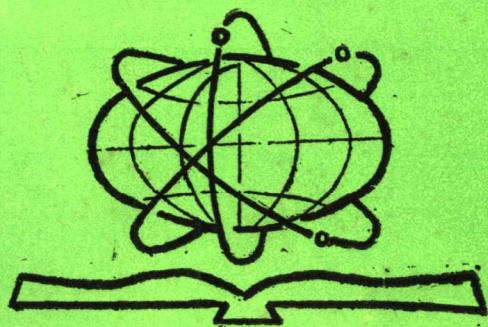


科学技术译文集

指挥控制 (C^3I) 系统分析专辑

崔 敏 芳 译



沈阳工业学院科研处情报室

1987.7

译 者 序

本文译自AD—406251。原题目是(Command and Control System Analysis)为美国空军部、研究技术部，人工智能研究所等单位的一份期终研究报告。

军事指挥控制系统（简称C³系统）属于大型人一机交互系统。系统分析对于确定此类系统的信息处理和决策功能以及如何在人和机器之间分配这些功能是很重要的。系统分析首先要建立系统的数学模型，并将系统的功能与系统总的评价指标联系起来。

本文以赛其（SAGE）系统为工程背景提出了此类系统的一般分析方法。在与工业控制系统相对比的基础上，建立了指控系统的抽象模型，用马尔柯夫过程描述了人——机器——显示器组合系统的决策过程，并用概率模型研究了决策误差、时延和各模块指标之间的关系；最后给出了阻碍影响的概率，用它阐明了信息处理率的限制。本文最后一部分还推荐了一些值得进一步研究的领域。

这篇报告尽管不算很新的资料，但比较系统完整，对于我们从事战术C³系统研究的工作者来说，我觉得很有价值。为满足我们科研小组工作的急需，将它草草译出，未能认真推敲，错误之处在所难免。请阅者指正。在翻译此文过程中，情报室、研究所有关同志给予大力协助，潘成胜同学帮助校对了全文，表示感谢。

译 者 崔 敏 芳

1987.6.10. 沈工

指挥控制(C³I)系统分析

目 录

第一章 概 论

- §1.1 引 言..... (1)
- §1.2 系统分析的特点和步骤..... (3)
- §1.3 系统分析的目的和方法..... (9)
- §1.4 系统评价指标..... (10)
- §1.5 系统功能和初始结构..... (10)

第二章 功能单元的抽象模型

- §2.1 工业控制系统模型..... (13)
- §2.2 模块功能和系统构成..... (20)

第三章 系统变量、指标和间接关系

- §3.1 非循环图..... (31)
- §3.2 循环有向图..... (33)
- §3.3 模型变量和指标..... (35)
- §3.4 赛其系统间接关系和有向图..... (36)

第四章 系统灵敏度分析

- §4.1 系统各工作段的灵敏度分析..... (41)
- §4.2 模块处理率灵敏度模型..... (56)

第五章 系统控制模型

- §5.1 两个组合序列模型..... (68)
- §5.2 多个模块序列规则..... (71)
- §5.3 结 论..... (78)

第六章 结 语

- §6.1 系统功能和结构的修改..... (80)
- §6.2 结 论..... (85)

第一章 概 论

§ 1.1 引 言

过去几年中,已经分析、研制并优化了许多采用先进技术的自动化武器系统,涉及的范围从潜艇武器系统一直到歼击机和制导导弹系统。

这些武器系统高超的战斗行动要求敌人来袭的最新情报、武器攻击的成效以及熟悉自己部队的现状。上述要求需要人——机系统综合体完成高速通信、信息处理和决策功能,以便实现有效的武器控制和利用。这样的综合体一般称为指挥控制系统。

指控系统根据它完成的基本功能可以分为四种基本类型:(1)指挥系统,如“SAC”(战略空军司令部);—465L;(2)控制系统。如“SAGE”(赛其)416L;(3)探测系统。如“BMEWS”(弹道导弹预警系统)474L;(4)支持系统,如气象系统433L。以上各类系统是指最一般的众所周知的指控系统,但它们是有代表性的指控系统,没有必要一一列举。本文将主要涉及到前两种指控系统,因为这两类系统许多信息处理和决策功能是相似的,本文把它们统称为指挥控制系统。

指控系统由下列子系统组成:(1)探测和执行子系统;(2)外部通信子系统;(3)内部通信子系统;(4)信息处理子系统;(5)决策子系统;(6)脱机和联机控制子系统。这些子系统如图1所示。除去(1)(2)两个子系统的其余子系统被定义为指控中心,而且是本文讨论的主题。每个子系统完成图2所示的信息处理和决策功能,以达到某个确定的联机系统的评价指标。指控系统的评价指标通常是信息处理、决策速度和精度的某种函数。一旦评价指标得不到满足,必须扩充子系统的设计或者改变联机控制子系统的操作程序。

指控系统由于它的庞大、复杂、相互关联、信息处理功能的不同以及复杂的人工决策过程,常常不能采用惯用的方法进行分析和优化。三种处理指控系统分析和优化问题的方法是可行的。即:

- (1) 实战模拟;
- (2) 计算机仿真;
- (3) 数学分析。

实战模拟就是把人和设计好的子系统组成的完整的指控系统进行联机模拟。显然,用此方法分析系统代价相当昂贵。

计算机仿真是另一种分析方法,但是它必须预先进行广泛地数学和系统分析才是可行的,而且不能忽略许多相互关系。

数学分析方法在大多数场合是不采用的,这主要是由于大量子系统很不相同而且相互关系复杂。但在计算机仿真时,必须进行数学和系统分析,同样地数学分析在实战模拟中也可降低成本。

本文的目的是研究一种被指控系统采用的通用的系统分析程序和数学模型。重点是

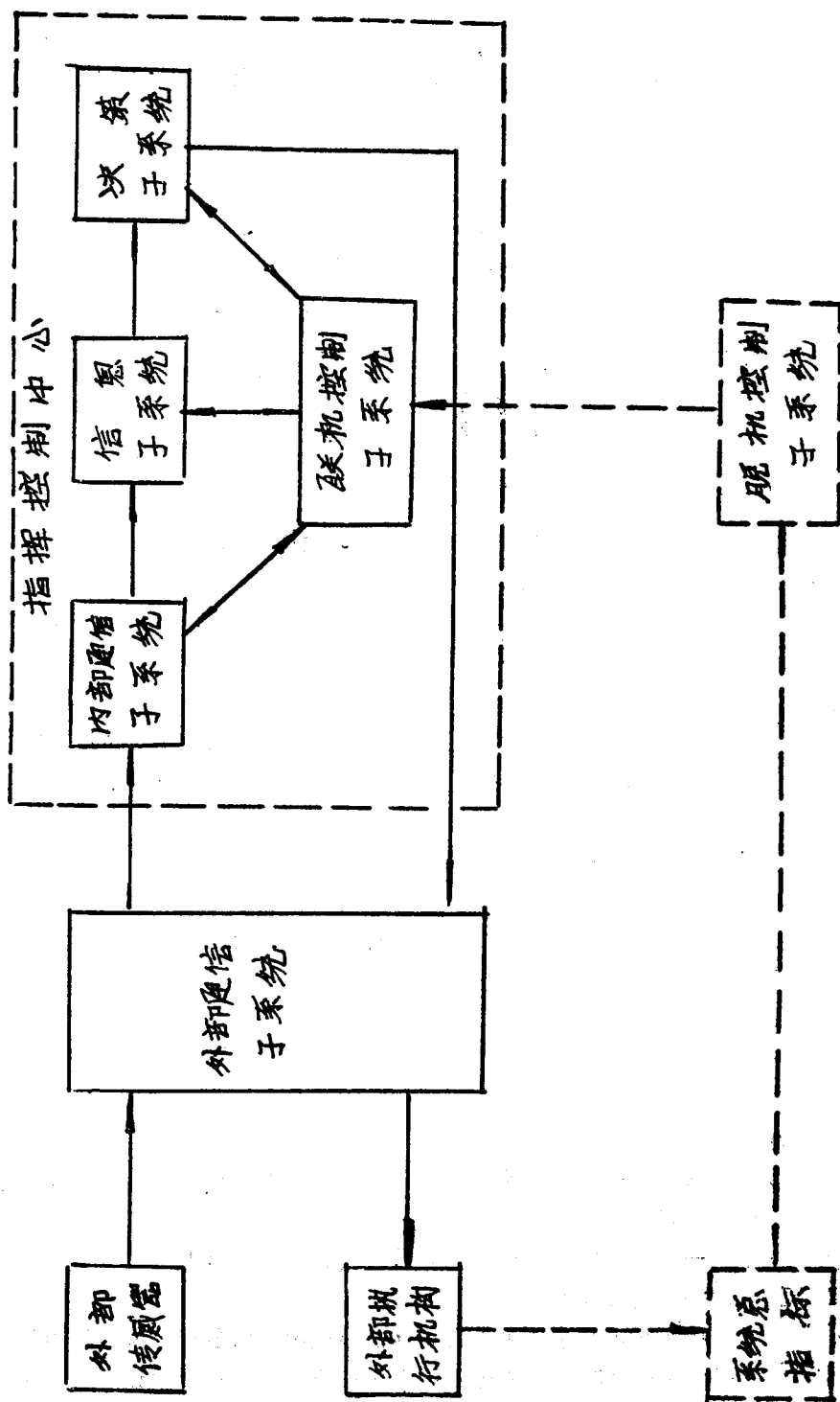


图 1 指控系统方框图

研究联机系统中人的信息处理和决策功能以及人工参予的系统的综合结构。

系统分析是用了一个现存的指控系统赛其指控中心的数学模型做为实例。

最后，关于系统分析程序的各个步骤以及需要进一步探讨的问题在本文的结论部分给出。

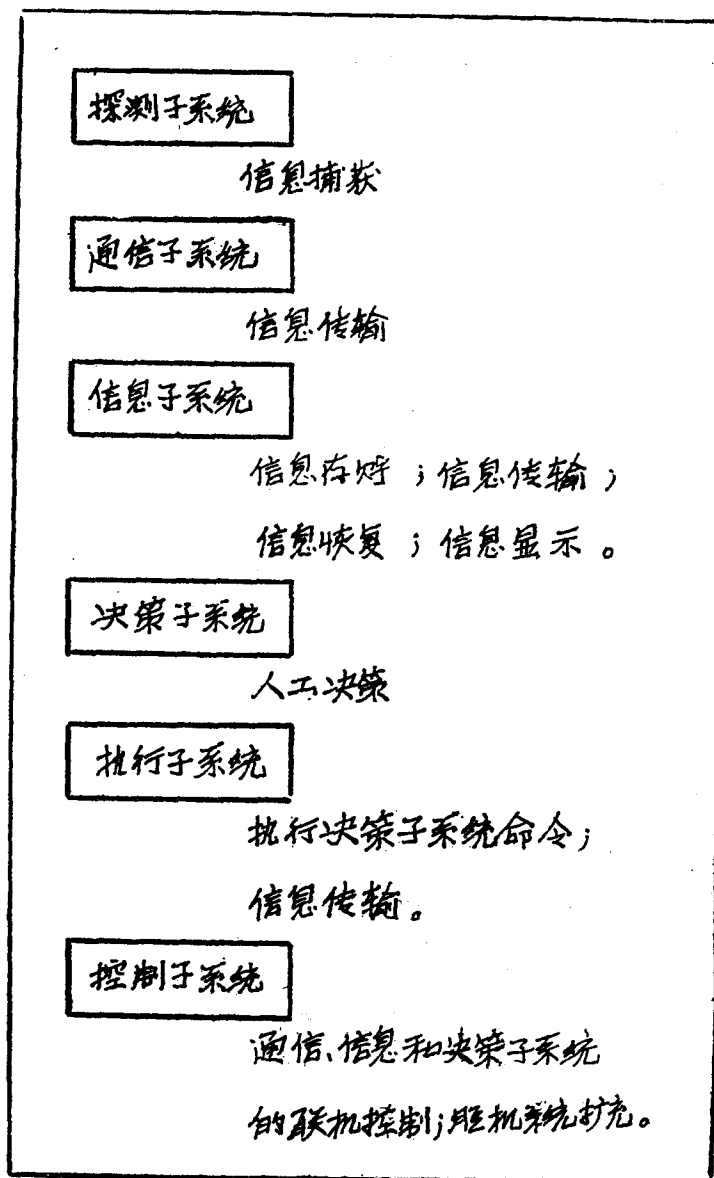


图 2 控制子系统功能

§ 1.2 系统分析的特点和步骤

系统分析的目的是确定自由系统变量之间的关系，以便控制这些变量达到系统的评价指标。系统分析的方法是建立实际物理系统的抽象数学模型，这种实际物理系统能用

来研究系统在受到各种干扰、控制和改变结构时的特性。系统分析程序一般包括下列步骤：

- (1) 确定系统评价指标；
- (2) 研究初始系统功能；
- (3) 研究功能单元的抽象模型；
- (4) 确定功能单元和系统综合结构的直接关系；
- (5) 确定系统变量、指标和间接关系；
- (6) 确定系统变量对系统评价指标的灵敏度；
- (7) 研究功能单元和其内部控制的适应性；
- (8) 系统功能单元和综合结构的改进。

图3表示这些步骤的顺序。

系统分析程序的第一步是确定系统评价指标。在指控系统中，评价指标有时是很难确定的，因为它可能是许多分指标的复杂函数。这些分指标或目标既可能是静态的也可能是动态的关系。这就是说，一个最小系统设计成本指标可认为是静态指标，而最大精度或最大响应速度则能做为系统的动态指标来处理。这些动态指标与设计好的系统联机性能有关。

为了不影响整个指控系统的评价指标，必须首先研究各功能单元的指标。就是说，在指控系统中总的评价指标通常是响应速度（最小时间指标）和精度（最小误差指标）之间的某种函数。当确定功能单元的指标时，必须考虑时间——误差关系。例如：一个功能单元可能是一台计算机、一个人或一群人。上述情况的任何一种情况如果达到要求的精度，必须是在计算或决策之前把信息收集起来。这么多信息又要求很高的精度，而收集信息总是包含由于通信迟后和噪声影响而产生的时间延误，因此，当做决策时，问题就变为要确定系统评价指标是否为响应速度和精度两者的函数。

关于指控系统指标的另一个问题是要考虑系统总的评价指标与系统内各分指标的关系，例如，系统内一个组合的指标要依赖另一个组合的指标，于是问题就变为如何调整系统内各组合指标满足总评价指标的要求。因此，系统总评价指标的确定包括功能单元内部指标的调整和功能单元之间的指标调整。

第二步是确定系统的功能和综合结构。在机器、人、组合以及系统的各级指挥机构都要确定功能。它们通常总是某种形式的信息处理功能（图2）指控系统中计算机的程序和顺序逻辑功能是系统分析中的重要功能。对于计算机代替人完成的功能，要考虑这些功能的时延和精度。另外，当确定这些程序和逻辑功能时，时间——精度的调整是重要的一步。因为在速度和精度指标之间要进行不断地调整，所以确定人和机器所完成的功能在指控系统可能是最困难的。当系统的信息输入率提高时，对系统能力的要求也随之提高，于是要求更多的人，组合和指挥机构加入系统工作。现在，问题变为如何在人和组合之间分配功能（在第四步讨论）。

第三步是确定系统的抽象数学模型。它是按照某种共同术语把系统的每一个功能单元统一起来。这一步关系到发生在每个功能单元中的信息变换以及各功能单元输入输出的信息变换。这些输入输出必须包括所有的噪声因素和信息量。抽象模型通常作为“媒

介”，它将各式各样的系统变量对整个系统评价指标的灵敏度统一并关联起来。由于指

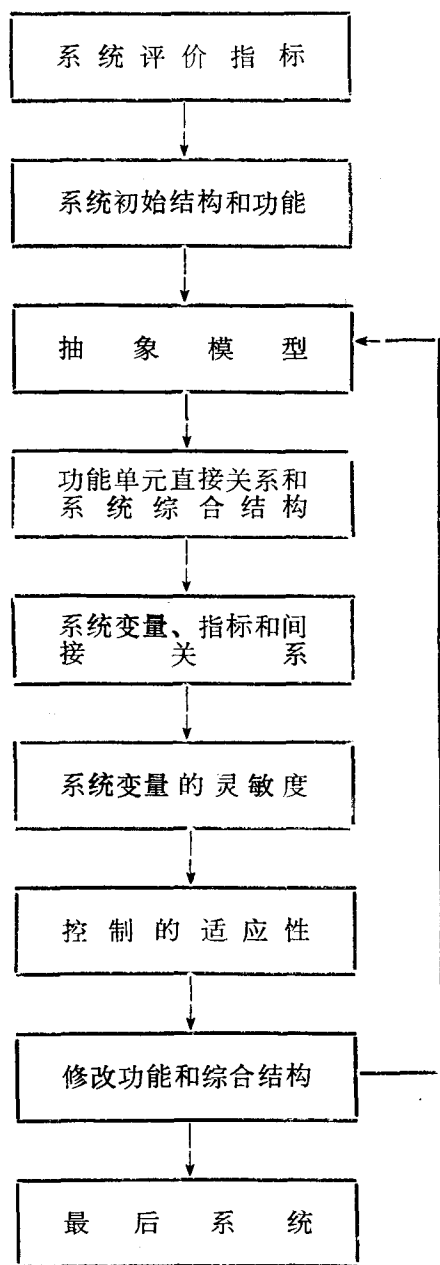


图3 系统分析程序

控系统中包含着许多不同的功能单元，如人、显示器和计算机单元，所以这一步是既重要又困难。每个功能单元和它们之间的关系通常不能用相同的数学法则来描述，因此用一种共同的术语把每个功能单元的变量联系在一起，最后把它同系统总的评价指标关联起来是必要的。当对若干个指控系统结合在一起进行分析时，这一步也是很重要的。于

是，整个系统的模型也是按相同术语描述的较小模型的结合，使用同一术语，功能之间的关系也变得更明显了。

程序的第四步是确定系统各功能单元之间的直接关系。也就是确定人——人、人——机和机器——机器之间的直接关系。如上所述，当信息处理功能在数量和速率上增加时，则要求系统处理能力也要提高。这就要求较多的机器、人、组合和指挥机构，于是，这些功能单元必须以某种方式相互关联以保证系统总评价指标的实现。

为了给决策资料、信息、控制和指挥提供传输通道。必须确定各功能单元之间的通信线路。

相互关系的第二个问题是系统的信息变换顺序。如果该功能单元是一台计算机，这就意味着要确定合适的程序和优先性。假如功能单元有人参与，那末必须确定由人收集的信息的处理顺序。在系统输出结果之前，这一步通常要确定信息变换顺序的优先关系。这些输出可以是决策、指挥、控制和信息。

相互关系的第三个问题指的是人、组合以及系统综合结构各层次之间的权限问题。在指控系统中，这就变成确定有多少权限分配给高一级层次有多少权限分配给低一级层次的问题。如果不给低一级层次以权限，速度就要受到损失。因为系统的决策和信息变换是由低一级层次作出而由高一级层次认可的，这就要求在决策和信息变换之前进行系统各层次之间的往返通信。然而，如果把太多的权限分配给低一级层次，那末就可能在缺乏对系统总体工作了解的情况下作出决策和控制。在这种情况下，由于不充分掌握系统现实状态而作的决策可能是无效的，虽然由于不与高一级层次通信而带来了速度上的有利条件，但这已经毫无意义。因此，系统综合结构的直接关系能直接影响到指控系统的时间——效能评价指标，因此它是系统分析程序中重要的一步。

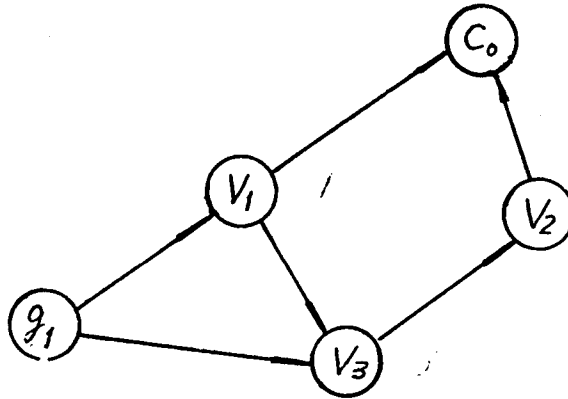
系统分析的第五步是最难的一步，这一步是要确定系统的变量、指标和间接关系。功能单元已在第二步确定了；系统的直接关系已在第四步建立了。现在的问题就是首先确定系统的所有变量。这些变量属于各功能单元并与它有着直接关系。例如人（功能单元）的变量可以是它的决策时延，而两个功能单元之间通信线路（直接关系）的变量可以是它的信息传输速率。这些属于自由变量或受控变量，能由联机控制或脱机扩充设计加以改变。不受控变量通常与噪声有关。在指控系统中，噪声定义为与规范值的偏差。例如，错误的通信线路、错误的决策、贻误的决策和贻误的信息，当不受控时都可认为是噪声。

这些变量确定之后，系统功能单元的所有分指标也必须确定。计算机做为功能单元的情况下，就是要确定计算机的每道程序的时间和精度指标。在系统中人机组合作为功能单元时，则是要确定信息处理和决策过程的目标函数。这些分指标也可能是决策速度和精度的某种折衷。

变量和分指标确定之后，第五步最后一个问题是确定各变量之间、指标之间以及系统变量和指标之间的所有间接关系。假如直接关系已经找到，间接关系有时能用逻辑关系推演出来。在指控系统中，这问题就是确定变量间的直接关系，这是因为存在于各功能单元内的变量之间的差异，而且这些变量总是包含在各功能单元的直接关系之中。介于第二步和第四步之间的第三步研究抽象模型的目的是为了既能帮助第四步的系统直接

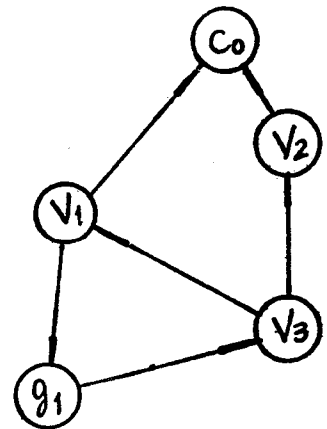
关系的研究也能确定第五步的系统各变量之间的间接关系。

在系统的指标和指标、变量和变量以及指标和变量之间的直接关系和间接关系确定之后，最后把它们与系统总评价指标联系在一起，也就是说，系统中组合的每个指标将和整个系统的评价指标有某种函数关系，当然必须按某种方法首先确定总的评价指标。当第五步程序完成之后，可用下面的有向图表示系统的直接关系。



图中 V_i 表示功能单元的变量； g_i 表示这些功能单元的指标； Co 表示系统的评价指标。图中结点间的有向线段表示某种直接关系或结点间存在的影响。这里的直接关系已经看出来，如： $g_1 \rightarrow V_1 \rightarrow V_3 \rightarrow V_2 \rightarrow Co$ 。当一个系统的结点(变量和指标)数目变得很大时，用直观的方法确定关系是不可能的，必须用矩阵技术进行逻辑推演。必须注意，这种技术只能确定系统中的间接关系，而不能表示它们的函数关系。

系统分析程序的第六步是研究系统各变量和指标对系统总评价指标的灵敏度。灵敏度分析必须按照某种定量的关系把变量和指标同系统总的评价指标联系起来。由于种种原因，使得灵敏度分析成为系统分析中最困难的一步。首先，由于功能单元变量不同，致使难以用解析式来研究它们的关系；其次，不存在解析法来研究各功能单元之间的定量关系；第三，即使存在研究每个直接关系的解析方法，也还存在着把它们联同直接关系如何与系统总评价指标联系起来的问题。例如，怎样把变量 V_1 经过 V_3 和 V_2 和系统总评价指标 Co 关联起来，来显示 V_1 对 Co 的影响，可能有许多不同的方法。如决策论、排队论和排序论。第四，关于与系统性能有关的实验数据的积累问题，在指控系统中，这些供灵敏度分析用的数据可能到实际系统已经建立并运行还是不存在的，这是一个要付出代价的过程。于是，问题变成要从其它系统和人的经验中收集数据并将它和新设想的系统及评价指标联系起来。第五，当在系统的间接关系中，存在着循环，如何确定系统变量的灵敏度。例如，考虑下面的有向图：



变量 V_1 影响指标 g_1 ；指标 g_1 影响变量 V_3 ；变量 V_3 依

次影响 V_1 。现在的问题是这一循环的各个结点对 C_0 的灵敏度如何确定。有时我们找到这样的系统地回路，但是要确定它与系统总评价指标的关系就困难了。第六个问题是要寻求指标对系统总评价指标适当的函数关系并确定各指标之间的折衷关系。例如，系统总评价指标可能是组合的最短时间和最小误差的某种函数。如果这两个指标是以某种方式相关的，这就必须确定合理的折衷办法。这只能通过它对功能单元变量的影响来掌握各指标对系统总评价指标的灵敏度知识才能完成。

系统分析的第七步是寻求或研究各功能单元内部控制的灵活性以及各功能单元之间的控制规则。这一步要利用上述灵敏度分析所引出的系统的动态变量。动态变量是与系统的操作程序有关的；静态变量则与系统设计特性有关，而且在系统联机操作过程中是不能改变的。通常，动态变量总是用在静态变量改变之前。

指控系统中，动态变量通常与功能单元之间的通信线路、信息处理顺序、信息处理时延和误差以及决策时延和误差有关。功能单元内部的控制通常取决于根据灵敏度分析给出的时间——精度指标的折衷。例如，在作出决策之前，人收集信息所利用的时间可以取作动态变量。

功能单元之间的控制涉及到转换、排序和计划列表功能。对计算机程序来说，这指的是在中心计算机的程序顺序的联机控制。在系统结构的各层次或组合中，指的是信息处理控制和系统中人决策的顺序。也就是说，要确定高一层次对低层次控制或同一层次中各组合之间控制的可能性。为了确定系统怎样才能应付超载情况，在指控系统中研讨上述任何一个控制的可能性是重要的。另外，为了将来系统具有扩充和修改结构的可能性，确定各功能单元模块的灵活性也是很重要的。

系统分析程序最后一步是改进系统的功能单元和综合结构。这一步利用了从灵敏度分析到改变静态系统变量的所有研究结果，以便满足系统总的评价指标；调整和分析上面开发的系统联机灵活性的所有可能结果，以满足系统总的评价指标。当动态控制达不到总的评价指标要求时，剩下的一步只能是改变静态功能和系统结构。静态功能的改变包括功能单元的重新设计，如计算机和显示器。静态结构的改变与第四步所述的直接关系有关。这里可以包括建立新的或不同的通信线路、信息处理程序、决策、指标和控制权限。如果功能单元内部和功能单元之间的优先顺序有限制，则上述的改变就不可能了。在此情况下，只能选择并行通道，这要求在系统的各层次或组合增加计算机或更多的人。

最后一步完成之后，系统分析可重复进行。这是由于已有足够多的变量发生了变化，而使得为了满足系统总评价指标，所做的灵敏度分析功能关系的研究，不再应用到新增加的功能单元和综合结构。一旦系统总的评价指标得到满足，系统也就确定了。

总之，指控系统分析所提出来的问题是：

- (1) 怎样使系统有最好的模型？
- (2) 什么数学工具能用来描述大量的变量和它们之间的关系？
- (3) 怎样比较和评价两个或更多的系统？
- (4) 怎样能使系统要求的功能在人和机器之间最好分配？
- (5) 什么类型的机器能提供最佳的性能？

- (6) 人和机器如何进行组织和协调?
- (7) 怎样将系统的有效性同构成它的其它结构成份的有效性关联起来?
- (8) 什么方法能用来研究系统超载情况下的系统潜力?
- (9) 哪些功能能够放宽, 灵敏度是怎样影响系统最后指标的?
- (10) 系统中的各组合能否以独立的指标进行工作?
- (11) 为把人——机关系模型化, 要求什么样的数学模型?

在指控领域中, 系统分析最简单的定义就是回答下列问题: “谁, 做什么, 何时做和怎样做?” 这些问题必须在如图 3 所示的系统研究步骤中做出回答。

§ 1·3 系统分析的目的和方法

上一节叙述了指控系统的一般系统分析步骤。有关分析方面的某些问题已做了简单地讨论, 而大量的问题还是关于人、组合以及系统结构各层次的信息处理和决策功能的确定。这些功能必须在人之间分配, 并且按某种方式由人来调整以达到联机系统总的评价指标。于是, 主要问题就变成确定信息处理和决策功能的最佳分配与调整的系统程序。

赛其(SAGE)指控中心被选作研究对象, 值得注意的是, 这种研究不是打算优化赛其系统, 而是利用赛其系统来研究一个标准分析程序的可能性。选用赛其系统有两个基本原因, 第一, 赛其系统的信息处理和决策功能对其它的指控系统来说具有典型性; 第二, 赛其系统系统分析程序所涉及的问题范围比已经运行的系统来得明显。

研究赛其系统的目的如下:

- (1) 研究赛其系统指挥中心各功能单元的一般抽象模型打算用于其它指控系统。(§ 2·1)
- (2) 研究系统中人的信息处理和决策功能的模型, 这些模型重点放在那些用于研究系统结构和灵敏度分析的功能变量。(§ 2·2)
- (3) 研究人以某种形式参加的系统的综合结构, 以达到系统总的评价指标, 这就一定要去确定控制的可能性、信息传输顺序、决策权限和通信线路。(§ 2·2)。
- (4) 研究寻求系统中人、组合以及系统各层次各功能单元的变量和指标之间的间接关系的方法。(第三章)
- (5) 研究将人的信息处理和决策变量与整个系统评价指标关联起来的灵敏度分析方法, 灵敏度分析的目的是为了研究如何改变功能与控制以满足系统总评价指标。(第四章)
- (6) 研究人在系统低一级层次的信息处理和决策功能的联机控制模型, 该模型将用来研究高一级层次对低一级层次功能控制的可行性和要求。(第五章)

这一章将讨论和说明上述的各个目的。本文使用的系统分析程序如图 3 所示。

赛其系统最简单的系统评价指标在 § 1·4 中研究, 并在整个文章中要利用它。赛其系统的基本功能和系统结构在 § 1·5 研究。

为了模仿指控系统(如赛其系统)的信息处理、控制和决策功能, 利用工业控制系统许多相似之处来研究指控系统的抽象模型。于是, 该抽象模型也用来模拟赛其系统中

主要人员的决策功能。这些模型利用决策论的概念重点研究决策误差和时延变量。抽象模型的研究和最终的系统结构放在第二章。影响赛其系统中人的信息处理和决策功能的一定范围内的间接关系,利用有向图和矩阵技术在第三章研究。

系统中,人的决策误差和时延变量与系统总评价指标相关的灵敏度分析放在 §1·4 节。损失函数用来研究决策误差和时延。于是,灵敏度分析通过研究人对决策误差和时延的限制指标去讨论整个系统评价指标损失函数的最小值。为完成这些分析,在第四章要用到决策论和马尔柯夫过程。

系统高一级层次对低一级层次的决策和信息处理顺序的联机控制,是利用组合分析模型进行研究的。该模型用来研究包括许多人参加的系统(如赛其系统)的最小时间决策顺序。此问题在本文第五章讨论。

§1·4 系统评价指标

系统分析程序的第一步是明确系统总评价指标以及与总指标有关的分指标。

总评价指标:定义一个防御系统。总指标定义为一个很简单的态势,该系统的目的是保卫一个城市。为此目的,拦截手段是两架战术歼击机。

因为该系统的目的是防卫一个城市,所以要考虑当敌人空袭成功时,所造成的总体损失。还要考虑空中友机目标失误带来的损失,而这种损失很难定量地确定,因为它和保卫城市的关系是复杂的,并且不是单纯存在甚至可能不存在友机失误的情况。

分指标:定义三个功能单元完成信息处理和决策功能以达到上述系统总指标。它们是侦察、识别和武器分配功能单元。从上面定义的损失指标可明显看出,将要求上述每一功能单元有最小误差和最小时延分指标。没有这些分指标以及这些分指标与总评价指标的关联,就不能研究各功能单元的模块性能。例如,考虑侦察功能,在此情况下目的是捕捉雷达检测的空中目标航迹信息,显然,如果由于情况紧急在确定个别目标航迹坐标时过于匆忙,信息经过传输,就可能因座标数据不准确而影响有效使用。相反,为了精确地确定个别目标航迹座标而花费大量处理时间,则信息传输给武器分配单元就太迟了,也会影响使用效果。因此,最小误差指标和最小时延指标之间的某些折衷方法包含在赛其系统某些环节之中。数学模型的问题等价于建立各功能单元的损失函数,而这些损失函数是与误差——时延的折衷方法密切相关的。

§1·5 系统功能和初始结构

一旦建立起系统总指标和各功能单元的分指标,必须明确地定义各功能单元并建立它们的初始结构。即建立系统各功能单元、各组合和系统各层次之间的基本的信息处理顺序。

既然我们研究的对象是一个已经存在的系统,我们只要简略地回顾一下系统的各功能单元和结构,尔后按系统分析的程序去处理就够了。下面是赛其系统指控中心的描述。参考资料给出如下叙述:

“一个赛其指控中心通过音频带宽通信线路,自动地连续地从搜索雷达、补盲雷达和测高雷达接收数字编码信息。关于飞行计划、武器状态、气象和飞机航迹的数据分别由

空中移动识别部队（AMIS）、武器基地、美国空军气象部队、地面观察哨、机载预警系统和警戒船通过电传和电话线路接收。同样地，指挥中心的数据以数字编码形式通过音频带宽通信线路送到地空数据链路系统、武器基地、友邻指挥中心和上级指挥部。送给其它用户的数据则通过自动电传线路。

图 4 给出了系统传感器输入到执行单元输出的框图。

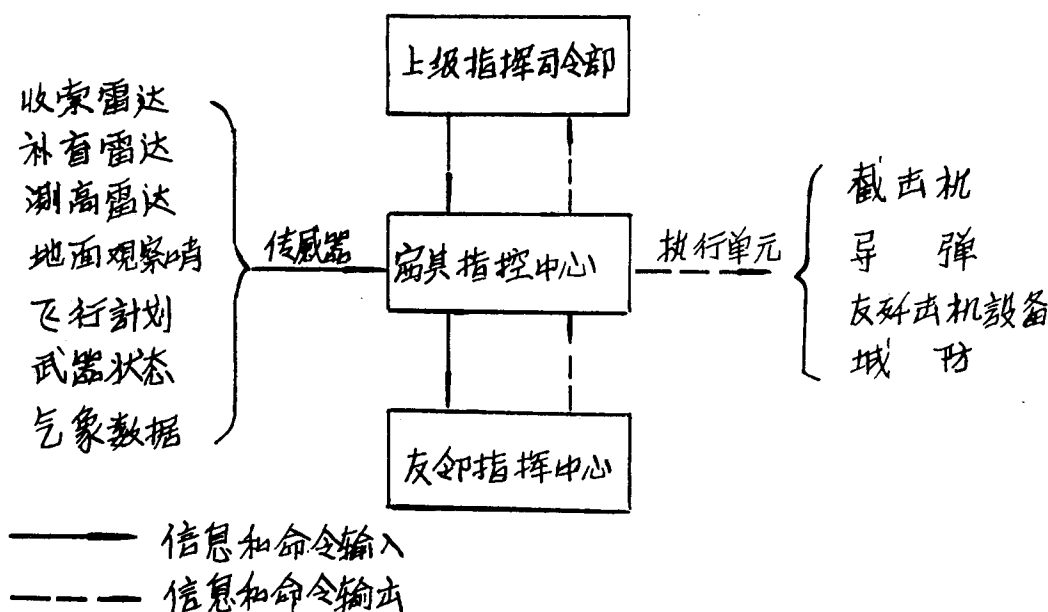


图 4 赛其指控中心的输入和输出

上级指挥司令部和友邻指挥中心对赛其指控中心来说可能做为传感单元也可能做为执行单元，这要根据具体情况而定。

系统的功能单元可分为四个基本的信息处理和决策功能，如图 5 所示。

侦察组合的信息处理功能包括雷达回波的处理，确定哪些回波代表噪声，哪些回波代表实际空中目标（定为航迹）。该组合的决策功能包括首先判断是不是航迹，其次确定航迹座标，这包括目标位置、速度、航向和飞行高度。这步决策完成之后，将这些航迹信息送给识别组合。此时还有雷达工作状态信息输入到该组合，这包括了已知的所有噪声条件和雷达反馈给系统的工作信息。

识别组合的信息处理功能是将来自侦察组合的信息同已记录的友机飞行计划相关的航迹表示出来。飞行计划状态输入表示在系统负责空域内飞越的一些飞行计划，这些飞行计划以一种时间函数给出友机予定的座标。该组合的决策功能包括识别敌友和不明航迹，把敌机和不明航迹的信息送给武器分配组合。

武器分配组合的信息处理功能包括分配和控制两种功能。武器状态输入表示出全部武器的数量和工作状态信息。该组合的决策功能包括，首先确定对付目标的合适的武器分配或武器配置，然后判断目标是否击毁（可用目力判断）。最后，在控制武器之前给

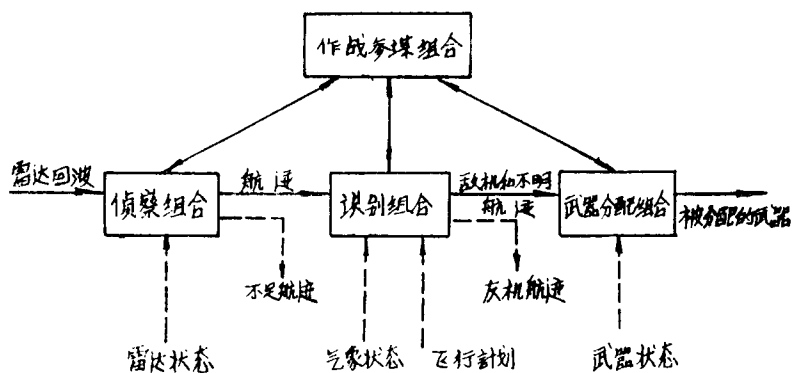


图 5 赛其功能单元框图

出拦截坐标。

作战参谋组合的功能是选定座标在以上三个组合之间进行控制。这些组合和系统工作的功能可用图 6 所示的决策流程图最好的表示出来。

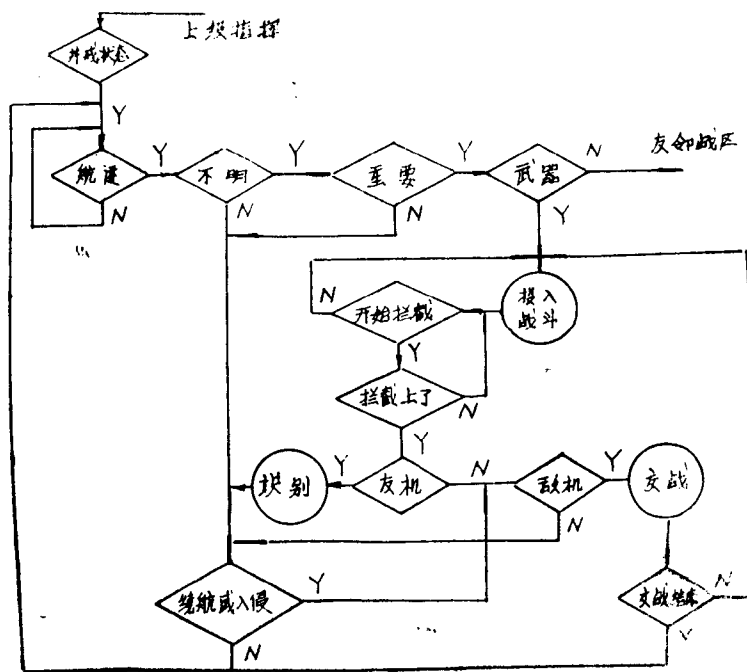


图 6 假想的系统决策流程图

第二章 功能单元的抽象模型

抽象模型的研究目的是以共同的术语把系统的各功能单元统一起来。它适用于人和机器的信息处理和决策功能。该抽象模型将研究一种适用于上述功能的共同术语，它比较清楚地确定了各个变量对系统总指标的灵敏度。抽象模型的研究水平取决于各功能单元的指标和系统总评价指标。这些分指标与每个组合的时间和误差参数有关，抽象模型的研究将有助于各功能单元之间直接关系的研究，有关变量的确定和灵敏度分析。这种研究也适用于其它的指控系统。

§2·1 工业控制系统模型

对指控系统的要求，概括地说就是考虑许多不同功能单元、信息处理和决策功能的性质问题。在研究赛其系统时发现，工业控制系统的功能给出了抽象模型研究的合适的体制。特别是当考虑许多不同信息量、噪声特性、信息处理、控制和决策功能的模型时，确实如此。本节将按照工业控制系统的术语，构成赛其系统这样的指控中心（图1）的功能单元模型。图7给出了指控系统与工业控制系统的相似点。

	工业控制系统	赛 其 指 控 中 心	一 般 指 控 系 统
1	输入加工件清单	输入（雷达回波）	输入信息和指令
2	加 工 件	空中目标航迹	信息模式
3	材 料	输入航迹信息	输入模式信息
4	加工件材料状态	航迹信息状态	模式信息状态
5	机 器	计算机、显示	计算机、显示
6	人一机结合	人一计算机—显示组合	人一计算机—显示组合
7	最后产品输出	决策和武器命令输出	输出决策、信息和命令

图7 工业和军事指控系统的相似点、

1、原料信息输入¹ (Material Information Inputs)

这些输入指的是来自传感器系统和外部环境对系统的全部输入，原料信息有三类：

- (1) 原信息；
- (2) 原命令；
- (3) 原噪声。

原信息可能是来自雷达站的数字数据、音频信号和雷达回波；原命令实际上也是一种

原信息。因为它对系统的控制过程直接起作用，所以把它和一般原信息分开来考虑，原噪声指的是原信息和原命令输入中的误差，可以把它从第一第二输入中谨慎的分离出来，因为它能单独地输入系统。例如，误差或无关的数据都可认为是原噪声，但误差原噪声是取决于原信息的，而无关数据则表示一种与任何原信息完全无关的原噪声。

原料输入可由它的地理位置和物理形式描述。例如，输入赛其指挥中心的雷达回波是来自一定地理位置的雷达站，而物理形式是指电脉冲，它由指挥中心的操作员转换成位置信息。

原信息输入中的不受控变量（或噪声）是与时延、和误差相关的，这些变量可以通过交换通信线路和改变码长的办法加以控制。

2、机器部件 (Machine Elements)

机器部件是指具有各种信息处理功能的系统中，无人参予的部件。这些部件指的是显示器、计算机、程序和机器。重要的是必须在给定机器部件的前提下，规定系统分析过程的水平。在赛其这样的指控系统中，它具有最小误差和最小时延指标，那末所谓水平似乎就是计算机程序的水平，即仅仅是人的信息要求的程序部件的时延和误差需要确定。

指控系统计算机的程序不如工业控制系统中处于中心位置的机器多，在人工参予的系统中，程序是分时操作的。在工业控制系统中，在已建立的加工件规程中机器也是分时操作的。在后面的系统分析中将看出分时操作是很重要的。

机器部件的可控变量指的是与信息处理过程有关的容量、误差和时延。这些可控变量或者是动态的或者是静态的，动态是指时延和误差联机控制；静态是指机器部件脱机改变设计，尔后改变时延和误差。

不受控变量（或噪声）也与容量、误差和时延有关。例如，如果计算机的处理能力已经达到，人参予部份的某些信息要求必须被推迟或拒绝。另外的替代方式是在降低精度（增大误差）条件下，对全部要求进行处理。这样，结果将带来各式各样噪声的影响。

3、模块部件 (Module Elements)

模块部件定义为人和机器的集合体，人和机器只能联合而不能单独去完成信息处理或决策功能。在工业控制系统中，模块是人—机器的结合；在指控系统中，模块定义为人—计算机程序—显示控制台的结合。

模块的机器部件（计算机程序和控制显示台）通常完成模块输入原料信息的变换加工；人根据某些信息图象的变化状态完成决策处理。在下一节将要描述由许多模块组成的赛其系统。

模块部件的变量除了和前面讨论的机器变量相同之外，这里又增加了人的决策过程变量。决策过程变量仍是时延和误差变量。当其它有关人的部份影响模块决策过程或在特殊情况下，人受某种约束而影响他自己的决策过程时，则决策过程变量是受控的；当噪声因素（误差、无关信息和时延等）影响模块功能时，此时决策过程变量是不受控的。

上面指的是动态变量。此外，静态变量是与模块机器部件的设计特性有关的。