核电站经济与管理

王成孝 编著 原子能出版社

HEDIANZHAN
JINGJI
YU
GUANLI

内 容 简 介

本书主要分析核电站的经济性问题，结合我国核电站的建设，讨论了单位建设成本和单位发电成本的构成及其计算方法，投资回收的办法，以及计划、投资控制、质量和安全等方面的科学管理方法。全书分为五章，内容包括：核电站工程经济学基础，建设投资的计算与分析，核燃料循环及其费用计算方法，核电站发电成本计算和核电站的管理。

本书可供高等院校有关专业的高年级学生、研究生以及从事核电站工作的各类有关人员参考。

前　言

就世界范围来说，核电站的经济性比火电站好，这是核产业界公认的。尽管如此，由于所有的核电站的建设成本逐年提高，加之核电站初期投资比火电站大，建设周期又长，发展中国家或中小电力公司很难承受资金的负担，再加上近几年来石油、煤炭燃料价格的下跌，核电站建设计划有放慢或放弃的倾向。因此，尽量正确地估计核电站的建设投资，越来越成为发展核电站的重要课题。

另外，对核电站建设成本的分析也未必一致，因为用不同的币值、在不同的时间和不同的地区、采用不同的方式和不同的条件进行计算，往往得到不同的结果。

我国劳动力的支付费用与国外相比是比较低的，而且在核电站的建设投资中，包含着密集的劳动力费用。因此，在我国建设核电站，其单位建设成本和单位发电成本理应是在世界上属于最低之列。编著本书的目的在于通过对核电站的经济性进行各种分析，说明这一点并提出实现这一目标的具体措施，衷心希望本书的出版能促进我国核电事业的发展。

核电站建设的管理，在我国目前条件下，是与核电站单位建设成本的高低紧密相连的。在某种意义上说，核电站单位建设成本的高低，主要取决于核电站建设中的管理是否得当，为此，本书把核电站的管理专门作为一章，加以讨论。

在计划写本书时，承蒙王淦昌教授的鼓励，在编写过程中，与彭士禄教授讨论许多问题，受益不浅，并曾得到陈进贵同志的许多帮助，在此一并向他们表示感谢。

作　者

1989.9.

目　录

第一章　核电站工程经济学基础

1.1 引　　言

任何一项计划只有当其在技术上与经济上均可行时，才能实现。技术上的可行性属于专业知识与专业能力的范围。核电站工程经济学是对核电站工程的行动方案及其投资费用和经济效益进行研究和比较的一门科学。它包含了对相互竞争的各种方案进行经济性决策所需要的原理、概念和技术。核电站工程经济学的根据就是货币的时间价值。如果有两笔资金，是在同一天内支出或收入的，则就可以直接作比较；如果支出或收入的日期是不相同的，则需要进行调整之后，才可以作比较。这是因为：

(1)经济是变动的，如通货膨胀或通货紧缩，这样，就会改变货币的购买力；

(2)一定数量的货币，它可以用来投资到这样或那样的设施上而赚得不同的报酬金额。

本章将介绍货币的时间价值；利息公式；价格上升和通货膨胀；贴现率；现值分析和年等效费用分析以及折旧等概念。

1.2 货币的时间价值

在核电站建设中一定要正确理解核电站工程经济学、以及货币的时间价值的概念。这是核电站建设的初期投资大、建设周期长等因素决定的。

当两笔资金在同一时间发生时，就可以直接进行比较。如果发生在不同时间，那么如果不首先计及在这段时期内的资金价值的

变化，而硬要直接进行比较，这是不科学的，也是没有意义的。因为这种资金的价值的变化，是由两种基本的因素引起的：一是经济力量，例如：通货膨胀或通货紧缩，改变了货币的购买力；二是资金在一段时期内可以作为投资，以获得纯利。而且，这种纯利，与通货膨胀或通货紧缩是无关的。因此，在核电站建设中，在做任何费用的支出或收益比较之前，必须考虑到货币发生的不同时间把所有货币等效到同一时间。也就是说，所有的现金流量都必须放在时间的等效基础上。

为了把货币的时间价值这一最基本的概念说得更明白一些，可以用比较今天的 100 元和一年之后的 100 元来说明。如果把货币以某种方式作为投资而产生红利，那么今天的 100 元就会比从现在起一年以后的 100 元更为值钱。即使把这钱存于银行，也会获得利息。

利息这一名词，通常被认为是由生产性投资而赚得的收益。利息率被定义为在某一个时段末所得到的利息与这一时段中所支出的金钱之比。例如，若把 100 元钱，以 10%的年利率存入银行，那么在年末这 100 元就值 110 元了。所以在理论上来说，今天有 100 元和一年后有 110 元对投资者来说是一回事，除非可能有更好的投资机会。相反，假设年利息率为 10%，那么一年之后的 100 元，在今天仅值 90.91 元。因此，利息的更为实用的定义是由资金产生的报酬。若每年的应付利息算到上一年末欠付的本利和上，则此利息叫做复利。此处所说的本利和是指本金与到期应付而未付的利息的总和。

1.3 利息公式

由于核电站建设投资大、建设周期长，按照国际惯例，有必要首先考虑复利理论。复利理论通常亦称财务数学。复利理论虽然并不复杂，但要熟练应用亦需要有一定训练，这对于很好了解核电站建设的投资预算和进行方案性选择是十分重要的。

这里提出的复利公式是以离散时间段、离散利息(或贴现)率为基础的。尽管在说明中使用了一年的利息期，但所提出的计算公式可以应用于任何时间长度的利息期。时间和金钱的六个基本关系式(即利息计算公式的关系式)在这里只作概括性的讨论，这对确定在不同时间花掉的一笔资金的等效值是很有用的。

应用下列符号作为推导这六个基本计算公式的代号：

i —— 利息率(或贴现率)(按照传统的推导公式，利息率或贴现率被用在建立六个公式中是用同一个单一符号。然而为了清楚地区分利息率和贴现率之间的不同，应该使用不同的符号，例如字母 d，来代表在建立现值计算公式中所使用的字母 i)；

N —— 利息期或贴现周期；

P —— 货币的现值；

F —— 金钱在第 N 周期末的终值；

A —— 在 N 周期上以利息率 i 或以贴现率 i 在每个周期末支付(或收取)的货币在 N 周期上的一系列均值支付(或收取)值。

1.3.1 整付复利计算公式

对于给定的周期数 N，如果在一个银行户头中存入 P 元，利率是一个确定的比率 i，那么到第一个周期末这个户头的账面将

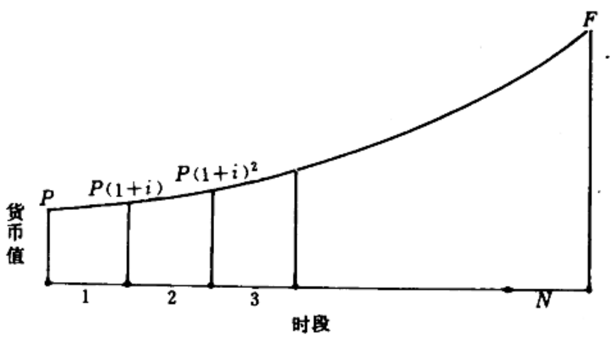

图 1.1　现值和终值的现金流

从 P 元增加到 $P(1+i)$ 元，到第二个周期末将增加到 $P(1+i)(1+i)$，以此类推，如图(1.1)所示：

由图 1.1 可以看出，在 N 个周期末的 F 值通常以下式表示：

$$F = P(1+i)^N \tag{1.1}$$

表达式 $(1+i)^N$ 记作 $(F/P)^i_N$ 被称为整付复利系数。这个表达式是货币现在价值计算的基础，常被用来计算在不同时间的金钱的等效值。无论什么时候的货币如要在时间上向前移动，都需要应用公式(1.1)。

偶尔在核电站的经济性研究中，使用连续复利的概念而不用离散复利来计算。在这种情况下复利系数 $(1+i)^N$ 记作 e^{qN}，其中 q 被定义为连续利息率(即在整个周期的每一时刻都要把计算的利息加到本金中去)。为了在离散的利息率(或贴现率) i 与连续的利息率(或贴现率) q 之间建立一个等价关系，考虑把一年分成时间长度为 $1/K$ 的 K 个时段。在极端情况下当利息周期取得无限小时，$i = e^q - 1$。因此，当 $i = e^q - 1$ 时，公式 $F = Pe^{qN}$ 和公式 $F = P(1+i)^N$ 给出相同的结果。懂得这一点是十分重要的，不仅只是在理论说明方面，而且具有实际意义。因为在实际的商业性交往中，当年利率确定之后，在实际的财务结算中通常都要以小于一年(如 6 个月)的时间段作为结算期，如果只是利用式(1.1)进行计算，就将出现问题。例如：如果借贷双方确定年利率为 6%，以一年作为结算期，年利率确实为 6%；如果以一月为结算期，利用式(1.1)计算，则实际年利率就相当于 6.17%。

同样，表达式 $e^q - 1$ 也可以用在本章所介绍的其它离散公式中替代 i 来推导连续复利公式。

1.3.2 整付现在价值公式

在未来的第 N 个周期上的总和 F 值的现在价值 P，可以由重行安排公式(1.1)这个单一的复利公式来确定，以 F 来表示 P 得：

$$P = F\left(\frac{1}{(1+i)^N}\right) \tag{1.2}$$

其中 $\frac{1}{(1+i)^N}$ 记作 $(P/F)_N^i$，被称为整付现在价值系数。现在价值系数、利率和时间的关系如图 1.2 所示。在这种情况下，i 通常也被称为贴现率（在后面的讨论中，贴现率与利息率可能是完全不同的）。无论在什么时候，货币在时间上向后移动时，都需要使用这个系数来确定第 N 个周期末的货币的现在价值。

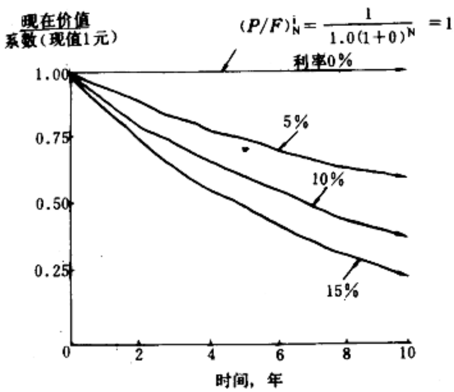

图 1.2　现在价值系数、利率与时间的关系

1.3.3 等额偿还基金公式

通过一系列等额支出的数集而建立的一笔将来在给定的时段长之末所需要的累积基金被称为偿还基金。每一笔支出有一个固

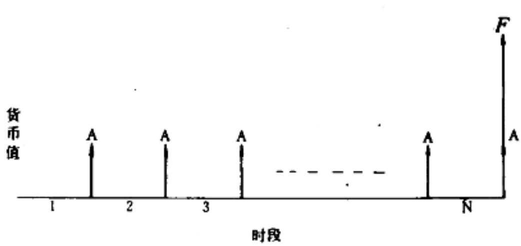

图 1.3　系列付款均值的现金流

定的数值 A，这个数值 A 称作年金，它是发生在 N 个利息期的每一个期末支付，如下图 1.3 所示。

在 N 个时段末的总值 F 是每一时段支付的总和。这样，在第一个时段周期末投入的货币将获得 $(N-1)$ 周期的利息，至 $(N-1)$ 周期末它的值将为 $A(1+i)^{N-1}$，以此类推，第二个周期末支付的钱将变成 $A(1+i)^{N-2}$ ……等等。在最后一个周期末投入的钱将没有利息。因此，对由各个周期末支付的所有货币求和并简化之后得：

$$A = F\left[\frac{i}{(1+i)^N - 1}\right] \tag{1.3}$$

其中 $\frac{i}{(1+i)^N - 1}$ 被记作 $(A/F)^i_N$，称为偿还基金系数。

1.3.4 等额系列复利公式

等值于在每一个时段周期末的系列等额值 A 之和的将来值 F，可以由重行安排公式(1.3)得：

$$F = A\left[\frac{(1+i)^N - 1}{i}\right] \tag{1.4}$$

其中 $\left[\frac{(1+i)^N - 1}{i}\right]$ 记作 $(F/A)^i_N$，称为等额系列复利计算系数。

1.3.5 等额资本回收公式

当利息率和周期数已经知道时，要把在每一个周期末等额支付的货币值 A 累加成一个给定的现在值时，可以把公式(1.1)中的 F 值代入公式(1.3)中计算，得：

$$A = P\left[\frac{i(1+i)^N}{(1+i)^N - 1}\right] \tag{1.5}$$

其中 $\left[\frac{i(1+i)^N}{(1+i)N - 1}\right]$ 记作 $(A/P)^i_N$，被称为资本回收系数。这个系数也可以被表达为偿还基金系数与利息率之和，即

$$(A/P)^i_N = (A/F)^i_N + i_0$$

当资本回收系数被现在债务相乘时，便给出了在 N 个周期中的每一个周期末等额支付的具有利息率为 i 的偿还债务的计算

值。

为了进一步说明这一重要的系数，假设被借资金的年利息率为 10%，那么偿还 9426914 元债务，在 30 年内，每年支付的钱应是 1000000 元，即

$$9426914\times(A/P)_{30}^{10\%}$$

如下图 1.4 所示。

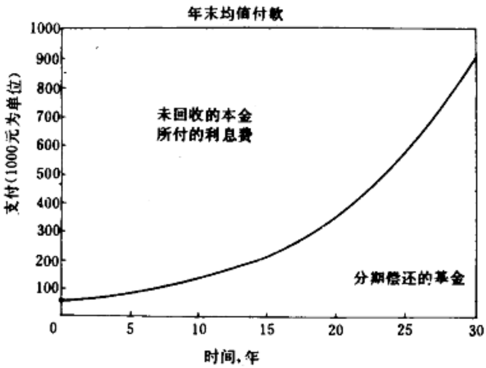

图 1.4　资金收回系数的说明

由图 1.4 可以看出，这种年终等额支付的资金是两个部分之和，即(1)为收回本金所作的支付(所借资金的原值)；(2)支付所借本金的利息。划分于图 1.4 中的利息和本金的偿付表明，在最初几年偿还的 1000000 元几乎全部是用来支付本金的利息，而在较后的几年，偿还本金才占年支付值的主要部分。

1.3.6 等额系列现值计算公式

一系列在周期末等额支付的现在价值可以由重行安排公式(1.5)求得：

$$P=A\left[\frac{(1+i)^N-1}{i(1+i)^N}\right] \tag{1.6}$$

其中 $\left[\frac{(1+i)^N-1}{i(1+i)^N}\right]$ 记作 $(P/A)_N^i$，称为等额系列现在价值

系数。

表 1—1 汇总并简要地描述了六个利息公式。为了简化计算，这六个系数公式通常按照经常使用的 i 和 N 值制成表格，这种表格在正式出版的工程手册或财务和工程经济学方面的教科书中都可以找到。

表 1—1 用于经济性计算的利息公式汇总表(假定时间周期是离散的)

公式名称	待求量	给定量	公 式	用 途
整付复利计算	F	P	$F = P(1+i)^N$	用现值和求终值
整付现值计算	P	F	$P = F[\frac{i}{(1+i)^N}]$	用将来值和求现值
等额系列复利计算	F	A	$F = A[\frac{(1+i)^N - 1}{i}]$	用各周期末的一系列等额和求终值
等额偿还基金	A	F	$A = F[\frac{i}{(1+i)^N - 1}]$	用终值求各周期末的一系列等额值
等额资本回收	A	P	$A = P[\frac{i(1+i)^N}{(1+i)^N - 1}]$	用现值求各周期末一系列等额值
等额系列现值计算	P	A	$P = A[\frac{(1+i)^N - 1}{i(1+i)^N}]$	用各周期末一系列等额值求现值

P —— 货币的现值和；F —— 第 N 个周期末货币的终值和；i —— 利息率(或贴现率)；N —— 利息期数(或贴现期)；A —— 在整个周期 N 中，以利率为 i(或贴现率为 i)的在各个周期末付款(或收入)的等额值

1.4 物价上升和通货膨胀

价格的涨落和通货膨胀(或紧缩)对货币的时间价值的影响，对于研究建设周期很长的核电站建设或费用发生在未来的长远计划和规划是需要考虑的一个重要问题。通货膨胀是属于货币的购买力的下降而引起的价格水平的提高。尽管国家与国家之间或同一个国家的不同时期通货膨胀的速度变化范围很大，但绝大多数通常是在一般的价格水平连续上升的结构上运转。

物价上升当然也是属于提价，通常它被分为实际提价和名义

提价两种。实际提价被定义为超过一般通货膨胀率之上的提价，它可能是由于资源缺乏、新的规章以及需求量大于供给量等因素引起的。因此，实际涨价率是独立的，与通货膨胀互不相关。相反，名义涨价率被定义为年成本的总增长率。它包括通货膨胀和实际提价这两个因素的影响。

名义提价率与实际提价率和通货膨胀率之间的关系如下：

$$(1+e)=(1+e')(1+f) \tag{1.7}$$

式中：e —— 名义提价率；e' —— 实际提价率；f —— 通货膨胀率。

如果通货膨胀率和实际提价率均为常数，则在过了 N 时段之后，费用的总的年增长可以由表达式 $(1+e)^N$ 乘以费用而得，即 $C_N=C_0(1+e)^N$，其中 C_0 是参考年的费用，C_N 是 N 年后的费用。

为了进一步说明这些概念，考虑提价和通货膨胀对从 1990 年到 2000 年这一时段中煤价的影响。假设我国在 1990 年的煤价是 1.00 元/10^9J，在这一时期中每年的通货膨胀率为 6%；并进一步假设在 1990 年至 2000 年这一时期中，由于煤资源消耗的结果(即这种提价与通货膨胀的影响是无关的)，煤价每年将以平均增长速度为 1.5%的速度上升。以 1990 年的人民币表示 2000 年的煤价，则可以计算如下：

$$\begin{aligned}\text{2000 年的煤价} &= (\text{1990 年煤价})(1+\text{实际提价率})^{10}\\ (\text{以 1990 年人民币表示}) &= 1.00(1.015)^{10}/10^9\text{J}\\ &= 1.16\ \text{元}/10^9\text{J}\end{aligned}$$

如果包括通货膨胀的影响，则以 2000 年的人民币表示的 2000 年的煤价计算如下：

$$\begin{aligned}\text{2000 年的煤价} &= (\text{1990 年煤价})(1+\text{名义提价率})^{10}\\ (\text{以 2000 年为基准}) &= (\text{1990 年煤价})[(1+\text{实际提价率})\\ &\quad (1+\text{通货膨胀率})]^{10}\\ &= 1.00[(1.015)(1.06)]^{10}/10^9\text{J}\\ &= 2.08\ \text{元}/10^9\text{J}\end{aligned}$$

在经济性研究中或做核电站建设的计划或规划活动中，可以

包括通货膨胀的影响，也可以不包括通货膨胀的影响。然而在这两种情况中，重要的是使用的所有费用和经济参数(即贴现率和研究实际提价率)都要处理得一致。

1.5 贴现率

在公式(1.2)中使用的把终值转换成等效现值的贴现率是一个重要的经济参数。它被定义为反映货币的时间价值的利息率，它可以用来把发生在不同时间的收益(或支出)和费用转换成同一时间水平上的等效值。在理论上，对于特定的投资人(更广泛一点说，在一个特定的国家中)，它反映了货币的机会成本。由于货币的机会成本与给定的国家中通行的经济条件相联系，因此，像通货膨胀率一样，贴现率从一个国家到另一个国家经常有意义地被改变着。在发展中国家经常使用的贴现率基本上要比工业国家中通行的贴现率要高得多，以反映资金的短缺和许多效益较好的新投资工程要在有限的财力资源限制下竞争这两种因素的影响。

在国外公有的免税的电力公司中，依靠在资本市场上借钱来满足他们对资金的需求，资本市场上的资金在不变的贴现率下没有其它限制，随时可借，并且贴现率与市场上普通使用的利息率相等，不过这种情况在实际生活中很少发生。从更为现实的观点出发，国家所有的电力公司，使用推荐的或由经济部门提出的贴现率，这一贴现率应当(理想地)反映国民经济中的投资费用。

对于私人所有需要交税的电力公司，在确定合适的贴现率时，除了要碰到许多复杂的问题外，与公有或国有的公司不同的是他们的资金需求要依靠证券与股票的结合来满足。这些证券和股票按规章和习惯而有固定的财务计算的比例。在这种情况下，必须随时间进行折算开支和盈利的比率，必须按不同情况来确定、并且要包括证券对股票的比例以及对毛利征收的所得税。例如在美国，私人所有的电力公司常常应用加权平均投资费用(即与公司所有投资者有关的回收率)或使用付税后的平均投资费用作为贴现率。这

两种情况的贴现率可以用下式表示：

$$加权的平均投资费 = q_1Q_1 + q_2Q_2 + q_3Q_3 \tag{1.8}$$

$$付税后的平均投资费 = q_1Q_1 + (1 - T)q_2Q_2 + q_3Q_3 \tag{1.9}$$

式中：q_1、q_2、q_2 —— 分别为资金中的股票、借款和优先股的份额，T —— 有效所得税率，Q_1 —— 股票投资红利率，Q_2 —— 借款的利息率，Q_3 —— 优先股的利息率。

贴现率像在式(1.7)中定义的提价率一样，可以被定义为包括通货膨胀的影响，也可以不包括通货膨胀的影响。通常的表达式如下：

$$(1 + i) = (1 + i')(1 + f) \tag{1.10}$$

式中：i —— 名义贴现率(利率或折现率)，i' —— 实际贴现率(实际利率或折现率)，f —— 通货膨胀率(普通物价涨缩率)。

当在现值分析中使用名义贴现率时，价值的时间流被有效地缩小到现值计算的参考年。例如，如果实际贴现率是 4%，通常的长期通货膨胀率为 6%，那么以 1990 年的人民币表示，在 2000 年时一元人民币折算到 1990 年的现值为 0.38 元(即 1.00 元/$[1.04 \times 1.06]^{10}$)。

1.6 用利息公式作经济比较

方案之间的经济性比较，完全可以使用表 1—1 中详细列出的利息公式来进行。用于方案比较的使用十分广泛的方法有两种：(1)现值分析法，即把所有的现金流转换到同一个时间的基础上；(2)年等效费用分析法，即把所有的现金流转换成等值的年金。两种方法产生相同的结果。为了进一步说明利息公式的应用，下面列举两个例子来说明这两种方法的使用。

考虑两个具有某些不同经济特性的简化了的核电站方案(分别以方案①和②表示)，每个方案都有初期投资额 I 、期望寿命 N 和每个核电厂都要承担的在每年末付出的年运行费 M (在这例子

中作了一些简化的假定。例如，方案的初期投资费由简单的数值表示。不考虑与电厂有关的总投资需要的各种复杂因素，如前期费用、偿还方式、建设期的利息)。方案①有残值 V_1(残值被定义为在设备更新或转卖时或在研究期末，报废资产的净值和)。方案②没有残值，但在投产后的 T_2 时间内承担一次大修理，费用为 H_2。两个方案的现金流如图 1.5 所示。投产时间(或工程开始时间)被用作为比较的参考点。实际上可以选择任何时间作为参考点，因为这种选择不影响最后的结果，而只改变两个方案之间的差值大小。

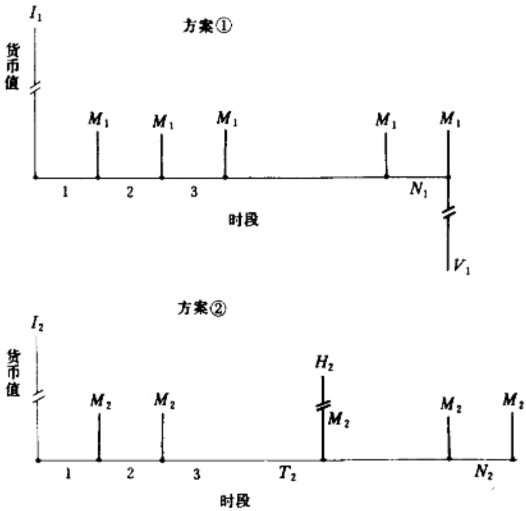

图 1.5 用于方案之间比较的现金流

为了计算这两个方案相应费用的现值，可使用表 1—1 总结的公式。年运行费用代表年金，残值和大修理费用是将来值。在这两种情况中，都需要求出现值。假定贴现率为 i，则两个方案的现值如下：