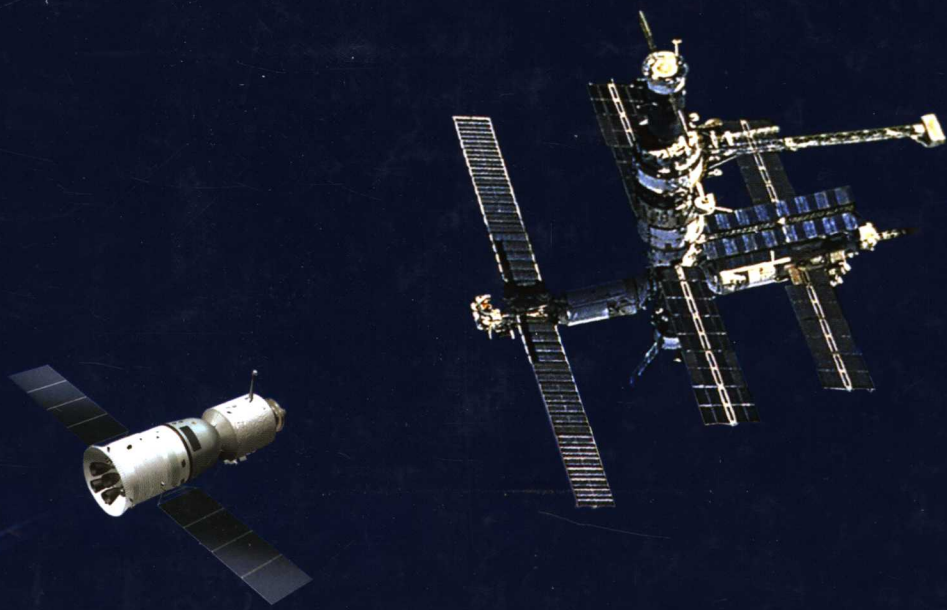


空间交会对接 测量技术及工程应用

主 编 张淑琴
副主编 王忠贵 冉隆燧



中国宇航出版社

空间交会对接 测量技术及工程应用

主 编 张淑琴

副主编 王忠贵 冉隆燧



中国宇航出版社

·北京·

内 容 简 介

本书是载人航天工程关键技术之一,是空间交会对接测量技术方面的一部专著。全书主要内容包括:空间交会对接测量技术的发展与现状、空间交会对接控制原理及对测量的要求、交会雷达测量技术、激光交会雷达测量技术、卫星导航测量技术、CCD光电成像测量技术、多传感器测量的信息综合处理技术、可靠性与安全性设计。全书在空间交会对接系统及其控制原理的基础上展开相对运动参数各种测量方法的论述,系统性强,技术专业面广,紧密联系工程设计实际。本书可作为从事航天工程的系统设计人员和设备研制人员的参考书,也可作为大专院校航天专业的高年级学生和研究生的教学参考书。

图书在版编目(CIP)数据

空间交会对接测量技术及工程应用/张淑琴主编. 北京:中国宇航出版社,2005.10

ISBN 7-80218-011-2

I.空... II.张... III.空间交会测量法 IV.P204

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 105085 号

封面设计 03 工舍

责任编辑 任长卿

责任校对 王 妍

出 版 行

中国宇航出版社

地 址 北京市阜成路 8 号

邮 编 100830

(010)68768548

版 次 2005 年 10 月第 1 版

2005 年 10 月第 1 次印刷

网 址 www.caphbook.com/ www.caphbook.com.cn

规 格 787×1092

经 销 新华书店

开 本 1 / 16

发行部 (010)68371900

(010)88530478(传真)

印 张 31

(010)68768541

(010)68767294(传真)

字 数 774 千字

零售店 读者服务部

北京宇航文苑

书 号 ISBN 7-80218-011-2

(010)68371105

(010)62579190

定 价 98.00 元

承 印 北京智力达印刷有限公司

本书如有印装质量问题,可与发行部调换

编委会

高级顾问	王永志	陈德仁	黄培康		
主任	谢名苞				
副主任	刘尔琦	罗海银			
委员	张洪战	武平	孙俭	李文军	刘著平
	刘树斌	梁东宇	贾京成	张煜冲	
主编	张淑琴				
副主编	王忠贵	冉隆燧			
编写人员	张淑琴	王忠贵	冉隆燧	宋伟	刘国宁
	林西强	樊正芳	周平	文树梁	杨志卿
	唐毓燕	郑永超	盛晓文	王涛	谢道奎
	朱勇	张超	费蔚春	李尚武	陈彦山
	姚京萍				

序

神舟五号载人飞船的成功发射和圆满回收,实现了中国载人航天的历史性突破,标志着祖国的航天事业又取得了一个具有里程碑意义的伟大成就,为我国载人航天工程的持续发展奠定了坚实的基础。

建立长期在轨运行的空间试验平台、开展有人照料的空间科学和技术实验是我国载人航天工程的后续目标,作为天地往返运输系统的载人飞船,必须具备与空间试验平台进行人员和物资交换的能力。因此,构建这样的空间工程系统,必须首先突破空间飞行器在轨交会对接技术。对两个航天器之间相对位置、相对速度及相对姿态的精确测量是实现交会对接的技术关键之一,它涉及导航与控制技术、卫星定位技术、电波交会雷达测量技术、激光交会雷达测量技术、光学成像测量技术、综合信号处理技术及数据融合等多项技术领域。本书即是讨论上述各项技术的一本专著。

本书的大部分作者是长期从事载人航天工程设计和各项测量技术研究的专家,理论基础雄厚、工程实践经验丰富。该书较全面地论述了交会对接所用的各种测量方法及测量传感器,其特点是把理论与工程实践有机地结合起来,很有实用价值,可作为从事交会对接测量技术研究的工程技术人员和高等院校教师及研究生的参考书。

王长志

2005年6月22日

前 言

本书是一部论述空间交会对接测量技术的专著。其测量内容是指两航天器在交会对接过程中,目标航天器与追踪航天器之间相对运动参数的精确测量,包括测量方法及所用的各种测量敏感器。

测量技术是空间交会对接的关键技术之一。由于其内容广泛,覆盖面宽,本书采用了既统一又独立的论述方法,既可通读全书,不失完整性,又可阅读感兴趣的某一章节,不失其独立性。其结构形式如下:

首先,建立空间交会对接测量技术的总体概念,如交会对接的系统组成、交会过程及阶段划分、测量技术在交会对接中的作用、国际上交会对接常用的测量敏感器及测量方法、对测量系统的技术要求以及测量体制等。上述内容均在第1章概论中论述。

其次,论述测量技术与飞船控制系统的关系,如交会对接控制原理以及交会对接控制系统对测量敏感器的技术要求等,上述内容安排在第2章。

第三,主要论述国际上空间交会对接常用的几种测量敏感器和测量方法(第3章~第6章),如卫星定位测量技术、电波交会雷达测量技术、激光交会雷达测量技术、CCD光电成像测量技术。这些技术是独立性很强的专项技术,均可独立完成特定的测量任务。

第四,论述在多传感器分段测量系统中数据融合及信号综合处理方法(第7章),如信号处理方法、数据融合方法、故障诊断及重组方法等。

最后,论述载人航天工程中比较特殊的问题,即可靠性及安全性问题(第8章),突显可靠性、安全性在载人航天工程中的重要性。

本书由中国载人航天工程办公室、航天科工集团第二研究院以及信息产业部第二十七研究所等有关单位专家共同编写,同时也吸收了一些相关专业的技术人员参与局部工作。各章作者大都较长时间从事相关测量技术的研究和工程设计工作,有较丰富的实践经验,在编写过程中查阅了大量国内外文献,并吸收了国际交会对接技术的研究设计成果。

参加本书创作的20多位专家,来自不同的单位,大家刻苦钻研,相互支持,在繁忙的工作之余完成了这部著作,充分体现了大家对载人航天事业的热爱和大协

作的航天精神。由于时间紧促,书中有不妥之处,还请各方面专家给予指正。

本书各章主要执笔编写人员如下:第1章,张淑琴、王忠贵;第2章,冉隆燧;第3章,樊正芳、文树梁;第4章,杨志卿;第5章,文树梁、周平;第6章,张淑琴;第7章,唐毓燕;第8章,刘国宁、林西强。

还有许多专家和工程技术人员参与了本书的部分编写和审校工作。高级顾问陈德仁院士经常关心本书的编写,并对部分章节进行审校,提出很多宝贵的修改意见;郑永超和宋伟参加了第4章的部分编写;张超和费蔚春参加了6.9节及6.12节的部分编写;李尚武、陈彦山和姚京萍做了大量文字录入工作。

本书在编写过程中,有幸得到我国载人航天工程总设计师、中国工程院院士王永志先生的关心和支持,并亲自作序,在此深表谢意。在编委会主任谢名苞先生和副主任刘尔琦先生、罗海银先生的亲自组织和帮助下,经过编委会和全体作者的共同努力,本书终于面世了。愿它能为我国载人航天事业的发展,为空间交会对接测量任务的顺利进行起到抛砖引玉的作用。最后,向关心和支持本书出版的同事们、朋友们和家属们深表谢意!

编者

目 录

第 1 章 概论	(1)
1.1 测量技术在空间交会对接中的作用	(1)
1.1.1 空间交会对接系统的基本组成	(2)
1.1.2 空间交会对接过程及阶段的划分	(3)
1.2 国外交会对接测量技术概况及发展趋势	(5)
1.2.1 美国交会对接测量技术	(5)
1.2.2 苏联/俄罗斯交会对接测量技术	(6)
1.2.3 欧洲空间局交会对接测量技术	(7)
1.2.4 日本交会对接测量技术	(8)
1.2.5 交会对接测量技术发展趋势	(9)
1.3 测量过程及其特点	(13)
1.3.1 测量过程	(13)
1.3.2 测量系统特点	(14)
1.4 测量技术研究主要内容	(15)
1.4.1 测量传感器研究	(15)
1.4.2 测量系统研究	(15)
1.5 船载相对测量系统体制研究	(15)
1.5.1 测量系统配置原则	(15)
1.5.2 对接的初始条件	(16)
1.5.3 测量系统的主要技术要求	(16)
1.5.4 测量体制	(17)
1.5.5 测量体制分析	(19)
第 2 章 空间交会对接控制原理及对测量的要求	(21)
2.1 空间交会对接控制基础	(21)
2.1.1 交会对接的动力学问题	(21)
2.1.2 交会对接工程设计要点	(23)
2.1.3 交会变轨的一般方法	(26)
2.2 描述两航天器相对运动的相对坐标系	(36)
2.2.1 旋转直角相对坐标系 $O_1 X_B Y_B Z_B$ (轨道相对坐标系)	(37)
2.2.2 非旋转直角相对坐标系 $O_1 X_H Y_H Z_H$ (惯性相对坐标系)	(37)
2.2.3 瞄准线直角相对坐标系 $O_1 X_A Y_A Z_A$ (射线直角坐标系)	(37)
2.3 两航天器质心的相对运动方程	(40)
2.3.1 两航天器质心运动方程的一般数学描述	(40)

2.3.2	在旋转相对坐标系中的运动方程	(40)
2.3.3	在非旋转(惯性)直角坐标系中的运动方程	(45)
2.3.4	瞄准线(射线)相对坐标系中的运动方程	(46)
2.3.5	两航天器质心相对运动线性化方程的通式	(49)
2.4	自由轨道法接近控制	(50)
2.4.1	船载交会接近控制系统方案	(50)
2.4.2	自由轨道法接近控制概念	(52)
2.4.3	控制数学模型与控制程序	(53)
2.4.4	自由轨道控制的质量特性	(55)
2.5	瞄准线法接近控制	(58)
2.5.1	控制原理与控制数学模型	(58)
2.5.2	惯性平行接近法的控制规律	(60)
2.5.3	瞄准线接近控制的质量特征	(64)
2.5.4	瞄准线接近法的校正控制	(66)
2.5.5	瞄准线接近法的硬件构成方案	(68)
2.6	飞船控制系统设计	(69)
2.6.1	飞船完成交会对接任务各飞行段的工作模式	(69)
2.6.2	飞船与空间站交会对接的轨道控制	(71)
2.6.3	飞船的 GNC 系统	(74)
2.7	交会对接控制对相对运动测量设备的要求	(81)
2.7.1	相对运动参数测量要求	(81)
2.7.2	测量设备温湿度环境要求	(81)
2.7.3	测量设备力学环境要求	(82)
2.7.4	测量设备其他环境要求	(82)
2.7.5	测量设备电磁兼容设计要求	(84)
第 3 章	交会雷达测量技术	(87)
3.1	概述	(87)
3.1.1	美国 Ku 波段脉冲多普勒雷达	(88)
3.1.2	无人航天器上的 X 波段固态雷达	(88)
3.1.3	KVPC 系统	(88)
3.2	基本雷达系统	(89)
3.2.1	发射机	(90)
3.2.2	接收机	(96)
3.2.3	天线	(111)
3.2.4	数字信号处理器	(118)
3.3	雷达方程	(123)
3.3.1	雷达距离方程	(123)
3.3.2	有应答机的雷达方程	(125)
3.4	距离和速度的测量	(126)

3.4.1	调频法测量	(127)
3.4.2	脉冲法测量	(130)
3.4.3	脉冲压缩法测量	(134)
3.5	角度的测量	(140)
3.5.1	相位法测角	(140)
3.5.2	振幅法测角	(142)
3.5.3	比幅单脉冲法测角	(142)
3.6	天线搜索扫描交叠最佳的选择	(144)
3.7	可能采用的交会对接电波雷达型式	(145)
3.7.1	可能的雷达型式	(145)
3.7.2	脉冲雷达	(147)
3.7.3	脉冲多普勒雷达	(152)
3.8	雷达测量精度分析	(162)
3.8.1	测距精度分析	(162)
3.8.2	测角精度分析	(164)
3.8.3	测速精度分析	(168)
第4章	激光交会雷达测量技术	(170)
4.1	概述	(170)
4.2	激光雷达探测技术	(172)
4.2.1	激光雷达的特点	(172)
4.2.2	激光器种类及特点	(172)
4.2.3	激光的光束特性	(179)
4.2.4	激光调制技术	(181)
4.2.5	激光回波探测技术	(181)
4.2.6	背景辐射	(186)
4.3	激光交会雷达测量原理及方法	(188)
4.3.1	测量基本要求	(188)
4.3.2	距离测量原理	(189)
4.3.3	速度测量原理	(192)
4.3.4	角度测量方法	(193)
4.4	激光交会雷达的系统组成及工作原理	(195)
4.4.1	激光雷达的主要类型	(195)
4.4.2	激光交会雷达系统组成	(196)
4.4.3	激光发射机	(197)
4.4.4	接收机	(202)
4.4.5	光学系统	(204)
4.4.6	终端信息处理	(206)
4.4.7	光学扫描器	(208)
4.4.8	合作目标	(209)

4.4.9	激光雷达距离方程	(212)
4.4.10	探测概率和虚警率	(213)
4.5	激光交会雷达系统方案	(214)
4.5.1	激光雷达体制分析	(214)
4.5.2	激光交会雷达测量方法比较	(215)
4.5.3	几种典型的激光交会雷达	(217)
4.5.4	CO ₂ 相干激光雷达	(226)
4.6	激光交会雷达主要性能分析	(227)
4.6.1	主要关键技术	(227)
4.6.2	多合作目标对测距精度的影响	(228)
4.6.3	二维反射扫描的角度非线性	(230)
4.6.4	激光交会雷达角跟踪系统性能分析	(232)
4.7	数据处理与仿真技术	(234)
4.7.1	平均法	(234)
4.7.2	最小二乘法	(234)
4.7.3	$\alpha - \beta$ 平滑滤波	(236)
4.8	应用前景	(238)
第 5 章	卫星导航测量技术	(239)
5.1	概述	(239)
5.1.1	卫星导航技术概况	(239)
5.1.2	GPS 在空间交会对接中的作用	(240)
5.1.3	GPS 在空间交会对接中应用的特点	(241)
5.2	GPS 测量的技术基础	(242)
5.2.1	GPS 组成	(242)
5.2.2	GPS 测量的坐标系统	(244)
5.2.3	GPS 测量的时间系统	(247)
5.2.4	卫星运动的基础知识	(247)
5.2.5	GPS 的信号和导航电文	(250)
5.2.6	GPS 定位的基本观测量	(253)
5.3	GPS 测量的绝对定位方法	(257)
5.3.1	GPS 卫星位置与速度的确定	(258)
5.3.2	GPS 单站绝对定位的位置求解方法	(261)
5.3.3	GPS 载体运动速度绝对测量方法	(265)
5.4	GPS 测量的相对定位方法	(266)
5.4.1	测码伪距差分相对定位法	(266)
5.4.2	测相伪距差分相对定位法	(267)
5.4.3	相位差分观测量及其观测方程	(268)
5.4.4	双差观测方程的组成与求解	(275)
5.5	GPS 在 RVD 中的应用	(277)

5.5.1	GPS 测量的主要技术要求	(277)
5.5.2	GPS 卫星的可见性分析	(278)
5.5.3	交会对接系统中几种可行的 GPS 测量方法	(279)
5.5.4	GPS 接收机的一般组成	(283)
5.5.5	选用 GPS 接收机时必须考虑的因素	(288)
5.6	精度分析及关键技术	(289)
5.6.1	GPS 测量误差及修正	(289)
5.6.2	GPS 差分方法消除误差	(296)
5.6.3	GPS 定位精度表示	(297)
5.6.4	关键技术	(299)
第 6 章	CCD 光电成像测量技术	(302)
6.1	概述	(302)
6.1.1	CCD 光电成像测量系统的一般组成	(302)
6.1.2	CCD 光电成像测量技术在 RVD 中应用的特点	(303)
6.2	CCD 光电成像测量的技术基础	(305)
6.2.1	测量信号流程	(305)
6.2.2	从三维景物到二维图像的变换原理	(306)
6.2.3	光学镜头的主要特性	(309)
6.2.4	CCD 图像敏感器的工作原理及其特性	(311)
6.2.5	由像到物逆变换的不确定性	(313)
6.2.6	合作运动目标测量中视频图像处理的特点	(314)
6.2.7	图像分割	(315)
6.2.8	特征点提取及中心定位	(317)
6.2.9	特征点匹配	(318)
6.3	刚体的运动特性及空间坐标变换	(319)
6.3.1	刚体运动特性	(319)
6.3.2	坐标系平移特性	(320)
6.3.3	坐标系旋转特性	(320)
6.4	CCD 光电成像测量涉及的坐标系及坐标转换	(321)
6.4.1	追踪航天器上的坐标系及坐标转换	(322)
6.4.2	目标航天器上的坐标系及转换关系	(326)
6.4.3	两航天器间的坐标系及其转换	(328)
6.5	视觉信息处理系统与功能模块	(329)
6.5.1	视觉信息加工的基本要素	(329)
6.5.2	功能模块与系统	(330)
6.5.3	视觉信息处理系统的主体框架	(331)
6.5.4	CCD 光电成像测量系统的模块化结构	(331)
6.6	光电成像测量系统工程设计要点	(332)
6.6.1	主要技术指标的分析论证	(332)

6.6.2	工程设计的要点	(333)
6.6.3	工程设计的主要原则	(334)
6.6.4	工程设计程序	(335)
6.6.5	航天光电产品设计中常用的一些经验数据	(335)
6.7	CCD 光电成像测量的工作模式	(338)
6.7.1	双目工作模式	(339)
6.7.2	双目工作模式中目标空间位置的一般计算方法	(340)
6.7.3	双目测量系统的模块图及工作流程	(343)
6.7.4	单目工作模式及复合工作模式	(344)
6.8	CCD 摄像机及量化装置	(347)
6.8.1	CCD 摄像机视场与作用距离	(347)
6.8.2	摄像机视场与 CCD 光敏面尺寸	(348)
6.8.3	CCD 摄像机的空间变换关系	(349)
6.8.4	CCD 摄像机的成像尺寸与测量精度	(350)
6.8.5	CCD 摄像机的输出方式及数字化装置	(351)
6.9	信息处理器	(353)
6.9.1	信息处理器的设计流程	(353)
6.9.2	DSP 器件的结构和工作原理	(354)
6.9.3	通用 DSP 类型及选择要点	(356)
6.10	CCD 光电测量系统光源与图像对比度	(357)
6.10.1	发光二极管(LED)	(357)
6.10.2	半导体激光二极管(LD)	(360)
6.10.3	目标航天器所处的空间背景	(362)
6.10.4	目标特征点的综合背景	(364)
6.10.5	光源的光谱分布与图像对比度	(364)
6.10.6	CCD 光电测量系统对光源的基本要求	(364)
6.11	杂散光对 CCD 成像质量的影响	(365)
6.11.1	阳光对 CCD 摄像机成像质量的影响	(365)
6.11.2	漫反射效应对 CCD 摄像机成像质量的影响	(366)
6.11.3	抑制杂散光的主要措施	(366)
6.12	成像测量系统误差分析及仿真试验	(367)
6.12.1	测量过程中目标像点的定位误差	(368)
6.12.2	成像系统几何畸变引起的误差	(371)
6.12.3	提高系统分辨率以降低测量误差	(372)
6.12.4	仿真试验的目的和要求	(373)
6.12.5	仿真试验方法	(373)
6.12.6	仿真试验支撑技术	(375)
第 7 章	多传感器测量的信息综合处理	(378)
7.1	概述	(378)

7.1.1	信息综合处理在 RVD 多传感器测量中的作用	(378)
7.1.2	RVD 多传感器测量中信息综合处理器的组成及特点	(379)
7.2	常用的滤波估计方法	(380)
7.2.1	卡尔曼滤波(KF).....	(380)
7.2.2	推广卡尔曼滤波(EKF)	(386)
7.2.3	滤波发散及其克服方法	(392)
7.3	RVD 过程中多传感器量测数据预处理技术	(394)
7.3.1	数据压缩技术	(394)
7.3.2	量测数据中野值剔除技术	(396)
7.3.3	多传感器数据同步技术	(397)
7.4	交会对接中对目标跟踪的自适应滤波	(400)
7.4.1	坐标系设定	(400)
7.4.2	坐标系转换	(401)
7.4.3	交会对接相对运动目标模型	(404)
7.4.4	交会对接中机动目标的状态方程	(408)
7.4.5	状态方程的线性化和离散化	(409)
7.4.6	观测方程及其线性化	(414)
7.4.7	自适应滤波算法	(418)
7.5	交会对接中测量传感器的数据融合	(423)
7.5.1	参与融合的各传感器坐标系约定	(423)
7.5.2	不同结构形式的卡尔曼滤波融合	(424)
7.5.3	各种结构卡尔曼滤波融合的性能比较	(431)
7.5.4	多传感器卡尔曼滤波融合的统一描述	(433)
7.6	交会对接中测量传感器的故障诊断及处理	(434)
7.6.1	故障诊断方法	(435)
7.6.2	残差 χ^2 分布检测法	(435)
7.6.3	状态 χ^2 分布检测法	(438)
7.7	交会对接中多传感器信息综合处理技术的仿真分析	(438)
7.7.1	仿真分析的应用环境及参数设定	(439)
7.7.2	交会对接中多传感器信息综合处理结构框图	(442)
7.7.3	交会雷达测量信息滤波处理的仿真分析	(444)
附录 7A	系统过程噪声 W_k 的协方差矩阵 Q_k	(448)
附录 7B	证明距离函数 D_{k+1} 服从自由度为 m 的 χ^2 分布	(451)
附录 7C	χ^2 分布表	(452)
第 8 章	可靠性与安全性设计	(453)
8.1	可靠性与安全性设计的相互关系	(453)
8.2	可靠性设计项目与准则	(454)
8.3	可靠性模型、可靠性分配与可靠性预计	(455)
8.3.1	可靠性模型的建立	(455)

8.3.2	可靠性指标分配	(457)
8.3.3	可靠性预计	(458)
8.4	可靠性定性设计	(459)
8.4.1	可靠性定性设计准则的制定	(460)
8.4.2	元器件的选择与控制	(460)
8.4.3	故障树分析(FTA)	(460)
8.5	软件可靠性设计	(461)
8.5.1	软件可靠性的重要性	(461)
8.5.2	软件工程化设计方法	(461)
8.6	可靠性增长和可靠性评估	(463)
8.6.1	可靠性增长和增长试验	(463)
8.6.2	试验结果的可靠性评估方法	(466)
8.7	安全性设计概念	(467)
8.8	安全性设计的 FMECA 及 HA 方法	(467)
8.8.1	故障模式、影响及危害性分析(FMECA)	(467)
8.8.2	危险分析(HA)	(469)
8.9	PRA 安全性设计法	(471)
8.10	安全性设计准则	(471)
8.10.1	通用安全性设计准则	(471)
8.10.2	载人系统安全性设计准则	(472)
8.11	航天员安全性设计的主要内容	(474)
8.11.1	降低危险设计	(474)
8.11.2	故障容限设计	(474)
8.11.3	故障隔离设计	(474)
8.11.4	防误操作设计	(475)
8.11.5	危险控制	(475)
8.11.6	应急状态设计	(475)
8.11.7	危险状态检测、报警和安全防护设计	(475)
8.11.8	冗余设计与管理	(476)
8.11.9	航天员环境设计	(476)
8.11.10	航天员人工控制设计	(476)
参考文献	(477)

第1章 概论

1.1 测量技术在空间交会对接中的作用

交会过程包含着对两个航天器相对位置及相对姿态的连续测量过程。为了了解测量技术在交会对接中的作用,首先简要介绍有关交会对接的基本内容。

交会对接简称为 RVD,它是 Rendezvous and Dock 的英文缩写。实际上它包含着交会和对接两方面的内容。

交会(Rendezvous)是指两个航天器在交会轨道上相互接近的过程。其中一个航天器为追踪航天器,如载人飞船或航天飞机,一般情况下追踪航天器为主动方,并装有主动测量设备。另一个航天器为目标航天器,如空间站、留轨舱等,目标航天器通常为被动方,并装有合作目标,如雷达应答机、光学的角反射器等。当两个航天器接近到满足对接机构实施对接的初始条件时,其交会过程即结束。

对接(Docking)是指当两航天器接近到满足对接机构实施对接的初始条件时,对接机构在特定的指令下完成相互耦合和刚性密封连接的过程。

交会对接则起着桥梁和纽带作用,它把空间试验室与飞船有机地连接起来,如图 1.1-1,为航天飞机与和平号空间站进行交会对接的示意图。和平号空间站作为目标航天器,航天飞机作为追踪器。航天飞机为了把航天员或物资设备送往和平号空间站,必须和空间站进行交会对接。

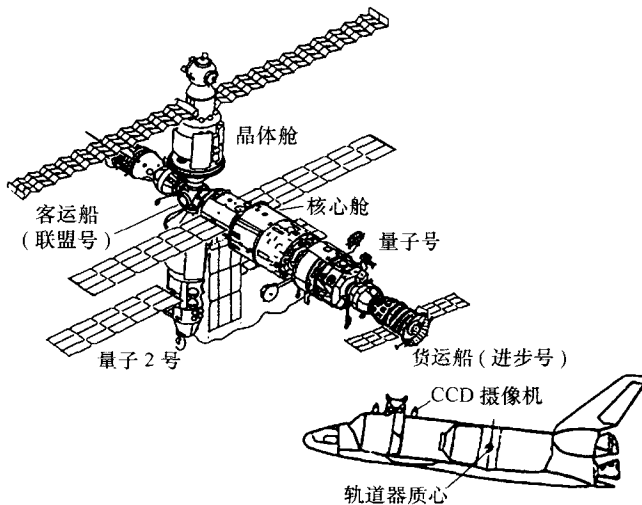


图 1.1-1 航天飞机与和平号空间站交会对接示意图

一般两航天器进行交会是两航天器进行对接前必须的一个过程。有时两航天器为了靠近也需要进行交会。例如,为了摧毁空中某一危险目标,在制导站的引导下,导弹需要捕获和测量跟踪目标,跟踪测量目标的过程也是一个交会过程。它的任务是摧毁目标,并不需要和目标对接。也就是说,要实现对接必须进行交会,但反过来,交会并不一定要对接。

交会对接是载人航天工程中一个重要的组成部分。根据我国载人航天工程的初步规划,在 21 世纪初将在近地轨道上建立小型空间实验室,为研究地球环境、开发资源以及开展空间科学研究提供试验基地。载人飞船作为载人航天工程中天地间往返的运输工具,完成空间试验室与地球之间人员的交换、物资设备的输送、空间救生以及空间维护等各项任务。

在轨组建大型的空间站(或空间试验室)也必须应用交会对接技术。如苏联/俄罗斯的和平号空间站,有 6 个对接口,对接了 5 个实验舱,大大扩展了和平号空间站的功能。1998 年开始组建的国际空间站,有美国、俄罗斯、加拿大、日本和欧空局共计 16 个国家参加,这个长 108 m,宽 88 m,重 430 t 的庞然大物,由美国舱、日本舱、俄罗斯舱、欧洲舱等多个舱段像搭积木一样连接而成,连接的过程中交会对接技术发挥着重要作用。

两个航天器在空间进行交会的过程,实际上是精确测量与控制的过程。测量系统的作用是适时向制导、导航和控制系统(guidance, navigation and control 简称 GNC)提供两航天器之间的相对运动信息,如两航天器之间的相对位置、相对速度、相对姿态以及它们的变化率。

1.1.1 空间交会对接系统的基本组成

两个航天器在空间实现交会对接是一项非常复杂的高难度航天技术。要完成交会对接任务,必须掌握对航天器的姿态与飞行轨道的测量技术、对航天器的控制技术、通信技术以及对对接机构等关键技术。由此可见,交会对接不仅技术复杂,难度大,而且涉及面宽,它与载人飞船的总体设计、飞船的控制与稳定系统设计、飞船的动力系统、地面测控系统、通信系统等都彼此之间相互约束。所以,交会对接是一庞大的系统工程。按功能划分,它一般由以下几部分组成(见图 1.1-2)。

- 1) 惯性测量传感器组合;
- 2) 相对测量传感器组合;
- 3) GNC 系统;
- 4) 对接机构;
- 5) 人控及显示部分;
- 6) 地面测控站及其他支持设备。

实现自主交会对接要求 GNC 系统具有两个方面的功能:

- 1) 测量和确定单个航天器的位置、速度和姿态。航天器对地定向,主要是用惯性测量传感器完成。如红外地平仪、太阳传感器等,称为绝对导航;
- 2) 测量和确定两个航天器之间的相对位置、速度和姿态主要用船载相对测量传感器来完成。例如微波交会雷达、激光雷达、GPS、光学成像测量传感器等。称为相对导航。

本书主要介绍第二部分,即航天器之间的相对测量技术及其所用的各种测量传感器。

船载测量传感器实时测量两航天器之间的相对位置和速度信息,在逼近段之内同时还要测出两航天器之间的相对姿态角及角速度。测量数据经坐标转换和数据处理后,送入控制计