

## 航空发动机油气分离器分离技术的研究及结构设计

李明<sup>1</sup> 南丽霞<sup>2</sup> 孙志礼<sup>1</sup><sup>(1)</sup> 东北大学 机械工程与自动化学院, 沈阳 110004)<sup>(2)</sup> 扬州职业大学 机械工程系, 扬州 225009)

Study of separate technology of lubricant-air separator and structure design in aeroengine

LI Ming<sup>1</sup>, NAN Li-xia<sup>2</sup>, SUN Zhi-li<sup>1</sup><sup>(1)</sup> School of Mechanical Engineering & Automation, Northeastern University, Shenyang 110004, China)<sup>(2)</sup> Department of Mechanical Engineering, Yangzhou Polytechnic College, Yangzhou, 225009, China)

**【摘要】**油气分离器是航空发动机滑油系统的重要组成部分,离心式油气分离器分离效果最好,它主要利用离心力场将油液中的未溶气体分离出来。对某型航空发动机滑油系统中的油气分离器进行了油气分离技术的研究,建立了理论计算模型;并可根据对分离效果的要求,通过计算来初步确定油气分离器的各主要零部件的结构尺寸;并应用 Unigraphics 的二次开发工具,实现了离心式油气分离器转子的参数化设计。

**关键词:**航空发动机;滑油系统;油气分离器;参数化设计

**【Abstract】**lubricant-air separator is an important part of lubricant system in aeroengine, and the effect of acentric lubricant-air separator is the best among multifarious separator. It separates gas from the lube by means of centrifugal force. In this paper, the technology of separation is analyzed contraposing the lubricant-air separator in aeroengine, the calculation models is created. Then we decide its structural dimension according to the request to the effect of separation, and the parameterized design of rotor in lubricant-air separator is realized, by means of the second development of Unigraphics.

**Key words:** Aeroengine; Lubricant system; Lubricant-air separator; Parameterized design

中图分类号: V232 文献标识码: A

## 1 离心式油气分离器

正常条件下的滑油中已经含有一定容积的空气,当滑油通过油泵、管路和高转速轴承时,大量的游离空气和燃气会被抽到回油中来,使滑油中的空气含量增加,而变成空气滑油乳化液,这将大大降低滑油的性能,增大滑油的消耗量及管路中的油流阻力和泵的抽油能力,因此,在靠近油箱的回油路出口处需要设计安装油气分离器,把滑油中含有的大部分空气分离出来<sup>[2-4]</sup>。油气分离器通常采用离心式设计,直接由发动机轴通过减速齿轮带动旋转。油气乳化液在转子中的运动实际是油-气两相流问题,十分复杂,设计时需要进行合适的简化<sup>[1]</sup>。由于油气分离器通道的坡度不大,不考虑附面层影响,可以认为通道内的轴向速度不变,即油气的轴向速度为  $v_0$ ,发动机所用的滑油要求在较低和较高的温度下均能正常工作,并要求有小的粘度,所以可以把滑油假定为理想流体。油气进入转子腔时往往对轴心有偏心,在高速旋转的分离器内形成离心力场。在离心力的作用下,较重的滑油甩向周边再流入油箱,而留在转子中心的空气和滑油蒸气则通向发动机的通风腔排出。

## 2 油气分离技术分析

当滑油以切向速度进入油气分离器时,工作液在离心力场的作用下甩向转子的外缘,气体聚积在转子中心排出。图 1 为简化运算模型,转子半径为  $R_1$ ,内部通道的半径为  $R_2$ ,取一流体

微团作为研究对象,进行一般情况下的运动分析。

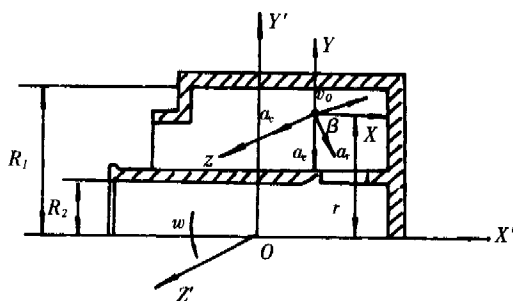


图 1 简化计算模型

由理论力学加速度合成的定理可以得到,质点运动的绝对加速度  $a_0$  等于相对加速度  $a_r$ 、牵连加速度  $a_e$  与科氏加速度  $a_c$  的和。当质点以  $v_0$  的速度进入转子做匀速曲线运动时,假定质点在图 1 所示位置时的曲率半径为  $r$ ,则三项加速度分别为:

$$\text{相对加速度 } a_r = v_0^2 / r \quad (1)$$

$$\text{牵连加速度 } a_e, a_c = (\Psi\omega)^2 R \quad (2)$$

其中:  $R$ ——流体微团到转子中心的距离。

科氏加速度  $a_c$ ,由  $a_c = 2\omega \times v_0$  可确定  $a_c$  在于图示平面所垂直的平面内,并与  $v_0$  垂直,它的大小为  $a_c = 2\omega v_0 \sin(90^\circ - \beta) = 2\omega v_0 \cos \beta$  (3) 各加速度方向如图所示。

因此,离心力  $F_c = ma_c$

式中: $m$ —流体微团的质量;

$\Psi$ —油珠对转子角速度的滞后系数;

$\omega$ —转子的角速度;

$v_0$ —油气的入口速度;

$\beta$ —入口速度和轴向夹角的余角。

对于该油气分离器来说,因为油气的流量  $Q$  恒定,转子半径近似相等,所以可以认为油气将相对于油气分离器中做匀速直线运动,因此,模型可进一步简化为图2所示。

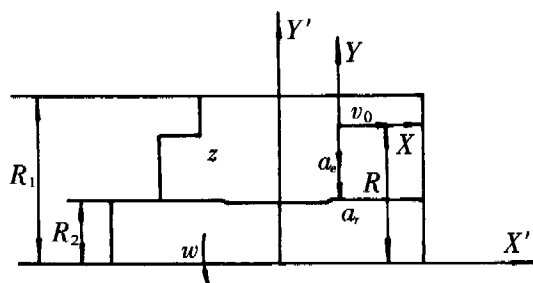


图2 油气分离器简化模型

其中: $R$ ——流体微团到转子中心的距离。

由图2及公式(1)、(2)、(3)可以得出,相对加速度  $a_r=0$ ,牵连加速度  $a_e=(\Psi\omega)^2R$ ,科氏加速度  $a_c=0$ ,所以,绝对加速度  $a_a=a_e=(\Psi\omega)^2R$ 。则流体微团所受到的离心力为:

$$F_c = ma = \frac{\pi d^3}{6} \rho_0 a = \frac{\pi d^3}{6} (\Psi\omega)^2 R \quad (5)$$

式中: $d$ —流体微团的当量直径;

$\rho_0$ —滑油密度。

流体微团受到的阻力为:

$$F_d = C_d \rho_0 = \frac{\pi d^2}{4} \frac{V_r^2}{2} \quad (6)$$

其中,阻力系数  $C_d$  是雷诺数  $Re$  的函数,当  $Re$  在  $1 \times 10^5 \sim 15 \times 10^5$  范围内时,适用以下的经验公式:  $C_d = \frac{25}{Re^{0.8}}$ ,所以阻力为:

$$F_d = \frac{25\pi}{8} \rho_0^{0.2} \mu^{0.8} V_r^{1.2} d^{1.2} \quad (7)$$

流体微团的重力远小于其所受的离心力,可以忽略不计,在运动流体内中所受的内摩擦力也可以相互抵消。因此,流体微团所受的离心力和阻力相互平衡,即  $F_d = F_c$ ,可以解出流体微团的相对抛离速度为,

$$V_r = \left( \frac{4d^{1.8} \rho^{0.8} R (\Psi\omega)^2}{75\mu^{0.8}} \right)^{\frac{5}{6}} \quad (8)$$

在油气分离器中所需要的抛离时间为,

$$t_r = \frac{S_r}{V_r} \quad (9)$$

式中: $S_r$ —流体微团的抛离距离,其大小随油珠所在的位置不同而不同,当  $S_r = R_1 - R_2$  时  $S_r$  最大。

$V_r$ —流体微团的相对抛离速度,由公式(10)可知,当  $R$  取最小值时拥有最小的抛离速度,所以取  $R = R_2$ 。

$$(4) \quad \text{即:} \quad t_{r \max} = \frac{S_{r \max}}{V_{r \min}} = \frac{(R_1 - R_2)}{\left( \frac{4d^{1.8} \rho^{0.8} R_2 (\Psi\omega)^2}{75\mu^{0.8}} \right)^{\frac{5}{6}}} \quad (10)$$

也就是说当油气乳化液位于入口时,贴近转子内通风腔外表面的部分是分离时间最长的部分。当油气以速度  $V_0$  相对于转子先前运动时在分离器内的最大停留时间为,

$$t_{0 \max} = \frac{L}{V_0} \quad (11)$$

其中: $V_0 = \frac{Q}{A_0}$ ,  $A_0 = \pi(R_1^2 - R_2^2)k$ ,代入(11)式则有,

$$t_{0 \max} = \frac{L \pi (R_1^2 - R_2^2) k}{Q} \quad (12)$$

式中: $A_0$ —油气分离器入口的实际面积;

$L$ —油气分离器通道的总长度;

$Q$ —通过油气分离器的总流量;

$k$ —面积系数;

$R_2$ —转子轴中间的通道内径;

$R_1$ —转子的当量外径。

若流体微团在油气分离器停留的时间大于其抛离时间,则可以保证直径为  $d$  的油珠全部甩向转子的边缘,达到油气分离的目的。保证抛离的临界条件为流体微团在油气分离器停留的时间等于抛离时间,可以得出油气分离器可以分出去的油珠的最小直径  $d_{\min}$ ,由  $t_{0 \max} = t_{r \max}$

$$\text{则} \quad \frac{L \pi (R_1^2 - R_2^2) k}{Q} = \frac{(R_1 - R_2)}{\left( \frac{4d^{1.8} \rho^{0.8} R_2 (\Psi\omega)^2}{75\mu^{0.8}} \right)^{\frac{5}{6}}} \quad (13)$$

$$\text{所以,} \quad d_{\min} = \left( \frac{75}{4R_2} \right)^{\frac{5}{9}} \left[ \frac{Q}{\pi k L (R_1 + R_2)} \right]^{\frac{2}{3}} \left( \frac{\mu}{\rho} \right)^{\frac{4}{9}} \left( \frac{1}{\Psi\omega} \right)^{\frac{10}{9}} \quad (14)$$

$$\text{整理为,} \quad d_{\min} = (v)^{\frac{4}{9}} \left( \frac{75}{4R_2} \right)^{\frac{5}{9}} \left[ \frac{Q}{\pi k L (R_1 + R_2)} \right]^{\frac{2}{3}} \left( \frac{1}{\Psi\omega} \right)^{\frac{10}{9}}$$

式中: $v$ —滑油的运动粘度

### 3 油气分离器转子结构设计

典型的离心式油气分离器主要由壳体、转子、支撑轴承等零件组成。其中转子的结构最为重要,是对油进行施加旋转的核心,因此,转子在结构上大多是采用辐板的结构。油气分离器的主要结构参数就是转子长  $L$ 、转子外径  $R_1$ 、流通部分内径  $R_2$ 。油气分离器经验值: $\lambda_1 = L/R_1 = 0.9 \sim 1.6$ ,  $\lambda_2 = L/R_2 = 0.45 \sim 0.7$ ;将  $L = R_1 \lambda_1$ 、 $R_2 = R_1 \lambda_2$  代入式(14),可以导出

$$R_1 = \left( \frac{Q}{\pi k \lambda_1 (1 + \lambda_2)} \right)^{\frac{6}{17}} \left( \frac{75 v^{0.8}}{4 d^{1.8} (\Psi\omega)^2 \lambda_2} \right)^{\frac{5}{17}} \quad (15)$$

### 4 利用 UG 对油气分离器的转子进行参数化设计

UG 是集 CAD/CAE/CAM 于一体的通用软件,具有强大的 CAD/CAM 功能,基于完全的三维实体复合建模、特征建模和装配建模技术,能够设计出复杂的产品模型,可用于整个产品的开

## 喉部手术机器人手指系统设计

梁修滢 李群智 丁杰男 王树新 (天津大学 机械工程学院, 天津 300072)

Design on microgripper system of laryngeal surgical robot

LIANG Xiu-ying, LI Qun-zhi, DING Jie-nan, WANG Shu-xin

(School of Mechanical Engineering, Tianjin University, Tianjin 300072, China)

**【摘 要】**喉部手术机器人手指系统是针对喉部手术自身特点及要求而开发的一套手指系统。该系统由驱动机构和末端工具两部分组成,拥有旋转和开合两个自由度,并能快速更换末端工具,使机器人具有足够的自由度与灵活性,满足手术中位姿和动作要求。动物试验证明该手指系统满足喉部手术的各种要求。

**关键词:**喉部手术; 手术机器人; 手指系统; 动物试验

**【Abstract】** Based on the characteristics and requirements of laryngeal surgery, a microgripper system for laryngeal surgical robot was developed. The microgripper system having two DOF (degrees of freedom) consists of a drive device and a set of instruments. Because of the DOF and instruments' quick-changing, the surgical robot has enough dexterity to perform the poses and motions during laryngeal surgery. The microgripper system can satisfy all requirements of laryngeal surgery in animal experiments.

**Key words:** Laryngeal surgery; Surgical robot; Microgripper; Animal experiment

中图分类号:PT24 文献标识码:A

## 1 手指系统的设计

支撑喉镜下的喉部手术的基本动作包括切、穿、剥、剪、拉、咬和吸。常用的喉部手术器械包括喉剪、喉钳、喉刀及喉吸管等,实现对喉部病变组织的夹持、分离、切除、清淤。各种器械交

替配合使用来完成相应的喉部手术<sup>[3]</sup>。

喉部手术的操作空间对于机器人末端工具的构型起着决定性作用。经测量计算,工具在支撑喉镜约束下活动的位姿量化参数为:工具末端伸出喉镜下的尺寸不大于 20mm,移动范围不大

\* 来稿日期:2006-08-02

发过程。同时 UG 又具有良好的开放性,为用户提供了功能强大的二次开发工具<sup>[5-7]</sup>。

利用 UG 的二次开发工具 开发出油气分离器转子设计菜单如图 3 所示。

对油气分离器的转子设计实现参数化设计<sup>[8]</sup>,并利用 C 语言语句。

fp=fopen(file\_name, "w")和 fp=fopen(file\_name, "r")

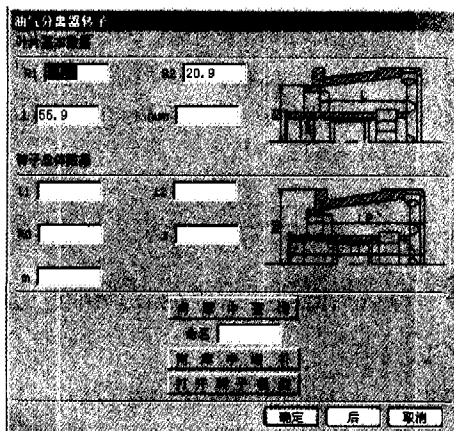


图 3 转子参数化设计

将上面得出的转子的结构数据  $R_1, R_2, L$  传输到该设计菜单中,如图 3 所示。

## 5 结论

针对离心式油气分离器的工作原理,通过油气分离技术的研究,建立了工程分析计算方法。并通过 UG 软件的二次开发工具,实现了离心式油气分离器的参数化设计。所得结果可供设计参考,增加设计效率,缩短周期。

## 参考文献

- 1 马枚,赵伟.航空发动机轴心通风机油气分离技术研究及油滴运行轨迹跟踪[J].航空发动机,1997,2:13-16.
- 2 Ma, M, Fan, X.Constraint-based structural modeling and analysis of aeroengine blisk in a concurrent engineering environment[J].Journal of Aerospace Power, 1998, 13(4): 413-417. Oct.
- 3 Ou, H, Lan, J.An FE simulation and optimization approach for the forging of aeroengine components[J].Journal of Materials Processing-Technology, 2004, 9: 208-216.
- 4 Timo Laakko, Martti Mantyla.Feature modeling by incremental feature recognition[J]. Computer-aided Design, 1993, 25(8):
- 5 吴家洲,吴波,杨叔子.UG 软件的二次开发,机床与液压[J],2001,5: 89-91.
- 6 陈长生.基于 UG 参数化技术完成实体零件库的建立[J],机械设计与制造,2003(4): 59-60.
- 7 张治,洪雪,张泽帮. Unigraphics NX 参数化设计实例教程[M],北京:清华大学出版社,2003.