



通信技术业务
知识丛书



系统工程

XITONG GONGCHENG

钱志浩 编著 · 人民邮电出版社



通信技术业务知识丛书

系 统 工 程

钱忠浩 编著

人 民 邮 电 出 版 社

内 容 提 要

本书以较小的篇幅、通俗的语言、生动的实例对现代的组织管理技术——系统工程作一概括的介绍。全书分为八个小题，主要介绍了四个方面的问题，第一至四题介绍什么是系统工程；第五题介绍系统工程的主要理论基础——运筹学；第六题介绍系统工程的广泛应用；第七、八两题介绍电子计算机和通信与系统工程的密切关系。

本书适合管理机关和企业的领导干部、管理人员阅读参考。

21161/07

通信技术业务知识丛书

系 统 工 程

钱忠浩 编著

*

人民邮电出版社出版

北京东长安街27号

天津新华印刷一厂印刷

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经售

*

开本：787×1092 1/32 1981年4月第一版

印张：3 4/32 页数：50 1981年4月天津第一次印刷

字数：70千字

印数：1—13,500册

统一书号：15045·总 2486—有5204

定价：0.27 元

出 版 说 明

1978年全国科学大会发出“广泛地普及科学文化知识，提高全民族的科学文化水平”的号召后，全国各地的通信部门都积极开展了学习技术业务的活动。为了帮助通信部门的领导干部和广大职工学习邮电通信的技术业务知识，更好地为早日实现四个现代化服务，我们准备陆续出版一套《通信技术业务知识丛书》。

这套科学普及读物，计划大部分取材于各通信单位的技术业务讲座。考虑到通信部门领导干部和职工的工作需要，在内容上，除与一般科普读物一样，着重讲解一般原理概念，力求通俗易懂、深入浅出外，并适当地对所介绍的某些通信技术进行技术与经济上的分析和介绍国外的发展概况。

前 言

党的十一大和五届人大一次会议提出了在本世纪末实现农业、工业、国防和科学技术现代化的奋斗目标。实现这四个现代化，离不开管理现代化。要使管理现代化需要掌握和采用先进的组织管理技术。系统工程就是一种在国外已行之有效的先进组织管理技术。虽然它的历史还不长，目前还不够成熟，但它的一些方法和在各方面的应用，已收到了很好的效果。

在这本小册子中，想对系统工程作一个粗浅的介绍，特别是想通过系统工程的一些应用实例，来说明它的基本概念。文字和内容力求通俗，能够为中学文化程度的读者所接受。不过，深入不易，浅出更难，加之作者的水平所限，错误和不妥之处在所难免。有时为了作浅近的比喻和解释，更不免有以词害意之嫌，望读者批评指正。

钱忠浩

一九八〇年十月于北京

目 录

一、从“阿波罗”飞船载人登月谈起·····	1
二、谁是总指挥? ·····	3
三、什么是系统和系统工程? ·····	6
四、系统工程的方法和步骤·····	14
五、系统工程的主要基础理论—运筹学·····	21
六、系统工程的广泛应用·····	53
七、电子计算机与系统工程·····	77
八、通信与系统工程·····	86

一、从“阿波罗”飞船 载人登月谈起

1969年7月21日，美国发射的“阿波罗”飞船，载着来自地球的“不速之客”，踏上了月球表面，从此人类揭开了月球神秘的面纱：原来那里既没有奔月的嫦娥，也没有虚无飘渺的广寒宫，而只是一片死寂，满目荒凉。那么，是什么促使美国政府投入了史无前例的庞大人力、物力、财力，抢先把人送上月球呢？难道仅仅是为了猎奇探险吗？当然不是。这是一场剑拔弩张的“空间战”的产物。

1957年10月，苏联首次发射了一颗人造地球卫星。虽然它的直径不过五十六厘米（不到二市尺），却象一颗重磅炸弹，激烈地震撼了美国。举国哗然，政府成了众矢之的，纷纷责难美国在空间争夺战中步子太慢，以致造成了严重的导弹差距。为了扭转这一被动局面，美国加紧了导弹研究步伐，总算在1958年1月把“探险者”一号卫星送上了轨道。

但是，1961年4月，苏联又发射了载人的“东方”一号飞船，首次完成了人类的宇宙飞行。在这种咄咄逼人的形势下，1961年5月27日，美国总统肯尼迪向参众两院联席会议发出紧急呼吁，强调立即动员全国力量，一定要抢在苏联之前把人送上月球。

于是，开始了大规模的“阿波罗载人登月计划”，为这项计划规定的总目标是“在六十年代末将人送上月球”。美国总统亲自挂帅，美国航天局的预算连年成倍增长。为了说明这项计划的规模，只需举出几个数字就够了：投入阿波罗计划的资

金总额达二百四十亿美元，参加的科学技术人员达四十二万，遍布全国的二万多个工厂分工承制七百多万个零部件，这些零部件都要按规定日期集中到肯尼迪宇航中心进行组装。经过了9年多的努力，其中包括在1967年因飞船失灵三名宇航员被烧死而付出的代价，终于实现了计划的总目标。从阿波罗11号飞船各项计划任务实际完成的时间与原定飞行计划的对比，可以看出这项计划是成功的，见表1。

表1 阿波罗11号宇宙飞船登月过程主要环节
计划与实际完成时刻比较表 (按北京时间)

项 目	计划			实际			相差	
	日	时	分	日	时	分	小时	分钟
飞船发射	16	20	32	16	20	32		0
进入飞向月球的轨道	16	23	16	16	23	16		0
进入绕月球的椭圆轨道	20	0	26	20	0	22		4
登月舱进入接近月面轨道	21	2	10	21	2	08		2
登月舱在月面着陆		3	19		3	17		2
宇航员走出登月舱踏上月面		13	19		9	56	3	23
宇航员回到登月舱		15	42		12	11	3	31
登月舱离月面开始上升	22	0	55	22	0	55		0
宇航员进入返回地球的轨道		11	56		11	55		1
在太平洋中部溅落	24	23	51	24	23	50		1

象这样庞大复杂的工程，能作到时间误差这么小，应归功于谁呢？

二、谁是总指挥？

阿波罗载人登月计划无疑是现代科学技术各个领域密切协作的成果。

首先，要有先进的火箭技术。根据计算，要想把重达几十吨的飞船送入轨道，就要有推力达几千吨的火箭。可是，在提出阿波罗计划的1961年，还只有推力为170吨的阿特拉斯火箭。显然，它是挑不起这副重担的。因此，必须研制一种威力更大的火箭。经过8年多的时间，制出了土星5号火箭，它的推力达到3400吨，为原来推力的二十倍之多。

制导技术是登月计划的另一个重要角色。阿波罗飞船上只有三名宇航员和小型电子计算机，而大部分计划、判断、分析功能都是由地面上的大型计算机担负，它从地面发出无线电指令来操纵飞船。打个粗略的比喻，这就好象一个巨大无比的怪物，它的头脑在地上，而手脚却伸到了四十万公里远的月球上。显然，没有精密的制导技术，要在地球上指挥远在四十万公里之外的阿波罗飞船按预定计划完成各项机动和飞行任务是不可能的。

通信也是登月计划中必须解决的重要问题。地面上要与宇航员保持不断的电话联系，飞船上的各种遥测数据要不断送到地面，地上的指令不断发到飞船上，这些电信号都要经过四十万公里的长距离传输。而且，尽管在地面上阿波罗飞船是一个庞然大物，但是它远在四十万公里之外，从地球上用定向天线描准它就象用步枪描准几百公里远处一粒黄豆那么困难，何况它还在不停地运动。

除此之外，在登月计划中对电子技术也提出了极其苛刻的要求。前面提到，飞船有七百多万个零部件，其中许多零部件由大量的电子元件所组成。在这大量电子元件中哪怕是混进了个别“捣蛋”的，也会造成严重的后果。这就要靠质量保证和可靠性理论。

宇航员要在空间生活和工作，就必须有适宜的生活环境和工作条件，这少不了宇宙医学的配合。例如：在飞船起飞时，宇航员的体重会突然急剧增加，这叫超重，它会使血液循环和内脏都发生变化；飞船进入轨道靠惯性飞行时，宇航员的体重又突然消失，这叫失重，它会使人的骨骼疏松、肌肉无力，产生一种“航天病”。这些问题要靠宇宙医学来解决。

飞船的结构设计也是非常重要的。在高空，空气极其稀薄，在宇宙空间则是一片真空世界。不采取有效的密封措施（坐密封舱和穿特制的航天服），或采取有效地防止坐舱漏气的措施，后果是不堪设想的。飞船以极高速度穿过大气层时，会因摩擦而产生很高的温度，一般金属经受不起这么高的温度。飞船在航行中还可能遇到宇宙中的“流浪汉”——宇宙尘，虽然它们体重微不足道，但以极高的速度碰撞飞船，威力还是惊人的。飞船还会遇到银河辐射、地球附近的辐射带和太阳爆发产生的电离辐射等，这些都是飞船的致命敌人，必须在飞船结构设计上采取措施设法对付。

还有许多其它科学技术问题，所有这些差不多涉及到现代科学技术的各个领域。

除了技术问题之外，还要解决经济合理的问题。例如最初的设想是采用整个飞船在月面软着陆的方案。但当时最大的运载火箭土星5号也力不胜任，需要从头开始研制一种比土星5号还要大一倍的运载火箭。后来提出了用两枚土星5号火箭将

飞船分段发射到地球轨道上再组装在一起的对接方案，这样就不必另起炉灶研制新火箭，可以节省很多时间和大量研制费用。最后，美国宇航局的另一个专家建议，飞船不在月球着陆，只用飞船携带的登月舱登上月球。完成任务后登月舱再由月球飞回绕月轨道与主舱对接。这样一来只用一枚土星5号火箭就够了。就是这么一项建议就为阿波罗载人登月计划节省了三十多亿美元，而且由于不必研制新火箭还争取了时间。

在阿波罗计划的最初一年的总体设计中，象这类大大小小的技术经济问题解决了近万个，才决定了最经济、最迅速和最可靠的载人登月飞行方案。

所有上述各个部门，还有一些没有提到的部门，都是实现庞大的阿波罗登月计划所缺一不可的环节，都是完成这一场盛大演出的演员。但是，只有这些演员是远远不够的。一个交响乐队不管各个演奏者技艺多么高超，没有卓越的乐队指挥，决不可能奏出完美和谐乐章，而只会是混响一团的噪音。对于像阿波罗计划那样，有许多专业部门参加的现代大型科研或生产项目，任何一个天才的指挥都是无法胜任的。那么，这个庞大计划的实现是靠什么来组织指挥的呢？原来就是靠这本小册子要介绍的对象——系统工程。

三、什么是系统和 系统工程？

1. 系统

要说明什么是系统工程，首先要弄清楚什么是系统。

在我们日常生活中，到处都可碰到“系统”。在自然界中就到处有形形色色的系统。小到一个个细胞，甚至构成细胞的分子、原子，也是一个复杂的系统。小小的原子只不过是茫茫无垠的宇宙的缩影，宇宙是更加庞大复杂的系统。这是自然系统的例子。

在现代社会领域，“系统”的例子也是不胜枚举的。一个个企业、科研机构，是一个个系统。国民经济的各个部门，也是一个个系统，例如工业系统、农林系统、科研系统、经济系统、交通运输系统、邮电系统、公用事业系统等等。整个国民经济则是一个更大、更复杂的系统。这些是社会系统的例子。

还有一种系统，它既包含自然界，又包含人类在内，例如生态系统。

虽然各种系统千差万别，但从上述可见，它们都具有一些共同的特征。首先，每一个系统都包含许多分系统，分系统则由一些更小的分系统组成，后者又包含一些更小的组成部分。其次，构成一个系统的许多分系统和更小的组成部分都不是孤立的，也不是象一盘散沙堆在一起，它们之间相互联系、相互制约，为了一个共同目标结合成一个系统总体。这个系统也不是孤立、静止的，它还要与周围环境发生一定的关系，并且随

时间而在变化。一个系统又是它所从属的一个更大系统的组成部分。

前面谈到的阿波罗载人登月计划，就是具有上述特征的一个系统，也就是说，它具有层次结构，各个部分相互联系。阿波罗计划的这些特征可以用图 1 表示出来：

图 1 是美国在 1963 年制定空间研究长远规划时采用的一种方法，叫做“关系树法”。它把美国空间研究的长远规划这样一个庞大的计划系统逐级解剖，一直分解成许多细小的课题。由于把一个复杂的系统形象地画成树状，所以叫关系树。

首先，航天局的总目标（0 级）是空间开发。这一总目标分成两个方面，即空间科学和空间利用（1 级）。空间科学包括研究太阳、火星、地球、月球、彗星等，空间利用则研究如何实际利用空间的真空环境和引力环境等，这是第 2 级。3 级是把 2 级按有关的领域划分，例如有关月球的研究包括大气、电离层、生物学、辐射带、测地学等，有关真空环境的利用方面，则包括在真空下的生物学、运输、生产制造、科学研究等方面的研究。4 级表示工作内容，例如月球的构成方面包括绘制月面图，研究月球的表面性质等。5 级表示具体的任务，例如发射载人的月球科学研究中心。6 级是构成这项任务的各个分系统，象阿波罗计划的运载火箭、登月舱、服务舱、地上控制系统等。7 级是更小的分系统，如飞船上保证宇航员正常生活的生命维持装置，辅助动力装置、宇航员用的通信装置等。8 级是分系统进一步划分成各个功能部分，如维持宇航员生活的空气、饮食、居住、环境、温度、湿度等装置。9 级是实现 8 级中各部分的可能方案。10 级把这些方案具体化为一项一项的技术课题。然后，对每项课题的作用和地位进行客观的评价，如此由上而下地确定各级在实现总目标上的贡献。通过这

等级

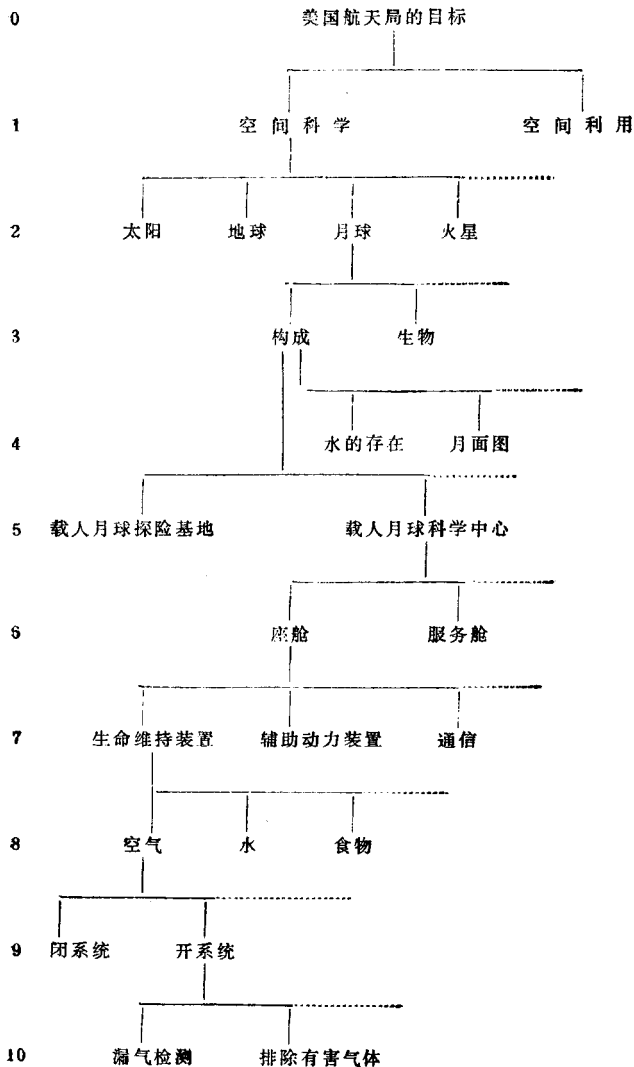


图1 阿波罗计划的系统结构

个例子，就可清楚了解一个复杂的系统的内在关系，当然，上面只是它的一小部分。

2. 系统工程

系统工程是一个新兴的学科，它的历史还很短。它的名称现在还不统一，有的人把它叫做“系统分析”，有的叫“系统方法”，“系统科学”等。各国科学家对它提出了各种各样的定义。

1975年的美国科学技术辞典的定义是：“系统工程是研究许多彼此密切联系的要素所组成的复杂系统的设计的科学。设计这种复杂系统时，应有明确的预定功能及目标，而组成它的各要素之间及各要素与系统整体之间都应有机地联系，配合协调，以便系统整体能达到最优目标。在设计时还要考虑到参与系统中的人的因素和作用。”

有的日本学者认为：“系统工程是以系统的分析、综合及管理为目的的工程学。”

有的英国学者提出如下的定义：“系统工程是一种基于科学并给科学以补充的思想，这种思想提供一种手段来统一各种学科中体现出来的分析方法。这种思想预示着将要出现一种新的世界观。”

还有一些人提出了其它的定义，这里就不一一列举了。

简单地说，“系统工程”是用现代科学方法组织管理各种系统的规划、设计、生产和使用的学问。这里的“工程”二字是广义的，并不是指某一项专门的工程技术（如土木工程、水力工程、电力工程、机械工程、电信工程等），而是泛指完成一项任务。因此，系统工程是一个总类名称。既然有各种各样的系统，因而就有各种各样的系统工程。例如研究工业生产的

叫工业系统工程，研究一个经济部门或企业体系的叫经济系统工程，研究国家机关行政管理的叫行政系统工程，研究科学技术组织管理的叫科研系统工程，还有研究情报资料组织管理的叫情报系统工程，以及军事系统工程等等。

系统工程的出现不是偶然的，而是有它的客观需要和物质基础的。现代社会生产和科学研究的规模日益庞大，专业划分越来越细，而社会生产的各专业部门和各科研领域之间的关系则更加密切。像过去那种小生产方式的管理方式，已远远不能适应现代的要求。因此，几十年来，特别是二次世界大战后，系统工程这门综合性的学科就逐步形成和发展起来。它的基础理论主要是运筹学，还有信息论、控制论和计算机科学。电子计算机的出现更促进了系统工程的迅速发展，因为一个复杂的大系统，没有计算机这样能进行高速运算和处理的先进手段，是很难进行最优设计和最优控制的。因此，国外有人把系统工程与计算机的关系比喻为形与影的关系。

由于系统工程日益广泛地应用于各个领域，并取得了显著的成效。近来一些主要工业国都十分重视系统工程的研究和人员的培养。这些国家都对现有科研、生产部门的工程技术人员和企业管理人员加强系统工程知识的训练。

在系统工程的研究和教育方面，美国开展得最早，现在仍处于领先地位，其次是英国等欧洲国家。日本、苏联起步较晚，但从70年代以来正在急起直追。

美国的贝尔研究所早在50年代在规划和建设全国微波通信网时，就提出和采用了系统工程的方法。个别大学也开始设系统工程系和课程。从1964年起美国每年都召开系统工程的年会。到1974年，已经有四十多所大学有工程系或课程，其中比较著名的有哈佛大学、麻省理工学院、普林斯顿大学等。美

国空军和通用电气公司、威斯汀豪斯公司等大企业还自办或委托有关大学举办系统工程训练班。

英国从1964年起在兰开斯特大学设系统工程系。1971年起，英国的电视大学——“开放大学”，也开设了系统工程课。一些大公司还开办了短期训练班，为企业管理人员讲授系统工程的基本理论和方法。

日本在七十年代初开始实施原子能、空间研究计划时，由于缺乏系统工程方面的知识和人才，不得不向美国的兰德公司求援。有鉴于此，日本政府和企业界极力主张设立系统工程专业和研究机构和大量出版书籍，并通过刊物和报告会等广泛进行宣传普及工作，一些大学还开设了系统工程科系或为工科院校开系统工程公共课程。

苏联虽然在这方面开展工作较晚，但在运筹学的一些基础理论方面却比较强。一些军事院校和研究机构首先开展了系统工程的研究和应用，到七十年代还成立了专门的研究所，在这方面也赶了上来。

3. 系统工程的要素

虽然各种系统工程所研究的具体对象不同，但从系统的组织管理角度说，共同的要素不外乎以下几个。首要的当然是人，任何系统都离不开人这个要素。其次是物的要素，包括物资、设备和资金这三个要素。国外有人把这四个要素（一个人的要素和三个物的要素）叫“四个M”，因为英文中，人(Man)、物资(Material)、机器设备(Machine)和资金(Money)这四个词的第一个字母恰好都是M。另外还有两个要素属于事的范畴即：任务指标和信息。前者包括上级下达的任务和与其它单位的合约，后者指数据、报表、图纸、规章制度等。这六