

大系统数值优化 与采油工程应用

韩修廷 著

石油工业出版社

内 容 提 要

本书在吸收钱学森等老一代专家复杂巨系统研究成果的基础上,提出了大系统数值优化理论,并尝试用于规划、方案和石油领域的采油工程系统中。

介绍了大系统数值优化的概念、方法。包含系统技术、高层决策群体意图、专家知识经验与心智等人为因素的数值优化方法。实现大系统局部优化、整体寻优,应用正交系算法实现多维变量多目标非线性问题算法优化。同时介绍了采油工程大系统数值优化的应用敏感性分析,新技术吸收系统升级等。

它是从事规划方案编制人员,涉及系统优化的研究人员、工程技术人员、大专院校的师生、油田工程技术人员、高层及具体管理人员,特别是对研究大系统优化的油田技术人员是一本重要的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

大系统数值优化与采油工程应用/韩修廷著.

北京:石油工业出版社,2004.12

ISBN 7-5021-4848-5

I. 大…

II. 韩…

III. ①大系统理论

②大系统理论-应用-石油开采

IV. TE327

中国版本图书馆CIP数据核字(2004)第116576号

大系统数值优化与采油工程应用

韩修廷 著

出版发行:石油工业出版社

(北京安定门外安华里2区1号 100011)

网 址:www.petropub.cn

总 机:(010) 64262233 发行部:(010) 64210392

经 销:全国新华书店

印 刷:石油工业出版社印刷厂印刷

2004年12月第1版 2004年12月第1次印刷

787×1092毫米 开本:1/16 印张:13

字数:328千字 印数:1-1500册

定价:45.00元

(如出现印装质量问题,我社发行部负责调换)

版权所有,翻印必究

前 言

大系统数值优化 (Large scale system numeric optimization) 技术是系统工程、大系统理论 (Large scale system theory) 的进一步发展。具体技术是最优化与最优控制结合, 人为因素、社会因素、大系统理论、目标规划、系统寻优等技术相结合, 使优化作用进一步加强、范围进一步拓宽、优化规模进一步扩大、系统性更强, 优化效益进一步提高。在系统工程、大系统理论的基础上通过大系统的数值化和最优化, 实现大系统 (包括人为因素) 的数值化、多层及整体最优化。系统工程是 20 世纪初期出现的跨学科的新兴、边缘科学, 目前仍处于发展和不断完善之中, 近年来系统工程在中国已经受到各方面的重视。大系统理论^[3]是将在系统工程、近代控制论、图论、数学规划和决策论等方面的成果汇集一体, 不仅把复杂的工业系统、技术系统作为研究对象, 并推广到经济、政治、生态等系统。

在钱学森教授的倡导下, 由涂序彦教授首次提出“大系统控制论^[3]”的问题, 在系统工程基础之上提出大系统的理论, 采用“黑箱—白箱”结合、“定性—定量”结合、“启发—算法”结合、“人—机”结合的研究方法, 在大型工程技术解决方法上更接近实际。这种理论提出之后, 在军事、材料、图模分析等方面进行尝试。目前已发表了“大系统理论^[29]”专著, 形成了理论体系。

20 世纪 90 年代钱学森教授又提出了开放的复杂巨系统, 研究领域拓宽, 研究手段更新, 推动了该领域的发展, 获得了一批成果, 如“汉字识别系统与集成”、“智能系统的综合集成”、“人机共创的智慧”等, 在国民经济中发挥了重要的作用。

具体技术的最优化技术, 在数学上是一个求极值的问题, 它是应用数学的一个分支, 目前它已渗透到科学、技术、经济各个领域。局部系统的优化技术也在不断成熟, 如网络优化、决策树法等技术的发展, 为大系统的数值优化奠定了基础。

作者是在此基础上又进行了大系统数值优化方法的研究, 并引入到规划、方案、工程应用系统, 特别是引入到油田采油工程系统中。该系统是将决策者的意图、专家经验、具体、局部优化技术、大系统数值优化模型 (多目标、多层优化、算法优化、技术经济优化评价)、基础库融为一体, 形成大系统数值优化方法。

在实施过程中, 将决策者的意图、专家经验、人为因素, 用专门的方法, 进行数值化, 并融入大系统中。大系统形成网络化, 大小系统层层优化, 小系统之间采取逐步寻优, 各系统间留有专门接口, 直至大系统最优。

提出大系统整体数值优化理论及在规划、方案^[14], 特别是在采油工程^{[17][9]}系统中的应用还属于首次尝试。在采油工程大系统中, 采油工程技术、管理的全过程统筹与协调, 使多个学科相关技术一体化; 首先建立采油工程系统的优化目标, 同时使这些目标中的决策者意图、专家经验数值化, 然后再设计采油工程系统的具体细节, 特别是设计好子系统, 建立相互之间的协调关系, 在各子系统局部优化的基础上, 实现采油工程大系统的全局优化; 采用专门的方法, 采用变水平正交表的技术, 对大系统的重要因素进行敏感性分析, 确定影响大系统的关键因素。用大系统的观点及分析的结果指导对关键问题点攻关突破, 使大系统的优化水平更上一层。无论国际国内, 大系统数值优化理论在采油工程系统的应用都属首次尝

试，开辟了大系统理论在油田系统应用的新领域。也使优化技术扩大了应用领域和优化规模，发展了优化理论并提高了优化效益。

大系统数值优化的形成，经过了长期的研究和发展，得益于近年来大系统理论成为体系，系统优化的进一步发展，为大系统数值优化的实现奠定了良好的理论基础；特别是信息技术的发展，计算机的容量、计算速度以数量级为单位的发展，使大系统数值计算成为现实；计算机网络、操作系统的发展使大系统数值优化工业化应用成为可能，为大系统的实现奠定了物质基础。

本书共分五部分内容，一是大系统数值优化的概念及研究的意义，重点讲述有关概念、意义及系统数值优化用于规划方案中的可行性、总体思路及实施过程简述；二是大系统优化原理和数值优化方法，重点讲大系统数值优化方法，主要包括：人为因素的数值化方法、多目标优化方程、优化算法（正交优化）、大系统优化及评价、技术经济评价；三是采油工程系统数值优化应用举例，重点讲采油工程大系统优化应用，包括可行性、必要性和优化方法、系统实现的技术方法和手段、采油工程大系统优化方法的应用举例；四是子系统数值优化应用实例，重点讲大系统内的中下层系统的应用：主要包括措施控制图、机械采油井宏观控制图（1抽油机；2电潜泵；3螺杆泵）、油层改造、参数调整等系统；最后形成综合措施表。整体布局见各章重要内容汇总表；五是重点介绍了几个方面敏感性分析方法、思路及具体技术处理方法；六是本书的附件，重点包括两部分内容，首先是常用正交表，另外是有杆泵采油技术系统。

各章重要内容汇总表

章 数	重 点	主 要 内 容				
第一章	思路	意义概念	规划系统	总体思路	过程描述	
第二章	方法	人为因素数值化	多目标优化	算法优化	大系统优化	经济优化评价
第三章	大系统应用	优化方法应用	大系统优化应用	应用实例	中上层措施应用	中上层措施表
第四章	子系统优化方法	措施控制图	机械采油宏观控制图	开发压裂优化	参数优化调整	中下层措施表

续表

章 数	重 点	主 要 内 容				
第五章	敏感性分析	敏感分析思路	算法优化	采油工程分析	油藏数值模拟分析	套损数值模拟分析
第六章	专用表格方法	常用正交表	机采管理总框图	具体技术系统关系	系统管理控制图	

该系统是将大系统理论、决策者意图、专家经验、系统目标数值化、算法优化、基础库融为一体。形成大系统数值优化方法。该系统可用于从事大型规划、方案、工程项目等大系统优化的研究、编制、决策、实施、验收、评价的单位、团体、学校、企业技术人员等。将会有利于推动大系统数值优化技术在国内外的深化研究、发展和应用。

作者在长期从事大小系统、工程、方案、规划、专门技术、复杂问题优化研究的过程中，在解决系统优化问题时，发现系统中常存在着大量决策者的意图、专家经验、多目标、非线性、多变量、多层子系统的问题，使系统优化变得更加困难，或使系统用现有技术难于优化、难于最优和实现整体最优化。为解决上述问题，开展了大系统数值优化方法、算法优化、优化评价、在专业系统的应用、具体技术、问题的专用方法的研究。形成了一套大系统数值优化方法，并进行了典型系统的实践和应用。实践表明，系统涉及的人为因素越多，隶属子系统的层次越多，变量、目标越多，非线性越严重，与其他处理方法相比优化的幅度越大。为使该项成果尽快服务于企业、社会，撰写该书，发表于众。希望能成为有助于推动国民经济发展的有效工具。

目 录

绪论	(1)
第一章 大系统数值优化的概念及思路	(4)
第一节 最优化方法及“大系统数值优化”的有关概念	(4)
第二节 大系统的特点及数值优化研究的意义	(11)
第三节 大系统数值规划方案优化的意义及目的	(13)
第四节 大系统数值优化思路及算法过程	(15)
第二章 大系统数值优化原理和算法优化	(19)
第一节 高层决策群体意图、心智的数值化方法	(19)
第二节 多目标系统优化方程	(20)
第三节 二水平正交表的构造	(27)
第四节 算法优化(正交优化)	(34)
第五节 系统敏感性分析简介及技术经济评价	(38)
第六节 大系统数值优化的系统实施步骤	(42)
第三章 采油工程系统规划、方案 ^[14] 数值优化应用	(46)
第一节 采油工程系统规划方案数值优化的可行性和必要性	(46)
第二节 采油工程大系统规划方案数值优化方法及应用	(48)
第三节 采油工程规划数值优化应用举例	(78)
第四节 典型油田目标项确定的建议	(88)
第四章 子系统数值优化应用	(92)
第一节 系统措施控制图技术	(93)
第二节 机采井宏观控制图技术	(94)
第三节 开发压裂数值优化	(108)
第四节 抽油机三换措施优化	(123)
第五章 数值优化在复杂系统敏感性分析中的应用	(146)
第一节 复杂系统数值敏感性分析的必要性及涉及的内容	(146)
第二节 复杂系统敏感性分析的算法优化	(147)
第三节 采油工程系统数值敏感性分析思路	(151)
第四节 油藏数值模拟敏感性分析系统应用思路	(152)
第五节 套管损坏数值模拟敏感性分析算法优化应用思路	(156)
第六章 附录	(164)
第一节 附件1 常用正交表	(164)
第二节 附件2 有杆泵系统管理图	(174)
符号说明	(196)
参考文献	(198)

绪 论

一、名言启示

“每一时代的理论思维，都是历史的产物。不同的时代，思维形式、内容各异。它是历史的科学，关于人的思维的历史发展的科学。”

——恩格斯

西方与东方科学思想的结合是奥妙无穷的。我们要的是西方与东方科学思想的结合。

——钱学森 (1984)

20 世纪的核心事件是物质的毁灭。在技术、经济和国家政治上，物质资源财富在价值和意义方面稳步下滑。心力处处是主宰事物的无情的力量。

——George Gilder

在我看来信息革命将形成 21 世纪中所谓常规科学的基础。建立一个严格意义上的复杂系统理论将成为这一物质向信息转变的最高成就。

——John Casti

几位伟大人物的名言，提醒了我们，如何利用世人的心智，利用现代技术集成，创造性地解决问题，推动社会发展、进步是我们努力追求的目的。

21 世纪将以信息技术的快速发展为载体，推动高层决策群体的意图、心智，决策者、科学家、专家的知识、经验和建议的数值化，实现专业技术数值化，系统技术数值化和系统算法优化的发展。以局部最优，整体寻优的总体思路，应用大系统数值优化技术达到和实现复杂巨系统的整体和深层优化的目的。

二、大系统处理^[2]技术的发展

伴随着科学技术的发展，系统技术也在快速地发展。系统从点到局部；从小系统到大系统；从简单系统到复杂系统；从大系统到复杂的巨系统。不同时代对系统的复杂程度、规模的大小研究的深度不同；采用的手段也不同；不同的学者对系统的定义不同；研究的重点也不同；命名也不同。为便于介绍系统研究的阶段、特点和采用的手段，对系统进行稍微的命名调整，将其对应的特点、发展阶段、采用的手段，以框图的方法介绍，见表 0-1-1。

表 0-1-1 大系统研究发展过程

系统规模 复杂程度	具体 (点) 过程	(局部) 专门问题	(区块) (专门技术) 小系统	(区域) (专业系统) 子系统	(大系统、 大区域) 整体大系统	跨区域、跨领域 (复杂巨系统) 开放大系统	开放数值 优化系统
采用手段	经验方法 专门工具	具体技术 数值最优化	专家系统 专门技术	工程控制论 决策支持系统 专家系统	系统工程方法 人工智能专业 技术运筹学	专家和各种 信息系统人工 智能系统信息 技术系统	决策群体意图数值 化实现大系统数值 化算法优化大系统 整体、深层优化

续表

系统规模 复杂程度	具体(点) 过程	(局部) 专门问题	(区块) (专门技术) 小系统	(区域) (专业系统) 子系统	(大系统、 大区域) 整体大系统	跨区域、跨领域 (复杂巨系统) 开放大系统	开放数值 优化系统
发展阶段	定性→定量 专业技术方法、手段			强调 技术控制→智能(专家)系统优化 系统技术方法手段			整体、深层优化系统 网络化、算法优化
依赖的通讯 数据处理 手段	专门人员 专门设备 机械和专门 技术工具	专门技术 方法装备、 专业人员	一般计算机 技术一般计算 工具专门实施 技术工具	计算机自动 控制技术及 设备知识库 数据库	计算机处理 系统技术 数据、知识库 专家参与	现代通讯、网络 计算机处理机 专家异地出席 的研讨厅	掌上电脑通讯 数字高速公路 两网一厅数值化

从表中列出的系统研究对象看，系统研究的规模越来越大，功能越来越强，大小系统之间的关系越来越复杂。很多专家对系统研究后，从不同的角度给出了不同的定义，如“系统工程”、“大系统”、“复杂巨系统”等不同的提法，这些提法，强调的重点有其相同的部分，也有其不同的部分，为使读者便于理解和区分，作者从发展的时间阶段划分，如从开放性和采用的工具方面把 20 世纪 80—90 年代研究和应用的以计算机技术作为计算手段，原名称“大系统”的系统称“整体大系统”技术。

20 世纪末提出、研究应用的“复杂巨系统”，依托计算机网络、专家异地参与的系统，称为“开放大系统”，重点强调专家可在异地实施民主集中决策办法，信息依托网络，时空跨越范围大。为使上述系统数值化和最优化，提出了系统的数值优化，重点研究“开放系统”的数值优化，重点强调高层决策群体的介入，决策者介入并在系统中起主导作用，充分挖掘或利用决策者的心智、知识和经验，重点研究了实现这个群体建议数值化的优化方法；开放系统的子系统及相互关系的数值化也是系统研究的重点。表 0-1-1 列出了开放系统数值优化的特点，它不仅适用于“开放大系统”的优化方法，它对前述系统也适用。另外，由于该技术的研究刚起步，本书仅给出了在油田开发的采油工程系统中的应用思路。研究和应用的领域较小，但从抛砖引玉的目的出发，可把它作为系统数值优化研究的参考，以便大家共同探讨、研究和进一步发展。

该方法不仅适合开放大系统、整体大系统，也适合其他系统。由于高层决策群体进入角色，有助于推进系统研究的快速发展。有助于优化国民经济的重大决策。

本书重点研究表 0-1-1 中的数值优化部分与前面几个系统的结合，分别构成不同层次的系统数值优化方法如下：

开放大系统 + 数值优化 → 开放系统数值优化方法；

整体大系统 + 数值优化 → 整体大系统数值优化方法；

(专业系统) 子系统 + 数值优化 → 子系统数值优化方法；

(专门技术) 小系统 + 数值优化 → 小系统数值优化方法；

数值优化系统必须与前面的几个系统相结合构成具体系统数值优化技术。

几个系统有其相同点，也有其不同点。为介绍方便，下面在无特殊要求时，把后面的几个系统均指大系统。

通过系统的介绍，使读者能够较系统地了解大系统数值优化的理论和方法，并且通过采油工程大小系统的应用过程、处理方法的介绍，能进一步加深对大系统数值优化方法的理解，功能和作用的认识。对于拓宽在其他领域的应用以及深化大系统数值优化理论的研究将会发挥重要的作用。

在技术的研究和完稿过程中，邀请了世界系统优化学会理事长顾基发教授在百忙之中抽出时间对系统优化问题给予大量的指导和帮助，并对全部内容进行了审核，提出了大量的宝贵意见。还邀请了王玉山高级工程师（教授级）、刘孝俊高级工程师，重点对采油工程技术及全书内容进行了审核。在技术研究及完稿过程中，刚振宝、韩梅、卫秀芬、梅晓娥等同志都作了大量的工作。在此对该书的完稿及技术研究做出贡献的所有同志表示感谢。

韩修廷

2004年6月20日

第一章 大系统数值优化的概念及思路

在国民经济发展中,为了有利于发展、便于管理和研究,人为地定义和划分了许多“大系统”,特指表0-1-1中给出的开放大系统(复杂巨系统)、整体大系统,例如集团、区域和领域等。“大系统”又可分为工程技术大系统(Engineering large scale system),如大型石油、冶金、化工、机械等联合企业,全国交通、智能交通、城乡水源、全国通讯系统、互联网安全、能源系统;国家防卫、军事决策体系;大型基本建设工程等。生物生态大系统如由生物、动物(特别是人类)为环境组成的生态系统,或“人—环境”系统,通常都是复杂的大系统,如:长江流域、黄河流域、沙化治理或生态系统等。上述系统都属“大系统”范畴。它们是国民经济发展的支柱,它们发展得是否健康,直接影响国民经济的发展。

虽然这些系统在国民经济发展中起着重要作用。但是,研究它们的优化规律非常困难,目前的具体最优化技术、方法、局部系统优化方法等,还无法适应这些系统优化,人为因素等复杂性,无理论依据、方法可借鉴,特别是进行“大系统”的定量分析和优化就更困难了。此类“系统”涉及“人—环境”因素、非线性、多变量等复杂问题。即使可将这些综合因素用数值求解,计算量之大,现有计算工具的能力也无发承受。开放系统的数值优化规划更无从谈起。

为解决影响因素多、人为因素占主导地位、动态变化大、周期长、技术要求高、工种多、投入高、产出大、多部门协调工作的大系统的数值优化问题,特别是复杂系统规划、战略规划、长期、复杂的方案和工程,亟待研究“大系统数值优化理论”,研究系统的定量和数值优化,解决系统整体数值优化理论及在采油工程规划系统中的应用。特别是战略规划、长期、复杂的方案、工程定量求解和数值优化问题。对油田来说,从油田整体系统考虑,研究和解决油藏工程、采油工程、地面工程系统的战略规划以及长期、复杂的方案和工程问题。以提高油田开发的整体效益、长期效益和社会效益。

第一节 最优化方法及“大系统数值优化”的有关概念

一、不同优化问题的最优化求解^[12]

大系统最优化的问题较多,现有优化方法也较多,常规的问题,用数学解析方法即可求解,但对人为因素、不确定因素,可用模糊方法、多目标项权数法等。针对系统优化的需要,分别介绍如下。

(一) 数学解析优化方法

1. 无约束函数求解

$$\text{一元一次函数 } f(X) = kx + b$$

$$\text{一元二次函数 } f(X) = ax^2 + bx + c$$

$$\text{一元多次函数 } f(X) = a_n x^n + a_{n-1} x^{n-1} + \dots + a_2 x^2 + a_1 x + a$$

$$\text{多元一次函数 } f(X) = a_1 x_1 + a_2 x_2 + \dots + a_n x_n$$

$$\begin{aligned} \text{多元多次函数 } f(X) = & a_n x^n + a_{n-1} x^{n-1} + \dots + a_2 x^2 + a_1 x + a \\ & + b_n x^n + b_{n-1} x^{n-1} + \dots + b_2 x^2 + b_1 x + b \\ & + \dots + n_n x^n + n_{n-1} x^{n-1} + \dots + n_2 x^2 + n_1 x + n \end{aligned}$$

对于上述简单的问题多用解析法，如在一元二次方程，可采用 $f'(x) = 0$ ，则为 $f(x)$ 的极值点，如图 1-1-1。

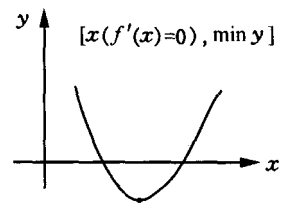


图 1-1-1 无约束优化原理图

对于多元函数优化问题也可用直接搜索的方法求极值，解析法是用求导或变分方法求出最优的必要条件，得到一组方程，再求解方程组。直接搜索法是经过若干次迭代搜索到极值点，对于一维搜索主要应用区间消去法（如：黄金分割法，即 0.618 法）或插值法，多维搜索主要应用爬山法等。

2. 有约束函数求解

对于有约束的优化问题，若目标函数和约束函数都为多元一次函数，求解方法通常采用线性规划有关算法，如单纯性算法。若目标函数为多元多次函数，求解方法通常采用线性逼近法、罚函数法、拉格朗日乘法法等。

(二) 多目标优化求解

对于复杂的工程系统，并包含人为因素，上述方法大多无法求解和优化，可采用多目标优化方法。多目标优化主要包括以下内容：

(1) 多目标优化。重点研究目标与方程组之间的关系（见第二章），目标系数与方程组变量和方程组系数之间的关系，最终求出多目标总体优化结果。多目标优化属于有约束的方程组求解问题。

(2) 模糊数学方法优化求解。重点研究目标与各隶属函数之间的关系，每个函数与总目标的构成存在着隶属关系。在工程应用中这些隶属关系存在着系统之间的自然规律，而在决策系统中，这些隶属关系往往人为确定。

(3) 多目标整数优化，如“0-1”规划优化方法，利用目标函数约束。

(4) 决策树优化方法。决策树是依据客观规律的特点，多以人为因素为主的定性问题数值优化的方法。

(5) 定量综合集成研讨厅体系，它是集专家群体意图和多种信息集成系统；多种人工智能系统；计算机软硬件系统；构成演示厅的整体，成为解决复杂巨系统问题的“人机结合”智能系统，实现富含不确定、随机性因素的开放系统优化。

上述五种方法的共同特点是：

- (1) 多目标，即评价系统的目标为多目标；
- (2) 系统目标的最大或最小化，评价系统时必取其一；
- (3) 各目标都有权数，这些权数可由系统固有特点而定，在对系统权数认识不清之前，可人为确定，即由专家经验或决策者意图而定。

(三) 系统优化

以局部优化，整体寻优的综合方法，并且引入多层优化。应用综合集成技术处理决策者意图、专家经验；应用多目标技术处理系统优化；利用解析方法处理具体问题；利用寻优技术处理算法优化问题；实现多层，具体技术、系统、人为因素为一体的系统优化方法。不同系统优化采用的主要技术如表 1-1-1。

表 1-1-1 不同级别系统的优化处理采用的主要技术

内 容 手 段	系 统	具 体 问 题	中 间 系 统	整 体 大 系 统	开 放 大 系 统
	主要技术		数学解析优化	运筹学, 线性、非线性、多目标、整数规划	运筹学 算法优化
控制手段 (目标)		单项目标	系统目标	多层目标	动态目标
处理手段		计算机技术	计算机技术 算法优化	计算机技术算法 优化人为不确定 因素处理模糊权数	信息技术(网) 群体意图处理(厅) 算法优化(机) 局部优化、整体寻优(思路)
交互方式				→ ←	

二、“大系统数值优化”的概念及分类

(一) 大系统

大系统是指规模庞大、结构复杂、功能综合、因素众多、过程、空间、时域开放的系统。所谓“整体大系统”并非仅仅意味着体积大、地域广，而是指有以下特征的系统：

(1) 规模庞大：大系统包含的子系统（小系统）的数目多，如采油工程系统从处理过程上分了8个子系统，小系统20~30个，如果系统再细化，还可以分得更多（见附录附件二）。

(2) 结构复杂：各子系统之间相互联系、相互影响，各个子系统之间没有统一的模式，有的只能定性描述，系统之间，系统前后循环迭代，并且影响因素甚多。

(3) 功能综合：通常，大系统的目标是多样、多项的，因而功能是综合的。如在有杆泵采油系统中，要求获得较高的经济效益，同时还必须完成原油产量，还要提高最终采收率，既要求劳动效率，还必须保证安全、文明生产，环境保护。由于系统多目标的存在，要求系统必须有较强的功能。

(4) 因素众多：大系统一般是多输入、多输出、多变量、多干扰、多目标的系统，采油工程系统各子系统之间也存在着输入、输出问题，影响因素包括随机的、人为的、技术的、自然的、政策的等。

(5) 开放性：重点体现在过程开放、空间开放、时域开放等方面。

开放大系统除具备上述特点外，在研究对象、领域方面，还有以下侧重：

第一，强调决策群体在系统研究和决策过程中的作用，他们在开放的大系统中作用更大，更重要，指导性更科学，参与的更多，参与的方式更合适；第二，在采用的手段上，更强调信息高速公路，高层决策群之间的意图渗透；第三，所研究的系统规模更大，复杂程度更高；第四，在开放性上由于采用现代高速信息网，适应的空间更大，时效更高，管理范围更大，决策水平更高，研究的问题更细。

(二) 大系统理论^{[29][1]}

大系统理论是在控制理论、运筹学^[4]、系统工程^[2]与人工智能、模式识别、知识工

程^[13]等有关科学相结合的基础上，研究及分析各种大系统控制过程，强调系统优化的智能处理，综合与模型优化方法的科学，是关于大系统设计、控制与应用的一门技术科学。在数值处理方法方面采用具体技术优化、整体规划优化、考虑人为因素，着眼于大系统进行整体优化。对于开放大系统更强调决策群体意图的数值化，更有效地指导大系统的决策。

(三) 大系统分类

1. 领域技术或行政管理分类

根据中国现状从专业技术特点、行政管理、区域上可划分以下几类重要“大系统”如图 1-1-2：

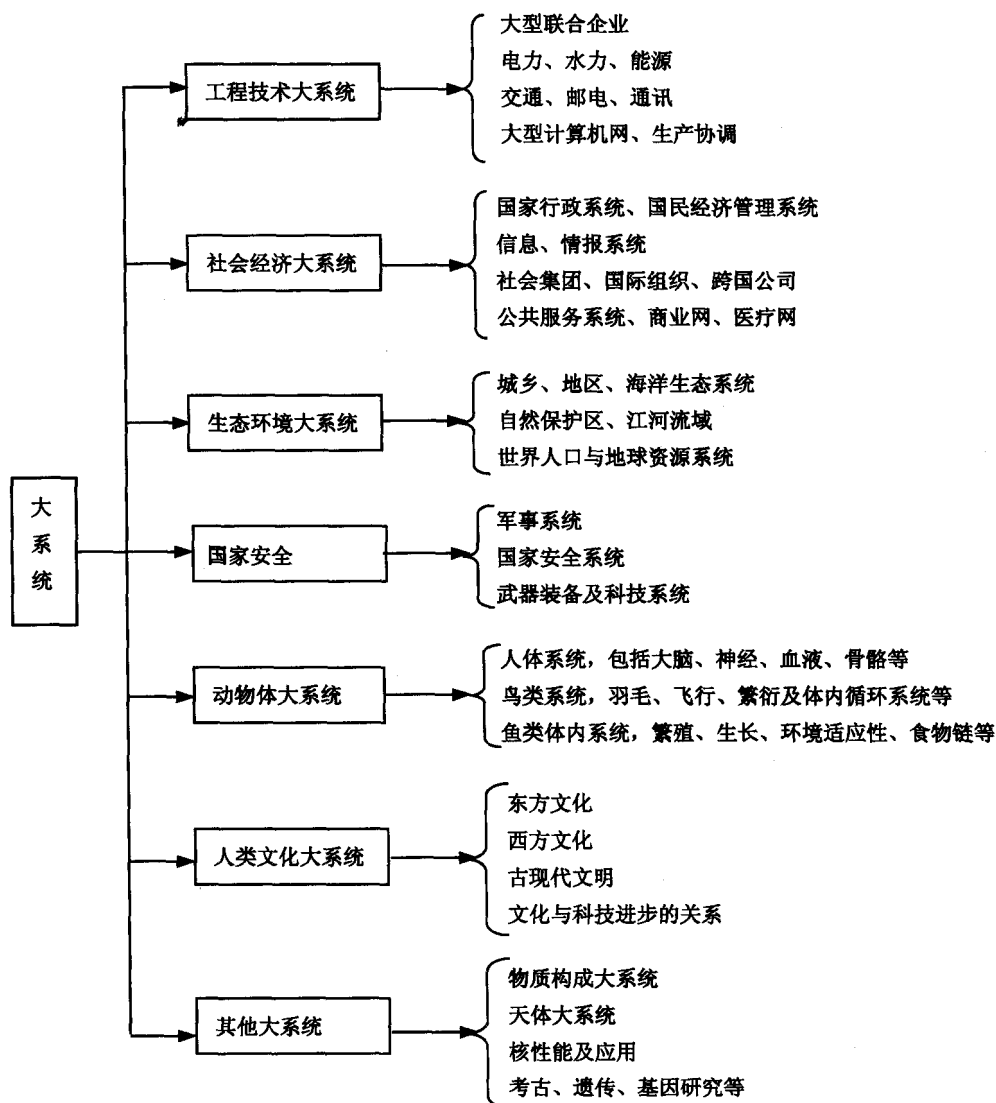


图 1-1-2 大系统的构成

1) 工程技术大系统

在研究过程中，以技术工程问题为主线和核心的系统研究见图 1-1-3，如大型石油、化工、水电、冶金、机械等联合企业，全国交通、城乡水源、全国通讯系统、能源系统；大

型基本建设工程等。采油工程系统是以技术、工程特色为主，专业性强的工程技术大系统。采油工程技术大系统如图 1-1-3，采油工程技术大系统是工程技术大系统中的一个系统，采油工程大系统从隶属关系上看，它属于工程技术大系统的一个部分。大系统并不意味着所有系统全都规模大。从研究的角度讲，主要取决于它的复杂程度和深度。如人的大脑系统、血液循环系统等，虽然规模不大，但研究的复杂程度及难度都很大。从后面的章节或从图 1-1-3 中都可看出，对采油工程系统的研究也是非常复杂和困难的。不同的工程技术大系统、系统构成方式、系统复杂程度也有其类似的一面，如专家经验、优化目标的综合，用简单的模型难以处理，而不是绝对的。每个系统都是不同的，同一系统在不同的时间段其内容不同，同一系统、同一时间段追求的目标不同，则系统的特点也不同。

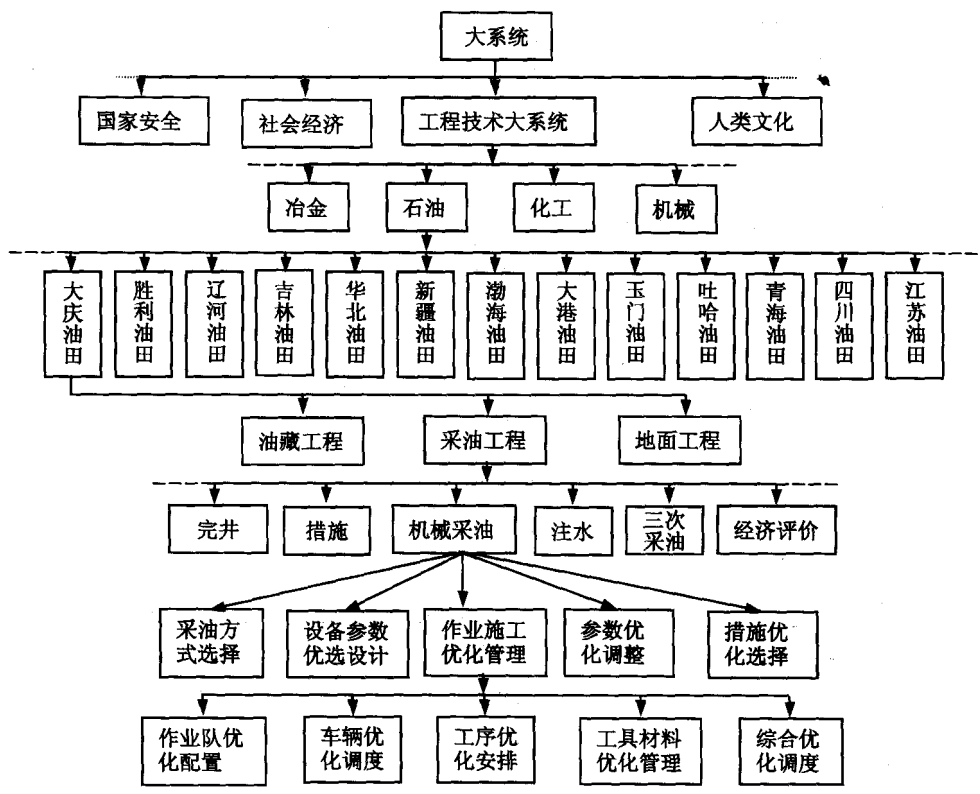


图 1-1-3 工程大系统与采油工程大系统的构成

2) 社会经济大系统

国家行政管理体制；国民经济体系；国防军事等。这些系统受国内外形势、政治、宗教、法律等因素的影响较大，用简单的数学模型难以处理。

3) 生物生态大系统

由生物（特别是人类）为环境组成的生态系统，或“人—环境”系统，通常都是复杂的大系统，如：长江流域、黄河流域、海洋、草原等。生态系统受环境影响较大，严重受大自然变化的影响，大气温度、气候、地震、冰川也是影响变化的重要因素，研究生态系统明显地与工程技术、社会大系统不同。

4) 动物体大系统

动物“个体”，特别是“人体”，也是复杂的大系统。人的群体活动规律不仅受到社会经

济、种族政策的影响，它还受到国际与国家政治、自然变化的影响。研究其变化规律，带有更大的随机性。

5) 其他大系统

除上述四大类系统外还有许多大系统，如物质构成大系统，天体构成、星球运动规律；核性能及应用大系统；考古及遗传系统；植物分类、生长系统等。

2. 研究方法和手段

从研究方法和依托的手段上可参见表 1-1-1。

首先，针对小系统，即专门技术、区块、技术单一的类别，多采用解析数值优化技术，它属于子系统的一部分；第二是中间子系统，即区域专业技术，技术专业性强，涉及完整的专业系统。属于整体大系统的一部分，处理时多采用多目标优化技术；第三是整体大系统，涉及到第一，第二和图 1-1-2 中的全部内容；在研究方法上，用大系统技术优化处理；第四是开放大系统，重点强调决策群体的作用，科学处理和利用决策群体的意图指导大系统的优化，在采用手段上，依托现代信息技术，特别是通信、计算机网络和研讨厅，在研究的对象选取方面，可适应更复杂的系统、处理时效更高、领域更大。在数值优化方面，使决策群体意图数值化，大系统数值最优化，算法优化，实现系统局部最优化，整体寻优，最终实现网络深度优化，开放、动态、整体优化。

(四) 子系统

子系统是指在大系统中在完成局部功能、过程时具有相对独立性，在隶属关系上属于“大系统”的一个子部分；子系统本身也包括小的子系统或多层所属于子系统。在规模大小、结构复杂程度、功能综合程度、涉及因素的多少方面都比“大系统”差一个级别。见图 1-1-3，例如工程技术大系统的“子系统”：假如定义石油工业为“大系统”，则一个石油勘探局就是一个“子系统”；如定义炼化工业为“大系统”，则一个炼油厂就是一个“子系统”；如定义国家水电系统是“大系统”，则一个地区水电系统就是一个“子系统”等。子系统仍有大系统的部分特点，在运算处理时，可按照大系统的处理方法来处理，但它仍是大系统的一个构成部分。有时对系统研究程度的不同，也可使系统级别变化，小系统研究的细、深则可变成大系统，大系统研究的因素少，内容简单也可变为小系统。

(五) 大系统数值优化库

大系统数值优化库指大系统在用计算机数值优化处理时，所必备的优化支持资料及存取专用工具库。主要包括数据库、图形库、知识库等。例如数据库中可存储原始数据、静态数据、动态数据、运算过程中的中间数据以及计算最终结果；知识库是指无法用简单的数学模型表达的人类的经验、知识和表达客观规律的逻辑关系。

(六) 决策群体

决策群体是指在处理大系统时，如编制规划、工程方案时，可决定目标项、目标的重要性、目标的优先权及重要目标界定的人群和组织。一般指主管和参与该系统的最高领导层、专家集团和组织人员。他们可确定大系统的指导思想、原则、界限、涉及的领域。具体讲如：规划和工程方案的投资额度、动用人力、设备规模等可用资源，规划方案的执行期限，总体指标，涉及社会、经济、安全、环境等方面的处理意见，执行的起止时间，特别是规划方案的总体目标及各子目标之间的权重。关键点是他们可决定规划、工程、方案的指导思想、原则。他们有权修改、否决或通过这规划、方案和工程。

(七) 专家 (专家系统)

专家 (专家系统) 是指提供无明确定义、无定量和无严格模型的技术参数和技术经验的技术权威人士和组织。大系统优化主要依靠数值定量描述。在运算过程中, 绝大部分数学式是靠实验和经验总结获得的。有些内容、系数不明确, 有的根据环境变化给出适用范围。因此, 在数值求解过程中, 这些系数、参数、常数、经验趋势靠专家提供。例如增加系统的效益与总投资的关系; 提高技术指标与投资的关系; 提高技术指标与效益的关系等。

(八) 大系统综合集成研讨厅

大系统综合集成研讨厅简称研讨厅, 是针对大系统的复杂性、涉及影响因素的随机性、不确定性、人为的主观能动性, 将专家群体、专业技术和各种信息与计算技术有机地结合起来, 依托通信、计算机网络, 以研讨厅为组织场所和手段, 把各种学科的科学理论和经验知识结合起来。这三者本身也构成一个系统, 以研讨厅的方式组织实施。

(九) 决策群体的意图

决策群体的意图是指决策群体中的成员, 在决策未形成之前的设想、建议或要求。研讨厅充分体现了决策的科学性和民主性。决策中的任一成员的设想、建议和要求都不是绝对的决策意见, 都需要有步骤、有方法、有规程、有权限、有依据地逐步形成最后的决策意见。最后的决策不是哪一个人的成果, 也不全是决策群体的成果。它是整个优化系统、优化群体、优化过程, 经过了完整的优化工作后形成的优化结论, 所以决策者的意图、专家的意见、决策群体的意图仅仅是优化决策结论的重要参考因素。

(十) 专用技术表达式

在各子系统中, 专门描述技术过程和系统特征以及内部关系的数学模型、表达式、数字、表格、图形、曲线、专家经验等, 定义为专用表达式。

(十一) 算法优化

将复杂的计算方法和过程优化后, 大幅度缩减计算量, 并不影响其计算结果和精度。该书特指利用正交优化组合或网络优化技术来优化系统的算法过程和指导寻优的优化思路。实现大幅度降低大系统的数值运算量, 而不影响该系统的最优计算结果。

(十二) 大系统数值优化

以大系统的一组关键指标为主线, 以多项目标重要程度为依据, 对各项目标分配权数, 描述出总目标, 将层层子系统连成优化网, 应用专门方法或研讨厅将决策群体意图、专家经验数值化, 并融入优化网及基础库, 实现人的主观能动性、系统技术、算法优化与基础库依托“网”、“厅”实现互动, 整个系统实现算法优化, 在敏感性分析的基础上实现开放大系统的整体深度快速优化。大系统数值优化的实质和关键可归纳为“1, 2, 3, 4, 5, 6”。1是“厅”; 2是“两网”, 系统网及计算机和通信网; 3是“三化”, 人为因素数值化、系统优化、算法优化; 4是“四种人”, 一是提供决策者意图、心智的决策者, 二是专家, 三是大系统支撑人员, 四是所涉及领域、专业技术人员; 5是“五种复杂条件”, 一是多目标, 二是变约束, 三是方程系数专家确定, 四是过程实现循环, 五是边界、界限、初始中间条件可调; 6是“六种工具及手段”, 一是计算机和网, 二是库, 三是两种优化方法, 四是复杂问题的定量化方法, 五是正交表, 六是目标系统的技术及系统关系支撑。

(十三) 大系统数值敏感性分析

大系统敏感性数值分析, 即在大系统数值优化的基础上, 利用变水平正交表, 研究大系统的诸多因素 (某种因素或多种组合因素) 的变化, 对大系统总目标、特征、特殊参数的影

响规律。以使大系统在优化过程中能涉及处理的因素更多，研究的更细，提高计算效率、效果，增加功能。通过敏感性分析，使系统进一步优化完善。

详细内容不再展开，必要内容在以后的章节中将会重点介绍。

第二节 大系统的特点及数值优化研究的意义

一、大系统的特点

大系统有许多特点，不同的作者、不同的研究者侧重点不同，为了研究和描述的方便，作者将从以下几个方面介绍。

(一) “主动性” (Activity)

大系统往往是“主动系统” (Active System)，在大系统中包含有“主动环节”——“人”。如决策者、决策群体、操作者与管理人……，“人”不同于“机器”，人具有“主动性” (灵活性、适应性、创造性……)。常规的方法是研究被动系统，所以在系统设计中，如何发挥人的长处还是一个有待解决的问题。

(二) “被动性” (Passivism)

大系统中包含有“人”，“人”有情感，有其主动的一面，也有其被动的一面，当对事物有抵触情绪时，不理解时，或涉及自身利益、间接涉及自身或自身有关的利益、形势、环境等因素时，他将阻碍事物的发展，特别是管理者存有抵触想法、意见、认识时，有可能会阻止事物的发展。系统所指被动性，重点强调消极抵抗，而不是被动地执行。

(三) “维数灾” (Curse of Dimensionality)

系统中多数的数学模型是“状态方程”如微分、差分或代数方程组，其中状态矢量的维数随所包含的因素或子系统数目的增大而增加，在数值计算等方面存在着较大的问题。系统优化时，是从最高层覆盖到最低层，所以涉及的层数多，变量多，每个变量涉及的因素多，所以求解时的维数多，计算量大，导致一般计算工具容量不够或计算速度太慢。开放大系统，分散的特点明显，“维数灾”的现象更突出。

(四) “分散性” (Decentralization)

大系统是许许多多分散的小系统相互关联所组成的，各小系统往往有分散性。因为具有“分散性”，它表现在控制分散、信息分散、管理分散、决策分散、功能分散等，如附录的附件二，由于分散性，造成了大系统协调的困难，必须研究专门的系统管理决策、优化方法。

(五) “不确定性” (Uncertainty)

系统中存在着许多用数学模型难以描述的问题，例如，“模糊性”，“随机性”，“不确定”，“发展中”，“市场问题”，“社会环境”，“新技术发展”等问题。特别是人的主观能动性，数值求解就更加困难了。

(六) 发展中的系统 (Developing System)

通常，大系统的控制过程和过渡时间较长。在控制过程期间，大系统本身也处在发展当中，系统的结构、参数、目标和环境条件，系统的特性，功能也处在变化当中。所以系统都处在发展过程之中。决策滞后会带来由于系统发展变化带来的失误。

(七) 不确定知性 (Uncertainly - Known)

大系统往往是信息不完备，数据不确定知的系统。难以建立适用的完备的数学模型，进行精确的定量分析和设计。