

高压加热器设备运行故障分析

张本

威海博通热电股份有限公司, 山东 威海 264200

[摘要]当前发电厂建设运行发展过程中, 汽轮机是不可或缺的基础设备之一, 而蒸汽高压加热器是发电厂汽轮机给水与回收热利用系统中的重要组成部分, 其运行质量的稳定性直接影响着电厂的生产质量和经济效益。因此, 在电厂的运行管理过程中, 对高压加热器进行必要的管理和维护工作, 可以保证其正常运行, 运行操作人员需要实时监控锅炉加热器系统的运行状况, 留心高压加热器工作中可能出现的异常水位、温升和端差等问题。要及时检查并分析异常误差的原因, 以确保加热器以安全可靠的方式运行。基于此, 本文就高压加热器设备运行故障进行分析, 供参考。

[关键词]高压加热器; 设备; 运行; 故障

DOI: 10.33142/ect.v2i2.11367

中图分类号: TK267

文献标识码: A

Analysis of Operational Faults in High-pressure Heater Equipment

ZHANG Ben

Weihai Botong Thermal Power Co., Ltd., Weihai, Shandong, 264200, China

Abstract: In the current process of construction and operation of power plants, the steam turbine is one of the indispensable basic equipment, and the steam high-pressure heater is an important component of the steam turbine feedwater and heat recovery system in power plants. The stability of its operating quality directly affects the production quality and economic benefits of the power plant. Therefore, in the operation and management process of power plants, necessary management and maintenance work should be carried out on the high-pressure heater to ensure its normal operation. The operating personnel need to monitor the operation status of the boiler heater system in real time, and pay attention to possible abnormal water level, temperature rise, and end difference problems that may occur during the operation of the high-pressure heater. Timely check and analyze the causes of abnormal errors to ensure that the heater operates in a safe and reliable manner. Based on this, this article analyzes the operational faults of high-pressure heater equipment for reference.

Keywords: high pressure heater; equipment; operation; faults

高压加热器是电厂设备中的关键组成部分之一, 对于提高电厂运行的经济性起着决定性作用, 具备良好的回收式加热冷却系统能有效提高电厂的经济性。近些年来, 许多发电厂的锅炉开始向更大容量和更高功率的技术方向发展, 这势必会导致高压加热器给水压力和锅炉温度需求逐渐提高。当高压加热器在运行过程中, 遇到机组负荷突变、压水泵故障或高压旁路故障等意外情况时, 供水压力和给水温度将同时发生异常变化, 这种突发性变化将严重影响高压加热器系统的稳定性, 对机组的整体经济性改善也不利。因此, 有必要及时对常见的故障隐患如高压加热器进行检测和分析, 以便相关部门能够尽快采取各种切实可行、合理的措施进行现场处理。

1 高压加热器的运行故障及其对整个系统的影响

1.1 引起汽轮机水冲击

一旦高压加热器发生过热爆炸或漏热严重情况, 疏水门侧流出的高温给水将大量涌入进气口, 从而导致汽轮机侧水位急剧上升至警戒最高水位。在这个上升过程中, 应注意, 当汽危急疏水门的疏水量不足或者管路被堵塞的情况下, 存在着汽轮机抽气机电动门无法及时关闭或打开的风

险。这时大量的水会从汽门侧喷出, 迅速进入汽轮机的低压缸, 从而导致严重的水冲击事故^[1]。

1.2 降低锅炉运行的安全稳定性

当高压锅炉加热器设备发生严重故障, 造成停工维修时, 大量给水系统会通过旁路管道进入高压锅炉管道。由于给水温度快速降低, 高温锅炉系统内吸热量会增加, 导致蒸汽过加热器管壁的温度上升, 产生过热现象。

1.3 降低机组经济性

当锅炉高压加热器出现故障或停运检修时, 会降低锅炉给水温度, 从而间接增加锅炉在相同给水负荷工况下所需的燃料量。此外, 在停运状态下, 机组的运行负荷通常受到限制, 对机组的经济性产生较大影响。

2 高压加热器故障原因分析

2.1 高压加热器在正常投运前或设备停机后过程中使用错误

高压加热器在启用之前的预热暖管时间不足, 导致在投运过程中温度的变化速度远超出规范要求, 这是由于换热管壁的厚度不一致造成的, 换热管壁薄导致吸热速度很快, 而与换热管相连的管板厚度较大, 两者之间存在很大

的厚度差($\delta = 620\text{mm}$),这导致管板吸热的过程变得缓慢。此外,在相同温度下,两者的吸热膨胀系数也不一致。在热量膨胀力的综合作用下,换热管逐渐产生弯曲和变形。高压加热器停运期间,降温速度过快,导致内部的U型钢管束的温度下降相对较慢,而造成局部较大面积的温度差,引发局部热应力。由于面积热应力的产生,U型钢型管束和管板的膨胀量分布存在不一致的情况,进而导致管子束和管板在角焊缝处或胀接处很容易发生腐蚀损坏。

2.2 冲刷侵蚀

高压加热器通过管口直接涌入壳侧,同时也被防冲板隔离并扩散进入壳侧。然而,由于防冲板的材料厚度和焊接件质量存在多种问题,在运行中可能发生破损、变形或脱落,失去原有的防蒸发冲刷作用后,高压蒸汽自身的速度变得很快,在运动中会经常形成腐蚀性水滴。经过长时间连续的高温汽-水二次对流冲刷,U型管壁会逐渐变薄,最终发生爆裂。壳侧的水从疏水吸入口进去疏水包壳,由疏水出口排至除氧器,疏水包壳内有一定的压力,在壳侧,疏水气体包壳孔内的气体压力较高。然而,在壳汽侧,疏水气体包壳的内膛压力与壳汽侧的气体压力存在较大差异。这种差异往往是由于机械设备疏水性能差、焊接材料质量等一系列因素导致的,长时间运行的机械设备在特定环境下往往会出现异常振动现象,这种震动往往会加速机械设备疏水包壳焊缝部位的腐蚀开裂。当疏水气包壳遇到渗漏问题时,会导致包壳侧汽、水气体混合,从而使水中充满大量气泡,并持续冲蚀周围的换热管,最终可能导致管道爆破的问题^[2]。

2.3 U型换热管震动

U型换热管通过定位板孔穿过炉壳侧板,定位孔孔板孔的作用主要是支撑和固定管子。当炉给水温度过低或机组长时间超负荷运行时,蒸汽和液体的流速可能会超过设计值,导致固定管子发生弹性振动,当激振力的频率与U型换热管自然振动的频率一致时,U型换热管之间发生共振,振幅显著增加。此时,管壁开始与定位孔板之间发生摩擦。随着振动时间的推移,U型换热管的管壁逐渐变薄,直至完全断裂。管壁振动速度增加导致管子焊缝与管板连接处的应力极限也逐渐超过管壁材料的疲劳和应变极限,引发管壁胀接部分松弛应力和管板端角焊缝的泄漏。当机械设备长时间或超负荷工作时,会引发管系内部异常高频振动,并产生高强度应力冲蚀,加速了管道系统的疲劳破坏。

3 运行故障的处理对策

3.1 钢管及胀口泄漏

胀口泄漏的主要原因可以简单归结为缺乏合理的组织结构体系和组织工艺体系设计,胀接组织和焊接工艺质量差,以及采取不恰当的生产运营或操作处理方式。另外,导致管道本身泄漏的因素除了管材质量,还包括冲蚀、腐蚀和机械振动冲击等多种原因。

发生剧烈横向振动时,管道的多个弯曲方向会导致管壁磨损或减薄硬化,并形成环形凹槽。在高温和压力的作用下,管道在隔板处受热被卡滞,无法正常自由收缩膨胀,这导致管壁一端被压住在靠近隔板处无法弯曲,另一端由于热应力拉伸减薄,形成管缩颈,在高温应力的影响下最终断裂。这种严重情况导致整百根高压管道几乎全部断裂,泄漏严重。

当管道存在多个方向上的弯曲振动时,管壁因为磨损和变形而减薄,可能会形成一个环形凹槽。当管道内壁遭受热力弯曲时,会卡固在隔板处,使管壁无法自由变形膨胀。这导致管道内壁一端受到隔板处的压力而出现收缩受阻,而另一端则受到热力弯曲的应力影响而被拉长或减薄。当其壁厚被减薄膨胀到一定程度时,在超过10MPa的高水压下,发生挤压作用,从而破坏了管道壁。此类爆炸情况下,爆炸口直径很大,泄漏情况十分严重。

受工况和加热介质类型的影响,运行过程中存在一些变量。例如,在高压加热器正常运行过程中,过热汽轮机锅炉会产生一定的热抽余汽。这些热抽余汽首先需要通过过热蒸汽的制冷凝聚区进行制冷,降低其过热度。然后再进入过蒸发降温凝聚区,进一步冷凝并成为一疏水。在疏水过程中,还需要经历疏水降温至冷凝区,进一步释放热量。在加热过程中,高压加热器开始运行时,最上外层管壁直接受到高温蒸汽的垂直冲击,造成高压管排的震动最为强烈。管壁磨损和减薄情况最为明显,导致发生过热爆管的概率最高。

根据上述问题,当第一层最薄的外层管排发生爆管并断裂脱落时,第二层的管排将直接承受高热蒸汽水的垂直冲刷作用。此时,外围的管道已经发生爆管,导致管内给水开始外泄,这种同时包含大量疏水物质的高温蒸汽水流对外围水管的破坏力更强,导致外围水管的连续性受损。同时,内层水管与外围第二层水管也会快速连续受损。经过多次恶性循环,会形成多次连续性损毁。从解剖实验的方法中还可以得出,这种破坏方式也在一定范围内普遍存在^[3]。

对于端口泄漏,应刮去原有焊缝金属再进行补焊,并进行适当的热处理,消除热应力:对于管子本身泄漏,应先查清管束泄漏的形式及位置,并选用合适的堵管工艺,堵塞管子的两个端口。无论采用何种堵管工艺,为保证堵管的质量,被堵管的端头部位一定要经过良好处理,使管板、管孔圆整、清洁,与堵头有良好的接触面。在管子与管板连接处有裂纹或冲蚀的情况下,一定要去除端部原管子材料及焊缝金属,使堵头与管板紧密接触。

3.2 做好设备维护以及汽温、水位的调节工作

在高压加热器设备的运行过程中,相关部件的损坏问题时常发生。在实际的运行中,对#2高加汽侧,更换就低液位计一次门前法兰垫片,更换完成后正常投运#2高加,投运完成后#1高加进汽温度10分钟内由330℃降至

198℃。随开启进汽电动门后疏水门，管道内有水喷出，持续疏水#1高加进汽温度未变化。此时高加状态如下：

表 1 设备运行参数

| #2 高加 | | | | | | #1 高加 | | | | |
|-------|------|------|------|------|------|-------|------|------|------|------|
| 进汽温度 | 进汽压力 | 进气流量 | 进水温度 | 出水温度 | 高加液位 | 进汽温度 | 进汽压力 | 进水温度 | 出水温度 | 高加水位 |
| 379 | 2.2 | 34 | 188 | 217 | 345 | 198 | 1.27 | 160 | 188 | 159 |

解列#2高加汽侧，当进汽电动门关至18%时#1高加进汽温度开始上升至正常，随后关闭#1高加进汽电动门后疏水门，温度无异常，逐渐开大#2高加进汽电动门，#1高加进汽温度缓慢降低。将#2高加进汽电动门开至20%，#1高加进汽温度314℃稳定。其他参数均未发生变化。交接班后将#2高加进汽电动门全开，#1高加进汽温度以1.5℃/min速度下降，当温度降至270℃时，解列#2高加汽侧，#1高加进汽温度恢复正常，进汽压力、温度分别为1.21MPa，334℃，高加出水温度181℃。

3.3 高加疏水系统的解决

在本电厂#1高加进汽温度继续降低，当温度降至311℃时，温度急剧下降至198℃，随机关#2高加进汽电动门，当电动门关至15%时，#1高加进汽温度逐渐升高至正常，此时将#2高加水位升至390mm，#1高加水位至210mm，正常后逐渐开启#2高加进汽电动门，#1高加进汽温度稳定未出现下降现象。

这是由于#2高加液位较低（正常液位500mm，低液位报警300mm），疏水中携带部分蒸汽，蒸汽为2.2MPa饱和蒸汽（比体积0.0907m³/kg），当蒸汽进入到#1高加后，由于压力降低蒸汽迅速扩容，而#1高加压力为1.2MPa（蒸汽比体积为1.16326m³/kg），体积增长约12.8倍，如进入#1高加的饱和蒸汽达到一定量时，#1高加大体内充满饱和蒸汽，甚至会将部分进汽管道温度拉低至饱和温度，管道由于存在散热及管道损失，所以会慢慢形成水沉积在管道底部，使#1高加进汽温度逐渐降低，当#1高加进汽量不足以带走这些水分时，管道底部一直存在积水，由于该温度测点位于整个管系的最低点，所以水分积聚在此，故疏水一直存在^[4]。

当#2高加进汽电动门关小后，由于#2高加本体压力降低，饱和蒸汽进入#1高加后，体积扩容小，不足以使#1高加进汽管道内蒸汽温度降低，所以当关小#2高加进汽电动门至一定开度时，#1高加进汽温度逐渐恢复正常。

为了确保热工水平自动调节系统能够及时满足电厂在不同常规水工况下的需求，并提高水位自动控制的效率，必须保证自动化调节系统的性能良好。此外，日常运行控制人员也应加强检查监督工作，及时发现并解决电厂疏水水位自动控制调节装置的故障，以维持自动调整系统的水平。

3.4 高加的启停

考虑到发电机组启停时使用了滑停参数，高加能够确保两台发电机组同时完成启停。高加随机启动时，负荷逐渐增加，导致抽油汽温度、压力、流量值和加热器水温上升。控制金属管的温升在较小范围内，可以减少金属管壁与管板面的温差，从而避免因管系胀口松弛变形和金属管膨胀不均引起的热漏泄问题。

当然，在高加启停中，控制中水位是一项较为棘手的任务，因为管系泄漏的风险使得操作变得紧张起来。目前，各厂一般采用随机启停的方式来应对这个问题。其中，温升和温降率的控制尤为重要，因为它们直接影响着焊缝所承受的热应力。根据经验，一般会根据出口水温的变化来进行评估。对于停用情况下的高加管束泄漏问题而言，为了防止管道和管板结合面的破坏，要求温降限制值小于温升值。这是因为停用时，通常会先停止抽汽，但给水仍然会通过加热器流过。由于管壁温度高于给水温度，较冷的给水经过管道时会导致管道首先冷却收缩。这种冷却过程容易导致管道和管板结合面的破坏。所以，在运行时不仅要注意温升速度，也不能忽视对温降率的控制^[5]。

4 结束语

高压加热器是电力系统中的关键设备，其运行状态直接影响到电力系统的安全稳定运行。因此，对高压加热器的设备运行故障进行分析，对于保障电力系统的安全稳定运行具有重要意义。同时，预防高压加热器的故障，也需要从多个方面进行，包括加强设备的维护和检修、加强设备的运行监控、提高操作人员的操作技能和设备知识、加强设备的设计和制造过程的质量管理等，实现高压加热器的高效运转。

[参考文献]

- [1]袁宏伟. 600MW超临界发电机组高压加热器泄漏分析及处理措施[J]. 电力设备管理, 2021(5): 86-87.
 - [2]贾东坡. 浅谈汽轮机高压加热器设备基础下陷处理方法[J]. 四川建筑, 2017, 37(1): 177-178.
 - [3]钱锬. 高压加热器系统及相关设备分析[J]. 山东化工, 2016, 45(5): 74-75.
 - [4]舒晓明. 汽轮机高压加热器水位控制设备的改造[J]. 发电设备, 2013, 27(3): 194-196.
 - [5]赵家镇. 核电站高压加热器设备制造焊接质量控制[J]. 热加工工艺, 2012, 41(23): 226-227.
- 作者简介：张本（1987.4—），男，毕业院校：青岛理工大学，专业：热能与动力工程，目前就职单位：威海博通热电股份有限公司，职务：汽机专工（7年），目前职称：工程师。