

燃气轮机技术及发展

李 宽

晋能电力集团嘉节燃气热电分公司 山西 太原 030000

摘要：燃气轮机作为高效能源转换设备，基于布雷顿循环工作，通过压气机、燃烧室和涡轮实现空气到机械能的高效转换。其关键技术包括热力循环优化、高温部件材料与制造工艺以及燃烧技术。燃气轮机在电力、航空航天和船舶等领域有广泛应用，展现出独特优势。未来，燃气轮机技术将朝着高效化、低排放化、多燃料适应性和智能化方向发展，通过技术创新提升热效率、降低排放、增强燃料适应性和实现智能运维，为能源行业的可持续发展贡献力量。

关键词：燃气轮机；技术；发展

引言：燃气轮机作为现代工业与能源转换领域的核心设备，其高效、灵活的能源转换能力备受瞩目。从电力工业到航空航天，再到船舶动力，燃气轮机以其卓越的性能和广泛的适应性，在推动相关行业技术进步和产业升级中发挥着重要作用。随着全球能源结构的转型和环保意识的增强，燃气轮机技术正朝着高效化、低排放化、多燃料适应性和智能化方向发展。本文旨在深入探讨燃气轮机的工作原理、关键技术、应用领域以及未来发展趋势，以期对相关领域的研究人员和从业者提供有益的参考和借鉴。通过全面了解燃气轮机的发展现状和未来趋势，我们可以更好地把握能源行业的发展脉搏，为构建清洁、高效、可持续的能源体系贡献力量。

1 燃气轮机的工作原理

燃气轮机，作为一种高效、灵活的能源转换设备，其工作原理主要基于布雷顿循环，通过一系列精密设计的组件和流程，实现了从空气到机械能的高效转换。这一过程不仅体现了现代热力学的先进理念，也展现了燃气轮机在能源利用领域的独特优势。燃气轮机的心脏部分主要由压气机、燃烧室和涡轮三大关键部件构成。这三个部件的协同工作，构成了燃气轮机完整的工作流程。（1）空气通过进气道进入压气机。压气机的作用是将进入的空气进行压缩，使其压力和密度都得到提升。这一步骤对于后续的燃烧过程至关重要，因为高压的空气可以更有效地与燃料混合，从而提高燃烧效率。同时，压缩过程中产生的热量也为后续的膨胀做功提供了能量基础。（2）经过压缩的空气随后进入燃烧室。在这里，高压空气与燃料（如天然气、燃油等）进行混合，并在高温下发生剧烈的化学反应，释放出大量的热能。这一过程中，燃料的化学能被转化为热能，形成高温高压的燃气。高温高压的燃气不仅携带了大量的热能，还

具备了较高的压力势能，为后续的涡轮做功提供了强大的动力源。（3）燃气进入涡轮部分后，开始膨胀并推动涡轮叶片旋转^[1]。涡轮的设计非常精巧，其叶片形状和排列方式都经过精心计算，以确保燃气能够高效地转化为机械能。涡轮的旋转不仅驱动了压气机继续工作（形成了燃气轮机的自循环），还通过传动装置将一部分能量输出到外部，用于驱动发电机发电或作为其他机械设备的动力源。燃气轮机的工作过程是一个连续的循环过程，包括进气、压缩、燃烧、膨胀和排气五个主要阶段。这一过程中，燃气轮机不仅实现了能量的高效转换，还展现出了功率密度大、启动迅速、运行平稳等显著优点。功率密度大意味着燃气轮机能够在较小的体积内产生较大的功率输出，这对于能源利用的空间布局具有重要意义；启动迅速则使得燃气轮机能够在短时间内达到额定功率输出，满足了现代能源系统对快速响应的需求；运行平稳则保证了燃气轮机在长时间运行过程中能够保持稳定的性能输出，降低了维护和运营成本。

2 燃气轮机的关键技术

燃气轮机，作为现代工业与能源转换领域的核心设备，其性能的提升与技术的革新直接关系到能源利用率、环境保护以及行业发展的可持续性。燃气轮机的关键技术，包括热力循环优化技术、高温部件材料与制造工艺以及燃烧技术，是推动其不断进步的关键因素。

2.1 热力循环优化技术

热力循环优化技术是燃气轮机性能提升的核心所在。通过科学合理地设计热力循环过程，可以显著提高燃气轮机的热效率，降低能耗，提升整体性能。中间冷却、回热、再热等技术手段，正是热力循环优化中的关键策略。（1）中间冷却技术通过在压气机中设置中间冷却级，有效降低压气机出口空气温度，减少压缩过程中

的能量损耗。这一技术不仅提高了压气机的效率，还为后续燃烧过程提供了更为理想的进气条件，从而提升了整个燃气轮机的性能。(2)回热技术则充分利用了涡轮排气中的余热，通过热交换器预热进入燃烧室的空气，提高了燃烧效率。这一技术不仅降低了燃料的消耗量，还减少了燃烧过程中产生的污染物，实现了能源的高效利用与环境保护的双重目标。(3)再热技术通过在涡轮中增加一级燃烧过程，进一步提升了燃气的做功能力^[2]。这一技术不仅提高了燃气轮机的输出功率，还通过增加热效率，降低了单位功率的燃料消耗，为燃气轮机的长期稳定运行提供了有力保障。

2.2 高温部件材料与制造工艺

燃气轮机的高温部件，如燃烧室、涡轮叶片等，长期处于极端恶劣的工作环境中，对材料的耐高温、抗腐蚀和高强度性能提出了极高的要求。为了满足这些要求，科研人员不断研发新型高温材料，并优化制造工艺，以确保高温部件的可靠性与使用寿命。镍基高温合金、钴基高温合金等先进材料，凭借其卓越的耐高温、抗腐蚀性能，成为了燃气轮机高温部件的首选材料。这些材料不仅能够高温下保持稳定的组织结构，还具有良好的机械性能和抗疲劳性能，为燃气轮机的长期稳定运行提供了有力支撑。然而，随着燃气轮机性能要求的不断提高，传统材料已难以满足更为苛刻的工作环境。因此，陶瓷基复合材料、金属间化合物等新型材料正在被积极研发与试验。这些材料不仅具有更高的耐高温性能，还具有良好的抗腐蚀性和高强度性能，为燃气轮机的高温部件提供了新的选择。在制造工艺方面，精密铸造、定向凝固、单晶生长等技术的发展，为高温部件的制造提供了更为精细和可靠的手段。这些技术不仅提高了高温部件的组织结构和性能，还降低了制造成本，为燃气轮机的广泛应用提供了有力支持。

2.3 燃烧技术

燃烧技术是燃气轮机性能、排放和运行稳定性的关键因素。现代燃气轮机采用多种先进的燃烧技术，以实现高效清洁的燃烧过程。(1)低氮氧化物燃烧技术通过优化燃烧室结构、空气与燃料的混合方式以及燃烧过程控制，显著降低了氮氧化物等污染物的排放。这一技术不仅满足了日益严格的环保法规要求，还提高了燃烧效率和稳定性，为燃气轮机的绿色发展提供了有力保障。(2)预混燃烧技术通过提前将燃料与空气混合均匀，实现了更为充分的燃烧过程。这一技术不仅提高了燃烧效率，还降低了燃料消耗和污染物排放，为燃气轮机的节能减排提供了有力支持。(3)分级燃烧技术则将燃烧过

程分为多个阶段进行，以实现更为稳定和高效的燃烧。这一技术不仅提高了燃气轮机的输出功率和热效率，还降低了燃烧过程中的噪声和振动，提升了设备的运行稳定性和可靠性。

3 燃气轮机在不同领域的应用

燃气轮机作为一种高效、灵活且多功能的动力装置，在多个领域展现出了其独特的优势和广泛的应用前景。从电力工业到航空航天，再到船舶动力，燃气轮机以其卓越的性能和适应性，成为了推动相关行业技术进步和产业升级的重要力量。

3.1 电力工业

在电力领域，燃气轮机发电机组以其启动迅速、调峰性能优越、占地面积小等优势，成为了现代电力系统中的重要组成部分。特别是在分布式能源系统的兴起下，燃气轮机与余热锅炉、蒸汽轮机组成的联合循环发电系统，凭借其超过60%的综合热效率，远高于传统的蒸汽轮机发电系统，成为了提高能源利用效率、降低碳排放的优选方案^[3]。这种高效、环保的发电方式不仅满足了电力需求的快速增长，还促进了能源结构的优化和可持续发展。此外，燃气轮机在应急电源和孤岛供电等特殊电力供应场景中，也展现出了其独特的价值。在自然灾害或突发事件导致电网中断时，燃气轮机发电机组能够迅速启动，为关键设施提供稳定的电力供应，保障社会生活的正常运行。

3.2 航空航天

在航空航天领域，燃气轮机作为现代航空发动机的核心部件，为飞机提供了强大的推力。航空燃气轮机以其高推重比、高可靠性和低油耗等特点，成为了衡量飞机性能的重要指标。随着航空技术的不断发展，对航空燃气轮机的性能要求也越来越高。为了满足不同飞行任务和飞机类型的需求，航空燃气轮机技术不断创新，推动了诸如高涵道比涡扇发动机、变循环发动机等新型燃气轮机发动机的研发与应用。这些新型发动机不仅提高了飞机的飞行效率、航程和机动性，还降低了燃油消耗和排放，为航空业的绿色发展做出了重要贡献。

3.3 船舶动力

在船舶领域，燃气轮机以其功率大、重量轻、体积小、启动迅速等优点，成为了高性能船舶动力的首选。无论是高速舰艇、大型商船还是特种船舶，燃气轮机都能提供稳定、可靠的动力支持。同时，燃气轮机与其他动力装置组成的联合动力系统，能够充分发挥各动力装置的优势，提高船舶的动力性能和经济性。

随着全球环保意识的增强和排放标准的提高，船舶

动力技术正朝着绿色环保方向发展。燃气轮机在降低排放、使用清洁燃料等方面也面临着新的技术挑战与发展机遇。通过研发更加先进的燃烧技术和排放控制技术,燃气轮机正在逐步降低其运行过程中的污染物排放,为船舶行业的可持续发展贡献力量。

4 燃气轮机技术的发展趋势

4.1 高效化

提高热效率是燃气轮机技术发展的永恒主题。未来,燃气轮机将通过一系列技术创新,进一步优化热力循环,提升燃烧效率,降低能量损失。热力循环的优化可能涉及更高级别的再热技术、更高效的中间冷却技术以及更先进的余热回收系统。同时,燃烧技术的改进,如采用更精细的燃料喷射技术、更高效的点火系统和更优化的燃烧室设计,将进一步提高燃烧效率,减少未燃尽的燃料损失。此外,新型高温材料的研发与应用,如陶瓷基复合材料、碳基复合材料等,将使得燃气轮机能够在更高的温度和压力下稳定运行,从而提高整体热效率。预计新一代燃气轮机的联合循环效率将有望突破65%,甚至更高,这将极大地降低燃料消耗和运行成本,提升能源利用效率,为能源行业的可持续发展贡献力量。

4.2 低排放化

随着全球环保意识的增强和环保法规的日益严格,燃气轮机的低排放技术将成为未来发展的关键。研发更加先进的低氮氧化物、低硫氧化物和颗粒物排放控制技术,将是燃气轮机技术创新的重点。这包括采用先进的燃烧控制技术,如贫燃预混燃烧、催化燃烧等,以减少氮氧化物的生成;采用脱硫技术和颗粒物捕集技术,以降低硫氧化物和颗粒物的排放。同时,探索燃气轮机与碳捕获与封存(CCS)技术的结合应用,将为实现燃气轮机发电过程中的近零排放提供新的可能。通过捕集、运输和封存燃气轮机排放的二氧化碳,可以显著降低其碳排放量,为应对气候变化做出积极贡献。

4.3 多燃料适应性

随着全球能源结构的转型和可再生能源的发展,燃气轮机将需要具备更强的多燃料适应能力。未来,燃气轮机将不仅限于燃烧传统的天然气、柴油等化石燃料,还将能够高效燃烧氢气、生物质气、合成气等新型清洁能源或替代燃料。这将使得燃气轮机在能源供应中更加

灵活多样,能够根据能源市场的变化调整燃料种类,减少对单一化石燃料的依赖,促进能源的可持续发展^[4]。同时,多燃料适应性还将为燃气轮机在分布式能源系统、微电网和可再生能源互补系统中的应用提供新的机遇。

4.4 智能化

随着信息技术的飞速发展,燃气轮机将朝着智能化方向迈进。通过引入先进的传感器技术、大数据分析、人工智能算法等,燃气轮机将实现智能监测、故障诊断、性能优化和自主运行控制。智能化技术将实时监测燃气轮机的运行状态,及时发现并预警潜在故障,提高设备的可靠性和可用性。同时,通过大数据分析,可以深入挖掘燃气轮机的运行数据,优化运行策略,提高能源利用效率。此外,智能化技术还将实现燃气轮机的自主运行控制,降低人工干预程度,提高运维效率,降低运维成本。智能化技术的应用将使得燃气轮机的运维管理更加便捷高效,为能源行业的数字化转型和智能化升级提供有力支撑。

结束语

综上所述,燃气轮机作为高效、灵活的能源转换设备,在电力工业、航空航天、船舶动力等多个领域展现出了广泛的应用前景和独特的优势。随着技术的不断进步和创新,燃气轮机正朝着高效化、低排放化、多燃料适应性和智能化方向发展。这些技术趋势不仅将提升燃气轮机的性能和可靠性,降低能耗和排放,还将为能源行业的可持续发展和数字化转型提供有力支撑。未来,燃气轮机将继续在能源领域发挥重要作用,为推动全球能源结构的优化和应对气候变化做出积极贡献。我们有理由相信,在科研人员的不断努力下,燃气轮机技术将迎来更加辉煌的明天。

参考文献

- [1]马帅杰,林文胜.利用燃气轮机烟气余热的复合有机朗肯循环系统优化分析[J].制冷学报,2019,40(06):39-45.
- [2]阎福华,武文杰.燃气轮机电厂氮氧化物排放与性能优化的研究[J].燃气轮机技术,2019,32(04):47-51.
- [3]伍赛特.燃气轮机的应用可行性研究综述[J].轻工科技,2019,35(12):52-54.
- [4]林蔚.重型燃气轮机发展现状及招标管理[J].科技创新导报,2019,16(30):160+162.