

系统工程学

〔日〕寺野寿郎编

张宏文译

晏国华校



机械工业出版社

目 录

1. 系统工程学概况	1
1.1 系统与系统工程学	1
1.1.1 绪言	1
1.1.2 系统工程学的历史	2
1.1.3 系统工程学的特点	
1.2 系统工程学的方法和过程	
1.3 系统分析	
1.3.1 目的与次序	7
1.3.2 系统模型〔6~8〕	16
1.3.3 系统分析的工具〔15~17〕	18
2. 网络系统	24
2.1 网络系统及其特点	24
2.1.1 网络系统举例	24
2.1.2 网络系统的特点	30
2.1.3 模型及其处理	31
2.2 系统分析及设计方法	34
2.2.1 图论〔13~15〕	34
2.2.2 网流问题	38
2.2.3 网络的路径问题〔18、19〕	42
2.2.4 安排顺序的问题	45
2.2.5 树	46
2.2.6 其他应用	47
2.3 电力网络问题	49
2.3.1 网络的合并化	51
2.3.2 网络分割法	54
2.3.3 网络计算和图解	59
2.4 交通系统	67
2.4.1 自动售票检票系统〔32〕	67

2.4.2 运行计划系统	77
3. 过程系统	86
3.1 系统工程学中的过程系统	86
3.1.1 过程系统的结构	87
3.1.2 过程系统的评价	88
3.1.3 过程系统的分析、综合和运用	90
3.2 过程计划	93
3.2.1 过程计划概况	93
3.2.2 过程系统	94
3.2.3 系统的最优化	97
3.2.4 增设计划	104
3.2.5 过程的最优组合	107
3.2.6 服务设备计划	112
3.2.7 计划和设计	114
3.3 过程设计	116
3.3.1 过程设计概况	116
3.3.2 过程模拟	116
3.3.3 过程的最优设计	127
3.3.4 过程的操作设计	135
3.4 过程系统的运用计划	140
3.4.1 运用计划概况	140
3.4.2 运用信息系统	140
3.4.3 运用计划	147
3.5 设备的运用	158
3.5.1 设备运用概况	159
3.5.2 根据控制功能划分层次	161
3.5.3 设备模拟	162
3.5.4 设备的分析	166
3.5.5 设备的最优化控制	170
3.5.6 设备的最优控制	173
3.5.7 设备的改进	177
4. 管理系统	179
4.1 管理系统及其特点	179

IV

4.1.1	管理系统的意义	179
4.1.2	企业经营管理系统的基本结构	180
4.1.3	经营管理的计划、实施和控制管理系统	182
4.1.4	管理系统的优点	185
4.2	管理系统中的各种方法	197
4.2.1	调度[13]	197
4.2.2	模拟	201
4.2.3	工作(系统)设计[15]	204
4.2.4	模块式法和总体系统方法	205
4.2.5	计划程序预算系统(PPBS)[18]	206
4.3	生产系统	207
4.3.1	从系统工程学看生产系统的变革	207
4.3.2	生产管理系统的几种方法和实例	222
4.4	信息管理系统	239
4.4.1	系统的运用和信息管理	239
4.4.2	日本广播协会(NHK)的信息管理系统[20~23]	241
4.4.3	其他例子	248
4.5	银行系统	257
4.5.1	银行业务概况	257
4.5.2	银行事务的机械化	257
4.5.3	系统的结构	258
4.5.4	软件概况	264
4.5.5	主要档案概况	267
4.5.6	业务处理方式概况	269
参考文献		277

1

系统工程学概况

1.1 系统与系统工程学

1.1.1 绪 言

最近, 不仅与工程技术有关的领域, 甚至社会的各个方面都盛行“系统”、“系统化”或“系统工程学”之类的名词, 特别是在报导“阿波罗 11 号登月成功是系统工程学在美国的成果”之后, 人们对系统工程学越发感到兴趣。那末, 系统工程学究竟是研究什么的呢? 其解释各不相同, 作者认为“系统工程学就是使从无到有的创造过程合理化的科学”。

人们常常脱离现实去追求更理想、更完美的东西, 但许多现实问题是异常复杂的, 不知应该解决的问题到底在哪里, 即使知道了也往往不明白应该从哪里着手。过去工程技术所处理的问题局限于非常狭窄的范围, 并在这种范围内展开仔细而深入的讨论。因此, 虽然也有创造和分析, 但因为未追溯到问题的根源, 所以未必能真正解决问题。

系统工程学处理问题的态度是, 复杂的问题按其复杂程度设法解决, 特别是对于宇宙探索和海洋开发等未知问题, 绝对需要

1109072

采取这种态度，否则，只会走到与其目的相反的方向。目前，由于科学技术的迅速发展，工程学的分支日益增多，想要成为各方面的专家恐怕不可能了。系统工程学不是凭过去的经验或习惯，而是从整体出发冷静地判断和处理问题。用系统工程学的思考方法和手段，不仅能解决工程学问题，甚至还可以解决社会中的一般问题。事实上，它已广泛用于经营管理、交通和预算编制等工程学之外的领域中，并正在取得成果。

毫无疑问，系统工程学仍是一个时日尚浅未成熟的领域，即使学到了这种方法，也还不能完满地建立系统。因此，有不少人怀疑是否过于扩大了理论和实践的距离，而最后冠以工程学之名。不过，不管现实如何，还是应该重视系统工程学，因为目前尚未找到能解决日趋复杂的科学技术和社会问题的方法。在引进系统工程学时，应该对其有正确的认识，即过高或过低地估计其效能都是错误的。对我们来说，重要的是冷静地判断和估价，利用其有益的部分。

1.1.2 系统工程学的历史

近年来，科学技术取得了异乎寻常的发展，而将来的发展更是迅不可估，图 1.1 ~ 图 1.4 表示这种趋势。图 1.1 为钢铁工业中每年产量的增长情况，图 1.2 为客运和货运速度的变化，货车和马车的时代较长，而从出现飞机到今日超音速客机这段时间极短。图 1.3 为美国电话增加数，可见信息量增加之快，可以预料这个数字将由于利用线路数据通信而迅速增加。图 1.4 表示日本能源需要情况(以增加发电设备为例)。从上述例子中可看出物质、信息和能源——工程学的三个基本部门都呈指数函数增长。

这种技术的进步对人们不都是有益处的。例如，在汽车少的时代，汽车是极为方便的运输手段。如今，由于产量的增加，不仅成为效率极低的运输手段，而且也出现了新问题——事故和公害。

同样，运输速度的上升和信息量的增大对人类有益，随之而来的是空间世界变得狭窄了。

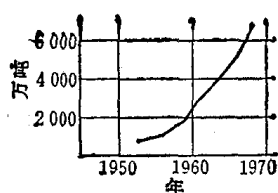


图1.1 钢铁产量

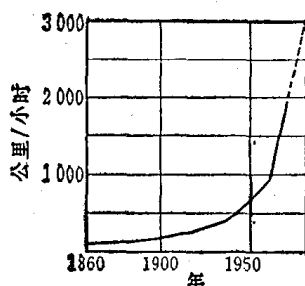


图1.2 客运及货运速度

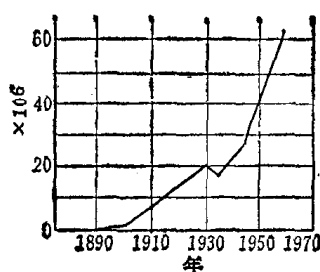


图1.3 电话增加数

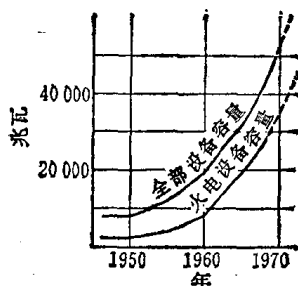


图1.4 发电设备的容量

系统工程学所说的空间世界狭窄是指系统之间的干扰增强了，同时意味着所处理的对象是巨大而复杂的。

作为工程学的对象，如果称过去未考虑到的巨大而复杂的东西为“系统”，那末，今日科学技术所碰到的大问题是如何合理地设计和运用这种系统。如果这个问题得不到解决，在不久的将来，这种无计划发展的技术所带来的危害将远远超过其利益，最后，整个社会将陷入严重的混乱状态。因此，就必然产生一个合理处理系统的工程学领域——系统工程学。

据说，很早就有系统工程学的设想，三十年代美国无线电公司在开发电视广播之前就深感其必要性^[1]，而在四十年代，贝尔研究所的研究人员也曾使用过系统工程学一词。其后，在第二次世界大战中产生了运筹学，想出一种从科学的角度处理大规模系统的方法。战后，这种方法用于经营策略上，并取得迅速发展。1945年美国空军设立兰德公司，研究复杂系统的数学分析法，从

而取得了许多成果。而后,美国盛行国防系统开发和宇宙开发,并且民间也在研究新产品和需求的开发步骤、电力、交通、通信等大型系统的设计法,从而奠定了今日系统工程学的基础。最初,只是在搜索和利用系统性质这种意义下使用系统方法、系统分析这类词。自从1957年H. Goode和R. E. Machol在其著作中将它们命名为“系统工程学”以来,就一直采用这种称呼了。

从此以后,各个领域分别进行了系统方面的研究,而且有关著作相继出版。它们之间未必有统一的目的和思想,而是分散地存在着。最近才有人试图将它们统一起来,形成工程学体系,但是这种尝试没有成功。

尽管如此,应用系统工程学的地方却较多,虽然其理论体系还不完善,但是还是相继产生了水平较高的实用系统。其应用见表1.1。

表1.1 系统工程学的应用实例

工 业 系 统	生产过程系统	最优设计、最优控制、过程模拟、分级控制、自动起 动……
	网络系统	交通、电力、通信、管路配置、分配、安全回路、控 制回路、情报网……
	其 它	机场管制、宇宙开发、地区冷暖房的自动化、建筑、 工业用机械人……
管 理 系 统	经 营	经营管理、经营模型……
	计 划	计划、规划、预算系统①、调度、计划……
	信息管理	情报检索(图书、法院、警察)、生产、研究、销售、 库存等管理、信息管理系统……
服 务 系 统	预约业务	铁路、飞机的座位、旅馆……
	银行、证券业务	联机自动化……
	邮 局	自动分拣……
	职业介绍	中央管理

(续)

社 会 系 统	经 济	流通机构、经济模型、工业动态学、资源分配……
	国 土	城市设计、地区开发、公路计划、公害、城市计划……
	教 育	教育组织、教育机构……
	国 防	半自动化地面防空体系、BAGE、奈克(美国一种地对空导弹)……
人 体 系 统	生理、病理	分析、模拟……
	脑、神经、心理	神经细胞模型、思维模型、图谱识别、自动翻译、对策模拟、人工智能……
	医 疗	自动诊断、医院自动化、假手假脚、人造内脏……
自 然 系 统	气 象	天气预报、台风、防洪措施……
	地震、火山	防灾……
	河流、海洋、土地	水库流量控制、工农业用水、海洋开发、养殖、土地利用、地下资源……
	农、林业	计划、自动化、生态学

① Planning Programming Budgeting System.

1.1.3 系统工程学的特点

迄今为止，人们仍是笼统地使用系统或系统工程学等词，但其定义又因人而异，相当含糊。这里暂定义如下：

所谓系统是指许多单元的集合体，是一种以整体完成某种目的的有机结合。

单元人为的组合就是工业系统和管理系统，而自然的结合就是人体系统，半自然的结合就是社会系统等，有时未必清楚它们结合的目的。

系统是由许多单元构成的，特点是其功能与单元功能全然不同。例如，一个继电器只不过是一个开关，就是把许多继电器集中起来，也不会产生什么新的功能。但是，把它们巧妙地连接起来，用于某种运算目的，而构成电子计算机，则可以发挥出色的

功能。系统的功能也与此类似。可以看出，系统只有作为一个整体才能充分发挥其功能，若仅取其一部分(分系统)加以研究，不会得到任何效果。系统分割后，即使最优设计了各分系统，整个系统也未必是最佳。

系统的特点列举如下：

1) 规模大——不是指物理上的大小，而是意味着结构单元多，因此系统的造价和运输费就大，但如果将整体功能稍加提高，所获利益还是多的。

2) 复杂——单元多，结合复杂，且难于分析和设计。人的一个脑神经细胞分出8000个分枝，与相邻的8000个分枝结合起来，其组合的复杂性是可想而知的。越是巧妙的系统，其结构越复杂。

3) 具有某一目的的整体——系统整体能够实现某种目的。实际设计中，有必要将大的目的分为具体的中、小目的，称之为系统的外部设计，这是系统工程学中最重要的一部分。

系统的次要特点如下：由于系统规模大而复杂，所以只能用统计的方法来表示其输入和状态，这就产生了“随机性”。“竞争性”是在设计新系统时发生的，应考虑到在某种意义上，必定会与现有系统发生竞争。“可扩性”意味着在长期建造系统时，由于环境和技术的变化而增设或改进系统。

下面是系统工程学的定义，它比系统的定义还含糊。其原因是系统工程学在目前还处于发展中，即使煞费苦心地下定义了，到后来也免不了要更新，然而，还是勉强定义如下。

所谓系统工程学是合理进行开发、设计、运用等思想、步骤、组织、技巧的总称。

据此定义，系统工程学又可分为广义的和狭义的。广义的系统工程学是以思想和步骤等为主的经验及哲学性的东西，而狭义的系统工程学是指分析、模拟、优化等较理论性的东西。

系统工程学与其它工程学不同之处不在于每个单元，而在于其结合状态，这点与控制工程学中所说的综合相似。例如，将两

个单元串联、并联或反馈结合，其控制系统的特性全然不同。系统工程学的特点是：1) 目的是系统的综合；2) 从讨论对系统的要求开始；3) 涉及的内容广，不单工程技术，还涉及经济、经营、管理、社会、心理……等领域；4) 与运筹学等一样形成集合体进行研究和5) 很大程度要靠电子计算机来完成……，等等。

系统工程师是担当系统开发和设计的人员总称。特别是作为开发组的领导应具备如下条件：1) 不但是单元的专家，而且，要掌握系统整体的要点；2) 不但有发现新单元的能力，还要有发现现有单元新用途的能力；3) 是个技术全面的人，且有判断力；4) 理解其它的专门领域，能正确传送情报和5) 还有经济、数学、心理学等知识。

1.2 系统工程学的方法和过程

系统开发的步骤是系统的计划、设计、实施、试验、直到运用一系列阶段，统称为系统的生命周期。这种生命周期可用各种不同的图型表示，图 1.5 表示美国空军用于未来系统开发的管理方法，主要是从用户角度进行确定，从而明确了用户与厂家的各自立场^[3]。它分为四个阶段，简要内容如下。

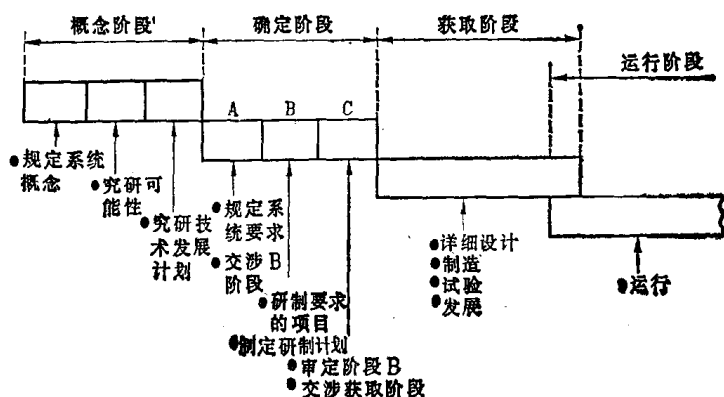


图1.5 美国空军系统的生命周期

阶段（概念阶段）

满足给定的目标和要求，并根据性能、成本、计划规定可行的系统概念。这当然是用户的工作。

阶段 1（确定阶段）

这一阶段又分为三个小阶段。用户首先提出系统特性和设计条件。厂家接受后对系统性能、主要单元性能、设计开发的方法提出方案。用户审定方案，根据整体性能、成本、计划以及其它约束条件的范围选择最优秀的系统，与厂家签订合同。

阶段 2（获取阶段）

在规定的期限和预算内，必须满足对给定条件的系统进行设计、制造和试验。

阶段 3（运行阶段）

对阶段 2 中所规定的各系统进行运行的阶段。

图 1.6 是国际商用机器公司提出的以事业系统为对象的开发周期。一个周期又分为以下三个阶段：

阶段 1（研究和设计）

本阶段又分为如下三个步骤：

步骤 I 现存系统的研究；

步骤 II 根据阶段 I 的结果和预测需要，确定系统的要求条件；

步骤 III 根据步骤 II 的要求条件，进行新系统设计。对于阶段 1，国际商用机器公司准备采用研究组织计划（SOP）[⊖]的详细项目。

阶段 2（实施）

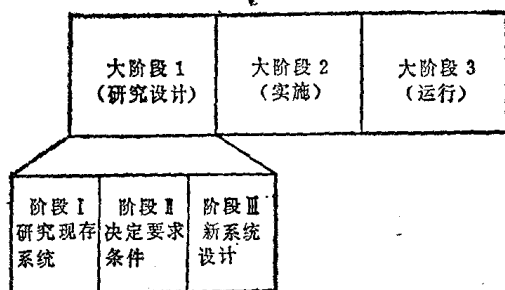


图 1.6 国际商用机器公司系统的生命周期

⊖ Study Organization Plan 的缩写。

进行系统的详细设计、编制程序、安装机器、向新系统过渡、试验和人员培训等。

阶段3（运行）

即系统运行，进而对系统进行修正、改进和扩充等工作。

在 Hall 著作中以一般系统为对象，指出了系统开发的方法和过程〔4〕。他没有用研究组织计划来考虑。为了利用现有的技术，而省略了“研究”和系统工程学的关系，并指出研究对系统工程学的影响，特别是在后述的系统研究阶段中影响的程度。图 1.7 表示研究、系统工程

学、开发、制造和使用的

时间关系。这样，从计划到完

成分五个阶段：
系统研究；
探索计划；
开发计划；
系统开发和开
发中的研究；
跟踪。

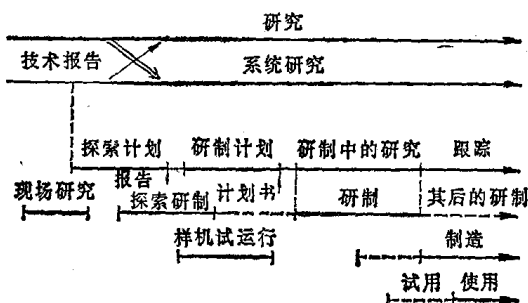


图1.7 研究、系统工程学、开发、制造和使用的关系

1. 系统调查研究 对目前即将开发的系统和未来有可能开发的一切系统，在较广的范围内调查与此有关的要素。如图1.7所示，系统研究是一项不断进行的工作。系统调查研究阶段的主要目的是收集所有的必要情报，即毫无遗漏地收集新开发的技术，调查它们的适用范围或尽可能广地调查其需求，这就是该阶段的主要工作。

2. 探索计划 系统调查研究阶段只不过是进行一般的调查，而对某一时间特定领域的要求，一旦确定，必须集中调查和研究后立即进入探索计划阶段。

3. 研制计划 一旦决定开发特定的系统，就进入开发计划阶段。这个阶段的工作是重复前述的探索计划，不过要对更详细

的内容作周密的讨论。还需研究讨论被忽略的开发所要的人工和费用问题，开发的计划和应优先进行的事项等等。

上述三个阶段归纳后，可看作是系统开发实行前的编制计划的方法和过程，而计划编制工作的方法和过程由以下相互有关的六方面构成：

确定问题；
选定目的；
系统综合；
系统分析；
选择最优系统；

提交成果。

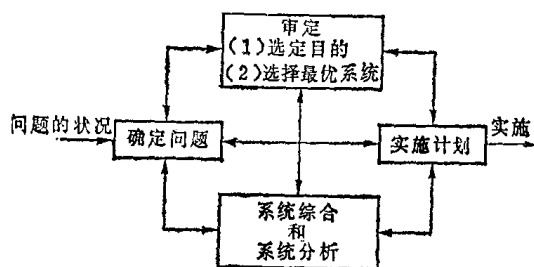


图1.8 编制计划的方法和过程

在时间上它们之间没有先后关系，如图 1.8 所示，可以交叉进行。对以一般系统为对象的系统研究、以特定系统为对象的探索计划以及决定开发特定系统后的开发计划等，其工作深度各有不同，各阶段得出的报告结果内容也不相同，但概略说明可采取相似的手法。

确定问题 即将含糊不清的问题作为选定目的或系统分析所用的工作资料。通过系统调查、资料汇集、环境研究、系统外部设计等各种调查研究，可搞清一些含糊笼统的问题。这个定义下的问题有两种逐渐了解的方法，一为不断地调查和认识新技术、新理论、新开发的装置和材料等，找出用它们可以满足的需求；一为观察顾客的态度、行为，以便找出真正的需求是什么，发现满足其需求的最优系统特性。这两种方法未必能够明确分开，在开发实际系统中有时不知用哪种好。总之，系统调查研究阶段的大部分工作都花在这个问题上，与其它阶段相比也是重要的工作。

选定目的 即规定希望开发系统的输入、输出、其它边界条件及满足该系统的需求等，以调整后的形式描述系统。其中应含有许多准则，以判断根据系统综合结果制定的几个方案的相对

优点。这种判断准则是开发系统所固有的,常用的尺度有利益——新系统所获得的经济利益;费用——建造新系统的费用;性能——新系统的可靠性等等。除此之外,还可列举与现有系统的并存性、系统对环境变化的适应性以及新系统的安全性等。

系统综合 到目前为止讨论的是确定问题、选定目的阶段中主要考虑的是什么工作,而未考虑怎样进行工作。系统综合就是进行这项工作,即努力建造满足给出目的的系统,对其各种方式进行详细讨论,直到可以参照目的进行评价为止。在这种系统综合阶段除着重考虑用已知的手段重新组织已设计的单元和用新的方法组合新的东西外,还考虑了其它情况。一般在开发新系统时迫切需要创造力,也是被称作解决问题顶点的重要步骤。系统综合时最重要的问题是自由提出设想,而不应以无价值、外行等理由加以压制。

系统分析 系统综合和系统分析是两个相反的工作,分别比作归纳法和演绎法。系统分析是为了从综合的一切系统中选定最优系统,进而导出其特性。系统开发的目的是,例如要建造可靠性高的系统,则只要求出系统综合提出的各个系统的可靠性即可。但在开发实际系统时,可以说没有只有一个目的的系统,而是具有相互矛盾的几个目的,况且,目的本身又不断在变化,因此,系统分析的结果往往反馈到选定目的、系统综合中,经过几次重复后使工作开展。关于系统分析在1.3节详细讨论。

选择最优系统 即评价分析的结果,并与目的进行比较,进而选择少数有讨论必要的试行方案。一般上述许多因素都相互有关系,若分别以不同尺度进行评价会使这种选择复杂化。

提交成果 除解决各个问题外,系统工程学非常重视信息交换。信息交换图型的变化取决于即将开发系统的种类和规模,还与系统开发的方法和过程有密切联系。这里可以见到的是在系统研究、探索计划和开发计划的各个阶段提出什么报告,进行什么信息交换。

系统研究 在这个阶段中随着工作的进展不断提出技术报

告。报告中包括新的研究理论、新技术、新装置的发明及其应用，还涉及到它们可以满足需要的方面。

探索计划 即在决定开发已调查的系统时提出建议，内容有是否直接开发实用系统，还是在试作系统开发后进一步进行调查研究，如得出否定开发的结论，则此项工作是否应到此结束等等。

开发计划 即汇报某一系统从现在开始将进入运行时的工作，故特别重要。以下称此为计划书。这种计划书是将计划编制步骤的工作经过归纳后形成的专门文件，并且有下列重要使命。

1) 对公司的管理部门，在实行系统开发时是确保所需人员、资金和其它资源等的文件。

2) 在系统开发的承担者和该系统使用者之间进行交换的条约性文件，同时记载开发系统的说明书。

3) 既是开发时与一切有关部门进行信息交换的基础，又是管理开发过程所必须的文件。

4. 系统开发 管理者准备系统开发所必需的人员和资金，当应开发的系统同时存在若干个时，如果确定了哪一个先开发，则可进入系统开发的实施阶段。实施阶段的第一件工作是任命开发指导系统的领导，该领导的责任是接受管理者和系统组的支援，指导工程设计队。最近，日本开发系统时盛行工程设计队编制。但是看一下贝尔电话研究所等工程队的作法，仍然积极利用公司的组织进行系统开发，即组织作为一条线加入到工程队内。规划设计队的领导和组织的领导进行协商，实际工作根据组织这条线进行。总之，工程设计队的领导首先要与他所领导的小组一起根据说明书制定工作计划。即将系统分为几个分系统，按各分系统配备人员、进行预算、订出开发计划。根据这种作业计划按人分担开发所需的工作量，进而，以此监视开发过程，所以，该计划订得是否合适是系统开发成败的关键。众所周知，用于草拟该计划、工序监视等的方法有计划协调技术[⊖]，与历来用纸、笔

⊖ Plan evaluation and review technique.

作业的计划工作不同,这个阶段的新的重要工作是建设硬件及其试验。图 1.9 为这段开发周期。从图中可看出这种工作的做法在原理上,与计划阶段中的确定问题、综合、分析、判决和提交成果是一样的。

先进行样机的详细设计和制作,然后,进行试验和评价(这种试验是要决定系统是否符合开发的目的,这是相当复杂的工作。最好在开发计划阶段就考虑试验计划)。将试验结果反馈

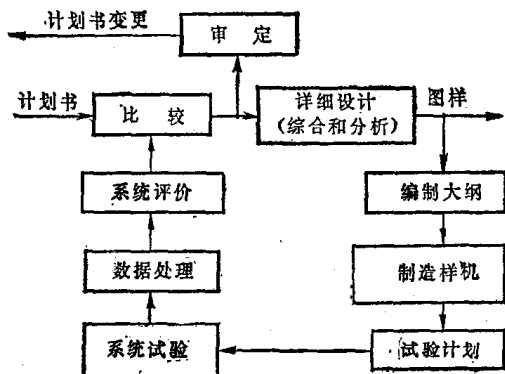


图1.9 开发周期

到设计中,再一次设计、制造、试验和评价。这种反馈重复几次,有时还可能根据试验结果临时变更说明书。最后,进行所谓标准开发的实用的设计和制造。

在这个期间开发小组为了引进最新技术,应不断与基础研发部门和应用部门保持密切联系。而且,采用专利的发明常常能出成果,所以,不应忽略对专利的关心。

经过图 1.9 那种过程最后确定生产所需的详细图纸和规格,也可以编制有关系统运用、维修的说明书等等。

5. 跟踪 在系统开发结束到系统使用之间的阶段即所谓跟踪阶段,进行下列工作:

- 为获取下一系统的设计资料而监视系统的工作状态;
- 产生新目的时,要扩充为适应它的系统;
- 修正难以预料的设计错误;
- 使系统适应环境的变化;
- 对系统使用者的培训。

系统工程学的图型从工程开发到完成,在时间上可分为五个阶段,其内容及关系见图1.10。