

凝汽器真空系统泄漏原因分析及预防对策

张德齐

中国能源建设集团天津电力建设有限公司 天津 300180

DOI: 10.12238/ems.v7i4.12736

[摘要] 凝汽器真空系统的泄漏直接影响机组的热效率与安全运行,严重时可能导致汽轮机经济性下降及设备损坏。基于新建电厂的运行特点,分析了真空系统泄漏的主要原因,包括运行工况变化、系统连接部位密封失效、循环水侧泄漏及空气进入路径等。针对这些问题,提出优化密封结构、加强运行监测、提高真空抽气系统效率以及优化运行参数等预防对策,以降低真空系统泄漏的风险,确保机组高效、安全、稳定运行。

[关键词] 凝汽器;真空系统;泄漏分析;运行优化;密封技术

引言:

凝汽器真空系统在汽轮机运行中发挥着至关重要的作用,其密封性能直接影响机组的热经济性和安全稳定性。然而,在实际运行过程中,真空系统泄漏问题较为常见,不仅导致机组效率下降,还可能引发严重的设备故障,甚至影响机组的长周期稳定运行。泄漏的发生往往受多种因素影响,包括运行环境、系统老化以及外界干扰等。如何精准识别泄漏原因,并采取有效的预防对策,是保障新建电厂机组安全高效运行的关键。通过对真空系统泄漏机理的深入分析,结合工程实践中的优化策略,可为凝汽器真空系统的设计、运行和维护提供重要的技术参考,从而提升机组整体运行效率,减少不必要的经济损失。

一、凝汽器真空系统泄漏的影响及危害

凝汽器真空系统的密封性直接关系到汽轮机组的热经济性和安全性,一旦发生泄漏,将对机组的运行性能造成严重影响。真空系统泄漏主要表现为冷端真空度降低,导致汽轮机排汽压力升高,使排汽焓增大,从而直接降低汽轮机的热效率。背压升高会使得单位发电功率的热耗增加,机组煤耗或能耗上升,影响整体的经济性。长期运行情况下,热效率下降所带来的燃料消耗增加不仅提升了发电成本,还可能造成环境污染加剧。因此,确保真空系统的稳定性,对提高机组效率至关重要。

真空系统泄漏还可能对机组的安全性构成威胁。在真空降低的情况下,凝汽器换热能力下降,导致排汽温度升高,容易造成叶片末级湿汽含量增加,进而加剧汽轮机低压末级叶片的冲蚀现象。这种冲蚀现象的积累可能会导致叶片强度下降,严重时甚至发生叶片断裂等重大设备损坏事故。凝汽器内部真空下降可能引起汽水循环系统的流量波动,使冷端系统运行不稳定,进而影响整个机组的负荷调节能力。

除了影响热经济性和安全性,真空系统泄漏还会对设备寿命产生不利影响。空气和不凝性气体进入凝汽器后,会积聚在换热管束周围,形成气阻,使换热效率降低,并可能导致局部过热,缩短设备的使用寿命。同时,空气中含有的氧气与湿热环境相结合,容易在凝汽器及相关管道系统内造成腐蚀,特别是在低温部位更容易形成氧腐蚀,导致管道壁厚减薄,增加泄漏风险。这种腐蚀长期发展可能会引发管束穿孔或密封连接部位劣化,使泄漏问题进一步加重,形成恶性循环。

真空系统泄漏可能导致真空抽气系统负荷增加,影响设备运行的稳定性。泄漏点增加后,真空泵或射流器需要处理更多的非凝性气体,可能导致抽气系统效率下降,甚至超负荷运行,缩短设备寿命。

二、凝汽器真空系统泄漏的主要原因分析

凝汽器真空系统的稳定运行受多种因素影响,一旦发生泄漏,将直接影响机组的真空度,进而影响汽轮机组的经济性和安全性。导致真空系统泄漏的原因复杂,主要包括运行工况变化、密封结构失效、连接部位泄漏、循环水侧泄漏及

空气渗入等方面。

运行工况的变化是造成真空泄漏的重要因素之一。在机组启停过程中,负荷波动较大,真空系统的运行条件也随之变化,可能导致密封结构和连接部位的适应性下降,产生泄漏。此外,在高负荷运行时,凝汽器换热负荷增加,可能导致热膨胀不均,引起局部连接部位受力不均而导致泄漏。低负荷运行时,由于抽气系统工作条件的变化,部分区域可能产生负压不足的情况,进而影响真空系统的整体密封性。

密封结构的失效是影响真空系统泄漏的直接原因。真空系统的多个关键部位依赖密封结构来维持负压环境,如轴封、阀门密封、法兰垫片等。这些密封结构在长期运行过程中可能因老化、受力不均或安装质量问题导致密封性能下降。例如,汽轮机轴封如果出现磨损或间隙增大,空气容易渗入凝汽器,导致真空下降。同样,凝汽器与排汽管道的连接处如果密封不严,也可能成为泄漏点,影响机组的真空度。

连接部位的泄漏同样是凝汽器真空系统泄漏的重要因素。凝汽器与汽轮机排汽口、真空抽气系统、循环水系统等多个部件通过法兰、焊接或螺栓连接,如果这些连接部位存在安装不当、密封失效或长时间运行造成的结构变形,都可能形成泄漏点。例如,法兰连接处的垫片因长期受热受压,可能发生老化或压缩变形,从而导致密封性能下降,引发真空泄漏。

循环水侧的泄漏也是导致真空度下降的重要原因。循环水系统与凝汽器之间存在大量换热管,如果管束因腐蚀、冲刷或应力作用导致穿孔,循环水就可能进入凝汽器内部,使真空度降低。同时,循环水侧的接口、阀门或冷却水泵的密封不良,也可能造成系统内部压力失衡,影响凝汽器的真空环境。尤其是在含盐量较高或腐蚀性较强的水源条件下,管束的损坏风险更大,导致泄漏的可能性更高。

空气渗入是影响真空系统的重要外部因素。凝汽器本体和相关管道系统如果存在微小缝隙,外界空气就可能渗入,降低系统的真空度。特别是在负压较大的部位,如抽气系统接口、压力测量点以及焊接接头处,空气渗入的可能性更高。若真空抽气系统运行不良,无法及时排出进入系统的空气和非凝性气体,也会导致真空度持续下降,影响机组的稳定运行。

三、凝汽器真空系统泄漏的诊断与检测方法

凝汽器真空系统的泄漏直接影响机组的经济性和安全性,因此及时准确地诊断和检测泄漏点至关重要。目前,常见的泄漏检测方法包括气体示踪法、超声波检测法、负压测试法等,这些方法各具特点,适用于不同的工况和泄漏情况。

气体示踪法是一种较为精准的泄漏检测手段,通常采用氦气或二氧化硫作为示踪气体。检测时,向凝汽器系统内注入示踪气体,并在可能的泄漏点处使用高灵敏度的气体检测仪进行扫描,以识别气体泄漏的位置。这种方法适用于检测微小泄漏,尤其在复杂结构或隐蔽区域的泄漏诊断中具有较高的精度。

超声波检测法利用声波传播的特性,通过高频传感器捕捉泄漏气体产生的超声波信号。真空系统泄漏时,空气或气体通过缝隙高速流动,会产生高频声波,而超声波检测仪可以探测到这些信号,并定位泄漏点。此方法的优势在于可在机组运行状态下进行检测,不影响系统正常运行,同时操作简便,适用于检测较大泄漏。然而,对于极微小的泄漏或者环境噪声较大的场所,超声波检测的精度可能受到一定影响,因此需要结合其他方法进行验证。

负压测试法是利用压力变化来判断系统是否存在泄漏的一种常规检测手段。该方法通常在机组停机检修时进行,即将系统密封后抽成负压,并监测一段时间内真空度的变化情况。如果真空度下降较快,则说明系统存在泄漏。该方法操作简单,适用于初步判断系统的密封性,特别适用于较大范围的泄漏检测。

涂抹检漏法是一种简便的泄漏检测方法,适用于外部连接部位的泄漏检查。检测时,在疑似泄漏点处涂抹肥皂水或专用检漏液,如果有泄漏,气泡会不断增大,从而判断泄漏点。该方法适用于较大泄漏的初步筛查,但对于内部微小泄漏或隐蔽部位的泄漏,检测效果有限。

四、凝汽器真空系统泄漏的预防与治理对策

凝汽器真空系统的泄漏问题直接影响机组的热经济性和安全稳定运行,因此需要采取有效的预防与治理对策,以减少泄漏的发生并提高系统的可靠性。针对泄漏的不同原因,可从优化密封设计、提升抽气系统效率、优化运行参数以及加强在线监测等方面入手,综合提升真空系统的运行性能。

优化密封设计是减少真空泄漏的关键措施之一。密封结构的合理性和密封材料的耐久性直接影响系统的密封性能。在轴封、法兰连接、阀门等关键部位,应选用高性能的密封材料,如耐高温、耐腐蚀的金属垫片或复合密封材料,同时优化密封结构,减少由于热膨胀、振动等因素引起的密封失效。

提升抽气系统的效率对于维持稳定的真空度至关重要。抽气系统的作用是及时排除进入凝汽器的空气和非凝汽体,减少其对真空度的影响。可以通过优化真空泵的运行模式,提高射流器或水环真空泵的工作效率,确保系统在不同负荷条件下均能维持稳定的抽气能力。同时,应定期检查真空泵及其附属管道,确保排气通畅,防止管道堵塞或设备故障影响真空度的维持。

优化运行参数可以有效减少因运行不当导致的真空系统泄漏。在机组运行过程中,应合理控制凝汽器冷却水流量与温度,避免换热效率下降导致真空降低。同时,应优化机组启停过程的操作规程,减少由于热膨胀不均、振动过大等因素引起的密封部位损坏。此外,合理调整背压控制参数,使其处于最佳工作范围,避免真空系统因运行条件突变而导致泄漏风险增加。

加强在线监测是提高真空系统稳定性的重要手段。通过安装真空度传感器、气体成分分析仪等在线监测设备,可以实时监测系统的真空度变化及非凝汽体含量,及时发现泄漏迹象。此外,结合超声波检测、气体示踪等技术,可以在早期识别微小泄漏点,并进行针对性处理,防止泄漏扩大。定期开展泄漏检测与评估,建立泄漏管理数据库,对易发生泄漏的部位进行重点监控,能够有效提升系统的安全性和运行可靠性。

五、新建电厂凝汽器真空系统运行优化建议

新建电厂的凝汽器真空系统运行优化需要结合现代机组的运行特点,采取科学合理的技术措施,以提升系统的可靠性和经济性,确保机组长期稳定高效运行。优化措施主要包括提升真空系统设计水平、加强设备运行管理、优化运行参数、完善监测手段以及强化维护与检修策略。

提升真空系统的设计水平是优化运行的基础。在新建电厂的设计阶段,应充分考虑机组容量、冷却方式和环境条件,合理选择凝汽器类型及其换热管布置方式,以提高换热效率,降低排汽压力。同时,在真空系统的关键部位,如轴封、抽气系统和连接部位,采用高性能密封材料和优化结构设计,以减少泄漏风险。抽气系统应配备高效水环真空泵或射流器,并合理布置排气管道,减少阻力损失,确保抽气能力能够满足不同负荷条件下的需求。

加强设备运行管理是提升真空系统可靠性的关键。运行过程中,应密切关注凝汽器的冷却水温度、真空度、排汽压力等参数,确保系统处于最佳工作状态。针对新建电厂的特点,可建立智能化监测系统,结合大数据分析技术,对真空系统运行状态进行实时监控,并根据负荷变化调整运行策略,提高真空系统的适应性。

优化运行参数能够提高凝汽器的工作效率。冷却水流量、进水温度及抽气系统的运行模式对真空度有直接影响,应根据环境温度变化和机组负荷情况动态调整冷却水系统的运行参数,确保冷端温降合理,换热效果最佳。同时,合理控制汽轮机背压,避免背压过高影响热经济性,也防止背压过低可能引发汽蚀等问题。对于采用循环水冷却的电厂,可通过调节冷却塔风机运行模式或优化循环水泵运行策略,进一步降低能耗,提高运行经济性。

完善监测手段有助于提高故障预警能力。通过安装高精度真空度传感器、空气含量分析仪、超声波泄漏检测仪等在线监测设备,可实现对真空系统泄漏及运行状态的实时诊断。结合智能诊断系统,能够快速识别异常工况并采取针对性措施,防止真空系统泄漏影响机组稳定性。

强化维护与检修策略是确保真空系统长期稳定运行的重要保障。新建电厂应制定完善的设备巡检和维护计划,定期检查密封部位、抽气系统和循环水系统,防止因部件老化或松动引发泄漏。特别是对于凝汽器换热管,应加强防腐措施,减少管束穿孔风险。对于抽气系统,应定期清理真空泵和管道,确保抽气能力不受堵塞或结垢影响。

结语:

凝汽器真空系统的稳定运行对机组的热经济性和安全性至关重要。通过分析泄漏的影响、成因、检测方法及预防治理措施,提出优化运行策略,以提高真空系统的可靠性和经济性。针对新建电厂,优化密封设计、提升抽气系统效率、加强在线监测及精细化维护,可有效降低泄漏风险,确保机组长期稳定运行。未来,应结合智能化监测与数据分析技术,进一步提升真空系统的运行管理水平,推动电厂高效、安全、可持续发展。

【参考文献】

- [1] 马岩昕,王丽颖,张琛,邵龙飞,赵春梅. 300MW 机组真空低原因分析与治理[J]. 内蒙古电力技术, 2012, 30 (05): 93-96.
- [2] 袁捷,钱卫武,施晓炜,韩竞一. 凝汽器真空系统泄漏的原因分析及处理[J]. 华电技术, 2018, 40 (08): 59-60+71+80.
- [3] 梁长伟. 凝汽器真空下降的原因及对策分析[J]. 科学大众 (科学教育), 2018 (11): 194. DOI: 10.16728/j.cnki.kxdz.2018.11.171.
- [4] 张德泽. 凝汽器真空系统泄漏原因分析及处理[J]. 低碳世界, 2021, 11 (10): 117-119. DOI: 10.16844/j.cnki.cn10-1007/tk.2021.10.058.
- [5] 卢昀,魏佳琪. 凝汽器真空下降的原因及预防措施[J]. 科技视界, 2022 (14): 51-53. DOI: 10.19694/j.cnki.issn2095-2457.2022.14.15.