

航空发动机轮盘优化设计的策略与纲要 (轮盘优化设计系统 TDSOS 简介)

大连理工大学

沈阳航空发动机研究所

张东旭^{**}

刘湘生

程耿东 隋允康 宋利民

陈俊粤

一、轮盘设计的问题及策略

轮盘结构形状复杂,完全按照实际结构进行结构分析也非常困难。为此,将榫头沿根部从轮盘中分离出来,作为三维问题处理;剩下的盘体简化为轴对称问题。由于简化了盘体,忽略了局部的应力集中,为此,适当降低被简化部位的屈服应力以做补偿^[1]。这样处理是否合适,需要从得到的优化设计中取出被简化的部分进行三维弹塑性计算来校核。如不满足给定条件,调整后重新进行优化直至满足要求。

可靠性及寿命要求的理想设计是低应力水平的弹性设计,塑性设计应尽力避免恶劣的工作环境及高性能指标要求又使轮盘的应力水平很高,局部区域甚至进入塑性。ENSIP 研究就是解决这个矛盾。为此,我们追求塑性区及应力水平度尽可能小的设计,形状优化在弹性范围内进行。但由于高性能指标要求及结构复杂,得到的优化设计可能仍有局部塑性区。因而有必要进行是否满足设计要求的校核,若不满足,要适当调整重新进行优化设计。

得到的优化设计是否易于加工及形状的描述与控制问题,通过“自然设计变量”^[2]法来解决,设计变量直接采用工程尺寸。优化过程中,设计参数间有几何等式约束的关系必须保持。办法是指出一个作为设计变量,与之相关的设计参数以相关系数服从设计变量,从而减少设计变量和消除几何等式约束。如几何等式约束为 $x_1 - x_2 = \text{常数}$ 时,则有 $dx_1 = 1.0 dx_2$,取设计变量为设计参数 x_1, x_2 则以相关系数1.0服从 x_1 。

根据轮盘的设计要求,优化目标可确定为质量极小、应力水平极小、质量应力水平综合极小。有关多目标模型及方法详见文献[1]。

约束条件有尺寸变量约束和状态变量约束。尺寸的上下界要合理给出,否则导致几何拓扑关系的破坏或不能反映尺寸允许变化的范围,使得优化计算难以进行或影响最优结果。

轮盘设计受到应力、位移、疲劳、蠕变、断裂等状态变量的制约。文献[3]已将上述要求转化为面向工程设计的指导性准则。准则中的参数要依据以往在计算、实验、使用方面取得的研究结果,由设计部门给出。为在优化中反映这些准则,需要将其转化为面向优化计算的约束条件。对于具体的轮盘,优化中有些准则是必要的,而有些准则被另一些准则所包含,而有些设计及使用要求甚至被这些准则所遗漏。所以,根据具体问题对这些设计准则进行合

理的缩并与补充是必要的^[1]。

为提高计算效率, 以往对桁架及连续体优化的结果表明: 根据设计变量类型及其对目标函数及状态变量的影响, 设计变量分组优化的效率较高^[1]。文献 [1] 将某涡轮盘设计变量按端部、腹板、根部分为三组, 先以第一组为设计变量, 其它两组固定进行优化, 迭代若干步后再取第二组、第三组作为设计变量, 各组的优化不必进行很彻底, 本组取得一定收效后就可改换另一组, 这样交替分组优化效果会更好。

形状优化程序因与具体形状有关, 没有象有限元程序那样的通用性。为此, 该系统只提供一个接口过程给用户^[4]。用户只要编写这个程序段, 连入系统便可优化任何形状的轮盘, 因而具有较好的通用性。为提高设计效率和使软件与用户友好, 还增加了一个前处理系统 FACE, 所有数据都由它来自动生成。其工作量仅有原工作量的 1/30, 大大提高了效率。另外, 程序系统提供了一个人机交互的环境, 以便体现和利用专业人员的已有经验。

综上所述, 处理轮盘设计各问题的策略可归纳为如下几点: (1) 盘体和榫头分离, 结构的合理简化与局部校核; (2) 弹性优化与弹塑性校核; (3) 设计变量用工程设计尺寸; (4) 确定设计变量, 消除几何等式约束; (5) 确定质量极小或应力水平极小或质量应力水平综合极小的优化目标; (6) 尺寸上下界的合理给定; (7) 根据设计准则确定约束条件, 并进行合理的缩并与补充; (8) 分组优化; (9) 面向程度设计、软件与用户友好。

二、轮盘优化设计纲要

1. 盘体榫头分离, 简化出盘体轴对称、榫头三维的计算模型及局部校核模型; 确定边界条件及荷载; 取得材料参数。

2. 确定设计变量及分组; 确定合理尺寸上下界; 确定设计单元以保证优化过程中的网格质量; 对盘体和榫头进行静力分析以确定危险部位; 依据设计准则确定状态变量约束条件。

3. 确定优化目标, 分组交替优化, 根据经验进行人工干预, 得到优化设计。

4. 用弹塑性方法校核优化设计。

5. 处理优化结果, 根据设计经验及试验结果对轮盘局部修改, 以满足工艺及结构要求。

TDSOS 程序系统 (图 1) 是根据上述的策略及纲要, 为工程设计开发的轮盘优化设计程序系统。可在 IBM-PC 等微机上运行。

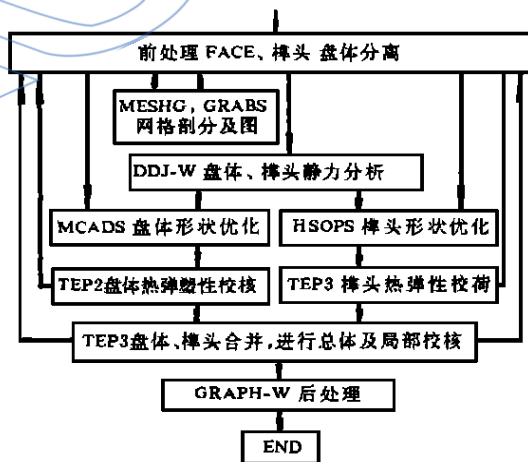


图 1 TDSOS 概貌

参 考 文 献

- [1] 张东旭、顾元宪等, “重量应力水平综合极小化的航空发动机涡轮盘形状优化”, ENSIP 研究报告-1, 大连理工大学力学所, 90-3012, 1990。
- [2] Schmit, L. A., “Symposium Summary and Concluding Remarks”, Plenum Press, 1986, pp29-60.
- [3] 刘丹译, “方案设计的发动机寿命方法学”, 航空发动机寿命研究专题资料 (之三), 沈阳航空发动机研究所, 1984。
- [4] 顾元宪, “计算机辅助结构优化设计的研究及 MCADS 系统的开发”, 大连理工大学博士论文, 1988, 10。

conclusions can be obtained: The local and total deflection of the blade are directly proportional to momentum transfer to the blade. The load-duration affects directly the deformation and stress states of the blade too. So the two parameters must be accurately predicted when a load model is developed. It is also very important to correctly predict the load location on the blade because the eccentric loads cause the greater deflection and twisting. The spatial distribution forms for distributed loads seem to have a little effect on blade response. The work which is conducted in this paper can provide the basis for the development of the bird impact load model.

STRATEGIES FOR OPTIMAL DESIGN OF GAS TURBINE DISKS

Zhang Dongxu, Cheng Gengdong, Sui Yongkong, Shong Limin

(*Dalian University of Technology*)

Liu Xiangsheng and Chen Junyue

(*Shenyang Aeroengine Research Institute*)

ABSTRACT

A number of strategies for optimal design of the gas turbine disks are proposed, which include separation of tenons design from disk design, rational simplification of structural model, check on local constraints, optimal design based on elastic analysis and further check based on elastoplastic analysis, multi-level optimization by grouping design variables. According to the strategies a computer program TDSOS is developed for practical use. By applying the strategies and the program TDSOS, shape optimization of gas turbine disk with light mass and low stress level can be obtained and the contradiction among high performance index, reliability and long life expectation is better solved.

A NEW FORM OF NUSSELT'S DIMENSIONLESS EQUATION

Wang Feng, Hang Zhenxing, Xing Yuming

(*Beijing University of Aeronautics and Astronautics*)

ABSTRACT

It is expounded theoretically that C and m of the dimensionless equation $Nu = C Re^m Pr^n$, which is in common use, should not be constant. This simple dimensionless equation is unable to reflect accurately the heat transfer when Prandtl number equals $0.001 \sim 7500$. The authors made use of integral equations to solve the laminar flow heat transfer problem of various field flow fields around a plate of Prandtl number 0.001 to 7500 . Another form of dimensionless equation is recommended which can describe the functional relationship among Nusselt number, Raynolds number and Prandtl number more accurately.

STUDY ON SECONDARY ATOMIZATION OF LIQUID FUEL AT THE LIP OF THE FLAMEHOLDER

Yang Maolin, Huang Yong, Gu Shanjiang, Zhang Yingnian

(*Beijing University of Aeronautics and Astronautics*)

ABSTRACT

An experimental investigation of secondary atomization of liquid fuel at the lip of the flameholder has been completed by means of Malvern Particle-Sizer. This secondary atomization has several features: Fine droplets occur in the high speed air flow side, while gross droplets occur in the recirculation zone side; the velocity of air flow (V_a) has a predominant influence on the mean drop size (MMD) of the spray, the effect may