



西安交通大学
XI'AN JIAOTONG UNIVERSITY

Lecture 16

主讲：刘俊

电力工程系



电气工程学院

XJTU school of electrical engineering

第五章 新能源电力系统规划

5.1 负荷预测与新能源发电功率预测

熟悉电力负荷曲线，掌握新能源的出力预测技术。

5.2 新能源发电的容量可信度概念

熟悉含新能源发电系统的可靠性计算方法和容量可信度指标。

5.3 新能源穿透功率极限分析

了解新能源的穿透功率极限分析方法和简单电源规划方法。

5.4 新能源并网后电力系统调峰及消纳能力计算

了解新能源对系统调峰、备用，消纳能力分析计算。

5.5 新能源电力系统可靠性计算

熟悉传统电力系统及含新能源电力系统可靠性计算。

5.6 新能源发电效益与工程经济分析

了解新能源发电自身效益，熟悉工程经济分析基础方法。

5.6 新能源发电效益与工程经济分析

概述

- 工程项目的经济评价是其可行性研究的重要内容和确定方案的重要依据。
- 在制定电力系统规划或作水电站、输变电工程等专项工程的可行性研究及初步设计时，都必须认真做好经济评价工作。

一、经济评价所要考虑的因素

在电力系统规划中，经济评价应考虑以下内容：

● 在投资方面包括：

- ✓ 水、火电站的建设投资
- ✓ 配套的输变电工程投资
- ✓ 网损（有功功率和无功功率）的补偿容量的投资
- ✓ 厂用电的补偿容量的投资

● 在运行费用方面包括：

- ✓ 水、火电站的运行管理费用
- ✓ 输变电设备的运行管理费用
- ✓ 输变电设备电能损失费用
- ✓ 火电站的燃料费用

二、 经济评价所要考虑的可比条件

在进行经济评价时，必须注意各方案在技术和其它有关方面的可比性。

需要考虑的**可比条件**有：

- 在产品的数量（发电容量、发电量、供热量等）、质量（电压、频率等）以及供电可靠性方面能同等程度地满足该系统的发展需要。
- 在工程技术设备的供应等方面都是现实可行的。
- 对国家各项资源的利用和影响，各方案均能取得平衡或对等可比。
- 各方案在环境保护方面均能达到国家的标准。
- 适应未来远景的发展。

三、常用的经济评价方法

目前采用的经济评价方法分为以下三类：

- 静态评价法
- 动态评价法
- 不确定评价法

①静态评价法

- ◆在评价工程项目投资的经济效果时，如**不考虑资金的时间价值**，则称为**静态评价法**。
- ◆静态评价法比较**简单直观**；
- ◆但难以考虑工程项目在使用期内收益和费用的变化，难以考虑各方案使用寿命的差异，特别是不能考虑资金的时间因素；
- ◆对电力系统规划来说，由于工程项目的周期长，且涉及众多使用寿命不同的项目，如火电站、水电站以及风电、光伏等新能源等，在规划期内费用流比较复杂，故不宜采用静态评价法。

②动态评价法

- ◆该方法**考虑了资金的时间因素**，比较符合资金的动态规律，因而给出的经济评价更符合实际。常用的动态评价法有以下四种：
 - ◆**净现值法**：该项目在使用寿命期内总收益和总费用现值之差；
 - ◆**内部收益率法**：又称投资回收法；
 - ◆**费用现值法**：只能进行工程项目费用的比较，通常用最小费用法；
 - ◆**等年费用法**：把工程项目使用期内的费用换算成等额的每年一笔的等值费用。

③不确定评价法

- 不确定性来源：
 - 对未来事物认识的局限性
 - 可获信息的有限性
 - 未来事物本身的不确定性等
- 不确定的经济评价方法：
 - 盈亏平衡分析
 - 指项目达到设计生产能力的条件下,通过盈亏平衡点（Break-Even-Point, BEP）分析项目成本与收益的平衡关系。

③不确定评价法

- 不确定的经济评价方法：

- 敏感性分析

- 考察项目涉及的各种不确定因素对项目基本方案经济评价指标的影响，找出敏感因素，估计项目效益对它们的敏感程度，粗略预测项目可能承担的风险。

- 概率分析，又称风险分析

- 经济风险分析是通过对风险因素的识别，采用定性或定量分析的方法估计各风险因素发生的可能性及对项目的影晌程度，揭示影响项目成败的关键风险因素，提出项目风险的预警、预报和相应的对策，为投资决策服务。
 - 风险分析的程序包括风险因素识别、风险估计、风险评价与防范应对。

(2) 常用的动态评价方法【重点】

动态评价方法考虑了资金的时间因素，所得结果更符合实际。

常用的方法有：

- ✓净现值法
- ✓内部收益率法
- ✓最小费用法
- ✓等年值法

1. 资金的时间价值

在经济分析中，工程项目有关资金的时间价值可以用以下几种方法表示：

➤ 现值 P

把不同时刻的资金换算为当前时刻的等效金额，此金额称为现值。这种换算称为贴现计算，现值也称为贴现值。

➤ 将来值 F

把资金换算为将来某一时刻的等效金额，此金额称为将来值。资金的将来值有时也叫终值。

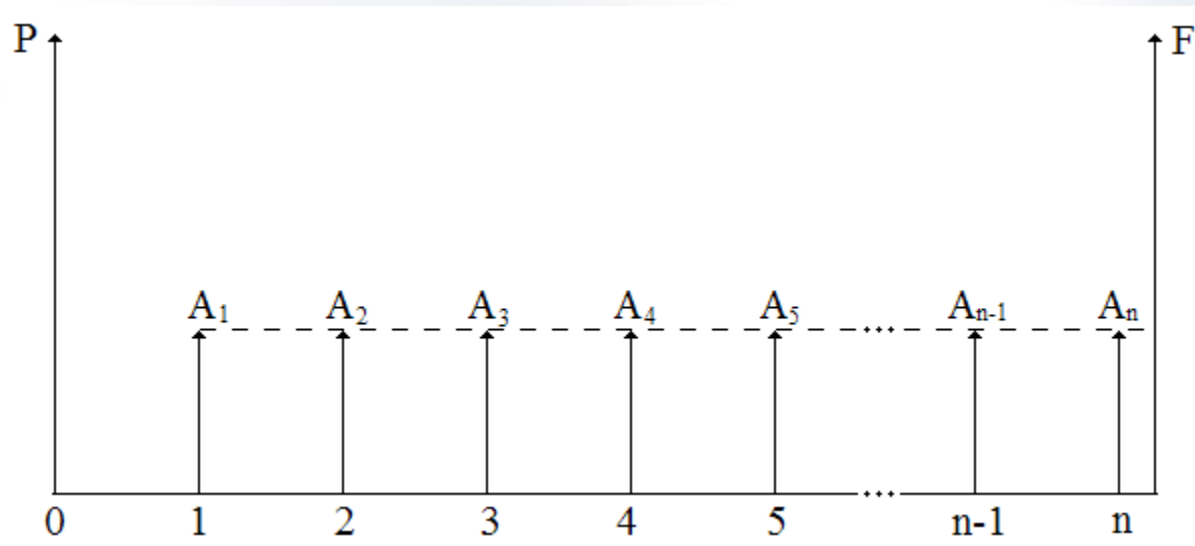
——现值和将来值都是一次支付性质的。

➤ 等年值 A

把资金换算为按期等额支付的金额，通常每期为一年，故此金额称等年值。

(1) 三种表示方式的关系

以上三种类型的资金表示方式的关系如下图所示



由图中可以看出，资金的**现值P**发生在第一年初，**将来值F**发生在最后一年末，而**等年值A**则发生在每年的年底。

- 1.由现值P求将来值F

由现值P求将来值F也叫本利和计算。

设利率为*i*，则在第*n*年末的利息及本利和如下表所示：

期末	期初的金额	本期利息（增长数）	期末本息总数
1	P	$P*i$	$P+P*i=P(1+i)=F_1$
2	$P(1+i)$	$P(1+i)*i$	$P(1+i)+P(1+i)*i=P(1+i)^2=F_2$
3	$P(1+i)^2$	$P(1+i)^2*i$	$P(1+i)^2+P(1+i)^2*i=P(1+i)^3=F_3$
...
n	$P(1+i)^{n-1}$	$P(1+i)^{n-1}*i$	$P(1+i)^{n-1}+P(1+i)^{n-1}*i=P(1+i)^n=F_n$

由上页表可以看出，第n年末的将来值F与现值P的关系为：

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

式中：

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

$(F / P, i, n)$ 称为一次支付本利和系数。

利用上式进行计算时应注意P值发生在第一年初，而F值发生在第n年末。

- 2.由将来值F求现值P

由将来值F求现值P的计算称为贴现计算。

由上页式(1)可知：

$$P = F / (1 + i)^n = F (P / F, i, n) \quad (3)$$

式中：

$$(P / F, i, n) = 1 / (1 + i)^n \quad (4)$$

$(P / F, i, n)$ 称为一次性支付贴现系数，为一次性本利和系数的倒数。

- 3.由等年值A求将来值F

由等年值A求将来值F的计算叫等年值本利和计算。

当等额A的现金流发生在从t=1到t=n年的每年末时，在第n年末的将来值F等于这n个现金流中每个A值的将来值得总和，即：

$$F = A + A(1+i) + A(1+i)^2 + \cdots + A(1+i)^{n-1} \quad (5)$$

这是一个等比级数之和，其公比为1+i，将上式两端乘以1+i得

$$F(1+i) = A(1+i) + A(1+i)^2 + A(1+i)^3 + \cdots + A(1+i)^n \quad (6)$$

以式(6)减式(5),得: $F(1+i) - F = A(1+i)^n - A$

故知：

$$F = A \frac{(1+i)^n - 1}{i} = A(F / A, i, n) \quad (7)$$

式中：

$$(F / A, i, n) = \frac{(1+i)^n - 1}{i} \quad (8)$$

$(F / A, i, n)$ 叫做等年值本利和系数。这个系数表达了n年的等年值A与第n年末将来值F之间的关系。

- 4.由将来值F求等年值A

由将来值F求等年值A的计算称为偿还基金计算。

由式(7)可得：

$$A = F \frac{i}{(1+i)^n - 1} = F(A/F, i, n) \quad (9)$$

式中：

$$(A/F, i, n) = \frac{i}{(1+i)^n - 1} \quad (10)$$

$(A/F, i, n)$ 叫做偿还基金系数。

利用偿还基金计算可以回答这样的问题：为了支付第n年的一笔费用，从现在起到第n年止，每年应该等额储蓄多少。

• 5.由等年值A求现值P

由等年值A求现值P的计算叫做等年值的现值计算。

为了求与n年等年值A等效的现值，可顺次利用式(3)和式(7)。由式(3)知：

$$F = P(1+i)^n$$

将式(7)代入上式可得：

$$P = A \frac{(1+i)^n - 1}{i} \times \frac{1}{(1+i)^n} = A(P/A, i, n) \quad (11)$$

式中：

$$(P/A, i, n) = \frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n} \quad (12)$$

$(P/A, i, n)$ 称为等年值的现值系数。

• 6.由现值P求等年值A

由现值P求等年值A的计算叫做资金回收计算。

由式(11)可得

$$A = P \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} = P(A/P, i, n) \quad (13)$$

式中

$$(A/P, i, n) = \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \quad (14)$$

$(A/P, i, n)$ 称为资金回收系数，是经济分析中的一个主要参数，简称为CRF（Capital Recovery Factor）。它表达了已知现值P（发生在第一年初）和n个等年值A（发生在第1, 2, ..., n年末）之间的等效关系。

买保险问题？

某人45岁开始交养老保险，年初交，12000元/年，连续缴费15年至60岁退休；60岁开始领养老金，年初发放，24000元/年，设利率 $i=3\%$ ，问：他活到多少岁才划算？

2. **动态**经济评价方法与计算

利用资金时间价值的换算公式，可以把现金流折算为所需的等效金额。这种换算为我们提供了四种经济评价方法，即净现值法、内部收益法、最小费用法及等年值法。现分别讨论如下。

(1) 净现值法

- 工程项目的净现值（简写为NPV）是该项目在使用寿命期内总收益和总费用现值之差。
- 一个工程投资方案的净现值越大，则其经济收益越高。
- 设有 m 个互斥的投资方案，在其它条件可比的情况下，应推荐净现值最大的方案。

$$\max NPV_j = \sum_{t=0}^n [B_{jt}(P/F, i, t)] - \sum_{t=0}^n [(C_{jt} + K_{jt})(P/F, i, t)] \quad (15)$$

式中：

i ——利率或贴现率

B_{jt} ——方案 j 在第 t 年的收益

C_{jt} ——方案 j 在第 t 年的运行费用

K_{jt} ——方案 j 在第 t 年的投资

n ——方案 j 的使用寿命或使用期限

式(15)也可以写为如下形式:

$$\max NPV_j = \sum_{t=0}^n [(B_{jt} - C_{jt} - K_{jt})(P/F, i, t)] \quad (16)$$

上式表明, 方案的净现值也可以表示为使用年限内逐年净收益现值的总和。

当我们用净现值法对一个独立的工程投资方案进行经济评价时, 若 $NPV > 0$, 则认为该方案在经济上是可取的, 反之则不可取。

[例1] 某水电站投资为5000万元，使用寿命为50年，年运行费用为100万元，若每年综合效益为700万元，**贴现率为10%**，试计算其**净现值**。

解：水电站使用寿命为50年，设总效益的现值为BPV，则知

$$\begin{aligned} \text{BPV} &= 700 \times (P/A, 10\%, 50) \\ &= 700 \times [(1+0.1)^{50}-1]/[0.1 \times (1+0.1)^{50}] \\ &= 700 \times 9.915 = 6940 \text{ (万元)} \end{aligned}$$

设总费用的现值为CPV，则有

$$\text{CPV} = 5000 + 100 \times 9.915 = 5991.5 \text{ (万元)}$$

故该项目的净现值为

$$\text{NPV} = \text{BPV} - \text{CPV} = 6940 - 5991.5 = 948.5 \text{ (万元)}$$

因此，该项目在经济上是可取的。

现在我们分析一下当贴现率取不同值时，同一工程方案净现值的变化情况。

当 $i=13\%$ 时，总效益的现值BPV为

$$\begin{aligned}\text{BPV} &= 700 \times (\text{P/A}, 13\%, 50) \\ &= 700 \times [(1+0.13)^{50}-1]/[0.13 \times (1+0.13)^{50}] \\ &= 700 \times 7.675 = 5372.6 \text{ (万元)}\end{aligned}$$

总费用的现值CPV为

$$\text{CPV} = 5000 + 100 \times 7.675 = 5767.5 \text{ (万元)}$$

因此，当 $i=13\%$ 时该方案的净现值为

$$\text{NPV} = 5372.67 - 5767.5 = -394.83 \text{ (万元)}$$

可见，在这种情况下，该方案在经济上已不可取。

(2) 内部收益率法

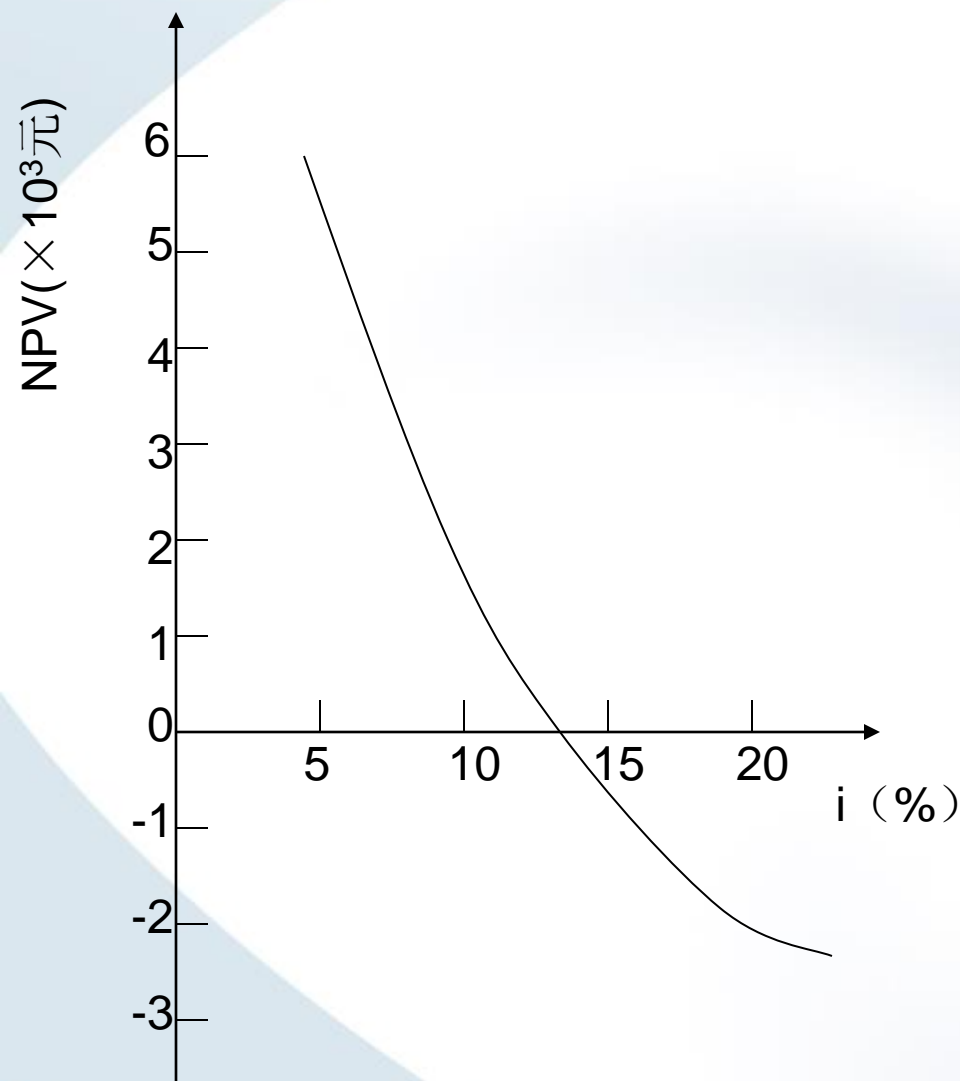
内部收益率法又称投资回收法。

从例1可以看出，一个工程方案的净现值与所用的贴现率有密切关系，且净现值随给定的贴现率的增大而减小。

内部收益率法的关键是求出一个使工程方案的净现值为零的收益率，即需

从下式求出 i_j^* 。

$$\sum_{t=0}^n [(B_{jt} - C_{jt} - K_{jt})(P/F, i_j^*, t)] = 0 \quad (17)$$



这种方法的优点是在进行互斥方案比较时，不需要事先知道标准的贴现率，而只需要计算得到的收益率 i_j^* 直接进行比较。

对于独立方案而言，当工程项目的内部收益率 i_j^* 大于标准贴现率 i_0 时：

$$i_j^* > i_0 \quad (18)$$

则认为该方案在经济上是可取的。

内部收益率法的缺点是计算量比较大。在由式（17）求 i_j^* 时，一般采用逐步逼近的方法迭代求解。

(3) 最小费用法

- 在进行某些工程项目的经济评价时，有时会遇到收益难以计算的情况。实际上，评价电力工业这种公用事业一直是工程经济分析领域的一个难题，迄今为止还没有一个大家公认的能够用货币计量其效益的方法。因此用净现值或内部收益率法评价这类工程项目就有一定困难。
- 在这种情况下往往只能进行工程项目费用的比较，这样就引出了最小费用法。这种方法隐含了一个假定：当方案满足相同要求时，其收益率相等。因此净现值法的判别式（15）就等价于求费用现值PVC最小的方案。

$$\min PVC = \sum_{t=0}^n [(C_{jt} + K_{jt})(P/F, i, t)] \quad (19)$$

当采用上述方法进行互斥方案比较时，应注意各项目的使用寿命问题。在各工程项目使用寿命不同的情况下，即使净现值或费用现值相等，其实际收益也不相同。为了使方案比较有一个共同的时间基础，处理使用寿命不同的问题可以用最小公倍数法和最大使用寿命期法。

最小公倍数以不同方案使用寿命的最小公倍数为计算期。在此计算期内，各方案分别考虑以同样的规模、按相应的最小公倍数重复投资，以满足不变的需求。然后求出计算期内各方案的净现值或费用现值，进行比较。

- [例2] 某工程项目有右表所示的两种方案。若规定贴现率为6%，那个方案比较经济？

项目	方案1	方案2
投资	3000元	5000元
残值	0元	1000元
使用寿命	6年	8年
运行费用	750元/年	550元/年

解：两方案使用寿命的最小公倍数为24年，故计算期可取为24年。

对方案1共重复4次投资，其费用现值为：

$$\begin{aligned}PVC_1 &= 3000 + 3000 \times [(P/F, 6\%, 8) + (P/F, 6\%, 16) + (P/F, 6\%, 24)] \\&\quad + 750 \times (P/A, 6\%, 24) \\&= 3000 + 3000 \times (0.70496 + 0.49697 + 0.35034) \\&\quad + 750 \times 12.55036 \\&= 17069.58 \text{ (元)}\end{aligned}$$

对方案2共重复3次投资，其费用现值为

$$\begin{aligned}PVC_2 &= 5000 + (5000 - 1000) \times [(P/F, 6\%, 8) \\ &\quad + (P/F, 6\%, 16)] + 550 \times (P/A, 6\%, 24) \\ &\quad - 1000 \times (P/F, 6\%, 24) \\ &= 5000 + 4000 \times (0.62741 + 0.39365) \\ &\quad + 550 \times 12.55036 - 1000 \times 0.24698 \\ &= 15739 \text{ (元)}\end{aligned}$$

故知方案2比较经济。

- 如果忽略了使用寿命不同这个因素，则会得出错误的结论。

对于本例，方案1的费用为：

$$\begin{aligned}PVC_1 &= 3000 + 750 \times (P/A, 6\%, 6) \\&= 3000 + 750 \times 4.91732 \\&= 6687.99 \text{ (元)}\end{aligned}$$

方案2的费用为：

$$\begin{aligned}PVC_2 &= 5000 + 550 \times (P/A, 6\%, 8) \\&\quad - 1000 \times (P/F, 6\%, 8) \\&= 5000 + 550 \times 6.20979 - 1000 \times 0.62741 \\&= 7787.97 \text{ (元)}\end{aligned}$$

显然，从这样的计算结果将得出完全相反的结论。

(4) 等年值法

- 等年值法把工程项目使用期内的费用换算成等额的每年一笔的等值费用——等年值，然后用等年值进行方案比较。这是互斥方案经济评价常用的一种方法。
- 利用式(19)可以得出工程项目等年值判别式：

$$\min AC_j = PVC_j(A/P, i, n) = \left[\sum_{t=0}^n (C_{jt} + K_{jt})(P/F, i, t) \right] (A/P, i, n) \quad (20)$$

式中： AC_j ——方案 j 总费用的等年值。

- 当使用期内每年的运行费用不变时

$$C_{jt} = C_j \quad (t = 1, 2, \dots, n)$$

且投资只发生在第一年的年初，即

$$K_{jt} = \begin{cases} K_{j0} & t=0 \\ 0 & t>0 \end{cases}$$

时，经过简单的代数运算即可将式（20）简化为

$$\min AC_j = K_{j0}(A/P, i, n) + C_j \quad (21)$$

- ✓ 利用等年值法处理使用寿命不同的方案比较方便。无论各方案的使用寿命是否相同，只要将各方案现金流换算成等年值，就可以在共同的时间段内直接进行比较。

- [例3]试用等年值法对例2中两种方案进行经济比较。

解： 利用式(21)对方案1进行等年值计算，得：

$$AC_1=3000(A/P, 6\%, 6)+750=1360.2 \text{ (元)}$$

对方案2，则有：

$$\begin{aligned} AC_2 &= 5000(A/P, 6\%, 8) + 550 - 1000(A/F, 6\%, 8) \\ &= 5000 \times 0.161 + 550 - 1000 \times 0.101 \\ &= 1254 \text{ (元)} \end{aligned}$$

- 值得注意的是：和例2的计算结果对照，方案1、方案2的费用现值与等年值的比值正好相等，即：

$$17069.58:1360.2=15739:1254=12.55$$

- ✓ 这个结果并非巧合，因为1255正是等年值的现值系数（见第2节）

$$(P/A, 6\%, 24)=12.5504$$

- ✓ 因此，我们可以看出等年值法和最小费用法完全是等效的。但等年值法计算要简单得多，这正是等年值法的优点。

四、新能源的经济效益分析

◆风电投资成本：

- ◆风力发电机组设备的价格74%~82%；

- ◆而风电场基础设施建设、安装调试、并网接入费用等其他投资成本所占比重较轻，仅占18%~26%。

◆风电项目投资的经济性

- ◆成本与价格对比关系（仍需依靠价格补贴的政策手段）。

◆风电项目运行的经济性

- ◆替代火电而产生的成本变化（风电并网附加成本 VS. 风电节约燃料成本与减排的环境贡献）。

◆ 新能源成本一般也可从投资、运行两方面分析：

- ◆ 投资成本是从**投资的角度**，着重于新能源项目投资回报分析的成本概念，主要体现新能源项目投资的经济性；
- ◆ 运行成本是从**运营的角度**，从新能源项目实际运行对经济、社会和环境带来的正反面影响等方面进行分析的概念，主要体现了新能源发电的运行价值。

1. 投资费用

- 风电场建设包括:

- 风电机组设备购置
- 基础设施建设
- 风电机组安装调试
- 风电接网建设等

表 1 风电和其他典型电力投资的成本构成分析

Table 1 The analysis on the cost constitution of wind power and other typical power investment %

成本要素	风力发电	其他典型电力
机组设备	74~82	15 以上
基础建设	1~6	20~25
电气安装	1~9	10~15
并网	2~9	35~45
咨询	1~3	5~10
陆地	1~3	5~10
财政投入	1~3	5~10
道路建设	1~3	5~10

$$C_c = P_e + E_i + C_d + E_n$$

2. 运行费用

风力发电运行成本有**两个特点**：

- 风电场运行成本包括：
 - 风电场每年的折旧费为 D_v
 - 运行维护费为 C_s
 - 并网附加成本为 C_n
 - 税收 T
- 一方面，风能是可再生、无污染的能源，风力发电不但不消耗燃料，因而能**节省火力发电的燃料成本**，而且几乎没有环境污染，不会产生负外部效应。
- 另一方面，风能又是间歇性、随机性的，会对电网的调峰、调频、电能质量、电网潮流、暂态稳定等方面产生不利影响。为保证风电并网以后电力系统的可靠运行，通常需要**增加一定量的火力发电机组作为旋转备用**，以响应风电机组发电功率的随机波动，维持电力系统的功率平衡与稳定。因此，风电又增加了电力系统的不可靠性成本或并网附加成本。

$$C_m = D_v + C_s + C_n + T$$



第一章 新能源电力系统基本概念

1.1 新能源发电概述

介绍各种能源结构和可再生能源的发电原理。

1.2 新能源发电的并网

掌握并网变换器的级联方式及拓扑结构。

1.3 含新能源发电的微电网和智能电网

介绍微电网、智能电网的基本概念。

1.4 新能源电力系统的特点

掌握新能源系统的并网对电力系统运行的影响。

第一章 小结

- ◆ 新能源发电类型
- ◆ DG概念、优点、接入大电网/配电网基本要求
- ◆ 新能源并网变换器拓扑、优缺点
- ◆ Microgrid概念
- ◆ Smart Grids概念
 - ◆ 智能电网主要特征、关键技术
- ◆ 智能配电网、主动配电网、能源互联网的概念
- ◆ 新能源对电力系统的影响
 - ◆ 潮流分布、稳定性、发电与调度计划、电能质量、谐波；低电压穿越的概念

第二章 风力发电特性分析

2.1 风电机组的能量获取

掌握风力发电机组风轮扫掠面积上获取的能量公式。

2.2 恒速风电机组的原理

掌握恒速风力发电机的结构和原理。

2.3 变速风电机组的原理

掌握双馈风机和永磁直驱风机的结构和原理。

2.4 大规模风电及海上风电场关键问题

了解大规模风电和海上风电场的接线形式及聚合技术。

第二章 小结

- ◆风力发电基本原理

- ◆风力机能量转换过程，**Betz理论**、**Betz极限**

- ◆风力发电机主要特性系数

 - ◆风能利用系数、叶尖速比、桨距角

- ◆恒速风力发电、变速变桨技术

 - ◆恒速风力发电的缺点、变速运行的原理及优点

- ◆双馈风机**DFIG**、永磁直驱风机**PMSG**的特点

- ◆大规模风电场

 - ◆尾流效应概念，大规模风场稳态、动态等值

第三章 光伏发电特性分析

3.1 光伏电池的物理基础

掌握太阳能光伏效应原理。

3.2 光伏电池的模型与等值电路

掌握光伏电池的数学模型和工程分析等值电路。

3.3 太阳能光伏电池的输出外特性

掌握不同参数下光伏电池的I-V和P-V特性曲线。

3.4 光伏发电的控制

掌握最大功率点跟踪方法。

第三章 小结

- 光生伏特效应原理
- 太阳能电池分类，光伏发电系统分类、特点
- 光伏电池等值电路、数学模型和输出外特性
 - 重要技术参数： U_{oc} 、 I_{sc} 、 U_m 、 I_m 、 FF
- 光照强度和温度变化时光伏电池的动态修正模型
- **MPPT**概念及常用控制方法
 - 扰动观测法、导纳增量法原理
- 光伏逆变器的控制策略
- 孤岛效应概念、孤岛检测、反孤岛策略

第四章 新能源电力系统稳态运行分析与计算

4.1 传统电力系统的稳态潮流计算

熟练掌握电力系统的稳态潮流计算模型。

4.2 风力发电和光伏发电并网的潮流计算

熟练掌握风力发电接入系统的潮流计算模型。

熟练掌握光伏发电接入系统的潮流计算模型。

4.3 含新能源电力系统的随机潮流计算

了解风力发电接入系统的随机潮流模型。

了解光伏发电接入系统的随机潮流模型。

4.4 新能源并网后电力系统的负荷频率控制

重点掌握新能源接入后一次、二次调频方法。

4.5 新能源并网后电力系统电压及无功补偿控制

掌握新能源对系统节点电压水平的影响及无功补偿控制。

第四章 小结

- 稳态潮流计算
 - 网络方程、节点导纳矩阵、节点类型、功率平衡方程式、修正方程式、雅克比矩阵、牛顿拉夫逊法
- 异步风力发电的稳态潮流模型
 - 简化PQ模型、改进PQ模型、RX模型
- 光伏发电的稳态潮流模型
- 新能源发电的配电网潮流模型、节点类型
- 风力发电的随机潮流模型
 - 风速Weibull分布、风电功率与风速关系、随机潮流计算流程
- 光伏发电的随机潮流模型
 - ◆ 光照强度Beta分布、基于半不变量的随机潮流的线性化方法
- 新能源对调频的影响、参与频率控制方法、微网频率控制
- 风电、光伏的无功运行特性，及其对系统电压的影响
- 风电的无功补偿、光伏的无功控制方法

第五章 新能源电力系统规划

5.1 负荷预测与新能源发电功率预测

熟悉电力负荷曲线，掌握新能源的出力预测技术。

5.2 新能源发电的容量可信度概念

熟悉含新能源发电系统的可靠性计算方法和容量可信度指标。

5.3 新能源穿透功率极限分析

了解新能源的穿透功率极限分析方法和简单电源规划方法。

5.4 新能源并网后电力系统调峰及消纳能力计算

了解新能源对系统调峰、备用，消纳能力分析计算。

5.5 新能源电力系统可靠性计算

熟悉传统电力系统及含新能源电力系统可靠性计算。

5.6 新能源发电效益与工程经济分析

了解新能源发电自身效益，熟悉工程经济分析基础方法。

第五章 小结

◆电力负荷预测、风电预测、光伏预测方法

- ◆ 负荷曲线、风速/风电功率预测，光照强度/光伏功率预测

◆新能源的容量可信度CC（发电侧、负荷侧）

◆新能源的穿透功率极限概念、计算方法

◆发电系统可靠性

- ◆ 概念、指标、电力电量平衡、等效负荷曲线

◆新能源对系统调峰的影响、备用容量的选取

◆电力系统可靠性指标、计算方法

- ◆ 指标、元件模型、计算方法

◆新能源的发电效益、工程经济分析

- ◆ 静态、动态、不确定性评价方法

- ◆ 资金的时间价值基本概念

- ◆ 净现值法、内部收益法、最小费用法及等年值法。

谢谢！

祝大家考试顺利！

