

# 提高#4 炉汽包水位控制能力研究

朱自成

国能神皖马鞍山发电有限责任公司 安徽马鞍山 243000

**【摘要】**在供热改造后#4机组出现锅炉汽包水位剧烈波动等问题，通过开展技术攻关，准确找出了问题的症结，并采取运行方式优化与设备消缺相结合的措施，有效提升了给水系统的稳定性，最终成功解决了汽包水位大幅波动的问题。

**【关键词】**汽包水位；供热；给水系统

Research on Improving the Control Capability of Steam Drum Water Level in Boiler # 4

Zhu Zicheng

Guoneng Shenwan Ma'anshan Power Generation Co., Ltd. Anhui Ma'anshan 243000

**【Abstract】** After the heating renovation, Unit # 4 experienced severe fluctuations in the boiler steam drum water level. Through technical research and development, the crux of the problem was accurately identified, and measures were taken to optimize the operation mode and eliminate equipment defects, effectively improving the stability of the water supply system. Finally, the problem of significant fluctuations in the steam drum water level was successfully solved.

**【Key words】** steam drum water level; Heating supply; water supply system

## 引言

本公司#4 机组（300MW 机组）于 2006 年投产，为亚临界、中间再热、高中压合缸、双缸、双排汽、单轴、凝汽式汽轮机发电机组。2011 年经增容改造，铭牌功率增至 330MW。为落实国家环保政策要求，市开发区已全面关停原有供汽小高炉，转而采用清洁环保的汽源。热电联供汽轮机通过其灵活的抽汽调节能力，能够提供广泛参数的蒸汽，这不仅显著提升了能源综合利用效率，也对缓解环境热污染起到了积极作用。为满足用户的用汽需求，本公司在 2020 年完成了#4 汽轮机抽汽供热改造，新改造的供热抽汽取自再热器母管至中压缸管道，经过抽汽节流后的热再母管蒸汽经中联门继续至中压缸做功。

本公司二期#4 机组经改造后的中联门高再抽汽供热方式在国内属于首次采用，针对小汽轮机在低负荷下出力不足

情况，为小汽轮机增加一路中压汽源，改造之后的供热稳定性存在一定的磨合期和优化调节空间，其中影响安全的一些问题也待解决。

## 1.研究背景

自供热改造完成并顺利投运后，#4 机组在运行出现了一些异常情况，具体表现在小汽轮机调门开度大、锅炉壁温报警频繁、锅炉汽包水位剧烈波动等现象，其中较为严重的一次甚至造成了汽包水位切手动（如图 1），严重威胁了机组的正常运行。表现出的主要问题包括：①锅炉汽包水位波动大，超出  $\pm 50\text{mm}$  的次数频繁；②小汽轮机调门开度在 50% 左右大幅波动，表明给水系统负载较重，可能是导致汽包水位波动的主要原因；③锅炉壁温报警频发，主要由负荷上升过程中燃料突增引起。

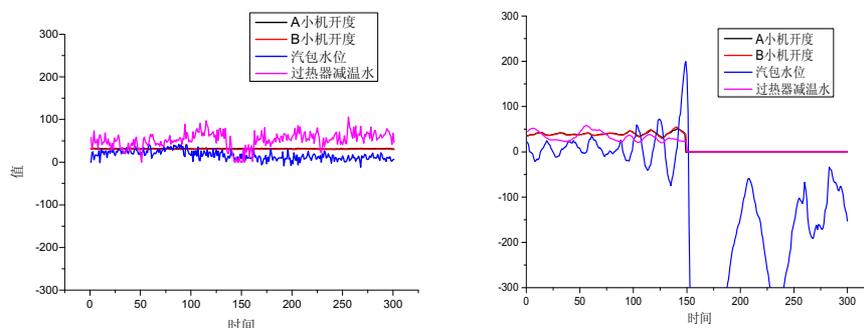


图 1 正常情况（左）和异常情况（右）下的汽包水位对比

汽包水位高可能会造成汽轮机进水,而水位低则会破坏锅炉水循环,使水冷壁管得不到充分冷却而过热、鼓包甚至爆管,严重时可能导致汽包干锅,造成灾难性事故。若水位调节失稳,不仅会诱发一系列运行隐患,还将直接威胁机组的整体稳定性,导致供汽品质下降,影响对外供汽的连续性与可靠性。机组安全是持续供汽的根本前提,若这一基础无法保证,供汽承诺难以履行,相关商业合约的兑现也将面临风险。为此,本公司已组建专项技术攻关组,旨在深入剖析水位失稳的关键诱因,系统开展技术调研与改进实践,以期显著提升水位控制的稳定水平,筑牢机组安全运行的基础。

## 2.研究内容和研究方案

### 2.1 研究内容

#### 2.1.1 影响因素调查分析

本公司汽包炉在投入自动负荷后一般由三冲量自动控制,即给水流量、主蒸汽流量和汽包水位共同参与调节,由于负荷、燃烧工况及给水流量的变化,汽包水位会经常变化。在三冲量自动控制系统中,汽包水位是核心指标,其输出通过 CCS(协调控制系统)实现机炉协调。鉴于负荷变化率经多年运行验证稳定可靠,且水位计校验合格有效,因此将主要症结判定为输入端(小汽轮机)的给水能力不足。

经调查和总结,对小机给水能力产生影响的因素有以下几个:①机前压力变化对小机调门的影响,机组负荷上升或下降时,机前压力由于高压调门动作影响了小机调门的开关;②减温水系统的影响,机组负荷上升或下降时,燃料突增或突降,减温水随之波动,造成小机开度波动,特别是电负荷和供热负荷同时增加时影响较大。③供热负荷变化对于小机动力源的影响,供热抽汽取自再热器母管至中压缸管道,当供热负荷高,中调门节流较大时,进入中压缸的蒸汽量和蒸汽压力值下降,小机调门进汽量下降,造成小机动力源不足,调门的开度较大,给水能力下降。

总结:①机前压力过高会造成给水压力不足,从而汽动给水泵的输出端给水能力下降,一般为 AGC 电负荷快速变化时出现;②减温水系统的影响,各减温水的使用,分流了给泵对汽包的给水能力,在输出端造成汽包给水能力的下降;③供热负荷的增加削减了小机的动力源,造成输入端汽动给水泵的汽源减少,小机调门开度不足。

#### 2.1.2 要因调查

确定锅炉汽包水位剧烈波动的影响因素后,分析确定其中的要因:①电负荷变化主要受 DEH 与 AGC 系统响应的影

响,只要设定机前压力在合适的区间,小机低压调门的开度不会出现大幅度波动。热负荷的影响,主要体现在热负荷的波动是否与锅炉汽包水位是否有明显的相关性,如图 2 所示是统计的供热#1、#2 线流量波动与故障的相关图,可以看出供热流量的突然波动对于机组影响较大,尤其是在#1、#2 线同时投用进行大流量供汽时,更容易造成汽包水位波动。②对给水系统输入端和输出端部件和管路进行检查分析,检查输入端汽源管路完整性和调门动作情况,输出端给水系统管路是否存在无效的输出或泄露,包括各放水管温度,有无阀门内漏等。

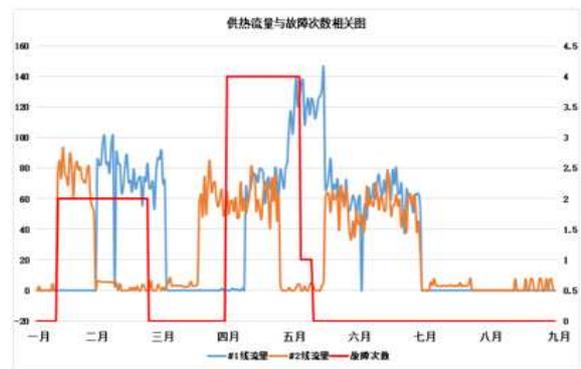


图 2 故障次数与供热流量的关系

### 2.2 解决方案研究

#### 2.2.1 给水系统输入端症结与解决方案

观察图 2 统计的汽包水位故障次数与供热流量统计图,可以看到热负荷在投入过程中,往往伴随着汽包水位的剧烈波动,两者存在着正相关性,在供热量较小的稳定情况下,根据所统计的数据,并没有出现汽包水位故障的情况。因此可以得到结论:在供热量小的稳定情况下,往往不会出现故障,而大流量大开度的供热蒸汽波动会造成汽包水位大幅度波动,从而出现水位故障。保持流量在合适的区间是保证供热稳定性的有效办法。消除供热负荷快速变化的负面影响可以从以下两个方面来考虑:

(1) 控制抽汽量大波动,使得中压缸进汽量稳定。同时开大或关小调门时会直接对负荷产生影响,因此也对 AGC 负荷达标率产生作用,为减少抽汽量的短期大幅波动,在人为管控方面,需提前与用汽单位沟通,强化投汽与停汽操作的提前通知与准备工作。

(2) 提升给水系统设备的抗干扰能力。提升抗干扰能力,关键在于给水系统的效率提升,即在小机的动力源和输出端进行优化。在输入端的提升主要侧重平稳高抽汽量下的汽源压力波动,由于高再供热抽汽在中压缸前端,本厂小汽轮机的低压汽源取自中亚缸,因此抽汽后进入中压缸的进汽

量会减少,故供热改造后新增有小机中压汽源取自高排,在供汽量增大到一定值高低压汽源切换过程中产生了一定的波动,使得小机的进汽压力不够稳定,造成了小机给水能力的下降。为加强高低压汽源切换过程中的平滑稳定性,制定策略为在切换时加大切换时的重叠度区间。

### 2.2.2 给水系统输出端症结与解决方案

给水系统输出端症结对于锅炉汽包水位的影响是直接的,因为无效的输出弱化了对于汽包水位的控制效果,并增加了系统的功耗,降低了其余系统的温度。经调查消除给水系统输出端症结可以从以下两个方面来考虑:

(1) 运行中提高减温水系统使用效率。减温水的使用应按照规定作为辅助手段而非主要手段,规范运行人员对于减温水的使用,避免出现减温水快速大幅度开关的扰动,并通过及时调整燃烧方式的方法来削减减温水波动。

(2) 降低给水输出端的无效输出。汽包水位三冲量平衡,是输入端与输出端的平衡和调节的结果,通过对系统的排查,发现高加流量差较大(本公司高加流量差= $\Delta=A$ 、B、C前置泵出口流量之和-高加出口给水流量-过热器减温水流量之和-再热器减温水流量之和),经排查分析确定减温水隔离阀内漏,给水再循环阀门内漏,通过消除缺陷,检验高加流量差和小机开度的变化情况。

## 3.实施效果

在通过技术攻关小组人员的调查后,对措施的实施效果进行分别分析:

(1) 输入端改进效果分析:①与供汽用户加强联系,加强投停汽间的提前告知与准备。通过人为因素管控,加强了瞬时流量的稳定性,超过100t/h以上的大流量波动再无发生。②平稳高抽汽量下的汽源压力波动。在切换时加大切换时的重叠度区间后,可以保证小机的进汽压力稳定到0.38Mpa以上,在改变重叠度DCS逻辑后,实际在后续的运行中,切换正常,也未出现小机调门开度达50%以上的情况。

(2) 输出端改进效果分析:①规范运行人员对于减温水的使用方式,减少减温水的大幅度波动,改进燃烧方式,使得人为干扰减少,此后出现减温水快速开关的情况明显减少。②解决阀门内漏的缺陷,有效减少了给水泵输出端的无

效流量(本公司高加流量差= $\Delta=A$ 、B、C前置泵出口流量之和-高加出口给水流量-过热器减温水流量之和-再热器减温水流量之和),其差值的变化值如图3所示。可以看出高加流量差呈现稳步降低的趋势。高加流量差平均降低了26t以上,换算成流量损耗,约为2.6%-4.3%,降低之后小机调门可以稳定控制在40%以下,基本处于稳定状态。

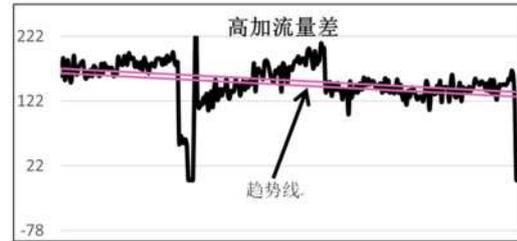


图3 高加流量差值变化

通过技术攻关人员们的共同努力,给水泵对于汽包的给水效率提升,汽包水位三冲量调节控制能力提升,汽包水位调节自动故障再也没有发生,实现了给水稳定性提升,加强机组安全运行和供汽的可靠性。

## 4.巩固措施

通过此次技术攻关,充分发挥了小组成员团队协作的能力。分析排查出锅炉汽包水位剧烈波动的原因,通过人机料法环利用数据分析、趋势调查等方法找到了可以提升锅炉汽包水位稳定性的方案。多方协作共同努力下,将给水系统的性能提升,提高汽源切换的平滑性,降低给水输出端的无效输出。而平时工作中工作人员应做好以下两点:

①严格监视供热流量的大幅度波动情况,必要时下进行供汽降压运行保机组。②严格监视小机调门开度,分析供汽量与小机抽汽汽源的竞争关系,及时分析调整。

## 5.结束语

本次技术攻关成功定位了#4机组汽包水位波动的根本原因。通过优化运行策略与针对性设备治理,显著提升了给水系统的源头稳定性和末端效率,彻底解决了水位大幅波动问题,为机组安全经济运行及同类供热机组的稳定性提升提供了有益经验。

## 参考文献

[1]《汽机运行规程》第六版,徐超等编,马鞍山:神皖马鞍山发电公司,2020。