

双燃料燃气轮机喷嘴结构设计研究

宋宇

中国航发燃气轮机有限公司, 辽宁 沈阳 110000

[摘要] 双燃料燃烧是工业燃烧燃气轮机燃烧室设计的一个重要发展方向, 天然气/柴油双燃料燃烧技术在实际应用中, 实现无扰动切换, 并且遵循一定的运行规律, 避免出现燃烧脉动。因此, 针对双燃料燃气轮机喷嘴结构设计展开研究, 从几何模型和数学模型入手, 结合实际案例判断性能情况, 选择出理想目标, 以供参考。

[关键词] 双燃料; 燃气轮机; 喷嘴结构; 设计方法

DOI: 10.33142/sca.v3i3.2042

中图分类号: TK473

文献标识码: A

Research on the Design of Nozzle Structure of Dual Fuel Gas Turbine

SONG Yu

AECC Gas Turbine Co., Ltd., Shenyang, Liaoning, 110000, China

Abstract: Dual fuel combustion is an important development direction of combustion chamber design of industrial combustion gas turbine. In the practical application of natural gas / diesel dual fuel combustion technology, undisturbed switching is realized, and certain operation rules are followed to avoid combustion pulsation. Therefore, in view of the dual fuel gas turbine nozzle structure design research, starting from the geometric model and mathematical model, combined with the actual case to judge the performance situation, select the ideal target for reference.

Keywords: dual fuel; gas turbine; nozzle structure; design method

引言

双燃料燃气轮机中最关键的技术就是喷嘴结构的设计, 一般请款下, 双燃料燃气轮机中含有两个方面, 分别为气态燃料喷嘴和液体燃料喷嘴。在实际应用过程中, 前者要保证燃油的良好雾化效果, 后者要保证燃料与空气混合均匀, 并且燃烧充分。因此, 加强对双燃料燃气轮机喷嘴结构设计研究, 具有现实意义。

1 双燃料燃气轮机喷嘴结构现状

从双燃料燃气轮机的实际应用情况来看, 其不仅扩大了能源利用范围, 还有效减少污染物的排放量, 对社会经济发展和生态环境建设等方面都具有着极大的应用价值。近几年来, 双燃料燃气轮机的应用范围得到了进一步扩大, 在石油、化工、电站、军事、工业等各领域受到了广泛关注。世界上很多生产商都开始对双燃料燃气轮机喷嘴结构进行研究, 同时也推出了很多新型的双燃料燃气轮机喷嘴结构, 让整体应用性能得到提高, 排放方面也发生了优化和改善。从性能的角度来看, 双燃料燃气轮机喷嘴结构在点火特性、燃烧效率、出口温度场品质、污染物排放特性等方面有着重要影响。如果设计出一个科学合理的双燃料喷嘴, 还需要在现有的喷嘴结构上, 进行进一步优化设计。

2 双燃料燃气轮机喷嘴结构参数设计

2.1 几何模型

以某双燃料燃气轮机为例, 该燃气轮机内部的燃烧室为环管型回流式燃烧室, 采用轻柴油为主要燃料, 为了实现喷嘴的制动更换, 在保留母性燃油喷嘴的基础上, 保留了核心件, 对嘴壳体进行设计改装, 以此实现双喷嘴装配效果。所选择的设计方式是在油路外侧增加气路喷嘴, 同时对旋流器轮毂进行改装。主要设计了掺混孔、气模冷却孔、主燃孔、联焰孔、旋流器、燃油喷嘴等部位。这是一种回流式环管型燃烧室, 在实际应用过程中, 利用非结构化混合网格对其进行优化, 并且在喷嘴附近和火焰筒壁面冷却孔部位增加了网格数量, 为后续的数学模型分析奠定基础。

2.2 数学模型

为了更好的分析双燃料燃气轮机喷嘴结构, 设计了虚拟工况, 分析当燃烧室内部流场为三维稳态湍流流场时, 双燃料燃气轮机喷嘴具体的参数卖数值。采用了 SIMPLE 算法、RNGk- ϵ 双方程湍流模型、非绝热的 PDF 模型等内容, 实现对整体结构的计算分析, 并且借助了 Fluent 软件进行数值模拟。在假设化学反应足够迅速的情况下, 所得到的非绝热的 PDF 模型就是湍流和化学反应之间的相互作用, 针对操作压力、空气入口、燃料入口、出口条件、机匣壁面、机匣侧壁、火焰筒壁等边界条件进行设计, 具体的数值如下: 1. 操作压力 P_{air} 为 2052300Pa; 2. 空气入口 m_{air} 为 4.11kg/s,

T_{air} 为 770K; 3. 燃料入口 m_{oil} 为 0.1kg/s, T_{oil} 为 303K, m_{CH_4} 为 0.08668kg/s, T_{CH_4} 为 303K。此外, 出口条件采用了压力出口, 机匣壁面选择绝热无滑移, 机匣侧壁设定为周期边界、火焰筒壁则采用了热传导。

2.3 结果分析

基于实际的计算结果, 对性能进行进一步分析, 切实提高燃烧场特性, 和出口温度场分布指标, 实现燃气轮机双流路燃油喷嘴结构一体化发展。综合参考加工工艺、装配检修技术等方面内容后, 针对天然气斜气孔旋向、旋流角度、径向角度、气孔直径等方面参数进行了设计, 最终选择了如下优化方案。在旋转方向上分为左右两旋, 旋流角度分别控制在 30° 、 40° 、 50° , 径向角度的则为 0° 、 15° 、 30° , 气孔直径则控制在 0.8mm、1.0mm、1.2mm 和 1.5mm。在此基础上, 进一步分析燃气轮机双流路燃油喷嘴结构设计的性能情况。

3 双燃料燃气轮机喷嘴结构性能分析

3.1 气路旋向对性能的影响

从原有双燃料燃气轮机的运行情况可知, 气路喷嘴的旋向直接影响着天然气与空气的掺混效果, 而掺混效果质量则决定了燃气轮机具体的燃烧效率和出口温度场分布特性。因此在分析喷嘴结构性能的过程中, 先从气孔旋转方向角度入手, 考察旋向改变前后, 燃烧场的具体变化。根据前文分析可知, 当空气旋流器为左旋、斜气孔为右旋时, 火焰较长, 燃烧室出口温度场分布特性极差, 从实际的数据来看, 出口不均匀度达到了 52.9%, 已经严重超出了设计标准, 严重的情况下, 会导致涡轮叶片被高温火焰烧毁^[1]。造成这一情况的主要原因是, 当空气旋流器和斜气孔互为反向配置, 二者无法实现配合, 只会相互影响。高速天然气从斜气孔射出, 旋流空气从旋流器进入, 相互干扰, 空气旋流效果被迫削弱, 继而使得燃气轮机具体的燃烧效率下降, 还会对主回流区的宽度和长度产生负面影响, 掺混效果变差, 火焰长度过长。而在前文的设计方案中, 选择了同向配置, 并在此基础上对斜气孔角度进行优化。根据燃烧室出口温度场分布情况、径向、周向等方面的不均匀度数据来看, 当空气旋流器和斜气孔互为同向配置时, 数据得到了明显的改善, 不仅出口温度场分布特性得到提高, 燃烧效率也明显提升, 满足运行需求。

3.2 旋流角度对性能的影响

由上可知, 气路喷嘴的旋向会对燃烧场特性产生影响, 而旋流角度对性能的影响主要体现在燃烧室性能上, 因此, 在空气旋流器和斜气孔互为同向配置的基础上, 还要对气孔的旋流角度大小进行优化。根据前文设计的旋流角度 30° 、 40° 、 50° 展开进一步试验, 观察不同旋流角度下, 燃烧室出口温度场的分布特性, 从实际情况来, 当旋流角度在 30° 时, 出口周向不均匀度最小, 但此时出口的最大不均匀度达到了 29.5°C , 是三个角度中最大的一个。但是当旋流角度在 40° 时, 燃烧室温度场特性最优, 相比较其他旋流角度来看, 出口温度分布最大不均匀性最低, 因此, 选择了 40° 为最优旋流角度。

3.3 径向角度对性能的影响

从实际分析试验情况来看, 在径向角度不同的情况, 产生的燃烧室出口温度场分布特性以及不均匀度也存在一定的差别, 其中径向角度为 30° 时, 整体参数数据最优, 不仅是燃烧室出口温度场分布特性较优, 从不均匀度统计信息数据来看, 数据最小。而随着径向角度的增加, 虽然不均匀度数据得到了改善, 但是燃烧室出口温度场分布特性却没有变化。这是因为燃气轮机双流路燃油喷嘴结构在径向角度为 30° 时, 已经达到了最大, 无法继续增加。受到几何空间结构的限制, 气路出口必须要和旋流器配合面进行配合, 因此选择最佳的径向角度为 30° 。

最终确定的双燃料燃气轮机喷嘴结构如下, 斜气孔为左旋 40° , 径向角度为 30° , 孔径为 1.00mm, 孔数为 50 个, 从实际应用来看, 在燃烧天然气和轻柴油时, 针对燃烧室出口温度分布最大不均匀度、径向不均匀度、周向不均匀度、总压损失这几个方面进行统计, 具体的参数分别为, 22%和 20%、5.6%和 5.4%、1.0%和 3.8%、3.6%和 3.7%, 满足当前国家的设计标准和实际发展需求, 也是目前性能结构最优的一种参数^[2]。

总结

综上所述, 燃气轮机双流路燃油喷嘴结构直接决定了燃气轮机的实际应用性能, 因此需要对该结构进行全新的设计。在实际设计过程中要综合考虑到不同方面的工作特性, 包括可维护性和加工工艺, 从而对结构进行科学的优化。通过实际设计, 最终得到了一个一体化气液双燃料喷嘴, 左旋 40° 、径向角度 30° 。

【参考文献】

[1] 高青风, 张晓磊, 李威, 等. 燃气轮机双流路燃油喷嘴结构设计及性能分析[J]. 汽轮机技术, 2018(003): 165-168.

[2] 张全, 武亚男. 双燃料燃烧器结构对火焰温度对称性影响研究[J]. 工业加热, 2018(004): 4-6.

作者简介: 宋宇 (1987.8-), 男, 毕业院校: 北京理工大学; 现就职单位: 中国航发燃气轮机有限公司。