

33

国外系统工程专辑



科学技术文献出版社重庆分社

国外系统工程专辑

中国科学技术情报研究所重庆分所 编辑

科学技术文献出版社重庆分社 出版

重庆市市中区胜利路91号

四川省新华书店重庆发行所 发行

重 庆 新 华 印 刷 厂 印刷

开本:787×1092毫米1/16 印张:9 字数:29万

1980年2月第一版 1980年2月第一次印刷

科技新书目:149—95 印数:4500

书号:17176·179

定价:0.95元

目 录

系统工程学	C. Nelson Dorny, Kenneth A. Fegley, Ezra S. Krendel(1)
系统工程.....	John G. Truxal(14)
系统工程.....	寺野・寿郎(20)
系统工程学.....	译自 Энциклопедия кибернетики(35)
系统科学的现状及未来的任务	榎木义一(37)
大系统分散控制法综述	N. R. Sandell, Jr., P. Varaiya, (41) M. Athans, M. G. safonov.
多级系统的控制及应用综述	M. S. Mahmoud(64)
就实际工业问题研究大规模控制方法的应用	S. A. W. Drew(88)
电力系统中的大规模控制问题.....	Giorgio Quazza(96)
大电力系统动态模型的分解与简化及其在稳定性研究中的应用	M. Darwish, J. Fantin, M. Richetin(117)
压延机多级控制在轮胎工业中的应用	A. AL-Shaikh, N. Leffler(122)
环境污染控制系统方法论中的若干问题.....	Y. Sawaragi(135)

系统工程学

C. Nelson Dorny, Kenneth A. Fegley, Ezra S. Krendel

一、系统工程学的方法

1. 引言

这部分系统工程学的内容,归纳性地叙述了这一领域的现状,并结合一般的工程领域作了探讨,即应用科学与技术以满足人类的需要。工程的表现形式包括工艺控制中的阀门设计,新型半导体器件的设计,新式雷达电路的设计,或者卫星通信系统的设计与开发等等。

系统工程学与一般工程主要的区别在于被设计系统的复杂性。上述四种工程任务中,前三者如果撇开技术上的困难而仅从弄清问题与形成工程目标而言,相对地较为单纯。而第四项任务则在物理的、经济的、社会的与政治的诸因素之间包含着大量相互的联系与作用。但在解决问题的开初阶段,具体的技术目标可能还是模糊的,比如说当前的长途通信系统很不完备,尽管解决这一问题的愿望十分强烈。这要在以后的设计过程中逐步澄清。这样,系统工程学这一名词是描绘工程工作连续区域许多工程行为的极端。它包括较大规模的,较复杂的系统的设计。

2. 系统实例

系统是一组对象及把它们联系在一起关系的组合。下述实例说明了在系统工程中所遇到的典型系统的复杂程度:

a. 运输系统 运输系统的设计,不论是客运或货运,洲际间或都市内,铁路、航空或汽车都是复杂过程。它包括了交通管制(例如空中交通管制或铁路调度,信号与开关),取得路径和用地协议,环境考虑,与现有系统的配合协调等问题。美国的邮政系统(有时重行设计与改造)可看成是运输系统。除了要考虑美国政府所经营的车辆与邮政运输外,还要考虑传递线的自动化,通信与控制问题,与公共交通运输的相互关系等。

b. 通信系统 最受重视的通信系统包括电话、公

共无线电和电视网络。而横跨全国的微波无线电通信线路,卫星通信系统以及直接拨号的自动交换系统则是主要的一些次级系统。军事、火警、监视犯罪行为 and 空中交通管制等方面所需要的通信系统也属于主要的通信系统。这类系统中,高度变化的负荷及与现有系统的协调配合,是应加以重视的问题。

c. 军事武器系统 一般大型海军舰艇是一个5000人的城市,并具有城市中存在的所有系统与次级系统——动力、通信、交通管制等。这样一个飘浮移动的城市,必需具备军事战斗能力并应能在极端恶劣的环境中发挥作用。导弹系统与人防警报系统也是系统工程师们主要研究的问题。

显然还可以举出与上述例子类似的一系列复杂问题。这类复杂系统一般都包括人、计算机、控制、与信息处理等成分。

在系统设计中,系统成份的终端特性和各成分的相互联系方式远比单独成分的运行方式更为重要。系统工程的核心问题是研究各成分间的相互作用。

“系统”这一名词常被不严密地用于表示成分间相互作用的行为或对象。因此,控制理论、电路理论和大量有关的数学是属于“系统”的范畴,而半导体器件理论及物理学则不属于“系统”范畴。

3. 弄清问题界限

在上述复杂的系统工作中,主要障碍之一是弄清问题界限。常会有许多可选择的系统方案以满足同一需要。那么,从经济、性能、用户可接受程度、环境影响等角度来看,哪一种系统是最好的呢?通常地,当选取方案的资料已具备时,则需反复地研究和反复的弄清系统所应满足的目标。因为作决策时不可能有明确规定的判据,故系统工程师面临着众多有待求最优化的问题。因此在系统工程学的方法论中,弄清问题的界限这是一项几乎贯彻全过程的任务。

面临上述复杂系统的场合,一个人不大可能对“系统”各个方面都是专家。比较现实可行的办法是把

具有某种重叠度专长^{注1}的人们组织起来以完成必需的工作范围。每个成员能集中解决问题的次级系统或一个方面(如:技术设计,设计过程管理、发展与试验等)而又能紧密地与组织中其他成员的工作主动密切地协调配合。

4. 运筹学

运筹学这一名词所适用的工程活动与系统工程学在许多方面相类似,这两个领域的主要区别是它们所研究问题对象的性质不同。运筹学者们的工作对象更多地着重于商业活动的设计或求其优化而不是新的物理系统的设计;即他们的兴趣与背景是属于商业与经济领域,却不是物理系统。但没有理由把系统工程学与运筹学作严格的区分。在设计工作中,两者采用相同的系统性的解题步骤。“系统程序”与“系统科学”的名词一般是粗糙地指“合理的系统的解决问题的程序与步骤”。

系统程序的基本原理是要考虑到那些影响问题并与问题有关的广泛的社会背景或环境,而在弄清问题界限与确定目标的过程中必需避免近视观点。例如,一个政府规划工作者在没有考虑到教育,食物营养与健康,居住与公共发展等密切相关的次级问题前,就不应试图去解决贫穷这一次级问题。

5. 系统工程学的方法

工程是应用科学与技术以供应人们需要的东西,满足短缺、需求、或个人与一群人迫切的愿望。因此,解决所有问题的动力是环境的压力或不平衡。从经济的、社会的、技术的与政治的环境而言,经常产生着发展新系统以满足需要的机会。因此,系统工程学解决问题的过程常是社会需要的后果,而弄清问题界限的过程在很大程度上是分析促进情况发展的周围环境。

系统工程过程中重要的起始步骤,是把很不明确的情况或需要,以一组专门的目标来表示,并在系统性能与造价两者之间进行权衡。遗憾地,对于一个复杂系统而言,造价与性能都不那么容易计量。系统性能是一个综合的指标,它包括需求的缓和程度,系统运行的效率,环境污染的程度等等。大系统的造价部份地可以货币来计量,但部份却要以社会的不舒适来衡量,例如恶劣的住房条件,拥挤的街道与空气污染的增加等。

良好的系统设计取决于对问题正确的与清楚理解的界限,但问题的界限在其半数解决之前或对设计的许多细节被探明之前往往不能明朗化。只有在作出详

尽的调查后才能证实确定问题界限的某些根据。因此复杂系统的设计是一项反复过程。

我们可把系统工程过程扼要归纳为如下三个阶段,

(1) 问题探索阶段 系统工程的第一步,我们需探索驱使情况发展的动力,收集数据,弄清问题界限,并建立目标。接着提出各种能满足这些目标的系统。对每一系统都必需作出足够详尽的分析以确定它们的可实行性并决定它们的性能、造价、市场、对环境的影响等等后果。在此分析的基础上,必需确定这些建议的系统中是否有某一系统足以满足需要和目标从而值得进一步详细开发。

(2) 方案计划阶段 对某一特定系统编制详细的开发计划。开发计划中包括低级目标及实现它们的途径。编制计划过程要求更详细地反复探索问题,以便能预见到开发的效果并提出进度表。到此为止,所作的一切均是书面工作。

(3) 系统开发阶段 系统开发阶段的末尾是试验用户所能接受的原型系统。设计的目标是给制造者提供施工详图和说明书以及安装,运行及维护保养规范。

系统工程在开发阶段的主要任务,是鉴定与支持设备与次级系统开发部门,制造厂与用户等部门的开发工作并进行协调。如同上述的第一与第二阶段,在实际系统的施工与试验中,如发现某些要求不合理或不必要时,需对某些低级目标作出必要的调整。

显然,从设计到建立目标又返回到设计的往复过程是连续地贯串在所有三个阶段。霍尔(Hall)^{注2}在他的过程中增添了二个阶段:第一是初步阶段,它对环境作广泛的探索——技术的、经济的、社会的、自然的与政治的——为将来方案所需的资料打基础并提出组织工作的整个远景规划;第二是对系统生命周期的最终鉴定阶段,它为将来做系统的规划与开发提供有用的资料。霍尔以TD—2微波无线电中继系统的设计为例介绍了系统工程过程不同阶段的细节。TD—2系统是美国目前长途电视电话通信系统的中心。涉及系统工程学方法论的一般性参考资料还有《系统工

注1:译者理解这是第一本《控制论》作者威纳(Weiner)的观点:对边缘科学空白点的探索需要一群专家们的集体努力。每个人都是本领域的专家,而每人又对他相邻的领域具有健全的知识与训练。

注2:霍尔是美国贝尔电话公司实验室的工作人员,是较早的系统工程方法论(Methodology of Systems Engineering)的作者

程》^{注3}，《工程系统设计》及《系统工程手册》等。

在系统工程的不同阶段常要应用下述一些技术。

(1) 用于弄清问题界限的技术

(a) 树枝

(b) 实用函数

(c) 人类工程学

(2) 系统分析技术

(a) 控制进度技术(PERT)

(b) 可靠性理论

(c) 排队论

(d) 决策论

(e) 建立模型与方块图

(f) 模拟

(g) 控制论

(h) 优化技术

6. 军用空中交通管制

从本文6至11节,我们将以改进军事空中交通管制设计的例子来说明系统工程的程序。定翼机与直升机一类战术飞机是近代战争中的核心部分。一个典型的军事活动中,在50×50英里的空间可有多于100架以上的飞机进行活动。即使在没有敌机、地面炮火与导弹并在良好能见度的情况下,拥挤将仍是一个严重的问题。它危及人身、设备与总体任务的完成。在夜间或极端不良的气候条件下,由于空中交通管制的薄弱而会严重地限制活动。

军用空中交通管制系统的中心是飞行作战中心(FOC),驾驶员向它提出飞行计划。在飞行过程中,驾驶员在规定的阶段向FOC作口头报告,FOC的控制人员主要依靠飞行计划与驾驶员定时的报告而分析拥挤的程度与碰撞的可能性,在航行中很少雷达的帮助。在战争区域中,就没有空中交通管制了,每个人必须独自作战。

为了试图对这种系统作出设计改进,系统工程师们必须接触战术决策者、飞机驾驶员与在这一环境中作战的飞机控制者。系统工程师还必须听取飞机与监控设备设计师们和制造者们有益的建议。经过对这些信息来源的讨论,他们能更清楚地弄清问题界限并了解不同因素与约束条件的相对重要性。他们还必须进行有限度的看得见的飞行试验以检查新的飞行控制方针。

能减少空中交通管制困难的步骤是:(1)制定更好的控制方针。(2)研制比目前系统更为自动化的空中交通管制系统。(3)增加飞机自动控制与监测设备的精确度与可靠性。

从飞机控制的讨论中所启发的一个概念是“组织飞行”(formation flight)。在军事活动中,许多飞机是在相同的两个点之间在大约相同的时间内飞行。把一群飞机的飞行作为一个单元来对待,就可减少。要控制的有效单元数。武装力量在良好能见度的条件下曾广泛地使用这一概念,但在能见度不良的条件下它的使用却受到限制。不良能见度情况下的组织飞行,需要由一个管理站系统来保持每一僚机相对于长机的预定位置。

用以设计管理站系统(它能实现低能见度情况下的组织飞行)的系统工程技术包括:建立模型、控制理论、模拟、概率与统计理论、优化技术、Pert、排队论与人的因素。

7. 计算机辅助建立模型

要对未经试验的特殊方针或设备径行作出评价是困难的,但要在现场进行广泛逼真试验的费用也是异常昂贵的。对于所建议而又未制造成的设备要进行实际试验又是不可能的。在这一个阶段可采用的替代方法是以计算机辅助建立模型。

为鉴定组织飞行的现实可能性,作为军用空中交通管制的一部分解答,系统工程师们发展了由25架转翼飞机(直升飞机)群在组织飞行中通过管理站系统而保持位置的计算机模型。他们用这种模型可以模拟在阵风、雨、雪与冰、急剧机动飞行、躲避地形、敌机、设备故障等种种条件下的组织飞行情况。

通过模拟还能确定低能见度下组织飞行的功能需求,为了使驾驶员得以发挥作用,并完成他们总体任务需要什么方针与设备?在直升机间需要收集与传递什么数据?组织飞行的管理站需要什么样的自动控制?为了躲避不良地形及尽量减少敌方行动效果,在组织飞行内应采取什么样的机动飞行?

本文不可能探索整个的模型,但这些可参见Fegley, Kenneth A.等所著的组织飞行(Formation Flight)等资料。

注3:

①系统工程 Goode H. H., and Machol R. E. "Systems Engineering": McGraw-Hill Book Company, 1957.

②工程系统设计 Gosling, W. "The Design of Engineering Systems": John Wiley & Sons, Inc. 1962.

③系统工程手册 Machol, Robert E. "Systems Engineering Handbook", McGraw-Hill Book Company, 1965

8. 直升机的模型

为了求解问题, 首先需建立直升机的数学模型(假定在组织飞行中的直升机均属于同样设计)。直升机的运动方程式可根据飞行器的物理特性求得。我们应用飞行试验数据以求得运动方程式的正确系数。直升机控制系统的方块图如图1所示。

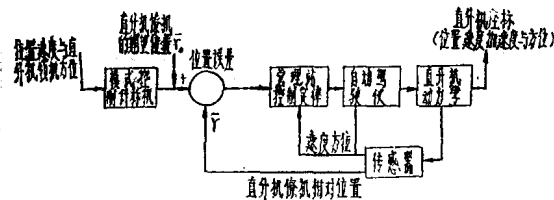


图1 管理站系统

直升机由一驾驶员或自动驾驶仪控制, 后者用于低能见度的情况下。自动驾驶仪由一组信号所控制, 而信号值是直升机的位置误差及其当时速度与方位的函数。图1中能产生自动驾驶仪控制信号的那部份标识以“管理站控制定律”。在组织飞行的模拟中, 管理站控制定律仅是些方程式, 它们的因变量是飞机的位置误差, 速度与方位。而它们的自变量则是自动驾驶仪的控制信号。在军舰直升机的组织飞行管理站系统中, 在图1上标以“管理站定律”的方框在正常情况下是一组随给定输入信号而产生预期输出信号的电路。

图1所示的模式控制计算机用于产生每一架机相对于长机的期望位置。这个位置根据所进行的机动飞行及飞机的速度而变化。

因此控制系统的每一重要部分、包括直升机、自动驾驶仪、管理站控制定律、模式控制计算机等均用数学模型来代表。明显地, 在设计组织飞行管理站系统时, 建立数学模型极为重要(参见三, 9~12)。

9. 管理站系统设计

系统设计通常需要试探法, 即把系统设计先形成概念, 于是进行分析以确定概念系统能否满足所期望的性能规范, 再进行修改并确定其后果。由于系统的复杂性, 这些分析时常需要模拟(三、9)。

在图1中有三个反馈回路。其中一个反馈回路中, 飞机的相对位置要与所期望的相对位置作比较, 以便产生控制飞机空气动力方面的信号。其它二个反馈回路则向管理站控制定律及自动驾驶仪发送关于飞机方位及速度的信息。为了控制飞机, 系统必须保持稳定并不应在期望的相对位置上产生不断增长的振荡。因此

在这个问题中, 反馈控制理论的概念是重要的。

如果直升机自动地维持在固定的组织飞行中, 则必须用检测设备以测不同时候的相对位置。所测到的飞机相对位置会有某些随机误差。还有, 几架飞机是在受到随机的气流与阵风影响的环境中飞行的。

当管理站系统的概念设计大部分完成后, 就选择系统的参数值以优化其性能。对参数值应进行系统的改变, 以便能以最小数量的模拟飞行来取得接近最优的性能。当采用最优化理论中的一种或多种方法后, 可以加快选择管理站系统参考值的过程。

在设计直升机组织飞行管理站系统的方案前, 应编制全方案计划的进度表, 定出需要的人力及计划方案的几个分部的完成日期。这个进度表可以采用PERT(计划检查与鉴定技术)的技术来完成。

对管理站系统的完整检查还包括起飞与着陆问题。如果着陆区的面积受到限制而飞行组织规模又很大时, 或者几个飞行组织都需着陆, 而每次只能一个飞行组织使用着陆区时, 那么就和问题发生联系了。

直升机的驾驶员们都承认, 在极端恶劣气候条件下进行严密的组织飞行主要是依靠电子设备。另一方面, 驾驶员们不愿意让飞机完全处于自动驾驶仪的控制下, 除非他们能随时干预。管理站系统应只能在驾驶员们想使用它时就能被利用。系统必须适应这一点及驾驶员们的其它要求。驾驶员们必需装备以足能保证他们安全与需要的显示设备, 而且他应能根据意愿对直升机加以控制。因此在设计直升机组织飞行管理站系统时, 系统工程师不能忽略运行工程学的重要方面。

10. 弄清问题界限的技术

弄清问题界限与建立目标是系统工程的核心。在典型系统问题中包括了庞大数目的变量, 从原材料与电子设备的可利用度直至影响变化的社会、政治与经济的压力等。只有少数的技术可有效地用来计测与组织这些变量。简言之、对弄清问题界限过程, 我们只有为数不多的模型。

11. 树枝(摘译)

广泛用来表示关系的模型是网络。而网络是一组点或顶点用线段相联系而组成, 而树枝则是特种型式的网络, 它在每对顶点之间只有一个途径, 即在端点间不形成闭合回路。在系统工程中常用的树枝数学技术有关系树枝、目标树枝与决策树枝等。

12. 实用函数(摘译)

建立目标的中心是实用或价值概念。实用函数表

示了优先、偏爱与倾向性,也即是对人们满足的计量。实用概念应用于任何价值——经济的、政治的、道义的等。本文“三, 12”所述的优化技术可用于不同类型约束条件下求解实用函数的极大值(或价格函数的极小值)。

实用函数的概念很容易地从个人对某一项的偏爱而扩大到几个项目的组合。组合实用函数表示个人对不同组合变量的相对倾向性。实用的概念也适用于一群人。这称为“群实用函数”或“社会实用函数”。

所建议的系统必然影响到个人或集体,为确定其感觉和意见的实用函数,必需寻出对个人或集体的希望与感觉程度的计量方法。冯诺门与摩根斯顿在《对策论与经济行为》^{注4}中建议了对个人倾向性的计量与排列次序的方法。假定我们考虑三个项目或变量A、B与C,这三个项目可任意代表一种娱乐形式:歌剧、戏剧与电影。首先由个人根据他的喜爱程度而对这三项娱乐排列先后次序,于是我们对这一次序分配以数字,例如:

歌剧	戏剧	电影
5	2	1

接着我们再询问该人在戏剧与50%—50%的歌剧与电影组合中选择的倾向性,即我们所提出的分配数字“2”是否应大于 $\frac{1}{2} \times 5 + \frac{1}{2} \times 1$?如果该人宁愿选择戏剧,我们应该变更原先的分配数字以保证该人倾向性的正确度,我们把分配给戏剧的数字变更为 $3\frac{1}{2}$ 。这样地,我们继续询问相同有关倾向性的问题,并继续变更分配给“戏剧”的数字,直至能满足这三个数字彼此间确切的关系。个人对这三种娱乐形式的实用函数为:

$$U(A, B, C) = 5A + NB + C$$

在上式中N为最后所分配给“戏剧”的数字。于是我们要冷静地选择A、B、C使之在约束条件下(例如娱乐费用要控制在T美元以下)实用值为最大。当然,不能假定调正系数的过程将能绝对正确地产生代表个人倾向性的实用函数。在某些情况下,个人在心理上会感到一些项目间没有可比性。更甚于此者,个人的倾向在一段时间中可能不是常数。

实用的概念可应用于前述驾驶员对不同类型导航设备的倾向性。虽然实用性看起来是建立分析,模型的过程向建立目标的广阔领域的自然延伸,但它的正式应用还不普遍。在定义与表达实用函数时需要经济学与心理学概念的帮助。归纳上述,我们可以认识到良好的目标具有假定与试验的性质。系统工程师在工

作过程中获得更完整的信息后,必须机动地改变这些目标。

二、人的因素

1. 引言

前述空中交通管制和严密配合的组织飞行实例反映出多数主要系统的事实,即人的因素在建立系统目标以及设计和实现系统中都起作用。建立这些目标明显地或隐含地包括了人类的需要与倾向作为一个方面加以综合考虑,而价格则作为另一方面来综合考虑。

人类的需要最明显地表现在生命支持系统的设计中。这些生命支持系统的功能与完成系统的目标密切相关,例如到月球的探索飞行与返回地球的任务。倾向性、在另一方面,常可使用定量的或定性的技术而达到,它与市场研究有许多相同目标。

在系统设计时包括考虑用户倾向性的例子以新型运输系统(例如D—a—R微型公共汽车系统)或新的高级高速铁路系统中找到。这些系统中,需要针对乘客所理解的票价与舒适、便利、时间的函数关系作出决策。市场研究着重于倾向性的直接调查,例如提出征求意见表或访问谈话。“运输——需要”分析人员主要依靠对一个现存运输系统不同特点倾向性的反映:这些特点与顾客的收入和地区的特点等有密切关系。

不论是计量的或估算的倾向性资料,可用来规划所建议系统中某些特征的需要。运输服务业的需要函数是建立在顾客对旅行时间,等待时间和不能确切表达的舒适与便利等价值的假定与验证的基础上。通过对现存竞争性系统(如私人汽车)所观察到的需要函数与所建议系统的综合需要函数相比较后,可对时间、舒适和便利等设计目标加以修正以产生经济上可行的结构。

经济的现实性并不能作为与用户倾向性相交易的唯一判据。交通拥挤度的增加、噪音、常规汽车数量增加而带来的空气污染,这些都增加了社会费用,因此在多数大系统的设计与实现时也要考虑到社会的费用。

还可以列出其它许多设计目标是基于人的倾向性与需要曲线的系统。例如,用户在使用电话时所关注的最大时滞或电视机光栅允许的最小清晰度等,这些

注4: 对策论与经济行为 Von Neumann, J. and Morgenstern, O. "Theory of Games and Economic Behavior" Princeton University Press, 1947.

可以通过实验室的试验或实地计测而得到。

2. 竞争性设计

多数主要系统是通过竞争的设计过程而产生的。在设计竞争中,价格、重量与可靠性等判据,将扩大系统目标与实施要求所定的基本判据。例如,在深空间探索的载人和不载人操纵系统间的竞争中,对载人系统来说,可靠性是主要的。由于人具有多种才能,所以能保证在重量与可靠性方面都超越不载人的系统。明显有关的人类活动方式包括能检查故障,修理与更换、动作与控制,产生功率、决策,观察与记忆。人成分的费用是由于生命支持系统的能量需求与重量需求而得出的。在这一例子及其它一些不太明显的系统实例中,人的因素专家的任务是把人一机接口具体化并设计人工操作系统,其目的是当需要人插手时,这个多面手的成份能最大限度地发挥整个系统的竞争能力。事先决定有人参与的系统,在人的因素方面有丰富的实践。这类例子有:汽车的驾驶,各种工业过程,计算机控制台及军事作战的不同形式(可以出现攻击目标的机会)等。

3. 人的因素作为一项设计原则

人的因素作为技术原则起源于第二次世界大战,但人的因素专家所从事的活动却已有较久的历史了。

“被设计”这个词是把人的因素与工业心理领域相区别,这二者时或发生混淆。早在二十世纪初,工业心理学就得到了发展,它是为了更有效地选择工人,进行培训,维持工作热情以保证良好的工作。工业心理学者长期来发展了一系列试验方法以便把比较有能力的人与能力差些的人区分开来。工业工程师关注的是人一生产线,或人一工具接口,并且设法使工人做工所需的时间最短,费力最小,这样做的结果就形成了“时间与运动”研究领域⁵。

在二次世界大战时,英美两国为了发展他们原来为数很少的职业军队并在各种技术的与体力的岗位上安插新人,陈旧的选人方法已不适用。这时产生了近代的运行工程学。从事复杂设备的工程师不得不检查他们的设计,使之适应于操作者定量表示的能力与限度。

4. 人的行为模型

最早从事人的能力定量模型研究的是英国的军事研究部门。从事这一活动的为首人物是克尼斯极·克莱克⁶。克莱克所说明的人的行为工程模型的探索,是人的因素的前身工作。这种广泛地对人类一操作器

装置动力学的探索,使得工程心理学和人的因素同常规的工业工程学方法区分开来。在二次世界大战的一份报告中描绘了这一过程的惊人例子:只要视力动力学搞得适合人的需要,则受过炮术训练的人在使用火炮瞄准器时取得远远超越受过良好训练的炮手的成绩。

传统的心理学内容如道德、动机、社会推动力及其它问题等,基本上已被人的因素专家们所逾越。因为那些传统概念已不适应于定量描述的形式(根据定量描述可以进行结构竞争或设备权衡)。

在研究人的因素时,极少注意个人的差异,因为受检查的人们是高度分阶层的,例如军用机驾驶员或其他经过严格挑选的人员。为最大限度发挥人的功能而采用的一些设计方法,是难以用于非常不同类型的人们的。

人的因素在建立系统目标时的作用,是人的因素研究者主观所企图避免的领域。这是那些关心集体选择规则的政治科学家与经济学者们的事。肯尼斯爱罗对此著有《社会选择与个人意义》(Social Choice and Individual Values)一书,在这方面具有卓见。

大量人的因素的研究作品并不十分强调对训练学习过程与发展技巧等方面。多数的观点认为,配合良好的人一机系统可以把多数训练问题化小,有关训练的代表性著作有别罗陀的《技术的获得》等⁷。

把人作为成分的人的因素的原理,是从实验心理学与心理物理学而获得的。大量文献是属于感官输入(特别是视觉和听觉),信息接收,存贮与传输,和物理量输出。也还有大量关于人类操作者的信息,从一般的有关警惕性、工作循环、功率输出等手册设计数据到人机任务分配,控制与显示,有关拨针、旋钮,工作空间布置,与人的科学计量等方面。

还有叙述人这一成分是如何恶化的文献,例如关于身心退化的文献描写人类成份完全不同于无生命成

译者注5:时间与运动研究是在1881年由英国钢铁厂总工程师泰勒所提出的概念。至1911年出版了第一本《科学的管理》。日本学者把系统工程学的起源追溯到该一书籍。

译者注6:克尼斯极·克莱克(Craik, Kenneth J. W. In Stephan L. Sherwood(ed.))著有《心理学的性质》,“The Nature of Psychology; A Selection of Papers, Essay and Other Writings”; New York, Cambridge University Press, 1966

注7:别罗陀《技术的获得》Bilodeau, E. A., (ed.)“Acquisition of Skill”; New York, Academic Press, Inc. 1966.

分的突然故障。这里要考虑环境效应，如热、振动、噪音、疲劳、厌憎、精神与体力、药物等等。最后，还有的文献描述人与机器性能，他们间的通信，接口与运行能力等。

5. 资料来源(节译)

关于人的因素有大量的参考资料。较为近代的资料有格林的《系统心理学》^{注8}。个人不易获得的早期杰出文献的编集有辛乃柯的《控制系统设计与使用的人的因素论文选集》等。^{注9}

历经变迁后，最有关的科学杂志是始于1961年的IEEE《系统、人与控制论学报》(Transactions on Systems, Man and Cybernetics); 与《人的因素》(Human Factors)。

6. 人作为控制器的考虑(节译)

以人作为控制器的人机系统设计的近代史始于二次世界大战。这方面有大量的文献，并且在某些方面已成为常规的工程实践。麦克鲁尔与其合作者在《人机系统概念》一文中(见I. E. E. May 1962. Vol. 50, No. 5, pp 1177-23)，对闭环人机系统中人类操作者作为控制器成分进行了探讨。对多数系统来说，只要操作者所进行的是对随机输入的补偿跟踪的话，则一些简单的模式与数学模型就足够描绘操作者的系统低频(0—1.5赫芝)特征。

三、系统分析技术

1. 引言

以下几节简单地叙述系统分析的若干技术。概率论与统计学原理在系统分析中占有极重要的位置，反馈控制理论原理也是有价值的。

下述系统分析技术的探讨，如Pert，可靠性与可维护性、排队论与决策论等是基于概率论与统计学原理。其它技术如建立模型和模拟则与反馈控制理论的概念密切相关。

2. 计划检查与鉴定技术(Pert)(改译)

Pert 是由 Program Evaluation and Review Technique四个英文字的第一字母所组成。它的定义是：“一项管理控制工具用以定义、整体化及连系所需做的项目以准时地完成所期望的目标；计算机被用来比较当前进度与计划目标，并给管理者以计划与决策所需的信息”。(有关Pert的国内资料请参阅华罗

庚同志《统筹方法平话及补充》第二部分“非肯定型问题”——译者注)

3. 可靠性与可维护性

系统可靠性被定义为：“它在给定条件与规定时间内能完成所定功能的概率”。系统的可维护性是：“当系统发生故障时，在给定条件下采取维护行动将使系统在规定时间内恢复正常工况的概率。”这两个因素对复杂系统极为重要。军用空中交通管制系统或前述组织飞行的低可靠性或低可维护性、都能造成人的生命与军事作战的灾难性后果。在初期对性能、费用与进度进行综合平衡时、就需把可靠性与可维护性的估算包括进去。

系统的可靠性不仅受系统中单独部件选择的影响，而且也受到制造方法、维护质量，用户类型等影响。多数复杂系统都有相当多的电子部件。例如前述管理站中的通信、传感、决策、与稳定控制的次级系统，基本设备都属于电子类型。因此我们将集中于探讨电子设备的可靠性、但这里所探讨的概念也适用于系统的其它部分。

4. 电子设备的损坏特性

电子设备呈现的损坏特征型式见图2。初期的损坏率高，而当把一些质量处于边缘的部件被发现并消

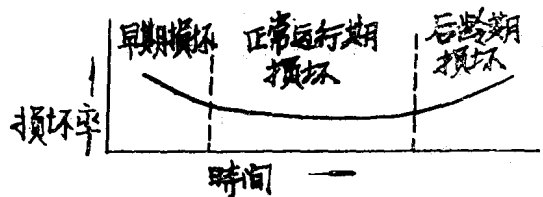


图2 电子设备的损坏特性

除后，则损坏率逐步降低。第二阶段则呈现出相对稳定的损坏率。在系统生命周期终端、由于元件等的老化与陈旧而使损坏率又上升。曲线的平坦部分则为正常运行区域。可靠性的估算仅针对此正常运行周期来

注8：格林《系统心理学》 DE Green "Systems Psychology"; New York, Mcgraw-Hill Book Company. 1970.

注9：辛乃柯《控制系统设计与使用的人的因素》 Sinoiko. H. W. (ed.) "Selected Papers on Human Factors in the Design and Use of Control Systems" New York, Dover Publications Inc, 1961.

进行。于是损坏可认为是随机的与独立的，它们可以精确地用泊松过程来表示。具有损坏率 λ 的这一过程服从于指数损坏定律：

$$R = e^{-\lambda t} \quad (1)$$

上式中， R 是时段 t 内成功运行的概率或可靠性。一个系统在一定周期内具有高可靠性而不损坏，损坏间的平均时间 $1/\lambda$ 必需比时段 t 值为大。

单独元件(电阻、电容、晶体管、小回路等)的损坏率 λ ，可通过试验来求得，试验条件相似于最后系统的预期条件。根据单独元件的可靠性可确定整个电子系统的可靠性。最简单的情况是一个部件损坏与其他部件无关、或者是为了正常运行就需要每个部件都动作。那么系统的总体可靠性只需简单地把部件的可靠性相乘即得(或把它们的损坏率相加)。

$$R(\text{系统}) = e^{-\lambda_1 t} X e^{-\lambda_2 t} X \dots e^{-\lambda_n t} \quad (2)$$

预测可靠性的主要困难之一，是缺乏运行条件下部件损坏的精确数据。但许多系统部件所受到的极度的振动，冲击和温度等对损坏率都有很大的影响。

提高系统可靠性的方法很多。每一种方法都要增加系统的费用，而且还时常会降低性能。要降低特殊环境造成的损坏率的一种方法，是采用特别坚实的(或降低定额值而使用的)部件。减低环境严重度的办法是防震垫座，调节温度等。

保证部件可靠性的一个基本因素是大批量生产而不改变工艺过程。这些条件也是预测部件可靠性所需要。为此，要设计一个可靠的系统，应尽量采用标准部件。标准部件要比那些“最优”而未经试验的部件为好。为获得可靠性，采用标准回路与采用标准部件具有同等的重要性。回路的增多也使制造，维护，与现场备品复杂化。

提高可靠性的一个重要方法是采用“重复法”。在庞大的连续运行的系统中，为了能进行定期维修，某种型式的重复是必要的。有时完全重复的系统也可使之处于“备用”状态。

系统可维护性的决定与可靠性的决定大致相似，但需试验系统中单元的置换率或修理率。经验证明修理时间可以用对数正态概率分布来描述(正态分布曲线描绘在修理时间为对数的纸上)。通过适当地运用损坏率与修理率的概念，可以制出能在给定小时数内修复系统的概率曲线。

由于缺乏适当数据、可维护性的预测不能达到可靠性预测那样的理想程度。但已知的某些设计特点可提高可维护性。设备要尽量简单与易接近；采用标准型设计以便于检修；采用自动化的试验设备，在某些情况下把它装在设备内部。应使用易于得到的部件，

试验设备应与系统本体一样受到同等可靠的设计；维护计划图表应简明且合乎逻辑。关于这方面的参考资料有卡莱博的《可靠性原理与实践》(Calabro, S. R. «Reliability Principles and Practices» New York. McGraw-Hill Book Company, 1962)

5. 排队论(摘改译)

系统的动态运行只能部分地以系统的物理性质来描绘。运行还受到人类操作者与外界物理力对系统变化需求的影响。这些变化需求相当复杂，我们把它分为随机的类别，并把它们以概率分布的随机过程来表示。例如，在飞机的组织飞行时，或一个飞机为躲避导弹而需作机动飞行就是个随机过程。位置传感器设备所产生的电信号以及等待在指定机场着陆(作为时间的函数)的飞机数也是随机过程。在这些随机过程中、有排队问题、排队论的数学解有单通道排队与多通道排队等。

6. 离散状态马尔科夫过程(摘改译)

这里所探讨的马尔科夫过程其中的可能数值组(状态空间)都是离散型的。离散型状态马尔科夫过程、适用于组织飞行的例子，如：超过某一水平的阵风累计数，组织飞行受到导弹攻击的累计数，以及需要驾驶员注意的同时发生事件的数目。马尔科夫过程的数学定义是：“一个过程，它的未来状态完全为目前状态所确定。”马尔科夫的统计学定义是：“一种随机过程，假定在一系列随机事件中、它的输出或每一事件的概率仅依赖于紧邻的前接事件。”对马尔科夫过程的数学细节，这里不再探讨。

7. 排队论在空中交通管制中的应用(略)

8. 决策论(摘改译)

在物理系统设计与试验时，为鉴定系统部件的性能，在多数情况下需进行测量，例如需决定部件的可靠性等。测量的意义实质上是购买信息。我们应购买多少信息(或进行多少测量)?要答复这一问题取决于每一测量所付出的费用及测量信息错误所造成的后果。

在一个复杂系统的运行时也需进行许多测量。前述组织飞行的例子中，肯定需要对每一飞机相对于僚机，长机及地面的速度与加速度进行自动测量。需要由这些测量所获得的信息去控制单独的飞机及整个飞机的组织。飞机雷达系统必须根据电子测量的基础确定是否存在目标。我们称这个为“信号检测”的决策过

程式“检验假定”。如目标存在,系统必须估计目标的范围及速度。对这一过程我们称之为参数估计,或信号抽取。

由于传感器的振动,电噪声,传感器的固定分解等原因,物理测量常会包括随机误差。我们应如何表达我们的测量使决策(例如目标的存在或不存在)和估计(速度,距离,损坏率等值)可能成为最准确的?这些都属决策论数学分析所要探讨内容的一个方面。

麦氏科技名词词典对决策论作了更为恰当的定义,“决策论是一种广泛的概念与技术的谱系,它们被发展用来描绘决策过程并使之合理化,所谓决策过程就是在几种可能的方案中作业选择。”系统工程过程中需要从几个比较方案中作出合理的选择,因此决策论是重要的分析技术。

9. 建立模型与模拟(摘译)

建立模型与模拟是系统工程的重要部分。通过建立模型与模拟可以鉴定计划,设计或概念,并在实现真实系统前加以改变。模型可分为数学模型或物理模型;连续或离散型模型;随机或确定型模型;静态或动态模型等。

物理模型包括研究飞机与船只设计时风洞与水箱中所用的比例模型。电路用作为机械系统的物理模型;电阻、电感、与电容用作为输电线路与分布参数系统的物理模型。

10. 分析与模拟

给出一个系统的数学模型,就可以通过分析而求出有关系统的所需的信息。例如如图3的电路或图4的

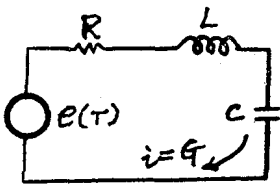


图3 电路

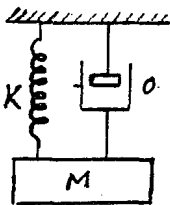


图4 机械系统

机械系统数学模拟是一个二阶微分方程或二个一阶微分方程。这些方程很易用解析法求解。然后再分析答案并决定几个参数变化的效应,这一过程称为分析。对于复杂的系统,最好采用数值计算去求解方程,或对系统进行模拟。模拟主要是工作的类比。它包括系统物理的或数学的模型结构,并用此模型确定系统随时间而变化的动态行为。

建立数学模型以用于模拟时,寻求解析解时具有

更大的自由度。对一个复杂模型,有时不可能求出解析解,在采用模拟时,建立模型所需时间随复杂程度的增加而增加,但高度复杂性并不妨碍模拟。

模拟是一个实验过程,它使系统工程师能通过实验来鉴定系统并能确定系统设计的改进效果,而毋需为构成真实系统化费大量时间和费用。

11. 计算机模拟实例,计算机模型的实现(大意略译)

试考虑用模拟来确定恶劣气候条件下直升机组织飞行的现实性。系统的方块图如图1所示。

第一步是先建立系统的数学模型。方块图能帮助建立模型。在这个实例中,系统的主要部分是飞机动力学,自动驾驶仪,管理站控制定律与传感器。同时可并行地对系统的每一部分建立适当的模型。数学模型的复杂性应与所期望的模拟目标相一致。

下面简单地分析图1的各个方块。直升机动力学是复杂的,为充分地描述直升机在各种速度时的运动情况需要一组非线性微分方程式。但在组织飞行中,当直升机飞行速度为相对常速时,单转子直升机的动力状态可用13个一阶线性微分方程组来描述。将非线性变为线性微分方程组能极大地简化模型并减少对模拟飞行所需的时间。因为叠加原理适用于线性系统而不适用于非线性系统,所以线性系统的一组模拟航行能比非线性系统同等数的模拟航行,提供更多的信息。

在本节其它各段,分别对图1方块图中的自动驾驶仪,管理站控制定律,传感器等,作了如上的探讨。

计算机模型的实现 在完成数学模型后,模型需通过模拟,数字,或混合型(数字与模拟)计算机进行计算。虽然模拟计算机能作变量的连续鉴定,而数字计算机仅能鉴定时间离散点的函数值,但是在模拟大系统时,数字计数机的用途较模拟式和混合式计算机更广。用模拟计算机模拟有七架飞机的组织飞行时,模拟计算的设备的费用较昂贵。数字计算则较为实用,因为对几架飞机的计算是按次序进行而不是平行地进行的。

在本节以下各段则对各种计算机言语作了极概略的叙述并用 FORTRAN 言语描绘了管理站控制定律。

12. 最优化技术

虽然几世纪来,数学家们对一些最优化技术是熟悉的,但直到电子计算机问世后,工程师们才有可能应用优化方法去解决大量实际问题。优化技术应用的扩大又促使新优化方法的发展。当前对系统工程师有

许多可用的优化方法,多数大型通用计算机装置配备有常用的优化技术例如线性规划等软件。

系统工程师在应用适合他的优化技术之一时,必须懂得并能对他所希望优化的系统用数学模型进行描绘。例如,在设计直升机组织飞行的最优管理站系统时,直升机的动力状态必须用数学模型来精确地表示。要使炼油厂运行优化,有必要写出炼油厂所有单元的流动平衡方程式。对某些系统而言,其费用、时间、原材料、重量、或尺寸等都是有所限制的。运动方程式,流动平衡方程式以及对特殊变数的有限方程式等,共同构成优化问题的约束方程组。

在应用优化技术时,系统工程师必须选择他希望优化的目标函数。例如,在设计管理站系统时,他必须对管理站定律的参数进行适当的选择,以便使直升机偏离期望位置的最大值能量小;又如在设计硝酸厂时,可能希望硝酸生产的利润最高或产量最大。对许多系统来说目标是比较明确的,形成目标函数是容易的。可是对某些系统来说,如社会系统,则不大有可能形成对系统感兴趣的所有人都赞成的目标函数。

下几节简要介绍的优化技术包括线性规划,二次规划,非线性规划,动态规划和几种探索方法。上述一系列的技术并不能概括优化技术的全部内容,但它们包括了最常用的技术。

至于用哪种优化方法最好,这取决于特定问题的性质。如被优化的函数是连续与可导,对变数没有约束,那么可采用微积分;如被优化的函数是线性而变数仅受到线性约束条件,那就可采用线性规划。在某种情况下,优化量没有解析表示式。例如,我们可能需要作试验,确定对应于特殊温度和压力的化学反应产品产量。

为了求出能保证最大产量的温度和压力,需要做一系列的试验。在这种情况下,要设法使压力与温度恰当配合以使产品产量达到最大值。微积分和线性规划都不适用于解决这类问题,但是单一探索法是适用的。某些方法如线性规划就适应于解决大型问题。其它如动态规划或几何规划,在用于大型问题时则作出很大的努力。

某些优化方法,例如线性规划,能产生总体最优。其它方法如微积分,则产生局部最优而不是总体最优。在系统工程中通常所寻求的是总体最优,问题的性质决定着适用那种优化方法,而究竟要得到的最优是总体的还是局部的。

(1)线性规划(改译) 它的解释是:“研究对受到包括变数 x_j 的线性不等式组约束条件的线性函数 $f(x_1, x_2, \dots, x_n)$,而求其极大值或极小值”。

(2)线性规划实例(略)

(3)其它数学规划方法(改译)

(a)二次规划 它的解释是:“用于求二次不等式系统极端点的一系列技术”。

(b)动态规划 它的解释是:“一种远较线性规划复杂的数学技术,用以解决多维优化问题,它把问题转变为一系列单阶段问题,而每个只有一个变数。”

(4)梯度探索与一维探索法(摘,改译) 在攀爬绿树葱葱,见不到顶的大山时,爬山者总是企图选择最陡的途径藉以最小的步伐而到达山顶。在优化一个函数时,梯度法(最陡途径)常被选用以求其极大或极小值。

各种类型的梯度法,可分类如下:

(a)仅应用函数值的方法

(b)要应用一阶导数的方法

(c)同时应用函数值,一阶导数和二阶导数的方法

被大量使用的梯度探索法有这些名称:最陡攀登,平行切线,共扼方向法,共扼梯度法,牛顿拉弗逊法,戴维逊法等。

在各种梯度探索法中,为了求得最优,需确定移动的方向。然后需朝此方向移动以寻求沿给定途径的局部最优点。假定沿该一途径的目标函数能表达为解析及可导的函数,则可用微积分以寻出沿途径的局部最优点。沿一维途径的探索常需采用直接法,如费蓬耐探索法(Fibonacci Search),黄金分割法,或多项式近似法。

参考文献

1. Abadie J. (ed) "Nonlinear Programming", North Holland Publishing Company, 1967.
2. Ackoff, R. L., and Sasieni, M.S. "Fundamentals of Operations Research", New York, John Wiley & Sons, Inc., 1968.
3. Aorl. Masanao "Optimization of Stochastic Systems", New York, Academic Press.
4. Aorl. M "Introduction to Optimization Techniques", New York, The Macmillan Company, 1971.
5. Arrow, K. J. "Social Choice and Individual Values", New York, John Wiley & Sons, Inc., 1963.
6. Arrow, K. J. "Public and Private Values" in Sidney Hook (ed), "Human Values and

- Economic Policy" New York, 1967.
7. Barlow, R. E., and Prochan, F. "Mathematical Theory of Reliability", New York. John Wiley & Sons, Inc., 1965.
 8. Beale, E. M. L. "Mathematical Programming in Practice", New York. John Wiley & Sons, Inc., 1968.
 9. Bellman, Richard "Dynamic Programming" Princeton, N. J., Princeton University Press, 1957.
 10. Bellman, Richard, and Dreyfus, Stuart E. "Applied Dynamic Programming" Princeton, N.J., Princeton University Press, 1962.
 11. Beveridge, Gordon S. G., and Schechter, Robert S. "Optimization Theory and Practice", New York, McGraw-Hill Book Company 1969.
 12. Bilopeau, E. A. (ed) "Acquisition of Skill", New York, Academic Press, Inc., 1966.
 13. Blanton, H. E., and Jacobs, R. M. "A Survey of Techniques for Analysis and Prediction of Equipment Reliability", IRE Trans. Reliability Quality Control, July, 1962. Vol. RQC-11, No. 2, pp. 18-35.
 14. Calabro, S. R. "Reliability Principles and Practices, New York. McGraw-Hill Book Company, 1962.
 15. Carnahan, Brice, "Numerical Methods. Optimization Techniques and Process Simulation for Engineers", Ann Arbor., University of Michigan Press, 1967.
 16. Chorafas, D. N. "Systems and Simulation", New York. Academic Press, Inc., 1965.
 17. Churchman, C. W. "The Systems Approach", New York, Delacorte Press, Dell Publishing Co., 1968.
 18. Cooper, George R. "Decision Theory", Chap. 24 in Robert E. Machol (ed.) "Systems Engineering Handbook", New York, McGraw Hill Book Company, 1965.
 19. Cralk, Kenneth J. W. in Stephen L. Sherwood (ed.), "The Nature of Psychology, A Selection of Papers, Essays and Other Writings", New York, Cambridge University Press, 1966.
 20. Cress, Paul "FORTRAN IV with WATFOR", Englewood Cliffs, N. J., Prentice-Hall, Inc., 1968.
 21. Dantzig George B. "Linear Programming and Extensions", Princeton, N.J., Princeton University Press, 1963.
 22. Debreu, G. "Theory of Value", New York, John Wiley & Sons, Inc., 1959.
 23. De Greene, K.B. (ed.) "Systems Psychology", New York, McGraw-Hill Book Company, 1970.
 24. DOD and NASA Guide, PERT COST, Office of the Secretary of Defense and NASA. June, 1962.
 25. Edholm, O. G. "The Biology of Work" New York, McGraw-Hill Book Company, 1970.
 26. Ekman, T. "Introduction to ALGOL Programming", London. Oxford University Press, 1969.
 27. Emshoff, J. "Design and Use of Computer Simulation Models", New York, The Macmillan Company, 1970.
 28. Evans, G. W. "Simulation Using Digital Computers", Englewood Cliffs N. J., Prentice-Hill, Inc., 1967.
 29. Fegler, Kenneth A. Formation Flight-Final Technical Report, Res. Develop. Tech. Rept., June, 1971. ECOM-02411-21, Pennsylvania-Princeton Army Avionics Research Program.
 30. Fishburn, P. C. "Decision and Value Theory", New York, John Wiley & Sons, Inc., 1964.
 31. Fishburn, P. C. on the Prospects of a Useful Unified Theory of Value for Engineering, IEEE Trans. Systems Sci. Cybernetics, August, 1966, Vol. SSC-2, PP. 27-35.
 32. Fishburn P. C. Utility Theory, Management Sci., January, 1968, Vol. 14, PP. 335-378.
 33. Fogel L. J. "Biotechnology, Concepts and Applications", Englewood Cliffs, N. J., Prentice-Hall, Inc., 1963.
 34. Ginsburgh, A. S., and Offensend, E. L. An Application of Decision Theory to a

Medical Diagnosis-Treatment Problem, IEEE Trans. Systems Sci. Cybernetics, September, 1968, Vol. SSC-4, pp. 335-362.

35. Goode, H. H., and Machol, R. E. "Systems Engineering", New York, McGraw-Hill Book Company, 1957.

36. Goodman, L. A. On Methods of Amalgamation, PP. 39-48 in "Decision Processes", R. M. Thrall, C. H. Coombs, and R. L. Davis (eds.), New York, John Wiley & Sons, Inc., 1954.

37. Gordon, Geoffrey "Systems Simulation", Englewood Cliffs, N. J., Prentice-Hall Inc., 1969.

38. Gosling, W. "The Design of Engineering Systems", New York, John Wiley & Sons, Inc., 1962.

39. Grandjean, E. "Fitting the Task to the Man", London, Taylor & Francis, Ltd., 1969.

40. Hall, A. D. "A Methodology for Systems Engineering", Princeton, N. J., D. Van Nostrand Company, Inc., 1962.

41. Hammersley, J. M. "Monte Carlo Methods", New York, John Wiley & Sons, Inc., 1964.

42. Hausner, M. Multidimensional Utilities, pp. 167-180 in R. M. Thrall, C. H. Coombs, and R. L. Davis (eds.), "Decision Processes", New York, John Wiley & Sons, Inc., 1954.

43. Hoos, R. A Realistic Look at the Systems Approach to Social Problems, Data-mation, February, 1969.

44. Houthakker, H. S. The Present State of Consumption Theory, *Econometrica*, October, 1961, Vol. 29, PP. 704-740.

45. Howell, W. C. and Goldstein, J. L. (eds.) "Engineering Psychology: Current Perspectives in Research", New York, Appleton Century Crofts, 1971.

46. Kelley, C. R. "Manual and Automatic Control", New York, John Wiley & Sons, Inc., 1964.

47. Kowalik, J., and Osborne, M. R. "Method for Unconstrained Optimization

Problems", New York, American Elsevier Publishing Company, Inc., 1968.

48. Krendel, E. S., and McRuer D. T. A Servomechanisms Approach to Skill Development, *Journ. Franklin Inst.*, 1960, Vol. 269, No. 1.

49. Krendel, E. S., and McRuer, D. T. Psychological and Physiological Skill Development, A Control Engineering Model, in "Technical and Biological Problems of Control, A Cybernetic Review", Pittsburgh, Pa., Instrument Society of America, 1970.

50. Lavi, Abraham, and Vogl, Thomas P. (eds) "Recent Advances in Optimization Techniques", New York John Wiley & Sons, Inc., 1966.

51. Ledley, R. S. "FORTRAN IV Programming", New York, McGraw-Hill Book Company, 1966.

52. Luce, R. D., and Raiffa, H. "Games and Decision, Introduction and Critical Survey", New York, John Wiley & Sons, Inc., 1957.

53. Luce, R. D., and Suppes, P. Preference, Utility and Subjective Probability, PP. 249-410, in R. D. Luce, R. R. Bush, and E. Galanter (eds), "Handbook of Mathematical Psychology", New York, John Wiley & Sons, Inc., 1965.

54. Machol, Robert E. (ed) "Systems Engineering Handbook", New York, McGraw-Hill Book Company, 1965.

55. McCormick, J. M. "Numerical Methods in FORTRAN", Englewood Cliffs, N. J., Prentice-Hall, Inc., 1964.

56. McCormick, E. J. "Human Factors Engineering," 3d ed., New York, McGraw-Hill Book Company, 1970.

57. McCracken, D. D. "A Guide to ALGOL Programming", New York, John Wiley & Sons, Inc., 1962.

58. McCracken, D. D. "A Guide to FORTRAN IV", New York, John Wiley & Sons, Inc., 1965.

59. McLeod, John "Simulation the Dynamic Modeling of Ideas and Systems With Computers", New York, McGraw-Hill Book Compa-

ny, 1968.

60. McMillan, Claude "Systems Analysis, A Computer Approach to Decision Models", Homewood, Ill., Richard D. Irwin, Inc., 1965.

61. McMillan, Claude, Jr. "Mathematical Programming, An Introduction to the Design of Optimal Decision Machines", New York, John Wiley & Sons, Inc., 1970.

62. McRuer, D. T., Graham, D., and Krendel, E. S. "Manual Control of Single-Loop Systems", Journ. Franklin Inst. Parts 1 and 2, 1967, Vol. 283 Nos. 1 and 2.

63. McRuer, D. T., and Krendel E. S. "The Man-Machine System Concept", Proc. IEEE, May 1962, Vol. 50, No. 5, pp. 1117-23.

64. McRuer, D. T., and Weir, D. H. "Theory of Manual Vehicular Control", IEEE Trans. Man-Machine Systems, 1969, vol. MMS-10, pp. 257-291.

65. Mendenhall, W. "Introduction to Linear Models and the Design and Analysis of Experiments", Belmont, Calif., Wadsworth Publishing Company, Inc., 1968.

66. Merrill, Paul W. "FORTRAN IV Programming for Engineers and Scientists", Scranton, Pa., International Textbook Company, 1968.

67. Middleton, D. "An Introduction to Statistical Communication Theory", New York, McGraw-Hill Book Company, 1960.

68. Minas, J. S., and Ackoff, R. L. "Individual and Collective Value Judgements", PP. 351-359 in M. W. Shelly and G. L. Bryan (eds) "Human Judgements and Optimality", New York, John Wiley & Sons, Inc., 1964.

69. Morgan, C. T., Chapanis, A., Cook, J. S., III, and Lund, M. W. (eds.) "Human Engineering Guide to Equipment Design", New York, McGraw-Hill Book Company, 1963.

70. Morse, P. M. "Queues Inventories and Maintenance", New York, John Wiley & Sons, Inc., 1958.

71. Morse, Philip M. "Queues and Markov Processes", Chap. 28 in Robert E. Machol (ed.), "Systems Engineering Handbook", New York,

McGraw-Hill Book Company, 1965.

72. Mueller, Eva. "Public Attitudes toward Fiscal Problems", Quart. Journ. Economics, 1963, vol. 77, №2,

73. Naylor, T. H. "Computer Simulation Techniques", New York, John Wiley & Sons, Inc., 1966.

74. Naylor, T. H. "Computer Simulation Experiments With Models of Economic Systems", New York, John Wiley & Sons, Inc., 1971.

75. Nemhauser, George L. "Introduction to Dynamic Programming", New York, John Wiley & Sons, Inc., 1966.

76. Von Neumann, J. and Morgenstern, O. "Theory of Games and Economic Behavior" 2d ed., Princeton, N. J., Princeton University Press, 1974.

77. O'Neal, R. D., and Clayton, J. F. "Management", Chap. 36 in Robert E. Machol (ed.), "Systems Engineering Handbook", New York, McGraw-Hill Book Company, 1965.

78. Parsons, H. M. "Man-Machine System Experiments", Baltimore, Md., The Johns Hopkins Press, 1972.

79. Parzen, E. S. "Stochastic Processes", San Francisco, Calif., Holden day, Inc., Publisher, 1962.

80. Pierre, Donald A. "Optimization Theory with Applications", New York, John Wiley & Sons, Inc., 1969.

81. Pikus, E. "Simulation of a Computer-aided Flight Operation Center (CAFOC)", Final Technical Report, Jane, 1970, Res Develop. Tech. Rept., Ecom-02411-16, Pennsylvania-Princeton Army Avionics Research Program.

82. Pratt, J. W., Raiffa, H., and Schlaiffr, R. "Introduction to Statical Decision Theory", New York, McGraw-Hill Book Company, 1965.

83. Pritsker, A. "Simulation With GASP II", Englewood Cliffs, N. J., Prentice-Hill, Inc., 1969.

84. Pugh, A. L. "Dynamo User's Manual," 2d ed., Cambridge, Mass., The M. I. T. Pre-

ss, 1963.

85. Riordan, J. "Stochastic Service Systems", New York, John Wiley & Sons, Inc., 1962.

86. Roberts, N. H. "Mathematical Methods in Reliability Engineering", New York, McGraw-Hill Book Company, 1964.

87. Ross, Harold D., Jr. Reliability, Chap. 33 in R. E. Machol (ed.), "Systems Engineering Handbook", New York, McGraw-Hill Book Company, 1965.

88. Saaty, Thomas L. "Optimization in Integers and Related Extremal Problems", New York, McGraw-Hill Book Company, 1970.

89. Saaty, T. L. "Elements of Queueing Theory", New York, McGraw-Hill Book Company, 1961.

90. Schriber, Thomas J. "General Purpose Simulation System", Ann Arbor, Mich., Ulrich's Books, 1971.

91. Sherman, Philip M. "Techniques in Computer Programming", Englewood Cliffs, N. J., Prentice-Hall, Inc., 1970.

92. Sinalko, H. W. (ed.) "Selected Papers on Human Factors in the Design and Use of Control Systems", New York, Dover Publications, Inc., 1961.

93. Singleton, W. T., Esterley, R. S., and Whitfield, D. C. (eds.) "The Human Operator in Complex Systems", London, Taylor & Francis, Ltd., 1967.

94. Singleton, W. T., Fox, J. G., and Whitfield, D. C. (eds.) "Measurement of Man at Work", London, Taylor & Francis, Ltd., 1971.

95. Smith, John U. M. "Computer Simulation Models", New York, Hafner Publishing

Company, 1968.

96. Stephenson, Robert E. "Computer Simulation for Engineers", New York, Harcourt Brace Jovanovich, Inc., 1970.

97. Stevens, S. S. (ed.) "Handbook of Experimental Psychology", New York, John Wiley & Sons, Inc., 1951.

98. Takacs, L. "Introduction to Theory of Queues", Fair Lawn, N. J., Oxford University Press, 1962.

99. Thrall, R. M. Applications of Multidimensional Utility, pp. 181—186, in R. M. Thrall, C. H. Coombs, and R. L. Davis (eds.), "Decision Processes", New York, John Wiley & Sons, Inc., 1954.

100. Warfield, J. N., and Hill, J. D. "Systems Engineering, Workshop Notebook", Battelle, Seattle, Research Center, February, 1971

101. Weiss, L. "Statistical Precision Theory", New York, McGraw-Hill Book Company, 1961.

102. Wilde, Douglass J., and Beightler, Charles S. "Foundations of Optimization", Englewood Cliffs, N. J., Prentice-Hall, Inc., 1967.

103. Wilf, H. S. "Programming for a Digital Computer in the FORTRAN Language", Reading, Mass., Addison-Wesley Publishing Co., Inc., 1968.

104. Wyman, Forrest P. "Simulation Modeling, A Guide to Using SIMSCRIPT", New York, John Wiley & Sons, Inc., 1970

105. Zangwill, Willard I. "Nonlinear Programming, A Unified Approach", Englewood Cliffs, N. J., Prentice-Hall, Inc., 1967.

摘译自美国《电子工程师手册》，1975，云南省电力局 王慧炯摘译

系 统 工 程

John G. Truxal

系统工程是指设计一个系统(即很多因素之间的复杂交联),以使约定的系统性能指标达到最优。系统工程包括两部分:模型化,它描述系统的各个因素和

系统的性能指标;最优化,它给定一些可调因素的数值,以获得尽可能好的性能。

系统方法(Systems approach)应用的范围很广,