

风机旋转失速的故障诊断与处理

刘五亮

国华(神木)新能源有限公司

[摘要] 风机是电厂的重要辅助设备,而旋转失速故障是风机的典型故障之一。因此,针对于风机的旋转失速故障进行故障诊断研究具有现实意义与工程价值。随着数据采集与存储技术的发展,能够获取的故障数据呈现“大数据”的特点。由于传统的故障诊断方法难以处理海量的故障数据,本文对基于深度学习的风机旋转失速故障诊断方法进行研究。

[关键词] 风机;尖峰能量;旋转失速

【DOI】 10.12252/j.issn.2096-6261.2021.12.1975

风能作为一种开发成本低,清洁,安全的可再生能源越来越得到社会各界人士广泛关注,成为当前的研究热点。相较于其它可以稳定获取的清洁能源,风能的能量密度低并且稳定性差,随着季节和气候的不同,风的速度和方向都在随机变化。因此,在大力开展风能利用的今天,对风力发电机组可靠性和效率要求也在不断提高。由于永磁直驱风力发电机组具有效率高、可靠性高、机组整体重量小、维护时省事省力等特点,逐渐被业内专业人士认同。

风力发电机的叶片是吸收风能的重要部件,叶片性能的好坏直接影响到风力发电机对风能的吸收,进而影响风力发电机组的整体出力情况。风力发电机组在实际运行过程中,在一定工况下,可能存在叶片失速的情况,其中,叶片失速造成叶片的升力变小、阻力变大,叶片吸收风能的能力急剧下降,从而使得风力发电机组的输出功率与功率设计值相差很大。对于风电场来说,叶片失速发生后,将导致发电量大量损失。

1 风机旋转失速的机理研究

1.1 机理研究

风机的叶轮结构、尺寸都是按额定流量设计的。当风机在正常流量下工作时,气体进入叶轮的方向与叶片进口安装角尽一致,气体可以平稳地进入叶轮,气流相对速度为,人口径向流速为当进入叶轮的气体流量小于额定流时,气体进入叶轮的径向速度减小为气体进入叶轮的相对速度的方向角减小到口,因而与叶片进口安装角尽不相一致。此时气体将冲击叶片的工作面凸面,在叶片的凹面附近形成气流涡旋,漩涡逐渐增多使流道有效流通面积减小由于制造、安装维护和工况等方面的原因,进入风机的气流在各个通道内的分配并不均匀,气流涡旋的多少也有差别。如果某一流道中的流道气流涡旋较多,则通过这个流道的气量就要减少,多余的气将转向邻近流道。在折向前面的流道时,因为进入的气体冲在叶片的凹面上,原来凹面上的气流涡旋有一部分被冲掉,这个流道里的气流会趋于通畅。而折向后面流道的气流则冲在叶片的凸面上,使得叶片凹面的气流产生更多的涡旋,堵塞了流道的有效流通面积,迫使流道中的气流又折向邻近的流道。如此轮番发展,由漩涡组成的气流团称为失速团或失速区将沿着叶轮旋转的相反方向在各个流道内出现。因为失速区在反方向传播速度小于叶轮的旋转速度,所以,从叶轮之外的绝对参考系来看,失速区还是沿着叶轮旋转的方向转动,这就是旋转失速的机理。旋转失速在叶轮内产生的压力波动是激励转子发生异常振动的激励力,激励力的大小与气体的分子量有关,如果气体的分子量较大,激励力也

较大,对机器的运行影响也就比较大,而失速区的传播速度参考,从固定于叶轮的相对坐标系来看,旋转脱离团以的角频率旋转。而从叶轮之外的绝对坐标系来看,旋转脱离团是频率旋转的,其方向与转子的旋转方向相同。因此,流体机械发生旋转失速时,转子的异常振动同时有两个特征频率。

1.2 失速发生原理

风力发电机组的每一个叶片都可以视作一片机翼。由流体力学可知,当具有一定速度 v 的直线平行流(本处指空气)以某一冲角 α (来流与翼弦的夹角)绕流二元孤立翼型(机翼)时,由于沿气流流动方向的两侧不对称,使得翼型上部区域的流线变密,流速增加,翼型下部区域的流线变稀,速度减小,根据伯努利方程: $Z_1+P_1/\rho g+v_1^2=Z_2+P_2/\rho g+v_2^2$ 可知速度的提高将导致压强的降低,因此空气作用在翼型下部表面上的压强大于其作用在翼型上部表面上的压强,因此在翼型上形成一个向上的作用力,如果绕流流体是理想流体,则这个力和来流方向垂直,称为升力 FL 。由于空气是有粘性的,在空气流经翼型时,在翼型上形成的力并不和来流垂直,而是和来流形成一定的角度,根据平行四边形法则,可以将其分解成两个力:一个和来流垂直,称为升力 FL ,一个和来流平行。

失速:机翼能够产生升力是因为机翼上下存在着压力差。但是这是有前提条件的,就是要保证上翼面的气流不分离。但是如果机翼的特殊设计使得当风速大到了一定程度,靠近机翼翼面附近的气流在绕过上翼面时,由于自身粘性的作用,流速会减慢,甚至减慢到零,而上游尚未减速的气流仍然源源不断地流过来,减速了的气流就成为了阻碍,最后气流就不可能再沿着机翼表面流动了,它将从表面抬起进入外层的绕流,称之为边界层分离。当气流从机翼表面抬起时,受外层气流的带动,向后下方流动,最后就会卷成一个封闭的涡,叫做分离涡。像这样旋转的涡中的压力是不变的,它的压力等于涡上方的气流的压力。而涡上方的气流流线弯曲程度并不大,所以其压力与下翼面的压力相比小不了多少,这样机翼的升力就比原来减小了。这种情况就叫作失速,对应的机翼迎角叫做失速迎角或临界迎角。

2 故障分析与诊断

2.1 振动诊断

风力发电机在运行时不可避免会产生振动。在机器工况良好、各部位配合协调的情况下,振动频率均匀,振动幅度较小。而一旦发生振动故障,振动频率会变得不规律,振动幅度也会明显增加。振动监测是设备状态监测的一种形式,主要对风力发电机的振动工况进行实时收集,将收集到的振

动信号,与发电机标准工况下的振动信号进行对比。如果两者匹配,则说明发电机运行良好。如果实测信号明显超过了标准值,则说明振动异常。基于此,技术人员根据该异常振动信号的采集点,开展深入分析,从而达到故障诊断的目的。

2.2 电气故障诊断

发电机发生故障后,必然会引起电气参数的异常变化,通过监测并分析这些异常参数,即可判定故障发生位置和故障基本类型。监测对象包括电流、电压、输出功率等。目前常用的电气参数诊断技术为:利用监测装置实时采集发电机运行中的电压信号、电流信号。同时,结合发电机实时转速,对采集到的电气参数开展傅里叶分析,对于相间、相间短路故障,负载不平衡故障可以做到准确诊断。

2.3 温度诊断

基于电流热效应,开展温度监测的故障诊断也是发电机日常检修中常用的技术形式之一。发电机有异常工况时,往往会伴随着额外的电能损耗。而电能消耗越多,热效应也会更加明显,进而在故障发生位置表现为发电机组成构件的发热现象。通过温度实时监测,将采集到的温度信号,与发电机标准工况下各个部件的温度允许值进行对比。若实测温度在允许值以内,则说明工况良好;反之,则说明存在故障。如果设备长时间处于高温状态,除了会导致部件损坏外,还有可能导致跳闸停机,影响正常发电。因此,温度诊断也是保障风力发电机稳定运行的关键技术。

3 失速控制处理方法

定桨距风力发电机的叶片与轮毂直接刚性连接,桨距角在安装时已经固定。这类风力发电机组具有结构简单、控制性能可靠、成本低等的优点。但是定桨距风力发电机组存在着低风速时的气动效率低的问题,并且随着季节变化,输出功率有一定偏差。与变桨距风力发电机组相比叶片重量大,轮毂、塔架的载荷大,大功率如 MW 级风力发电机的应用上受到限制。

3.1 双馈异步风力发电机组失速控制

因为异步风力发电机组结构简单,性能可靠,在近些年风能开发利用中占有一席之地。早期风电市场上定桨距机组大多采取异步发电机直接并网的结构。该机组的结构特点是:风机叶片的桨距角在安装时已经固定,当风速变化时,桨距角不能随风变化。对双馈异步风力发电机组采取被动失速控制是简单的功率控制方式,高风速时风力机通常几乎在恒定速度下运行,依靠叶片的失速特性控制风力机的功率输出。随着风速增加,叶片攻角增大,升力系数也在增大,当达到额定攻角后,升力系数开始减小,阻力系数持续增大,从而造成叶片失速。但实际上桨叶的失速性能只与风速有关,只要风速达到了叶片气动外形所决定的风速,无论是否满足输出功率,叶片都要失速,这样会导致机组输出功率有较大的误差,机组风能利用率低。桨叶失速原理:因为风力发电机组叶片的凹凸形状不同,当气流流过时,叶片凸面导致气流加速,压力较小;凹面相比凸面更加平缓,气流减速,压力高,因此产生升力。当叶片桨距角 q 不变时,随着风速的增大攻角逐渐增大,升力系数 l_c 增大,直到增加到最大

值 l_{maxC} 后开始减小。与此同时,阻力系数 d_c 持续增大,叶片进入失速状态,从而限制了功率的增加。可以看出,随着风速增加,攻角增大,升力系数也在增大。当攻角增大到额定攻角附近后,升力系数也由最大升力系数开始减小,阻力继续增大,此时叶片失速。攻角越大,失速现象越严重。失速型风力发电机组叶片的失速效应是由根部向尖部逐渐加深的。叶片根部最先失速,随着风速逐渐增大,叶片失速部分逐渐增多,已经失速的部分,失速效应加深,未失速的部分开始进入失速状态。

3.2 永磁直驱风力发电机组失速控制

对于永磁同步发电机,由于它可以在风力发电机组中变速运行,通过变流器调整永磁直驱发电机的反力矩,完成风力发电机组在低风速时的最大功率跟踪控制和高风速时的失速控制。失速型永磁直驱风力发电机组采取失速控制的稳态运行曲线可以用力矩-转速曲线来表示。很明显的稳定运行条件有最小转速 m_{im} 和额定转速 r ,也即失速控制的允许转速范围是 m_{im} 到 r 。在低于额定风速下对风机进行最大功率跟踪使风能捕获量达到最大,即曲线图中AB段。在高风速时,一旦达到额定转速,脱离AB段,以额定转速 r 恒速运行,即曲线图中BC段。一旦达到最大功率点C,必须将风轮速度降低,调整到失速状态,最好沿着恒功率曲线运行,即曲线图中CD段,在CD段,定桨风力发电机组是通过电机产生反力矩降低风轮的转速来限制功率输出。

3.3 定桨距失速风力发电技术

自20世纪80年代起,定桨距风力发电机组在风力发电领域得到应用,该系统解决了以前的风力发电机存在的并网、运行安全与可靠方面的问题,主要利用空气制动技术、软并网技术、自动与偏行解缆技术,通过在安装时固定桨叶节距角,限制发电机的速度,并借助桨叶自身特点来限制发电机的输出功率。

结论

针对现有技术缺陷,本文以60kW永磁直驱风力发电机组为研究对象,对永磁直驱风力发电机组采取失速和变桨混合控制策略。该控制方法是将被动失速调节与变桨距调节两种控制技术进行了有机结合。当风机运行于低风速时,发电机转速小于额定转速,采取最大功率跟踪策略;在额定风速以上时,通过变桨使风力发电机组叶片向着攻角增大的方向转过一定角度,主动使叶片进入失速状态,使风机功率维持稳定功率输出。失速和变桨混合控制策略的变桨速率可以比变桨控制的变桨速率小。高风速时,叶片桨距角只需要微调就能维持额定功率输出,变桨机构的行程也比变桨控制少很多。在保证功率稳定输出的同时,使传动系统的柔性得到有效提高,变桨机构故障率得以降低。

参考文献

- [1]种亚奇,程向荣.离心式压缩机旋转失速故障机理研究及诊断[J].化工设备与管道.2005,(1).37-39.
- [2]王梦豪,吴立明,刘小民,马列,李金波.采用仿鸭翼叶片降低空调用离心风机气动噪声的研究[J].西安交通大学学报.2018(06):98-99.