

电子系统的可靠性与维修性

〔美〕 J.E. 阿塞瑙尔特 J.A. 罗伯茨 主编

王寄蓉 钱一呈 王淼洋 译

季恒宽 苏德清 校

国防工业出版社

内 容 简 介

本书系统总结了美国对电子系统的可靠性与维修性的实践经验,内容包括:第一篇,概论,又分寿命周期费用、可靠性与维修性管理、设计评审、可靠性、维修性和设计自动化、结构管理及软件的可靠性与维修性等六章;第二篇,可靠性,又分数学模型、分配与预测、热设计、环境因素、故障树分析、潜在电路分析、信息的完整性、应用工程、元器件的选择和说明、筛选、失效报告与修正活动系统及可靠性试验等十二章;第三篇,维修性,又分数学模型、分配与预测、系统设计、单元设计、组件设计、寿命期有限的产品、备件、手册、培训及维修性试验等十章。

本书可供从事电子系统的设计与维修的工程技术人员、管理人员及大专院校师生参考。

Reliability and Maintainability of Electronic Systems

J. E. Arsenault J. A. Roberts

Computer Science Press 1980

电子系统的可靠性与维修性

【美】J. E. 阿塞瑙尔特 J. A. 罗伯茨 主编

王寄蓉 钱一呈 王淼洋 译

李恒宽 苏德清 校

责任编辑 张赞宏

国防工业出版社出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路23号)

(邮政编码 100044)

新华书店经售

国防工业出版社印刷厂印装

787×1092 1/16 印张24¹/₂ 562千字

1991年1月第一版 1991年1月北京第一次印刷 印数: 0001—2500册

ISBN 7-118-00673-4/TP·86 定价: 13.40元

序

电子系统的复杂性正在迅速增加。本书试图说明在这样复杂的电子系统中能够获得可靠性与维修性的实际方法。尽管应如何设计才能维持特性（可靠性）的原则和迅速诊断及排除失效（维修性）的问题并没有发生多大变化，但由于数字系统，软件问题和复杂程度的增加，总的说来已经产生了许多新的技术。这些新技术力图使复杂系统能经济地得到以前许多较简单系统所能达到的可靠性和维修性水平。

本书是打算供从事系统工程和可靠性与维修性工作的工程师、管理人员和研究人員用的。为此，本书对这一课题作了广泛的探讨。为了解决那些经常遇到的可靠性和维修性问题，编者力图选用充足的理论和实践资料。另外，通过一组综合的参考资料，使读者能够自己去研究那些不可避免要出现的特殊问题中所需要的各方面技术。由于篇幅有限，编者作了某些加工，删去了对问题的求解过程和过时的方法，但一些被专家们认为是新颖的技术仍都包含在内。

为了对问题提供合乎实际的见解，编者所选择的作者都是当前从事所述技术使用工作的。当然，这样做并不是完全没有困难，而且在论述的形式和水平上，从这一章到另一章，不可避免地会有不同，但作者的基本写法是着重例子和实用的技术。这一点已在内容中得到很好的反映，并使读者能深入地了解这些技术是如何应用的。

本书由三篇组成：第一篇——概论；第二篇——可靠性；第三篇——维修性。每篇都进一步分成若干章。关于硬件和软件的考虑，都尽可能地在每章中同时进行研究。

第1章在通过强调设备寿命周期的费用方面，提供了一个总的概况，这种方法，已成为大家熟知的寿命周期费用分析，它在任何一个提交的系统的评价过程中都是一个重要因素；在这一章还包括了步骤和方法、费用因素、管理和模型；第2章提供了对各种组织方式都适用的可靠性与维修性管理的观点，描述了产品周期每个阶段适用的R-M要求，还描述了培训和组织形式上的要求；第3章探讨了设计评价和评审的作用，如不采用这些方法，一个粗劣的、费用高的设计就可能提交生产；这一章描述了产品设计的各个阶段，在这些设计阶段会用到这一技术；第4章描述使用设计自动化是如何使设计的复杂性和信息量激增的问题得到解决，在论述中，尤其着重于那些可以简化设计过程的可靠性与维修性方面的方法和技术；第5章涉及的内容是确保对结构的控制，使想要生产的東西在实际上能够得到，文中解释了鉴别、项目以及基准线的概念，并描述了管理计划；第6章评述了当前软件的可靠性与维修性的问题和解决办法，提出了硬件和软件之间的对偶性，并用来阐明一整套技术，还描述了使复杂任务问题简单化的试验和文件编制的方法。

在第7章回顾了适用于可靠性模型的各种函数，这一章为那些不经常受到理论基础训练的可靠性工程师们提供了一份适用的原始资料；为了得到所需要的可靠性性能，第

8章从基本的结构概念评审开始,接着对各种估计方法作了介绍,从而可以对装置的每个方面的可靠性都能进行计算;第9章提出了对电子设备所具有的热设计问题进行实际处理的方法,考察了热传递的三种方式,并考虑了每一种的作用,该章可以为热设计的计算和评审提供一个良好的基础;第10章评审了各种影响可靠性的环境因素,其中包括对核子、机械、电干扰和污染的考虑;第11章描述了故障树分析技术和在设计评审中的应用,同时也描述了结构方法、计算机的作用和故障树方法对故障模式与效应分析的关系。第12章评审了潜在电路分析方法,正如有缺陷的工作方式一样,那些非要求的工作方式是不希望出现的;这一章介绍了各种实际情况,包括数字电路和软件方面的技术;第13章提出了用于系统问题的特有的信息完整性观点,给出理论方面的介绍和实际例子,阐明了在系统设计中应用排队理论和错误校正技术的价值;第14章涉及到在一个系统中正确选择和正确使用元器件的问题,同时描述了诸如查对表、设计评审、优选的元器件清单和减额指南等,文中提供了一份详细的、良好的减额指导文件;第15章描述了因元器件管理不善而产生的问题,并对元器件的正确选择和规格提出了意见;尽管描述集中在军用和相关的领域,但介绍的一些方法可应用于其他重要元器件的采购;第16章介绍了可以用来筛选有缺陷的元器件、子组件和系统的技术,给出由筛选程序得到的实际结果;第17章包括了失效报告的一般范围和修正活动的系统,虽然强调的重点是它的重要性和与IC失效有关的种种困难,但对这种系统的实际执行过程仍作了详细的介绍;第18章描述了为评价已取得的可靠性而进行系统试验的方法和作用,包括失效记录和统计的意义,以及分析与修正活动的各个方面;用实例对建立模型、试验计划的表述和可靠性增长提供了综合的说明。

第19章对系统维修性的数学模型作了介绍,通过一些例子,使对模型的应用有较深入的了解;各种维修方针的模型都有实际系统的计算例子;第20章描述了用于子系统维修性的分配与预计的方法;文中包含有单元、组件与元器件各种复杂系数的表格,这些表格用于求解完整的实际问题;第21章介绍了诊断方法的概念,从它出发进行系统的设计,给出应用图解分析建立系统模型及自动化的方法;描述了各种机内测试设备的监控方式、恢复方法和诊断软件的使用;第22章分析了在单元处于被替换和接受诊断情况下,对单元的设计,描述了ATE识别标志的使用和维修性中实际设计因素的一些细节;在分析中,包含了试验程序中软件方面的问题,而且描述了试验的语言;第23章评审了软件模拟在自动化试验中的作用,并对提高电路板的可试验性提出实际的设计准则;就考虑中的单元模块化、失效模型、定时模型的模拟使用作了深入的分析;第24章对实践中把元、部件按寿命期有限的产品划分管理方面作了概述,描述了特殊类型元部件的储存和耗损,并对光发射二极管、白炽灯、接触器等作了详细分析;第25章描述了保持备件库存量的各方面问题和解决办法,考虑到储备中的经济因素和维修方针的影响,给出了简单的模型,并且分析了它们的局限性;第26章对维修性领域中手册的作用作了实际的介绍,提出了关于文体、表述和格式方面的意见,手册制备中,合同方面的重点应放在对要求获得清晰的了解,并分析了软件手册的编制这类新概念;第27章提出了培训的基本概念,并介绍了培训方法的概况,阐述了学习过程的实质是传授维修技能的问题;第28章是为选择和制定维修性验证的方法,以适应具体的维修性要求提供一个基础。文中详细地介绍了有关验证、试验和风险等实践方面的内容。

附录提供了可靠性和维修性领域的标准、规范和已出版的书刊目录。这些资料为读者在可靠性和维修性工艺/科学的实践和理论方面的进一步发展提供了一个基础。

J. E. 阿塞瑙尔特

J. A. 罗伯茨

1979 年 1 月于加拿大渥太华

目 录

第一篇 概 论

第 1 章	寿命周期费用	1
第 2 章	可靠性与维修性管理	15
第 3 章	设计评审	24
第 4 章	可靠性、维修性和设计自动化	30
第 5 章	结构管理	41
第 6 章	软件的可靠性与维修性	53

第二篇 可 靠 性

第 7 章	数学模型	70
第 8 章	分配与预测	90
第 9 章	热设计	110
第 10 章	环境因素	125
第 11 章	故障树分析	136
第 12 章	潜在电路分析	149
第 13 章	信息的完整性	162
第 14 章	应用工程	183
第 15 章	元器件的选择和说明	197
第 16 章	筛选	204
第 17 章	失效报告与修正活动系统	216
第 18 章	可靠性试验	227

第三篇 维 修 性

第 19 章	数学模型	246
第 20 章	分配与预测	266
第 21 章	系统设计	279
第 22 章	单元设计	294
第 23 章	组件设计	306
第 24 章	寿命期有限的产品	320
第 25 章	备件	337
第 26 章	手册	348
第 27 章	培训	360
第 28 章	维修性试验	368

第一篇 概 论

第1章 寿命周期费用

H. 赖歇 (Reiche)

在当今的经济学思潮下, 产品的购置已表现出不同的趋向。投入现场的系统在整个寿命期必须得到保障。寿命期内的保障费用常常超过开始的购置费用。通常产品的销售价并不高。因此, 系统的购置应着眼于在寿命周期内可能承担的总费用, 而不仅仅是考虑初始的、不重复的费用因素。同时, 管理部门可以更好地预知系统在其整个寿命期内所需要的流动现金额。在许多国家, 政府和大的工业企业采用了各种指标, 以保证对高价购置品的购置过程进行评价和规定总的寿命周期费用 (LCC)。采用产品寿命周期各阶段寿命周期管理的思想, 使得管理部门能以一种有规则的方式处理相应阶段的 LCC 问题, 并为各阶段改进实现要求的决定提供了工具。

本章的目的, 是提出 LCC 方法学的要点及其在寿命周期管理各阶段中的应用。LCC 应用的阶段 (如图 1-1 所示) 可分为: 构思和定义阶段, 设计和研制阶段, 生产和安装阶段, 使用和维修阶段。介绍问题, 将首先由阐明对实际使用者适用的步骤和方法开始, 然后列出可构成所要求数据基础的合适因素。最后举几个简单的典型例子, 并叙述实际的应用。

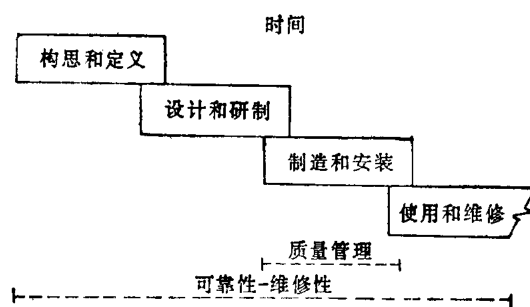


图1-1 设备寿命周期的各个阶段

1.1 程序和方法

1. 程序

一种程序, 是指实际的权衡在与使用或后勤保障的效率联系在一起的各种费用参数。权衡的最高费用水平, 直接与获得最高效率产品而又考虑总寿命周期费用的最佳购置费用有关。产品不仅必须满足使用上的要求, 而且还必须满足后勤保障上的要求, 并都要在限定的费用范围内。后勤保障的基本结构必须作为程序中的内容确定下来, 因为它对费

- (d) 数据过时了吗?
- (e) 数据可在这次研究中使用吗?
- (f) 数据有偏差吗?
- (g) 数据对研究有效吗?

上述问题已在文献〔2〕中提出并用一个相当完整的表格来表示。

为了估算 LCC, 人们必须在现有费用和新的费用之间作比较。在对设备 LCC 的研究中没有多少理性认识, 因而没有可与它比较或同它有关的东西。因此历史上的数据常常用来作为比较的基础, 并且有许多可供人们用以研究费用估算的方法。

一个简单的方法, 是利用现有产品目录的数据。尽管目录上单个产品的价格并不能反映它的实际市场价格, 但它却是人们可以进行估算的基础。在某种意义上来说, 它必定也是历史上曾经是正确而且被使用过的信息。比较一个目录中的产品与另一个目录中同样的产品, 就会得出一个好的估算价格。另一个方法是利用由初始计划目标产生的信息。这些费用数据, 可能是非常初步的, 但往往却都可以利用, 特别是对新研制的产品更是如此。对这些费用数据的调整, 必须逐步地进行。

比较费用的方法, 可以通过画出一个简单型式的比较图来使用, 图中标出现有产品与新产品的费用关系。例如, 可以要求将 15 年前生产的战术航空导航设备 (TACAN) 与研制中的同类新设备加以比较; 可以对老设备中所用器材进行估价, 并与研制中预备使用的器材作比较。设备的构造型式必将影响后勤保障的费用。如果原设备使用固定排列的组件, 那末维修费用主要取决于修理的时间。在功能模块化的设备中, 这一费用将减少一个确定的百分数。然后将两种价格作成一张总表, 并可进行比较。

还有其他类型的一些方法, 这些方法可以从本质上参量化, 并涉及到生产、维修、性能、备件等具体费用的关系。这里必须建立费用和某些具体特性之间的关系。例如飞机发动机的维修费用, 将取决于使用时间和所研究的发动机类型。在一给定的使用时间下, 发动机越复杂, 以及推力越大, 维修花费的人-时就越多。这个时间可用每使用一小时内的人-时数表达, 并可以建立人-时与费用的关系。各种类型发动机对于费用的曲线, 将为在图 1-3 中所表示的形式。尽管通常给出的是每飞行小时的人-时数, 但已发现预防性维修和培训占去实际工作时数的相当一部分。将这些费用从费用分析中去掉, 是与事实不符的。

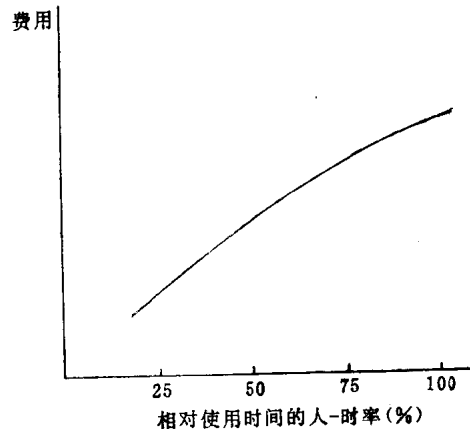


图1-3 相对使用时间的人-时率

1.2 LCC 因素

在 LCC 研究中, 最有争议和困难的问题之一, 大概是各种因素中哪个因素应包括在评价、分析和估计之内。争论的原因是基于这样的事实, 即对重要的因素由什么东西构成的问题, 几乎每个人都有不同的看法。显而易见, 对于军用飞机确有某些因素比其

他因素要优先考虑,但用同样的办法来计算指挥车的费用,则是不必要的。

从根本上讲,费用参数有非重复的费用和重复的费用两种主要类型。不管我们是从货架上买设备还是研制设备,某些非重复费用因素是可以确定下来的。

1. 非重复费用因素

非重复寿命周期费用,一般与下列因素有关:

(1) 研究或开发 这个费用取决于合同上规定的研究或开发水平。如果要达到现代化的技术水平,那么费用就会很高。在新设备上进行少量改进的费用,相对于其他费用因素来说,将是微不足道的。不需要作某些必要的改进就能买到的设备是很少的,特别是军用设备更是如此。这些费用往往会被忽略,但它却是设备单价的一部分。

(2) 可靠性-维修性工程 交货前后,可靠性或维修性设计上的改进是另一个因素。买来的成品不能完全满足顾客的要求,而且制造者乐于对他建议中提出的参数作改进。对这些改进的费用的估算,将构成非重复费用的一部分。

(3) 鉴定批准 在验收或交货之前,产品的鉴定批准需要进行各种试验,并要有一定的设施和人力,而这些试验常常不能在承包人的工厂进行。必要时要将设备装运到试验地点,可能还需要新的专用试验设备。机械试验方面专用的试验设备很少,但在光、流体、微电子、高能等等领域,常常需要新的试验方法。设施的费用可能是一个主要的因素。例如在最近一次侦察靶机试验中,必须增加所要求的设施,新的基地、防护掩体、加油站、改进气象站和降落区域的瞭望台。

(4) 政府^①合同条款 在政府合同中有许多称为标准化的条款,其中不少是论述交货、包装和支付等等。虽然这些条款对费用会有所影响,但它们不像那些有关情报、版税、专利权等条款那样影响大。对这些问题虽已有过许多斗争,但政府往往坚持,由合同产生的所有资料和专利是他们的所有权,除非已有的专利比合同早。这类因素的费用会很大。例如,最近军方购置的单人便携式UHF电台资料(图纸、试验报告、维修数据)的费用,差不多为设备单价的三分之一。

(5) 寿命周期管理 在早期构思阶段,任何目标的管理都需要人力。各种规范要求的编制以及整个合同的准备,可能是既费时又费钱的。

(6) 添置件 购买一个产品的费用,包括使产品能实际使用的每件东西,例如电台应包括电源、电缆和支架,吉普车要包括备用轮胎和座板垫子。有人曾经建议应把税款加到购买费用上去,但这可能是不容易的。因为每个国家、省、州和政府部门,各有不同的规章,有时互相失调。

(7) 安装 一旦购进产品,就必须在某一环境中对其进行安装,有时还要试验。要购置额外的连接件,要进行调整,要制造专用的安装支架,要外加不透光的板子。这些都要花费时间和人力。在产品进入最终的操作使用库存之前,范围广泛的现场试验可能是昂贵的。

(8) 检测设备 维修用的检测设备,是一项主要的非重复费用。必须认识到有时必须使用整个的所谓“热装置”作检测台。这一情况应通过使用合适的检测设备,手工操作的、专用的或自动的、具有多功能的检测设备来加以避免。可惜有许多人忽视了与

① 政府就是指国防部,政府合同就是指军方合同——校译者。

检测设备有关的软件的费用。自动检测设备在节省大量人力和钱款上已经取得了效果。除极少数者例外,这一点已被证明是正确的。在许多情况下,软件的费用与硬件的费用相同,甚至更多。采用自动检测设备的维修等级,通常要比手工的高,因而费用也更大。自动检测设备压缩了检测时间,增进了稳定性。因此考虑这一费用因素时,必须肯定设备的有效性或备用性是主要的因素,而不一定要降低费用。

(9) 训练 任何新产品的引进,都需要进行训练和加以熟悉。这时对不可靠性起作用的一个因素,就是人。当一新设备进入现场使用时,各种可能遇到的问题正好反映了需要训练的范围。行为科学家对一新的探测雷达进行的短暂研究表明,由制造者训练两周的一组操作和维修人员,在该设备使用的头六个月中造成了全部失效的7%。由上述维修、操作人员加上制造者训练出的另一组人员,在以后的六个月中,将这样的失效减少到1.3%。这些减少的失效,是能够由人直接引起的,因此重要的是,为适当的训练提供资金,并算入总的费用之中。

这里有一些非重复的费用,室内和室外两种训练都是需要的。例如,军事上室内的训练需要人力,场地一般现成,但训练的专用设备需要研制。军事学校有一常设的训练机构,主要的费用将用于设备、可能的行军及任何其他的保障,这点与工业或技术学校的训练不同,那里必须委派专门的机构。场地和管理费用都成为费用中的一个因素,将包括新的训练保障装置的设计,当然也包括教师或训练人员的实际费用。以现行的咨询费讲,这部分是一个值得考虑的因素。总的、整套的硬件和训练合同,可能会减少一些费用。尽管如此,这些训练的要求必须根据由适当训练带来的好处加以阐述,要估算训练费用,并且要进行专门地评审。

(10) 运输 虽然这是一个对费用有明显影响的因素,但任何方案在最初构思阶段、研制阶段和购置阶段,都需要搬运。通常军方有他们自己的运输工具,使用它可以节省费用。但是用商业运输工具装运设备,用汽车或其他方法往返于承包商之间,邮寄大量的材料,诸如成册的建议或合同资料包裹等,所有这些,都构成了已有的费用因素。

(11) 文件 这包括全部数据和已经收集的各种所需资料的记载。因为许多文件常常是事后才能形成,故估算这些文件的总费用是困难的。今天的零部件清单、手册和图纸,一般都以微缩胶片方式提供,费用昂贵。翻译的资料甚至更贵,校对也会进一步增加费用。

这里所列出的并没有包罗所有的非重复费用,只是对它们的范围有了某些了解。应该再一次指出,这里并非所有的费用项目对所有目标都是最重要的,而是必须对那些应优先考虑的因素作出选择。

2. 重复费用因素

下面考虑的各项是重复费用因素:

(1) 使用 在这一类中必须考察设备的任务要求。一台雷达可能要求特殊的环境条件,如空调。正常地操作还可能会要求像连续供电、燃料、水等可靠的服务。一辆载重卡车将需要燃料、油和水。一个光学传导系统,可能需要制冷装置来冷却传感器。

(2) 人力 无人职守的设备是很少的。必须对使用和维修所需人力的级别进行费用估算,其级别取决于设备的类型。一个程序员将挣到超过船上司炉工的工资,操作自动检测设备的维修人员比在修复后在印制线路板上涂保护层的维修人员得到更多的收入,波音747飞机上的飞行员将获得比坦克驾驶员更多的报酬。涉及到的人数取决于设

各的类型、功能和任务。在军事上，人员的费用通常通过某些投资财团的预算管理部门了解到。劳务部门通常保存有人力费用的统计。

(3) 保障 以供给和服务方式提供的持续保障，是任何设备工作所需要的。例如，打字机和电传打字机需要纸，设备使用时需要电，它必须花钱买或由本身的电源产生。经营一条商业航线，需要及时的气象预报帮助和航线图，机场上的吓鸟装置，需要少量的炸药用来产生劈啪声。这些保障要求持续和重复的花费，几乎没有尽头。

(4) 维修 在任何设备使用中最大的费用，或许是各个级别上的维修。目前对预算紧张的用户，这些重复费用是提供资金的主要难题。在设备的有效寿命期（常常是十年或更多年）内，这些费用占整个寿命周期费用的40%以上。许多人相信，随着现代元件的改进或更高的可靠性，维修的负担将会降低。他们主张设备要简单。但遗憾的是，为了把设备改得简单些和提高设备的可靠性，必须使用非常可靠的元器件，而这些元器件的费用很昂贵。对解决这个问题较快的答案，可能是研制更复杂的、内部具有维修特性的设备。这种设备至少要能维护服务十年。尽管维修用的场地和检测设备一般是非重复费用，但维修本身有诸如设备的修理，检测装置的校准，伺服电动机上油，使用若干年后的彻底检修以及更多种的维修费用。由于这些费用高，特别在用这样一些费用预测产品的整个寿命周期费用时，常常是困难的。因此必须作出努力，以得出一个合理的、可与历史的或其他数据相比较的估算值。

(5) 库存 保障不仅需要备件，而且要按时间表购货，补充供给系统或成品库。有些元器件长时间存放会有损坏，因此将造成重复费用。军方已研究出某些产品的货架寿命对策，并制定出满足使用要求、不降低可靠性的特别购货时间表。库存中必须加上液体、化学、燃料、气体等物品。

所有这些都是重复费用。

寿命周期费用与某些费用因素的关系示于图1-4。图中列出的并不完全，但继续列出那些没有实例论述的非重复（或重复）费用是没有意义的。不过上面已经指明，在估算这些费用因素时人们必须掌握的主要方法。这里应指出的另一点是，当投标结束时，必须向投标者明确合同中所有应考虑的因素。如果这一点做不到，许多被人引证过的例子表明，其结果在许多情况下是无用

的资料。尽管都是水果，但桔子不可能与苹果相比较。投标申请书必须要求承包者用同样的方式列出他们与LCC有关的因素，否则他们的投标就应退回。最近关于新军用飞机的一项大型欧洲合同，正是做到了这一点。那些不愿使用所要求格式的公司则被淘汰，除此之外，目前没有其他解决办法。

下面对LCC计算中所要求的因素举一个实际的简单例子，这是一个可以用手算进

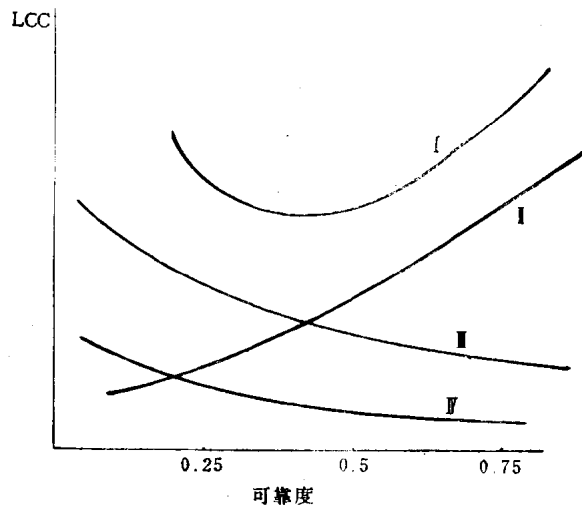


图1-4 部分因素的LCC函数关系

I—总费用；II—购置费用；III—人力费用；IV—备件费用。

行的例子。让我们以带有设备的飞机为例，并确定什么样的数据或因素是LCC所要求的。可以有下面一些基本数据：

- (a) 每架飞机的设备数和子系统数；
- (b) 飞行率，通常以月飞行率表明；
- (c) 每个设备的平均无故障时间 (MTBF)；
- (d) 各个修理级上的平均修复时间 (MTTR)；
- (e) 每个系统和设备的费用；
- (f) 每个维修级上单台检测设备的费用；
- (g) 鉴定（论证或批准）试验的费用，必须评审的各种其他类型试验的费用；
- (h) 训练需要的系统和设备费用，包括在各维修和使用级上的训练辅助设备和人员的费用；
- (i) 试验台上所用到的每个设备的费用。如作为标准的热装置之类的设备；
- (j) 各级维修和保障系统使用、训练及试验的备件和设备费用；
- (k) 谈判、会议和外出的费用；
- (l) 出版物和图纸的费用；
- (m) 现场服务代表的费用；
- (n) 系统预定使用的期限；
- (o) 预定的大检修或重要调整的费用；
- (p) 人力费用。

其中某些因素与费用的关系示于图1-4。

3. 估算

在设计的概念阶段就能精确地求出费用值的可能性很少。许多费用数据都无用，而其他的一些数据也仅能提供有限的精度。但这并不意味着没有可能在任何早期阶段建立LCC，在寿命周期中的任何时刻都能够作出好的估算。今天任何一个管理机构，从大型设计开始，就坚持要求关于LCC的计划。他们经常必须接受一个费用不是有效的设备。初步的估算，确能帮助弄清某些费用关系，这些估算所用数据，一定来自各种原始资料。正如前面指出的，类似的设备的数据是主要来源。人们可以画出某些特性的比较表，然后可以用它进行费用类比估算。在表1-1中给出一个简单电子设备的例子。

表1-1 便携式UHF通信机费用比较

老 式	新 式	费用影响
频率范围	扩大 3 MHz	无
灵 敏 度	提高1.5mV	+ 5 %
输出功率	相 同	无
分立元件	大规模集成电路	-10%
印制电路板（双面）	印制电路板（多层）	+15%
插 座	相 同	无
手工设计和装配组件	自 动的	-20%
劳务费用		+300%
材料费用		-10%
维修费用		+10%

1.3 LCC管理

任何设计开始时没有什么理性认识, 除非已制定了正确的方案和计划。在构思和定义阶段, 对LCC要求的分析是方案和计划的基础。寿命周期管理的职责, 应是制定一个能与研制计划相适应的LCC方案和计划。方案和计划确定了必须实行的步骤和要完成的任务。

一个典型的示例可以包括下列各点:

- (a) LCC研究所采用的大概步骤;
- (b) 规定对于特定问题可采用的方法;
- (c) 列出应作分析或定量表示的各种因素, 以及这些因素可能在什么地方得到;
- (d) 进行LCC估算, 以便得到“界限”值;
- (e) 规定计算所用LCC模型的型式和施加的约束条件;
- (f) 依据已知值进行查对, 以确认所得信息, 并使用最新信息对数据逐步进行修正;
- (g) 以选择的形式起草结论或建议。

1.4 LCC模型

在LCC中可能有比其他学科更多的模型。其原因是在许多情况下, LCC与系统的效率、可靠性、维修性、保障能力等有关。为了包罗所有这些模型, 只需要一本像这样的书就够了, 不过它不能作其他用。现在, 代替的方法是让我们写出一些比较简单形式的模型, 它们略去了那些不敏感的因素。这样的模型对投标者和承包者是足够了, 而且也比较容易求解。尤其是价格调整和鉴定试验的条款增加了模型的复杂性。

在所有模型中, 最简单的大概是非重复费用加上重复费用。这里, LCC就是总的LCC费用, NRC是非重复费用, RC是重复费用。即

$$LCC = NRC + RC \quad (1-1)$$

将下列费用因素相加, 可算出非重复费用

$$NRC = C_{RD} + C_{RM} + C_Q + C_{LCM} + C_A + C_I + C_{TE} + C_T + C_{TR} + C_S \quad (1-2)$$

式中 C_{RD} ——研究和开发费用;

C_{RM} ——可靠性和维修性改进费用;

C_Q ——鉴定批准费用;

C_{LCM} ——寿命周期管理费用;

C_A ——添置件费用;

C_I ——安装费用;

C_{TE} ——测试设备费用;

C_T ——训练费用;

C_{TR} ——搬运费用;

C_S ——保障费用。

RC费用可以由以下因素相加

$$RC = C_O + C_M + C_S + C_{MT} + C_{IN} \quad (1-3)$$

式中 C_0 ——使用费用;
 C_M ——人力费用;
 C_s ——保障费用;
 C_{MT} ——维修费用;
 C_N ——库存。

这种模型的另一种形式, 可写为已付费用加上未付费用

$$LCC = CB + CO \quad (1-4)$$

式中 CB ——已付费用;
 CO ——未付费用。

如果根据系统可靠性给出LCC, 那么我们可以写出一简单的方程式

$$LCC = C(\lambda_1) + C(\lambda_2) + (Y)(RC) \quad (1-5)$$

这里 $C(\lambda_1)$ 是不取决系统失效的费用; $C(\lambda_2)$ 是取决系统失效的费用; Y 是系统使用的年数; RC 仍是重复费用。重复费用通常但不总是取决于系统失效。图1-5表示 Y 为一年、十年或二十年时LCC和失效可能存在的关系。

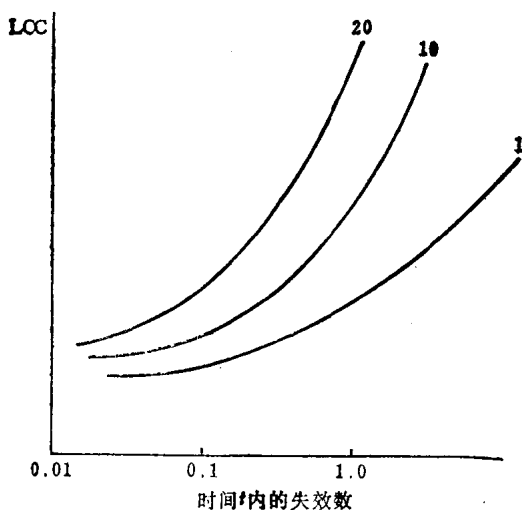


图1-5 失效-LCC曲线

美国空军 (USAF) 研究出一种后勤保障与费用 (LSC) 关系的专门模型。它可适用于飞机的保障, 但它本身并不是一个LCC模型, 因为它只包含使用和维修两方面的内容。这个模型表达为

$$LSC = \sum_{i=1}^n C_i \quad (1-6)$$

式中 C_i ——第 i 个后勤费用因素的费用。

这些费用因素

C_1 ——所有备件的费用;
 C_2 ——设备工作时的维修费用;
 C_3 ——设备不工作时的维修费用;
 C_4 ——登记库存清单、供给管理费用;

- C_6 ——设备保障费用;
 C_8 ——训练工作、人员和设备费用;
 C_7 ——资料管理费用;
 C_8 ——新增设施费用;
 C_9 ——燃料费用;
 C_{10} ——备用发动机费用。

管理费用 (CM) 可由具体管理工作的费用相加算出

$$CM = \sum_{i=1}^n CM_i \quad (1-7)$$

式中 CM_i ——第 i 个具体管理工作的费用;
 n ——工作的数目。

资料费用 (CD) 可用相似的方式算出, 为

$$CD = \sum_{i=1}^n CD_i \quad (1-8)$$

其他因素可用简单的求和方法计算, 例如工作人员训练的费用 (CT) 为

$$CT = \sum_{i=1}^n CT_i \quad (1-9)$$

式中 CT_i ——第 i 个学员训练的费用;
 n ——被训练的人数。

维修费用 (CMT) 可用下式表示

$$CMT = C_P + C_S + C_R + C_T + C_{TR} + C_F + C_D \quad (1-10)$$

式中 C_P ——维修人员费用;
 C_S ——保障费用;
 C_R ——修复材料费用;
 C_T ——检测设备费用;
 C_{TR} ——搬运用费;
 C_F ——设施费用;
 C_D ——资料费用。

在LCC中, 常常忽视的一个因素是停止费用^② (CPO)。可以列出对于报废系数 (F_C)、事后维修活动次数 (N_{CM})、实际处理费用 (C_{DIS}) 和处理后所具有的价值 (C_{DN}) 的处理费用方程式

$$CPO = (F_C)(N_{CM})(C_{DIS} - C_{DN}) \quad (1-11)$$

不管是什么样的模型, 我们都必须牢记, 对于进行决策的目标, 必须对供选择的各种方案进行研究。计算出的选择方案, 则将成为管理部门再综合、决策的基础。还必须有一份关于约束条件的清晰说明, 例如, 如果备件的LCC计算中可用的金钱总数已知的话, 那么没有这个约束, 计算一个具体寿命期间的备件就毫无意义^[8]。同时还应该小心, 在为备件分派可用的基金中, 不要把主要部分反而分配给了低价格的备件。

② 指因报废而引起的费用——译者。

1.5 核 准

一旦越过了设计和研制阶段细节后，就要为制造阶段编制技术规范。在这一阶段，开始考虑核准诸如可靠性和维修性之类参数的费用。设计的可行性就已经确立了。在这个十字路口，常常由于核准的费用与所期望的单价相比看起来不现实，从而使许多工程出现犹疑不决。来自管理和销售的压力，试图绕过这既费钱又费时的一步。设计阶段，很少能认识所有的保障要求。在这阶段期间，大部分的主要保障要求将得以研究，但也还有许多项目仍旧是模糊的。在这一阶段，要定出这些项目的费用因素常常是困难的，但如果核准了这一阶段的LCC，就有希望得到比较准确的总费用。

通过数学方法，得到这些因素的模型是可能的，但其数据具有的准确和可靠程度是有限的，需要承包人和买主之间的紧密联系，才能解决此类费用因素。这种保障下的设备样机，常常是不经济的。核准必须要将许多这类问题考虑进去，并确定用以进行估计和表示估计结果的约束条件。对此没有简单的解决办法，但承包人和顾客彼此观点的充分了解，可以给出满意的LCC数值和核准的数据，这些数据本身又可依次用作合同的保证。LCC合同流程图如图1-6所示。它以简洁的形式，指出了达到能够让管理人员作出决策的答案所采取的步骤。当需要时，步骤的顺序可以改变，但不能绕过各个步骤。

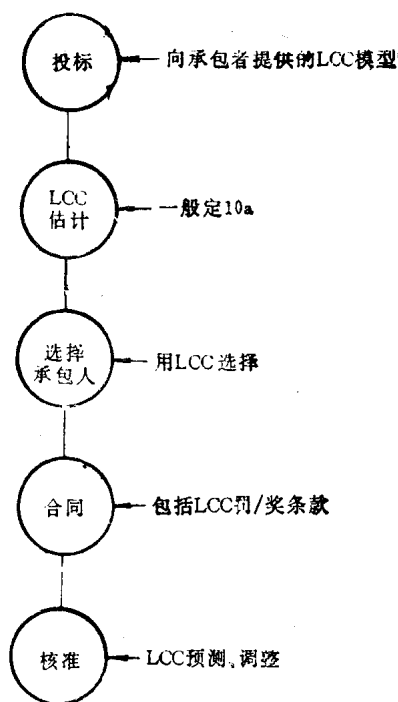


图1-6 LCC合同流程图

1.6 实 例

这里给出的一些例子，将有助于解决相似的或同类的问题。由于每一次审查需要不同的输入因素，因而对特定问题需要的因素的定量表示，应通过参阅有效的历史数据和依靠费用专家的帮助。通常这些费用专家的手中，掌握着工程师们所没有的确实的基本数据。