

文章编号: 1000-8055(2007)01-0012-06

航空发动机润滑系统通用分析软件开发

刘振侠¹, 黄生勤¹, 吕亚国¹, 郭 晖²

(1. 西北工业大学 动力与能源学院, 陕西 西安 710072;

2. 中国航空动力机械研究所, 湖南 株洲 412002)

摘 要: 发展了一种全新的航空发动机润滑系统通用分析软件. 采用流动换热的网络算法, 将发动机润滑系统分解成由相应的典型元件和节点组成的网络, 用有限的元件和流动介质类型就可描述通用的发动机润滑系统. 元件分为简单元件和组合元件, 并和润滑系统结构一一对应, 方便了元件的初始化. 软件前台采用图形建模方式生成计算网络, 后台采用了网络自动识别技术, 方便了复杂网络的建立. 可视化界面及支撑数据库, 提高了软件的易用性.

关 键 词: 航空、航天推进系统; 润滑系统; 通用分析软件; 网络算法; 典型元件; 图形建模; 网络自动识别

中图分类号: V231.1

文献标识码: A

General analysis software of aeroengine lubrication system design

LIU Zhen xia¹, HUANG Sheng qin¹, LÜ Ya guo¹, GUO Hui²

(1. School of Power and Energy,

Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710072, China;

2. China Aviation Power Plant Research Institute, Zhuzhou 412002, China)

Abstract: A new General Analysis Software of Aeroengine Lubrication System (GASALS) is presented. The software adopts network algorithm to analyze calculation network of abstracted form for lubrication system. All kinds of aeroengine lubrication systems can be divided into finite correlative elements and nodes from which the calculation network is developed. Typical elements are classified as simple elements and combinative elements, which are convenient for parameter initialization of elements. Graphic modeling and automatic identification technique make complex calculation network easy to be generated. Visual operation interface and backup database are convenient for GASLS users.

Key words: aerospace propulsion system; lubrication system;
general analysis software; Network algorithm; typical element;
graphic modeling; network automatic identification

目前, 国内用于航空发动机润滑系统流动换热计算的方法是: 针对一个具体的润滑系统建立起网络模型, 针对具体元件和边界条件进行参数输入, 然后进行计算. 由于属于面向过程的设计思

想, 这种程序不能实现自动建模, 网络的连接必须经过人工完成, 每个节点和元件的编号必须有次序地人工整体输入, 因此只可对已经设计好的固定的流体网络进行计算. 在网络计算的过程中因

收稿日期: 2006-06-09; 修订日期: 2006-10-19

作者简介: 刘振侠(1963), 男, 陕西西安人, 西北工业大学动力与能源学院教授, 博士, 主要从事航空发动机润滑系统、空气系统等研究.

为系统无法自动识别网络的连接, 需要人工干预和手工调试, 程序通用性不强, 对使用者的学科背景和工程经验的要求比较高, 一般工程技术人员掌握较难, 计算效率也不高.

航空发达国家的发动机公司或者研究机构都拥有相应的分析计算软件. 如美国 NASA 的 SSME^[1], GFSSP^[2,3], FLOMODL^[4], 因其具有较高的工程价值而限制其对外输出. 所以开发我国具有自主知识产权, 且实用、高效的发动机润滑系统热分析计算软件就显得更加重要.

本文发展了一种全新的航空发动机润滑系统热分析通用软件 GASALS (General Analysis Software of Aeroengine Lubrication System). 软件将发动机润滑系统分解成由相应的典型元件和节点组成的网络, 用有限的元件和流动介质类型就可以描述不同的发动机润滑系统, 提高了软件的通用性; 软件采用计算网络的图形建模技术, 解决了网络的自动辨识问题, 同时在软件环境里建立计算网络十分快捷, 对网络的修改也很方便, 提高了软件的易用性; 软件中的元件和润滑系统的典型结构一一对应, 可以方便的对单个元件进行初始化, 提高了软件的可靠性; 软件不仅可以进行验证计算, 也可以对润滑系统进行设计分析.

1 软件设计思想

1.1 软件整体设计方案

基于模块化的设计思想, 将软件分为 3 部分: 网络计算程序、图形建模和数据库. 这 3 部分保持相对独立, 又通过一定的方式相互联系起来, 这样可以提高软件的可扩展性和可维护性. 3 个模块之间的相互关系及软件的整体流程如图 1 所示.

1.2 图形建模

为了解决网络的自动识别问题, 软件在流体网络的建立上采用图形建模的方法, 将独立的元件看作模块, 通过内在的识别机制对各类元件进行自动编号, 然后系统自动分析各元件和节点之间的连接关系, 识别出隐含在其中的流体网络.

1.3 可视化界面加数据库

用户界面编制以 Delphi 7 为开发平台, 以提高软件界面的友好性, 并基于 Delphi 7 自带的单机版数据库引擎 BDE 开发出适合润滑系统热分析通用软件的配套数据库.

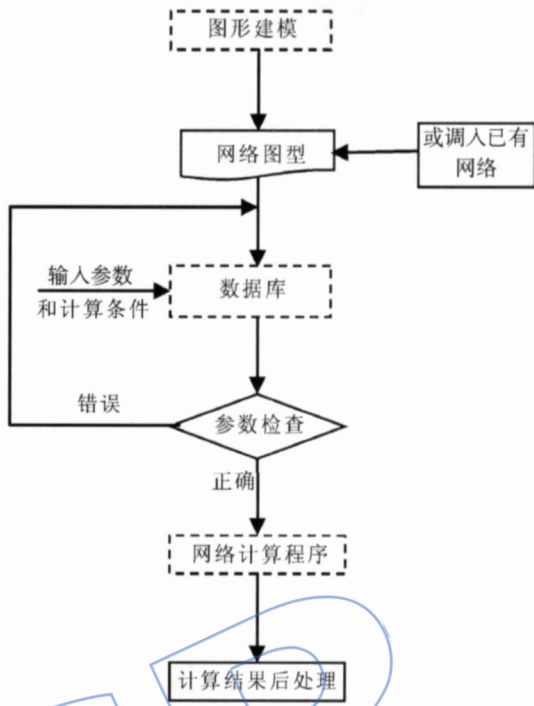


图 1 软件整体流程图

Fig. 1 Flowchart of GASLS

2 计算原理和计算模块

对发动机润滑系统来说, 分析计算主要考虑两个方面的问题, 一个是润滑系统滑油的压力、流量分配问题, 另一个就是润滑系统的温度分布问题. 从这两个方面出发, 润滑系统的计算就可以转化为系统循环过程中的滑油流动计算和滑油流经某个部件或结构的换热计算.

沿润滑系统的一个循环, 我们可以将润滑系统的结构看作由不同的元件结构按一定的顺序连接而成的系统, 这些元件结构在软件中定义为典型元件, 典型元件的数目是可数的, 这样, 就可以用有限的元件表征不同的润滑系统, 从而提高了通用性.

2.1 元件模块

软件将发动机润滑系统中的各种具体结构和部件模化成相应的元件, 不同的元件有不同的流阻(增压)或换热特性. 元件又可分为 2 种, 一种是由于结构简单, 或功能单一的结构, 在计算时只需要考虑其一种属性的元件, 称之为简单元件, 包括流动损失元件、增压元件、换热元件; 与之相对的另一类较复杂的元件, 这些元件在计算需要考虑多种属性的影响, 称之为组合元件.

2 1 1 流动损失元件

实际流体具有粘性,因而在实际流动过程中会产生阻力,为了正确计算流体在管道中的实际压力就必须计算流体阻力.本软件中包括各种流阻元件的计算模型,如直管、弯头、突扩、突缩、渐扩、渐缩及孔等.

2 1 2 增压元件

发动机润滑系统的供油回路中安装有增压元件-滑油泵,滑油泵用于发动机轴承和传动齿轮部分润滑油的输送和回收,本软件包括齿轮泵、旋板泵、柱塞泵等滑油泵的计算模型.

2 1 3 换热元件

发动机润滑系统中没有单纯只具有换热属性的元件,换热器也必须考虑它的流阻特性.滑油流过各类元件时,润滑系统与外部有结构换热,但建立其计算网络时是不可能再考虑详细的外部结构,为了解决这个矛盾,增加了换热元件,实际也就是一个附加在元件上的一个热源,用这个热源来表征外部结构与润滑系统部件之间的换热.

2 1 4 组合元件

发动机滑油系统中包括轴承腔、附件机匣、燃油滑油散热器和空气滑油散热器等.这些结构件本身比较复杂,若将其分解为网络再加入整个的润滑系统网络中,则网络复杂度将大大增加,这对于计算来说是不利的.同时,由于这些元件会带来流动损失和热量变化,所以必须同时考虑他们的流阻特性和换热特性.另外,在增压比较大的情况下,对于滑油泵的考虑就不能仅仅考虑压力变化,还要考虑温升的影响.只有将这类必须同时考虑多个属性的元件定义为组合元件才可以解决上述问题.这样,用这些组合元件代替相应的换热器、轴承腔、滑油泵等放入整个润滑系统内,可以起到简化网络,同时也减轻了计算程序的负担.

组合元件分为 2 类,一类是滑油泵、换热器这些元件,这些元件本身是可以给出其特性曲线的,将特性曲线写成数据表或特性方程的形式,在计算的时候根据入口节点参数插值或直接求解特性方程即可以得出相应的出口节点参数.另一类是无法直接给出特性曲线或特性方程的,如轴承腔、附件机匣等,则可以首先单独建立这些部件的计算网络,按不同的进口条件分析出其对应的特性曲线或特性方程,或者采用用户自定义的专业软件得出特性曲线或特性方程,然后放入该组合元件的属性中,也可以达到相同的目的.

组合元件多维多属性的引入,扩展了元件的

适应范围,同时,软件还给出了标准的通用组合元件,其对应的属性为用户可以自定义的特性曲线或特性方程,提高了软件的通用型.

2 2 网络算法

计算采用网络算法,算法特点是将系统的结构和腔室分解成由相应元件和节点组成的网络,解决了系统多支路交叉问题^[5].

2 2 1 系统标识

润滑系统结构虽然很复杂,但都可以分解成由元件和结点所组成的网络,人工识别这些网络很容易,但要计算机能自动识别出网络中元件和节点的连接关系,则需要建立一套有效的计算识别代码来辅助标示系统.这些识别代码包括元件代码、坐标代码和特征代码.元件代码是基本代码,元件的流动和换热类型、几何结构、坐标位置和对应的流动换热条件等参数均需根据它去查询.坐标代码即元件的进出口节点代码,确定元件在网络中的位置.特征代码表示元件的类型和结构.

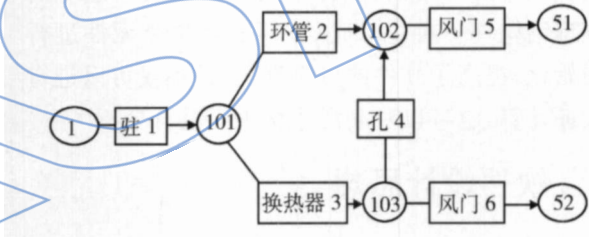


图 2 计算网络的代码标识
Fig. 2 Schematic of Network Code

图 2 是一个代码标识计算网络的示意图.椭圆代表边界节点;圆圈代表内部节点;矩形代表元件.元件和节点代码标在网络图上,用这些代码就可以描述整个系统的网络连接关系.

2 2 2 流体热力参数的计算

润滑系统计算的主要内容为流量分配、压力分布和流体温度.所以需要计算的是:通过各元件的质量流量和节点上的流体温度和压力.网络中有 2 类节点,基于内部腔室对应的内部节点和系统边界与外部联接的边界节点,边界节点上的流体参数是已知的,其它节点的流体参数待求.根据质量守恒原理,在无源情况下,通过一个节点的净流量为零,建立流量方程;通过元件有压力与温度的变化,从而在元件两端的节点建立动量方程和能量方程.在润滑系统计算中,流量和压力对计算收敛的影响大,而换热的影响很小.根据参考文献[5]可先按等温流计算,待流量平衡后再进行换热

修正, 如此总的迭代计算量较少。

2.2.3 计算方法

根据网络节点建立求解方程, 则整个网络的节点方程可构成一个大型的稀疏矩阵, 软件采用标准算法求解此稀疏矩阵。

3 算 例

本算例预测某型航空发动机润滑系统中的供回油系统各部分的流量分配和温度分布, 计算参数包括滑油在流动的过程中各节点的压力分布、流量分配和温度的变化等。同时通过简单的计算步骤演示软件的工作流程。

图 3 为供回油系统简化模型图。根据系统的工作原理, 可将管路系统分为供油管路和回油管路。在供油管路上主要计算滑油压力分布、流量分配; 在回油管路中主要考虑滑油温度的变化。

在软件里的分析步骤如下:

(1) 新建工程。

(2) 从控制界面的元件模板上拖入相应元件的图标到图形建模工作界面上, 尽量按照真实的供回油系统结构进行布置。

(3) 将对应的边界节点和内节点拖入到元件的对应位置, 边界节点为已知边界和出入口条件设置点, 内节点则用来连接元件。

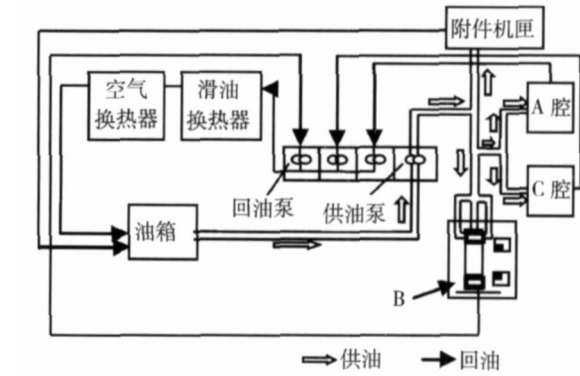


图 3 供回油系统示意图

Fig. 3 Schematic of a lubrication system

(4) 元件、节点布置好后, 激活网络连接功能, 将元件、节点用连接线连接起来, 组成一个所需的网络, 后台则会自动识别出网络中的连接关系。

(5) 网络图建好后, 用网络连接检查来查找网络连接中的错误, 如有错误可以直接在网络图上修改, 添加或删除元件、节点及元件、节点之间的连接线。最终建立的网络图如图 4 所示。

(6) 在网络图上双击单个元件或节点, 即打开元件或节点的初始化窗口, 输入对应参数, 如图 5 所示。也可以在整元件或节点数据表内直接初始化, 如图 6 所示。

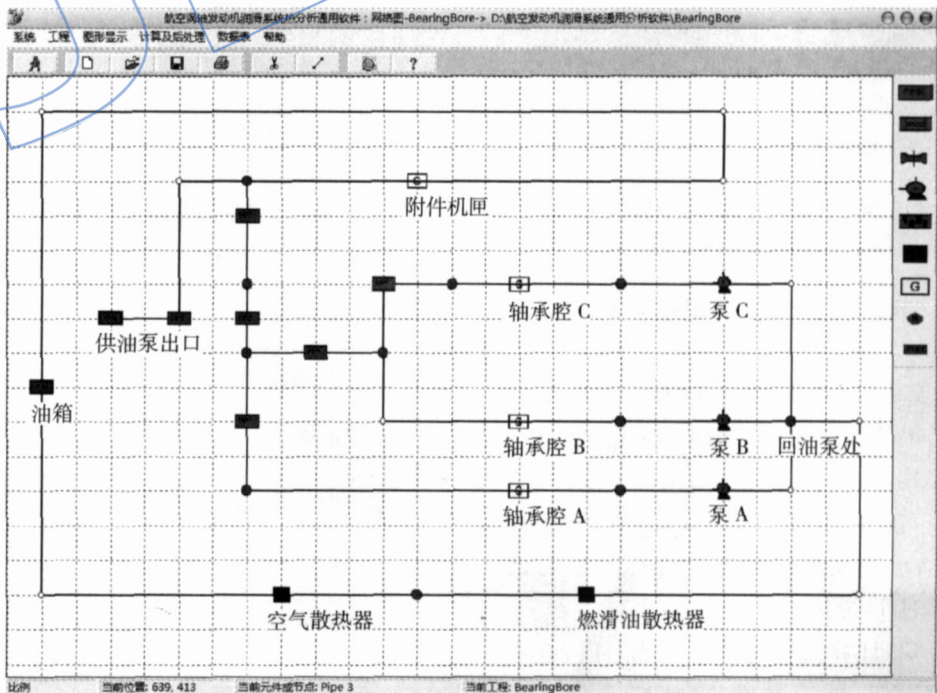


图 4 在软件环境下建立的计算网络图

Fig. 4 Network in GASLS

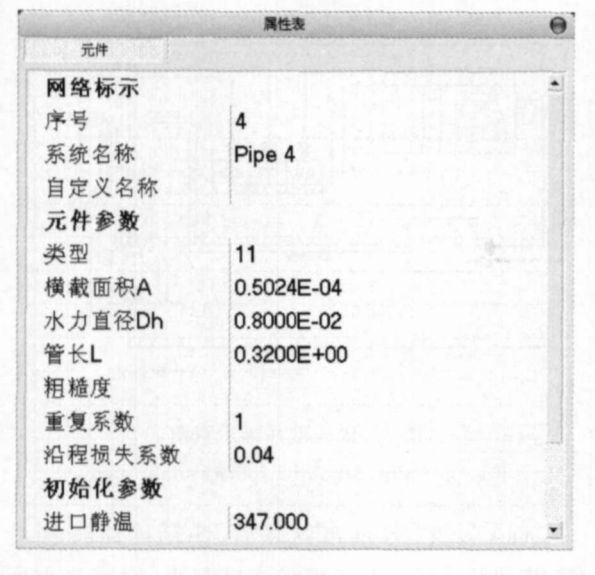


图 5 单个元件的初始化

Fig. 5 Initialization of a single element

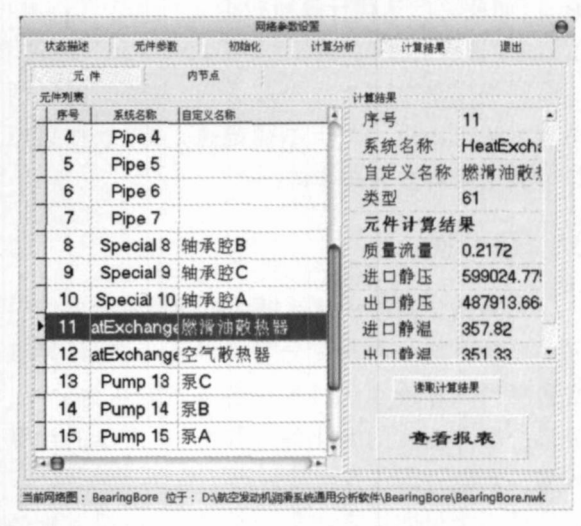


图 7 计算结果写回数据库

Fig. 7 Results wrote back to database

从而证明了软件的可行性.

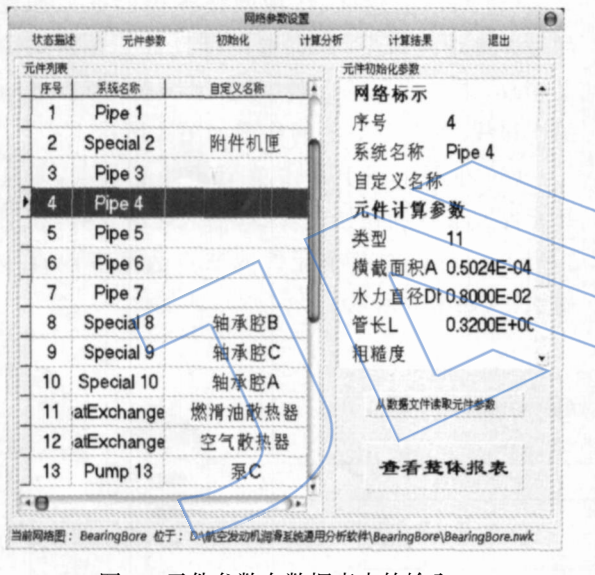


图 6 元件参数在数据表中的输入

Fig. 6 Initialization of multi elements

表 1 各腔室计算流量与试验流量对比

Table 1 Mass flow comparison between calculation results in GASLS and experimental data(L/ min)

流量分配	试验流量/ (L/ min)	计算值/ (L/ m in)
附件机匣	1.5~ 1.8	1.5665
轴承腔 A	6.5~ 7.5	6.3290
轴承腔 B	3.5~ 4	3.6238
轴承腔 C	3.8	3.6993

表 2 系统主要节点润滑油温度分布

Table 2 Distribution of lubricant temperature

节点名称	计算温度/℃
滑油箱	67.59
轴承 A 腔出口	73.24
轴承 B 腔出口	124.74
轴承 C 腔出口	71.2
燃滑油散热器进口	86.36
空气滑油散热器进口	78.98

(7) 输入参数检查无误后, 调用网络计算程序进行计算.

(8) 计算完成后, 单击“读取计算结果”, 软件自动将计算结果写回数据库, 如图 7 所示, 或者将计算结果直接显示在网络图上, 如图 8 所示.

本算例中, 在给定的进出口边界条件下, 获得 A, B, C 3 个轴承腔及附件机匣的计算流量与试验流量对比如表 1, 润滑油温度分布如表 2

由表 1 可知, 计算流量在试验值范围内, 或者在误差允许范围内(误差要求 8%); 表 2 为润滑油温度分布的计算值, 是满足发动机正常工作的油温范围的, 而且其温度变化趋势与实际较为一致,

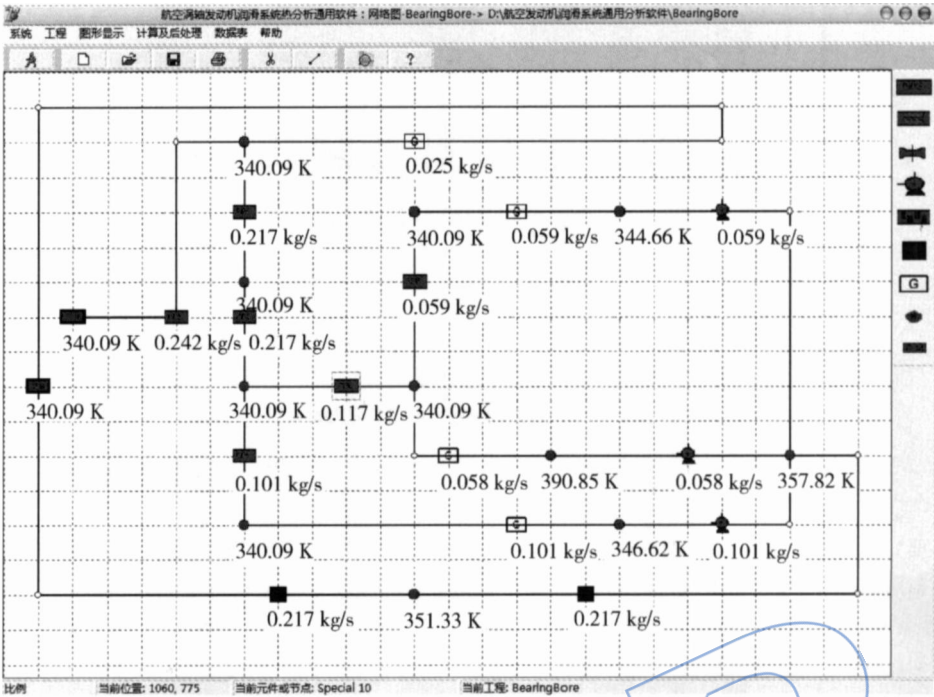


图 8 计算结果在网络图上的显示

Fig. 8 Schematic of network with results

4 结 论

根据航空发动机润滑系统热分析通用软件的设计需要, 本文对软件的关键技术: 流体网络算法与图形建模, 进行了研究, 开发出基于可视化技术的流体网络热分析通用软件, 最后采用所开发的软件对一个润滑系统的供回油系统进行了计算, 计算结果与试验参考值吻合较好. 这说明软件可以适用于航空发动机润滑系统热分析的工程需要.

参考文献:

[1] Cheng A K. SSME alternate turbopumps axial thrust

balance and secondary flow models[R]. Sverdrup Technology MSFC Group, Report No. 322-002-91-153-R01, Contract No. NASA-37814, 1992

[2] Majumdar A K, VanHooser K P. A general fluid system simulation program to model secondary flows in turbomachinery[J]. AIAA 95-2969

[3] Majumda A K. A generalized fluid system simulation program to model flow distribution in fluid networks[J]. AIAA 98-3682

[4] McAmis R W, Miller J T. Modeling fluid flow networks[J]. AIAA 96-3120

[5] 吴丁毅. 内流系统的网络计算法[J]. 航空动力学报, 1996, 17(6): 653-657

WU Dingyi. Network algorithm of internal flow system. [J] Journal of Aerospace Power, 1996, 17(6): 653-657