

火电厂汽机凝汽器真空偏低故障分析及治理技术

闫晓星

华电库车发电有限公司 新疆 阿克苏 842000

摘要: 本文针对火电厂汽机凝汽器真空偏低问题,系统分析了故障成因并提出了针对性治理技术。首先,阐述了凝汽器利用循环冷却水对排汽实施强制冷凝形成真空环境的工作原理,以及真空偏低对机组经济性与设备安全性的危害。其次,从负压系统密封失效、换热系统结垢堵塞与冷却水工况异常、抽气设备性能衰退及运行工况偏离四个维度,深入剖析了真空偏低的核心故障原因。最后,提出了负压系统密封查漏堵漏、换热系统清洁与工况优化、抽气设备性能恢复及运行工况精细化管控四项治理技术,为火电机组凝汽器真空偏低问题的诊断与治理提供了系统化的技术参考。

关键词: 火电厂;汽轮机;凝汽器;真空偏低;故障分析;治理技术

引言: 凝汽器真空度是衡量火电机组运行状态的核心指标之一,其稳定程度直接关系到机组的发电效率与设备安全。在“双碳”战略背景下,火电机组运行经济性要求日益提高,凝汽器真空偏低所引发的煤耗升高、设备损伤等问题愈发受到行业关注。当前,部分火电机组因系统密封缺陷、换热管结垢堵塞、抽气设备性能衰退及运行工况管控粗放等原因,凝汽器真空持续偏低,导致机组热耗率上升、厂用电率增加,甚至触发降负荷或停机保护,严重制约机组安全经济运行。因此,系统分析凝汽器真空偏低的核心故障原因,并提出科学有效的治理技术,对提升火电机组运行水平具有重要的工程实践意义。本文围绕凝汽器工作原理及真空偏低危害展开分析,深入剖析故障成因,并提出针对性治理方案。

1 凝汽器工作原理及真空偏低的危害

凝汽器是火电机组热力循环的关键辅助设备,其核心工作原理是利用循环冷却水与汽轮机低压缸排汽之间的温差,通过铜管或不锈钢管表面的对流换热,对高温低压状态下的气态排汽实施强制冷却,使排汽由过热蒸汽转变为饱和蒸汽,再进一步凝结为液态凝结水。由于气态向液态的相变过程伴随体积的急剧收缩,在凝汽器壳体内部形成高度负压的真空环境。同时,凝汽器需配合射水抽气器、水环式真空泵或机械真空泵等抽气设备,持续抽出系统内积聚的不凝结气体及漏入的空气,防止不凝结气体分压升高导致真空度下降,维持凝汽器内部真空环境的长期稳定,确保汽轮机排汽能够持续、顺畅地排入凝汽器,保障机组热力循环的连续运行。

凝汽器真空偏低对机组运行的危害集中体现在设备安全与运行经济两大层面。在经济性方面,真空下降直接导致汽轮机排汽背压升高,机组有效焓降减少,在同

等发电负荷条件下燃煤消耗量显著增加,机组热耗率上升,发电效率大幅降低;同时循环水泵、真空泵等辅助设备运行负荷升高,厂用电率上升,进一步恶化机组运行经济性。在安全性方面,排汽背压升高使排汽温度持续上升,造成低压缸法兰结合面、轴承座等部件受热不均而产生热变形,引发机组轴系振动幅值增大、轴向位移超出允许值;排汽温度过高还会导致凝汽器铜管胀口因热应力反复作用而松动,出现冷却水泄漏缺陷,恶化凝结水水质,间接威胁锅炉给水系统及汽轮机主设备的安全运行,严重时将触发机组降负荷或紧急停机保护^[1]。

2 凝汽器真空偏低核心故障原因分析

2.1 系统密封性不良,外部空气泄漏

凝汽器及相连负压系统漏气是引发真空偏低最常见、最核心的原因。凝汽器运行时内部处于负压状态,若系统密封存在缺陷,外界空气会持续渗入设备内部。空气属于不凝结气体,无法通过冷却水凝结液化,会不断在凝汽器换热区域积聚,挤占换热空间,阻碍排汽与铜管冷却水的热交换,同时提升凝汽器内部混合气体压力,直接造成真空下降。

漏气缺陷主要集中在负压系统薄弱部位:(1)凝汽器本体焊缝、法兰结合面、人孔门、端盖等位置,长期受温度交变、振动应力影响,密封垫片老化、焊缝开裂引发漏气;(2)汽轮机低压缸轴封、真空管道阀门、疏水管道接口等附属部位,密封间隙过大、阀门内漏或接口松动导致空气渗入;(3)凝结水泵、真空压力表测点、放水排气阀等小型设备接口密封失效,形成细微漏气点。且细微漏气点隐蔽性强,长期持续漏气会造成真空缓慢下降,是日常运维中最易忽视的故障因素。

2.2 换热系统缺陷,冷却换热效率不足

凝汽器依靠铜管管壁完成排汽与冷却水的热量交换,换热效率不足会导致排汽无法充分冷却凝结,直接造成真空偏低,核心诱因分为设备结垢堵塞与冷却水工况异常两类。长期运行过程中,循环冷却水含有的泥沙、藻类、矿物质会在凝汽器铜管内壁沉积,形成致密水垢、淤泥附着物,大幅降低铜管导热系数,阻碍热量传递;同时,部分铜管会出现生物黏泥附着、局部堵塞问题,缩减冷却水流通面积,降低整体换热效率。冷却水工况异常同样会直接影响换热效果^[2]。(1)循环冷却水进水温度过高,受环境温度、冷却塔换热效果影响,冷却水初始温度超标,导致排汽与水温差减小,换热驱动力不足,排汽凝结不充分;(2)循环水流量不足,循环水泵出力不足、管道滤网堵塞、阀门开度不足等问题,会造成冷却水循环流量偏低,单位时间内带走的热量减少,凝汽器内部热量积聚,排汽压力升高,真空度下降。

2.3 抽气设备工作性能异常

抽气设备的核心作用是持续抽出凝汽器内部积存的不凝结气体,是维持真空稳定的关键设备,其工作性能失效会直接导致不凝结气体堆积,引发真空偏低。火电厂常用的抽气设备分为水环式真空泵与射水抽气器两类,故障诱因各有侧重。水环式真空泵故障主要包括:泵体密封磨损、叶轮结垢腐蚀,导致泵体容积效率下降,抽气能力不足;真空泵工作水温度过高,水汽化现象加剧,破坏泵内水环稳定性,降低抽气效率;真空泵入口滤网堵塞、管道积水漏气,造成抽气通道受阻,无法有效抽出系统内不凝结气体。射水抽气器故障主要为射水泵出力不足、喷嘴堵塞、扩散管结垢,导致射流压力不足,无法形成有效抽吸负压,抽气效果大幅下降,最终造成凝汽器真空劣化。

2.4 机组运行工况及内部介质异常

机组日常运行工况偏离额定参数,也会间接引发凝汽器真空偏低。(1)汽轮机排汽量过大,机组超负荷运行、调门开度异常,导致单位时间内进入凝汽器的排汽量超出设备额定冷却能力,换热负荷超限,排汽无法及时凝结,内部压力升高;(2)凝汽器热井水位异常,热井水位过高会淹没部分换热铜管,缩减有效换热面积,降低换热效率,水位过低则会导致凝结水泵气蚀,间接影响系统介质循环稳定。(2)系统内部介质异常也会造成真空缺陷。机组疏水、补水带入的各类不凝结气体,会持续在凝汽器内部积聚;凝汽器铜管破损泄漏,冷却水进入凝结水侧,不仅会恶化水质,还会造成局部换热紊乱,引发真空波动、偏低问题。

3 凝汽器真空偏低针对性治理技术

3.1 负压系统密封查漏堵漏治理技术

针对负压系统漏气引发的凝汽器真空偏低问题,核心治理思路为精准查漏与彻底堵漏相结合,全方位恢复负压系统的密封完整性。日常运维中采用分段隔离查漏的方式,对凝汽器本体、低压缸负压区、真空管道、疏水系统、阀门接口及法兰连接面等全部负压区域进行逐一排查。优先采用肥皂水涂刷检漏法与超声波检漏法,对细微隐蔽漏气点进行精确定位,有效解决传统目视检漏方式精度不足、微小漏点遗漏的问题,确保查漏覆盖率达到全系统负压区域。针对排查出的漏点实施分类治理:对于法兰、人孔门等密封部位的泄漏,全部更换耐高温、耐老化的专用密封垫片,按照对角交叉顺序均匀紧固螺栓,确保结合面各部位压力均匀、无间隙;对于焊缝开裂、砂眼等金属本体缺陷,采用碳弧气刨清除缺陷后补焊打磨工艺,确保焊缝致密无渗漏;对于各类阀门、测点接口等松动部位,重新紧固密封连接,对老化失效、密封面损坏的阀门直接整体更换,从根本上杜绝内漏与外漏问题。同时,建立负压系统定期查漏机制,将密封性检测纳入日常巡检内容,常态化排查隐蔽漏点,从根源上杜绝外界空气渗入负压系统^[3]。

3.2 凝汽器换热系统优化与清洁治理技术

为解决换热效率不足引发的凝汽器真空偏低问题,需定期对凝汽器换热系统实施清洁维护与运行工况优化。针对铜管内壁结垢、黏泥沉积堵塞等问题,采用物理清洗与化学清洗相结合的综合治理方式。物理清洗采用高压水射流清洗技术,利用高压水流对铜管内壁附着的淤泥、松散水垢及生物黏泥进行彻底冲洗,该方式不会对铜管基体造成腐蚀或机械损伤;化学清洗选用与铜管材质适配的环保型缓蚀除垢剂,按照合规浓度配比药液进行闭式循环清洗,充分溶解并清除管壁内侧的致密碳酸钙水垢与硅酸盐沉积,清洗完成后严格执行大流量冲洗与钝化处理,在铜管内壁形成保护膜,防止基体金属发生二次腐蚀。同时优化冷却水系统运行工况,定期清理循环水入口滤网、冷却塔填料层中积聚的杂物与藻类,保证冷却水流通通道顺畅;根据环境温度变化与机组负荷波动,合理调整循环水泵运行台数与转速,确保冷却水流量与进水温度维持在额定设计区间;定期检测冷却塔换热性能,及时清理填料堵塞、喷淋分布不均等缺陷,有效降低冷却水回水温度,提升凝汽器整体换热温差与换热效率。此外,建立铜管定期检测机制,采用涡流检测或内窥镜检查等手段,及时发现并修复堵塞、变形、泄漏破损铜管,保障凝汽器有效换热面积满足设

计要求。

3.3 抽气设备性能优化与缺陷治理技术

针对抽气设备性能不足引发的凝汽器真空偏低问题,应实施专业化检修与运行工况优化,全面恢复设备额定抽气能力。对于水环式真空泵,定期开展解体检修,对泵体叶轮、机械密封、滚动轴承等核心部件进行磨损检测与更换,清理叶轮表面结垢与附着物,保证泵体容积效率;严格控制真空泵工作水温度在设计允许范围内,加装工作水温度在线监测与板式冷却装置,防止工作水因温度过高发生汽化而破坏水环密封稳定性,同时定期清理入口过滤网、排空管道内的杂物与沉积物,保证抽气通道畅通无阻。对于射水抽气器系统,定期检测射水泵出力与运行电流,检查喷嘴、喉管及扩散管的磨损与结垢状态,及时清理喷嘴堵塞、喉管内壁结垢等缺陷,更换老化破损管路与密封件,保证射流压力与抽吸能力稳定;根据机组负荷变化与凝汽器不凝结气体析出量,精准调整射水泵运行台数与阀门开度,使抽气设备出力与系统气体负荷实时匹配,确保不凝结气体能够被持续、彻底抽出,防止气体在凝汽器内积聚导致真空下降。同时建立抽气设备定期校验机制,定期开展真空严密性试验与设备性能测试,保证抽气设备始终处于最优工作状态。

3.4 机组运行工况精细化管控优化技术

通过实施机组运行工况的精细化管控,有效规避因工况异常引发的凝汽器真空偏低问题。严格控制机组运行负荷在额定范围内,杜绝长期超负荷或低负荷波动运行,保证汽轮机排汽量与凝汽器额定冷却负荷相匹配,防止因换热超限导致排汽背压升高。精准管控凝汽器热井水位,采用自动调节阀与人工校核相结合的方式,将水位稳定控制在额定设计区间内,既避免高水位淹没换热铜管导致有效换热面积减小,也防止低水位引发循环水泵及抽气设备气蚀损伤。优化机组疏水与补水系统运行方式,规范各级疏水投入时机与疏水量控制,减少疏

水携带不凝结气体进入凝汽器;定期监测凝结水水质指标,重点关注硬度、电导率等参数变化,及时发现铜管泄漏缺陷并快速实施隔离封堵处置,避免介质异常恶化换热性能与真空稳定性。同时完善机组真空在线监测体系,实时跟踪真空度、排汽温度、冷却水进出口温差、抽气设备运行电流等核心参数,建立真空异常趋势预判模型,实现故障提前干预与提前治理,避免真空持续偏低影响机组安全经济运行^[4]。

结束语

本文系统阐述了火电厂汽机凝汽器真空偏低的故障成因及针对性治理技术。凝汽器真空偏低是影响机组安全与经济运行的关键问题,其故障诱因涵盖负压系统密封失效、换热效率不足、抽气设备性能异常及运行工况偏离等多个层面。针对上述问题,本文提出了密封查漏堵漏、换热系统清洁优化、抽气设备性能恢复及运行工况精细化管控四项治理技术,形成了从故障诊断到综合治理的完整技术体系。未来,火电厂应持续推进凝汽器真空在线监测与智能预警系统建设,结合大数据分析趋势预判模型,实现真空异常的早期识别与主动干预,同时加强运维人员专业技术培训,提升故障排查与治理的精准性与时效性,切实保障机组长期安全、高效、稳定运行,助力火电企业实现节能降耗与绿色发展目标。

参考文献

- [1]梅龙,谢意,黎楠.火电厂汽轮机常见的振动故障分析及故障诊断技术研究[J].中文科技期刊数据库(全文版)工程技术,2025(1):127-130.
- [2]史亮,汤亚杰.火电厂锅炉烟气除尘脱硫环保治理技术创新分析[J].中文科技期刊数据库(全文版)工程技术,2025(10):054-057.
- [3]章志龙.火电厂汽轮机运行故障处理技术探究[J].中国设备工程,2025(2):205-207.
- [4]孟彦青.火电厂汽轮机运行故障处理技术实践分析[J].中国科技期刊数据库 工业A,2025(11):081-084.