

项目管理

风电项目的管理应与其他发电厂一样

风力发电机叶片、齿轮箱和发电机吸引了电力行业内外大部分注意力。人们关注的焦点通常是生产能力提高、叶片长度增加,以及传动系统不成熟导致的故障。这很自然,因为这些旋转叶片是风能项目最为明显的一部分。然而,风力装置的成功运行还取决于许多不被人注意的配套设施部分。

文 | Kevin Alewine

过去十年,风能行业在美国快速增长。2005 年该行业的装机容量为 9000 MW,业内预计截止到 2015 年年底,名义装机容量会接近 8 万 MW。这是由于在整个电网中能源的重要性越来越明显,项目集成和可靠性变得更加重要。但很少有人意识到,这些项目需要和电厂一样进行检查和管理。

规模的挑战

在欧洲,大多数风力涡轮机都成组安装,每组不超过 10 个,均位于工厂区或市镇,这样的话,长途传输就不那么重要了,而且单个项目不太可能对电网的稳定性产生重大影响。随着美国风能项目越来越普遍,项目在输出能力方面也差不多。与行业起步阶段时相比,

发电量更加稳定。事实上,美国国家可再生能源实验室(NREL)最近的一项研究表明,配备功率控制的现代大规模储能风力发电机确实会提高电网稳定性,因为它们能基于短期需求来调整输出能力。

此外,现代涡轮机有突出的低压穿越能力,而且能够向电网提供可变功率因数校正。总之,风能迅速成为一种低成本、可靠和高效的能源。

在美国和欧洲,对于风能的做法有很大差别。许多美国风电项目包括多个阶段,涉及 300 多台涡轮机,一些规模较大,在一些项目方案中,涡轮机多达 800 台,峰值容量超过 2000 MW。大多数涡轮机组包括 10 ~ 12 台(串连),然后将电能传输到主变电站,进行电网分配。大多数项目变电站用来管理 60 ~ 120 个涡轮机的输出,逐步升高收集系统电压(通常是 34.5 kV),使其达到本地传输电压,而且按北美电力可靠性公司(NERC)和联邦能源监管委员会(FERC)可靠性标准的要求提供必要的保护和控制组件。

其中的关键是需要将这些主变电

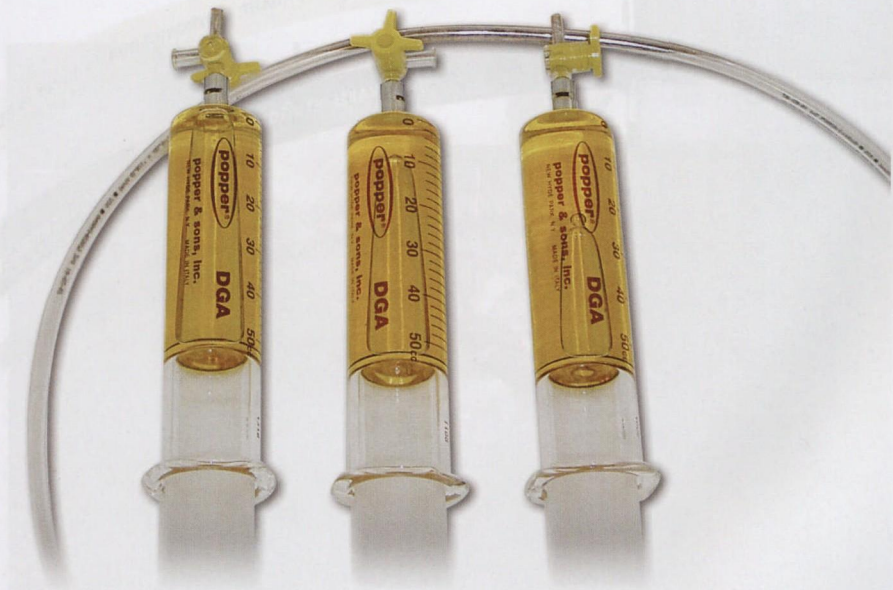


图 1 即使是风力发电也需要石油,这些典型的溶解气体分析注射器是用来收集板载变压器中的绝缘油的

站、辅助涡轮机与收集系统视为一个独立的电厂，在设计和维护项目方面应与传统的发电设施一样完备。

风力项目如何通过涡轮机收集能源

美国一般的风电项目，正如前面提到的，包括 100 台左右涡轮机。几乎所有涡轮发电机 / 传输装置都有 690 V 交流电的三相输出电压。一些年代较早的机器的输出电压为 575 V 交流电，有几个是 12 kV，但都很少见。

然后通过一个内部发电机升压 (GSU) 变压器 (通常是干式) 或外部板载液体绝缘变压器加大此电压。而且，它们的正常输出电压是 34.5 kV，但其他电压有时用于收集系统。

因为风能项目会覆盖数千英亩土地，收集系统线路非常复杂，距离长、线路多。变压器和收集系统线路这两种电厂配套设施组件的可靠性，对整个动力装置的可靠性产生的影响最大。变压器或电缆故障往往导致整串涡轮机离线，这取决于故障位置。

如果一台变速箱或发电机故障，只会影响一台涡轮机。对于大型项目来说，输出减少量要少于 1%。这当然很重要，但影响有限，而主 GSU 变电站的变压器更加重要。通常情况下，他们有足够高的技术水平，因此很少会发生灾难性的故障。假设变电站根据最佳实践和法规维护，却仍然需要关注高压系统配套设施的测试和维护。

维护规划

电气设备和系统的维护规划在项目初期规划时必须考虑物流、访问、设备配置等问题，而工作重点则基于长期服务数据的确定。而且还要确保在组件测试和维护时，安全设备易于隔离、操作、移除和安装。

根据美国国家防火协会 (NFPA) 70 B 电气设备维护推荐实践和加拿大标准协会 (CSA) Z463 电气系统维护

指导，发电设备的安全合规是关键，这只能经初步验收测试和定期维修测试确定。当然确定一个可靠的趋势分析基线也是预防性维护和预见性维护规划的重要组成部分。

制造商的规格和建议应始终遵循，但整体系统性能要基于视觉和机械检查、电气测试评估，而且要与预期测试值进行比较，为此开发了一套共同标准来纳入测试中考虑到所有因素。

自 1975 年以来，国际电气测试协会 (NETA) 发布了电力设备和系统维护测试标准。这个标准还被确定为美国国家标准协会 (ANSI) 标准。该标准和制造商文件有助于提供大多数类型的电气设备的测试方法和预期结果，是有效测试方案的依据。

为什么出故障？哪里出故障？

关于变电站，重要的是要理解基本配置的类型和可靠性问题：涡轮机内部干式和板载液体绝缘变压器。

内部变压器通常安装在发动机舱，需要考虑连接到汽轮机所在地的高压电缆，因此需要采用较小导体、较低安培数和更低的电弧闪光等级。需要

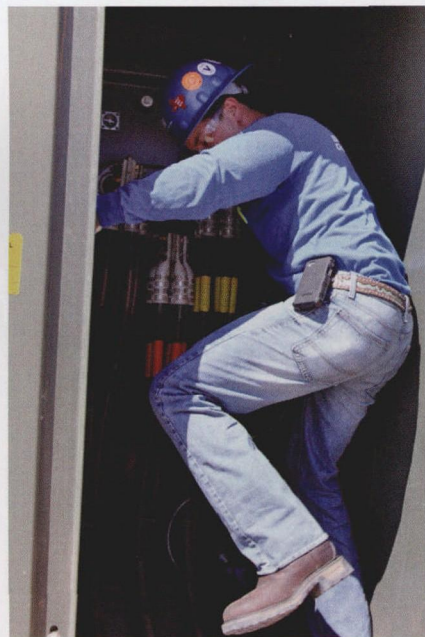


图 2 紧密的变压器外壳使取样成为难题，即使处于断电状态。外部阀门和仪表可以改善安全性，使取样变得方便

非常小心地安装电缆，变压器所有测试必须从输电塔开始，或在断电的状态下进行。

但是这样很难保证适当的冷却和通风，特别是在炎热的天气，这可能导致线圈提前退化和变压器过早故障。与液体绝缘品种不同，它无法将现场服务扩展到干式变压器的整个使用周期，而且还需要换用一台中型起重机。

干式变压器的空载核心损失一般高于液体绝缘变压器，即使在涡轮机不工作的时候也会导致成本增加。电网电价通常高于电厂售价，这其实不属于维护问题，但在选择新的或更换设备时应考虑到这一点，因为合理选择变压器设计和材料会减少损失。

大多数风力项目采用板载液体绝缘变压器，那些已经安装的最常见的模型有很大不足。许多实际上用来作为配电变压器，而不是发电机升压机组，这是早期故障频发的原因。

风力涡轮机产生的能量在几个方面几乎总是具有破坏性。基于最小风速和最大风速，风力涡轮机通常在一天中数次并网和脱网，除非在理想的风力条件下。这种不稳定的负载水平能产生尖峰电流，更重要的是使热循环超过变压器设计。由此导致的组件热胀冷缩已被证明对熔断器、绕组线和其他金属部件 (包括绝缘套管) 产生直接影响。这个热循环也会导致连接线路内部和外部松动，从而导致灭弧、绝缘恶化和失败。

收集系统地面电缆故障对变压器也是非常有害的，因此，这些破坏性的系统应采用避雷产品和特殊接地变压器来减轻一些伤害。

现在许多风力涡轮机利用充分转换的交流 / 直流 / 交流输出，使可变速度发电成为可能，为变压器提供恒定电压和频率。这些电子元件的波形通常不理想，如果不加以管理，会对变压器产生巨大破坏。

每个周期发电机和变流器都能产生创建谐波和其他变形，导致线圈过热和

涡流，缩短绝缘装置的寿命。低压扰动控制故障也会导致所有组件承受热应力，高低压端断路器开关故障也能导致电涌和瞬态过电压。当然，系统上任何被雷电击中部位都会创造过压条件。

另一个考虑因素是变压器的容量。风力项目在开发阶段，变压器的成本一般都被低估，这导致变压器容量比理想的类型要小一些。在大多数标准生产线，只有当所有问题得到解决，风力涡轮机所需特定设计和容量才能实现。

大多数风电项目是从变压器中提取油样和分析。一般所讨论的大多数故障都不是由于水分或其他普通的绝缘装置退化，而是灭弧及其他能导致危险和破坏性的爆炸性气体（通常是氢气和乙炔）的活动。大多数故障都发生在变压器机房中，但有也一些火灾和爆炸的案例。

在针对变压器的安全状况做出决策时，员工安全应是最关键的因素。当机箱的低压侧打开，通电切换时，高危变压器会变得尤其危险。目前制造商推出许多新的变压器设计和售后升级，机壳外安装各种仪表和样本端口，这样就能在未断开变压器的情况下进行比较安全

的采样和监测。

隐蔽的资产

大多数风电项目都有数英里的直接埋地高压电缆，它们的终端和连接点通常都在地下，缺点是很难定位和修复。

由于多种因素，包括负载循环、环境条件、安装不当和无效验收测试，这些电缆在许多项目中都造成麻烦。好消息是，电缆本身很少出问题，大多数故障都发生在终端和连接处，有几个众所周知的测试程序有助于维护这些电缆。

在线局部放电测试以及过低频率热能测试很常见。在很多困难的情况下，或在出现进展缓慢问题的现场，离线局部放电测试可能是最好的好法。因为许多风能项目都位于地形崎岖、条件恶劣的地区，由于热循环、土壤膨胀/收缩和不利的安装地点，都会对项目造成损失。有人认为在地上安装接头和其他连接附件，有助于大大减少电缆检查、维



图 3 对于埋地电缆来说，拼接和终端故障非常常见，通过采用常见方法就能识别和定位故障，包括过低频率、高势能和局部放电测试

护和故障定位成本。施工队的最初安装工作会更容易，环境更清洁，因为大多数故障都是由于安装不当引起的，因此这个建议是有道理的。

适当维护

风电项目规模很大、条件复杂，而且经常人手不足，操作、电气设备和相关保护装置的可靠性对设备维护质量直接相关。对系统进行检查后，良好的维护和测试程序将对设备投资提供保护，提高项目的生产能力，维护工作的重点是可靠性和安全操作。

执行停机方案是满足法规要求的一个至关重要的部分，但它们对于维护项目可靠性来说也非常重要。生产、维护和第三方在维护工作开始之前应进行仔细协调，尽量减少破坏资产的可用性，确保各方面的可靠性和安全性。红外检测、石油样品和外观检查都应该提前完成，这样停机之前所有替换零部件就能准备就绪。停机期间，当项目未运行时更容易对变压器进行改造和升级，而且组件更换成本容易管理，无须急着交货和加班。

随着风能行业的成熟，行业开始执行越来越多传统的可靠性计划。生产和维护的组合效率以及安全操作性的改善，将进一步提高风能项目的整体盈利能力，有效降低风能生产成本。对于不断变化的石油燃料价格，稳定风能的成本是一种保障，与其他能源一样可靠和可以利用，只有引进新技术和新方法才能改进这一点。MM

