

引气系数变化对涡扇发动机动态性能影响的数值模拟

蒋爱武¹, 史军勇¹, 张百灵^{1,2}

(空军工程大学 工程学院, 陕西 西安 710038; 2. 西北工业大学, 陕西 西安 710072)

摘要:采用变比热法及考虑部件的容积效应建立了涡扇发动机的动态仿真模型,模拟计算引气系数改变时对发动机动态过程的影响,结果表明引气系数变化会引起发动机性能参数的变化,引气系数增大会降低风扇的喘振裕度,增大高压压气机的喘振裕度。

关键词:喘振裕度;涡轮风扇发动机;耗油率;数值模拟;引气系数

中图分类号: V23 **文献标识码:** A **文章编号:** 1009-3516(2007)03-0013-03

航空技术的发展在很大程度上取决于航空发动机的成就,上个世纪六十年代以来,涡轮风扇发动机开始广泛使用,小涵道比混排式加力涡轮风扇发动机已成为现役先进飞机和未来第四代战斗机的主要动力装置。为满足飞机在实际使用过程中因座舱空调系统、增压系统等各种需要,往往要从发动机的压缩系统中提取一部分空气引入到飞机中。同时,为保证高、低压涡轮在高温条件下稳定工作,也需要从压气机中提取一部分气体来对其进行冷却。本文依据某型涡扇发动机的动态计算程序,考虑用于功率提取和涡轮冷却的引气系数变化时涡扇发动机性能参数的变化情况。

1 发动机非线性模型建立

飞机飞行时,迎面气流在进气道内绝热滞止压缩,进入发动机后,压气机做功使气体继续受到压缩,总焓增加。然后气流进入主燃烧室并与喷入的燃料混合燃烧,温度升高,总焓进一步增加。当气流进入涡轮后,气流膨胀使部分总焓转变为带动压气机的机械功。气流进入尾喷管后进一步绝热膨胀并高速喷入大气,产生推动飞行器前进的反作用力。在实际的热力过程中,由于气体的温度和成分的变化,气体的绝热指数和气体常数是不断变化的^[1]。燃气的组份用油气比 f 或余气系数 α 来表示。气体的绝热指数随温度和组分变化的关系式为

$$\gamma = (a_1 T^5 + b_1 T^4 + c_1 T^3 + d_1 T^2 + e_1 T + f_1) + (a_2 T^5 + b_2 T^4 + c_2 T^3 + d_2 T^2 + e_2 T + f_2) / \alpha \quad (1)$$

式中: $a_1, b_1, c_1, d_1, e_1, f_1, a_2, b_2, c_2, d_2, e_2, f_2$ 为常系数。

气体常数由下式计算:

$$R = R_0(1 + af) / (1 + f) \quad (2)$$

式中: $R_0 = 287.1848 \text{ J} / (\text{kg} \cdot \text{K})$ 为空气的气体常数; a 为常系数。

根据发动机的各部件特性及共同工作方程建立发动机的非线性数学模型^[2-5]。考虑在实际工作过程中,发动机各部件容腔内气体参数随时间变化将引起气体质量、能量的存储和释放,因此在发动机非线性模型中考虑了各部件的容积效应影响。当考虑各部件的容积效应影响时,其一维非定常流的连续方程和能量方程分别为:连续方程见式(3),能量方程见式(4)。

$$W_{in} - W_{out} = \bar{V} \cdot d\rho/dt \quad (3)$$

$$W_{in} - W_{out} = \bar{V} \cdot d\rho/dt \quad (4)$$

收稿日期:2006-09-12

作者简介:蒋爱武(1982-),湖南邵阳人,博士生,主要从事气动热力理论与工程研究。

式中: W_{in}, W_{out} 为流入和流出部件的气体流量; \bar{V} 为部件容积; h_{in}, h_{out} 为流入和流出部件的气体的焓值; u 为气体的内能; ρ 为气体的密度。

由于加力燃烧室、主燃烧室和外涵道的容积效应影响最为明显,因此在模型中只考虑到它们的影响。这样,根据发动机的部件特性、共同工作方程以及加力燃烧室、主燃烧室和外涵道的容积效应影响,可建立发动机的非线性数学模型。

2 算例

某型涡扇发动机压缩系统包含4级低压压气机和9级高压压气机,用于功率提取和涡轮冷却的空气流量从高压压气机第七级提取^[6]。引气系数定义为从高压压气机中提取用于满足某种特定需要的空气流量与流进高压压气机总的空气流量的比值。模拟发动机处于某一较大状态,油门杆保持 65° 不变,改变各引气系数的数值,其中,功率提取引气系数从0.075变化到0.08,高压涡轮冷却引气系数从0.035变化到0.04,低压涡轮冷却引气系数则从0.01变化到0.015,分析各引气系数变化对发动机性能参数的影响。图1为仿真计算得出的发动机参数变化曲线。

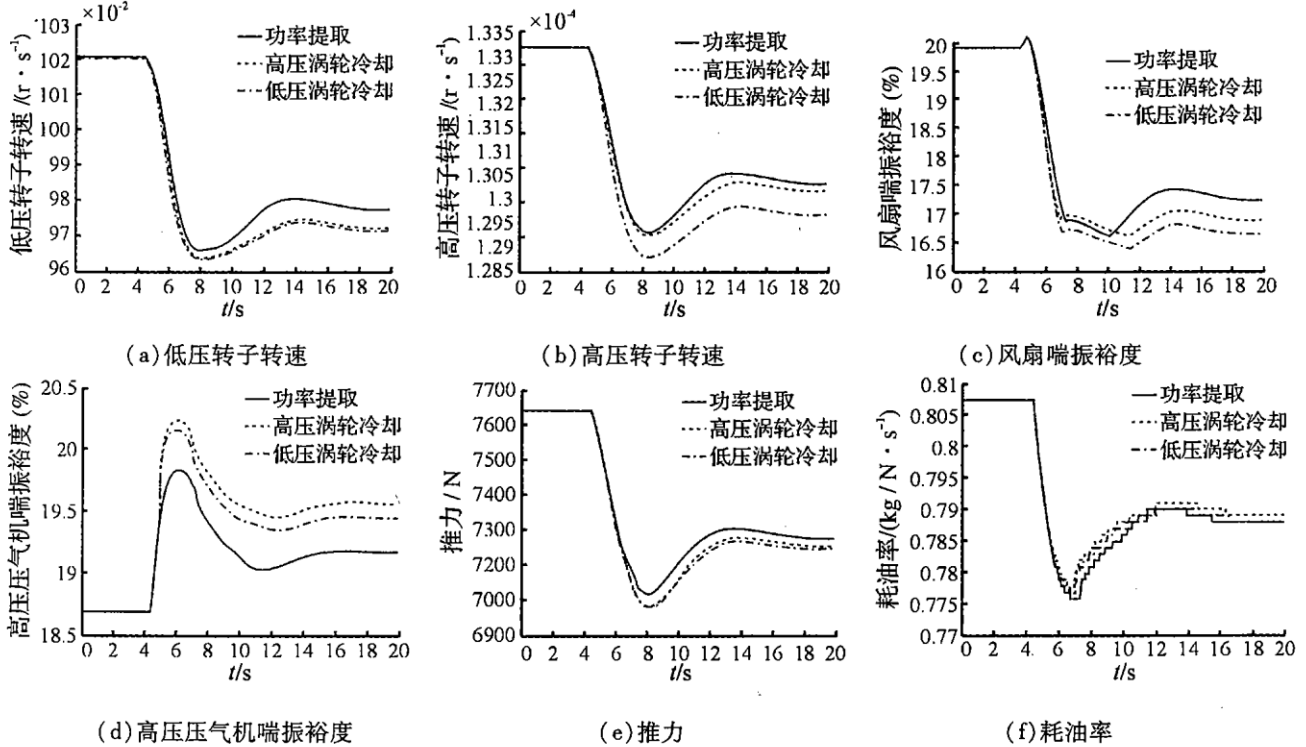


图1 引气系数变化对发动机性能参数的影响

仿真过程中,设定各引气系数在第5s时才发生改变,从仿真曲线中可以看出,引气系数变化对发动机性能参数有着较明显的影响,引气系数突然变化时,发动机参数发生波动变化。引气系数增大,发动机用于其他用途的空气流量增大,致使通过发动机主通道的气体流量减小,根据高压压气机的特性曲线,高压压气机增压比减小,使得高压压气机后气体总温总压减小。由于发动机主通道的空气流量减小,发动机需油量减小,在发动机燃油系统定压差调节器的作用下^[7-8],发动机主燃油流量减小,涡轮前燃气温度降低,发动机的高、低压转子转速随之降低。当引气系数增大时,尾喷管出口气体能量降低,发动机推力下降,耗油率也降低。另外,增大引气系数时,风扇的喘振裕度下降,而高压压气机的喘振裕度增大,因此,增大引气系数有利于高压压气机的稳定工作,而不利于风扇的稳定工作。此外还可以看出,当各引气系数的变化幅度一样时,由涡轮冷却引气系数变化所引起的发动机性能参数的变化要比由功率提取引气系数变化所引起的性能参数变化明显一些。

3 结论

本文运用某型涡扇发动机的动态计算程序,对用于功率提取或高、低压涡轮冷却的气体流量变化时可能引起的发动机性能参数变化进行仿真模拟,得到以下结论:

1) 引气系数变化时,无论引气是用于功率提取还是涡轮冷却,发动机的性能参数都有着较明显的变化。引气系数增大,使得发动机主通道气体流量下降,气体总压、总温下降,高、低压转子转速下降,发动机推力下降,耗油率也有小的下降。

2) 引气系数增大时,风扇的喘振裕度下降,高压压气机的喘振裕度则增加,因此,增大引气系数有利于高压压气机的稳定工作而不利于风扇的稳定工作。

3) 当各种引气系数的变化幅度一致时,涡轮冷却引气系数变化所引起的发动机性能参数变化幅度要大于功率提取引气系数变化所引起的变化幅度。

参考文献:

- [1] 童凯生. 航空涡轮发动机性能变比热计算方法[M]. 北京:航空工业出版社,1991.
- [2] 陈策,胡良谋,李军. 发动机特性计算的仿真对象模型[J]. 计算机仿真,2004,21(2):25-27.
- [3] 姜涛,王进,李应红. 某型发动机动态特性仿真研究[J]. 空军工程大学学报:自然科学版,2001,2(6):15-18.
- [4] 刘建勋,苗学问. 压气机特性线应用于发动机线性建模的新算法[J]. 航空计算技术,2001,31(3):12-15.
- [5] 苏三买,廉小纯. 遗传算法在航空发动机非线性数学模型中的应用[J]. 推进技术,2004,25(3):237-240.
- [6] 唐世建,李健民. 涡扇发动机模型计算程序[J]. 燃气涡轮试验与研究,2000,13(1):45-52.
- [7] 薛倩,肖洪,廉筱纯. 涡轮风扇发动机接通加力过程的数值模拟[J]. 航空动力学报,2005,20(4):545-548.
- [8] 王新月,苏三买,廉小纯. 混合排气加力涡扇发动机过渡态的数值计算[J]. 推进技术,2002,23(3):189-192.

(编辑:姚树峰)

Numerical Simulation for the Dynamic Influence of the Change of Gas Pumping Coefficient on the Turbofan Engine

JIANG Ai-wu¹, SHI Jun-yong¹, ZHANG Bai-ling^{1,2}

(1. The Engineering Institute, Air Force Engineering University, Xi'an 710038, China; 2. Northwest Polytechnical University, Xi'an 710032, China)

Abstract: Using the method of variable specific heat and in consideration of the volume effects of the internal parts, a dynamic model for turbofan engine is established. The numerical simulation for the dynamic process of turbofan engine is calculated as the gas pumping coefficient for power pumping or turbo cooling changes, and the results indicate that the gas pumping coefficient affects the working of aero engine greatly, when the coefficient rises, the stall margin of the LP compressor decreases and that of the HP compressor increases. So different coefficients affect the turbo engine differently.

Key words: stall margin; turbofan engine; fuel consumption ratio; numerical simulation; gas pumping coefficient