

航空航天技术与力学*

陈士橹

(西北工业大学, 西安 710072)

[摘要] 文章论述了航空航天技术发展与力学学科发展的依存关系, 讨论了力学学科间的交叉及交叉学科的产生, 重点介绍了飞行力学与空气动力学、结构力学、一般力学、自动控制等学科间的关系, 进而讨论了飞行力学的分支——弹性飞行器动力学。

[关键词] 空气动力学; 结构力学; 一般力学; 自动控制; 飞行力学; 弹性飞行器动力学

[中图分类号] V21; O3 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1009-1742(2003)03-0025-02

航空航天技术的发展与力学学科的发展有着举足轻重的关系。同样, 力学学科的发展也推动了航空航天技术的发展。

飞行器的总体设计依靠许多学科的支持: 空气动力学计算归属空气动力学; 结构设计及强度计算归属结构力学; 飞行器的控制分析归属自动控制; 飞行性能和飞行品质计算归属飞行力学。其中飞行力学是一个较新的学科, 它实际上是从空气动力学、自动控制、结构力学和一般力学派生出来的, 如图1所示。图1中I代表飞行力学, II代表自动控制, III代表空气动力学, IV代表一般力学, V代表结构力学。这几个学科彼此相通, 各学科下列的1, 2, 3……表示它们与飞行力学相关的内容。

学科是发展的, 先讲一下学科的交叉。随着科学的发展, 许多学科势必交叉, 你中有我, 我中有你。讨论一个问题, 应提倡知识面宽一点, 不要局限于一个窄的专业, 还要看一看相关学科。比如搞飞行力学就一定要懂得自动控制、结构力学、空气动力学和一般力学。作为博士论文, 不能只讲宽度, 还必须讲深度。但作为一个博士生, 要多学一些相关学科, 否则思路太窄, 讨论问题就讲不清楚, 也就是常说的谈问题找不到共同语言。我们讨

论问题, 你应该懂得一点他的, 他也懂得一点你的, 这样讨论就比较容易找到问题的症结。

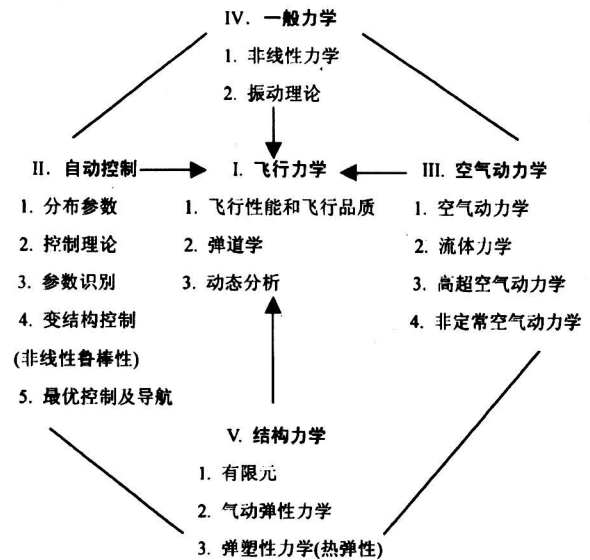


图1 力学学科间的关系

Fig.1 Relations among branches of mechanics

一个大对象出了毛病, 到底问题在哪里呢? 总设计师应该先走一步, 总设计师必须清楚各行各业的基础, 但不能全靠他一个人。一个大对象出问

[收稿日期] 2002-12-04; **修回日期** 2002-12-10

[作者简介] 陈士橹 (1920-), 男, 浙江东阳市人, 中国工程院院士, 西北工业大学教授, 博士生导师

* 本文系陈士橹院士2002年10月21日在南京航空航天大学成立50周年庆祝大会上的学术报告之一

题必须靠大家参与研究,应该是各行各业各专业都要考虑,不仅要搞清自己这里有什么毛病,还要研究别人的问题。一个型号出了问题不一定是哪一个学科出了大毛病。例如:1986年美国“挑战者号”航天飞机发射后在空中爆炸,7名宇航员被烧死。问题出在哪里?出在发动机焊接的地方可靠性不够,导致火箭发动机漏油、燃料外泄造成的事故。再举一个例子,1992年我国在西昌发射卫星,火箭发射后头栽地。问题出在哪里?出在陀螺平台的一个电路板的某一点虚焊,线路不通,造成的后果是陀螺平台惯性基准出问题,歪了,不能保持垂直上升。这说明不仅要有各行各业支持,还要保证工艺质量的可靠性,焊接虚焊本身不算什么大毛病,但却造成严重后果。

我一时在短时间内恐怕讲不清一个学科创新在哪里,但初步有一个想法,学科势必要发展,势必要产生很多交叉学科,这也就是学科的创新。比如飞行力学,按当前学科发展,就有以下学科分支:弹性飞行器飞行动力学,大迎角非线性飞行动力学,航天动力学(包括卫星)等。总的来讲各个分支中许多问题大多数具有非线性共性。

现在来说弹性飞行器飞行动力学。早先叫飞机气动弹性,主要是空气动力与结构弹性之间的耦合现象。航天火箭运载系列只考虑气动弹性是不够的。又有一个名字叫伺服气动弹性,意思是只考虑空气动力、弹性结构之间的耦合是不够的。还有一个问题是运载火箭或小一点的导弹的控制系统的工作,控制系统中有敏感元件感受弹性振动引起的角度及角速度信号,并反馈给控制系统,即弹性体(弹性飞行器)、空气动力、控制系统三者必须同时考虑它们之间的耦合振动关系。这样一来,只考虑气动弹性力学就不够了,还必需考虑伺服气动弹性动力学。

总体设计联系总体、结构、控制系统、弹性飞行器的稳定性及操纵性,还有一个动态过程,这也是力学工作者的工作。要研究这个问题就要解决空气动力学问题。过去一般简单地将其看作定常运动。实际上火箭的速度变化很快,空气动力学当作定常看是有问题的,于是光考虑定常空气动力学又不够了,势必要考虑非定常问题,遂产生了新的学科——非定常空气动力学。定常时飞行动力的气动

系数、空气动力学系数是固定的,而到了非定常运动,运动方程如何建立?数学模型怎么办?作为力学工作者,解决一个问题首先要建立数学模型。对于运载系列火箭,在非定常下运动方程是什么样子?早期的飞行力学考虑定常运动,空气动力学系数是常数。现在是非定常运动,空气动力学系数随时间在变,气动力系数不是常数,这样在非定常下运动方程就得到非定常运动微分方程,或者严格地讲叫微分积分运动方程。

作为例子,现只考虑某个垂直平面的运动,暂不考虑其他,纵向运动平衡方程是一个垂直面上的方程。空气动力除迎角外,还要考虑弹性的自由度。一般地讲弹性模量有好几个叠加。

考虑 n 阶弹性模态的纵向运动方程可表示成如下形式的微分积分方程:

$$\begin{aligned} \dot{W}(t) - U_0 q(t) &= \int_0^t H_Z^W(t-\tau) \dot{W}(\tau) d\tau + \\ &\int_0^t H_Z^q(t-\tau) \dot{q}(\tau) d\tau + \sum_{i=1}^n \int_0^t H_Z^{\eta_i}(t-\tau) \dot{\eta}_i(\tau) d\tau + \\ &\sum_{i=1}^n \int_0^t H_Z^{\ddot{\eta}_i}(t-\tau) \ddot{\eta}_i(\tau) d\tau + \int_0^t H_Z^\delta(t-\tau) \delta(\tau) d\tau, \\ \dot{q}(t) &= \int_0^t H_M^W(t-\tau) \dot{W}(\tau) d\tau + \\ &\int_0^t H_M^q(t-\tau) \dot{q}(\tau) d\tau + \sum_{i=1}^n \int_0^t H_M^{\eta_i}(t-\tau) \dot{\eta}_i(\tau) d\tau + \\ &\sum_{i=1}^n \int_0^t H_M^{\ddot{\eta}_i}(t-\tau) \ddot{\eta}_i(\tau) d\tau + \int_0^t H_M^\delta(t-\tau) \delta(\tau) d\tau, \\ \ddot{\eta}_i(t) + 2\xi_i \omega_i \dot{\eta}_i(t) + \omega_i^2 \eta_i(t) &= \\ &\int_0^t H_{F_i}^W(t-\tau) \dot{W}(\tau) d\tau + \int_0^t H_{F_i}^q(t-\tau) \dot{q}(\tau) d\tau + \\ &\sum_{i=1}^n \int_0^t H_{F_i}^{\eta_i}(t-\tau) \dot{\eta}_i(\tau) d\tau + \\ &\sum_{i=1}^n \int_0^t H_{F_i}^{\ddot{\eta}_i}(t-\tau) \ddot{\eta}_i(\tau) d\tau + \int_0^t H_{F_i}^\delta(t-\tau) \delta(\tau) d\tau. \end{aligned}$$

式中 W 为冲击速度, $W = U \sin \alpha$; q 为俯仰角速度; $H(t)$ 为相应于单位阶跃迎角、俯仰角速度、弹性自由度广义坐标的非定常气动力或力矩的指示函数,例如 $H_Z^{\eta_i}(t)$ ——单位阶跃 η_i 增量的非定常气动力。

(下转第 89 页)

- investigate condition changes induced by excavation around a chamber [A]. *Rock-bursts and Seismicity in Mines* [C], Young (ed), Rotterdam, 1993. 383~385
- [19] 祝方才. 不同应力路径下相似材料模型破坏的试验研究 [J]. *中南工业大学学报*, 2002, 33(增刊1): 8~11
- [20] 许东俊, 章光, 李廷芥, 等. 岩爆应力状态研究 [J]. *岩石力学与工程学报*, 2000, 19(2): 169~172
- [21] Wang W X, Pan C L, Feng T. Fountain rock-burst and inductive rock-burst [J]. *Journal of Central South University of Technology*, 2000, 7(3): 130~132
- [22] 唐绍辉. 声发射技术在采场冒顶监测中的应用 [D]. 长沙: 中南工业大学, 1998
- [23] Okubo S, Nishimatsu Y. Computer modeling of stochastic rock failure during uniaxial loading [J]. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Science & Geomechanics Abstract*, 1986, 23(5): 363~370
- [24] 唐春安, 赵文. 岩石破裂全过程分析软件系统 RFPA-(2D) [J]. *岩石力学与工程学报*, 1997, 16(5): 507~508
- [25] Zou D H, Hamish D S M. A proposed mechanism of rock failure and rock bursting [A]. *Proceedings of Sixth International Congress on Rock Mechanics* [C]. Rotterdam, 1987: 1357~1362
- [26] 周辉, 谭运亮, 冯夏庭, 等. 岩体破坏演化的物理细胞自动机(PCA II): 模拟验证 [J]. *岩石力学与工程学报*, 2002, 21(6): 782~786
- [27] 尹祥础. 地震预测新途径的探索 [J]. *中国地震*, 1987, 2(1): 1~7
- [28] 王裕仓, 尹祥础, 彭克银, 等. 加卸载响应比的数值模拟 [J]. *地球物理学报*, 1999, 42(5): 669~676

Mechanical Models of Rock Burst and Its Physical & Numerical Modeling Study

Zhu Fangcai¹, Song Jinqun²

(1. *Engineering Geology Institute, Zhuzhou Institute of Technology, Zhuzhou, Hunan 412008, China*;

2. *Industrial Dynamite Institute, Beijing General Institute of Mining and Metallurgy, Beijing 100044, China*)

[Abstract] Concerning with status of rock burst study, some comments on rock bursting mechanical models, laboratory experiments and numerical analysis are made. Some research fields related to rock bursting are reviewed. Finally, some views on rock bursting research are put forward.

[Key words] rock burst; mechanical model; numerical simulation; damage; creep

(cont. from p.26)

Development of Aeronautics and Astronautics With Mechanics

Chen Shilu

(*Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710072, China*)

[Abstract] This paper discusses the development of aeronautics and astronautics with mechanics, reveals the development of new branches of interconnected sciences in mechanics, describes the relations of flight mechanics with aerodynamics, structure mechanics, general mechanics and automatic control, and introduces the new branch of flight mechanics—flight dynamics of elastic vehicle.

[Key words] aerodynamics; structure mechanics; general mechanics; automatic control; flight mechanics; flight dynamics of elastic vehicles.