

水利工程 系统分析方法

水利电力出版社

水利土木工程 系统分析方法

林 延 江	陆 昌 甫
朱 光 熙	林 翔 岳
孙 锡 衡	吴 之 明

水利电力出版社

内 容 提 要

本书共分十二章, 内容包括: 概论、经济计算方法、线性规划、整数规划、非线性规划、动态规划、图及网络理论、网络计划技术、决策论、存储论、排队论和数字模拟技术。书末附录列有若干计算用表。

本书可作为水利、土木、交通类高等院校的“系统分析”和“管理工程”课程的教学参考书, 也可供科技、生产单位的技术、经济和管理干部培训和自学用。

2004/10

水利土木工程 系 统 分 析 方 法

林延江 陆昌甫 朱光照
林翔岳 孙锡衡 吴之明

*

水利电力出版社出版

(北京德胜门外六铺炕)

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

水利电力印刷厂印刷

*

787×1092毫米 16开本 28.75 印张 657千字

1983年4月第一版 1983年4月北京第一次印刷

印数0001—5820册 定价2.95元

书号15143·5052

前 言

系统分析是当代新兴的和被广泛应用的一门技术科学。它把要研究和管理的事物系统编排成某种数学模型，然后通过运筹、模拟等方法，在指定约束条件下进行优化，从而为决策提供科学的、定量的依据。这对于提高各项经济建设的科学管理水平，具有十分重要的意义。在水利水电和土建工程的规划、设计、施工和运行的各个阶段，推广应用系统分析的理论和方法，将会取得显著的经济效果。希望本书能在推进系统分析方法在水利、土建上的应用方面有所裨益。

为便于工程技术人员学习应用这门新技术，本书在内容上力求浅显易懂，而不过分追求严密的数学论证，并在例题中尽量结合水利、土木等工程的实际问题。全书共分十二章。第一章介绍系统工程及系统的基本概念；第二章介绍经济计算的基本方法；第三章到第十二章着重论述各种数学优化方法及其应用，包括线性规划、整数规划、非线性规划、动态规划、图论、网络计划技术、决策论、存储论、排队论、数字模拟技术等。

本书可作为水利、土建、交通类高等院校的“系统分析”和“管理工程”课程的教材和教学参考用书，也可供生产单位技术、经济和管理干部培训和自学之用。

在原水利部基建总局举办的系统工程学习班上，曾由天津大学、清华大学两校水利系分别编写了教材，并在两校的水利系进行过讲授。这次受中国水利经济研究会所属水利经济培训教材编辑组的委托，又在原有教材的基础上加以修订补充而成本书。参加本书编写的有：天津大学水利系林延江（经济计算方法和线性规划），朱光熙（概论、图及网络理论），孙锡衡（网络计划技术和存储论），清华大学水利系陆昌甫（非线性规划和排队论），林翔岳（动态规划和决策论），吴之明（整数规划和数字模拟技术）。本书承水利经济培训教材编辑组叶永毅、陈家琦和两校有关同志提供编写或修改的宝贵意见，并由水利水电科学研究院范乐年博士加以详细审阅，在此一并表示衷心的感谢。

由于系统工程这门学科涉及的范围广泛，国内在水利、土建方面的应用资料尚少，加以我们的理论水平和实践经验有限，书中一定会存在不少缺点和错误，敬希读者批评指正。

编 者

一九八二年七月

目 录

前 言

第一章 概论	1
第一节 系统及系统工程	1
第二节 系统工程的程序和方法	3
第三节 系统的模型	4
第二章 经济计算方法	6
第一节 技术经济分析	6
第二节 资金的时间价值	8
第三节 经济比较的计算方法	14
第三章 线性规划	23
第一节 应用问题和数学模式	23
第二节 图解法	26
第三节 单纯形法	31
第四节 改进单纯形法	48
第五节 对偶问题	54
第六节 运输问题	61
第七节 指派问题	80
第四章 整数规划	89
第一节 数学模式	89
第二节 圆整法	90
第三节 割平面法	91
第四节 分枝与估界方法	101
第五节 隐枚举法	108
第六节 整数规划解法小结	112
第七节 整数规划应用示例	113
第五章 非线性规划	121
第一节 概述	121
第二节 单变量函数的最优化	129
第三节 无约束条件下多变量函数的最优化	133
第四节 等式约束下多变量函数的最优化	153
第五节 不等式约束下多变量函数的最优化	160
第六章 动态规划	174

第一节	概述	174
第二节	动态规划的基本原理和方法	175
第三节	生产调度问题	180
第四节	资源分配问题	188
第五节	用动态规划进行结构优化设计	193
第六节	随机性问题的动态规划	198
第七章	图及网络理论	216
第一节	图与网络的基本概念	216
第二节	图的矩阵表示	224
第三节	最短路线问题	234
第四节	网络最大流问题	240
第五节	网络的线性变换与对偶网络	250
第六节	最小费用流问题	252
第七节	用网络理论求解指派问题	260
第八章	网络计划技术	265
第一节	关键路线法网络计划的编制及时间计算	265
第二节	网络计划的时间-资源优化	284
第三节	网络计划的时间-费用优化	294
第四节	计划协调技术	306
第五节	搭接网络计划技术	312
第九章	决策论	322
第一节	概述	322
第二节	非确定型决策问题的分析	324
第三节	统计型决策问题	326
第四节	有预报信息的贝叶斯决策过程	331
第五节	信息的价值分析	338
第六节	灵敏度分析	339
第十章	存储论	342
第一节	存储问题的基本概念	342
第二节	确定性存储问题	343
第三节	变需求量的存储问题	350
第四节	随机性存储问题	355
第十一章	排队论	367
第一节	概述	367
第二节	到达方式与服务时间	368
第三节	普阿松到达、指数服务的排队系统	372
第四节	其它类型的排队系统	394

第十二章 数字模拟技术	400
第一节 数字模拟的概念	400
第二节 模拟抽样 (Simulated Sampling)	403
第三节 设备备用问题的模拟	407
第四节 存储问题的模拟	412
第五节 排队系统的模拟	414
第六节 计划协调技术网络模拟	416
第七节 随机网络模拟技术	418
第八节 数字模拟的模型结构和模拟步骤	423
第九节 模拟技术小结	426
附录 A 复利因子表	430
附录 B 标准正态分布表	442
附录 C 普阿松概率	444
附录 D 普阿松到达指数服务的忙期概率	449
附录 E 随机数表	454

第一章 概 论

第一节 系统及系统工程

系统工程是一门新兴的高度综合的科学，近年来得到了迅速地发展。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引导人们去揭示事物本身的内在规律并寻求问题的最好解决办法，因此它能够卓有成效地解决许多复杂的问题。近年来，我国许多部门都在大力开展系统工程的研究和应用工作，这对我国的四化建设具有重要意义。

一、系统的概念和特征

研究系统工程，首先要搞清系统的确切含义。这里所说的系统是指：由若干个可以相互区别、而又相互联系和相互作用的组成部分（单元）结合而成；且处于一定环境中的具有特定功能的有机整体。符合上述定义的就称为一个系统。对于一个复杂的研究对象，我们可以把它作为一个系统来看待。

组成系统的各个单元间的上、下、左、右是相互联系的，而一个系统本身又是它所从属的一个更大系统的组成部分。组成一个更大系统的许多系统称为子系统，各子系统之间又是上、下、左、右相互联系的。系统的这种结构性质称为系统的层次结构。

系统可划分为自然系统、人工系统……等。在系统工程中所研究的对象限于人工系统或是经过改造的自然系统。

作为一系统，它应具备下述五个特征：

- （1）集合性：系统起码是由两个或两个以上的可以相互区别的单元组成。
- （2）相关性：组成系统的单元是相互联系、相互作用的。相关性说明单元之间的关系。若只有单元，而单元之间不发生任何关系，则它们不能组成为系统。例如一个防洪、发电和灌溉的水利枢纽工程，它包括水库、发电站、灌溉引水渠系及溢洪道等部分。如果这个水利系统在运行时各个组成部分互不关联，各自为政，那么它们就不能组成为互相协调的系统，起码是这个水利工程不能充分发挥它的应有效益。
- （3）目的性：在人工系统中，通常系统都是有目的性的，而且往往还不是单一的目的。这个目的性，也就是具体的定量目标。例如建造一个灌溉工程，它的目标可能是在确定的灌溉指标情况下所需投资最少，或者是在一定的投资情况下使获得的灌溉效益最大等等。

(4) 整体性: 系统是由若干个单元组成的, 每个单元都具有独立的功能, 具有独立功能的单元以及单元之间的相互联系只能是逻辑地统一和协调于系统的整体之中, 才能发挥系统的整体功能。这就是说, 任何一个单元不能离开系统整体去研究; 单元间的联系和作用也不能脱离整体的协调去考虑。整体性是系统工程的重要观点, 只有系统的单元协调得好才构成良好的系统。

(5) 环境适应性: 任何一个系统都存在于一定的物质环境(更大的系统)之中, 因此它必然要与外部环境产生物质的、能量的和信息的交换, 即适应外部环境的变化。能够经常与外部环境保持最佳适应状态的系统, 才是理想的系统。不能适应环境变化的系统是缺乏生命力的。

系统工程所以能解决很多问题, 并取得惊人的效果, 最基本的东西恰恰是寓于上述五个特征之中的。因为按照这五个特征建立的系统是合理的、完整的、科学的。通过目的性分析, 以解决系统有无存在的价值, 从而明确了系统的功能。集合性和相关性分析在于决定系统的合理组成部分并建立系统组成部分之间的合理关系, 从而解决系统结构的合理性问题。而整体性和环境适应性分析是解决系统内部的协调和系统与外部的协调问题。显然, 按照这样的观点和方法来观察、分析、解决问题是全面的、科学的, 可以避免许多失误。

系统都有输入与输出。输入、输出以及在系统中流动的有物质流、能流、信息流。从组织、管理、控制的角度看来, 更要着重研究信息流, 研究信息的搜集、整理、分析、保存和利用等问题。信息“反馈”不仅是控制系统的一种重要概念和手段, 在规划设计和组织管理过程中, 也要通过“反馈”来了解已布置的工作的执行情况, 以确定下一步的策略。

二、系统的概念

系统是指具有系统特征的某一种事物, 而系统工程则是把研究对象作为系统来看待, 用系统理论的最优化方法去开发、创制人们所需要的各种系统, 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。

系统工程学与一般工程学(机械、土木、水利等)具有不同的性质, 主要表现在下述几点: ①一般工程学有自己的特定的物质的对象, 而系统工程则不限于某一特定的物质的对象, 对于各种自然现象, 生态的、人类的、企业和社会的组织, 管理方法和程序等也都可以作为它的研究对象。②系统工程学具有多学科综合性的特点, 它不仅应用数学、物理、化学等基础科学知识, 而且也要用到其它工程技术、管理科学、经济学、社会学, 甚至医学、心理学、生态学等知识。③一般工程学多着眼于技术的合理性, 如性能、结构、效率等, 而系统工程学则从总体的最优出发, 侧重考虑功能、规划、组成、协调、效果等组织管理和控制性质之类的问题。

系统工程主要包括三个方面: ①它有一套独特的思考方法, 即系统分析或系统方法。这就是在前述的系统概念、系统的基本组成和特征的基础上, 将对象作为系统来考虑进行分析、设计、建造和运用的方法。②它有一套解决问题的程序体系, 即在解决一个具体项

目时，它要求把项目分成几大步骤，而每个步骤又按一定的程序来展开，使系统思想在每个部分、每个环节均能体现出来。③它有一套最优化方法。当把一个问题按照程序展开到具体明确的环节时，主要应用运筹学或者其它科学技术设法构造问题的数学模型并进行优化，使问题得到较好的解决。因此从这个意义上可以说，系统工程是在系统的开发、设计、建造和运用中所需的思想、理论技术和方法等体系化的总称。

目前关于系统工程这样的学科体系的定义和范围，国内外都还没有统一的看法。这一方面是由于系统工程的理论和方法，是在工程规划设计、管理、控制这三门学科向纵深发展，相互渗透，产生了一些共同性的问题需要解决的形势下发展起来的。来自不同领域的各国学者，从各自的背景和不同的角度观点，对系统工程自然会有不同的理解；另一方面是因为系统工程要综合运用新的科学理论与方法，尚处在继续发展的阶段，所以对于涵义、范围等很难划清界限，取得一致。

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，因此系统的最优化并不要求所有子系统都有最佳的特征。系统工程包含着深刻的社会性，涉及到组织、策略、管理、教育等某些上层因素，因而所研究的一些基本关系往往不能简单地用数学公式来表示，而着重于概念或原则的表达，这些概念或原则再进一步为各种科学方法所确定。概括地说，系统工程是当代正在发展和逐步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、推理等程序建立起某种系统模型，进而采用最优化方法求得系统的最佳化结果，即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，时间上最省的系统。

第二节 系统工程的程序和方法

一个系统从开始建立到成功地投入使用，按时间顺序开展可分为下述几个阶段：①系统的开发阶段；②系统的建造阶段；③系统的运行阶段；④系统的更新阶段。

在上述每个阶段中，用系统工程来研究问题时都要按一定的程序（步骤）来进行，一般可分成下述几个步骤：

（1）问题的阐述：全面收集有关要解决问题的历史和现状的资料，搞清问题的所在。

（2）选择评价目标：确定具体的评价系统功能的目标（指标），作为衡量系统是否达到目的的标准。

（3）系统综合：按照问题的性质及总的功能要求，提出一组可能的系统方案，在方案中要明确系统的结构和相应的参数。这些方案应是可行的，即技术上能达到，资源有保证，设备能力可提供等等。

（4）系统分析：对众多的备选系统方案进行分析比较，一般利用模型来代替真实系统，通过建立系统的模型把这些方案与系统的评价目标联系起来，然后用数学方法或用数字模拟的方法找出最优解答，即最优化。

(5) 决策: 根据系统分析的结果进行决策, 选定最优的系统方案付之具体实施。有时最优方案可能有好几个, 或者除了定量目标外还要考虑一些定性目标(涉及一些人和社会因素), 这时须由决策机构衡量全面要求, 最后选择一个或几个方案来试用。

以上这些步骤, 其先后顺序并非严格依次进行的, 往往是反复穿插进行的。有些作者把上述系统工程研究问题的步骤概括为: “分析、评价、综合”的方法, 称为系统工程的基本方法。这里所谓分析, 是为了使研究对象的目的和其他事项最优地实现, 对系统的构成和行动的最佳方式进行探讨。在分析时, 运用各种分析方法对研究对象的要求和功能进行分析, 从而明确系统的特性, 取得为构成系统所需要的资料。在分析中将每次分析结果同制订的评价标准作比较, 同时考虑约束条件等环境影响, 如果达不到最优程度就重复分析过程; 如果分析的结果经过评价认为合适, 就转入综合过程。所谓综合, 是根据分析的结果所明确的特定解和评价的结果, 确定系统的构成和行动方式, 作为系统的设计。在研究问题时, 应尽可能作出若干个系统设计的供选方案, 通过分析将各个方案的结果同制订的评价标准作比较, 然后以不同的观点进行综合评价, 以选出最优的系统设计方案。如果认为仍有改进的余地时, 就重复上述分析、评价、综合过程, 直到达到最优为止。由此看来, 所谓系统工程的基本方法和上述系统工程研究问题的步骤, 实质上是相同的。

从以上所述可以看出, 系统分析是系统工程的核心和基础。系统分析要解决的问题包括: 系统目标的确定, 建立系统的模型, 分析对比各方案的数量、质量指标, 综合分析或通过模拟试验确定最优方案等。在这些问题中重要的是用数学的工具来描述系统的内部和内外关系及其变化规律, 以建立系统的模型, 并应用运筹学的最优化方法求解系统模型, 寻求问题的最优解。这正是系统工程研究问题与常规方法不同之处, 也是系统工程的主要特点。

第三节 系统的模型

模型(model)或物理模型是对实际事物的一种描述, 或者说是现实的一个代表(表示)。我们经常遇到的一种模型是形象模型(Iconic model), 例如水工试验中坝体模型和结构试验中一个钢筋混凝土梁的模型, 它们是把实物的尺寸按比例缩小后的表示。这种模型与实物直观上是相似的, 所以很容易被人们所理解。在系统工程中经常采用的是数学模型(Mathematical model), 它是用数学符号、数字等来体现系统的变量(因素), 用数学表达式或者图的几何形式来表达系统内部关系、内外关系及其变化规律的。由于数学模型的形式和它所描述的实际系统从外观上看毫无相似之处, 所以不容易被人们从直观上所理解, 但实质上它是对实际系统某些规律的一种表示, 因而也称之为模型。

用系统工程研究问题时, 由于所研究的对象太大, 或者因其太复杂往往无法直接分析和试验, 故一般利用模型来代替真实系统, 通过对模型的分析求得问题的解决。同时由于模型比现实容易操作, 建立系统的数学模型后, 只要改变模型中的某些参数值就可计算出系统的某种结果来, 这比在真实系统中进行试验要容易得多。另外通过建立系统的模型可以对影响系统的主要因素了解得更清楚。

利用模型代替真实系统进行分析,要求模型能真实反映现实,否则所得的结果便不正确。但模型又不能搞得过于复杂,如果面面俱到甚至把模型搞得和实际情况完全一样,那就难以控制,也失去了利用模型的意义。因此建立系统模型时要抓住主要的本质的因素,使得模型既反映实际又较实际为简单。当然要达到这个要求是很不容易的,一方面需要掌握大量资料,还需要具有广泛的知识。

在系统工程和运筹学中,系统的模型一般具有下述的表达形式:

$$\text{目标函数: } \text{opt: } U=f(X, Y)$$

$$\text{约束条件: } g(X, Y)=0$$

$$X_a \leq X \leq X_b$$

其中 U 是描述系统功能或目标的值; $X=(x_1, x_2, \dots, x_n)$ 是一组可控变量,即控制 X 的值可以相应得到系统组成单元之间的某种协调状态,当然它对系统的功能有影响; $Y=(y_1, y_2, \dots, y_m)$ 是一组不可控的参数,即在某种特定的情况下系统运行的特定参数(基本上是外界因素)。 X_a 、 X_b 是 X 取值的上下界限。

上述系统数学模型中,目标函数 $\text{opt: } U=f(X, Y)$ 是规定系统应达到的目的,一般表达为技术效果(如强度或出力最大)和经济效果(如利润最大或费用最小)。其中“opt”代表取最优值,取最大值时写 Max ,取最小值时写 Min 。约束条件是规定变量 X 所在领域的限制,主要表现为系统环境的限制,如尺寸范围、强度范围、资源的限制、产量的限制和时间的限制等。

系统数学模型的优化求解,就是在约束条件的限制下使目标函数值 U 达到最大或最小,此时相应的可控变量 X 值就是系统的最优解。

建立系统的模型是一种创造性劳动,需要对所研究的问题有周密的了解和具有广泛的知识。本书以后各章将分别针对各种具体问题介绍系统模型和各种优化方法及其应用。

参 考 文 献

- [1] 钱学森、许国志、王寿云:《组织管理的技术——系统工程》,文汇报,1978年9月27日。
- [2] 钱千山编译:《工程系统设计与规划》,香港新兴图书公司,1979年。
- [3] 沈泰昌、谷宝贵、谢秉兰编著:《系统工程基础》国防工业出版社,1981年。

第二章 经济计算方法

第一节 技术经济分析

一个建设项目的规划、设计、施工以及经营管理，往往在技术上有多种方案。究竟哪一个方案好呢？随着科学技术的发展，新技术、新装备不断地出现，要求我们回答它在经济上究竟有多少好处。这就需要从技术上、经济上以及其他方面进行全面的分析和评价，论证它的技术可行性和经济效益。这项工作，我国叫做技术经济分析。在国外叫做决策分析或工程经济分析。此外，如可行性研究、系统分析等也需要有经济分析的工作。

无论它的名称如何，它们的主要任务基本上都是研究各种技术方案经济效果评价的共同理论和方法。经济效果最优，就是以最少的资源消耗取得同样的效果，或者以同样的资源消耗取得最大的效果。通俗来说，经济效果是反映人们在实践活动中所得同所费的比例关系，费多得少，经济效果就不好；费少得多，经济效果就好。

技术经济分析的目的是评价经济效果的大小，这里就有一个评价标准问题。评价标准就是据以评论经济效果的客观尺度，需要建立一系列的经济指标体系去分析衡量技术方案的效果，对不同的方案进行对比、分析和预测，评价才可能完整全面，从多方案的比较中选择最优方案，为决策提供依据。评价可以形成决策，但评价不等于决策。

为了全面和正确地反映各个技术方案的相对经济性，必须使各方案具有技术经济比较的基础，即使它们具有一定的可比性。如每个方案效果大小的估算，类别上的不同要换算成等价的可比单位，惯例是以货币单位来表示。但是有些问题是不能以货币单位来表示的，如生命、健康、一些稀缺珍贵的生物、风景文物古迹等所谓无形价值，则需另行评价。技术方案进行经济效果比较时，须具备以下几个可比性：

1. 满足需要上的可比

任何技术方案最主要的目的是为了满足不同方面的需要，例如水力发电工程是为了电力供应的需要；农田水利工程是为了满足农业增产的需要；建筑工业是为了满足各种房屋建设的需要等等。因此从技术经济观点来看，两个方案比较时，都必须满足社会上相同的需要，否则，它们之间就不能互相代替，就不能互相进行比较。

有一些技术方案由于它们本身生产特点的关系，能够满足多方面的需要，属于综合利用方案。例如水利枢纽的开发方案能够满足电能、航运、灌溉、防洪、水产和供水的需要；热电站方案能够满足电能和热能的需要；木材综合利用方案能够满足建筑、轻工和化工产品的需要等等。用这些综合利用方案直接去和只能满足某一方面需要的技术方案比较，它们之间不可比，为了符合产量可比条件，必须将综合利用方案和满足相同需要的联合技术

方案进行比较。

有些技术方案，除了直接生产产品以外，有时还间接地影响其他部门产量的增加或减少。例如水利枢纽开发方案除了直接产生综合效益以外，有时由于土壤盐碱化而引起附近地区农作物产量的减少。为了方案的互相可比，必须采取措施使它们各方面的产量都互相等。把水利枢纽开发方案和为了补足被减少的农业产量的增产方案联合起来，组成联合方案，然后进行比较。

产品的质量（使用性能）可比和产品的产量可比完全一样，都应该根据满足相同的社会需要的原则进行考虑。若有不同，在技术经济比较计算中要做相应的校正，使比较方案都具有相同的使用价值，满足相同的社会需要。

2. 消耗费用的可比

每个技术方案的具体实现都要消耗一定的社会劳动和费用。为了使各个技术方案能够正确地进行经济效果的比较，各个技术方案的消耗费用应该从整个社会总的全部消耗的观点出发，而不是只从个别环节个别部门的消耗费用考虑。消耗费用中既包括技术方案本身的消耗费用，同时又包括和方案直接有关部门（如原材料、燃料、动力生产及其运输部门）的各种消耗费用，以及与方案密切有关的其他方面的消耗费用。如基建投资费用，一般没有包括勘测、设计、科研费，而不同的技术方案的勘测设计科研消耗的费用是不同的。

3. 价格指标的可比

在社会主义制度下，价值规律还起着一定的作用。在计算比较方案的经济效果时，需要利用价格指标，如果对于不同的比较方案采用的价格指标不一致，不合理，那么，方案比较的结果就不可能正确。所以，价格指标上的可比在技术方案经济比较中必须予以重视。

价格指标合理与否，应当满足经济学的价格条件。即技术方案消耗的各种产品的价格，必须符合单位产品所需的社会全部消耗费用的“价格条件”，或称“计算价格”。然而，目前由于社会产品的价值量还很难正确计算。现行价格一般是由国家根据价格政策制订的。国家制订价格不仅考虑了生产的成本和一定的利润率，同时考虑了供求关系以及支援农业、支援少数民族和历史条件等因素。因此现行价格和“计算价格”有时有一定差额。在这种情况下，为了技术经济计算的需要，可以不采用现行的价格，而采用“计算价格”，否则就难以比较两个不同技术方案经济效果的大小，换句话说，它们之间不可比。

4. 时间的可比性

首先，不同技术方案的经济比较应该采用相同的计算期（或叫计算年限）作为比较的基础。计算期可按经济年限、设备年限、建筑物使用年限等分别考虑。

其次，不同方案由于受技术、经济等各种条件的限制、因而在资源消耗和发挥效益的时间上是有差别的。时间的不同对整个国民经济的作用就不一样。早投产就能为国家早发挥效益，为国家多创造财富；早占用投资就意味着早消耗国家的财富，积压国家的资金，对国家经济损失就大；服务年限长，为国家所创造的产值（社会产品）就多。技术方案的时间因素关系着对整个国民经济所引起的经济影响的大小，所以在经济效果比较中必须考

虑时间可比性，这具有很重要的意义。

在水利工程技术方案经济比较中，应满足以下几个比较条件：①满足各种需要的经济效益论证，以确定防洪、灌溉、发电、航运、水产、给水、卫生、旅游等在综合效益开发中的合理比重，从而求得最优的建设规模与调度方式；②全面比较实施工程技术方案的消耗，既要计算工程所需直接投资，又要计算有关社会消耗；③用统一的科学的“计算价格”作为指标，使经济比较结果能够接近客观实际，防止由于价格政策或计算指标不统一所造成的假象；④用统一时间标准，计算抵偿年限，并且要考虑和计算利息；⑤全面比较建设中的施工和投产后经营管理的技术力量，预测能够实现的经济效果。

这样客观地进行经济比较，以达到最优的技术经济效果的目的。但以往在评价水利工程的经济效益时，只在使用价值上论证，而对每立方米水的成本和可能带来的各种效益，在计算上极其粗略，没有明确的直接效益、间接效益和社会效益的概念，没有完整的经济核算体系，因此水利工程的经济效益往往不能全面地反映出来。

评价经济效果的指标和分析方法有很多种，大体上可以分为静态和动态的两类。

静态的指标和分析方法主要有：①单位产品投资；②投资回收期（抵偿年限）；③投资效果系数（投资收益率）等等。

动态的分析方法主要有：①现值法；②年等值法；③回收率法；④效益成本比法等。

所谓静态分析方法，即在分析计算时没有考虑资金的时间价值，因而不能全面地反映投资效果的真实面貌。但是，静态分析计算比较简单，这些指标目前仍然有用，并且是重要的指标。动态分析方法的最大优点是考虑了资金的时间价值，能够比较全面地反映投资在企业服务年限内的整个经济效果。

任何技术方案有无生命力，关键在于它的技术经济效果。技术先进必须与经济合理求得统一，才能获得发展。技术经济工作的目的是为了取得最好的经济效果。

第二节 资金的时间价值

资金的时间价值指的是资金在未来某一定时间的总额与现有值是不一样的。即今天的1元钱不同于明天的1元钱，举例来说：假定有资金1万元，年利率为10%，则年息为1000元，月息为83元，每天为2.74元，折算成每小时为0.114元。若10000元资金放着不用，1小时损失0.114元，1天损失2.74元。

1元钱放着不用，就牺牲了当时使用这1元钱的权利，按牺牲时间计算的这种牺牲的代价就叫做时间价值。

反过来说，1元钱拿去用了，以将来较多的所得弥补现在较少的所失的超额价值，就是时间价值。

时间价值一般可用%表示，通常指的是利率，但不一定是银行的存款或贷款的利率，从资金投资效果的角度，应该指的是各个部门的资金效果系数。

资金时间价值的具体计算方法，基本上有两种：单利法和复利法。

单利法是利息与贷款时间成正比，每一个时间支付的利息等于贷款额乘以利率。利息

的总额等于每期支付的利息乘以时间期限的倍数。计算式如下:

$$F = P(1 + in) \quad (2-1)$$

式中 F 为资金的期末值; P 为资金的现值; i 为某一规定周期(月、季、年)的利率; n 为计算利息周期的期数。

复利法是每年的利息要按年初的总款额结算总款, 包括原贷款和未能催还的利息。这样逐年累积, 重复计算利息。其表达式为:

$$F = P(1 + i)^n \quad (2-2)$$

这个公式是假定 n 时期内, 利率是固定不变的。

现举一个简单的数例, 说明单利和复利的差别, 如借款10000元, 年息率为0.1, 求10年后归还总金额?

按单利法计算, 应用式(2-1):

$$F = P(1 + in) = 10000 \times (1 + 0.1 \times 10) = 20000 \text{ (元)}$$

按复利法计算, 应用式(2-2):

$$F = P(1 + i)^n = 10000(1 + 0.1)^{10} = 25937 \text{ (元)}$$

显然, 单利和复利计算有较大差别。受贷款单位应熟悉利息的计算、计息的期限和利率, 特别要弄清楚利率的计算时间, 要知道月息1%按月计算和年息1%按年计算之间相差极大。

在资金或投资的计算中, 国外现在很少用单利法, 一般都按复利法计算。我国基建投资过去都由国家统一拨款, 不计算利息。但不论计算利息与否, 资金是有时间价值概念的。从两种计算方法来看, 复利法比较符合客观的经济情况。如果国家在经济建设中投入了100万元资金, 为国家创造了10万元的纯收入, 这10万元纯收入明年不可能闲置起来, 还是要投到经济建设中去, 这样又创造了一定的纯收入, 如此循环下去。这也就是不断地扩大再生产的过程。单利法是假定每年所创造的新财富(纯收入)不再投入到经济建设中去, 这是一种静止的看问题的方法, 所以它不大符合客观的经济发展规律。当然, 在期限不长(小于5年)利率不高的情况下, 采用单利法和复利法, 其结果相差不多。

上述方法和计算公式是基本的, 但在实际应用中, 多是用复利法计算公式推演出来的两类共六个计算因子, 即

(1) 一次整付方式: ①复利本息; ②现值换算。

(2) 分期等值支付: ①复利本息; ②累积资金; ③资金回收; ④现值换算。

现将这六个复利因子计算公式和缩写代号列如表2-1。

表2-1所列计算公式的有关因子部分都是利率 i 和支付周期数 n 的函数。为便于计算, 有专门的复利因子表可查(见附录A)。

下面简要说明一下各公式的来由和应用。公式(2-2)为复利本息基本公式。

公式(2-3)为已知 n 时期后未来款项 F , 求现在的价值 P 。它是公式(2-2)的倒数。

【例 2-1】 如某企业5年后可得到10000元, 其投资可得到的利润率为6%, 问现在的投资额为多少?

表 2-1

名 称		英 文 原 名	缩 写 代 号	已知	求	计 算 公 式	公 式 号
一次	复利本息	Single Payment Compound Amount	SPCA	P	F	$F = P(1 + i)^n$	(2-2)
整付	现值换算	Single Payment Present Worth	SPPW	F	P	$P = F(1 + i)^{-n}$	(2-3)
分期	复利本息	Uniform Series Compound Amount	USCA	A	F	$F = A \left[\frac{(1 + i)^n - 1}{i} \right]$	(2-4)
	累积资金	Sinking Fund	SF	F	A	$A = F \left[\frac{i}{(1 + i)^n - 1} \right]$	(2-5)
等值	资金回收	Capital Recovery	CR	P	A	$A = P \left[\frac{i(1 + i)^n}{(1 + i)^n - 1} \right]$	(2-6)
支付	现值换算	Uniform Series Present Worth	USPW	A	P	$P = A \left[\frac{(1 + i)^n - 1}{i(1 + i)^n} \right]$	(2-7)

注 式中 i 为每一周期(年、月)的利率, n 为计算利息周期的期数, P 为资金的现值, F 为资金的期末值, A 为分期等值支付额。

解: 这是一次整付现值计算问题, 应用式(2-3)计算, 得

$$P = F(1+i)^{-n} = 10000(1+0.06)^{-5} = 7472.6(\text{元})$$

以现金流图表示(即以年为横坐标, 现金支付为纵坐标), 如图2-1所示,

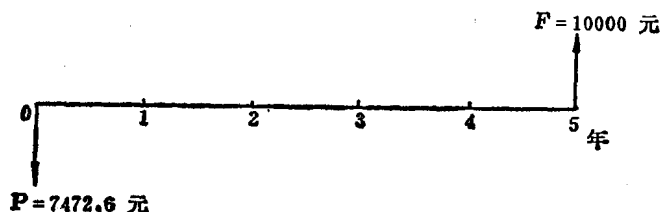


图 2-1

这个计算式(2-3)也就说明了未来资金的现在价值, 5年后1万元的价值比现在的1万元要小得多, 根据这个利率计算只相当于现在的7472.6元。

公式(2-4)为已知分期等值支付额 A , 求付 n 次后的期末值。

这个问题的现金流图如图2-2所示:

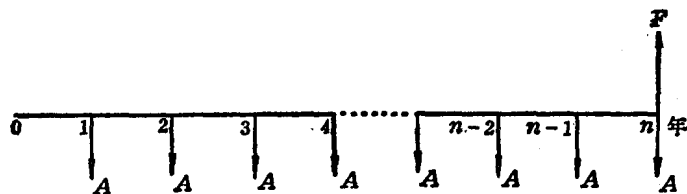


图 2-2

现在对每期支付额 A 分开来看, 即第1次 A 的期数为 $n-1$, 第2期 A 的期数为 $n-2$, 以此类推, 最后第 n 期所付的 A 期数为零, 不计息, 各次 A 本利和的合计, 即为期末所得的总款额: