

# 基于安全自动装置控制的火电机组改进超速保护

陈兴华

(广东电网公司电力调度控制中心, 广东 广州 510000)

**摘要:** 为解决传统的火电机组超速保护控制特性无法适应不同形态故障对电网、机组的影响, 完善其控制策略, 加强电网稳定性、提高机组设备安全性, 提出一种基于安全自动装置控制的火电机组超速保护。该保护利用区域稳控系统实现信息采集、处理和命令分发, 实现了安全自动装置与超速保护两者的精确配合, 可达到防止同一供电区域内的多台火电机组超速保护同时动作的目的。分析结果表明, 该保护在有效提高电网稳定性的同时, 也确保了机组原有的安全屏障不受削弱, 可操作性强, 为解决孤网系统高频问题另辟蹊径。

**关键词:** 超速保护; 安全自动装置; 稳控装置; 高频; 孤网

## Improved OPC by automatic-security device

CHEN Xinghua

(Guangdong Power Dispatching and Control Center, Guangzhou 510000, China)

**Abstract:** In order to solve the problem that traditional thermal power unit over-speed protection control characteristics can not adapt to different forms of fault on the grid or the unit, and to improve the control strategy, strengthen the power grid stability, enhance security unit, this paper presents an improved over-speed protection of thermal power unit based on the control of automatic safety device. By collecting information, processing and distributing the commands through the regional stability control system, this new protection realizes the combination of automatic safety device and over-speed protection, which can achieve the purpose to prevent the simultaneous act of over-speed protection units within the same region. Analysis indicates that the new protection with strong operability not only ensures the original unit safety barrier from being weakened but also improves power system stability, which provide a new way to solve the problem of a high-frequency isolated network system.

**Key words:** over-speed protection control; automatic-security device; security-stability-control device; high frequency; isolated grid

中图分类号: TM77 文献标识码: A 文章编号: 1674-3415(2015)01-0150-05

## 0 引言

近年来, 随着我国经济的迅猛发展, 互联电网送电规模增大, 电网建设步伐加快, 各子系统之间的相互联系越来越强。现代电力系统朝着大电网、大机组的方向发展, 机组和电网的相互影响日益增强。各种先进的安全自动装置和控制系统被广泛地应用到电力系统中<sup>[1-4]</sup>。在“厂网分离”后的调度管理机制下, 完善机组侧的保护及其控制策略是加强电网稳定性、确保机组设备安全性的一个十分关键的环节。

## 1 传统超速保护原理及局限性

### 1.1 超速保护基本原理

目前大容量汽轮发电机组普遍采用数字电液调

速系统 DEH, 该调速系统具有超速保护控制(Over-speed Protection Control, OPC)。OPC 能在转子超速时迅速抢断调节系统的控制权, 强行将调节汽门短时关闭, 经过一定的延时, 转速恢复正常后, 再将控制权还给调节系统, 因此可以有效地抑制机组超速。

传统的超速保护包括 103%超速保护和 110%超速保护。后者是汽轮机最为重要的危急保安保护, 动作正确性和可靠性要求相当高, 其逻辑要求简单明了且相对固定, 故不在本文讨论范围之内。对于前者, 不同的生产制造公司控制逻辑各异。比较典型的控制逻辑如图 1<sup>[1]</sup>。

图 1 是目前国内的汽轮机制造厂最常见的、应用最为广泛的 103%超速保护控制逻辑。相比之下, 国外的汽轮机制造厂的控制逻辑略有不同, 例如有的在判断转速的条件上叠加功率差额的线性化判

断,有的则使用转速上升速度(即转速加速度)作为判别条件等。

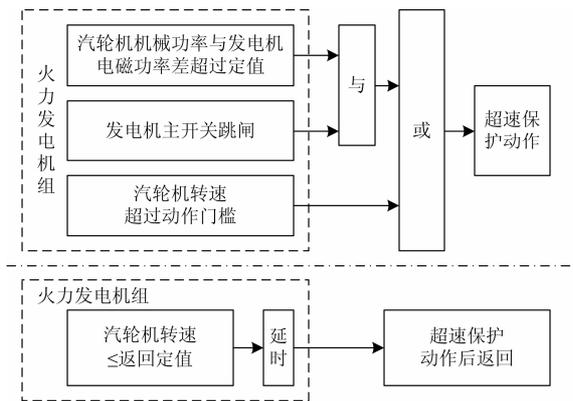


图 1 典型 103%超速保护动作及返回逻辑

Fig. 1 Act and return logic of typical 103% over-speed protection

综合而言,103%超速保护现时普遍只采用机组本侧信息作为判别条件。

### 1.2 超速保护的隐忧

OPC 是一把双刃剑,虽能有效抑制汽轮机转子转速飞升,但如果控制策略和定值配合、设计不当,则不仅会对机组设备造成损害,而且有可能危及电网的安全稳定运行<sup>[5]</sup>。

对于电力盈余送出电网,系统若因故障导致其与主网解列,则故障后其频率将升高。若频率抬升超过 51.5 Hz,而区域内有多台火电机组运转中,则该火电机组群的 OPC 有可能同时满足动作条件而关闭汽轮机调门,以抑制转速的飞升。此后,电网将由“有功过剩”状态过渡为“有功不足”状态,频率将在冲至顶峰后逐渐回降。待频率恢复至额定值后,机群 OPC 将陆续满足返回条件,重新打开汽轮机调门。于是区域电网重新进入“有功过剩”的状态,机组调门重新关闭,并进入“开-关-开-关”的不断循环,也就是所谓的“乒乓”现象。机群内这种各自为战、无序、频繁往复的控制,往往导致机组轴系和热力系统遭受损害,且令解列电网失去保持稳定的机会,最终导致崩溃。

对于电力送出地区而言,该问题尤为突出。电网越薄弱、电力送出量越大、火电机组数目越多,频率“超调”现象越明显。因此,机组的超速保护与电网的安全运行密切相关,完善超速保护不容忽视。

### 1.3 现有应对措施及其局限性

现时,为应对火电机组群的“乒乓”现象,一般采取以下几种措施。

(1) 增加 OPC 的动作延时<sup>[6]</sup>。根据事前计算分析,预判故障情况下区域电网的功率差额水平。根据该结果,匹配预期允许 OPC 动作的火电机组,剩余火电机组的 OPC 加入长短不等的动作延时,以期只通过个别机组的功率输出调节,实现紧急情况下的频率控制。

(2) 调整 OPC 的动作定值<sup>[6]</sup>,将区域内火电机组的 OPC 动作定值整定错开。

(3) 长期退出部分机组的 OPC<sup>[7-9]</sup>。

上述三类措施,表面上看虽有可能解决区域电网解列后火电机组群 OPC“同关同开”的问题,但却暴露出以下几个难以解决的弊端。

(1) 机组本身的 OPC 加入延时、定值调高甚至退出,设备的安全屏障被削弱,直接影响设备安全以及厂内人身安全,机组出线故障造成机组脱网时的情形尤为明显。故而上述措施在推进过程中往往遇到厂方相当大的阻力,成为厂网之间难以调和的矛盾。

(2) 运行方式、潮流水平、机组出力等因素不断变化,如果变化起伏较大,那么事前分析计算的结果与实际情况的匹配度就难以保证,造成 OPC 定值整定困难,电网安全性难以保证。

(3) OPC 是置于 DEH 系统中的控制模块,其定值调整不如继保类装置方便,一般需要制造厂商到现场进行调整,调整后再进行严格测试,工序相较继保类装置而言比较繁琐。因此,定值调整常态化的可操作性难以得到保证。

为此,本文着眼于目前已广泛应用的安全自动装置,提出一种基于安全自动装置控制的火电机组改进超速保护。

## 2 安全自动装置简述

安全自动装置是指防止电力系统失去稳定和避免电力系统发生大面积停电的自动保护装置,简称安自装置。它包括安全稳定控制装置、各自投装置、低频低压减载装置、重合闸装置等多种类型。

安全稳定控制装置(简称稳控装置)是 21 世纪以来应用最为广泛的安自装置之一。它通过不同厂站装置之间的通信通道(一般采用光纤通道)实现通信联系和信息的协调处理,形成安全稳定控制系统(简称稳控系统),在电力系统发生故障时实现快速切机、切负荷等紧急控制措施。根据稳控装置的不同角色定位,一般可分为控制站和执行站。

处于电网薄弱区域的电厂,现时都应配有稳控装置(切机执行站),以确保故障情况下电网和机组设备的安全。本文提出的改进超速保护,就是基于

该稳控装置控制。

### 3 基于安全自动装置控制的改进超速保护

#### 3.1 改进的原则

基于前述现有 OPC 存在的不足, 针对以下原则提出超速保护的改进思路:

- (1) 保持 OPC 原有就地控制逻辑功能, 确保原有设备安全屏障基本不受削弱;
- (2) 适应性强, 不同运行方式、潮流水平和机组出力等因素的变化情况下, 均能对机组作出准确控制, 确保电网和机组设备的安全稳定性;
- (3) 能实现信息综合判断, 优化协调区域控制措施;
- (4) 改造方案可操作性强。

#### 3.2 方案总体架构

方案主要利用区域稳控系统实现信息采集、处理和命令分发, 总体架构见图 2。

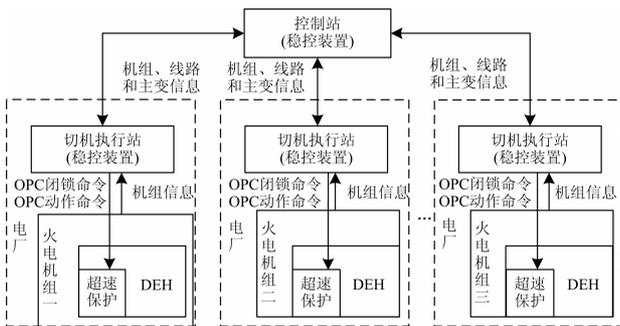


图 2 方案总体架构

Fig. 2 Overall structure

方案主要包括三个环节: 改进的 OPC 模块、切机执行站和控制站。各环节的具体作用和实现思路具体如下。

(1) 改进的 OPC 模块。设计改动包括两个方面: 一是增加两个输入节点(可采用硬接点), 即超速保护动作信号和超速保护闭锁信号; 二是在控制逻辑上增加对上述两个输入信号的处理。改进后的 OPC 动作及返回逻辑详见图 3。

(2) 切机执行站。指安装于电厂侧的稳控装置。主要负责采集电厂侧的机组出力、送出线路和升压变潮流等信息, 转发给控制站供信息处理。装置既负责本地控制策略的判别, 也负责接受控制站的控制命令。为实现切除机组、闭锁 OPC 和驱动 OPC 等紧急控制措施, 装置需设置切机出口、相应的 OPC 闭锁和动作信号。

(3) 控制站。是指安装于枢纽变电站的稳控装置, 是整个系统的“大脑”。主要负责采集本站侧

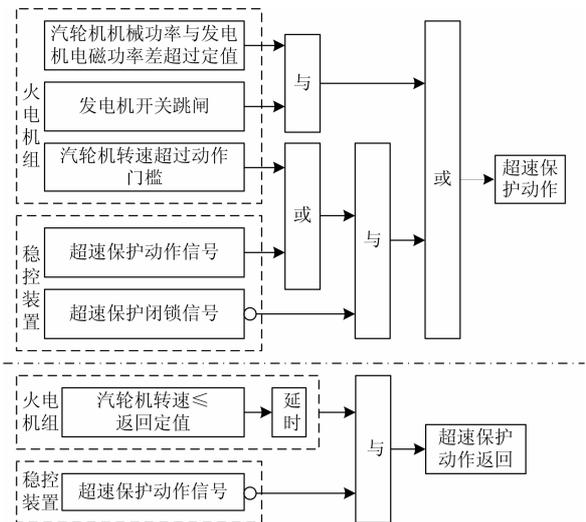


图 3 改进后的 OPC 动作及返回逻辑

Fig. 3 Act and return logic of improved OPC

的线路和主变潮流等信息, 也负责统一收集各执行站上送的信息。对于收集到的各类信息, 根据预设的控制策略, 在系统发生故障时, 匹配相应的控制措施, 向各执行站下发相应的控制命令。

### 4 方案处理

本方案体现了一个设计理念——系统故障(解列)时各厂 OPC 统一协调, 非系统故障时各厂 OPC 自行决策。下面分别对几种不同情况下的处理进行描述。

#### 4.1 机组就地故障情况下的处理

机组发生出线或升压变等就地故障导致机组脱网时, 该故障一般不由稳控系统负责应对, 故稳控系统不会向机组发出“超速保护动作”或“超速保护闭锁”信号。从图 3 逻辑框图可知, 机组仅以就地信息进行 OPC 启动和返回的逻辑判别, 与原 OPC 控制逻辑一致。此时, 机组若满足汽轮机机械功率与发电机电磁功率差超过定值(动作条件 1)或者发电机开关跳闸(动作条件 2), 则 OPC 可直接动作出口。

#### 4.2 系统发生频率稳定问题时的处理

系统发生预想故障导致区域电网解列时, 控制站根据故障后系统的功率超额(过剩), 匹配相应的控制策略, 计算应切除的机组容量。由于功率超额量与系统故障前的运行方式、潮流水平、机组出力等息息相关, 且往往无法找到一个机组组合能使得切除量等于功率超额量, 故控制措施宜以“切除量最接近功率超额量”作为目标。另一方面, 为防止火电机群 OPC 的“同关同开”, 控制站将其余不参

与切除控制措施的机组列为不允许 OPC 动作的机组。最后, 向各执行站发送相应的“切机”或“超速保护闭锁”控制命令。

执行站装置在收到命令后立即发信至相应的机组控制单元, 实施紧急措施控制。其中, 对于不允许 OPC 动作的机组, 执行站装置将向其持续发出“超速保护闭锁”信号。由图 3 的逻辑框图可知, 机组即使满足汽轮机转速超过门槛值(动作条件 3), 超速保护仍将无法出口动作。

上述措施执行完毕之后, 待系统频率恢复至预设值, 则控制站向相应的执行站发送“取消超速保护闭锁”的命令。执行站收令后停止向机组发送“超速保护闭锁”信号, 将 OPC 控制权交还给机组 DEH。若系统恢复频率仍持续高于预设值, 则控制站可根据预想策略继续补切机组, 直至频率满足运行要求。

值得注意, 虽然远方命令闭锁 OPC 的短时刻机组设备的安全屏障有所削弱, 但由于机组本身仍有高频保护、110%危急保安保护等措施, 且 OPC 屏蔽时间较短, 故设备的安全风险仍完全在可控范围之内。

#### 4.3 系统发生暂态稳定问题时的处理

对于预想运行方式下可能导致暂态失稳的故障, 控制站可实施控制策略向指定执行站发送“超速保护动作”控制命令, 执行站收令后持续向指定机组发出“超速保护动作”信号。由图 3 逻辑框图可知, 机组 OPC 将立即动作出口, 关闭汽轮机调门, 机组的机械功率将骤降。根据电力系统暂态稳定分析理论, 系统的减速面积将明显增加, 对系统保持稳定可起到积极作用, OPC 动作的机组越多, 作用将越明显。

上述措施执行完毕之后, 待系统潮流平复、相关指标恢复正常, 则控制站向相应的执行站发送“超速保护动作返回”的命令。执行站收令后停止向机组发送“超速保护动作”信号, 将 OPC 控制权交还给机组 DEH, 机组也将重新开启汽轮机调门, 恢复正常运转。

值得注意的是, 调门关闭的时间长, 会引起主汽压力的升高, 触发热工保护动作而跳机<sup>[10]</sup>。因此, “超速保护动作”信号的持续时间应据此加以考虑。

## 5 应用

目前, 该项技术拟在广东电网中试点应用。可以预计, 推进实施过程中势必遇到不少的困难和风险。

(1) 说服电厂方, 开展技术改造, 实现厂网安全双赢。由于广东电网公司已实现在电力系统安全稳定分析软件 BPA 中加入 OPC 仿真模型, 故可针对系统开展不同形态下的故障仿真分析, 以仿真分析结果作为工作开展的依据。

(2) 协调汽轮机制造商, 对 OPC 模块进行软硬件改造。由于 OPC 模块现已成为火电机组安全策略中的必备模块, 因此改造的具体实施方案务必确保其主体逻辑和硬件的可靠性和正确性。

(3) 针对电网安全稳定分析和稳定控制结论, 提出稳控系统策略改造方案, 做好稳控系统策略的适应性改造。同时, 通过严格的调试, 确保稳控装置动作的灵活性、适应性、可靠性和正确性。

## 6 总结

火电机组 OPC “同关同开”一直是调度运行的棘手难题。本文首次提出利用安全自动装置组成的安全稳定控制系统实现对机群 OPC 的协调处理, 同时确保了 OPC 原有就地保护功能不受影响, 可操作性强, 为解决孤网系统高频问题另辟蹊径。

### 参考文献

- [1] 张健铭, 毕天姝, 刘辉, 等. 孤网运行与频率稳定研究综述[J]. 电力系统保护与控制, 2011, 39(11): 149-154. ZHANG Jianming, BI Tianshu, LIU Hui, et al. Review of frequency stability for islanded power system[J]. Power System Protection and Control, 2011, 39(11): 149-154.
- [2] 张培高, 李兴源, 李政. 孤网频率稳定与控制策略研究[J]. 电力系统保护与控制, 2012, 40(15): 143-149, 155. ZHANG Peigao, LI Xingyuan, LI Zheng. Research on frequency stability and control strategy in isolated power grid[J]. Power System Protection and Control, 2012, 40(15): 143-149, 155.
- [3] 叶健忠, 邹俊雄, 龙霏, 等. 地区电网火电机组孤网运行频率控制策略研究[J]. 电力系统保护与控制, 2012, 40(7): 123-128. YE Jianzhong, ZOU Junxiong, LONG Fei, et al. Research on frequency control strategy for isolated grid operation of thermal power unit in regional power network[J]. Power System Protection and Control, 2012, 40(7): 123-128.
- [4] 肖增弘, 徐丰. 汽轮机数字式电液调节系统[M]. 北京: 中国电力出版社, 2003: 59-66.
- [5] 徐衍会, 贺仁睦, 孔祥云. 调速系统超速保护控制对电力系统稳定的影响[J]. 现代电力, 2006, 23(12): 6-7. XU Yanhui, HE Renmu, KONG Xiangyun. The effect of

- overspeed protection control on power system stability[J]. Modern Electric Power, 2006, 23(12): 6-7.
- [6] 陈兴华, 罗向东, 吴国炳, 等. 广东中珠电网电磁解环运行的机网协调方案[J]. 南方电网技术, 2008, 2(6): 57-59. CHEN Xinghua, LUO Xiangdong, WU Guobing, et al. A machine-network coordination scheme of electromagnetic ring rejection for Guangdong Zhong-Zhu Power Grid[J]. Southern Power System Technology, 2008, 2(6): 57-59.
- [7] 牟才荣, 覃松涛, 陈立, 等. 广西桂林 220 kV 电网单机孤网稳定控制问题研究[J]. 广西电力, 2008(4): 1-6. MOU Cairong, QIN Songtao, CHEN Li, et al. Study on the stability control of isolated network with single generator in Guangxi Guilin 220 kV electric power network[J]. Guangxi Electric Power, 2008(4): 1-6.
- [8] 林火华, 王文, 韦元养, 等. 220 kV 桂林孤网稳定运行控制技术[J]. 南方电网技术, 2008, 2(3): 49-53. LIN Huohua, WANG Wen, WEI Yuanyang, et al. Stable operation control technologies for islanded networks in 220 kV Guilin Power Grid[J]. Southern Power System Technology, 2008, 2(3): 49-53.
- [9] 黄河, 徐光虎, 余畅. 2008 年南方电网冰灾期间孤网运行经验[J]. 南方电网技术, 2008, 2(5): 6-9. HUANG He, XU Guanghu, YU Chang. Operation experience of isolated network in CSG during ice disaster (2008)[J]. Southern Power System Technology, 2008, 2(5): 6-9.
- [10] 王一振, 马世英, 王青. 电力系统孤网高频问题研究现状和发展趋势[J]. 电网技术, 2012, 36(12): 165-169. WANG Yizhen, MA Shiyang, WANG Qing. Present status and developing trend of research on over frequency in isolated power grid[J]. Power System Technology, 2012, 36(12): 165-169.

收稿日期: 2014-02-13; 修回日期: 2014-08-26

作者简介:

陈兴华(1977-), 男, 工学硕士, 高级工程师, 主要从事电力系统运行、控制与管理工。E-mail: soulchen@126.com

## 《电力系统保护与控制》入选“2014 中国国际影响力优秀学术期刊”

2014 年 12 月 16 日, 由中国学术期刊(光盘版)电子杂志社、清华大学图书馆、中国学术文献国际评价研究中心联合主办的“2014 中国最具国际影响力学术期刊暨中国学术期刊国际、国内引证报告发布会”在北京清华大学举行。会议发布了《中国学术期刊国际引证年报(2014)》、《中国学术期刊影响因子年报(2014)》以及一份全面评价我国学术期刊国际影响力的名单——“2014 中国最具国际影响力学术期刊”和“2014 中国国际影响力优秀期刊”。许昌开普电气研究院主办的《电力系统保护与控制》入选“2014 中国国际影响力优秀学术期刊”。《电力系统保护与控制》将再接再厉, 将我国优秀电力科研论文推向国际, 树立我国电力科研的良好国际形象, 为我国电力科研及期刊走向国际贡献力量。