

汽轮机滑压运行参数优化及经济性分析

李 利

国能亿利能源有限责任公司电厂 内蒙古 鄂尔多斯 014300

摘要: 电力生产中汽轮机至关重要,传统定压运行有缺陷,滑压运行优势明显。本文先阐述滑压运行原理特点,分析主蒸汽压力、温度及再热蒸汽参数等运行参数及其相互影响和调控约束因素。接着构建经济性分析指标体系,涵盖能量消耗和运行成本指标。然后提出理论优化模型构建、考量环境因素等参数优化方法,制定基于负荷变化和考虑机组安全性的优化策略,以实现滑压运行参数合理优化,发挥其优势。

关键词: 汽轮机;滑压运行;参数优化;经济性分析;负荷变化

引言:在电力生产领域,汽轮机是关键设备,其运行效率直接影响发电成本与能源利用效果。传统定压运行在变负荷工况下存在调节阀节流损耗等问题,滑压运行应运而生。滑压运行通过进汽压力随机组负荷动态变化,能更好适应负荷波动,减少能量损耗,提升运行稳定性与热效率。深入探究汽轮机滑压运行参数优化及经济性分析,有助于挖掘机组节能潜力,提高电力生产效益,对电力行业可持续发展具有重要意义。

1 汽轮机滑压运行原理及特点

1.1 滑压运行基本原理

汽轮机滑压运行是一种动态调节的运行模式,核心运行机制体现为进汽压力随机组负荷的升降同步发生相应变化^[1]。负荷降低时,进汽压力随之降低;负荷升高时,进汽压力同步升高,整个调节过程无需维持进汽压力恒定,而是以负荷需求为核心导向,实现进汽压力的动态适配。滑压运行与定压运行在调节方式上存在本质差异,定压运行通过改变调节阀开度来控制进汽流量,进而调节机组负荷,运行过程中始终维持主蒸汽压力稳定不变,调节重点集中在流量控制上。滑压运行则无需强制维持主蒸汽压力恒定,而是通过调整锅炉燃烧工况改变主蒸汽压力,结合调节阀的合理开度,使进汽压力与当前负荷状态形成最佳匹配,调节重点转向压力与负荷的动态协同,通过压力的适应性变化优化机组能量转换过程。

1.2 滑压运行的主要特点

滑压运行对机组负荷变化具备良好的适应性,负荷在较大范围波动时,机组能够通过进汽压力的同步调整,快速适配负荷需求,避免定压运行中因调节阀节流产生的额外损耗,尤其在变负荷工况下,运行稳定性更具优势。滑压运行的汽温特性较为稳定,运行过程中主蒸汽温度和再热蒸汽温度可维持在设计范围内,减少温度波动对机组部件的热冲击,稳定的汽温的能够提升机组热

效率,减少因温度偏差导致的能量损耗。主蒸汽流量与压力之间呈现出明确的适配关系,负荷变化引发主蒸汽流量改变时,进汽压力随之做出对应调整,流量与压力的变化相互配合,确保汽轮机通流部分的汽流参数处于合理区间,既保证机组输出功率满足负荷要求,又能最大限度降低蒸汽在通流过程中的能量损失,优化机组整体运行状态。

2 汽轮机滑压运行参数分析

2.1 主要运行参数

2.1.1 主蒸汽压力

主蒸汽压力是汽轮机滑压运行中最核心的调控参数,压力变化会直接作用于汽轮机通流部分的汽流状态。压力升高时,蒸汽密度增大,通流部分汽流速度随之调整,进而改变汽流在叶片表面的做功效率,同时可能导致通流部件承受的压力负荷发生变化,影响通流过程的稳定性。主蒸汽压力与机组负荷存在紧密关联,负荷升降会直接要求主蒸汽压力做出对应调整,负荷提升需相应提高主蒸汽压力以保证足够的蒸汽做功能力,负荷降低则需降低主蒸汽压力,避免因压力过高造成不必要的能量损耗,两者形成动态适配的运行关系。

2.1.2 主蒸汽温度

主蒸汽温度的稳定与否,对于汽轮机的运行效率和安全有着举足轻重的影响。保持温度的稳定,能够让蒸汽具备稳定的做功能力,减少因温度波动而引发的热效率波动,避免因温度过高或过低而造成能量浪费^[2]。如果主蒸汽温度过高,会加剧汽轮机部件的热应力,给设备的运行安全带来隐患;要是温度过低,蒸汽的焓值会降低,削弱蒸汽的做功能力,还可能导致蒸汽在通流部分出现凝结现象,增加能量损失。主蒸汽温度与压力之间需要维持合理的匹配关系。在压力调整的过程中,温度必须同步做出适配调整,防止出现压力与温度不匹配的

情况,这样才能确保蒸汽在汽轮机内实现高效的能量转换,兼顾运行效率与设备安全。

2.1.3 再热蒸汽参数

再热蒸汽参数主要包括再热压力和再热温度,两者共同影响汽轮机中、低压缸的运行性能。再热压力和温度的合理设定,可有效提升中、低压缸的蒸汽做功能力,降低蒸汽在中、低压缸通流过程中的能量损失。再热压力过高会增加再热系统的运行负荷,再热温度不足则会导致中、低压缸入口蒸汽焓值降低,均会影响机组整体运行效果。再热参数与主蒸汽参数呈现协同变化趋势,主蒸汽参数调整时,再热蒸汽的压力和温度需同步调整,确保两者适配协调,形成高效的能量转换链条,保障汽轮机各缸段运行性能的一致性。

2.2 参数间的相互影响

主蒸汽压力与温度对汽轮机热耗存在联合作用,两者的适配程度直接决定热耗水平。压力升高搭配温度合理提升,可有效提高蒸汽焓值,降低单位功率的蒸汽消耗量,减少热耗;若压力升高而温度未同步适配,或温度波动过大,会导致热耗增加,削弱机组运行经济性。再热参数与主蒸汽参数的交互影响贯穿机组运行全过程,主蒸汽参数变化会直接影响再热蒸汽的产生条件,进而改变再热参数;再热参数的波动也会反向影响主蒸汽参数的调控效果,两者的协同匹配程度直接关系机组整体效率,合理调控两者的交互关系,可实现机组能量利用效率的优化提升。

2.3 滑压运行参数的调控约束因素

汽轮机滑压运行参数调控并非可随意进行,受机组核心设备特性与系统运行逻辑双重限制,与参数优化紧密相连。设备特性方面,汽轮机转子、隔板、叶片等核心部件材质耐受能力,划定了主蒸汽与再热蒸汽参数上限。参数调整必须避开部件热应力、机械应力临界值,避免长期运行致部件疲劳损伤。系统运行上,锅炉燃烧系统调节响应速度,制约着主蒸汽压力、温度调整速率。若锅炉燃烧调整滞后于汽轮机负荷变化,参数与负荷适配易失衡,影响滑压运行稳定性。再热系统换热效率,则约束了再热参数调整范围,其换热能力局限使再热温度、压力无法脱离主蒸汽参数独立调控,需与之协同。机组辅助系统运行特性也形成间接约束,给水系统供水能力、凝结水系统回收效率,影响锅炉产汽质量,间接限制主蒸汽参数调控精度,确保参数优化契合机组实际运行。

3 汽轮机滑压运行经济性分析指标体系

3.1 能量消耗指标

3.1.1 汽轮机热耗率

热耗率是汽轮机滑压运行中衡量能量消耗的核心指标,定义为汽轮机完成单位功率输出所需消耗的蒸汽热量^[1]。计算方法围绕蒸汽能量传递规律展开,整合主蒸汽、再热蒸汽的焓值与排汽焓值,结合机组实际输出功率,通过热力学公式完成精准计算,全面反映蒸汽能量转换为机械功的全过程损耗。热耗率是反映机组能量转换效率的关键指标,能够直观体现滑压运行参数调整对能量利用效果的影响,参数优化合理可有效降低热耗率,减少蒸汽能量在转换过程中的浪费,提升机组能量转换的整体水平,为经济性分析提供核心量化依据。

3.1.2 煤耗率

煤耗率与热耗率存在紧密关联,热耗率的高低直接决定煤耗率水平,热耗率降低会带动煤耗率同步下降,两者呈现正向关联趋势。煤耗率是衡量机组燃料利用率的重要指标,直接反映单位功率输出所需消耗的燃料量,综合体现锅炉燃烧效率与汽轮机能量转换效率的协同效果。滑压运行参数的优化的可通过降低热耗率,间接减少燃料消耗量,进而降低煤耗率,凸显参数优化对燃料利用效率的提升作用,是经济性分析中不可或缺的核心能量消耗指标。

3.2 运行成本指标

3.2.1 燃料成本

燃料成本是汽轮机滑压运行中最主要的运行成本,其计算需结合不同运行参数下的燃料消耗量。根据滑压运行参数对应的热耗率、煤耗率,结合机组实际输出功率,可完成不同参数条件下燃料消耗量的精准计算,明确参数变化对燃料消耗的影响规律。燃料价格波动会直接影响燃料成本高低,价格上涨会导致燃料成本增加,价格下降则会降低燃料成本,需结合参数优化对燃料消耗量的影响,综合分析燃料价格波动带来的成本变化,为经济性分析提供全面的成本参考。

3.2.2 设备维护成本

滑压运行参数对汽轮机设备寿命有着直接影响,参数调整合理可减少设备部件的热应力、机械应力,减缓部件磨损老化速度,延长设备使用寿命;参数调整不当会加剧部件损耗,缩短设备使用寿命。设备维护成本的估算需结合滑压运行参数对设备寿命的影响,明确设备维护周期,根据维护周期、维护内容、耗材价格等因素,完成维护费用的合理估算,全面反映滑压运行参数优化对运行成本的影响,完善经济性分析指标体系。

4 汽轮机滑压运行参数优化方法

4.1 理论优化模型构建

理论优化模型构建是汽轮机滑压运行参数优化的核

心基础,核心围绕热力学原理搭建参数优化目标函数。结合汽轮机能量转换规律,以机组热效率提升、能量损耗降低为核心导向,整合蒸汽在锅炉、汽轮机各环节的能量传递特性,建立科学合理的目标函数,精准反映参数变化与能量利用效果的内在关联,为参数优化提供明确的量化导向^[4]。约束条件确定需充分考虑汽轮机各部件运行特性,全面梳理锅炉、汽轮机、再热系统等关键部件的运行极限,结合部件材质耐受能力、通流特性限制等因素,明确参数优化的合理范围,避免参数调整超出部件承受能力,确保优化过程兼顾经济性与设备运行的可靠性,为后续参数优化策略制定提供坚实的理论支撑。

4.2 参数优化中的环境因素考量

在汽轮机滑压运行参数优化过程中,环境因素对机组的运行状态和参数选择有着不可忽视的影响。环境温度和大气压力是两个关键的环境参数。环境温度的变化会影响汽轮机冷凝器的散热效果,进而影响排汽压力。在高温环境下,冷凝器散热效率降低,排汽压力可能升高,这要求在参数优化时适当调整主蒸汽压力和温度,以维持汽轮机内部合理的压力梯度和蒸汽做功能力。相反,在低温环境下,冷凝器散热效果增强,排汽压力降低,此时可对运行参数进行相应调整,以充分利用有利的散热条件,提高机组效率。大气压力的变化同样会对汽轮机运行产生影响。大气压力降低会导致汽轮机排汽的绝对压力降低,从而影响汽轮机的背压和功率输出。在参数优化过程中,需要考虑大气压力的波动范围,合理调整主蒸汽压力和再热蒸汽参数,确保汽轮机在不同大气压力条件下都能保持稳定的运行状态和高效的能量转换。通过将环境因素纳入参数优化模型,能够使优化后的参数更加贴合实际运行条件,提高机组在各种环境下的适应性和运行经济性。

4.3 优化策略

4.3.1 基于负荷变化的参数动态调整策略

基于负荷变化的参数动态调整策略,核心是根据机组负荷波动规律,实现各运行参数的精准适配调整。不同负荷区间主蒸汽压力的设定需遵循适配性原则,高负荷区间需合理提高主蒸汽压力,保障蒸汽具备足够的做功能力,充分发挥机组额定效率;低负荷区间需适当降低主蒸汽压力,减少调节阀节流损耗,避免压力过高导

致的能量浪费,实现不同负荷区间压力设定的最优化。温度和再热参数需跟随负荷变化做出协同调整,负荷升降时,主蒸汽温度需维持在设计合理范围,同时调整再热蒸汽的压力和温度,确保蒸汽在各缸段的做功效率保持稳定,避免因参数调整不同步导致的能量损耗,实现负荷与各参数的动态平衡。

4.3.2 考虑机组安全性的参数优化边界确定

考虑机组安全性的参数优化边界确定,是参数优化过程中不可忽视的重要环节,需以设备安全运行为前提划定参数优化范围。汽轮机部件应力限制对参数形成明确约束,各关键部件的热应力、机械应力存在固定耐受极限,参数调整需严格控制在应力允许范围内,防止应力过高导致部件损伤,影响机组长期稳定运行。蒸汽参数变化速率对机组稳定性有着直接影响,参数调整过快会导致机组内部温度、压力分布不均,引发部件热冲击,破坏机组运行稳定性,因此需合理控制蒸汽参数的变化速率,明确参数调整的最大允许速度,在保障参数优化效果的同时,确保机组运行平稳,实现经济性与安全性的协同兼顾。

结束语

汽轮机滑压运行参数优化及经济性分析是一个复杂且关键的课题。通过对滑压运行原理特点、运行参数、经济性指标体系的研究,以及构建理论优化模型、考量环境因素、制定优化策略等措施,可实现滑压运行参数的合理优化。这不仅有助于降低机组能量消耗和运行成本,还能提升机组运行的安全性与稳定性。在实际应用中,需结合机组实际情况,灵活运用优化方法与策略,以充分发挥汽轮机滑压运行的优势。

参考文献

- [1]张书迎,于涛,李绍生,等.基于DBSCAN聚类算法的汽轮机滑参数运行优化方法[J].汽轮机技术,2022,64(3):217-220.
- [2]孙良海,郭建,李永利,等.基于神经网络的汽轮机运行初压优化研究[J].热力透平,2023,52(3):194-198,236.
- [3]李汉锋,徐金忠,杨韬.垃圾焚烧电厂汽轮机滑压运行工况节能技术研究[J].大众科学,2025,46(24):145-147.
- [4]施泽平,雷施轩,王家胜.汽轮机组润滑油系统问题及优化[J].重庆电力高等专科学校学报,2025,30(2):20-23.