

# 燃气轮机燃烧室及透平部件安装工艺优化研究

张德齐

中国能源建设集团天津电力建设有限公司 天津 300180

DOI: 10.12238/ems.v7i5.13215

**[摘要]** 燃气轮机燃烧室及透平部件的安装质量对机组运行的安全性和效率至关重要。针对新建机组安装过程中存在的部件装配精度控制难、安装工艺复杂及运行稳定性优化不足等问题, 研究高精度定位技术、优化装配顺序及提升密封性等关键工艺。通过改进燃烧室对中调整方法、优化透平部件间隙控制以及应用高效紧固技术, 提高安装精度, 减少热变形影响, 提升机组整体运行可靠性。研究成果可为新建燃气轮机机组安装提供技术支持, 促进燃机装配工艺标准化与工程实践优化。

**[关键词]** 燃气轮机安装工艺; 燃烧室装配; 透平部件定位; 精密对中; 间隙控制

## 引言:

燃气轮机作为高效清洁的动力设备, 在能源、电力及工业领域占据重要地位。其燃烧室及透平部件的安装精度直接关系到机组的运行稳定性、燃烧效率及使用寿命。新建机组的安装过程中, 面对高温高压环境、复杂结构及严格公差要求, 传统工艺难以满足精密装配需求。如何优化安装流程、提升部件对中精度、减少装配误差, 成为提升机组性能的关键。本研究围绕燃烧室及透平部件的安装工艺展开优化探讨, 通过先进技术手段提升装配质量, 为燃气轮机安装工程提供有效技术支持。

## 一、燃气轮机燃烧室及透平部件安装工艺现状与挑战

燃气轮机作为现代能源与动力系统的重要设备, 其燃烧室和透平部件的安装质量直接影响机组的运行效率、稳定性和使用寿命。随着新建机组功率等级的不断提高, 对燃烧室和透平部件的装配精度、气密性及结构稳定性的要求也日益严格。然而, 在燃气轮机安装过程中, 燃烧室与透平部件的安装工艺仍面临诸多挑战, 影响整体机组的运行性能。

燃烧室作为燃气轮机的核心部件, 其安装精度决定了燃烧效率和排放特性。燃烧室内部高温、高压环境使得部件材料易发生热膨胀和变形, 传统安装方法难以确保燃烧室在高温工况下的精准对中。此外, 燃烧室组件多为高精度制造零件, 安装过程中对配合间隙、公差匹配、密封性能等要求极为严格。如果安装过程中出现微小偏差, 可能导致燃烧不均匀、热负荷分布异常, 甚至引发高温部件损伤, 影响机组的长期运行稳定性。因此, 燃烧室的安装需要高精度的对中技术、合理的紧固方式及优化的密封工艺, 以减少部件热变形带来的影响。

透平部件作为燃气轮机动力转换的重要环节, 其安装精度直接影响机组的能量转换效率和运行寿命。由于透平部件涉及多个动静部件, 如透平叶片、隔板、导向叶片等, 其装配公差控制要求极为严格。在新建机组的安装过程中, 透平部件的对中精度、间隙匹配及紧固工艺成为影响机组运行效率的关键因素。传统安装方法往往依赖人工调整, 受人为误差影响较大, 导致运行过程中部件之间的摩擦损耗增加, 甚至可能因热变形或间隙控制不当引发振动问题。此外, 透平部件在高温、高速旋转的工况下, 必须确保其在安装后具有良好的动态稳定性, 避免因应力集中或装配误差导致疲劳损伤。

在新建燃气轮机机组的安装过程中, 燃烧室及透平部件的安装工艺优化已成为提升机组可靠性和运行效率的核心环节。如何通过精准测量技术优化部件对中、如何提升装配精度以减少热变形影响、如何改进紧固与密封工艺以提升机组稳定性, 是当前燃机安装领域亟待解决的关键问题。针对这些挑战, 优化安装工艺、引入先进的测量与装配技术, 对于

提高新建机组的运行可靠性和经济性具有重要意义。

## 二、新建机组燃烧室高精度对中技术与优化策略

燃烧室作为燃气轮机的关键部件, 其安装精度对机组的燃烧效率、排放特性及运行稳定性具有决定性影响。在新建机组的安装过程中, 由于燃烧室结构复杂、部件间隙要求严格且工况环境极端, 高精度对中技术的应用显得尤为重要。精准对中不仅能确保燃烧室与透平部件的配合精度, 还能有效减少热变形带来的负面影响, 提高机组的长期可靠性和运行效率。

传统燃烧室安装主要依赖机械测量和人工调整, 但由于燃烧室内部结构复杂, 部件数量多, 加工和装配公差累计, 人工对中容易受到误差影响, 难以满足高精度要求。为了提高安装精度, 目前在新建机组的安装过程中, 广泛采用激光对中、三坐标测量和数字化建模等高精度测量技术。激光对中技术能够提供微米级精度的测量数据, 通过高精度激光测距设备确定燃烧室组件的位置, 并进行实时调整, 以确保各组件在设计公差范围内安装。三坐标测量技术则可以对燃烧室关键部件进行高精度空间定位, 避免人工测量误差, 提高安装精度。

除了测量技术的优化, 安装工艺的改进也是提高对中精度的重要手段。在燃烧室安装过程中, 合理的装配顺序和均衡紧固策略对于减少应力集中、避免安装误差至关重要。采用分步紧固工艺, 即按照对称顺序逐步拧紧紧固件, 并控制每步的扭矩, 使燃烧室各组件均匀受力, 避免单侧紧固导致的装配偏差。此外, 在紧固过程中引入智能扭矩控制系统, 可以精确控制各部位的紧固力, 确保安装后燃烧室结构均匀稳定, 降低运行过程中因应力不均导致的变形风险。

针对燃烧室与其他部件的对中优化, 柔性对中技术的应用能够进一步提高安装精度。通过使用高精度调节垫片、柔性连接件以及热膨胀补偿结构, 可以有效吸收安装公差, 并在运行过程中补偿热膨胀带来的位移偏差。这种方式能够在保证对中精度的同时, 提高机组的长期稳定性, 减少热冲击对燃烧室的影响。

在新建机组的安装过程中, 燃烧室高精度对中技术的优化不仅提高了装配精度, 还为机组的高效运行提供了保障。随着数字化测量、智能装配和先进紧固技术的不断发展, 燃烧室的安装工艺将更加精细化和标准化, 为燃气轮机的长期稳定运行奠定坚实基础。

## 三、透平部件装配顺序优化及紧固技术改进

透平部件作为燃气轮机的核心动力转换结构, 其装配顺序和紧固技术直接影响机组的运行稳定性、机械强度和长期可靠性。在新建机组的安装过程中, 透平部件通常包括透平叶片、导向叶片、隔板、轮盘及紧固件等多个关键部件。由于透平结构复杂, 涉及动静部件的精密配合, 装配顺序的优

化和紧固技术的改进至关重要,不仅能够提高机组的运行效率,还能有效降低热应力和振动对设备的影响。

透平部件的装配顺序需要遵循科学合理的流程,以确保各部件之间的精确对中和稳定连接。传统的装配方法通常按照部件单独安装的顺序进行,而忽略了整体装配的均衡性,可能导致局部应力集中、部件间隙不均或叶片错位等问题。因此,在新建机组的安装过程中,优化装配顺序的关键在于先进行整体结构对中,再按照固定顺序逐步安装透平部件。通常采用由内向外、由低温段向高温段的装配策略,先安装透平轮盘,再安装导向叶片和隔板,最后安装动叶片,以确保整体结构的稳定性和受力均衡。

在装配过程中,紧固技术的改进对于提高透平部件的装配质量至关重要。传统紧固方式往往采用人工扭矩控制,存在精度低、受力不均的问题,容易导致局部螺栓过载或松动,影响机组的运行安全性。为此,现代燃气轮机安装广泛采用智能扭矩控制技术和均衡紧固策略,通过精确控制螺栓预紧力,保证各连接点的受力均匀。尤其是在高温透平部件的安装中,采用逐级紧固工艺,按照设定的扭矩分阶段拧紧紧固件,可以有效减少安装过程中因局部受力不均引起的变形和应力集中。

此外,热紧固技术在高温透平部件的装配中具有重要作用。透平部件在运行过程中会受到高温环境的影响,导致材料热膨胀。如果装配时未考虑热膨胀效应,可能在机组启动后产生额外的应力集中或间隙变化,影响运行安全性。热紧固技术通过在安装时对紧固件加热,使其在冷却后产生额外的预紧力,从而在机组运行时保持稳定的紧固状态。这种方式能够有效防止高温环境下的螺栓松动,提高机组的长期可靠性。

#### 四、燃气轮机安装过程中间隙控制与热变形影响降低措施

燃气轮机在运行过程中会经历高温、高速旋转等极端工况,部件间的间隙控制和热变形管理直接影响机组的安全性、效率及使用寿命。特别是在新建机组的安装过程中,合理控制关键部件的配合间隙,并采取有效措施降低热变形影响,是提升机组可靠性和稳定性的核心要素。

燃气轮机的燃烧室、透平部件和轴承系统等多个部件都涉及精密间隙匹配。间隙过大可能导致气体泄漏,降低燃烧效率和机组输出功率,而间隙过小则可能因热膨胀引起部件摩擦甚至损坏。因此,在安装过程中,必须采用高精度测量技术,如激光测距、三坐标测量和数字化模拟分析,以确保各关键部件的间隙控制在合理范围内。此外,柔性调整技术的应用,如高精度调节垫片、可变形支撑结构等,可以在装配过程中微调间隙,确保运行时的最佳匹配状态。

热变形是燃气轮机运行中的一个重要影响因素,尤其是在高温区的燃烧室和透平部件区域,金属材料的热膨胀效应可能导致间隙变化,进而影响机组的安全性和效率。为降低热变形的不利影响,安装过程中应采用温度补偿技术,在计算部件公差时预留适当的膨胀空间。同时,优化安装工艺,如采用热配合技术,通过加热特定部件后进行装配,使其冷却后形成更紧密的连接,从而减少运行时的位移变化。此外,在透平叶片与轮盘的连接处,采用精密配合和可调节结构,能够有效吸收热膨胀带来的应力,防止叶片卡滞或断裂。

在安装过程中,还需优化紧固工艺,以降低热变形对紧固件的影响。采用智能扭矩控制和分步紧固策略,确保各部件在不同温度环境下的均匀受力,避免因局部受热不均导致的装配偏差。对于关键部件,使用耐高温合金材料制造紧固件,并结合自锁螺母和防松装置,能够提高整体结构的长期稳定性。

#### 五、燃气轮机燃烧室及透平部件安装工艺优化的工程应用与前景

燃气轮机的安装工艺直接影响机组的运行效率、稳定性和使用寿命。燃烧室及透平部件作为核心组成部分,其安装精度决定了燃烧效率、透平动力转换效果及整体热力系统的可靠性。随着先进测量、智能装配和优化紧固技术的应用,燃气轮机安装工艺不断优化,已在多个工程实践中取得显著成效,为新建机组的稳定运行提供了有力支持。

在燃烧室安装方面,高精度对中技术已被广泛应用。通过激光测量、三坐标检测和数字化建模等手段,燃烧室组件的安装误差得到了有效控制,提高了燃烧效率和密封性能。此外,柔性对中调整技术和智能紧固策略的结合,减少了部件热膨胀带来的应力影响,提高了机组在长时间运行中的稳定性。在实际工程应用中,这些优化工艺使燃烧室的安装精度达到微米级,大幅降低了因安装误差引起的振动、热冲击及密封泄漏问题。

透平部件的装配顺序优化和紧固技术改进在新建机组安装中发挥了重要作用。采用由内向外、分步紧固的装配方法,结合智能扭矩控制系统,保证了各透平部件在装配过程中的均匀受力,减少了安装过程中的应力集中和热变形影响。热紧固技术的应用进一步提高了高温部件的连接可靠性,防止因热膨胀导致的螺栓松动或过载损坏。这些技术的应用,不仅提升了透平部件的动态稳定性,还延长了机组的使用寿命,在多个工程案例中展现出良好的应用前景。

在间隙控制与热变形管理方面,先进测量技术、智能调整装置和耐高温合金材料的使用,使得燃气轮机在高温高压环境下仍能保持精确配合和高效运行。数字化测量结合仿真分析,在安装阶段就能预测热变形趋势,提前调整关键部件的安装参数,确保机组在不同工况下的稳定性。

随着燃气轮机技术的不断发展,安装工艺的优化将进一步向智能化、自动化方向迈进。未来,人工智能、大数据分析及机器人辅助装配技术的引入,将使燃气轮机的安装精度更高、施工周期更短、运行可靠性更强。此外,标准化与模块化安装工艺的推广,将进一步提高新建机组的装配效率,为燃气轮机的广泛应用和技术升级提供更强有力的支撑。

#### 结语:

燃气轮机燃烧室及透平部件的安装工艺优化对新建机组的稳定运行至关重要。通过高精度对中、优化装配顺序、改进紧固技术及合理控制间隙和热变形,机组的可靠性和运行效率显著提升。现代测量技术、智能装配手段及热管理策略的应用,使安装工艺更加精准和高效。未来,随着智能制造和自动化技术的发展,燃气轮机安装工艺将进一步优化,为能源行业的高效发展提供更坚实的技术保障。

#### [参考文献]

- [1] 张全付. 西门子 V94.3A 型燃气轮机燃烧室及透平冷却技术[J]. 科技创新与应用, 2015 (01): 34-35.
- [2] 李磊, 胡启迪, 汤卸明, 傅彪. GT13E2 燃气轮机燃烧室外缸裂纹维修处理的新方法[J]. 浙江电力, 2018, 37 (07): 110-114. DOI: 10.19585/j.zjdl.201807020.
- [3] 刘建生. 燃气轮机环形燃烧室燃烧失稳原因分析及防范措施[J]. 燃气轮机技术, 2022, 35 (04): 61-65. DOI: 10.16120/j.cnki.issn1009-2889.2022.04.001.
- [4] 李飞, 裴超, 严军开, 谢富良. 10 kW 级燃气轮机干式低氮燃烧技术应用及设备改造[J]. 燃气轮机技术, 2024, 37 (03): 63-68. DOI: 10.16120/j.cnki.issn1009-2889.2024.03.009.
- [5] 史玉恒, 刘润泽, 李士龙, 蒋东翔. SGT5-4000F 燃气轮机改进升级措施分析[J]. 发电技术, 2024, 45 (05): 847-855.