

# 1050MW 超超临界百万机组一次调频控制优化分析

## Optimization Analysis of Primary Frequency Regulation Control for 1050 MW Ultra-Supercritical Million Units

兰志明  
Zhiming Lan

神华福能发电有限责任公司 中国·福建 泉州 362700  
Shenhua Funeng Power Generation Co.,Ltd., Quanzhou, Fujian, 362700, China

**摘要:** 一次调频是快速调整运行机组转速至允许范围内的重要手段。论文结合百万机组一次调频、控制逻辑、调频功能实现进行了简单分析,针对上汽 1050MW 类型机组一次调频存在的问题,开展策略优化及现场应用并提出了相应的思路。

**Abstract:** Primary frequency regulation is an important means to quickly adjust the operating unit speed to the allowable range. The paper analyzes the primary frequency regulation, control logic, and realization of frequency regulation functions for millions of generating units. Aiming at the problems of primary frequency regulation of 1050MW units of SAIC, the strategy optimization and field application are carried out and corresponding ideas are put forward.

**关键词:** 百万机组;一次调频;控制优化

**Keywords:** million units; primary frequency regulation; control optimization

**DOI:** 10.36012/etr.v2i7.2201

## 1 引言

电网频率是电网安全稳定运行的重要指标,频率大幅度偏离额定值对电网及电厂的设备安全影响都是重大危害。随着中国高压及超高压直流电网的大规模建设应用,当并网电厂机组出现非停事故或直流线路故障时,电网频率随之产生较大的波动。提高火力发电机组一次调频的控制调节性能,确保火力发电机组参与电网一次调频的调节安全。

## 2 一次调频原理及特征参数

一次调频是指各机组并网运行时,受外界负荷变动影响,电网频率发生变化时,各机组的调节系统参与调节作用,汽轮机调门根据设定策略自动快速动作,使机组功率快速改变以适应电网频率的变化,机组在 DEH 侧和 CCS 侧均设置了功能逻辑,进行同步协调动作。

### 2.1 一次调频调整实现过程

汽机侧(DEH)功能实现过程为:根据机组实际运行转速计算得到频率偏差,通过设置的调频函数计算得到调频量,

直接叠加到流量指令,经阀门管理函数后作用于调门开度。

协调侧(CCS)功能实现过程为:将 DEH 侧的调频量同时送至 CCS 侧控制回路实现闭环控制。通常送入 CCS 侧后分两路处理:一路直接作用于锅炉前馈控制,响应功率变化要求;另一路则结合机组指令作为功率最终设定值送入汽机主控回路。

### 2.2 特征参数

#### 2.2.1 调频死区

电网频率在微小扰动时为避免机组调门频繁动作影响电网及设备的运行稳定性而设定的转速死区范围。

#### 2.2.2 转速不等率

转速不等率是汽轮机由空负荷到满负荷对应的转速变化量与额定转速之比,火电机组转速不等率设置应为 3%~6%。

#### 2.2.3 迟缓率

调节系统各环节存在摩擦、间隙导致转速在上升和下降过程的静态特性曲线所对应的转速不同,该转速差与额定转速之比即为迟缓率。

**【作者简介】**兰志明(1986~),男(畲族),福建莆田人,工程师,从事电厂自动控制理论及应用研究。

### 2.2.4 一次调频性能

电网调度会对电厂发电机组一次调频性能进行考核,主要包括正确动作率和响应能力指标两个方面。

## 3 某百万机组电厂调频转速功率曲线

图 1 逻辑框说明:将给定转速与实际转速的偏差,经过不等率处理后,生成一次调频给定。一次调频给定可修正阀位总指令及功率给定值,使实际功率可随频率高低变化,以维持供电频率稳定<sup>[1]</sup>。考虑直流炉蓄能较小,在一次调频加负荷方向设置限幅 20%。同时为保证汽轮机安全,在一次调频减负荷方向不设置限幅。

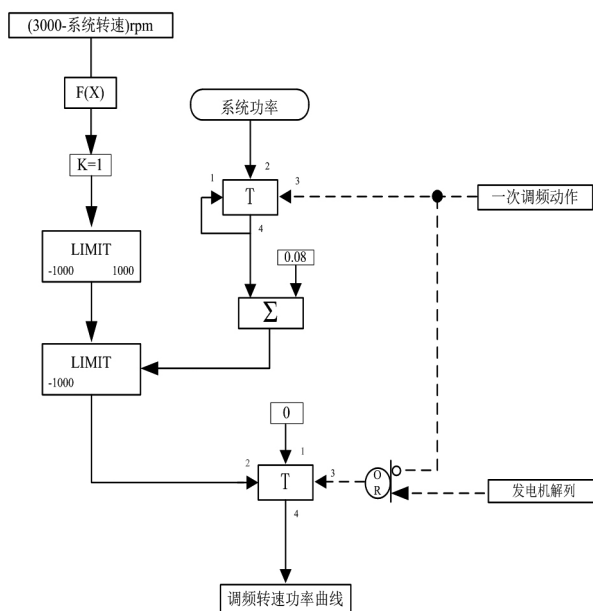


图 1 某百万机组电厂调频转速功率曲线

汽轮机调节系统具有功率控制、压力控制、CCS 控制、阀位控制四种控制方式,功率控制又分为负荷开环、闭环控制。负荷开环控制方式下,由操作员给出目标负荷及负荷变化率,确定相应的阀门开度,不对负荷进行 PID 闭环调节。负荷闭环控制方式下操作员给出目标负荷及负荷变化率,由 DEH 完成对负荷的自动调节。

## 4 CCS 系统的一次调频修正指令

一次调频回路是在 DEH 中实现,在 CCS 侧进行指令修正补偿,补偿的作用主要是为消除协调系统功率闭环校正回路过程产生的内扰。CCS 内的一次调频补偿逻辑为当机组一次调频开始动作后 CCS 侧逻辑根据电网频率信号,经过死区信号处理后计算出的一次调频量,叠加到协调控制回路的主 PID,用来补偿汽机侧负荷变化对锅炉侧的调节影响。一

次调频量叠加在机组负荷指令回路中,对频差信号进行开环控制,同时对机组功率进行闭环校正调整汽轮机调门开度。

## 5 一次调频过程中存在的问题

### 5.1 一次调频动作频繁

参与一次调频的并网机组在调整过程出现一次调频动作频繁、不同负荷段(压力)一次调频贡献率的差异、高调阀晃动频繁对 EH 油系统影响及对汽轮机轴系影响。

### 5.2 机组电磁功率振荡

当总流量指令在 97% 以上时, CV4 阀门特性曲线存在拐点,每 1% 流量指令的变化会导致 CV4 约 23% 阀位变化。由于机组原动机的出力特性主要由 CV4 阀位变化特性决定,在该变化幅度阀位作用下,容易诱发机组原动机机械功率超调,进而导致机组功率超调。与此同时,由于前馈系数/PI 控制参数比例环节较大,因 DEH 前馈调节可以迅速响应转速波动变化,结合闭环控制的作用,机组功率又被反复拉回。

## 6 优化措施

在保证机组满足一次调频性能前提下,可在 DEH 前馈回路、调频回路(汽机主控部分)转速输入量后增加滤波环节、减少 DEH 前馈系数、针对总流量指令进行一定的限幅,从而在机组的总流量指令位于较高水平时,使调阀阀位的变化相对缓慢甚至抑制变化,减少调阀阀位数值的振荡风险,从而降低原动机出力的振荡风险。

当机组调速系统总流量指令在较高数值(水平)时,结合阀门特性曲线共同作用,容易诱发调阀阀位振荡。从 CV1~CV4 的阀门特性曲线可看出,在总流量指令位于 0~97% 区间时,亦存在阀门特性曲线拐点,易诱发调阀阀位振荡。因此,从机组整个运行负荷段考虑,考虑改善所有调阀的线性度,降低调阀指令突变/抖动风险。此外,可以设置合理的调阀伺服卡 PI 控制参数,避免调阀调节过程出现超调。

## 7 结语

通过 DEH 前馈回路、调频回路增加滤波环节及优化阀门特性曲线,降低一次调频动作过程原动机振荡风险具有一定的参考意义。

## 参考文献

[1] 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,2018,45(3):65-68.