

燃气轮机热效率提升的途径与方法

任冰雪

惠生工程（中国）有限公司郑州分公司 河南 郑州 450000

摘要：燃气轮机热效率提升主要通过优化燃烧过程、改进热力循环设计及增强涡轮机与叶片性能来实现。采用先进的燃烧技术确保燃料完全燃烧，引入再热与回热循环提高工质循环效率，同时利用高精度材料与三维打印技术改进涡轮机与叶片设计，减少能量损失。这些综合措施显著提升燃气轮机热效率，促进了能源高效利用与环境保护。

关键词：燃气轮机；热效率；提升途径；优化方法

引言：燃气轮机作为一种高效、灵活且清洁的能源转换设备，在全球能源转型中扮演着至关重要的角色。本文探讨了提升燃气轮机热效率的多种途径与方法，旨在通过优化关键组件设计、改进热力循环及燃烧过程，实现能源高效利用与降低环境影响，为燃气轮机技术的进一步发展提供理论依据与实践指导。

1 燃气轮机在能源转换中的重要地位

燃气轮机在能源转换中占据着举足轻重的地位。作为现代能源技术的重要组成部分，燃气轮机以其高效、灵活和清洁的特性，在电力生产、工业驱动以及船舶和航空动力等多个领域发挥着关键作用。在能源转换的过程中，燃气轮机能够将燃料中的化学能高效地转换为机械能或电能。这一转换过程不仅效率高，而且响应速度快，能够迅速调整输出功率以满足电网或工业用户的需求。这种灵活性使得燃气轮机在可再生能源接入电网时，能够提供必要的调峰和备用电源，确保电网的稳定运行^[1]。燃气轮机还以其低排放的特点符合现代环保要求，随着技术的进步，现代燃气轮机已经能够实现极低的氮氧化物和二氧化碳排放，这对于缓解全球气候变暖、保护生态环境具有重要意义。随着风能、太阳能等可再生能源的快速发展，电网的稳定性和可靠性面临挑战。燃气轮机由于其快速启动和负荷调节能力，能够有效弥补可再生能源的间歇性和不稳定性，确保电网的稳定运行。未来，随着技术的不断创新和应用领域的不断拓展，燃气轮机在能源转换中的地位将更加凸显。

2 影响燃气轮机热效率的因素

燃气轮机作为高效能源转换设备，在能源领域发挥着至关重要的作用。然而，其热效率并非固定不变，而是受到多种因素的影响。

2.1 环境条件

环境条件是影响燃气轮机热效率的关键因素之一。主要分为以下几点：

1) 温度

随着环境温度的升高，空气密度降低，导致进入燃气轮机的空气质量流量减少。这直接影响到燃烧室内燃料的充分燃烧，进而降低了热效率。相关研究表明，气温从15℃升高至25℃时，输出功率会下降7%，气温升高至36℃时，功率会下降15%以上。

2) 大气压力

在高原或高海拔地区，由于大气压力降低，空气密度下降导致进气质量流量减少，压缩机和涡轮的压比降低，整体输出功率下降。例如，在海拔3000米的高原地区，燃气轮机功率可能仅为海平面设计的70%~80%。

3) 湿度

湿空气中水蒸气的高比热容会降低燃烧温度，可能抑制燃烧效率，但水蒸气在膨胀过程中可增加工质质量流量，提高涡轮输出功率。综合效果取决于湿度水平和燃气轮机设计：在适度湿度下（如相对湿度60%以下），功率可能略有提升；但过高湿度（如热带气候）可能降低燃烧稳定性。

2.2 燃料类型与特性

燃料类型与特性对燃气轮机热效率具有直接影响。不同类型的燃料具有不同的热值和燃烧特性，这决定了它们在燃气轮机中的燃烧效率和能量转换效率。例如，天然气作为一种清洁能源，具有高热值和易于燃烧的特性，使得燃气轮机在采用天然气作为燃料时能够获得较高的热效率。

燃料中的杂质和含水量也会对热效率产生影响。杂质可能导致燃烧不完全，产生积碳和污染物排放，而含水量则可能降低燃料的热值，进而影响燃烧效率。

2.3 燃气轮机设计与制造质量

燃气轮机的设计与制造质量是决定其热效率的基础。例如，先进的燃烧室设计可以提高燃料的燃烧效率和稳定性，而高效的透平叶片设计则能够减少能量损

失,提高热效率。制造质量同样重要,精密的制造工艺和严格的质量控制可以确保燃气轮机的各个部件都能达到设计要求,从而实现高效运行。相反,制造过程中的缺陷和误差可能导致燃气轮机性能下降,甚至引发故障^[2]。

2.4 运行维护状况

燃气轮机的运行维护状况对其热效率具有长期影响。定期的检查和维护可以及时发现并排除潜在的故障隐患,确保燃气轮机始终处于最佳运行状态。例如,定期清洗燃烧室和透平叶片可以去除积碳和污垢,提高燃烧效率和透平效率;定期更换磨损的部件可以保持燃气轮机的整体性能稳定。

合理的运行参数调整也是提高热效率的重要手段。根据燃气轮机的实际运行情况和环境条件,调整进气温度、燃料供应量等参数,可以使其在不同工况下都能保持较高的热效率。

3 燃气轮机热效率提升的途径与方法

3.1 提高燃烧效率

提高燃烧效率是提升燃气轮机热效率的直接且关键途径,其核心在于确保燃料的完全燃烧与维持燃烧的稳定性,具体可通过以下手段:

1) 通过对燃烧室的设计进行持续优化,比如引入先进的燃烧器技术,这些技术可能包括预混燃烧、富氧燃烧等,它们能有效提高燃料的燃烧效率,确保燃料的完全燃烧;

2) 采用更高效的点火系统,如高能点火器或激光点火技术,也能确保燃料在燃烧室内迅速且充分地燃烧,从而释放出更多的热能。

3) 精确控制燃料与空气的混合比例,通过先进的测量与调节技术,如激光测距、质量流量控制器等,我们可以实现燃料与空气的最佳配比,这不仅能提高燃烧效率,还能减少有害排放物的生成。

4) 保持燃烧的稳定性。通过引入先进的燃烧控制算法,这些算法能实时监测燃烧室内的燃烧状态,包括火焰温度、燃烧速率等关键参数,并根据这些数据进行及时调整,以确保燃烧的稳定性。

5) 采用先进的点火和熄火保护系统,如自动点火装置和火焰探测器,能在紧急情况下迅速响应,确保燃气轮机安全停机,避免事故扩大。

3.2 优化热力循环

热力循环的优化是提高燃气轮机热效率的另一个重要且复杂的途径,它涉及到提高工质的循环效率和减少能量损失两个方面。这要求我们对燃气轮机的热力循环参数进行精细调整,可以通过

1) 提高压缩比,即增加进入燃烧室的空气压力,这有助于提高燃烧效率和透平做功能力;

2) 降低排气温度,即减少透平排气中的余热,这有助于提高整个热力循环的效率^[3]。

3) 采用先进的热力循环技术,如再热循环和回热循环,能进一步提高工质的循环效率。再热循环通过在透平前再次加热工质,使得透平能够利用更多的热能,从而提高做功效率;而回热循环则通过回收透平排气中的余热,用于加热进入压缩机的空气,这不仅能提高压缩机的入口温度,还能减少热损失,从而提高整个热力循环的效率。

4) 减少能量损失也是热力循环优化的重要方面。燃气轮机在运行过程中会产生多种形式的能量损失,如热损失、摩擦损失和泄漏损失等。为了减少这些损失,可以采用先进的材料和制造工艺,如高温合金、陶瓷涂层等,提高燃气轮机各部件的密封性和耐磨性,从而减少泄漏损失和摩擦损失。

5) 引入先进的节能技术,如余热回收装置、变频调速装置等,也能进一步减少能量损失,提高燃气轮机的热效率。其中应用比较广泛的是燃气蒸汽联合循环。燃气蒸汽联合循环机组包括燃气轮机和蒸汽循环系统燃气轮机,在燃气轮机中,燃料燃烧并推动涡轮机作工,同时也生成高温高压的燃烧气体。这些高温燃气进一步用于加热水或蒸发工质形成蒸汽,利用产生的蒸汽来驱动蒸汽轮机。燃机简单循环效率较低,约30-40%,联合循环(与蒸汽轮机结合)效率可提升至50-60%。

3.3 改进涡轮机与叶片设计

涡轮机和叶片作为燃气轮机中的关键部件,其设计对于燃气轮机的性能和效率具有至关重要的影响。首先,优化涡轮机的设计改进叶片的形状、尺寸能减少流体在涡轮机中的流动阻力,提高流体的动能转换效率。采用先进的材料和技术,例如单晶高温合金、陶瓷基复合材料等,能进一步提高涡轮机的耐高温和耐磨损性能。还可以采用先进的制造工艺和技术,如精密铸造、激光熔覆等,进一步提高叶片的制造精度和表面质量,从而提高其性能和耐久性。

3.4 采用先进的冷却技术

燃气轮机在运行过程中会产生大量的热量,如果不及及时散热,就会导致部件过热、性能下降甚至损坏。因此采用先进的冷却技术也是提升燃气轮机热效率的重要手段。

空气冷却技术是常用的方法之一,通过在燃气轮机的进气系统中引入冷空气或经过预冷的空气,可以降低

燃气轮机部件的温度,从而提高其性能和耐久性。采用先进的空气冷却技术和控制系统,可以实现对燃气轮机各部件的精确冷却和温度控制^[4]。

液体冷却技术也是一种有效的冷却方法,通过向燃气轮机的关键部件注入冷却液,可以迅速带走热量并降低部件的温度。这种方法尤其适用于高温环境下的燃气轮机或需要长时间连续运行的燃气轮机。然而需要注意的是,液体冷却技术需要复杂的冷却系统和控制系统来确保其正常运行和安全性。除了空气冷却和液体冷却技术外,还有其他一些先进的冷却技术,例如双层壁冷却、微通道冷却等,可以提高冷却效率,降低冷却空气消耗,也可以用于提升燃气轮机的热效率。

3.5 提高压缩机效率

提高压缩机的效率可以直接减少燃气轮机在压缩过程中的能量损失,从而提升整体热效率。优化压缩机的设计是提高效率的关键,通过改进压缩机的流道形状、叶片几何参数以及级间冷却系统,可以减少空气在压缩机中的流动阻力和温度上升,从而提高压缩机的效率。

采用先进的材料和制造工艺,如高强度合金和精密铸造技术,可以进一步提高压缩机的耐高温和耐磨损性能,延长其使用寿命。精确控制压缩机的运行参数也是提高效率的重要手段。

3.6 优化控制系统与运行策略

燃气轮机的控制系统和运行策略对其热效率具有重要影响。通过优化控制系统和运行策略,可以实现对燃气轮机运行状态的精确控制和智能优化,从而提高其热效率。

引入先进的控制系统是提高燃气轮机热效率的关键,现代控制系统通常采用先进的传感器技术、数据处理算法和通信技术,能够实时监测燃气轮机的运行状态

和性能参数,并根据实际需求进行精确调整。

通过引入自适应控制技术和机器学习算法,可以实现对燃气轮机运行参数的智能优化,进一步提高其热效率。

其次,制定科学的运行策略也是提高燃气轮机热效率的重要手段,根据燃气轮机的实际需求和运行条件,制定合理的启动、停机、加载和卸载等运行策略,可以确保燃气轮机在最佳工况下运行,减少不必要的能量损失^[5]。

通过优化燃气轮机的运行模式和调度策略,可以实现与其他能源设备的协同运行,进一步提高整个能源系统的效率。这在化工系统中的运用比较常见,如和辅助锅炉、蒸汽管网间的背压发电机组,

结束语

综上所述,燃气轮机热效率的提升是一个系统工程,涉及燃烧技术、热力循环优化、涡轮机与叶片设计等多个方面。通过持续的技术创新与综合应用,已成功探索出多条有效途径与方法。未来,随着材料科学、信息技术等领域的不断进步,燃气轮机热效率的提升空间将更加广阔,为构建绿色低碳、高效智能的能源体系贡献力量。

参考文献

- [1]陈志勇.燃气轮机热效率提升的关键技术研究[J].动力工程,2021,37(4):245-251.
- [2]李晓东.燃气轮机排放控制技术的现状与未来展望[J].环境保护科学,2022,48(3):120-126.
- [3]张伟.燃气轮机燃烧技术的优化与排放控制研究[J].能源工程,2020,42(2):89-94.
- [4]史进渊.基于设计寿命的汽轮机检修周期优化方法的研究[J].动力工程学报,2020,40(7):530-539.
- [5]金云峰,刘超,邓高峰,等.燃气轮机进气过滤系统维修周期经济性分析[J].发电技术,2022,43(1):119.