

航天飞行器传感器

Spacecraft Sensors

[美] 穆哈默德 M 阿拜德 著

范茂军 胡志新 庞 明 译
亢春梅 雷 垒 段成丽



中国计量出版社
CHINA METROLOGY PUBLISHING HOUSE

航天飞行器传感器 Spacecraft Sensors



[美] 穆哈默德 M 阿拜德 著

范茂军 胡志新 庞 明 译
亢春梅 雷 垒 段成丽



中国计量出版社

CHINA METROLOGY PUBLISHING HOUSE

图书在版编目(CIP)数据

航天飞行器传感器/[美]穆哈默德 M 阿拜德著;庞明等译. —北京:中国计量出版社,2010.3

ISBN 978 - 7 - 5026 - 3240 - 3

I. ①航… II. ①阿… ②庞… III. ①航天工程—传感器 IV. ①V443

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 033750 号

著作权合同登记号:

国字 01 - 2010 - 0457 号

Copyright © 2005

John Wiley & Sons Ltd,
The Atrium, Southern Gate, Chichester,
West Sussex PO19 8SQ, England

Telephone (+44) 1243 779777

E-mail (for orders and customer service enquiries): cs-books@wiley.co.uk

Visit our Home Page on www.wiley.com

All Rights Reserved. This translation published under license. No part of this publication may be reproduced, stored in a retrieval system or transmitted in any form or by any means, electronic, mechanical, photocopying, recording, scanning or otherwise, except under the terms of the Copyright, Designs and Patents Act 1988 or under the terms of a licence issued by the Copyright Licensing Agency Ltd, 90 Tottenham Court Road, London W1T 4LP, UK, without the permission in writing of the Publisher. Requests to the Publisher should be addressed to the Permissions Department, John Wiley & Sons Ltd, The Atrium, Southern Gate, Chichester, West Sussex PO19 8SQ, England, or emailed to permreq@wiley.co.uk, or faxed to (+44) 1243 770620.

Designations used by companies to distinguish their products are often claimed as trademarks. All brand names and product names used in this book are trade names, service marks, trademarks or registered trademarks of their respective owners. The Publisher is not associated with any product or vendor mentioned in this book.

This publication is designed to provide accurate and authoritative information in regard to the subject matter covered. It is sold on the understanding that the Publisher is not engaged in rendering professional services. If professional advice or other expert assistance is required, the services of a competent professional should be sought.

All Rights Reserved. Authorized translation from the English language edition published by John Wiley & Sons, LTD.

中国计量出版社 出版

地 址 北京和平里西街甲 2 号(邮编 100013)

电 话 (010)64275360

网 址 <http://www.zgjl.com.cn>

发 行 新华书店北京发行所

印 刷 北京市密东印刷有限公司

开 本 787mm × 1092mm 1/16

印 张 14.75

字 数 287 千字

版 次 2010 年 4 月第 1 版 2010 年 4 月第 1 次印刷

印 数 1—1 400

定 价 69.00 元

如有印装质量问题,请与本社联系调换

版权所有 侵权必究

译者的话

本书是目前第一本在航天领域中将传感器技术作为专门课程讲授的教材,其内容在美国加州大学多次讲授,同时因航天技术的快速发展此内容作为新的独立教学内容还在不同类别对象中讲授。加上本书的作者多是来源于本专业的科研和工程一线,并承担着相关课程的教学,因此本书中作者举例计算均来自实际工程内容,这使得本书反映了当前本学科的最新进展情况,因此对刚参加工程的技术人员有着极好的指导意义。

本书的内容较宽,深浅适度,尤其适合作为高校计量检测技术、仪器仪表、航天飞行器、传感器技术、探测技术等相关专业的大学高年级学生、研究生的教材,及从事工程技术开发的技术人员专业书。同时对相关专业人员拓展传感器的专业知识也有着极大的帮助。

为加速我国在此方面的进步,我和一些长期从事航天传感器技术研究及开发同事,以及有关高校的老师 and 出版社相关同志,对多种同类书进行认真比较后,选定了本书,翻译并推荐给国内的读者,希望推动我国传感器技术和航天技术的快速发展。

感谢中国计量出版社的大力支持,感谢出版社负责本书出版工作的刘宝兰副总编及向丽同志的支持,感谢电子科技集团 49 所的刘学邻所长、郇帅、简荣坤、姚伟、史秋、徐冬、魏鸿雁、刘光辉等同志在翻译过程中的大力支持,感谢航天科技集团公司、航天科工集团公司以及哈尔滨工业大学等相关单位专家和有关高校的老师的大力支持。

感谢本书原作者和原出版社的信任和授权,对此再次表示诚挚的谢意。

译者
2010 年 6 月

序 言

尽管人类的感覺器官十分神奇,但它们在接收、解释和分析某些特殊现象信息方面却受到神经系统自身能力的限制。通常情况下,传感器是人类对所面临的现象获取更多认知能力的一种延伸。光学器件使我们能够感知超出可见光范围之外的射线,也使我们能够看见很远距离之外的物体。天线能使我们聆听到太空的声音。在我们的嗅觉难以正常使用的环境中,化学气体传感器可以代替我们的嗅觉。传感器正是利用这些技术的发展来接收和分析各种现象的。将这些传感器放置在太空中,扩大了人类对地球、大气以及其他方面的认知范围,也拓展了过去仅仅由人类感官所得到的任何太空信息的范围。

航天传感器研究是一个很广泛的领域。世界上已经有许多关于航天传感器的各个方面的专著,例如红外线、遥感、信号过滤和雷达等。但是涵盖所有这些领域的书并不多见,因为事实证明在有限的篇幅内将如此多的信息进行充分阐述是十分困难的。本书试图将这些内容汇集在一起以帮助人们理解它们在航天应用中是如何共同完成工作的。我不打算讨论某种特定传感器的结果,只想研究物理学的基本原理、如何解释现象以及怎样从这些方程中衍生出设计方案,以使我们能进行实际的测量。我试图将与传感器有关的物理学、数学、商业以及工程应用等内容涵盖在一本书中。一个航天传感器的开发、制造和飞行的成功与否完全取决于共同致力于每一个研究步骤的研发团队。这个团队通常由不同学科的人员组成,例如商业、科学、设计和工程等。通常,每个学科都有自己的专门语言、逻辑和规则。我的经验证明:每个传感器研制的成功都是基于将上述多领域进行融合,以生产出一个综合性产品,这也是本书的目的。

本书的写作灵感来源于我在工厂的经验以及大学期间的授课经验。对于我来说,传授知识是一件令我十分愉快的事。每一门课都是一个学习经历,它给予我知识,这些知识有助于我解决专业领域中的各种问题。在讲授了一些经典课程后——例如航天器动力学、航天器结构、航天器姿态动力学和控制等——我感到无论对于学术领域还是航天工业领域,设立一门航天传感器的专门课程并出版一本专著变得越来越必要。这是一个很大的挑战。

本书对于专业和非专业的工程人员、科学家以及数学家来说是一本关于航天传感器的全面回顾的书籍。第一章将从概念(物理学、现象学)、设计、制作、测试、

连接、集成以及在轨运行等方面介绍传感器的研发过程。第2章、第3章将会阐述在空间中应用到的统计分析、故障测试评估、降噪和过滤优化方法等。后面几章将分别介绍在航天工业中用到的典型传感器——红外线传感器(第4章)、无源微波传感器(第5章)、有源微波或雷达(第6章)以及航天GPS传感器(第7章)。

本书给出了过去和现在航天工业中所使用的轨道传感器的许多例子。这些例子都放在每一章的最后部分,读者可以将各章中阐述的不同特性与工作中的实例联系起来。制作实例中的曲线图的编码都给出了脚注,它是用Matlab程序绘制的。这些编码本身并不具有什么代表性,给出这些编码的目的是为读者画出自己需要的曲线提供一个可供参考的起点,以满足读者的需要。

如果没有我妻子的耐心和她精神上的支持,将不会有本书的问世。我十分感激她对本书的勤勉的编辑工作。我要感谢我的同事Jim Simpson,他浏览了本书,他的评论和探讨都使我阐述的主题更加学术化和专业化。感谢Brian Freeman,他同意作为本书的合著者,但是由于他的工作调动而未能实现。感谢Gregor Waldherr, Paul Siqueira, Bruce Krohn 和 Geroge Wolfe,他们分别校对了本书的部分内容。感谢ULCA的推广教师允许我引进这样一门课,这有助于我规划、设计本书,感谢ULCA的推广学生,他们帮助我把握这门课的方向,并引导我完成本书的最终稿。感谢USC的学生,他们帮我明确他们所希望学习、掌握和接触的感兴趣的领域。特别感谢我的儿子,他纯真的欢笑促使我前行,感谢我的亲友们对我的帮助,感谢我的父母和我的兄弟们对我一直以来坚定的支持和他们给予我的微笑。

Mohamed Abid

美国 加利福尼亚州 洛杉矶

目 录

航天飞行器传感器

1 引言	1
1.1 概念设计	2
1.2 航天飞行器传感器的成本	3
1.2.1 成本估算简介	4
1.2.2 成本数据	5
1.2.3 成本估算方法学	5
1.2.4 成本估算关系方法	7
1.2.5 保险成本	8
1.3 航天飞行器传感器权衡研究	9
1.4 航天飞行器环境	10
1.4.1 真空	11
1.4.2 中性环境影响	12
1.4.3 等离子体环境效应	12
1.4.4 辐射环境影响	12
1.4.5 污染	13
1.4.6 复合影响	13
1.4.7 空间垃圾	14
1.5 标准	14
1.6 封装	16
1.7 接口与集成	17
1.7.1 Mil-STD 1553 接口	17
1.7.2 邻近问题	20
1.7.3 集成	20
1.8 测试	21
1.8.1 性能测试	22
1.8.2 热测试	22
1.8.3 电晕弧	24

1.8.4	电磁兼容(EMC)和电磁干扰(EMI)测试	24
1.8.5	振动测试	25
1.8.6	平衡	26
1.8.7	任务仿真测试	27
1.9	在轨传感器	27
1.9.1	参考坐标系	27
1.9.2	三维空间的坐标变换	29
1.9.3	圆锥曲线轨迹	31
1.9.4	航天飞行器的姿态	33
	参考文献	36
2	传感器与信号	38
2.1	传感器特性	38
2.1.1	准确度和精确度	38
2.1.2	滞后	39
2.1.3	标定	40
2.1.4	传递函数	40
2.2	信号种类	41
2.2.1	信号特性	42
2.2.2	周期信号	43
2.2.3	脉冲信号	43
2.2.4	随机信号	44
2.3	转换信号	51
2.3.1	模-数转换器	51
2.3.2	数-模转换器	55
2.3.3	数-模转换器与模-数转换器的误差	55
2.3.4	调制	56
2.4	数据分析	59
2.4.1	不确定度分析与误差传递	61
2.4.2	回归分析	62
2.4.3	最小二乘法	62
2.4.4	傅立叶分析	63
	参考文献	66
3	航天飞行器传感器中的噪声与滤波	68
3.1	内部噪声	68
3.1.1	热噪声	68
3.1.2	热电动势	69
3.1.3	参数噪声	70

3.1.4 暗电流	70
3.1.5 散粒噪声	70
3.1.6 过量噪声或 $1/f$ 噪声	71
3.1.7 介电吸收	71
3.2 外部噪声	71
3.2.1 杂波噪声	71
3.2.2 干扰噪声	72
3.2.3 无线电频率耦合	73
3.2.4 电磁场耦合	73
3.2.5 电感耦合	73
3.3 信噪比	73
3.4 滤波器类型	74
3.4.1 低通滤波器	77
3.4.2 高通滤波器	78
3.4.3 带通滤波器	80
3.5 数字滤波	81
3.5.1 窗函数设计	84
3.5.2 FIR 滤波器设计举例	85
3.5.3 IIR 滤波器设计	86
3.6 微波滤波器	86
3.7 光滤波器	88
3.8 数字图像滤波	90
3.9 卡尔曼滤波器	90
3.9.1 状态空间	91
3.9.2 离散卡尔曼滤波器	91
参考文献	93
4 红外传感器	95
4.1 电磁波	95
4.1.1 电磁波谱	95
4.1.2 麦克斯韦方程	97
4.1.3 波动方程	99
4.1.4 麦克斯韦方程解	101
4.1.5 相速和群速	102
4.1.6 偏振	103
4.1.7 辐射	104
4.1.8 辐照度	105
4.1.9 干涉	106

4.1.10 衍射	107
4.1.11 黑体辐射	108
4.2 物质间的相互作用	110
4.2.1 大气吸收	111
4.2.2 反射	112
4.2.3 散射	112
4.3 光学	113
4.3.1 折射/反射	114
4.3.2 凹面镜	116
4.3.3 透镜	117
4.3.4 透镜组合	118
4.3.5 像差	120
4.3.6 光学分辨率	120
4.4 扫描机制	122
4.4.1 线性排列:Pushbroom 扫描	123
4.4.2 Wiskbroom 扫描	123
4.4.3 扫描仪参数	124
4.5 光学探测器	124
4.5.1 半导体	125
4.5.2 光电效应	126
4.5.3 探测器性能参数	127
4.5.4 探测器红视	127
4.5.5 碲化铟光敏二极管	128
4.5.6 碲化汞镉光敏二极管	128
4.5.7 热控制	129
4.6 地球资源探测卫星 7:ETM +	130
4.7 地球卫星	132
4.7.1 地球卫星:热红外传感器	133
4.7.2 地球卫星:短波红外传感器	134
4.7.3 地球卫星:可视近红外探测器	135
4.8 地球同步环境卫星(GOES)	136
4.8.1 GOES-I 成像器	137
4.8.2 GOES-I/M 测声器	138
4.9 DSP 和 SBIRS	139
参考文献	141
5 无源微波传感器	143
5.1 天线	143

5.1.1 矢量电位	143
5.1.2 微型天线	144
5.1.3 天线辐射图	147
5.1.4 方向性和增益	149
5.1.5 天线极化	150
5.1.6 波导	151
5.1.7 天线类型	155
5.2 相控阵	160
5.2.1 双天线简化阵	160
5.2.2 线性天线阵	161
5.2.3 二维天线阵	163
5.2.4 束流控制	164
5.3 辐射计	165
5.3.1 天线的功率-温度对应	166
5.3.2 辐射线测定法在远程温度测量中的应用	167
5.3.3 狄基(Dicke)辐射计	169
5.3.4 辐射测量灵敏度	170
5.4 Aqua:先进微波扫描辐射计-E(AMSR-E)	171
5.5 SeaSat:扫描式多通道微波辐射计(SMMR)	173
5.6 Envisat:微波辐射计(MWR)	174
参考文献	176
6 空基雷达传感器	177
6.1 雷达	177
6.1.1 概述	177
6.1.2 频率带	178
6.1.3 雷达平衡方程	178
6.1.4 雷达距离方程	180
6.1.5 雷达横截面	182
6.1.6 虚警报	183
6.1.7 多普勒雷达和多普勒效应	184
6.1.8 分辨率	189
6.1.9 射频功率放大器	192
6.2 雷达成像	193
6.3 测高学	194
6.4 Envisat:RA-2	196
6.5 合成孔径雷达	197
6.6 Envisat:ASAR	199

6.7	干涉 SAR	200
6.8	地面穿透雷达(GPR)	202
	MARSIS	203
	参考文献	205
7	全球定位系统(GPS)	206
7.1	GPS 概述	206
7.2	概念	207
7.3	GPS 信号	208
7.3.1	结构	209
7.3.2	GPS 数据	210
7.4	GPS 接收器	211
7.5	GPS 信号处理	212
7.5.1	相位编码技术	212
7.5.2	载波相位技术	214
7.5.3	GPS 误差源	214
7.5.4	GPS 时钟	215
7.6	GPS 覆盖	216
7.7	GPS 用于大气测量	217
7.8	对接/会合	220
7.9	姿态测定	220
7.10	业余无线电通讯卫星 40 (AO-40)	221
	参考文献	222

1 引言

从简单的热电偶到复杂的雷达系统,航天传感器是一种应用广泛的器件。无论传感器的复杂程度如何,都包含了从最初的概念到设计、概算、开发、构建、测试发射和确保成功执行飞行任务等一系列步骤。虽然没有规定必须遵循一个具体的设计时间顺序表,但开发初期通常要制定一个总体方案。这个方案可以根据传感器的性能、任务量以及资金情况进行修改和完善。

图 1.1 列出了一个项目的典型开发过程。各个项目在具体执行、安排等细节方面也不尽相同。承包商与签约方要事先确定关键环节,而且为了保证每个阶段的顺利进行要制定正确的开发过程。

接下来,针对传感器产品从理论到实践的各个具体过程中,提出总体建议,包括成本、交易约定、环境要求、标准、封装、接口及与试验有关的总体事项。

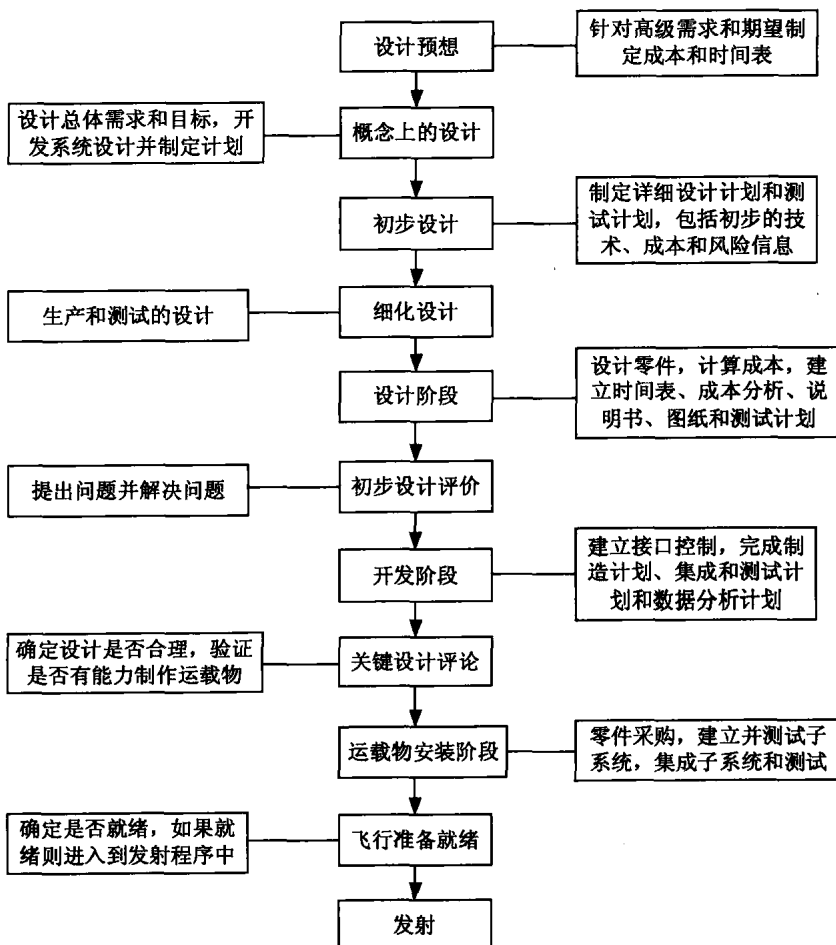


图 1.1 典型的项目生命周期

1.1 概念设计

传感器是基于对某一具体现象的探测与测量等目的逐渐发展起来的,比如:天气监测与预报、健康情况监控和飞行器的姿态与轨道监测等。通过直接与间接方法可以得到测量或监测结果。例如测量温度,采用热电偶技术可以直接得到测量结果。这是一种无需媒介的定量的直接测量。然而通过皮肤接触也能测量温度。皮肤作为一种中间介质来感触冷热情况,这就是一种定性的间接测量。测量的方法取决于现有技术的成熟程度与测量者的经验水平。

传感器的发展源于多种需要。它可能开始于对某一现象的研究或测量,然后对于这一现象重要性的论证与研究,或者是研究它对一项任务或其他项目的影响情况。这一过程可能开始于对某一项目或传感器的招标书(REF, request for proposal),比如:国防部(DoD, department of defense)、美国国家宇航局(NASA, National Aeronautics and Space Administration)或陆海空三军根据需要提出的一个建议大纲、工作声明草案或技术规范草案。REF 要得到资金资助部门的估算。图 1.2 列出了一个典型的提案过程。提案应充分满足产品性能、开发周期、成本或估算等需要。当所有项目满足所规定的目标要求时,便可以着手制定提案。

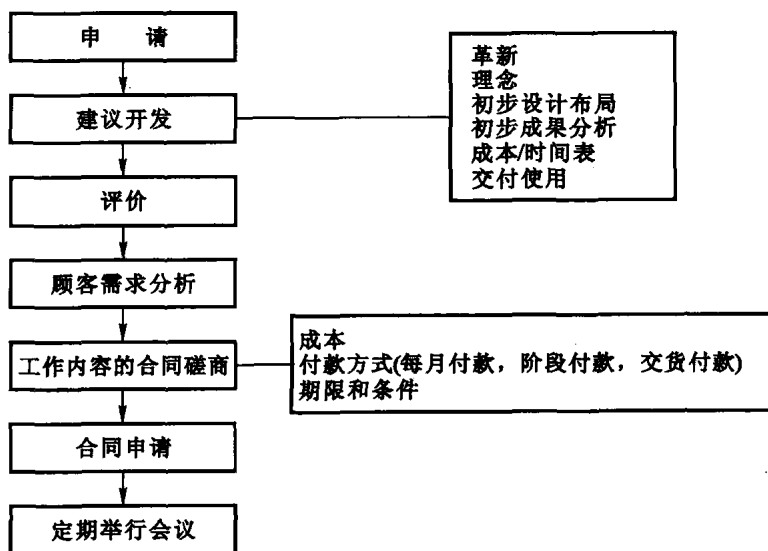


图 1.2 典型的提案周期

尽管项目提案的具体细节有所区别,但其基本结构都是从成本开始,然后是项目的进度安排,最后是基本单元的设计。在竞标中,由于开发公司之间、中间商之间及合同方之间激烈的竞争,预算工作颇为重要。概算包括两种:固定成本估算和成本外加费用。固定成本估算有估算上限要求。成本外加费用指项目的估算成本,但最终的估算划定要依赖于实际支出外加一部分运行费用,它是最终估算支出

的一部分。根据项目竞争情况,如果大笔的固定成本估算获得通过,估算资金通常要在年度财政预算中进行拨付。

根据产品的供货能力,向投资方提供的最终产品将被细分为多个阶段。开发经理和开发成员把项目细化成每个任务,然后再把任务下派给设计人员或者承揽给其他机构,目的是为了确保开展相关的工作和交付产品时间表。此阶段,项目开发时间表仅仅是一个估计。一旦开始生产,根据具体情况将不可避免地有所调整。

最后,开始开发设计思想和概念。开发情况经常依赖于开发人员的经验、当前的技术水平和开发人员的把握程度。这就是说,不止有一种开发方案。如果只有一种方案可供选择,那将令人感到失望。空间开发的商业性质,但只能从多种意见中采纳一个。为获得更多的估算费用,或更低的发展成本,通常要同时采纳多个方案,随着开发过程的逐步深入,筛选此前的备选方案。

对于一个长期项目来说,在编制和论证一个设计时,其所需资金的资助力度将加大。设计概念的论证过程是以一种简单评价来发现现象,它表明在更为而复杂的项目中,传感器能监测同样的现象。尽管论证过程因项目各有不同,但传感器的性能、项目的复杂程度、承包商的经验及项目建议方的要求令这一步骤显得尤为重要。例如:我们基于 Sagnac 效应的传感器提出一个项目,为了论证设计概念,首先用简单的结构测试其现象。分析结果成立,研制更复杂传感器产品的成功机率将会大大增加,这通常要经过建模或数字仿真来完成。这要求设计人员在设计阶段,要很好的把握产品的控制参数。

在合同或者工作声明中,特别要阐明项目要求与目标,而且在技术规范中详细说明技术要求。合同文档通常包含三项:合同、工作声明和技术规范。合同包含费用、付款计划、交付期限和条件,专利数据及硬件版权,此外,还可以包括其他相应的法律条款。工作声明列出了所要完成的工作任务,约定的交货要求清单,进度表及计划重点和评论。技术规范包括设计要求、物理接口、性能要求、零部件、材料和加工要求及测试要求。

1.2 航天飞行器传感器的成本

本节探讨航天飞行器传感器应用于系统与子系统的多种成本估算方法。这些方法的实施对象是在整个任务中处于中心地位的传感器,而不是在飞行器中起辅助作用的传感器。例如:一只姿态传感器内部集成的元件不同。它的成本也会有所不同,但人们在考虑一只姿态传感器的开发与生产成本时,如果项目中将采用多只该类产品,则相应的产品成本也将调整,采用的传感器产品数量越多,其成本将越低。这种传感器在整个总线功能(比如太阳能电池板)中是一个主要的部分。然而,当传感器要求一个有效负载时,比如雷达系统,那么整个设计要围绕传感器产品展开。由于传感器设计的唯一性,要考虑到采用不同方法来解决成本问题。

1.2.1 成本估算简介

成本估算的目的在于预测市场未来成本,便于制定战略决策、市场配置、价值链条分析和产品周期成本。设计的性质和动态性决定了没有详细设计方案难以估算成本。为了对成本进行准确估算,有必要开发成本估算模块,对最终成本有很高的参考价值。成本估算模块在已有设计理念基础上评价交易成本,支持选择新的设计概念,采用新技术成本灵敏度加以评价,开发统计成本,确定初步估算信息,并向决策者提供数据。

一般的方法是定义成本对象,称为因变量,比如重量。然后确定成本驱动,称为自变量。这两项一旦确立,要收集早期数据,并加以解释利用,例如图解分析。图解分析可以通过回归分析、拟合和其他一些常规的统计分析方法来研究数据趋势和形态。按照该办法对模型进行评估和验证。这一点非常重要,它可以增加评估的精确性。换句话说,整个成本估算预测过程是开发模型,这种模型基于汇集的数据资料,然后解释模型并应用其预测估算。收集的数据越详实,评价的准确性越高。

每个计划或每只传感器有其唯一的成本评价方法。针对航天飞行器总线或其中某部分,不可能采用完全统一的应用技术。每只传感器计划都有其特定的必要条件、困难,需要专门的评价体系。我们可以采用通用的成本评价方法,但对于每个传感器来说,最终的成本评价是唯一的。因此,每种成本评价方法都是有风险的,可以用概率分布的方法来估算这种风险。许多项目因为成本被低估、支出增加和资助消减等问题的出现而被迫终止。为了减少预算超支等一系列问题,应引入风险分析。对于某给定估算,要确保充足的成本储备资金用于风险分析,以得到可接受的置信水平。

这里有几个与成本相关的术语需要进行合理的定义。直接成本,是与设计、测试、构建与系统运行直接相关的一种成本。间接成本,经常被认为是企业的一般管理费用,对商业运行来说是必须成本,但是与诸如管理、利润或者非运转类设备的开发和运行是不直接相关的。非重复性成本,包括系统研究、设计开发、测试和评价、工具或设备等。由于项目自身的独特品质要求,非重复性成本涵盖于整个项目中,但与整个项目周期内反复出现的重复性成本不同,它包括:如运输工具制造、计划任务、航天飞行器飞行前准备与检查、飞行中的设备运转、飞行后的检查与维修、行程成本、推进器等易耗品及训练等。空间飞行成本的主要消耗维修方面,是利用工具对飞行器进行保养与维护的成本,这关系到装置能否成功发射。

成本估算涵盖了整个产品的生命周期成本(LCC),包括开发、生产、操作、新系统的支撑与部署等一系列成本。抛开开发与生产系统的直接成本,还要考虑系统生命周期内的其他成本,这十分重要。因为在诸多竞争系统中可供选择的系统可能很昂贵,但在后来具体的运作和支撑过程中,可能是最便宜的。

“学习曲线”(LC, Learning Curve)通常是一公司的经验标尺,它对构建、设计系

统或子系统做了约定。当生产同种产品时,因为大批量生产同种产品,效率增加,而单位劳动成本降低,“学习曲线”能反映劳动力成本的消减,当第二次生产同类产品时,生产耗时会有所减小。对流通中的传感器来说“学习曲线”不再重要,但在成本估算中却很重要。

标准化是对产品数据进行调整的过程,可以解决通胀率变化、直接间接成本、重复性和非重复性成本、生产率变化、生产终止和学习曲线效应等一系列的问题。同时,也要考虑到一些不可预见事物的发生,比如罢工、重要测试的失效或自然灾害造成的数据波动。通过把成本换算成年度不变币值,可以把由货币价格波动引发的成本水平变化降到最小。

通常,在明确的时间表中提出任务后,相应的成本即得到确定。但是,重要决策的出台可能使得空间任务得以顺利完成,也可能使得航天飞行器离轨而终止任务。当任务执行过程超出计划表规定,此时的做法通常是向其他公司转让工艺技术。

1.2.2 成本数据

随着时间的推移,成本数据库对衡量项目间的成本非常有用。因此,数据库的设计投入是十分必要的,这样的数据库可以获取先期成本和合理成本估算的技术数据。遗憾的是,这一过程耗费大量时间和资金,因此难以获得资金支持。

数据来源有两种,一种是在基础资料中可以找到的原始数据,如投资方持有的报告或者实际计划数据;另一种是可靠性相对低,但相对比较理想的方案:当时间或收集原始数据受限时,可以从其他类似系统获得原始数据,如归档的成本估算文件、成本研究情况、提案数据等。所以获得的推断数据不能准确地反映真实成本。

要想使收集到的成本数据应用到估算中,有必要认清获得的不可靠数据的局限性。在新系统中,要适当调整与以往系统的不同之处。这需要对收集到的传感器数据进行现象阐述或测量分析。另外,要监督竞标过程,因为项目承揽方希望以最低的价格赢得合同标书。

1.2.3 成本估算方法学

在开发成本估算模型过程中,会面临许多挑战,比如预算与资源的限制。对数据收集和规范后,可采用以下几种方法学估算成本:专家经验、类推、工程学、实际量与参量估算。对于一个具体系统的成本估算来说,方法学的选择由系统类型和可用的数据所决定。还取决于计划所处状态,比如初步设计、开发、构建、整合、快速而可支撑的开发、生产或技术支持。

图 1.3 中列出了专家意见方法,在没有优先数据可供采用的情况下,专家意见方法对于评价新老项目间的差异十分有用。此方法的优点是适用于新颖而独特的项目。缺点是:专家带有的个人见解,使此方法带有主观性。大量资深专家利用经验来共同消除存在的主观偏差。为此,良好的沟通能力是专家所要具备的素质。