

[汽轮机]

百万机组额定负荷工况一次调频策略研究与应用

文/大唐三门峡发电有限责任公司 李 刚

随着单机容量规模的不断扩大，机组的一次调频性能对电网的稳定至关重要。根据一次调频导则要求，额定负荷运行的机组应参与一次调频，增负荷方向最大调频负荷增量幅度不小于 $3\%P_0$ 。针对上汽1 050 MW类型机组在100%负荷时，下一次调频存在的问题，开展策略优化及现场应用，填补国内技术领域的空白。

一次调频概念

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，这时，各机组的汽轮机调节系统依据频率变化参与负荷调节，使发电负荷与用电负荷相平衡，维持电网频率在工频附近波动，这一过程即为一次调频。

在电网实际运行中，当电量消耗与电量供给不匹配时，即可引起电网频率出现变化较小、变动周期较短的微小分量，这种频率扰动主要靠汽轮发电机组本身的调节系统直接自动调整汽轮机调门完成电网负荷补偿，修正电网频率的波动，这个过程即为发电机组的一次调频。具体修正为：当电网频率升高时，一次调频功能要求机组利用其蓄热快速减负荷；反之，机组快速增负荷。

一次调频试验要求

根据中华人民共和国国家标准GB/T 30370—2013《火力发电机组一次调频试验及性能验收导则》要求：

1) 转速不等率：火电机组转速不等率设置应为 $3\% \sim 6\%$ 。该技术指标不计算调频死区影响部分。

2) 调频死区：机组参与一次调频死区应在 $\pm 0.033 \text{ Hz}$ 或 $\pm 2 \text{ r/min}$ 范围内。

3) 动态指标：①机组参与一次调频响应滞后时间应小于 3 s ；②机组参与一次调频稳定时间应小于 1 min ；③机组一次调频的负荷响应速度应满足：燃煤机组达到 75% 目标负荷的时间应不大于 15 s ，达到 90% 目标负荷的时间应不大于 30 s ；燃气轮机机组达到 90% 目标负荷的时间应不大于 15 s 。

4) 一次调频负荷变化幅度：①机组参与一次调频负荷变化幅度下限应大于机组稳燃负荷；②机组参与一次调频负荷变化幅度上限应进行限制，限制幅度在 $6\% \sim 10\%P_0$ 之间；③额定负荷运行的机组，应参与一次调频，增负荷方向最大调频负荷增量幅度不小于 $3\%P_0$ 。

目前百万机组额定负荷一次调频存在问题

上海汽轮机厂（以下简称上汽）N1000—28/600/620型1 000 MW超超临界中间再热四缸四排汽凝汽式汽轮机机组达到额定负荷时，主汽压为额定压力 28 MPa ，两个高调门开度在 35% 左右，已接近高调门流量拐点位置，如图1所示。在进行额定负荷一次调频时，高调门开度经过高调门流量拐点后，调门开启幅度大幅增加，引起实际负荷上升过快，导致功率回路反向调节，如此反复，造成实际负荷大幅波动，影响电网稳定运行。

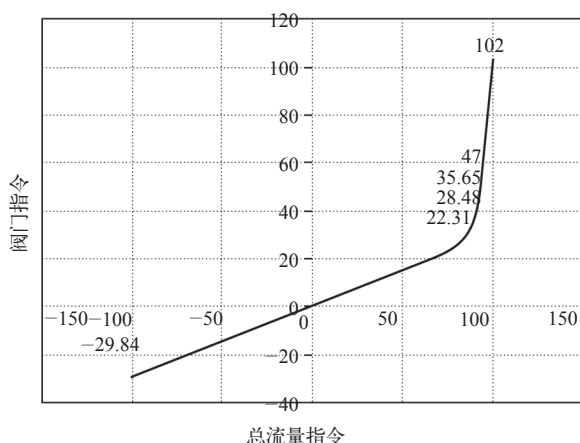


图1 上汽百万机组高调门流量曲线

和机组安全稳定。

如图2所示,2017年1月5日,三门峡公司5#机组在额定负荷一次调频增负荷方向动作时负荷大幅波动,引发高调门波动,实际负荷大幅波动,立即复位试验转速和DEH控制方式切至初压模式,消除了调门和实际负荷波动,额定负荷一次调频试验被迫暂停。三门峡公司热工专业组织分析负荷波动原因为高调门流量特性曲线先缓后急,一次调频时刚好与总流量区间拐点重合造成,在总流量指令从89.68%~93.11%区间进入93.11%~100.65%区间时,阀门开启幅度增大,实际负荷变化较多,导致功率回路反调,形成调节振荡,负荷波动现象明显。

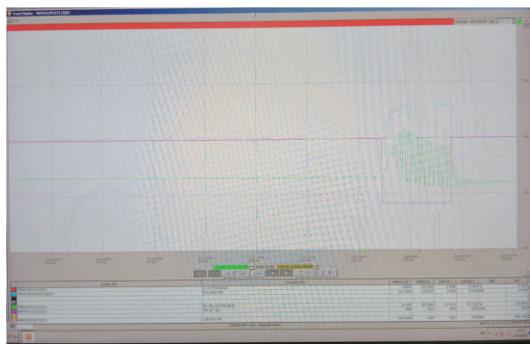


图2 三门峡公司5#机组额定负荷一次调频试验

百万机组额定1 050 MW负荷一次调频的研究

为了解决上汽百万机组额定1 050 MW负荷一次调频试验难题,三门峡公司专门成立上汽百万机组额定1 050 MW负荷一次调频试验攻关小组,提出了三种上汽百万机组额定1 050 MW负荷一次调频试验方案,并逐一进行研究和论证。

第一种方案是优化滑压曲线,提高主汽压力,降低高调门开度,可以满足额定1 050 MW负荷一次调频增负荷方向调频贡献率的规定和高调门开度不超过47%的要求。但是主汽压力提升后,调门节流量增加,降低了机组经济性,增加了运行成本及煤耗。同时在额定1 050 MW负荷时,主汽压力已经达到额定设计压力,提升空间小,无法满足额定1 050 MW负荷下的一次调频变化增量,且存在锅炉超压风险。

第二种方案是采用调节凝结水流量代替阀门调节方式进行一次调频。采用调节凝结水流量进行一次调频,在额定1 050 MW负荷时,凝结水流量调节参与一次调频,负荷越高,同等负荷变化量下所需的凝结水流量变化越少,且凝结水流量调节和负荷变化是反向的,增水减负荷,减水增负荷。

第三种方案是采用补汽阀来参与机组一次调频,将高调门的一部分流量分配至补汽阀,在不改变主汽压力前提下,降低了高调门的开度,有效地提高了机组额定负荷1 050 MW时一次调频能力。

经理论加预测试试验,初步论证了第三种方案的可行性,此种试验方式更加安全、经济和高效。

目前补汽阀参与百万机组额定1 050 MW负荷一次调频试验存在的问题

上汽N1000-28/600/620型1 000 MW超超临界中间再热四缸四排汽凝汽式汽轮机,配置了9个阀门,其中补汽阀因设计节流性差,如图3所示,容易导致机组振动增大,一般不参与运行。调研国内外同类型机组补气阀均未投入运行。

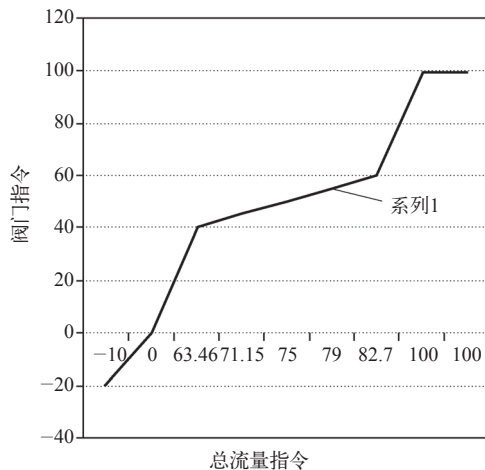


图3 上汽百万机组补汽阀流量曲线

2018年6月30日,三门峡公司5#机组额定负荷1 050 MW一次调频试验,采用补汽阀参与一次调频试验。如图4所示,一次调频动作20 s后,补汽阀开启5%,负荷变化太快,导致功率回路反向调节,如此反复,造成实际负荷大幅波动。

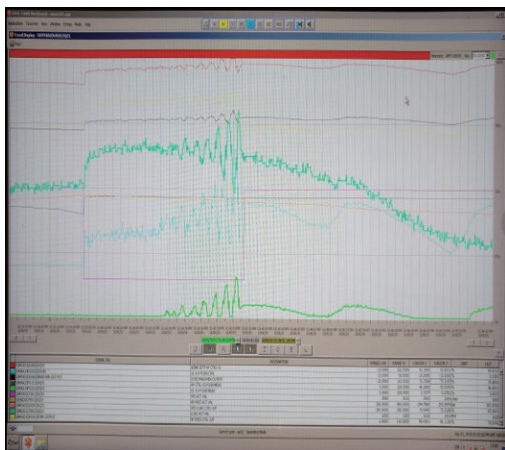


图4 补汽阀参与额定1 050 MW负荷一次调频试验引起负荷波动

补汽阀参与百万机组额定1 050 MW负荷一次调频试验的研究

三门峡公司针对2018年6月30日试验情况进行分析和讨论,就补汽阀节流特性差问题提出了两种解决方案:

第一种方案是沟通上汽厂重新设计补汽阀结构,增强补汽阀的节流特性,保证补汽阀进汽量平缓,用于参与一次调频试验。

第二种方案是满负荷调频期间预投入补汽阀,重新优化补汽阀控制策略,提前开启补气阀,以便于降低高调度,提升高调一次调频能力。

经初步论证第二种方案可行性高,更容易满足百万机组额定1 050 MW负荷一次调频。

补汽阀参与百万机组额定1 050 MW负荷一次调频试验的成功应用

经过预投入补气阀参与一次调频的方式,同时满足1 000 MW和1 050 MW两个负荷点下的一次调频考核要求,最大调频负荷达到37 MW,如图5所示。此种试验方式与当前针对上汽西门子机型机组一次调频采取的凝结水流量补偿方式相比更加安全、经济和高效。



图5 补汽阀参与额定1 050 MW负荷一次调频试验成功

目前,三门峡公司5#机组经过创新后的一次调频试验方式,对5#机已完成了1 000 MW和1 050 MW负荷下100%工况一次调频试验,成为国内首家完成1 000 MW及以上工况一次调频试验的发电企业,并引起华中网调的高度重视,特约中国电科院、河南恩湃高科和湖北电科院专家共同到厂进行一次调频试验审查,审查结果确认三门峡公司一次调频试验方式符合一次调频导则要求,满足试验要求,一致通过。为三门峡公司能够在网运行以及1 050 MW额定容量的成功核定奠定了基础,提升了企业科技创新能力和市场竞争能力、为实现河南公司建设区域一流、集团一流企业目标提供技术支撑。EA

(收稿日期:2019.10.19)

(编辑:朱金凤)

台达参加2019“智造中国”峰会 深度诠释绿色智造价值

智能制造是制造产业变革的核心所在。台达近年来积极推动智能制造的发展,通过探索行业客户的需求,以多年来打造的自动化、能效管理系统方案为核心,打造出了完整的智能工厂整体解决方案,持续为制造业赋能。在12月3日举办的2019“智造中国”峰会中,台达机电事业群技术长连监棠应邀出席并发表演讲,以台达积极构建绿色智能制造解决方案为蓝本,深度诠释了绿色智造在推动制造产业变革和新一轮科技革命中的价值。

当前,在社会消费形态改变、市场依需求生产等趋势的影响下,我国智能制造发展在生产模式、服务模式、商业模式等方面都取得了良好的效果;但同时,也面临着诸如关键技术装备及工业软件供给能力不足、行业标准应用推广有限、发展要素资源存在制约等核心问题。对此,连监棠表示,自动化市场正在发生变化,信息化与工业化深度融合构筑成了新的数字化市场,自动化迈进智能制造的脚步不断加快。要构建相应的自动化、模组化、标准化、虚拟化的绿色智能制造体系,才能满足现代制造工业需求。