

浅谈火力发电厂一次调频优化

秦世强 张立兴 王瑞

辽宁调兵山煤矸石发电有限责任公司

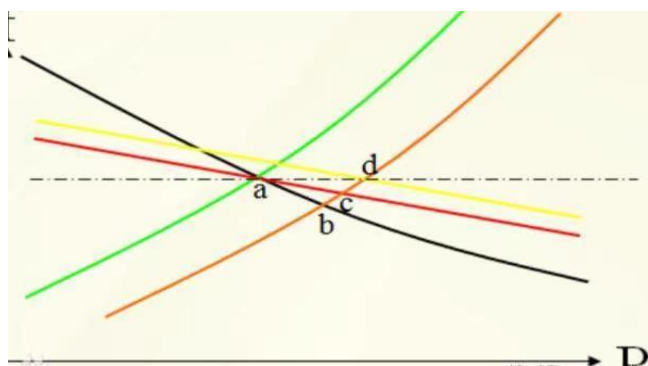
摘要: 电力系统是一个庞大的惯性系统, 根据发电机转子运动方程, 当电力系统有功功率不足时, 发电机的转子转速会急速上升, 电网频率随之升高, 反之电网频率会随之降低。所以一次频率调整的主要功能是动态确保国家电网有功功率与用户消耗功率之间相互平衡的手段之一。随着电网频率增加时, 一次调频的控制功能要求发电机组自动减少接入电网的电功率, 当电网频率降低时, 发电机组会自动增加接入的发电功率。国家电网一次调频的主要参与有火力发电厂、水力发电厂, 而一些风力发电、光伏发电、储能项目也有具备国家电力系统频率调整的能力。一次调频为反馈闭环控制, 采用的方式是就地快速响应。目前我们国家电网频率额定值为50HZ, 简单来说, 如果电力系统频率超过50HZ, 说明电网上网电量高于用户的用电量, 如果电力系统频率低于50HZ, 则说明上网电量低于需求的用电量。发电电量与供电电量的不平衡会造成电网频率的上下波动, 需要一次调频和二次调频进行参与粗略和精细的调整。此时并入国家电力系统的发电厂一次调频参数优化、快速响应尤其重要。

关键词: 火力发电; 一次调频; 参数优化

【DOI】10.12252/j.issn.2096-6261.2022.09.076

一、火力发电厂一次调频的工作原理

一次调频控制的基本原理就是发电机组直接接受与电网频率出现的偏差信号, 通过改变机组的实发电量, 来实现电网频率的稳定。对于国家电网负荷变化幅度比较小, 变化周期比较短所引起电网频率的偏移, 一般来说由发电机组的调速器通过一次调频来进行精确仔细的调整; 一次调频主要的目的在于快速响应消除国家电力系统的小幅度电负荷扰动, 因此设计电网调整频率的控制回路必须遵循的原则: 快速响应与稳定安全。电网的频率是由发电机输出功率与用户的电力负荷决定, 当发电机电网功率等于用户消耗的电力负荷量时, 电网频率基本稳定; 发电机的电网负荷多于消耗用电负荷时, 电网频率就会增加; 发电量小于用户电量时, 电网频率就会相应的随之降低。



a点: 电网负荷稳定, 频率额定值50Hz

b点: 随着消耗电负荷增多, 电网频率随之降低到b点。

c点: 由于一次调频的作用, 电力系统频率下降有缓慢, 电网频率回到c点。

d点: 在AGC的作用下, 电网频率自动恢复至d点, 稳定在50Hz。

从左图中可以看出, 电网频率减少时需要增加有功电负荷, 电网频率增加时需要减少机组电力负荷。

二、火力发电厂一次调频的控制回路

火力发电厂一次调频一般可分为协调控制和数字液体调节控制的一次调频控制回路, 这两部分共同作用调整频率控制回路, DEH系统下的一次调频快速响应属于开环控制, CCS系统下的一次调频最终稳定发电输出负荷属于闭环控制。DEH控制下一次调频的动作数值用来直接控制调整汽轮机的进汽调速汽门, 使发电机组负荷快速响应一次调频的需求。CCS下一次调频最终稳定机组的电负荷, CCS控制中的一次调频根据机组负荷的条件自动投入和退出, 最终将发电机组负荷稳定在要求值。

三、火力发电厂一次调频的参数设置

转速不等率为5%, 汽机从100%的额定负荷到0%的额定负荷变化, 所对应的转速升高值为150r/min。 $\delta = 150 / 3000 * 100\% = 5\%$ 。也叫速度变动率。一次调频量的计算: $\Delta Pf = K * \Delta f$ (K为调频系数, 单位为%/r/min, Δf 为频差信号), 而 $K = 1 / (\delta * n_0) * 100\%$ 。

转速死区: 转速的死区目的是为了消除电负荷的波动及调节系统轻微的晃动, 这是由于转速不稳定原因引

起的。转速死区： $\pm 2r/min$

限幅：6%额定负载，即在 $\pm 2r/min$ 转速死区的基础上，频率增加的幅度变化为 $\pm 9r/min$ 。机组限幅的主要目的是为了防止机组电负荷快速显著变化危害发电机的稳定运行。比如燃煤发电机组，DEH控制模式下的调速器快速响应一次调频负荷变化的最大幅度，这必须通过试验确定的，主要通过改变汽轮机进汽调门时蒸汽压力、蒸汽流量和蒸汽温度等参数的变化在规定要求内作为主要依据。

投运范围：对于火力发电机组，DEH侧调速器的一次调频应在机组正常负荷调节范围内投入运行。当机组处于最小或满负荷时，仅使用DEH控制下的一次调频功能，CCS控制下锁定与一次调频相反的调节功能。当发电机处于最低负荷时，不应由于一次调频的参与而降低燃料消耗，以防止锅炉燃烧和灭火不稳定。当机组处于最高负荷时，不应因参与一次调频而增加煤耗，以防止机组蒸汽压力上升过快而超压。CCS控制下的下一次频率调节应在协调控制的允许负荷范围内投入运行，最小负荷为额定负荷的50%，最大负荷为额定满负荷。

四、火力发电厂频率调整的分类与特点

发电机调频又称发电机频率控制，作为电网控制电负荷供电需求相平衡的主要措施，目的是确保电网中频率控制的安全性和稳定性。发电机组的负荷和负荷管理是调整电网频率的最重要方法之一。基于频率调节范围和频率调节能力的差异调频可分为一、二、三次调频。

一次调频是指电网频率与目标值出现偏差时，发电机调速系统快速反应，调整输出电负荷以维持电网频率稳定。一次调频的特点是快速响应和有差控制。一次调频也称作为有差调节，比如说系统的电功率增加，那么机组的转速就会下降，从而导致频率下降。这时，发电机组的调速器就会增加出力（水电厂是增大水流量，火电厂是增加进汽量），从而使发电机功率增加，则机组转速上升，频率上升，但是最终略低于原频率。

二次调频也就是AGC控制也叫作自动发电控制，是指提供足够具有一定的调节速率和调整负荷的发电机组容量，在允许范围内自动跟踪电网频率，以满足电网频率安全稳定运行。二次调频为无差调节，并且能够进行监视和调整电网联络线路输电电负荷。二次调频则是无

差调节，它是由调频器进行的，调频器的伺服电机收到信号后会转动，使发电机组的转速继续上升直到二次调整后的频率与原频率相等为止，所以二次调频是无差调节。具体的细节过程与测量频率的过程都是由与发电机组连接的自动调频系统完成的，而且一、二次调频都是同一套装置。

三次调频的本质是在线经济调度，它合理综合利用能源和设备，获得更多的、优质的、经济的电能，以最低的发电成本或费用换取最实惠的，利益最大的经济效益，满足电力系统频率安全稳定。

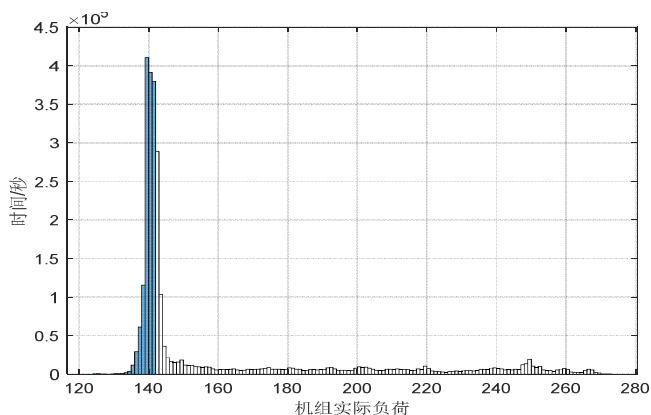
五、发电机火力发电厂一次调频参数优化

1. 电网考核规则变化

自2023年3月起，东北电网实施新版《东北区域电力并网运行管理实施细则》，新增了一次调频考核指标与管理办法，与旧版本的“两个细则”仅考核频率调整动作正确率指标的方法有较大的变化，是对一次调频加大考核力度的根本原因。

2. 机组运行负荷区间改变，一次调频未进行变参数合理调控

结合调兵山发电公司2023年5月份历史数据分析可见，5月份因超低负荷150MW以下运行时长占比较高。



一次调频考核增多的原因是：参与了深调，常运行负荷区间由150MW以上扩展到了150MW以下，这一负荷区间内一次调频未进行变参数改造。为了保证机组在150MW以下区间内的一次调频合格率，需对机组汽机主控的PI参数修改，增加变参数控制环节，重点修改120-150MW负荷点对应参数，提高此区段调频性能。

3. 协调方式下汽机主控PI参数修改

目前，机组主汽压采用定-滑-定的运行方式，在低

负荷区域，主汽压偏低，负荷调节较慢；此次修改，PT采用变参数，加强低负荷区域，协调方式下汽机主控的比例控制作用，加快低负荷区域的负荷调节速度，协调方式下汽机主控PT参数修改前后，YCTPCHA03函数变化如表1-1所示。

表1-1 协调方式下汽机主控PT参数修改前后，YCTPCHA03函数变化

	协调方式下汽机主控PT参数修改前		协调方式下汽机主控PT参数修改后		备注
	XX	YY	XX	YY	
YCTPCHA03 函数	0	120	0	90	
	60	120	60	90	
	120	120	120	90	
	150	120	150	90	
	250	120	250	120	
	270	120	270	120	
	275	120	275	120	
	280	120	280	120	
	285	120	285	120	
	300	120	300	120	
	350	120	350	120	

4. 火力发电厂一次调频优化注意事项

PT修改过程中以及每次修改后，运行人员加强监视负荷控制的稳定性；PT修改（YCTPCHA03函数参数修改），采用在线渐进的修改方式；PT修改前，通知运行人员，得到运行人员的允许后，方可修改；PT修改过程中，CCS和一次调频正常投用；PT修改过程中，要求机组在低负荷区域运行，要求机组负荷小于70%额定容量；PT修改，采用120-110-100-95-90的渐进修改方式，每次修改，等待观察20-30min，注意负荷控制的稳定性，若出现负荷控制不稳的趋势，退回上一步参数；PT修改过程中，每次修改前，需要通知运行人员，得到运行人员的允许后，方可修改。

发电机组一次调频参数修改，要求机组在低负荷区域运行，机组负荷小于70%额定容量；修改过程中，协调和一次调频正常投用；参数采用120-110-100-95-90的渐进修改方式，每次修改，等待观察20-30min，注意负荷控制的稳定性，若出现负荷控制不稳的趋势，退回上一步参数；每次修改参数后，和设备部人员共同监护负荷控制的稳定性。机组一次调频PT参数修改后汽机调门开关速率发生变化，逻辑下装优化结束后，调整实际

主汽压力与滑压曲线压力偏差0.5MPa 以内后，投入锅炉燃料主控、锅炉主控及机炉协调。调频优化后，负荷波动会有所上升，运行人员需加强各参数监视，在此期间会影响汽包水位、主汽压力、温度及煤量等参数，运行值班人员应加强汽包水位、主汽压力、蒸汽温度、给煤量、EH油压、高调门开度、机组振动、各瓦回油温度等参数监视。

参数修改过程中巡检人员应对EH油管路、各高调门等部位加强就地巡视，发现高调门异常摆动等情况，及时汇报。重点监视参数发生变化时，应及时调整，如调整后发现参数出现不可控危险如水位波动大、煤量摆动大、汽压无法维持、汽温有超温等现象，立即通知热控还原数据，必要时解除协调手动调整，退出协调、切至单阀运行，保证机组负荷稳定，防止事故发生。

六、结语

在电力生产行业，电力系统的频率调节也是电力市场的重要组成部分。电网供电和用户用电之间的平衡至关重要，而电网频率是反映这一情况的重要指标。一次调频由调速器装置进行，小的调频范围属于微调。二次调频是通过调频器实现的，大的调频范围属于粗调。一次调频是参与电网的周期调整，具有一定的幅度限制和死区。二次调频是接受中调的指令或手动指令。一次调频和二次调频在整个电网的供电系统中起着举足轻重的作用，维护着国家电网安全、可靠、稳定的经济运行。

参考文献

[1] 方世清. 自动发电控制机组在电网一次调频中的应用研究[J]. 中国电力

[2] 于达仁. 汽轮发电机组的一次调频动态特性[J]. 中国电机工程

[3] 张毅明, 罗承廉, 孟远景. 河南电网频率响应及机组一次调频问题的分析

[4] 李遵基, 热工自动控制系统[M]. 中国电力出版社. 1997: 62-70

[5] 肖湘宁. 电能质量分析与控制[M]. 中国电力出版社. 2004: 10-57

[6] 赵志军, 徐欣航. 火电机组一次调频功能及试验方法[J]. 河北电力技术. 2003, 27(22): 64-67