

# 风电场 SVG 设备高低压穿越能力研究与运用

宋 磊

(神华(故城)新能源有限责任公司, 河北 衡水 053000)

**摘要** 大型风电提升无功补偿设备的安全稳定运行能力是保障电力系统运行安全的关键, 而提高无功补偿设备低电压穿越和高电压穿越能力是风电系统亟待解决的核心问题。本文研究了风电场 SVG 设备耐压耐频能力技术改造方法, 在控制系统软件、一次部分硬件、二次部分硬件等方面进行了技术升级改造, 旨在确保当电力系统中电网出现故障后 SVG 内部控制链路中关键模块的直流母线电压始终处在正常状态, 进而改善系统电压突变的设备耐压能力。

**关键词** 风电场; SVG; 高低电压穿越

**中图分类号**: TM614; TM761.12

**文献标志码**: A

**DOI**: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.20.002

## 0 引言

随着风电并网规模的扩大, 风电涉网性能改造是适应网源结构及电网运行方式变化、提升并网安全水平的必然要求。在双碳目标的大背景下, 风电场的建设规模快速增长, 虽然风电场能够在不同工况下达到标准规范的技术要求, 但并网性能与新技术要求之间仍存在很大差距, 无法适应网源结构及电网运行方式变化, 因此必须开展风电场高穿性能改造工作。

## 1 研究背景

本项目拟以某风电场 SVG 设备为研究对象, 研究风电场 SVG 设备的高低电压穿越及耐频能力的技改方法, 实现风电场 SVG 设备的耐压耐频功能。常规状态下, 电网运行发生电压扰动异常时, 对 SVG 设备的主要影响 SVG 功率部分链节的直流过压, 控制部分电源系统异常, 使得 SVG 无法正常工作, 进而无法为系统提供故障恢复所需的无功和电压支撑<sup>[1]</sup>。为提高风电场设备发生故障时电力系统的电压恢复能力, 确保风电场设备具有较强的稳定性与抗扰能力, SVG 装置需提高故障高电压穿越能力, 通过风电场高穿改造可以提升无功补偿设备的安全稳定运行能力, 既能满足电网安全运行的要求, 也能改善风电场的适应性和可靠性<sup>[2]</sup>。

## 2 风电场 SVG 设备改造方案

### 2.1 高电压穿越 HVRT 改造方案

首先需要增强 SVG 装置的绝缘耐压能力, 保证其内部各级功率模块在故障或电网扰动工况下直流母线电压能够承受最大正常电压阈值<sup>[3]</sup>; 其次需要升级 SVG 控制系统, 确保在电网故障工况下, 控制链路中各功

率模块的直流电压不超过安全阈值。具体整改措施有以下几个方面:

1. SVG 设备一次部分(主电路系统): SVG 设备的一次部分应以不低于 1.3p.u. 耐压等级作为首要条件, 并全面核算 SVG 成套装置中一次设备的交流耐压性能, 包括隔离开关、连接变压器、串联电抗器以及本体绝缘件等关键部件, 确保其在系统最大运行电压和异常工况下具备足够的绝缘裕度与冲击耐压能力。同时, 需结合 SVG 感性出力工况, 准确评估各功率链节的直流母线电压耐受能力, 并分析在高电压冲击扰动下的电压波动特性, 为后续控制策略优化与保护配置提供依据。

2. SVG 设备二次部分(保护系统): 在高电压扰动工况下, 应按照按不低于 1.35p.u. (额定相电压的 135%) 的暂态过电压水平对其控制系统及冷却系统的二次供电回路进行过电压耐受能力核算; SVG 设备控制系统中的电压采样单元(PT 电压采样回路)亦应按不低于 1.35p.u. 电压耐受等级进行设计与测试, 确保其高电压冲击情况下具备足够的绝缘强度与测量精度, 从而避免电压异常引发的保护误动或测量偏差。

3. SVG 设备的控制系统: SVG 系统的过压保护定值按照 1.3p.u. 设计和测试; SVG 控制系统应具备对本体功率模块直流母线电压的实时监测与调控能力, 确保其在电网故障期间(特别是高电压扰动工况下)始终运行在设定的正常电压阈值内, 系统应提升对高电压事件的快速检测与识别响应能力, 并能在短时间内切换至感性无功输出模式, 以主动吸收电网多余无功功率, 从而增强整个风电场的高电压穿越能力(HVRT), 确保其在暂态电压升高期间实现连续稳定并网运行(见表 1)。

表 1 SVG 设备 HVRT 主要参数和整改措施

类别	部件名称	整改标准
一次部分	功率模块 耐压核实	一次功率部分按照不低于 1.3p.u. 设计, 并确保整体系统在高电压扰动工况下, 满足相关设备规定的连续运行时限, 现场为常规 35 kV 降压式设备每相 12 个模块, 满足高低穿要求, 不需要额外增加功率模块
系统采样部分	PT 输入测量 范围精度	PT 输入过压采样需按照最高电压不低于 1.35p.u. 设计; PT 输入是否磁饱和待核实, 并满足以上设备整体低电压穿越运行时间要求
软件控制部分	直流电压 控制策略	系统高电压冲击时, 通过提升 SVG 直流电压的动态调控能力, 可有效抑制故障期间的直流过压风险, 保障设备稳定运行, 并满足 SVG 系统在高电压穿越工况下的持续运行时间要求
	控制保护定值	在高电压扰动工况下, 应确保 SVG 设备满足整体穿越运行时间要求, 同时避免因暂态电压波动引发保护误动作, 全面满足继电保护系统在可靠性与选择性方面的技术规范

## 2.2 低电压穿越 LVRT 改造方案

在低电压扰动工况下, SVG 设备易出现功率模块直流电压超限问题, 首要任务是提升模块链节对直流母线电压的耐受等级, 从硬件设计层面增强其低电压穿越能力<sup>[4]</sup>; 其次需升级 SVG 控制系统, 在故障扰动工况下, 必须通过合理的控制策略和硬件设计, 确保控制设备各链节模块的直流电压运行不超出其安全耐受范围。整改具体措施如下:

(1) SVG 设备一次部分: 应开展 SVG 功率链节的直流电压耐受能力计算, 评估在电网高电压冲击工况下其直流侧的电压波动范围与承压能力, 确保模块不因过电压失效; 核算 SVG 设备在低电压极端容性无功输出工况下的电流承载能力, 防止因输出电流超限触发本体过流保护, 导致设备跳闸或闭锁, 影响故障穿越和系统无功支撑能力。(2) SVG 设备二次部分: 对 SVG 的主控装置在低电压穿越过程中系统的 PT 电压采样范围精度等进行核算。(3) SVG 设备控制系统: SVG 装置的低电压保护定值按照 0.2p.u. 设计和测试; SVG 控制系统必须具备对功率模块链节直流母线电压的实时调控能力, 确保其在故障期间运行于正常电压阈值内, 同时实现控制逻辑的快速切换, 在短时间内投入最大容性无功出力模式, 为电网提供必要的无功支撑, 从而提高风电场整体的 LVRT 穿越能力。

## 3 风电场 SVG 设备改造主要措施

本次技术升级是根据相关规范和标准, 对 SVG 硬件部分进行更换或改造, 软件部分升级为高低电压穿越匹配程序。

### 3.1 控制系统升级

1. 新的主控板卡升级为三核架构, 具有运算速度快、稳定性强的优点, 通过瞬时无功控制算法可在 5 ms

内完成控制计算, 系统响应时间  $\leq 10$  ms。

2. 新的主控板卡增加通信数据预处理模块及电路, 可实现模拟量高速实时处理, 精度高、响应快, 能够满足高电压穿越时的调节要求。

3. 新的主控板卡对芯片升级, 扩展芯片数据容量及处理速度, 提升数据处理和响应速度, 确保电压异常波动时的快速响应要求。

4. 新的主控板卡提高了硬件电压突变耐受能力, 满足高压穿越时的稳定控制要求。

### 3.2 升级互感器板卡

1. 新的互感器板卡升级为 INTEL 高性能 FPGA 芯片, 通过 16 位同步转换 AD 芯片实时采集进线电压、进线电流、同步电压、SVG 输出电流, 并发送至主控板卡, 具有采集精度高、同步性高的优点。

2. 新型互感器板卡集成滤波芯片以增强线路抗干扰能力, 同时采用高精度信号采集电路, 在采样精度与响应速度方面实现全面升级, 从而有效满足控制系统在耐频、耐压工况下的运行要求。

3. 新的互感器板卡数据采集具有更大的带宽和小信号线性度, 确保控制系统在系统发生故障暂态或低电压时的采样精确度。

### 3.3 升级开入开出板卡

1. 新的开入开出板卡升级为 4 层电路板设计, 规避电压和频率异常时的系统干扰, 可以适应现场各种恶劣电磁环境的要求。

2. 新的开入开出板卡增加开入开出通道, 用于扩展信号判断, 提高了高穿信号响应速率。

3. 新的开入开出板卡提高了对功率单元电压的监控与调节能力, 具备基于并网点电压波动自动调节无功功率输出的能力, 可有效参与电压稳定控制, 起到

稳定快速电压的作用，同时可增强 SVG 对系统电压异常波动的抵抗能力，实现高电压穿越时的稳定运行。

#### 4 升级光纤板卡

1. 新的光纤板卡采用 INTEL 高性能 FPGA 芯片，可同时处理多达 21 路通信数据，可迅速识别出功率单元通信中断、驱动模块故障、直流过电压、IGBT 过温、IGBT 损坏等故障，确保 SVG 设备的稳定运行。

2. 新的光纤板卡增加了加密解码模块，可有效规避在电压频率异常时的数据丢帧现象，确保数据收发更加稳定可靠。

3. 新的光纤板卡更换了高速收发模块，提高数据传输实时性和稳定性，满足高穿时的控制要求。

#### 5 软件程序升级

升级措施：更新为最新耐频耐压程序。

1. 升级为具有耐频耐压功能的控制程序，含 DSP 控制程序、FPGA 算法加速模块、显示程序等，以匹配高低电压穿越控制功能。

2. 新控制程序在配合硬件升级的基础上，提高了系统的采样速率与通信总线传输效率，可显著提升设备对并网点高低电压暂态故障的响应速度与调控精度，增强电网扰动下的适应性与稳定性。

3. 新控制程序新增电网故障工况下的运行控制功能，在对电网故障类型及特征进行实时分析的基础上，采用适当的序分量控制策略，确保 SVG 装置在故障期间直流侧功率平衡、避免因过压或能量冲击引发跳闸。同时，依据并网点电压标幺值的变化情况，动态调节无功输出容量，有效支撑系统电压的恢复，提升故障穿越能力<sup>[5]</sup>。

#### 6 功率单元升级

升级措施：功率单元板卡升级。

1. 将每套 114 个功率单元内部驱动板进行升级，并增加 3 个功率单元，满足高低电压穿越时的均压要求，使其拥有高低电压穿越的能力。

2. 驱动板升级后采用 INTEL 高性能 CPLD 芯片通过光纤收发器与控制装置通信，确保能够准确、可靠地控制 IGBT，使 SVG 稳定运行。

3. 驱动板升级后采用安华高 IGBT 驱动专用光耦，提高控制精度和响应速度，满足高电压穿越时的硬件电压耐受能力。

#### 7 升级改造效果

本次技改升级之后，增加了 SVG 对电压突变的耐受能力，设备完全可以适应当前电网系统电压波动，满足耐频耐压要求<sup>[6]</sup>。并对升级后的 SVG 设备进行了

无功补偿装置故障穿越功能测试试验，试验采用高低压穿越模拟信号源模拟场站并网点 PT 二次电压信号，并发送给场站无功装置测量单元。试验结果表明，升级后设备在高低压穿越期间均能不间断并网运行，并按要求正确响应，具备动态无功支撑能力。

设备改造后，满足《电力系统网源协调技术规范（DL/T 1870-2018）》和《国家电网有限公司关于印发十八项电网重大反事故措施（修订版）的通知（国家电网设备【2018】979 号）》等规范文件中的要求。当风电场并网点电压跌落至标称电压 0.2 p.u. 时，SVG 设备应能够持续运行不少于 625 ms，且不得脱网。当电压在发生跌落 2 s 内恢复至不低于标称电压 0.9 p.u. 时，SVG 设备应确保全过程持续并网运行，不得出现跳闸或闭锁。

#### 8 结束语

本文分析了风电场 SVG 设备高低电压穿越能力的研究与运用，明确了 SVG 设备可对风电场并网点的电压提供有力支撑，在电网电压波动时快速调节无功功率，维持并网点电压稳定。其高低电压穿越能力可确保风电场在电网故障（如电压跌落或骤升）时保持连接，避免大规模脱网，从而确保系统的正常运转。风电场涉网性能改造具有客观现实需求以及一定的技术前瞻性，可以显著提升风电场的并网运行性能，有助于增强电网对波动性电源的适应能力，提升系统灵活性和安全冗余水平，进一步推动新能源高效利用与规模化接入，未来可进一步结合智能算法与数字化技术深化其功能拓展。

#### 参考文献：

- [1] 李思宇,方磊,张保平,等. 电网末端风电场 SVG 设备高低压穿越功能改造与测试[J]. 电工技术,2020(22):56-58.
- [2] 马婷婷,邓王博. 基于 SVG 的直驱风电场次/超同步振荡影响因素分析[J]. 太阳能学报,2023,44(10):339-345.
- [3] 安静雨,袁帅,宋坤. 风电场 AVC 系统无功分配方法的探讨[J]. 电力设备管理,2024(01):84-86.
- [4] 王斌. 某风电场 35kV 干式空心电抗器起火事件分析及处理[J]. 风能,2023(01):94-95.
- [5] 郑泽天,沈沉,严璠,等. 直驱风电场多电压源型变流器控制耦合引发振荡的机理分析[J]. 电力系统自动化,2023,47(17):14-26.
- [6] 陈继开,郝鑫,常旗峰,等. 考虑 SVG 控制模式的风电场系统中频谐振分析与抑制[J]. 电力自动化设备,2023,43(09):39-46.