

汽轮机疏水系统优化与能耗降低策略

刘天岳

包头东华热电有限公司 内蒙古 包头 014040

摘要: 本文针对汽轮机疏水系统存在的典型问题,提出了系统优化与能耗降低的综合策略。分析了东汽300MW机组疏水系统常见问题,包括汽缸上下温差大、抽汽管道积水导致跳闸失控、阀门泄漏与管道倒挂等。提出疏水管道合并简化、阀门选型与控制优化、监测与联锁保护等优化策略,并从提高给水温度与凝汽器真空、运行控制优化、热力系统与设备改造三方面制定能耗降低措施,为汽轮机疏水系统的设计改造与运行管理提供技术参考。

关键词: 汽轮机;疏水系统;优化;能耗降低;策略

引言

汽轮机疏水系统是确保机组安全稳定与经济高效运行的重要组成部分,通过在设备本体及管道低洼位置布设疏水管路与控制阀门,在启动、运行、变负荷及停机等工况下排放积水、防范回流并减少热量损失。然而东汽300MW机组运行中暴露出汽缸上下温差大、抽汽管道积水致跳闸失控、阀门泄漏与管道倒挂等问题,导致机组出力下降、启动时间延长甚至引发安全隐患。因此有必要从系统设计、阀门控制、监测保护及运行优化等方面开展综合研究,以提升疏水系统安全性与经济性。

1 汽轮机疏水系统设计核心要求

汽轮机疏水系统是保障设备安全与经济运行的关键环节。该系统在汽轮机本体及相关管道低点设置疏水管,通过控制疏水阀,在启动、运行、负荷变动、故障处理、停机及热态备用等工况下,排放设备及管道内部积水,防范进水或冷蒸汽回流,同时兼顾减少疏水介质及热量损失^[1]。疏水系统设计须满足四项要求:其一,所有可能积水的位置配备足够通流能力的疏水管阀;其二,在恰当位置安装液位开关、温度传感器等监测仪表,实时监控积水与回流状况;其三,设计联锁保护逻辑,通过自动化控制疏水阀开关,预防各工况下水或蒸汽回流;其四,在确保安全的前提下,提升系统经济性。疏水阀控制不能仅依赖机组负荷,须针对具体工况制定策略,确保无积水时不误开启。温度和压力监测可有效判断设备内部是否有积水——温度低于相应蒸汽压力下的饱和温度即表示积水存在。必须在隔离阀前和低点设置疏水管,确保及时排除积水。汽轮机本体需设计独立排放通道,避免高温蒸汽回流至汽缸。

2 疏水系统常见问题分析

2.1 汽缸上下温差大

在东汽300MW亚临界机组中,空转或停机后,中

压缸上下温差通常介于50℃至60℃,最大温差甚至达到86℃。经分析,原因在于高压缸和中压缸的疏水与其他高压管道的疏水汇集于同一疏水集管,导致不同压力等级的疏水在同一管段内混合,压力不均衡,造成高压外缸下内壁温度急剧下降。

2.2 抽汽管道积水与跳闸失控

汽轮机启停及正常运行期间,若抽汽管道存有积水,机组发生跳闸后,积水会受热汽化并反向回流至汽轮机内部,进而造成转子转速异常失控。某电厂技术改造东汽300MW机组曾出现此类问题:外置式扩容器排汽管道较长,蒸汽流速增大时管道压降明显增大,扩容器内扩容压力被迫提高,高于中压缸内压力后,中压缸有关疏水管道疏水严重不畅,甚至扩容蒸汽通过疏水管道倒入中压缸,造成中压缸被迫冲转,上下温差过大,延长启动时间。

2.3 阀门泄漏与管道倒挂

东汽300MW汽轮机高压疏水管道上的气控阀门承受很大压差,阀前蒸汽压力可达16.7MPa,阀后与真空状态的凝汽器相连通,关闭稍不严密即发生蒸汽泄漏。改造前高压疏水集管温度达347℃,次高压集管温度达370℃,表明大量高温高压蒸汽未经做功直接流入凝汽器,既减少机组出力,又增加凝汽器热负荷。疏水管道的压力倒挂问题同样引发积水或冷蒸汽回流^[2]。在机组温态启动过程中,冲转前主蒸汽压力较高,主蒸汽疏水至疏水扩容器的压力也较高,可能产生高压套缸疏水管段内积水倒流回高压套缸的情况,导致高压外缸下内缸温度急剧下降。

3 疏水系统优化策略

3.1 疏水管道合并与简化

同压力的疏水管路应尽可能合并,减少管道长度和阀门数量。合并原则为:合并的疏水来自同一机组,各管道在不同工况下压力均衡;不同疏水接入同一个疏水

集管中,保障压力等级完全相等;综合考虑疏水阀开启和关闭时各疏水口压力一致,避免管道内凝结水窜流,降低冲击力,防止管道泄漏。优化方案示例:主蒸汽、再热蒸汽管道疏水系统优化后,疏水点由13点减至11点,水阀组由13路减至7路,至凝汽器背压扩容器由13路减至6路,另设1路至定期排污扩容器。具体措施包括:将高压主汽门前蒸汽管道A、B两根疏水管道合并为一根;1至2号高压调节阀和3至6号高压调节阀后节流疏水的两根管道合并为一根;取消主汽隔离门后疏水管道;取消第1级抽汽隔离门后疏水管道及阀门;中压主汽门A、B前两根疏水管道合并为一根;中压导汽管A、B两根疏水管道合并为一根;分别取消第3至6级抽汽隔离门后疏水管道及阀门;取消中压缸排汽区疏水管道及阀门;高压旁路隔离门后疏水改为自动疏水器。

3.2 阀门选型与控制优化

电动球阀不宜作为疏水阀使用,选用普通球阀即可满足疏水需求。阀门选型须严格把控质量,选择性能可靠、制造标准高的产品,降低阀门内漏概率。内漏会导致高温高压蒸汽直接排入凝汽器或低压系统,造成工质与热量损失,同时影响机组负荷调节精度。在电动阀门前方设置手动阀门,当电动执行机构或控制系统出现故障时,可通过手动操作保证疏水系统正常工作,增强系统运行可靠性与可维护性。疏水阀控制不以机组负荷作为唯一判断依据。主蒸汽、再热蒸汽管道疏水阀的启闭,应以管道温度和压力监测数据为判断标准。当管道内蒸汽过热度足够大时,表明管道内无积水,疏水阀可以保持关闭状态,防止在极热态启动和甩负荷工况下,高温疏水进入本体疏水扩容器和凝汽器,对设备造成热冲击或超压破坏^[3]。蒸汽管道疏水阀的开关控制不再以机组负荷作为主要依据,能够缩短三大蒸汽管道疏水介质排入高压疏水扩容器的时长,防止大量高温蒸汽涌入扩容器,有效降低扩容器所承受的热负荷冲击。

3.3 监测与联锁保护

在各疏水隔离阀前及管道低点设置疏水管,确保积水及时排出。利用液位开关、管道顶部与底部温度传感器判断管道内是否存在积水。当管道底部温度低于对应压力下的饱和温度时,判定存在积水,联锁控制疏水阀开启排水。管道顶部温度与底部温度差值超过设定值时,触发报警并自动开阀疏水,保障积水彻底排空。机组正式启动之前,首先要检查确认凝汽器运行状态正常,内部已建立稳定真空环境。与此同时,机组程序调节控制系统将自动完成动作,依次开启各疏水分支管路中高压、中压及低压分段所配置的气动截止阀,为后续疏水运行

做好前期准备。当机组负荷升至高压段阀门规定额定负荷时,自动关闭高压段气动截止阀,随后按相同逻辑依次关停中压段阀门、低压段气动截止阀,防止高压蒸汽泄漏至低压系统。机组跳闸时,疏水阀自动全开,将导汽管及汽缸内积存蒸汽迅速排至凝汽器,防止积水汽化倒流引起转子超速。高压缸夹层加热装置投入时,须检查夹层加热联箱至夹层手动门后积水情况。该位置积水是造成高压外缸上下温差增大的原因之一。须在加热投入前确认疏水通畅。机组长时间停机后温态启动时,须逐一排空各处疏水管道积水,重点关注高压套缸疏水管段。该管段积水在启动初期若倒流回高压套缸,将导致高压外缸下内缸温度急剧下降,造成上下温差超限,延长启动时间。

4 能耗降低策略

4.1 提高给水温度与凝汽器真空

给水温度直接影响锅炉燃料消耗。给水温度降低,锅炉需燃烧更多燃料加热给水至汽化温度,煤炭消耗量随之增大,大量热能随排烟系统散失,锅炉热效率下降。运行中须控制汽轮机启动和滑停阶段的给水温,维持汽包水位处于正常水位,避免水位波动影响给水品质。检修期间须对高压加热器换热管进行全面清理,去除管内水垢与沉积物,提升汽水换热效率,缩小管内温差,减少换热端差。须逐一排查水室隔板漏点,对焊接部位重点检查,消除泄漏点,防止给水短路降低加热器出力。凝汽器真空状态与机组安全性和经济性直接相关。真空度变化反映凝汽器设备运行状态。影响真空度的因素包括循环冷却水温度与凝汽器冷却水管结垢程度。循环水温度升高,凝汽器背压上升,真空度下降,机组出力减少,煤耗增加^[4]。须采取降低热负荷或清洗冷却面等措施维持真空。循环水水温取决于循环水系统设备运行状态,冷却塔风机、循环水泵等设备异常可导致水温升高,真空度下降。须对凝汽器端差进行持续监测,确保端差变化处于正常范围。凝汽器胶球清洗系统正常运行可减少冷却水管内结垢,维持换热面清洁。每月须对汽轮机组进行一次真空严密试验,检测凝汽器汽侧及水侧泄漏情况,发现泄漏及时处理,保障真空水平。

4.2 运行控制优化

汽轮机启动阶段,采用开启高、低压旁路维持运行压力的方式。旁路开启后,蒸汽经减温减压后进入凝汽器或再热冷段,维持主蒸汽管道与再热蒸汽管道的温度和压力。待参数稳定后,切换至手动操作模式。启动过程中须确保真空压力维持在65千帕至70千帕之间,同时短时间内快速提升蒸汽流量,促使机组金属温度快速升

高,缩短启动时间,降低启动能耗。系统压力应维持在2.5MPa至3.0MPa之间,避免压力波动过大造成管道应力集中。汽轮机运行采用“定—滑—”控制模式。低负荷状态下进行定压运行,保持主蒸汽压力不变,通过调节进汽量控制负荷;随着负荷升高,切换至滑压运行,主蒸汽压力随负荷上升而升高,降低节流损失;高负荷状态下依靠喷嘴调节定压运行,高负荷区中间调节气门关闭,减少进汽面积,维持负荷稳定。对于采用喷嘴调节的汽轮机组,负荷高于80%时,须保证主蒸汽温度、压力及再热蒸汽温度处于正常设计范围内,防止超温超压。滑压运行区域的机组须根据滑压运行曲线,严格控制主蒸汽温度、压力及再热器温度,避免参数偏离导致效率下降。停机过程采用滑参数停机方式。主蒸汽与再热蒸汽温度和压力随负荷降低而同步下降,避免锅炉快速降温。这种运行方式可充分回收利用锅炉剩余热能进行发电,在实现能源二次利用的同时,还能平稳缓和汽轮机缸体降温速率,有效削弱金属部件产生的热应力损耗,延缓设备老化进程、延长机组整体服役年限,也为机组检修计划的提前规划与统筹安排提供了有利条件。

4.3 热力系统与设备改造

凝汽器可从真空度、端差及凝结水过冷度三方面优化改造,减少机组大修次数,缩短停机时长。冷却面结垢采用酸洗处理:配制5%氨基磺酸溶液,掺加氢氟酸、铜缓释剂和酸缓蚀剂,清洗水温保持40℃,维持合适流速并循环冲洗。按清洁度标准把控酸度,利用高位冷却塔水反向冲刷;引入除氧器热水,配合风机吹干冷却管使垢层固化,再用冷水反复冲洗除垢。东汽300MW机组低加疏水系统,采用疏水泵加疏水自流组合方式效益最佳:4号低加配内置疏水冷却段,3号低加装设疏水泵,2号低加设置疏水闪蒸箱,1号低加疏水直排凝汽器。该方案简化厂房布局,提升运行安全、减少检修量,兼顾经济性

与机组长周期安全运行^[5]。提升汽轮机缸效率和通流能力是节能核心,缸效率下降会增大机组耗功,通流面积与蒸汽流量越大,节能效果越好。需保障燃料充足,稳定提升主蒸汽温压,避免参数偏低造成能耗上升。严控除氧器排气与锅炉排污,治理系统泄漏,减少工质热损耗,东汽300MW机组补水率需控制在1%以内。健全节能管理体系,制定专项节能方案,覆盖指标管控、运行监督、经济调度、设备检修及燃料管理,保障节能工作有序落实。

结语

汽轮机疏水系统优化是提升机组安全性与经济性的的重要手段。通过管道合并简化、阀门选型优化、温度压力监测联锁等措施,可有效解决温差大、积水倒流、阀门内漏等问题,保障东汽300MW机组安全启动与稳定运行。结合给水温度提升、凝汽器真空维护、滑参数运行控制及热力设备改造等节能手段,可显著降低机组煤耗。疏水系统的科学设计与精细化管理是实现汽轮机安全经济运行的重要保障,对火力发电机组节能降耗具有重要工程应用价值。

参考文献:

- [1]王兆暄.电厂汽轮机控制系统故障诊断与优化策略研究[J].中国科技期刊数据库工业A,2024(7):0177-0180.
- [2]赵永春.基于大数据的汽轮机系统中变频技术与循环水泵优化研究[J].电力系统装备,2024(3):89-91.
- [3]高明帅,邢智炜,陈振山,李展,刘磊.燃气-蒸汽联合机组汽轮机润滑油温度控制优化[J].河北电力技术,2024,43(4):80-84+90.
- [4]王志锋.基于热力分析建模下的火电厂汽轮机性能优化研究[J].中国新技术新产品,2024(18):50-52.
- [5]马宁.热力站集中供热自动化控制系统能耗优化与节能策略研究[J].科技与创新,2024(11):141-143+150.