

风电机组变流器故障缺陷研究

赵万平

大唐武威新能源有限公司 甘肃武威 737100

DOI: 10.12238/ems.v7i11.16085

[摘要] 变流器是风电机组发电的核心构件,在风电机组并网中发挥着至关重要的作用。近些年来,我国风电产业高速发展,风电机组变流器运行管理的重要性由此得到更进一步的凸显。鉴于风电机组变流器在机组整体运行中的重要作用,本次研究中将深入探讨风电机组变流器工作中故障的大体分两类以及故障生成的各方面原因。在此基础上结合风电机组变流器故障检修的实际案例,探讨变流器工作过程中会出现的具体故障内容,并针对各项具体故障提出整改举措,推动建立更科学、完善的风电机组变流器故障检修技术体系。

[关键词] 风电机组; 变流器; 故障; 检修

随着我国2030年碳达峰和2060年碳中和宏伟目标的确立,我国社会发展中的能源结构要全面向新能源领域转型,我国风力发电等新能源发电产业发展迎来了重大的发展机遇。为满足当代社会发展中的清洁能源需求,我国风电机组的单机容量持续提高,风电机组中变流器容量也随之增大,变流器工作性能、工作中故障率都会显著影响到风电机组整体的发电效率与风电企业利益。根据目前已有的调研成果,风电机组变流器全功率运行下,运行故障、缺陷事件发生概率会出现大幅上升,对风电机组整体的安全稳定运行构成极大影响。为此,需要就变流器故障缺陷的具体内容、故障缺陷成因等进行更深入的探索,基于更深入的研究成果提出排除故障,维持变流器装置正常运行的可行举措。

1. 风电机组变流器故障分类及成因分析

1.1 变流器故障分类分析

变流器故障类型划分对后续的变流器故障缺陷检修有重大的参考指导价值。根据现有的研究成果,风电机组变流器运行中,影响其性能的因素主要有变流器自身硬件的缺陷、控制逻辑、外部环境温湿度、设备自身的散热性能、电磁干扰、灰尘以及日常维护管理工作开展情况等。根据不同类型故障的影响与引发后果,可以将变流器故障分成两个类型,分别为真性故障与假性故障。在变流器设备工作中,假性故障发生频率显著高于真性故障,变流器假性故障事件占比能够达到所有故障事件的80%。

真性故障具体指变流器中的系统部件损坏,从而对变流器运行产生直接或间接的影响,进一步引发变流器停机、备件损坏等情况。在严重时,还会引发整体风电机组炸裂、起火。针对此类故障,一般采用损坏部件更换的形式排除故障。

假性故障具体指变流器系统部件未发生损坏,但系统部件处在超限、受干扰的运行状态,由此引发的各种故障或保护性停机动作。针对此类故障通常采用复位、重启等方式排除,不需要进行特定部件的更换。但是,反复多次发生此类故障可能会导致变流器发生真性故障。

1.2 变流器故障成因分析

通过对相关领域研究成果的总结,关于风电机组变流器全功率工作下各类故障的成因,总结得出以下几点:

第一,变流器外部环境因素影响。首先,变流器是多个电力电子元件的结合体,这些元件在工作中,环境温度对其工作状态影响十分显著。当温度升高时,变电器中电子元件对外散热效率会随温度升高而下降,从而降低变流器整体性能,最终在薄弱环节引发故障。另外,环境湿度也对变流器性能有显著影响。变流器长期在湿度较大的环境中运行,装置整体绝缘性能会持续下降,外壳受到持续锈蚀,进而引发设备电离故障。再有,变流器长期处于灰尘较大的环境中,灰尘大量堆积会引起板卡、IGBT等关键元器件性能下降或异常放电,因此引起多种故障。

第二,变流器自身原因。首先,变流器装置自身设计存

在缺陷,具体指在变流器设计阶段,受限于当时技术能力等客观因素,变流器设计与生产存在硬件选型不匹配、结构布局不科学、工作逻辑有缺陷等各种问题。这些问题在变流器最初投入使用时不会出现,但设备经过长期使用,这些问题会逐渐显露出来,导致变流器反复出现各种故障。另外,变流器内部的元器件有固定的寿命周期,这些器件经过长时间运行及外部环境的影响,其性能会持续下降,进而因部件老化、损坏引发各种故障事件。最后,变流器运行中,受风电机组过压、过流影响会引发变流器模块或辅助电路损坏,由此引发进一步的故障事件。

第三,变流器裕量下降。风电机组装机容量提高大大推动了变流器结构的模块化发展,容量相同的变流器模块应用于不同容量的机组,会对机组中变流器裕量产生影响,而其中裕量较低的变流器潜在故障率会大幅提升。

第四,由电网故障引发变流器故障。首先,电网工作中产生的谐波等会引起电源幅值、相位及运行功率在短时间内超出变流器预设的保护范围引发故障,严重时直接损坏变流器上的硬件装置。其次,电网运行中的电压波动可能会导致变流器脱网或损坏。再有,风电机组变流器高/低穿功能无法实现或反应速度不够也可能引发各种变流器运行故障。

第五,变流器工作中,风电机组中其他系统与构建运行生成的电磁场、信号波会干扰变流器正常运行,导致变流器发生各种故障。

2. 风电机组变流器故障检修案例分析

某风电场使用华锐 SL1500 系列双馈风力发电机组,在将机组中原有型号变流器替换为国通一/二代变流器之后故障频率显著提升。为此,风电场将变流器进一步替换为 PM3000 变流器,一定程度上降低了故障率,但降低幅度较为有限。

2.1 变流器故障诊断

(1) 功率单元故障

案例风电机组配置的变流器整体采用单管结构,核心功率模块为 FF450R17ME4 高频 IGBT 模块,机侧采用 FS100R17KE3 功率模块。对变流器功率单元进行故障排查发现机侧模块有超温情况,在夏季环境温度升高时可能引起机柜内部温度超限,极端情况下可能导致变流器过热炸毁。功

率单元配套设置的冷却模块使用卡套式连接方式,密封性较差,难以充分发挥冷却性能。此外,变流器保护熔断器因规格选择不善存在响应速率低的情况。

(2) 元件升温异常

案例中风电机组系统中使用 PM1000、国通一/二代变流器,预充电阻型号为 $22\ \Omega/200Q$,随后机组中变流器被替换为 PM3000 型变流器,但预充电阻仍使用原有型号。变流器的直流母线电容超出预充电阻工作能力,运行状态下极易引起预充电阻损坏。根据对现场风电机组的三相转子波动情况的实测数据,预充电指令发出的 0.2s 内会出现十分明显的三相转子波动,由此空间机组在这一瞬间产生极大的瞬时电流。当变流器在低风速环境中运行时频繁发生停机,而随着预充电阻承受能量的大幅上升也进一步增大预充电阻损坏概率。另外,当前案例中机组为与原有变流器使用协调,使用 $3 \times 33.4\ \mu F$ 角接电容作为滤波电容,这也极大增加了变流器装置中电阻的负荷,引发电阻温度过高的问题。结合案例风电机组的实际运行情况,在每年的 7-8 月,风电场所在地区气温达到全年最高水平,滤波电阻故障率在这一期间有明显上升,由此证明滤波电阻运行温度升高引发故障机理的正确性。再有,案例中机组使用的变流器采用封闭的柜体,变流器投入使用内部功率模块升温十分明显,易发生因过热损害变流器的情况。

(3) 变流器自身设计缺陷

案例中风电机组变流器自身设计也存在各种缺陷,由此引发各类故障。

首先,变流器的网侧主网接触器配置不合理。风电机组额定转速为 1800rpm。机组在全功率状态下运行时,同步转速会达到 1500rpm,由此,网侧回路电流可以达到 209A。而案例中风电机组中的网侧主接触器未按照这些参数指标进行重新设置,加以环境因素影响,会有变流器工作温度异常升高影响接触器的工作效能,在一些情况下还会导致接触器主触点无法正常分开的问题,影响机组整体的稳定运行。另外,案例中变流器未设置低穿功能。案例风电机组建设中使用被动的 Crowbar 模块,直流母线未配套设置 chopper 电路,与最新的国家标准不符。当系统运行中发生电压瞬时下降等情况

时,会导致直流母线通过电压大幅升高,进而引起电容不足、过压击穿等更严重的问题。再有,机组变流器的电流传感器配置不合理。案例中风电机组建成与投入使用的时间比较早,受限于当时的技术条件,系统建成使用初期未配套设置UPS功能,当系统中铺垫部分发生瞬时掉电情况时,极易引发控制系统的误动,进而导致IGBT损坏。同时,更换后的变流器内部结构更加紧凑,一定程度上增加装置内部过热的风险,引发变流器内部核心构建损坏等严重问题。

2.2 变流器故障缺陷整改的可行措施

(1) 变流器功率单元整改措施

根据风电机组真实的运行情况对变流器的网侧、机侧功率单元的额定参数进行调整。针对案例机组变流器的功率单元故障处理,将变流器网侧功率单元的额定参数提高至210A,机侧功率单元的额定参数提高至500A。根据调整后的参数指标,还要以1.1倍过载为依据设置变流器电容的安全裕量,确保变流器发生过载时能够维持装置整体的稳定运行。另外调整机侧功率单元的配置模式与冷却系统连接变流器的方式,提高冷却系统工作性能,维持变流器正常工作温度。

(2) 变流器内部元件升温整改措施

整改重点要集中于电阻与电抗器模块。结合案例内容,将滤波电阻更换为 $1\Omega/800W$ 。案例中的预充电阻板块更换成 $222\Omega/500W$,由此适度提高变流器运行中的额定参数。针对电抗器过热的的问题,要重点强化变流器柜内部的散热性能,在柜顶增设风机提高柜内空气交换效率,由此消除这方面的问题。

(3) 变流器自身设计缺陷整改措施

根据案例中变流器设计中存在的各项缺陷,在整改中首先要将原有的接触器装置做替换,参考案例中风电机组的容量,变流器运行性能要求,建议使用西门子接触器3TF53。经过现场实测,该型号的接触器使用大幅提升变流器的载流性能,降低接触器触电无法分开故障出现的几率。另外,在变流器中加装UPS模块及电流传感器模块。增设这两个模块的过程中,需要通过实测验证模块是否能够正常发挥其性能。再有,针对变流器控制单元结构紧凑引发的内部温度异常问

题,可以用光纤连接方式接入独立控制单元规避问题。

结束语:

综上,研究中针对风电机组变流器运行中的故障缺陷展开系统研究,探讨故障发生的各方面原因。并由此结合实际案例探讨变流器可能发生的具体故障及对应整改措施。从中能够看到,变流器应用中各项故障缺陷的出现,根本上都是由技能水平不足引起的,为保障风电机组变流器稳定高质运行,变流器设计建造中的技术能力提升是重中之重。

[参考文献]

- [1]顾建锋,杨维满,赵春娟,等.基于VMD小波包能量熵的风电机组变流器故障诊断方法[J].机械研究与应用,2023,36(03):163-167.
- [2]黄光更.双馈风电机组变流器故障诊断研究综述[C]//中国电力技术市场协会.2023年电力行业技术监督工作交流会暨专业技术论坛论文集(下册).2023:29-32.
- [3]林延填.2MW风电机组变流器IGBT板卡故障的分析及解决方案[J].福建水力发电,2023,(02):88-90.
- [4]侯垚.NBT10929—2022《风力发电机组变流器可靠性技术规范》标准解析[J].电器工业,2024,(03):19-21.
- [5]颜湘武,雷国庆,蔡光,等.基于动态无功支撑的双馈风电机组高电压穿越改进控制策略[J].电力系统自动化,2025,49(06):198-207.
- [6]徐上,谢震,杨曙昕,等.不平衡弱电网下构网型双馈风电机组转子侧变流器优化策略[J].电力系统自动化,2025,49(07):35-45.
- [7]陈明,余岳,刘斐,等.一种双馈风电机组三相短路Chopper动作能量分析方法[J].控制与信息技术,2025,(01):84-89.
- [8]程雪婷,芦耀辉,杨玉,等.考虑变流器温度影响的风电机组服役质量动态调控方法研究[J].电气工程学报,2025,20(02):14-23.
- [9]胡鑫悦,陈心梦,孙婷婷.故障穿越期间提升并网点电压的风电机组变流器改进控制策略研究[J].光源与照明,2025,(04):207-209.