

火箭发动机热力气动计算软件研制*

徐 旭 张中钦

(北京航空航天大学宇航学院, 北京, 100083)

摘 要: 介绍一个适用于固体和液体火箭发动机热力气动计算自动化软件的功能和技术细节, 该软件通用性广, 适用性强, 使用方便, 已在 PC 兼容机上开发成功并投入实际使用。

主题词: 火箭发动机, 热力学计算方法, 计算机辅助设计

分类号: V435.11

A DEVELOPMENT ON ROCKET MOTOR THERMODYNAMIC CALCULATION SOFTWARE

Xu Xu Zhang Zhongqin

(Coll. of Aerospace, Beijing Univ. of Aeronautics and Astronautics, Beijing, 100083)

Abstract: An automatic software for thermodynamic calculation of solid rocket motors and liquid rocket engines is developed and put into use. The functions and details are discussed in this paper. This software can be executed with a PC compatible micro-computer and is performed with good generality, flexibility and reliability.

Subject terms: Rocket motor, Thermodynamics calculation method, Computer aided design

1 前 言

热力计算是火箭发动机设计、性能预估及优选推进剂等不可缺少的重要环节, 现在已发展了许多成熟的算法, 各科研单位也都依据具体的算法编制了相应的计算程序。但这些程度普遍存在着自动化程度不够及标准化程度低等不足。本文所描述的软件, 就是按照自动化、软件化的观点进行设计的。

2 功 能

本软件具有以下功能:

- (1) 既适用于固体火箭发动机, 又适用于液体火箭发动机的热力计算。
- (2) 具有一定的系统库存, 包括元素库、推进剂库和产物库, 分别存储推进剂和燃烧产

* 本文 1994 年 10 月 14 日收到

物的信息,如:名称、总焓、热力系数及其它一些参数。为达到自动化计算的目的,库存范围一定要广,尽量包括所有已知的固体、液体推进剂和产物信息。但每个人收集到的资料总是有限的,为此,系统应具有“学习”功能,能方便地扩充其库存内容。

(3) 能识别不同形式的推进剂配方输入。根据不同用户的不同输入习惯,系统提供不同的输入方式供用户选择,如:菜单形式,分子式形式,表格形式,等等,系统能对不同的输入形式进行识别。

(4) 能自动确定燃烧产物的种类。这是实现计算自动化的关键。只有从用户输入的推进剂配方中,恰当地推断出燃烧产物应包含的成分,才能真正简化用户的劳动,达到自动化的目的。

(5) 软件运行所要求的软、硬件环境易于满足,以目前广泛使用的PC机及其兼容机为硬件支撑,以DOS操作系统为其运行环境,不需其它的特殊支撑软件。

3 相关技术

3.1 系统库结构

系统库包括元素库,推进剂库和产物库。

元素库包括推进剂所能覆盖的元素名称,原子量等。元素库一定要全,必须包括所有可能出现在推进剂中的元素。如果推进剂中出现了超出元素库存范围的元素,则系统将不能对其进行识别,导致计算失败。

推进剂库应包含所有可能搜集到的固、液发动机推进剂组元,库存量越大,使用越方便。该库主要包括推进剂名称,总焓等参数。

燃烧产物库应包含所有元素库中可能组合成的燃烧产物。当然,在使用前可针对实际存在情况对其进行筛选。具体内容有:名称、热力系数以及计算输运性质的一些参数。

系统库存数据的组织形式,可以采用一些通用数据库软件,如FOXBASE,来建立,也可采用自己设计的数据形式。采用前者,数据格式符合标准,便于与其它的软件共享数据。美中不足是对数据的操作需要数据库管理软件的支持,使用不便。采用后者,数据库可以和系统本身设计在一起,使用灵活、方便。

3.2 计算数据的输入

根据用户的输入习惯,推进剂的输入可能有以下几种形式:

(1) 菜单输入形式

一些常用的推进剂以菜单的形式列举在屏幕上供用户选择。用户可选取所需原始数据自动从库中检索出。

(2) 分子式输入形式

有时用户习惯于将推进剂的化学式输入系统,这时系统必须要具备对用户输入的分子式进行判断、分析和标准化的功能。判断:用于对输入进行语法检查,以判明输入是否有误以及分子式是否在库存范围内;分析:用于对输入分子式进行所含元素种类和数量的统计;标准化:用于对用户输入进行格式上的统一。

(3) 表格输入形式

有一些高分子聚合物没有确定的分子式组成,在实际应用中都是选取一定数量的该物质(例如1kg),测得其中各元素的摩尔数,从而得出其假定化学式,因而其元素下标不规范,不

适合分子式形式输入。表格式输入就是针对这种情况而设的。用户在使用时,可按照屏幕上提供的表格形式,填入某物质的组成。

除了推进剂以外,系统还要求输入工况参数,这可采用一般的交互式屏幕输入方式来解决。

3.3 燃烧产物的确定

燃烧产物的确定原则是:根据推进剂所包含的元素种类,列举出其中可能的元素组合,删除其中不可能形成物质的组合,从而得到燃烧产物的初集。当元素种类较多时,这样的组合量是很大的,必须根据实际情况进行筛选,保留一个具有实际意义的选择集。另外还必须注意到同样的元素组合,得到的物质会有不同的存在状态,在液体发动机的热力计算中,由于余氧系统 α 的不同,可能会导致燃烧产物种类的不同,当 α 很大时($\alpha > 1$),氧大量过剩,得到的产物中高价氧化物较多,如: CO_2 , NO_2 ...;当 α 很小时($\alpha < 0.2$),氧严重缺乏,得到的产物中低价的氧化物居多,如: CO , NO ...,甚至会出现结碳的现象;而在高 α 的计算中这是不予以考虑的,这就导致了产物集合的不同以及次序上的改变。这些都必须在系统运行中自动地予以确定,才能保证正常的运行。

3.4 计算方法

本软件采用布林克莱法计算热力系统中的平衡组分,它把燃烧产物划分成基础组分和非基础组分。基础组分是燃烧产物中包含所有凝相成分及浓度较大的成分,必须能覆盖所有在推进剂中出现的元素,并且和元素数量保持一致。这样,所有产物都可以用基础组分的线性组合来表示,这样的表示称为组分的组成方程。布林克莱法就是把这样的组成方程当作反应的化学平衡方程和质量守恒方程联立求解,得出所有组分的平衡浓度。对布林克莱法来说,选择哪一种组分作为基础组分,以及基础组分的排列次序是很重要的,直接影响到计算的成败。软件对此必须能作出正确处理,根据具体情况动态地确立产物的排列。

由于布林克莱法不涉及具体的化学反应式,求解过程规范、简明,因而适合于自动计算软件使用。

3.5 功能范围

整个热力计算过程在给定的推进剂配方、初温、燃烧室压力及喷管出口压力情况下进行,计算燃烧室内产物浓度、温度、燃气摩尔数、气体常数、定压比容、定容比热、比热比等,根据喷管流动模型的不同,分别计算出平衡流动模型,冻结流动模型和平衡加冻结模型(喷喉之前平衡,喷喉之后冻结)下的燃气浓度、温度、燃气摩尔数、气体常数、定压比容、定容比热,比热比、比冲、推力系数和特征速度等。

3.6 输 出

为适应使用者的不同要求,系统设计了几种形式的输出:

(1) 列表形式

该表是热力计算结果的详尽报告,列举了燃烧室和喷管内的计算结果,并配以文字说明。

(2) 文件形式

以紧凑的格式将一些重要的热力计算结果保存在文件中,供其它的软件或程序进行调用。

(3) 曲线形式

将不同燃烧室压力、喷管出口压力及余氧系数的多次计算结果以曲线的形式绘出图形,便于用户对其进行观察、比较。

4 结 语

本软件系统是为固体和液体火箭发动机集成化 CAD 系统的一个子系统开发的。作为一个大的软件系统的一部分, 本系统特别注重与其它部分的信息交换和运行方式的设计。它可以以自动方式或交互方式来启动, 交互方式是指以交互输入方式获得推进剂配方和工况参数的一种运行方式; 在自动方式下, 所有这些信息都是通过输入数据文件获得的, 这就大大地简化了运行时的操作, 对集成化的 CAD 设计系统非常有用。因为对一个大的 CAD 系统来说, 其主要工作是结构设计, 热力计算只是其必不可少的前处理过程, 用户可能不希望在此花很多时间, 要求操作越简单越好, 自动运行方式正是考虑了这种需要而设计的。用户可在系统启动之前准备好一组现成的配方及工况数据供运行时调用, 以简化运行时的操作。

本软件设计完成后, 已投入实际使用, 反映良好。

参 考 文 献

- [1] 张中钦. 固体火箭和固体组合发动机的热力气动计算. 北京航空航天大学, 1980.
- [2] 李宜敏、张中钦. 固体火箭发动机原理. 北京: 国防工业出版社, 1985

(上接第 58 页)

5 结 论

(1) 如果矩形通道的转动方向与主流方向垂直, 则因哥氏力引起的二次流使通道流量下降, 旋转速率越大, 这种效应越明显。

(2) 当 $h/D=2$ 时, 如果 $Ro \gg 1.0$, 则二次流呈相反旋转的双涡结构, 使得主流方向速度在横向中心线上分布的最大值偏向低压区。如果 $Ro < 1.0$, 计算结果表明解出现分叉和重现现象, 二次流动变得不稳定。

(3) 当 $h/D=8$ 时, 二次流的四对滚动涡结构, 定性上与文献 [7] 实验结果吻合, 证明了 MAC-AF1 方法的应用是成功的。

参 考 文 献

- [1] 陈义良. 矩形通道中湍流诱发二次流的数值研究. 工程热物理年会, 1992
- [2] Speziale C G. Numerical Study of Viscous Flow in Rotating Rectangular Ducts. J Fluid Mech, 1982, 122: 251
- [3] 朱祚金, 刘岳元, 刘应中. Navier-Stokes 方程的数值解: [学位论文]. 上海: 上海交通大学, 1990
- [4] 周钢, 刘应中. N-S 方程的适解性研究: [学位论文]. 上海: 上海交通大学, 1989
- [5] Barua S N. Secondary Flow in Rotating Straight Pipe. Proc R Soc Lond, 1954, A227: 133
- [6] Lezius D K, Johnston J P. Roll Cell Instabilities in Rotating Laminar and Turbulent Channel Flow. J Fluid Mech, 1976, 77: 153
- [7] Hart J E. Instability and Secondary Motion in a Rotating Channel Flow. J Fluid Mech, 1971, 45: 341
- [8] Speziale C G, Thangam S. Numerical Study of Secondary Flows and Roll Cell Instabilities in Rotating Channel Flow. J Fluid Mech, 1983, 130: 377