

716903

高等学校教材

火化工系统工程

侯克复 编著

69

F

兵器工业出版社

火 化 工 系 统 工 程

侯克复 编著

兵 器 工 业 出 版 社

内 容 简 介

本书论述了火化工系统工程的基本概念、原理和方法。全书分两部分共十章，内容包括火化工系统数学模型的建立方法、模型识别、参数估计、系统模拟技术、系统合成技术、最优化技术和系统灵敏度分析等。本书重视基本概念，论述力求严谨。数学理论部分简明扼要，条理清楚，以通俗易懂的语言深入浅出地讲述数学的概念和方法，力求做到“抽象问题具体化，数学问题工程化”，以助于建立起直观和正确的概念。本书侧重于实际应用和工程观点的培养，以火化工问题为例阐述系统工程中模型、模拟、合成和优化技术的应用。

本书适用性广泛，可作为高等工科院校化工专业教材，也可作为其他有关专业的参考书，还可供从事火化工的研究、设计和生产的工程技术人员参考。

本书由高荣庆主审，经兵器工业部第二教材编审委员会火药编审小组于1985年5月召开的全体会议审定，同意作为教材出版。原兵器工业部教材编审室责任编辑：孙业斌

火 化 工 系 统 工 程

侯克复 编著

*

兵器工业出版社

(北京市海淀区车道沟10号)

新华书店总店北京科技发行所发行

国营五三一印刷厂印装

*

开本：787×1092 1/16 印张：16.875 字数：418千字

1990年1月第1版 1990年1月第1次印装

印数：1~2000册 定价：3.35元

ISBN 7-80038-097-1/TQ·5(课)

前 言

现代火化工企业的特点是：企业规模和生产设备趋于大型化、自动化；过程趋于综合化，形成了“大厂套小厂、厂厂通管道”的错综复杂的局面；新产品和新工艺日益增多。这就必须采用系统工程的理论和方法，合理地进行火化工系统的规划、设计和控制，使整个系统实现最优化，即最优设计、最优控制和最优管理，从而达到优质、高产、低耗和安全生产的目标。尤其，在加速实现我国四个现代化的建设中，将系统工程的理论和方法应用于火化学工业上的重要性日渐突出。因此，兵器工业院校应该开设这门课程，火化工科技人员需要掌握这门技术。但是，目前这方面的书籍很少，资料也不多。为工科院校火化工专业提供一本教科书，为从事火炸药研究、设计和生产的技术人员提供一本参考书，这就是写作本书的目的。

本书是根据笔者所编的教材“化工系统工程”（油印本）以及三期学生使用后提出的修改意见改编而成的。

本书较全面地论述了火化工系统工程的基本原理与方法及其在系统设计、系统控制和系统管理等领域中的应用。全书偏重于概念的叙述。内容简练、条理清楚，力求做到由浅入深。联系实际地阐述基本原理，避免抽象及空洞。各种理论都以数学的观点提出，但对于数学工具的应用与举例中的数学运算及公式的推导等则力求简化。为求实用，书中尽量多举例题，通过实例使学生掌握如何应用系统工程方法来处理火化工生产问题。

全书分为两部分：第一部分是火化工系统分析。使学生对现有系统（工厂或车间）的系统分析方法有所了解；并使学生能运用此方法对老厂进行挖潜、改造，找出薄弱环节，实现最优化。第二部分是火化工系统综合。它是研究待建系统（工厂、车间或公司）进行最优合成的方法。同时，以火化工系统为例讲述最优化技术。这部分内容是火化工系统工程的核心，是工程技术人员所必须掌握的。

鉴于笔者水平所限，本教材的缺点和错误在所难免，恳切地希望使用本教材的师生和工程技术人员批评指正，以便提高本教材的质量。

编著者

1985年

目 录

绪 论	(1)
第一节 系统和系统工程.....	(1)
第二节 火化工系统工程的方法论.....	(2)
一、逻辑维.....	(2)
二、时间维.....	(4)
三、知识维.....	(4)
第三节 火化工系统工程的内容.....	(4)
第一章 系统分析概论	(6)
第一节 系统分析的基本概念.....	(6)
第二节 系统分析的步骤.....	(7)
第三节 系统决策的方法.....	(10)
第二章 火化工系统的数学模型	(25)
第一节 系统的数学模型概述.....	(25)
一、基本定义.....	(25)
二、数学模型的分类.....	(25)
三、建立系统数学模型的步骤.....	(26)
第二节 机理数学模型的建立方法.....	(27)
一、化学反应器的数学模型.....	(28)
二、单元模块数学模型.....	(41)
三、变换矩阵的建立.....	(42)
第三节 混合数学模型的建立方法.....	(47)
一、确定模型的函数形式.....	(48)
二、参数估值.....	(51)
第四节 系统结构模型的建立方法.....	(75)
第三章 火化工系统模拟	(79)
第一节 系统模拟的基本技术.....	(79)
一、系统的分隔.....	(79)
二、子系统的切断(裂解).....	(86)
三、系统的决策变量的选择.....	(88)
四、信号流图的基本原理.....	(92)
第二节 化工系统计算方法.....	(103)
一、结构单元法.....	(103)
二、线性化算法.....	(105)

第四章 系统综合概论	(111)
第一节 综合技术简介.....	(111)
第二节 系统综合实例.....	(115)
第五章 最优化方法	(126)
第一节 单变量问题最优化.....	(126)
一、 牛顿法.....	(127)
二、 平分法.....	(127)
三、 菲波纳奇法.....	(128)
四、 黄金分割法.....	(132)
第二节 多变量问题最优化.....	(134)
一、 梯度法.....	(134)
二、 牛顿法(二阶梯度法).....	(137)
三、 有等式约束控制的梯度法.....	(139)
四、 共轭梯度法.....	(144)
五、 DFP变尺度法.....	(148)
六、 应用变尺度方法解最优控制问题.....	(151)
七、 鲍威尔法.....	(152)
第三节 有约束条件的最优化问题.....	(154)
一、 拉格朗日乘法.....	(154)
二、 罚函数法.....	(157)
第六章 线性规划及其在火化工系统中的应用	(163)
第一节 一般性讨论.....	(163)
第二节 线性规划问题的解法.....	(166)
一、 图解法.....	(166)
二、 单纯形解法.....	(167)
第三节 线性规划的应用举例.....	(172)
一、 资源的最优分配.....	(172)
二、 混合问题的最优化.....	(173)
三、 设备的最优使用.....	(174)
第七章 几何规划及其在火化工系统中的应用	(176)
第一节 几何规划的基本思想.....	(176)
第二节 正定几何规划.....	(177)
一、 无约束条件下求正定式(7-7)的极小值.....	(178)
二、 有约束条件下求正定式(7-7)的极小值.....	(183)
第三节 广义几何规划.....	(187)
第四节 几何规划应用举例.....	(190)
第八章 最大值原理及其在火化工系统中的应用	(196)
第一节 连续系统最优化的一般提法.....	(196)
第二节 变分法及其应用.....	(197)

一、变分法的基本概念·····	(197)
二、变分法中的三类问题及边界条件·····	(200)
三、欧拉方程·····	(202)
四、变分法应用举例·····	(211)
第三节 最大值原理及其应用·····	(216)
一、最大值原理·····	(216)
二、应用最大值原理解题的步骤·····	(223)
三、最大值原理应用举例·····	(225)
第九章 动态规划及其在火化工系统中的应用 ·····	(230)
第一节 离散型最大值原理及其应用·····	(230)
一、离散型最大值原理·····	(230)
二、应用举例·····	(233)
第二节 动态规划及其应用·····	(237)
一、动态规划的基本原理·····	(237)
二、动态规划的基本方程·····	(239)
三、动态规划应用举例·····	(242)
第十章 火化工系统的灵敏度分析简介 ·····	(251)
第一节 基本原理·····	(251)
一、灵敏度与灵敏度系数·····	(251)
二、灵敏度方程·····	(253)
三、多级过程系统目标函数对决策变量的灵敏度·····	(254)
第二节 灵敏度分析方法在火化工系统设计中的应用·····	(257)
一、修改目标函数的方法·····	(257)
二、对目标函数加灵敏度约束的方法·····	(258)
主要参考书 ·····	(262)

绪 论

第一节 系统和系统工程^{〔1〕〔2〕}

目前无论是在国内还是在国外，还没有给出一个众所公认的系统工程定义。这里想采用我国学者钱学森同志提出的定义：系统工程是组织管理系统的规划、研究、制造、试验和使用的科学方法，是一种对所有系统都具有普遍意义的方法（《论系统工程》1982年）。从这个定义可知系统工程不是以某专业的技术领域为研究对象，而是跨越各专业领域、研究各行各业中系统开发、运用等问题，是适用于许多行业与领域的方法性科学。火化工系统工程是系统工程在火化学工程上的具体应用，也是系统工程的一个专业门类。它是采用现代科学方法和技术手段从整体上有效地研究火化工过程的开发、试验、设计、制造、安装施工、试运转以及正常生产等各个阶段，使整个系统达到最优设计、最优控制和最优管理的目的。简单地说，火化工系统工程是研究如何使火化工过程系统达到整体最优的一门工程技术。

系统工程研究的对象是各种系统，所以有必要对系统的概念和特征作一些介绍。系统这个名词含义很广，使用也很广泛。但是，在系统工程中所要研究的系统有它自己的含义。所谓系统，就是由相互作用和相互依赖的若干组成部分按一定规律结合而成的、具有特定功能的有机体，而且这个系统本身又是它所从属的一个更大系统的组成部分。例如，制备 TNT 的硝化工段，如图0-1所示，它是由硝化机、分离器、换热器、计量器以及若干反馈管路组

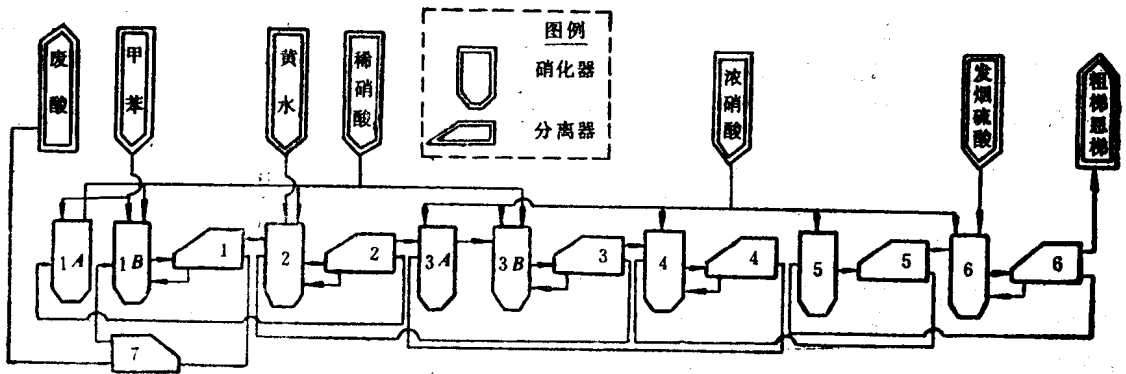


图0-1 硝化流程图

成的生产系统。这个系统的功能是生产出TNT粗制品，它又属于TNT生产系统的一部分。系统内相互作用的各组成部分，如硝化机称为要素或单元。

火化工系统工程中要研究的系统具有以下特点：

1. 系统的规模庞大，结构复杂 如TNT连续生产线由数个单元过程和单元设备组合而成。各个单元过程与单元设备内结构及参数之间的关系错综复杂，仅就TNT硝化工段而言，

就有互相交链的56个非线性方程式及322个状态变量。

2. 系统是有组织的 各个组成部分之间是互相联系、互相制约的,为了一个共同的目的而形成一个有机整体。例如,TNT连续生产线是由许多单元设备组成的。但是一个个单元设备并不能生产出产品,必须按TNT生产工序,将这些设备组合起来才能生产出TNT产品。

3. 系统是由人工制造的,并有特定的功能和确定的目的 本书所要研究的系统是人工制造的、能够驾驭的火化工系统。也就是说不是研究宇宙中太阳系等非人造的且无法给以控制的系统。

火化工系统工程研究的系统,可以分为两种。一种是创造以前不存在的、全新的火化工系统。另一种是评价已有的火化工系统,找出改造的措施和方向。

下面讨论一下火化工系统工程的一些基本特征:

1. 系统性或整体性 由于火化工系统是由彼此相关的一些单元过程或单体设备组成的,同时系统的目的或特定功能又是由许多目标或多种指标汇集而成的。特别是现代化企业趋于大型化、综合化与自动化,形成了“大厂套小厂,厂厂通管道”的错综复杂局面。因此要求人们处理问题时要从整体着眼,从全局到局部,从整体与部分的相互依赖、相互结合和相互制约的关系中了解和掌握系统的运动规律。不能只从某一个部分、某一个指标来思考和解决问题。

2. 关联性 如前所述,火化工系统各个组成部分本身及其互相之间都有着相互关联的关系。系统的所有组成部分中的参数和变量与系统的特定功能之间的关系是互相作用和互相依赖的。这种相互关系称为关联性。例如图0-1所示过程。硝化机3A的输出为硝化机3B的输入。显然,3B的输入流状态取决于前面的操作条件,而3B的输出流状态又影响到后面的反应。因此,为了明确地表示这些,可以利用图论的知识和矩阵理论把系统各个部分的结构关系表达出来。这种表达方式称为系统的结构模型。

3. 综合性 因为火化工系统涉及面很广,不仅有技术因素,还有经济因素和社会因素,所以在应用系统工程方法解决问题时,需要各方面学科知识和各方面专家共同讨论研究,并且应该多方面加以比较综合作出选择,不能顾此失彼,因小失大。

第二节 火化工系统工程的方法论⁽²⁾

如上所述,系统工程是一门研究各类系统的跨学科的方法性科学。它和化学工程、火炸药的制备理论和性能等专门技术科学结合起来就形成了火化工系统工程。因此,系统工程没有固定不变的理论和方法,它可以选用各个学科领域中发展起来的理论和方法。在这一点上,与建造新的火化工生产系统时选择已有的单元设备进行组合的情况很相似。

系统工程的研究目的是开发新系统或改造已有系统。在系统开发或改造过程中,长期以来逐步的形成了一套科学的工作方法,这个方法可以表示在以逻辑维、时间维和知识维构成的三维空间上。

一、逻辑维

应用系统工程方法思考和解决火化工系统问题时,可以分为下面几个步骤:

1. 问题的阐述 系统工程所研究的对象是大而复杂的系统。因而,研究的对象或问题的本身往往是不明确或很模糊的。所以,首先需要把研究的对象或问题弄清楚。而且在系统的开发或改造的各个阶段都要时时进行这一项工作。

例如,欲降低TNT生产成本,对TNT生产线进行分析和研究,查找决定成本高低的关键。结果发现,硝化机反应操作条件是决定产品成本的关键。为此,应在寻找最佳的操作条件上下功夫。

2. 确定目标函数 在对所要研究的问题了解清楚后,应该决定评价系统功能的目标,以便于衡量所有备选方案。目标值是系统中变量与参数的函数,常常称它为目标函数。在化工系统中,通常采用产量最大,建设费最小,消耗最少,产品质量好或效率最高等作为目标函数。例如,为了降低TNT产品成本,而以发烟硫酸消耗量为目标函数,确定硝化过程的状态变量与决策变量,使其目标函数为最小值。某厂在TNT连续生产过程中,经过最优计算使发烟硫酸的加料速度从6000kg/h降到400kg/h时,产品成本也就降低了。

3. 系统综合 所谓系统综合,就是根据问题的性质和系统的目标,提出各种备选方案。例如,在TNT连续生产过程中,为了达到高质量、低消耗的目的,就要考虑选择什么型式的硝化机(立式或卧式)和分离器,共多少台,如何组成系统等等。同时还要明确方案中系统的结构和相应参数,如硝硫混酸的浓度、温度以及配比等。

4. 系统分析 由于火化工系统工程所要处理的系统,往往庞大而繁杂乃至无法直接分析和试验。这时必须利用描述系统的数学模型来代替真实系统的方案。把这些方案与系统的目标函数联系起来,对众多的备选方案进行各种分析。所谓系统数学模型是描述系统的状态变量随时间、空间变化的数学方程式。它是进行系统的最优设计和最优控制的基础。系统分析的核心问题是建立系统的数学模型。

对于火化工系统建立其数学模型的步骤是:首先根据物理、化学和火化工程的基本规律,建立各子系统的机理数学模型,而后用图、表及矩阵等理论构成全系统的模型,称之为系统结构模型。如果子系统的物理化学实质不清楚时,可以采用理论与实验相结合的方法建立系统数学模型,这种模型称为混合模型。由于实验方法和数值舍取的不同,同一系统可能得到几种数学表达式,这时必须从中选择出与实际系统相吻合的模型,即进行筛选,亦称为模型识别。模型中的参数值可应用数理统计的方法来确定,这种确定参数值的方法称为参数估计。参数估计与模型识别已形成为专门的技术。在数学模型建立后就要付诸实施。在实施过程中应不断地用从实际系统观测到的数值来校核模型,检查它是否与过程系统的目标相符合。最后,对该系统模型是否妥当作出结论。

例如,TNT连续生产过程的动态模拟可以根据物料平衡、热量平衡、质量传递原理以及反应动力学原理,并且采用近代数学手段来建立过程系统的数学模型。这一模型所描述的现象包括:有机物在酸相中的硝化;有机物在酸相中的氧化;有机物在酸相和有机相之间的扩散;有机物在酸相中的溶解度和硝酸在有机相中的溶解度。联立求解描写上述现象的微分方程组,就可以得到TNT硝化系统最佳操作条件。

5. 系统选择 在系统数学模型和目标函数确立之后,下一个大课题是,从备选的方案中选出最优系统。虽然火化工系统种类繁多、功能也各不相同、所选的单元设备各式各样、它们结合的方式亦不相同,但是在如何使其达到最优的方法上,却存在着许多共同点。所以可以采用最优化方法从众多的备选方案中选出最优方案。当评价系统的目标有很多个、且被

此之间又有矛盾时,要选出一个对所有指标都最优的方案,一般来说是不可能的,必须在各个指标间有一定的妥协。采用多目标最优化方法可以选出最优的系统,此时的最优解实际是妥协点。在火化工系统工程中常采用的最优化方法为线性规划、动态规划、几何规划以及最大值原理。

6. 决策 经过上述几个步骤后,可以得到几个较好方案。所谓决策就是从全局性、长远性以及多方面来考虑,从几个较好方案中选出最优的方案。例如,在确定一种产品生产工艺路线时,不仅要考虑产量大、质量好和成本低,还要考虑环境污染问题以及对国民经济和科学技术发展影响问题;不仅要考虑定量目标,还要考虑定性目标。最后由领导决策出一个或几个方案来试用。

7. 实际研制 将最后决定的方案进行实施。若与实际系统基本符合,则完成了任务。否则,还要回到前某一个步骤,重新做起。

二、时间维

欲建造一个新的火化工系统,从规划起一直到建成可分为:规划阶段;初步设计阶段;研制阶段;生产阶段;安装阶段及运行阶段。例如,研制一化工产品,在规划阶段所要调研的内容包括技术可行性论证和市场需要的情况。然后进行实验室研究,并进入初步设计阶段,进一步对新建系统进行理论论证,提出工艺流程图,同时作出部分计算。在研制阶段对全部流程或部分流程进行试验,有时只作单元过程和设备的试验。获得了工业装置设计所必需的工艺数据、化学工程数据和其它数据后,便可进行第一套生产装置的设计、制造、安装和试运转等工作。

三、知识维

火化工系统工程研究的是各类火化工系统的特性。所需要的知识很广,不仅需要专业知识,还需要一些共性的知识。这些知识可以分为7个方面:1)运筹学、数理统计、概率论、数值方法;2)模拟技术、试验技术;3)计算机、符号逻辑;4)控制论;5)工程经济、工程管理;6)环境影响;7)工程逻辑、人类工程。

第三节 火化工系统工程的内容^{〔2〕〔3〕〔4〕}

火化学工业技术主要研究开发新产品和改造老产品的生产方法。这种研究可以分为两个阶段:第一阶段是基础研究,在实验室进行。在此阶段只能确定一种有希望的反应方法和工艺路线,还不能用来设计一套生产系统。第二阶段为过程开发,其任务是将实验室研究成果变为工业生产的现实。这一阶段通常是明确的目标进行系统的工程设计,即选择单元设备和单元过程、确定工艺条件和设备尺寸以及连接方式等等。以达到系统的最佳目标。但是,如果只把组成系统的基本单元简单地结合起来,无论如何也达不到全系统最优。这就需要采用系统工程方法进行规划设计、组织实施。

前已述及,火化工系统工程的任务是建造新系统或改造旧系统。因此,火化工系统工程的内容大致可以分为三个方面:火化工系统分析;火化工系统综合;系统最优控制。其中,核心的问题是过程系统模型的建立及其模拟。过程系统模型可以分为两类:一类是数学模

型，它是来描述系统的动态和静态特性的数学式，如微分方程、代数方程及差分方程等；另一类是结构模型，它是用来描述系统的信息流或互相关系的网络图，如信号流图、矩阵或表格。所以本课程将用很大篇幅来讨论过程系统模型化。首先，介绍模型的定义和类型以及常见单元过程的模型的数学表达形式。然后，着重介绍混合型数学模型的建立方法。在建立混合型数学模型中，最根本的问题是参数估计和模型识别，它们对建立模型的成功或失败将产生很大的影响。这方面问题将通过实例较详细地讨论。

所谓系统的数学模拟，就是对系统的数学模型求解。一般来说，描述一个化工系统的数学模型是由上百个数学方程式和上千个变量组成的。因此，在应用电子计算机求解时，会遇到很多困难。为此，必须进行两方面的工作：一方面，将化工系统分解为若干个子系统分别求解，使复杂问题简单化。这称为大系统分解。另一方面，为了便于电子计算机进行计算，必须解决系统的表示方法，即建立系统的结构模型。这两方面的知识也是本课程讨论的重点。

系统工程是研究整体最优的科学。所以最优化技术在本课程中占有重要地位。火化工系统按变量变化来分，可分为连续系统和离散系统。前者如管式反应设备，其数学模型为常微分方程。后者为多级串联釜、板式塔等，描写它们的数学式为差分方程、代数方程。对于这类系统作最优设计和最优控制最有效的数学手段是变分法、最大值原理、动态规划和几何规划。本课程将从实用的角度来介绍这些方法的原理和应用。

上述内容是火化工系统工程所讨论的主要内容，也是完成火化工系统最优设计所必需的理论知识。

系统工程工作者必须树立从使用出发的观点，以免陷入空谈理论的泥坑。改造自然系统，创造人类所需要的系统，并能获得良好的效果，这是从事系统工程技术人员的最主要责任。

目前，我国对系统工程的研究工作极为重视。各部、科委、科学院相继举行了系统工程学术交流会、学术讨论会，并有国家领导人和有关部门领导同志参加，体现了党和政府对系统工程在“四化”建设中作用的重视。完全可以相信系统工程必将随着实现四个现代化而获得发展，为我国社会主义的四个现代化做出贡献。

第一章 系统分析概论

第一节 系统分析的基本概念⁽⁵⁾⁽⁶⁾⁽⁷⁾

前已述及,火化工系统工程的根本任务是研究火化工过程系统的最优化,从而使生产达到优质、高产、低消耗和安全的目的。采用的基本方法是把所研究的对象作为一个系统进行分析和综合,在此基础上进行系统设计,然后再对此系统作出评价。这样反复进行,直到能有效地达到预定目的为止,这就是所谓系统工程的方法。若已知某火化工系统(系统结构及各子系统均已给定)时,推测该系统性能便是分析,而构造此系统则是综合。分析与综合不能截然分开,而是相辅相成、交替进行的。因为要分析拟要有综合好的火化工系统;而要综合也要先经分析才能决定要综合的火化工系统性能是否良好,通常分析先于综合。那么,究竟什么叫做系统分析呢?系统分析的概念可描述为:从系统的观点出发,应用数学方法对已有火化工系统或设计方案,建立数学模型,并进行模拟和计算,从而对系统现有运行状态进行估计、对系统的未来发展趋势进行预测,以便对化工系统的技术性能、经济指标和社会效果作出评价,寻求出改进现有化工系统性能和运行效率的途径,即对已有系统进行挖潜、改造,为决策者选择最优系统方案,提供理论和实验依据。

系统分析的任务是:一方面描述系统结构和系统在工艺上的特点,通常用图或矩阵对系统结构作出定量的表达,也就是建立火化工系统的结构模型;另一方面是确定并表征系统和构成系统的基本单元的功能,即建立系统和单元过程的数学模型。应用最优化技术对根据不同方案建立的数学模型进行求解,通过对解的评价来选出最优的系统。

由此可知,火化工系统分析的目的在于通过系统分析比较各种代替方案的费用、效益、功能等各项经济技术指标,为决策者提供所必需的资料和信息,以便获得最佳的设计方案。

化工系统分析的内容包括:

目的 在进行系统分析时,首先要充分了解建立或改进这个系统的目的和要求。它是建立或改进系统的依据和出发点。

候选方案 达到同一目的可能有几种方案。例如,欲设计一个制备黑索今(RDX)的生产系统,可以采用直接硝解法,也可以采用甲醛硝酸铵法、醋酐法、硝酸铵法和白盐法等五种方法。这些方法各有利弊,如直接硝解法工艺简单,而产率低;白盐法产率虽高,但工艺复杂等等。究竟选择何种制备方法为最优,这就需要对这些方法进行分析和比较。

费用和效益 建立新系统或改进旧系统都需要投资,而完成后却会得到效益。当然,此处所说的费用是广义的,包括失去的机会和所做的牺牲。通常将费用和效益折合成货币来进行比较,一般说来,效益大于费用的方案是可取的;反之是不可取的。

模型 当明确了建立或改进系统的目的、功能后,就可以建立系统和单元过程的模型,即模型化。通常,模型分为:数学模型;网络模型和物理模型。由此模型来预测各个候选方案的性能、费用和效益,以便对各种候选方案分析和比较。

估价标准 当对系统进行优化后,需要对结果进行评价。所谓标准就是确定各种候选方案优先选用顺序的标准。它根据系统的具体情况而定。通常以系统所需费用和效益或产品质量为标准。值得注意的是对系统评价是综合性的,不能说某一目标取得了最优值就是最好的系统。

决策 从众多的可行方案中选择最好的方案,以达到预定的目标就叫做决策。如上所述,制备黑索今的方法有几种,根据各种方法的优点、缺点进行比较,最后决策性地确定一种方法。

值得提出的是,系统目的的确定、候选方案的选择、模型的建立,评价和决策彼此交叉、贯穿于整个系统分析过程中,很难严格地分段。

第二节 系统分析的步骤^{[5][6]}

火化工系统分析可以理解为将一个火化工过程系统分解为若干个基本单元过程;或将一个设备,如板式塔分解为各个塔板。其目的在于找到表征系统特性的各种候选方案,并从中选出最佳方案。由系统形成问题,由问题产生目标,然后由目标来找出最优方案,这就是系统分析的进行程序,如图 1-1 所示。

系统分析的步骤可以概括如下:

1. 系统目的的分析 and 确定 首先要对新建或改进系统的目的进行分析和确定。例如,目的是要降低生产成本,提高产量和质量以及减少污染等。其次是确定达到目的的各种目标。在进行目的的分析时,通常采用的方法是根据目的提出各种要求,再由要求考虑相应的措施,然后提出系统所应具备的各种功能。这样一来,系统的目的和功能也就明确了。这为建立系统的数学模型提供了必要的信息和资料。

2. 系统分解 将已有的火化工系统分解为若干个子系统,并且根据需要再进一步将子系统分解成更小的系统……,通常分解到单元过程或设备为止。值得注意的是,必须使各子系统间的相互关系明确、简单,子系统的数目尽可能少,并且能够运用现有技术水平进行研究和设计,即能够写出子系统的数学模型。例如,可将连续生产 TNT 过程的系统分解为硝化系统、精制系统、包装系统和废酸处理系统。硝化系统又可以分为几个反应阶段,而每个阶段又可以分为硝化器,分离器等单元设备。

3. 系统模型化 所谓模型化,就是应用适当的数学方程、图象等来表达系统的构成和

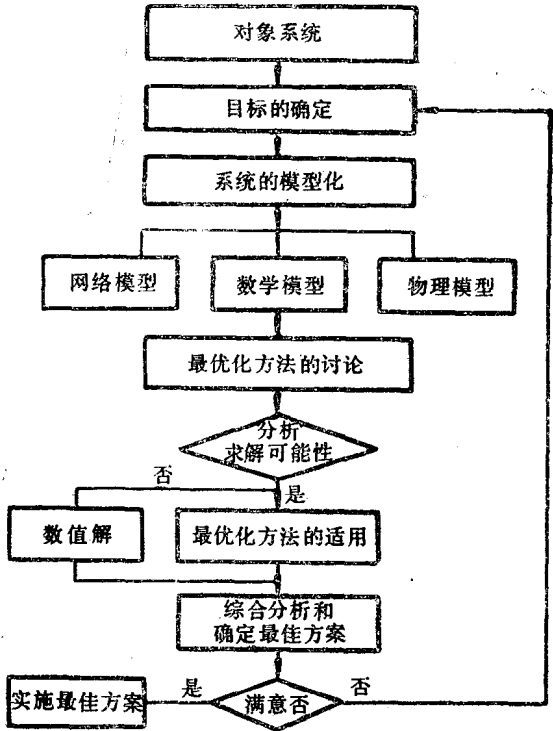


图 1-1 系统分析程序框图

行为的方法。系统模型化是系统分析过程中重要的一个步骤，因为模型的分析与计算为研究系统有关的技术经济指标提供了必要的资料与信息。描述火化工系统的模型可以分为两类：一类是数学模型，它是用来描述系统的动态和静态特性的数学式，如微分方程、代数方程等；另一类是结构模型，它是用来描述系统结构特性的网络图，如信号流图，程序框图等。

4. 系统最优化 建立了火化工系统模型后就可以进行数学模拟，即解数学模型。模拟过程如图 1-2 所示。整个系统模拟是以次级系统模拟为基础的，而次级系统模拟又是以 更

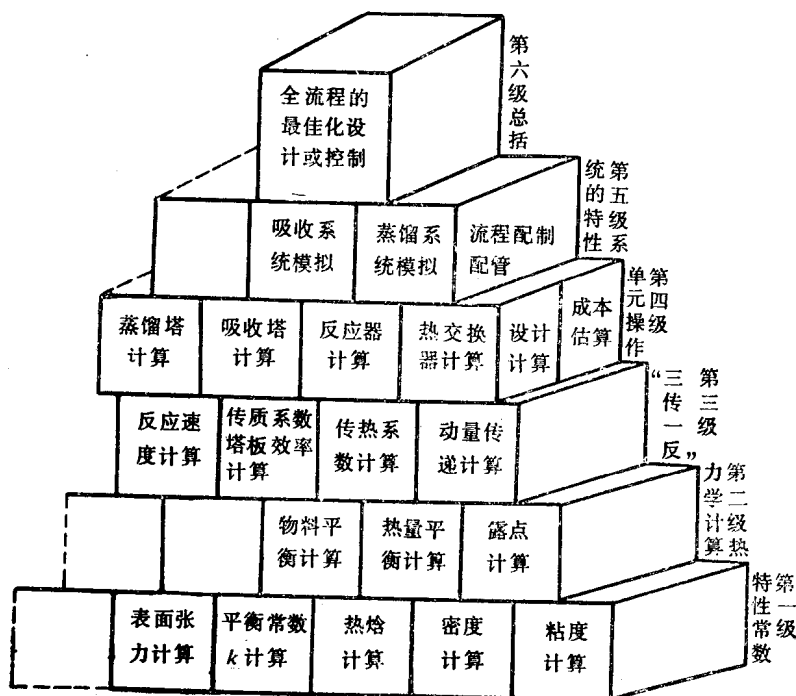


图 1-2 化工系统模拟过程图

次级系统模拟为基础的。单元操作是以动量传递、热量传递、质量传递和化学反应为基础的，而它们的计算又基于物料和能量平衡，物性常数、反应速度常数及平衡常数等的计算。通过模拟得到模型的最优解。所谓最优解是使目标函数达到最大（小）值的解。这就说明，在解模型时需应用最优化方法。最优化方法很多，如线性规划，非线性规划，动态规划等。获得了最优解就可以使化工系统在最好的状态下工作。也就是使系统的某个指标或某几个指标保持最优值，例如效率最高，产量最大，成本最低或能耗最小等。由于外界环境在不断地变化，化工系统本身某些条件也在不断地变化，为了使化工系统总是在最好的状态下工作，可以通过不断改变操作条件的办法来实现。

5. 系统的评价 当对化工系统进行模型化，模拟、优化之后，对其结果需要进行评价。通过评价从中选择出技术上先进、经济上合理的最优系统方案。这种评价是综合性的，不能说某一个指标取得了最优值就是最好的系统。

一般情况下，使用价值分析方法来评价火化工系统，也就是用火化工系统的价值来衡量系统的优劣。从系统总体出发，将各种评价尺度统一起来，综合地分析系统价值各方面的得失，进行综合评价，以获得最大价值的系统设计方案。系统的价值(V)与系统功能(X_1)、

建立或改进系统所需费用 (X_2)、完成系统所需时间 (X_3) 以及系统的可靠性 (X_4) 有关。它们之间的关系可用图 1-3 表示。

从图 1-3 可知, 系统的功能愈高, 则价值 V 愈大; 系统费用愈高, 则价值愈小; 完成时间愈长, 则价值愈小; 可靠性愈高, 则价值愈大。将它们综合起来, 可写成数学表达式

$$J_{\max} = \sum_i W_i V_i \quad (1-1)$$

式中 J ——系统总价值;

V_i ——系统价值;

W_i ——权系数。

式 (1-1) 中权系数值的大小, 按这一指标的重要性和迫切性来确定。例如, 对硝化甘油生产系统要进行评价, 则安全性要占主要地位。由于不同的人从不同的立场出发, 有着不同的价值观, 因此即使对同一方案进行评价, 所取的权值也是不尽相同的。

在生产实践中经常碰到的问题是: 根据一定数量的人力和物力等资源, 完成最大可能完成的任务; 根据给定的任务, 尽可能用最少的人力和物力等资源来完成。总括起来就是如何利用有限的资源, 获得最大的利润或者成本降低到最小, 达到最优生产的目的。用数学语言来说, 就是使目标函数

$$J_{\max}(X) = \sum_{j=1}^n C_j X_j \quad (1-2)$$

式中 J ——目标函数;

C_j ——常数;

X ——变量。

在满足式 (1-3) 约束条件下取得极值。

$$\begin{aligned} \sum_{j=1}^n A_{ij} X_j &\leq B_i \\ X_j &\geq 0 \\ i &= 1, 2, \dots, m \end{aligned} \quad (1-3)$$

式中 A_{ij} ——常数;

X_j ——变量;

B_i ——给定量。

目标函数可以取最大产量、产值和利润, 也可以取最小成本和费用。下面举一实例说明之。

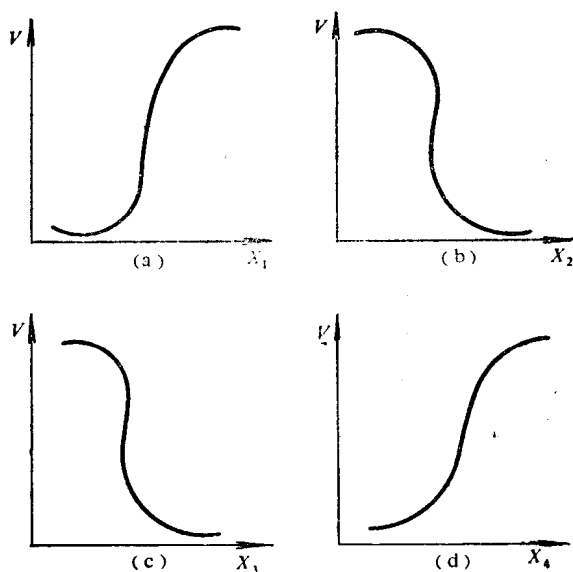


图 1-3 系统评价示意图

例 1-1 某兵工厂生产三种产品：黑索今 (A) TNT (B) 和硝化棉 (C)。生产这三种产品都需要高级技术工人和需要浓硝酸作主要原料。现在，需要确定各种产品应该生产多少，才能使产值最大？

解决这类问题的步骤如下：

首先，明确目的，收集有关资料。本题的目的是要获得最大的产值，即目标函数为产值。为此，必须收集影响目标的诸因素。经过调查已知可利用的浓硝酸为 6000 单位，高级技术工人能提供 4000 工时，黑索今、TNT 产量分别不能超过 1000 单位和 2000 单位，否则将会引起积压。这三种产品的单价分别为 6、2、4 单位。又知生产 A、B、C、三种产品所需浓硝酸量比为 4、2、1；工时比为 2、1/2、3。由以上数据就可以作定量分析。

其次，建立数学模型。将上述条件用数学关系式表示，则目标函数

$$J(x) = 6x_1 + 2x_2 + 4x_3$$

约束条件

$$4x_1 + 2x_2 + x_3 \leq 6000$$

$$2x_1 + 1/2x_2 + 3x_3 \leq 4000$$

$$x_1 \leq 1000$$

$$x_2 \leq 2000$$

$$x_1, x_2, x_3 \geq 0$$

其中， x_1, x_2, x_3 分别为 A、B、C 三种产品的数量。

最后，为了寻求解答，需要进行系统最优化计算，以得到最优解。上面所建立的数学模型，即目标函数和约束条件都是一次函数，变量间的关系属线性关系，显然是线性规划问题。因此可以应用线性规划方法来求解。有关线性规划方法的具体内容，将在下面有关章节中予以详细讨论。计算结果如下：

$x_1 = 1000$ (单位)， $x_2 = 728$ (单位)， $x_3 = 545$ (单位) 以及 $J = 9635$ (单位)。也就是说，黑索今生产 1000 (单位)，TNT 生产 728 (单位) 和硝化棉生产 545 (单位)，则产值最大为 6935 (单位)。

第三节 系统决策的方法

系统决策就是借助于一定的理论、方法和工具，进行科学分析，从众多的方案中选出最优方案。决策方案大体上可以分成五个步骤：了解决策问题来源；提出决策目标；列出可行方案；明确各种方案优缺点；决定最优方案。例如，为改造硝化工段生产线需要选用硝化机时，首先要明确目标。若目的是提高产量，则可以选用管式硝化机、立式硝化机、方形硝化机、圆柱硝化机等等，比较它们的优缺点，全面衡量作出决策，即选出最优的硝化机。

在决策过程中建立决策模型是重要的一步。决策模型的基本结构为

$$V = F(X_i, Y_j) \quad (1-4)$$

式中 V ——价值；

X_i ——决策者所能控制的因素；

Y_j ——决策者无法控制的因素。