

储能经济性分析

- 经济性分析概述
- 经济性分析原理
- 储能在电力系统的经济性分析
- 储能的梯次利用
- 总结与展望

9.1 经济性分析概述

□ 储能经济性分析的概念

储能的经济性分析一般以经济学为基础，计算某一储能项目详细的成本和收益情况，进而评估其经济性，为投资与运行决策提供依据。由于储能在电力系统甚至整个能源系统中具有特殊的地位，储能的经济性分析需要**兼顾经济、社会、环境等因素**。



9.1 经济性分析概述

□ 储能经济性分析的意义

储能的经济性分析可以明晰储能项目的成本与收益情况，为储能的推广应用提供依据。

- 可以帮助储能从业者评估储能项目在运营周期内的**收益水平**，判断是否部署以及如何部署储能项目；

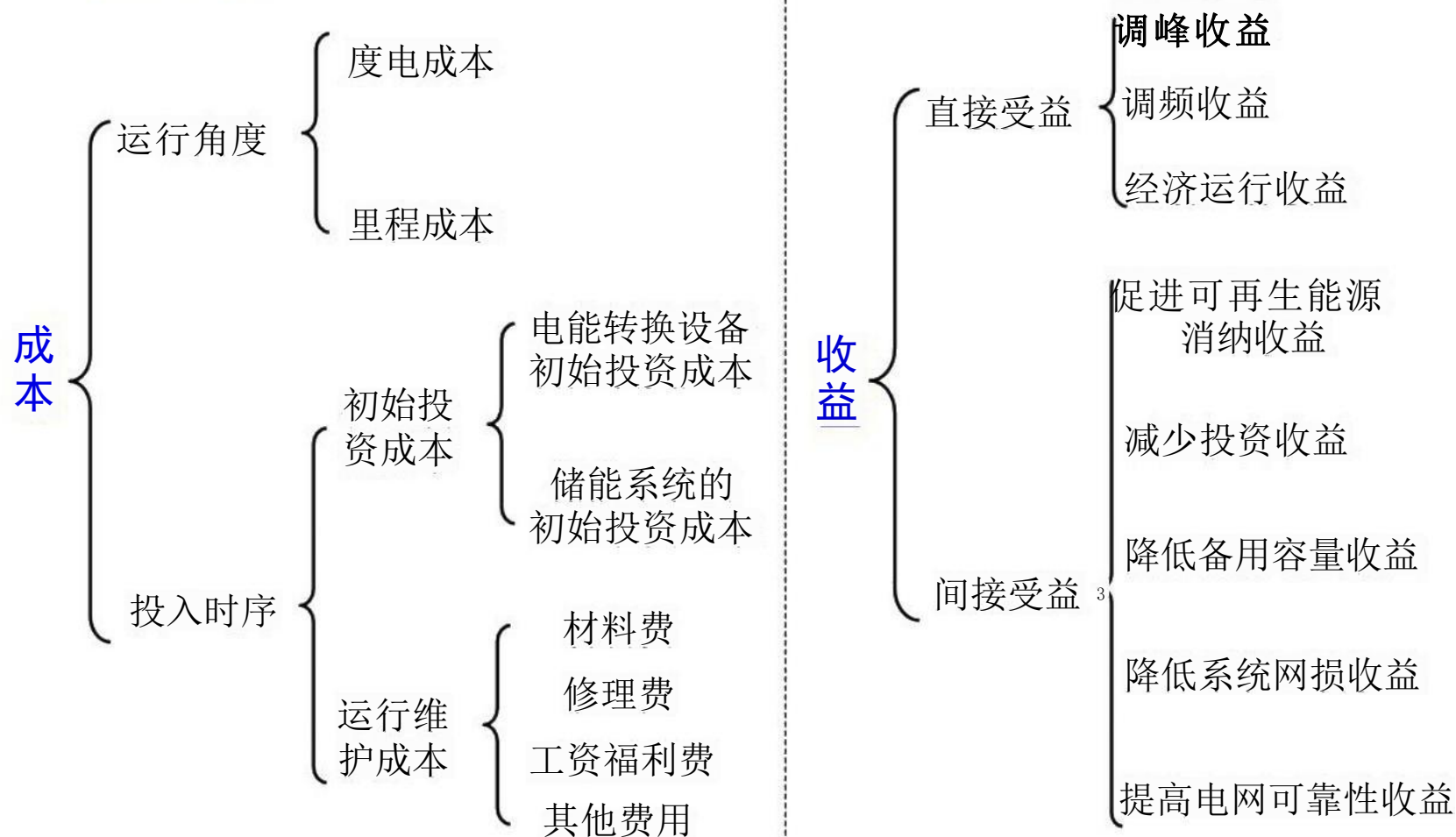
可以获得储能的**各项经济指标**，为储能政策、补贴标准、价格机制等提供参考；

能够明晰储能的**价值流向**，发挥储能的多功能特性，切实推动储能产业发展。

9.1 经济性分析概述

□ 储能经济性分析的要素

成本与收益



9.1 经济性分析概述

□ 储能经济性分析的要素

现金流量

1. 概念：

特定经济系统在一定时期内实际发生的**现金流出或现金流入**，称为现金流量。

- ＞ **现金流入**：流入该系统的现金，称为现金流入。常用**CI**表示。
- ＞ **现金流出**：流出该系统的资金，称为现金流出。常用**CO** 表示。
- ＞ **净现金流量**： 现金流入与现金流出的**差额**，称为净现金流量。常用**CI-CO**表示。

9.1 经济性分析概述

□ 储能经济性分析的要素

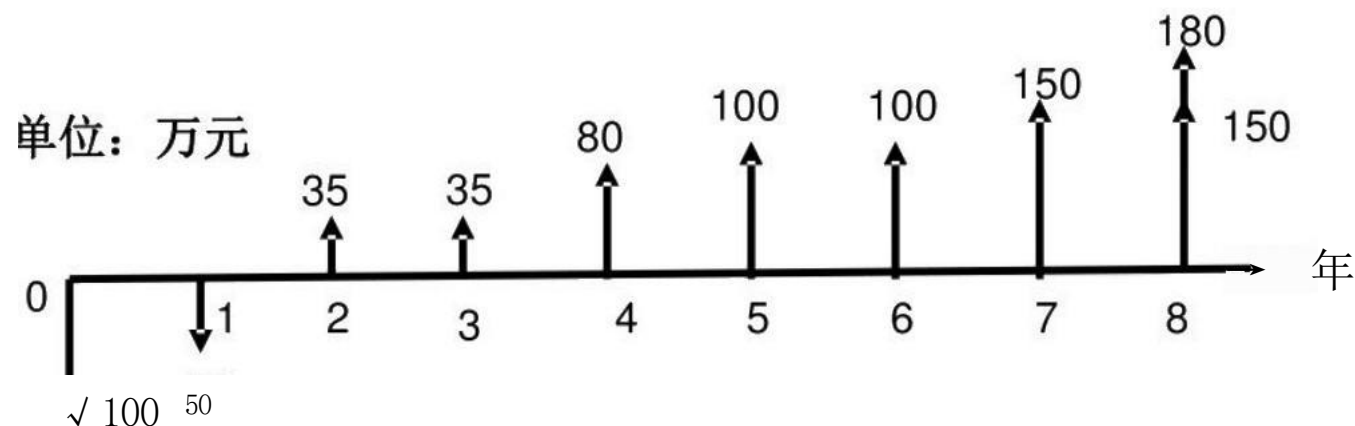
现金流量

2. 现金流量图：

为了直观、形象的表示建设项目或技术方案在**整个寿命期内**所有的现金流量与时间对应关系而采用的图形：

(1) 横坐标(轴)表示**时间**；时间轴

(2) 纵坐标(轴)表示**现金流量**。时间轴的垂直线(表示现金流出和现金流入，并注明金额)

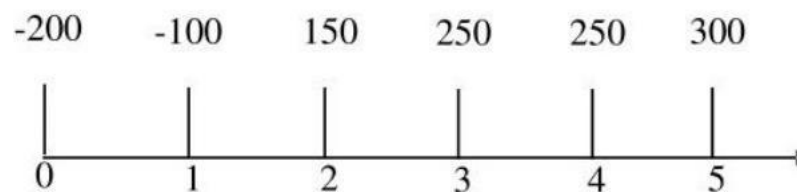
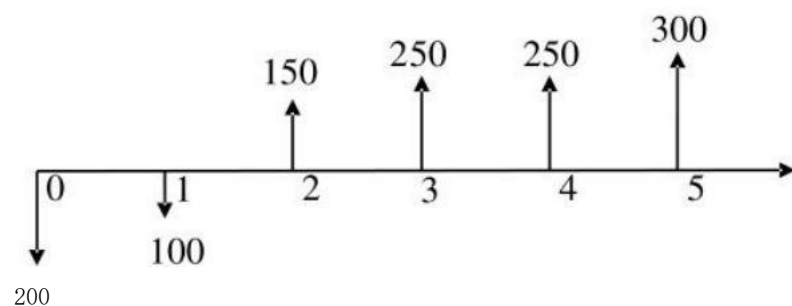


9.1 经济性分析概述

□ 储能经济性分析的要素

现金流量

例9-1：某建设项目第一年年初投资200万元，第二年年初又投资100万元，第二年投产，当年收入500万元，支出350万元，第三年至第五年现金收入均为800万元，支出均为550万元，第五年末回收资产余值50万元，画出该项目的净现金流量图。



9.1 经济性分析概述

□ 储能经济性分析的要素

资金时间价值及其等值计算

在考虑资金的时间价值因素后，不同时间点上数额不等的资金在一定的利率条件下具有相等的价值。

- ＞ **贴现与贴现率**：把将来某一时点处资金金额**折算**成现在时点的等值金额称为贴现或折现。贴现时所用的利率称贴现率或折现率，用 i 表示。
- ＞ **现值**：是指资金“**现在**”价值，用 P 表示。
- ＞ **终值**：现值在**未来某一时点**的资金金额称为终值或将来值，用 F 表示。
- ＞ **年值**：一定时期内每期有**等额收支**的资金值，用 A 表示。

影响资金等值的**因素**有三个：资金金额、资金发生时间和利率

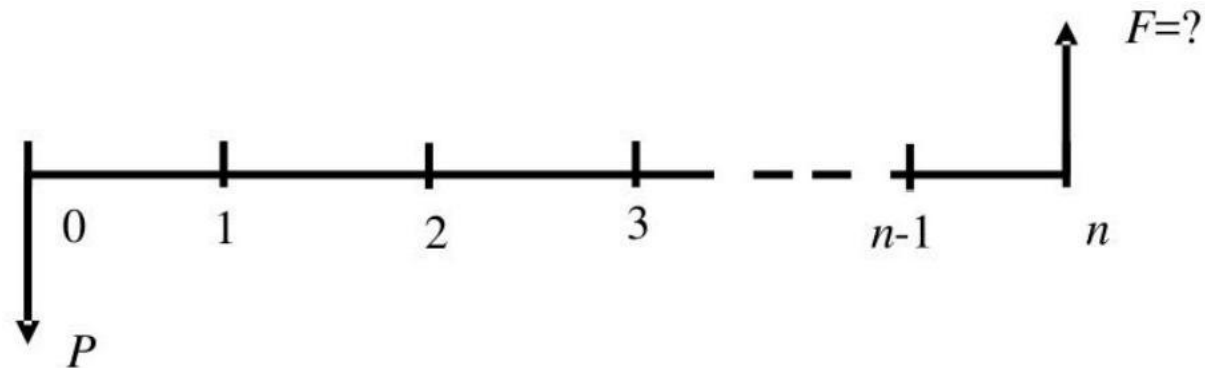
9.1 经济性分析概述

□ 储能经济性分析的要素

资金时间价值及其等值计算

1. 一次支付终值公式

本金 P 元, 年利率 i , n 年后本利和为?



计算公式:

$$\begin{aligned} F &= P \times (1+i)^n \\ &= P \times (F/P, i, n) \end{aligned}$$

$(1+i)^n$ 一次支付终值系数

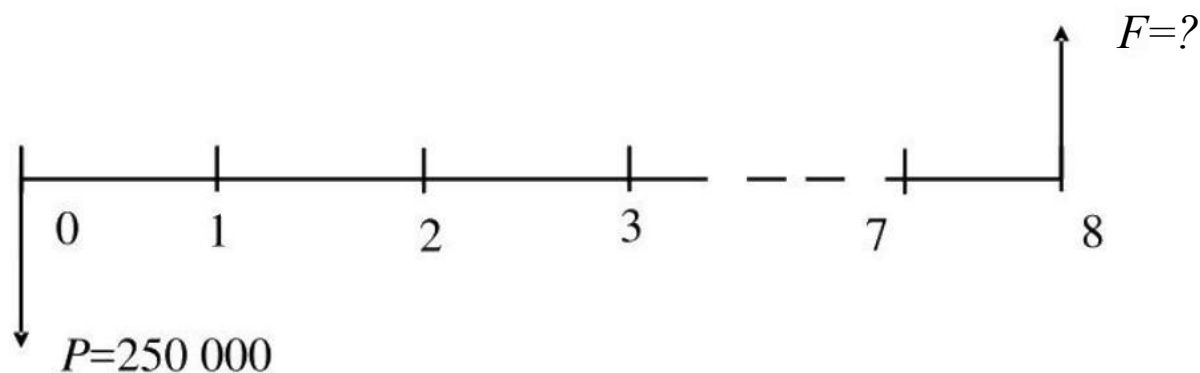
9.1 经济性分析概述

□ 储能经济性分析的要素

资金时间价值及其等值计算

1. 一次支付终值公式

例9-2：一份信托上规定有250000元留给未成年的女儿，但是，暂由她的保护人保管8年。若这笔资金的利率是5%，问8年后这位女孩可以得到多少钱？



解：

$$F = P \times (1+i)^n = 250000 \times (1+0.05)^8 = 369250 \text{ 元}$$
$$F = P \times (F/P, i, n) = 250000 \times 1.477 = 369250 \text{ 元}$$

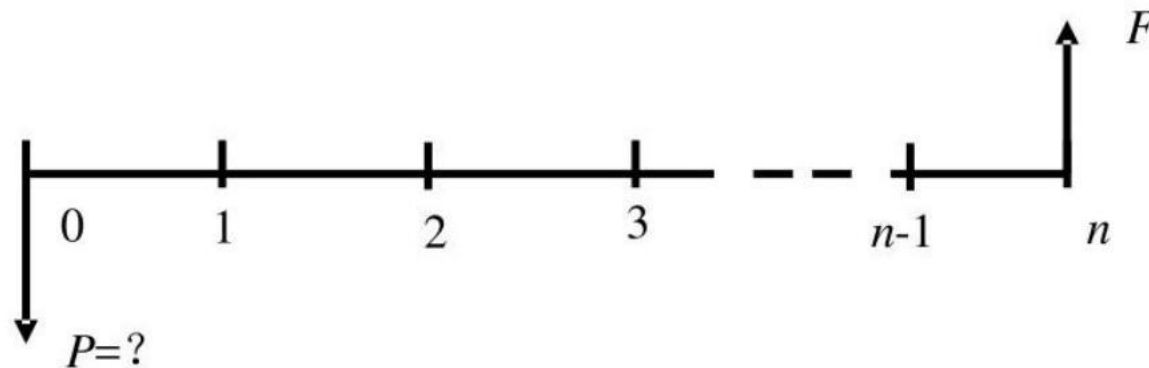
9.1 经济性分析概述

□ 储能经济性分析的要素

资金时间价值及其等值计算

2. 一次支付现值公式

n年后一笔资金F，年利率i，相当于现在？



计算公式:

$$\begin{aligned} P &= F \times (1+i)^{-n} \\ &= F \times (P/F, i, n) \end{aligned}$$

$1/(1+i)^{-n}$ 复利现值系数

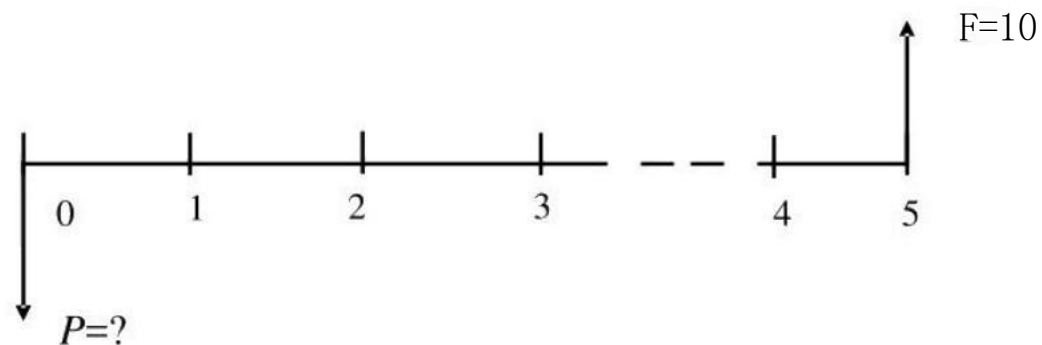
9.1 经济性分析概述

□ 储能经济性分析的要素

资金时间价值及其等值计算

2. 一次支付现值公式

例9-3：某刚刚参加工作的大学生欲筹备未来结婚费用，打算5年后从银行得到10万元，如果银行利率为12%，问现在应存入银行多少钱？



解：

$$P = F \times (1+i)^{-n} = 10 \times (1+12\%)^{-5} = 5.67 \text{ 万元}$$
$$P = F \times (P/F, 12\%, 5) = 10 \times 0.5674 = 5.67 \text{ 万元}$$

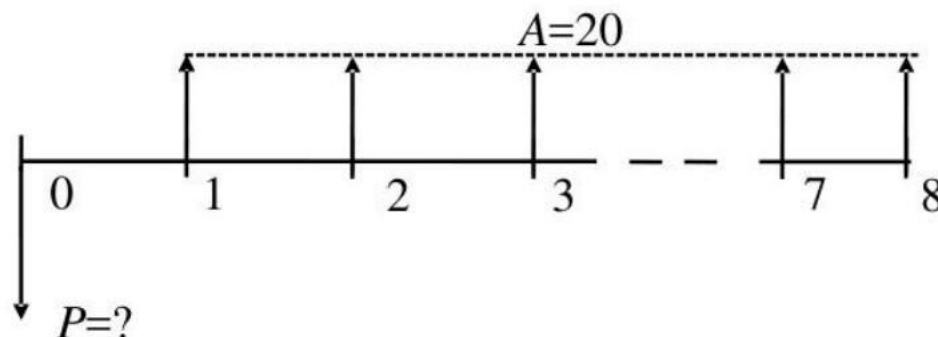
9.1 经济性分析概述

□ 储能经济性分析的要素

资金时间价值及其等值计算

3. 等额分付现值公式

例9-4：有一家小饭店要出租，合同期为8年，预计年净收益20万元，若投资者要求的收益率为20%，问投资者最多愿意出多少价格租小饭店？



解：

$$\begin{aligned} P &= A \times (P/A, i, n) \\ &= 20 \times (P/A, 20\%, 8) \\ &= 20 \times 3.837 = 76.74 \text{ (万元)} \end{aligned}$$

9.2 经济性分析原理

□ 投资回收期法

判别方式

采用投资回收期进行方案评价时，应将计算的投资回收期 T_p 与**标准的投资回收期 T_b** 进行比较：

当 $T_p \leq T_b$ ，该方案是**合理的**，说明方案投资利用效率高于行业基准收益率。

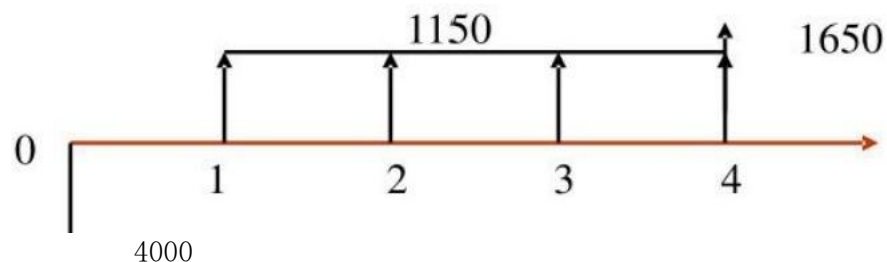
当 $T_p > T_b$ ，该方案是**不合理的**，说明方案投资利用效率低于行业基准收益率。



9.2 经济性分析原理

□ 净现值法

例9-5：某设备的购价为4000元，每年的运行收入为1500元，年运行费用350元，4年后该设备可以按500元转让，如果基准收益率 $i=20\%$ ，问此项设备投资是否值得？



解：按净现值NPV 指标进行评价：

$$\begin{aligned} NPV(20\%) &= -4000 + (1500 - 350) \times (P/A, 20\%, 4) \\ &\quad + 500(P/F, 20\%, 4) \\ &= -781.5 (\text{元}) \end{aligned}$$

由于 $NPV(20\%) < 0$ ，此投资经济上不合理。

9. 2经济性分析原理

□ 净现值法

在上例中，若其他情况相同，如果基准收益率 $i_0=10\%$ 和 $i_0=5\%$ ， 问此项投资是否值得？

解：

$$\begin{aligned} \text{NPV}(10\%) &= -4000 + (1500 - 350) \times (P/A, 10\%, 4) + 500 \times (P/F, 10\%, 4) \\ &= 13 (\text{元}) \\ \text{NPV}(5\%) &= -4000 + (1500 - 350) \times (P/A, 5\%, 4) + 500 \times (P/F, 5\%, 4) \\ &= 489.5 (\text{元}) \end{aligned}$$

这意味着若基准收益率为5%和10%，此项投资是盈利的。

9.2 经济性分析原理

□ 内部收益率法

判别方式

设**基准收益率为 u** ，用内部收益率指标IRR 评价方案的判别准则是：

- ＞ 若 **$IRR \geq i_0$** ，则项目在经济效果上可以接受；
- ＞ 若 **$IRR < u$** ，则项目应予否定。

一般情况下，对于单个方案的评价，内部收益率IRR 准则与净现值NPV 准则，其评价结论是一致的。



9.2 经济性分析原理

□ 内部收益率法

例9-6：对于一个寿命周期为5年的小型储能项目，其初始投资10000元，前4年中每年年末的收益为3000元，第5年年末的收益为5000元。基准折现率为10%，试用内部收益率法分析该方案是否可行。

现金流量表						单位：万元
年份	0	1	2	3	4	5
现金流量	-2000	300	500	500	500	1200

解：试算 $i_1=12\%$ 时，

$$NPV(i_1) = -2000 + 300(P/F, 12\%, 1) + 500(P/A, 12\%, 3)(P/F, 12\%, 1) + 1200(P/F, 12\%, 5) = 21 \text{ (万元)} > 0$$

试算 $i_2=14\%$ 时，

$$NPV(i_2) = -2000 + 300(P/F, 14\%, 1) + 500(P/A, 14\%, 3)(P/F, 14\%, 1) + 1200(P/F, 14\%, 5) = -95 \text{ (万元)} < 0$$

可见，IRR在12%~14%之间

$$IRR = i_1 + \frac{NPV_1}{NPV_1 + |NPV_2|} (i_2 - i_1) = 12\% + \frac{21}{21 + 95} \times (14\% - 12\%) \approx 12.4\%$$

由于 $IRR=12.4\%>10\%$ ，该方案可行。

9.3 储能在电力系统的经济性分析

□ 储能在发电侧的经济性分析

在发电侧，储能主要具有两种应用模式：一是**与火电联合**运行，比如广东、山西等地的火储联合调频服务；二是**与可再生能源联合**运行，比如青海、新疆等地通过配置储能消纳新能源。



火电：运行灵活性不足、污染环境



可再生能源：间歇性、波动性和随机性，并网消纳困难

9.3 储能在电力系统的经济性分析

□ 储能与火电联合运行

◆ 火电和储能联合运行的作用：

弥补火电机组灵活性不足的短板，使“火储”作为整体更好地参与电力系统的**调峰、调频**服务；

- ＞ 利用储能应对负荷波动，使火电机组保持在经济运行状态，同时避免机组的频繁启停，**减少机组损耗、降低维护成本**；
- ＞ 利用储能的“低储高发”特性增加系统在高峰时刻的供电能力，起到**延缓新建电厂甚至避免新建电厂**的作用。



9.3 储能在电力系统的经济性分析

□ 储能与火电联合运行

成本分析

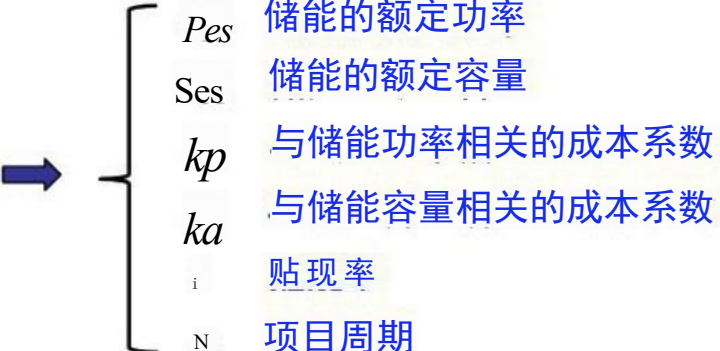
在寿命周期内，储能的成本包括：初始投资成本、运行维护成本、置换成本和废弃处置成本。

1. 初始投资成本

储能的初始投资成本由电能转换设备成本和储能系统成本构成，可按储能的额定功率和额定容量进行估算，即

$$C_1 = k_p P_{es} + k_a S_{es}$$

对总初始投资成本在项目周期内进行分摊，可得年均投资成本 C_{1ann} ，即

$$C_{1ann} = (k_p P_{es} + k_a S_{es}) \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1}$$


P_{es}	储能的额定功率
S_{es}	储能的额定容量
k_p	与储能功率相关的成本系数
k_a	与储能容量相关的成本系数
i	贴现率
N	项目周期

9.3 储能在电力系统的经济性分析

□ 储能与火电联合运行

5. 废弃处置成本

废弃处置成本指储能设备的寿命周期结束后，为处理该设备所需支付的费用，包括设备残值和环保费用支出，即

$$C_4 = (C_{en} - \gamma C_1) \sum_{\beta=1}^{\tau} \frac{1}{(1+i)^{\beta a}}$$

项目周期内的年均废弃处置成本：

$$C_{4_ann} = (C_{en} - \gamma C_1) \sum_{\beta=1}^{\tau} \frac{1}{(1+i)^{\beta a}} \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1}$$



C_{en} 环境无害化处理成本

γ 电池本体的回收系数——铅炭电池的 γ 可取为20%，锂电池的 γ 一般取为0。

9. 3储能电力系统的经济性分析

□ 储能与火电联合运行

收益分析

火储联合运行可以改善火电机组的灵活性，在调峰、调频、经济运行收益、减少新建机组投资等方面产生收益。

1. 调峰收益

配置在火电侧的储能系统的年调峰收益为

$$I_{g2_ann} = P_{pr} \sum_{d=1}^Z Q(d)$$

$Q(d)$ 储能在第d天内的调峰放电电量

p_z 调峰补偿电价

r 一年内储能调峰运行天数。

2. 调频收益

配置在火电侧的储能系统的年调频收益为

$$I_{g2_ann} = \sum_{x=1}^{12} \sum_{x=1}^{X_{fm}} (M_{fm}(x) I_{fm}(x) Kap_{fm}(x))$$

X_{fm} 每月调频市场总交易周期数

$M_{fm}(x)$ 第x个交易周期储能提供的调频里程

$I_{fm}(x)$ 第x个交易周期的调频里程补偿

$Kap_{fm}(x)$ 第x个交易周期的综合调频性能指标平均值

9.3 储能在电力系统的经济性分析

□ 储能与火电联合运行

3. 经济运行收益

配置在火电侧的储能系统，其经济运行收益可由减少机组损耗成本和减少机组维护成本来衡量。

1) 减少的机组损耗成本：

$$I_{loss_ann} = I_{ther} \Delta A \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \Rightarrow \begin{cases} I_{ther} & \text{火电机组年平均运行收益} \\ \Delta A & \text{配置储能后机组运行寿命的延长} \end{cases}$$

2) 减少的年运行维护成本：

$$I_{omann} = \Delta k_{om} C_g \Rightarrow \begin{cases} \Delta k_{om} & \text{投入储能前后火电机组的运行维护成本费用系数之差} \\ C_g & \text{火电机组的初始投资成本} \end{cases}$$

3) 火储联合系统的经济运行收益为：

$$I_{g3_ann} = I_{loss_ann} + I_{om_ann}$$

9.3 储能在电力系统的经济性分析

□ 储能与火电联合运行

4. 减少投资收益

配置在火电侧的储能系统，其年均减少投资收益可由提供辅助服务所减少的火电装机成本来衡量，即

$$I_{g4_ann} = C_{ther} \frac{\sum_{d=1}^{Danc} P_{anc}^+(d)}{Tq} \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1}$$

T	火电机组的年运行时间
C_{ther}	单位容量装机成本
$Danc$	一年内储能参与辅助服务的运行天数
$P_{anc}(d)$	储能第d天内的参与辅助服务的总放电电量
q	火电基本参与辅助服务能力与最大出力的比值

9. 3储能 在电力系统的经济性分析

例9-7 建立一个9MW/4.5MWh 的磷酸铁锂电池储能电站辅助火电厂调频。储能电站的初始投资成本为2800万元，电网调度向火电厂调频提供的补偿为6元/MW， 典型日AGC 指令见表9-4, 调频性能指标见表9-5。忽略运行过程中产生的其他成本，且仅考虑发电侧储能电池的调频效益。试求：

- (1) 首年火储联合调频系统的收益；
- (2) 倘若从第二年 开始，每年的调频效益下降3%, 试求该储能系统投资的静态回收期。

表9-4 加入储能系统后典型日AGC 指令统计

典型日	夏季	冬季	春秋季
日调频里程/MW	1332	1320	927
持续天数/天	95	75	150

表9-5 加入储能系统后调频性能指标

典型日	调节速率 (k 1)	调节速率 (k 2)	调节速率 (k 3)	综合调频性能指标平均值 (K)
夏季	4. 01~4. 62	0. 91~1. 00	0. 89~1. 00	2. 45~2. 81
冬季	4. 10~4. 64	0. 93~1. 00	0. 91~1. 00	2. 51~2. 82
春秋季	4. 17~4. 52	0. 94~1. 00	0. 92~1. 00	2. 55~2. 76

$$T_1 = 6 - \frac{1}{1 + 2704} = 5.5 \text{ (年)}$$

9. 3储能 在电力系统的经济性分析

储能与火电联合运行的典型应用

截至2020年，全球有20余个国家在建或投运了超过200项兆瓦级储能调频项目。下表展示了国内外火储联合运行的一些典型案例。

序号	项目名称	储能配置	储能主要功能
1	内蒙古新丰热电公司储能项目	磷酸铁锂电池： 9MW/4. 478MWh	调峰、调频、无功补偿、提高电能质量、提高供电可靠性等
2	河北建投宣化热电公司储能项目	磷酸铁锂电池： 9MW/4. 5MWh	调峰、调频、无功补偿、提高电能质量、提高供电可靠性等
3	南加州爱迪生公司燃气轮机储能混合发电项目	锂电池： 10MW/4. 2MWh	提高调频响应能力、延长机组寿命、减少运行成本等
4	北京石景山热电厂火储联合运营项目	磷酸铁锂电池： 2MW/0. 5MWh	提高调频响应能力、延长机组寿命、减少运行成本等
5	山西京玉电厂储能项目	锰酸锂电池： 9MW/4. 5MWh	提高调频响应能力、延长机组寿命、减少运行成本等
6	华润电力唐山丰润公司火储联合运营项目	三元锂电池： 9MW/4. 5MWh	提高调频响应能力、延长机组寿命、减少运行成本等

9.3 储能在电力系统的经济性分析

□ 储能与可再生能源联合运行

储能与可再生能源联合运行的作用：

通过储能与可再生能源联合运行，可以使原本难以控制的可再生能源发电出力可控，进而**提高可再生能源的消纳率**。

- 储能与可再生能源联合运行时，也可以作为整体参与调峰、调频等**辅助服务**，获取额外收益。

在可再生能源侧装设储能系统后，可**减少**可再生能源场站所需**备用容量**，并**节省**并网通道建设投入。



9. 3储能在电力系统的经济性分析

□ 储能与可再生能源联合运行

成本分析

与配置在火电侧的储能系统一致，可再生能源侧储能的全寿命周期成本也包括初始投资成本、运行维护成本、置换成本和废弃处置成本。详见书中式(9-16)–(9-22)。

收益分析

储能与可再生能源联合系统的收益包括：促进可再生能源消纳收益、提高系统可靠性收益、调峰收益、调频收益和降低备用容量收益。

1. 促进可再生能源消纳收益

配置在可再生能源侧的储能系统，其促进可再生能源消纳的年均收益由减少可再生能源浪费的年均收益来衡量，即

Inglann=(Ewrer-Ewrer.ess)Ep

Ewrer

Ewrer_es

Ep

储能接入前可再生能源浪费的年期望

一年内储能参与辅助服务的运行天数

电价年期望

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：<https://d.book118.com/217112052046006103>