

文章编号: 1000-8055(2005)03-0403-04

离心压气机温升效应对涡轴发动机 起动性能的影响

蔡建斌, 成本林, 刘杰, 李逢春
(中国航空动力机械研究所, 湖南 株洲 412002)

摘要: 介绍了涡轴发动机起动过程中部件材料温升对离心压气机效率影响的数学模型。按照某涡轴发动机起动供油规律, 利用建立的数学模型计算了此发动机起动性能, 并和发动机试验结果进行比较, 以验证模型建立的准确性。然后, 利用建立的数学模型分析部件材料温升对燃气涡轮轴发动机起动性能的影响。

关键词: 航空、航天推进系统; 涡轴发动机; 起动性能; 离心压气机; 温升效应

中图分类号: V 231

文献标识码: A

Centrifugal Compressor Warm-up Effect on Turboshaft Engine Starting Characteristics

CAI Jian-bin, CHEN Ben-lin, LIU Jie, LI Feng-chun

(China Aviation Powerplant Research Institute, Zhuzhou 412002, China)

Abstract: A mathematical model was introduced for the calculation of component material warm-up effect on centrifugal compressor efficiency during turboshaft engine starting. According to the turboshaft engine's starting fuel flow, starting characteristics was calculated and compared with the engine test data to verify the accuracy of the model. Then, the model was used to analyze component material warm-up effect on the turboshaft engine starting characteristics.

Key words: aerospace propulsion system; turboshaft engine; starting performance; centrifugal compressor; warm-up effect

航空涡轮轴发动机的起动过程是一个很复杂的物理过程, 它涉及到气体热力学、传热学和材料学等多门学科。在起动过程中, 发动机温度变化较大, 根据某涡轴发动机试验结果, 在起动过程中, 燃烧室出口燃气温度最高达到 1000°C 左右。如此剧烈的温度变化, 对发动机有关部件特性产生非常大的影响。发动机起动点火后, 燃烧室机匣迅速与燃气之间发生热交换, 热量又传导到离心压气机转子叶片和扩压机匣, 由于离心压气机转子叶片与机匣的热膨胀系数不一致, 导致起动时的温

升效应对涡轮轴发动机起动过程具有很大影响。

本文通过建立某涡轴发动机在起动过程中部件材料温升对离心压气机效率影响的数学模型^[1~3], 分析得到温升效应对涡轴发动机起动性能的影响。

1 数学模型

本文按照某涡轴发动机整机试验时离心压气机温度场数据, 结合此涡轴发动机与国外合作的研究成果, 按照此发动机离心压气机转子叶片材

收稿日期: 2004-04-21; **修订日期:** 2004-08-22

作者简介: 蔡建斌(1973-), 男, 江西吉安人, 中国航空动力机械研究所工程师, 硕士, 主要从事航空发动机总体性能的研究

料、扩压机匣材料、燃烧室机匣材料及燃烧室结构型式(环型回流),与外国专家共同确定出此发动机经验系数值 A, B, C, D, E ,然后按照文献[1]中介绍的方法,建立起动过程中部件材料温升对离心压气机效率影响的数学模型,方法如下:

发动机起动后2 s内,离心压气机效率变化量($\Delta \eta_c$):

$$\Delta \eta_c = A \cdot T \tag{1}$$

式中: A 为一常数; T 为发动机起动后的工作时间,以下相同。

发动机起动后2 s~15 s,离心压气机效率变化量:

$$\Delta \eta_c = B - C \cdot T \tag{2}$$

式中: B 和 C 为一常数;

发动机起动15 s后,离心压气机效率变化量:

$$\Delta \eta_c = D \cdot T - E \tag{3}$$

式中: D 和 E 为一常数;

考虑部件材料温升效应影响后的离心压气机效率 η_c :

$$\Delta \eta_c = \Delta \eta_{c0} + \Delta \eta_c \tag{4}$$

式中: $\Delta \eta_{c0}$ 为没有考虑温升效应时的离心压气机效率值。

2 考虑温升效应后的数学模型在某涡轮轴发动机中的应用

利用上述起动过程中部件材料温升对离心压气机效率影响的数学模型及某涡轴发动机起动数学模型(此模型用部件级方法建立,其中:压气机在低转速时的特性由试验获得^[4],燃气涡轮和动

动性能进行计算,并和发动机试验性能进行对比。计算结果和试验结果对比详见图1~图4。

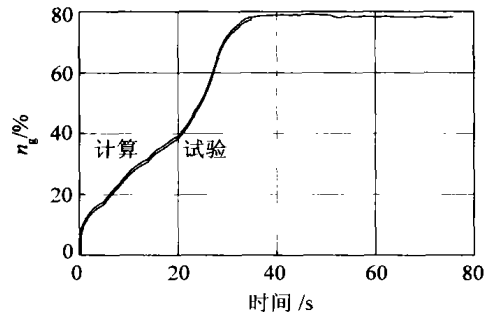


图2 模型计算的 η_g 和发动机试验结果对比
Fig 2 Comprasion of η_g between calculation and test

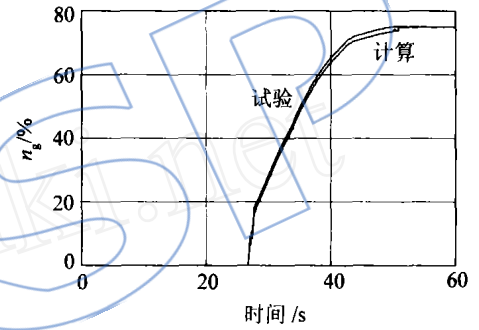


图3 模型计算的 n_p 和发动机试验结果对比
Fig 3 Comprasion of n_p between calculation and test

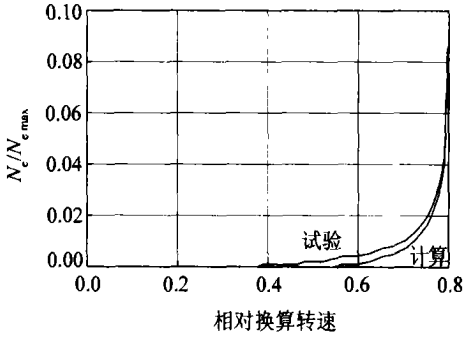


图4 模型计算的功率和发动机试验结果对比
Fig 4 Comprasion of power between calculation and test

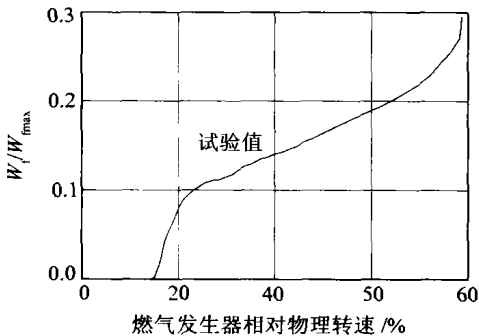


图1 发动机试验的起动供油规律
Fig 1 Start flow law on engine test

力涡轮在低转速的特性按照俄罗斯计算方法计算得到,具体计算方法见参考文献[2]),按照此涡轴发动机试验时的起动供油规律,对此发动机的起

由图1~图4中模型计算结果和试验结果对比可知,模型计算的燃气发生器转速(n_g)比试验结果低0%~1%;模型计算的动力涡轮转速(n_p)比试验结果低0%~1.2%;模型计算的发动机功率比试验结果低0%~1%。

因此, 由对比结果可知, 模型计算结果与发动机试验结果基本一致。

3 离心压气机温升效应对涡轮轴发动机起动性能的影响

利用上述起动过程中部件材料温升对离心压气机效率影响的数学模型及某涡轴发动机起动数学模型, 按照某涡轴发动机的起动供油规律, 分别对起动过程中考虑温升效应对离心压气机效率的影响和不考虑温升效应对离心压气机效率的影响这两种情况进行了计算和分析, 具体见图5~图9。

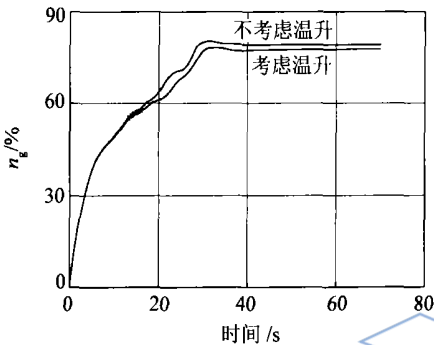


图5 温升效应对燃气发动机生转速(n_g)的影响
Fig 5 W a m ~ u p effect on n_g

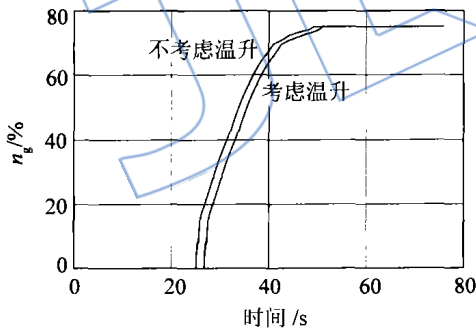


图6 温升效应对动力涡轮转速(n_p)的影响
Fig 6 W a m ~ u p effect on n_p

计算结果表明, 在起动供油规律一定的情况下, 和起动过程中不考虑温升效应对离心压气机效率的影响相比, 考虑温升效应后:

发动机起动到地面慢车的时间由34 s 增加到38 s, n_g 由80%下降到77.8%;

动力涡轮转速(n_p) 上升较慢, 达到75%的时间由49.2 s 增加到51 s;

离心压气机效率(η_c) 下降值最大达到0.02。分析认为: 发动机点火后, 燃烧室机匣受热,

壁面温度升高非常快。热量从燃烧室机匣迅速传导到扩压机匣, 扩压机匣受热膨胀; 离心压气机紧邻燃烧室, 燃烧室内燃气热量主要通过热辐射的作用传到离心压气机转子叶片, 导致离心压气机转子叶片受热膨胀。加之离心压气机转子叶片热膨胀系数比扩压机匣热膨胀系数小, 导致转子叶片叶尖与扩压机匣之间的间隙增加, 离心压气机效率降低。

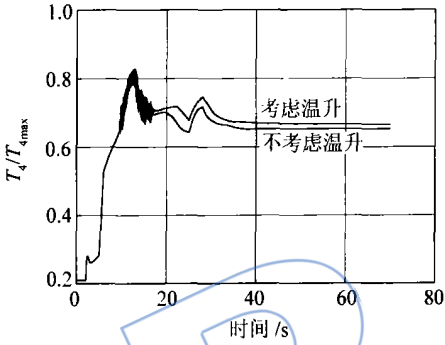


图7 温升效应对燃烧室出口燃气温度的影响
Fig 7 W a m ~ u p effect on combustion exit temperature

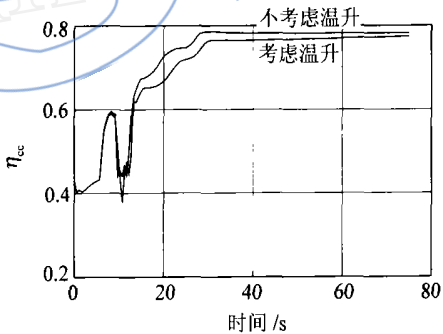


图8 温升效应对离心压气机效率的影响
Fig 8 W a m ~ u p effect on centrifugal efficiency

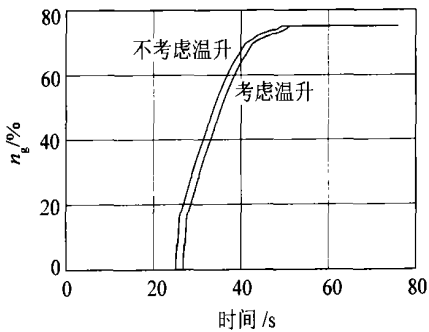


图9 温效应对发动机功率的影响
Fig 9 W a m ~ u p effect on engine power

燃烧室出口燃气总温升高1.3% (约20℃左

右);

从相对换算转速 0.567 起, 发动机功率开始上升(若不考虑温升效应, 从相对换算转速 0.376 起, 发动机功率开始上升)。在相同的相对换算转速下, 功率下降 1%;

在起动过程中, 若考虑温升效应的影响, 离心压气机效率下降值最大达到 0.02, 因此, 如果要达到给定的地面慢车状态, 燃油消耗量要增加 4% 左右。

4 结 论

本文建立了起动过程中部件材料温升对离心压气机效率影响的数学模型, 用此模型可以分析涡轴发动机的起动供油规律及起动性能, 可以分析起动过程中离心压气机温升效应对涡轮轴发动

机起动性能的影响。

参考文献

- [1] Голышев Ф.Д. Батин А.В. Математические Модели Газовых Двигателей КАК Объектов Управления [М]. Москва: Издательство МАИ 1999
- [2] [俄]古列维奇, 戈尔别格 航空燃气涡轮发动机的控制方法与燃气涡轮发动机动态特性的数学模拟 [M]. 程心建, 朱旭津, 于维凤, 等编译 无锡: 中国航空动力控制系统研究所, 1998
- [3] Clint E Hart, Leon M Wenzel Real-Time Hybrid Computer Simulation of a Small Turboshift Engine and Control System [R]. NASA Technical Memorandum 83579, February 1984
- [4] 蔡建斌 WW 发动机数学模型研究报告 [D]. 株洲: 中国航空动力机械研究所, 2002