

燃气轮机及其热力系统性能分析与优化

武俊玘

中国能源建设集团天津电力建设有限公司 天津 300030

摘要：燃气轮机及其热力系统是重要的能源转换装置，对其性能进行分析与优化至关重要。本文围绕燃气轮机热力系统的性能分析方法，包括能量分析、效率计算、先进诊断技术应用等方面，提出提高燃气轮机本体效率、热力系统流程优化、控制系统管理优化等策略。通过联合运用多种手段，可实现系统性能的持续提升，提高能源利用率，降低维护成本，促进燃气轮机热力系统的安全稳定运行和环保发展。

关键词：燃气轮机；热力系统；优化策略

1 燃气轮机及其热力系统的概述

燃气轮机作为一种重要的热力机械设备，具备将热能高效转化为机械能的能力。其核心作用在于，通过非燃气方式获取热能，进而转化为旋转机械动能，从而驱动发电机等设备产生电力。燃气轮机由多个关键部件组成，包括压气机、燃烧室和涡轮等，各自扮演着不可或缺的角色。在运行过程中，燃气轮机依托热力系统的支持，实现稳定、高效的能量转换。热力系统涵盖了蒸汽循环系统等多个子系统，负责提供所需的热能工质，如燃气、蒸汽等，确保燃气轮机的正常运行。通过燃烧燃料或以其他方式，热能被引入燃气轮机，进而驱动涡轮旋转。在这一过程中，压气机首先将空气吸入并压缩，随后进入燃烧室中，通过热能的转换，生成高温高压燃气，推动涡轮高速旋转。最终，燃气轮机输出的机械能通过发电机转化为电能，满足各类应用需求。燃气轮机及其热力系统因具有运行稳定、效率高和功率大等显著优势，在电力、能源和化工等领域得到广泛应用。特别是在大型电力站和工业企业中，燃气轮机更是发挥着举足轻重的作用。随着环保意识的日益增强，燃气轮机的发展也越来越注重环保和节能技术的运用。通过采用高效低污染的技术和设备，燃气轮机在发电领域的运用不仅提高了能源利用效率，还显著减少了对环境的影响，实现了经济效益与社会效益的双赢。

2 燃气轮机热力系统的基本原理与构成

2.1 燃气轮机的工作原理及类型

燃气轮机热力系统是由燃气轮机本身和其配套的热电系统组成，用于转换热能为机械能和电能。其基本原理在于利用高温高压的热能使涡轮旋转，从而产生机械功，驱动发电机发电。燃气轮机主要由压气机、燃烧室、涡轮等组成。压气机负责将空气吸入并进行压缩，燃烧室内燃料燃烧产生高温高压的气体，通过涡轮转动

驱动发电机，最终将机械能转化为电能输出^[1]。热电系统包括燃气循环系统和蒸汽循环系统：前者通过给燃气轮机提供燃气，并回收余热提高效率；后者通过将燃气轮机排出的废热用来加热水蒸汽，产生高温高压蒸汽再送入蒸汽轮机进行再次循环。汽轮机按工作原理可分为燃气轮机和蒸汽轮机两大类。气轮机则以燃气或空气作为工质，有燃气轮机和空气轮机两种类型。燃气轮机一般分为逆流式、径流式和混流式等类型，根据涡轮叶片的设计结构和工质流动方向不同而区别。逆流式适用于大容量小功率要求的场合；径流式适用于同时要求容量和功率高的场合；混流式适用于容量和功率都较大的场合。

2.2 热力系统的构成与功能

燃气轮机热力系统是一个复杂的能量转换系统，主要由燃气轮机与与之配套的燃烧系统、热力系统等组成。其基本原理在于将热能转化为机械能和电能。燃气轮机使用高温高压的热能使涡轮转动，进而产生机械功，驱动发电机发电。热力系统则为燃气轮机提供热源，包括供气系统、燃气循环系统和蒸汽循环系统。供气系统主要负责向燃气轮机提供燃气，燃气循环系统则将燃气送入涡轮机，同时回收余热，提高热效率。蒸汽循环系统通过将燃气轮机排出的废热利用于加热水蒸汽，再将高温高压的蒸汽送入汽轮机进行再次循环，实现能量的回收利用，提高整个系统的能量效率。热力系统的构成与功能相辅相成，共同确保燃气轮机的高效稳定运行。通过供气系统为燃气轮机提供足够的燃气能源，燃气循环系统和蒸汽循环系统则有效回收和再利用废热，提高能源利用效率。热力系统不仅能够为燃气轮机提供所需能量，同时通过优化设计和运行，还能减少能源浪费、减少环境污染，实现节能减排的目标。

2.3 燃气轮机与热力系统的相互作用

燃气轮机热力系统是由燃气轮机与热力系统相互作

用形成的复杂能量转换系统。燃气轮机通过接收高温高压的热力能源,使得涡轮旋转从而产生机械功并驱动发电机,将热能转化为电能输出。热力系统为燃气轮机运行提供了关键支持,主要由供气系统、燃气循环系统和蒸汽循环系统构成。在燃气轮机的运行中,供气系统负责向燃气轮机提供足够的燃气或空气,确保其正常运转,通过供气系统的协调作用,燃气轮机能够持续获得所需的燃气工质,为后续能量转换提供基础。燃气循环系统和蒸汽循环系统则起到提高能源利用效率的作用^[2]。燃气循环系统通常能够回收余热,提高热效率;而蒸汽循环系统能够通过将废热转化为热能,并再次输送至燃气轮机,实现对能量的再次利用。燃气轮机与热力系统相互作用的关键在于协调运行、高效转化热能,从而保证整体系统的稳定和可靠性。燃气轮机依赖于热力系统供给能源进行运行,而热力系统又依赖燃气轮机产生的机械功将热能转变为电能,形成良性循环。相互作用使得能量在系统内得以充分流动和转换,最终实现了能源的合理利用和高效转化。

3 燃气轮机热力系统性能分析方法

3.1 性能评价指标与标准

对燃气轮机热力系统的性能进行全面分析是确保系统高效运行和优化设计的关键。性能分析方法主要包括数学模型分析、仿真模拟和实验验证,通过综合运用这些方法可对燃气轮机热力系统进行全面评估。数学模型分析是评估燃气轮机热力系统性能的基础,通过建立系统的数学模型,包括燃气轮机工作过程中的动力学、热力学等方面,并利用计算机软件对系统进行模拟和计算。这种方法能够定量地评估系统的热效率、产能等性能指标,为系统设计和优化提供科学依据。仿真模拟是一种常用的性能分析方法,通过模拟不同工况下燃气轮机热力系统的运行情况,预测系统在不同载荷、负荷变化等条件下的性能表现。仿真模拟可以帮助工程师了解系统的性能特点和运行规律,为系统的性能改进和调整提供理论支持。实验验证是性能分析的重要手段之一,通过实际搭建试验台或在工程实践中对燃气轮机热力系统进行测试和监测,获得真实的运行数据和性能参数,验证数学模型和仿真结果的准确性,进一步优化系统设计和运行策略。对燃气轮机热力系统的性能进行评价时,主要的性能评价指标和标准包括但不限于:热效率、发电效率、能耗指标、排放指标、负荷适应性、可靠性等。其中,热效率是衡量系统能源利用效率的重要指标,可以通过计算功率输出与消耗的燃料热值之比来评价系统的能效性。发电效率则侧重于计算发电机产生

的电能相对于燃气轮机输入热能的转化效率。

3.2 能量分析与效率计算

燃气轮机热力系统的性能分析方法涉及到能量分析和效率计算,能够帮助我们全面评估系统运行情况,并指导提高系统效率的措施。能量分析是对燃气轮机热力系统中各个部件的能量流动与转换进行综合分析,通过对能量平衡的计算和分析,确定热力系统中各个环节的能量损失和转换效率。能量分析可用于测算每个关键组件的能量输入、输出,发现能量流失的部分和潜在提高效率的环节,为性能改进提供依据。效率计算是对燃气轮机热力系统整体能量利用效率的评估,其主要表现为热效率和发电效率两方面。热效率是指系统从燃料中转换为输出功率的能量比率,一般通过计算输出功率与燃料热值之比得出。高热效率意味着能源得到更有效利用,系统效率更高^[3]。发电效率则是指系统将输入的热能转化为电能的效率,通常通过计算实际发电功率与燃料输入能量之比来评估。高发电效率代表系统能够更有效地转换热量为电能输出。通过能量分析和效率计算,可以全面了解燃气轮机热力系统的能量利用情况,识别系统中存在的能量损失和效率低下的问题,并提出相应的改进措施。优化系统设计、调整工艺参数、改善热力循环等措施皆可采用,以提高系统的整体性能和效率,实现节能减排的目标,同时满足系统经济性要求和环保标准。

3.3 热经济性评价方法

燃气轮机热力系统的性能分析方法中,热经济性评价是一个重要的方面,通过热经济性评价可以定量分析系统的热能利用效率和经济性,为优化设计和运行提供指导。热经济性评价方法主要包括热电联产效益分析、热负荷分析和成本效益分析等。在热电联产效益分析中,通过对燃气轮机热力系统中的热能利用情况进行评估,评估系统同时产生电力和热能的效益。这一方法有助于综合利用能源、最大程度地提高系统效率,降低能源消耗,减少环境影响。热负荷分析用于确定燃气轮机热力系统的能源需求需求量和变化情况,有助于合理规划供能方案、平衡能源供需关系并提高系统的能源利用效率。通过充分了解系统的热负荷情况,可以优化系统运行模式、提高系统灵活性和适应性。成本效益分析是评估燃气轮机热力系统投资回报的重要手段,通过考察系统的建设、运行和维护成本,结合系统的效益和性能指标,分析系统的整体经济性。在评价燃气轮机热力系统性能时,不能忽视其对相关成本的影响,只有在综合考虑系统的经济性和效益时,才能更全面地评估系统的性能水平。

3.4 先进诊断技术的应用

燃气轮机热力系统性能分析方法中,先进诊断技术的应用起着至关重要的作用。这些技术通过实时监测、数据分析和故障诊断,提高了系统性能分析的准确性和效率,为系统的优化管理和维护提供重要支持。先进诊断技术包括振动分析、热像检测、数据挖掘等多种手段。振动分析技术可用于监测燃气轮机旋转部件的状态,发现早期运行异常迹象,预防机械故障的发生。通过振动数据的采集和分析,可以识别机械磨损、不平衡、轴承故障等问题,及时进行维修和保养,确保系统稳定运行。热像检测技术则可用于实时监测燃气轮机各个部件的温度变化,识别热源、热量损失以及潜在的故障点。这种技术有利于发现系统热量不均匀、轴承润滑不足、绝缘故障等问题,提高对系统运行状态的实时掌握能力。数据挖掘技术可以利用历史数据和实时数据,分析各种参数之间的关联性,预测系统的未来运行状况,提前发现潜在的问题和优化设备运行模式。通过数据挖掘分析,可以优化系统的调度策略、提高系统效率,并提供智能决策支持^[4]。先进诊断技术在燃气轮机热力系统性能分析中的应用,有助于提高系统的安全性、稳定性和可靠性,减少故障率,提升运行效率。

4 燃气轮机热力系统性能优化策略

要实现燃气轮机热力系统的性能优化,需要综合考虑提高燃气轮机本体效率、热力系统流程优化与改造、以及控制系统与运行管理优化等措施。提高燃气轮机本体效率的措施是关键。可通过定期进行燃气轮机设备的检修和维护,保持设备的良好状态,减少机械损耗和能量损失。优化燃气轮机的设计和运行参数,提高燃气轮机的负荷率和燃烧效率,减少能源的浪费,提高燃气轮机的发电效率。进行热力系统流程的优化与改造也是必不可少的,可以通过改进热力系统的布局、优化换热器的设计、改善循环流程等方式,减少流体阻力,提高传

热效率和流体运行效率,以提升系统的热功率输出和节能效果。控制系统与运行管理的优化也是关键步骤,引入先进的控制系统技术,实现对燃气轮机热力系统运行状态的实时监测和调节,保证系统运行在最佳状态。加强运行管理,合理规划系统的启停运行策略、优化能源供应组织和设备调度,有效降低燃料消耗和维护成本,提高系统的整体效益。燃气轮机热力系统性能优化需要综合运用提高燃气轮机本体效率、热力系统流程的优化与改造,以及控制系统与运行管理的优化等多种手段和策略。通过不断改进系统设计、优化运行管理、提高设备效率,可以实现燃气轮机热力系统的高效稳定运行,降低维护成本,从而有效提升系统的性能水平和经济效益。

结束语

在燃气轮机及其热力系统性能分析与优化的过程中,不断探索创新,努力提升系统的效率和可靠性。通过多种手段的综合运用,能够实现系统性能的持续提升,为能源利用效率的提高和环境保护贡献力量。在未来,将继续深入研究并应用先进技术,不断改进设计和管理策略,以全方位优化燃气轮机热力系统的运行,实现经济、环保和可持续发展的目标。相信在不断追求创新和提高效率的道路上,燃气轮机热力系统将展现出更加出色的性能,并为能源领域的发展做出更大的贡献。

参考文献

- [1]吴涛.付昶.二次再热燃气轮机热力性能评价方法初探[J].东方燃气轮机.2020(03):24-28+41.
- [2]周悦.胡钢.江冰.蔡昌春.燃气轮机热力性能计算软件设计与实现[J].微处理机.2019.37(02):65-69+72.
- [3]张明.李华.燃气轮机热力系统性能分析及优化策略研究[J].热力发电技术.2022(02):35-40.
- [4]王刚.赵磊.燃气轮机热力系统节能改造与性能提升实践[J].能源与环境工程.2021(04):67-72.