

某涡喷发动机涡轮导向器的热应力分析*

孙 杨¹, 鲁 建², 郑 严³, 洪 杰⁴, 曹 航⁴, 张瑞虎³

(1. 南京航空航天大学 能源与动力学院, 江苏 南京 210016; 2. 空军驻京丰地区军事代表室, 北京 100074;
3. 北京动力机械研究所, 北京 100074; 4. 北京航空航天大学 能源与动力工程学院, 北京 100083)

摘 要: 应用有限元方法建立了某涡轮喷气发动机涡轮导向器有限元计算模型, 根据实测的温度边界条件计算了涡轮导向器温度分布, 在此基础上对涡轮导向器进行了热应力分析。其结果为涡轮导向器叶片设计改进提供了依据。

关键词: 涡轮喷气发动机; 涡轮导向叶片; 热应力; 温度分布

中图分类号: V235.11 文献标识码: A 文章编号: 1001-4055 (2004) 04-0357-03

Temperature distribution and thermal stress analysis for turbojet engine turbine guide blade

SUN Yang¹, LU Jian², ZHENG Yan³, HONG Jie⁴, CAO Hang⁴, ZHANG Rui-hu³

(1. Coll. of Energy and Power, Nanjing Univ. of Aeronautics and Astronautics, Nanjing 210016, China;
2. Air Force Deputy Department of Jingfeng, Beijing 100074, China; 3. Beijing Power Generating Machinery Inst., Beijing 100074, China; 4. School of Jet Propulsion, Beijing Univ. of Aeronautics and Astronautics, Beijing 100083, China)

Abstract: A FEA model for turbojet engine turbine was established and the turbine guide blade temperature distribution was computed. The turbine guide blade thermal stress was studied. The results are helpful for the turbine guide blade design of the turbojet engine.

Key words: Turbojet engine; Turborotor; Thermal stress; Temperature distribution

1 引 言

为了获取某涡喷发动机涡轮导向器在最大工作状态下的温度场分布和热应力状况, 首先应用有限元的方法建立了有限元模型, 针对发动机涡轮导向器的整体安装结构和试验测量各相邻零件的温度情况, 确定了边界条件, 对涡轮导向器在最大工作状态下的温度场分布和热应力进行了计算分析^[1]。计算结果为涡轮导向器设计改进提供了必要的依据。

2 计算模型

有限元建模及分析采用通用结构动力分析软件 ANSYS 完成^[2,3]。根据导向器实际结构特点选取 20 节点六面体单元进行建模。共划分单元 1668 个, 节点总数为 11333 个, 如图 1 所示。

根据导向器在发动机中的安装结构, 在计算中给定的约束条件为导向器后端与燃烧室机匣相连接的



Fig. 1 Turbine guide blade FEM model

安装边在轴向和周向进行固定, 在径向为自由。此外, 由于导向器的前缘分别插入火焰筒后端的内外壳体中, 并考虑到火焰筒径向刚度和热膨胀位移, 故此, 前缘位移约束条件为自由状态。幅板下端由于在装配时与中介机匣后支承之间为间隙配合, 其位移边界条件也为自由状态。

对于导向器叶片的温度场, 在计算中根据已有的一些点上的温度数据, 利用 ANSYS 程序的热传导功能模块对整个导向器的温度分布进行计算, 在计算中考虑了温度对热传导系数等材料参数的影响^[4]。

对于导向器的温度边界条件根据以前的试验数

* 收稿日期: 2003-09-12; 修订日期: 2004-03-15。

作者简介: 孙 杨 (1968—), 男, 博士生, 高级工程师, 研究领域为涡喷发动机研制。

据确定,具体数值见图 2 所示。

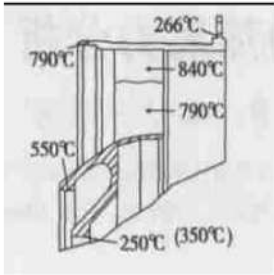


Fig. 2 Temperature boundary condition

导向器材料为高温材料,其基本参数见表 1, 2, 3, 密度 $\rho=8\,000\text{kg/m}^3$ 。在计算中按温度场分布选取材料性能数据。

Table 1 Elasticity performance

Temperature / °C	10	100	200	300	400	500	600	700
E/GPa	211	205	200	195	190	184	179	171
G/GPa	84	83	80	78	76	74	72	69
μ	0.26	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25

Table 2 Linear expansion coefficient

Temperature / °C	27-100	27-200	27-300	27-400	27-500	27-600	27-700	27-800	27-900	27-1000
$\alpha/(10^{-6}\text{ }^\circ\text{C}^{-1})$	12.6	12.7	12.9	12.9	13.4	13.7	14.2	14.7	15.5	15.5

Table 3 Heat exchange ratio

Temperature / °C	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000
$N(\text{W/m}^2\text{ }^\circ\text{C})$	10.05	11.72	12.98	14.65	16.33	18.42	20.52	22.61	24.28	25.05

3 计算结果及分析

在温度场计算中由于导向器辐板内孔边的温度边界条件较难确定。在试验中仅测量了与之较近的中介机匣的温度,当考虑到其间冷却空气的影响,取其极限情况温度应在 250~350 °C 之间。因此,在计算中第一种和第二种边界条件分别对应于 250 °C 和 350 °C 的情况。

对于第一种边界条件,温度场计算结果见图 3 所示。计算表明在导向器叶片叶盆一侧的温度分布在

前缘处温度较高为 1050 °C,在后缘温度较低为 960 °C,在叶背一侧的温度分布与叶盆相反,前缘温度较低为 1000 °C,在后缘温度较高为 1050 °C,值得注意的是在叶背后缘距内外环 4~5 mm 处有局部高温区。这样,在后缘处由于温差大并且厚度较小造成温度梯度大,对叶片所受的热应力分布是不利的。在导向器内环和外环的温度分布梯度较平缓,在叶片与内外环的连接处温度变化较大。

导向器及其叶片的热应力分布见图 4 所示。计算表明,对于导向器外环由于温度场分布均匀和较好的边界条件,应力值较小在 100MPa 以下。导向器内环在辐板的弯角处和叶片与内环的连接处由于温度梯度的变化产生较大的热应力在 600MPa 左右的等效应力。但考虑到其位置的温度在 600~700 °C 左右,根据表 4,表 5 所给出的材料在此温度下的屈服应力和 50 小时的持久强度应力分别为 $\sigma_{0.2}=781\text{MPa}$ 和 $\sigma_{50}=810\text{MPa}$,因此,满足持久强度应力储备要求。

Table 4 Typical stretch performance under different temperature

Temperature / °C	20	500	600	700	800	900	1000
$\sigma_{0.2}/\text{MPa}$	760	760	760	781	744	454	
σ_b/MPa	902	892	923	966	888	669	429

Table 5 50 hour permanent stress under different temperature

Temperature/ °C	700	800	850	900	950	1000
σ_{50}/MPa	810	560	410	300	230	140

叶片热应力计算结果表明,叶片前缘由于温差不大热应力都在 100MPa 以下,根据表 4,5 给出的材料静强度和持久强度性能,是满足要求的。在叶片后缘由于温度梯度较大,在分别距外环和内环 5~6 mm 处有局部大应力点(见图 4d),其数值在 202~370MPa 范围。在这些处的工作温度均在 1000 °C 以上,因此,当考虑其静强度是可以满足设计要求的,但当考虑高温下的持久强度时,若工作时间为 50h,其持久强度

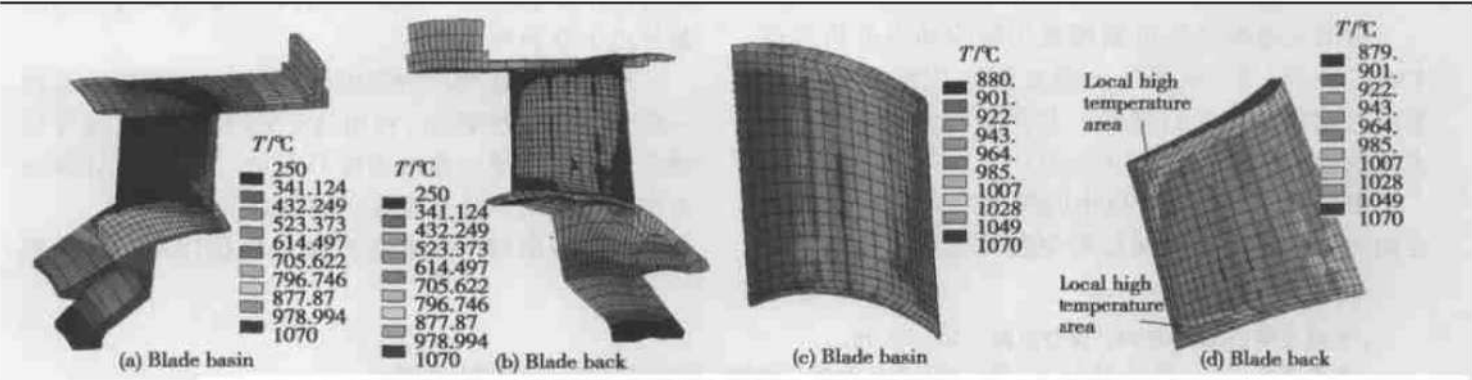


Fig. 3 Temperature distribution with the first temperature boundary condition(250 °C)

不能满足设计要求。

为了解分析辐板内缘边界温度条件的变化对导向器应力分布的影响,在给定导向器内环边界温度为 350°C 时,同样进行温度应力分布计算。其他条件不变。计算结果见图 5, 6。

在导向器内辐板温度边界条件为 350°C 时的计算结果表明,叶片上的热应力没有明显的变化。

4 结 论

利用 ANSYS 通用有限元计算程序,对某涡喷发动机涡轮导向器进行了温度分布和热应力计算,得到以下主要结论:

导向器温度分布从整体上看是均匀合理的,但是在叶片的后缘处叶盆和叶背的温差较大,并且在叶背靠近内外环处出现局部高温区。

导向器内、外环,虽然热应力值变化较大在 $100 \sim 600\text{MPa}$ 之间,但由于工作环境温度较低(700°C 以下),根据材料特性可知是满足静强度和持久强度设计要求的。

导向器叶片后缘由于温度梯度过大在距内外环 $4 \sim 5\text{mm}$ 处产生局部大应力点,其数值在 $202 \sim 370\text{MPa}$ 范围,当考虑到叶片的环境温度为 1000°C 和材料性能(表 4, 5),叶片仅满足静强度但不能满足 50h 持久强度的设计要求。



Fig.4 Stress distribution with the first temperature boundary condition(250°C)

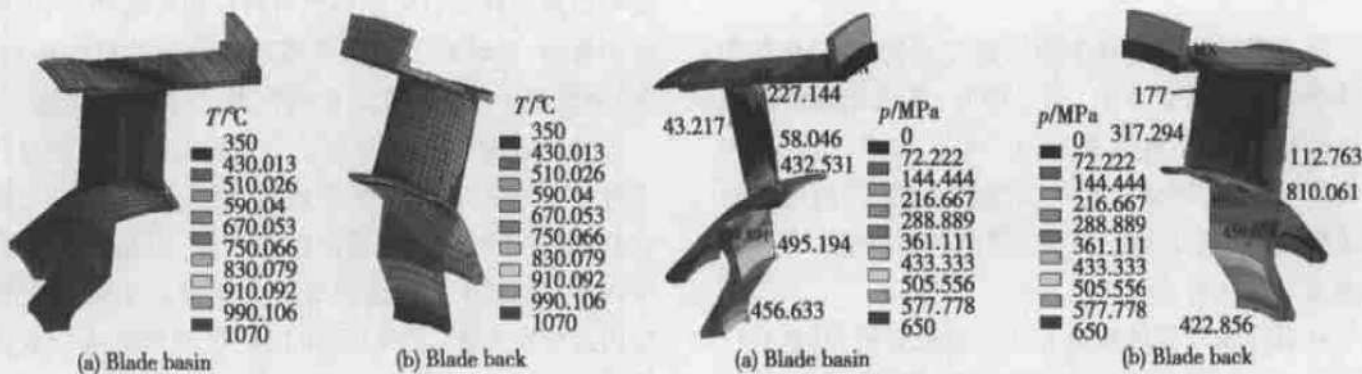


Fig.5 Temperature distribution with the second temperature boundary condition(350°C)

Fig.6 Stress distribution with the first temperature boundary condition(350°C)

参考文献:

- [1] 孙 杨, 洪 杰. 某涡轮喷气发动机涡轮导向器温度分布及热应力计算[R]. 航天科工集团三院 31 所, 2000.
- [2] 王国强. 实用工程数值模拟技术及在 Ansys 上的实践[M]. 西安: 西北工业大学出版社, 2001.

- [3] 王冒成, 邵 敏. 有限单元法基本原理和数值方法[M]. 北京: 清华大学出版社, 1997.
- [4] 隋俊友, 张 锦, 刘兴洲. 涡扇发动机涡轮导向器故障分析[J]. 推进技术, 2000, 21(1). (SUI Jur you, ZHANG Jin, LIU Xing-zhou. Malfunction analysis to nozzle guide component of turbofan engine[J]. *Journal of Propulsion Technology*, 2000, 21(1).)

(编辑: 梅 瑛)