

# 发电机正向低功率及逆功率保护配置及整定

管新娟<sup>1</sup>, 朱忠亭<sup>1</sup>, 李东岭<sup>2</sup>

(1. 华东电力设计院, 上海 200063; 2. 许继电气股份有限公司, 河南 许昌 461000)

**摘要:** 针对发电机变电动机运行的异常运行方式, 分析了常规火电厂及核电厂的保护设置, 提出了由于核电厂的汽轮机低压缸的叶片更长, 应装设正向低功率保护。给出了正向低功率保护、逆功率保护的逻辑及建议的整定值。提出了为了保护整定值的正确动作, 建议正向低功率保护、逆功率保护使用测量级的电流互感器。

**关键词:** 发电机; 正向低功率; 逆功率; 保护配置; 整定

## The configuration and value calculation for the generator's positive low power protections and adverse power protections

GUAN Xin-juan<sup>1</sup>, ZHU Zhong-ting<sup>1</sup>, LI Dong-ling<sup>2</sup>

(1. East China Electric Power Design Institute, Shanghai 200063, China; 2. XJ Electric Co., Ltd, Xuchang 461000, China)

**Abstract:** For the abnormal condition of generators operating as motors, the protection configuration of fossil fuel power plants and nuclear power plants has been analyzed. For nuclear power plants, the positive low power protection should be provided because the low-pressure vanes of turbines are much longer. The logic and recommended values of positive low power protections and adverse power protections have been provided. In order to ensure the protections operating correctly, current transformers designed for measurement have been recommended to be used for positive lower power protections and adverse power protections.

**Key words:** generator; positive low power; adverse power; protection configuration; value calculation

中图分类号: TM31 文献标识码: B 文章编号: 1674-3415(2011)04-0110-03

## 0 引言

当主汽门误关闭或机炉保护动作关闭主汽门而出口断路器未跳闸时, 发电机变成电动机运行, 要从电力系统吸收有功功率。这种工况对发电机并无危害, 但由于残留在汽轮机尾部的蒸汽与长叶片摩擦会使叶片过热, 因而造成汽轮机事故<sup>[1]</sup>。因此大容量机组不允许在这种状态下长期运行, 一般只允许运行几分钟。

汽轮机能耐受这种工况的时间长短不仅与汽轮机型式有关, 还会随蒸汽工况的变化而变化。防止发电机处于电动机运行状态的主保护通常可以是机械式的机轮机阀门的限位开关、排汽缸温度敏感装置或测量汽轮机冲动室和高压排汽室之间差压的压力开关。逆功率保护是上述主保护的一种后备保护。对发电机变电动机运行的异常运行方式, 200 MW 及以上的汽轮发电机, 宜装设逆功率保护<sup>[2]</sup>。

对于常规的火电机组, 装设发电机逆功率保护后一般即可满足规程及设备的要求; 而对于核电厂而言, 由于汽轮机低压缸的叶片更长, 允许逆功率

运行的能力更差, 除需要装设保护汽轮机叶片的逆功率保护外, 还应针对核反应堆的特殊运行的要求增加正向低功率保护。目前国内已在运行的大容量核电厂(如大亚湾核电厂)中, 均装设了正向低功率保护和逆功率保护。

本文中对发电机的功率变化进行了分析, 针对核电厂发电机给出了功率保护的配置方案, 并确定功率保护的整定值。

## 1 发电机功率变化分析

对于发电机与电力系统相连的情况, 如图 1 中(a)所示, 其等值电路如图 1 中(b)所示。

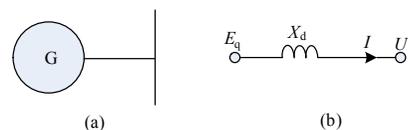


图 1 发电机等值电路

Fig.1 Equivalent circuit of generators

发电机发出的有功功率  $P$  可通过下式计算:

$$P = UI \cos \varphi = \frac{E_q U}{X_d} \sin \delta$$

其中:  $U$  为发电机的电压;  $I$  为发电机的电流;  $\varphi$  为发电机的功率因数角;  $E_q$  为发电机的空载电动势;  $X_d$  为发电机的电抗;  $\delta$  为发电机的功角。

如果不考虑发电机的励磁调节器的作用, 即认为发电机的空载电动势  $E_q$  恒定, 则发电机的功-角曲线如图 2 所示。

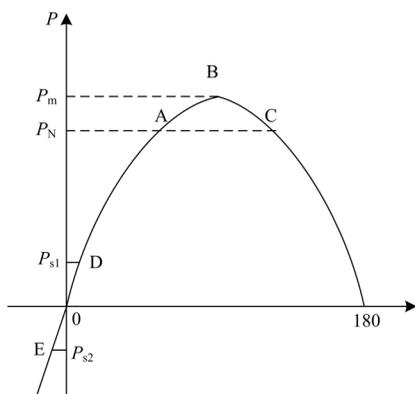


图 2 发电机功-角曲线

Fig.2 P- $\delta$  curve of generators

发电机正常运行在额定功率  $P_N$ , 此时对应于  $\delta$  为  $0^\circ \sim 90^\circ$  之间的 A 点; 当  $\delta$  为  $90^\circ$  时, 发电机发出的有功功率为最大值  $P_m$ 。

当汽轮机的主汽门关闭, 即发电机没有动力时, 理想情况下发电机发出的功率应该为零。在仅考虑主汽门可能的微小漏汽时, 发电机发出的功率数值也很小, 对应于曲线上的 D ( $0.7\% P_N$ ) 以下点, 此时发电机如果与系统断开, 汽轮发电机组超速不会超过机组能力, 则不会出现“飞车”危险; 仅考虑汽轮机和发电机的旋转损耗时, 发电机将运行在电动机状态, 发出的功率为数值很小的负数, 对应于曲线上的 E 点, 此时汽轮机的叶片可能受到损坏。

由于常规火电厂的汽轮机叶片较短, 承受逆功率运行的能力较强, 此时主要考虑避免出现“飞车”的情况, 仅需要设逆功率保护即可; 而对于核电厂的汽轮机叶片较长, 除承受逆功率运行的能力较弱外, 汽轮机组的正常停机还必须考虑核反应堆运行的特殊要求, 而增设低功率保护作为正常停机的闭锁启动元件。

## 2 发电机功率保护配置

### 2.1 电流互感器的配置

在发变组保护中一般采用的电流互感器为保

护级 5P 或 10P, 保证在电气故障时电流互感器不饱和, 以避免保护装置误动作; 但随着工程的实际经验的累积, 在低功率及逆功率保护动作时电流互感器远小于额定电流, 无需考虑饱和问题, 而需要尽可能提高电流互感器的精度, 以保证在小电流时的测量准确度。所以, 建议工程中采用精度不低于 0.5 级的测量级电流互感器。

### 2.2 常规火电工程逆功率保护配置

常规汽轮发电机组要配置两个逆功率保护, 第一个逆功率保护是作为汽轮机叶片风损过热保护之用, 因常规汽轮机叶片较短, 承受逆功率运行的能力较强, 其逆功率保护的逻辑如图 3 所示。它是由逆功率继电器组成, 保护设两段时限, 第一段时限作用于信号; 第二段时限 (延时定值较长) 作用于解列灭磁或程序跳闸。

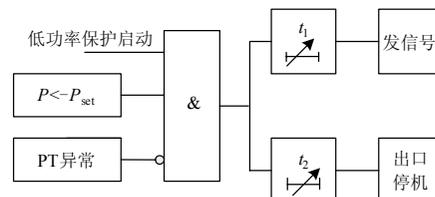


图 3 逆功率保护逻辑框图

Fig.3 Logic diagram of adverse power protection

第二个逆功率保护是作为程序跳闸方式的执行元件的程跳逆功率保护。程序跳闸方式首先关闭汽机主汽门 (可正常操作关闭也可由事故保护动作关闭), 待逆功率保护动作后, 再跳发电机断路器并灭磁。程跳逆功率保护设一段时限 (一般经较短的延时定值) 动作作用于停机。程序跳闸方式可大大减小停机过程对转子大轴扭力损伤程度, 延长机组的使用寿命。程跳逆功率保护逻辑如图 4 所示, 是由“主汽门已关闭”、“逆功率保护”动作和“发电机断路器合闸位置”三判据逻辑相“与”后, 经过延时  $t$  动作于全停。

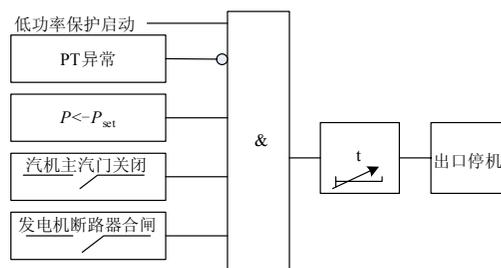


图 4 程跳逆功率保护逻辑框图

Fig.4 Logic diagram of sequence-controlled adverse power protection

### 2.3 核工程低功率保护配置

针对核反应堆运行的需求，核电机组还要加设低功率保护，作为正常停机时的闭锁启动元件，即当运行负荷低于核反应堆安全运行允许值时才允许正常跳断路器停机，可以避免在100%或高负荷下人为将发电机出口断路器误断开<sup>[3]</sup>；同时也作为逆功率保护的启动元件，可使逆功率保护更可靠安全，能有效地保证核反应堆安全运行和防止汽轮机的“飞车”事故的发生。正向低功率保护由正向低功率继电器和电压互感器 PT 断线闭锁以及低电压闭锁元件组成，经一段时限动作于启动手动跳闸和启动两个逆功率保护，其逻辑框图如图 5 所示。PT 异常（断线）闭锁和低电压闭锁是防止电压互感器一次或二次断线和机组没有运行电压误判低功率误动而设置的闭锁判据。

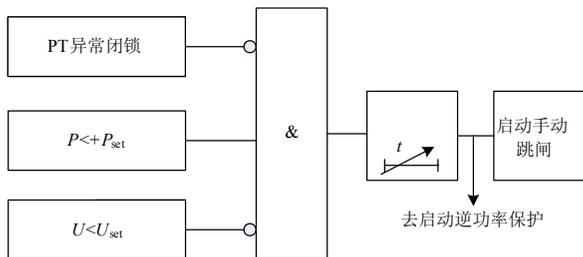


图 5 正向低功率保护逻辑框图

Fig.5 Logic diagram of low power protection

## 3 发电机功率保护整定

### 3.1 正向低功率保护

正向低功率保护动作值可按核反应堆的最小稳定运行和汽轮机不能超速“飞车”要求来整定，其整定范围为 0.3%~0.7%满负荷功率（参照参考核电站系统设计手册），选择 0.7%作为整定值的上限是因为对应于此蒸汽流量值的汽轮发电机组的转速不会超过机组的允许转速值。选择 0.3%作为下限值是为了考虑主汽门关闭后的正常蒸汽泄漏，保证核反应堆安全运行，因而避免继电器不动作，在大亚湾电厂设计使用的低功率定值为0.5%  $P_N$  值；低功率设有 0.5 s 延时，以防止发电机在瞬态功率摆动时保护误动作。

### 3.2 逆功率保护—

汽轮发电机逆功率保护的功率可按下式计算：

$$|P| > P_{set} \quad P_{set} \text{ 为发电机保护整定功率。}$$

$$P_{set} = K_{rel}(P_1 + P_2)$$

$K_{rel}$  是可靠系数，考虑到主汽门虽已关闭但尚

有一些泄漏，取值可按 0.5~0.8，取 0.5；

$P_1$  汽轮机在逆功率运行时最小损耗 3%~4%，取 3%； $P_2$  发电机在逆功率运行时最小损耗 1%~1.5%，可按效率计算。

根据发电机效率计算  $P_2$ ：

$$P_2 = (1 - \eta)P_N$$

式中， $\eta$  为发电机拖动汽轮机旋转时的效率，取 0.98~0.99。

$$P_2 = (1 - \eta)P_N = (1 - 98.94\%)P_N = 1.06\%P_N$$

所以：

$$P_{set} = 0.5 \times (0.03 + 0.0106)P_N = 0.0203P_N$$

工程中动作值  $P_{set}$  一般可取 (1~3)%  $P_N$  来整定。

其延时分两段，短延时 1.0~1.5 s 动作于信号，长延时 2~3 min 动作于跳闸。

### 3.3 程跳逆功率保护

对汽轮机的程跳逆功率保护的功率值可参照逆功率保护动作值整定，工程中动作值  $P_{set}$  可取 (1~3)%  $P_N$  来整定；程跳逆功率保护是程序跳闸的执行元件，其延时定值较短，一般取值 0.5~1.0 s。

由上面整定可看出逆功率保护和正向低功率保护是在无功功率大范围变动的条件下进行检测，测量值之小到不足 1%的有功功率，难度是很大的；而从目前的微机保护运行情况来看，按规程整定的程序逆功率保护的整定值也经常有发生拒动的现象，主要原因是一次电流互感器和微机保护测量回路的误差引起的<sup>[4]</sup>，故建议工程中采用精度不低于 0.5 级的测量级电流互感器。

根据实际运行机组反馈信息来看，当主汽门全关闭时，相同容量机组的实测逆功率值有很大的差别，故建议在整定计算时应根据实测的三相逆功率来计算整定，同时还应注意动作量取自三相还是单相功率测量值。

## 4 结论

对于核电机组应配置常规的逆功率保护外，还应增设正向低功率保护是完全可行的，并通过合适的动作整定值，可以实现既避免出现超速“飞车”事故的发生，又能保护汽机叶片不受到损坏，还可保证核反应堆安全运行。

### 参考文献

[1] 王怀智. 300 MW 大型发电机组保护出口方式的分析探讨[J]. 继电器, 1996, 24 (1): 50-54.

(下转第 131 页 continued on page 131)

- 2009, 5: 48-50
- [4] 贾秀芳, 赵成勇, 李宝树, 等. 变频探测直流系统接地故障装置存在的问题[J]. 继电器, 1999, 27 (3): 50-52.  
JIA Xiu-fang, ZHAO Cheng-yong, LI Bao-shu, et al. The existing questions of frequency conversion detection earth fault apparatus for DC system[J]. Relay, 1999, 27(3): 50-52.
- [5] 李瑞平, 温泉. 直流系统接地故障的分析[J]. 华电技术, 2008, 30(2): 58-61.  
LI Rui-ping, WEN Quan. Earth fault analysis of direct current system[J]. Huadian Technology, 2008, 30(2): 58-61.
- [6] 陈志强, 宋凡峰, 刘畅. 一种新颖的直流系统在线绝缘检测方法[J]. 电工电气, 2009, 6: 40-42.  
CHEN Zhi-qiang, SONG Fan-feng, LIU Chang. Novel measurement method for on-Line detection in DC system[J]. Electrotechnics Electric, 2009, 6: 40-42.
- [7] 王瑞祥, 刘峰, 熊小伏, 等. 变电站直流电源在线监测新方法[J]. 电力自动化设备, 2009, 12: 65-67.  
WANG Rui-xiang, LIU Feng, XIONG Xiao-fu, et al. On-line insulation monitoring of substation DC power supply[J]. Electric Power Automation Equipment, 2009, 12: 65-67.
- [8] 黄海宏, 全成, 黄锦. 基于差流检测法的分布式直流接地巡检系统[J]. 电子测量与仪器学报, 2009, 23(11): 36-41.  
HUANG Hai-hong, QUAN Cheng, HUANG Jin. Development of distributed DC grounding detecting system based on differential current detecting method[J]. Journal of Electronic Measurement and Instrument, 2009, 23(11): 36-41.
- [9] 赵兵, 胡玉岚. 直流系统微机绝缘监察装置问题的探讨[J]. 广东电力, 2009, 22(4): 43-45.  
ZHAO Bing, HU Yu-lan. Problems of microcomputer-based insulation monitor for DC system[J]. Guangdong Electric Power, 2009, 22(4): 43-45.
- [10] 李红梅, 张贺伟, 胡立峰. 直流系统接地检测问题分析及改进[J]. 电力情报, 2002, 3: 61-63.  
LI Hong-mei, ZHANG He-wei, HU Li-feng. Analysis and improvements on detection problems of DC system grounding[J]. Information on Electric Power, 2002, 3: 61-63.
- [11] 鲁改凤, 化雨, 金小兵, 等. 小电流接地系统单相接地故障选线方法探究[J]. 电力系统保护与控制, 2010, 38(12): 44-49.  
LU Gai-feng, HUA Yu, JIN Xiao-bing, et al. The research to detect fault line in small current grounding power system[J]. Power System Protection and Control, 2010, 38(12): 44-49.
- [12] 赵兵, 张曼诗, 徐玉凤. 直流系统微机绝缘监察装置桥电阻选择的依据[J]. 中国新技术新产品, 2009, 23: 160-161.  
ZHAO Bing, ZHANG Man-shi, XU Yu-feng. The resistor selection of microcomputer-based insulation monitor for DC system[J]. China New Technologies and Products, 2009, 23: 160-161.

收稿日期: 2010-03-13; 修回日期: 2010-06-02

作者简介:

孙鸣(1957-), 男, 教授, 主要研究方向为电力系统继电保护及调度自动化;

马娟(1985-), 女, 硕士研究生, 从事电力系统继电保护及调度自动化。E-mail:majun\_8586@163.com

(上接第 112 页 continued from page 112)

- [2] GB/T 14285-2006 继电保护和安全自动装置技术规程[S]. 北京: 中国电力出版社, 2006.  
GB/T 14285-2006, Technical code for relaying protection and security automatic equipment[S]. Beijing: China Electric Power Press, 2006.
- [3] 查卫华, 王建成, 李德佳. WFB-100 微机保护在秦山第二核电厂的应用[J]. 继电器, 2003, 31(6): 73-77.  
ZHA Wei-hua, WANG Jian-cheng, LI De-jia. Application of WFB-100 microprocessor-based protection in Qinshan nuclear power station[J]. Relay, 2003, 31(6): 73-77.
- [4] 刘伟良, 陈宏, 刘宇, 等. 由一起发电机失磁事故谈失磁和逆功率保护的设置[J]. 电力系统保护与控制, 2009, 37(23): 164-169.

LIU Wei-liang, CHEN Hong, LIU Yu, et al. Discussion about loss-of-field and reverse-power protection configuration from the generator loss-of-field fault[J]. Power System Protection and Control, 2009, 37(23): 164-169.

收稿日期: 2010-01-02; 修回日期: 2010-05-25

作者简介:

管新娟(1965-), 女, 高级工程师, 从事发电厂电气工程设计和研究; E-mail: gxj@ecepdi.com

朱忠亭(1981-), 男, 工程师, 从事发电厂电气工程设计和研究;

李东岭(1976-), 男, 工程师, 从事发电厂继电保护设计、研究与开发。