

余热发电汽轮机组运行安全探究

孟祥华

摘要：目前随着水泥行业形势的逐步下滑，绝大多数熟料生产企业渐渐步入行业寒冷期。降本增效、低碳环保、绿色发展成为业内企业可持续发展的持久推动力。伴随着余热发电技术在水泥行业中的逐步成熟应用，余热回收利用给水泥企业创造的价值越来越日益突显。加之，目前苛刻的超低排放标准，让熟料生产线对余热发电系统的依赖性更强。为确保窑系统的高效运行，熟料生产企业对整个余热发电系统的运行安全要求越来越高。

关键词：余热发电；汽轮机

汽轮机组作为余热发电系统的核心关键能量转换设备，其能否安全运行直接关系到余热发电系统正常运转和公司用电成本的降低。目前95%以上熟料生产线配套的余热发电系统所配置的汽轮发电机组都运行10多年以上，汽轮发电机组运行时间较长，设备老化；且伴随着行业人员的不断优化，有经验的机组设备维护人员越来越少，维护力量薄弱。汽轮机组运行故障不断出现，事故频发，甚至出现多起“飞车”事故。

通过对十多年的余热发电汽轮机组运行安全经验总结，同时结合相关水泥、化工等相关配套余热发电企业安全运行经验分享，探究如下：

一、汽轮机开机前的各种电气保护静态模拟试验

目前余热发电汽轮机组的保安系统采用冗余保护。除了传统的机械液压式保安装置外，增加了电调装置、仪表监测系统的电气保护。电气保安系统是汽轮机安全运行的首要保护系统，由电调节器的超速保护、TSI汽轮机监视保护装置、ETS汽轮机紧急跳闸装置、二位三通电磁阀、自动主汽门等组成。DCS系统采集的汽轮机运行转速、振动、轴瓦温度、回油温度、润滑油压、凝汽真空等出现异常变化，超过安全运行正常值范围，由电气保护系统发出停机信号，使二位三通电磁阀通电动作，将保安油压卸掉，自动主汽门落座，切断汽源，使汽轮机组快速停下来，来实现保护机组安全运行的目标。开机前静态保护模拟试验，就是通过DCS系统强制置值模拟仿真，模拟保护开关动作等，来检验机组出现异常参数时保护装置能否顺利动作，进而达到确保机组安全的

目的。为确保余热发电机组安全运行，万无一失，每次汽轮机组开机前都要进行各种电气保护静态模拟试验。

二、汽轮机冲转前自动主汽门、调节汽阀严密性试验和运行期间定期活动试验

1、汽轮机冲转前自动主汽门、调节汽阀严密性试验

试验目的：检查自动主汽门的严密程度。

试验条件：

- (1) 确认DEH在“自动”控制方式，且工作正常。
- (2) 机组未并网，主机转速维持3000 r/min，且运行正常。
- (3) 启动高压辅助油泵，确认高压辅助油泵运行正常。
- (4) 解除汽机自动主汽门关闭停机保护。

试验步骤：

- (1) 将主汽压力升到额定值或达到额定值的50%以上，并维持主汽压、主汽温稳定，主蒸汽必须保持50~80℃的过热度。
- (2) 确认自动主汽门处于全开状态。
- (3) 缓慢关闭自动主汽门。
- (4) 确认自动主汽门关闭，转速应逐渐下降，注意不应在临界转速处停留，否则应打闸停机。
- (5) 当转速降至某一稳定值（1000 r/min或以下）时，记录转速、主汽压力。
- (6) 通过DEH将目标转速设置为1000 r/min，关小调节汽门，就地缓慢打开自动主汽门。
- (7) 确认自动主汽门全开启，并维持当前实际转速。
- (8) 通过DEH设置目标转速3000 r/min，转速升至3000 r/min，全面检查。
- (10) 确认主油泵工作正常，停高压辅助油泵。
- (11) 记录严密性情况，给出分析及结果。若试验时

作者简介：孟祥华（1985.10——）男，汉族，本科学历，中级工程师，主要从事水泥行业余热发电系统方面的研究工作。

主汽压力达不到额定值,则自动主汽门关闭后机组转速应能降到 $n=1000 \times P(\text{实际})/\text{额定主蒸汽压力}(\text{r/min})$ 。

注:

a) 危急保安器就地及远方打闸试验。联锁自动主汽门、补汽门和调节汽阀关闭,并信号指示正确。

b) 主汽门、调节汽阀严密性试验。对制造厂有试验标准的应执行制造厂的标准,对没有明确要求时,则按以下步骤进行试验。

1) 应在额定汽压、正常真空和汽轮机空负荷运行时进行。

2) 自动主汽门、补汽门或调节汽阀分别全关而另一汽阀全开时,应保证汽轮机转速降至1000 r/min以下。

3) 当主蒸汽压力偏低,但不低于50%额定压力时,转速下降值 n 按下式修正:

$$n = (\rho / \rho_0) \times 1000 \text{ r/min}$$

式中:

ρ —试验时的主蒸汽压力,MPa;

ρ_0 —额定主蒸汽压或再热蒸汽压力,MPa。

2、汽轮机运行期间自动主、补汽门定期活动试验

试验目的:定期检查自动主、补汽门的灵活性,防止长时间运行,阀门操纵做活塞卡涩或卡死,紧急情况下自动主、补汽门不落座,无法切断汽源,造成汽轮机组“飞车”事故。

试验条件:

由于水泥行业余热发电是依靠水泥熟料生产线废气余热来发电,由于篦冷机料层波动,造成入锅炉烟温波动,发电负荷随之波动,自动主、补汽门定期活动试验尽量选择在发电负荷较低的时段进行。

试验步骤:

(1) 在当班值长的统一协调指挥下,将自动主、补汽门行程分别关闭至90%,观察负荷变化情况。

(2) 若负荷降低,确认关闭到位,行程一切正常后,再缓慢将自动主、补汽门行程全开至100%,以免时间过长,影响机组发电台时。

三、汽轮机第一次启动、大修后、停机一个月后,应进行传统的机械液压式危急遮断器动作试验,试验步骤如下:

1、试验前先手动打闸,检查自动主汽门、调节汽阀关闭情况。

2、先进行电超速试验,投入“超速试验许可”,将转速提升至3270 r/min时,电调超速保护应动作。再进行机械超速试验,将转速提升至3300 ~ 3360 r/min,此时

危急遮断器应动作,否则立即手击危急遮断油门,停机调整危急遮断器动作转速(TSI在3360 r/min自动停机)。

3、危急遮断器动作后,将自动主汽门操纵座手轮和启动阀手轮旋至全关,转速降至3000 r/min后,按程序重新启动。

4、汽轮机第一次启动或大修后,危急遮断器动作试验应进行三次,第一、二次转速差不应超过18 r/min,第三次和前二次动作转速的平均值之差不应超过30 r/min。

5、冷态起动的机组,在额定转速下暖机1 ~ 2小时,机组充分膨胀后进行试验。

6、运行2000小时以上的机组,应进行甩负荷危急遮断器动作试验。

四、汽轮机正常运行安全

1、每小时巡检一次,倾听汽轮机内部声音,检查机组各轴承振动,各就地表计指示是否正确,油流正常,油窗无水珠。每小时抄表一次,并根据运行日报分析有无异常情况。

2、注意检查各运行泵的电流、压力、轴承、电机温度及振动。

3、负荷变化时,应调整轴封压力和凝汽器水位。

4、对油系统要定期检查,并做到:

(1) 保持管道的清洁、畅通、无漏油。

(2) 检查保持油位正常,定期放出油箱底部的积水和油垢,补充新油,定期检查滤网无堵塞现象。

(3) 各滤油器前、后压差超过规定值时应切换,清洗滤网。

(4) 定期检查汽轮机油的质量,定期开启滤油机。

(5) 检查排烟风机应连续正常运行。

5、各轴承、杠杆活节及前轴承座与前座架间滑动面定期加注润滑油、脂。调节阀杠杆上的球形头拉杆及支架转轴处应用高温润滑脂,叉形接头处使用高温润滑脂。

6、在下列情况下应特别注意监视汽轮机运行情况:

(1) 负荷急剧变化。

(2) 蒸汽参数或真空急剧变化。

(3) 汽轮机内部出现不正常声音。

(4) 油箱油位不明情况急剧降低。

五、汽轮机厂用电中断

厂用电中断因汽轮油泵或直流油泵故障等原因造成余热发电机组断油烧瓦事故是余热发电机组轴瓦损坏最普遍的现象。目前国内水泥行业余热发电机组每年都有多起类似事故发生,严重影响机组运行的连续性和水泥熟料生产线的台时产量,严重时可能造成水泥熟料生产

线的长期停运。

余热电站的厂用电中断一般有外购电供电系统故障造成全厂断电、厂内供电系统故障、余热电站内部供电系统故障等三大主要原因。余热电站厂用电中断一般现象是交流照明熄灭，事故照明灯亮，事故音响发出，各运行泵电流到零，电动机停止转动，主蒸汽压力、温度下降，真空迅速降落。

厂用电中断事故处理时必须第一时间确认直流油泵是否自启动，否则应立即手动启动；对于配备汽轮油泵的机组第一时间必须启动汽轮油泵，同时主蒸汽管道内蒸汽压力始终大于汽轮油泵进汽压力，确保汽轮油泵正常运行，以保证厂用电中断后汽轮机组停运过程中转子惰走轴承润滑用油。另，对于配备直流油泵的汽轮机组为确保事故发生时汽轮机组润滑油系统供油正常，每周都要对直流油泵进行试运，每半年对直流油泵作蓄电池全容量启动试运行试验，确保蓄电池供电运行40分钟以上，否则应及时更换蓄电池。

六、故障停机

故障停机是指汽轮发电机组发生异常情况，保护装置动作或人为地手打危机保安器进行的停机，以达到保护机组不致损坏或使损失减小的目的。故障停机又可分为破坏真空紧急故障停机和一般故障停机。紧急故障停机是指发生故障对设备系统构成严重威胁，不论汽轮机处于什么状态，带多少负荷，必须立即打闸解列，破坏真空，尽快把机组停下来。紧急故障停机无须请示汇报，直接按运行规程的规定进行处理即可。一般故障停机原则上是不破坏真空的停机，可以根据故障的性质不同，尽可能做好联系或汇报工作，按规定平稳地把机组停下来。

1、破坏真空紧急故障停机

在下列情况下应立即破坏真空紧急故障停机：

- (1) 机组突然发生强烈振动或清楚地听到内部有金属声音。
- (2) 转速上升到3360 r/min而危急遮断器不动作。
- (3) 主油泵发生故障或调节系统异常。
- (4) 转子轴向位移超过1.0mm，而位移监视装置不动作。
- (5) 任一轴承断油，回油温度超过75℃或轴瓦金属温度超过100℃。
- (6) 油系统着火且不能很快扑灭时，危及机组安全运行。

(7) 油箱油位突然下降到最低油位以下。

(8) 润滑油压下降到0.03 MPa（表）。

(9) 汽轮机发生水冲击。

(10) 主蒸汽管或给水管破裂。

(11) 机组有不正常的响声或燃焦味，轴端汽封冒火花。

(12) 轴承座振动超过0.07mm。

2、一般故障停机

有下列情况应不必破坏真空，进行一般故障停机：

- (1) 主蒸汽压力超出允许上限时，应节流降压，节流无效时应作为故障停机。
- (2) 主蒸汽压力低于额定下限0.2MPa时，应降低负荷，直至停机。
- (3) 主蒸汽温度超出额定上限5℃，运行30分钟后仍不能降低，应作为故障停机；超出额定上限10℃，运行2分钟后仍不能降低，应作为故障停机，全年超温运行累计不得超过400小时。
- (4) 主蒸汽温度低于允许变化下限5℃时，应降低负荷，直至停机。

(5) 调速系统连杆脱落或折断，调速汽门卡住。

(6) 调速汽门全关，发电机出现电动机的运行方式，带动汽轮机运转达3分钟。

余热发电汽轮机组作为整个发电系统的动力源，设备精密，运行转速高，是发电系统的三大主机之一，怎样确保机组的安全稳定运行是每一个发电运行、维护人员的夙愿。这就要求我们相关工作人员在停运时全方位系统维护；开机前静态试验不遗漏、常态化，确保保护系统准确有效。开机过程中动态试验反复做，确保关键时刻机组停的下。生产运行中，严格按照规程谨慎操作、精准监控，操作无疏忽、监控无死角。遇到突发情况，沉着冷静，抓住重点，迅速正确判断，采取有效措施，才能确保整个汽轮发电机组的安全稳定运行。

参考文献

- [1] 金振齐，陈汝庆，顾昌. 水泥厂余热利用研究[J]. 节能. 2021, (3). DOI: 10.3969/j.issn.1004-7948.2001.03.002.
- [2] 胡中锋，李文，唐雁春，等. 水泥厂余热发电技术在我国的應用[J]. 黑龙江电力. 2022, (5). 31-34.
- [3] 李文，唐雁春，李红英. 水泥厂带补燃锅炉的中低温余热发电系统[J]. 应用能源技术. 2020, (3). 35-37.