汽轮机运行调节方式优化策略探析

杨乐 高少凡 李琮 王元钊

华能山东发电有限公司白杨河发电厂 山东 淄博 255200

摘要: 汽轮机作为重要的能源转换设备,其运行效率与调节方式密切相关。本文深入探讨了汽轮机运行调节方式的优化策略,分析了节流调节、喷嘴调节等传统方式的优缺点及适用场景。针对汽缸漏汽、启停系统故障及给水泵效率等关键问题,提出了高分子复合材料修复、智能启停控制、变频调速等创新解决方案。实例分析显示,优化策略实施后,汽轮机热效率提升,启停能耗降低,给水泵系统能耗减少,设备故障率与维护成本均显著下降,为汽轮机高效稳定运行提供了有力支持。

关键词: 汽轮机;运行调节方式;优化策略

引言:汽轮机作为现代工业领域中的关键动力设备,其运行效率与稳定性直接关乎能源利用效率与生产成本。随着科技的进步和节能减排需求的增加,优化汽轮机运行调节方式已成为提升设备性能、降低能耗的重要途径。本文旨在深入探究汽轮机运行调节方式的优化策略,通过分析现有调节方式的不足,提出针对性改进措施,以期为提高汽轮机运行效率、延长设备寿命提供理论支撑和实践指导,进一步推动工业可持续发展。

1 汽轮机运行调节方式概述

1.1 汽轮机的结构及工作原理

(1)基本组成结构。汽轮机作为重要的动力转换设备,其基本组成结构可分为旋转部分和静止部分。旋转部分,主要由汽轮机转子、叶轮以及安装在叶轮上的动叶片组成,负责将蒸汽的热能转换为机械能。静止部分则主要包括汽缸、隔板、静叶片、喷嘴等,起到支撑、导向蒸汽流以及保证汽轮机密封性的作用。(2)工作原理。汽轮机的工作原理主要基于冲动原理和反动作用原理。冲动原理是指蒸汽在喷嘴中膨胀并加速,以高速冲击动叶片,使转子获得旋转力矩。而反动作用原理则是蒸汽在动叶片中继续膨胀,既改变方向又改变速度,同时利用蒸汽的反作用力推动转子旋转。在实际应用中,汽轮机通常结合了这两种原理,以更有效地转换蒸汽的热能为机械能。

1.2 汽轮机运行调节方式分类

(1)工作原理介绍。汽轮机运行调节方式主要包括节流调节法、喷嘴调节法以及旁通调节法(或节流-喷嘴调节法)。节流调节法通过调节阀门的开度,改变蒸汽的流量和压力,进而调整汽轮机的输出功率。喷嘴调节法则通过切换不同的喷嘴组,改变蒸汽的通流面积,以达到调节功率的目的。旁通调节法则在经济负荷下全开

主调节阀,超出经济负荷时开启旁通阀,将蒸汽引入后续级叶片。而节流-喷嘴调节法则结合了前两者的优点,在低负荷时采用节流调节,高负荷时转为喷嘴调节。

(2)优缺点及适用场景分析。节流调节法结构简单,制造成本低,对负荷变动的适应性好,但低负荷时效率较低。喷嘴调节法则在部分负荷时效率较高,但结构复杂,对负荷变化的适应性较差。旁通调节法在经济负荷时运行效率最高,但超过经济负荷时效率会下降。节流-喷嘴调节法则兼顾了经济性和灵活性,适用于负荷变化范围较大的场合^[1]。

2 汽轮机运行调节方式存在问题分析

2.1 汽缸漏汽问题

(1)汽缸漏汽的原因及影响。汽缸漏汽是汽轮机运行过程中的一个常见问题,其原因主要包括汽缸密封件老化、安装不当或磨损、汽缸法兰结合面不平整、螺栓紧力不足或松动等。这些因素导致蒸汽在高压下从汽缸的缝隙中泄漏出来,不仅造成了能源的浪费,还可能引发安全隐患。汽缸漏汽会直接影响汽轮机的热效率,降低其输出功率,同时增加机组的维护成本和运行风险。此外,持续的漏汽还可能加速汽缸及相关部件的腐蚀和磨损,缩短设备的使用寿命。(2)解决汽缸漏汽问题的传统方法及局限性。针对汽缸漏汽问题,传统的解决方法主要包括更换密封件、调整螺栓紧力、修复或更换法兰结合面等。然而,这些方法存在一定的局限性。首先,更换密封件需要停机进行,影响机组的正常运行。其次,螺栓紧力的调整需要精确的测量和计算,一旦调整不当,可能导致更大的泄漏或设备损坏。此外,对于法兰结合面的修复,如果处理不当,很容易在后续运行中再次出现泄漏。因此,传统方法虽然能在一定程度上解决汽缸漏汽问题,但往往难以达到长期稳定的效果。

2.2 启停系统故障

(1) 启停系统在汽轮机运行中的重要作用。启停系统是汽轮机的重要组成部分，它负责在机组启动和停机过程中控制蒸汽的流量、压力和温度，确保汽轮机安全、平稳地过渡到运行状态或停机状态。启停系统的正常运行对于保护汽轮机免受热冲击、减少机械应力、延长设备寿命具有重要意义。(2) 启停系统故障的常见类型及原因。启停系统故障的常见类型包括阀门卡涩、传感器失灵、控制系统故障等。这些故障可能由多种原因引起，如蒸汽中的杂质导致阀门堵塞、传感器老化或损坏、控制系统软件缺陷等。启停系统故障不仅会影响机组的正常启停，还可能导致安全事故的发生，如蒸汽泄漏、设备过热等。因此，及时诊断并修复启停系统故障是确保汽轮机安全、稳定运行的关键。

2.3 给水泵运行效率问题

(1) 定速给水方式下给水泵运行存在的问题。在定速给水方式下，给水泵的运行速度保持不变，而机组负荷的波动会导致给水流量的变化。为了满足这种变化，给水泵需要通过调节阀门的开度来调整给水量。然而，这种方式会导致阀门的节流损失增加，降低给水泵的运行效率。同时，长期的节流运行还会加速阀门的磨损，增加维护成本。(2) 给水泵运行效率对汽轮机整体性能的影响。给水泵的运行效率直接影响汽轮机的整体性能。低效率的给水泵会增加机组的能耗，降低热效率。此外，给水泵的故障还可能导致给水不足或中断，引发汽轮机跳机等严重后果。因此，提高给水泵的运行效率是优化汽轮机性能、降低运行成本的重要途径之一。

3 汽轮机运行调节方式优化策略

3.1 汽缸漏汽优化措施

(1) 在汽轮机运行过程中，汽缸漏汽是影响设备性能的重要问题。传统修复方法存在局限性，为此，提出使用高分子复合材料进行现场修复的新方法。该方法利用高分子复合材料的高耐磨性、良好密封性和优异的粘结性能，能够在不拆卸或少量拆卸设备的情况下，对汽缸漏汽部位进行快速修复。通过特殊的施工工艺，将高分子复合材料均匀涂抹于漏汽处，使其与汽缸表面紧密结合，形成坚固且密封的修复层，有效阻止蒸汽泄漏^[2]。

(2) 新方法在提升设备使用寿命及运转效率方面具有显著优势。一方面，高分子复合材料良好的耐磨性可减少漏汽部位因蒸汽冲刷产生的磨损，延缓设备老化，延长设备使用寿命；另一方面，其优异的密封性能能够有效降低蒸汽泄漏量，减少能量损失，提高蒸汽做功效率，进而提升汽轮机整体运转效率。据实际应用案例统计，采

用该方法修复后，设备使用寿命平均延长2-3年，运转效率可提升5%-8%。

3.2 启停系统优化处理

(1) 启动系统优化的具体步骤包括启动前的全面检查与准备、暖管暖机过程的精确控制、升速并网阶段的平稳操作等。启动前，需对汽轮机各系统设备进行详细检查，确保其处于良好状态；暖管暖机过程中，严格控制升温、升压速率，避免因温差过大产生热应力；升速并网阶段，要根据汽轮机特性，平稳提升转速，保证与电网顺利并网。同时，注意事项涵盖设备参数监测、人员操作规范等方面，确保启动过程安全、稳定。(2) 在停机系统优化中，滑参数停机方式的应用具有重要意义。滑参数停机是在降低汽轮机负荷的同时，逐步降低主蒸汽压力和温度，使汽轮机各部件的温度均匀下降。该方式能够有效减少汽轮机各部件的热应力，降低设备变形和损坏的风险，延长设备使用寿命^[3]。此外，滑参数停机还能回收部分蒸汽余热，提高能源利用效率，降低运行成本。实践表明，采用滑参数停机方式可使停机时间缩短15%-20%，能源回收效率提高10%-15%。

3.3 给水泵运行效率优化

(1) 为提高给水泵运行效率，提出变速给水方式。传统定速给水方式在面对负荷变化时，存在能源浪费和效率低下的问题。而变速给水方式通过调节给水泵转速，使其根据汽轮机负荷变化自动调整给水流量，避免了不必要的能量消耗，实现了精准供水。(2) 变速给水方式在节约资源及减少机械故障方面效果显著。从节约资源角度看，根据实际需求调节给水泵转速，可降低给水泵能耗，减少电能消耗；在减少机械故障方面，避免了给水泵长期在高负荷或低负荷下运行，降低了设备磨损和疲劳程度，减少了故障发生概率，降低了维护成本。经测算，采用变速给水方式后，给水泵能耗可降低10%-15%，机械故障发生率减少20%-30%。

3.4 综合优化策略

(1) 通过优化疏水系统、轴封系统等方式可进一步提升汽轮机运行效率。疏水系统优化可确保汽轮机内部凝结水及时排出，避免积水导致的能量损失和设备损坏；轴封系统优化能够有效防止蒸汽泄漏和空气漏入，提高真空度，增强汽轮机做功能力。此外，合理调整疏水阀和轴封汽源参数，可使汽轮机运行更加稳定高效^[4]。

(2) 流动面积增加对汽轮机缸效率提升具有积极影响。适当增加汽轮机通流部分的流动面积，可降低蒸汽流动阻力，减少能量损耗，提高蒸汽在汽缸内的做功能力，进而提升汽轮机缸效率。研究表明，在合理范围内增加

流动面积,汽轮机缸效率可提升3%-5%。通过综合运用上述优化策略,能够全面提升汽轮机的运行效率,降低运行成本,提高设备可靠性和稳定性,为企业创造更大的经济效益和社会效益。

4 实例分析

4.1 优化策略在某电厂汽轮机中的应用案例背景

在当前全球能源结构转型的大背景下,提高能源利用效率和减少碳排放已成为电力行业的重要目标。某大型燃煤电厂,为了响应国家节能减排的号召,决定对其主力机组——一台600MW亚临界汽轮机进行全面的性能优化改造。通过引入一系列先进的优化策略,旨在显著提升汽轮机的运行效率、降低能耗并延长设备寿命,以适应未来更加严格的环保要求和市场竞争。

4.2 电厂汽轮机基本情况及其存在的运行问题

该电厂的600MW汽轮机已运行超过十年,设备老化迹象明显,面临着一系列运行问题。首先,汽缸密封性能下降,导致蒸汽泄漏严重,不仅降低了热效率,还增加了维护成本。其次,启停流程繁琐,能耗高,且频繁启停对设备造成较大磨损。此外,给水泵系统效率低下,能耗高,且经常因故障停机,影响整个机组的稳定运行。最后,汽轮机整体监控系统落后,无法实时准确反映设备状态,导致故障发现和处理滞后。

4.3 优化策略在该电厂汽轮机中的具体应用过程及效果

(1) 汽缸密封升级:采用先进的高分子密封材料和精密加工技术,对汽缸密封面进行修复和升级。同时,引入智能监测系统,实时监测汽缸密封性能,确保密封效果始终处于最佳状态。改造后,蒸汽泄漏量显著降低,热效率提升约3%。(2) 启停流程优化:开发智能启停控制系统,结合汽轮机实时运行数据,自动调整启停过程中的蒸汽流量、压力和温度等参数,实现启停过程的智能化和高效化。改造后,启停时间缩短25%,启停能耗降低18%。(3) 给水泵系统优化:采用变频调速技术,根据汽轮机负荷变化实时调整给水泵转速,减少不必要的能耗。同时,对给水泵进行内部流道优化,降低水阻,提高泵效。改造后,给水泵系统能耗降低约15%,

故障率显著下降。(4) 整体监控系统升级:引入先进的物联网技术和大数据分析平台,构建汽轮机整体监控系统。系统能够实时采集和分析汽轮机各项运行参数,及时发现潜在故障,预测设备寿命,为设备维护和优化提供科学依据。改造后,设备故障率降低20%,维护成本降低10%。

4.4 优化策略实施前后汽轮机性能指标的对比情况

实施优化策略后,该电厂汽轮机的性能指标发生了显著变化:(1) 热效率。从改造前的38%提升至41%,提高了约3个百分点,直接提升了电厂的发电能力和经济效益。(2) 启停能耗。启停过程中的能耗显著降低,启停时间缩短,提高了电厂的运行灵活性和响应速度。(3) 给水泵系统能耗。给水泵系统能耗降低约15%,显著降低了电厂的运营成本。(4) 设备故障率。通过升级监控系统和优化启停流程,设备故障率显著降低,延长了设备寿命,减少了停机时间。(5) 维护成本。由于设备故障率下降和监控系统提供的精准维护指导,电厂的维护成本得到有效控制。

结束语

汽轮机运行调节方式的优化策略,通过对汽缸漏汽、启停系统、给水泵运行效率等关键问题的分析与改进,实现了设备运行效率的提升和能耗的降低。结合实例分析,我们看到这些优化策略在实际应用中取得了显著成效,不仅提高了汽轮机的性能指标,还为企业带来了经济效益和社会效益的双重提升。未来,随着技术的不断进步和创新,汽轮机运行调节方式的优化将更加深入,为能源行业的可持续发展贡献力量。

参考文献

- [1]吕泰萍,杨明,滕九洋.汽轮机运行调节方式优化策略探析[J].现代工业经济和信息化,2022,(03):35-36.
- [2]褚亮.汽轮机运行调节方式优化策略探析[J].百科论坛电子杂志,2021,(07):81-82.
- [3]张洋.探讨电厂集控运行中汽轮机运行优化策略[J].科学与信息化,2020,(09):95-96.
- [4]郭鹏雄,刘亮.汽轮机运行调节方式优化策略分析[J].电脑爱好者,2021,(10):97-98.