

# 火电机组一次调频控制策略优化及应用

王 钊

青海黄河上游水电开发有限责任公司 青海西宁 810000

**摘要:** 随着电网调度对电厂一次调频调节性能考核日趋严苛,发电机组调频控制性能的好坏直接影响机组的安全性和企业的经济性。文章基于电网运行要求从机组调节控制系统硬件和软件两方面给出了优化改进方案。通过实际运行验证,认为优化方案是有效可行的,不仅满足了机组的实际运行要求,还满足了电网对一次调频的要求。

**关键词:** 协调控制 一次调频控制优化细则

## 引言:

在网发电机组的故障和用户电量的波动都可能引起计划负荷与实际负荷间产生偏差,会对电网系统的频率变化造成负面影响。电网如果发生有功缺额的情况,电网频率下降,反之电网频率上升。电网主要通过在线发电机组的热惯性和调频性能抑制频率偏差,进而减少电网频率波动的过渡时间,最终稳定电网中动态变化的频率。近年来,电网增进了大量风电、光伏、生物质发电机组,这些新能源机组容易受自然环境的制约,同时大容量发电机组突发跳闸停机,要求火电机组承担艰巨的一次调频任务,因此准确迅速地响应电网调频需求,成为火电机组承担的重要任务。

## 1 一次调频应满足的技术要求

在燃机一次调频中,需要满足以下几个方面的技术要求:首先,火电机组调速系统转速不等率不能够高于5%。其次,火电机组的一次调频死区不能够超过 $\pm 0.033\text{Hz}$ 。再次,如果电网频率的变化超出一次调频死区范围,此时电液调节型机组的响应时间不能够超过3s。同时,在电网频率变化超出机组的一次调频死区范围时,由此开始的15s内,整个机组的实际调节量需要达到理论调节量的75%以上。另外,机械调节型机组和液压调节型机组需要在15s内响应一次调频目标值。最后,在整个机组参与一次调频的过程中,当电网频率稳定之后,机组负荷最终达到稳定所需要的时间就是一次调频稳定时间,应该在60s之内<sup>[1]</sup>。

## 2 火电机组一次调频的影响因素

### 2.1 一次调频与AGC指令相互影响

目前,绝大部分机组都采用AGC控制方式,机组负荷同时受一次调频和AGC(二次调频)的影响。当机组负荷变动方向与一次调频相反,如在机组降负荷过程中因网频低需要一次调频增加负荷,则一次调频贡献量

会被负荷下降抵消部分或全部,往往导致一次调频贡献率不达标。对于这种情况,目前大多机组的应对方法是通过设置一次调频指令优先逻辑,闭锁反向AGC负荷指令,但在汽轮机进行负荷调节的过程中,或压力拉回逻辑起作用时,机组实际负荷和负荷指令始终存在一定偏差,即使负荷指令不再反向变化,汽机主控的积分作用仍会将负荷回拉,将一次调频实际积分电量抵消。

### 2.2 负荷指令与一次调频动作反向

在自动发电控制(AGC)投入时,容易出现电网调度变负荷指令和频率要求调频功率变化两者方向不一致的情况。以要求减负荷为例,在频率超出死区触发调频动作时DEH调频回路迅速动作,汽轮机调门快速关小。但如果电网调度AGC指令正在升负荷且升负荷量大于调频要求减负荷量,则调频的实际积分电量被抵消甚至与要求反向,严重影响调频性能<sup>[2]</sup>。

### 2.3 机组性能与操作规范

不同类型的锅炉具有不同的响应,锅炉决定着火电机组的响应特性。不同锅炉的响应速度由慢至快分别为:循环流化床锅炉、自然循环煤粉锅炉、直流锅炉。锅炉子系统响应特征也不同,也会对制粉系统造成很大影响。在增加燃烧率方面,由快至慢机组分别是:中间仓储制粉系统、钢球磨煤机、中速磨系统。火电机组响应AGC指令能力的差异就是由这些机组性能特性决定。

### 2.4 煤种掺烧

近年来,部分火电厂为了不断降低成本,选择越来越多的劣质煤进行掺烧,以此来降低对动力煤的需求。煤质的严重不达标使机组的运行产生很大的风险,降低了调节系统的响应速度。同时,在相同负荷下,煤质热值的下降增大了煤量的需求,致使锅炉内燃料最大化投入也无法满足机组的输出要求,严重影响了AGC功能响应的速度,以及对精度范围的调节等<sup>[3]</sup>。

## 2.5 一次调频逻辑

通常 DEH 中调频的流量变化量是在额定蒸汽压力下计算的。不同负荷工况下主汽压力变化很大,尤其是机组在低负荷段运行时主汽压力明显低于额定参数,阀门开度变化后流量指令的改变对应的负荷量也较小,致使调频量不能满足要求。在 CCS 侧逻辑中,正常的变负荷过程,DEH 侧接收 CCS 侧汽机主控指令控制调门开度。在调频动作时,DEH 侧计算出调频要求量,直接作用在流量控制前馈中,而此时 CCS 侧汽机主控的控制输出较 DEH 侧直接开度变化有一定滞后,会使汽机调门出现反向动作,使调频作用减弱。在一次调频动作时,DEH 侧调门前馈快速动作后,CCS 侧由于滞后未能同步动作而引起了调门反向动作,影响考核结果。同时,在 CCS 侧设计有压力拉回回路,在主汽压力偏差较大时,闭锁汽机主控阀门调节功能,减小汽压偏差保持机组稳定运行。但是,在一次调频动作时,由于调门的动作会使主汽压力出现偏差,这会引发一次调频量部分被抵消<sup>[4]</sup>。

## 3 一次调频的完善方案及应用

### 3.1 调频动作闭锁

汽机主控 PID 反向调节相对于设计闭锁机组负荷反向指令的策略,可以更进一步地设计调频动作闭锁汽机主控 PID 反向调节策略,以解决目标负荷与实际负荷存在偏差时,PID 积分作用产生的反向调节问题。根据电网考核规定设定的闭锁时间 60 秒,以及该闭锁功能的协调方式要求和投切开关,当频差(转速差)越过死区且三个条件都满足时,通过 M/A 模块的闭锁增、减功能,禁止 I/O 站输出反向变化,同时 PID 运算结果在闭锁时进行跟踪,防止解禁时出现扰动。由于一次调频动作次数多,频繁闭锁机主控指令可能影响 AGC 的调节性能,可结合电厂 AGC 的实际情况调整闭锁的动作死区或设置延时通时间,减少不必要的闭锁次数。

### 3.2 机组测量信号优化

由于调频动作信号采用电力系统同步相量测量装置(PMU)送出的高精度电网周波信号来进行判断,而在电厂侧一般采用转速值来控制,转速测量精度远低于电网周波信号,造成偏差较大,于是出现频率差超出死区要求调频动作时不能进行响应,而在死区内时进行无效动作。因此,需改造一次调频信号同源装置,采用 PMU 送出的高精度周波信号作为频率控制信号,实现信号的同源,减少误动和拒动的概率和次数<sup>[5]</sup>。

### 3.3 频率信号采集方式优化

电网侧考核并网机组的一次调频响应能力是根据机

组 PMU(同步相量测量单元)装置中测量的信号经计算得到的,有些机组则采用汽机转速卡测量的转速信号作为频率信号,这些信号均可能与电网实际频率存在偏差。实际证明,这种信号不同源误差容易导致发电机组一次调频各项指标偏离标准值较大,特别是会出现小频差不响应的现象。为了解决这一问题,对机组 PMU 装置进行同源改造,有针对性地安装了一套频率同源装置。将 PMU 装置上的频率和功率信号引入 DEH,一方面频率信号作为一次调频动作指令的计算,另一方面功率信号作为实时负荷的反馈,解决了频率采集的可靠性和负荷传输的一致性,真正实现机组调频与电网需求的同步响应。

### 3.4 一次调频前馈定向闭锁定时复位策略

许多专家都提出不同的控制策略,例如延长动作时间或缩小调频信号复位死区,“快动缓回”“快动慢回”策略。这里提出一种一次调频前馈定向闭锁定时复位策略,其原理是通过闭锁调频动作反向指令,延长阀门的正向动作时间来增加贡献电量,与上述策略相比,一次调频前馈定向闭锁定时复位策略的有以下几个优点:在频率越出死区后,在限定时间内只选取对调频动作有利的指令前馈作为输出,即高频选小低频选大,避免了调门往复波动,保护设备安全,延长执行机构寿命,并有效增加贡献电量;不需要减小调频死区、延迟结束调频动作或对调频动作速率做改动,以免对 AGC 调节造成较大影响;根据设定的时间定时对选择后的指令进行一次复位,可根据机组运行实际情况和当地电网要求进行在线调节,在一次调频合格率与 AGC 速率间寻求平衡点。也大大减缓了调门的动作频次,保护了设备安全,延长了执行机构寿命<sup>[6]</sup>。

### 3.5 CCS 侧一次调频策略优化

为避免调频动作方向和负荷指令变化方向相反时,出现考核不合格甚至出现反向动作,应采用闭锁负荷指令以保证考核效果。但闭锁负荷指令会影响到 AGC 考核,因此结合一次调频单次考核时间不超过 60s,设定闭锁逻辑。当调频动作持续时间小于 60s 时,闭锁时间随着调频动作时间结束而结束;当持续时间大于等于 60s 时,闭锁时间为 60s。同时,由于一次调频动作时,调门开度快速变化,而这必然会引起主汽压力的变化造成压力控制偏差,导致压力拉回动作抵消部分调频量。在主汽压力不超限的安全前提下,对压力拉回回路进行闭锁,保持回路输出当前值不变,优先响应一次调频,提高调频考核合格率。

#### 4 结束语

经过精心的设计及调试,电厂机组一次调频功能满足了电网调频需要,并实现了在深度调峰30%负荷工况下的 $\pm 3\%P_e$ 调频测试。电厂技术人员从实践出发,以问题为导向,逐步科学推进精细化控制策略,提升了机组在协调系统和汽轮机调速系统的自动化控制水平,也为实现电网安全稳定运行创造了条件。

#### 参考文献:

[1]张浩良,孙健.9E燃机一次调频测试存在的问题及优化[J].科技创新与应用,2019(11):10-11.  
[2]高健,苏俊,林祖宇.燃气—蒸汽联合循环机组

一次调频应用研究[J].机电信息,2019(15):28-29,31.

[3]郝欣,张志,王喆.滑压运行汽包炉机组AGC控制策略研究[J].东北电力技术,2019,33(10):10-12.

[4]滕贤亮,高宗和,朱斌,等.智能电网调度控制系统AGC需求分析及关键技术[J].电力系统自动化,2019,39(1):81-87.

[5]吴欣,吴宁,孙海涛,等.火电机组一次调频性能提升实践[J].山东电力技术,2019,45(3):65-68.

[6]王洪凯.基于电网考核细则框架下的一次调频功能优化[J].东北电力技术,2019(8):22-26.