

# 华东电网并网机组涉网保护相关标准及核查问题分析

汪静<sup>1</sup>, 余高旺<sup>2</sup>

(1. 国家电网公司华东分部, 上海 200120; 2. 许继电气有限公司, 河南 许昌 461000)

**摘要:**随着电网和电源的快速发展, 系统特性发生深刻变化, 合理规范的并网机组涉网保护参数是保障电力系统安全稳定运行的重要因素。在指出涉网保护包含的具体内容后, 结合华东电网实际, 分析了标准相关条款的内涵, 并针对频率异常保护、失磁保护等容易出现问题的环节提出了对应的标准执行意见。介绍了华东电网并网机组涉网保护专项核查工作依据的具体规范和实际工作方法, 总结归纳了核查中出现的问题危害和解决方法, 分享了典型问题核查案例。最后建议建立长效管理机制, 保障相关核查工作持续滚动开展。

**关键词:**发电机; 涉网保护; 频率异常保护; 失磁保护

**中图分类号:** TM732

**文献标志码:** B

**文章编号:** 2096-3203(2017)05-0066-05

## 0 引言

电力系统是由“源、网、荷”三部分共同组成的, 其稳定性由电源、电网和负荷的稳定性共同决定。提高电力系统稳定性必须“源网”协调运行, 要求并网机组的控制保护系统与电网达到最佳配合, 从而保证发电机组和整个电网的安全运行, 成为“电网友好型”机组<sup>[1,2]</sup>。

随着华东“T”字型特高压交流网架初步形成, 多回特高压直流落点华东, 长时间、大容量、满功率消纳直流区外来电已成为华东电网运行的主要特征<sup>[3-6]</sup>。电网运行中, 交直流系统相互影响、相互作用的特点突出, 电网运行呈现一体化特征, 运行特性更加复杂, 大电网安全对并网机组的安全稳定运行提出了更高要求。

与此同时, 华东电网百万千瓦级火电机组、核电机组数量不断增加<sup>[7,8]</sup>, 大容量机组异常运行对电网安全稳定运行的影响更加显著; 而部分电厂机组涉网保护参数设置整定、运行管理工作还有一定的盲区, 存在部分参数误整定、参数不合理、不规范等问题, 甚至出于追求经济性和保护机炉安全的考虑, 设置对电厂比较有利的参数整定值, 不断挑战厂网协调技术标准, 蚕食电网安全稳定运行裕度, 可能会引发电网系统性安全风险。

在国家能源局颁布了《国家能源局关于取消发电机组并网安全性评价有关事项的通知》(国能安全[2015]28号)后, 能源局及其派出机构不再组织开展发电机组并网安全性评价工作。因此, 调度机构非常有必要加强并网机组涉网保护安全管理工作。

## 1 涉网保护主要内容及相关标准执行分析

根据相关规范<sup>[9-15]</sup>, 并网机组涉网保护包括: 发电机频率异常保护、失磁保护、失步保护、低励限制及保护、转子过负荷保护、过励限制及保护、过激磁保护、汽轮机超速保护控制、定子过电压保护、定子电流限制及定子过负荷保护、重要辅机保护等。

涉网保护种类比较多, 相关的技术规范也稍有差别。在工作过程中, 相关技术人员的理解各自不同, 甚至可能没有认识到其某项工作违反了规范。本文针对相关涉网保护参数设置中容易出现的问题分别分析标准规范的内容。

### 1.1 频率异常保护

发电机运行频率过低或过高, 容易损坏汽机叶片。为了汽轮机的安全, 大型汽轮发电机一般会配置频率异常保护。文献[12]附录G规定了频率异常每次允许运行时间和允许累计时间。

对于电网来说, 频率及电压紧急控制装置在系统频率异常等事故时采取切机、切负荷等措施, 防止系统崩溃, 是电力系统第三道防线的重要组成部分。华东电网的低频减负荷配置方案是按照各省市可能出现的最大负荷分配的, 各省市低频减载量约为最大负荷的36%, 具体如表1所示。

为了保证系统频率异常时, 发电机不越级跳闸, 降低对系统的支撑能力, 机组的频率异常保护和电网的频率及电压紧急控制装置存在配合关系。

文献[13]第4.3条规定: 发电机低频保护应与电网低频减载装置配合, 低频保护定值应低于电网低频减载装置最后一轮定值。发电机过频保护应与电网高频切机装置配合, 遵循高频切机先于过频保护动作的原则。

表 1 华东电网低频减负荷配置方案  
Table 1 Low frequency load shedding scheme of East China Power Grid

定值	频率/Hz	延时/s
第 1 轮	49.0	0.3
第 2 轮	48.75	0.3
第 3 轮	48.5	0.3
第 4 轮	48.25	0.3
第 5 轮	48	0.3
附加轮	47.5	0.3
特轮 1	49	15
特轮 2	49	20

华东电网低频减载装置最后一轮定值为 47.5 Hz,因此发电机低频保护如果投跳闸,其定值应该低于 47.5 Hz。同时,根据 GB/T 14285 《继电保护和安全自动装置技术规程》的规定,汽轮发电机低频保护动作于信号,特殊情况下需要跳闸时,才允许投跳闸。

过频保护宜动作于信号,必要时动作于解列、灭磁或程控跳闸。动作时间应满足文献[9]表 1 的要求,且发电机高频率定值高于 51.5 Hz 时动作时限不应低于 15 s。

## 1.2 失磁保护

低励或失磁是大型发电机组常见的故障形式。失磁后的危害有两方面:一是发电机失磁后,转子与定子磁场间出现了速度差,会在转子回路中感应出电流,其频率等于转差频率,从而引起转子局部过热。发电机受交变的异步电磁力矩的冲击而发生振动,转差越大,振动越大。二是失磁后,发电机从系统中吸收无功功率,吸收的无功功率可达 0.9~1.2 倍发电机的额定功率,由于变压器电抗大,无功电流流过时压降大,机端电压下降严重,若系统无功功率储备不足,系统电压也会严重降低。

仿真分析发现,华东电网某些大型发电机失磁后,500 kV 电压会降低到 0.9 p.u.,威胁系统电压稳定。

在上个世纪,我国电网发电容量不足,为了维持发电容量,相关规范允许发电机失磁时不解列,可动作于减出力。在当前电网发电容量充足的新形势下,为了保证系统的电压稳定,华东电网要求失磁保护动作于解列,执行文献[13]4.1.1 条。

失磁保护的阻抗判据有异步边界圆和静稳边界圆。发生失磁时,发电机机端测量阻抗首先落入静稳边界圆,最后稳定异步运行后落入异步边界圆。但是,在发电机没有失磁、系统由于其他原因导致振荡时,发电机机端测量阻抗也会穿过静稳边

界圆。假设发电机电势为  $\dot{E}_g$ , 系统电势为  $\dot{E}_s$ , 当发电机和系统发生全相振荡时,机端测量阻抗的动作轨迹如图 1 中虚线<sup>[16,17]</sup>所示。

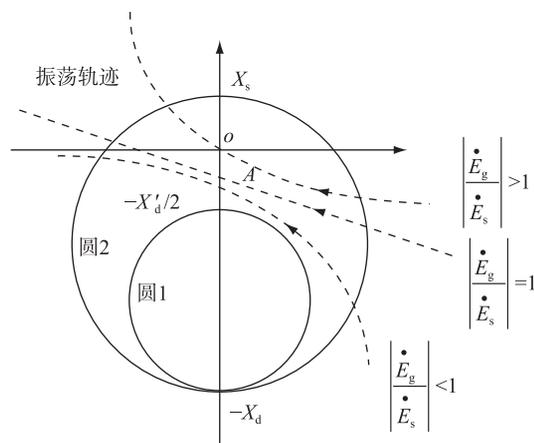


图 1 机端测量阻抗动作轨迹

Fig.1 Movement locus of Machine measured impedance

其中圆 1 和圆 2 分别为失磁保护的异步边界圆和静稳边界圆,  $X_s$  为发电机和无穷大系统间的联系电抗,  $X_d$  为发电机同步电抗,  $X'_d$  为发电机暂态电抗。显然,系统振荡时,机端测量阻抗会落入静稳边界圆中,失磁保护可能误动。

在发电机电势和系统电势相等的理想情况下,振荡中心在发电机和系统电抗的中点,即振荡轨迹与纵轴的交叉点 A 的坐标为  $(X_s - X'_d)/2$ ,在最极端情况下,若系统联系电抗为零,也就是发电机出口为无穷大系统,若发生系统全相振荡,机端测量阻抗的轨迹为一直线,距离坐标原点为  $X'_d/2$ ,因此,异步边界圆能够防止系统全相振荡引起的误动。对于发电机电势和系统电势不相等的全相振荡及非全相振荡,振荡中心可能会短时落入异步边界圆,但保护经短延时即可避免误动。

综上,发电机失磁保护应执行文献[15],即发电机失磁保护阻抗圆元件宜按异步边界圆整定,带电压闭锁段动作解列延时不应不大于 0.5 s,不带电压闭锁段动作解列延时不应不大于 1.0 s。

当失磁保护采用静稳边界圆时,由于系统振荡可能会引起误动,失磁保护延时应执行文献[12]的规定,按躲振荡所需的时间整定。

## 1.3 转子过负荷保护和过励限制及保护

转子绕组过负荷保护反映励磁绕组的平均发热状况,目的是防止转子过热。保护动作动作量既可以取励磁变电流、励磁机电流,也可以直接反映发电机转子电流。转子绕组的过负荷保护由定时限和反时限两部分组成。反时限的表达式为:

$$t = \frac{C}{I_{fd}^2 - 1}$$

式中,  $C$  为转子绕组过热常数;  $I_{fd}^*$  为强行励磁倍数。

过负荷保护定值应略低于机组设计能力, 避免因保护装置原因制约机组发挥其设计过负荷能力的情况, 其中发电机转子反时限过热特性曲线应满足标准文献[13]附录 C 的要求。

励磁系统大部分配置有过励限制及保护, 其目的是将励磁系统输出电流控制在允许范围内。因此, 为了保证配合关系, 相关规范遵循过励限制先于过励保护、过励保护先于转子过负荷保护动作的原则。

过励限制及保护与转子反时限过热特性曲线匹配的前提下, 应协调整定, 充分发挥励磁系统过励运行能力。

#### 1.4 过激磁保护

发电机或变压器过励磁运行时, 铁心发热, 漏磁增加, 电流波形畸变, 严重损害发电机或变压器安全。对于大容量机组, 必需装设过励磁保护。过励磁保护反映发电机出口(变压器低压侧)的过励磁倍数。

伏赫兹限制器是发电机电压调节器的附加功能环节, 可防止发电机或与其相连的变压器过磁通。

因此, 励磁调节器中伏赫兹限制的参数设置应与过激磁保护动作特性相配合, 遵循伏赫兹限制先于过激磁保护动作的原则。伏赫兹限制一般具有反时限和定时限特性, 实际配置中, 可以选择反时限或定时限特性中的一种。

## 2 核查依据及华东电网涉网保护存在的问题

为保障华东电网电力系统安全、优质、经济运行, 国家电网公司华东分部在全网范围内按照调度管辖范围划分原则, 组织相关单位开展了并网机组涉网保护专项核查工作, 全面核查网内机组, 重点包括频率异常保护、失磁保护、失步保护、过激磁保护等相关内容, 确保电网安全稳定运行。

核查内容依据 GB/T 31464—2015 电网运行准则、GB/T 14285—2006 继电保护和自动装置技术规程、DL/T 684—2012 大型发电机变压器继电保护整定计算导则、DL/T 1309—2013 大型发电机组涉网保护技术规范、国家电网企管〔2014〕1212 号国家电网公司网源协调管理规定等技术标准和并网管理规定制定。

核查处理的问题主要分以下四类。

(1) 机组涉网保护和电网保护失配, 电网故障时机组可能越级动作。这类问题以频率异常保护、发电机过电压保护为主。

核查的并网机组中, 只有小部分频率异常保护整定完全符合要求, 大部分机组均不同程度存在频率异常保护先于电网频率异常减载装置动作的可能性。主要表现在低频动作定值过高, 且整定延时较短, 如果发生电网较长时间低频运行的情况, 机组低频保护可能越级动作。

例 1: 某电厂的发电机频率保护定值如表 2。

表 2 发电机频率保护定值

Table 2 Protection setting table of generator frequency

名称	类型	定值/Hz	延时/s	出口方式
低频 I 段	累积	48.50	18 000.0	全停
低频 II 段	持续	48.0	60.0	全停
低频 III 段	持续	47.50	20.0	全停
过频 I 段	累积	50.50	10 800.0	全停
过频 II 段	持续	51.00	30.0	全停

华东电网低频减载装置最后一轮定值为 47.5 Hz, 该电厂的低频保护定值最低也为 47.5, 不满足“低频保护定值应低于电网低频减载装置最后一轮定值”的规范要求; 同时, 该机组超速保护(OPC)定值为 3090 r/min, 折算成频率是 51.5 Hz, 超过了过频保护的定值, 不满足规范要求的配合关系。

(2) 机组控制系统和涉网保护参数不达标或失配, 影响机组支撑能力或越级动作。这类问题主要是机组励磁系统的强励能力不满足 2 倍 10 s 要求, 也有部分电厂的强励能力达 2 倍 20 s, 可能会超过机组本身的设计能力; 机组励磁系统过励限制与转子过负荷保护失配, 存在越级动作风险, 削弱电网的无功支撑能力; 定子过流限制能力过低, 束缚了发电机的定子过流能力, 进而可能会制约机组发挥其设计的过负荷能力。

例 2: 根据某机组定子过负荷和励磁调节器过流限制保护的定值, 核算出当定子电流为某一值时相应保护的動作时间如表 3。

表 3 定子相关保护延时时间

Table 3 Timetable of stator protection delay

过流倍数	国标时间/s	定子过负荷/s	过流限制/s
2.00	12.50	12.67	3.85
1.82	16.22	16.51	5.60
1.50	30.00	31.00	13.93
1.64	22.19	22.74	8.88
1.46	33.14	34.37	16.18
1.27	60.00	64.15	39.45

显然, 机组保护定子过负荷保护定值略大于国

标要求,不满足“定子过负荷保护定值设置应略低于机组设计能力”的要求。虽然励磁调节器的定子电流限制与定子过负荷保护配合,遵循定子电流限制先于定子过负荷保护动作的原则,但是励磁调节器的定子过流限制不满足1.5倍/30 s的要求,束缚了发电机的定子过流能力。

(3) 涉网保护参数设置不合理,机组故障后严重威胁电网安全。这类问题主要为失磁保护的延时时间和出口方式不满足要求。失磁后,发电机从系统中吸收无功功率,吸收的无功功率可达0.9~1.2倍发电机的额定功率,由于变压器电抗大,无功电流流过时压降大,机端电压下降严重,若系统无功功率储备不足,系统电压也会严重降低,威胁电网电压安全。因此,发电机失磁后,华东电网要求快速切除发电机,避免发电机大量吸收无功功率威胁电网电压安全。

例3:某机组失磁保护阻抗圆采用异步阻抗圆,经电压闭锁后延时1.5 s动作于关主汽门。

显然,该定值违反了文献[15]相关规定,根据该规定,延时应不大于0.5 s。同时,根据文献[13]的要求,失磁保护应动作于解列。

(4) 相关管理不严格,缺少基础数据,核查工作困难。部分机组缺少发电机过励磁允许曲线、变压器过励磁允许曲线或发电机过励允许曲线,且这些资料后续难以补充,影响相应控制、保护参数的整定以及配合,不利于充分发挥机组能力。同时,部分电厂缺少涉网保护定值计算过程与判断依据,难以判断相关参数设置是否满足规范要求。

### 3 结语

正确、合理规范的并网机组涉网保护参数是保障电网安全稳定运行的重要因素。实际运行中,部分电厂并网机组涉网保护还存在定值参数误整定、参数不合理、不规范等问题,有必要加强相应的安全管理工作。涉网保护牵涉的内容比较多,相关的技术规范也稍有差别。文章针对相关涉网保护参数设置中容易出现的问题,分析了相关技术原理,并结合实际情况,给出了华东电网涉网保护核查中应该执行的相关标准规范条文。最后介绍了华东电网并网机组涉网保护专项核查工作依据的具体规范和实际工作方法,总结分享了涉网保护参数存在的失配及不合理问题,并列出了典型问题案例。

并网机组参数的设置管理工作牵涉到电厂和电网的众多环节,相关技术人员水平也参差不齐,建议电网各级调度机构建立长效机制,持续滚动开

展并网机组涉网保护安全管理工作,并及时分享相关工作经验,共同提高工作效率。

#### 参考文献:

- [1] 陈 讯. 机网协调在现代电力系统中的作用(待续)[J]. 广东电力, 2013, 26(5): 57-62.  
CHEN Xun. Effect of generating unit and grid coordination in modern electric power system (serialization) [J]. Guangdong Electric Power, 2013, 26(5): 57-62.
- [2] 陈 讯. 机网协调在现代电力系统中的作用(续1)[J]. 广东电力, 2013, 26(6): 52-59.  
CHEN Xun. Effect of generating unit and grid coordination in modern electric power system (serialization) [J]. Guangdong Electric Power, 2013, 26(6): 52-59.
- [3] 李虎成, 袁宇波, 卞正达, 等. 面向特高压交直流大受端电网的频率紧急控制特性分析[J]. 电力工程技术, 2017, 36(3): 27-31.  
LI Hucheng, YUAN Yubo, BIAN Zhengda, et al. The frequency emergency control characteristic analysis for UHV AC/DC large receiving end power grid[J]. Electric Power Engineering Technology, 2017, 36(3): 27-31.
- [4] 李虎成, 袁宇波, 张小易, 等. 全球能源互联网下的受端大电网柔性控制策略探讨[J]. 江苏电机工程, 2016, 35(3): 10-12.  
LI Hucheng, YUAN Yubo, ZHANG Xiaoyi, et al. The flexible control strategy study of receiving end large power grid under global energy connection [J]. Jiangsu Electrical Engineering, 2016, 35(3): 10-12.
- [5] 卫 鹏, 刘建坤, 周 前, 等. 大规模区外来电失去背景下电网响应机制的研究[J]. 江苏电机工程, 2016, 35(3): 13-16.  
WEI Peng, LIU Jiankun, ZHOU Qian, et al. Study on grid response mechanism to large-scale outer power loss [J]. Jiangsu Electrical Engineering, 2016, 35(3): 13-16.
- [6] 王建明, 孙华东, 张 健, 等. 锦屏-苏南特高压直流投运后电网的稳定特性及协调控制策略[J]. 电网技术, 2012, 36(12): 66-70.  
WANG Jianming, SUN Huadong, ZHANG Jian, et al. Stability characteristics and coordinated control strategy of interconnected grid integrated with UHVDC transmission line from Jinping to Sunan [J]. Power System Technology, 2012, 36(12): 66-70.
- [7] 李辰龙, 单 华, 杨宏宇, 等. 1000 MW 机组电气技术特点研究[J]. 江苏电机工程, 2012, 31(6): 55-57.  
LI Chenlong, SHAN Hua, YANG Hongyu, et al. Research on electrical features of 1000 MW unit [J]. Jiangsu Electrical Engineering, 2012, 31(6): 55-57.
- [8] 蒯狄正. 江苏电网 1000 MW 超超临界机组可靠性分析[J]. 江苏电机工程, 2014, 33(6): 73-75.  
Kuai Dizheng. Reliability analysis on 1000 MW ultra-super critical power units in Jiangsu Power Grid [J]. Jiangsu

- Electrical Engineering, 2014, 33(6): 73-75.
- [9] GB/T 31464—2015 电网运行准则[S].  
GB/T 31464—2015 The grid operation code[S].
- [10] GB/T 14285—2006 继电保护和安全自动装置技术规程[S].  
GB/T 14285—2006 Technical specification for relay protection and safety automatic devices[S].
- [11] GB/T 7409—1997 同步电机励磁系统[S].  
GB/T 7409—1997 Synchronous motor excitation system[S].
- [12] DL/T 684—2012 大型发电机变压器继电保护整定计算导则[S].  
DL/T 684—2012 Guide for setting calculation of relay protection for large generator transformer[S].
- [13] DL/T 1309—2013 大型发电机组涉网保护技术规范[S].  
DL/T 1309—2013 Technical specification for network protection of large generator sets[S].
- [14] DL/T 331—2010 发电机与电网规划设计关键参数配合导则[S].  
DL/T 331—2010 Guide for the coordination of key parameters of generator and power network planning and design[S].
- [15] 国网(调/4)457—2014 国家电网公司网源协调管理规定[Z].  
State Grid(allot/4)457—2014 National network of power grid corp source coordination management regulation[Z].
- [16] 姚晴林. 同步发电机失磁及其保护[M]. 北京:机械工业出版社, 1981.  
YAO Qinglin. Synchronous generator loss of excitation and its protection[M]. Beijing: Machinery Industry Press, 1981.
- [17] 王梅义. 电网继电保护应用[M]. 北京:中国电力出版社, 1999.  
WANG Meiyi. Power grid relay protection application[M]. Beijing: China Electric Power Press, 1999.

作者简介:



汪 静

汪 静(1985—),女,江西宜春人,工程师,从事电网调度运行管理工作(E-mail: wangjingamy1985@163.com);

余高旺(1976—),男,湖北鄂州人,高级工程师,从事电力系统控制保护设备研发工作。

## Analysis of Related Standards and Verification Problems of Grid-related Generator Protection in State Grid East China Branch

WANG Jing<sup>1</sup>, YU Gaowang<sup>2</sup>

- (1. State Grid East China Branch, State Grid Corporation of China, Shanghai 200120, China;
2. XJ Electric Co. Ltd, Xuchang 461000, China)

**Abstract:** With the rapid development of power grid and power supply, system characteristics are undergoing profound changes, reasonable grid-related generator protection parameters is an important factor to ensure the safe and stable operation of power system. After pointing out the specific content of grid-related generator protection, Combined with the reality of State Grid East China Branch, this paper analyzes the connotation of standards, and puts forward the corresponding standard implementation opinions for the links of frequency abnormal protection and Loss-of-field protection that are easy to emerging questions. This paper introduces the specific specifications and practical working methods of the work for the special check of the grid-related generator protection in State Grid East China Branch, summarizes hazards and solutions of the problem in verification and shares typical cases. Finally, it is suggested that a long-term management mechanism should be established to ensure the continuous development of relevant verification work.

**Key words:** generator; grid-related protection; frequency abnormal protection; loss-of-field protection

(编辑 刘晓燕)