

# 关于机组启动时汽轮机偏心率过大影响机组启动的分析

李振英

内蒙古丰电能源发电有限责任公司 内蒙古 乌兰察布 012000

**摘要:** 汽轮机的偏心率是以轴承内径为基础,表示转子旋转轴心在径向方向上的偏差,汽轮机的偏心度是指转子的旋转轴心在轴向方向上偏离轴线的距离,机组启动重要的监视参数。通过丰镇电厂所发生的机组启动冲车时汽轮机偏心率增大以及引起振动增大的后果,立即打闸停止冲车,投入电动盘车,恢复偏心率,认真分析了事故发生的各种原因——即容易引起事故的所有重要环节,事故暴露出的各种问题,总结出一系列有效的事故防范措施,避免同类事故的再次发生,指导和保证了企业的安全生产。说明了掌握正确的运行操作方法和完备的设备检修维护,科学的事故分析,对防范事故的发生具有现实的意义。

**关键词:** 汽轮机热启动; 偏心率; 偏心度; 保护动作; 原因分析及防范措施

## 引言

汽轮机的启动过程是指转子由静止或盘车状态加速到额定转速,并将负荷逐步加至额定负荷(或电网调度所要求的负荷)的过程,启动过程是汽轮机零部件剧烈地被加热的过程,从传热学的观点来说,这是一个非稳定的导热过程,汽轮机的零部件不可避免地会产生热应力、热膨胀、热变形。大型汽轮机的启动,其电能和燃料的消耗是相当可观的。因此,合理的启动不但要保证机组的安全可靠,而且还要启动时间最短。汽轮机启动时偏心率增大导致启动时间增加或振动增大,最终会造成机组启动冲车失败或动静摩擦的事故。如何避免此类事故的发生,也是当前发电企业实际面临的问题。故针对以下几起汽轮机启动过程中发生的机组偏心率增大的事故,依据事件的经过和产生的现象,分析其发生的原因——即容易引起事故的重要环节,暴露出的问题,来探讨解决问题的方法和防范措施。

## 1 系统介绍

丰镇发电厂#3、4机是NK200--/12.7Mpa/535°C/535°C型,汽轮机为超高压一次中间再热单轴三缸二排汽冲动凝汽式,空冷机组,机组通过半挠性联轴器直接带动发动机。汽轮机采用喷嘴调节,汽轮机负荷的变化主要依靠高压调门进行调节;中压调门是在负荷小于35%时起调节作用<sup>[1]</sup>。在35%负荷以上时,中压调节汽门保持全开。冲车是高中压联合启动的方式,主汽门全开,调门冲转,部分进汽对汽轮机均匀加热不利,汽缸转子膨胀情况较复杂,胀差较难控制。汽轮机调节保安系统能对汽轮机的启动、升速、并网、加减电负荷、甩负荷等各种工况进行控制。调节保安系统采用数字式电液调节系统,系统由数字电调系统(DEH)、高压抗燃油调节系

统(EH)和汽轮机危机遮断系统三大部分组成。

## 2 事件经过

2.1 2023年12月4日,13时40分,#3机小修后冷态冲车,主汽压力1.8Mpa,主蒸汽温度289°C,287°C,再热蒸汽温度268°C,266°C,真空-70kpa,主机润滑油温40°C,主轴晃动值0.025mm,偏心率20um,高压上缸内壁温度120°C,转速升到500r/min的过程中,偏心率缓慢增大到143um,振动也慢慢增大,立即打闸,投电动盘车,恢复偏心率,20时15分冲车,主汽压力2.1Mpa,主蒸汽温度331°C,317°C,再热蒸汽温度320°C,316°C,真空-70kpa,偏心率21um,高压上缸内壁温度221°C冲车成功。

2.2 2023年12月8日,#4机20时25分热态冲车,主汽压力2.64Mpa,主蒸汽温度346°C,328°C,再热蒸汽温度238°C,258°C,真空-75kpa主机润滑油温40°C,主轴晃动值0.03mm,偏心率18um,高压上缸内壁温度246°C,转速升到500r/min的过程中,偏心率缓慢增大到174um,室外#2瓦声音异常,立即打闸,投电动盘车,恢复偏心率,02时02分冲车,主汽压力2.76Mpa,主蒸汽温度384°C,373°C,再热蒸汽温度281°C,285°C,真空-76kpa,偏心率20um,高压上缸内壁温度261°C,冲车成功。

## 3 事件原因

3.1 2023年12月4日#3机冲车偏心率增大原因

3.1.1 2023年12月4日,13:40#3机大修后冷态冲车,汽轮机2022年6月大修高压、中压轴封蜂窝式改造为梳齿式,轴封间隙调整不合适<sup>[2]</sup>。

3.1.2 机组启动时疏水不畅通,暖机不好,缸体膨胀受阻,引起偏心增大。

3.1.3 转子在加热的过程中,由于材料内部存在局部缺陷,在不同方向传热不均引起偏心。

3.1.4 轴封供汽各分门开度不同,转子轴封加热不均匀。

3.1.5 机组启动过程中,上下缸温差和法兰内外温差大引起偏心增大。

3.1.6 汽轮机夹层、法螺加热装置投用不当,加热蒸汽量过大或过小。

3.1.7 暖机过程中,升速率太快或暖机时间过短。

3.1.8 机组启动主机润滑油温调整不当。

3.2 2023年12月8日#4机冲车偏心率增大原因

3.2.1 2023年12月8日,20:25#4机热态冲车,机组热态启动主再热蒸汽、真空、主机油温等参数选择不匹配,引起机组偏心增大。

3.2.2 送轴封时,高、中压轴封供汽各分门调整不合理。

3.2.3 转子存在热弯曲。

3.2.4 轴封供汽暖管不充分,疏水没有疏净。

3.2.5 冲转过程中,疏水调整时,疏水门开度不合适。

3.2.6 汽轮机夹层、法螺加热装置汽源温度低于高压外缸上缸内壁金属温度100℃。

3.3 事故原因综合分析

探讨以上几起机组启动过程中出现偏心增大的原因,我们发现事故的主观原因包括人员和设备两方面,这是通过科学管理和提高人员专业技术能力能完全消除的,而主要的客观原因是机组大轴或轴封存在的缺陷,可对于客观原因几乎没有很好的解决办法,只有严格执行规程,选择适当的冲车参数,合理的技术措施.轴封参数的选择和时间的投入,加热装置的使用,使汽轮机各部金属温度得到充分的预热,减少汽缸法兰内外壁、法兰与螺栓之间的温差从而减少金属内部应力,使汽缸、法兰和转子均匀膨胀,高压胀差值在安全范围内变化,保证汽轮机内部的动静间隙不致消失而发生摩擦。优化机组启停过程,根据转子寿命损耗率、热变形和胀差的要求确定合理的温度变化率,确保温度变化率随放热系数的变化而变化,汽轮机各测点温度及胀差、振动等不超限,盘车预热和正温差启动,实现最佳温度匹配,在保证设备安全的前提下尽量缩短启动时间,减少电能和燃料消耗等。

#### 4 注意事项及防范措施

##### 4.1 冷态启动注意事项

4.1.1 按照规程选择冲车参数,除氧器、加热器水位正常,各油箱油位油位正常。

4.1.2 启动过程中因振动异常停机必须回到盘车状态,当机组已符合启动条件时,连续盘车时间不少于4小时才能再次启动<sup>[3]</sup>。

4.1.3 胀差正常范围:高压胀差: +6~-2.8mm,中压胀差: +6~-3mm,低压胀差: +7.5~-4.5mm,转子的轴向位移正常值: 0-0.6mm,超出范围应查明原因并采取相应措施。

4.1.4 冲车过程中控制各部温差在规定范围:上下缸温差:高压内缸: 35℃,高压外缸和中压缸: 50℃,高中压缸法兰内外温差: 100℃,高中压法兰与螺栓温差: 35℃,高中压缸上下法兰温差: 15℃,左右法兰温差: 10℃,高压内缸外壁比外缸内壁高: 20-40℃,汽缸加热蒸汽温度比高压外缸上缸内壁高: 50-100℃,法兰、螺栓加热联箱压力不超过0.8Mpa,夹层加热联箱压力不超过4.0Mpa。

4.1.5 冲车过程各轴承振动和油温不超规定值:转速1000r/min以下不超0.03mm,转速3000r/min以下不超0.05mm,通过临界转速不超0.10mm,主推力瓦和副推力瓦的乌金温度不超过90℃,各轴承回油温度小于65℃,75℃时打闸停机,各轴承乌金温度95℃报警,105℃停机,排汽温度空负荷时达80℃投汽缸喷水,最高不超120℃。

4.1.6 冲动转子时,就地检查盘车装置应自动脱开,若盘车装置不能自动脱开,立即打闸停机。

4.1.7 投入法兰、螺栓及汽缸夹层加热装置,保证汽缸、法兰、螺栓温差在允许值内。

4.1.8 冲车过程中,检查汽轮机上下缸温差、振动、串轴、支持瓦温、推力瓦温、各瓦回油温度、室外进行听音检查、全面进行汽轮机本体检查。机组任一参数超过极限值,立即打闸停机。

##### 4.2 冷态启动防范措施

4.2.1 按规程规定选择冷态启动冲转参数。

4.2.2 制定适当的升温、升压曲线。

4.2.3 及时投入汽缸、法兰加热装置,控制各部金属温差在规定的范围内。

4.2.4 控制升速速度及定速暖机时间。

4.2.5 冲转暖机时及时调整真空,主机油温。

4.2.6 轴封供汽使用适当,及时进行调整。

##### 4.3 热态启动注意事项:

4.3.1 冲转前因锅炉向凝汽器排汽量很大,凝汽器真空保持53kpa以上。

4.3.2 为防止高压前汽封收缩和高压胀差出现负值,汽封送汽用高温备用汽源。

4.3.3 注意控制高压缸内外缸温差不大于30℃,当法兰温度低于汽缸温度时,可投入加热装置。

4.3.4 升速时严密监视机组振动情况,如有明显增大,且超过规定值时,立即打闸停机,投入连续盘车,测量转子弯曲值<sup>[4]</sup>。

4.3.5 加负荷的原则,可根据汽缸的膨胀情况,如收缩时加负荷要快些,同时兼顾高压胀差的变化趋势,及时采取有力措施。

4.3.6 投入法兰、螺栓及汽缸夹层加热装置时,其汽源温度必须高于高压外缸上缸金属温度100℃以上。

4.3.7 冲转过程中,对机组本体全面检查,主再热蒸汽参数、振动、胀差、轴向位移等,任一参数达极限值,打闸停机。

#### 4.4 热态启动防范措施

4.4.1 热态启动真空应适当保持高一些,必须在连续盘车状态下向轴封送汽,冲转前先送轴封后抽真空,轴封供汽前应先对送汽管道进行暖管,使疏水排尽,轴封的供汽温度应尽量与金属温度相匹配,选择恰当的送汽时间,在高、低温轴封汽源切换时必须谨慎,切换太快不仅引起胀差的显著变化,而且可能产生轴封不均匀的热变形,从而导致摩擦、振动等。

4.4.2 热态启动时严格控制上下缸温差:高压内缸不得超过35℃,高压外缸和中压缸不得超过50℃,主蒸汽温度应高于汽缸金属最高处温度50℃以上,并有50℃以上的过热度。

4.4.3 热态启动时应加强疏水,防止冷气、冷水进入汽缸。

4.4.4 机组冲转前应按规定连续运行盘车,盘车运行期间,注意盘车电流及大轴弯曲值的监视测量。

4.4.5 热态启动时要特别注意机组的振动,及时处理,防止动静摩擦而造成转子弯曲<sup>[5]</sup>。

4.4.6 热动启动应根据汽缸温度,在启动工况图上查出相应的工况点,冲转后应以较快的速度升速、并网、并带负荷到工况点。

#### 结束语

机组启动造成偏心率增大的原因有很多,引发的后

果也很严重。但存在运行值班人员技术素质不过硬,对要操作的设备或系统不熟悉,设备操作后所造成的影响不清楚,这是我们必须彻底解决的问题。汽轮机的启动受热应力、热变形和相对差胀以及振动等因素的限制。合理的启动方式就是寻求合理的加热方式,根据启动前机组的汽缸温度、设备状况,在启动过程中能达到各部分加热均匀,热应力、热变形、相对差胀及振动均维持在较好水平。各项指标不超过厂家规定,尽快把金属温度均匀升高到工作温度。在保证安全的情况下,还要尽快地使机组带上额定负荷,减少启动消耗,增加机组的机动性。机组启动严格执行操作票,执行升级监护制度,同时对照上次机组启动参数,并要做好事故预想,操作过程中易引起事故的关键环节——即危险点要给予足够重视。在充分剖析引起事故发生的原因及暴露的问题后,同时也要讨论总结各种防范措施和预案。但提高人员素质和事故处理能力也是很重要的一环。这也提醒运行管理人员,在修编现场规程措施时,对于典型设备的操作要点要明确予以规定。在加强安全教育与运行管理的同时,要花大力气抓好职工的理论 and 实操仿真技术培训工作。制定系统的仿真机事故处理过程,在具体操作和事故处理时要做到心中有数,有的放矢。定期的反事故演习,发现运行管理中存在的薄弱环节,以便有的放矢,进一步加强管理,确保电网、机组安全经济运行,把不安全事件消灭在萌芽状态,化险为夷,保证机组的安全稳定运行。

#### 参考文献

- [1]内蒙古丰电能源发电有限责任公司[J].汽机运行规程,2022(12):10-68.
- [2]内蒙古丰电能源发电有限责任公司[J].运行措施汇编,2020(09):05-08.
- [3]中国华能集团[J].防止电力生产事故重点要求,2023(01):23-30.
- [4]汽轮机设备及运行[J].(第二版),2009(11):240-363.
- [5]11-034职业技能鉴定指导书集控值班员[J].(第二版),2008(06):100-108.