

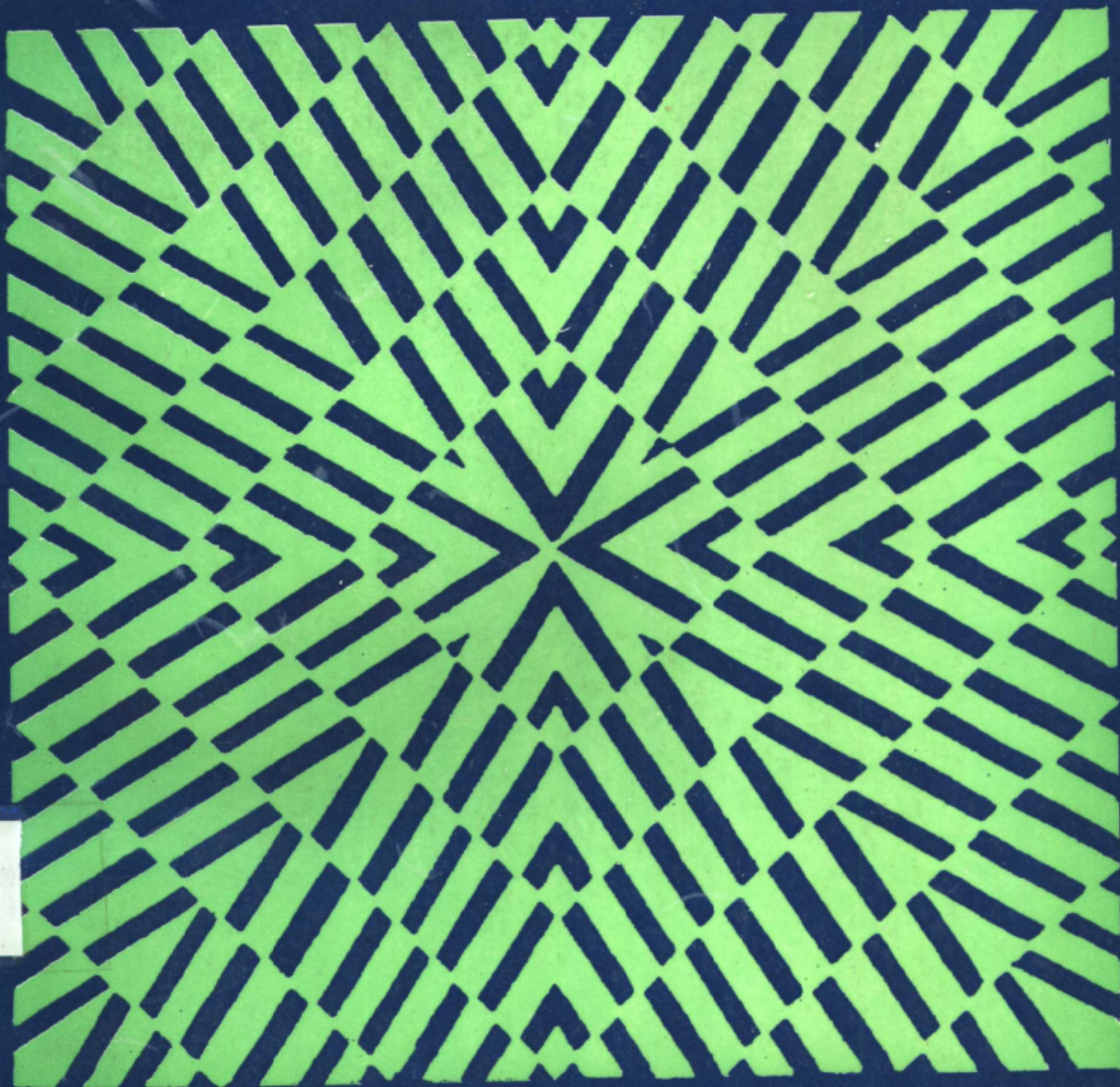


普通高等教育航天类规划教材

载人航天器 仪表显示与监测系统

中国航天工业总公司人事劳动教育部组织编写

黄俊钦 编著



普通高等教育航天类规划教材

载 人 航 天 器 仪表显示与监测系统

中国航天工业总公司人事劳动教育部组织编写

黄俊钦 编著

宇航出版社

(京)新登字 181 号

内 容 简 介

载人航天仪表显示与监测系统涉及的专业范围很广,本书对过去使用的仪表选择有代表性的典型给予介绍,对现代正在应用的有代表性的先进技术进行较详细的讲述,最后对未来的最先进的微型集成传感器及其可能的应用作了介绍。全书分为 8 章,第一章载人航天器是监测的对象,第二章空间飞行器中应用的传感器,第三章空间飞行器多传感器监测系统,第四章空间飞行器导航系统,以上 4 章是专业基础,第五章典型载人飞船仪表显示与监测系统,第六章航天飞机仪表显示与监测系统,这两章是本书的专业重点,第七章先进综合电子显示仪表在载人航天器中的应用,第八章智能仪表与监测系统,这两章是介绍 90 年代以后的先进技术在载人空间飞行器中的应用。

本书读者对象是航天与航空自动控制系与测试专业及相近专业的学生和研究生,以及从事这方面工作的科学技术工作者和工程技术人员与有关部队的人员。

普通高等教育航天类规划教材

载人航天仪表显示与监测系统

中国航天工业总公司人事劳动教育部组织编写

编 著 者:黄俊钦

责任编辑:卫 迁

*

宇航出版社出版发行

北京和平里滨河路 1 号(100013)

发行部地址:北京阜成路 8 号(100830)

各地新华书店经销

北京市燕文印刷厂印刷

*

开本:787×1092 1/16 印张:17 字数:424 千字

1994 年 12 月第 1 版第 1 次印刷 印数:1~1000 册

ISBN 7-80034-773-7/V·183 定价:9.60 元

航天专业本科系列教材

编 委 会

主 任 白拜尔
副 主 任 李志黎 杜善义
委 员 张乃通(常务) 陈达明(常务)
(以下按姓氏笔划为序)

于 翹 王文超 王本华 王希季
李成忠 李世培 刘国雄 邹德兴
郑济民 姜明河 栾儒生

编辑部成员 (按姓氏笔划为序)

丁晓桦 李定建 肖业伦 邹振祝
闵汉群 赵长安 修志伟 贾世楼
曹 英 谢蔚民 董少英 蔡增寿

出版说明

按照国家教委关于高等学校教材工作分工原则,中国航天工业总公司负责组织全国高等学校航天类专业教材的规划、编审和出版。根据航天教育发展规划,为适应航天事业发展的需要和满足航天院校本科教学的要求,在航天工业总公司教材编审委员会的主持下,成立了航天专业本科系列教材编辑委员会,负责组织编审、出版“八五”期间航天专业本科系列教材。这套书分成航天器、导弹、飞行力学、发动机、控制与制导、空间电子学六类。适应的专业范围为:飞行器系统工程、飞行器总体设计、飞行器结构与强度、飞行器动力工程、飞行器制造工程、飞行器控制与制导、飞行器发射技术与装置、飞行器环境与模拟工程、飞行力学、宇航光电工程、空间工程和卫星与卫星应用等。

编委会为这套教材制订的出版原则是:

1. 教材应保证思想性、科学性、先进性和启发性,注意理论联系实际。内容的深度与广度应有利于培养学生的自学能力,创造能力及解决实际问题的能力。

2. 由于部、院、所技术专家长期从事航天科研工作,学校教师长期从事教学,他们各自都积累了丰富的经验。为使这套航天本科系列教材既有一定的理论水平,又能很好地联系实际,因此,要求教材的编审必须具有下列形式中的一种:

- 1) 技术专家主编,学校教师参编;
- 2) 学校教师主编,技术专家参编;
- 3) 技术专家独立编写,主审者中有一名是学校教师,从教学要求把关;
- 4) 学校教师独立编写,其编写大纲须由编委会聘请有关技术专家审阅。

无论以上哪一种编写方式,均由编委会聘请部、院、所有关技术专家主审。

3. 这套教材除作为航天航空高等院校本科教材外,也可作为相应专业研究生参考书和航天领域工程技术人员继续教育的教学参考书以及有关科技人员的参考书。

限于水平和经验,这套教材的编审出版工作肯定有不少缺点和不足之处,欢迎使用教材的单位、广大教师、同学和有关技术人员提出宝贵意见,以进一步提高航天类专业本科教材的质量。

中国航天工业总公司人事劳动教育部

1994年3月

前 言

1961年4月12日,苏联航天员加加林乘坐“东方”1号飞船,绕地球飞行108分钟并安全返回地面,开创了载人航天的新时代。此后,不少国家先后发射了许多载人航天器,包括卫星式飞船与登月飞船、航天站(空间站)和航天飞机。航天飞机既是航天器,又是可重复使用的航天运载器。所有载人航天器都必须有监测系统与仪表显示。

载人航天器的飞行状态和所在位置坐标,各分系统的工作情况,包括航天员座舱的环境参数,以及航天员和地面指挥中心的联络等,几乎全部信息都必须通过航天员的视觉和听觉,从配置完善的监测系统和仪表显示获得,因此常将其比喻为航天员的“五官”和“大脑”。

仪表显示的信息主要来自传感器、监测系统和导航系统。载人航天器仪表与监测系统的书籍,国内外很少见。北京航空航天大学(原北京航空学院)已和兄弟院校编写过不少航空仪表和航空测试系统方面的教材。但缺少载人航天器仪表与监控系统的教材。本书就是在这种情况下编写的。

本书的读者对象是自动控制系仪表与测试专业和其它相近专业学生、宇航(航天)院校有关专业的学生,以及从事这方面工作的科学技术人员和工程师。

本书第一章载人航天器是作为监测对象,对其主要的分系统作一简单介绍。已具备这些知识的读者可不必阅读。第二章、第三章、第四章是作为学习第五、六章的基础,着重介绍仪表显示的信号来源,是本书的基础篇。第五章和第六章具体介绍几种典型飞船(包括空间站或航天站)和航天飞机的仪表显示与监测系统。第七章、第八章是仪表与监测系统的发展方向。主要介绍代表90年代初先进技术水平综合电子显示仪和人工智能技术(智能测试系统和智能仪表)在载人空间飞行器中的应用,并着重介绍我国在这方面所做的研究工作,提供读者参考。

本书承蒙中国科学院院士杨家骅教授在百忙中认真审核,提出很有价值的意见,责任编辑刘惠彬教授在审阅中提出了宝贵的意见,特此表示衷心感谢!本书在编写过程中,得到王小东、方晶、孙滨生、邵久豪、沈力平、郑传先、朱定国、许国桢、申功勳、张惟叙等同志的帮助,一并在致致谢!

本书所涉及的范围很广,由于篇幅及本人水平的限制,加之时间仓促,定有错误和不妥之处,恳请读者批评指正。

黄俊钦

1993年3月30日

于北京航空航天大学

目 录

绪 论	(1)	五、现代空间站的热控制系统	(33)
第一章 载人航天器	(6)	第八节 环境控制和生命保障系统	(34)
第一节 概述	(6)	一、功用与组成	(34)
一、载人航天	(6)	二、典型环境控制和生命保障系统	(34)
二、载人航天的进程	(6)	第九节 电源分系统	(37)
三、载人航天器	(7)	一、电源系统之“源”	(37)
第二节、运载火箭	(7)	二、太阳电池	(37)
一、运载火箭	(7)	三、太阳电池阵电源系统	(38)
二、推力向量控制	(10)	第十节 航天器返回技术与回收分系统	(39)
三、长征四号运载火箭的典型轨道和入轨精度	(11)	一、航天器的返回技术	(39)
第三节 制导、导航和控制分系统	(12)	二、回收分系统	(40)
一、系统功能要求	(12)	第十一节 航天救生	(41)
二、系统组成方案	(13)	一、主动飞行段救生	(41)
三、现代空间站 GNC 系统方案组成举例	(14)	二、轨道运行段救生	(42)
四、交会与对接	(15)	三、返回着陆段救生	(43)
第四节 空间站通信与测控大系统	(16)	四、地面防护与营救	(43)
一、引言	(16)	参考文献	(43)
二、空间站内部通信分系统	(16)	第二章 空间飞行器中应用的传感器	(44)
三、空间站外部通信分系统	(17)	第一节 概述	(44)
四、通信与航天测控系统	(18)	第二节 空间飞行器姿态传感器	(44)
第五节 数据管理分系统	(23)	一、惯性传感器	(45)
一、数据管理系统的物理结构	(23)	二、星传感器	(45)
二、数据管理系统的概念结构	(23)	三、地球传感器	(45)
三、数据管理系统的功能	(24)	四、太阳传感器	(45)
第六节 载人航天器推进分系统	(25)	第三节 加速度传感器	(47)
一、推进分系统的任务与要求	(25)	一、液浮加速度计	(47)
二、“双子星座号”飞船推进系统	(26)	二、挠性加速度计	(47)
三、推进分系统组成	(27)	三、微型集成加速度计	(48)
四、推进分系统推力器的布置图	(27)	第四节 陀螺传感器	(49)
第七节 热控制分系统	(28)	一、液浮陀螺	(49)
一、功用	(28)	二、挠性陀螺	(50)
二、载人舱热控制系统的典型组成	(29)	三、激光陀螺仪	(51)
三、空间用换热器及其特点	(30)	四、光纤陀螺	(53)
四、空间站的舱外热辐射器	(32)	五、半球谐振陀螺	(54)
		六、压电谐振陀螺	(55)

第五节 压力传感器	(58)	三、陀螺磁罗盘	(88)
一、压力仪表与传感器的功用	(58)	四、航向系统	(88)
二、早期的压力仪表与传感器	(58)	五、无线电罗盘	(89)
三、无传动放大机构的压力传感器	(58)	六、航道罗盘	(90)
四、固态压力传感器	(59)	第三节 飞行姿态航向基准系统及其指示器	(91)
五、集成与阵列压力传感器	(59)	一、陀螺地平仪与陀螺地平传感器	(91)
六、谐振压力传感器	(60)	二、红外地平仪	(92)
第六节 温度传感器与温度场的红外测量	(61)	三、姿态指引指示器	(93)
一、功用	(61)	四、姿态航向基准系统	(93)
二、PN 结温度传感器	(62)	五、全姿态指示器	(94)
三、热电偶温度传感器	(62)	六、航天飞机与飞船上用的全姿态指引指示器	(95)
四、电阻式温度传感器	(63)	第四节 大气数据系统	(96)
五、表面温度传感器	(64)	一、空速管	(96)
六、高温光纤传感器	(64)	二、总温传感器	(97)
七、温度场的红外测量	(65)	三、大气数据系统的计算公式	(98)
第七节 液体流量传感器	(65)	四、高度表与高度传感器	(100)
一、体积流量传感器	(65)	五、组合空速表和马赫数表	(102)
二、质量流量计	(66)	六、迎角表与迎角传感器	(103)
第八节 气体质量流量传感器	(67)	七、大气数据系统	(104)
一、要求	(67)	第五节 注意/告警系统	(105)
二、节流压差式流量传感器	(67)	一、注意/告警系统发展简史	(105)
三、微型集成气体流量计	(69)	二、注意/告警系统的原理	(107)
四、微型集成气体流量控制系统	(71)	三、注意/告警系统的发展趋向	(107)
第九节 气体成份传感器	(72)	第六节 航天飞机上的“T”型布局仪表板	(108)
一、功用	(72)	第七节 多传感器监测系统动态性能改进方法	(109)
二、用光谱吸收的多功能气体成份传感器	(72)	一、多传感器系统	(109)
三、薄膜氧分压传感器	(72)	二、多传感器监测系统动态性能改进方法	(110)
第十节 湿敏传感器	(73)	第八节 空间飞行器保健系统	(111)
一、半导体陶瓷湿敏传感器	(73)	一、空间飞行器结构参数的监测系统	(111)
二、集成 Si 湿度传感器	(74)	二、灵巧材料与灵巧飞行器	(111)
三、聚合物薄膜集成湿度传感器	(75)	三、空间飞行器的保健系统	(112)
四、石英谐振湿度传感器	(77)	四、光纤传感器系统在灵巧结构中的应用实例	(113)
第十一节 火灾预报烟传感器	(79)	第九节 航天器多传感器监测系统展望	(113)
一、光散射式烟传感器	(79)	一、姿态航向基准系统的发展趋势	(113)
二、电离式烟传感器	(79)	二、航向系统的发展方向	(114)
三、航天飞机用的烟传感器	(80)	三、大气数据系统的发展方向	(114)
第十二节 传感器对未来飞行器的新贡献	(81)	四、注意/告警系统的发展方向	(114)
参考文献	(81)	五、“T”型仪表板布置的发展方向	(114)
第三章 空间飞行器多传感器监测系统	(84)		
第一节 概述	(84)		
第二节 航向系统	(85)		
一、磁罗盘与磁航向传感器	(85)		
二、航向陀螺仪及航向陀螺传感器	(87)		

六、监测系统动态性能的改善方面的发展方向	(114)	四、用户设备	(150)
参考文献	(114)	第九节 全球定位系统(GPS)	(150)
第四章 空间飞行器导航系统	(117)	一、系统的组成	(150)
第一节 概述	(117)	二、工作原理	(152)
第二节 航位推算导航系统	(117)	三、GPS 导航仪	(155)
一、最早的自动领航仪	(117)	四、对 GPS 的评述	(155)
二、带有风速修正的自动领航仪	(118)	第十节 GPS/惯性组合导航系统	(156)
三、多普勒领航仪	(119)	一、简单组合法	(156)
四、导航显示仪	(120)	二、卡尔曼滤波法	(158)
第三节 惯性导航系统	(120)	三、误差累积法	(158)
一、惯性导航基本原理	(120)	四、自适应相关分析法	(158)
二、平台式惯性导航系统	(121)	第十一节 空间飞行器导航系统展望	(160)
三、航天飞机的惯性导航系统	(123)	一、天文导航系统展望	(160)
四、捷联式惯导系统	(126)	二、惯性导航系统展望	(160)
第四节 无线电导航系统	(127)	三、智能惯性-天文组合导航系统	(160)
一、无线电导航的种类	(127)	四、其他有关的先进技术	(161)
二、无线电导航测角系统	(127)	参考文献	(161)
三、无线电导航测距系统	(128)	第五章 典型载人飞船仪表显示与监测系统	(162)
四、无线电导航测距差系统	(128)	第一节 概述	(162)
五、无线电导航测速系统	(129)	一、飞船仪表与监测系统	(162)
六、伏尔导航系统	(129)	二、仪表与监测系统和制导导航与控制系统的关系	(162)
七、塔康导航系统	(130)	三、飞船各系统需监测与显示的参数	(162)
第五节 天文导航系统	(132)	四、本章的主要内容	(164)
一、天文导航	(132)	第二节 早期飞船的仪表	(164)
二、天文学的有关知识	(133)	第三节 “双子座”号飞船仪表与监测系统	(165)
三、“阿波罗”飞船的六分仪	(135)	一、“双子座”号飞船仪表板	(165)
四、天文罗盘	(137)	二、制导、导航与控制显示系统	(167)
五、星体跟踪器	(138)	三、主要仪表传感器的性能	(168)
六、天文导航系统	(139)	四、“水星”号和“双子座”号飞船的区别	(169)
第六节 着陆系统	(140)	第四节 “联盟”号飞船仪表	(169)
一、仪表着陆系统	(140)	一、飞船仪表	(169)
二、微波着陆系统	(141)	二、空间飞行器的交会与对接	(171)
三、差分 GPS 进场着陆系统	(142)	三、积木式的复合空间站	(173)
四、自动着陆系统	(144)	第五节 “阿波罗”号飞船的仪表与监测系统	(173)
五、月球着陆系统	(145)	一、“阿波罗”号飞船和“双子座”号飞船的主要区别	(173)
第七节 航天飞机导航系统	(145)	二、“阿波罗”号飞船对显示与控制器的主要要求	(174)
一、导航传感器系统	(145)	三、指挥舱仪表板	(174)
二、导航系统方块图	(146)		
第八节 卫星导航系统	(146)		
一、导航卫星	(146)		
二、“子午仪”号导航卫星	(149)		
三、卫星导航基本原理	(150)		

四、飞船稳定与控制系统和仪表传感器	(175)		(215)
五、“阿波罗”号飞船登月舱仪表	(179)	一、先进飞机仪表板布置图	(215)
六、月球车仪表	(181)	二、主仪表板	(216)
七、“阿波罗”号飞船的典型仪表	(181)	三、中央控制板的显示仪	(216)
第六节 载人飞船仪表与监测系统展望	(185)	四、飞机信息管理系统	(216)
一、飞船仪表的发展	(185)	五、备份仪表	(216)
二、飞船仪表展望	(186)	六、特点	(217)
参考文献	(186)	第三节 显示仪表与制导系统	(218)
第六章 航天飞机仪表显示与监测系统	(189)	一、显示仪表与制导系统	(218)
第一节 概述	(189)	二、主仪表板显示仪	(218)
一、航天飞机飞行任务与特点	(189)	三、飞行管理系统	(218)
二、电子系统的基本组成	(190)	四、飞行控制系统	(220)
三、航天飞机电子系统的特点	(191)	五、惯性基准与大气数据系统	(220)
四、航天飞机要求电子系统具有高可靠性	(192)	六、中央故障显示系统	(220)
五、仪表与监测系统	(193)	七、其他测量与控制系统	(220)
第二节 航天飞机电子系统	(193)	第四节 飞行参数综合显示仪	(221)
一、航天飞机电子系统	(193)	一、主飞行显示仪	(221)
二、数据处理系统	(194)	二、姿态指引信息	(221)
三、制导、导航和控制系统	(197)	三、航向信息	(221)
第三节 航天飞机仪表显示系统	(199)	四、飞行速度信息	(222)
一、初期仪表板布局设想	(200)	五、飞行高度信息	(223)
二、实际采用的仪表板	(201)	六、载人空间飞行器的飞行参数综合显示仪方案讨论	(223)
三、总结学术讨论会时的改进方案	(204)	第五节 导航参数综合显示仪	(223)
第四节 航天飞机监测系统	(205)	一、航向信息	(224)
一、监测系统的功能与种类	(205)	二、地速、风速、风向信息	(225)
二、任务飞行监测系统	(205)	三、航程与航线信息	(225)
三、研究飞行监测系统	(205)	四、载人空间飞行器导航显示仪方案讨论	(225)
四、航天飞机监测系统特点	(206)	五、航天飞机的导航显示仪方案讨论	(226)
第五节 航天飞机注意/警告系统	(207)	六、未来登月舱导航显示仪显示方案讨论	(226)
一、主要组成	(207)	第六节 发动机指示与空勤告警显示仪	(227)
二、基本原理	(207)	一、显示的参数	(227)
第六节 航天飞机仪表显示展望	(208)	二、显示的格式	(227)
一、发展目标	(208)	三、载人空间飞行器动力装置与注意/告警显示仪	(228)
二、年代初的技术发展水平	(208)	方案讨论	(228)
三、近来的主要技术成就	(209)	第七节 飞行管理系统显示仪	(230)
四、正在研究的技术	(210)	一、飞行管理系统主要功能	(230)
五、未来发展的趋势	(210)	二、飞行管理系统的组成	(230)
六、玻璃座舱方案	(211)	三、飞行管理控制显示仪	(230)
参考文献	(213)	四、载人空间飞行器飞行管理显示仪的方案讨论	(231)
第七章 先进综合电子显示仪表在载人航天器中的应用	(214)	第八节 平视显示仪	(233)
第一节 概述	(214)	一、平视显示仪的系统组成	(233)
第二节 年代有代表性的先进飞机仪表板			

二、显示仪原理方块图	(234)		(248)
三、航天飞机上用平视显示仪	(235)	一、在航天飞机上的应用	(248)
第九节 头盔显示器虚拟仪表板	(237)	二、在空间站上应用	(249)
一、虚拟仪表板	(237)	第四节 一种智能测试系统的设计思想	(250)
二、头盔显示器原理	(237)	一、改善系统静态性能的方法	(250)
三、头盔电视着陆系统	(237)	二、动态补偿策略	(251)
四、光纤头盔显示器	(238)	三、自适应噪声抵消策略	(252)
五、仪表显示与电视组合的光纤头盔显示器	(238)	四、小结	(252)
.....	(238)	第五节 智能测试系统的数据库	(252)
六、超级头盔虚拟仪表板	(238)	一、采用数据库的优点	(252)
第十节 载人航天器仪表显示的发展趋势	(240)	二、智能测试系统数据库的组成	(253)
一、飞行器仪表显示的发展简况	(240)	三、数据库的管理模块	(254)
二、彩色液晶平板显示仪	(240)	第六节 智能测试系统算法库	(254)
三、平视显示仪与头盔显示器	(241)	一、算法库的组成	(254)
四、大屏幕显示仪	(241)	二、静态数据处理算法库	(255)
五、触敏显示屏使显示与控制综合一体化	(242)	三、动态数据处理算法库	(255)
六、语音(语言)仪表大大减轻航天员眼睛的负担	(242)	四、随机信号处理算法库	(255)
.....	(242)	五、离线处理算法库	(256)
七、智能仪表是未来仪表发展的重要方向	(243)	第七节 智能测试系统的专家系统与知识库	(256)
参考文献	(243)		(256)
第八章 智能仪表与监测系统	(244)	一、智能测试系统的专家系统	(256)
第一节 概述	(244)	二、智能测试系统的知识库	(256)
第二节 人工智能技术在航空电子上的应用	(244)	第八节 智能测试系统的总框图	(256)
.....	(244)	第九节 智能显示与语言仪表系统	(258)
一、驾驶员助手(电子副驾驶员)	(244)	一、设计思想	(258)
二、自适应导航系统	(246)	二、图形库	(258)
三、应急措施专家系统	(246)	三、语言库	(259)
四、航空电子助手	(247)	四、光盘电子库	(260)
第三节 人工智能技术在空间飞行器中的应用	(247)	参考文献	(261)

绪 论

自从 1961 年 4 月 12 日苏联“东方”1 号载人飞船开创了世界载人航天的新纪元以来,美国“阿波罗”11 号飞船于 1969 年 7 月 16 日升空,7 月 20~21 日首次实现人登上月球,并于 7 月 24 日返回,在太平洋夏威夷西南海面溅落,历时 8 天,完成第一次登月考察。这是世界航天史上具有划时代意义的一项成就。图 1 是此飞船登月飞行的往返飞行轨道示意图。

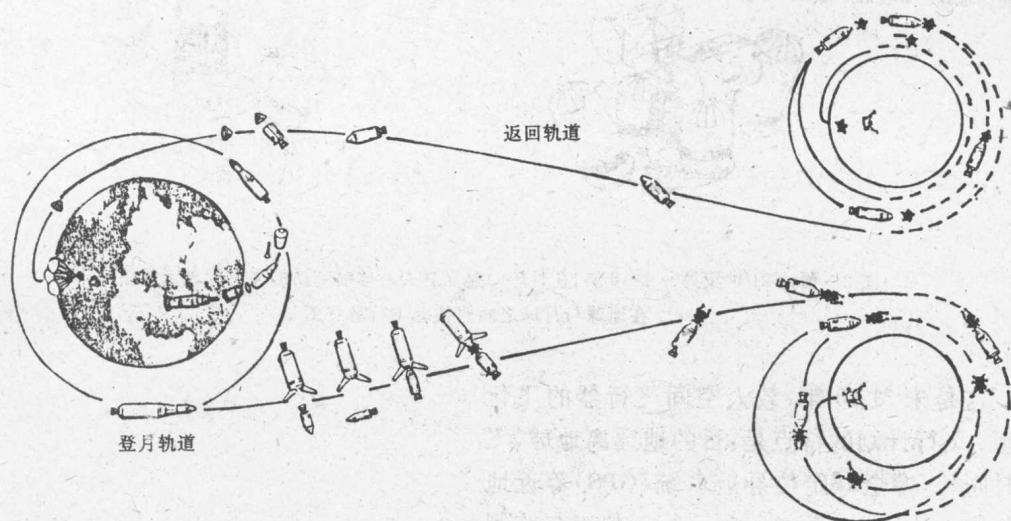


图 1 “阿波罗”号飞船载入登月和返回的轨道示意图

1989 年 7 月 20 日,美国总统宣布准备支持一个 1990~2020 年期间的行星探索计划。21 世纪第一个 10 年在月球建立一个有人的月球前哨站。第二个 10 年在火星上建立一个有人前哨站。这样,在地球、月球和火星之间,就需要有一种很可靠、维护性很好、很灵活、高性能的运输飞行器(和航天飞机的功能类似)。这是载人空间飞行器的 30 年计划。

图 2 是预计在 21 世纪第一个 10 年,在月球上建立有人前哨站的飞行示意图。图 3 是载人月球前哨站(Lunar Excursion Vehicle 缩写为 LEV)和地球月球往返载人运输系统(Lunar Transfer Vehicle 缩写为 LTV)分离前的示意图。图 4 是 LEV 和 LTV 分离后的示意图。图 5 是预计 21 世纪第 2 个 10 年,在火星上建立有人前哨站的往返飞行示意图。图 5(a)是由地球飞往火星的飞行示意图,在地球火星之间的载人火星运输系统(Mars Transfer Vehicle 缩写为 MTV)和载人火星前哨站(Mars Excursion Vehicle 缩写为 MEV)在由地球飞往火星之间的过渡轨道上,还设想到达火星前一天,两飞行器先分开各自独立飞行,进入绕火星轨道飞行,准备转入着陆轨道时,再对接起来,进入火星着陆轨道。图 5(b)是有人火星前哨站在火星表面的示意图。图 5(c)是从火星起飞返回地球时,由火星飞至返回地球过渡轨道的示意图。

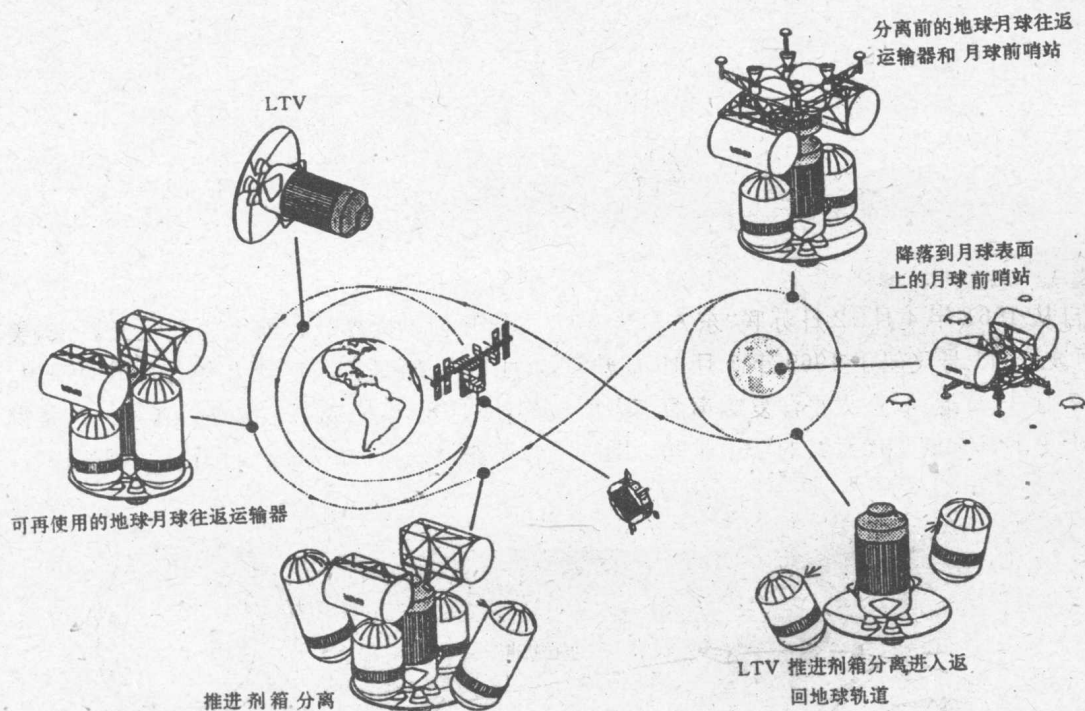


图2 预计21世纪第一个10年,在月球上建立有人月球前哨站的飞行计划示意图——在地球与月球之间的往返飞行示意图

这是未来30年,载人空间飞行器的飞行设想。飞行计划的特点是:目的地远离地球,飞行时间长,像全球定位导航系统(GPS)等近地设备均无法利用。要求空间飞行器仪表与监测系统(包括导航等系统)的自主性更强,可靠性更高,可维修性更好。生命保障系统要能保障航天员在月球前哨站、火星前哨站、以及在运输系统中,具备长期生活、工作与进行科学研究的条件。这套系统也需要监测与显示各种参数,因而须装备各种高性能传感器。

仪表显示与监测分系统还能显示各种命令、工作日程和计划,以及航天员执行命令的结果。以致于帮助航天员分析和思考的一些建议。还可用语言方式通报航天员按时进行各项工作。

航天员除了从仪表分系统获得上述各种信息外,当需要航天员手控操纵飞行器时,可以通过仪表板上的控制按钮或仪表显示屏上的触敏膜进行操纵,因此仪表与监测分系统还

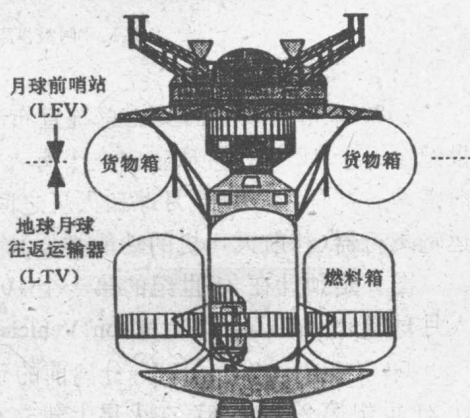


图3 预计21世纪第一个10年,在月球上建立有人月球前哨站的飞行计划示意图——分离前的载人月球前哨站(LEV)和地球月球往返载人运输系统(LTV)示意图。

是人-机对话的友好界面。

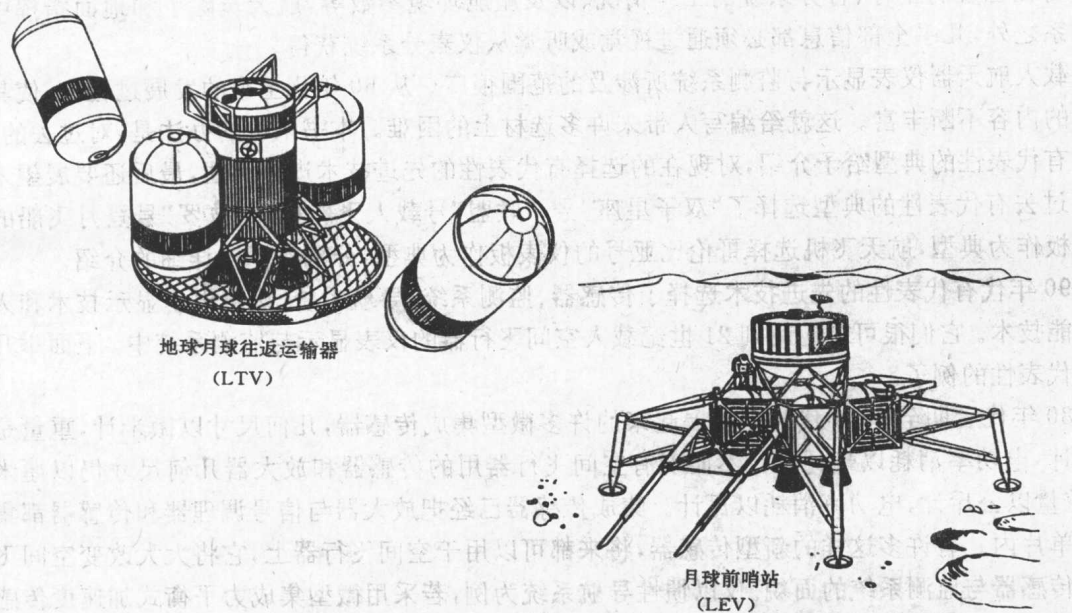


图4 预计21世纪第一个十年,在月球上建立有人月球前哨站的飞行计划示意图——LEV和LTV分离后的示意图。

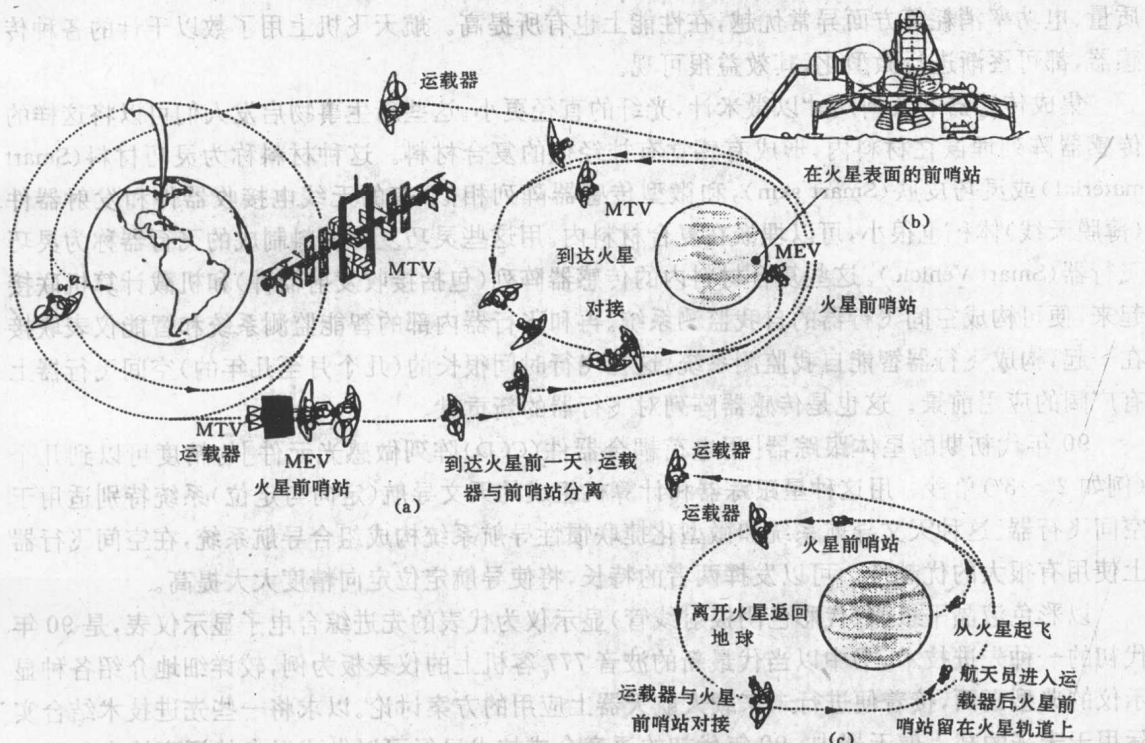


图5 在火星上建立有人前哨站的往返飞行示意图

(a) 从地球飞往火星的往返飞行示意图; (b) 有人火星前哨站(MEV)在火星表面示意图;

(c) 从火星返回地球时,由火星起飞至飞返地球过渡轨道示意图。

仪表显示与监测系统能显示与监测载人空间飞行器(航天器)各飞行阶段的飞行状态、各时刻所在位置的坐标、各分系统的工作情况、以及座舱环境参数等,航天员除了和地面指挥中心联系之外,几乎全部信息都必须通过视觉或听觉从仪表分系统获得。

载人航天器仪表显示与监测系统所涉及的范围很广。从 60 年代至今的发展过程中,使其包含的内容不断丰富。这就给编写人带来许多选材上的困难。本书采取的办法是:对过去的,选择有代表性的典型给予介绍,对现在的选择有代表性的先进技术进行讲述,最后还要展望未来。过去有代表性的典型选择了“双子星座”号、“联盟”号载人飞船和“阿波罗”号登月飞船的仪表板作为典型,航天飞机选择哥伦比亚号的仪表板作为典型,分别作了较详细的介绍。

90 年代有代表性的先进技术选择了传感器、监测系统、导航系统、综合电子显示技术和人工智能技术。它们很可能应用到 21 世纪载人空间飞行器的仪表显示与监测系统中。下面举几个有代表性的例子。

80 年代后期至 90 年代初期发展起来的许多微型集成传感器,几何尺寸以微米计,重量是以克计,电功率消耗以毫瓦计。然而现有空间飞行器用的传感器和放大器几何尺寸仍以厘米计,重量以公斤计,电功率消耗以瓦计。集成传感器已经把放大器与信号调理器和传感器都集成在单片内。有许多这样的新型传感器,将来都可以用于空间飞行器上,它将大大改变空间飞行器传感器与监测系统的面貌。仅以惯性导航系统为例,若采用微型集成力平衡式加速度传感器和光纤陀螺或谐振半球陀螺,以及采用捷联式数字平台(数字计算机均采用超大规模集成电路芯片),这样的微型化惯性导航系统,与现在飞船及航天飞机上用的相应系统比,不仅体积、质量、电功率消耗等方面异常优越,在性能上也有所提高。航天飞机上用了数以千计的各种传感器,都可逐渐进行微型化,其效益很可观。

集成传感器的几何尺寸以微米计,光纤的直径更小。这些新生事物启发人们可以将这样的传感器阵列埋嵌在材料内,形成有感觉有神经似的复合材料。这种材料称为灵巧材料(Smart material)或灵巧皮肤(Smart skin),和微型传感器阵列相似,有的无线电接收器件和发射器件(薄膜天线)体积也很小,可以埋嵌在复合材料内。用这些灵巧复合材料制成的飞行器称为灵巧飞行器(Smart Vehicle)。这些复合材料内的传感器阵列(包括接收发射器件)和机载计算机联接起来,便可构成空间飞行器的自我监测系统。再和飞行器内部的智能监测系统和智能仪表联接在一起,构成飞行器智能自我监测系统。这在飞行时间很长的(几个月至几年的)空间飞行器上有广阔的应用前景。这也是传感器阵列对飞行器的新贡献。

90 年代初期的星体跟踪器[用电荷耦合器件(CCD)阵列做感光元件]的精度可以到几个(例如 $2''\sim 3''$)角秒。用这种星跟踪器和计算机组成的天文导航(定向与定位)系统特别适用于空间飞行器。这种天文导航系统和微型化捷联惯性导航系统构成组合导航系统,在空间飞行器上使用有很大的优越性。可以发挥两者的特长,将使导航定位定向精度大大提高。

以彩色液晶平板(取代彩色阴极射线管)显示仪为代表的先进综合电子显示仪表,是 90 年代初的一种先进技术。书中以当代最新的波音 777 客机上的仪表板为例,较详细地介绍各种显示仪的典型画面,接着便进行未来载人航天器上应用的方案讨论。以求将一些先进技术结合实际用于未来的载人航天器中。90 年代初的语音合成技术已经可以做成以自然语言输出和显示的仪表。在上述各种立体感的 3 维彩色显示仪表基础上,必要时再加上自然语言输出,发挥航天员听觉的作用,成为视听仪表,使仪表的性能更加完善。自然语言输出对于注意/告警系统具

有特殊的作用。现有航天飞机上采用集中与分散相结合的注意/告警信号灯,以防航天员没有发现信号灯亮,用自然语言通报告警,便能有效地解决这个问题。

人工智能技术在航空与航天领域中的应用已经取得了一些成果,世界各国在这方面的投资仍然在不断扩大。因为载人空间飞行器在空间飞行时间较长(几天至空间站的飞行几年),特别需要智能监测系统与管理系统和智能仪表,以减轻航天员的负担。本书第八章讨论智能仪表显示与监测系统。除介绍人工智能技术在航空与航天器中已应用的成果外,主要介绍作者在这方面作的研究工作,供读者参考。

本书有如下几个特点:

1) 全书体系上以飞船、空间站和航天飞机的仪表显示与监测系统(第五、六章)为重点,实际上,全书都围绕重点讨论各方面的问题。第一章简要地介绍监测对象,第二至四章分别讨论传感器、监测系统和导航系统。这3章既是学习飞船和航天飞机仪表显示与监测系统的基础,同时又是它们的组成部分。第七、八两章是载人航天器仪表显示与监测系统的发展方向。这种体系使得全书都紧扣主题进行专题讨论。

2) 典型选择较好是第二特点。飞船仪表显示与监测系统,选择“双子星座”号飞船、“联盟”号飞船和“阿波罗”号登月飞船的整个仪表板、三种飞船的仪表板各有特色。航天飞机则选择“哥伦比亚”号航天飞机上的仪表板为例。这几个典型仪表板都有较完整的资料,因而能进行较详细地介绍。让它们起到典型的作用。

3) 书中的内容比较新颖。全书介绍不少80年代后期至90年代初期的资料。例如介绍测量空间飞行器上各种参数的集成微型传感器。许多微型传感器埋嵌在内的,灵巧材料(灵巧皮肤)制成的灵巧飞行器,以及它们与计算机组成的智能飞行器。以彩色液晶平板显示仪为代表的先进综合电子显示仪表,如当代最新式波音777客机上的整个仪表板,以及人工智能技术在航空航天飞行器中的应用等。这些都是90年代有代表性的新技术。

4) 新技术在载人航天器仪表显示与监测系统中应用设想讨论。这是新技术和本书主题相结合的方案讨论,以抛砖引玉的方式提出个人的看法。

5) 书中有一些是作者多年来研究工作的总结,供大家参考。其中有近几年作者在国际国内学术会议上,作邀请报告和主题报告的主要内容,故较深入细致和实用。

第一章

载人航天器

第一节 概述

一、载人航天^[8]

载人航天是人类驾驶和乘坐载人航天器在宇宙空间从事各种探测、试验、研究、军事和生产的航行活动。载人航天的目的在于突破地球大气层和克服地球引力,把人类活动范围从陆地、海洋和大气层扩展到太空,更广泛和深入地认识地球和整个宇宙;充分利用太空和载人航天器的特殊环境从事各种试验和研究活动,开发太空的丰富资源。载人航天由载人航天系统实施,载人航天系统由载人航天器、运载器、航天器发射场和返回着陆设施、航天测控网等组成,此外,为实现载人航天,还包括有一系列辅助或有关系统(如地面模拟设备和航天员训练设施)。

二、载人航天的进程

1961年4月12日前苏联航天员 Ю. А. 加加林乘坐“东方”号飞船绕地球轨道飞行一圈,成为第一个进入太空的人。载人航天大致经历了三个阶段^[8]。

(一) 把人送入地球轨道并安全返回

载人航天之前,先发射不载人飞船和生物卫星等,用以验证载人航天系统的安全性和可靠性,确保载人航天成功。接着发射载人飞船,航天员在飞行中完成了手控定向、姿态调整、观测地球和对地摄影等活动,并进行了医学、生物等科学研究和广泛的技术试验。第一阶段的载人航天,证实了人在过载、失重、真空和强辐射等恶劣环境下不仅能够生存,而且能有效地工作。

(二) 发展载人航天的基本技术

载人航天的基本技术,如飞船的轨道机动飞行,两艘飞船在空间交会和对接,以及编队飞行,考察航天员出舱活动的设备和航天员舱外活动的的能力,同时也进行其他科学研究工作。在这一阶段,前苏联航天员:А. А. 列昂诺夫和美国航天员 E. H. 怀特穿着航天服走出飞船,在太空进行了活动。1967年1月27日当“阿波罗”号飞船在肯尼迪角进行例行试验时,因突然着火,美国3名航天员死亡。1967年4月23日前苏联的“联盟”1号飞船在返回时,由于降落伞故