

第一届燃煤电厂能效提升技术交流研讨会



李冬泉

华能威海电厂6号机组节能 先进技术集成应用及示范

华能威海发电有限责任公司生产部节能主任，高级工程师，长期从事火力发电厂安全经济运行管理、节能管理及生产统计工作。参与华能集团创建优秀两型企业验收标准的编制和集团内部多个电厂创建优秀两型企业节能诊断工作。组织编制企业运行规程，起草编制企业节能监督标准，参与6号机组节能先进技术集成应用改造项目的策划、实施和试运工作，主导编制节能先进技术集成应用运行方式及策略。

6号机组节能先进技术集成应用及示范项目



华能威海发电有限责任公司

2017年5月

尊敬的各位领导、专家：

上午好！

很荣幸参加第一届燃煤电厂能效提升技术交流研讨会，按照会议安排，我向大家介绍一下威海电厂6号机组节能改造方面做过的一些工作，不当之处还请指正。

华能威海电厂简介

华能威海电厂始建于1991年4月，是国家“九五”重点建设项目。一期两台为125MW机组，于2008年12月关停；二期工程为两台320MW亚临界机组，分别于1998年3月和11月投产，三期工程为两台680MW超超临界机组，于2010年底实现双投；风电为38台1.5MW机组。目前，总装机容量为205.7万千瓦。建厂20多年来，威海厂多次在全国火电机组能效水平对标及竞赛中获得300MW、600MW级一、二等奖。

节能先进技术集成应用及示范项目简介

为适应国家煤电节能减排升级与改造行动计划的新形势、新要求，加快新技术在现有机组节能升级改造过程中的推广应用，经过精心策划在威海电厂启动了6号机组节能先进技术集成应用和环保超低排放改造项目。

节能先进技术集成应用及示范项目简介

威海电厂6号机组节能先进技术集成应用及示范项目是华能集团公司科技创新的重大依托项目之一。经过近一年的反复研究论证，最终确定在6号机组实施13项节能先进技术集成应用和4项环保超低排放改造项目。

节能先进技术集成应用及示范项目简介

- 13项节能技术：

1. 两级低压省煤器与烟气余热供暖风器系统：

一级低省回收烟气余热加热凝结水降低汽轮机热耗，二级低省进一步降低排烟温度，收集热量加热空预器入口风温，提高锅炉效率。

2. 辅机统调动力源系统：

新增高速汽轮发电机，带锅炉6大风机运行，实现“变速+动调”高效节能运行模式。

3. 外置式蒸汽冷却器与附加高加串联系统：

在1号高加后增设附加高加、外置式蒸汽冷却器串联加热锅炉给水，提升给水温度，提高机组宽负荷经济性和低负荷工况SCR入口烟温。



节能先进技术集成应用及示范项目简介

- 13项节能技术

- 4. 凝结水一次调频技术：

- 通过改变凝结水泵变频转速，调整凝结水量，改变低加抽汽量，实现机组调频性能跨越式提升，同时降低主调阀节流损失。

- 5. 空预器扩容改造：

- 扩大空预器换热元件高度和直径，提高换热能力，降低排烟温度。

- 6. 真空系统节能技术：

- 新增高效罗茨—水环真空泵，降低凝汽器背压，实现了节电和降耗双赢效果。



节能先进技术集成应用及示范项目简介

- 13项节能技术：

- 7. 邻机蒸汽加热给水启动技术：

- 利用邻机冷再蒸汽供本机高加，在锅炉点火前加热给水，实现不点火完成锅炉热态冲洗，减少启动电耗、煤耗，加快启动速度。

- 8. 轴封溢流回收优化改造：

- 改造后轴封溢流全部回收至低加，减少热能损失。

- 9. 吹灰汽源优化改造：

- 将锅炉吹灰汽源由原分隔屏过热器出口改为再热器入口，低品质的蒸汽代替高品质的蒸汽，实现合理的能源阶梯利用。



节能先进技术集成应用及示范项目简介

- 13项节能技术：

锅炉燃烧调整优化、热力及疏水系统优化、超超临界锅炉再热器氧化皮清洗技术、锅炉加装壁温测点等节能项目都一并实施，投运后均达到预期效果。



下面重点介绍两级低压省煤器与烟气余热供暖风器系统、辅机统调动力源系统、外置蒸汽冷却器与附加高加串联系统、凝结水一次调频技术、邻机加热给水启动技术五个项目。

一、两级低压省煤器与烟气余热供暖风器系统

1、项目简介

威海电厂6号锅炉年平均排烟温度 128°C ，最高月份平均温度达到 136.8°C ，排烟温度高对机组的安全性及经济性产生了较大的影响。主要表现在以下几个方面。

- 1) 锅炉效率较低，排烟温度每升高 $15-20^{\circ}\text{C}$ ，锅炉效率降低1%，6号锅炉在提高效率方面有较大的潜力。
- 2) 排烟温度升高，使烟气量增大、电场击穿电压下降、粉尘比电阻增大，这些都会导致除尘器效率下降。
- 3) 排烟温度升高，使得风机、除尘器工作环境恶化，影响机组安全性。

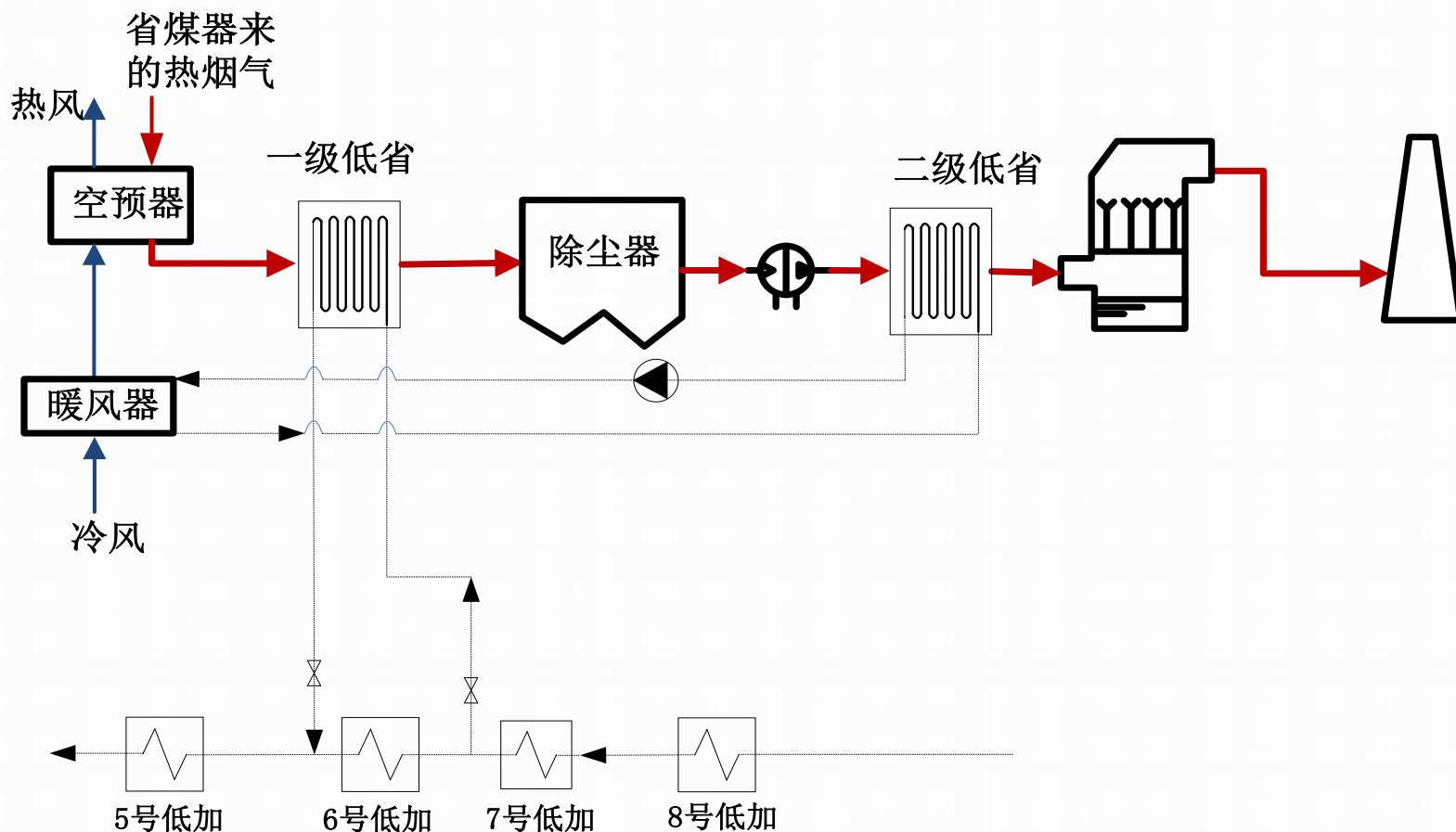


一、两级低压省煤器与烟气余热供暖风器系统

为深度利用排烟余热，采用了“两级低压省煤器与烟气余热供暖风器系统”改造方案：

在空预器与电除尘器之间增设4台一级低压省煤器，将烟气温度由 162°C 降低至 102°C ；在引风机与脱硫塔之间增设2台二级低压省煤器，吸收的热量将一、二次风温度分别加热至 56°C 、 70°C ，最终将烟气温度降至 70°C ，实现烟气余热深度回收。

一、两级低压省煤器与烟气余热供暖风器系统



一、两级低压省煤器与烟气余热供暖风器系统

2、创新技术

突破材料及防腐工艺的限制，国内首次将氟塑料管材用于600MW等级机组的二级低压省煤器系统，解决了金属烟气换热器腐蚀和结垢等问题，并将锅炉排烟温度降到了70℃，大幅度回收烟气余热。

一、两级低压省煤器与烟气余热供暖风器系统



氟塑料烟气换热器具有以下特点：

- 1) 优异的耐腐蚀性能，对烟气成分及酸露点温度无要求；
- 2) 换热管表面光滑，不积灰，不结垢，易清理；
- 3) 薄管壁，换热性能良好，体积小；
- 4) 柔性疲劳强度高，经久耐用。



一、两级低压省煤器与烟气余热供暖风器系统

3、改造效果

- 1) 机组额定工况下，一级低省后出口烟温达到102℃以下，二级低省出口烟温降至70℃以下，空预器入口一次风温提升至56℃，二次风温提升至70℃。试验测试，年平均供电煤耗降低4.42g/(kWh)。
- 2) 引风机入口烟气温度降低，烟气体积流量减少，降低引风机电耗。
- 3) 空预器入口风温提高至70℃，缓解冷端的腐蚀与堵塞，提高机组安全性。
- 4) 烟温、烟气量的降低，提高除尘效率，烟气SO₃去除率达到80-90%。



二、辅机统调动力源

1、 项目简介

火电机组所配备的风机在低负荷运行时，效率均比较低，耗电量相对较大。目前在电厂应用节能效果较好的调速手段主要有两种：小汽轮机驱动和电动机加装变频器。电动机加变频器最大的缺点在于寿命短，电压等级越高设备可靠性越低，且变频器设备占地面积大，其变频谐波对电网及电机都有影响。以辅机统调动力源的形式驱动引、送、一次风机，可以大幅降低厂用电率，增加上网电量，并且在机组低负荷运行时，可以取得节电效果。



二、辅机统调动力源

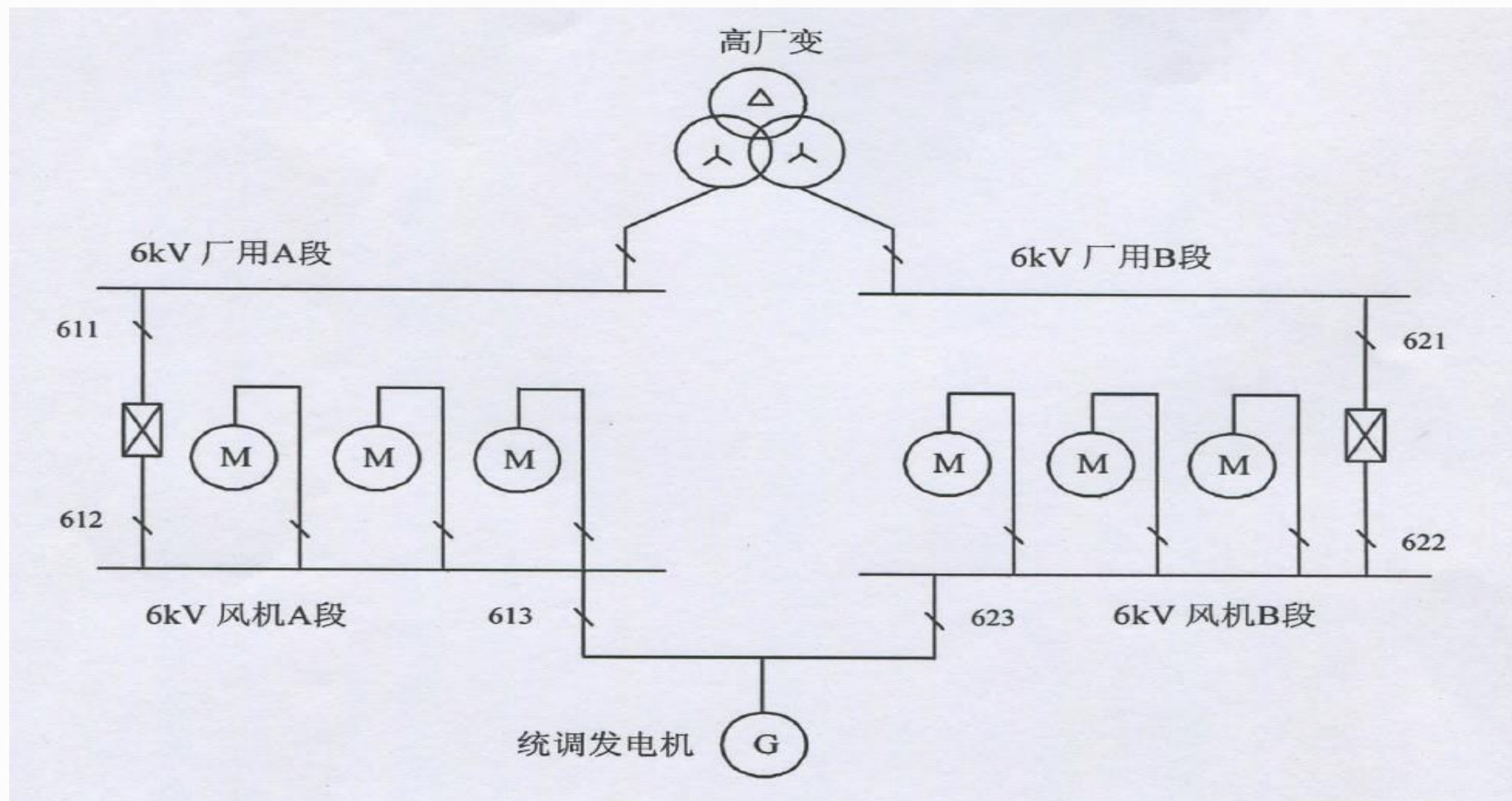
设一台高速小汽轮机加减速器来驱动发电机，输出变频电源带三大风机运行。统调发电机可在四个档速下稳定运行，实现“变速+动调”的节能运行方式。创新统调电源接线方案，风机6KV电源可实现并网、孤网多种运行方式相互切换，主机安全得到保障，风机运行方式更加灵活。

2、创新技术

辅机统调动力源系统拥有自主研发的统调小电流接地选线装置和2项发明创造专利。



二、辅机统调动力源



二、辅机统调动力源

1) 攻克大容量风机启动冲击大、开关遮断容量不足的难题

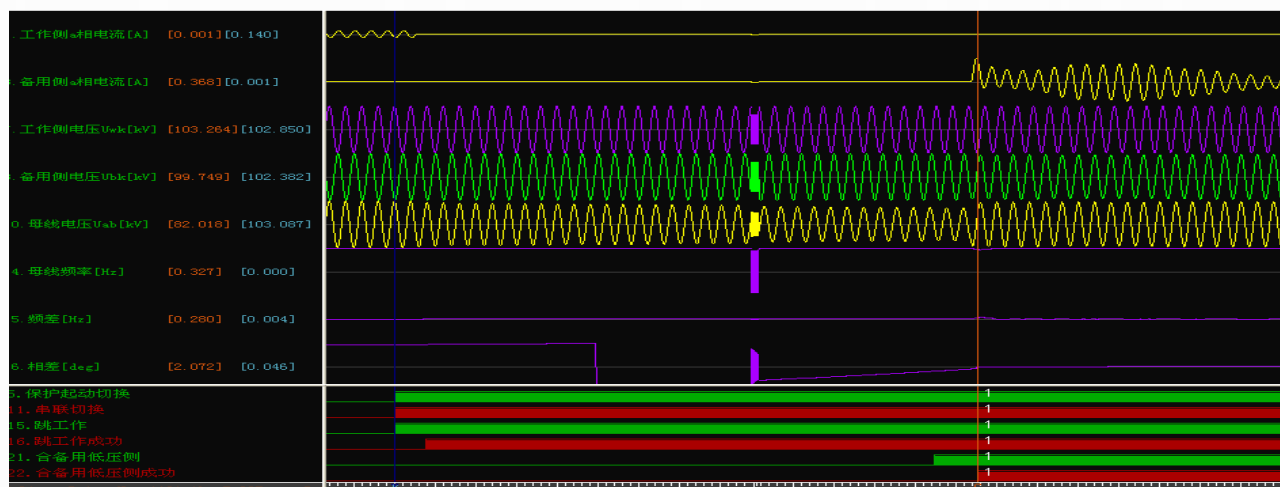
为减少风机启动对统调动力源机组的冲击，设计了独有的同期并网启动运行方式。因并网运行方式可能存在6kV系统断路器无法开断相间短路故障的难题，经多方论证、广泛调研，创造性的引进了高压快速限流器技术，能够在故障发生后5ms内快速切除故障，保证机组厂用电系统运行安全。



二、辅机统调动力源

2) 攻克异频电源切换成功率低的难题

统调动力源机组在孤网运行时，其电源频率和相位均异步于主机，切换难度远大于常规厂用电源切换。电厂、西安院、南瑞继保共同开发出异频电源的切换装置。通过前期实际切换试验证明，对高备变的冲击、对风机段母线失压、风机惰走的影响，均控制在预期范围内，实现了风机电源的安全顺利切换，确保主机安全运行。



二、辅机统调动力源

3) 攻克在不同运行方式下，接地电流变化造成的影响

运行方式转变接地电流变化范围为2A-103A，电流幅值、频率变化范围广，单一装置无法兼顾全部运行方式。电厂与西安院共同研发了一款适用于变频运行方式的小电流选线装置从而解决该问题。



二、辅机统调动力源

4) 解决变频运行对电气设备的影响，优化设备选型

统调动力源低频运行造一次设备磁通饱和、二次保护、测量设备采集量出现较大的偏差，通过与厂家研发人员的多次深入沟通，优化计算方法、改进结构等手段，共同研发出一系列适应低频运行的电气设备，经验证满足运行工况。



二、辅机统调动力源

5) 独创采用高速小汽轮机加减速器技术

- a. 高速冲动式小汽轮机发展成熟、可靠、效率高、制造周期短、应用经验非常丰富。
- b. 造价约为低速(3000r/min)反动式小汽轮机一半。
- c. 高速冲动式小汽轮体积较小，设备安装较为容易。

二、辅机统调动力源

3、改造效果

辅机统调动力源系统投运后，机组100%THA工况下的厂用电率下降1.51个百分点，年平均厂用电率降低1.53个百分点。

经试验测试，75%THA工况下，辅机统调动力源输出频率由50Hz降为44Hz后，厂用电率降低0.13个百分点，完美实现“变速+动调”的节能运行模式。



三、外置蒸冷器与附加高加串联系统

1、项目简介

随着外电入鲁、胶东地区核电机组投产的步伐加快，威海电厂机组的利用小时数、负荷率将大幅降低。机组50%以下负荷运行时，SCR入口烟温低，无法满足SCR投运要求。

威海电厂6号汽轮机为上汽采用西门子技术生产的680MW超超临界机组，带补汽阀，存在三抽蒸汽过热度超高（ 268°C ）和补汽阀因开启时轴承振动大而处于停用状态等问题。

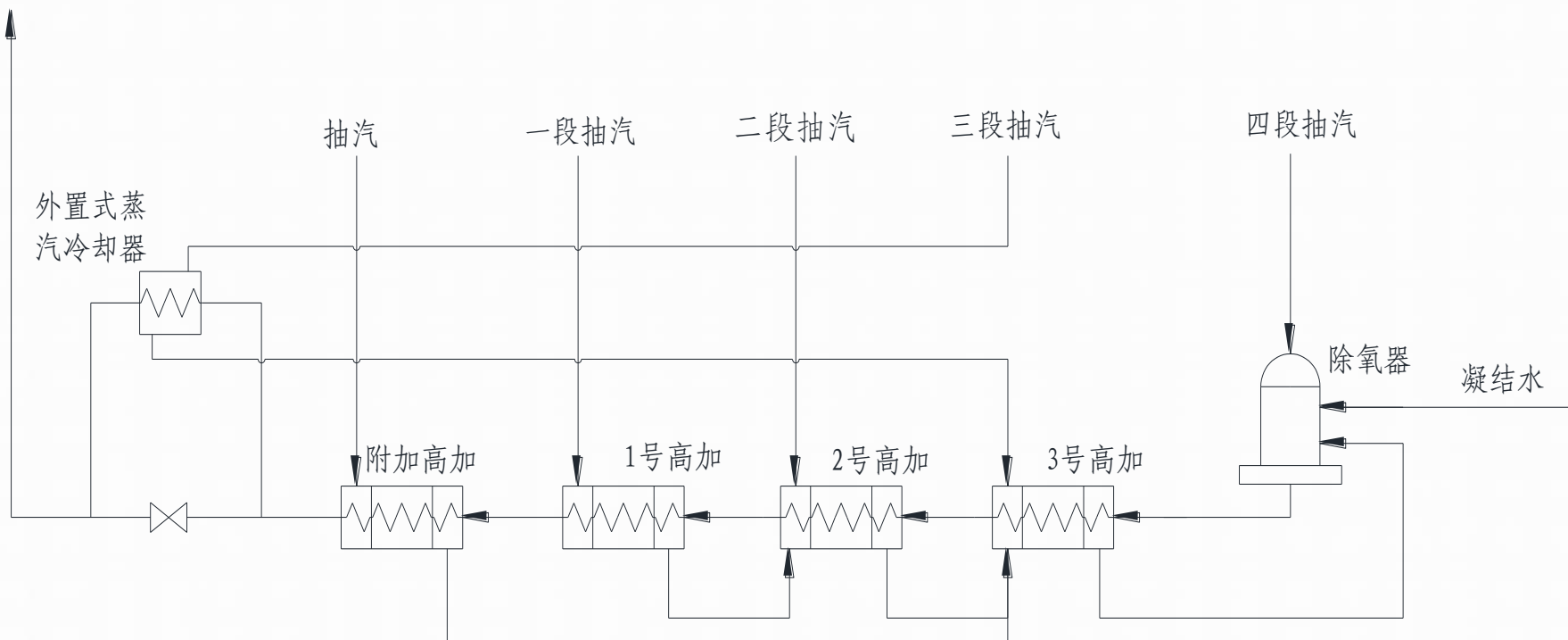
通过设置外置蒸冷器和附加高加，不仅提高了汽轮机的整体循环效率，也保证低负荷下SCR正常投运。因机组设置两级低压省煤器与暖风器联合系统，最终给水温度的提高，不会导致锅炉效率的下降。

三、外置蒸冷器与附加高加串联系统

根据6号机回热系统的布置、技术特点及改造范围，采用了“外置蒸冷器与附加高加串联布置”的改造方案：

附加高加布置在#1高加出口，通过100%的给水流量，外置蒸冷器布置在附加高加出口，通过一定比例的给水流量。

三、外置蒸汽冷却器与附加高加串联系统



三、外置蒸冷器与附加高加串联系统

2、创新技术

开创性地设计了外置式蒸汽冷却器与附加高加串联系统，合理利用三抽的能级，扩大了热力系统回热级数，最大限度的提高了汽轮机整体循环效率。附加高加在40%-90%THA工况下投运，提高了机组宽负荷运行的经济性。

通过调整附加高加进汽量，参与机组负荷调节，进一步提高机组的调峰、调频性能。

三、外置蒸冷器与附加高加串联系统

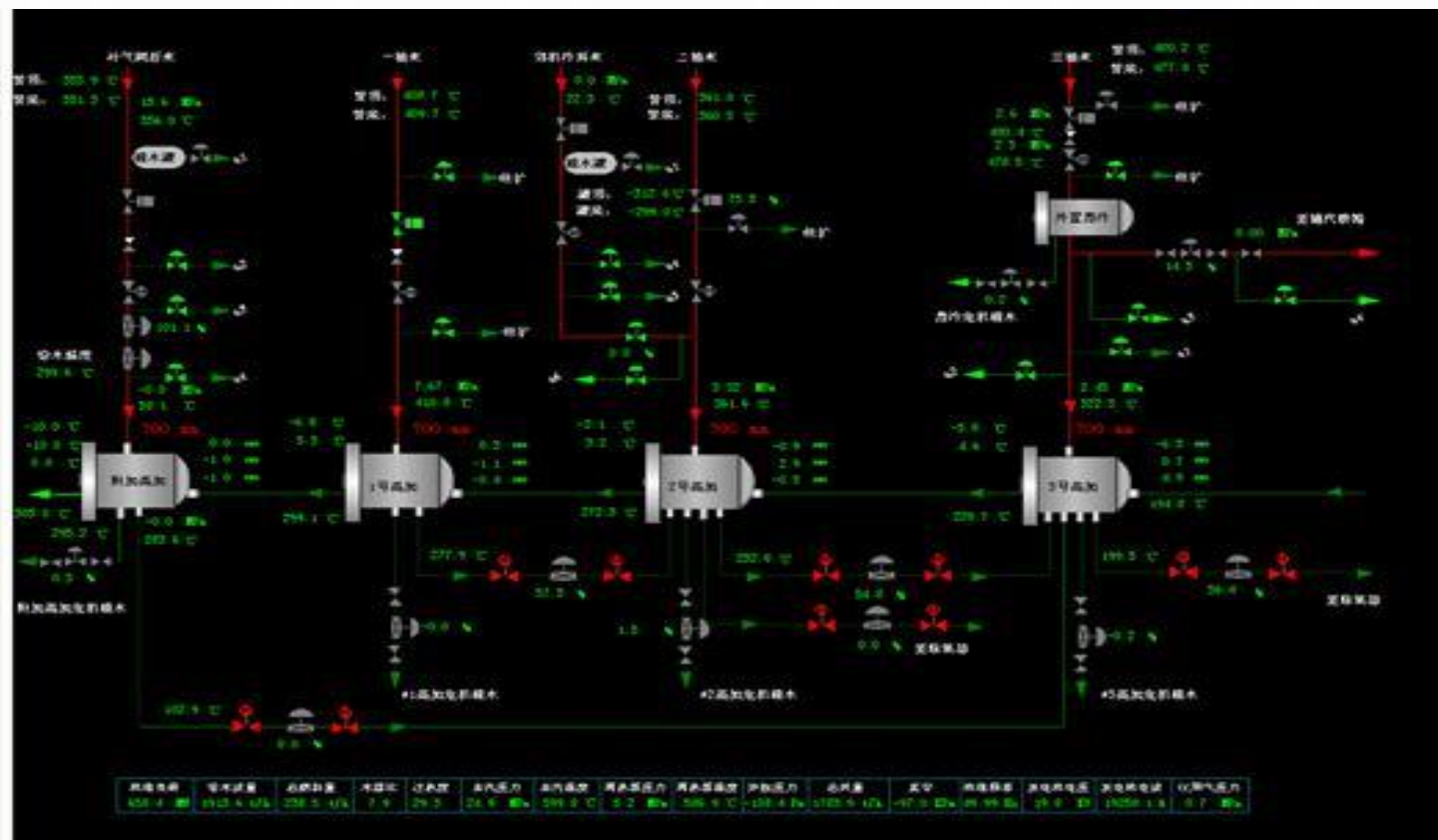
3、改造效果

改造后，外置蒸冷器、附加高加及#3高加水侧温升、上、下端差均达到设计要求。

根据试验数据计算，改造后，按照年利用小时4600小时，年平均供电煤耗可降低 $1.28\text{g}/(\text{kW}\cdot\text{h})$ 。



三、外置蒸冷器与附加高加串联系统



660MW负荷系统参数

四、凝结水一次调频技术

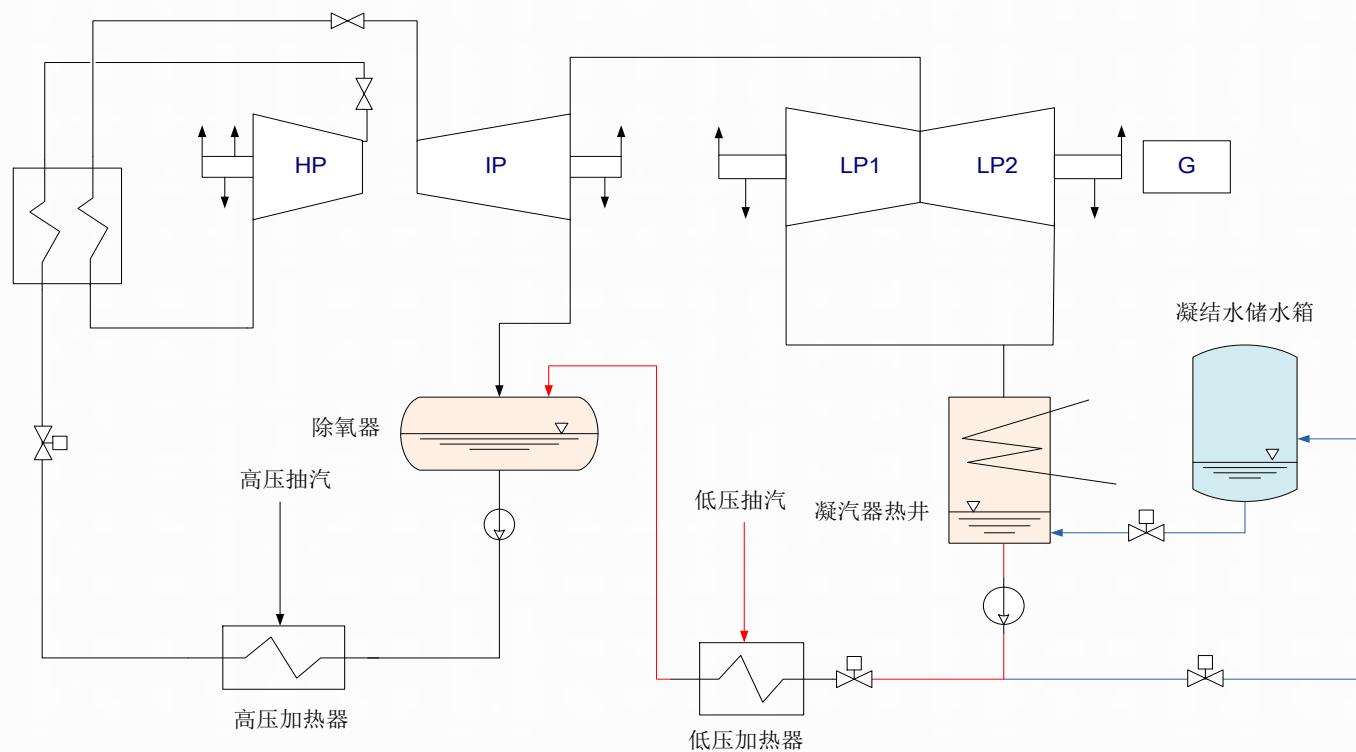
1、项目简介

威海电厂6号汽轮机高调门采用节流调节，为了满足电网一次调频和AGC调节需要，运行中高调门开度一般控制在28-38%之间，高调门节流损失大，机组经济性差。

通过利用凝结水蓄能的方法，调节凝结水流量，改变中低压抽汽量（4~8段抽汽），使机组在燃料响应落后的情况下，瞬时提高出力，快速响应电网一次调频和AGC。



四、凝结水一次调频技术



凝结水节流参与一次调频的热力系统示意图

四、凝结水一次调频技术

整个一次调频的过程分3个阶段：

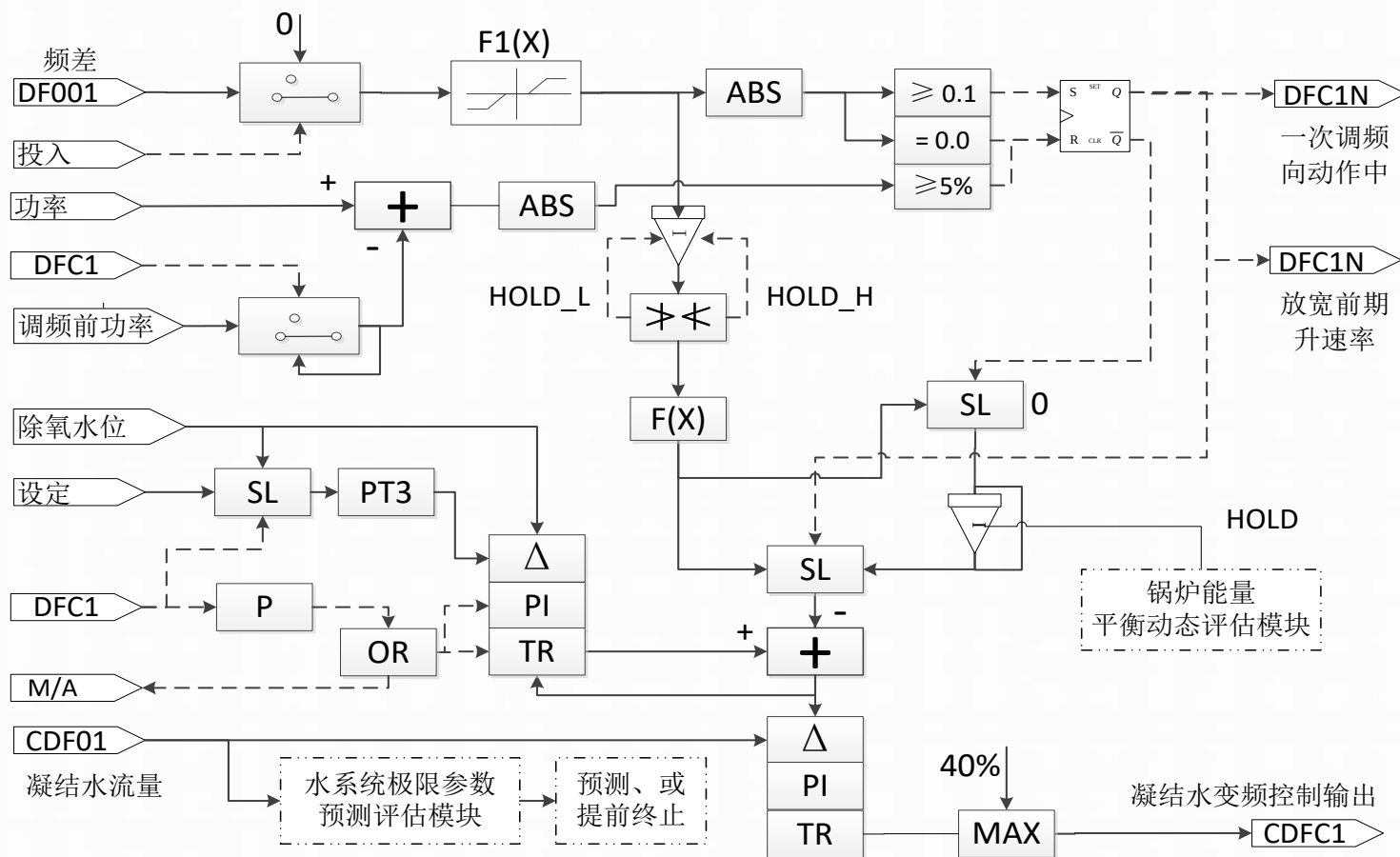
第一个阶段为快速过程，为了达到节能的目的，60%以上负荷将汽机调门开大滑压运行，但保留少量节流，以满足小范围、短时间的快速一次调频。

第二个阶段为凝结水一次调频，在快速响应调频指令（1-5秒）后，如果频差还在动作范围之内，根据频差大小，通过凝结水流量减少实现汽轮机系统回热抽汽量减少，达到快速增加汽轮机实际负荷的目的。

第三阶段，锅炉实际压力上升、蒸汽流量增加，达到机组电负荷持续平稳增加，完成一次调频需求。然后，逐步“恢复”被减少的凝结水流量，逐步恢复系统平衡。



四、凝结水一次调频技术



凝结水流量控制一次调频方案示意图

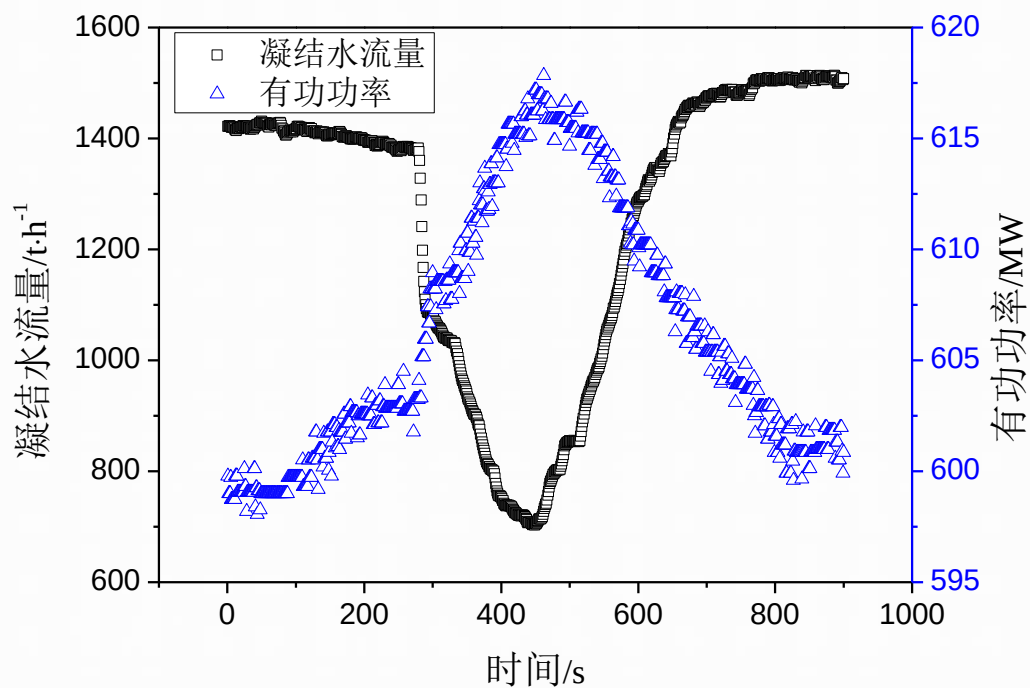
四、凝结水一次调频技术

2、创新技术

凝结水一次调频控制策略，是华能集团自主知识产权。通过凝结水流量、高调门、锅炉热负荷等参数对负荷的响应特性试验，建立相关参数模型，写入凝结水一次调频控制逻辑回路，达到将高调门节流损失降至最低的目的。

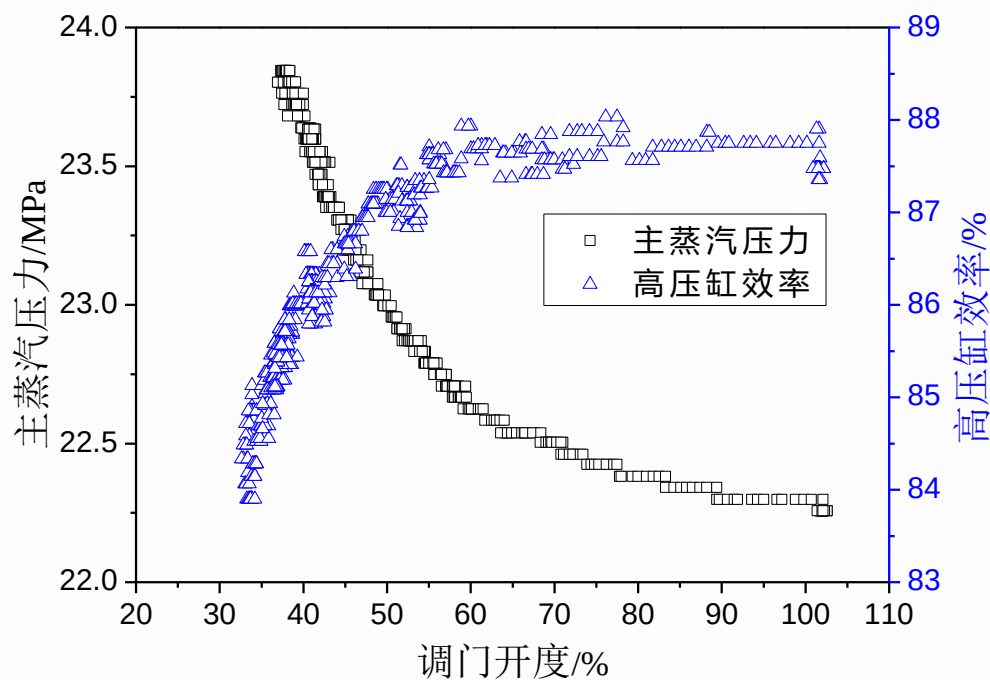
下图为试验中相关参数对负荷响应曲线。

四、凝结水一次调频技术



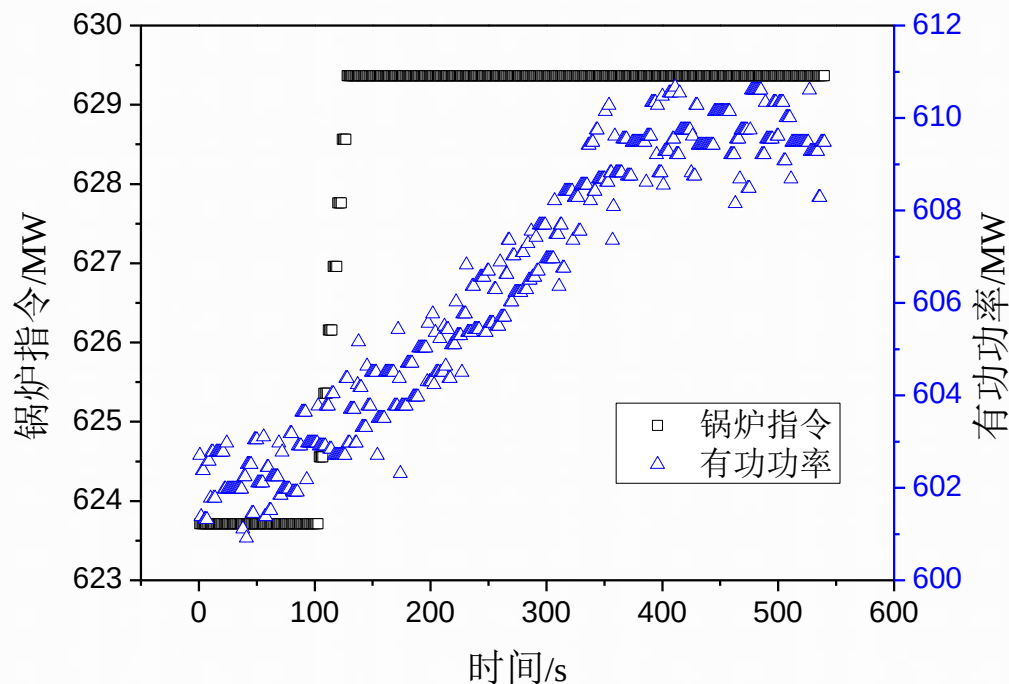
600MW试验工况凝结水流量和有功功率随时间变化曲线

四、凝结水一次调频技术



600MW试验工况高压缸效率和主蒸汽压力随高压调门开度变化曲线

四、凝结水一次调频技术



600MW试验工况锅炉指令和有功功率随时间变化曲线

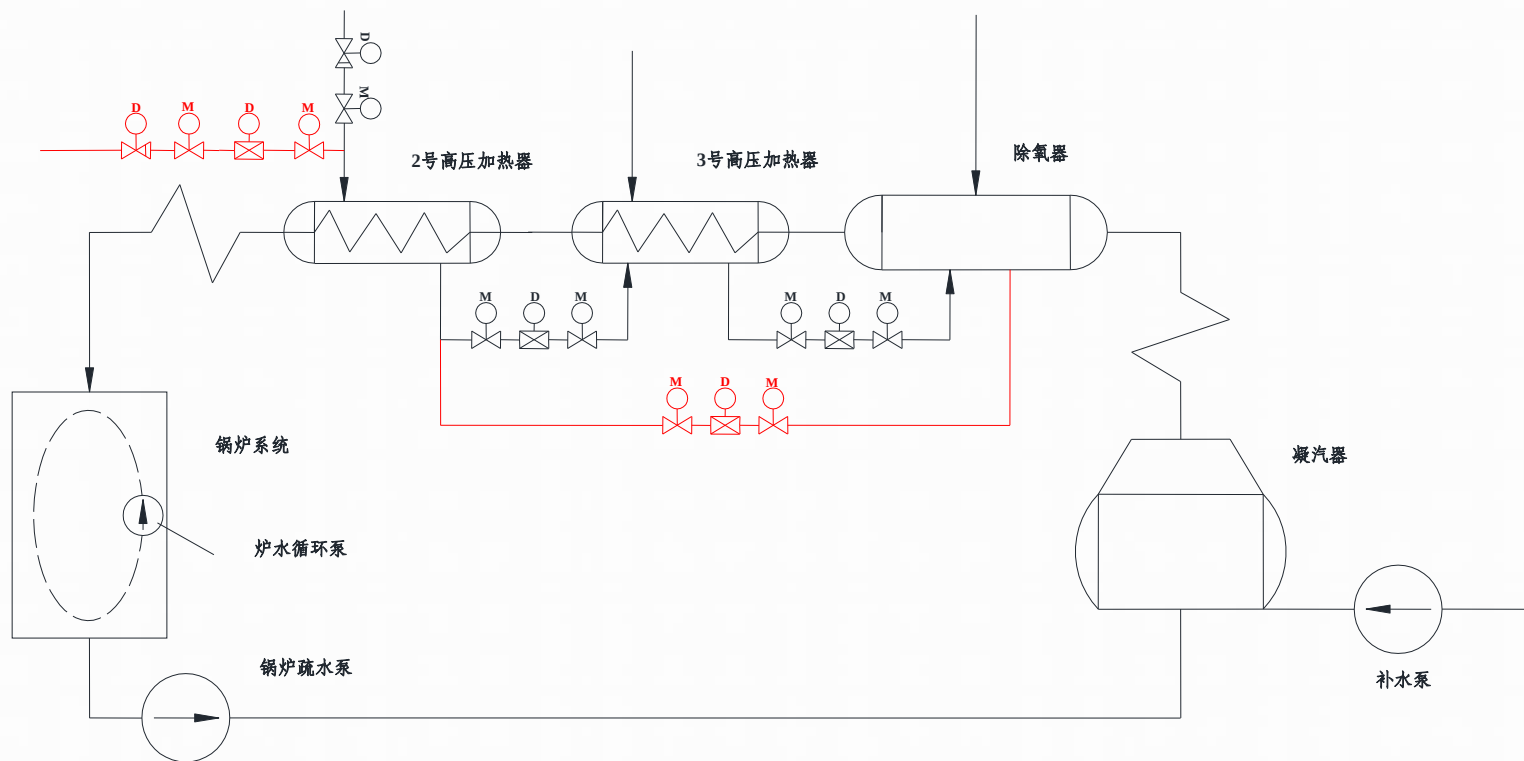
五、邻机加热给水启动技术

1、项目简介

从邻机冷再引入一路蒸汽作为启动机组#2高加汽源，将启动机组给水温度提升至锅炉热态冲洗温度（170℃），实现锅炉不点火状态下完成热态冲洗。降低机组启动电耗、能耗，缓解机组氧化皮生成，加快机组启动速度。

四、邻机加热给水启动技术

2、改造示意图



四、邻机加热给水启动技术

3、改造效果

投用邻机加热时间基本在7小时，水冷壁升温平稳，水冷壁各管壁温差最大 1°C ，有效的减少了启动过程中受热面热应力偏差，同时点火过程中不投油，启动风机后直接升温升压，按以往开机经验可缩短启动期间风机运行时间4小时，节电约27100度，节油10t,节煤30t。

6号机组节能先进技术集成应用及示范项目改造从2014年11月开始酝酿，2015年5月份确定改造技术路线，2015年10月20日正式实施，2016年2月29日顺利完成并一次启动成功，经性能测试17项技术改造全部达到预期目标，部分节能项目超过可研预期。

机组投运后，额定工况下厂用电率降低1.51个百分点，达到2.23%；供电煤耗降低7.16克/千瓦时，达到278.52克/千瓦时。同时各项环保指标全面优于国家超低排放限值，成为当前同类型机组节能环保指标领先的绿色火电机组。



6号机组节能先进技术集成应用及示范项目是华能集团、山东公司认真履行国有企业社会责任和使命，追求“高品质发电”的具体实践，通过示范项目实施，机组能耗指标、技术指标、以及调峰、调频性能实现了跨越性提升，初步形成具有华能自主知识产权的节能降耗集成应用体系，为2014 - 2020年期间国家煤电机组节能减排升级与改造积累了大量宝贵经验。

科技成就未来，创新永无止境！

目前煤电行业面临巨大挑战，一方面利用小时大幅下滑，另一方面煤价持续高位，要求我们在能源供给侧结构性改革中加快转型升级步伐。

值此关键节点，中国科技网组织本次会议，为我们搭建了很好的交流平台。借此契机，我们将认真汲取兄弟电厂节能减排升级与改造经验，深度挖掘节能减排潜力，为煤电企业降本增效做更大贡献！

祝愿与会各位领导、专家生活愉快。

谢谢大家！