

机组 0 号高压加热器的应用现状及影响

张彦鹏¹, 郑威¹, 祝令凯¹, 韩悦¹, 陈奇²

(1. 国网山东省电力公司电力科学研究院, 山东省 济南市, 250003

2. 山东中实易通集团有限公司, 山东省 济南市, 250003)

APPLICATION STATUS AND INFLUENCE OF UNIT 0 HIGH PRESSURE HEATER

ZHANG Yanpeng¹, ZHENG Wei¹, ZHU Lingkai¹, HAN Yue¹, CHEN Qi²

(1. State Grid ShanDong Electric Power Research Institute, ShanDong Province JiNan, 250003

2. ShanDong Zhong Shi Yi Tong Group co., ltd, ShanDong Province JiNan, 250003)

ABSTRACT: As the power production capacity, most of the thermal power units often in low load operation, poor economic efficiency, the addition of 0 high pressure heater is a new energy-saving emission reduction technology. This paper summarizes the characteristics of the program and the influence on the steam turbine and the boiler by analyzing the application of the No. 0 high pressure heater in the energy saving technological transformation of the unit from the aspects of steam source selection and installation.

KEY WORD: Steam turbine; 0 high pressure heater; Energy conservation and emissions reduction; Application status

摘要: 由于电力产能过剩, 大部分火电机组常处于低负荷运行状态, 经济效益差, 增设 0 号高压加热器是一种具有节能减排效益的新技术。文章从汽源选取、安装方式两方面概述了国内增设 0 号高压加热器在机组节能技改中的应用情况, 分析总结了方案特点以及对汽轮机、锅炉的影响。

关键词: 汽轮机; 0 号高压加热器; 节能减排; 应用现状

1 引言

根据 2014 年 9 月 12 日国家发改委、环保部、能源局联合制定的《煤电节能减排升级与改造行动计划(2014-2020 年)》的要求^[1]和机组长时间处于低负荷运行的现状, 发电企业在新建和改造火电机组时, 特别重视节能新技术的应用。为提高机组在低负荷工况下的运行效率, 回热系统优

化是值得关注的的一个重要方向。而回热加热器级数是影响回热系统热经济性的主要因素之一。随着回热加热器级数的增加, 给水温度升高, 机组的循环热效率也提高。0 号高压加热器(0 号高加)是一种在低负荷下具有节能减排效益, 能提高机组运行经济性以及脱硝装置投入率的措施之一。

本文从汽源选取、安装方式两方面对 0 号高加的应用现状进行论述; 并从节能效果、环保作用、原系统影响等方面进行分析。

2 0 号高压加热器及其应用现状

0 号高加技术现阶段只应用在部分超超临界机组上。下面以超超临界机组为重点论述机组, 从汽源选取、安装方式两方面分析 0 号高加的应用现状。

2.1 0 号高压加热器

在回热系统中, 1 号高压加热器后与锅炉省煤器前增设 1 个高压加热器用来加热给水; 高压加热器的蒸汽是由 1 级抽汽前的高压缸某级后抽出; 高压加热器的疏水采用逐级自流至 1 号高加或除氧器, 满足上述条件的高压加热器称为 0 号高压加热器。

2.2 0 号高加的汽源选取

0 号高加选取参数合适且不影响机组安全性的高压汽源十分重要; 根据机组结构不同, 从以下两方面介绍 0 级抽汽的汽源选取。

2.2.1 在具备补汽阀的机组中 0 级抽汽的汽源选取

超超临界机组中补汽阀技术是在每个主汽阀后、调节阀前引出 1 根新蒸汽管道, 接入 1 个外置补汽调节阀, 将新蒸汽节流后送入高压缸第 5 级动叶后空间。补汽阀技术在机组额定负荷以上超发和快速响应一次调频要求时才使用, 机组低负荷时采用主汽调节阀全开的滑压运行方式, 不使用补汽阀技术^[2]。机组就是借助汽轮机现有的补汽阀, 阀后导汽管上设置三通; 在低负荷时利用高压缸补汽阀接口抽汽送至 0 号高加。0 号高加与补汽阀进汽共用一个接口, 通过补汽阀和 0 号高加抽汽管路的快关调节阀切换。见图 1。

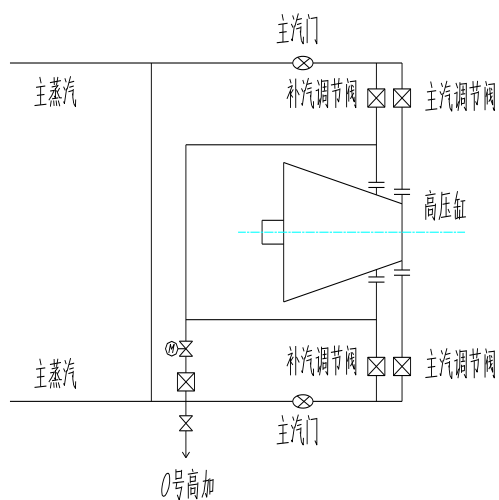


图1 具备补汽阀的机组中 0 级抽汽的汽源选取

具备补汽阀的机组中 0 级抽汽的汽源选取优缺点: 1) 补汽阀在低负荷时处于停用状态, 而 0 号高加主要作用就是提高低负荷时机组的经济性, 即具有节能减排功效又合理利用了补汽阀; 2) 安全性能高, 设备投资成本低, 安装简易、快捷, 运行维护简单; 3) 汽源采用高压缸第 5 级动叶后, 需减压降焓再接入 0 号高加, 存在一定的节流损失, 降低机组的经济性。

此方案在华能威海发电厂、铜山华润电力有限公司、浙江浙能台州第二发电厂、外高桥第三发电厂上应用。

2.2.2 在不具备补汽阀的机组中 0 级抽汽的汽源选取

对于没有补汽阀的机型, 无论是新建机组还是改造机组, 0 级抽汽的汽源都存在如何优选的问题。国内汽轮机制造商的相关研究, 如文献[3], 一般都是根据各负荷条件下加权平均热耗降低幅度最大的原则进行汽源优选, 最佳的汽源应选取

高压缸第 7 级动叶后。经过优化计算, 而最终确定选取高压缸第 9 级后为 0 级抽汽的汽源^[3]。同理, 其他机组在改造时也要进行理论计算选取合适的汽源。如图 2

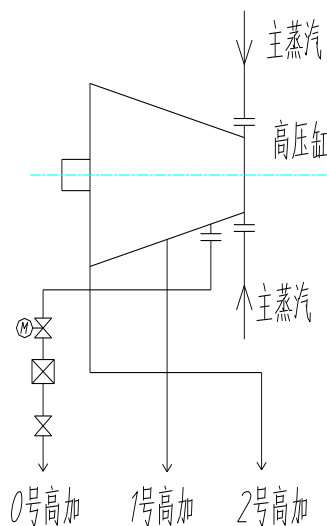


图2 不具备补汽阀的机组中 0 级抽汽的汽源选取

不具备补汽阀的机组中 0 级抽汽的汽源选取优缺点 (与采用补汽阀的机组对比): 1) 汽源是经过优化计算的最佳汽源, 不需要减压降焓, 机组经济性较高。2) 需要验证外缸的强度、刚性, 安全性能无法保证等。3) 设备投资成本高, 加工难, 尤其是在高压缸上打孔, 运行维护难。

此方案处于理论研究阶段, 投资成本高, 回收年限长, 目前没有发电企业采用此方案。

2.3 0 号高加的安装方式

0 号高加是机组节能技改而增设的高压加热器, 相对于其他高加系统有所不同, 首先 0 号高加水侧有采用通过全部给水和部分给水两种方式。对于超超临界机组, 通过全部给水对于 0 号高加的制造工艺要求高、投资高、运行安全性差; 大部分发电企业采用部分给水通过 0 号高加的方式。对于 1000MW 机组有单列高压加热器和双列高压加热器之分, 安装方式又有不同。目前, 新建或改造机组有几种 0 号高加的安装方式。以下文章对各种安装方式进行分析, 并对其特点进行了总结。

2.3.1 单列高压加热器安装方式

0 号高加作为最后一级给水高压加热器, 布置在进入省煤器前的给水管道上。660MW 及以上超超临界机组多数设置了 3 号高加的外置式蒸

汽冷却器（蒸汽冷却器）。针对上述情况 0 号高加有以下三种方案。

方案一，对于设置蒸汽冷却器的机组，0 号高加与蒸汽冷却器并联。一部分给水通过 0 号高加，另一部分给水通过蒸汽冷却器，两部分给水混合流向省煤器，见图 3。其中，0 号高加可以与 1-3 号高加共用一套高压给水旁路系统，可节省投资；0 号高加正常疏水可以采用逐级自流的疏水方式，即疏水至 1 号高加，但逐级自流方式系统稍复杂，也要考验 1-3 号高加的疏水流通能力；也可疏水至除氧器或凝汽器，但经济性差；事故疏水至高加事故疏水扩容器。机组正常运行中高负荷时，切除 0 级抽汽，0 号高加不投运，0 号高加相当于一个给水通道，有压降，经济性稍差；低负荷时，0 号高加投运，控制 0 级抽汽的调节阀开度，进而控制 0 级抽汽量，防止超压。

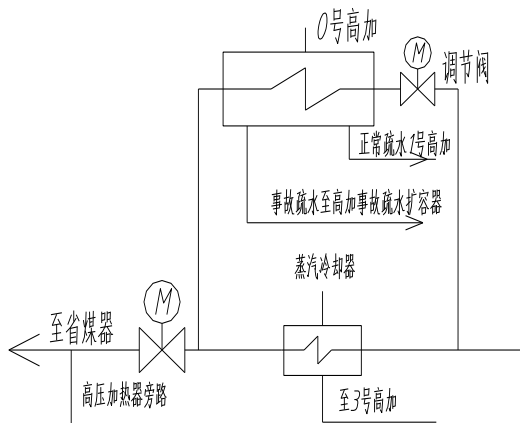


图3 方案一：0号高加与蒸汽冷却器并联

方案二：对于设置蒸汽冷却器的机组，0 号高加与蒸汽冷却器串联。一部分给水通过蒸汽冷却器和 0 号高加，另一部分给水通过新增的给水管路流向省煤器。见图 4，与方案一相同，为减少投资，0 号高加可以与原高加共用一套高压给水旁路系统；0 号高加正常疏水可以采用逐级自流的方式，疏水至 1 号高加，也可疏水至除氧器或凝汽器。在给水管道上设置三通并联一个给水管管道，在新增管道上设置调节阀，控制通过 0 号高加和蒸汽冷却器的给水流量。

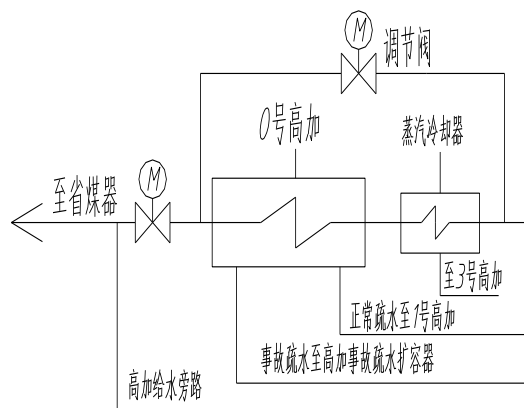


图4 方案二：0号高加与蒸汽冷却器串联

方案三：对于少数没有设置蒸汽冷却器的机组，0 号高加安装在 1 号高加之后，同时并联一根给水管管道，见图 5。为减少投资，0 号高加可以与原高加共用一套高压给水旁路系统；0 号高加正常疏水可以采用逐级自流的方式，疏水至 1 号高加，也可疏水至除氧器或凝汽器。在给水管道上设置三通并联一根给水管管道，在新增管道上设置调节阀，间接调节通过 0 号高加的给水流量。

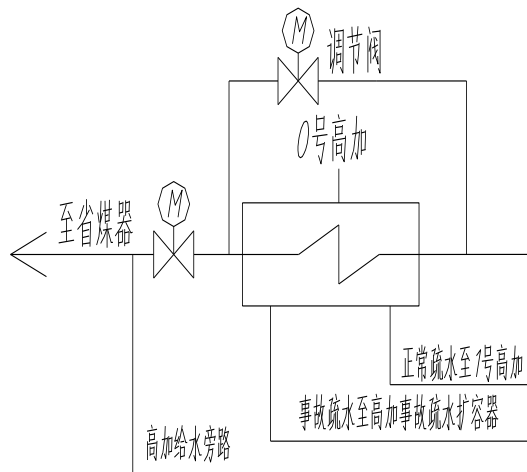


图5 方案三：没有蒸汽冷却器机组 0 号高加安装方式
三个方案的对比分析及特点：

1) 三个方案投资相差不多；

2) 机组经济性：对于有蒸汽冷却器的机组，从理论上讲，两股给水混合，温差越大，不可逆损失越大，混合后的给水温度也就越低，显然方案一不仅能最大限度地发挥蒸汽冷却器和 0 号高加功效，同时又能保证给水温度的提高，方案一较优；对于没有蒸汽冷却器的机组会选择方案三，可以使用调节阀调节通过 0 号高加的给水份额，

调节方便快捷,也可在负荷较低时,关闭调节阀,使所有给水经过 0 号高加,来保证给水温度最大限度地升高。

3) 机组运行调节:三个方案中 0 号高加都参与机组的调频。不同方案相同负荷、同种方案不同负荷运行调节能力以及效果都是不同的,要根据 0 号高加的运行参数分析制定相应的运行调节方式和方法;增加运行人员的工作量和运行知识的储备,运行调节系统更加复杂。方案三,对于没有蒸汽冷却器的机组运行调节相对简单。

方案一在浙江浙能台州第二发电厂上应用;方案二暂无电厂应用;方案三在华能威海发电厂上应用。

2.3.2 双列高压加热器安装方式

对于 1000MW 机组设有双列高压加热器的形式,采用 0 号高加安装在其中的一列高加管路上(假设 A 列),另一列管路上安装给水调节阀(B 列),变负荷时调节 B 列给水调节阀来控制通过 B 列的给水流量,实现提高给水温度后的经济性和安全性。选取哪一列高加进行增设 0 号高加,发电企业可以根据厂里的实际情况确定,如图 6。

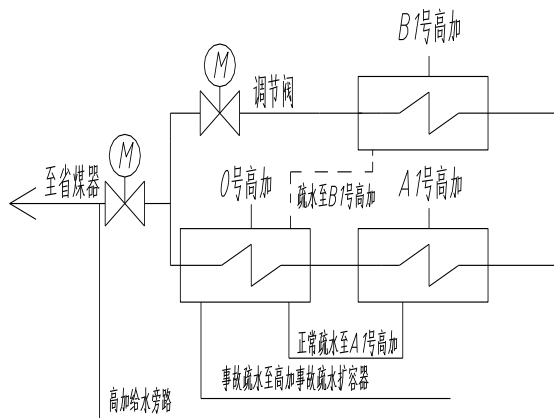


图 6 双列高压加热器安装方式

此方案经济性特点:

1) 机组经济性:据文献[4]某电厂汽轮机组在部分负荷段增设 0 号高加降低的热耗率(未考虑锅炉效率),如图 7。

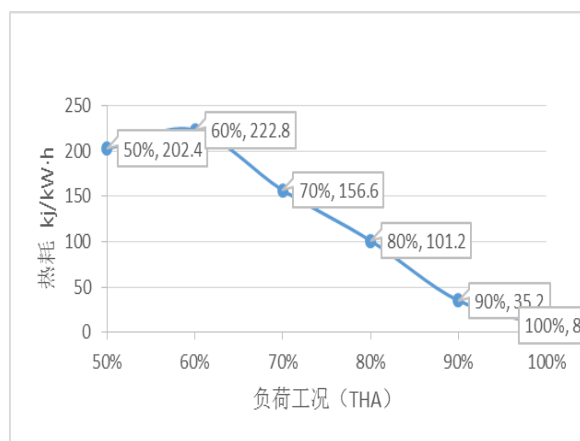


图 7 增设 0 号高加后汽轮机热耗率降低值

2) 机组运行调节:变负荷时通过控制 B 列出口调节阀控制进入 0 号高加给水流量,为保证 B 列高加换热能力, B 列高加给水出口调节阀必须设定调节下限。运行时操作方便,调节空间大。

3) 高加疏水问题:某厂运行数据显示当负荷在 60%以上时, 0 号高加控制逻辑能满足正常运行要求,当 60%以下负荷时由于 0 号高加疏水量达到 150t/h 及 A 列高加给水流量增加后, A 列高加抽汽量增加,高加正常疏水调节阀全开,不能满足正常调节需要,60%以下负荷时需要人为干预 0 号高抽汽调节阀压力, 0 号高加在 60%以下负荷时经济性降低。为解决这一问题将 0 号高加疏水进入 A 列 1 号高加的同时,新增疏水管道疏水至 B 列 1 号高加,这样既保证了 A 列高加水位调整有余度,又能提高 B 列高加的做功能力,实现增加 0 号高加后机组全负荷变工况运行的经济性^[4](见图 6)。

此方案在铜山华润电力有限公司上应用。

3 0 号高压加热器对机组性能的影响

3.1 0 号高加对节能的影响

0 号高加是一项综合性的节能减排新技术,可在新建或现役机组改造中实施,其技术特点和效益在于:

1) 提高机组低负荷下的给水温度,多增加一级抽汽提高了循环吸热过程的平均温度,进而提高了整个热力循环的循环效率;

2) 抽汽进入给水系统使得进入汽轮机凝汽器的汽量减少,汽轮机的冷端损失降低,从而降低汽轮机热耗;

3) 改善锅炉在低负荷下的稳燃性能;

4) 0 级抽汽管道上设置的调节阀具备一定的调频能力, 和凝结水节流配合, 可以降低汽轮机调节阀的节流度, 进一步降低能耗。

通过机组在低负荷下运行的权重比例计算, 可降低供电标准煤耗约 1 克/千瓦时^[5]; 另外结合低温省煤器, 可将排烟热量进行回收, 避免余热损失增加。

3.2 0 号高加对环保的影响

0 号高加提高了最终给水温度, 减少了给水在省煤器内吸收的热量, 可提高省煤器出口烟温。因此在低负荷下, 省煤器的给水温度提高, 脱硝设备进口烟温相应升高, 不仅提高了 SCR 脱硝效率, 降低了脱硝成本, 而且可减缓催化剂的老化速度, 有利于脱硝设备的运行可靠性, 具有很好的环保效益。

3.3 0 号高加对原机组的影响

1) 对高压缸通流部分的影响。补汽阀进汽口位于高压缸某级后(如高压缸第五级), 如果改为抽汽, 补汽阀后压力要根据 0 号高加的进汽参数进行调整, 压力就会降低, 造成级组叶片前后压差增加, 对叶片强度产生影响, 因此高压缸通流叶片强度需重新校核或设计。2) 对汽轮机轴向推力和轴振动的影响。采用增设 0 号高加方案, 相对于原设计, 高压平衡活塞前的压力由于抽汽而降低, 使平衡能力下降; 这便需要重新校核或修改设计通过抬高转子平衡活塞的高度来满足推力要求, 以保证机组安全运行的可靠性。3) 对原汽轮机安全性的影响。对于没有补汽阀的机组改造, 在高压缸 1 级抽汽前增设 0 级抽汽对高压外缸的强度是一个很大的考验。

4 结论

通过机组增设 0 号高加后运行分析, 验证了在机组低负荷段投运 0 号高加, 可以提高给水温度, 降低汽轮机热耗, 提高脱硝装置在低负荷时的投运率, 实现节能减排; 并对增设 0 号高加后对汽轮机、锅炉、炉后脱硝设施的影响进行了阐述, 并针对发电企业改造机组中 0 号高加的抽汽选取、安装方式进行综合论述, 得出如下结论。

1) 从 0 号高加的汽源选取、安装方式综述了改造机组 0 号高加的应用现状, 发电企业可以根据自身情况综合考虑, 进行增设 0 号高加的改造; 同时要重视 0 号高加后运行中存在的问题以及合

理有效的解决办法。

2) 采用补汽阀技术的汽轮机均具备采用 0 号高加技术的条件; 对于没有补汽阀的机组, 改造成本高, 对原热力系统影响大, 安全性能较低, 一般不考虑增设 0 号高加。

3) 在机组部分负荷时 0 号高加的投入不仅使给水温度得到升高, 尤其对脱硝装置具有较好作用, 一定程度上解决了低负荷工况时脱硝装置因烟温低而自动退出运行的问题, 扩大了脱硝设备投运的负荷范围, 节能减排效果明显。

参 考 文 献

- [1] 苏雪刚, 卢丽坤, 马亮亮, 邓剑虹. 大型超超临界火力发电机组增设 0 号高压给水加热器的研究[J]. 锅炉制造, 2016(4):50-53.
- [2] 刘启军, 李作兰, 方琪. 超超临界机组增设零号高压加热器研究[J]. 吉林电力, 2015, 43(04):1-4.
- [3] 包伟伟. 1000MW 超超临界机组增设 0 号高压加热器经济性分析[J]. 发电设备, 2015, 29(3):172-175.
- [4] 王国红, 马国营. 铜山华润电力有限公司 2*1000MW 机组双列布置的高压加热系统增加一台高压加热器后运行分析[C]. 2015 火力发电节能改造现状与发展趋势技术交流会论文集, 2015, 12:94-101.
- [5] 蒋寻寒. 0 号高压加热器的分析和应用[J]. 热力透平, 2016, 45(3):207-210.

收稿日期: 2017 年 8 月 7 日

作者简介:

张彦鹏(1983—), 性别: 男, 籍贯: 新疆, 学历: 本科, 从事汽机热力试验与节能改造方向。