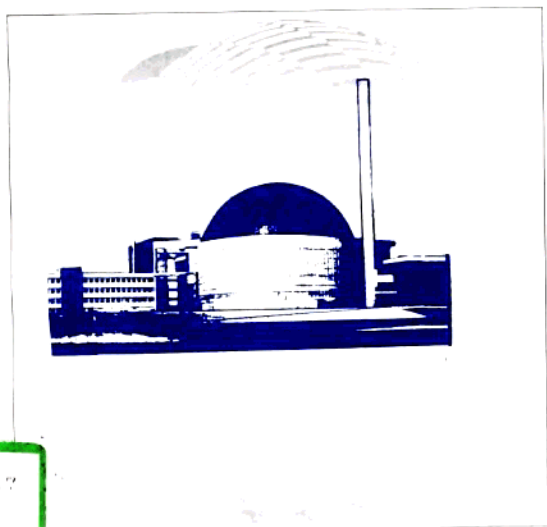


# 核电站经济



3.7

■ 原子能出版社

## 序

自50年代中期美国和苏联利用实验性反应堆象征性地生产出少量核电电力以来,目前全世界已有400多座商用核电站正在发电,其发电量约占世界总发电量的18%。

尽管核电事业有了很大发展,并且在历史上经受了如美国“三哩岛”、苏联“切尔诺贝利”核电站事故的严重考验,但近年来所有核电站的建设成本逐年提高,核电站的初期建设投资比火电站大,建设的周期又长,影响着发展中国家或中小电力公司筹措建设核电站资金的能力。另外,对核电站的建设成本和发电成本的经济性分析也未必一致,这就需要对这些不同的因素在理论上作出可比的解释和分析,这正是本书所要完成的任务。

我国的能源资源并不丰富,人口又多,电力供求,求大于供。自从改革开放以来,东南沿海地区的经济发展很快,正适宜发展核电,政府也正不失时机地适当发展核电,因此也就需要出版一本正确地、系统地叙述核电经济性方面的读物。

本书作者从事核工业领域工作40多年,从50年代中期开始在中国科学院物理研究所工作,后被送莫斯科留学,回国后从事我国第一座浓缩铀厂工作,并为其后来的发展作过贡献。作者对核燃料循环及其经济性有较深造诣,曾在广东大亚湾核电站工作一段时间,有着丰富的实践经验,著有《核电站经济与管理》、主编《核工业经济导论》,并在核工业研究生部兼职教授《核电经济与管理》多年。相信本书的出版将对我国核电事业的发展会有一些的促进作用。

王淦昌

一九九六年五月

## 前 言

50年代初,美国和苏联从实验性反应堆中象征性地生产出少量的核电电力。1956年,英国在科尔德霍尔(Calder Hall)开始了世界上第一座全尺寸商业规模的核电站建设。

现在用普通水作为冷却剂和慢化剂的轻水反应堆(LWR)控制了当今世界核电站的主流。

在压水堆(PWR)中,高压水在堆芯中被加热,通过热交换器时使二回路中的水沸腾;在沸水堆(BWR)中,允许堆芯中的水沸腾,经冷却剂的蒸汽直接驱动汽轮机。压水堆在已建成的世界核电站的堆型中约占60%,正在建核电站中约占70%。

压水堆的主要优点是:已经积累了相当多的运行经验;在能源市场中,与常规化石燃料火电站相比,具有高可靠性和较强的经济竞争性;用普通水作为慢化剂和冷却剂价格低廉,但需要浓缩铀作燃料,要依靠国际提供或要有本国的浓缩工业的能力,压力壳、使用饱和蒸汽的蒸汽汽轮机核电用设备都要有较高的制造技术水平。

世界上不少人试图提出核反应堆只不过是取代驱动常规电站的燃煤或燃油锅炉罢了。然而事实并非这样简单,在核电站中,蒸汽压力较低且比较潮湿,因而汽轮机叶片要有特殊的设计和材料,核反应堆的启动、运行、停堆的复杂过程是常规锅炉根本无法相比的。

早在1987年,全世界商用核反应堆已有418座,核能发电已成为当今世界生产电力的一种重要支柱。据统计,1984年,核电总装机容量已占全世界电力总装机容量的9%,其发电量总输出已达到约13%。到本世纪末,核电可能约占全世界总电力的20%。目前在西欧,核电已超过总电力的20%,法国约占76%,亚洲的韩

国,核电份额超过36%。

尽管核电有了上述的发展,由于近年来所有核电站的建设成本逐年提高,核电站的初期建设投资比火电站大,建设的周期又长,发展中国家或中小电力公司很难承受资金的负担。近几年来石油、煤炭等燃料价格又相对比较便宜,历史上美国“三里岛”、苏联“切尔诺贝利”核电站事故的阴影,影响了核电站建设的发展。因此,尽量正确地估计核电站的建设投资,越来越成为核电站发展的重要课题。

另外,对核电站的建设成本和发电成本的经济性分析也未必一致,因为用不同的币种、在不同的时间、不同的地区、采用不同的计算模式和方法、不同的条件进行计算,往往得到的是不同的结果,直接进行比较是没有意义的。

目前,核电设备、浓缩铀的供应在国际市场上是供大于求,从经济角度看这对我国正是有利时机。在我国劳动力费用支付,与国外相比相对低廉,而建设核电站需要众多劳动力。只要管理得当,在我国建设核电站,无论是单位建设成本还是单位发电成本,与国外相比都应当是最低的。

我国能源资源并不丰富,电力供求大于供。经济发展较快的东南沿海地区电力供应,更是困难重重,正是适宜发展核电。

写本书的主要目的,就是想通过本书,使更多的人了解核电的优点、特点,正确确定技术路线,有效利用铀的资源,促进我国核电事业的发展。

本书部分内容来自在核工业研究生部北京核电技术培训中心授课四年的讲稿。感谢核工业研究生部的领导和同事在这过程中的许多帮助。感谢授课过程中学生们提出的意见和建议。感谢我写的前一本书《核电站经济与管理》的读者、同行、评论者对该书提到过的有益的意见和建议。感谢出版社陈进贵同志的帮助。

作者

1996.5.28

# 目 录

序

前 言

第一章	绪论	(1)
第二章	核电站经济工程经济学应用基础	(9)
2.1	引言	(9)
2.2	利息、利息率、利息公式	(10)
2.3	利息公式在项目评价和方案的经济比较中的应用	(25)
2.4	折旧	(37)
2.5	不确定性分析	(48)
2.6	关于外汇	(52)
第三章	核电站场址选择	(54)
3.1	核电站特点	(54)
3.2	核电站场址选择的安全问题	(56)
3.3	核电站场址选择与外部事件的关系	(60)
3.4	核电站场址选择中的环境考虑	(69)
3.5	核电站场址	(71)
第四章	核燃料循环前端及其费用计算	(72)
4.1	核燃料在能源中的地位	(72)
4.2	铀矿地质勘查	(76)
4.3	铀矿石开采	(79)
4.4	铀水冶	(83)
4.5	铀化合物的转化	(88)
4.6	铀的浓缩	(93)
4.7	核燃料元件制造	(109)
4.8	小结	(119)

第五章	核电站建设投资的计算分析之一	(123)
5.1	概述	(125)
5.2	压水堆核电站	(128)
5.3	重水堆核电站	(140)
5.4	先进轻水堆与 AP-600	(160)
5.5	本章小结	(168)
第六章	核燃料循环的后端	(174)
6.1	乏燃料后处理	(175)
6.2	放射性废物的处理和处置	(190)
第七章	核电站建设投资的计算分析之二	(215)
7.1	核电站建设投资的财务情况	(216)
7.2	核电站建设投资估算中的标准帐户	(226)
7.3	工程项目的建设周期、进度和估算	(240)
7.4	核电站规模经济问题	(326)
第八章	核电站发电成本计算	(332)
8.1	核电站发电成本计算的基本原则	(332)
8.2	发电成本与核燃料管理	(336)
8.3	重水堆核燃料循环单位发电成本	(388)
8.4	发电成本与建设投资的回收	(397)

# 第 一 章

## 绪 论

讨论核电经济,当然需要熟悉经济学。

### 1.1 为什么要学习核电经济?

也许人们有着各种各样的想法,但本书的主要目标是使人们了解在今后相当长的一段时期内,核电站是安全、清洁、具有经济竞争力的能源,具有很强发展潜力的电力支柱。正确、恰当、有效的经济措施可以加速核电发展,节省大量资金。

也就是说,为使核电站的单位建设成本(元/kW·h)最省和单位发电成本(元/kW)最低,不懂得核电经济,在核电建设和运行中便陷于盲目性。只有掌握了核电经济有关知识,才能理解一切。

### 1.2 什么是核电经济?

初次接触核电经济的人们往往想要一个简短明了的定义。那么可以认为:

- 核电经济研究的是在核电领域中人与人之间,与科研、建设和运行有关的种种活动;

- 核电经济是分析核电发展的总体活动——投资、质量、速度、适合国情的与之相匹配的工业布局的发展。一旦理解了这些内容,帮助政府制订影响国家总体的能源政策;

- 核电经济可以根据国情比较科学地选择反应堆堆型、单堆功率、电站发展的规模;

- 核电经济要研究投资、货币币种、汇率、利息率等使之最有利于核电站；

- 极具政治敏感性的核燃料循环系统，是需要研究的只有核电站发展中存在的特殊问题；

- 核电经济的确涉及众多方面，例如有人说核电经济是技术经济学，研究生产力中技术这个因素的作用等，甚至还可以强调的其它许多方面。

### 1.3 核电经济中的度量

核电经济的度量谈论的是单位千瓦的造价、每一度电的发电成本及其与时间有关的众多物理的、技术的、经济的、量纲性的度量问题。对一个国家从整体电力工业来说，核电在整个电力中所占有的比重是当今社会的一个重要的概念之一，在很大程度上反映一个国家实际的经济和技术能力的状况。

### 1.4 核电经济与技术

核电经济和其它行业的经济一样，都是涉及技术问题。核电技术是一门要求知识广泛和全面的综合性极强的行业，还具有放射性核素变化特性的集科学与工程为一体的带有国际性的大工程项目。要做好核电经济的分析，只掌握一般经济财务方面的知识是远远不够的。

### 1.5 核电经济与决策

在核电发展的历史上，充满着政府的干预和决策。特别在核电发展的初期，政府首脑的干预和决策起过很大的作用。干预和决策的内容表上排列着众多经济和技术的发展方针。例如：



- 核电与火电的地位、长远发展的方针；
- 核燃料循环体系的发展方针；
- 发展核电站的投资、税收和立法；
- 环境与核安全政策和法规；
- 核电设备的供应与国产化布局方针；
- 还可以列出许多与方针、政策密切相关的其它问题。

在这些决策过程中，经济性分析和判断往往处于中心地位。因此，正确掌握核电经济的分析，往往可以保证决策者的直觉不致于使决策产生较大偏移或引入歧途。

例如：在核电站开始建设时，安全和环境方面要求安全、环境和废物最终处置设施的建设“三同时”；而经济财务方面考虑核电站固体废物最终处置设施建设也要有经济效益才能获得批准。在一定时期内两者要求之间存在着不可克服的矛盾。只有当核电站运行达到相当规模之后，两者间的矛盾才能解决。因而需要经济性分析。

## 1.6 核电经济规范化

我国由社会主义计划经济转向社会主义市场经济并与世界经济活动接轨。

这是两种完全不同的经济模式，不仅在观念意识上需要转变，在经济活动的具体操作、程序、措施等相应亦要有实际的转变。这种转变一蹴而就就是做不到的，要有一个相当的过程。

在核电经济活动中，具体的操作、程序、措施和方法等问题上，自觉和不自觉地沿用着计划经济的习惯。核电站建设的前期，特别是在立项申请和可行性研究报告、初步设计时期，要有许多具有决策性质的经济性活动、经济性讨论与评审。这时往往出现许多不同的争论、不同的认识和想法。核电站的经济性结论，如果使用不同的经济模式，自然会出现不同的结果。即使是用同一种经济模式，

如果用不同的币种、在不同的地区或国家、在不同的时间、用不相同的计算参数和不同的计算方法,也会出现不同的概念和不同的结论,因此这些比较是没有意义的。为了避免出现这类误解,最好的办法是规范化。表 1.1 是国际原子能机构推荐的帐号编号与帐户名称费用输入数据规范化。

当你采用一套新的经济模式时,就要以新的、不同的方式去理解现实。

## 1.7 货 币

本杰明·狄斯赖利先生有一句名言：“唯一的比爱情更能使人发狂的事情是货币问题”。也有人说货币流通是社会制度的血液。它提供了衡量价值的尺度,货币也有不当行为,货币增长太快导致通货膨胀。

虽然货币在人们日常生活中起如此重要的作用以致于人们毫不放松地追求它,却很少有人静下来考虑货币是什么。

在核电站经济活动中很重要的一部分工作是算帐,计算核电经济效益惯用的是货币指标。这样用货币计算比较方便也容易作各种比较。

货币是现代经济生活的分工和交换的重要手段,货币是交换的媒介,是便利交换的润滑剂,是人们支付食品、衣着、房租、学费等的手段。商品从企业流向消费者,而同等价值的货币收入却从消费者流向企业。

货币的使用,社会经历过许多阶段:物物交换、商品、货币、纸币和银行货币等。

在经济学中,货币的职能有四:

(1)交换中介;(2)价值标准;(3)延期支付标准;(4)财富贮藏手段。

前两项是货币特有的职能。

交换中介职能是十分明显的。我们使用货币作为交换的中介物，以商品和劳务交换货币，然后用这些货币交换另一些我们企望获得的商品。这样的间接交换系统可以避免物物交易的主要缺陷，即必须存在所谓需要的双重偶合的困难。

货币价值标准这一职能，简单地说就是利用货币作为比较价值的工具。我们按货币量来衡量并表示商品和劳务的价值，使得货币有如公里是测量距离的单位一样，成为价值的计量单位。

如果没有货币作为价值标准，则麻烦就发生了。假设一个仅有A,B,C,D,E 5种商品的简单经济社会，要想知道这5种商品相互交换的比率，我们就必须了解10个不同的交换比率，即A-B,A-C,A-D,A-E,B-C,B-D,B-E,C-D,C-E,D-E。但是倘若我们用这5种商品中的1种，作为我们的价值标准，我们就可用它来表示其余4种商品的价格。因而我们只需了解4个交换比率A-B,A-C,A-D,A-E就行了。按此推理，一般地说，对于N种商品，如果没有价值标准，我们必须了解它们之间的 $(N-1)N/2$ 个交换比率。

但是，如果我们以这些商品中的一种商品作为价值标准，那就只需 $(N-1)$ 个比率。因而价值标准使我们大大节省了精力。例如有201种商品，有了价值标准后只须弄清按此标准得出的200种价格。但如果没有价值标准，交换比率将达20100个。由此可以看出，价值标准极大地简化了簿记。有了货币作为价值标准，情况就完全不同了。

延期支付的标准是价值标准的一个特有功能，即表示债务的标准。价值标准的这一用途造成了一些严重的问题，因为正如我们已经知道的那样，货币的价值是随着时间而变化的。你在去年贷出去的人民币，到今年收回时不能买到与去年同样多的东西。就这一方面来说，货币并不是一种良好的价值标准。

财富贮藏手段是货币的最后一个职能。虽然货币的这一职能并不比其它职能更重要，但需要解释，即货币作为财富的贮藏手段有独特之处。其一是它不需要或仅需要极少的交易成本。如果人

表 1.1 压水堆电厂费用

帐户	帐户名称		
21.	现场建筑物和构筑物	31.	供货商提供的项目管理服务
211.	场地准备,设施,基础设施	32.	供货商和/或 A/E 提供的工程,设计和布局服务
212.	反应堆厂房(材料)	33.	供货商和/或 A/E 提供的项目管理服务
213.	反应堆附属厂房	34.	供货商和/或 A/E 提供的现场监督
214.	汽轮机厂房	36.	供货商, A/E 提供的调试服务
215.	电气厂房	38.	现场施工设施,工具和材料
216.	其他厂房		
217.	变电站		
22.	反应堆厂房设备	51.	备品备件
221.	反应堆设备	52.	不可预见费
222.	主热交换和传输系统	53.	保险费
223.	反应堆辅助系统		小计
224.	反应堆附属系统		
225.	核燃料转运和储存系统	60.	建设期浮动(不含 71.)
226.	其他反应堆系统和构件	61.	建设期利息(不含 72.1)
23.	汽轮机,发电厂房设备	61.1	基本费用的利息
231.	汽轮机厂设备	61.2	浮动利息
232.	发电机厂房设备	61.3	手续费利息
233.	冷凝系统		小计
234.	补水和主蒸汽系统	62.	建设期手续费(不含 72.2)
235.	排放系统		小计
236.	其他二回路系统		
24.	电气与仪表控制	70.	业主投资和服务费
241.	发电机和室内设备	71.	建设期间业主浮动
242.	柴油机及柴油机控制系统	72.	业主筹资费
243.	辅助电气设备	72.1	建设期业主利息
244.	附属和通信系统	72.11	基本费用的利息
245.	仪表和控制	72.12	浮计利息
25.	取水与排热	72.13	手续费利息
251.	循环水取水构筑物		小计
252.	循环水抽取与排放构筑物	72.2	建设期业主费
254.	主循环水管道		业主费小计
255.	应急公用水管道		总费用
256.	常规岛公用水管道		
26.	辅助厂房设备		
261.	供热,通风和空调系统		
262.	防火和消防系统		
263.	二回路辅助系统		
264.	供水系统		
265.	吊装机械和电梯		
266.	实验室设备		

## 输入数据规范化(摘录)

### 燃料除外的运行维护费

- 
- 
- 800 工资和薪水
  - 810 高消耗品
  - 820 修理费(包括更换部件)
  - 830 流动资金利息
  - 840 购货服务
  - 850 保险和纳税
  - 860 手续费,检验和审查费
  - 870 退役费预提
  - 880 其他零星费用
- 

### 核燃料循环费用

帐户 帐户名称

---

#### 首炉料的预辐照费用

- 101 铀供应
- 102 转换
- 103 浓缩
- 104 元件制造

#### 平衡料的预辐照费用

- 121 铀供应
- 122 转换
- 123 浓缩
- 124 元件制造

#### 再辐照费用

- 140 乏燃料的后处理
- 141 铀,钚和其他材料的回收
- 143 废物处置(后处理)

- 170 融资费用
-

们决定用任何其他资产来贮藏财富,就必须动用他们收入的货币去购买这种资产。以后当他们想用商品或其它资产代替这种资产时,他们又必须把它转换为货币。这两种交易,即货币转换为资产,以及随后从资产转回为货币都要付出费用。如果人们改用货币存款的形式,就避免了资产转换中那些佣金开支等支出。这就是货币作为财富的贮藏手段的独特性之一。其二就货币本身来看,它的价值是固定的(假设没有通货膨胀)这一点非常重要,因为经济活动中债务一般是按货币单位确定的。

核电经济并不像经济学中专门研究货币的理论,但在核电站经济活动中货币是重要的活动手段,思考一下货币的概念是必要的。

## 第二章

# 核电站经济工程经济学应用基础

### 2.1 引言

人们在从事各项实践活动中,都要采用一定的手段或技术以达到一定的目的,都需要讲求效益。都有一个选择最优的技术手段和所费与所得的比较。任何一项计划只有当其在技术上与经济上均为可行时,才能实现。技术上可行性属于专业知识与专业能力的范围。核电站经济是运用对核电站工程的行动方案、投资费用、经济效益等用工程的、经济的比较科学的方法进行研究比较。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重要的研究内容之一就是货币的时间价值。这是由核电站建设的初期建设投资大、建设周期长等因素决定的。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项目设施上而赚得不同的报酬金额;

(3) 不同的货币种类(如人民币、美元、日元、马克等)一定要利用合理的汇率进行兑换之后,用同一种货币才可以进行比较。

本章将介绍核电经济活动中常用的一些概念、知识和方法。

## 2.2 利息、利息率、利息公式

### 2.2.1 利息率

在经济学理论中,利息是资本生产要素的价格。年利率为5%,8%或12%,可以被看作是一种生产要素的价格,这种价格是分配社会上稀缺的各种资本品和投资项目的手段,同时又是它们的报酬。

利息率是单位时间(日、月、年)中的百分比。

利息率简称利率,在货币银行理论中是受到特别重视的有关变量之一。利率的变动对经济有着重大的影响。

用民间的话说,利息就是用每一人民币资本每一年所得到收益的货币表现。利息率被定义为在某一时段末所得到的利息与这一时段中本金之比率。

### 2.2.2 利息公式

利息分单利和复利两种。单利是仅以本金为计算基数计算利息的方法。例如:设本金现在值为 $P$ ,年利率为 $i$ (%/年), $n$ 为利息周期数(以年为单位), $I$ 设为期末利息值, $F$ 为本利和的未来值,则有

$$I = P \cdot n \cdot i \quad (2.1)$$

$$F = P(1 + n \cdot i) \quad (2.2)$$

虽然单利已经考虑了资金本金的时间价值,但忽视了对资金已经产生的利息没有转化为本金而累计计算利息。所以这种方法并不完善,在国外通常也并不采用。

在结算利息时,如果将前一期之利息于前一期之末并入前一期原有本金,并以此和为下一期计算利息的新本金,这就是所谓复利。通俗的说法就是“利滚利”。



由于核电站建设投资大、建设周期长,按国际惯例,有必要首先考虑复利理论。复利理论通常亦称财务数学。

下面推出按复利计息方法的复利公式。

### 2.2.2.1 本金复利计算

现有本金现值  $P$  贷出,年利率为  $i$ ,给定的利息周期数(以年为单位)为  $n$ ,则到  $n$  年末其累计的本利和的推导如图 2.1,到  $n$  年末  $P$  将增值到未来值  $F$ ,计算  $F$ 。

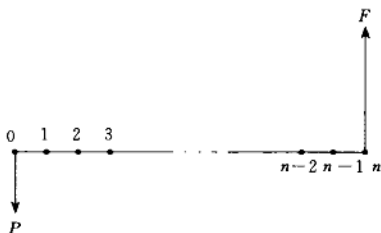


图2.1 整体复利现金流量

由图 2.1 所示:

	年初本金	年末本利和
第一年	$P$	$P(1+i)$
第二年	$P(1+i)$	$P(1+i)^2$
第三年	$P(1+i)^2$	$P(1+i)^3$
⋮	⋮	⋮
第 $n-1$ 年	$P(1+i)^{n-2}$	$P(1+i)^{n-1}$
第 $n$ 年	$P(1+i)^{n-1}$	$P(1+i)^n$

为更形象起见,上列推导以图 2.2 所示。

由图 2.2 可以看出,在  $n$  个周期末的  $F$  值以下式表示

$$F = P(1+i)^n \quad (2.3)$$

式(2.3)中  $(1+i)^n$  记作  $(F/P)_n$  被称为整付复利系数。这个表