

Research on exhaust pressure optimization technology of 660MW supercritical steam turbine low-pressure cylinder

Lian Bo

Hebei Dingzhou Power Plant, Dingzhou, Hebei, 073000, China

Abstract

In water-scarce regions, 660MW supercritical air-cooled units have become the primary power generation equipment due to their significant water-saving advantages. However, their low-pressure cylinder exhaust pressure remains highly susceptible to environmental factors, posing multiple challenges to efficiency improvement. Compared with wet-cooled units, air-cooled units exhibit more pronounced impacts of exhaust pressure fluctuations on coal consumption during power generation. This paper thoroughly analyzes the influencing mechanisms of environmental parameters, air-cooled island performance, and turbine operating conditions on exhaust pressure based on the characteristics of air-cooled units. It proposes a comprehensive optimization technical solution encompassing air-cooled island optimization, dynamic operational parameter control, and intelligent early warning systems, providing robust technical support for efficient operation of supercritical air-cooled units.

Keywords

supercritical steam turbine; air-cooled unit; low-pressure cylinder

660MW 超临界汽轮机低压缸排汽压力优化技术研究

廉波

国能河北定州电厂, 中国·河北定州 073000

摘要

在缺水地区, 660MW 超临界空冷机组凭借显著的节水优势成为主力发电设备, 但其低压缸排汽压力受环境因素影响极大, 效率提升面临诸多挑战。相较于湿冷机组, 空冷机组排汽压力的变化对发电煤耗的影响更为明显。本文针对空冷机组的特性, 深入剖析环境参数、空冷岛性能、汽轮机运行工况等对排汽压力的影响机制, 提出涵盖空冷岛优化、运行参数动态调控、智能预警等多维度的优化技术方案, 为超临界空冷机组的高效运行提供全面的技术支撑。

关键词

超临界汽轮机; 空冷机组; 低压缸

1 引言

在我国北方缺水地区的火电建设中, 空冷机组的占比比较大。660MW 超临界空冷机组通过空气直接冷却汽轮机排汽, 相比湿冷机组能节省大量水资源, 但空冷系统的换热效率极易受环境温度、风速等因素影响, 导致排汽压力波动范围较大, 远超湿冷机组。这种排汽压力的不稳定, 使得机组发电效率受到严重制约, 造成了不小的发电损失, 节能潜力巨大。空冷机组低压缸排汽压力是影响其效率的核心因素。夏季高温时, 排汽压力常常大幅升高, 导致机组热效率显著下降; 而冬季低温时, 若控制不当, 又容易引发空冷凝汽器冻结的风险。因此, 针对空冷机组的特性开展排汽压力优化研究, 对于平衡节水与效率提升、推动“双碳”目标的实

现具有重要的现实意义。

2 空冷机组排汽压力影响因素分析

2.1 环境参数影响

环境温度是影响空冷机组排汽压力的首要因素。随着环境温度的升高, 排汽压力会呈现上升趋势, 这种变化在不同季节表现得尤为明显。夏季高温时, 排汽压力会大幅攀升; 冬季低温时, 排汽压力虽会降低, 但需时刻防范管束冻结问题。

风速与风向对空冷岛的换热效果影响深远。当风速达到一定程度时, 会引发空冷岛的“热风回流”现象, 即热空气在风机的抽吸作用下反向流入空冷岛, 使得进风温度升高, 进而导致排汽压力上升。不同的风向也会对热风回流的程度产生影响, 某些特定风向可能会加剧这一现象。太阳辐射会增加空冷岛管束的吸热量, 在夏季正午等太阳辐射强烈的时段, 这种影响更为突出, 会使排汽压力有所上升。此外,

【作者简介】廉波(1985-), 男, 蒙古族, 中国辽宁朝阳人, 本科, 工程师, 从事空冷机组节能优化研究。

大气压力的变化也会对排汽压力产生影响,在高海拔地区,由于大气压力较低,排汽压力受其影响更为明显^[1]。

2.2 空冷岛性能参数影响

空冷岛的散热面积与清洁度直接决定了其换热效率。660MW空冷机组通常配置多个冷却单元,每个单元都有一定的散热面积。当翅片表面积累灰尘等杂质到一定程度时,会严重影响换热效率,导致排汽压力上升。

风机的运行参数对排汽压力的影响也不容忽视。轴流风机的转速变化会直接影响风量,转速降低会使风量减少,从而导致排汽压力上升。部分机组由于风机变频控制策略不够合理,在低负荷时过度降低转速,往往会造成排汽压力骤升的情况。空冷凝汽器管束的布置方式同样会影响排汽压力。顺流管束与逆流管束的配比、管束之间的间距等设计若不合理,会导致气流分布不均,使得局部区域的排汽压力出现较大偏差。

2.3 汽轮机运行工况影响

机组负荷的变化会通过改变排汽量影响空冷系统的热负荷。在一定的负荷区间内,排汽量与负荷呈线性关系,排汽压力会随着负荷的升高而上升。在低负荷运行时,排汽量减少会使排汽压力降低,但此时可能会引发逆流管束冻结,需要通过热风再循环等方式进行调节。汽轮机排汽温度与空冷岛进风的温差(端差)需要控制在合理范围内。当端差超过一定限度时,表明空冷岛的换热效率已严重下降,排汽压力也会因此偏离设计值较多。

3 空冷机组排汽压力优化技术方案

3.1 空冷岛性能提升技术

3.1.1 智能清洗与除垢技术

采用机器人干冰清洗系统定期对翅片表面进行清洁,选择合适直径的干冰颗粒和喷射压力,能够有效去除灰尘、柳絮等杂质,提高翅片的清洁度,进而提升换热效率,降低排汽压力。在冬季,采用热风再循环防冻技术,通过合理调节再循环挡板的开度,将逆流管束进口温度控制在适宜范围内,既能避免冻结情况的发生,又能减少排汽压力的波动。

3.1.2 风机群智能调控技术

构建基于环境参数的风机变频控制模型,根据不同的温度区间,合理设置风机转速和热风再循环的开启程度。在温度较低时,适当降低风机转速并开启一定程度的热风再循环;在温度适中时,使转速随温度线性调节;在温度较高时,采用满转速并启用喷雾降温等辅助手段。采用风机群协同控制算法,根据各单元的温度分布动态调整风机转速,使空冷岛的温差控制在较小范围内,减少局部热点的出现,从而降低排汽压力的波动幅度,同时提高风机运行的经济性。

3.2 环境适应性优化技术

3.2.1 热风回流防治技术

在空冷岛四周加装防风导流板是解决热风回流问题的

有效措施。导流板采用高强度铝合金材料制成,具有良好的耐腐蚀性和抗风能力。在设计过程中,需要根据空冷岛的布局、当地的主导风向和风速等因素,合理确定导流板的高度和角度。一般来说,导流板的高度为3-6m,角度可在0-45°之间调节。通过优化导流板的布置,能够形成有效的空气屏障,引导热风向远离空冷岛进风口的方向扩散,减少热风回流现象的发生。在实际应用中,还可以在导流板上安装风速传感器,根据实时风速自动调整导流板的角度,以适应不同的风况,进一步提高热风回流防治效果,降低因热风回流导致的排汽压力上升。在夏季高温时段,启用喷雾降温系统,在空冷岛进风口设置高压喷雾装置,通过喷雾降低进风温度,从而降低排汽压力^[2]。该系统在耗电与节水效益方面具有良好的平衡性,经济性显著。

3.2.2 太阳辐射遮蔽技术

在空冷岛顶部加装可伸缩遮阳棚能够有效减少太阳辐射对空冷岛管束的加热作用。遮阳棚采用轻质复合材料制成,如玻璃纤维增强塑料,具有重量轻、强度高、耐老化等优点,重量通常控制在5kg/m²以下,不会对空冷岛的结构产生额外的负荷。遮阳棚的面积与空冷岛的散热面积相匹配,能够完全覆盖空冷岛的顶部区域。在控制方面,遮阳棚配备有太阳辐射传感器和自动驱动装置,在夏季正午等太阳辐射强烈的时段,当太阳辐射强度超过800W/m²时,自动展开遮阳棚;在傍晚或阴天,当太阳辐射强度低于300W/m²时,自动收起遮阳棚,以保证空冷岛在夜间或光照较弱时能够充分散热。通过这种方式,能够减少管束因太阳辐射吸收的热量,降低管束表面温度,从而提高换热效率,降低排汽压力。此外,遮阳棚还具有一定的防雨和防尘功能,能够减少雨水和灰尘对空冷岛的影响,延长设备的使用寿命。

3.3 运行参数动态优化技术

3.3.1 排汽压力设定值动态修正

建立基于环境温度的排汽压力最优曲线是实现排汽压力精准控制的基础。该曲线通过对机组长期运行数据的分析和拟合得到,综合考虑了环境温度、机组负荷、空冷岛性能等多种因素。在低温时段,当环境温度低于0℃时,为了防止空冷凝汽器冻结,将排汽压力设定值控制在6.0-7.0kPa的相对较高水平;在温度适中的时段,当环境温度在0-25℃之间时,排汽压力设定值随温度的升高呈线性递增趋势,温度每升高1℃,设定值提高0.1-0.2kPa,以实现机组的经济运行;在高温时段,当环境温度超过25℃时,将排汽压力设定值严格控制在汽轮机安全运行的上限范围内,通常不超过10.0kPa,以确保机组的安全稳定运行。通过DCS系统实时比对实际排汽压力与设定值,自动调节风机转速和喷雾系统等,实现闭环控制,确保排汽压力始终处于最优区间。

3.3.2 汽轮机与空冷岛协同调节

在低负荷运行时,采用“滑压运行+热风再循环”模式能够有效提高机组的经济性。滑压运行是指汽轮机的主汽

压力随负荷的降低而降低,在30%-50%的低负荷区间,主汽压力按照一定的曲线随负荷线性下降,以减少节流损失,提高汽轮机的内效率。同时,为了维持空冷岛的排汽压力稳定,避免因排汽量减少导致的逆流管束冻结,系统会合理开启热风再循环挡板,开度通常在20%-40%之间。通过热风再循环,将部分heated空气引入空冷岛,增加空冷系统的热负荷,维持排汽压力在6.5-7.0kPa的合理范围内。这种协同调节方式能够在保证机组安全运行的前提下,显著降低低负荷时段的发电煤耗。在高负荷时段,优化抽真空系统的运行,确保真空泵入口压力控制在合理范围内,及时排出不凝结气体,避免其积聚导致排汽压力上升,同时通过对真空泵进行变频改造等方式,提高其运行效率^[1]。

3.4 智能监控与预警系统

构建空冷机组数字孪生平台是实现机组智能化运行的重要支撑。该平台以物理机组为原型,通过三维建模技术构建与实际机组完全一致的虚拟模型,集成了环境参数、空冷岛状态、汽轮机运行数据等多个监测点的信息,监测点数量可达数百个,包括温度、压力、流量、振动、转速等多种参数。平台采用实时数据采集和传输技术,将现场传感器采集的数据实时传输至虚拟模型中,实现虚拟模型与物理机组的同步运行。利用机器学习等人工智能技术,对历史运行数据进行分析 and 挖掘,建立排汽压力预测模型,能够准确预测未来1-2小时内的排汽压力变化趋势。当预测值即将超过安全阈值时,系统会通过声光报警、短信通知等多种方式提前发出预警,以便工作人员及时采取措施进行调整,避免事故的发生。

4 优化效果验证与经济性分析

4.1 优化效果综合评估

通过对空冷机组实施上述优化技术方案后,排汽压力得到有效降低,且波动幅度显著减小,机组运行的稳定性得到极大提升。在夏季高温时段,能够将排汽压力控制在安全范围内,避免了因超温导致的跳闸事故;在冬季低温时段,通过有效的防冻结措施,实现了排汽压力的稳定运行,未再发生冻结事故。机组的发电煤耗有所降低,风机等设备的耗电率也得到有效控制,整体运行效率得到提升。同时,空冷岛的换热效率明显改善,各项性能参数均处于合理区间。

4.2 经济性分析

从经济性角度来看,优化方案的实施能够带来显著的

节煤收益和节电收益。在节煤方面,由于机组发电煤耗的降低,按照机组年运行5500小时、额定功率660MW计算,每年可节省大量的标准煤。以平均降低的煤耗计算,年节煤量相当可观,按照当前市场标准煤价格计算,年节煤收益十分显著。在节电方面,风机、真空泵等设备通过变频改造和智能调控,耗电量大幅减少,每年可节约大量的电能,按照工业用电价格计算,年节电收益也较为可观。虽然优化改造需要一定的初始投资,但从长期运行来看,投资回收期较短,经济性优良。

4.3 环保与社会效益

优化方案的实施在环保方面具有积极而深远的意义。通过减少标准煤的消耗,能够显著降低二氧化碳、二氧化硫、氮氧化物等污染物的排放。按照年节煤量计算,每年可减少大量的二氧化碳排放,为实现“双碳”目标做出积极贡献;同时,二氧化硫和氮氧化物的排放量也相应减少,有助于降低酸雨等环境问题的发生概率,改善空气质量,保护生态环境。该技术方案在提升机组效率的同时,保持了空冷机组的节水优势,单位发电量的耗水率维持在较低水平,较湿冷机组节约了大量水资源,实现了节水与节能的协同增效,具有良好的社会效益。

5 结论与展望

综上所述,660MW超临界空冷机组排汽压力优化需要克服环境敏感性强、系统耦合复杂等难点,通过空冷岛性能提升、环境适应性调控、智能系统支撑等一系列技术手段,能够实现排汽压力的有效降低和机组运行效率的显著提升。未来的研究可以从多个方向进一步深化,如开发基于人工智能的自适应控制算法,实现风机群与喷雾系统更精准、快速的协同调节;研究新型高效的空冷散热器材料,进一步提升换热效率;探索“风光储+空冷机组”联合运行模式,利用新能源电力驱动空冷系统,降低厂用电率。通过持续的技术创新,不断推动空冷机组向更高效率、更优经济性的方向发展。

参考文献

- [1] 程志峰. 600MW级超超临界汽轮机盘车装置优化探析[J]. 中国设备工程, 2023, (S2): 155-157.
- [2] 曾伟光. 600 MW亚临界汽轮机低压缸轴承检修优化[J]. 发电设备, 2023, 37(02): 131-135. DOI: 10.19806/j.cnki.fdsb.2023.02.011.
- [3] 邓海涛, 高鹏. 一台超临界空冷600MW汽轮机次末级叶片断裂故障诊断及原因分析[J]. 汽轮机技术, 2022, 64(03): 221-222+228.