

机械技术

汽轮发电机组汽机真空度下降的原因分析及处理措施

周林水¹ 郑岩峰² 石杰杰³ 宋键⁴ 江铃军⁵ 王斌⁶
宁波钢铁有限公司 浙江宁波 315800

【摘要】在电厂运行过程中，汽机的真空度是一个关键因素，低真空度影响汽轮机的稳定运行。目前，电厂使用蒸汽轮机进行热循环，冷凝设备的密封和密封性至关重要。整个冷凝装置也是整个系统的关键，直接影响整个涡轮机的效率和运行状况。它的安全性、可靠性和稳定性也是技术研究的重点。

【关键词】汽轮发电机组；汽机真空度；下降；处理措施

Reason analysis and treatment measures of the vacuum degree decrease of steam turbine generator set

Zhou Linshui¹ Zheng Yanfeng² Shi Jie³ Song Jian⁴ Jiangling Army⁵ Wang Bin⁶

Ningbo Iron & Steel Co., Ltd., Zhejiang Ningbo 315800

【Abstract】In the operation process of power plant, the vacuum degree of steam turbine is a key factor, and the low vacuum degree affects the stable operation of steam turbine. At present, the power plant uses the steam turbine for thermal circulation, and the sealing and sealing of condensation equipment is very important. The whole condensing unit is also the key to the whole system, directly affecting the efficiency and operating condition of the whole turbine. Its safety, reliability and stability are also the focus of technical research.

【Key words】steam turbine generator set; steam turbine vacuum degree; drop; treatment measures;

前言:

汽轮发电机组汽机冷凝器的真空直接决定汽轮机发电效率直接影响经济效率。根据这项研究真空指数每下降1%。在电厂运行过程中如果汽轮机真空系统出现密封性问题，导致真空不断减少就会影响系统的稳定运行影响电厂的经济效益。

一、分析基本原理

汽轮机主要利用高温高压蒸汽来旋转汽轮机，将蒸汽的内能转化为动能。除了少量的泄漏，大部分蒸汽进入冷凝器并凝结成水。真空系统由抽真空系统和密封蒸汽系统组成（见图1），其作用是通过建立凝汽器的高真空来建立汽轮机组的低背压，使蒸汽能够最大限度地把热能转变为汽轮机的动能。所以真空系统性能的优劣将直接影响抽凝汽轮机组的经济性和安全性，真空严密性是检验真空系统性能优劣的重要指标。如果冷凝器的冷却铜管被饱和或堵塞，导致蒸汽水热交换效率降低，端差增加，将严重影响冷凝器的冷却效果，减少冷凝器的真空。在这些情况下，由于冷却水的体积有限，冷凝器的排气存在；废气和冷却水的热交换面积不可能无限大，这也与电容器的工作条件有关。如果冷凝器的铜管上有粘合剂或空气附着在铜管上就会增加排气压力真空下降。当冷凝水泵的吸力不足或蒸汽侵蚀发生时，冷凝水

水位迅速上升，蒸汽水混合物的体积空间减少，冷凝水的绝对压力逐渐增加，即真空减少。并且由于空气的存在，蒸汽与冷却水的换热系数降低，也会导致排汽温度上升，可能造成低压设备氧腐蚀。

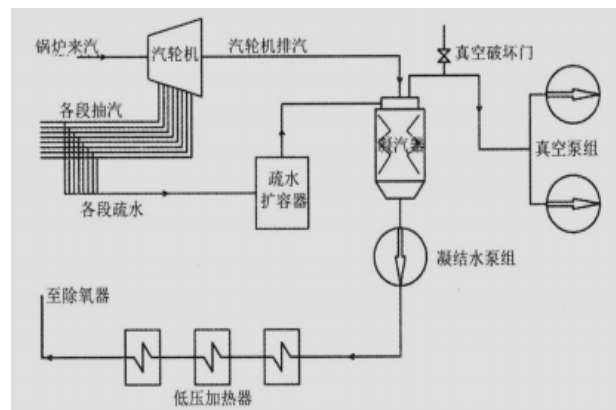


图1 真空系统示意图

二、汽轮发电机组汽机真空度下降存在问题

低真空度影响机组的负载连接自汽轮机真空系统投入使用以来，多次观察到真空水平低影响了高负荷机组的长时间运行。特别是在夏季环境条件高机组连续运行期间，冷凝器的真空度较差，反复导致机组运行负荷较低。有时即使两个抽水泵同时工作，也很难维持正常的真空工作。在夏季负

荷接近 80%的情况下夏季无法满负荷运行,成为全年发电任务的障碍。安全、质量、效率是企业的生命线,降低生产成本是企业效率提高的结果。

低真空水平会对机组造成伤害。在降低真空度的同时保持满负荷运行,蒸汽消耗不可避免地增加,导致汽轮机第一级过载;当真空严重恶化时,废气温度升高,蒸汽流量、轴向牵引力和轴向位移高于汽轮机的设计值,导致显著的振动。当真空的速度急剧下降时,也会引起机组中心的变化,导致汽轮机转子振动、最后一级叶片爆炸等异常,甚至导致汽轮机事故。

三、影响真空的主要因素分析

冷凝器的过冷和空气阻力。冷凝水的温度低于冷凝水喉压下的饱和温度。温度是过冷。通常过冷为 $0.5 \sim 1^\circ \text{C}$ 。显著的过冷程度表明冷却水带走了更多的热量。这种损失应由锅炉燃烧的燃料来补偿。此外,过冷率越高凝结水中的氧气就越多,这就加快了设备和管道的腐蚀速度。同时由冷却水除去的废气蒸发的隐藏热量也会相应减少。降低冷凝器的真空度对其热量节约有显著影响。此外,冷凝器的过冷也受到冷凝器内部蒸汽阻力的影响。冷凝器排气口的压力是最小的。蒸汽和空气的混合物从冷凝器的喉部流向排气管。当通过管道时,有一个流动阻力。排气管之间的压力下降被称为蒸汽阻力。蒸汽阻力通常在 $260 \sim 400 \text{ Pa}$ 之间。在运行过程中,要求较小,因为当排气孔压力保持不变时,蒸汽阻力越大,汽轮机的反向压力就越高。此外,当蒸汽阻力增加时,过冷也会增加,影响冷凝器内部的真空。

真空系统的密封性。在实际操作中由于各种原因,空气和循环水总是或多或少地流向基于冷凝器的真空系统。这样的泄漏可能会影响机组人员的经济和安全。在严重泄漏的情况下,有必要强制关闭设备。当空气进入冷凝器时冷凝器内的真空减小,传热效应降低,凝析水中的氧气含量增加,设备腐蚀速度加快,部分蒸汽压力相对降低。冷凝水的温度低于冷凝水的总压力,相应的饱和温度和过冷温度升高。因此应通过真空密封性试验或真空系统检测器对真空系统进行彻底检查,以消除真空系统密封性差的因素。

冷凝器的钢管泄漏会影响真空。当冷凝器内部的钢管变脏时,就会影响冷凝器的热交换,增加冷凝器的温差,提高废气的温度。在此期间,冷凝器内部的水阻力增加,冷却流量减少,冷却水温差也增加,导致真空减少。电容器钢管泄漏是电容器最常见的故障之一。冷凝器钢管的泄漏会导致高固体冷却水落在冷凝器蒸汽的一侧,导致水位上升真空减少。凝析水的质量也在恶化,导致锅炉等设备酸化和腐蚀。在严重的情况下,这可能导致锅炉爆炸。随着水温在冷却水过程中逐渐升高,相应的管道外蒸汽压力也随之升高。因此,随着冷却水的循环,冷凝器内排气管上的排气管直径数量逐渐减小,以确保排气管内外的压力差大致相等。如果在安装

过程中排气管安装在相反的方向。这将不可避免地破坏抽取空气在冷凝器中的流动分布,在冷凝器中创造一个空气积累区,导致冷凝器的热传递差增加。

四、汽轮发电机组汽机真空度下降的原因

循环水中断或流量不足。当真空值变为零时冷凝器循环泵出口的压力迅速下降,导致冷却塔没有水。常见的原因是水泵或驱动电动机故障,或出口分配器故障导致进水口水位低。当循环水中断时,必须迅速清除汽轮机负荷,不能立即停止。主要原因可分为内阻力大,循环水输入和输出水压过高,如果设备内阻力降低,输入压力明显低于输出压力,可能是由于外来物质堵塞了设备内的管板。如果循环水供给量很小真空装置指示器前后摆动,设备内部有明显的噪声,主要可以得出设备的输出被打开了或输出没有完全打开的结论,需要根据实际情况进行调查来解决问题。当发电厂使用开放水作为循环水时,循环水的温度随环境而变化。例如,在炎热的夏季,循环水比其他季节更热,直接导致反应堆热循环和交换效率下降。最重要的是当循环水的温度上升时,在流动过程中吸收的热量减少,导致反应堆内部的温度高于正常水平,导致排气压力增加。据相关统计,容器内循环水温度每上升 5°C ,容器真空度就会下降 1%说明循环水温度会影响容器的真空度。

后轴密封的蒸汽供应不足或中断。密封后轴的空气供应不足会导致周围的空气进入设备,导致真空减少。外部气体进入冷凝器导致冷凝器内未冷凝蒸汽的比例增加,导致传热速率降低。如果不及及时增加冷凝器内部的真空,就会导致转子压缩使膨胀差向负方向改变。

真空泵故障。通常情况下真空泵或真空泵的故障会导致排气管排放水或释放空气,导致进水和出水之间的温差增加,增加冷凝水的循环。这可能相对少量的冷却水,导致存在冷凝和喷管效率不冷凝气体吸收装置,降低中面板、管板的缺陷或障碍正常排放水冷凝冷却器冷却管道破裂或弱化管孔板也会导致水蒸气不能正常结论,喷管腐蚀也会降低排气扇的效率,导致真空减少。

冷凝器冷却表面的污染或腐蚀可能导致传热恶化。当冷凝器中的铜管变脏时,就会影响冷凝器的热交换,从而增加冷凝器的最终温差提高废气温度。此时,冷凝器中的水阻力增加,冷却流量增加。冷却水入口和出口之间的温差也增加了导致真空减少。在电容器表面应用的主要原因是进入体内的循环水质量差。在铜管表面工作一段时间后会引发氧化和杂质从而降低铜管的传热效率。

真空冷凝器系统并非僵化,一边几个泄漏导致流入空气当出现真空系统密封不好,周围很多薄泄漏,导致外部气流,导致真空在冷凝器冷凝不可能严重影响热传导系统总的来说,导致降低真空系统内部。然而这种类型的真空正在慢慢减少。当达到一定的值时,内部和外部的平衡保持不变,这

表明泄漏量和回收量是动态平衡的。冷凝器中过多的非凝结气体可能会影响热传导导致真空异常减少。这表明泄漏量和采收量已经达到平衡。当真空系统不刚性时, 泄漏率增加主要现象是排气涡轮温度与冷凝器出口循环水温之差增大, 冷凝水过冷增加。

五、处理措施

真空查漏方法。采用水灌装法, 找出浅真空系统的优缺点。真空系统很难检测到大量的共压点, 包括大量的设备和系统以及空气泄漏。由于吸入的空气不是直观的, 传统的火焰探测方法既繁琐又无效。在大多数情况下, 使用的方法是关闭机器, 向真空系统注水, 并寻找漏洞。这种方法更直观, 更容易识别漏洞。利用停机消缺机会, 对真空系统老旧管道进行检查, 发现凝结水泵进水管底部腐蚀烂穿, 有两处明显漏点, 随后进行了更换。检修结束进行真空严密性试验(见表1), 均不合格, 第二次下降速度明显减少, 但仍存在低压部分漏空气现象。如果我们能探测到汞, 我们就能探测到它并识别可疑地点。这种方法需要大量的设备使用困难需要3-4人的工作。氦气的质量保持和控制方法取决于环境, 气流影响测试结果。此外在复杂的管道位置很难确定泄漏点。检验真空空气密封性的方法超声波的优缺点。超声检查是一种方便的方法。首先对于个人来说, 操作简单易行。此外, 泄漏点的正确位置也得到了准确的定义。缺点是当使用这种方法检测泄漏时, 测试操作员的质量要求很高, 需要有丰富的工作经验来准确定位泄漏位置。此外肥皂泡技术也可以用来检测泄漏。

表1 检修后不同工况下的严密性试验

工况/ MW	轴封汽压力/ MPa	5段抽汽口压力/ MPa	真空度/ kPa	下降幅度/ kPa
40	0.008	0.010	-94.6	1.60
48	0.015	0.030	-95.8	0.76

加强设备的维护和及时维修。随着设备的磨损设备会老化和腐蚀。设备的定期维护和维修是必要的, 以确保正常运行。同时, 冷却水的流量和速度要根据实际生产情况及时调整。不断优化真空泵性能, 加强相关设备冷凝水泵、真空泵、的日常维护, 制定适当的科学操作说明书, 避免因操作错误造成的生产事故。加强设备监控建立适当的实时监控系统: 使用实时监控技术监控水密封设备和冷凝器的运行参数, 防止水密封设备损坏或漏水。

参考文献

- [1]王凯.汽轮机真空度下降故障及防范措施探析[J].内燃机与配件, 2023(3): 167-168.
- [2]李守宁.电厂汽轮机凝汽器真空严密性优化措施研究[J].信息周刊, 2024(3): 1.
- [3]徐强.浅析滇东电厂汽轮机真空度下降的原因和预防措施[J].中国新通信, 2022, 17(19): 110-111.

自动蒸汽供应压力和自动冷凝器水位必须可靠地运行。控制阀的运动应可靠冷凝器的水位和密封轴的蒸汽压力应加强控制。保持轴和水密封系统的正常运行; 保持密封轴的正常水位; 调整汽轮机轴端密封间隙, 以减少轴端蒸汽泄漏严格控制低压蒸汽的压力和温度。如果蒸汽密封系统不能正常工作, 应及时进行分析。管道负压段的设计应充分考虑到扩建问题。应尽可能避免不利的工作条件应及时更换泄漏阀, 以提高真空密封性。

保证水的合理硬度。在正常汽轮机运行条件下如果冷凝水质量差, 硬度低于标准值, 可能会导致管板开口出现细孔导致冷凝水泄漏。在这种情况下不建议直接关闭电容器。一些小木片可以放置在循环水泵的入口。它们可以在冷凝器上打小孔从而增加冷凝器的真空, 支持机组的正常运行。及时清洗污渍端口, 确保不间断的进出: 保持冷凝器壁和水的清洁, 减少冷凝器在铜管上的应用。目前最有效的方法是清洗橡胶球。

六、经验分析

目前, 考虑到环境保护和经济效益, 生产商在设计 and 选择涡轮发电设备系统时应尽可能选择标准产品, 一般不鼓励使用非标准产品, 以避免不必要的问题。标准产品经过各种测试, 质量保证, 确保生产顺利进行, 减少损失创造效益。汽轮机发电机组不同于大型机组, 其抗弯曲能力非常差, 任何轻微的弯曲都可能造成各种问题导致机组稳定性差。例如, 组之间相同大小的真空泄漏点对块的性能有显著影响。因此小型装置的设计、操作和维护需要考虑各种细节和因素。当汽轮机发电机组不能正常工作时, 经过对机组的仔细分析和检查, 不放弃任何提示遵循科学的方法, 专业的实践密切相关, 最终拯救了机组, 目前运行良好为公司创造了良好的优势。

结论:

汽轮机真空系统通常较大涉及的因素更多也更复杂。每年由真空下降引起的工业事故占绝大多数。因此在实际生产操作过程中, 有必要及时检查和消除隐藏的危险, 做好防止真空坠落的工作。对冷凝机组系统进行全面分析深入研究和分阶段规划, 确定降低真空的关键驱动因素确保机组安全、经济效益最大化确保机组安全经济运行。