

战略导弹液体火箭发动机 操作训练仿真模拟系统

张永敬

(第二炮兵工程学院)

摘 要

本文介绍了战略导弹液体火箭发动机操作训练仿真模拟系统;文中对液体火箭发动机操作训练仿真模拟系统的必要性、可行性及系统组成的设想和功用等几个方面进行了阐述;文中还简要介绍了国外这方面的情况。

主题词: 液体推进剂火箭发动机, 操纵模拟器, 仿真技术, 训练设备

一、引 言

战略导弹是一次性使用的武器,实装实弹训练受到场地、天候和费用等条件的限制,给战略导弹部队的训练带来很大困难。因此,必须解决导弹部队训练的现代化问题。目前,在技术发达的国家,正在把仿真模拟训练作为80年代军队训练的基本手段之一。仿真模拟系统不仅具有军队对武器训练的功能,而且有对武器装备系统本身论证、设计、研制、试验和性能分析的多种功能。某单位研制的“战略导弹武器技术训练仿真模拟系统”,应用了计算机、微处理机和激光等先进技术,它可以进行战略导弹测试、发射操作的仿真模拟,可以进行导弹的动态仿真模拟及飞行过程仿真模拟等。液体火箭发动机技术操作训练仿真系统,是上述大系统工程中的一个子系统。下面仅就该子系统的必要性等几个问题加以论述。

二、火箭发动机仿真模拟系统的必要性

1. 导弹模拟器是导弹部队操作训练的重要设备

以美国“大力神”和“民兵”导弹发射训练为例,要求学员先在导弹模拟器上训练两周,共60小时,平均每个学员要进行20次“射前计时”发射模拟训练,然后才允许在实装上进行与真实发射计时操作只差最后几秒钟的“射前计时”训练。从我军导弹部队的历史来看,采用简易导弹模拟器材进行操作技术训练,大大地提高了部队的操作技术水平。可见,

在仿真模拟器上多练，在实装上精练，是导弹部队平时训练的主要方法。这是因为，导弹武器设备庞大、结构复杂、价格昂贵、协同性强、一次使用的特点决定的。

2. 操作训练安全可靠

由于导弹上的贮箱和气瓶是按一次使用设计的，其安全系数很小，多次操作使用有疲劳破坏等危险。一旦破坏爆炸，除了机械性破坏以外，产生冲击波的破坏作用相当严重，如某导弹二级一个贮箱的充气爆炸的能量，相当于2公斤TNT炸药的爆炸，其冲击波超压可使5米以内的人员内脏严重损伤或引起死亡，砖墙倒塌，8米以内的人员发生骨折、设备损坏、墙出现裂缝。大量的氮气外漏，可对人员造成窒息，若在发射井内发生爆炸，则损伤更是不堪设想。另外，电爆管、火药柱及推进剂的易燃、易爆、毒性和强腐蚀性、操作不慎都可能引起设备和人员的损伤。

研制的模拟器，本身不上天飞行，考虑多次使用，贮箱增加强度储备系数，电爆管采用不装药的办法等，因而安定可靠。另外，在仿真模拟器上反复多练，较好的掌握了操作技术和协同要领后，再到实装上精练，就可大大减少意外事故的发生。

3. 节约训练经费

导弹武器价格昂贵，仿真模拟设备的价格仅为实装的1/100，训练中所消耗的气、液费用仅为实装操作的1/16，如用水代替真介质加注，训练经费更是成百倍的减少。

4. 灵活方便且能单独进行本专业分队的训练

该模拟系统自成系统，可以单独进行发动机专业分队的操作训练，不需要其他专业分队的配合。使用灵活方便，可在室内进行训练，且能人为设置故障，便于培养分析排除故障的能力。

三、研制导弹发射操作训练模拟系统的可行性

研制这样一个大的操作模拟系统，面临的困难很多，技术很复杂，但通过努力是可以做到的。

1. 仿真模拟技术和设备日益发展、完善，为系统的研制提供了理论、技术和物质基础。

系统仿真模拟是建立在控制理论、计算技术、相似原理基础上的一门综合性新学科，随着微电子学和计算机技术的发展，数字计算机在性能/价格比上取得了优势，从而在仿真、模拟技术中得到广泛的应用。由于计算机，特别是微机及标准接口的应用，使模拟器的研制逐步走上系列化、标准化、组件化的道路，加速了研制进程，缩短了周期，降低了造价。如美国的COFT系列，法国的DX系列等都是系列化了的模拟器材。

2. 军事训练器材的研制，可借鉴国内外的先进经验

在国外，美国陆军高级仿真中心（Advanced Simulation Center简称ASC）。隶属于美国陆军导弹司令部，位于美国阿拉巴马州红石兵工厂（Redstone Arsenal）。它是目前西方国家中最高级、最完备、规模最大的一个战术导弹仿真实验室体系。

该中心始建于1971年，它由射频仿真系统；红外仿真系统；光电仿真系统；混合计算机群等四部分组成。其用途如下：

（1）通过室内的、用实物或人接入回路的仿真模拟试验，为导弹武器系统提供经济、有效的评定性能的方法。

(2) 为根据不完整的情报数据, 分析和研究国外导弹系统的性能和作战能力提供有效的分析工具。

(3) 为评定导弹系统的改进设计以及诊断武器系统发生故障的原因提供有效的试验设备。

(4) 通过仿真(模拟)的飞行试验增加试验数据的样本量, 以便对武器进行更深入的了解。

在国内, 各军兵种许多单位都有专门的军训器材研究机构。在军训模拟器材的研制方面积累了丰富的经验可供借鉴。

四、火箭发动机技术训练仿真模拟系统的组成和功用

战略导弹液体火箭发动机技术训练仿真模拟系统, 设想其组成有以下几部分(见图1)。

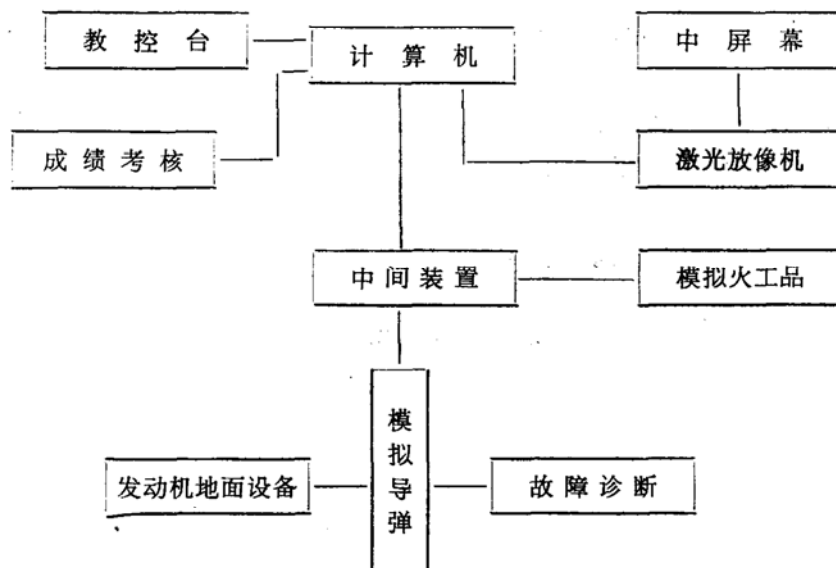


图1 液体火箭发动机技术训练仿真模拟系统

其功能简述如下:

1. 操作技能训练的仿真模拟

(1) 气密性检查

气密性检查在模拟导弹上进行。其工作原理是气源的气体由地面配气台, 经气体连接器送到模拟导弹上的贮箱和气瓶中, 而模拟导弹上的气压又经气体连接器返回地面配气台上进行测量, 并同时送往压力变送器, 再经中间变换装置送往微机进行处理, 即可显示、记录和送往指挥中心。

(2) 安全活门性能检查

安全活门工作压力检查也可在模拟弹体上进行。继气密性检查之后, 继续充气增压即可检查安全活门自动打开和关闭的压力。

(3) 模拟加注推进剂

因为推进剂具有毒性、腐蚀性,且易燃易爆,所以推进剂加注的训练不能轻易在实装上进行。但在实战时,这项工作非常重要,要求准确无误,十分可靠。即使是平时训练,以蒸馏水代替组元在实装上加注时,也需其它专业分队配合,实施起来十分麻烦,花费很大。故采用仿真模拟加注推进剂进行训练尤为必要。

模拟加注推进剂的工作原理是:由模拟加泄操纵台控制模拟导弹上的加泄活门和安全活门的启闭,并启动加注泵进行推进剂加注(用水代替组元)。加注量由安装在模拟贮箱上的加注液位指示器测量和加注信号箱显示,并可由装在贮箱底部的变送器将加注量送往微机进行处理后,即可显示、记录等。

(4) 火工品参数的测试

战略导弹上使用的电爆管等是易燃易爆品,对其内阻和绝缘电阻的测量,用模拟器代替实装进行测试操作非常安全。其参数值与测量设备、方法等都和实装操作完全一样,测量结果也可经中间装置变换后送往微机进行处理,自动显示、记录等。

(5) 故障设疑

对上述各种检查测试的操作,可进行人为设置故障,以培养测试操作人员实际分析排除故障的能力。

2. 教学演示、成绩考核和故障诊断

(1) 测试原理和操作动作示范

运用计算机作图、激光图象技术进行模拟操作的教学活动。利用教控制台进行人机对话,可显示发动机系统原理图及气路、液路流动路线,同时进行操作动作的示范演示。

(2) 成绩评定

将考核标准事先存入计算机中。再把实际操作结果送入计算机,计算机可以自动评定出成绩。

(3) 故障诊断

将过去训练发射中出现的各种故障现象、原因、处置方法,经过机理分析,筛选出典型故障诊断实例,汇集故障成因与征兆,然后建立诊断矩阵,输入计算机,建立故障的数据库。在操作训练中,可将设置或实际出现的故障现象输入计算机,便可自动诊断出故障原因、部位、处置方法等。

3. 进一步开发参数的监测和系统性能的仿真等

(1) 贮箱应力监测

将电阻应变片贴于模拟贮箱和气瓶上,用导线与应变仪相连,便可测出贮箱、气瓶的应力模拟量,经模/数转换,送往微机记录和显示应力大小。

(2) 发动机系统的增压特性的数字仿真

利用能量平衡原理,建立起能量平衡方程:

$$I_m W_m = I_{m-1} W_{m-1} + Q_m - \sum_{i=1}^n Q_{im}$$

其中 I 是系统内增压气体具有的焓值; W 为系统内增压气体具有的重量; Q 为从加热器流出气体具有的总热量; Q_i 为系统内各种能量损失; m 为计算时间段。

由此找出发动机的增压数学模型,编出仿真程序,利用本系统的计算机,即可求出系统内任意时刻增压气体的压力和温度等参数,并可得到系统的刚度、强度和泵入口汽蚀裕度的

实际值。

同时,利用该系统还可进行汽蚀管性能试验和发动机静态特性的数字仿真等。

四、结 束 语

综上所述,仿真模拟系统是解决“训练器材”的一种既经济、又见效快的好办法。仿真模拟训练是导弹部队进行技术训练的十分有效而方便的方法,对提高部队战斗力具有重要作用。

随着科学技术的发展,特别是全数字并行仿真计算机及激光、电子视听技术的发展,新一代的仿真模拟系统越来越向高度综合化、一体化、高效多功能、专家智能型方向发展。从而必将大大提高系统仿真的适时性和逼真度。

~~~~~

(上接第48页)

条件的处理、差分格式的选取、方程的离散化及方程的解法等都进行了分析讨论。计算结果表明在突扩台阶后附近区域存在二次涡,进一步证实了F. Pan和A. Acrivos的嵌套涡族理论,这与文献〔5、6〕的结论相吻合。本文取得了阶段性的研究进展,但对双方程紊流模型的引入,以及三维非对称流场计算等有关问题,有待今后进一步开展研究工作。

## 参 考 文 献

- 〔1〕 Salvatat, B., Analysis of Gas Flow in Three Dimensional Solid Propellant Grains, AIAA-84-1357, 1984.
- 〔2〕 张唯: 固体火箭发动与喷管喉部沉积过程的传热分析,《推进技术》, 1984年第3期。
- 〔3〕 才大颖、张唯、臧令千: 轴对称突扩直管流场计算,《推进技术》, 1987年第6期。
- 〔4〕 张唯等: 喷管结构因素对喉部沉积影响的实验研究,《船工学报》, 1983年第1期。
- 〔5〕 Finaish, F., Freymuth, P. and Bank, W.: Starting Flow Over Spoilers, Double Steps and Cavities, J. Fluid Mech., Vol. 168, 1986.
- 〔6〕 Ghaddar, N.K., Magen, M., Mikic, B.B. and Patera, A.T.: Numerical Investigation of Incompressible Flow in Grooved Channels, Part 2. Resonance and Oscillatory Heat-Transfer Enhancement, J. Fluid Mech., Vol. 168, 1986.
- 〔7〕 Patankar, S.V. 著, 张政译: 传热与流体流动的数值计算, 科学出版社, 1984.
- 〔8〕 Edited by Patankar, S.V.: Numerical Prediction of Flow, Heat Transfer, Turbulence and Combustion, Selected Works of Professor Spalding, D.B., 1983.

# **CALCULATION ON 2-D INTERNAL FLOW FIELD WITH SUDDEN SHRINK-AFTER-SUDDEN ENLARGEMENT**

Chen Gang Zhang Wei  
(Harbin Shipbuilding Engineering Institute)

## **Abstract**

In this paper the flow field after grains in solid rocket engine is simulated and a simplified calculation model is assumed. By means of SIMPLE algorithm, a calculation analysis to the 2-D internal flow field with sudden shrink-after-sudden enlargement is also presented. In the calculation analysis, grid dividing, control volume selecting, treatment method of complex boundary condition, difference scheme selecting, equation discretization and solution of equations, etc. are analysed. The vortex pair obtained after the sudden enlargement stage coincides with conclusion of Finaish, F. and Ghaddar, N.K., therefore Pan's and Acrivos's nested vortex group theory is further verified.

**Keywords:** Solid rocket engine, Jet nozzle, Two-Dimensional flow, Flow field, Computation

# **ANALOG SIMULATION SYSTEM FOR THE OPERATION AND TRAINING OF STRATEGIC MISSILE LIQUID PROPELLANT ROCKET ENGINES**

Zhang Yongjing  
(Second the Artillery Engineering Institute)

## **Abstract**

The paper is designed to provide an introduction to the analog simulation system for the operation and training of liquid propellant rocket engine of strategic missiles. Necessity, reliability, and composition of assumed system and its function of the analog simulating system for the operation and training of liquid propellant rocket engines is described in this paper. Some foreign information on this aspect is also in brief introduced.

**Keywords:** Liquid propellant rocket engine, Control simulator, Simulation technique, Training device