

## 第2章 软件工程经济学基础

2.1 基于资金时间价值的现金流的贴现与预计

2.2 软件工程经济分析的基本要素

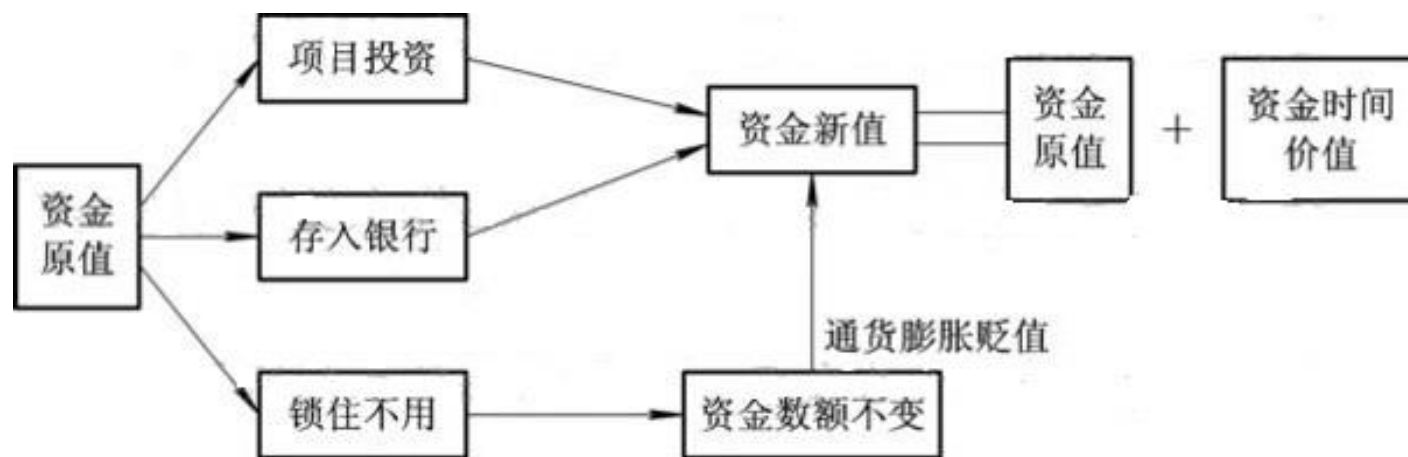
2.3 招标与投标

2.4 项目评价与决策方法

### 2.1 基于资金时间价值的现金流的贴现与预计

#### 2.1.1 资金的时间价值

在市场经济中，资金若锁住不用，虽然其资金数额将保持不变，然而将随着通货膨胀而产生贬值；相反，若存入银行或投资工程项目(如NIS项目)，则该资金将进入一个循环和周转的过程，它的绝对金额将随时间而转移，并将发生相应的增额或减额的变化，其增加或减少的金额部分称为**资金的时间价值**。



## 第2章 软件工程经济学基础

---

这种资金的时间价值将直接影响软件的工程经济活动，这是由于对于软件的构建者(经济主体)来说，其资金的投入并非在生命周期的初期一次全部投入，而是按照经济活动的需求在生命周期的各阶段**分批、分期投入**，从而构成了一个现金(投入)流出量序列，同样其收益亦非一次性全部获取，而是**分期分批获取**，从而构成一个收益(现金流入量)时间序列，于是客观地评价软件项目方案的经济效果，不仅要考虑现金流入与流出量的数额，还必须考虑每期现金流量发生的时间，也就是说，资金只有赋予时间的概念才具有真正的完整的价值。

## 第2章 软件工程经济学基础

---

此外，我们还需注意到企业对软件的投资绝大部分来自于对银行(或其他渠道)的借贷，由于借入与还贷之间有一个时间上的差距，因而在考虑还贷的条件时显然也必须考虑资金的时间价值。

资金的时间价值不仅受到**银行利率**的影响，而且还将受到**通货膨胀**的影响，因此为了讨论资金的时间价值，我们还必须讨论银行的利率、利息、通货膨胀及其影响等问题。

### 1. 利息与利率

银行的存、贷款利息与利率已为人们所熟知，若  $I_n$  表示第  $n$  期利息， $i_n$  表示第  $n$  期利率， $S_n$  表示第  $n$  期本利和，则有

$$S_n = S_{n-1}(1 + i_n), i_n = \frac{S_n - S_{n-1}}{S_{n-1}}, S_n - S_{n-1} = S_{n-1} \cdot i_n = I_n \quad (2.1)$$

$$S_n = S_{n-1}(1 + i_n) = S_{n-2}(1 + i_{n-1})(1 + i_n) = \cdots = S_0 \prod_{j=1}^n (1 + i_j) = S_0 (1 + i)^n \quad (2.2)$$

其中， $i$  称为平均利率，并有

$$i = \sqrt[n]{\prod_{j=1}^n (1 + i_j)} - 1$$

### 2. 通货膨胀率与贴现率

#### 1) 通货膨胀率

通货是流通货币的简称，现实流通中的纸币、硬币、支票、汇票、本票等都属于通货。**通货膨胀是指纸币发行量超过商品流通实际需要的货币量所引起的货币贬值现象。**通货膨胀一般包含了如下三个方面的含义：

(1) **通货膨胀**是货币超量发行而形成的货币(纸币)贬值后的物价上涨现象；

(2) **通货膨胀**是指市场商品和劳务价格的总体性的普遍上涨和持续上涨；

(3) 通货膨胀是由于货币(纸币)超量发行而引起的, 当货币超量发行时, 市场机制的正常运转将受到阻碍, 从而迫使政府采取干预手段。

由此可见通货膨胀是影响市场经济正常运转的重要经济现象, 因而引起人们普遍的关注, 并促使人们开始研究通货膨胀现象的度量问题。

**通货膨胀率**是度量国家(地区)物价上涨(货币供应量或货币购买力)相对变化率的一种参数, **国家或各级政府的统计部门每年均会公布此项参数。**

### 2) 贴现率

考虑到现金的流量如 $S_n$ 会受到 $n$ 期银行利率 $i_n$ 与 $n$ 期通货膨胀率 $f_n$ 的双重影响，为了综合这两种因素的影响效果，人们提出了一种被称为 $n$ 期贴现率(折现率) $q_n$ 的参数，并认为有

$$S_n = S_{n-1}(1 + i_n)(1 + f_n) = S_{n-1}(1 + q_n) \quad (2.3)$$

从而有

$$q_n = (1 + i_n)(1 + f_n) - 1 = i_n + f_n + i_n \cdot f_n \approx i_n + f_n \quad (2.4)$$

其中，利用了在下一般情况下有 $i_n < 10\% = 0.1$ ， $f_n < 5\% = 0.05$ ，从而有 $i_n \cdot f_n = 0.005 \approx 0$ 。





### 2.1.2 资金的等值与现金流量图

#### 1. 资金的等值

考虑时间因素的情况下，不同时间点上数额不等的资金在一定利率条件下可能具有相等的价值。所谓资金的等值，是指在考虑时间因素的情况下，不同时点上数额不等的资金在一定利率和通货膨胀率条件下可能具有相等的价值。例如现在的100元与一年后的105元从币值来看是不相等的，然而如果一年期的年利率为4%，通货膨胀率为1%，则我们可认为这两笔资金(即100元与105元)是等值的，这是由于有

$$\begin{aligned} S_n &= S_{n-1}(1+i_n)(1+f_n) = S_{n-1}(1+q_n) = 100(1+4\%+1\%) \\ &= 100(1+5\%) = 105 \text{ 元} \end{aligned}$$

同样我们可认为一年后的105元等同于现在的100元，这是由于

$$S_{n-1} = \frac{S_n}{(1+i_n)(1+f_n)} = \frac{S_n}{1+q_n} = \frac{105}{1+5\%} = 100 \text{元}$$

以下我们以借款、还本付息的例子来进一步阐述资金的时间价值及资金等值的概念。

**【例2.1】** 企业现向银行贷款1000万元，拟在五年内以年利率6%还清全部本金和利息，则有如表2.2中所示的四种不同的偿付方案。

## 第2章 软件工程经济学基础

表 2.2 还贷的四种典型等值形式

单位：万元

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
偿还 方案	年数 $n$	年初所欠 金额 $S_{n-1}$	年利息额 $I_n = S_{n-1} \cdot i_n$	年终所欠金额 $S_n = S_{n-1} + I_n$	偿还本金 $U_n$	年终付款总额 $V_n = U_n + I_n$	偿还规则
I	1	1000	60	1060	0	60	每 年 仅 付 息 ， 第 五 年 末 一 次 性 偿 还 本 金
	2	1000	60	1060	0	60	
	3	1000	60	1060	0	60	
	4	1000	60	1060	0	60	
	5	1000	60	1060	1000	1060	
	$\Sigma$		300			1300	
II	1	1000	60	1060	0	0	每 年 不 付 本 息 ， 第 五 年 末 一 次 性 偿 还 本 息
	2	1060	63.6	1123.6	0	0	
	3	1123.6	67.4	1191.0	0	0	
	4	1191.0	71.5	1262.5	0	0	
	5	1262.5	75.7	1338.2	1000	1338.2	
	$\Sigma$		338.2			1338.2	

## 第2章 软件工程经济学基础

续表

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
偿还 方案	年数 $n$	年初所欠 金额 $S_{n-1}$	年利息额 $I_n = S_{n-1} \cdot i_n$	年终所欠金额 $S_n = S_{n-1} + I_n$	偿还本金 $U_n$	年终付款总额 $V_n = U_n + I_n$	偿还规则
Ⅲ	1	1000	60	1060	200	260	每年均付息，同 时每年均匀偿还 本金的 1/5
	2	800	48	848	200	248	
	3	600	36	636	200	236	
	4	400	24	424	200	224	
	5	200	12	212	200	212	
	$\Sigma$		180			1180	
Ⅳ	1	1000	60	1060	177.4	237.4	每年均付息，同 时不均匀偿还本 金，但使每年偿还 的本息和等额
	2	822.6	49.4	872	188.0	237.4	
	3	634.6	38.1	672.7	199.3	237.4	
	4	435.3	26.1	461.4	211.3	237.4	
	5	224.0	13.4	237.4	224.0	237.4	
	$\Sigma$		187			1187	

观察表2.2可知，如果每年的年利率6%保持不变，则上述四种不同的偿还方案均与原来的1000万元本金是等值的，或者从贷款人的立场来看，今后以这四种方案中之任何一种来偿还都可以抵偿他现在所贷出的1000万元，因此现在他愿意提供1000万元贷款；而从借款人立场来看，如果他采用四种方案中之任一种来偿付，他现在就可以得到这1000万元的使用权。

此外，从表2.2第(6)列还可看出，尽管四种偿还方案五年所支付的本息总额是不相同的，它们分别是1300万元、1338.2万元、1180万元、1187万元，然而这只是由于采用了不同的偿还规则而造成每年年初的所欠金额(表2.2第(2)列)不同而造成的。因此，从这四种不同偿付方案的等价性，正说明了不同时间点发生的不同数量的金额，在一定的条件下( $i=6\%$ 时)却是可以等值的。

### 2. 现金流量图

为了考察软件项目在整个生命周期内各阶段的投入费用与收益，以分析它们的经济效果，人们常利用现金流量图来直观、形象地描述。在如图2.6所示的现金流量图中，横坐标表示时间尺度，单位常用“年”(特殊情况下也可用季或半年、月等)，相对于时间坐标的垂直线则代表不同时点的现金流量状况。

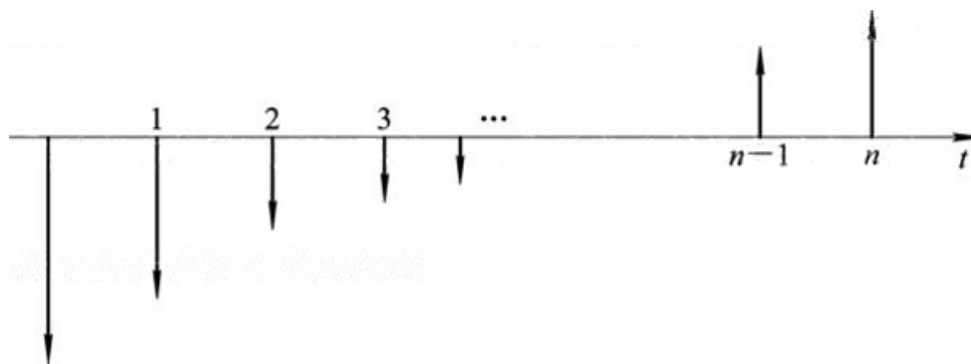


图2.6 现金流量图

## 第2章 软件工程经济学基础

其中箭头向上者表示现金流入(或正现金流), 箭头向下者表示现金流出(或负现金流), 而带有箭头之垂线的长度则是依据现金流量的大小按比例画出的。此外, 为了便于分析计算, 往往将投资活动的时间加以简化并假设其在每年的年初发生, 而经营费用与收益则假设其在年末发生。

利用现金流量图可直观形象地描述出各种投资方案的实施过程, 例如从借款人的立场来看, 例2.1中的方案I与II的实施过程如图2.7(a)、(b)所示; 从贷款人立场来看, 例2.1中的方案III、IV的实施过程如图2.7(c)、(d)所示。



## 第2章 软件工程经济学基础

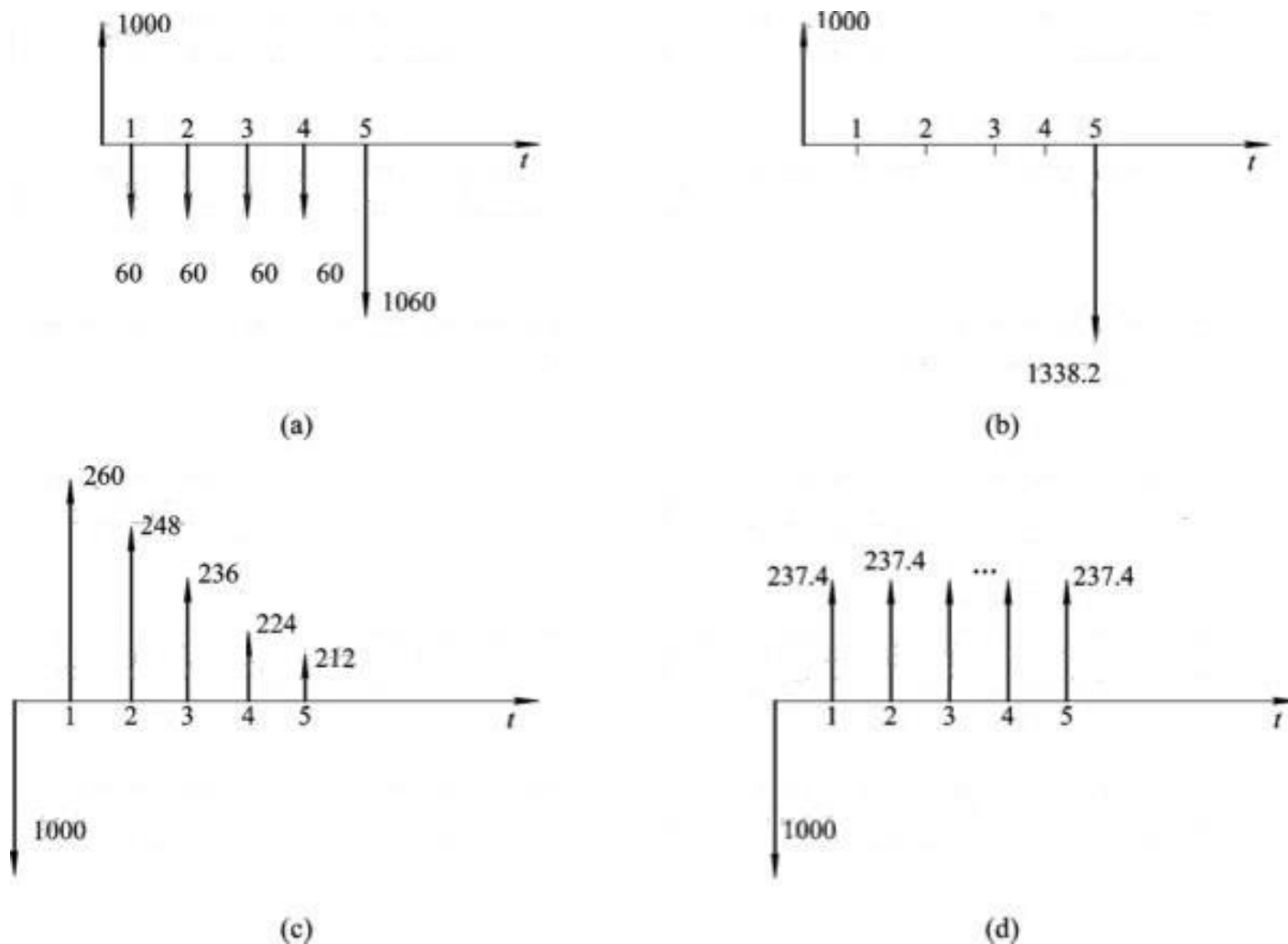


图2.7 四种等值形式的现金流量图(现金单位: 万元)

### 2.1.3 现金流的贴现与预计

为了解决不同投资方案实施效果的比较问题，人们常利用等值的概念，将现金流量序列中不同时点发生的金额换算成同一时点的金额，然后再进行比较。如果将现金流量序列中将来发生在不同时点的金额全部换算成当前时刻 $t=0$ 时的金额，这一换算过程称为“折现”或“贴现”，并将未来时点上的资金折现到现在时点上的资金之价值称为“现值”；

同样亦可作上述折现过程的逆运算，亦即将当前时点上的资金金额换算到将来某一时点(通常是某一时间区间的终点)的金额，这一过程称为“预计”，而将当前时点上的资金金额换算到将来某一时点上的资金之价值称为“终值”。

### 1. 一次性支付现金流的贴现与预计

利用(2.2)、(2.3)式与(2.4)式容易解决一次性支付现金流的贴现与预计问题，这是由于若不计通货膨胀效应，则有

$$\begin{cases} S_n = S_0(1+i)^n \\ S_0 = S_n(1+i)^{-n} = \frac{S_n}{(1+i)^n} \end{cases} \quad (2.5)$$

其中， $S_n$ 为 $n$ 期本利和(终值)， $i$ 为平均利率， $S_0$ 为当前时刻的本利和初值， $n$ 为年数。若考虑通货膨胀效应，则有

$$\begin{cases} S_n = S_0(1+q)^n \\ S_0 = S_n(1+q)^{-n} = \frac{S_n}{(1+q)^n} \end{cases} \quad (2.6)$$

其中 $q$ 为平均贴现率。

〔例2.2〕 (1) 某IT企业现借出1000万元，年利率为6%，借期五年，一次性收回本利，求五年后收回的本利和。

(2) 若银行利率为5%，为在五年后能获得10000万元，某企业现应存入多少现金？

解 (1) 由(2.5)式可知，当 $i=6\%$ ， $n=5$ 时，有

$$S_5 = S_0(1+i)^5 = 1000 \cdot (1+0.06)^5 = 1338.2 \text{ 万元}$$

(2) 由(2.5)式可知，当 $i=5\%$ ， $n=5$ 时，有

$$S_0 = S_5(1+i)^{-5} = 10\,000 \cdot (1+0.05)^{-5} = 7835.3 \text{ 万元}$$

## 第2章 软件工程经济学基础

---

由上计算得知某IT企业五年后收回之本利和(终值)为1338.2万元，而该企业希望五年后获得1亿元，当前应向银行存入现金7835.3万元。或称五年后的一亿元相当于当前的贴现值为7835.3万元。

### 2. 多次性支付现金流的贴现与预计

设有一现金流 $A_1, A_2, \dots, A_n$ , 其中 $A_j$ 为 $j$ 期末之现金支付值(详见图2.8), 欲求此现金流的现值 $P_0$ 及 $n$ 期预计值 $S_n$ 。

注意到现金 $A_j$ 欲贴现到当前值, 则由(2.5)式知有现值 $A_j/(1+i)^j$ , 其中,  $i$ 为平均利率或平均贴现率, 从而现金流 $A_1, A_2, \dots, A_n$ 之贴现值之和 $P_0$ 为

$$P_0 = \sum_{j=1}^n \frac{A_j}{(1+i)^j} \quad (2.7)$$

相反, 欲求 $S_n$ 时, 同样对现金 $A_j$ 转换到终值时, 利用(2.5)式知有 $A_j(1+i)^{n-j}$ , 从而有现金流 $A_1, A_2, \dots, A_n$ 之预计值和 $S_n$ 为

$$S_n = \sum_{j=1}^n A_j (1+i)^{n-j} = P_0 (1+i)^n \quad (2.8)$$

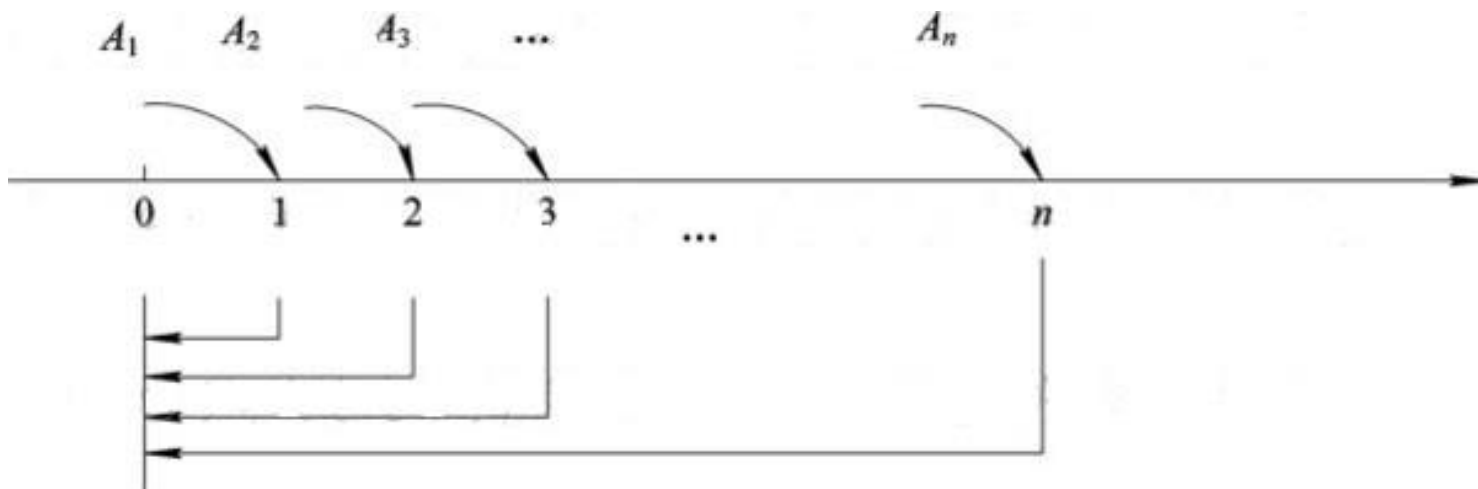


图2.8 现金流贴现示意图

## 第2章 软件工程经济学基础

为方便(2.7)式与(2.8)式之计算，以下我们来讨论在三种不同状况下 $A_k$ 与 $P_0$ 、 $S_n$ 之关系。

(1) 等额系列现金流，即 $A_k=A$ ， $k=1, 2, \dots, n$ 时，容易由(2.7)式与(2.8)式得到

$$\begin{cases} P_0 = \sum_{j=1}^n \frac{A_j}{(1+i)^j} = A \sum_{j=1}^n \frac{1}{(1+i)^j} = A \frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n} \\ S_n = P_0(1+i)^n = A \frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n} \cdot (1+i)^n = A \frac{(1+i)^n - 1}{i} \end{cases} \quad (2.9)$$

若引入资金回收系数CRF与偿债基金系数SFF，并令

$$\text{CRF} = \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1}, \text{SFF} = \frac{i}{(1+i)^n - 1} \quad (2.10)$$



则将(2.10)式代入(2.9)式，应有

$$P_0 = \frac{A}{\text{CRF}}, \quad S_n = \frac{A}{\text{SFF}} \quad (2.11)$$

利用(2.10)式容易验证还有

$$\text{CRF} = i + \text{SFF}$$

## 第2章 软件工程经济学基础

(2) 等差系列现金流, 即 $A_j=A_{j-1}+h$ ,  $h>0$ ,  $j=1, 2, \dots, n$ ,  $A_0=0$ 时, 注意到有 $A_j=A_{j-1}+h=A_{j-2}+2h=\dots=jh$ , 将其代入(2.7)式与(2.8)式, 有

$$P_0 = \sum_{j=1}^n \frac{A_j}{(1+i)^j} = h \sum_{j=1}^n \frac{j}{(1+i)^j} = h \left[ \frac{1}{1+i} + \frac{2}{(1+i)^2} + \dots + \frac{n}{(1+i)^n} \right] \quad (2.12)$$

利用(2.12)式有

$$\begin{aligned} P_0 i &= P_0(1+i) - P_0 = h \left[ 1 + \frac{1}{1+i} + \frac{1}{(1+i)^2} + \dots + \frac{1}{(1+i)^{n-1}} - \frac{n}{(1+i)^n} \right] \\ &= h \left[ \frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n} - \frac{n}{(1+i)^n} \right] \end{aligned}$$

从而有

$$P_0 = \frac{h}{i} \left[ \frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n} - \frac{n}{(1+i)^n} \right] \quad h = P_0 i \left[ \frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n} - \frac{n}{(1+i)^n} \right]^{-1}$$

## 第2章 软件工程经济学基础

(3) 等比系列现金流，即 $A_j=A_0(1+H)^{j-1}$ ,  $j=1, 2, \dots, n$  时，利用(2.7)式与(2.8)式可得

$$P_0 = \sum_{j=1}^n \frac{A_j}{(1+i)^j} = A_0 \sum_{j=1}^n \frac{(1+H)^{j-1}}{(1+i)^j} = \frac{A_0}{1+i} \sum_{j=0}^{n-1} \left( \frac{1+H}{1+i} \right)^j$$
$$= \begin{cases} A_0 \frac{1 - \left( \frac{1+H}{1+i} \right)^n}{i - H} (1+i), & i \neq H \\ \frac{A_0 n}{1+H}, & i = H \end{cases}$$

**[例2.3]** (1) 某IT企业欲向银行贷款1000万元，年利率为6%，规定5年内等额偿还，求每年末企业应偿付的金额。  
(2) 该企业拟向银行储存一定基金，以便在10年后能更新一台设备，若预计10年后该设备价格估计为10万元，试问在银行利率5%不变的情况下，该企业应向银行等额储存多少基金。

**解** (1) 利用等额系列现金流贴现公式(2.11)并有 $i=6\%$ ， $P_0=1000$ 万元， $n=5$ ，则可得

$$A = P_0 \cdot \text{CRF} = P_0 \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} = 1000 \frac{0.06(1+0.06)^5}{(1+0.06)^5 - 1} = 237.4 \text{ 万元}$$

## 第2章 软件工程经济学基础

(2) 类似地，由式(2.11)及 $n=10$ ， $S_{10}=10$ ， $i=0.05$ ，则有

$$A = S_n \cdot \text{SFF} = S_{10} \frac{i}{(1+i)^{10} - 1} = 10 \frac{0.05}{(1+0.05)^{10} - 1} = 0.795 \text{ 万元}$$

利用上述计算结果可得(1)问题的现金流量图如图2.9(a)所示，

(2)问题的现金流量图如图2.9(b)所示。



图2.9 例2.3现金流量图(现金单位: 万元)

### 2.2 软件工程经济分析的基本要素

软件项目不再是过去传统意义下的纯粹的“软产品”，它的研究、开发与运行均置身于各种各样的网络环境下来完成，并与硬件发生着千丝万缕的联系，从而成为一个由人、硬件(计算机、通信网络、传感器等)、软件和数据等实体组成的人机交互系统(详见图2.1)或网络信息系统(Network Information System, NIS)。

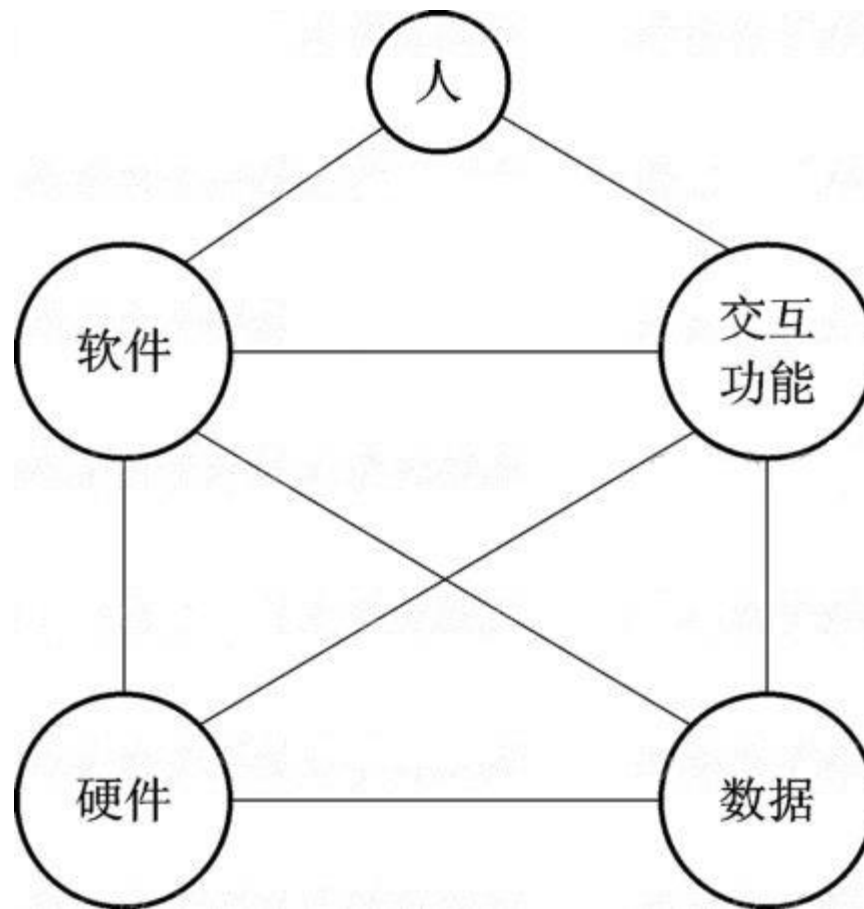


图2.1 软件实体交互图

从信息系统工程观点来看，任何对软件项目的工程经济分析与研究都必须从实体维、时间维和要素维等三个维度的层面上来展开。其中，实体维包括人、硬件、软件、数据；时间维包括规划、分析、设计、构建(生产或开发)、运行与维护等五个阶段；要素维(活动维)包括投资、成本、效益、定价、工期、生产率等(详见图2.2)。



## 第2章 软件工程经济学基础

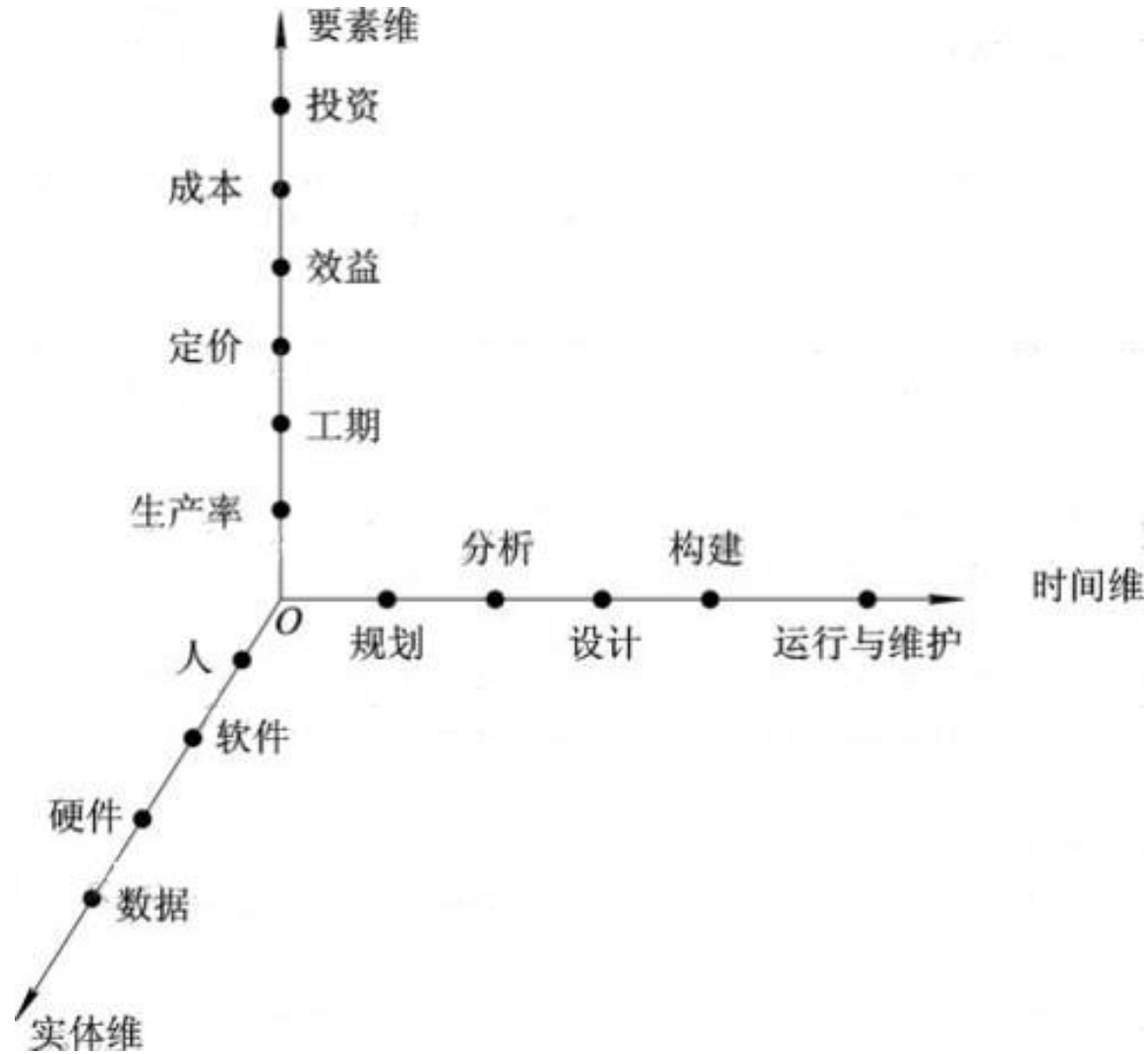


图2.2 软件的工程经济分析展开结构图

## 第2章 软件工程经济学基础

根据软件项目的范围研究来看，这三个维度的交互作用会产生如下各种工程经济活动(1)可行性分析；(2)招标与投标；(3)时间/进度、资源、成本计划；(4)投资与融资；(5)设备、工具、原材料、厂房的购买或租赁；(6)开发团队的组织与建设；(7)生产(开发)过程设计与分析；(8)测试计划与组织；(9)软件发行确定；(10)软件定价；(11)软件营销策划；(12)风险控制；(13)成本、质量、工期与进度控制；(14)硬件折旧；(15)项目成本确定；(16)销售收入确定；(17)税金确定；(18)效益(利润)确定。

## 第2章 软件工程经济学基础

上述18种工程经济活动的相关联系可详见图2.3。在图2.3中方框表示一般的工程经济活动，而椭圆框则表示与软件企业目标——效益所直接相关的工程经济活动。

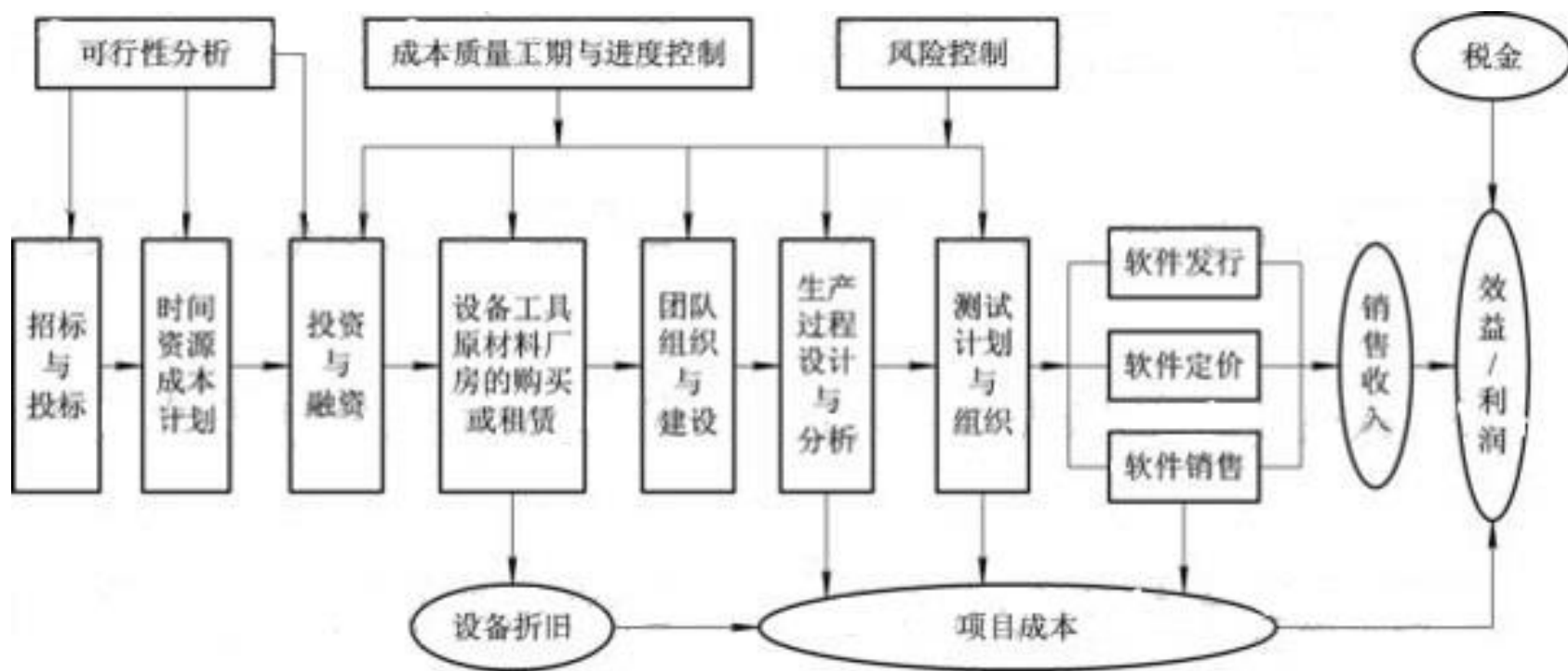


图2.3 工程经济活动关联表

本书将围绕上述18种经济活动展开。作为软件工程经济学的基础，本章将主要介绍投资、融资与可行性分析；成本、收入、税金和利润的基本概念与关联，资源的计划、组织与控制的重要性；资金的时间价值，现金流的贴现与预计；招标与投标的程序与策略。

此外，注意到不同技术经济方案的比较与系统评价亦是软件工程经济学的重要内容，故本章最后一节介绍系统评价的常用数学方法：关联矩阵法、层次分析法、模糊综合评价法以及多种方法运用所获得不同评价结果的集结方法。

### 2.2.1 投资、融资与项目可行性分析

- ◆ 投资是企业为了实现某种特定的目标(通常是为了获得收益或避免风险)而进行的某种资金投放或运行的经济活动。
- ◆ 投资活动包括生产性投资与非生产性投资。
- ◆ 本书主要介绍生产性投资活动的有关内容。

### 1. 建设项目投资及其构成

所谓**建设项目投资**，是指人们在社会生产活动中，为实现某项目(如软件项目、基本建设项目)特定的生产与经营目标而预先垫付的资金。它是劳动消耗中反映劳动占用的综合指标。建设项目投资一般包括**固定资产投资**、**流动资金投资**和**无形资产投资**等。

固定资产投资是指为建造或购置固定资产所预先垫付的部分资金，其中IT企业的固定资产主要包括如下内容：

(1) 厂房及其他构建物。

(2) 机器设备。其包括计算机及其外部设备，硬件、软件及网络的测量和控制仪表与试验设备，电气和传动设备，动力机器和设备，其他机器设备如复印机、摄像机等。

(3) 生产工具。其包括软件开发工具、硬件生产工具等。

(4) 器材与配件。其包括传输线、路由器、桥接器、计算机、传感器等的配件与器材。

(5) 运输工具。其包括汽车或其他运输工具。

(6) 其他固定资产。

固定资产的特点是能在企业生命周期中为多个生产项目(如多个软件项目)服务, 并始终保持原有的实物形态, 而固定资产由于其使用的损耗而使其价值将逐步转移到产品价值中去, **即以折旧的形式计入产品成本**, 并且随着产品的销售逐步回收, 用以补偿已损耗的价值。固定资产投资的估算方法很多, 但IT企业由于其固定资产类别较少, 故采用“编制概算”法, 即根据此项目所需要的设备、建筑物等的图纸和明细表逐项计算并累加。



## 第2章 软件工程经济学基础

为经营IT企业及构建NIS，除了固定资产投资外，还需要一定数量的**周转资金**以供生产经营活动展开使用，这种为生产经营活动所必须预先垫付、供周转使用的资金就称为流动资金投资。一般流动资金常用于**支付员工工资**，**购买原材料**和**商品物资**等。流动资金的特点是其所购买的物质(包括员工的工资支付)仅参加一个生产周期，即价值一次性全部计入产品成本，并通过产品销售收回贷款后，在物质形态上予以补偿。流动资金的估算可以采用如下估算方法：

- (1) 按经营成本的一定比例(例如25%~40%)估算；
- (2) 按固定资产的一定比例(例如15%~30%)估算；
- (3) 按年销售收入的一定比例估算。

## 第2章 软件工程经济学基础

---

无形资产是指企业长期使用但没有实物形态的资产，包括专利权、著作权、专有技术、商标权、商誉、土地使用权等。无形资产运用特殊的方式，将其“功能”体现到有形固定资产中去，例如软件、软件工具、开发技术、开发模型与算法、工程控制图等通过知识产品使有形资产得以充分发挥其作用。无形资产在一定的特定区域与一定的时间内受到法律保护并具有一定的垄断性(排他性)。为购买某种无形资产所支付的资金称为无形资产投资。

### 2. 筹资与资金运用

作为一个生产或经营软件项目的IT企业(或部门), 拥有足够的资金是企业建设的根本, 此类资金的来源有如下几种:

(1) **银行贷款**。由于目前国家对高新技术产业政策的优惠政策, 因此向各商业银行贷款不失为一个好的方法。当然, 在向银行贷款时要量力而行, 注意还贷条款。此外, 还有向亲友、同学、同乡等筹集借款等方式融资。

(2) 向国家、地方政府，包括高新开发区、经济开发区等管理部门**申请基金与贷款**。由于国家对IT产业的优惠政策，此类贷款还贷期限长、利率较低，可以一次性偿还或分期偿还。此外，亦可考虑向其他企业借贷。

(3) **利用外资**。可以争取国外企业直接投资或合资经营，但需注意具体的谈判与合同条款，以达到双赢的结局。

(4) **国际金融机构贷款**。此类机构包括联合国的国际货币基金组织、世界银行及其所属机构等，其贷款条件比较优惠，有时甚至提供无息贷款。此外，还可考虑向外资银行贷款。

(5) **股权性融资**。这种使出资者成为企业所有者的融资方式包括合资经营、合作经营、联营、发行股票、企业内部筹资等方式。其中，合资经营是指由出资方共同组建有限责任公司，共同投资，共同经营，共担风险，共负盈亏；合作经营是一种契约式或合同式的合营，合作各方的投资、收益或产品的分配、风险亏损的承担、经营管理方式及合作期满后的财产归属等问题均由各方在签订的合作合同中规定；发行股票是目前常用的一种融资方式，股票公司通过一级市场发行新股票或在二级市场转让手头持有的股票来筹集资金，并根据公司的经营状况决定股息或红利等发放事项。

(6) **债券性融资**。这是一种使出资人成为企业债权人的融资方式。它包括发行企业债券、租赁等。债券要求企业(公司)定期支付债券利息，并在约定期限后收回本金；租赁筹资是指出资人以租赁的方式将出租物(如测试设备、开发工具、汽车等)租给承租人，承租人以交纳租金的方式取得租赁物的使用权，并于租赁期满收回租物的一种经济行为。

(7) **项目融资**。这是一种以项目公司为融资主体，以项目未来为融资基础，由项目参与者各方分担风险的具有限追索权性质的一种融资方式。其中，**有限追索权是指筹资公司主要依靠项目本身的资产和现金流量作为偿贷保证**，因而投资人原则上对项目发起人拥有的项目之外的资产没有追索权或只有有限追索权。

## 第2章 软件工程经济学基础

---

上述各种融资方式在筹集资金的过程中大多支付一定的费用，如发行股票、债券需支付印刷费、发行费、律师费、资信评估费、公证费、担保费、广告费以及股息、红利等等。因此，究竟采用何种融资方式应综合考虑资金成本、资金偿付方式、企业偿债能力并经过科学的分析与论证后决定。在筹集到资金后，为使筹集资金的运用能最大效果地支持企业的生产经营，必须制定好合理的资金使用计划，并综合考虑资金(债务)的偿还和资金的平衡问题。



### 3. 项目可行性分析

所谓项目可行性分析(Project Feasibility Analysis), 顾名思义就是解决项目是否可行所作的分析与研究工作。一个项目是否可行通常应解决四个方面的问题: ① 项目是否必要? ② 项目能否实现? ③ 项目实现后的效果如何? ④ 项目实现的风险有多大? 亦即解决项目的必要性、可实现性、效果性与风险性的分析与研究工作称为项目的可行性分析。

可行性研究的主要内容通常应包括如下几个方面的内容：

- (1) 投资需求可行性；
- (2) 技术可行性；
- (3) 财务可行性；
- (4) 环境可行性；
- (5) 组织可行性；
- (6) 风险分析与对策。

## 第2章 软件工程经济学基础

可行性研究的工作步骤见图2.4。可行性研究的最终成果是编写与提交(可行性研究)报告。

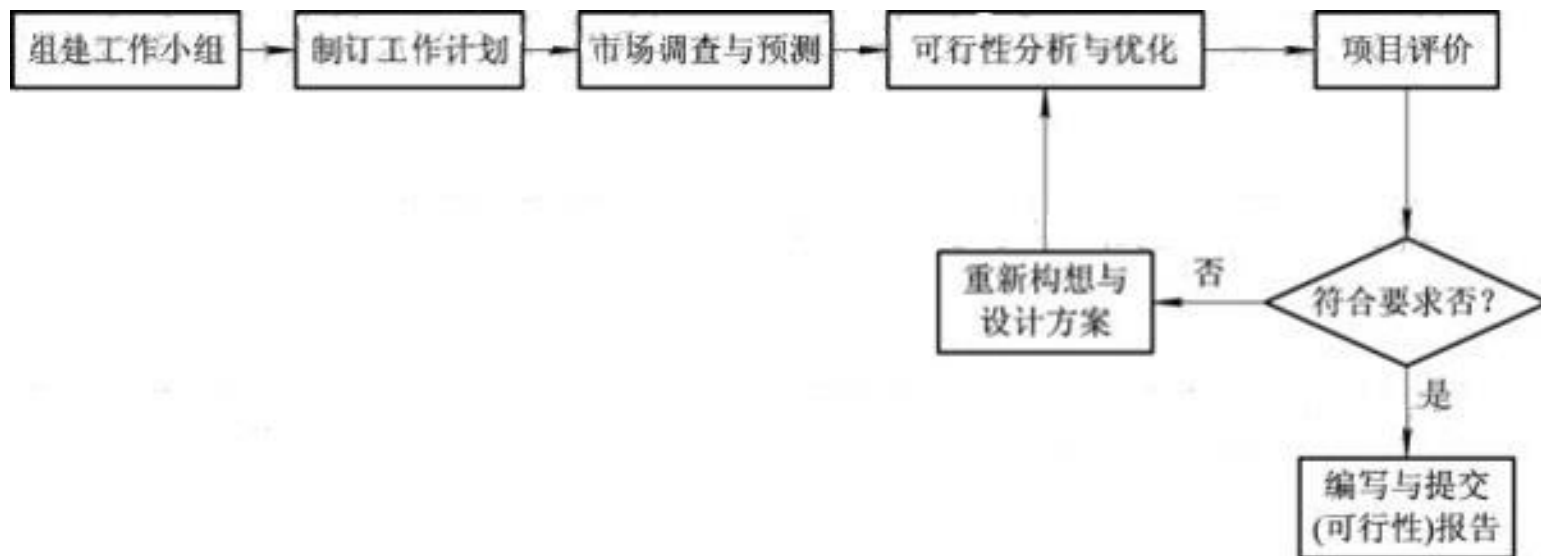


图2.4 可行性研究工作步骤

该报告具有如下用途：

- (1) 作为经济主体投资决策的依据；
- (2) 作为筹集资金和向银行申请贷款的依据；
- (3) 作为从国外引进技术、设备及外商谈判签约的依据；
- (4) 作为与项目协作单位(如项目外包)签订合同的依据；
- (5) 作为该项目基础设施建设的重要基础资料；
- (6) 作为项目计划编制、团队组织、职工培训、生产(开发)组织的依据；
- (7) 作为项目考评和项目后评价的依据。

表2.1给出了软件可行性分析及其相关内容，其中系统的成本效益分析、系统的经济效果分析及系统的不确定性分析等有关内容还将在本书后面作进一步介绍。

# 第2章 软件工程经济学基础

表 2.1 软件可行性分析文本目录案例

1 项目概述	3.2 财务盈利性分析
1.1 项目由来与立项依据	3.2.1 财务净现值
1.2 市场分析(市场需求与容量分析,消费特征因素分析)	3.2.2 投资回收期与投资效果系数
1.3 项目生产规模	3.2.3 投资利用率和投资利税率
1.4 项目进度与计划	3.2.4 企业综合效益分析
1.5 资金筹措	3.3 项目偿债能力分析
2 项目规划与技术分析	3.3.1 贷款条件与还贷计划
2.1 软件系统目标与主要功能需求	3.3.2 投资借款偿还期
2.2 网络通信体系选择与基本网络系统结构设计	3.4 外汇效果分析
2.3 计算机设备、系统软件(网络操作系统、服务器、工作站操作系统,以及数据库系统)与应用软件的选型与布局设计	3.4.1 财务外汇净现值
2.4 网络中高层传输平台、应用服务平台与低层通信平台设计	3.4.2 财务换汇成本与节汇成本
2.5 重要的分(子、模块)系统概要设计	4 国民经济评价
2.6 系统性能(含系统连通性、可靠性、可维修性、保障性、可测性、可控性、安全性、抗毁性等)分析	4.1 国民经济与社会效益评价
2.7 关键技术分析(系统开发思想、开发技术与策略,基本算法与分析,关键设备的制造工艺与技术等)	4.1.1 项目的外部效益与无形效益
2.8 人力资源投入规划及其可行性(含投入数量、水平、来源等)	4.1.2 项目对国民经济与技术进步的贡献
3 财务分析	4.2 社会效益与可行性
3.1 基本财务估算	4.2.1 项目的社会效益
3.1.1 投资估算(固定资产投资与流动资金投资估算)	4.2.2 有关政策、法规及其可行性分析
3.1.2 成本估算(原材料、设备与动力、废品损失、工资和附加费、车间经费、企业管理费,销售费用等费用估算)	5 不确定性分析与风险分析
3.1.3 税率、税金与税后净利润估算	5.1 工程经济参数的敏感性分析
3.1.4 财务现金流量表	5.1.1 敏感性参数的选择、测量与比较
3.1.5 财务平衡表	5.1.2 敏感性参数的估计与置信区间
	5.1.2 敏感性参数的概率分布确定与计算机模拟(Monte-Carlo)分析
	5.2 风险分析
	5.2.1 风险因素辨识与风险估计
	5.2.2 风险分析与风险评价
	5.2.3 风险对策研究
	6 附录
	6.1 有关变量的工作经济含义与数学含义说明
	6.2 有关计算的方法、原理说明
	6.3 有关附表与附图
	6.4 可供选择的工程技术经济方案
	6.5 工程技术经济方案的综合评价
	6.6 参考文献

### 2.2.2 成本、收入、税金、利润及其关联

#### 1. 成本

成本是为取得各项生产要素、商品及劳务以及为实现某些特定经济目的而发生的各种耗费。

会计成本，是指会计记录在企业账册上的客观的和有形的支出，包括生产、推销过程中发生的原料、动力、工资、租金、广告、利息等支出。按照我国财务制度规定，总成本费用由生产成本、管理费用、财务费用和销售费用组成。

## 第2章 软件工程经济学基础

生产成本是指生产单位为产品生产或提供劳务而发生的各项费用，包括直接材料(原材料、备件、燃料及动力等)、直接人工(生产人员的工资、补贴等)、其他直接支出(如福利费)和制造费用(企业的分厂、车间为组织和管理生产所产生的各种费用，如管理人员的工资、劳保费、办公费、差旅费和折旧费、维修费等)等四部分。

管理费用是指企业行政管理部门为管理和组织经营而发生的各种费用，包括管理人员的工资、福利费、公司一级折旧费、修理费、技术转让费、无形资产摊销费及其他费用(办公费、差旅费、劳保费等)。

财务费用是指为筹集资金而发生的各种费用，如利息支出、汇兑损失、银行手续费等。

销售费用是指为销售产品和提供劳务而发生的各种费用，包括销售部门的人员工资、职工福利费、广告费、培训费、办公费、差旅费等。



### 2. 收入

收入是指企业在销售商品、提供劳务及其他使用本企业资产等经济活动中所形成经济利益的总流入，包括商品的销售收入、劳务收入、使用费收入、股利收入及利息收入等。收入是企业利润的主要来源，也是进行利润总额、销售税金及附加和增值税估算的基础。

销售收入是企业销售产品或提供劳务所取得的货币收入。它包括产品收入和其他销售收入两项内容，其中，其他销售收入包括材料销售、资产出租、外购商品销售、无形资产转让等内容。

### 3. 税金

税金是国家为了实现其发展经济、提高人民生活等职责需要，依据法律规定对具有纳税义务的单位和个人征收的财政资金。税收既是国家筹集财政资金的手段，又是国家参与国民收入分配和再分配的一种形式。

### 4. 利润

利润是企业经营所追求的主要目标。它体现了企业在一定时期的经营成果，也是工程经济分析的重点。根据企业工程经济分析的不同要求，利润分为销售利润、利润总额和税后利润等内容。其计算公式如下：

销售利润 = 销售收入 - 总成本费用 - 销售税金及附加

利润总额 = 销售利润 + 投资净收益 + 营业外收入 - 营业外支出

税后利润 = 利润总额 - 所得税

### 2.2.3 资源的计划、组织与控制

影响软件企业的生存与发展的经济因素除了投资、融资、成本、收入、税金与利润之外，资源(人力、时间、设备、信息)的计划、组织与控制亦是重要的影响因素。它们既是软件工程经济分析与评价的重要内容，同时也是构成企业管理与项目管理的重要内容。

软件开发项目资源的计划、组织和控制包括**人力资源**特别是开发团队的计划、组织和控制，**开发过程**的人力计划，**工期与时间进度**计划，**可靠性测试**的人力与进度安排等。

### 2.3 招 标 与 投 标

软件的项目来源一般有如下三个方面：

(1) 国家、省自然科学基金，国家信息化工程(金关、金税、金盾、金财、金农、金水等工程)及国防科研基金申请获准的项目。此类项目的软件一般应在理论与方法上带有前瞻性，并具有国内先进与领先水平的特点。

(2) IT企业(或部门，如学校、研究所)自行筹资(或合资)，然后独立(或合作)完成设计与构建工作，最后将该软件项目推向市场，并寻求用户的购买。此类软件的特点一般是经过事前论证获知具有较大的市场需求的系统，如证券投资分析系统、物流管理信息系统、银行联机事务处理系统等。

(3) 通过其他企业或政府部门的招标，尔后经过投标竞争获取。此类软件项目的特点一般是应用性较强并带有较强的时间约束的软件，如电子政务系统、电子商务系统、网上净化系统、企业ERP系统等。本节将介绍第三类即有关软件招标与投标的有关内容。

### 2.3.1 招标/投标的特征与分类

招标与投标是一种有组织、有计划、有计划的商业贸易活动。通过招标与投标活动，组织方寻找合适的承包方(或买主)，而投标方则经竞争获取相应的工程项目(或资产)。招标与投标这一经济活动其适用范围十分广泛，凡是有形资产(如房屋、土地、珠宝、邮票、药品等)均可通过招标与投标来完成交易活动，而软件作为一种特殊的有形资产，采用招标与投标方式来寻求组织方与承包方的合作关系是一种常用的经济活动方式。

### 1. 招标与投标的特征

(1) 招标的组织性。有固定的招标组织人，有固定的招标场所，有固定的招标时间，有固定的招标规划或程序细则。

(2) 招、投标的公开性。招标机构一般通过各种途径(如网站、电视台、报刊、发送通知)作广泛通告来寻求有能力、有兴趣的承包商或供货商。

(3) 招、投标的一次性决定。即交易活动的主动权掌握在招标人手中，由招标机构对最后的众多投标商作出选择，而投标商没有讨价还价的权利。

(4) 招、投标的公平性。招标机构按照预先给定的招标规则，并本着公平竞争的原则来对中标人(中标单位)作出最后选择。



### 2. 招标的类型

#### 1) 按公开程度和参加人数的限制条件分类

招标根据其公开程度与参加人数的限制条件可划分两种类型。

**(1) 竞争性招标。**又称公开性招标。即通过报刊、电视台、网站等公开宣传媒介刊登广告，对于前来投标的人数则不作限制。

**(2) 有限招标。**此类项目往往由于其项目本身的特殊性，如保密性(军用软件)或节约资金等原因，故只邀请有限的约定对象来参加招标，并且不采用公开的广告形式，而是直接采用给邀请对象发招标书的形式。

### 2) 按合同的条件分类

招标若按合同的条件来划分可分为三种类型。

**(1) 自动条件招标。**即以最低报价为先决条件并自动授予持最低报价的投标人中标，这是一种常用的招标方法。通常对**技术含量较低的软件项目**采用此法。

**(2) 随机条件招标。**即招标人在招标过程中可随意改变评判投标人的主要条件，如价格、技术水平、交货期、投标单位信用等，一般在比较复杂的大型工程项目(如中大型软件项目)中常采用此法。

**(3) 谈判招标。**即招标单位通过与各投标方分别进行谈判，并根据谈判的结果最终对中标单位作出选择。在此类招标中，投标人除了发出投标书外，还可在得知其他投标人的报价结果后再度通过谈判来修改投标有关内容。此类投标方式在项目进行国际招标时常采用。

### 2.3.2 招标的程序与方法

尽管招标的方式或类型不同，但通常的招标程序都是类似的，一般首先要经过招标前的准备工作，如成立招标机构、制订招标规则。其中，招标规则的内容有三项：**招标程序、招标条件、招标书格式**。在完成招标前的准备工作后，以下的招、投标活动通常包括招标方邀请承包商参加资格预审，颁发和提交资格预审文件，预审资格分析与选择入选投标者名单，询价文件准备，询价文件颁发，投资者考察现场，询价文件修订，投标者质疑解答，投标书提交和接收，开标，评标以及授予合同等12项内容，图2.10给出了常用的项目招、投标程序及其有关内容。

## 第2章 软件工程经济学基础



图2.10(a) 招标、投标程序流程图

# 第2章 软件工程经济学基础

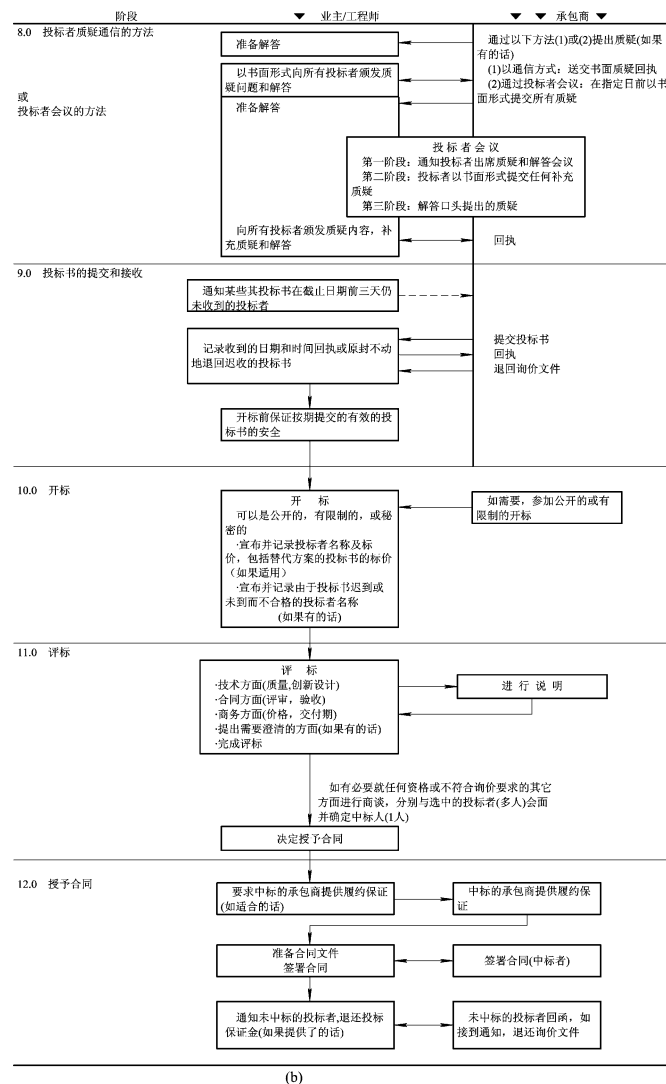


图2.10(b) 招标、投标程序流程图

其中需要说明的“考察现场”一项的需要是基于如下原因：

(1) 一些软件是为企业、政府部门的管理服务，因此只有了解企业、政府部门的现有业务流程细节，才能研究对其的流程重组与改进，这就需要进入现场进行考察。

(2) 某些软件对设备本身的环境有特殊要求，如舰、船及航空、航天用的软件，它对设备所占的空间区域、体积、重量以及温度、湿度、大气压力等均有特殊要求。因此为构建此类软件，有必要对现场进行考察，以尽可能掌握一些约束条件。

(3) 某些软件将带有基础设施(已建成)，因此如何设计软件的各分、子系统，并在该基础设施内进行合理的布局就有必要考察现场。

(4) 某些软件如交通管理控制系统等，是针对某些地区及其路口实施控制的，因此实地了解这些交通道路的车流现状及其规律也是必要的。



### 2.3.3 投标过程及其策略

图2.11给出了投标方(承包商)实施投标过程的活动流程及其需作的有关准备工作。当有的软件项目规模较为庞大,由于人力、设备及时间的限制,主承包商一方往往难以独立完成,因此可联系一些分承包商进行分包。图2.11中的项目分包会议即为主承包商与分承包商在投标前的前期协商会议。图中虚线框的文件不形成传递文件(属内部文件),实线框内的文件属上报文件(外部传递文件)。



图2.11 承包商投标流程图

招标过程所涉及的内容虽然多达12项，但从投标方来看，其投标过程大致可分为三个阶段：**I投标前准备与申报资格预审**；**II编标报价**；**III评标答辨与谈判合同**。投标方为力求在投标竞争中取胜，应在上述各阶段中注意如下策略。

### 1) 阶段I

阶段I中投标方(承包方)应迅速构成由技术设计人员、工程管理人员、市场营销人员、财务分析人员和设备采购人员组建的项目投标组，并着手收集投标信息和资料，研究招标的有关法规。其中投标的信息和资料应包括三个方面。

(1) 有关软件或NIS项目的技术、经济环境信息，设备与原材料的国内外市场供应及其报价。这些信息显然是投标成本分析的基础。

(2) 投标方企业内部资料，包括企业(部门)软件或NIS研制经历、技术水平、信息资源(计算机通信设施，软件工具等)拥有量、资金与财务状况、履约能力、企业管理人员经历及各种证明文件。这些资料的准备将用于招标资格审查。

(3) 竞争对手资料，包括有可能参与投标竞争的企业各单位及有关资料，如这些企业的投标经历、中标次数、技术、质量、财务状况及履约能力与知名度。显然，这些资料的准备将为在评标答辩与谈判中出奇制胜及作出有效的决策打下基础；研究招标法规包括仔细研究招标文件及有关的招标投标法、税法、劳动法、公司法、代理制度法规及各国采购法。一些NIS基于其系统的功能需求，往往需要进口一些先进国家的信息设备，此时仔细研究相关国家的采购法将十分重要。

### 2) 阶段II

在阶段II中，投标项目组的核心工作是按照投标文件要求编制标书，投标方要通过标书中的有关内容来体现其本身的价格优势、技术及管理水平、财务与物资实力，以便与其他投标方竞争。编标报价是整个投标过程的核心，而标价则有可能是决定投标方能否中标的关键。

### 3) 阶段III

在阶段III中，招标方将对投标方递交的标书中不清楚的地方进行质疑，并对有关的投标条件进行谈判，而投标方将利用各种公开和不公开的渠道陈述自身的实力与信誉，适当地降低报价以利用本身的优势及竞争对手的弱点来击败对手，获取合同，同时又利用与招标方谈判合同细节时在不违反合同基本条款和标书文件规定的基础上，尽力争取一些有利于投标方的条件。

### 2.3.4 软件项目标书案例

软件项目标书的内容包括两大部分。**第一部分是投标方有关文件**，包括投标方(企业或部门)从事软件项目的研究经历(合同书、鉴定、评审意见书、获奖证明、市场销售量、相关部门的效益评价书等)；技术水平(通信系统、计算机软、硬件分析设计、测试人才数量、职称、从事研究经历等)，信息资源拥有量，资金与财务状况的银行、会计、审计部门证明文件，企业管理人员经历及履约能力证明文件等。

第二部分是软件项目技术设计文件。表2.3给出了一个应用案例——ERP设计目录，其中，ERP是企业资源计划(Enterprise Resources Planning)的简称，它是在企业管理信息系统MIS、物料需求计划MRP、制造资源规划MRPII基础上发展起来的面向供应链管理(Supply Chain Management)思想的一种新型NIS。目前国内的很多先进企业均已完成或正在实施其ERP规划。基于国外虽已有不少已开发的国外ERP软件进入我国，然而由于我国的国情与欧美诸国有很多不同之处，因而研究与开发适合我国国情的ERP系统是有其重要意义的，同时也有其巨大的市场需求。



# 第2章 软件工程经济学基础

表 2.3 ERP 技术设计方案(标书目录)

1 引言	4.3 项目配置管理与进度管理
1.1 项目背景	4.4 测试
1.2 求语定义	4.5 文档
1.3 参考资料	4.6 项目管理中的关键控制点
2 需求分析	5 系统实施组织机构
2.1 企业概况	5.1 项目领导小组与办公室
2.2 生产经营特点	5.2 项目职能小组(甲方)
2.3 企业管理现状	(各部门经理与职能)
2.4 业务需求描述	企业 IT 小组(信息中心与数据准备)
2.5 现有系统的局限性	5.3 乙方项目组及其职能
3 ERP 总体规划设计	5.4 需求变更协调委员会
3.1 ERP 系统目标与功能	6 系统实施制度
3.2 网络结构与软件结构	6.1 阶段工作计划制度
3.3 数据库系统设计	2.2 系统运行状态监控制度
3.4 办公自动化系统功能设计	2.3 风险控制制度
3.5 重要功能模块及有关算法设计(生产计划管理、采购管理、销售管理、库存管理、设备管理、质量管理、人力资源管理、财务与成本管理, 新产品研究与开发管理, 客户关系管理等)	2.4 文档交接制度
3.6 系统可靠性与可维护性	2.5 数据准备责任
3.7 系统的安全性, 可控性与可测性	2.6 例会、信息反馈与需求变更等的协调与控制制度
3.8 系统的工程经济分析	2.7 失效处理与系统安全制度
4 系统实施规划	7 系统投资效益分析
4.1 项目实施总体规划	7.1 经济效益分析
4.2 项目质量控制系统	7.2 社会效益或国民经济效益分析
	8 不确定性分析
	9 系统构建对企业的影响分析
	10 附录

### 2.4 项目评价与决策方法

在软件企业的生产与经营过程中会遇到系统评价与决策问题，如在软件项目的规划、设计、编码与测试过程中不同技术经济方案的比较、评价与选择问题，在软件外包时对合作伙伴单位的比较评价与选择问题，在建立开发平台中的硬件(服务器、测试设备、传感器等)设备选型与采购问题，企业为建立高素质人才队伍时对高层次人才比较与选择问题等。解决上述问题的理论与方法构成了软件工程经济学的重要内容之一。

## 第2章 软件工程经济学基础

---

上述系统评价与决策问题从本质上来看是一种多属性评价与决策问题。例如，各种开发方案在成本耗费、进度与工期、产出与效益、质量与可靠性等多种属性度量指标上往往各有所长，同时又各有所短，在系统设备选型如服务器的市场采购中，不同计算机在功能与性能、价格、运算速度、存储空间等属性指标上同样具有上述特性。因此，如何科学地、系统地对这些不同的方案作出正确的综合评价或优劣排序，对于系统决策是十分重要的。

解决上述问题的一般做法是顺序解决如下五个问题：

(1) 确定评价主体(单位或个人)；

(2) 确定评价对象(某个软件项目的不同设计方案或技术经济方案、外包选择的不同合作伙伴单位等)并分别以 $A_1$ ,  $A_2$ , ...,  $A_m$ 表示；

(3) 建立如图2.12所示的评价指标体系结构。其中，每个评价指标  $X_j$  都从不同侧面来刻画软件项目技术经济的权重系数， $j=1, 2, \dots, n$ 。

(4) 确定每个指标 $X_j$ 的权重系数,  $j=1, 2, \dots, n$ 。其中, 权重表示各个指标之间的相对重要性的度量。

$W_{ij}$ 表示第 $i$ 种技术经济方案对指标 $X_j$ 的对应权重系数,

并有

$$W_{ij} \geq 0, \sum_{j=1}^n W_{ij} = 1 \quad i = 1, 2, \dots, m$$

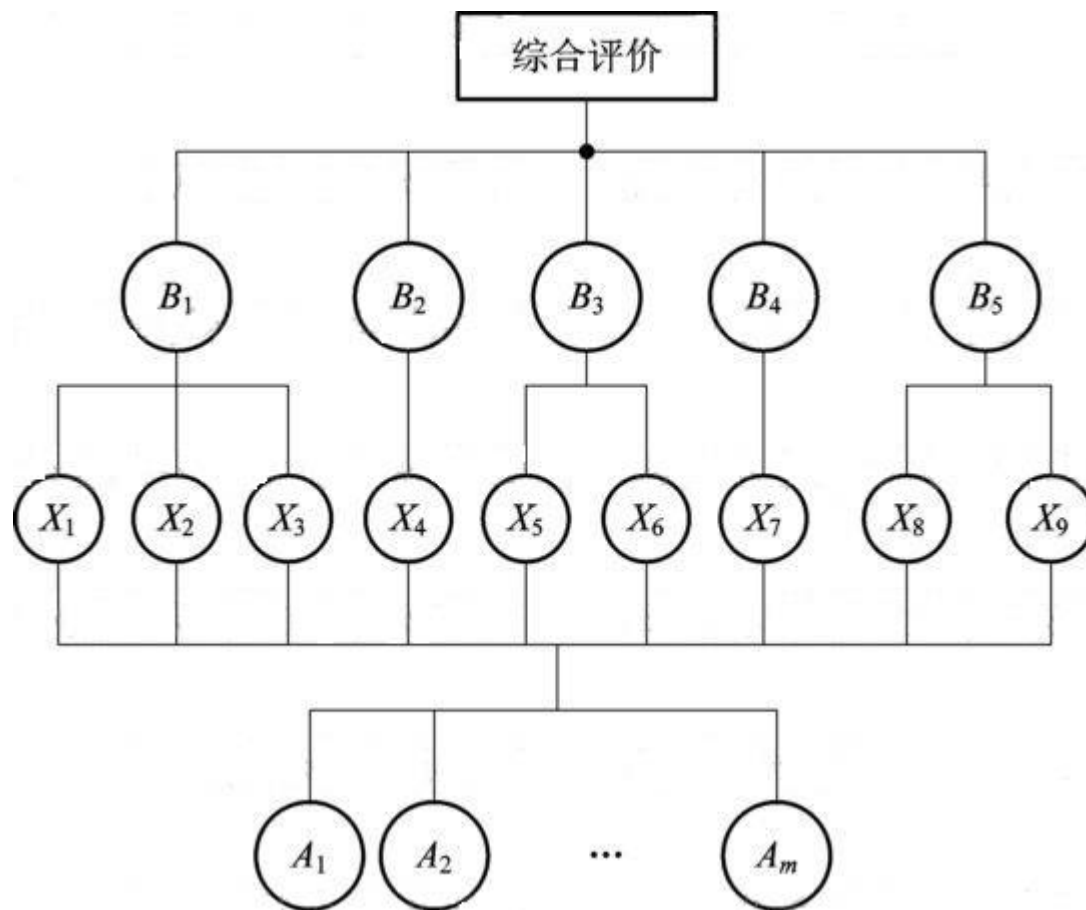


图2.12 综合评价指标层次结构图

(5) 建立综合评价模型。目前常见的综合评价模型有：基于线性加权和的综合评价模型，基于模糊数学的综合评价模型，基于灰色系统的综合评价模型，基于神经网络的综合评价模型，协商评价模型，基于语义的综合评价模型，动态综合评价模型，立体综合评价模型，等等。其中，权重系数的确定常采用Delphi法、二分比较法、六分比较法、九分比较法(即AHP法)等。

本节介绍基于线性加权和的综合评价模型中的一种关联矩阵法、层次分析法(AHP法)和基于模糊数学的综合评价模型中的一种：模糊综合评判法。此外，考虑到采用不同的综合评价模型，会得到不同的求解结果，故本节最后还介绍这种不同求解结果的集结方法。

### 2.4.1 关联矩阵法

关联矩阵法本质是一种权系数确定采用二分比较法而综合评价采用线性加权和的一种综合评价模型。该模型体  $M=\{A, X, W, U\}$ ，其中， $A=\{A_1, A_2, \dots, A_m\}$ 为方案集， $X=\{X_1, X_2, \dots, X_n\}$ 为指标集， $W=\{W_1, W_2, \dots, W_n\}$ 为权重集， $W_j$ 为指标  $X_j$ 对应的权重系数， $U=(u_{ij})$ 为价值矩阵， $u_{ij}$ 表示方案  $A_i$ 关于  $X_j$ 的价值量。 $V=(V_1, V_2, \dots, V_n)$ 为综合价值向量， $V_j$ 为方案 $A_j$ 对应的综合价值量。

$$V_i = \sum_{j=1}^n u_{ij} W_j \quad i=1,2,\dots,m \quad (2.13)$$



### 1. 权重系数的确定

权重系数的确定采用二分比较法。所谓“二分比较”，意指各指标重要性的相互比较采用二分法：重要或不重要，即引入布尔变量 $E_{ij}$ 来度量指标 $X_i$ 与 $X_j$ 相比较的重要性，并有如下权重算法：

$$\left\{ \begin{array}{l} E_{ij} = \begin{cases} 1, X_i \text{ 比 } X_j \text{ 重要或同等重要} \\ 0, X_j \text{ 比 } X_i \text{ 重要} \end{cases} \quad (i, j = 1, 2 \cdots n) \\ E_{ji} = 1 - E_{ij} \quad (i, j = 1, 2 \cdots n) \\ F_i = \sum_{j=1}^n E_{ij} \quad (i, j = 1, 2 \cdots n) \\ W_i = \frac{F_i}{\sum_{i=1}^n F_i} \end{array} \right. \quad (2.14)$$

### 2. 价值等级的确定

利用等级分法确定价值矩阵 $U$ 的步骤为：

(1) 确定各指标属性比较的等级数 $k$ ，常用的等级分三级、四级、五级、七级、九级、十级。相应的等级分可设为1、2、.....、 $k$ 中的任何一值。

(2) 给出各指标处于各等级时其指标属性的度量范畴，从而构成一个等级分表。

(3) 每个方案根据等级分表给出其各指标的等级分  $u_{ij}$ 。

采用等级分法的优点在于使具有不同量纲的指标具有可比性，同时又能使一些定性指标转化为定量指标，从而使相互比较成为可能。

### 2. 综合评价求解

利用关联矩阵法作综合评价的求解流程见图2.13。图中，权重系数计算采用(2.14)式，价值矩阵的确定采用等级分法或二二比较法(如二分比较法、六分比较法或九分比较法)，综合价值量 $V$ 的计算采用(2.13)式，方案排序可根据各方案综合价值量 $V_1, V_2, \dots, V_n$ 的相对大小比较来决定。

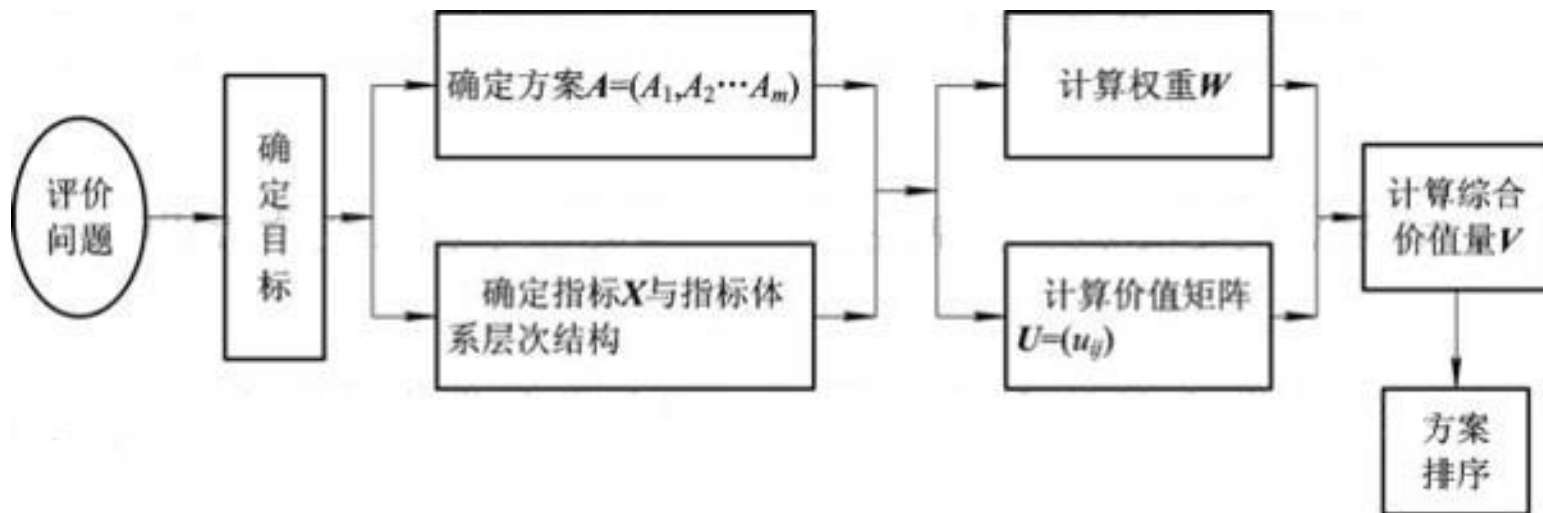


图2.13 综合评价求解流程

以下通过案例来说明方法的求解过程。

**[例2.4]** 软件公司根据市场需求拟开发一种通信管理与控制软件，并经过研究给出了三种设计方案 $A_1$ 、 $A_2$ 、 $A_3$ 。试对这三种方案作系统评价并作排序。

**解** 根据前述介绍的系统综合评价求解思路如下：

- (1) 评价主体为项目经理；
  - (2) 评价对象为设计方案 $A_1$ 、 $A_2$ 、 $A_3$ ；
  - (3) 确定评价指标为：成本( $X_1$ )、功能与性能( $X_2$ )、规模与研发难度( $X_3$ )、投资利润率( $X_4$ )；
  - (4) 采用二分比较法给出各指标的重要性权值见表2.4。
- 表中 $E_{ij}$ 、 $F_i$ 与 $W_i$ 计算采用(2.14)式；

## 第2章 软件工程经济学基础

表 2.4 权重系数求解表

$E_{ij}$	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$X_4$	$F_i$	$W_i$
$X_1$	1	0	0	1	2	0.2
$X_2$	1	1	1	1	4	0.4
$X_3$	1	0	1	1	3	0.3
$X_4$	0	0	0	1	1	0.1

(5) 经研究给出了这四个评价指标的五等级的等级分表见表2.5。根据各设计方案的技术经济特性的优劣，从表2.5中可分别获得其价值矩阵的各分量 $u_{ij}$ 数值见表2.6。利用(2.13)式可求得三个设计方案的综合价值量 $V_1=3$ ， $V_2=3.3$ ， $V_3=2.4$ 。注意到有 $V_2>V_1>V_3$ ，故方案排序为 $A_2 \succ A_1 \succ A_3$ 。

## 第2章 软件工程经济学基础

表 2.5 各指标等级分表

属性	5	4	3	2	1
$X_1$	20 万元以下	$[20, 30)$	$[30, 40)$	$[40, 50)$	50 万元以上
$X_2$	很强	强	较强	一般	弱
$X_3$	小	较小	一般	较大	大
$X_4$	0.7 以上	$[0.5, 0.7)$	$[0.4, 0.5)$	$[0.3, 0.4)$	0.3 以下

表 2.6 价值矩阵表

$U_{ij}$ $A_i \backslash X_j(\omega_j)$	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$X_4$	$V_i$
	0.2	0.4	0.3	0.1	
$A_1$	3	3	3	3	3
$A_2$	3	4	3	2	3.3
$A_3$	2	3	2	2	2.4



### 2.4.2 层次分析法

层次分析法(Analytic Hierachy process, AHP)是目前较为常用的综合评价方法。层次分析法与关联矩阵法的综合评价求解思想类似,均是通过对各评价指标的两两比较并经过数学处理来得到各指标的相对重要性权重系数,从而为支持多属性决策奠定基础。然而这两种方法也有以下不同之处:

(1) 关联矩阵法在作各属性指标的两两比较时未考虑指标两两比较的前后一致性问题,因而数学处理虽然简单,但不够严密,而层次分析法则考虑了两两比较的前后一致性问题,并建立起较为系统、严密的数学理论。

(2) 关联矩阵法作两两比较时采用了简单的二分度量(0或1)，而层次分析法作两两比较时给出的是九分度量(1, 2, 3, ..., 9)，从而使相对重要性差异的刻画更为细微。

(3) 关联矩阵法要求指标体系的层次结构较为简单(目标层、准则层、方案层，共三层)，而层次分析法则允许指标体系构成多于三层的多级递阶层次结构，从而对各指标的层次关联刻画更为细微。

## 第2章 软件工程经济学基础

---

层次分析法是美国匹兹堡大学教授T.L.Saaty在研究美国防部《应急计划》(1971年)、美某州电力分配问题(1972年)及苏丹运输问题(1973年)等项目决策中所取得的成果。以后于1977年在第一届国际数学建模学术会议上发表论文《无结构决策问题的建模——层次分析法》，继而Saaty又于1980年在McGraw[CD\*2]Hill Company出版了其论著《Analytic Hierachy process》，全面论述了层次分析法的数学基础、原理与应用，从而引起了人们的兴趣与注意，并逐步在经济管理、企业管理、科技管理、工程设计等领域取得了广泛的应用。以下介绍层次分析法的有关内容。

### 1. 层次分析法及其求解流程

层次分析法求解流程如图2.14所示。

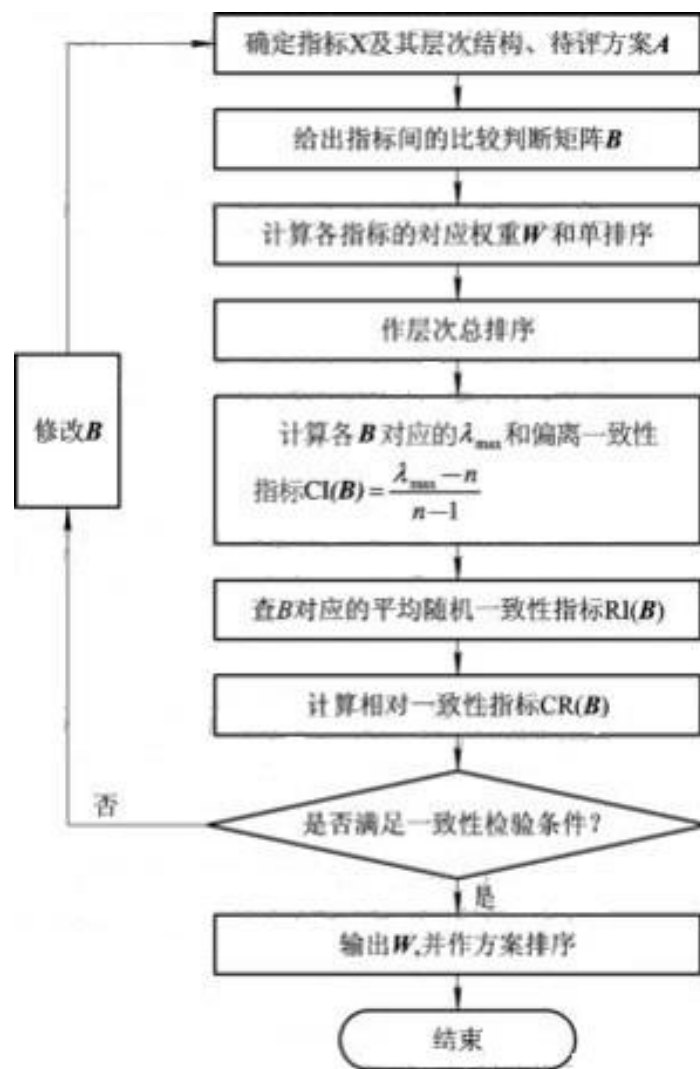
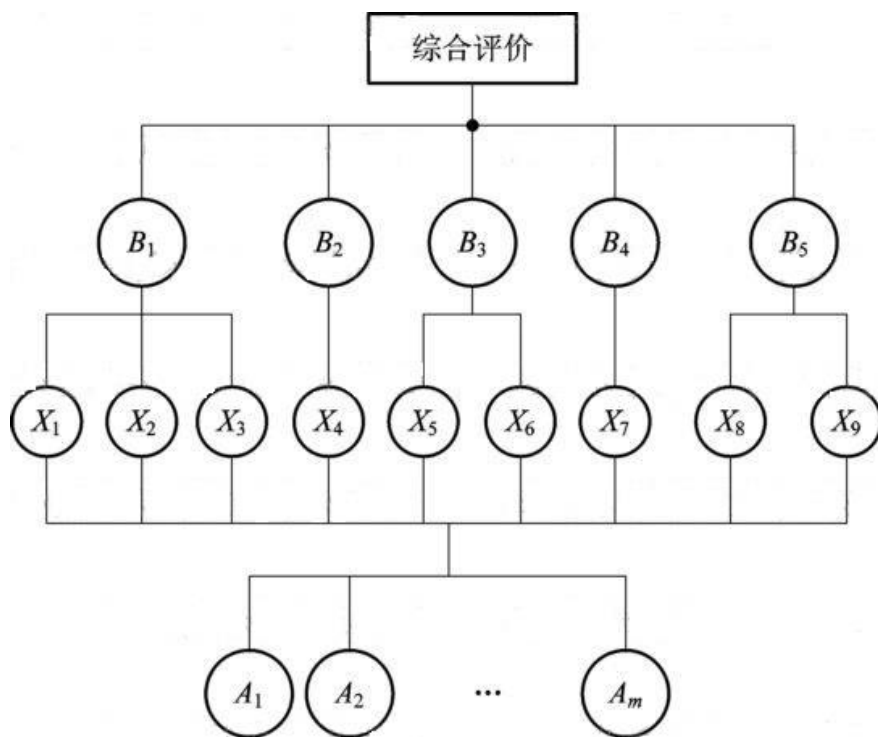


图2.14 层次分析法求解流程

### 1. 层次分析法及其求解流程

运用层次分析法作系统综合评价需要如下基本要素：

$A=\{A_1, A_2, \dots, A_m\}$ ，即待评方案集；

$X=\{X_1, X_2, \dots, X_n\}$ ，即评价属性指标集；

$W=(W_1, W_2, \dots, W_n)$ ，即各指标的相对重要性权重向量；

$B=(b_{ij})$ ，即  $n$  阶正互反矩阵，称为比较判断矩阵。所谓正互反矩阵，是指满足条件  $b_{ij}>0$ ， $b_{ij}=1/b_{ji}$ ， $i, j=1, 2, \dots, n$ 。比较判断矩阵的分量  $b_{ij}$  是指标  $X_i$  与  $X_j$  相比较的相对重要性标度。一般采用1~9及其倒数的标度方法，它反映了人们对各指标相对重要性的认识。

在以上一层次某要素为准则的条件下，具体的标度取值规则如下：

$$b_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{本层次} X_i \text{与} X_j \text{相比, 具有同等重要性} \\ 3, & \text{本层次} X_i \text{与} X_j \text{相比, } X_i \text{比} X_j \text{稍微重要} \\ 5, & \text{本层次} X_i \text{与} X_j \text{相比, } X_i \text{比} X_j \text{明显重要} \\ 7, & \text{本层次} X_i \text{与} X_j \text{相比, } X_i \text{比} X_j \text{重要} \\ 9, & \text{本层次} X_i \text{与} X_j \text{相比, } X_i \text{比} X_j \text{极端重要} \end{cases} \quad (2.15)$$

$b_{ij}$ 也可取上述各数的中间值2, 4, 6, 8及各数的倒数1/3, 1/5, 1/7, 1/9等。由 $b_{ij}$ 的上述取值规则可知，层次分析法的两两比较相对重要性标度采用9个等级或九分法的形式。类似于关联矩阵法中采用的两个等级的 $E_{ij}$ 。

注意到层次分析法中的指标体系具有如图2.12所示的层次结构，除目标层和方案层外，准则层允许有多个层次，以便深入刻画各指标间的层次从属(支配)关系。因此在一系列的评价指标间，**每一个上层指标(含目标)与其可支配的相邻下层指标(含方案)可组成一个两两比较判断的矩阵，并作一次层次单排序和一致性检验。**

由于这样的比较判断阵有多个，例如， $B_1, B_2, \dots, B_m$ ，则只有当这 $m$ 个比较判断阵均通过一致性检验后，方可作层次总排序并输出。这里需要说明的是，单排序是指同一层次各相关指标以其相邻上一层次的某从属指标为准则的相对重要性标度的求解，而总排序则指最底层各指标以最高层目标为准则的相对重要性标度求解，而后者显然是我们作系统评价时待求的主要目标。

### 2. 排序算法

所谓排序算法，是指根据各相关指标的比较判断矩阵求解各指标的相对重要性标度的计算方法。目前这样的排序算法有很多，如特征向量法(EVM)、对数最小二乘法(LLAM)、最小二乘法(LSM)、广义特征根法(GEM)、改进梯度特征向量法(IGEM)、最小偏差法(LDM)等。以下仅介绍特征向量法的计算方法：

$$\begin{cases} U_i = \prod_{j=1}^n b_{ij} \\ V_i = \sqrt[n]{U_i} \\ W_i = \frac{V_i}{\sum_{i=1}^n V_i} \end{cases} \quad (2.16)$$



**[例2.5]** 设有 $B_1$ 和 $B_2$ 两个比较判断矩阵(详见表2.7和2.8), 求它们对应的权重向量。

**解** 利用算法(2.16)式,  $B_1$ 的单排序求解过程见表2.7,  $B_2$ 的单排序求解过程见表2.8, 从而有

$$W(B_1)=(0.637, 0.258, 0.105)^T$$

$$W(B_2)=(0.60, 0.35, 0.05)^T$$

## 第2章 软件工程经济学基础

表 2.7  $B_1$  单排序求解过程

$B_1$	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$U_i$	$V_i$	$W_i$
$X_1$	1	3	5	15	2.467	0.637
$X_2$	1/3	1	3	1	1	0.258
$X_3$	1/5	1/3	1	1/15	0.405	0.105
$\sum$	$\sum = 3.872$					1

表 2.8  $B_2$  单排序求解过程

$B_2$	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$U_i$	$V_i$	$W_i$
$X_1$	1	2	9	18	2.620	0.60
$X_2$	1/2	1	7	7/2	1.518	0.35
$X_3$	1/9	1/7	1	1	0.25	0.05
$\sum$	$\sum = 4.389$					1

### 3. 一致性检验

一致性检验方法有相对比较法、统计检验法、 $K$ 因子检验法等，可详见参考文献[20]。以下介绍相对比较法的有关内容。在对 $n$ 个同层指标作两两比较时，共需作  $\frac{n(n-1)}{2}$  次比较，由于人们在作这一系列两两比较的主观判断中往往不可能采用同一标准(尺度)，从而会出现前、后比较的不一致现象，当 $B$ 的这种偏离一致性的累加效应较大时，将会影响相对重要性标度 $W$ 的真实性。为了避免上述情况的出现，Satty建议引入下述三个指标并作一致性检验的办法来解决上述问题。

(1)  $CI(B)$ 称为偏离一致性指标，它可用来表征作两两比较时 $B$ 偏离一致性的累加总效应。经过理论分析， $CI(B)$ 可由下式计算，且下式中的 $W$ 由(2.16)式计算，其中  $\lambda_{\max}^{(B)}$  为 $B$ 对应的最大特征根。

$$\begin{cases} CI(B) = \frac{\lambda_{\max}^{(B)} - n}{n - 1} \\ \lambda_{\max}^{(B)} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{(B \times W)_i}{W_i} \end{cases} \quad (2.17)$$

(2)  $RI(B)$ 称为平均随机一致性指标，它表示一个 $n$ 阶正互反矩阵 $B$ ，其中出现不一致性的平均累计总效应。一般而言， $B$ 的阶数愈大， $B$ 出现的不一致性累计总效应也愈大。Satty通过计算机模拟给出了不同阶数 $n$ 时的 $RI(B)$ ，见表2.9。

表 2.9  $RI(B)$ 取值表

$n$	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$RI(B_n)$	—	—	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45

(3)  $CR(B) = \frac{CI(B)}{RI(B)}$  称为不一致性指标，若有 $CR(B) < 0.1$ ，则称该层次单排序具有满意一致性，否则，需对 $B$ 作重新调整。

【例2.6】对表2.7与表2.8所示的比较判断矩阵 $B_1$ 与 $B_2$ 作一致性检验。

解 由表2.7知

$$B_1 = \begin{pmatrix} 1 & 3 & 5 \\ \frac{1}{3} & 1 & 3 \\ \frac{1}{5} & \frac{1}{3} & 1 \end{pmatrix}, \quad W_{B_1} = (0.637, 0.258, 0.105)^T$$

由表2.8知

$$B_2 = \begin{pmatrix} 1 & 2 & 9 \\ \frac{1}{2} & 1 & 7 \\ \frac{1}{9} & \frac{1}{7} & 1 \end{pmatrix}, \quad W_{B_2} = (0.60, \quad 0.35, \quad 0.05)^T$$

由(2.17)式知有

$$\lambda_{\max}^{(B_1)} = \frac{1}{3} \sum_{i=1}^3 \frac{(B_1 \bullet W(B_1))_i}{W(B_1)_i} = 3.0389$$

$$CI(B_1) = \frac{\lambda_{\max}(B_1) - 3}{3 - 1} = \frac{0.0389}{2} = 0.0194 \approx 0.02, RI(B_1) = 0.58$$

$$CR(B_1) = \frac{CI(B_1)}{RI(B_1)} = \frac{0.0194}{0.58} = 0.033 < 0.1$$

$$\lambda_{\max}^{(B_2)} = \frac{1}{3} \sum_{i=1}^3 \frac{(B_2 \bullet W(B_2))_i}{W(B_2)_i} = 3.02$$

$$CI(B_2) = \frac{\lambda_{\max}(B_2) - 3}{3 - 1} = \frac{0.02}{2} = 0.01, \quad RI(B_2) = 0.58$$

$$CR(B_2) = \frac{CI(B_2)}{RI(B_2)} = \frac{0.01}{0.58} = 0.0172 < 0.1$$

观察上述 $B_1$ 与 $B_2$ 一致性指标可知,  $B_1$ 与 $B_2$ 均通过了一致性检验。从而有理由相信, 由此获得的 $W(B_1)$ 与 $W(B_2)$ , 其单排序是可靠的。



### 4. 案例

**[例2.7]** 软件企业为今后的软件开发工作的需要，欲在市场上选购一台计算机。今从市场调查得知有三种型号的计算机 $A_1$ 、 $A_2$ 、 $A_3$ 可供选择。它们在价格、性能(存储空间、网络通信)和软件等方面均有不同差异。试利用层次分析法建立该设备选型问题的决策模型，并作相应的排序求解。

**解** 该决策模型设为 $D=\{X, W, B, A\}$ ，其中指标体系为 $B_1$ (价格)、 $B_2$ (性能)、 $B_{21}$ (存储空间)、 $B_{22}$ (网络通信)、 $B_3$ (软件)。这些指标的层次结构图见图2.15。各指标的相对重要性权值分别为 $W_1$ 、 $W_2$ 、 $W_{21}$ 、 $W_{22}$ 、 $W_3$ ，方案集 $A=\{A_1, A_2, A_3\}$ ，分别表示待购的三种型号计算机。

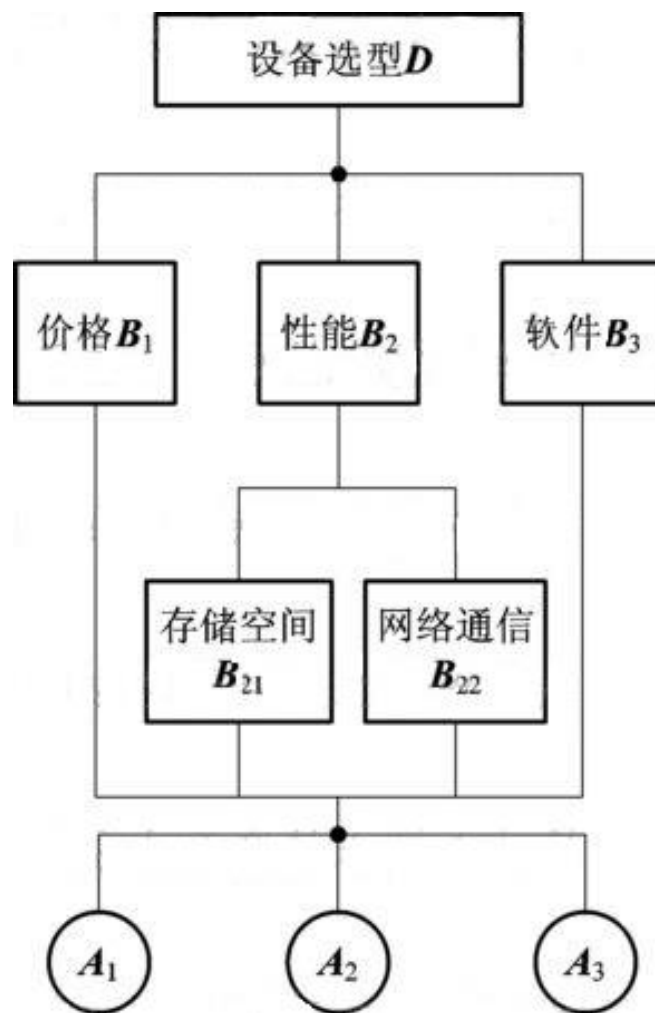


图2.15 设备选型的指标体系层次结构图

为对 $A_1$ 、 $A_2$ 、 $A_3$ 作方案排序，需建立判断矩阵 $D/B$ 、 $B_2/B$ 、 $B_1/A$ 、 $B_{21}/A$ 、 $B_{22}/A$ 、 $B_3/A$ ，共六个比较判断矩阵，具体详见表2.10，其中符号 $B_1/A$ 表示以 $B_1$ 为准则的下层 $A$ 元素的比较判断矩阵，其他符号同理。

运用(2.16)式可求得各比较判断阵所对应的相对重要性权向量，可详见表2.10。各比较判断阵的一致性检验量可见表2.11，表中 $\lambda_{\max}$ 与CI的计算采用(2.17)式算法。

## 第2章 软件工程经济学基础

表 2.10 图 2.15 对应的比较判断矩阵

$D/B$	$B_1$	$B_2$	$B_3$	$W_i$
$B_1$	1	3	5	0.637
$B_2$	1/3	1	3	0.258
$B_3$	1/5	1/3	1	0.105

$B_{21}/A$	$A_1$	$A_2$	$A_3$	$W_i$
$A_1$	1	2	9	0.60
$A_2$	1/2	1	7	0.35
$A_3$	1/9	1/7	1	0.05

$B_2/B$	$B_{21}$	$B_{22}$	$W_i$
$B_{21}$	1	3	0.75
$B_{22}$	1/3	1	0.25

$B_{22}/A$	$A_1$	$A_2$	$A_3$	$W_i$
$A_1$	1	5	2	0.58
$A_2$	1/5	1	1/3	0.11
$A_3$	1/2	3	1	0.31

$B_1/A$	$A_1$	$A_2$	$A_3$	$W_i$
$A_1$	1	1/5	1/3	0.105
$A_2$	5	1	3	0.637
$A_3$	3	1/3	1	0.258

$B_3/A$	$A_1$	$A_2$	$A_3$	$W_i$
$A_1$	1	5	9	0.735
$A_2$	1/5	1	5	0.207
$A_3$	1/9	1/5	1	0.058

## 第2章 软件工程经济学基础

表 2.11 各比较判断阵的一致性检验表

特征量	$D/B$	$B_2/B$	$B_1/A$	$B_{21}/A$	$B_{22}/A$	$B_3/A$
$\lambda_{\max}$	3.039	2	3.039	3.02	3.003	3.117
CI	0.0194	0	0.0194	0.01	0.002	0.058
RI	0.58	—	0.58	0.58	0.58	0.58
CR	0.033	0	0.033	0.002	0.003	0.10

## 第2章 软件工程经济学基础

注意到 $B_{21}$ 和 $B_{22}$ 相对于 $B_2$ 的权重为0.75和0.25，而 $B_2$ 相对于 $D$ 的权重为0.258，故 $B_{21}$ 相对于 $D$ 的权重为 $0.75 \times 0.258 = 0.194$ 。同样， $B_{22}$ 相对于 $D$ 的权重为 $0.25 \times 0.258 = 0.064$ 。表2.10给出了各层次相关元素的层次单排序，在此基础上可建立表2.12的层次总排序表，表中第2行为第1行对应各元素的权重，表中第2列为 $A_1 A_2 A_3$ 相对 $B_1$ 的权重(可详见表2.10  $B_1/A$ 阵)，表中第3列为 $A_1 A_2 A_3$ 相对于 $B_{21}$ 的权重(详见表2.10  $B_{21}/A$ 阵)，表2.12第4、5列数据同样可见表2.10的 $B_{22}/A$ 阵和 $B_3/A$ 阵。若设表2.12中间矩阵为 $A=(a_{ij})$ ，则层次总排序的权重 $W_i$ 可用下式计算：

$$W_i = \sum_j a_{ij} W(B_j) \quad i = 1, 2, 3 \quad (2.18)$$

## 第2章 软件工程经济学基础

其中

$$W_1=0.637 \times 0.105+0.194 \times 0.60+0.064 \times 0.58+0.105 \times 0.735=0.297$$

$$W_2=0.637 \times 0.637+0.194 \times 0.35+0.064 \times 0.11+0.105 \times 0.207=0.502$$

$$W_3=0.637 \times 0.258+0.194 \times 0.05+0.064 \times 0.31+0.105 \times 0.058=0.201$$

由此可知有方案排序

$$A_2 \succ A_1 \succ A_3$$

表 2.12 层次总排序表

$\begin{matrix} \text{B(W)} \\ \text{A} \end{matrix}$	$B_1$	$B_{21}$	$B_{22}$	$B_3$	$W_i$
	0.637	0.194	0.064	0.105	
$A_1$	0.105	0.60	0.58	0.735	0.297
$A_2$	0.637	0.35	0.11	0.207	0.502
$A_3$	0.258	0.05	0.31	0.058	0.201

### 2.4.3 模糊综合评判法

人们在对客观世界的各种问题的研究与系统求解中，精确性一直是人们追求的目标。然而，随着问题研究的深入，人们又发现，随着待研究的问题(系统)的复杂性增大，系统求解的精确性必将降低，这种系统复杂性与系统求解精确性的负相关关系给一些较为复杂的社会、经济问题和工程技术问题的研究带来了困难。为了弥补这样的以精确性为目标的数学的不足，一种基于“不精确描述”的定量表示方法——模糊数学诞生了。



1965年，美国加利福尼亚大学教授查德(L.A.Zadeh)发表了《模糊集合》的论文，首次提出了模糊性问题，并给出了模糊概念的定量表示法，**模糊数学**(Fuzzy Mathematics)从此产生了。随着模糊数学在计算机科学的一些研究问题上得到成功的应用，从而引起了人们的兴趣与注意。目前，模糊数学除了在**图像识别、人工智能、自动控制、信息检索、机器人、故障诊断**等领域得到重要的应用外，还在系统工程和管理科学上也得到广泛的应用，对各类系统或系统方案的综合评价就是其中的成功应用之一。以下介绍基于模糊数学的一种综合评价方法——**模糊综合评判法**的基本概念、原理、方法与应用。

### 1. 基本概念与算法

所谓模糊现象,是指人们对事物认识上的一种边界不清晰、含义不确切的一种现象。这种认识上的边界不清晰现象并非是人们的主观认识上的偏差所造成的,而是一种客观存在的自然属性。例如,人们常说的高、矮,胖、瘦,青年人、中年人、老年人等。

需要指出的是,这样众多的模糊现象的存在并非坏事,它为人们运用模糊数学的原理来解决各种工程技术问题与社会、经济问题提供了“土壤”。

## 第2章 软件工程经济学基础

这种认识上的模糊现象在软件开发与软件企业管理中也随处可见,表2.13列出了在软件工程管理 and 软件项目开发过程中的一些模糊性问题或模糊现象的几个例子。

表 2.13 模 糊 现 象 表

软件工程管理人员	软件项目开发
与人沟通能力的强与弱	经济效益高、中、低
团队精神的有无	规划设计方案的科学或不科学
创新能力的强与弱	开发过程的正常或异常
管理经验的丰富与贫乏	软件故障的多或少

以下介绍因素论域、隶属等级及其关系矩阵。

(1) 待评对象( $A_1, A_2, \dots, A_n$ )与评价主体。

(2) 待评对象的因素论域(即指标体系) $X=\{X_1, X_2, \dots, X_n\}$ 与

权重 $W=(W_1, W_2, W_3)$ 。  $W_i \geq 0, i=1, 2, \dots, n, \sum_{i=1}^n W_i=1$ 。

(3) 待评对象的隶属等级 $U=(U_1, U_2, \dots, U_l)$ 。它表示每一个指标 $X_j$ 的等级划分,例如软件质量可分为高、中、低三个等级,也可分为优、良、中、差四个等级。根据人的分辨能力,一般有 $3 \leq l \leq 9$ ;待评对象的隶属等级分 $F=(F_1, F_2, \dots, F_l)$ ,常采用 $1 \leq F_j \leq 100, j=1, 2, \dots, l$ 。

(4) 待评对象的因素论域与隶属等级的关系矩阵 $\tilde{R}$ ，即

$$\tilde{R} = (r_{jp})_{n \times l}$$

上述各要素的关联可用表2.14来表述。

**表 2.14**  $A_k$  综合评价表(一)

$\tilde{R}$ $X$	$U$				
		$U_1(F_1)$	$U_2(F_2)$	...	$U_l(F_l)$
$X_1(w_1)$		$r_{11}(k)$	$r_{12}(k)$	...	$r_{1l}(k)$
$X_2(w_2)$		$r_{21}(k)$	$r_{22}(k)$	...	$r_{2l}(k)$
...		...	...	...	...
$X_n(w_n)$		$r_{n1}(k)$	$r_{n2}(k)$	...	$r_{nl}(k)$
综合隶属度		$V_1(k)$	$V_2(k)$	...	$V_l(k)$
综合价值量		$V_k$			

表2.14中的各变量含义如下：

$r_{ij}(k)$ 表示方案 $A_k$ 对指标 $X_i$ 属于等级 $u_j$ 的隶属度， $k=1, 2, \dots, m$ ； $i=1, 2, \dots, n$ ； $j=1, 2, \dots, l$ ；

$V_j(k)$ 表示 $A_k$ 方案属于等级 $u_j$ 的综合隶属度， $k=1, 2, \dots, m$ ； $i=1, 2, \dots, l$ ；

$V_k$ 表示 $A_k$ 方案关于各等级综合价值量， $k=1, 2, \dots, m$ 。

(5) 求解综合价值量算法：

$$\sum_{j=1}^l r_{ij}(k) = 1, \quad i=1,2,\dots,n; \quad k=1,2,\dots,m$$

$$V_j(k) = \sum_{i=1}^n w_i r_{ij}(k) \quad k=1,2,\dots,m; \quad j=1,2,\dots,n \quad (2.19)$$

$$V_k = \sum_{j=1}^n F_j \bullet V_j(k) \quad k=1,2,\dots,m \quad (2.20)$$

### 2. 基本原理与决策规则

在前述关联矩阵法中，当首先给出各指标的等级分表后，即可据此表来确定方案  $A_k$  关于指标  $X_j$  的等级分  $V_j(k)$ ，此确定等级分的原理是采用了确定性的“非此即彼”的原理，亦即方案  $A_k$  关于指标  $X_j$ ；实际水平要么属于等级  $U_1$ ，要么属于等级  $U_2$ ，……或属于  $U_l$ 。或当且仅当取这  $U_1, U_2, \dots, U_l$  中的一个等级，这种判断方式是人们的一种“非此即彼”的刚性法则。它是确定性数学数理逻辑的基础。

模糊数学打破了这一刚性法则，引进了方案  $A_k$  关于指标  $X_j$  的属于等级  $U_1$  的隶属度  $r_{j1}(k)$  的概念，即允许有属于等级  $U_1$  的隶属度  $V_{j1}(k)$ ，属于等级  $U_2$  的隶属度  $V_{j2}(k)$ ，……属于等级  $U_l$  的隶属度  $V_{jl}(k)$ 。

显然，这样如表2.14所示的非刚性模糊表述更能客观地、全面地反映人们的判断意识，从而有利于人们据此得出客观结果。当然，这种由刚性到模糊性(由确定性到不确定性)的转变只是一个中间过程，因为人们的习惯思维仍然是刚性的，因此利用模糊数学来求解问题还必须给出一个由模糊性到刚性(由不确定性到确定性)的过程，即需要有一个**刚性→模糊性→刚性(确定性→不确定性→确定性)**的变换过程，并最终来回答方案  $A_k$  究竟属于哪个等级  $U_p$  这一问题。在模糊数学中，若已得到方案  $A_k$  时，则可以采用如下两种决策规则来解决上述问题。



(1) 最大隶属度规则:

若有  $\max_{1 \leq p \leq l} V_p(k) = V_{p_0}(k)$  , 则认为  $A_k$  属于等级  $U_{p_0}$  (2.21)

(2) 最临近(贴近)规则:

若有  $\min_{1 \leq p \leq l} |V_k - F_p| = |V_k - F_{p_0}|$  , 则认为  $A_k$  属于等级  $U_{p_0}$  (2.22)

显然, 对于每个方案  $A_k$  可以得到如表2.14所示的关于  $A_k$  的综合评价表, 从而可以利用(2.22)式(或(2.21)式)来确定  $A_k$  的所属等级, 当所有方案  $A_1, A_2, \dots, A_m$  之所属等级均已确定后, 即可据此对各方案做出排序。

需要说明的是，上述各基本要素及其关联(2.19)、(2.20)式以及决策规则(2.21)式和(2.22)式的正确性论证，涉及到模糊数学中的一些基本概念，如模糊子集、模糊二元关系、模糊关系的合成算子等。限于篇幅，有关上述正确性的论述在此从略。

### 3. 应用流程与关系矩阵的确定

以下介绍调查统计法的有关内容。

(1) 当待评价对象的属性指标为**定性指标**时，可聘请多个专家来对每一待评对象  $A_k$  关于指标  $X_i$  的所属等级做出判断，并对认可  $A_k$  关于指标  $X_i$  所属等级为  $U_j$  的专家人数记录下来，从而可得到  $A_k$  关于  $X_i$  的所属等级频率分布。此频率分布即可视作  $A_k$  关于指标  $X_i$  属于等级  $U_j$  的隶属度分布  $(r_{i1}(k), r_{i2}(k), \dots, r_{il}(k)), i=1, 2, \dots, n$ 。因而可得到  $\tilde{R}=(r_{ij}(k))$   
 $k=1, 2, \dots, m$

(2) 当待评价对象的属性指标为定量指标时, 可先制定出指标 $X_i$ 的等级划分表(如表2.15), 然后确定调查统计期限 $N$ 。

表 2.15 管理指标等级划分

指 标	好( $U_1$ )	较好( $U_2$ )	一般( $U_3$ )	较差( $U_4$ )
$X_1$ (资金利税率)/%	$>29$	$26.5 \sim 29$	$24 \sim 26.5$	$<24$
$X_2$ (可比产品成本降低率)/%	$>3$	$1.5 \sim 3$	$0 \sim 1.49$	$<0$
$X_3$ (定额流动资金周转天数)/天	$<34$	$34 \sim 35$	$36 \sim 38$	$>38$

## 第2章 软件工程经济学基础

例如，设 $N=36$ 月(三年)，而经调查某企业A资金利税率 $X_1$ 属于“好”的有2个月，处于“较好”的有15个月，处于“一般”的有12个月，处于“较差”的有7个月，则有

$$r_{11}(A)=2/36, r_{12}(A)=15/36, r_{13}(A)=12/36, r_{14}(A)=7/36,$$

对于 $X_2$ 与 $X_3$ 指标，其 $r_{ij}(A)$ ， $i=2, 3$ ， $j=1, 2, 3, 4$ ，可类似确定。

## 第2章 软件工程经济学基础

**[例2.8]** 某软件企业为开发一重要的网络信息系统(NIS)，需从企业内外选择一名项目经理。企业高层主管确定此人才选拔的评价准则与指标体系与相对权重见表2.16。

表 2.16 人才选拔属性表

目标	准 则	指 标	权重
项 目 经 理 选 拔	组织协调能力	人格魅力、感召力与组织能力( $X_1$ )	0.15
		与上下级进行有效沟通的能力( $X_2$ )	0.10
		完成任务的主动性、灵活性与创新性( $X_3$ )	0.10
	知识与专业技术能力	具有系统思维能力，能对软件的成本、工期、人力投入作权衡分析的能力( $X_4$ )	0.15
		软件规划、设计、编码、测试能力( $X_5$ )	0.10
		硬件、网络等知识( $X_6$ )	0.10
	管理与决策能力	项目管理的实践与经验( $X_7$ )	0.15
		对成本、工期(进度)人力投入计划制定与过程控制能力( $X_8$ )	0.15

## 第2章 软件工程经济学基础

人力资源部邀请25个专家对每一个待评价对象  $A_k$  关于每个评价指标  $X_i$  的所属等级  $U_j$  作出判断，并据此得到某评价对象  $A_k$  关于各指标的等级频率分布见表2.17(其中将等级分为四级：好，较好，一般，较差)。试根据表2.17计算待评价对象  $A_k$  的综合隶属度与综合价值量，并据此作出  $A_k$  的所属等级。

表 2.17  $A_k$  综合评价表(二)

$\begin{matrix} R \\ \sim \\ X \end{matrix}$	$U$				
		好(100)	较好(85)	一般(70)	差(55)
$X_1(0.15)$		0.36	0.56	0.08	0
$X_2(0.10)$		0.12	0.56	0.28	0.04
$X_3(0.10)$		0.20	0.60	0.20	0
$X_4(0.15)$		0.04	0.40	0.44	0.12
$X_5(0.10)$		0.08	0.44	0.48	0
$X_6(0.10)$		0.20	0.56	0.24	0
$X_7(0.15)$		0.16	0.24	0.52	0.08
$X_8(0.15)$		0.12	0.32	0.48	0.08
$v_j(k)$		0.162	0.444	0.348	0.046

$$V_k = \sum_{j=1}^4 F_j \cdot V_j(k) = 80.83$$

解 利用表2.17及(2.19)式可算出 $A_k$ 关于四个等级的综合隶属度：

$$V_1(k)=0.162$$

$$V_2(k)=0.444$$

$$V_3(k)=0.348$$

$$V_4(k)=0.046$$

再利用(2.20)式可算得 $A_k$ 综合价值量：

$$V_k=80.83$$

由最大隶属度规则有

$$\begin{aligned}\max_{1 \leq p \leq 4} V_p(k) &= \max\{0.162, 0.444, 0.348, 0.046\} \\ &= 0.444 = V_2(k)\end{aligned}$$



由此可知，待评对象 $A_k$ 综合评价结果属等级 $U_2$ ，即“较好”。

由最邻近规则有

$$\begin{aligned}\min_{1 \leq p \leq 4} |V_k - V_p| &= \min\{|80.83 - 100|, |80.83 - 85|, |80.83 - 70|, |80.83 - 55|\} \\ &= |80.83 - 85| = |V_k - F_2|\end{aligned}$$

由此可知，待评对象 $A_k$ 综合评价结果属等级 $U_2$ ，即“较好”。

若候选对象有5人，经上述评价过程有 $A_1$ 、 $A_2$ 属“较好”， $A_3$ 属“好”， $A_4$ 、 $A_5$ 属“一般”，则可将 $A_3$ 选择为项目经理。

需说明的是，在很多应用实践中，人们并不需要对每个待评方案(或人)区分出属于哪个等级，而只是需要区分合格与不合格，优良或非优良，此时还可以引进如下结构优良度与比例优良度的概念来解决上述问题。

结构优良度：

$$D_1(k) = \frac{V_1(k) + V_2(k)}{\sum_{p=1}^4 V_p(k)} \quad (2.23)$$

比例优良度：

$$D_2(k) = \frac{V_1(k) + V_2(k)}{V_3(k) + V_4(k)} \quad (2.24)$$

若有 $D_1(k) \geq 0.60$ ，则可认为 $A_k$ 属于合格类或者优良类，否则属于不合格类或者较差类。

若有 $D_2(k) \geq 1.5$ ，则可以认为 $A_k$ 属于合格类或者优良类，否则属于不合格类或者较差类。

**[例2.9]** 试对例2.8中具有综合评价结果表2.17所示的待评对象 $A_k$ 判定其是否处于合格类。

**解** 利用表2.17之数据，运用(2.23)式或(2.24)式算法容易算得有

$$D_1(k) = \frac{0.162 + 0.444}{1} = 0.606 > 0.6$$

$$D_2(k) = \frac{0.162 + 0.444}{0.348 + 0.046} = \frac{0.606}{0.394} = 1.538 > 1.5$$

由上计算可知，待评对象 $A_k$ 属于合格类或优良类。

### 2.4.4 不同排序结果的集结方法

注意到当我们用前述的不同综合评价方法对待评方案  $A_1, A_2, \dots, A_m$  做综合排序时，其排序结果可能会不一致。例如用方法  $M_1$  求解时  $A_k$  方案列第二位，用方法  $M_2$  求解时  $A_k$  方案列第一位，……，基于工程技术和决策管理的需要，人们最终仍然希望给出一个最终的结果： $A_k$  方案究竟排在第几位？上述问题的解决称为多种排序方案的集结或不同排序结果的集结，这样的集结方法有平均值法、Borda法、Copeland法、概率性集结方法、模糊型集结方法、不确定型(区间)集结方法等。以下仅介绍平均值法。

平均值法的集结思想是计算每个待评方案 $A_k$ 在不同综合评价方法求解结果中的平均“优序”数，并依据每个待评方案的平均优序数大小来决定该方案的排序位置。

设 $d_{ij}$ 表示方案 $A_i$ 在采用方法 $M_j$ 求解时的排序位置，如 $A_1$ 方案在采用 $M_2$ 方法求解时其排序位置为第3位，则取 $d_{12}=3$ 。设有 $m$ 个待评方案 $A_1, A_2, \dots, A_m$ 采用 $l$ 种综合排序方法 $M_1, M_2, \dots, M_l$ ，可得到 $l$ 种排序结果，则平均值法的应用步骤如下：

(1) 给出 $l$ 种排序结果矩阵 $D=(d_{ij})_{m \times l}$ ，计算各方案的平均优序值

$$\bar{d}_i = \frac{1}{l} \sum_{j=1}^l d_{ij}, \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (2.25)$$

(2) 对  $\bar{d}_1, \bar{d}_2, \dots, \bar{d}_m$  之大小比较并排序, 若有

$$\bar{d}_{i_1} \leq \bar{d}_{i_2} \leq \bar{d}_{i_3} \leq \dots \leq \bar{d}_{i_l}$$

则有方案最终排序

$$A_{i_1} \succ A_{i_2} \succ A_{i_3} \succ \dots \succ A_{i_l}$$

## 第2章 软件工程经济学基础

**[例2.10]** 设有 $m=4$ 个待评方案，采用 $l=4$ 种综合评价法求得的排序结果见表2.18。试利用平均值法求最终方案排序。

表 2.18 排 序 集 结 表

$\begin{matrix} D \\ A \end{matrix}$ $M$					$\bar{d}_i$
	$M_1$	$M_2$	$M_3$	$M_4$	
$A_1$	1	2	1	4	2
$A_2$	2	1	2	1	1.5
$A_3$	3	3	4	2	3
$A_4$	4	4	3	3	3.5

解 利用(2.25)式计算各方案的平均排序值列于表2.18的第6列，其中，

$$\bar{d}_1 = \frac{1+2+1+4}{4} = 2$$

$$\bar{d}_2 = \frac{2+1+2+1}{4} = 1.5$$

$$\bar{d}_3 = \frac{3+3+4+2}{4} = 3$$

$$\bar{d}_4 = \frac{4+4+3+3}{4} = 3.5$$

由于  $\bar{d}_2 < \bar{d}_1 < \bar{d}_3 < \bar{d}_4$ ，故有最终排序结果

$$A_2 \succ A_1 \succ A_3 \succ A_4$$



### 作业

**习题6、9、13、14、16**

### 习 题 二

1. 软件企业在生产与经营过程中将面临哪些工程经济活动？这些工程经济活动所围绕的企业目标有哪些？
2. 软件企业筹措资金的原则有哪些？筹措资金的渠道有哪些？
3. 可行性研究包括哪几个阶段？每个阶段的主要工作任务是什么？软件项目可行性分析报告的主要内容有哪些？
4. 什么是固定资产？什么是流动资产？它们在企业生产与经营中起到什么样的作用？企业的成本、收入、税金、利润之间有何关联？

5. 什么是资金的时间价值？为什么资金的时间价值会直接影响软件项目的经济效果？

6. 某软件企业获得10万元的贷款，偿还期为5年，年利率为10%，试就下述4种还贷方式，分别计算5年还款总额和还贷额的现值：

- (1) 每年末还2万元本金及所欠利息；
- (2) 每年末只还所欠利息，本金在第5年末一次还清；
- (3) 每年末等额偿还本金和利息；
- (4) 第五年末一次还清本金和利息。

7. (1) 某公司购买企业债券1.2万元,年利率为12%,5年后本利和一次收回。问该公司五年后能收回本利和金额是多少。

(2) 某公司欲在10年后得到本利和10万元，而银行的10年期存款利率为10%。问该公司当前应存入银行本金多少元。

8. 某公司每年末均向银行存款1万元以便8年后取出备用。今设这8年中银行的年存款利率为4%。问8年后该公司取出的存款总额是多少。画出相应的现金流量图。

9. 某公司计划7年后购进一台设备，约需投资6万元。为此，该公司决定从今年起每年从税后利润中提取等额年金，以作为专用基金存入银行。设银行存款年利率为5.5%，问该公司应提取多少年金。画出相应的现金流量图。

10. 某IT企业今年向银行贷款20万元以购置一台设备。若银行贷款利率为10%，规定10年内等额偿还，试求每年的偿还金额。

11. 某公司欲使今后10年内每年能从银行中等额支取1万元以资助希望工程，若银行10年期存款利率为10%，问该公司当前应向银行存入多少金额。

12. 某IT企业今年初向银行贷款5万元以购置设备，银行年贷款利率为10%，并要求在10年末本利和一次付清。该企业制定了如下的还贷方案：自今年起开始在前6年内每年年末等额提取一笔钱存入银行，若银行存款的年利率为8%，而这些存款到10年末恰好等于上述贷款的本利和。问这前6年年末应提取多少钱存入银行。

13. 某软件企业一年前买了1万张面额为100元、年利率为10%(单利)、3年后到期一次性还本付息国库券。现在有一机会可以购买年利率为12%、二年期、到期还本付息的无风险企业债券，该企业拟卖掉国库券以购买企业债券，试问该企业可接受的国库券最低出售价格是多少。

14. 某软件项目现有两个设计方案 $A_1$ 和 $A_2$ ，为比较这两个设计方案的优劣，该项目主管确定了五个指标 $X_1$ 、 $X_2$ 、 $X_3$ 、 $X_4$ 、 $X_5$ ，对这五个指标的相对重要性作了两两比较，如表2.19所示。此外，还确定了每个指标划分为四个等级： $U_1$ 、 $U_2$ 、 $U_3$ 、 $U_4$ ，各等级的等级分分别为5、4、3、1；并对 $A_1$ 、 $A_2$ 方案的各指标所属等级作了判断，如表2.20所示。根据表2.19和表2.20的有关信息，运用基于线性加权和法的关联矩阵法，对这两个软件设计方案的优劣做方案排序。

## 第2章 软件工程经济学基础

表 2.19 两两比较表

$a_{ij}$ $X$		$X$				
		$X_1$	$X_2$	$X_3$	$X_4$	$X_5$
$X_1$		1	0	0	1	0
$X_2$		1	1	0	1	0
$X_3$		1	1	1	1	0
$X_4$		0	0	0	1	0
$X_5$		1	1	1	1	1



## 第2章 软件工程经济学基础

表 2.20 等级判断表

$\begin{matrix} U \\ X \end{matrix}$	$A_1$				$A_2$			
	$u_1$	$u_2$	$u_3$	$u_4$	$u_1$	$u_2$	$u_3$	$u_4$
$X_1$	✓					✓		
$X_2$		✓			✓			
$X_3$		✓			✓			
$X_4$			✓					✓
$X_5$				✓				✓

15. 某地区软件协会参考ISO/IEC9126软件质量国际标准，建立了如图2.17所示的软件质量指标体系。试运用层次分析法自行建立各层的比较判断矩阵，并作层次单排序、一致性检验和层次总排序，以求解该指标体系最底层的14个指标 $C_1 \sim C_{14}$ 的相对重要性权重。

16. 为对计算软件作综合评估，软件协会建立了如表2.21所示的指标体系与对应权重，并组织了一个九人专家评审委员会，该委员会对某软件A各质量指标( $C_j$ )的所属等级频数分布如表2.21所示。试用模糊综合评判法根据表2.21的专家评定个人信息对软件A所属质量做出判断。

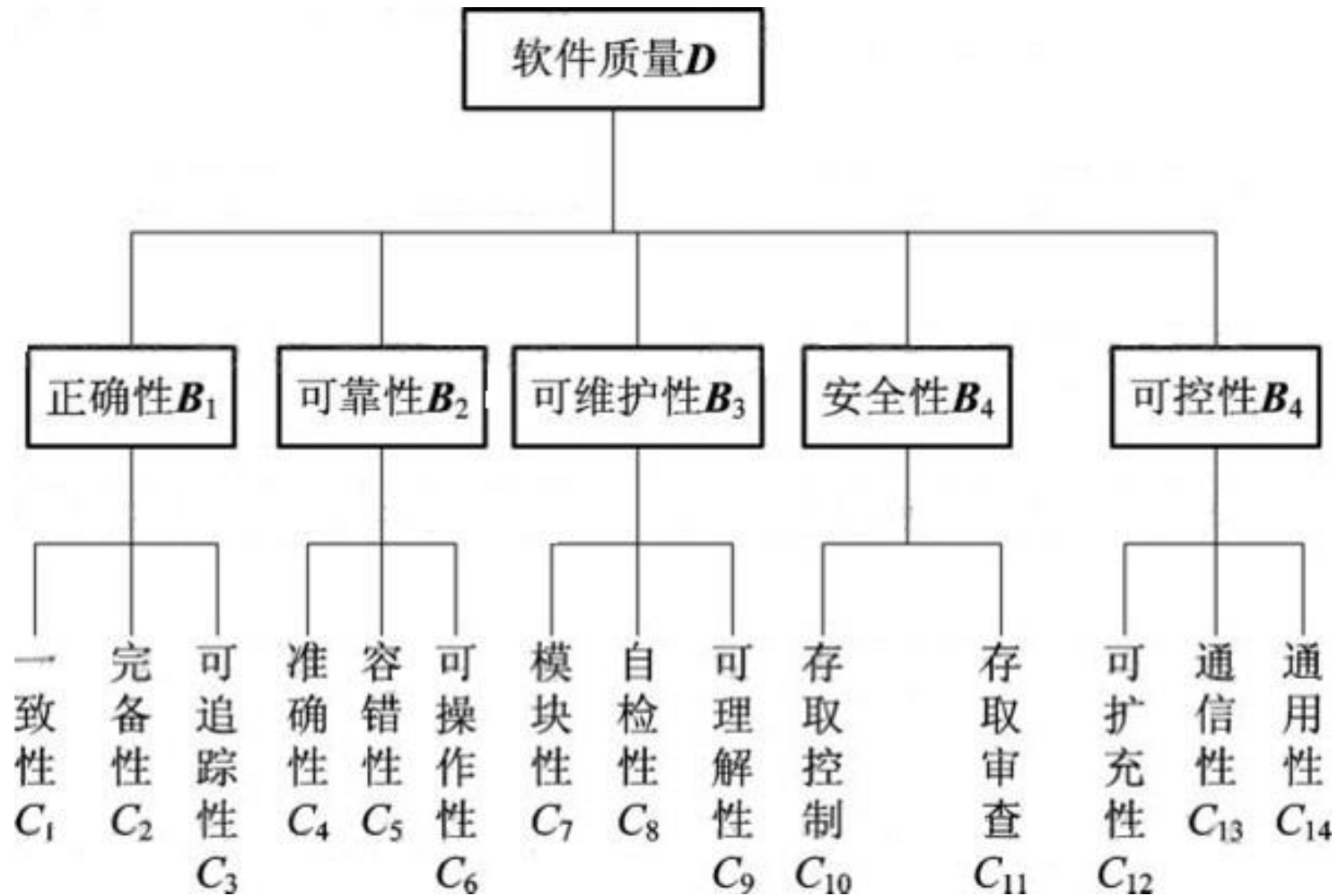


图2.17 软件质量指标体

## 第2章 软件工程经济学基础

表 2.21 等级频数表

指标	$W$	$U_1(100)$	$U_2(85)$	$U_3(70)$	$U_4(55)$
$C_1$	0.12	3	4	2	0
$C_2$	0.10	2	5	2	0
$C_3$	0.10	4	3	1	1
$C_4$	0.12	1	2	4	2
$C_5$	0.10	2	2	5	0
$C_6$	0.10	4	2	3	0
$C_7$	0.10	3	4	1	1
$C_8$	0.08	2	5	2	0
$C_9$	0.10	5	2	2	0
$C_{10}$	0.08	3	4	2	0

17. 设有5个待评方案，采用4种综合评价方法求解，其求解所得的排序结果见表2.22。试运用平均值法确定这五种方案的最终排序。



表 2.22 排 序 结 果

$D$ $A$	$M$				
		$M_1$	$M_2$	$M_3$	$M_4$
$A_1$		3	1	1	2
$A_2$		1	2	2	4
$A_3$		2	3	4	1
$A_4$		4	4	3	5
$A_5$		5	5	5	3