

一种解决低转速下漏油的流量管理阀

谷智赢^{1,2}, 李国权^{1,2}, 郁 丽^{1,2}, 马 芳³

- (1. 中国航空工业集团公司 沈阳发动机设计研究所, 沈阳 110015;
2. 中国航空工业集团公司 航空发动机动力传输航空科技重点实验室, 沈阳 110015;
3. 中国航空工业集团公司 哈尔滨轴承制造有限公司, 哈尔滨 150036)

摘 要: 针对航空发动机在低转速下轴承腔出现的漏油问题, 深入分析了航空发动机在低转速下产生漏油问题的原因, 提出了一种解决航空发动机低转速下轴承腔的漏油问题的有效方法, 即设计一种应用在后轴承腔供油路上的流量管理阀, 开展了流量管理阀打开压力及流阻特性试验, 试验表明: 流量管理阀的打开压力和流阻特性满足航空发动机低转速下既向轴承腔少量供油以对轴承进行润滑又防止轴承腔内供油过多而导致漏油的设计要求, 研究方案可为解决航空发动机低转速下轴承腔漏油问题提供设计参考。

关 键 词: 轴承腔; 漏油; 流量管理阀; 打开压力; 流阻特性

中图分类号: V233.4

文献标志码: A

An oil flow management valve for solving oil leakage at low rotating speed

GU Zhi-ying^{1,2}, LI Guo-quan^{1,2}, YU Li^{1,2}, MA Fang³

- (1. Shenyang Engine Design and Research Institute, Aviation Industry Corporation of China, Shenyang 110015, China;
2. Key Laboratory for Power Transmission Technology of Aero-Engine, Aviation Industry Corporation of China, Shenyang 110015, China;
3. Harbin Bearing Manufacturing Limited, Aviation Industry Corporation of China, Harbin 150036, China)

Abstract: Targeting the oil leakage of bearing chamber of aero-engine at low rotating speed, the reasons of the oil leakage of bearing chamber of aero-engine at low rotating speed were analyzed. A efficient method solving the problem was proposed, including the design of oil flow management valve applied to the oil supply pipeline of rear bearing chamber. The opening pressure and flow resistance characteristics tests of oil flow management valve were carried out, and the result shows that the opening pressure and flow resistance characteristics of the oil flow management valve can satisfy the requirements of supplying a little oil to the bearing chamber for lubricating bearing, and also preventing oil leakage with oil overabundance of bearing chamber of aero-engine at low rotating speed. The research can be a reference for solving the problem of oil leakage for the bearing chamber of aero-engine at low rotating speed.

Key words: bearing chamber; oil leakage; oil flow management valve; opening pressure; flow resistance characteristics

对于滑油供油系统为定压或定压差供油方式的航空发动机,在低转速情况下,由于供油的体积流量(下文简称流量)较大,轴承腔封严压差尚未建立,离心力较小,回油滞后于供油,轴承腔内积油,导致某些轴承腔存在少量漏油问题。目前在部分在役发动机上采取了几种办法解决此漏油问题,如 pД33 发动机在前轴承腔供油路上增加了定压活门,供油压力达到设定值后向前轴承腔供油。AJT-31Φ 发动机前轴承腔为接触式密封,在其通风路上采用安全活门,当前轴承腔腔压很低时切断通风,同时前轴承腔回油泵回油能力大,前轴承腔的密封形成正压差,防止低转速时的漏油。另外,GE 公司的某桨扇推进器(UDF)滑油系统,在起动和亚慢车工况下,采用电磁阀控制供油走向,绕开供油机匣走旁通支路,相当于切断供油。我国目前在役的发动机对这些问题考虑得较少,早期的 WP13 发动机以及昆仑发动机均存在在低转速下的少量漏油问题,虽在中后轴承腔采取了引出机外的措施,但还是不能完全消除流道内的少量漏油,严重影响发动机的形象。本文针对某型发动机在低转速下的后轴承腔的漏油问题,系统全面地分析了轴承腔产生漏油问题的原因,并提出了一种解决该问题的方法,即设计一种应用在后轴承腔供油路上的流量管理阀。该流量管理阀的设计和试验研究,可为解决发动机低转速下轴承腔漏油问题提供设计参考。

1 概述

1.1 轴承腔漏油原因分析

在低转速下轴承腔漏油原因主要有以下几个方面^[1-6]:①离心力没有建立起来。正常工作时,一些靠离心力进入轴承腔的滑油不能进入轴承腔而漏出发动机外(见图 1)。②引气压力没有建立起来。发动机主轴密封主要是靠轴承腔内外压差而实现封严的,引气压力没有建立会导致轴承腔不能建立起有效的封严,致使供入该支点的滑油通过密封泄漏出去。③大部分情况下都采用带有调压活门的供油方式。这种供油方式在发动机的冷运转、假开车、起动等状态中,发动机滑油供油泵供油量上升较快,这样就可能会导致轴承腔内的供油相对偏多。④起动过程中,由于回油泵入口首先抽入空气,回油建立较慢,不能建立有效和稳定的回油,轴承腔内积油过多则导致漏油。⑤轴承腔体积较小,当轴承腔体积偏小时,供油量偏多或回油偏少就会没过轴承腔的密封装置,这样会导致

漏油(见图 2)。

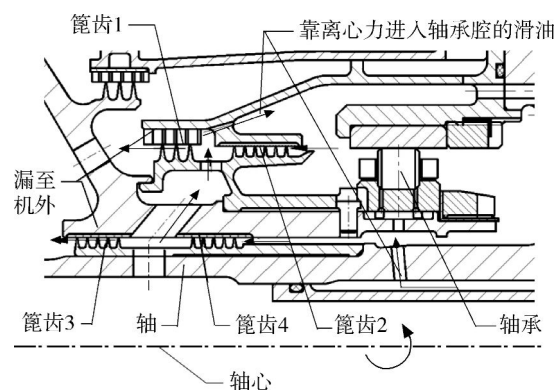


图1 漏油示意图(离心力未建立)

Fig. 1 Schematic of oil leakage
(without centrifugal force)

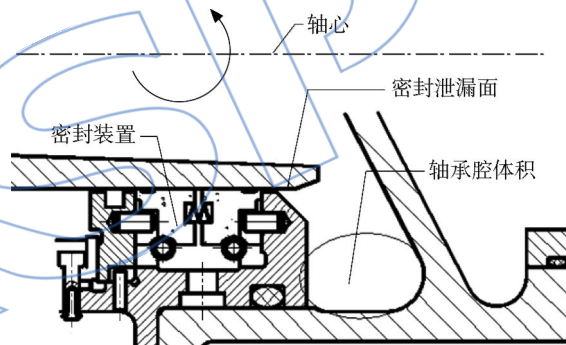


图2 漏油示意图(轴承腔体积较小)

Fig. 2 Schematic of oil leakage
(small bearing chamber cubage)

1.2 轴承腔漏油解决措施

一般地说,轴承腔在低转速下的漏油可通过如下措施解决^[7]:

1) 改变供油结构

供油喷入方向偏向密封时,可增加高压涡轮后轴上油坝 1 的高度,并使油坝 1 高于油坝 2(见图 3),油坝高度取决于供油量和结构空间。此结构对漏油现象能起到一定缓解作用,但不能完全确保滑油不从篦齿 1 处泄漏。

2) 将泄漏的滑油引到发动机外或回收

按滑油泄漏轨迹可对现有封严结构进行调整,将泄漏的滑油引到发动机外,同时需避免滑油进入盘腔尤其是封闭腔。但是把泄漏的滑油引到发动机外受到整体结构空间、强度等因素制约,不易实现。

3) 采用更有效的密封结构

为了防止轴承腔漏油,应首先采用接触式密

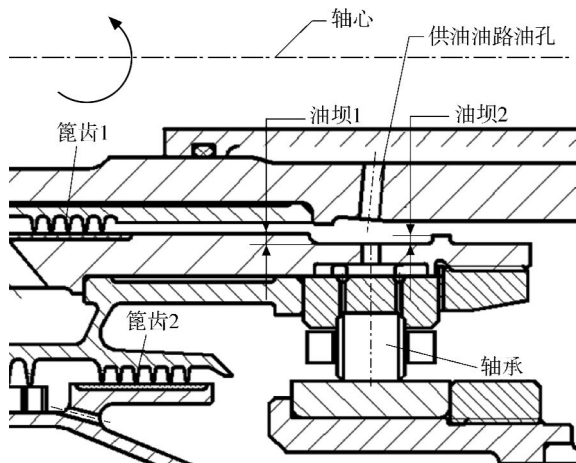


图3 油坝解决方案示意图

Fig. 3 Schematic of oil dam resolving project

封. 而对于发动机来说, 接触式密封受密封的线速度、结构空间和寿命的限制, 有些无法采用接触式密封. 在短时间内采用新型的密封技术则不易实现.

4) 不供油或少供油, 采用流量管理阀等措施

对可能漏油的轴承腔采用不供油或少供油的办法, 使发动机在低转速下无油可漏. 此方法不受结构空间和强度限制, 同时可有效解决低转速下的漏油问题, 可实现性高.

在 pД33 发动机上, 前轴承腔供油路设置了定压活门, 用途是在起动不成功和发动机拉停时切断前轴承腔供油, 以免滑油因未能封严而泄漏. 为避免设计的轴承等部件在无油状态下受到损伤, 分析了其工作状态. 众所周知, 发动机此时工作时间都较短、转速较低且载荷较小, 因此发热量很少, 对于滑油的两项重要功能——润滑与冷却来说, 润滑是主要功能, 而润滑仅需一层油膜即可, 而当转速上升到一定值后, 定压活门打开, 使流量达到正常值, 即实现低转速下不漏油, 而高转速下又不影响润滑与冷却的要求.

综上所述, 本文采用低转速少供油方案, 借鉴 pД33 发动机应用经验, 设计了一种流量管理阀结构, 并通过试验进行了验证.

2 流量管理阀设计

2.1 确定流量管理阀打开压力

流量管理阀的打开压力是在滑油供油系统流阻特性基础上选定的^[8-9]. 流量管理阀的打开压力设定应遵循如下原则:

1) 慢车是发动机的最小稳态转速, 此时轴承腔封严压力已经建立, 且工作时间也较长, 轴承环

境温度也已建立, 因此在慢车及以上状态下流量管理阀不应影响发动机的正常供油, 即流量管理阀打开压力相对于发动机状态应在慢车以下.

2) 流量管理阀在减少漏油的同时, 应尽可能减少对发动机供油的影响.

3) 在设计点, 流量管理阀的流阻不应影响各喷嘴的滑油设计供油量.

4) 流量管理阀打开压力应在滑油系统流量、压力仿真计算基础之上确定, 以确保不会给系统带来不可预见的影响.

5) 流量管理阀打开压力须经试验验证.

根据以上原则, 针对发动机漏油主要发生在低转速下的启封、冷运转、假开车、起动初期及停车后期的情况(见图4), 将打开压力设置为发动机转速大于冷运转转速的某稳态. 在冷运转至慢车期间, 虽然封严空气压力及离心力尚未建立, 但该区间时间很短(起动过程约几十秒), 因此将打开压力定为发动机转速稍大于发动机冷运转是合适的.

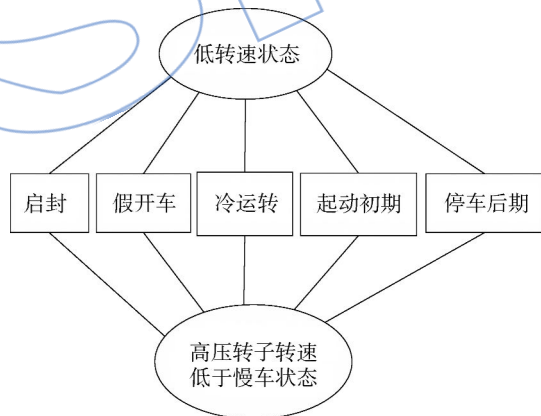


图4 发动机低转速状态

Fig. 4 State of aero-engine at low rotating speed

在冷运转和起动过程中, 封严腔腔压尚未建立, 环境温度为常温, 转速较低, 轴承、齿轮等发热量不大, 此时滑油供油的主要目的是润滑而非冷却. 为此, 在后轴承腔供油路上设置流量管理阀(见图5), 图5中 p_1 、 p_2 分别为流量管理阀的进、出口压力. 对于某型发动机而言, 冷运转转速约为 3000 r/min. 在没有流量管理阀时, 预设流量管理阀处打开压力为 0.051~0.069 MPa(表压), 后轴承腔供油量约为 5.2 L/min. 此时系统绝对压力、流量仿真情况如图6、图7所示^[10-13]. 因而确定在转速为 3000 r/min 时, 流量管理阀处打开压力为 0.05~0.069 MPa. 为此, 预设流量管理阀处打开压力为 0.05~0.069 MPa.

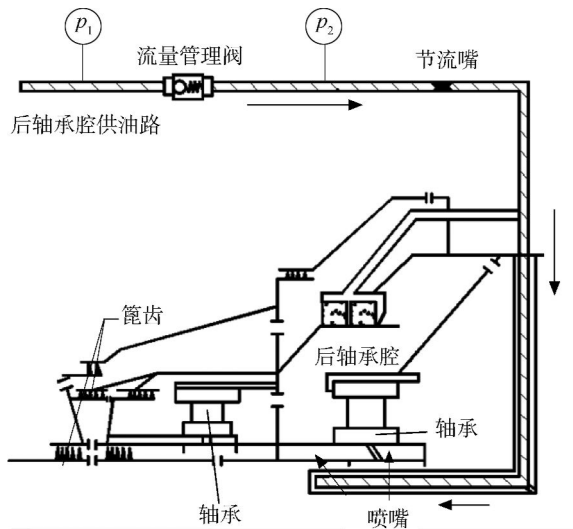


图5 流量管理阀在发动机后轴承腔供油路的布局图

Fig. 5 Layout of oil flow management valve of aero-engine on oil supply pipeline of rear bearing chamber

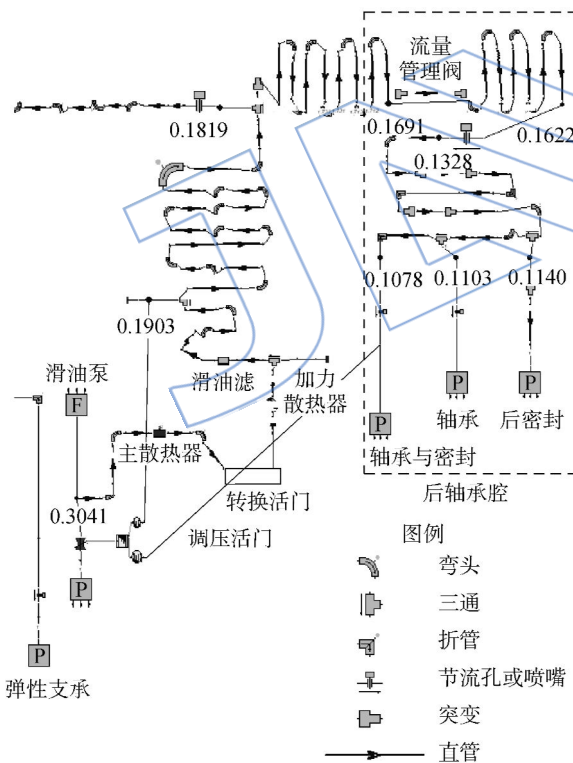


图6 发动机低转速状态滑油供油系统压力分布 (单位:MPa)

Fig. 6 Oil supply system pressure distribution of aero-engine at low rotating speed (unit:MPa)

2.2 流量管理阀结构设计

参考以往活门结构设计思路,并结合机械设计手册进行全新设计^[14-18].设计方案中主要考虑

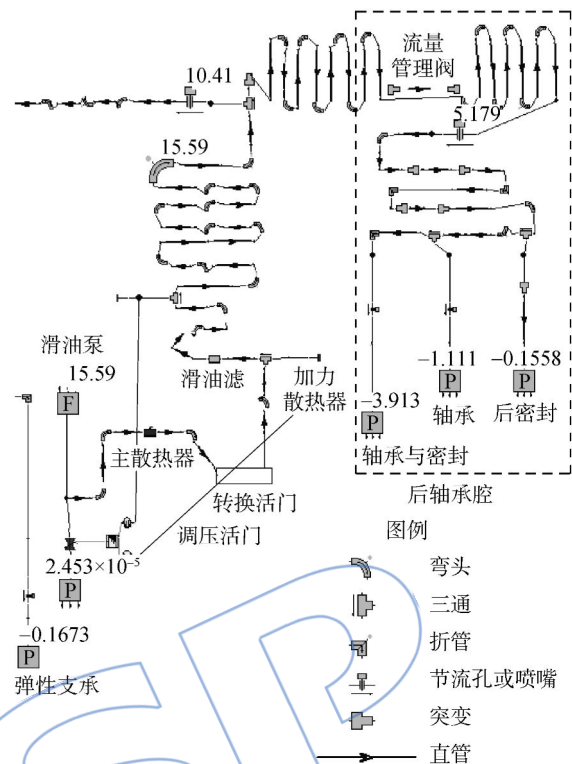


图7 发动机低转速状态滑油供油系统流量分布 (单位:L/min)

Fig. 7 Oil supply system volume flow distribution of aero-engine at low rotating speed (unit:L/min)

步骤如下:①在活门中间开节流孔以实现在低转速下能够供少量滑油且供油量合适以保证轴承等摩擦件的润滑;②通过2.1节中计算出的打开压力和活门的流通面积计算弹簧相关参数;③通过调整调整垫和弹簧长度可以改变弹簧的打开压力;④通过采用大直径的倒圆和倒角来保证较小的流阻。

图8示意了流量管理阀的基本组成元件,核心部分是带有弹簧的单向活门,单向活门的流通面积由前壳体的内径计算得出,根据单向活门的打开压力(0.05~0.06 MPa)和单向活门的流通面积计算出弹簧的初始安装载荷及工作载荷.根据弹簧刚度、工作行程和载荷作用类型要求选择弹簧的材料,计算出弹簧的相关参数,并对计算的弹簧进行校核.通过对调整垫加工成组,使其都具有相同直径、不同高度的特点,装配或试验时可通过调整调整垫的高度来改变弹簧的初始安装高度,进而改变弹簧的打开压力.单向活门中心可留有节流孔保证低转速下的轴承基本润滑。

2.3 流量管理阀工作原理

流量管理阀工作原理为:初始状态,单向活门

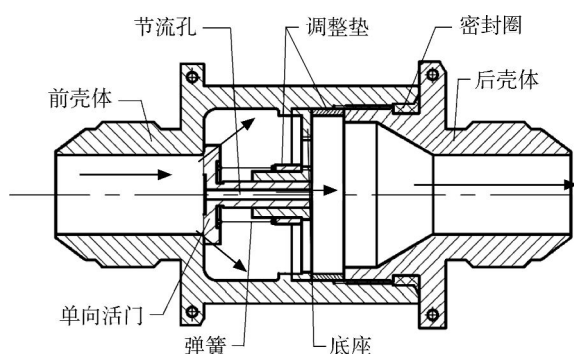


图 8 流量管理阀结构图

Fig. 8 Sketch of oil flow management valve

在弹簧力的作用下压在前壳体上(见图 8)。当发动机起动后,转速逐渐提高,滑油泵开始供油。流量管理阀进出口压差小于单向活门打开压力设计值,单向活门不开启,只有少量滑油通过节流孔流出,此流量可以保证轴承等摩擦件的润滑。当发动机转速继续增加,流量管理阀的进出口压差大于单向活门打开压力,单向活门开启,实现正常供油。流量管理阀的打开压力可根据具体发动机需求做调整,通过调整弹簧长度和调整垫即可实现改变单向活门打开压力。

3 流量管理阀试验验证

3.1 试验系统

本试验在航空发动机动力传输航空科技重点实验室的滑油附件试验器上进行。利用试验器上的供油泵、滑油箱及计量油箱、测试仪表等。模拟实际发动机后轴承腔供油工况,试验系统原理如图 9 所示。

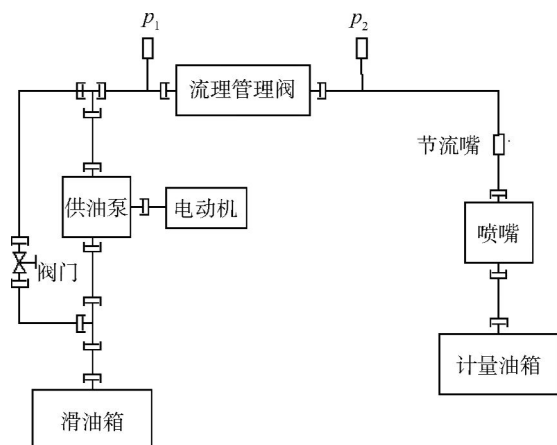


图 9 流量管理阀试验系统图

Fig. 9 Sketch of oil flow management valve test system

试验在常温下进行,用节流嘴和阀门的节流特性模拟实际发动机滑油系统的管路喷嘴等系统流量、流阻特性。通过改变电动机输出功率改变供油泵转速,从而控制供油压力,通过阀门调整通过流量管理阀的流量,并由计量油箱测量,同时监测流量管理阀进、出口压力 p_1 和 p_2 。

3.2 试验结果及分析

3.2.1 试验结果

1) 初始系统试验

在未安装流量管理阀的情况下,测量喷嘴流量为 2.6 L/min。

2) 流量管理阀打开压力试验

流量管理阀打开压力为 0.05 MPa,打开前瞬间通过喷嘴流量为 0.9 L/min。

3) 单向活门开启后的流阻、流量性能试验

试验结果见表 1。

3.2.2 结果分析

试验结果表明,低转速增加流量管理阀的后轴承腔喷嘴流量减小了 1.7 L/min,这些滑油被分配到了其余各腔,其相对系统循环量很小,因此安装流量管理阀对其余各腔供油影响不大。

表 1 中,流量随流量管理阀进出口压差增大而增大。试验过程中,泵出口压力示数波动幅值不大,这是由于系统背压与流量管理阀弹簧刚度匹配设计合理,验证了本流量管理阀开启后不影响发动机正常供油。

表 1 流量管理阀开启后的流阻、流量试验数据

Table 1 Flow resistance and volume flow test data after oil flow management valve open

p_1 / MPa	p_2 / MPa	流阻 / MPa	流量 / (L/min)
0.300	0.215	0.085	13.8
0.270	0.190	0.080	12.7
0.200	0.130	0.070	10.2
0.150	0.085	0.065	8.1
0.100	0.040	0.060	5.3

4 结 论

本文全面分析了发动机轴承腔产生漏油问题的原因,针对发动机起动、停车等低转速下后轴承腔漏油问题,通过滑油系统流阻特性计算后,采取在后轴承腔供油路设置一种流量管理阀的方法来解决冷运转、起动、停车等低转速下的漏油问题,

阐述了流量管理阀整个设计过程并进行试验验证,证明了设计的可行性,总结如下:

1) 提出了一种解决发动机低转速下轴承腔漏油问题的有效方法. 本方法是针对发动机在低转速下,封严引气压力未建立、供油量偏多等问题,而轴承在低转速下只需润滑而不需要冷却的特点,通过在某发动机后轴承腔设置流量管理阀,实现了在低转速下减少供油量和高转速下正常供油的系统控制.

2) 设计了一种应用在后轴承腔供油路上的流量管理阀,该流量管理阀的单向活门打开压力可通过调整垫进行调整.

3) 开展了流量管理阀打开压力及流量、流阻特性试验,并获得了流量管理阀打开压力和开启后的流量、流阻特性.

4) 经试验验证表明流量管理阀的打开压力和流阻特性满足发动机低转速下既向轴承腔少量供油以对轴承进行润滑又防止轴承腔内供油过多而导致漏油的设计要求. 该流量管理阀的设计和试验研究方案,可为解决发动机低转速下轴承腔漏油问题提供设计参考.

参考文献:

- [1] 林基恕,张振波. 21 世纪航空发动机动力传输系统的展望[J]. 航空动力学报,2001,16(2):108-114.
LIN Jishu,ZHANG Zhenbo. Prospects of aeroengine power transmission system in the 21st century[J]. Journal of Aerospace Power,2001,16(2):108-114. (in Chinese)
- [2] 陈光. 航空发动机结构设计分析[M]. 北京:北京航空航天大学出版社,2006.
- [3] 姚玉泉,马先贵,丁津原. 摩擦磨损润滑密封[M]. 沈阳:东北工学院出版社,1988.
- [4] 邢宗文. 流体力学基础[M]. 西安:西北工业大学出版社,1992.
- [5] 苏铭德,黄素逸. 计算流体力学基础[M]. 北京:清华大学出版社,1997.
- [6] 廉筱纯,吴虎. 航空发动机原理[M]. 西安:西北工业大学出版社,2005.
- [7] 徐再清,朱惠人,白江涛. 航空发动机篦齿封严特性数值分析[J]. 机械设计与制造,2008,2(6):31-33.
XU Zaiqing,ZHU Hui ren,BAI Jiangtao. Numerical analysis of labyrinth seal in aircraft engines[J]. Machinery Design and Manufacture,2008,2(6):31-33. (in Chinese)
- [8] Vermes G. A fluid mechanics approach to the labyrinth seal leakage problem[J]. Journal of Engineering for Power,1961,83(2):161-169.
- [9] 林基恕. 高性能涡轮发动机润滑系统设计[J]. 燃气涡轮试验与研究,2003,16(1):7-9,17.
LIN Jishu. Design of high performance turbo-engine lubrication systems[J]. Gas Turbine Experiment and Research,2003,16(1):7-9,17. (in Chinese)
- [10] 杜马钦柯,克拉维茨. 燃气涡轮发动机的滑油系统[M]. 毛可久,译. 北京:国防工业出版社,1978.
- [11] 郁丽,李国权. 某型航空发动机滑油供油系统压力和流量仿真[J]. 航空发动机,2009,35(6):14-17.
YU Li,LI Guoquan. The simulation for pressure & flux of oil supply system of an aeroengine[J]. Aeroengine,2009,35(6):14-17. (in Chinese)
- [12] 李静,王琦. 发动机润滑系统网络系统的设计及其模拟实验[J]. 南昌航空大学学报:自然科学版,2008,22(1):67-71.
LI Jing,WANG Qi. Design of the grids system for aero-engine lubrication system and simulation experiments[J]. Journal of Nanchang Hangkong University: Natural Sciences,2008,22(1):67-71. (in Chinese)
- [13] Miller D S. Internal flow systems[M]. Britain: British Hydromechanics Research Association,1970.
- [14] 鲁德发,折世强,关维. 一种液压活门的设计改进[J]. 液压与气动,2011(11):97-98.
LU Defa,SHE Shiqiang,GUAN Wei. Design improvement of a new type hydraulic valve[J]. Chinese Hydraulics and Pneumatics,2011(11):97-98. (in Chinese)
- [15] 梁阮,李舜酩. 某重型燃气轮机放气活门及排气管路的改进设计[J]. 航空发动机,2007,33(2):5-6.
LIANG Ruan,LI Shunming. Design improvement of bleed valve and pipe for a heavy duty gas turbine[J]. Aero-engine,2007,33(2):5-6. (in Chinese)
- [16] 刘荣华,高跃飞,李小平,等. 基于 AMESim 的后坐活门液压阻力特性研究[J]. 机床与液压,2011,39(11):33-35.
LIU Ronghua,GAO Yuefei,LI Xiaoping, et al. Study on the characteristics of recoil resistance of valve based on AMESim[J]. Machine Tool and Hydraulics,2011,39(11):33-35. (in Chinese)
- [17] 徐灏. 机械设计手册[M]. 北京:机械工业出版社,1991.
- [18] 林基恕. 航空燃气涡轮发动机机械系统设计[M]. 北京:航空工业出版社,2005.