

光伏电站 35kV 系统中性点低电阻接地分析

王兴恒

中国电建集团贵州工程有限公司, 贵州 贵阳 550003

[摘要]近几年来,光伏发电、风力发电等新能源产业发展迅速,变电站的建设为新能源发电的顺利投产提供了必要的保障。在项目建设用地日趋紧缺的情况下,因为在光伏发电基地中,传统 35 kV 变电站的土建工作量很大,施工周期很长,占地面积很大,造价也很高。此外,传统变电站的建筑种类繁多,土建施工过程中会对环境造成破坏和污染,这些都给光伏项目的建设带来了很大的难度和挑战。2013 年,国家电网公司进行了新一代智能变电站示范工程建设,并提出了“标准化设计、工厂化加工、模块化建设、机械化施工”的建设原则。文中正是基于这一背景,对 35 kV 预制箱的研制和应用作了较为详尽的分析。

[关键词]光伏电站 35kV 系统;中性点低电阻;预制舱

DOI: 10.33142/ect.v1i1.8440

中图分类号: TM727

文献标识码: A

Analysis of Low Resistance Grounding of Neutral Point in 35kV System of Photovoltaic Power Station

WANG Xingheng

PowerChina Guizhou Engineering Co., Ltd., Guiyang, Guizhou, 550003, China

Abstract: In recent years, new energy industries such as photovoltaic power generation and wind power generation have developed rapidly, and the construction of substations provides necessary guarantees for the smooth production of new energy power generation. In the face of increasingly scarce land for project construction, traditional 35 kV substations require a large amount of civil work, a long construction period, a large area, and a high cost in photovoltaic power generation bases. In addition, there are various types of buildings in traditional substations. The civil construction process can cause damage and pollution to the environment, which brings great difficulties and challenges to the construction of photovoltaic projects. In 2013, State Grid Corporation of China carried out the construction of a new generation intelligent substation demonstration project and proposed the construction principles of "standardized design, factory processing, modular construction, and mechanized construction". Based on this background, the article provides a detailed analysis of the development and application of 35 kV prefabricated boxes.

Keywords: photovoltaic power station 35kV system; low resistance at neutral point; prefabricated cabin

引言

近年来,我国光伏发电项目的建设速度越来越快,其规模越来越大,并且各个子系统之间的距离越来越远。在光伏场区,逆变器输出电压一般由一台箱式双臂形升压变压器提升至 35 kV,再由 35 kV 汇流排至升压站,再由升压站主变调压后再与电网连接。光伏电站 35 kV 集中线路长度大,且多为电缆、架空等形式,使 35 kV 电网的电容电流值大幅增大。在我国,由于单相接地故障未能及时切断而引发的电网故障,已经发生了多次。目前,并网安全性问题一直困扰着光伏行业。所以,在 35 kV 电网中,当电网中有很大的电容电流时,如何选用合适的接地形式,将会对电网中的电力设备的安全运行产生很大的影响。

1 电力系统中性点接地方式

中性点接地是一个具有综合性的技术经济问题,输变电网络的布局及供电范围是提高电网供电质量,并保证用户供电的安全可靠性的关键。电网中性点接地方式的选择,要从供电可靠性、继电保护、系统绝缘水平和系统稳定性的角度来进行。

变压器中性点的接地形式与电网的安全运行有着紧密的联系,在系统正常运行时,中性点的对地电位为零值,但如果出现了单相接地或者出现了人身触电等情况,不同的接地形式会有不同。变压器中性点接地的方法有 4 种:

(1) 中性点不接地; (2) 所述中性点经所述避雷器接地; (3) 通过断路器将中性点接地; (4) 中性点的接地是通过一个消弧线圈进行的。其中,第 (1) (2) 种接地模式是类似的,并且被称作非接地模式;第 (3) (4) 种接地模式是类似的,并且将其称作直接接地模式。

1.1 中性点不接地

中性点不接地各相对地的三相电容电流数值相等,相位相差 120° ,其矢量和为零,地中没有电容电流经过,中性点对地电位为零,此时,中性点接地或不接地对各设备都没有影响。在出现单相接地的情况下,另外两相的对地电压将会上升到相电压的 3 倍,也就是与线电压相等,相位不会改变,可以持续一段时间,但是不能长期接地。接地点通过的电流为电容性电流,它的数值是原来相对的电容电流的 3 倍,它会导致线路的谐振而产生过电压,

对电气设备造成损害,单相接地运行时间过长,还会发展成两相短路。在此类线路上,必须安装绝缘监测和接地保护,以便在出现故障时及时报警,以便值班人员及时排除。单相接地系统可以连续工作的时间,不能超过2小时。该方法是目前35 kV配网中常用的一种接地方法^[1]。

1.2 中性点经消弧线圈接地

虽然,在出现了中性点不接地的三相系统,在出现了单相接地故障时,仍然可以对其进行持续供电。但是,在单相接地故障电流比较大,比如35 kV系统大于10 A,10 kV系统大于30 A时,就不能对其进行持续供电。为解决三相配电网不接地的缺点,采用了通过消弧线圈接地的方法。随着35 kV配网规模的不断增大,现在也是在35 kV配网中,通过消弧线圈将中性点接地。消弧线圈是一种安装在变压器或发电机中线上的带铁心可调节的感应线圈。在出现单相接地故障时,可产生一个与接地电容电流近似相等而方向相反的电感电流,该滞后电压90度的电感电流与超前电压90度的电容电流互相补偿。最终,通过接地点的电流非常小,直至为0,这样,接地点上的电弧就消失了,并由此引起的伤害也就消失了。在电容电流与电感电流相等的情况下,被称作全补偿,在电容电流大于电感电流的情况下,被称作欠补偿,在电容电流小于电感电流的情况下,被称作过补偿,通常采用过补偿方式。安装了一种额外的补偿装置后,消弧线圈不容易出现共振和过压^[2]。

1.3 中性点直接接地

中性点直接接地系统是一种大电流接地系统,通常情况下,在该系统中流经接地点的电流很大,容易造成电力设备的烧毁。当出现故障时,继电器保护将迅速动作,将开关脱扣,排除故障。在国内,110 kV及以上电网中,多为小电流接地方式。中性点接地后,其他两相的对地电压仍然是相电压。通过这种方法,不仅可以减少对人体的接触电压,而且可以适当地减少对电器的绝缘要求,而且可以减少生产成本。为了防止电网遭受过电压的危害,一般将变压器的中性点,变压器的外壳,以及避雷器的接地引下线,都与一个接地装置相连接,也就是三点共同接地。从而保证了变压器的安全运行。在受到雷击时,避雷器作用在变压器壳体上仅留下残余的避雷器压力,降低了接地体内的部分电压。对于变压器来说,缺相对其运行没有任何影响,但是,如果出现缺相,三相电压异常,三相负载失衡,则不能出现缺相。110 kV及以上输电线路中,变压器均为大电流接地,接地后即发生短路或跳闸,没有接地运行的可能^[3]。

2 光伏电站35kV预制舱应用的技术研究

35 kV预制舱按电压等级进行分类,是一次设备预制舱的重要组成部分,常用于安装35 kV开关柜,在具体的变电站工程中,一般包括风机回路出线柜、主变进线柜、PT柜、站用变压器柜、高压动态无功补偿柜、接地变柜等。所以,35 kV预制箱有时候也要按照具体工程构成模组来单独设计。

另外,35 kV预制舱工程还必须符合预制舱的设计规范,包括消防,照明,通风,报警系统等。

2.1 变电站35kV预制舱产品特点

(1)机身采用耐火、耐腐蚀的材质,隔热性能好,机舱内装有工业空调,可对机舱内的温度进行有效的调节。

(2)有很好的防震和防震功能,为整体焊接结构,具有很高的强度和很好的稳定性。

(3)每个电箱都要达到五防的要求,五防的设置要安全、可靠。

(4)通过对舱体进行全封闭处理,可将外界的粉尘和灰尘阻隔在舱体之外,保证了舱体的平稳运转。

(5)具备完备的避雷装置,符合电气要求,可达到IP54保护级别,可保证25年以上的使用寿命

2.2 预制舱主要特点

全预制舱装配式变电站改变了变电站传统的电气系统布局、土建设和施工模式,它是以工厂生产预制、现场安装两大阶段来建设变电站的。其标准化设计,模块化组合,工业化生产,集约化施工,走上了高含量,低环境污染,精细化建设的道路。在建筑上改进了传统的月亮电体系,贯彻了建筑节能、节材、节水、节地的原则,实现了建筑结构的轻量化,采用了现场拼装技术,改变了施工的顺序,减少了施工的时间。在电力上建立变电站的一般设计,元件的详细加工,工厂的生产工艺,现场的安装工艺,建筑的费用定额,组装的控制。全预制组装的变电站建设模式,要求现代化的预制件,钢构件的制造厂家提供支持,对传统的模式进行了重新定义。预制舱是国家电力建设的新技术,其预制舱(预制舱变压器)已成为未来电力建设的重要内容。

2.3 一次设备预制舱强度

(1)预制舱的舱体底部采用型钢焊接,舱体框架采用焊接与装配一体的方式,主体材料采用屈服强度不低于235 MPa的碳质结构钢,具有一定的力学强度与刚性,在吊装、运输与安装过程中不发生变形,符合GB17467《高低压集成式变电站》中抗冲击性测试的要求,能够承受下列载荷与碰撞:

①顶荷载:(搭建荷载或其他荷载)小数值为2500 N/m²;钢架的顶荷:0.85 KN/m²。

②对面板、门及排气口的外在机械冲击:外在机械冲击的冲击能是20焦耳,相当于GB/T20138中的IK10的保护级别。

(2)船体的船体和船体的上盖应使用冷轧钢片,钢片的厚度不应低于2.5mm;门板与顶盖板的厚度不能低于2mm;地板的厚度不能低于3mm;禁止使用彩色钢板,镀锌板和其他金属材质组装的船舱。

(3)装配式舱室的设计应达到《建筑抗震设计规范》和GB50011-2010的有关规定,在地震作用下,其水平地震作用为0.3g,竖向地震作用为0.15g,抗震设防强度

为 8 度，并有三家单位出具的有关计算方案或报告。

(4) 在利用断桥技术实现隔热的前提下，保证舱体具有一定的力学强度，在保证舱体力学性能的前提下，将内部和外部的钢板用打孔的方式焊接在一起，内衬型钢，安装立式支架，并在三维空间中进行承载力计算，确定合理的支承结构，并编制相应的结构强度分析报告^[4]。

2.4 一次设备预制舱保温

(1) 预制舱的舱体采用“冰箱”式的隔热技术，由两层钢板（内填料使用经建设部批准的聚氨酯耐火材料，以保证整体的隔热、耐火），再加上一层绿色的金属装饰。门窗的厚度不少于 50mm，以达到“24 墙”的隔热效果。

(2) 预制舱由两层钢板组成，并在两层钢板之间形成悬空（点接触断桥技术），间隔不低于 3mm，在两层钢板之间填充有阻燃发泡绝热材料（PU），绝热系数 < 0.024 W/(m·K)，密度为 37kg/m，导热性 $< 2\%$ 。

(3) 为保证舱室工作环境的稳定，在舱室中安装一套自动温度控制系统，安装一套工业用的加热器，使之具有长期的加热器性能，不允许使用民用电气加热器^[5]。

2.5 预制舱式箱体的技术应用

(1) 此装配式船舱为钢结构，其主体为钢架，屋面以冷弯型钢檩条为宜。结构自重，维修集中荷载，屋顶积雪及灰尘堆积荷载均以 GB50009 为准，悬吊荷载则以实际荷载为准。单件拼装构件的钢架必须是整体的，并且必须有足够的强度和刚度。拼接单元应该在每跨拼接侧使用临时支撑立柱，以较接的方式与舱顶及舱底进行连接，并使用对角拉二次支撑来增强临时支撑面的强度，以确保拼接单元在起吊、运输和安装过程中不会出现变形、开裂或覆盖件掉落的情况。

(2) 预制箱在吊装，运输，安装和长期扩容时，应具有足够的力学强度，以保证其不会产生变形和破坏。外壳应该是三明治材质，并且应该做好静电防护，或者增加电线间距，以避免危险的静电。箱体的三明治材质必须有防腐蚀措施，其表层应该有很强的附着性，而且必须是均匀的。

盒子的外观要尽量美观。在路面条件允许的情况下，生产商应到工地进行确认，确定运送计划，并完成箱子的运送工作^[6]。

(3) 箱门全部向外打开，打开角不小于 90 度，并装有固定设备。门应具有密封性，并配有手柄，暗门，防雨，防堵塞，防锈的暗锁。门的大小要与所安装的高压开关箱相适应，而且要有防盗功能。

(4) 箱体应具有防紫外线，防雨水，防锈，防止小动物侵入的保护。箱体应该具有通风、降温、除潮、防凝露等措施或装置（空调外机加防护网，具体配置数量以最终确认图纸为准）。箱中的环境参数设计值应达到：夏天 26℃。气温 28℃，而冬天的气温只有 18 摄氏度。在 20℃ 和 70% 的环境中工作。当环境参数较大时，有关装置将自

动启动，并可发出信号，说明盒中的环境是否适宜。

(5) 在所述箱子内部和所述箱子外部（在所述车站内部）设置一套以所述车站为基础的消防报警系统。预制舱报警系统与车站区域内的第二个预制舱报警主机连接，并对其联调^[7]。

(6) 预制舱式箱体墙壁上配检修电源箱，并完成检修电源箱的电源接入工作。工作照明、空调、风机等的相关电缆由厂家提供。箱体内的相关工作照明（正常照明及事故照明）、空调、风机由箱体厂家完成相关的生产工作，且所有的回路应各配置一个开关，并提供相关的在箱体内设节能灯，各箱体的照度应满足规范要求。

(7) 在箱内安装一台换气设备，并安装一台智能型温湿度自动控制设备，对环境温湿度进行实时监测；机箱中的加热器会自动开启，对机箱中的温度进行调整，使机箱中的温湿度保持在所需的范围之内，保证了机箱的安全、可靠。

(8) 嵌板和车门为封闭箱体的一部分，在封闭箱体时，其保护水平应当与封闭箱体的保护水平一致。

(9) 通风孔的安装或覆盖应该与围护结构的保护级别相同。

3 结束语

随着光伏电站规模的持续扩张，35 kV 侧配电网以电缆线路为主，电缆用量的增长导致配电网的电容电流急剧上升，在发生单相接地故障时，采用中性点低阻抗接地方式，能够迅速切断故障线路，有效地降低电网的工频过电压，提高光伏电站的安全稳定运行。

[参考文献]

- [1] 刘志. 光伏电站 35kV 系统中性点低电阻接地的应用[J]. 百科论坛电子杂志, 2018(24): 306-307.
 - [2] 乔奎. 青海地区光伏电站 35kV 系统接地方式的研究及应用[D]. 北京: 华北电力大学, 2017.
 - [3] 董磊. 中性点低电阻接地方式在 35kV 配电系统中的应用[J]. 机电信息, 2015(15): 1-2.
 - [4] 黄涛, 郑智慧, 雷志城, 等. 海上风电 35kV 集电系统中性点不同接地方式下过电压分析[J]. 电瓷避雷器, 2023(1): 21-30.
 - [5] 张强, 孙兆成, 王东. 变电站 35 kV 系统小电阻接地技术研究及应用分析[J]. 科技创新与生产力, 2022(11): 130-133.
 - [6] 曲文浩, 秦海停. 经电阻接地系统风电场接地变压器保护的整定[J]. 电工技术, 2023(2): 158-161.
 - [7] 张伟, 刘晓倩. 小电阻接地系统应用中的关键点分析[J]. 科技创新与应用, 2021(10): 179-181.
- 作者简介: 王兴恒(1993.12-), 男, 毕业院校: 贵州大学电气工程学院, 专业: 电气工程及其自动化, 工作单位: 中国电建集团贵州工程有限公司, 职务: 项目副经理, 职称: 助理工程师。