

文章编号: 1000-8055(2003)04-0488-04

指尖密封轴向布局的变尺度结构研究

陈国定, 苏 华, 张永红
(西北工业大学 机电工程学院, 陕西 西安 710072)

摘要: 采用有限元技术研究了在不同压差条件下, 指尖密封轴向布局中密封件轴向尺度配置对指尖密封装置的迟滞特性、密封靴与转子接触封严区接触压力的影响。研究表明: 不同工况条件和轴向布局结构对迟滞率和接触压力的影响较为复杂, 而夹心状指尖密封轴向布局结构能够具有相对较优良的迟滞特性和接触特性的匹配关系。研究工作同时表明有必要进行指尖密封轴向布局结构及尺寸的优化研究。

关键词: 航空、航天推进系统; 指尖密封; 轴向布局; Ansys

中图分类号: TB42; TH136 **文献标识码:** A

Variable-Dimension Construction in the Axial Arrangement of Finger Seal Mechanism

CHEN Guo-ding, SU Hua, ZHANG Yong-hong
(Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710072, China)

Abstract: Based on Ansys FEM method, the influences of the axial dimensional disposition of sealing pieces in the axial arrangement, under the conditions of different pressure differentials, on the hysteresis and contact pressure of finger seal mechanism have been studied in the current work. A sandwichlike axial arrangement form which has relatively advantageous matching relationship between hysteresis and contact pressure has been shown. The research work here shows that the axial arrangement has quite considerable influence upon the performance and service-life of finger seal mechanism, and therefore the optimization of axial arrangement should be taken into consideration in the optimized design of finger seal construction.

Key words: aerospace propulsion system; finger seal; axial arrangement; Ansys

1 引言

指尖密封是具有相对优良封严性能和较低制造成本、用于航空发动机气路密封和主轴密封的一种先进密封技术, 对于提高航空发动机性能和寿命具有良好的应用前景, 近年来得到了广泛的重视和研究^[1~3]。

指尖密封装置工作时存在着影响其封严性能和工作寿命的迟滞现象以及密封靴与转子(或轴)动密封接触区的磨损问题。大多数情况下降低指尖密封迟滞影响需要以提高密封件的径向刚度作为代价, 而后的提高又会增大密封靴与转子间的接触压力, 继而加大磨损。因此, 寻求具有低迟滞和低接触压力的指尖密封结构一直是这方面研

收稿日期: 2002- 10- 08; **修订日期:** 2003- 04- 07

基金项目: 航空科学基金资助项目(01C53017); 陕西省自然科学基金资助项目(2002E228);
留学回国人员科研启动基金资助项目

作者简介: 陈国定(1956-), 男, 安徽滁州人, 西北工业大学机电工程学院教授, 博士生导师, 主要从事机械设计、摩擦学及热分析领域的研究

究的重点之一。

影响指尖密封迟滞性和密封靴与转子接触区接触压力的不仅是指尖密封端面结构和指尖型线,密封件轴向尺寸及轴向布局对其也有很大影响。但迄今为止,尚未见到有这方面的研究报告。本文采用有限元接触分析方法,研究了密封件轴向尺寸变化以及变尺度轴向布局对指尖密封迟滞特性和接触压力的影响,以提出具有较好指尖密封性能的轴向布局结构,为高性能指尖密封的研制和进一步的优化研究提供可资利用的基础工作。

2 理论计算模型

分析中采用的指尖密封基本结构形式如图 1 所示,指尖数目为 72,指尖型线为对数螺线^[3]。指尖靴内径 d_i 为 50 mm,指尖根圆直径 d_f 为 100 mm,外圆直径 d_o 为 110 mm。密封件的材料是钴基耐热合金材料,弹性模量为 294 GPa,泊松比为 0.3。

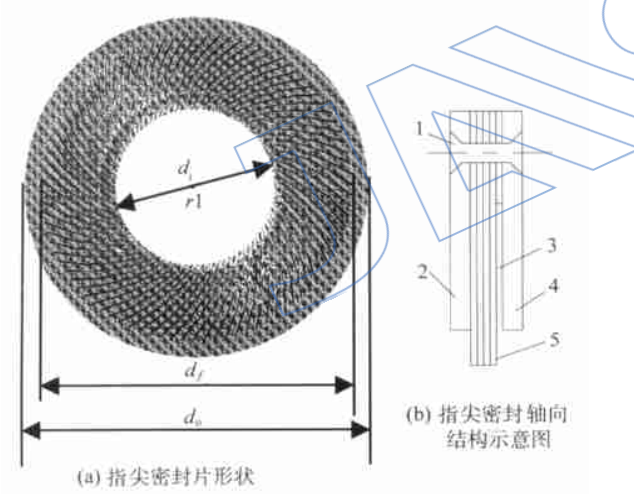


图 1 指尖密封的基本结构
Fig 1 The structure of finger seal

考虑到指尖密封零件是一个循环对称结构,以及指尖片用铆接装配起来,因而指尖片在周向没有转动,故计算中取一个指尖所包含的区域作为求解域,轴向方向上取了 3 片指尖密封件和后挡板作为分析对象。三个密封件分别称为上游密封件(与压力流体介质区接触)、下游密封件(与无压力区接触)和中间密封件。利用 Ansys 软件的智能网格划分技术对计算模型进行网格划分。在接触分析中,密封件之间、下游密封件和后挡板之间分别形成面接触对,采用 TARGE170 单元和

CONTACT174 单元作为目标单元和接触单元,接触表面间的摩擦因数取为 0.25,并考虑到密封装置上下游有压力差,规定密封件之间不允许有间隙存在。密封装置上下游压差分别为 0.1 MPa, 0.5 MPa, 1 MPa。转子径向跳动量范围在 0.02~0.20 mm 之间。

整个计算通过三个载荷步来完成:在上游密封件表面上施加流体压力;转子产生径向跳动量和密封靴接触,使指尖变形并在接触区产生接触压力;转子恢复至原始位置,密封件因摩擦力作用而迟滞。通过上述分析,可以获得多种轴向布局情况下指尖密封迟滞率 ϵ 和转子径向跳动时指尖靴与转子间接触压力的定量分析结果。迟滞率反映了密封装置迟滞程度的大小,其表达式为:

$$\epsilon = \frac{\Delta r}{\Delta r} \tag{1}$$

式中, Δr 为转子的径向跳动量(mm); δ 为转子恢复到原始位置后指尖密封片因摩擦力阻碍而残留的变形量(mm)。

为了研究指尖密封轴向尺寸和布局的影响,分析轴向变尺度结构应用于指尖密封的可能性,本文分析中对不同厚度密封件作以多种组合布置,如表 1 所示。通过这些不同组合情况的分析,力图对指尖密封轴向布局结构的影响有定量的描述,并寻求具有相对较优性能匹配的轴向变尺度结构。

表 1 指尖密封件轴向组合类型及尺寸(单位: mm)
Table 1 The axial assembled type and size of finger sealing (unit mm)

布局形式	指尖片		
	上游密封件	中间密封件	下游密封件
A 型	0.1	0.1	0.1
B 型	0.15	0.1	0.15
C 型	0.15	0.15	0.15
D 型	0.15	0.15	0.1
E 型	0.1	0.1	0.15
F 型	0.1	0.15	0.1
G 型	0.1	0.15	0.15
H 型	0.15	0.1	0.1

3 计算结果分析

图 2 是夹心状轴向布局(B 型布局)和等厚度

轴向布局(A 型和 C 型布局)的指尖密封迟滞率和密封靴与转子间接触压力,在不同压差和转子径向跳动量条件下的变化情况。所谓夹心状轴向布局是指中间密封件厚度和上、下游密封件厚度不同,而等厚度轴向布局中所有密封件厚度相同。

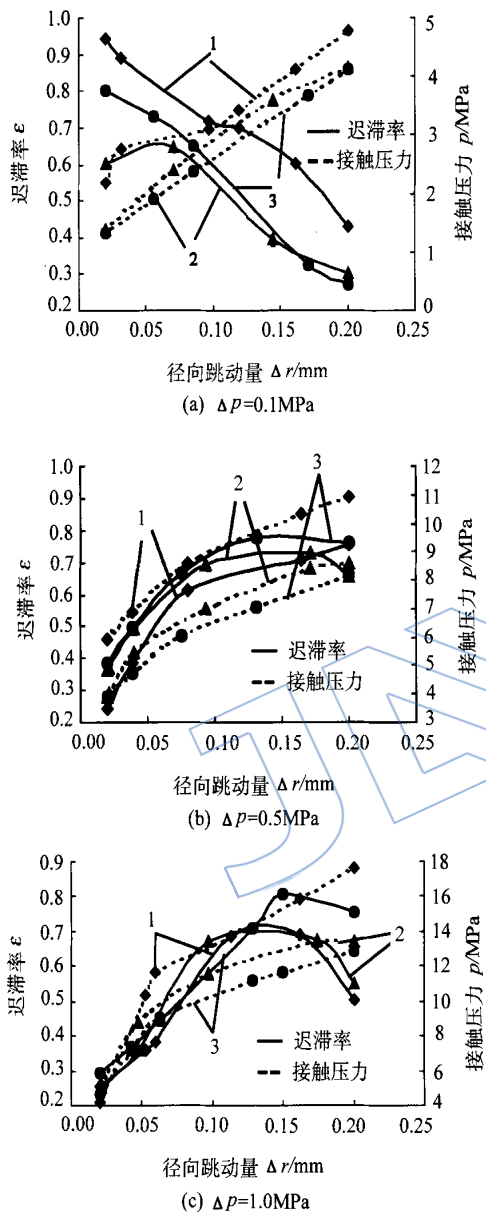


图 2 夹心结构与等厚度结构的迟滞率
和接触压力
(1:A 型布局 2:B 型布局 3:C 型布局)

Fig 2 Hysteresis and contact pressure of sandwich like
and equal thickness construction
(1:A arrangement 2:B arrangement 3:C arrangement)

由图可以看出,除了压差较小的情况,夹心状轴向布局的迟滞率和接触压力介于其它两种布局形式之间,从而具有一种较好的综合性能。因此,至少

在大压差情况下,夹心状轴向布局具有一定的优越性。

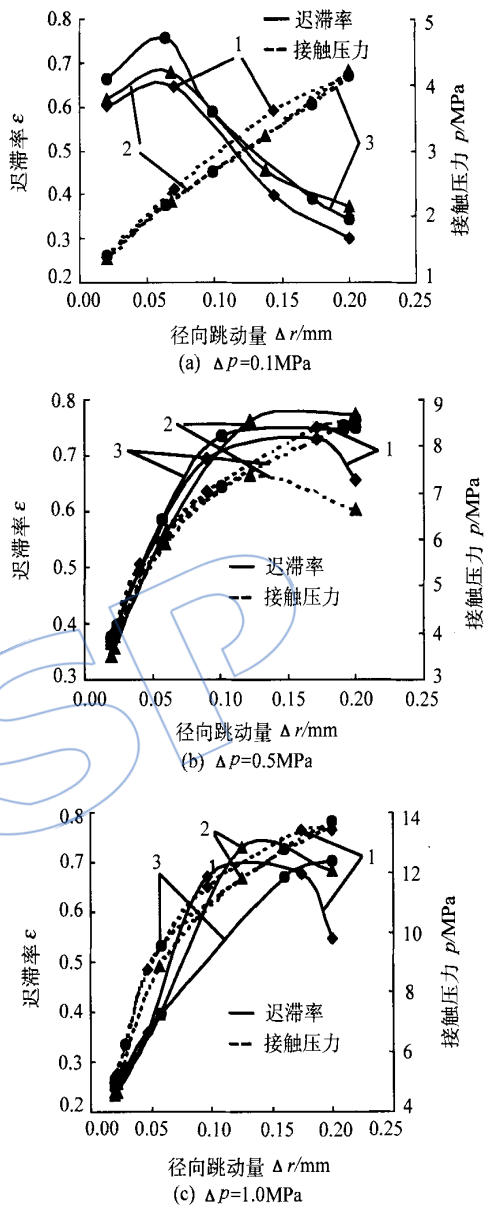


图 3 夹心结构与其它变尺度结构的迟滞率
和接触压力
(1:B 型布局 2:D 型布局 3:E 型布局)

Fig 3 Hysteresis and contact pressure of sandwich like
and other variable-dimension construction
(1:B arrangement 2:D arrangement 3:E arrangement)

图 3 是夹心状轴向布局和其它变尺度轴向布局(D 型和 E 型布局)的指尖密封迟滞率和密封靴与转子间接触压力,在不同压差和转子径向跳动量条件下的变化情况。这里所说的其它变尺度轴向布局,是指其密封靴与转子间名义接触面积和夹心状轴向布局情况下的相等的其它布局形

式。图 3 同样表明了夹心状轴向布局的优越性: 即在压差较大和转子径向跳动量较大的情况下, 迟滞率较之其它两种布局结构降低了 20%~ 30%;

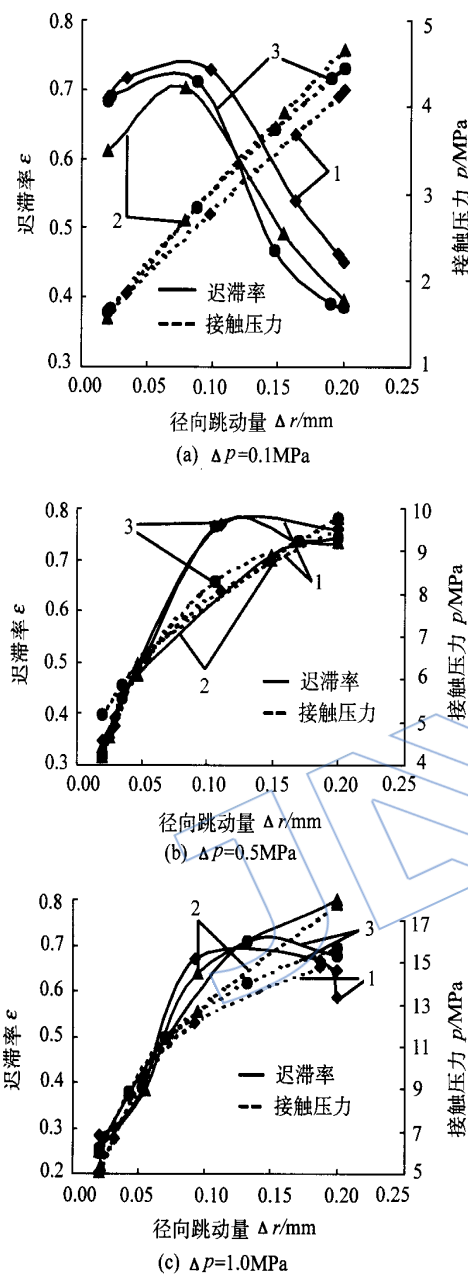


图 4 夹心结构与其它变尺度结构的迟滞率
和接触压力

(1: F 型布局 2: G 型布局 3: H 型布局)

Fig 4 Hysteresis and contact pressure of sandwich like
and other variable-dimension construction

(1: F arrangement 2: G arrangement 3: H arrangement)

而在其它条件下指尖密封的其它性能, 也并没有显著的不足。

图 4 是另一种夹心状轴向布局(F 型布局)和其它变尺度轴向布局(G 型和 H 型布局)的计算结果。显然, 压差较大时, 特别是在转子径向跳动量较大的情况下, 夹心状轴向布局具有较小的迟滞率和接触压力。根据上述分析, 如果将 B 型和 F 型夹心状轴向布局组合形成指尖密封轴向结构, 并辅之以优化处理, 极有可能获得较佳的迟滞特性和接触应力匹配关系, 并且具有合适的柔度特性(指尖密封因此而具有良好的装配性和较小的弯曲应力等性能)的指尖密封轴向布局结构。

上述分析还揭示了这样一种现象: 不同工况条件和轴向布局结构情况下的迟滞率和接触压力变化规律十分复杂。因此在指尖密封设计研制工作中, 应当结合实际工作条件进行必要的理论分析, 以获得作为进一步工作基础的理想的轴向布局结构形式。另外, 本文的工作还表明, 如果仅仅试探性地进行有限次指尖密封的性能试验工作, 难以寻求到较理想的结构形式。所以, 为了给试验工作提供依据, 使之更具有针对性, 以及降低试验成本, 开展理论优化研究是十分有意义的和非常必要的。

4 结 论

本文采用有限元技术对多种轴向布局的指尖密封装置的工作性能进行了分析, 提出了一种具有较优性能匹配的夹心状轴向布局结构, 为指尖密封轴向结构设计提供了一种选择。研究工作还表明, 由于指尖密封轴向布局设计的复杂性, 因而存在着开展指尖密封优化设计的必要性。

参考文献

[1] A nora G K,Margaret P P, Steinetz B M , et al Pressure Balanced,Low Hysteresis, Finger Seal Test Result[R]. 35th A-IAA/A S M E/SA E/A S E E Joint Propulsion Conference and Exhibit 1999

[2] 陈国定, 徐华, 虞烈, 等 指尖密封的迟滞特性分析[J]. 机械工程学报, 2003, 39(5): 121- 124

[3] 陈国定, 徐华, 虞烈, 等 指尖密封型线的力学性能研究[J]. 西北工业大学学报, 2002, 20(2): 218- 221.