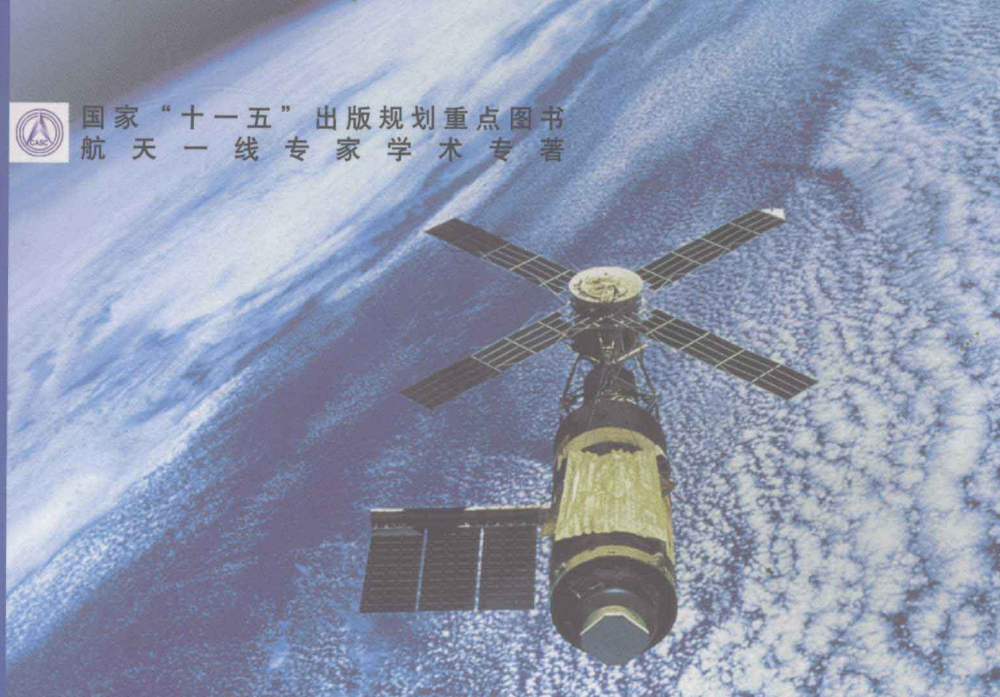




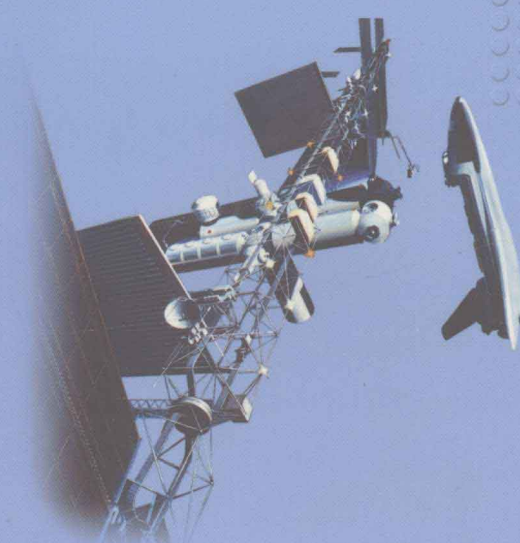
国家“十一五”出版规划重点图书  
航天一线专家学术专著




# 航天器机构技术

THE SPACECRAFT MECHANISM  
TECHNOLOGY

于登云 杨建中 等 编著



 中国科学技术出版社

- 国家“十一五”出版规划重点图书
- 航天一线专家学术专著

# 航天器机构技术

## THE SPACECRAFT MECHANISM TECHNOLOGY

于登云 杨建中 等 编著

中国科学技术出版社

· 北 京 ·

**图书在版编目(CIP)数据**

航天器机构技术/于登云等编著. —北京:中国  
科学技术出版社,2011.1

ISBN 978-7-5046-5776-3

I. ①航… II. ①于… III. ①航天器-结构②航  
天器-机构 IV. ①V414.1②V423

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 238837 号

本社图书贴有防伪标志,未贴为盗版

责任编辑 崔 玲  
封面设计 中文天地  
责任校对 韩 玲  
责任印制 安利平

中国科学技术出版社出版  
北京市海淀区中关村南大街 16 号 邮政编码:100081  
电话:010-62103208 传真:010-62183872  
<http://www.kjpbbooks.com.cn>  
科学普及出版社发行部发行  
北京长宁印刷有限公司印刷

\*

开本:787 毫米×1092 毫米 1/16 印张:21.75 字数:550 千字  
2011 年 1 月第 1 版 2011 年 1 月第 1 次印刷  
定价:50.00 元  
ISBN 978-7-5046-5776-3/V·55

---

(凡购买本社的图书,如有缺页、倒页、  
脱页者,本社发行部负责调换)

# 序

“神舟五号”、“神舟六号”飞船两次成功载人飞行，“神舟七号”飞船成功实施空间出舱活动以及“嫦娥一号”和“嫦娥二号”绕月探测卫星对月球成功探测，我国航天器技术的研究取得了举世瞩目的成就。从技术发展的角度讲，这些成就的取得得益于若干专业技术的发展，航天器机构技术的发展就是其中之一。

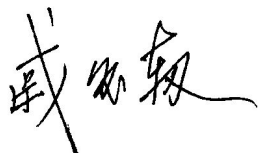
航天器机构是航天器上通过机械运动来完成特定功能的一切装置的总称，它是随着航天器技术的发展，逐渐发展起来的机构技术的一个分支。从首颗人造卫星上的鞭状展开天线，到当前国际空间站上移动服务系统(MSS)的大型空间机械臂，航天器机构技术的研究取得了丰硕的成果，该技术的发展，大大促进了航天器技术的发展。

随着航天器功能的增加，越来越多的功能部件需要航天器机构来驱动和操控。航天器机构的可靠性，往往决定了这些功能部件能否正常工作，进而决定了整个航天器飞行任务的成败。因此，全面了解、深入掌握航天器机构技术是保证航天器研制顺利进行、保证航天器可靠工作的重要基础之一。

该书是我国第一部全面、系统、深入地介绍航天器机构技术的专著。作者从一般机构学入手，把航天器机构技术与一般机构技术紧密联系起来，并对航天器机构进行了初步分类。该书详细介绍了航天器常见机构的特点、组成、设计、试验及应用，同时对航天器机构的一般技术问题，包括设计、制造、仿真、试验等技术进行了系统阐述。

该书内容丰富，系统完整，理论与实践结合密切。在对已有研究成果及经验教训全面总结的基础上，对机构技术的发展趋势进行了展望，是一部值得肯定和阅读的参考书。该书的出版必将对我国航天器机构技术的应用和发展提供强有力的技术支持，为我国航天器研制技术的进一步发展奠定坚实的技术基础。

中国工程院院士  
神舟飞船总设计师



2010年10月

# 前 言

航天器机构技术是以传统的机构学理论为基础,以空间应用为目标逐渐发展起来的机构技术的一个分支。航天器机构技术的研究范围包括机构的设计技术、制造技术、仿真技术、试验技术以及可靠性技术等。本书介绍了常见机构的类别和特点,总结了国内外已有机构技术的研究成果,在此基础上结合工程实际应用,重点介绍了机构的设计技术、制造技术、仿真技术以及环境试验和可靠性试验技术等内容,力求为读者提供一个系统、全面了解航天器机构及其研制过程的窗口。

全书共分12章。

第1章介绍了航天器机构的特点、分类、用途、研制过程及其展望。

第2章介绍了航天器机构的主要环境条件及环境防护措施。

第3章介绍了航天器机构的常用组件,包括机构关节、传动组件、驱动组件、缓冲组件、锁定组件、反馈组件等。

第4~7章分别详细介绍释放装置、展开机构、缓冲装置、跟踪指向机构的特点、类别、基本设计方法、主要性能试验、应用,并给出了相应的设计实例。

第8章概括介绍了其他常见航天器机构的特点、类别、应用、基本设计方法及主要性能试验,包括舱门机构、空间对接机构、惯性执行机构等。

第9章介绍了输入条件分析、常用材料特性、基本设计内容、构造设计、可靠性设计等。

第10章介绍了航天器机构工艺规程的制定原则、常见机械加工及装配工艺、典型工艺不当引起的机构失效及其对策等,并给出了机构加工实例。

第11章介绍了机构运动学、动力学基本问题,以及仿真内容、仿真方法、仿真流程等,并给出了仿真分析实例。

第12章介绍了航天器机构地面环境试验、发射环境试验、空间

环境试验以及可靠性试验的内容、方法及注意事项等,并给出了试验实例。

本书作者均为航天器机构研究方面的专业技术人员。第1章、第2章由于登云编写,第3章、第4章、第6章、第9章、第10章由杨建中编写,第5章由关富玲编写,第7章由高星编写,第8章由娄汉文和卢靖华编写,第11章由张志娟、关晓东和杨雷编写,第12章由孙立臣编写。全书由于登云、杨建中统稿。

本书承蒙陈烈民、赵坚成、刘立平、孙京、刘志全、童靖宇研究员的审阅,并提出了许多宝贵意见,作者深表感谢。

孙京、曾福明、满剑锋、商红军、孙国鹏、张文明、杨巧龙、赖小明、祁玉峰、朱汪、徐青华、罗敏、程刚、从强、娄汉文等为本书提供了许多资料,并对本书的相关内容提出了宝贵意见。朱汪为本书文字及图表编辑做了大量工作。刘红卫为本书的编写做了不少组织工作,在此一并感谢。

该书特别适合从事航天器机构技术研究的工程技术人员参考,也可以作为相关专业的研究生或本科生教材。

由于作者水平有限,书中难免存在不当之处,恳请读者批评指正。

作者

2010年10月

# 目 录

<b>第1章 概 论</b> .....	(1)
1.1 航天器机构的基本概念与特点 .....	(1)
1.2 航天器机构的功能、组成与分类 .....	(2)
1.3 航天器机构的研制 .....	(5)
1.4 航天器机构技术的发展 .....	(9)
<b>第2章 机构环境及环境保护</b> .....	(13)
2.1 概述 .....	(13)
2.2 地面环境及其环境保护 .....	(13)
2.3 发射环境及其环境保护 .....	(18)
2.4 空间环境及其环境保护 .....	(20)
2.5 再入环境及其环境保护 .....	(22)
2.6 月面环境及其环境保护 .....	(24)
2.7 环境影响的综合考虑 .....	(25)
<b>第3章 机构主要组件</b> .....	(27)
3.1 概述 .....	(27)
3.2 活动关节 .....	(27)
3.3 驱动组件 .....	(37)
3.4 传动组件 .....	(43)
3.5 缓冲组件 .....	(47)
3.6 锁定组件 .....	(47)
3.7 反馈组件 .....	(48)
3.8 机构组件设计实例 .....	(54)
<b>第4章 释放装置</b> .....	(62)
4.1 概述 .....	(62)
4.2 火工装置 .....	(62)
4.3 非火工装置 .....	(74)
4.4 释放装置设计实例 .....	(80)
4.5 密封及润滑 .....	(88)
4.6 释放装置试验 .....	(90)
<b>第5章 展开机构</b> .....	(94)
5.1 概述 .....	(94)
5.2 一维展开机构 .....	(94)
5.3 二维展开机构 .....	(104)

5.4	三维展开机构	(108)
5.5	展开机构试验	(111)
5.6	展开机构设计实例	(116)
<b>第6章</b>	<b>缓冲装置</b>	<b>(129)</b>
6.1	概述	(129)
6.2	缓冲方法	(130)
6.3	着陆缓冲机构	(140)
6.4	座椅缓冲装置	(150)
6.5	缓冲装置试验	(157)
<b>第7章</b>	<b>跟踪指向机构</b>	<b>(162)</b>
7.1	概述	(162)
7.2	跟踪指向机构分类	(162)
7.3	国内外发展现状	(163)
7.4	基本组成、主要技术要求及工作原理	(166)
7.5	跟踪指向机构设计	(169)
7.6	跟踪指向机构对准和标定	(190)
7.7	跟踪指向机构试验	(191)
<b>第8章</b>	<b>其他常见机构</b>	<b>(198)</b>
8.1	概述	(198)
8.2	舱门机构	(198)
8.3	空间对接机构	(205)
8.4	惯性执行机构	(213)
<b>第9章</b>	<b>航天器机构设计技术</b>	<b>(229)</b>
9.1	概述	(229)
9.2	机构设计应考虑的问题及基本设计步骤	(229)
9.3	航天器机构设计技术要求	(231)
9.4	航天器机构初步方案设计	(235)
9.5	航天器机构详细设计	(236)
9.6	航天器机构常用材料	(244)
9.7	航天器机构可靠性设计	(250)
<b>第10章</b>	<b>机构制造技术</b>	<b>(258)</b>
10.1	概述	(258)
10.2	机械加工工艺规程	(258)
10.3	常见机构加工技术	(263)
10.4	热处理及表面处理技术	(271)
10.5	常用检验方法	(277)



10.6	机构装配技术	(280)
10.7	常见工艺问题引起的机构失效及其纠正措施	(284)
10.8	机构制造实例	(286)
<b>第 11 章</b>	<b>机构仿真技术</b>	<b>(290)</b>
11.1	概述	(290)
11.2	机构仿真技术基础	(290)
11.3	机构仿真分析流程	(296)
11.4	太阳翼展开分析实例	(297)
11.5	差动式缓冲阻尼机构分析实例	(301)
11.6	虚拟样机技术在着陆缓冲机构分析中的应用	(308)
<b>第 12 章</b>	<b>机构环境试验与可靠性试验技术</b>	<b>(313)</b>
12.1	概述	(313)
12.2	地面环境试验	(314)
12.3	发射环境试验	(318)
12.4	空间运行环境试验	(324)
12.5	再入返回环境试验(烧蚀试验)	(329)
12.6	月表环境模拟试验	(330)
12.7	可靠性试验	(332)
12.8	典型机构环境试验实例	(334)

# 第 1 章 概 论

## 1.1 航天器机构的基本概念与特点

### 1.1.1 航天器机构的基本概念

要谈航天器机构技术,首先需要回答什么是机构?什么是航天器机构?机构的定义有许多种,传统的机构定义是:机构是用来传递运动和动力的,有一个构件为机架的,用运动副连接起来的构件系统<sup>[1]</sup>,是具有确定运动的实物组合体<sup>[2]</sup>。机构的突出特点是通过运动实现预期的功能。因此,可以把机构看作是通过运动实现预期功能的实物组合体。

航天器机构是指在航天器上应用的机构,其组成部分之间具有一定的运动关系,能够通过内部能量或外部能量转化完成有用的机械功,或者通过机械运动来吸收外部机械能。简单地说,航天器机构是航天器上通过机械运动来完成特定功能的一切装置的总称。

航天器机构通过航天器机构技术来实现。航天器机构技术是随着航天器技术的发展,以传统的机构学理论为基础,以空间应用为目标而逐渐发展起来的机构技术的一个分支。航天器机构技术的研究范围,已经超出了传统机构。它不仅研究机构内部运动的传递、各构件之间的作用力以及对外做功性能,而且还研究机构的制造技术、试验技术、驱动技术以及可靠性技术等<sup>[3]</sup>。因此,航天器机构的范畴实际上已经超出了传统机构的定义。目前习惯上往往把某些航天器机构称为装置,如释放装置、缓冲装置等。因此在本书中,不严格区分机构与装置这两个概念。

### 1.1.2 航天器机构的特点

由于航天器所要经历的环境的特殊性以及其在轨维修、维护的困难性,与在地面应用的机构相比,航天器机构具有以下特点:

(1)经历的环境恶劣。所有航天器机构都要经历发射过程中严酷的力学环境。许多航天器机构在舱外工作,在空间环境中需要承受较大的温度变化、较强的辐照、较高的真空度等,因此经历的环境比地面环境恶劣得多。

(2)可靠性要求高。随着航天器寿命的提高,航天器机构的可靠性要求越来越高,如某些卫星的太阳翼对日定向驱动机构,要求无故障运行 15 年以上,这远远超出了地面应用机构的可靠性要求。因为地面应用的机构可以通过定期维修保养,来满足长期可靠运行的

要求。

(3) 重量、体积和功耗限制严。由于运载火箭的能力及其有效包络的限制,对航天器机构的重量和发射过程中的体积往往有严格的要求。同时,由于航天器能源供给的有限性,对航天器机构的功耗也往往有着严格的限制。因此,航天器机构通常采用比强度和比模量较高的材料及功耗低的元器件制造,在发射时许多航天器机构处于收拢状态,达到预定的轨道后再展开。

(4) 组成相对简单。由于重量限制及高可靠性要求,航天器机构的组成一般比较简单,以减少故障环节,保证可靠性要求。同时,其功能也比较单一,不同的功能一般通过不同的机构来完成,以便于整个航天器可靠性的提高。

(5) 在轨维修维护难以实现。航天器机构随航天器发射后,在轨维修维护非常困难,除个别航天器上的机构可以通过航天员在轨维修维护外,绝大多数航天器上的机构都难以实现在轨维修维护。

(6) 制造工艺特殊。为了保证航天器机构在轨工作的可靠性,许多传统工艺都不能直接应用于航天器机构的制造,往往需要采用特殊材料以及特殊工艺。

(7) 试验验证技术复杂。为了全面验证机构能否经受预期的环境,或在预期的环境下能否顺利工作,一般需要在地面进行大量的模拟验证试验。许多试验都需要专用的设备与测量仪器,如模拟失重设备、真空设备、温度循环设备及各种专用温度、冲击传感器等,试验验证技术非常复杂。

## 1.2 航天器机构的功能、组成与分类

### 1.2.1 航天器机构的功能

不同航天器上的机构具有不同的特定功能要求,即使同一航天器上的不同机构需要完成的具体功能也不相同,而且随着新型航天器的不断出现,航天器机构的功能必将不断变化,因此很难用简单的语言来全面描述或概括航天器机构的所有功能。根据目前已有航天器机构的功能特点,可以认为航天器机构的功能至少包括以下几个方面:①实现航天器之间或航天器与部件之间的压紧与释放;②实现航天器之间或航天器与部件之间的空间对接与分离;③实现航天器部件的展开、锁定或形状保持;④缓冲航天器或航天员受到的冲击;⑤驱动目标到预定的位置或实时保持相应的姿态要求;⑥通过自身动量的变化调整航天器的姿态。

### 1.2.2 航天器机构的组成

尽管不同航天器机构的具体功能不同,但其最基本的组成相似。一般而言,航天器机构主要包括以下五个组成部分:

(1) 动力源。驱动航天器机构运动的动力来源,如电机、弹簧、高压气体、石蜡、记忆合金元件以及火工药剂等。

(2) 执行组件。最终执行或完成机构预定功能的部分,如机器人机构的末端执行器,对

接机构的捕获环,火工分离装置中的活塞或推杆等。

(3)传动组件。介于执行组件与动力源之间的部分,它把动力源或机构外部的运动或力传递给执行组件。如谐波齿轮传动、行星齿轮传动和滚珠丝杠传动。

(4)控制反馈组件。根据反馈组件的信号来控制机构工作,以使机构输出的运动或动力满足要求;或仅监测机构的工作情况,以便判断机构是否正常工作,如行程开关、位置传感器等。

(5)连接支承组件。把上述四个组成部分连接到一起,或提供机构与航天器之间连接接口的部分。这部分往往为机构提供刚度和强度的保证,因此也具有航天器结构的作用。

应该说明的是,不是所有的航天器机构都包括上述五个部分,但至少应包括连接支撑组件及执行组件。

在许多情况下,机构的组成部分都是以组件的形式出现的。在实际工作中,常用零件、部件和组件来共同描述机构的组成,如图1-1所示。

在实际工程研制中,有时也按组成航天器机构零、部件的重要程度把它们分为关键件、重要件和一般件。关键件是指如果该件出现故障,就可能导致整个机构产品的功能失效,进而危及人身安全或整个航天器的飞行任务。重要件是指如果该件出现故障,将导致机构产品的功能失效,但不会危及整个航天器的飞行任务,或人身安全。一般件是指即使该件出现故障,也不会影响机构产品的主要性能。

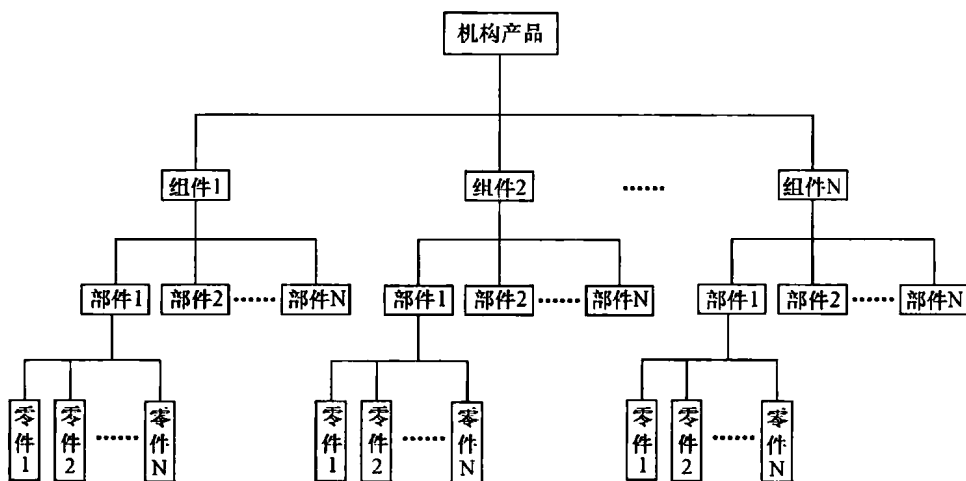


图 1-1 航天器机构的组成层次示意图

### 1.2.3 航天器机构的分类

由于航天器机构的种类繁多、功能不一,而且随着航天器技术的发展,航天器机构也在不断变化和发展,因此目前很难对航天器机构进行准确分类。但是为了介绍方便,根据已有航天器机构的特点,本书尝试性地对其进行分类。航天器机构的分类可以有多种方式。

首先,可以根据航天器机构工作的时间特点把它们分为三类,即长期连续性工作机构、长期周期性(间歇性)工作机构及一次性工作机构。长期连续性工作机构,需要在很长时间内连续地驱动有效载荷运动,如跟踪指向机构等。长期周期性工作的机构,需要在很长时间内的某些时间段重复驱动有效载荷工作,如空间对接机构、舱门机构和空间机器人机构等。一次性工作机构仅在某一瞬时驱动有效载荷工作,如展开机构、释放装置和缓冲装置等。

其次,可以根据航天器机构的功能特点进行分类,如释放装置、展开机构、缓冲装置、跟踪指向机构、空间对接机构、机器人机构、惯性执行机构及其他机构。

另外,还可以根据机构所属航天器分系统的不同来分类,如结构分系统的机构(或称为结构与机构分系统)、姿态控制分系统的机构、热控分系统的机构、回收着陆分系统的机构等。

以下按航天器机构的功能进行分类,因此,所介绍的机构并不局限于结构与机构分系统中的机构。

(1)释放装置。释放装置也称为压紧释放装置或释放分离装置,它主要用于航天器舱段及部件的压紧释放或分离,如航天器与运载火箭的释放分离、载人飞船伞舱盖的弹抛、太阳翼的压紧释放、返回舱与其他舱段的连接与分离等。释放装置有多种类型,根据释放或分离动力的不同,可以分为火工装置及非火工装置。根据释放或分离形式的不同,又可以分为分离螺栓、解锁螺母、分离推杆、拔销器、切割器及连接锁等<sup>[4]</sup>。

(2)展开机构。展开机构主要用于以收拢方式发射的航天器部件的在轨展开,有时也用于支撑结构的在轨展开。根据展开轨迹的不同,可以分为一维展开机构,如杆状天线展开机构;二维展开机构,如二维展开太阳翼展开机构;三维展开机构,如某些天线展开机构。根据展开机构驱动的有效载荷不同,可以分为天线展开机构、太阳翼展开机构、辐射器展开机构及其他展开机构等<sup>[5-6]</sup>。

(3)缓冲装置。缓冲装置主要用于航天器着陆及部件展开时的冲击缓冲。根据其在各方向的缓冲能力不同,可以分为一维缓冲装置,如“神舟号”飞船航天员座椅缓冲装置<sup>[7]</sup>;多维缓冲装置,如阿波罗载人登月舱的着陆缓冲装置<sup>[8]</sup>。根据其缓冲方法的不同,又可以分为液压阻尼缓冲装置<sup>[9]</sup>、金属变形缓冲装置、电磁阻尼缓冲装置、磁(电)流变液缓冲装置<sup>[10-11]</sup>、弹簧缓冲装置、摩擦缓冲装置等。

(4)跟踪指向机构。跟踪指向机构主要用于驱动有效载荷实现对目标的跟踪与指向。根据有效载荷的不同可以把它分为天线指向机构、太阳翼对日定向机构及其他指向机构<sup>[3]</sup>。根据跟踪指向机构对有效载荷驱动的形式不同,可以把它分为单轴跟踪指向机构、双轴跟踪指向机构、三轴跟踪指向机构、Stewart 并联驱动平台及其他跟踪指向机构。相对而言单轴、双轴及三轴跟踪指向机构具有跟踪范围大、精度低、承载能力低、惯性大的特点,而 Stewart 并联驱动平台具有跟踪范围小、精度高、承载能力大、惯性小的特点<sup>[12]</sup>。Stewart 并联驱动平台还是一种典型的并联机器人机构。

(5)空间对接机构。空间对接机构用于两航天器在空间的对接及分离。在阿波罗计划中曾提出多种对接机构方案<sup>[13]</sup>。根据相互对接的两部分机构的形式不同,可以把对接机构分为杆—椎式对接机构及异体同构周边式对接机构两大类。前者的对接初始条件要求相对

较低,重量小,承载能力小,但是有主动和被动部分之分,不利于空间救生。后者的对接初始条件要求较严,重量大,承载能力大,但由于主动与被动对接部分的接口相同,没有主动与被动之分,利于空间救生。对于非载人航天器,也还有其他一些型式的对接机构<sup>[14]</sup>。

(6) 机器人机构。机器人机构是组成机器人的基础,根据工作时运动及动力的传递路径不同,可以把它分为串联机器人机构及并联机器人机构,如图 1-2、图 1-3 所示。前者的工作空间大,可以实现较大范围的运动及空间抓取工作,但运动精度低,刚度小,惯性大。目前主要用于空间站、航天飞机等载人航天器的舱外维修和维护<sup>[15]</sup>以及月球、火星漫游车的采样<sup>[16]</sup>。后者的刚度大、惯性小,对输入误差不敏感,运动精度高,但运动空间小,主要用于空间望远镜次镜头与主镜头的实时对齐、高精度有效载荷的振动隔离及定向驱动<sup>[17]</sup>。

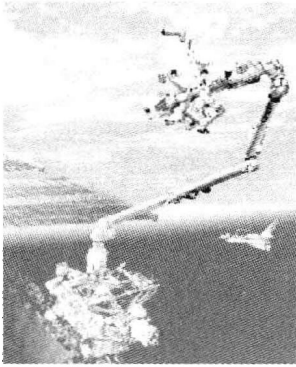


图 1-2 串联机器人机构

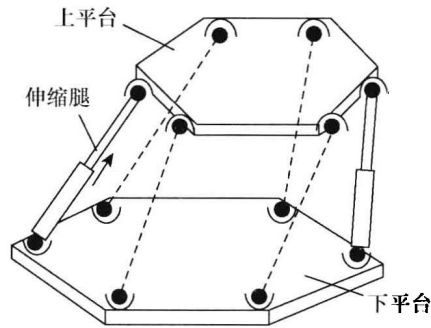


图 1-3 并联机器人机构

(7) 舱门机构。舱门机构是应用在载人航天器上的典型机构,它用于舱门的开启、关闭与锁紧。舱门机构有多种形式,根据开启时的动力不同,可以分为手动舱门机构及电动舱门机构,根据压紧的方式不同,可以分为周边压紧舱门机构及中心压紧舱门机构。

(8) 惯性执行机构。惯性执行机构是指在航天器姿态控制中所使用的飞轮,包括反作用轮、控制力矩陀螺、框架飞轮、球飞轮等。在航天器姿态控制中,通过飞轮角动量的控制,实现航天器的姿态校正,或姿态调整。到目前为止,较常用的是反作用轮和动量轮,因为这两种飞轮的结构组成比较简单。另外,处于近地轨道的大型航天器,如载人飞船,常采用控制力矩陀螺。框架飞轮和球飞轮的结构组成相对复杂,目前应用不多,随着技术的发展,这两种飞轮以其良好的可控性,受到越来越多的重视。

## 1.3 航天器机构的研制

### 1.3.1 航天器机构的研究内容

航天器机构研究的内容主要包括机构设计技术、机构仿真技术、机构制造技术及机构试

验技术研究等。

机构设计技术是机构技术最基本的研究内容,主要包括三个部分,即功能设计、结构设计及可靠性设计,这三部分的内容相互联系、相互影响。设计基本上决定了机构的可靠性,也在很大程度上影响了加工工艺性和试验方便性。

机构仿真技术是机构设计技术的延伸,也是机构制造技术及试验技术的重要依据。它根据相似原理,利用计算机及相关计算方法或软件来模拟机构的运动学、动力学等特性。通过施加不同载荷、设置不同的工况参数,对产品设计进行全方位的功能检验及各种工况的校核与优化。在实际研究过程中,仿真技术往往与设计或试验技术融为一体。

机构制造技术的研究内容较广,它主要包括工艺规程制订、机械加工、零件测量、热处理、表面处理、装配、调试等内容。制造过程是机构由图样转化为产品实物的过程,是机构性能的保证过程。

机构试验技术的研究内容也很广,它主要包括试验条件模拟、试验实施及试验结果评价技术。根据机构研制的阶段不同,可以把机构试验分为研制试验、鉴定试验及验收试验。根据试验的目的不同,也可以把机构试验分为功能试验、性能试验、环境试验和可靠性试验。试验过程是机构功能和性能的检验过程。

### 1.3.2 航天器机构的研制流程

航天器机构是航天器上的重要部件,新型航天器机构的研制一般都要经历较长的研制过程,如“阿波罗”登月舱软着陆机构的研制,从可行性论证到飞行试验经历了长达5年的时间<sup>[8]</sup>。

根据目前航天器的研制过程,可以把机构的研制流程简单分为可行性论证阶段(概念研究阶段)、方案研究阶段(模样研制阶段)、方案确定阶段(初样研制阶段)、产品定型阶段(正样研制阶段)<sup>[18]</sup>以及发射应用阶段。各阶段的主要研究内容见图1-4。

图1-4所表示的机构研制流程是指一般新型机构的研制流程。实际研制过程中,由于技术继承性不同,研制流程也有较大的差别。一般而言,继承性越大,机构研制过程就越简单,研制周期越短,研制的经济性就越好。另外,许多机构都与其驱动的有效载荷融为一体,因此,它的研制与有效载荷的研制同步完成,如某些天线展开机构。

在实际工程研制过程中,任一个阶段的任何环节都可能出现反复,有时甚至直接返回到方案研究阶段,通过进一步方案研究及设计改进解决发现的问题。对于任一阶段的设计及在转入下一阶段研制前,一般都要进行相应的评审。

(1)可行性论证阶段。可行性论证阶段是机构研制的第一个阶段,这个阶段对机构的性能要求、使用环境还不能完全准确定义,因此,只能在对有限的、关键的要求和输入条件进行综合分析的基础上,在参考国内外已有研究成果的基础上,依据设计者的经验,对机构的功能模块及可能的方案进行设想,并进行定性分析。在综合考虑可靠性、研制周期、研制成本以及技术成熟性的基础上,确定2~3个可能的方案。对其中涉及的关键技术进行分析,并初步理清关键技术的攻关途经。通过可行性论证,如发现技术储备不够,或经费难以

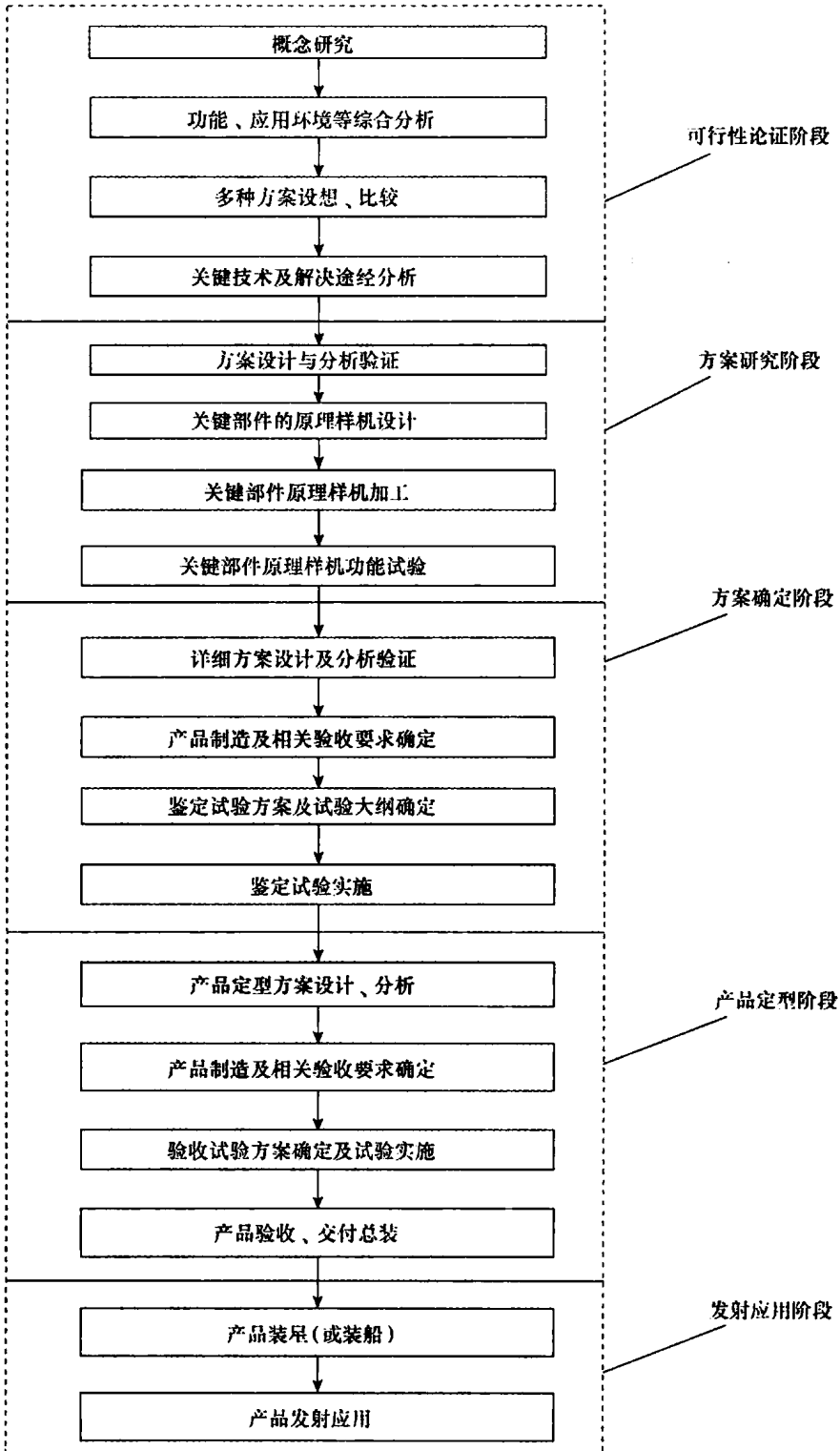


图 1-4 机构的研制流程



支持,可能终止研究。

(2)方案研究阶段。方案研究阶段是机构研究的全面开始阶段。在这一阶段要对机构的多个可行方案进行深入分析、全面比较,从而确定一种较优方案,而后进行详细的方案设计。

在方案研究过程中,一般要从方案的成熟性、可靠性、生产经济性、试验及贮存维护的简便性、安装操作的方便性等方面进行比较,在方案比较过程中,充分听取经验丰富的技术专家的建议非常重要。

方案基本确定后,就要对关键技术深入分析,并制定详细的关键技术解决方案。关键技术的解决,往往通过关键部件样机的研制来体现。如缓冲装置关键技术的解决,就体现为缓冲器的成功研制。

(3)方案确定阶段。方案确定阶段是机构研制过程中内容最多,工作任务量最大的阶段,这个阶段应把机构研制中的所有技术问题全部解决,为机构产品的定型奠定基础。在这一阶段,机构的工作环境、性能要求等设计输入条件已经明确,所以,必须对这些条件进行深入系统的分析,然后再进行设计。此阶段的主要工作内容包括功能分析、环境分析、材料选择、组成分析、各组成部分之间的连接方式确定、结构形式设计、强度分析、外形尺寸及安装接口确定等。

在方案确定阶段,机构的研制技术要求必须非常清楚、全面,准确。在该要求确定过程中,机构研制的承担者与研制要求的提出者要多次协商,反复推敲,既要确保研制要求的全面性,又要保证要求的准确性,以防止欠要求或过要求。研制技术要求不仅要考虑航天器正常工况下对机构的要求,而且还要考虑航天器异常时,可能引起的机构受力情况恶化、环境条件变化等情况,只有对后者进行全面分析,才能保证研制要求的全面性、准确性,进而保证机构的可靠性乃至整个航天器的可靠性。

该阶段的一个显著特点是要确定鉴定试验方案、试验大纲和产品验收技术要求或验收大纲。因为在这个阶段,将要研制出与产品定型阶段的状态几乎完全一致的产品。为了验证产品的性能是否满足要求,要对产品进行全面检验。同时,为了保证机构的性能除了能满足要求外,还要具有一定的裕度,试验条件一般比使用条件严酷。有时甚至还要了解某些关键性能指标的极限数值,如释放装置的极限承载能力、驱动装置的寿命、润滑膜的寿命等,以确保关键性能指标具有足够的裕度。

(4)产品定型阶段。产品定型阶段的主要任务就是固化机构产品技术状态和研制程序,确保机构的加工、装配、检验、试验、验收等研制过程质量受控。该阶段产品的设计图样、加工工艺、试验方法、验收方法不得随意变化。

该阶段生产的产品将交付航天器总装,参加日后的飞行试验,所以,对于加工过程中出现的尺寸及形状、位置精度超差问题,要慎重处理,既不能盲目地让步接受,也不能简单地作废处理。要全面、深入地分析问题的影响,包括对机构产品性能的直接影响、对接口与外形尺寸的影响以及对周围其他产品的影响。在实际问题处理时,后者易被忽视。在试验时要严格控制试验条件,既要确保产品性能得到全面验证,又要确保不能过试验。

(5)发射应用阶段。该阶段将实现机构的应用。发射应用阶段需要及时掌握机构的在