

# 浅谈火力发电厂冷端系统设计优化

赵楠 王宗奂 明少奇 隋洪波  
大唐武安发电有限公司 河北 邯郸 056000

**摘要:** 火力发电厂冷端系统对电厂整体性能至关重要。本文阐述冷端系统构成、运行原理与重要性,分析现存设备选型与匹配、系统布局与结构、运行调节与控制等问题,提出设备性能、系统集成、智能化控制优化方向,并探讨优化面临的挑战与应对策略,为火力发电厂冷端系统设计优化提供参考。

**关键词:** 火力发电厂; 冷端系统; 设计优化; 系统集成; 智能化控制

引言: 火力发电在我国能源结构中占据重要地位,冷端系统作为其关键部分,对发电效率、能耗及经济效益影响显著。当前,冷端系统设计存在设备选型不匹配、布局不合理、运行调节滞后等问题,制约了电厂的高效稳定运行。深入研究冷端系统设计优化,对提升火力发电厂综合性能、推动行业可持续发展具有重要意义。

## 1 火力发电厂冷端系统概述

### 1.1 系统构成

火力发电厂的冷端系统是整个热力循环中不可或缺的一部分,它包括多个核心设备,如凝汽器、冷却塔、循环水泵和真空系统等。凝汽器作为冷端系统的核心组件之一,其主要功能是将汽轮机排出的蒸汽冷凝成水,从而维持汽轮机出口处的低压环境。凝汽器通过与外界介质进行热量交换,将蒸汽中的热量转移到环境中,确保蒸汽能够顺利冷凝。冷却塔则负责将从凝汽器中带走的热量释放到大气中,通过自然通风或机械通风的方式实现热量的散发。循环水泵的作用在于维持整个系统的水流循环,为凝汽器提供足够的冷却水,并将其送回冷却塔进行再次冷却。真空系统用于维持凝汽器内部的负压状态,保证蒸汽能够顺畅地进入凝汽器并被冷凝。这些设备之间相互协作,共同完成能量转换过程,保障电厂的正常运行。

### 1.2 运行原理

冷端系统的基本运行原理涉及蒸汽冷凝、热量交换以及循环冷却等多个环节。汽轮机排出的高温高压蒸汽进入凝汽器,在这里与冷却水进行热量交换,蒸汽温度迅速下降并最终冷凝成水。这一过程中,蒸汽释放出大量潜热,这些热量通过冷却水传递给冷却塔,并在冷却塔内以水蒸气的形式散发到空气中。与此同时,循环水泵不断将冷却水输送到凝汽器,并将经过加热的冷却水送回冷却塔进行冷却,形成一个闭合的水循环系统。真

空系统则通过抽气装置维持凝汽器内部的负压环境,使得蒸汽能够在较低的压力下冷凝,从而提高热力循环效率。整个过程不仅实现了能量的有效转换,还帮助电厂有效排除多余的热量,保持系统稳定运行。

### 1.3 重要性分析

冷端系统对火力发电厂的整体性能至关重要。冷端系统的工作状况直接影响机组真空度,良好的设计和运行可以维持较高的真空度,降低汽轮机背压,提升热力循环效率。优化冷端系统有助于减少热耗率,即每生产一度电所需的燃料量。通过提高凝汽器换热效率和冷却塔散热效果,显著降低热耗率,进而提高发电效率<sup>[1]</sup>。冷端系统的运行状态直接关系到电厂经济效益。高效的冷端系统不仅能节约能源,降低运营成本,还能延长设备使用寿命,减少维护费用。此外,优化冷端系统有利于改善电厂环保性能。改进冷却塔设计和运行方式,可减少水资源消耗和噪音污染,符合可持续发展要求。冷端系统优化设计对于提高电厂综合竞争力至关重要。通过对各个组成部分精心设计和合理配置,在不增加额外投资前提下,显著提升电厂运行效率和经济效益,促进火力发电行业健康发展。有效的冷端系统不仅能确保电厂稳定高效运行,还能在长期内带来可观经济回报和社会效益。通过优化冷端系统,可以在保障电厂正常运作的同时,显著提升整体性能,满足日益严格的环保要求,推动火力发电厂向更高效、更绿色的方向发展。

## 2 冷端系统设计现存问题分析

### 2.1 设备选型与匹配

冷端系统设备选型若缺乏精准计算与全局考量,易引发性能不匹配问题。循环水泵作为驱动循环水流动的核心设备,若其额定功率与凝汽器冷却需求不契合,将直接影响系统能效。功率过大时,水泵长期处于低负荷运行状态,偏离高效工作区间,造成电能浪费;功率不足则无法提供足够循环水流量,导致凝汽器内蒸汽冷凝

效率下降,真空度难以维持。凝汽器与冷却塔的选型也存在适配性问题。凝汽器换热面积若与冷却塔冷却能力不匹配,会使循环水温度调控失衡。当凝汽器换热需求高,而冷却塔冷却能力不足时,循环水温度持续升高,降低凝汽器换热效率;反之,冷却塔冷却能力过剩,又会造成设备资源闲置。设备间参数不匹配还会加剧系统内部压力波动,影响设备使用寿命,增加维护成本。

## 2.2 系统布局与结构

系统布局设计缺陷对冷端系统运行产生多方面负面影响。布局紧凑性不足导致设备间距过大,连接管道长度增加,不仅占用更多空间,还使循环水流动路径变长,沿程阻力增大。管道内水流阻力增加,迫使循环水泵消耗更多能量维持流量,直接提升系统能耗。管道布置不合理同样加剧能量损耗。复杂的管道走向、过多的弯头和阀门设置,会产生局部阻力,造成水流扰动和压力损失。不合理的管道布局使热量在传输过程中散失加剧,特别是在未采取有效保温措施时,高温循环水热量向环境散发,降低冷却系统整体效能。此外,系统布局不利于设备维护检修,狭窄的操作空间或不便的设备安装位置,增加了巡检和故障处理难度,延长停机时间,影响电厂运行稳定性。

## 2.3 运行调节与控制

传统控制方式下,冷端系统难以适应电厂负荷变化。火力发电厂运行工况复杂多变,机组负荷频繁调整,而冷端系统设备调节响应速度滞后。当机组负荷突增时,蒸汽流量相应增加,要求凝汽器冷却能力和循环水流量快速提升,但循环水泵等设备无法及时调节,导致凝汽器真空度下降,热耗率上升;机组负荷降低时,设备调节不及时又会造成能源浪费。控制系统缺乏动态调节能力,使运行参数波动明显。循环水温度、凝汽器真空度等关键参数无法保持稳定,影响热力循环效率<sup>[2]</sup>。长期参数波动还会对设备产生不利影响,如凝汽器内部压力波动导致管束振动,加速设备部件磨损,缩短设备使用寿命,增加设备故障率和维修成本。传统控制方式过度依赖人工经验,难以实现精细化调控,无法满足现代电厂高效、稳定运行的需求。

## 3 冷端系统设计优化方向

### 3.1 设备性能优化

冷端系统的运行效率在很大程度上依赖于核心设备的性能表现,对关键设备进行性能优化是提升整体系统效能的重要途径。凝汽器作为冷端系统的核心组件之一,其换热能力直接影响机组真空度和排汽温度。优化凝汽器可以从传热管材质、结构形式以及布置方式等方

面入手。例如,采用导热性能更优、抗腐蚀能力更强的新型材料,有助于延长使用寿命并提高换热效率。改进传热管的排列方式,减少蒸汽流动阻力,使蒸汽与冷却水充分接触,从而提升整体换热效果。冷却塔的冷却能力决定了循环水温升控制水平,对整个冷端系统的稳定性具有重要影响。优化冷却塔主要从淋水装置、配水系统及通风结构三方面着手。合理的淋水填料布置能够增加水与空气的接触面积,提高散热效率。配水系统的均匀性优化可避免局部水流集中或干涸区域的出现,确保冷却水分布均衡。此外,改善冷却塔的通风结构,如优化进风口角度、风筒高度和风机叶片形状等,有助于增强自然通风或机械通风效果,进一步提升冷却能力。循环水泵作为维持冷却水循环的关键动力设备,其能耗占冷端系统总能耗的比例较大。通过选用高效节能型水泵,结合实际运行工况优化泵组配置,可以有效降低单位发电量的耗电量。合理设定泵的启停策略,使其与负荷变化相匹配,避免不必要的能量浪费。通过对水泵运行状态的动态调节,实现按需供能,达到节能降耗的目的。

### 3.2 系统集成优化

整体布局优化从空间规划与管道设计入手。合理规划冷端系统各设备位置,遵循流程紧凑、路径最短原则,缩短设备间连接管道长度,减少循环水流动距离。优化管道走向,尽量采用直线布置,减少弯头、三通等管件数量,降低局部阻力;对于无法避免的弯曲段,采用大曲率半径弯头,减小水流冲击和能量损耗。加强管道保温措施,选用高性能保温材料,严格控制保温层厚度与密封性,减少循环水在输送过程中的热量散失,降低能源浪费。协同运行优化致力于提升系统整体效率。通过建立凝汽器、冷却塔、循环水泵等设备的性能数学模型,分析各设备运行参数间的耦合关系,确定最佳运行参数匹配方案。例如,根据凝汽器热负荷变化,同步调节冷却塔通风量与循环水泵流量,使循环水温度、凝汽器真空度等参数维持在最优区间。优化控制逻辑,摒弃传统独立控制模式,采用基于全局优化的联合控制策略,实现设备间信息共享与协同动作,避免因单个设备调节不当影响系统整体性能,确保冷端系统在不同工况下均能稳定高效运行。

### 3.3 智能化控制优化

引入智能控制系统为冷端系统运行注入新动能。利用传感器网络实时采集凝汽器真空度、循环水温度与流量、冷却塔进出口空气参数等关键运行数据,通过物联网技术将数据传输至中央控制系统。借助大数据分析

技术,对海量运行数据进行深度挖掘,建立系统运行状态评估模型,预测设备性能变化趋势与潜在故障风险。智能调节功能基于实时监测数据与预测分析结果,自动调整设备运行参数<sup>[1]</sup>。当机组负荷变化导致蒸汽流量改变时,系统根据预设规则和优化算法,自动调节循环水泵转速、冷却塔风机风量,使冷端系统快速适应工况变化,保持高效运行状态。故障预警模块持续分析设备运行参数波动情况,一旦检测到参数异常或偏离正常范围,立即发出预警信号,并提供故障原因分析与处理建议,便于运维人员及时采取措施,降低设备故障率,提高系统自适应能力与运行稳定性。

#### 4 冷端系统设计优化的挑战与对策

##### 4.1 面临挑战

冷端系统设计优化进程中,技术层面存在多重阻碍。新型材料研发与应用面临成本壁垒,以高导热耐腐蚀管材为例,虽能显著提升凝汽器换热效率,但新材料从实验室研发到工程应用,需经历漫长验证周期,且制造成本高昂,直接影响电厂改造积极性。复杂系统协同控制难度突出,冷端系统设备联动性强,各组件参数变化相互影响,传统控制逻辑难以精准匹配设备动态响应,常出现调节过度或滞后问题,导致系统运行不稳定。资金投入压力贯穿优化全程。冷端系统设备规模大、技术改造复杂,从设备更换到智能化升级,均需大量资金支持。老旧电厂改造时,既要保障生产连续性,又要投入资金进行系统优化,资金缺口易造成优化方案缩水或进度延迟。人员技术能力不足同样制约优化效果。冷端系统智能化升级涉及自动化控制、数据分析等多领域知识,现有运维人员对新型设备操作、智能系统维护缺乏经验,面对设备故障与参数异常时,难以快速准确处置,影响系统优化后的稳定运行。

##### 4.2 应对策略

针对上述挑战,可从多维度制定应对策略。技术研发合作方面,鼓励企业与科研机构、高校建立联合实验室,整合各方资源,聚焦新型材料研发与复杂系统控

制算法优化。通过共享数据与实验平台,加速新材料性能验证与应用转化;联合攻关智能控制技术,开发适配冷端系统的动态调节模型,提升设备协同运行精度。探索新型材料与工艺应用,需拓展多元化研发路径。企业可与材料供应商合作,定制符合冷端系统需求的专用材料,降低采购成本;推广模块化设计与装配式工艺,在冷却塔、循环水泵房建设中,采用预制构件,减少现场施工难度与周期,降低建设成本与技术风险。资金规划上,建立分级投入机制。对于关键设备改造与智能化核心系统建设,优先保障资金;对可分期实施的优化项目,制定长期资金计划,通过电厂自有资金、银行贷款、政府节能补贴等多渠道筹措。引入合同能源管理模式,由专业节能服务公司投资改造,以节能效益分成回收成本,减轻电厂资金压力。人员技术能力提升依赖系统化培训体系。企业定期组织内部培训,邀请行业技术人员讲解新型设备原理、智能系统操作与维护要点;选派骨干人员参与外部技术交流,学习先进运维经验。建立技能考核与激励机制,将培训成果与岗位晋升、绩效挂钩,激发员工学习积极性,打造适应冷端系统优化需求的专业人才队伍,为系统高效运行提供人力保障。

##### 结束语

火力发电厂冷端系统设计优化是一项复杂且系统的工程,涉及设备性能提升、系统集成优化及智能化控制等多方面。尽管面临技术、资金、人员等多重挑战,但通过技术研发合作、探索新型应用、合理规划资金及提升人员技术能力等策略,可逐步实现优化目标,推动火力发电厂向更高效、绿色、可持续方向发展。

##### 参考文献

- [1]滕龙.利用旋转喷嘴对火力发电厂湿式冷却塔实施冷端优化改造[J].电力设备管理,2023(16):73-75.
- [2]刁敏师,汪小峰.火力发电厂水系统深度优化技术的实践[J].上海节能,2022,(08):954-962.
- [3]武鑫.火力发电厂热动力系统优化与节能改造研究[J].自动化应用,2024,65(07):233-235.