

导弹工程专业“水火箭”案例设计与思考

刘鲁华, 邹东升, 陈克俊

(国防科学技术大学 航天科学与工程学院, 湖南 长沙 410073)

[摘要] 水火箭相关技术与导弹工程专业技术具有紧密的技术关联性, 为提升导弹工程专业人才培养水平, 以水火箭为教学辅助工具, 研究了水火箭系统的专业技术需求, 结合需求和导弹工程专业课程, 提出了针对导弹工程专业的系统性课程案例, 这些案例的实施将为学生更好的掌握专业知识和技能创造条件, 通过水火箭的设计、制作与实验, 使之成为一种面向教学的能为教员很好利用的优秀教学工具。

[关键词] 专业; 导弹工程; 水火箭; 案例

[中图分类号] G642.0 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1672-8874(2014)03-0084-04

Design and Thinking of 'Water Rocket' Case for Missile Engineering Major

LIU Lu-hua, ZOU Dong-sheng, CHEN Ke-jun

(College of Aerospace Science and Engineering, National University of Defense Technology, Changsha 410073, China)

Abstract: There exists close technique relationship between water rocket and missile engineering specialty. In order to improve the teaching level of missile engineering specialty, taking the water rocket as a teaching aid, the technique requisites of water rocket are studied. With the requisites and the specialty techniques combined, the teaching cases are put forward. The implementing of the teaching cases can give students good opportunities for grasping knowledge and techniques, and water rocket is an easy and useful teaching aid for teachers.

Key words: specialty; missile engineering; water rocket; case

引言

为了满足导弹工程专业人才培养目标的要求, 有必要为学员提供综合实践能力培养和锻炼的条件和环境, 经过系统的调研^[1-6]和分析, 确定了基于“水火箭”(后文中将“水火箭”定义为专有名词, 不再加引号)开展本科生课程案例的教学研究。

一、“水火箭”与导弹工程专业

水火箭技术交叉融合了火箭技术与模型制作及

其应用技术, 具有很强的技术性和趣味性, 由于其应用前景广阔, 目前有关水火箭的研究和应用越来越多。在教学上, 通过对水火箭的设计和实验, 可以让学生直观了解导弹、运载火箭等飞行器从地面准备、发射、升空、分离、返回、着陆等过程, 有利于学生对火箭总体结构、布局、组成的了解, 使其更好的掌握飞行器总体技术、结构设计、空气动力学、飞行力学等方面的知识, 利用复杂水火箭还可以使学生进一步掌握飞行控制技术、导航技术和通讯技术等教学内容, 可以全方位的、有效的激发学员了解航天、热爱航天的激情, 有益于促进学生动手能力和创新能力的培养。

[收稿日期] 2014-03-21

[作者简介] 刘鲁华(1977-), 男, 陕西西安人, 国防科技大学航天科学与工程学院副教授, 博士, 主要研究方向飞行器动力学与控制, 高等教育研究。

水火箭在导弹工程专业人才培养中具有特殊意义。从导弹工程角度理解水火箭具有与真实火箭或者导弹在设计和生产中涉及到的主要结构部件,是对真实火箭的模型化,其飞行试验可以模拟真实火箭发射的全过程。当学员通过课堂学习或者自学相关基本理论、知识、方法和技能后,可以通过实践活动将理论应用到实践中去,使学员更加直观的对火箭的设计、分析、试验等相关技术进行了解,更能够培养学员的创新思维和动手能力。水火箭本身还具有成本低、制作容易、发射安全等特点,这些特点使水火箭成为导弹工程专业人才培养中不可多得优秀实验教学工具,目前水火箭在国内已经得到了迅速的推广和应用,部分大学已将水火箭引入到实践教学^[7]上,取得了良好的教学效果。

二、水火箭系统的专业技术需求

将水火箭作为导弹工程专业的实验教学工具是因为其所涉及的专业技术与导弹工程专业设置的专业课程有着非常密切的联系。

(一) 水火箭系统构成

水火箭是一个复杂的系统。典型的具有可回收性能的水火箭系统主要由箭头、箭体、尾翼、喷嘴、分离器、回收系统及发射架组成,如图1实线框所示。所有的水火箭都包括箭头、箭体、尾翼及喷嘴几部分,这些部分的组合体构成了最简单的水火箭本体系统,也可以称之为标准型水火箭。如果在箭体内装上水或者类似工质则可以实现水火箭的发射。对于多级水火箭还需要增加级间分离器,确保级间可以顺利的在空中实现有效分离,尽可能的减小分离产生的扰动。对于需要回收的水火箭则需要增加回收系统。为了能够较好的实现发射,需要有专门的发射器,这样可以确保将水火箭安全的以给定姿态角发射出去。由于发射架和增压系统从原理上来说都比较简单,功能上与水火箭本体系统又相对独立,所以导弹工程专业更加关心火箭本体相关构成,而对这两部分不做更多的设计。

在标准型水火箭技术基础上进一步进行拓展,还可以在箭头内部增加有效载荷;在箭体部分设计压力、温度、姿态等传感装置;将尾翼改成尾舵,

增加伺服系统,以控制水火箭的弹道,使弹道可以转弯;增加喷射机构,对喷嘴进行优化设计,以提高水的喷射效率。这些新的设计因素需要增加相应的部件与机构,如图1虚线框所示,这种经过升级的水火箭组成非常复杂,除了增加了分系统设计的难度,由于重量的增加、形状的不同、质量分布的改变,会给水火箭的控制带来很大的难度。

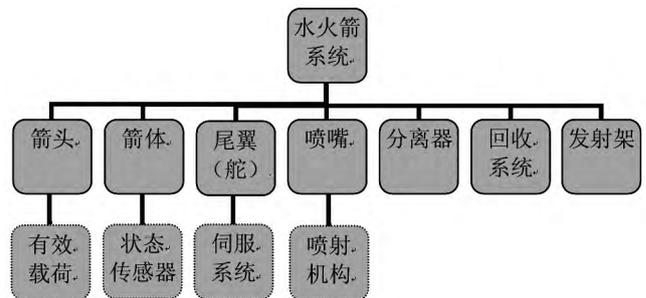


图1 “水火箭”系统构成

(二) 水火箭系统设计需求

标准型水火箭系统设计的重点在于总体方案的确定、总体参数的选择、结构设计和动力系统设计,在总体技术上则需要对水火箭的重心、压心及火箭的稳定性等进行设计与分析,结构上重点需要对箭头系统、箭体系统和尾翼系统进行独立设计和综合。

对于箭头系统而言,由于水火箭中头锥迎接来流,是产生阻力的主要部分,而对于水火箭系统而言,气动力是主要影响火箭飞行的因素,作为水火箭垂直飞行时产生气动力的主要结构,头锥的设计很大程度上决定了水火箭的气动受力环境。

水火箭箭体系统是水火箭本体的主体构成,它向上连接水火箭的箭头部分,向下连接水火箭的尾翼部分,其功能主要是用于储存水和高压气体,是水火箭的动力储藏装置。由于水的密度比较大,使得水火箭的大部分质量都集中在箭体部分,实验数据表明装好水的水火箭90%以上的质量都集中在箭体部分,另外高压气体的存在使得水火箭的箭体部分应该能够具有较强的抗压能力。综合而言要求箭体能够有足够的支撑能力、承压能力以及储存容量,这些都需要利用到力学方面的知识开展研究。

尾翼系统是水火箭又一个非常重要的分系统,它用来引导来流、稳定水火箭弹体姿态,对于水火箭而言,尾翼的存在能够保证水火箭拥有比较好的气动外形,在飞行时能够减小来流所带来的气动扰

流影响。当采用可控尾翼(舵)时,尾舵还可以产生控制力改变水火箭的姿态,以满足预期的飞行弹道,所以在尾翼的选择与设计上重点需要关心其气动性能和控制性能,涉及气动设计和控制系统设计方面的专业理论。

当给定水火箭具体任务后,可以提出并量化有关的总体技术指标,在这些指标要求下从总体设计角度对水火箭进行分系统的设计和总体参数的优化。由于构成水火箭的每一部分都需要运用学科专业知识进行独立设计,并根据任务需求进行总体设计,故基本的水火箭的设计中会涉及到火箭总体技术、气动计算与分析技术、推力计算技术、飞行力学与飞行器仿真技术等。

进一步地,当设计性能更完善的水火箭系统时,则需要涉及到有关信号检测、无线电通讯、飞行器导航、飞行器控制等相关专业方向的理论知识,甚至包括飞行器结构设计、机械设计及航电系统设计等其它领域的理论知识。对于导弹工程专业来说,特别强调有关导弹总体设计及其与导弹设计相关的主要分系统的专业理论学习和应用。

三、专业课程中的案例设计与思考

导弹工程专业课程分为公共基础课、学科基础课和专业课程三大类,其中学科基础课程中包含数学力学系列、电子信息与控制系列及航空宇航系列课程。由于水火箭的设计本身是一个专业性很强的问题,重点在于锻炼学员对知识运用的能力,培养学生动手能力和创新能力,所以案例设计主要覆盖航空宇航系列的学科基础课程及专业课程,实际的课程主要有航空宇航系列的三门主干课及所有专业课程。在案例的选择上则需要根据学生课程学习的基础采用逐级递进的方式增设,在低年级可进行有关基础理论的学习和应用,以水火箭为对象开展物理参数的计算与分析、分系统的设计与仿真等内容学习,高年级则重点开展包括水火箭总体设计与优化、水火箭控制系统设计、水火箭测试与试验技术等相关专业知识的学习和实践。

(一) 面向学科基础课的案例设计

学科基础课中包括了三部分内容,其中数学、力学基础系列课程对航空航天器等的设计都具有非常直接的作用,包括理论力学、材料力学和空气动力学。可以以水火箭的案例设计对象,在授课或者实验中增加相关的教学案例,包括水火箭的质心计算、转动惯量计算、压心计算、结构强度计算等等。当学员在低年级时完成了这些案例设计后,在高年级学习中将大大提高相关课程案例设计和实验的学习效率。

以质心计算为例,在介绍质心定义的基础上,以水火箭为对象可采用不同的方法进行质心参数计算,如采用几何分割法、积分法分别进行质心参数的计算。也可以采用专用的商用软件,如Solidworks建立一个与水火箭模型,然后利用软件计算多级水火箭的质心,这样不但可以直观的看到所设计的火箭外形,而且可以利用软件对个人编程设计或者试验测量获得的结果进行比对。除此之外,甚至还可以通过试验法进行质心参数的测定。同样,在空气动力学课程中可以增加有关压心计算的案例,对于处于运动气流中的水火箭,其所受空气压力的大小与其迎风面积成一定比例,以此为出发点,在经过大量严格的理论计算和实验验证,以及一定程度的简化处理后,可以得到找出水火箭侧向压力中心位置的方法。同样也可以通过专用软件进行实验比对,或者通过对经验公式的拟合等方法进行计算,当然也可以设计更为复杂的案例,如考虑火箭尾翼的厚度,头锥的形状等。

具备了力学基础课知识后,可以进入航空宇航系列课程的学习。在空天飞行力学课程中,可以利用弹道学理论对水火箭进行建模,在特定坐标系下,分别对推力、气动力、重力、甚至于控制力进行建模,再利用仿真软件(如Matlab)进行水火箭的弹道仿真,这种仿真可通过实验进行验证。案例的设计不但可以掌握飞行力学中运载火箭主动段动力学理论,更重要的是锻炼了学生利用专业软件综合设计的能力和动手实践的能力。为了更好的考核学生对飞行器控制技术的掌握和运用,在飞行器导航制导控制课程中,需要专门学习飞行器导航原理、控制系统设计原理等。该课程中可分别设置有关导航、控制系统及综合系统教学案例。导航中重

点突出惯性导航器件的原理及应用, 将惯性导航器件安装在飞行器上进行信号测量, 控制系统中则需要进行控制器设计并利用硬件进行实现, 通过这一

系列的设计与动手实验使学生可以深刻的体验到理论上升到实践的乐趣。有关专业基础课的可用案例如表 1 所示。

表 1 专业基础课可用案例

课程名称	案例			
理论力学	质心计算	转动惯量计算		
空气动力学	压心计算	气动参数计算		
飞行力学	推力参数计算	飞行动力学建模	弹道设计与弹道仿真	飞行试验
飞行器导航制导控制	惯性导航实验	控制系统设计	控制系统综合设计	飞行试验

(二) 面向专业课程的案例设计

专业课程主要包括飞行器测试技术和导弹总体设计, 另外还包括飞行器结构设计、飞行器气动设计及飞行器控制系统设计综合课程等。这些课程建立在专业基础课之上, 具有较强的综合知识体系, 更加注重知识的运用和综合, 在这些课程中水火箭能够成为非常优秀的教学实验载体。首先可以开展水火箭的总体设计研究; 其它可分别从结构设计、气动设计及控制系统设计等方面进行分系统独立设计; 在前述基础上可以进行简单优化设计或者多学科优化设计, 甚至于将水火箭技术与应用结合起来, 进行搭载实验及其与之相关的水火箭综合测试技术。

以导弹总体设计课程为例, 以水火箭为教学实验载体可以进行包括总体方案选择与总体参数确定两个方面的设计。总体方案选择可以利用经验选择, 也可以进行仿真优化, 包括水火箭的级数、材料、

外形等; 而参数的选择可以进行局部的优化, 如装水量参数的选择等, 也可进行多学科优化, 即在给定任务目标下, 实现不同子系统参数的优化协调, 如可综合优化选择装水量参数、压强参数、发动机喷口参数、飞行程序角参数等, 使水火箭射程最大等。在飞行器测试技术课程上则可以以高级水火箭系统为教学工具, 案例的实现主要包括以下过程: 在设计好水火箭系统硬件部分后, 发射前需要对所有的设备进行测试, 可以单独进行信号检测技术、信号通讯技术的案例设计, 在此基础上进测试技术的综合应用。要设计性能更好的水火箭系统, 还需要专门对结构和气动进行设计和优化, 这涉及到结构力学和飞行器气动设计两门选修课程。有关专业课的可用案例如表 2 所示。

表 2 专业课可用案例

课程名称	案例设计		
飞行器测试技术 (必)	信号检测	信号通讯	测试技术综合
导弹总体设计 (必)	总体方案选择	总体参数确定	多学科优化
结构力学 (选)	结构设计	结构优化	
飞行器气动设计 (选)	气动设计	气动参数优化	

[参考文献]

[1] Barrio - Perotti, R., Blanco - Marigorta, E., Arguelles - Diaz, K., Fernandez - Oro, J. Experimental evaluation of the drag coefficient of water rockets by a simple free - fall test [J], European Journal of Physics, 2009, 30(5): 1039 - 1048.

[2] Barrio - Perotti, R., Blanco - Marigorta, E., Fernández - Francos, J., Galdo - Vega, M. Theoretical and experimental analysis of the physics of water rockets [J], European Journal of Physics, 2010, 31(5): 1131 - 1147.

[3] 国防科学技术大学导弹工程专业介绍 [EB/OL], www/nudt.edu.cn./s1/static/ddgc.html.

[4] Joseph M. Prusa. Hydrodynamics of a Water Rocket [J]. SIAM Review, 2000, 42(4): 719 - 726.

[5] F. Mitlitsky, A. H. Weisberg, P. H. CatYet - , M. D. Dittman, B. Myers, R. W. Humble, J. T. Kare. Water Rocket - Electrolysis Propulsion and Fuel Cell Power [C], 1999, AIAA.

[6] G. A. Finney. Analysis of a water - propelled rocket: A problem in honors physics [J]. American Journal of Physics, 2000, 68(3): 223 - 229.

[7] Sanjay Jayaram, etc. Project - based introduction to aerospace engineering course: A model rocket [J], Acta Astronautica, 2010, 66(9 - 10): 1525 - 1533.

(责任编辑: 陈 勇)