技术中的运动系统、计费系统、远动信息技术;图像监控及防盗报警系统和火灾自动探测报警及消防控制系统等技术,这些技术都处于世界先进行列,为我国国内其他风电场的二次电气接线技术提供了有益指导。

(收稿日期 2010-09-10 编辑 方宇彤)

心,根据基础管桩位置设置 2 圈环形接地网,接地网需与管桩钢筋网可靠连接。同时从风电机中心向外敷设 4 根水平接地扁钢与环形水平接地扁钢相交。并根据 DL/T 621—1997《交流电气装置的接地》,所有要求接地部分均应接地或接零。风电场电站的保护接地、工作接地、过电压接地采用一个总的接地装置,总的工频接地电阻根据入地电流大小及要求最终确定。每台风力发电机防雷引下线出的冲击接地电阻小于或等于 10 Ω,风电机配套箱接地网工频接地电阻按要求小于或等于 4 Ω。

5 结 语

响水风电场在响水县安装了 134 台 1.5 MW 大型风机。响水风电场位于沿海滩涂,其相关安装和组建的相关技术实施和设计必须考虑天气和环境因素,其安装技术先进。因此,本文介绍的电气一次接线技术,可为其他风电场相关的安装技术提供技术指导。

(收稿日期 2010-09-08 编辑 方宇彤)