

系统工程在水利水电工程中的应用

《上册》

河北省水利学会

1984. 11.

系 统 工 程

在 水 利 水 电 工 程 中 的 应 用

(上 册)

张鸿茂 主编
张金轩 张玉田 徐兴中
张连洲 刘新娟 周光春 编写

前 言

系统工程是一门新兴的“社会——技术”学科。系统工程的目的就是依据系统科学的观点和方法，综合地、系统地、最优地运用现代科学技术的各种成就和计算手段来分析和解决复杂系统或大系统的各种“软、硬”问题。为了达到一个或多个目的和任务，系统工程总是把人的因素、信息或智力的开发放在首位，力图用最少的投资、最短的时间、最小的资源需求量和最有利的手段来开发、利用、分析、综合、设计和评价一个系统。归根结底，系统工程是一门研究怎样才能“人尽其才、物尽其用”的综合性实用科学。

“综合即创造”是日本学术界的一句名言。单纯的工程设计已不能适应现代化工农业生产和社会经济发展的需要。过去由于缺乏一套完整的科学方法，忽视定性分析与定量分析结合起来的综合途径，对于社会科学与自然科学相互渗透的现代科学技术发展趋势认识不足，许多工程项目没有预期的经济效益或社会效益；一些重大决策也因此出现偏差，甚至失误。综合的本质在于“软、硬”结合，外延与内涵结合，物力与智力结合。系统工程恰恰提供了有效地完成这些结合的强有力手段和搞好系统组织管理的科学方法。

系统工程是一门实用性很强的边缘科学。因此必须注意理论联系实际，让系统工程真正为四化建设、为达到本世纪末工农业总产值翻两番的宏伟战略目标作出应有的贡献。不过，尽管系统工程早在六十年代初就已形成独立的科学体系，但在我国的推广应用却几乎刚刚开始，远未达到普及的程度，在水利水电系统中更是如此。正如赵紫阳总理在谈到水利建设问题时所指出的：现在的问题，是要用系统工程的方法，全面统筹，综合论证。因此，在提高的同时还有十分光荣的普及任务摆在我们的面前。必须向所有水利水电工作者传播系统工程知识，宣传工程系统的综合方法。让人们领会“综合”蕴藏着巨大的经济效益；“综合”才能发掘科学技术的巨大潜力，“综合”是水利水电事业健康发展的有力保证。

为了培养系统工程人才，旨在水利水电建设事业中普及和应用系统工程这门新兴科学，水电部已举办过多期系统工程培训班和研究班，我省水利厅也曾举办过系统工程研究班。本书即是在此研究班的基础上，组织张鸿茂、张金轩、张玉田、徐兴中、张连洲、刘新娟、周光春等同志经过两年多的努力，在力所能及的条件下搜集了一些应用实例，并参考有关文献资料，完成了编纂工作，分上、下两册刊印。本书在编纂过程中，曾蒙林延江、朱光照、孙锡衡、田崇纪付教授和水电部葛文辉工程师以不同方式给以指导，并由熊景铸、贾有源、张玉磊、李书全诸先生校阅，在此一并致谢。

本书重在方法的运用，以求对系统工程在水利水电建设中的推广和应用有所裨益，而一般对基本理论不做详尽的推导和论证。本书内容仅是系统工程之一隅，属于系统工程中最优技术的一部分，并非系统工程的全貌。由于受编写者水平所限，且参阅文献资料不足，再加时间仓促，书中定有阐述浮浅和诸多谬误之处，望读者批评指教。

编者

1984年11月

《系统工程在水利水电工程中的应用》

(上册)

目 录

第一章 系统工程概论	(1)
第一节 系统的概念.....	(1)
一、系统的定义.....	(1)
二、系统的特征.....	(2)
三、系统的分类.....	(2)
第二节 系统工程的概念.....	(2)
一、系统工程的概念.....	(2)
二、系统工程的定义.....	(3)
三、系统工程的基本要素.....	(4)
四、系统工程的基础理论.....	(4)
第三节 系统工程在水利工程中的应用.....	(6)
第二章 线性规划	(10)
第一节 线性规划的数学模式.....	(11)
一、运输问题.....	(11)
二、下料问题.....	(12)
三、混凝土配置问题.....	(12)
四、合理使用水泥问题.....	(13)
五、生产与存贮问题.....	(14)
六、水库系统设计.....	(15)
七、混凝土预制件生产规划问题.....	(17)
八、配套产品的生产问题.....	(19)
九、生产分配问题.....	(19)
十、结构的加载问题.....	(20)
十一、区域水质管理问题.....	(21)
十二、连续投资问题.....	(22)
十三、网络计划中的工程成本问题.....	(24)
十四、骨料料场选择的优化问题.....	(26)
第二节 图解法.....	(31)
一、无解情况.....	(32)

二、有唯一组解情况.....	(32)
三、有无穷组解情况.....	(33)
第三节 单纯形法 (Simplex Method).....	(38)
一、单纯形法的计算步骤.....	(38)
二、单纯形法列表计算.....	(43)
三、退化情况 (Case of degeneracy)	(52)
四、对偶问题 (Dual problem)	(55)
第四节 运输问题.....	(61)
一、运输问题的数学模式.....	(61)
二、运输问题的表上作业法.....	(62)
三、矩阵简化法 (又称简易算法)	(70)
四、不平衡运输问题的处理方法.....	(73)
五、运输问题的图上作业法.....	(75)
第五节 指派问题.....	(80)
一、求解最低成本的指派问题.....	(80)
二、求解最大效率的指派问题.....	(83)
三、特殊指派问题.....	(87)
第六节 线性规划的列表分析解.....	(89)
一、最大收益问题.....	(89)
二、最小费用问题.....	(92)
第七节 线性规划应用实例.....	(95)
实例一、平原湖区最优水面率的确定.....	(95)
实例二、紧水滩工程砂石料料场规划.....	(102)
第三章 整数规划	(115)
第一节 全部整数型运算方法 (割平面法1)	(115)
第二节 部分整数型运算方法 (割平面法2)	(120)
第三节 分枝定界法.....	(123)
第四节 隐枚举法.....	(126)
一、计算方法和步骤.....	(126)
二、数学模式的变换.....	(129)
三、隐枚举法小结.....	(131)
第五节 非线性混合整数规划方法——罚函数法扩展.....	(131)
一、基本思路.....	(131)
二、“假”最优和修正程序.....	(133)
第六节 应用实例.....	(135)
实例一、农田最优规划.....	(135)
实例二、山西省水利投资项目选择的系统论证.....	(140)

实例三、罚函数调优算法	(161)
实例四、二滩水电站砂石料场的优选	(165)
实例五、梯级水电站排序的整数规划模型	(176)
第四章 非线性规划	(191)
第一节 无约束条件下的非线性优化	(192)
一、微分法	(192)
二、搜索法	(197)
第二节 等式约束条件下的多变量函数优化	(210)
一、消元法	(210)
二、拉格朗日乘子法 (Lagrange Multiplies)	(211)
第三节 不等式约束下的多变量函数寻优	(218)
一、库恩——塔克条件(Kuhn-Tucker Condition)	(218)
二、逐段线性逼近法	(225)
第四节 等式、不等式混合约束下的多变量函数寻优——罚函数法 (SUMT法)	(231)
第五节 应用实例	(235)
实例一、用贯序试验法计算水流收缩水深	(235)
实例二、二滩水电站坝体混凝土温控措施优化研究	(237)
实例三、不过水围堰隧洞导流方案最优洞径及围堰高度选择计算	(250)
实例四、平原低洼易涝地区除涝排水系统最优规划的非线性规划模型 (可分规划法)	(255)
第五章 动态规划	(264)
第一节 多阶段决策过程	(265)
一、多阶段决策过程	(265)
二、多阶段决策过程的状态、决策、策略、状态转移方程和目标函数	(265)
第二节 动态规划的基本原理和基本方程式	(266)
第三节 随机性问题的动态规划	(268)
一、各阶段的随机状态变量之间互相独立时的动态规划问题	(270)
二、相邻两个阶段的随机状态变量具有简单的马尔可夫链关系时的动态规划问题	(275)
第四节 应用实例	(277)
实例一、资源分配问题	(277)
实例二、生产与存储问题	(283)
实例三、结构的优化设计	(285)
实例四、管道设计	(297)
实例五、水库调度问题	(302)

实例六、黄河黑山峡河段开发方案论证中的动态规划方法·····	(308)
实例七、红水河最优开发数学模型的研究·····	(314)
第六章 水资源系统分析方法·····	(324)
第一节 水资源系统及其系统分析方法概述·····	(324)
一、水资源系统的特点·····	(324)
二、水资源系统分析的特点·····	(324)
三、水资源系统分析方法的主要内容·····	(325)
第二节 水资源系统的数学模型·····	(327)
一、水资源规划中数学模型的作用·····	(327)
二、各种水资源系统的模型·····	(327)
三、建立数学模型的一般步骤·····	(328)
四、解析模型与仿真模型·····	(328)
第三节 实用水资源系统模型举例·····	(328)
一、数学程序筛选模型·····	(329)
二、递阶——多目标模型·····	(333)
第四节 水资源规划的多目标决策·····	(335)
一、多目标决策的几个基本问题·····	(335)
二、决策中的风险和可靠性·····	(337)
第五节 应用实例·····	(338)
实例一、多目标决策在城市水资源利用和水污染控制规划中的应用···	(338)
实例二、运用线性规划进行水资源规划的新途径·····	(350)
实例三、系统分析在水电能源研究中的应用·····	(357)
实例四、自压喷灌系统配水管道的优化设计·····	(368)
实例五、都江堰首部枢纽体现的系统工程思想初探·····	(370)
实例六、《都江堰灌区集中调度系统》数学模型与优化决策算法结构 (摘录)·····	(378)
实例七、系统分析在水情预报中的应用·····	(407)
实例八、南水北调系统分析·····	(416)

第一章 系统工程概论

系统工程是一门新兴的高度综合性的科学。在应用系统工程处理问题时，是把所研究的对象看作一个系统，即从系统的角度去观察、分析问题的各个方面和影响因素，并应用现代科学技术定量地处理系统各组成部分的关系，使得整个系统达到总体最优的状态。这种研究问题的思想和方法，是引导人们去揭示事物本身的内在规律并寻求问题的最优解决方法，因此它能够卓有成效地解决许多复杂的问题。虽然系统工程还是一门新兴的正处在发展中的学科，但在各个领域、各行各业得到了广泛的应用，显示了这门学科的强大生命力。

有人预言，今后的时代将是系统的时代。现代科学技术的高度发展，大量的新的发展和发现，使人们有可能对自然界和人类社会中的许多错综复杂、相互交织的事物及其内在的联系加以认识，这就是人类开始进入用系统的方法去思考问题和解决问题的时代。当前，在我国大力开展系统工程的研究和应用，不仅是实现四个现代化的当务之急，并将具有深远的意义。

我国从1962年在钱学森教授倡导下，开展了对导弹研制的系统工程方法的探讨，1964年华罗庚教授提出了统筹法和优选法。经过试点，取得了良好的成果。尤其近些年来，为了促进和加速“四化”建设，系统工程这门技术已普遍地得到国内各行各业的重视。1980年3月，中国科学院成立了系统科学研究所，同年10月成立了中国系统工程学会，广泛地开展了学术交流活动，并于1981年出版了第一份系统工程专业刊物《系统工程理论与实践》。中国科协与中央电视台举办了两期系统工程普及讲座。中央各部、各地区举办了系统工程培训班，水电部还于1981年举办过系统工程在引滦工程中的应用研究班，且富有成效，深受各方面赞赏。系统工程的研究和应用，已开始在我国国民经济各部门、科学技术各领域推广普及，并已初步取得可喜的成果。但总的说来，还仅仅只是一个开端，亟需组织人力，学习研究，推广应用，提高科学管理水平，为促进我国实现四个现代化发挥积极的作用。

第一节 系统的概念

一、系统的定义

什么叫系统呢？系统作为一个概念，既不是人类生来就有，也不是象国外所说的那样“是廿世纪四十年代的产物”。如果追溯它的来由，不论在中国或者西方很早就出现了，它几乎同哲学一样古老。系统概念来源于人类社会生产实践经验，并不神秘。当今对系统的定义很多，在系统工程中所要研究的系统有它自己的含义，这里我们引用著名科学家钱学森教授提出的定义：“把极其复杂的研究对象称作系统，即由相互作用和相互依赖的若干组成部分结合成具有特定功能的有机整体，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”。这样的定义指的是人造系统或是经过改造的自然系统，而把宇宙中太阳系等非人造的且无法加以控制的系统划了出去。同时又指明系统是有组织的有共同目的的有机整体，它区别于一些杂乱无章、彼此没有共同目的而合成的系统。

二、系统的特征

作为一个系统它具有如下五个特征：

1.集合性：是指系统是由两个以上相互区别的单元互相间有机结合起来完成某一功能的综合体。

2.相关性：是指系统内的单元是相互联系、相互作用有机的结合在一起。

3.目的性：是指要研究的任何系统，都是为了达到某一目的，而且往往不是单一的目的。

4.整体性：是指系统中单元间的关系要服从整体要求；单元与系统间也要服从整体要求，以整体观念来协调系统诸单元。

5.环境适应性：是指任何系统不可能孤立存在，它必定存在环境之中，因此，它必然与环境产生物质的能量的和信息的交换，必须适应环境的变化。

例如，把一个水利枢纽工程看作系统，它是由拦河坝、水电站和溢洪道等分项工程子系统集合而成；它们之间相互制约，而且水电站的二阶子系统如厂房、发电设备等直接控制水电站的运行，这就是所谓的相关性；修建水利枢纽是为了某种或某些目的，如发电、防洪与灌溉等，这就是系统的目的性；在水利枢纽正常运行中要保持整体状态最优，即总效益为最大；枢纽在运行中，始终要适应上游来水，下游用水，和供电多少等信息提出的要求，必须随时适应环境的变化。

三、系统的分类

概括地说，系统可分为三类：

1.自然系统与人造系统

所谓自然系统就是说它的组成单元是自然物，它的特点是自然形成的，如宇宙中太阳系等。人造系统是人为达到各种目的而建立的系统，它包括三种类型：一是由人们从加工自然物中获得系统，如工具、设备、工业工程系统；二是由一定的制度、组织、程序等所构成的管理和社会系统；三是根据人们对自然现象的认识而发现和建立起来的学科体系。实际上，大多数系统是自然系统与人造系统相结合的复合系统。我们所研究的对象，限在人造系统或经过人工改造的自然系统（即复合系统）。

2.开放系统和封闭系统

大部分系统为开放系统，也就是说它们将材料、能量或情报与其环境交换。若无任何形式的能量（如情报、资源）输入或输出，此系统便是封闭系统。开放系统则是我们研究的对象。

3.可适应系统和不可适应系统

能适应环境改变的系统称可适应系统，意即环境的改变或震荡所引起的反应（决策）便形成新的系统状态。经不起环境改变或震荡的系统为不适应系统，这种系统在所处的环境下是没有生命力的。

第二节 系统工程的概念

一、系统工程的概念

系统是指具有系统性质的某一种事物（物资、能量、生态、人、概念、法则、手续等

诸要素所构成)；而系统工程则是用系统理论的最优化方法去开发、创制出新的人们所必需的各种系统，或者对已有的系统进行改造，使之完全符合目的，更加合理，更加完善。系统工程也可以说是，在系统的开发、设计、制作、以至运用中所采用的思考方法、程序、各种优化方法体系的总和。

系统工程就是用近代的数学方法和工具，来研究和讨论一般系统的分析、规划、设计、组织、管理、评价等问题并使其达到整体最优的一门学科。

系统工程作为一种工程学，它与其他工程学的一些性质不同。其他各门工程学如水利工程、土木工程、机械工程等等都有特定的工程物质对象，而系统的对象则不限定在某个领域，而且它的对象还不只限于物质系统，如各种自然现象、生态的、人类的、企业的和社会组织、管理方法和程序等等也都可作为它的对象，它和研究各个对象的实践相结合，就形成各种各样的系统工程，诸如农业系统工程、水资源系统工程、环境系统工程、化工系统工程、科研系统工程、企业系统工程、军事系统工程、社会系统工程等等。

系统工程是综合应用各门科学、各门技术的综合性的一门科学技术体系。它不仅要应用数学、物理、化学等基础自然科学，还要用到其他工程技术、管理科学等学科，甚至医学、心理学、社会学、经济学等也能用到，它是在自动控制理论、运筹学、电子计算技术、经济管理科学、工程规划设计等门学科的基础上发展起来的一门边缘科学。

系统工程一词来源于美国。本世纪四十年代，美国贝尔电话公司在发展通讯网络中，为缩短从科学研制到投入应用的时间，认识到不能仅仅研究电话机和交换台等设备，更需要研究整个系统，于是按照时序，把工作分为规划、研究、发展、工程应用及通用工程等五个阶段，首先提出了系统工程一词。1945年以后美国兰德公司，采用系统分析的方法对军事作战行动进行了系统的研究，为系统工程广泛应用奠定了基础。

1957年哥德与麦克霍尔(H·Goode和R·E·Machol)二人合写第一本以“系统工程”命名的书。1958年1月美国海军完成了“PERT”技术，即“计划协调技术”用于北极星导弹核潜艇研制计划上，使北极星导弹提前两年完成。在这期间，美国国防部设置了系统分析部，麦克纳马拉任国防部长时提出“规划、计划、预算编制法”简称“PPRS”，用于统一国防力量，在他任职七年中节省军费开支达1000亿美元。

六十年代初，系统工程在科技、军事、教育各领域都得到了发展，并迅速地传到英国、日本、德国和苏联各国，同时也引进我国。从而引起世界各国学者对系统工程这门新学科的重视，给予极高评价，并开拓更广泛更深入地研究和探讨，使系统工程在国际上成为一门非常活跃的学科。

1972年阿波罗登月计划的成功，是系统工程的辉煌成就。这个计划从1961年到1972年，历时11年，参加研制的工程人员达42万人，2万多家公司和工厂与120所大学研究机构参加研制，使用600多台电子计算机，耗资达300多亿美元。由于采用了系统工程的方法，使计划按时完成。它主要成功之处，就是在整个计划的组织管理、技术实施过程中，采用了系统分析、网络分析技术等系统工程方法。

二、系统工程的定义

在基本了解了系统工程的概念的基础上，我们来讨论系统工程学的定义。由于系统工

程还是一门近代新的学科，尚处于继续发展的阶段，范围极其广泛，人们对它的涵义、范围等的认识尚不一致。总起来说，系统工程学是用系统论的观点、控制论的基础、信息论的理论、经济管理科学的实质、现代数学的最优化方法、电子计算机和其他有关工程学科的技术，综合渗透而成的一门综合性的管理工程技术。它的任务不仅仅是系统的最优规划、设计和最佳运行以及现代化组织管理的技术，而且是各个系统中未来技术的预测。

系统工程（System Engineering），顾名思义，就是研究系统的工程技术，它不是内容单一的技术，而是许多门工程技术的总称，它横跨了自然科学和社会科学。钱学森教授认为：“用定量化的系统方法处理大型复杂系统的问题，无论是系统的组织建立，还是系统的经营管理，都可以统一地看成是工程实践”。把服务于特定目的的各项工作的总体称为工程，如水利工程、电力工程、电子工程、土木工程等等。如果这个特定的目的是系统的组织建立或者是系统的经营管理，就可以统一看成是系统工程。

系统工程学就是研究从整体上达到最优设计，最优控制和最佳管理，从而最充分地发挥人力、物力、财力的潜力，使局部和整体之间的关系协调配合，以实现系统的综合最优化的一门科学。因此，系统工程着眼于整体的状态和过程，而不拘泥于局部的、个别的部分，它表现出系统最佳途径并不需要所有子系统都是最佳的特征。概括地说，系统工程是当代正在发展和完善的一门工程技术，它以系统为对象，把要研究和管理的事与物用概率、统计、运筹、模拟等方法，经分析、判断、推理等程序建立某种系统模型，进而采用最优化方法求得系统最佳结果，即经过工程过程使系统的各组成部分互相协调，互相配合，以获得技术上先进，经济上合理，运行中可靠，时间上最省。

三、系统工程的基本要素

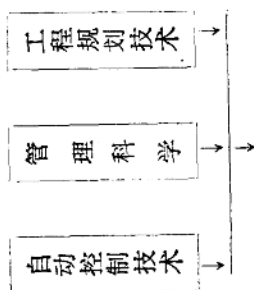
任何一个系统（包括子系统），都由六个要素组成。“人”是第一要素。其他五个要素分为物和事两类，物包括三个要素：物资（能源、原料、半成品、成品等）、设备（土木建筑、机电设备、工具仪表等）和财务（工资、流动资金、投资等），事包括两个要素：任务指标（上级下达的任务或与其他单位所订的合同）和信息（数据、图纸、报表、规章、决策等）。整个系统中各子系统之间的相互作用和相互依赖的关系，就凭这六个要素的流通而得以实现。

人、物资、设备、财务、任务和信息这六个要素，都不是自由存在的，都是受了各种各样的制约或约束的。系统工程首先要认识这种制约，并从而能动地求得在制约下的系统的最优运转。制约分为两大类，一是经济规律的约束，另一是技术条件的约束。违背了经济规律，必然受到惩罚，不按技术条件办事，也一定要失败。所以，两类约束是不可避免的，我们应该认真地对待这两种约束，在制约下求得总体最优是经营管理的一个重要概念，定量的决策则就需要系统工程来解决。系统工程实际上是各门组织管理技术的总称。

四、系统工程的基础理论

系统工程是由各门科学技术以及各种管理技术综合并系统化而形成的，一门应用技术和方法的科学。从近代科学看，它是由工程规划设计、管理科学和自动控制技术等门学科的纵深发展、互相渗透，在此基础上逐渐形成的一门独立学科。现在，系统工程为自然科学、工程技术工作者同社会科学工作者的合作，开展了广阔的前景。

表1-1 系统工程形成、内容、方法和基础理论



任务:	系统工程									
内容:	大规模复杂系统的最优设计和最佳运用									
方法:	大系统理论和系统工程方法论									
基础理论:	运筹学									
	数学规划									
	线性规划									
	非线性规划									
	动态规划									
	博弈论									
	决策论									
	排队论									
	搜索论									
	图论									
	网络理论									
	模糊数学									
	自动控制理论									
	模拟技术									
	电子计算机技术									
	可靠性理论									
	经济学									
	心理学									
	哲学									

系统工程实际应用的结果，要求系统的总体的规划和设计，达到最优设计或最优控制 and 最优组织管理。所以，系统工程学研究的主要内容仍然是模型化和最优化问题。模型化的表达形式除了数学方程式外，还可以用图或网络模型，它能形象地简洁地描述复杂结构的系统。

现将系统工程的形成、任务、内容、方法和基础理论列表如表1—1所示。

系统工程的内容和基础理论是非常广泛的，并且很多理论都是近年来发展起来的，其特点是横跨各个学科，相互渗透。因此，在处理任何一项较大规模的系统问题时，都必须由若干种不同的科学和技术以及相应的有关人员综合地解决。这样，就需要各种不同的专业人员共同配合、相互协调地进行工作，才能顺利地完成任务。因而，要从系统的整体最优着眼，能动地发挥各门科学技术人员的潜力。

第三节 系统工程在水利工程中的应用

系统工程在我国，由于客观条件和各种原因，应用尚未推广。过去，只有一些数学家做了一些工作，但也仅仅是系统工程的某些侧面。当前还处在引进、宣传和学习阶段，推广应用困难还是不少，有待于各级领导的支持和大家的努力。

我国开始搞运筹学是在1956年，但较大规模的开展工作是在1958年以后，当时，我国的数学工作者投入了相当力量，配合许多产业部门，为了更好地从经营、组织、管理方面来挖掘生产潜力，开始了运筹学的研究和应用，特别是山东省在1959年学习运筹学的热潮中，有几十万人参加了推广运用线性规划的工作。在交通运输、物资调拨、基建工程和各种工农业生产方面都取得了很大的成绩，并且还有力地推动着这门科学的发展，在应用和理论上都取得了一些成果。

六十年代初期华罗庚教授提出了统筹法和优选法，统筹法就是现在所说的关键路线法（CPM）和计划协调技术（PERT），在生产组织和管理中进行实践，推广和研究，如在大庆油田，黑龙江林业战线，山西太原铁路局、太钢、以及一些省市公社和大队的农业生产中，推广运用，取得良好效果。

1963年将计划协调技术（PERT）用于国防尖端项目的研制，并首先把电子计算机应用于计划，取得了成功，为在我国大型武器系统的研制管理中推广应用PERT作了开创性的尝试。

其实系统工程的思想，我国古已有之，如齐王与田忌赛马的故事，就是反映了朴素的系统工程学中博奕论的思想，又如宋真宗皇宫失火重修的故事，就是历史上著名的施工最优方案的例子。

我国四川省的都江堰水利工程是举世闻名的。这是公元前250年由李冰父子带领当地人民修建的。工程的目的是利用岷江的水开发灌溉川西平原。都江堰工程包括“鱼咀”分水工程，“飞沙堰”分洪排沙工程，“宝瓶口”引水工程三大主体工程 and 一百三十个附属渠堰工程，构成一个整体。工程之间的联系关系处理得恰到好处，形成一个协调运转的工程总体。这是一个用相当短的时间，用最合理的考虑，最简单的方式，最适合当地条件的优化的成功范例。这项工程，经过历代的改进和扩大，一直到现在还为人民造福，仍在发

挥巨大的效益作用，成为我国目前最大的水利灌溉区之一。这项工程的规划、设计、施工、管理的实践，从今天的科学水平来看，都是符合系统工程的思想，和近代科学技术的要求，甚至某些局部可以认为是现代的模式试验和计算方法所不能及，这项工程不仅是我国古代的伟大的水利工程，就按照现代系统工程的观点来看，这也是一项杰出的、完整的、大型工程建设系统工程，这就说明，在人类历史上，凡是人们成功地从事比较复杂的工程建设时，就已不自觉地运用了系统工程思想，而且这里面也自然孕育着理论，因此，也可以说，系统工程是人类千百年来生产同大自然斗争实践的理论总结。

系统工程这个名词，当前对于我们一些水利水电工程技术人员和管理人员来说，乍一听无不感到陌生、神秘、高深莫测。其实，许多同志已在不同程度上自觉或不自觉地应用它，只不过还没有达到高度的科学水平而已。例如，我们经常讲的统筹规划，综合利用问题，电力系统水火电的配合问题，梯级水库流域开发问题，防洪工程的调度问题，平原地区的旱洪涝碱综合治理问题，综合利用水库的库容分配问题，以及设计施工的多快好省问题……等等，其中许多参数规模和运用方式的决定及各种方案的比较选择，都是运用系统工程的概念。

水利工程中，特别是大型水利水电工程的规划、设计、施工、运行、都是一些规模庞大、结构复杂、影响因素众多的大系统。如果在这些工作中能够应用系统的观点和方法，而使目标达到最优，不仅大大提高管理水平，并使增产节约和加速工程建设有非常显著的效益。因为水利水电这个大系统，它涉及到国民经济许多部门的利益，流域开发工程的规划设计和运行中有水资源调节、防洪保护和水的利用等问题。其中每一问题都与地区工农业发展、社会经济、水文气象、环境生态等有关。对这样一个大的系统问题，要求定量的解决，不仅要收集并按一定格式处理大量可靠的多方面信息，还要有完善的数学处理方法和大容量的电子计算机。可见，水利水电系统问题的求解不仅要依靠数学，而且尚需与水利水电开发有关各专业（如水文、土壤、地质、环境生态、计划经济学、水利、水电、水运、供水、渔业等）的共同协作，这种多目标跨学科跨行业的大系统工程，它本身的组织和指挥，就需要系统工程思想和方法的指导。否则就会造成各持己见，争论不休，所谓反复研究、领导拍板，充其量也不过是集思广议的定性参考而已，是非后果往往有待于以后的实践作出结论，造成的教训为时晚矣！

国外自六十年代以来，系统工程在水利工程中逐步得到重视和推广应用，而且形成了水利工程方面的一个新的分支，称水资源系统工程。应用系统工程的方法来改进传统的水资源开发利用的思想和方法。就能增加水利规划中所研究的问题的深度和广度。水利水电系统规划设计管理方面的主要问题是经济合理地保证各种用水，需水单位在各时段对水质水量的要求，防止水污染和水的滥用并保持和改善水资源，联系地区的经济发展，考虑各部门对水资源利用的要求，防止洪水灾害，改善环境，结合国民经济发展计划，通过全面分析合理分配用水。解决水资源最优分配和利用问题，取决于多种因素，这里技术、经济、政治等条件和对情况的主观估计常混在一起，需要利用精确的科学方法，改善资料收集的原则和方法，以减少主观成份。拟定一些系统的数学描述方法和系统模拟，以及按各种准则估价资源利用的比较指标和优选方法。这样不仅可使规划管理考虑更多的因素，而且

可使规划管理本身建立在可靠的基础上。目前国外研究工作做得很多,应用比较成功。如美国哥伦比亚河的规划,旧金山海湾和三角洲的研究,加拿大安大略北部河流水电开发计划;波兰维斯杜拉河水资源的开发利用,埃及阿斯旺大坝发电和灌溉的有效利用;苏联水利土壤改良工程的自动经济计算等等。

当前,我国水资源的开发利用有很多问题需要研究。如南水北调工程东、西、中三线方案的合理选择问题,流域的梯级开发的各级规模和统一调度问题,水源不足地区如何解决地表水与地下水的配合使用问题,水火电系统的经济运用问题,以及环境生态保护问题等等。都应该用系统工程来解决。当然,解决这些问题,在系统分析和系统设计中牵涉到数学模型和模拟问题,多变量目标函数的极值问题,动态规划中与时间有关的多步决策问题,系统的分解综合求优问题,有关经济准则,约束条件的建立问题等等,都存在一定的困难,亟需领导重视,组织人员,大力开展水资源系统工程的研究工作,攻破难关,以求早日开花结果。

我国水利水电建设任务十分艰巨,目前规划、设计、施工和运行管理水平急待提高。

在水工建筑物设计中,传统的方法是根据经验选择建筑物尺寸,然后用模型实验和计算方法校核强度和稳定性,由于设计费时,只能作有限的几个方案,从中比较择优而已。另外,计算模型的选取能否真实反映实际也是问题,过去总是把空间问题简化为平面问题来处理,把多维简化为少维,把非线性问题简化为线性问题,把不均匀简化为均匀,把不连续的改为连续的,把动态的改为静态的。这些近似处理,无非是使问题简化好算一些。这就是既往的传统的结构计算处理问题的思路。

近二十多年来,由于电子计算技术的发展和运用,对科学技术的推动产生了深刻的变革,它使得水工建筑物计算的对象、理论、计算模型、数学工具都发生了很大的变化,从计算对象来说,现在可由一个建筑物整体来计算,即是杆系、板、壳和连续体各种构件的组合物。结构本来是组合的整体,过去是一件一件的分别来处理,现在则可以比较地按结构的本来面貌来研究。结构计算的基本理论虽早已建立了,平衡、连续、物理三者的统一产生了力法和变位法,还有各种能量原理和变分原理。过去由于来自计算工作的障碍,各种特殊的计算方法层出不穷。现在以电子计算等手段,结构计算的方法趋于统一,象以变位法为基础的直接刚度法和有限单元法,目前几乎成了统一的方法。结构计算使用的数学工具也有了很大的变化,以往杆系用线性代数,板壳和连续体用偏微分方程,现在计算机的工作是离散化的数值计算,如矩阵数学、循环迭代,逻辑判别都已成为有效的数学工具。

结构设计进入了系统工程的领域,突出的成就是关于结构设计的优化设计的理论与方法,设计要优化,这是长期以来人们的愿望,既往的结构设计优化理论和方法,主要是所谓准则设计,如等强度和满应力设计等感性准则,后又有满应变能设计的理性的和能量准则,现在数学规则进入了设计领域,从线性到非线性规划,从几何规划到动态规划,使结构优化设计的深度和广度都得到了发展,不只是考虑结构断面、强度、刚度问题,并且把结构外形布局、材料选择、工艺措施、施工条件、经济使用等各方面的综合因素,以求达到全面的多快好省的目的。当然,这方面目前还存在困难,国内外已有很多研究,正沿着不同的途径在探索前进。既往大家说结构计算分析困难,那么优化设计的难度就要更高出一个

量级。结构计算是就一个给定的结构方案，计算出各部分的应力、变形(包括静态和动态)和总体的承载能力以及结构的重量和造价等等。结构优化设计则是个逆问题，给定的是结构的一个理想目标，如要求结构重量最轻或材料最省或造价最低等等，则在应加限制的各种约束条件下，尽可能找出结构最优的方案。优化的要求有高低之别，目前还处于较低的要求寻求结构优化的途径，在实用上也已开始见到效果。

对水利工程施工来说，整个工程的施工组织管理是一个复杂的大系统，其中包括许多分系统，如土石方开挖系统，出碴运输系统，碎石料筛分系统，混凝土拌和系统，混凝土浇筑系统，土坝上料碾压系统，风、水、电供应系统，场内交通系统，附属企业系统，仓库系统等等。这么多的系统要达到统筹规划，计划协调，均衡生产，整体优化多快好省的目的，就需要应用系统工程的方法来进行管理，可以节省人力物力，提高效率，缩短工期，节约资金。

施工组织管理的基本目标是使工程达到优质、快速、经济施工，这三者并非孤立存在，而是相互联系。从系统工程的角度，要使三者之间最优的平衡和调整。网络计算技术中资源优化、时间费用优化，全面质量管理以及技术经济分析，价值分析，成本管理等方法，都是以工程的多快好省为目标而进行的科学管理方法。

在工程施工组织管理中，施工进度计划的制定，修改与实施是项重要的指导性的文件。既往的水利工程施工大部绘制直线型施工进度计划表(Gantt Chart)，这种表格能静态地表示各个施工环节的进度，但是不能清晰地表示各个环节之间的相互依存和制约关系。近年来，国外普遍采用网络分析来表达和分析施工过程，合理地组织管理整个工程施工，具体方法一般采用计划协调技术(PERT)和关键路线法(CPM)。国内统称为统筹法。这两种方法用网络图可以清晰地表示各施工环节间的先后程序、相互关系及完成时间等主要因素，并可从中找出“主要矛盾线”，使我们排除了平均使用力量对各个活动的安排，而是从总体上着眼，从主要矛盾上抢时间，从次要矛盾上挖潜力，在整体上达到优化要求，供工程的指挥或管理人员进行控制调度监督实施，其他分系统也可以用同样的方法进行递阶分析，绘出分系统的管理人员作出决策，PERT是着重于随机变量不肯定型工序活动的分析研究，CPM还可以降低成本，时间费用优化进行分析。也就是包括了经济核算的内容。

水利工程施工另一个重要内容是施工场地总体布置。可以用系统分析的方法使布置尽量合理，减少相互干扰，节约人力物力。例如土石方开挖面的布置，挖掘机械与运输车辆的配置，混凝土骨料的配备，拌和楼的布置，混凝土浇筑系统的配置，可用数学规划方法来确定。

此外，在管理手段上，当各项原则和措施确定以后，就可应用电子计算机来进行日常的施工管理，可以处理日常的施工进度，材料消耗、劳力安排、机械效率、质量检查等方面大量的数据，作为控制调度和拟制下一阶段施工计划的依据，供管理和计划人员参考实施。

在水利工程的运行管理方面同样可以应用系统工程的方法，例如水库的调度，水电站的合理运行方式，大型泵站的联合运行，灌区的合理供水等等，都可应用数学中运筹学的

方法进行分析,也可以应用模拟理论在电子计算机上模拟进行研究,以求得出最优运用方式,合理的运行方式可使水库的防洪效益扩大,水电站的出力增加,灌溉用水经济,不仅维护了工程建筑物的使用期限,并保证了人民生命财产的安全,这些运用管理范畴中的问题,从系统工程的角度来看,也可以与前面所说的水利规划合在一起,称为水资源系统工程。

综上所述,系统工程的应用非常广泛,为加速我国水利水电建设,提高规划,设计,施工和运行管理水平,必须推广系统工程。当前需要注意几个问题:

1、领导重视。领导要认识到系统工程的优越性和必要性。系统工程是提供领导做出适当决策的最好参谋,是领导实现现代化管理的必要助手。

2、要具备正常的生产秩序和必要的规章制度、合理的技术定额和质量控制。

3、系统工程的推广有赖于电子计算机的普及。特别是复杂的大系统,电子计算机是不可缺少的工具。但对于小系统和一些具体的局部问题,如没有计算机同样可以应用系统工程的优化计算方法,更重要的是系统工程的基本观点。

4、系统工程人才的培养和这门科学知识的普及和具体应用的研究。

第二章 线性规划

规划论是运筹学的重要分支,它包括静态规划(Static Programming)与动态规划(Dynamic Programming),静态规划又分为线性规划(Linear Programming),非线性规划(Non linear Programming)和整数规划(Integer Programming)。

运筹学是研究怎样合理运用资源,以及怎么筹划和安排生产的一门应用数学,它能够帮助我们在规定的条件和要求下,在复杂的数量关系中,找出最合理、最有效的方案。运筹学包括很多分支,如规划论、决策论、存储论、排队论、对策论等,但随着实践应用的发展,逐步增加新的内容,如安排生产计划的网络计划技术、全面质量管理等,也有列入运筹学范围的。其中规划论是目前发展较快、应用较广的一个分支,它研究的问题主要有两类:一类是确定了一项任务,研究怎样精打细算,使用最少的人力、物力去完成这一任务;另一类是已有一定数量的人力和物力,研究怎样合理安排,使它们发挥最大限度的作用,从而完成最多的任务。简单的一句话,就是怎样寻求最优的问题。

线性规划所考虑的问题,就是如何用可能的最简单方法,在各种相互关联的多变量线性约束条件下,去解决或规划一个对象的线性目标函数最优的问题。所以,线性规划的数学模型,也就是在满足一组等式或不等式约束条件的情况下,求目标函数的极值(最大或最小)。由于目标函数与约束条件都是线性方程(所谓线性方程其变量是一次式,图象是直线的),所以称为线性规划。

现在,线性规划在工业、农业、运输、军事等方面都有应用,水利建设也不例外。例如在水质管理、水库运行、坝体尺寸、水库容积和运行策略以及水火电混合系统的有关问题等方面都曾应用过。结构设计中用以进行结构的塑性极限分析和进行重量最轻或用料最