专题一：卫星工程费用预测方法研究

摘要　本专题根据卫星工程的研制特点及管理现状，应用预测原理、系统原理提出了建模的四个基础，深入研究了卫星工程费用预测的几种常用方法，推导建立了一系列数学模型。进而研究了在考虑不确定性因素，即风险因素对大型工程项目影响时所采用的费用预测方法——蒙特卡洛法。在此基础上，探讨了卫星产业的效益评价问题，提出了完善卫星费用预测工作的建议。

关键词　卫星　管理　费用模型　预测方法

1 绪 论

1.1 卫星工程费用预测工作的回顾

1.1.1 中国卫星技术的发展

人类的活动从陆地、海洋、天空到外层空间不断地延伸，人类社会正是在活动空间不断扩大的同时突飞猛进地向前发展。中国的空间活动始于20世纪50年代末期。1965年，中国开始了第一颗人造卫星的研制工作。1970年4月24日，中国成功地发射了第一颗人造卫星——东方红一号，成为继苏、美、法、日之后世界上第五个有能力用自制运载火箭发射国产卫星的国家，标志着中国进入了宇宙空间时代。1975年11月，中国成功地发射并回收了第一颗返回式卫星，成为世界上第三个掌握卫星返回技术的国家。中国连续成功地发射了12颗这类卫星，在空间进行了各种试验任务后，全部按计划返回预定地区。利用这些卫星进行了不同的科学试验，对国土资料进行了普查，获得了大量有价值的卫星遥感资料。1981年9月20日,中国成功地用一枚运载火箭同时把3颗卫星送入地球轨道，既积累了一箭多星的经验，又获取了一批空间物理参数，使中国一箭多星发射技术名列世界第四。1984年4月，中国成功发射了第一颗试验通信卫星，成为世界上第三个将卫星送入地球同步运行轨道的国家。1988年9月,中国发射了第一颗气象卫星，成为第五个向极地轨道发射气象卫星的国家。1990年4月7日,中国发射了美国休斯公司生产的亚洲一号通信卫星，揭开了为国外发射卫星的历史。到1990年年底，中国已成功研制发射了28颗卫星。其中，科学技术试验卫星9颗，返回式遥感卫星12颗，通信广播卫星5颗,气象卫星2颗。并正进行大容量卫星、同步轨道气象卫星、资源卫星的研制工作。概括起来，中国研制生产了四个型号系列的应用卫星，即返回型卫星、通信卫星、气象卫星、资源卫星。这些卫星在中国的经济建设、国防建设和科学技术领域中，取得越来越大的综合效益。

1.1.2 卫星工程费用预测的意义

(1)制定卫星工程发展规划、进行宏观控制的依据

卫星技术属当代的高技术领域，其发展要求以雄厚的财力支持为基础。世界各国在卫星

需要全本请访问 www.ertongbook.com

技术上的投资逐年上升。美国航宇局（NASA)1986 年的空间（指整个空间产业，包括卫星。下同)预算为 67.27 亿美元,1987 年 70.14 亿美元,到 1989 年已增至 110.48 亿美元。日本 1989 年空间概算要求额比 1988 年增长 9.6%。从投资比例上看，美苏两国的空间预算一般都超过其国民经济总产值的 1%，两国每年空间总投资约 300 亿美元。法、德、日等国在 20 世纪最后十几年投资都有大幅度增长。中国的空间投资，无论绝对值或占国民总产值的比例都远不及国外。大致比苏、美低两个数量级。虽然投资比例比国外低，但从投资总额上看，空间技术的发展项目都属于大型投资项目，卫星工程也不例外。[61]中国当前财政仍很紧张，每一笔投资都要精打细算。费用的预测及分析，正是制订卫星工程发展规划，从而进行宏观控制的重要依据。同时，也是进行卫星工程效益评价的基础工作。

(2)卫星打入国际市场的需要

中国的卫星技术水平，已跻身世界强国之列。在短短的二三十年内，独立自主、自力更生地研制生产了低、中、高三个轨道系列的应用卫星及科学试验卫星。卫星产业的雄厚技术实力，已经具备了为其他国家研制生产卫星和合作研制生产卫星的能力，具备了进入国际市场的能力。进入国际市场就不可避免地要进行询价、报价、招标、投标、谈判等一系列对外贸易活动。从以往的搭载服务和正在进行的一些洽谈项目的情况看，我们还不能完全掌握合作的主动权。在谈判的经验、心理战术的运用方面还有欠缺。更主要的是在作价问题上，缺乏定量的分析，对卫星型号的研制，生产费用不能拿出令人信服的作价依据。随着空间技术的发展，对卫星工程的费用预测已成为一个函待解决的问题。

随着国内经济体制的改革、军工系统统型号研制拨款方式的改变，也使得型号卫星逐渐步入商品化的范畴，原先的隶属关系和合作关系都将变为指令性计划下的经济合同、协议关系。而在承包书中，最为敏感的、重要的就是费用，因此对费用的科学预测，是对外打入国际市场、对内核定经费的迫切需要。

(3)完善卫星工程管理的需要

费用、进度、效能是卫星工程管理中三个重要指标，费用预测是贯穿整个卫星工程研制生产过程的。其重点是在 O, A, B三个阶段。在方案设想及概念研究阶段（O),对型号任务的规划及用户需求要给予费用方面的约束，并通过费用预估加以验证，在可行性论证（A)及方案论证阶段(B），通过费用预测对各可行方案进行权衡分析、综合评价，建立起年度费用模型、阶段费用比例等一系费用模型，为方案及型号项目的决策提供科学依据，同时也为制定经费使用计划提供依据。在初样（C)、正样(D）及运行阶段(E），费用预测的工作主要表现在成本费用核算、分析方面。因此说，费用预测在整个研制生产过程中，都是卫星工程管理的重要职能，必须进行充分的研究，使之达到管理的科学化、现代化要求。

1.1.3 中国卫星费用预测工作的现状

中国的航天产品费用预测工作由于历史的原因，起步较晚，但近几年发展较快。1983 年开始了航天产品费用预测模型的研究工作，1985—1989 年相继召开了五次航天产品费用预测模型研讨会，进行了大量的学术交流。卫星工程的费用预测研究也相应地开展起来。随着研究逐步深入，水平也逐渐提高。对卫星工程费用预测概括起来有以下几类模型：

1)型号系统费用模型；

2)型号分系统费用模型；

3)型号年度费用模型；

4)型号阶段比例费用模型；

5)型号分系统比例费用模型；

6)型号各层次预分费用模型。

应用的方法主要是比较法、工程统计法、参数法以及这几种方法的综合运用。

国外对卫星工程的费用预测，起步较早，工作较为深入。从方法上讲，20世纪50年代末60年代初，在卫星工程的初始发展阶段，应用专家法与比较法进行费用预测。20世纪60年代中期，逐步发展了工程统计法进行费用预测，预测的精度有很大的提高。20世纪70年代初，由于统计理论的发展和应用，开始建立各式各样种费用估算关系式，即应用参数法进行费用预测。到目前，参数法已广泛地应用于费用预测工作中。20世纪70年代末80年代初，为了控制经费的使用，又相应地发展了风险评审技术。

在费用预测工作中，国外强调以下几个观点：

1)注意历史数据的存档、整理；

2)强调按费用进行设计的思想；

3)建立系列化的、各层次的费用预测模型；

4 建立费用预测工作的职能机构及信息反馈网络；

5)建立费用预测的规范性文件；

6)对预测方法进行理论研究，以求在方法上不断拓展，适应现实的需要。

对比国内外航天产品费用预测的研究，可以发现中国卫星工程费用预测存在以下问题：

1)数据资料薄弱。数据资料是建立预测模型的基础，无论是市场预测，还是费用预测，没有数据，就不可能进行定量的分析。然而卫星工程从研制初期开始，长期以来不算经济账，造成了费用数据的零散状况，同时财务上也没有明确的成本定义、分类、核算，这就使得费用预测在数据的采集与整理上花费了大量人力和时间。有时，甚至使得预测工作停滞在数据采集阶段而无法继续进行。从1985年开始，空间技术研究院在试点单位试行成本核算。1987年，航天工业部才推行成本核算，并颁发了《航天工业部科研事业单位成本管理办法》等一系列财务管理上的文件，统一制定了成本管理办法，并建立了相应的财务制度。但上述成本管理的推行，基本上是以厂、所为单位进行核算，没有充分体现卫星这个最终产品的特征。因此，费用预测在现有的财务基础上，还需要进行成本项目的分析、归纳、数据的分摊与处理工作。

2)没有建立起系列化的费用预测模型。虽然已经建立了一些费用预测模型，但无论返回式卫星系列，还是通信卫星系列，都还没有一整套的包括系统费用、分系统费用、分系统比例费用、阶段比例费用、年度费用的系列化的预测模型，从而对某一型号系列的费用发生进行系统的描述。

3)没有形成费用预测的系统规范。费用预测应在不同的层次上，按系统的划分进行，并要相应地建立起信息跟踪、反馈的渠道，形成费用预测的规范性文件。

在系统级、分系统级、部件级等不同的层次上，对每个分系统由归口单位进行费用预测，并把预测报告按系统划分进行编号，纳入正常的反馈渠道，再由系统工程人员进行综合、归纳、分析，以建立起完整的型号卫星费用预测模型。这同时也要求各级管理人员（主要是系统工程人员）对费用预测工作有高度的重视，对方法理论有充分的理解、熟练的掌握。

4)参数选择的单调。目前，在应用参数法建立费用预测模型时，往往只是选择单一的解释变量 时间 t 或质量 w。对于卫星其他的性能参数如功率、转发器数目等尚不能建立起与费用

的相关关系。有时管理人员根据以往的经验，可以发现某些因子的变化对费用的发生起着很大的影响作用，有一定的规律。但如何建立起参数与费用之间的定量表达关系式，却又感到无从下手。因而，只能简单地以单变量对费用的变化进行描述。

5) 建模的理论方法有待于总结。从上面的问题可以看出，若要形成从上到下（或从下到上）各个层次的费用预测，若要成本分析人员更加熟练地运用模型这一手段进行费用预测，就应该首先在方法上加以研究，总结，使建模的思路、步骤、数学方法更加清晰明了。这对于今后费用预测工作的开展尤为重要。

1.2 预测的基本原理

科学预测的基本原理在于事物发展过程中各种因素之间相互影响的规律性。经济预测的原理则在于社会经济发展的客观规律性。就是说，经济发展应遵循一定的客观规律。经济发展中各因素之间的影响客观存在着质量的或数量上的相互联系，运用预测科学的一系列定性、定量方法对资料进行分析，找出内在规律，预测未来。

卫星工程的研制生产活动是中国整个经济生活中一个独特的、重要的组成部分。其整个研制过程及发展变化同样有规律可循。只要运用科学的预测方法积极开展工作，认识卫星工程系统的特点与研制规律并充分考虑工程系统的外部环境及内部条件，完全可以逐渐增强预见未来的能力，使卫星工程管理工作赶上世界先进水平。

1.2.1 费用预测的基本原则

(1) 延续性原则

由于经济发展过程中经济变量遵循的规律常表现出延续性，也就是说过去和现在的经济活动中存在的某种规律将会持续下去。这种延续性，规定了经济预测工作的延续性原则。以时间序列分析为代表的趋势外推预测方法正是基于这一原则的。

(2) 相似性原则

经济发展过程中，不同的（一般指无关的）经济变量所遵循的发展规律有时是相似的，即具有一定的相似性，这就规定了预测工作中的相似性原则。可以利用这种相似性由已知的经济变量发展规律类推未知变量的未来发展。

(3) 相关性原则

经济发展过程中，一些经济变量之间往往不是孤立的，而是存在关相互依存的因果关系，即经济变量之间存在着一定相关关系。利用经济变量间的这种相关性，可以通过对一些经济变量的分析研究，找出受这些变量影响的另一个（或一些）经济变量发展的规律性，从而用于预测。因果关系预测就是基于相关性原则的。

(4) 统计规律性原则

经济发展过程中，对于某个经济变量所作的一次观察结果往往是随机的，但多次观察的结果却具有某种统计规律性。经济变量的这种统计规律性是应用概率论及数理统计的理论方法进行经济预测的基础。

经济变量间的关系是极其复杂的，经常是多种规律同时起作用。这就决定了经济预测工作的复杂性，常常要同时运用这几种原则进行预测。

经济预测中的多种不同方法正是依据经济预测的基本原理和基本原则建立起来的。

1.2.2 预测的六要素

在预测过程中，要考虑以下这六个主要因素，即所谓的六要素。

(1)时间

指对未来事物发展变化进行预测的期间。常分为长期预测、中期预测、短期预测。一般说来，定性预测方法较多地应用于长期的预测，而定量预测方法则较适合于中期和短期的预测。与时间密切相关的一个因素就是物价指数。当预测跨年度进行时，就要考虑物价上涨的影响，对数据或模型加以修正。

(2)数据

数据既是预测的前提条件，也是选择预测方法依据。一般说来，在数据量很少的情况下只能选择定性预测的方法。对定量预测方法的选择要根据统计数据的散布趋势及类型确定。例如用参数法进行预测时，是选择直线回归还是曲线回归，要对数据分析后确定。当数据的随机影响因素很多或为了提高预测精度而考虑不确定性因素时，就要选择风险型预测方法。风险型预测也要根据数据的散布趋势及类型建立模型。例如蒙特卡洛法的一个重要步骤是确定数据的统计分布规律。

(3)模型

模型是对现实系统的抽象和描述。在一定的约束条件下，从现实系统或被测系统中提炼出本质的、能够反映其发展变化规律的要素，并建立起要素间的相互作用、相互制约的关系，构成系统模型。常用的模型可分为实体模型、图式模型、模拟模型、数学模型四类。在这里，值得注意的一点是，模型的使用者即决策者不一定要理解每一种模型的数学关系式，而应该了解建立各种模型的基本假设是什么，在什么样的约束条件下，模型才能运用。

(4)费用

指在预测过程中所发生的费用，预测技术从调研到编程应用通常包括研制费、储存费、运行操作费，以用可能使用的其他技术费用四个方面的费用。显然，不同的预测方法将导致不同的预测费用。因此，在选择预测方法时，要考虑费用的约束。

(5)精度

即预测值与实际值之间的误差，在通常情况下，精度要求达到 5%～10%,而在某些情况下,25%左右的精度即可满足现实的需要，精 1 度的提高往往与费用的增加成正比。因此，决策者应对费用与精度进行权衡。

(6)实用性

预测的目的是为决策提供科学依据。而只有那些被理解了的预测方法才能被决策者在实际中运用。因此，预测方法既要满足预测对象的需要，还必须适合应用预测方法的管理人员。在这里，非常重要的是，管理人员要参与预测过程的每个步骤，以使他理解所选定的预测方法的各种局限和能力，并将它们应用到决策中

需要全本请访问 www.ertongbook.com

2 费用预测的建模基础

2.1 研制阶段的划分

2.1.1 卫星工程的研制特点

卫星研制生产是一项庞大的、复杂的工程系统，有一些突出的特点。

(1)高技术、新技术、高难度

卫星工程系统由有效载荷、平台、地面检测设备三大部分组成。有效载荷是卫星的核心，其功能要求决定了卫星的用途。迄今为止，绝大多数应用卫星的用途在于获取信息或传输信息。因此，卫星有效载荷的研制与信息技术的发展不可分割。近年来，信息获取与传输手段的发展日新月异，卫星有效载荷的新品种层出不穷，需要突破的关键技术几乎都是当代高、新技术的前沿，难度大。

平台是卫星的保障系统。先进的平台要求结构重量轻、指向精度高、姿态控制好、软件功能强，并逐步向标准化。通用化、系列化方向发展。但难度也是相当大的，只能分阶段地逐步实施。

(2)高可靠,长寿命

卫星要在大气层外的空间环境中工作。空间环境具有高真空、强辐射、高低温交变和微重力等特点。空间环境导致卫星研制的复杂化，并要有高的可靠性作为正常运行的保证。例如，空间的电磁辐射和粒子辐射对电子元器件、电子线路和材料都有损伤作用。因此，星载的电子仪器设备要采取抗辐射加固措施，有些材料也要加以保护。

卫星是上天产品，要有长的连续工作寿命。太阳同步轨道卫星寿命一般为 2～3 年,地球同步轨道卫星寿命要达 10 年以上。这就对电子元器件在可靠性方面提出更严格的要求，其可靠性指标应逐步达到“宇航级”电子元器件标准，保证在轨卫星正常运行。返回式卫星由于需再人大气层，其系统复杂性增加，又要准确落在预定的区域，因此也要有高的可靠性作保证。

(3)周期长,协作广,风险大

应用卫星一般要经过 2～3 年的预先研究,6～7 年的研制生产。即从预研到成功发射需 10 年左右的时间。因为研制生产时间长、涉及面广、技术难度大，所以影响卫星工程项目建设的不确定性因素极多。例如，技术方案的变更、外协部件的拖期、某一零件的失效、甚至一根导线的断线等，由此带来的损失将是巨大的。

(4)重试验,多调试

为了不把隐患带上天，卫星研制生产过程中非常重视地面试验。例如，系统级的环境模拟试验(力学、热真空),系统级的功能检测试验,分系统仿真试验,设备环境致损试验等。

同时，卫星研制生产过程中十分强调系统之间的电性能匹配和电磁相容，安排了一系列的综合测试 在初样阶段有桌面联试、电性星试验、星地(卫星与测控台站)匹配试验 正样阶段有正样星鉴定试验（检验星试验）、发射星综合测试等。

(5)小批量 ,多备份

卫星研制生产属于单件小批量生产。对卫星本体，任何一个微小的变化，都会引起相关系统的一系列改变。即使是生产同一型号系统列的卫星，随着性能参数的变化，其设计生产也会

有很大的改变。因此，卫星的研制生产十分强调冗余设计技术，并生加工出备份部件、备份星。

(6) 投资高、效益广、见效慢

卫星产业是个高投资的产业部门。既可以在本部门产生出效益，也可在众多的相关领域产生出效益。同时，对经济建设、国防建设、科学技术的发展都有相当大的促进作用。但其效益往往表现出滞后性，并且其社会效益也难于进行定量的描述。

2.1.2 研制阶段的划分

研制阶段划分为以下六个阶断：

1)O 阶段——任务分析和方案设想阶段。根据国家或用户的需求制订型号发展规划，设想可行方案，探索各种解决途径。

2)A 阶段——可行性论证阶段。遵照国家的空间技术规划、使用部门的要求，对基础性成果、资源条件、技术可能性、经济合理性、研制周期等因素统筹考虑，综合分析可供选择的各种技术途径，提出可行性论证报告，并对关键项目、新项目进行预研。

3)B 阶段——方案论证阶段。根据研制任务书的要求，通过多种方案、多种途径论证比较，统一设计思想，筛选总体和分系统方案，并经模样验证确定最佳方案，对型号研制作出全面规划和布置。

4)C 阶段——初样阶段。用工程样机对设计、工艺方案进行实态验证，进一步完善方案。即根据需要组装几颗星，如结构星、温控星、电性星以进行各种试验，检验卫星各方面的性能是否达到要求，为正样研制提供全面、准确的依据。

5)D 阶段——正样阶段。在修改初样设计的基础上研制正样，生产加工出检验星、飞行星总装测试，进行飞行试验，全面鉴定产品的设计和工艺，转入定型生产。

6)E 阶段——应用、改进阶段。在不改变总体方案的前提下，提高型号效能，降低成本、缩短研制周期。

O ~ A 阶段的费用称为预研费用，B ~ D 阶段的费用称为研制费用，E 阶段为变更费用，定型后的生产成本在 D 阶段进行核算。下面从阶段工作内容、费用预测工作及适用方法、精度要求几方面进行分析总结，列出表 1.2.1 如下。

表 1.2.1 各阶段有关的费用预估

研制阶段	O	A	B	C	D	E
大致周期	1 年左右	1 ~ 1.5 年	1 年左右	2 ~ 2.5 年	2 年	视卫星寿命
主要工作内容	·制定发展规划 ·基础性预研	·指标可行性论证，方案设想，对比优选 ·支持性课题预研 ·指定技术管理负责人	·方案论证设计，原理试验 ·任命总设计师、行政指挥、总经济师 ·大总体论证	·初样设计试验 ·建立组织机构 ·大总体协调、大总体联合试验	·正样设计试验 ·飞行试验运行工作 ·参加发射测控，信息处理	·改善性能，扩大应用 ·进行验收移交
费用	费用预估	系统费用预测	系统、分系统费用预测	阶段费用预测	同左	效益分析
适用方法	专家法 比较法	专家法 比较法 蒙特卡罗法	工程统计法 参数法 蒙特卡罗法	同左	同左	
精度要求	25%	20%	5% ~ 10%	5%		
成本费用构成	预研费用		研制费用		←生产成本→	←变更费用→

2.2 工作分解结构

2.2.1 系统的层次性原理

(1)系统的概念

系统是由若干个相互联系、相互区别、相互作用的要素所组成，在一定的阶层结构中分布，在给定的环境约束条件下，为达到整体目的而存在的有机集合体。

系统有六大特征,即目的性、集合性、相关性、层次性、整体性、环境适应性。工作分解结构的基础依据就是层次性原理。

(2)系统的层次性

系统作为一个相互作用要素的总体看，它有着一定的层次结构并分解为一系列的系统。此时分解的基本标志是它的目标作用。分系统必需有功能目的。这是从功能系统的总目标产生出来的。这时，分系统的功能目的是系统功能目的的一部分。比如卫星工程系统的每个分系统都有各自的功能目标，但是任何一个分系统也不可能解决整个卫星工程系统的总目标：以最低的费用、最快的速度研制生产出特定要求的发射卫星。

各个分系统的本身又可以看成是由分系统组成的，系统、分系统和要素可以表示为一个阶层结构形式，如图 1.2.1 所示。图的顶点用符号表示出系统的支配要素和执行要素。支配性要素起码要对系统中的一个要素有支配关系。同时它本身又可以是被支配的。执行要素是指它对系统的任何要素都不能有支配关系，同时从系统的任何一个支配要素来看，它都是受支配的。用连线表示这些要素之间存在的关系。系统图的顶数是有限的，因为系统是由有限的要素组成的。

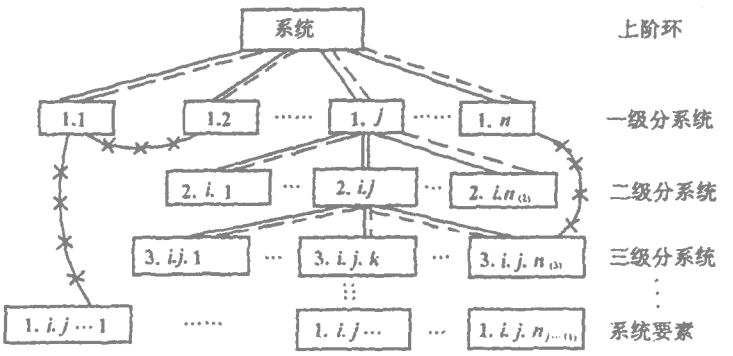


图 1.2.1 系统层次结构原理图

系统图中有三种关系（用三种箭线表示）：领属关系(实线),从属关系(点线),相互作用关系（星线）。领属关系的特点是支配要素可以通过各种控制手段对下属要素（支配要素或执行要素）作用并指向目的地改变它的状态。从属关系的特点是，该要素按点线指向“服从”控制。相互作用是指在两个要素（按星线方向）之间存在着一定的物质的、信息的、能量的或某几种同时存在的交换。

在阶的最高顶点上的支配要素称为系统的上阶环，直接接受上阶环支配的要素称为一级要素，用码 $1.1,\cdots,1.i,\cdots,1.n_1$ 表示，这里 n_1 是一阶要素的总数。由一级要素直接支配的要素称为二级要素，对从属于一级的 $1.i$ 分系统($i=1,2,\cdots,n$)的要素用 $2.i.1,\cdots,2.i.j,\cdots,2.i.n_{i(2)}$ 来表示。$n_{i(2)}$是从属于 $1.i$ 分系统中二级要素的总数。以此类推，建立起系统层次结构。

2.2.2 工作分解结构的概念、功能与分类

(1)卫星工程系统的概念

卫星工程系统这一概念有不同的表述。例如：“是一种由设备技术与技术能力构成的，能够执行和／或支持某项型号任务的综合体”又如‘由硬件、软件、器材、设施、人员、数据与劳务组成的整体，它可完成具有给定结果的某一具体功能，诸如规定数据的搜集处理并提供给用户”。这里给出如下定义：由硬件、软件、器材、设施、人员、数据、系统工程与综合管理及其他劳务（试验、鉴定等）所构成，按技术要求分层次、分阶段地展开工作，在给定的费用、效能等约束条件下，能够研制生产某项型号任务的有机集合体。

(2)工作分解结构的概念

按照系统层次体系，以产品构成为主线条，在系统发展过程中通过进行各项工程工作得出由硬件、软件、数据和劳务等组成的系列树，对某一系统进行完整的描述。

(3)工作分解结构的特点

1)对卫星工程系统进行了完整的描述，给出了系统组成单元的集合；

2)确立了要向型号提供的全部物品与劳务，把所有要开展的各项工作内容相互联系起来，并使其与最终产品联系起来；

3)确立了有合同效力的逻辑构架体系，使进度、费用、技术性能及技术接口相互关联；

4)以技术要求分配清单所记载的技术要求分配和系统层次体系为依据，且应与规范树相一致，因为两者都确定了应予生产的项目。

(4)工作分解结构的功能（作用）

1)提出型号的任务，确定其与型号的组织、项目和目标的关系；

2)既可以用来累计费用，又可以对型号进行经费控制；

3)进度安排的依据；

4)可以作为风险分析与技术性能测定的工具；

5)保证所有派生计划的实施，以完成型号的目标；

6)可以通过结构关系及在各个工作单元上产生的信息，跟踪检查任务的完成情况。

(5)工作分解结构（WBS)的分类

WBS 的分类是以层次划分为基础的。航天产品的层次级别可分为项目级、系统级、分系统级、子系统级(部件级)、组件级、零件级。依此,可对 WBS 作如下分类：

1)纲要性 WBS。WBS 中最上面的三个层次，包括项目级、系统级、分系统级三个层次。这三个层次的 WBS 由用户与研制单位共同制定。

2)项目的纲要性 WBS。是按某个给定的系统或综合计划要素确立的一种纲要性 WBS,也可以称之为一项型号任务，分三个层次，包括系统级、分系统级、部件级，由研制单位制定。

3)项目 WBS。为该项目完整的 WBS，它包括与研制生产型号项目有关的全部 WBS 单元，一般确立到五个或六个层次，由研制单位制定。

(6)分解结构图的建立

a.程序

1)明确型号项目的目标、任务要求；

2)查阅相关的规范性、标准性文件及计划文件；

3)由系统工程方法确定层次体系和配置项目；

4)确定各研制单位承担的项目及进度安排；

5)明确接口关系；

6)画出分配结构图并编号；

7)反馈修改。

b.常见的 WBS 图的形式

1)按职能机构分类建立,这种形式与职能型的管理方式相对应,其典型形式如图 1.2.2 所示。

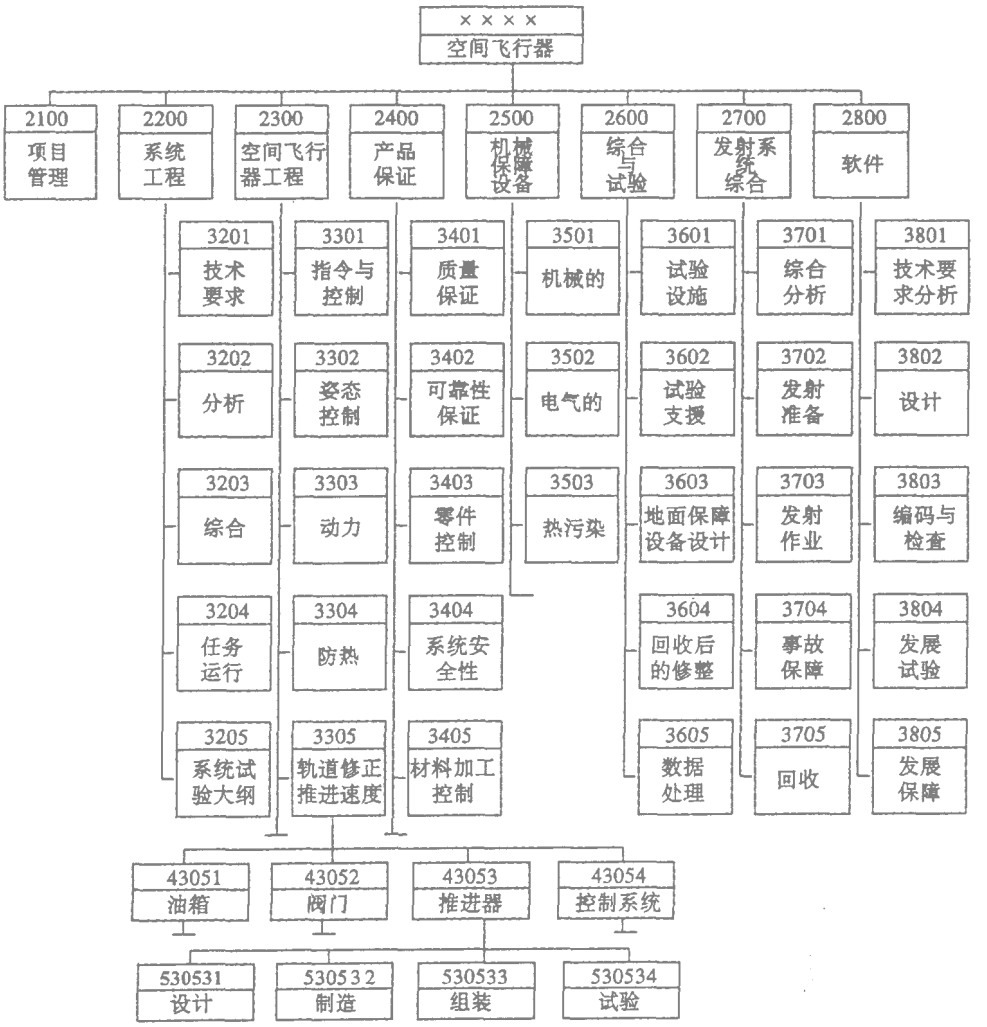


图 1.2.2 典型的按职能建立的 WBS 示例（编码第一位代表层次）

2)按研制单位承担任务建立，这种方式目前在实际管理工作中应用的较多，其典型形式如图 1.2.3 所示。

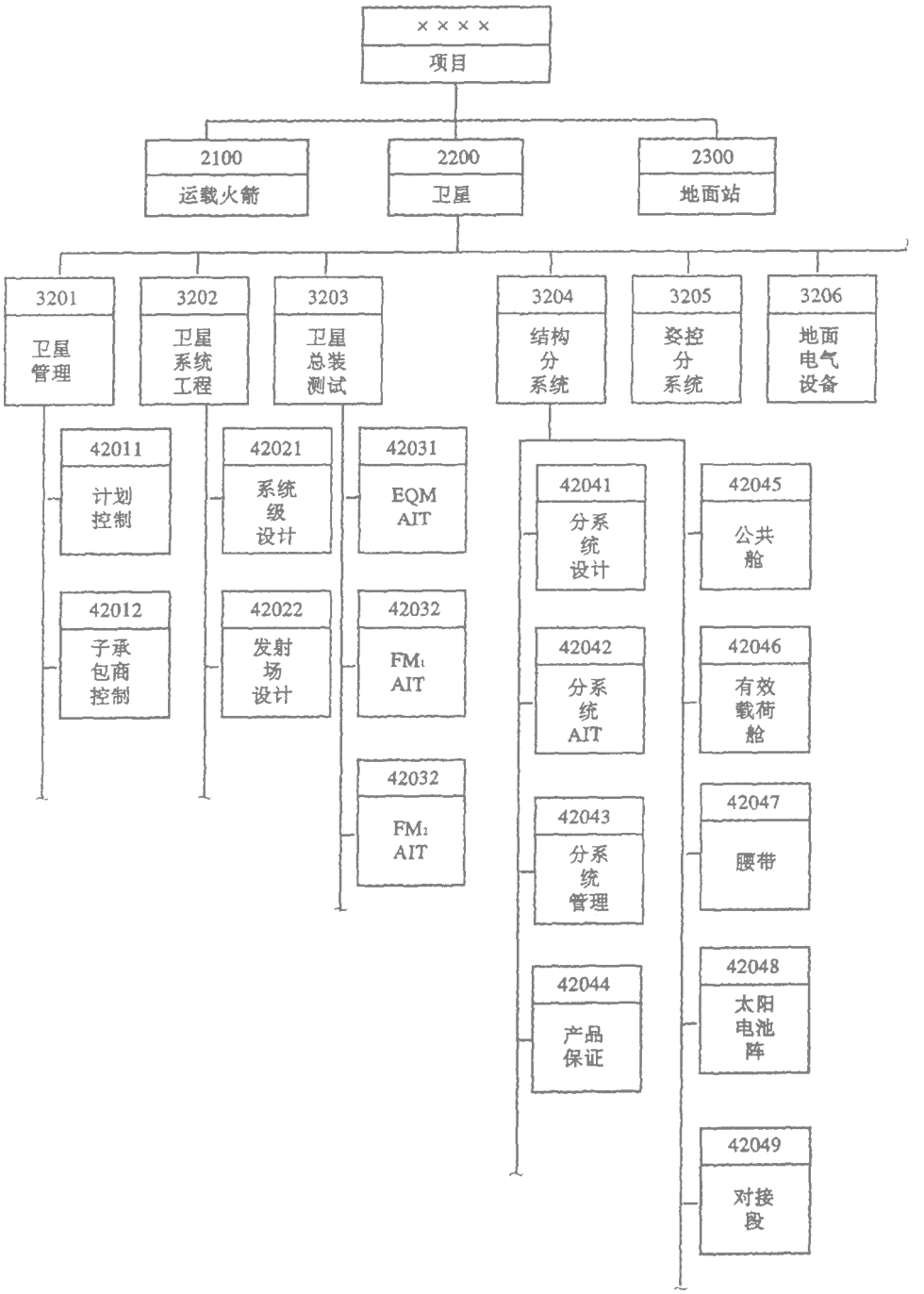


图 1.2.3 典型的按研制单位承担任务建立 WBS 示例

3)按研制进度建立，其横向用研制阶段表示进度，其纵向是按职能或研制单位承担任务划

需要全本请访问 www.ertongbook.com

分的系统,图 1.2.4 中方框表示某一系统中的一项工作任务。这种方式目前应用的也较多。

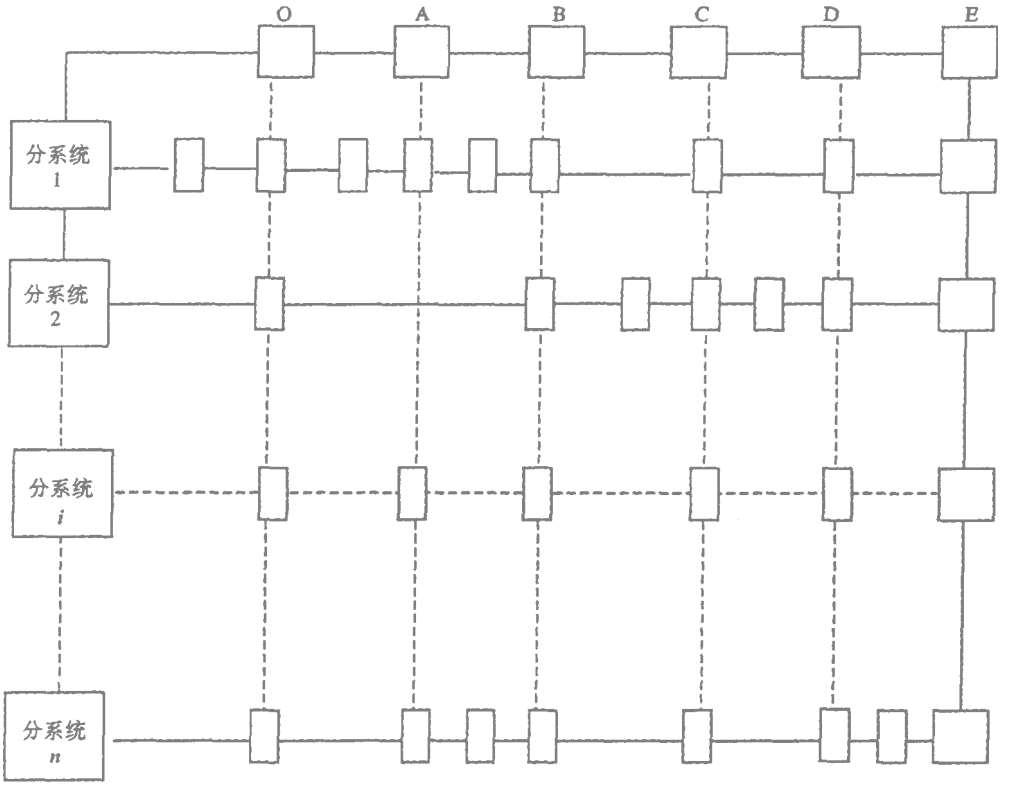


图 1.2.4 按进度建立 WBS 示意图

2.3 技术要求分解

2.3.1 任务分析(技术要求的确定)

在一个型号的概念研究阶段或可行性论证阶段，系统工程部门主要关心任务的分析把用户的需求转换为一组可以量化的功能性要求，这些功能性要求又可转化为对设计提出的技术要求，用户在这方面提出的需求首先由负责机构系统地表述成一组目标，并在概念研究报告中加以确认。然后将这些目标以明白显著的术语予以量化，并对能满足需求的基本功能进行确认。任务分析即可进行到确认技术要求并将其表述为可度量的参数。这些参数表达了用户的需求，技术人员也能借助这些参数去提出系统的各有关概念，以参数化的方式进行系统分析可保证使系统的规模（转发器数目、轨道高度和倾角、工作寿命、等效全向辐射功率等）恰当。

像整个的系统工程的处理过程那样，任务分析也是一种迭代运算过程，随着概念的发展和其他细节的确定，可以不断地精化并确认新的技术要求。这些确定出的技术要求通常要纳入系统规范。

这种迭代式的任务分析方法包括以下步骤：

1)用可以度量的参数(航程、分辨率、速度、容量)描述提出的问题；

2)确定技术要求间的相互影响和技术要求的变化范围；

3)确定候选系统的有关概念(地面的、空间的、机载的)；

4)提出各参数的数据；

5)试验灵敏度以确立关键的主导因素；

6)提出使用方案；

7)选择合意的概念；

8)精化所选的概念并予以定量；

9)决定性能、费用、进度和风险；

10)确定设计方案及技术要求。

上述步骤可归纳为如图 1.2.5所示的流程，根据用户的需求认定技术要求，分析功能流程及相互影响关系，拟定性能参数及费用的数据，在方案优选的基础上确定设计方案及技术要求。

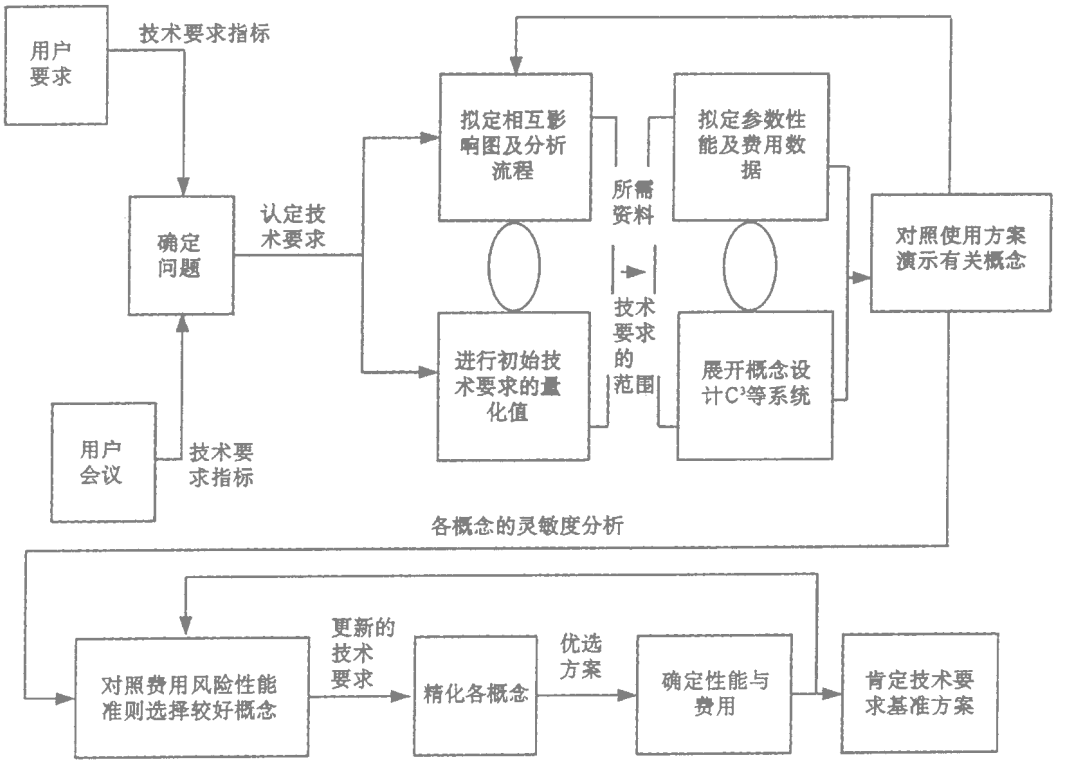


图 1.2.5 确定技术要求的流程

2.3.2 技术要求的下分

技术要求的下分就是将系统一级的技术要求予以分解，一直分解到某个层次，而在该层次上给定的硬件项目或软件程序均能满足所需的功能／性能要求。这些要求是以可度量的参数来表示的，并且是用来对系统的能力进行量化的。技术要求下分的最终结果就是拟订出技术规范，而技术规范是系统工程处理的结果，型号的进度制订与费用预测即以此为依据。

分解的途径有以下几种：

1)“自上而下”的分解途径，它形成一种层次树结构，按此结构逐次地把技术要求一直划分并分配到能满足可能限定技术要求的最低层次（部件或子程序）。此法可用于全新设计的系统。

2)“自下而上”的方法。该法适用于将一些具有明确规定能力的现有部件或软件程序组合起来去满足系统目标的情况。由于存在接口和可操作性问题，这种方法可能难以实施，但在经费与进度方面，它又往往更为接近现实情况。

3)“上下结合”的方法，这种方法对设计、仿真、试验及以后的改型都有好处，在实际工作中应用较多。尤其适于对系统作部分改进的情况。通常采用划分逻辑模块单元的方式建立系统层次体系。

性能方面的技术要求可以分为能进行分配的参数和不能进行分配的参数两种。质量即属于前者，它可以进一步细分；对材料与加工的要求属于后者，对它们可不做改变地直接应用于所有的功能分系统。

可以进行分配的参数又可分为直接进行分配和间接进行分配的两类。能源系统的输出功率是可以直接进行分配的，其输出功率先分摊到各个功能分系统上，再分摊到各子系统上。间接进行分配的技术要求是指那些需要经过分析去确立性能的可度量参数的要求。属于这类的一个例子是把关于遥感器的目标遥测尺寸和距离的任务要求转换为辐射功率、脉冲宽度和计时稳定性，这样，系统的设计人员在确定其硬件尺寸时即可利用这些参数。以广播卫星为例，技术要求的分解内容如表 1.2.2 所示。

表 1.2.2 广播卫星技术要求分解内容

系统技术要求分类	系统级指标	对分系统分解内容
有效载荷功能	波束大小、个数，相应的 EIRP	有效载荷中各环节功能转换分配
质量	卫星总质量，有效载荷质量	质量分配
功率	寿命末期总功率，提供有效载荷功率	功率分配
几何要素	最大直径、总高	空间分配
运行程序	轨道位置（高度、仰角）	飞行测控程序分配
准确度	天线指和精度及轨道控制精度	误差、精度分配
寿命、可靠性	工作寿命及寿命末期可靠性	可靠性分配

技术要求的分解准则为：

1)可跟踪性。编号，建立技术要求分配单；

2)完整性。技术要求可单独存在；

3)可验性。能通过至少一种标准方法，如试验、分析、演示验证或检验，予以验证；

4 相关性。应只覆盖一个单一的参数或需一起进行验证的一小组紧密相关的参数。

2.3.3 规范的确立

规范是为了保证研制工作而专门制定的文件，它借助完整的设计说明或借助性能，在大多数情况下是同时借助设计说明和性能来确定技术要求。即系统技术要求是以系统规范这一文件来表达的。该文件以及由此而派生出的较低层次文件的格式应有一定的标准形式以保证其完整性、通用性。

系统级技术要求规范主要有以下内容。

(1) 系统的确定

包括一般性说明、任务、系统框图、接口确定、资金的来源与数额、使用和组织概念等项。

(2) 特性

性能特性：包括所有系统一级的功能和性能技术要素。这些要求由任务分析得出。可以将其分为几类，如有效载荷功能、功率、运行程序、准确度、寿命等。然后，尽可能以定量的术语说明每一类各自的技术要求。

物理特性：在系统一级，这部分通常占的分量很小。它包括质量、几何尺寸、坐标系统、校正要求等对整个系统结构设计时设置的约束。

可靠性：确定总的系统可靠性数据和分系统的可靠性分配。

维修法：系统采用的维修性准则和任何关键的平均修复时间值。

有效度：也称为随时可用性。有效度是可靠性和维修性的函数，它是系统性能的关键性度量。

2.4 数据库的建立

在现阶段的费用预测工作中，往往要投入大量的人力，花费很长的时间进行数据的采集工作，对历史数据的搜集更是费力费时，而且也很难得到系统的、完整的型号数据。这种情况首先影响到预测方法的选择，因为一两个样本点是不能进行回归计算的。其次数据采集影响到预测模型的质量，其预测精度很难保证。因此，数据库的建立对今后费用预测工作的开展极为重要。利用计算机技术对数据进行及时的采集、存储、分类、加工、汇总，并输出各类报表，为预测模型的建立提供强有力的支持。

本数据库主要包括基本数据库与程序功能模块两大部分。可在 d BASE III 关系式数据库管理系统上实现，其优点是具有极强的会话式的数据库命令及数据库语言。其功能框图如图 1.2.6 所示。

2.4.1 程序功能模块

程序功能模块由主控模块、建库模块、输入模块、维护模块、拷贝模块、查询模块、计算处理模块、制表模块组成，其主要功能如下：

1)主控模块。对其他子模块进行控制和调度。主控模块可用人机会话的菜单方式设计。当运行主控模块时，在显示器屏幕上显示出一张可供选择的功能表，选择功能码后，系统就转入相应模块并执行之，执行完后返回主控模块。

2)建库模块。为建立数据库结构而设。此模块包括快速增，数据库字段、修改数据库结构。

3)输入模块。主要用于输入批量数据，也可追加记录，以及输出原始数据。

4)维护模块。包括插入、删除、修改模块。用于调整已经建立的数据库中的任何数据，包括在库存中插入记录，删除不需要的记录，或更新数据。

5)查询模块。用于记录的查找（按型号、系统、单位和年份进行查询）。在各种查询中，可根据所设的关键字来进行数据记录定位，以提高查询速度。

6)计算模块。用于对数据的计算或处理。原始数据准备就绪，并确认输入的数据全部正

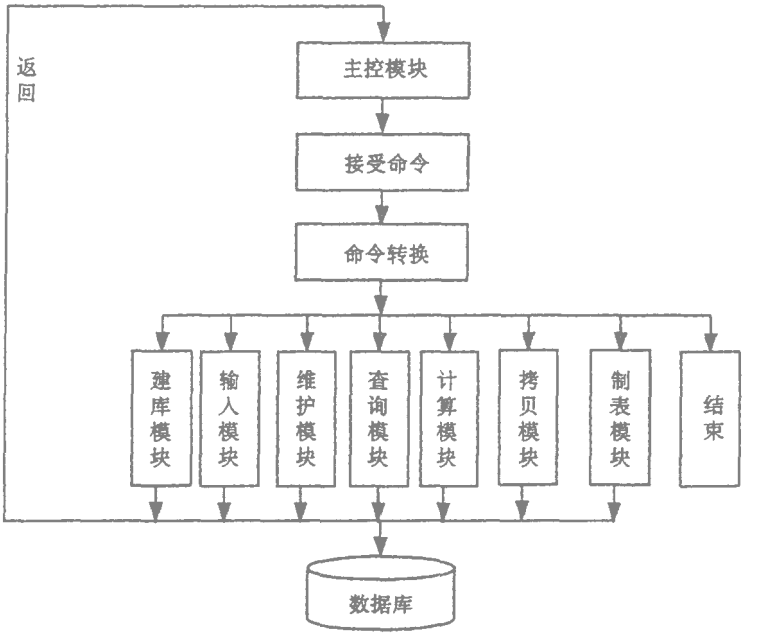


图 1.2.6 程序功能框图

确无误后，对数据进行计算或处理。这是系统的主要模块之一，它完成手工管理中由人去做的全部数据处理工作。

7)制表模块。打印输出各类报表。

8)拷贝模块。确认数据库正确以后，将数据库拷贝到软盘，形成一个备用文件。系统交付使用以后，提醒用户合理使用这一切功能。

2.4.2 基本数据库的组成

基本数据库由费用数据库、配套项目数据库、投入技术力量数据库、性能参数数据库组成，如图 1.2.7 所示。配套项目与性能参数数据库可分为星上产品（有效载荷与平台）、地面检测设备两部分。投入技术力量数据库主要搜集参加研制人员及工时数。费用数据库的数据按航天部规定的成本构成项目进行统计。即材料费、外协费、专用费、试验费、设计费、燃料动力费、工资及福利费、研究室（车间）经费、所管理费九项。其中后四项需按工时进行分摊。

数据库的输入输出可划分为 3 个层次：系统级、分系统级、子系统级。子系统级的输入按费用、配套项目、技术力量、性能参数 4 项分类将子系统级（部件级）的费用数据送入数据库，其输出作为分系统的输入，而分系统级的输出又作为系统级的输入，如图 1.2.8 所示。

各个层次的输出主要包括以下报表文件。

子系统级包括：

1)元器件、原材料数据表

2)设计项目数据表

3) 外协项目数据表

4) 试验项目数据表

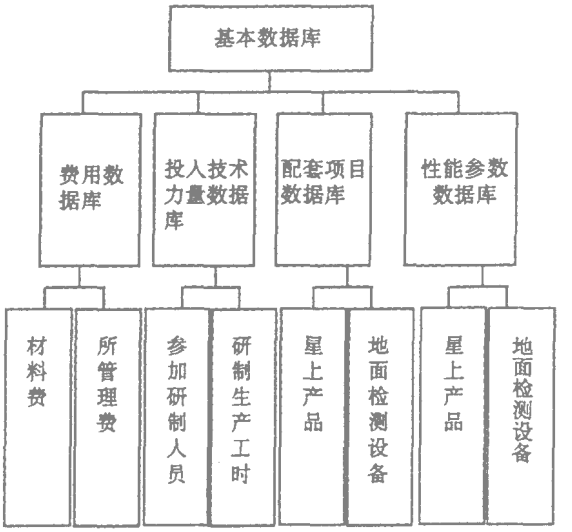


图 1.2.7 基本数据库组成

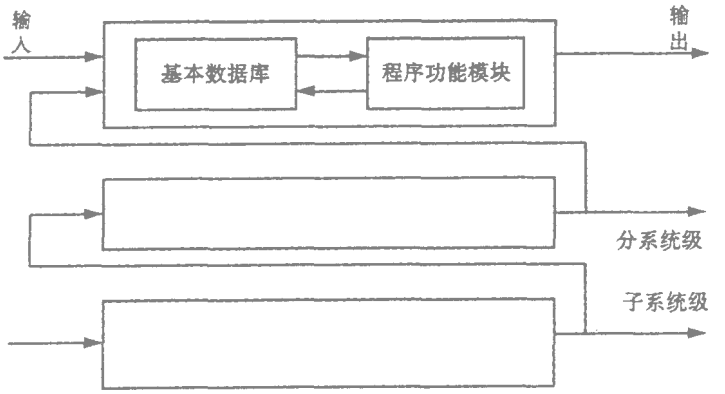


图 1.2.8 分层次的数据流程图

5)专项工程数据表
6)参加研制人员数据表
7)零部件工时统计表
8)子系统费用数据表
9 子系统性能指标数据表

分系统级包括：

1)分系统费用数据表
2)部件配套表
3)地面检测设备配套表
4 参加研制人员数据表
5)分系统工时统计表
6)分系统性能参数数据表

需要全本请访问 www.ertongbook.com