维护

风力发电机组的维护

当今绝大多数风电项目在开发之时，会以成本为焦点，但运行和维护（O&M）成本在很大程度上还是未知。而如今，已有数百种汽机型号正在运行之中，有时竟然并存于同一个现场，这导致运行维护复杂倍数级放大，所以，至关重要的在于掌握常见故障模式，并知道如何处理好这些故障。

文 | Kevin Alewine

在过去这几年间，风力发电项目已经成为北美大地上和公用事业公司基础设施当中的亮眼景色。尽管风电项目会给电网带来变化不定的发电负荷，风电已经证明了自己将成为廉价能源供应的可靠贡献者。

图 1 一台风力发电机正在进行拆卸和更换

新发电行业的形成

第 1 座风电厂于 20 世纪 80 年代在加利福尼亚安装，但直至 1999 年，风电行业才达到 2000 MW 的门槛。大约就在那个时候，第一项州级可更新能源资产标准（RPS）得到通过，引发了爆发性的成长。联邦生产税收抵免（PTC）和州 RPS 的组合自 1999 年以来促进本行业成长了 25 倍。2012 年间，美国风电行业装机量已经超过 13 000 MW，2014 ～ 2015 年内也有类似装机量正在建设，这些项目在设计上旨在利用 2013 年的 PTC 延期。

当然，目前尚不知道未来联邦和州政府对于成长的鼓励将发生什么改变，但是仍然有很多成长市场可从风电这种低成本能源获益，特别是风电可以在分布式部署的基础上，靠近那些位于西北部和墨西哥湾沿岸地区的大规模电力用户。

美国国会在 1992 年选择将生产税收抵免方案作为鼓励此项新技术发展的最佳方式，同时避免了给消费者造成成本上涨。自那之后，风电行业随着生产税收抵免（PTC）的期满以及重新批准像过山车一般大起大落着，而这种情况一直都是投资新制造设施的负担之一，因为这种繁荣与萧条的循环变化对这些制造设施有毁灭性的作用。

所有以上介绍从维护规划的角度来说似乎有点遥远，但是理解那些针对风电项目做出的决策将有助于解释，为什么 O&M（图 1）是如此的至关重要，并且经常是本行业当中资金不足的部门。为了构建一个能够为投资者提供合理回报的风电项目，项目的财务模型必须经过仔细的研究和构造，并且提供能满足规格的成本最低的设备，这样做表面看来正是正确的做法。

为了推高这些财务效率，汽机制造商开发了低成本、轻重量并且仍达到高功率输出比的设备。制造商从设计一开始就尽最大努力达到功率与重量比的最佳组合点。这种做法对于绝大多数部件都是有效的，但是还有一些问题留给了维护团队来解决。其他涡轮机部件也受到了影响，特别是用在绝大多数传统设

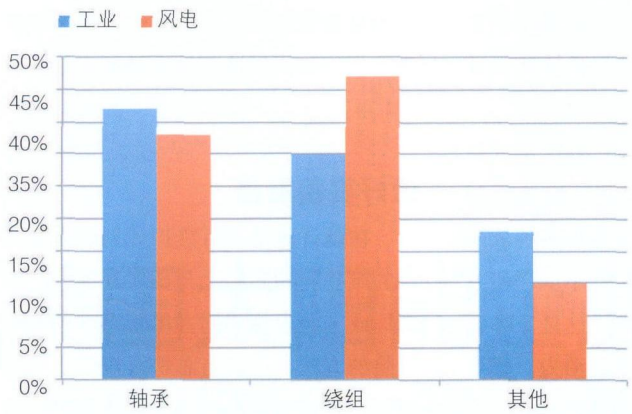


图 2 风电行业与通用工业的发电机故障

计方案当中的齿轮箱。

风力涡轮机与部件使用寿命

对于复杂的设备来说，“使用寿命预期”的真正含义是什么？绝大多数风电项目均以 20 年模型为基础展开财务预测，而风力涡轮机基于标准 IEC61640-1 所定义的风载荷来达到或超出 20 年的预期。这并不意味着每一个部件都能在 20 年内可靠工作而不需要再进行维护、修理或更换，而汽机 30 年的设计使用寿命意味着任何部件都不需要更换。通过采用正确的实施维护方法以及优秀的运行团队，就能够在风力涡轮机使用寿命内达到可靠和赢利的生产，并且使用寿命非常有可能远超过 20 年。

为了达到 20 年的预期使用寿命，绝大多数努力都集中在主要部件上。主轴通常是体积非常大的锻造件，在运行数年之后，主轴承效率会变得较为常见。齿轮箱是成本最高且容易出问题的部件，而且有些故障确实与设计和制造问题有关，并在所有风电设施当中都存在。

风力涡轮机原始设备制造商（OEM）在开发更新型、更大型设计方案方面正在大跨步地前进着。统计数据显示，故障仍然过多，特别是涉及到维护方面，但是随着故障模式得到更好的理解，将会有更可靠的设备制造出来。根据对传统工业和公用事业公司应用的研究，超过 100 kW 功率的电动机和发电机在经验上曾有运行 25 ~ 38 年的历史，所以对于风力涡轮发电机来说，至少 20 年的使用寿命看起来是一个合理的目标。

风力发电机故障模式

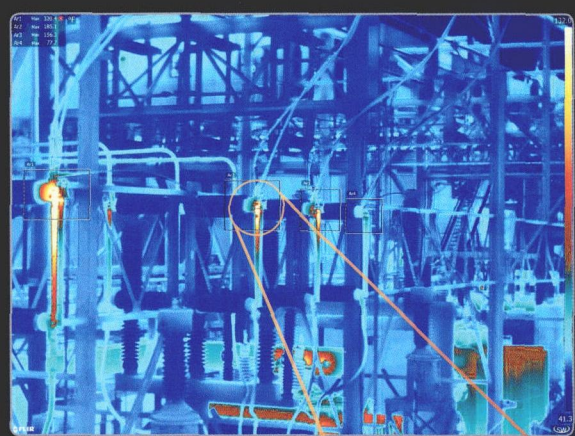
理解了常见故障模式以及可以怎样做以延长发电机使用寿命对于提供项目业主所需要的可靠性有着至关重要的意义。在风力涡轮机上采用的绝大多数发电机设计均在欧洲构思并经常在欧洲制造，反映了其具有历史的

FLIR® | 世界第六感

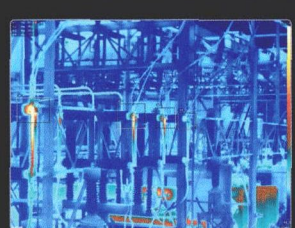
FLIR专门面向全新T系列产品推出的
全新功能——
ULTRAMAX™(超级放大)

UltraMax(超级放大)功能是一种独特的图像处理技术，有助于生成带图像的报告，其图像像素是普通热图像的4倍之多，且图像噪点降低50%，因此您将能够轻松地放大并更精确地测量更小的目标。

带有UltraMax(超级放大)功能的全新T系列产品有：T420，T440，T460，T610，T620，T640，T660。



采用ULTRAMAX™功能拍摄的热图像



未采用ULTRAMAX™功能拍摄的热图像

采用ULTRAMAX™功能8倍变焦拍摄的热图像

全新T460红外热像仪

全新T660红外热像仪

FLIR 中国公司总部：
前视红外光电科技（上海）有限公司
全国咨询热线：400-683-1958
邮箱：info@flir.cn
WWW.FLIR.COM

▲反馈服务编码M4458

材质和工艺。目前已经发现了若干种常见故障模式，其中许多模式都可以追溯至可以识别的根本原因。但是，具体故障仍然较难识别，因为微小故障有可能导致与根本原因没有直接关系的灾难性电气故障。

绕线转子绝缘损坏最常见的是支撑材料故障。另一种常见故障模式是电气故障，电气故障有可能与相同的机械性弱点及由其导致的振动和磨损有关。转子引线用于输送来自集电环的励磁电流至绕组，并且转子所发出的任何电力均以相同方式回输。如果轴承故障或者发生振动，而且当任一端的电气连接不良或支撑结构有问题时，当然引线会承受高热。轴承故障是造成发电机停运时间的一项很大原因，并且大概也是最容易防范的故障。正确润滑、对中、状况监测以及对感应轴电流的有效管理都是延长轴承使用寿命的关键。绝大多数发电机确实在轴承上安装了温度监测装置，但在有足够热量导致传感器脱扣之前，有可能已经造成大量损坏。定子绕组绝缘故障也可以分成多个类别，可是绝大多数都可归入正常工业故障模式当中，但磁铁楔块脱落是个例外。2008 年内以及自 2008 年起安装的绝大多数更新型和更大型的涡轮机都采用了更大型、更坚固的发电机（2 MW 以上），并采用了多孔式云母绝缘定子线圈，以及设计良好的机械部件。

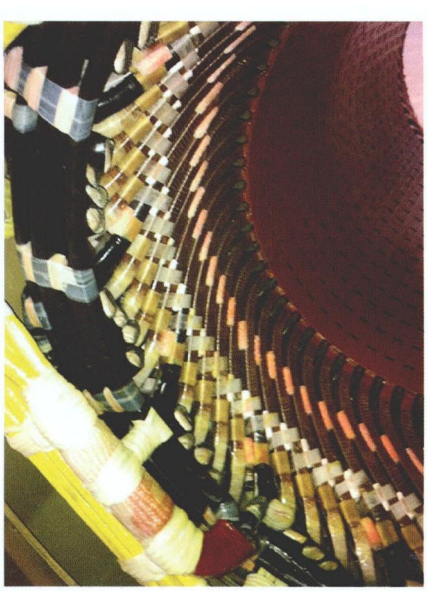


图 3 典型 OEM 绕组

根据 Shermco 公司自 2005 年以来修理过的超 2000 台发电机，由此编制了一些统计数据，尝试着定量各种故障模式的发生频率。此项统计不以任何方式指示整体故障率；反而，这是一种尝试查明故障发生直接原因的动力。将这些故障类型与通用工业统计数据相比表明，这些故障实际上非常相似，轴承故障也是最严重的问题（图 2）。

维护工作的作用

清洁度和润滑这些关键要素是所有行业的标准规范，但是它们对偏远地区应用特别关键，因为快速响应能力受限，并且灾难性故障的代价非常高昂。

绝大多数涡轮机和发电机制造商都就维护间隔给出了建议，但是这些建议可能并不充分，而且取决于设计和地点。在初始安装机舱后总是应当也对对中进行确认，即使对中工作已经在工厂正确执行过。

在风电项目的开始阶段，运行维护预算经常被低估，而且在保持成本最低方面存在着很大压力，而且不会对长期可靠性做出仔细考虑。

目前，基于条件监测的拓展使用以及基于计算机的维护管理系统正在变得更为流行，并正在以预防性和主动性维护计划替换那些曾经普遍采用的运行直至故障发生的战略。容易出问题的涡轮机型号经常通过与涡轮机 OEM 签订了长期维护合同来进行管理，将主要部件的风险转移至最低成本的资源外包。

整体风电项目维护已经应用过许多商业模型。正如许多公用事业公司装置一样，有些项目业主想要自己完成所有工作，而其他业主则想要将风险转移给 OEM 或第三方运行管理集团。经常出现的情形是，业主负责管理高压系统和电网互联，并控制大型部件的修理或更换。无论哪一方面负责，维护策略都应当是透明的，并且包括一个用于控制更换部件和再制造部件质量的良好流程（图 3）。

做好妥善准备

在制订风电项目维护计划时需要解决的维护问题实际上与任何其他大型发电厂或工业设施相同。尽管有多种构建风险的方法，但会有总协议规定了你在什么样的可靠性条件下允许在风力正常时追求项目的最大利润率。

根据一项来自美国国家可更新能源实验室的 2013 年调查，总平均年度风电项目运行维护成本为 45 美元 /kW。以估计 2% ～ 3% 的发电机故障率计，这代表着不足总成本的 5%，比例虽小，却仍很重要。但是，计划外停机有可能以高得多的成本影响着生产。如果正如针对某些设计曾经估算过的，在涡轮机 20 年的设计使用寿命期内，需要对每一台发电机进行一次更换的话，那么成本就会非常高。

作为项目发展流程的一部分，现实性地规划维护策略就有可能从长期看避免许多烦恼。在合同阶段与涡轮机制造商谈妥运行和可靠性数据分享也是这个流程的一个关键步骤。

当然，理解设备预期性能很有好处，但是获得曾进行修理的维护记录以及质保期内根本原因故障的记录，将对未来维护计划带来方便。在绝大多数风力涡轮机当中，发电机和相关电子设备由特殊 OEM 制造，而不由涡轮机制造商自行制造，所以不可避免地对各种问题存在着多份质保证书和多种可选方案。也可以就超出质保期后的方案达成协议，并对所考虑的每一种涡轮机设计方案编制成本。

了解清楚发电机型号及其相关维修历史，了解哪些部件可能损坏以及为什么损坏，这就是涡轮机制订维护计划的关键。涡轮机的 OEM 和发电机制造商都能够帮助实现这一目标，但是不要忘记维护好伙伴之间的关系。MM