

# 风力发电机组继电保护定值整定原则分析

要晋达 郭 岩

内蒙古华电辉腾锡勒风力发电有限公司 内蒙古 呼和浩特 013500

**【摘要】**：针对永磁直驱风电机组变流系统谐波干扰、拓扑结构复杂及工况随机波动等问题，本文剖析了风电继电保护定值整定的主要影响因素。立足于风机 SPWM 逆变与多重化斩波电路运行特性，确立谐波兼容、拓扑差异化、全工况自适应三大整定原则，并从交流系统、机组本体、并网线路三个层面，阐述整定原则的具体实际应用。研究贴合风电变流拓扑与谐波特征开展分区分级整定，有效规避谐波造成的保护误动与拒动，适配风电功率波动与电网扰动工况，可为风电机组继电保护定值工程整定提供参考依据。

**【关键词】**：风力发电机组；继电保护；定值整定

DOI:10.12417/2811-0528.26.15.001

## 引言

永磁直驱风电机组广泛采用多重化升压斩波与 SPWM 逆变拓扑，运行中易产生各类谐波，干扰保护采样与定值判定。同时机组拓扑结构参数耦合性强，风速随机变化导致输出功率波动大，传统固定继电保护定值难以适应风电复杂运行工况，易引发保护误动、拒动现象。为提升保护整定合理性与动作可靠性，本文结合风机变流系统谐波特性与拓扑结构，分析定值整定影响因素，归纳核心整定原则，并落实到交流系统、机组本体及并网线路保护的整定中，为风电场继电保护整定提供理论支撑。

## 1 风力发电机组继电保护定值整定主要影响因素

永磁直驱风力发电机组变流系统搭载 SPWM 逆变与多重化升压斩波结构，单重化电路运行中会生成载波与边带谐波。二重、三重化并联拓扑可抑制谐波成分，残留谐波依旧干扰保护装置电气采样数据，引发继电保护定值整定出现偏差<sup>[1]</sup>。MW 级机组配备六相整流、多逆变器并联与风机箱变架构，IGBT、斩波电抗器等器件参数彼此关联，各类变流拓扑没有统一整定参照标准，加大定值整定工作难度。风速起伏、功率随机变化会作用于风电设备，电网并网电压畸变也带来外部扰动，机组运行电气参数持续发生偏移，固定形式的保护定值无法适配多样运行状态，继电保护动作难以维持稳定状态。

## 2 风力发电机组继电保护定值整定核心原则

### 2.1 谐波兼容整定原则

永磁直驱风机 SPWM 逆变运行期间会生成载波谐波与边带谐波，二重化并联结构可削弱谐波，将谐波失真维持在合理区间，系统内部依旧留存高频谐波分量，干扰继电保护采样结果，造成定值判断出现偏差。整定工作结合单重、二重、三重

化变流电路的谐波衰减特点，考量 IGBT 与斩波电抗器运行产生的高频谐波占比，依照谐波频次与幅值分布规律调整电流、电压保护动作门槛。多重化变流系统并网需满足电能质量标准，保护定值匹配现场谐波环境，化解谐波引发的保护误动、拒动现象，保障继电保护对故障状态的正常识别。

### 2.2 拓扑差异化整定原则

MW 级永磁直驱风电系统搭载六相整流、三重化升压斩波与多逆变器并联电路，配套 0.62/10kV 箱式变压器，各类变流组合在电压等级、载流能力和电气衔接状态上表现出不同特征<sup>[2]</sup>。工作人员区分单重、二重、三重化并联交流架构的运行状态，依照发电机机端、升压斩波单元、逆变单元、并网侧完成区域划分。参考直流母线额定电压、载波工作频率以及电抗器、滤波电容等硬件参数，为不同拓扑区域设定保护动作阈值与动作时限。结合电路结构开展分级整定，匹配多并联拓扑参数耦合状态，规避统一保护定值无法适配复杂变流架构的问题（见图 1）。

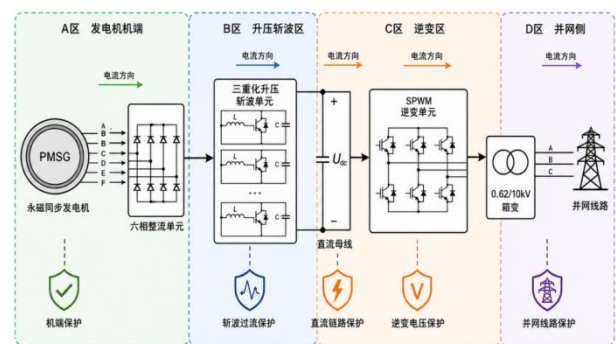


图 1 风电机组变流拓扑分区保护示意图

### 2.3 全工况自适应整定原则

风力发电机组风速不断起伏,输出功率产生随机波动,变流电路占空比出现动态调整。并网侧会产生电压畸变与电网扰动,各类电气运行参数长期存在动态偏移。保护整定摒弃传统固定定值方式,结合风机不同运行状态划分判定标准,参照变流系统电压层级、电流纹波的实际表现设定阶梯式定值门槛。结合并联电路纹波抑制效果与故障状态下电气参数变化,机组保持高功率因数完成并网,保护定值跟随现场工况、电网状态自主调整,保障设备常规运转平稳,故障出现时保护装置快速响应。

## 3 整定原则在风电继电保护中的实际应用分析

### 3.1 变流系统保护定值整定原则应用

在永磁直驱风机变流系统保护整定实践中,严格依托谐波兼容与拓扑差异化原则开展落地应用,针对六相整流、升压斩波、SPWM 逆变各单元分区开展定值配置。针对单重、二重、三重化升压斩波电路,依据并联支路电流均分特性,合理设定过流保护定值,规避多支路并联后电流纹波叠加引发的保护误动,同时结合 IGBT 器件承载能力限定短路保护动作阈值,适配 1200VDC 直流链路运行工况。对于二重化并联 SPWM 逆变电路,利用其谐波衰减特性,适当放宽电压保护稳态门槛,避开载波倍频谐波干扰带来的采样波动,按照输出相电压  $0(\pm 1/2)E_d$  电平特征匹配欠压、过压保护定值<sup>[3]</sup>。在实际整定中,根据变流系统多重化结构的谐波抑制效果,区分稳态谐波与故障暂态电气量差异,合理划分保护动作时限,防止正常谐波扰动触发保护误跳闸,同时保证变流器内部短路、器件击穿等故障能够被快速精准切除,实现谐波环境下变流系统继电保护定值的精准落地与可靠运行。

### 3.2 机组本体保护定值整定原则应用

机组本体保护整定以拓扑差异化和全工况自适应原则为核心落地依据,主要针对永磁同步发电机机端及内部电气故障进行定值匹配整定。结合风机六相发电结构与变流系统前端拓扑特征,按照发电机额定 450V 机端电压参数,差异化设定相间短路、匝间短路及接地保护定值,兼顾多相绕组并联运行的电流分配特性。考虑风速变化引发机组输出功率连续波动,本体过流、过负荷保护不再采用固定门槛,依据轻载、额定、重

载不同工况设置阶梯式定值区间,适配机组日常功率动态变化特征。结合发电机与升压斩波单元联动运行特性,协调本体保护与变流系统保护的動作时限与配合关系,规避上下级保护越级动作。同时结合机组运行中高频谐波渗入机端电流的实际特征,对本体电流保护定值进行适度修正,过滤稳态谐波分量影响,保证在正常工况下保护不误动,在绕组故障、内部绝缘损坏等异常工况下能够灵敏可靠动作,适配永磁直驱机组本体实际运行特性。

### 3.3 并网线路保护定值整定原则应用

并网线路保护整定围绕全工况自适应与谐波兼容原则进行实操落地,面向风机 0.62/10kV 箱变及并网线路开展定值整定配置。依据变流系统多重化逆变并网后总谐波失真衰减特性,合理设定并网线路电流、电压保护稳态定值,避开 SPWM 载波频次对应的谐波干扰区间,防止谐波造成保护测量值偏移而引发误判。结合并网功率因数接近 1 的运行特征,优化无功功率保护与过流保护定值参数,适配风机常态并网运行电气特性。针对电网侧电压畸变、并网扰动等异常工况,设置可随电网运行状态自适应调整的保护门槛,区分系统正常扰动与真实线路故障。按照 1600kVA 箱变容量及并网电压等级,统筹线路相间保护、接地保护及后备保护的定值配合与时限配合,兼顾多重化变流系统并网输出的多电平电压特性,保证并网线路在稳态发电、功率扰动、电网波动各类场景下保护定值适合合理,既能耐受正常谐波与工况波动,又能在线路短路、电压异常时快速可靠切除故障,保障风场并网侧安全稳定运行。

## 4 结语

本文分析了风电继电保护定值整定的三大主要影响因素,梳理形成谐波兼容、拓扑差异化、全工况自适应整定核心原则,并分别应用于变流系统、机组本体与并网线路保护整定实践。结合永磁直驱风机多重化变流电路谐波规律、拓扑分区特点及工况波动特征,制定可落地的整定方法,解决了谐波干扰、架构复杂、工况多变带来的整定难题。通过优化保护定值门槛与时限配合,提升了继电保护灵敏性与稳定性。后续可结合智能算法与仿真技术,进一步实现风电机继电保护定值的智能化动态整定。

## 参考文献:

- [1] 何青.风电场分布式接入配电网对继电保护的影响[J].电气技术与经济,2024,(02):95-97.
- [2] 林宇飞.浅谈电厂继电保护二次回路改造设计[J].机电信息,2023,(18):67-71.
- [3] 董鲁川.论述风力发电厂继电保护装置故障分析及处理措施[J].电子测试,2021,(08):97-99.