

响水风电场风力发电机组的故障诊断技术

梅华贵

(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 风力发电机组故障诊断技术、常见故障及故障来源、减小故障出现的方法以及运行与维护技术,为提高风力发电机组安全可靠性及机组的运行效率提供一些可借鉴的经验。

关键词 :风力发电机组 ;故障诊断 ;风力发电机运行 ;风力发电机维护 ;响水风电场

中图分类号 :TK83 **文献标识码** :B **文章编号** :1006-7647(2010)S2-0037-04

近 20 年来,风力发电机技术有着日新月异的进步,现在已有兆瓦级的风力发电机(以下简称风机),目前最大的商业运行风机是 5 MW。随着投产的风机数量不断增加,风机运行维护、故障诊断技术等将成为行业新的增长点。2004 年,Horns Rev 海上风电场的多台风机出现了电机失效等技术故障,更换了风机并运至陆上修理,Vestas 作为供应商承担了拆装的损失,这直接导致了该公司 2004 年近 4 000 万欧元的亏损。我国已建成的风电场的风机有相当部分是 20 世纪 90 年代中后期由国外购进的,单机容量为 250 kW、300 kW、500 kW、600 kW、660 kW 和 750 kW 等。这些机组寿命为 15~20 a,保修期一般为 2 a。随着机组运行时间的加长,目前这些机组陆续出现了故障(包括风轮叶片、发电机、增速齿轮以及控制系统等),导致机组停止运行,严重影响发电量,造成经济损失。切实保障风机组可靠性与安全性,具有十分重要的意义。

1 风机组故障诊断技术

故障诊断与容错控制技术的出现,为提高复杂系统的可靠性开辟了一条新的途径。故障诊断技术(Fault Diagnosis,FD)始于机械设备,其全名是状态监测与故障诊断。故障是指系统至少一个特性或参数出现了较大的偏差,超出了可接受的范围。故障检测是利用输入、输出和状态等可测数据,检测故障的发生并产生报警信号。故障诊断则是在系统报警后,确定故障发生的种类和部位等。它包含两方面内容:一是对设备的运行状态进行监测;二是在发现

异常情况对设备的故障进行分析、诊断。一般而言,动态系统中故障的发生部位、时间特性、发生形式呈现出多样化。按照发生部位的不同可分为:元部件故障、传感器故障、执行器故障;按照时间特性的不同可分为:突变故障、缓变故障、间隙故障;按照发生形式的不同可分为:加性故障、乘性故障;按照故障的复杂程度可分为:线性故障、非线性故障。

风机故障诊断属于旋转机械故障诊断的范畴,其内容主要包括风机主传动链上主轴、齿轮箱、发电机的故障诊断。

1.1 故障含义

故障包含两层含义:一是机械系统偏离正常功能,通过参数调节或零部件修复又可恢复到正常功能;二是功能失效,指系统连续偏离正常功能,且其程度不断加剧,使机械设备基本功能不能保证。一般零件失效可以更换,关键零件失效往往会导致整机功能丧失。

1.2 机械系统故障特点

机械系统运行过程是动态过程,本质是随机过程,在不同时刻的观测数据是不可重复的,用检测数据直接判断运行过程故障是不可靠的。机械设备都是由成百上千个零件装配所构成,故障与现象之间没有一一对应的因果关系,如果只采用一种方法从某一个侧面去分析而做出判断,是很难做出决策的,一般是从随机过程出发,运用各种现代化科学分析工具,综合判断机械的故障现象属性、形成与发展。

1.3 机械故障诊断

状态监测与故障诊断可以理解为识别机械设备

运行状态的科学,也就是说利用各种检测方法和监视诊断手段,从所检测的信息特征判别系统的工况状态,它的最终目的是提高设备效率、运行可靠性,分析故障形成原因,防患于未然。它是大型机械设备运行的关键技术之一,也是各种自动化系统及一般机械系统提高效率和可靠性,进行预知维修及预知管理的基础。机械故障诊断分离线诊断和在线诊断。

以往由于技术、成本等原因,风机的安全保护系统一般比较简单,功能比较单一,随着风力发电技术的进步及设备管理技术的发展,人们对风机的可靠性、安全性、运行效率、环保性等提出了更高的要求,原来的保护系统已不能满足这些要求;另外,风力发电一次投入成本相当高,业主一般会买保险,而保险公司会要求在所投保风机上加装在线监测系统或严格按照保险公司规定的频度对风机进行巡检。可见风机的状态监测系统的研究是必要的、适时的、很有意义。

设备状态监测一般有2种方式:定期巡检和在线状态监测。定期巡检就是按照规定的时间,工作人员背负测试设备爬上位于风机塔顶的机舱进行数据采集,这种方式效率低、劳动强度大、受天气等外界因素影响大,效果一般;在线监测故障诊断系统以系统论、控制论、可靠性理论、失效理论、信息论为理论基础,以包括传感器在内的仪表设备和计算机、网络、通信为技术手段,结合监测对象的特殊性,有针对性地对各运行参数进行在线连续监测,对设备状态做出实时评价,对故障提前预报并做出诊断,变故障停机为一般停机,减少停机或避免事故扩大化,使企业对设备的维修管理从计划性、事故性维修逐步过渡到以状态监测为基础的预防性维修,提高了企业设备管理现代化水平,创造了巨大的经济效益。

2 风力发电机组常见故障

2.1 故障来源

风机组控制系统的故障表现形式,因其构成的复杂性而千变万化。但总的来讲,一类故障是暂时的,而另一类则属于永久性故障。例如,由于某种干扰使控制系统的程序“走飞”,脱离了用户程序,这类故障必然使系统无法完成用户所的要求。但系统复位之后,整个应用系统仍然能正确地运行用户程序。还有,某硬件连线、插头等接触不良,有时接触有时不接触,或者某硬件电路性能时好时坏,它们对系统造成的影响是系统工作时好时坏,出现暂时性的故障。另外一些情况就是硬件的永久性损坏或软件错误,造成系统的永久故障。不管是暂时故障还是永久故障,作为控制系统设计者来说,在进行系统设计时,就必须考虑将出现故障的几率降到最低,达到用

户可靠性指标的要求。造成故障的因素是多方面的,归纳起来主要有以下几个方面。

a. 内部因素。硬件连线开路、短路;接插件接触不良;焊接工艺不好;所用元器件失效;元器件经长期使用后性能变坏;软件上的种种错误以及系统内部各部分之间的相互影响等。

b. 环境因素。风机所处的恶劣环境会对其控制系统施加更大的应力,使系统故障显著增加。

c. 人为因素。风机组控制系统是由人设计而后供人使用的。因此,由于人为因素而使系统产生故障是客观存在的。同时,风机组控制系统的操作人员在使用过程中也有可能按错按钮、输入错误的参数、下达错误的命令等,最终结果也是使系统出现错误。

这些是风机组控制系统故障的原因,可直接使系统发生故障。

2.2 系统常出现的硬件故障

a. 电气元件故障。电器故障主要是指电器装置、电气线路和连接、电气和电子元器件、电路板、接插件所产生的故障,也是风机组控制系统中最常发生的故障。

b. 机械故障。机械故障主要发生在风机组控制系统的电气外设中。例如,在控制系统的专用外设中,伺服电动机卡死不动、移动部件卡死不走、阀门机械卡死等。凡是由于机械上的原因所造成的故障都属于这一类。

c. 传感器故障。主要是指风机组控制系统的信号传感器所产生的故障,如闸片损坏引起的闸片磨损或破坏,风速风向仪的损坏等。

d. 人为故障。人为故障是由于人为地不按系统所要求的环境条件和操作规程操作而造成的故障。例如,将电源加错、将设备放在恶劣环境下工作、在加电的情况下插拔元器件或电路板等。

2.3 系统常出现的软件故障

对硬件来说,元器件愈多,故障率也愈高。可以认为它们呈线性关系。而软件故障与软件的长度基本上是指数关系。因此,随着软件(指令或语句)长度的增加,其故障(或称错误)会明显地增加。软件错误是由设计者的错误、疏忽及考虑不够周全等设计上的原因造成的。①没有认真进行需求调查。②编程中的错误。在软件设计者编写程序的过程中,经常会出现各种各样的错误。例如,在编程过程中会出现语法错、语义错、定义域错、逻辑错、无法结束的死循环等。③规范错误。如果在制定规范时出错,或者有漏洞、考虑不周、出现自相矛盾等,则设计出来的软件就会出错。④性能错误。⑤中断与堆栈

操作。⑥人为因素。软件设计人员必须熟练地对软件进行查错和测试,通过这些手段,使软件的错误减到最少。

3 减少故障出现的方法

3.1 元器件的选择

合理地选择微机应用系统的元器件,对提高硬件可靠性是一个重要步骤。选择合适的元器件,首先要确定系统的工作条件和工作环境。例如,系统工作电压、电流、频率等工作条件,以及环境温度、湿度、电源的波动和干扰等环境条件。同时,还要预估系统在未来的工作中可能受到的各种应力、元器件的工作时间等因素,选择合适的元器件。

3.2 筛选

测试元器件的特性,并对其施加外应力,经过一定时间的工作,再把元器件的特性重新测一遍,剔除那些不合格的元器件。

3.3 降额使用

降额使用就是使元器件工作在低于它们的额定工作条件以下。实践证明,这种措施对提高可靠性是有用的。一个元件或器件的额定工作条件是多方面的,其中包括电气的电压、电流、功耗、频率等,机械的压力、振动、冲击等及环境方面的温度、湿度、腐蚀等。元器件降额使用,就是设法降低这些条件。

3.4 可靠的电路设计

可靠性资料调查表明,影响风机组控制系统可靠性的因素大约 40% 来自设计。在电路设计中,要采用简化设计。众所周知,完成同一个功能,使用的元器件越多、越复杂,其可靠性就越低。在设计中应尽可能简化。在逻辑电路设计中,采用简化的方法进行设计,必能获得提高可靠性的结果。

3.5 冗余设计

所谓冗余,就是为了保证整个系统在局部发生故障时能够正常工作,而在系统中设置一些备份部件,一旦故障发生便启动备份部件投入工作,使系统保持正常工作的方法。硬件冗余可以在元器件级、部件级、分系统级乃至系统级上进行。但是,硬件冗余要增加硬件,同时也要增加系统的体积、重量、功耗及成本。在采用冗余技术时,要分析它的利弊。

4 风机组的运行与维护

4.1 运行

风机组的控制系统是采用工业微处理器进行控制,一般都由多个 CPU 并列运行,其自身的抗干扰能力强,并且通过通信线路与计算机相连,可进行远程控制,这大幅度降低了运行的工作量。所以风机

的运行工作就是进行远程故障排除和运行数据统计分析及故障原因分析。

4.1.1 远程故障排除

风机的大部分故障都可以进行远程复位控制和自动复位控制。风机的运行和电网质量好坏是息息相关的,为了进行双向保护,风机设置了多重故障保护,如电网电压高、低,电网频率高、低等,这些故障是可自动复位的。由于风能的不可控制性,所以过风速的极限值也可自动复位。还有温度的限定值也可自动复位,如发电机温度、齿轮箱温度、环境温度等。风机的过负荷故障也是可自动复位的。

除了自动复位的故障以外,其他可远程复位控制故障引起的原因有:①风机控制器误报故障;②各检测传感器误动作;③控制器认为风机运行不可靠。

4.1.2 运行数据统计分析

对风电场设备在运行中发生的情况进行详细的统计分析是风电场管理的一项重要内容。通过运行数据的统计分析,可对运行维护工作进行考核量化,也可对风电场的设计、风资源的评估、设备选型提供有效的理论依据。

电量统计报表,是运行工作的重要内容之一,其真实可靠性直接和经济效益挂钩。其主要内容有:风机的月发电量、场用电量、风机的设备正常工作时间、故障时间、标准利用小时、电网停电、故障时间等。

风机的功率曲线数据统计与分析,可对风机在提高出力 and 提高风能利用率上提供实践依据。例如,在对国产化风机的功率曲线分析后,对后 3 台风机的安装角进行了调节,降低了高风速区的出力,提高了低风速区的利用率,减少了过发故障和发电机温度过高故障,提高了设备的可利用率。通过对风况数据的统计和分析,掌握了各型风机随季节变化的出力规律,并以此制定合理的定期维护工作时间表,以减少风资源的浪费。

4.1.3 故障原因分析

通过对风机各种故障的深入分析,可以减少排除故障的时间或防止多发性故障的发生次数,减少停机时间,提高设备完好率和可利用率。如对 150 kW 风机偏航电机过负荷这一故障的分析,得知有以下多种原因导致该故障的发生,首先机械上有电机输出轴及键块磨损导致过负荷,偏航滑靴间隙的变化引起过负荷,偏航大齿盘断齿发生偏航电机过负荷,在电气上引起过负荷的原因有软偏模块损坏、偏航接触器损坏、偏航电磁刹车工作不正常等。又如,在对 Jacobs 系列风机控制电压消失故障分析中,采用排除实验法,将安全链当中有可能引起该故

障的测量信号元件用信号继电器和短接线进行电路改造,最终将故障原因定位在过速压力开关的整定上,将该故障的发生次数减少,提高了设备使用率,减少了闸垫的更换次数,降低了运行成本。

4.2 维护

风机是集电气、机械、空气动力学等各学科于一体的综合产品,各部分紧密联系,息息相关。风机维护的好坏直接影响到发电量的多少和经济效益的高低,风机本身性能的好坏,也要通过维护检修来保证,维护工作及时有效可以发现故障隐患,减少故障的发生,提高风机效率。

风机维护可分为定期检修和日常排故维护2种方式。

4.2.1 风机的定期检修维护

定期的维护保养可以让设备保持最佳期的状态,并延长风机的使用寿命。定期检修维护工作的主要内容有:风机联结件之间的螺栓力矩检查(包括电气连接)、各传动部件之间的润滑和各项功能测试。

风机在正常运行中时,各联结部件的螺栓长期运行在各种振动的合力中,极易松动,为了避免其在松动后导致局部螺栓受力不均被剪切,必须定期对其进行螺栓力矩的检查。在环境温度低于 -5°C 时,应使其力矩下降到额定力矩的80%进行紧固,并在温度高于 -5°C 后进行复查。一般对螺栓的紧固检查都安排在无风或风小的夏季,以避免风机的高出力季节。

风机的润滑系统主要有稀油润滑(或称矿物油润滑)和干油润滑(或称润滑脂润滑)2种方式。风机的齿轮箱和偏航减速齿轮箱采用的是稀油润滑方式,其维护方法是补加和采样化验,若化验结果表明该润滑油已无法再使用,则进行更换。干油润滑部件有发电机轴承、偏航轴承、偏航齿等。这些部件由于运行温度较高,极易变质,导致轴承磨损,定期维护时,必须每次都对其进行补加。另外,发电机轴承的补加剂量一定要按要求数量加入,不可过多,防止太多后挤入电机绕组,使电机烧坏。

定期维护的功能测试主要有过速测试、紧急停机测试、液压系统各元件定值测试、振动开关测试、扭缆开关测试等。还可以对控制器的极限定值进行一些常规测试。

定期维护除以上三大项外,还要检查液压油位、各传感器有无损坏、传感器的电源是否可靠工作、闸片及闸盘的磨损情况等方面。

4.2.2 日常排故维护

风机在运行中也会出现一些必须到现场去处理

故障,这样就可顺便进行一下常规维护。首先要仔细观察风机内的安全平台和梯子是否牢固,有无连接螺栓松动,控制柜内有无烟味,电缆线有无位移,夹板是否松动,扭缆传感器拉环是否磨损破裂,偏航齿的润滑是否干枯变质,偏航齿轮箱、液压油及齿轮箱油位是否正常,液压站的表计压力是否正常,转动部件与旋转部件之间有无磨损,各油管接头有无渗漏,齿轮油及液压油的滤清器指示是否在正常位置等。其次,听一下控制柜里是否有放电的声音,有声音就可能是有接线端子松动或接触不良,须仔细检查,听偏航时的声音是否正常,有无干磨的声响,听发电机轴承有无异响、齿轮箱有无异响、闸盘与闸垫之间有无异响、叶片的切风声音是否正常等。第三,清理工作现场,并将液压站各元件及管接头擦净,以便于今后观察有无泄漏。

5 结 语

随着科技的进步,风电事业的蓬勃发展,许多新机组的不断投运,旧机组的不断老化,风机组的故障也越来越明显,严重影响了风力发电机组的工作效率及系统的稳定,机组的故障诊断与日常运行维护也越来越重要。本文介绍了故障诊断技术、风力发电机组的常见故障及故障来源、减小故障出现的方法以及风力发电机组的运行与维护技术,切实保障风力发电机组可靠性与安全性对风电事业健康稳定发展,具有十分重要的意义。

参考文献:

- [1] 施鹏飞.从世界发展趋势展望我国风力发电前景[J].中国电力,2003,36(9):54-62.
- [2] 宫靖远,贺德馨,孙如林,等.风电场工程技术手册[M].北京:机械工业出版社,2007.
- [3] 王承煦,张源.风力发电[M].北京:中国电力出版社,2002.
- [4] 周东华,叶银忠.现代故障诊断与容错控制[M].北京:清华大学出版社,2000.
- [5] 闻新,张洪钺,周露.控制系统的故障诊断和容错控制[M].北京:机械工业出版社,1998.
- [6] 周东华,孙优贤.控制系统的故障检测与诊断技术[M].北京:清华大学出版社,1994.
- [7] 胡昌华,许化龙.控制系统故障诊断与容错控制的分析和设计[M].北京:国防工业出版社,2000.
- [8] PATTON R J, CHEN J. A robust parity space approach to fault diagnosis based on optimal eigenstructure assignment[J]. International Conference on Control, Edinburgh, 1991, 2: 1056-1061.

(收稿日期 2010-09-08 编辑:方宇彤)