

风冷型SVG无功补偿装置深度维护研究

王 宁

国华(赤城)风电有限公司 河北 张家口 075000

摘要: 风冷型静止无功发生器(Static Var Generator, SVG)作为电能质量治理的核心设备,在长周期运行过程中,易受到绝缘老化、散热性能退化及核心部件参数漂移等多重因素影响,进而降低其运行可靠性与响应性能。本文深入分析风冷型SVG装置的主要老化故障机理,构建了涵盖清洁除尘、绝缘强化、散热系统优化等在内的深度维护技术体系,提出了关键部件的电气参数测试方法与功能性能评估方案,以期风冷型SVG装置的长期可靠运行提供技术参考。

关键词: 风冷型SVG; 深度维护; 绝缘强化; 散热优化; 参数漂移

1 引言

风冷型SVG具有结构设计紧凑、维护方便、适合各种环境等特点,在电能质量治理领域得到普遍应用。随着设备运行时间的增加,SVG内部器件老化、散热系统性能降低、关键设备参数漂移等问题逐渐显露,进而可能引起SVG出力不稳定、控制响应滞后甚至停机现象,故而研究建立规范化、实用性的深度维护体系已成设备长期稳定运行的必然需求。本文针对风冷型SVG装置运行稳定性的探讨,依据装置实际运行特点和故障表现,从其本体故障分析出发,提出了深度维护核心技术,以期风冷型SVG设备的状态感知及全寿命周期维护提供参考。

2 风冷型 SVG 装置老化故障机理分析

2.1 绝缘系统性能衰减机理

绝缘系统性能衰减主要原因是长期运行后环氧板与门极板的老化。功率柜环氧板虽在最初有良好的绝缘性能,但由于使用期间会吸附环境中的粉尘和潮气,在其表面会形成污染物,从而慢慢降低其绝缘电阻,易产生局部放电。而门极板是信号传导的另一个重要部分,若门极板使用期间表面不清不洗,表面电荷在空间集中会因场强集中发生电晕现象,会慢慢地腐蚀其极板的绝缘层,损坏其信号传导的稳定性。设备使用期间的振动会在设备某些部位对门极板连接件有影响,使门极板接触面处松动导致其接触电阻变大而出现局部过热和绝缘老化。绝缘性能下降的一个重要方面是由于污秽层的导电通道,其泄漏电流 I 可表示为:

$$I = \frac{U}{R_s}$$

式中, U 为施加电压, R_s 为表面绝缘电阻。随着 R_s 因污秽积累而降低,泄漏电流增大,最终可能引发沿

面闪络。

2.2 散热系统效率降低机理

由于风扇的热源集尘网、导热油的老化而影响到系统的散热效率,影响制冷的效果;同时集尘网的堵塞而影响到通风截面,导致通风的摩擦变大,冷气风量降低,这样使得箱内变频器的IGBT器件的工作温度偏高;器件本身的集尘网安装在箱体外,会导致部分零部件受潮而受阻,影响散热风机的运行效果;同时散热风机长期的热循环会使齿轮传动的轴承过度磨损,进而降低齿轮的传动效率及传动过程中的摩擦系数,影响了散热的能力,这种恶化的趋势会进一步影响到设备的温度^[1]。

2.3 核心部件参数漂移机理

核心部件参数漂移包括电容、IGBT、霍尔传感器的参数偏离原始设定值,电容由于充放电效应会造成材料的介质损耗增大,电容值和内阻会发生改变,从而导致无功响应速度和精度下降;IGBT开关元件工作时内部二极管的正向导通压降和反向漏电流在运行中的磨损会导致开关损耗的升高,器件发热加剧;霍尔电流传感器会由于磁场磁化特性或电路元件老化,出现电流采样的误差,进而影响SVG的控制精度;启动电阻、控制电源等辅助元件随着材料的运用也会发生参数漂移,如启动电阻阻值大小的改变可能引起启动电流过大,影响装置安全性。

3 深度维护关键技术体系

3.1 清洁与除尘工艺

清洁与除尘需按“停电验电→部件拆解→精细清洁→防护处理”的施工工艺,保证设备内部无灰尘和氧化物。首先应确保设备停电,在完成验电步骤,证明设备带电部位已经停电,可以进入设备网门前才能进行下一步工作。在拆卸操作中先将光纤接口拔出,用胶带包好

光纤接口，以防止灰尘进入，拆除模块连接铜排，将其置于支撑物上，然后将其轻放到其组件上。在清扫中用棉布蘸酒精擦拭模块、环氧柜外壳以及连接铜排的灰尘和油迹，在模块的孔洞间和空隙内如有灰尘可用软毛刷清扫，禁止刮伤绝缘层^[2]。对于模块与散热器上部的IGBT粘连的导热硅脂需要酒精清洗，直到表面无油迹和硅脂，防止安装硅脂时产生不贴合。部件表面清理完毕后对所有部件表面是否晾干进行检查，防止出现液体短路的情况，然后再进行部件整理的工作，等待下一个工作步骤。

3.2 绝缘强化技术

绝缘强化技术对功率柜环氧板和功率模块门极板，涂抹绝缘保护胶的方法来加强绝缘防护。将功率柜环氧板擦拭干净并保持干燥，用滚筒刷子将室温硫化硅橡胶均匀涂抹在环氧板表面上，并保证涂层厚度一致，无漏涂、有气泡等现象；涂层后静置等待4—8小时，直到RTV胶完全干燥固化，形成具有一定弹性的绝缘层状结构，随后将模块恢复；涂层过程须保证灰尘不能进入涂层表面。对功率模块门极板必须在除灰合格后进行绝缘强化涂抹，对门极板涂抹室温硫化硅橡胶，涂层完成后将门极板平放至15分钟以上，使胶层可以完全固化，不能遮挡极板上的导电触头，以免影响导线电气接触性能^[3]。这样处理能够利用RTV胶的防潮以及抗电弧功能，对环氧板的损伤部位以及门极板受到的损伤，对其漏流进行阻隔，从而降低放电概率。

3.3 散热系统优化

散热系统优化包括滤网改造和IGBT散热器导热硅脂

更换，对设备散热性能进行改善。滤网改造是将集装箱设备原有的老旧百叶窗滤网拆除，换成铝合金材质框架支撑的聚氨酯海绵滤网，采用一次性拆卸可直接插拔的式样，易于后期拆除清洗；拆卸安装过程中应保证滤网与滤框之间密闭无间隙，无漏风现象，同时记录拆卸更换滤网的日期，制定清洗的周期规划，控制好通风量。IGBT散热器导热硅脂更换需将模块全部拆卸，把IGBT与IGBT散热器分开，用工业酒精清洁IGBT与散热器的底部的失效硅脂，清洁后保证表面光亮无残留，方便IGBT与散热器的装配工作；取出新的导热硅脂，均匀涂抹在IGBT的底部，涂抹导热硅脂的量以能在接触面的微小空隙处填满为标准，防止导热硅脂过厚或过薄影响导热效果；在涂抹完成后，按照装配流程把IGBT重新装配在散热器之上，装配完成后保证IGBT与散热器装配紧密贴合，无松散脱落现象。对于系统中各节点的风机检查是散热系统优化中设备风机状态的重要控制环节，在对设备主控制器触摸屏进行调试功能选项中进行风机功能测试，风机的旋转方向确认正反无误，风量可以满足装配工况，在测试过程中若发现风机出现异响或转速无法满足设备工作要求的，及时替换备用风机零件，确保设备散热系统各项性能的有效发挥。

4 核心部件测试与性能评估

4.1 电气参数测试方法

电气参数测试需按“部件拆解→仪器连接→参数测量→数据记录”流程开展，确保核心部件性能指标达标，具体方法如图1所示。

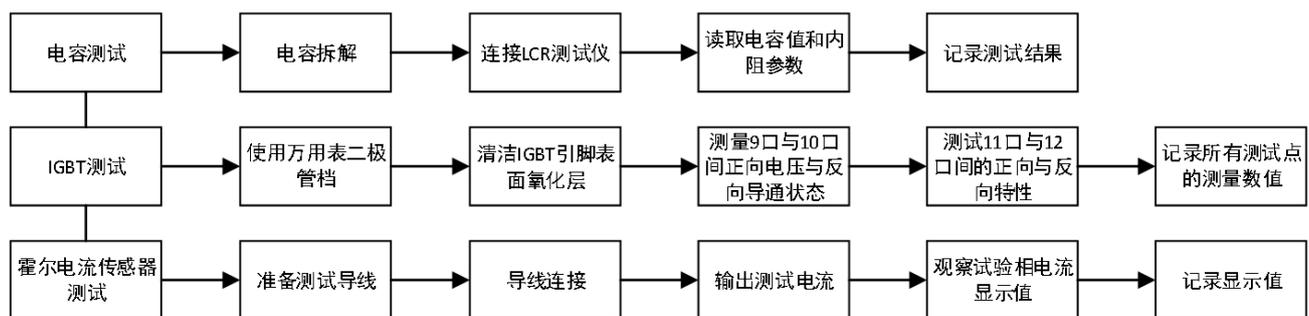


图1 电气参数测试方法

电容测试，取下电容，拆下模块，用LCR测试仪进行测量，测量电容之前要放电。用测试仪表笔接上电容的正、负极，测试频率设定在1kHz，读取其电容值和内阻并记录下来并与标称值比较。

IGBT测试，使用万用表二极管档，先清洁IGBT引脚表面氧化层，再进行引脚间特性测量：黑色表笔接9口、红色表笔接10口，测量正向电压；红色表笔接9口、黑色表笔接10口，测量反向导通状态；最后测量9口与11口、

10口与12口的导通状态，记录各测试点数值^[4]。

霍尔电流传感器测试，准备测试导线，一端连接模块测试仪AC10A输出端，另一端分别接入霍尔电流传感器两侧。将模块测试仪档位旋至“运行”，打开电源输出电流，在主控制触摸屏观察试验相电流显示值，切换测试仪输出电流档位，同步记录显示值，验证电流采集精度。

4.2 功能性能测试

功能性能测试重点针对本体各部件功能的可靠性以

及连带性测试，以相应工况模拟真实运行情况进行功能性测试。启动电阻调试对各电阻进行万用表电阻测试，选择电阻档，分别对三相启动电阻进行表笔点触，比较各自电阻阻值，检查阻值平衡性，检查是否有断路、异常阻值等；散热风机调试在主机上主控触摸屏调试主画面，分别在PLC中拨动10个控制风扇的节点，观察是否启动风扇，并查看其运行状态音、确定风扇是否有异常声音，可用风速仪检测风扇出风口风速，比较得出是否正常；启动开关及控制电源调试通过在主控触摸屏调试主画面拨动1~4号节点控制开关分、合闸，观察其动作的正常性及指示的准确性，同时可用万用表检测其控制电源输出电压，比较电压是否正常、是否符合允许误差值；内部节点状态调试通过各节点在主机上所连接的模块测试仪输入信号，每个内部节点都进行一次脉冲点触，且在主机上实时观察内部节点状态的反馈，分析判断是否有信号反馈迟滞、错误反馈以及错误信号传送等问题，以保证控制逻辑信号传递的正常性^[5]；并在对各零部件调试过程中对影响零部件性能的温度、湿度等因素进行全面记录和积累，通过综合性总结对各零部件进行统一分析，其中异常零部件进行标记、更换，最后使所有部件性能指标达到可靠运行的状态，从而有效保证整个设备的可靠性和安全性。

5 工程应用案例

5.1 案例概况

某场站装有10Mvar容量的风冷式SVG，使用了10年，近期发现发生了一连串跳闸故障，经观察功率柜中堆积灰尘很多，环氧板出现了很多局部放电灼烧痕迹，由于通风滤网堵塞无法排风散热，导致IGBT过热运行，电容以及启动电阻等参数产生偏差。该设备主要是完成新能源并网的无功补偿，对于整个系统的稳定性十分关键，所以对该设备采用深度维护进行整修。

5.2 维护实施过程

在维护过程中，先进行功率柜、启动柜除灰，卸掉光纤，封住接头，然后拆模块，用酒精擦拭模块和环氧柜体，然后再对功率柜环氧板喷涂RTV胶，固化后回装；使用新的集装箱旧式通风滤网，替换为铝合金框架式聚氨酯海绵滤网，并采用一体式的插拔结构形式；打开功率模块，更换IGBT导热硅脂，清洁门极板，涂抹室温硫化硅橡胶并固化处理；对主要部件进行试验：测量启动电阻阻值，校准霍尔电流传感器测量值，测量电容的电容值和内阻，测量IGBT二极管参数特性；在单机性能试验后，对整机进行联调试验，保证具有正常的脉冲

控制、通讯和互取电功能。

5.3 应用成效

经过维护后，风冷型SVG装置的关键性能指标均显著改善，具体如表1所示。

表1 应用成效

指标项	维护前数值	维护后数值
启动电阻阻值(Ω)	210、205、220	194、196、195
电容值(μF)	6800、6750	7180、7220
电容内阻(MΩ)	1.1、1.2	0.68、0.70
IGBT正向电压(V)	0.85、0.88	0.69、0.71
霍尔采集误差(%)	±3.5	±0.8
模块交流输出电压(V)	450(波动大)	500(稳定)
平均无故障运行时间(天)	45	180

电阻阻值平均数趋于平稳和变小，表明电阻趋于稳定；电容值增大并内阻趋于小，表明电容性能增强；IGBT正反向压降低，功率损耗降低；霍尔电流采样误差由±3.5%减小到±0.8%，提高了测量精度；模块交流输出电压稳定提高到500V，减少了波动对模块运行的影响。经维护之后，该设备平均无故障时间由45天延长到了180天，提高该设备可靠性和运行稳定性，充分证实了深度维护的有效性。

6 结语

风冷型SVG装置作为电力系统的重要调节设备，其稳定性和可靠性直接影响整体运行安全。本文深入分析了装置老化及故障的机理，针对绝缘系统、散热系统及核心部件性能退化，提出了系统的深度维护技术方案。清洁除尘、绝缘强化和散热优化等关键技术有效延长了设备寿命，提高了运行效率。经深度维护后，设备性能显著提升，故障率明显下降。未来，应结合智能监测与预测维护，推动风冷型SVG装置向智能化、精准化运维发展，进一步保障电网的安全稳定运行。

参考文献

- [1]易淳.电力设备智能检测及维护系统算法优化[J].电气时代,2025,(06):105-108.
- [2]张繁露,陈刚.电力设备可靠性检修维护模式及其实践[J].广播电视网络,2025,32(02):89-92.
- [3]何钟南,柏中亚.电力系统继电保护装置安全运行监控管理研究[J].通讯世界,2024,31(12):79-81.
- [4]崔琦.电力电气设备的维护检修技术探讨[J].中国设备工程,2024,(17):170-172.
- [5]牛向阳.农村配网电力设备的运行维护与故障处理技术研究[J].仪器仪表用户,2024,31(08):7-9.