

# 六、经济效益测算与收益分配分析

通过详细的经济效益测算，论证虚拟电厂接入方案的经济可行性，为决策提供数据支撑。

## 6.1 改造前后用电成本对比

### 6.1.1 改造前用电成本基线（现状）

#### （1）年度用电量与电费构成

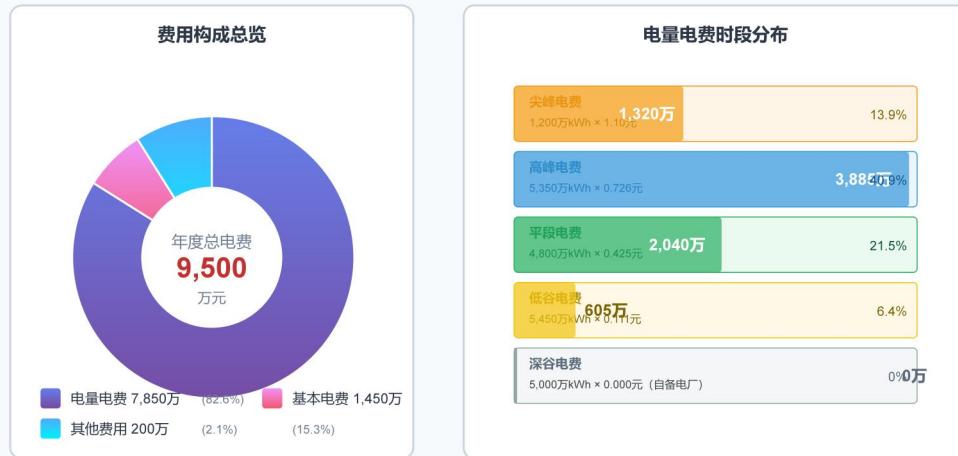
基于第 2.2 节的用电现状数据：

项目	数值	备注
年用电量	2.18 亿 kWh	2025 年实际用电量
最大需量	22,000kW	年度最大需量
负荷率	约 64%	平均负荷/最大需量
年总电费	9,500 万元	2025 年实际电费支出
平均电价	0.436 元/kWh	总电费/总电量

#### （2）电费结构详细拆解

【改造前年度电费构成（9,500 万元）】

## 改造前年度电费构成 (9,500万元)



### 一、电量电费: 7,850万元 (82.6%)

时段	电量 (万 kWh)	电价 (元/kWh)	电费 (万元)	占比
尖峰	1,200	1.10	1,320	13.9%
高峰	5,350	0.726	3,885	40.9%
平段	4,800	0.425	2,040	21.5%
低谷	5,450	0.111	605	6.4%
深谷	5,000	0.000 (自备电厂)	0	0%

### 二、基本电费: 1,450万元 (15.3%)

- 计费需量: **22,000 kW** (按最大需量计费)
- 需量单价: **55 元/kW·月**
- 计算公式:  $22,000 \times 55 = 121\text{万元}/月 \rightarrow 121 \times 12 = 1,450\text{万元}/年$

### 三、其他费用: 200万元 (2.1%)

- 功率因数调整费: 已达标, 无调整 (0元)
- 代征费用 (政府性基金及附加) :
  - 国家重大水利工程建设基金
  - 可再生能源电价附加
  - 大中型水库移民后期扶持基金**200万元**

## (3) 现状问题诊断

问题类型	具体表现	年度损失 (万元)	改进空间
尖峰高峰用电占比过高	尖峰+高峰电量占 30%, 但电费占 55%	300~500	★★★★★
最大需量偏高	最大需量 22,000kW, 但平均负荷仅 14,000kW	150~250	★★★★★

问题类型	具体表现	年度损失 (万元)	改进空间
峰谷调节不充分	深谷时段使用自备电厂，未充分利用电网低谷电	100~200	★★★
负荷曲线不平稳	日负荷波动大，峰谷差 8,000kW	100~150	★★★★
无市场化收益	未参与需求响应、辅助服务等市场	200~400	★★★★★
合计优化空间	-	850~1,500	-

### 6. 1. 2 改造后用电成本预测（方案实施后）

#### (1) 电量电费节省

##### A. 峰谷电量结构优化

通过负荷调控和 VPP 参与，优化用电时段分布：

时段	改造前	改造后	变化	电价(元/kWh)	电费变化(万元)
尖峰	1,200 万 kWh (5.5%)	800 万 kWh (3.7%)	-33%	1.10	-440
高峰	5,350 万 kWh (24.5%)	4,500 万 kWh (20.6%)	-16%	0.726	-617
平段	4,800 万 kWh (22.0%)	5,800 万 kWh (26.6%)	+21%	0.425	+425
低谷	5,450 万 kWh (25.0%)	6,200 万 kWh (28.4%)	+14%	0.111	+83
深谷	5,000 万 kWh (23.0%)	4,500 万 kWh (20.6%)	-10%	0.000	0
合计	21,800 万 kWh	21,800 万 kWh	0%	-	-549

说明：

- 通过 VPP 响应削减尖峰高峰用电  $400+850=1,250$  万 kWh
- 将部分负荷转移至平段和低谷，增加  $1,000+750=1,750$  万 kWh
- 深谷时段因负荷转移略有减少（自备电厂成本为 0，可接受）
- 电量电费节省：549 万元/年

##### B. 电量电费结构对比

【电量电费对比（改造前 vs 改造后）】



## (2) 基本电费节省

需量控制策略：

通过智能需量控制系统，避免偶发性的高需量：

项目	改造前	改造后	变化
年最大需量	22,000kW	20,500kW	-1,500kW
计费需量 (按最大需量)	22,000kW	20,500kW	-1,500kW
月基本电费	$22,000 \times 55 = 121$ 万	$20,500 \times 55 = 112.75$ 万	-8.25 万
年基本电费	1,450 万	1,353 万	-97 万

或选择按变压器容量计费 (若更优)：

项目	数值	备注
变压器容量	30,000kVA	现有容量
容量单价	33 元/kVA • 月	山东电价
月基本电费	$30,000 \times 33 = 99$ 万	-
年基本电费	$99 \times 12 = 1,188$ 万	-
vs 按需量计费 (改造后)	1,353 万	需量计费更优

结论：改造后仍选择按需量计费，年节省基本电费 97 万元。

需量控制技术手段：

【需量控制实施逻辑】



### （3）峰谷套利综合收益

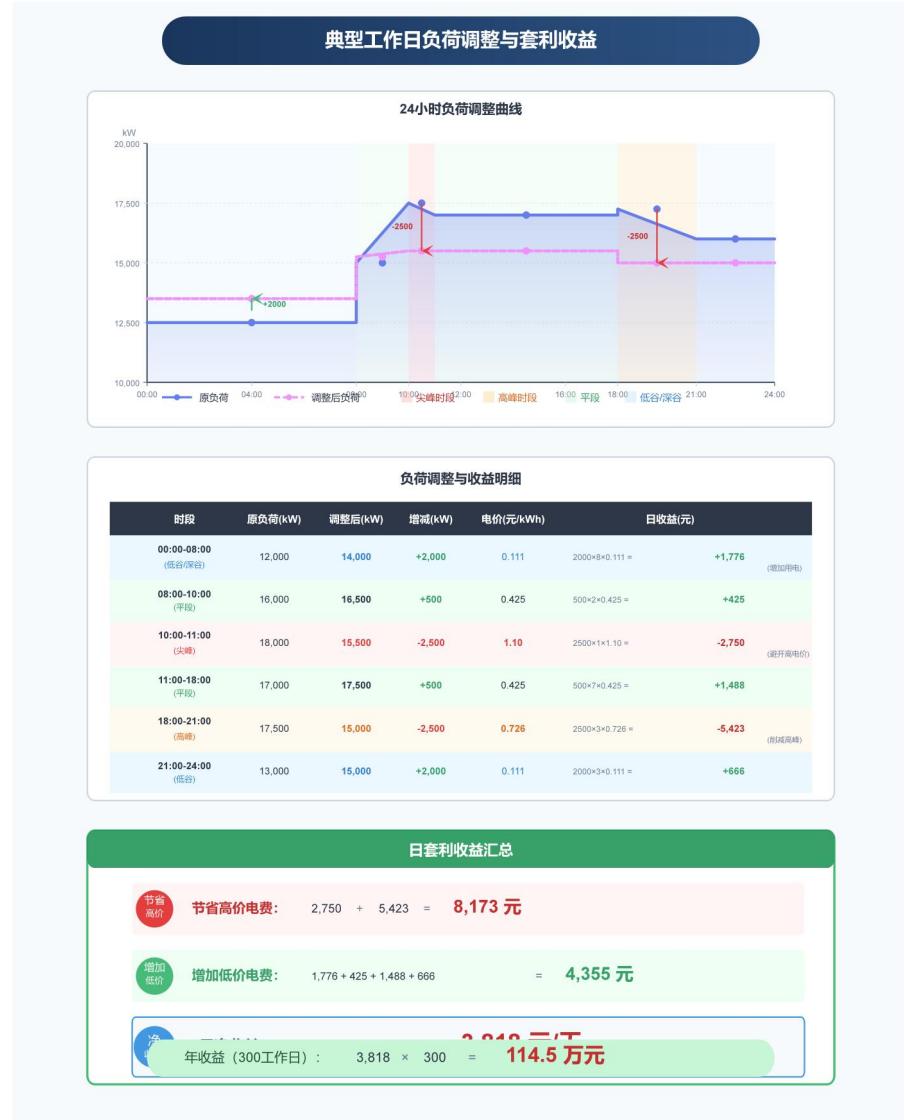
#### A. 主动峰谷套利策略

策略	具体操作	年收益（万元）
削峰策略	尖峰高峰时段削减负荷 2,000~3,000kW	已包含在电量电费节省中
填谷策略	低谷时段增加负荷 1,500~2,500kW	+80~120
批次调整	生产批次向平段低谷转移	+50~80
设备错峰	辅助设备错峰运行	+30~50
智能调度	AI 优化负荷曲线	+40~60
<b>合计</b>	<b>-</b>	<b>200~310</b>

说明： 削峰收益已在电量电费节省中体现，此处为填谷和优化的增量收益。

#### B. 典型日峰谷套利示例

##### 【典型工作日负荷调整与套利收益】



#### (4) 负荷优化收益

除峰谷套利外，通过智能负荷管理实现的其他收益：

优化措施	实施内容	年收益 (万元)
同时率管理	避免大功率设备同时启动	30~50
设备效率提升	变频调速、优化运行参数	50~80
待机损耗消除	非工作时段设备完全关闭	20~30
照明空调优化	分区控制、智能调节	30~40
其他管理优化	用能行为管理、能耗考核	20~30
合计	-	150~230

#### (5) 改造后用电成本汇总

费用项目	改造前 (万元)	改造后 (万元)	节省 (万元)	降幅
电量电费	7,850	7,301	549	7.0%
基本电费	1,450	1,353	97	6.7%
其他费用	200	190	10	5.0%

费用项目	改造前(万元)	改造后(万元)	节省(万元)	降幅
小计	9,500	8,844	656	6.9%
<b>新增收益:</b>				
• 峰谷套利增值	-	-	200~310	-
<b>新增收益:</b>				
• 负荷优化增值	-	-	150~230	-
<b>改造后综合成本</b>	9,500	约 8,300~8,500	1,000~1,200	10.5%~12.6%

### 6.1.3 年度电费变化综合分析

#### (1) 电费节省来源结构

【年度电费节省 1,000~1,200 万元的来源构成】



#### 【节省特征】

- 主要来源：电量电费优化 (48%) + 峰谷套利 (22%) = 70%
- 稳定收益：电量和基本电费节省 (56%)，确定性高
- 增值收益：峰谷套利和负荷优化 (39%)，有波动但可控
- 综合降幅：电费总成本降低 10.5%~12.6%

#### (2) 年度电费变化趋势预测

逐年电费节省预测（考虑优化效果提升）：

年份	优化成熟度	年节省电费（万元）	累计节省（万元）	备注
Y1	爬坡期	600~800	600~800	系统磨合，部分功能
Y2	成熟期	900~1,100	1,500~1,900	全功能运行，经验积累
Y3	优化期	1,000~1,200	2,500~3,100	深度优化，模式固化
Y4	稳定期	1,000~1,200	3,500~4,300	稳定运行
Y5	提升期	1,100~1,300	4,600~5,600	配置储能，效益提升

### （3）敏感性分析

关键影响因素对电费节省的敏感性：

影响因素	变化幅度	对年节省的影响	敏感度
电价水平	±10%	±100~120 万元	★★★★★ 高
尖峰高峰削减效果	±20%	±110~150 万元	★★★★★ 高
需量控制效果	±15%	±15~20 万元	★★ 低
负荷优化效果	±25%	±40~60 万元	★★★ 中
用电总量变化	±5%	±40~50 万元	★★★ 中
响应执行率	±10%	±30~50 万元	★★★ 中

结论：

- 电费节省对电价水平和削峰效果最敏感
- 建议关注电价政策变化，及时调整策略
- 保证尖峰高峰时段削减效果是关键

## 6.2 虚拟电厂参与收益测算

### 6.2.1 需求响应市场收益测算

#### （1）单次响应收益模型

需求响应单次收益计算公式：

$$\text{单次响应收益} = \text{响应容量 (MW)} \times \text{响应时长 (h)} \times \text{补偿标准 (元/MW)} \times \text{达标系数}$$

其中：

- 响应容量：实际削减的负荷 (kW)，转换为 MW
- 响应时长：实际持续响应的时长 (小时)
- 补偿标准：不同响应类型有不同标准
- 达标系数：
  - 响应容量达标率 90%~110%：系数 1.0

- 达标率 110%~120%: 系数 1.05 (奖励)
- 达标率 80%~90%: 系数 0.9 (扣减)
- 达标率 <80%: 系数 0.5~0.7 (大幅扣减)

## (2) 典型响应场景收益测算

### 场景 A: 日前邀约响应 (最常见, 占 60%)

参数	数值	说明
响应容量	2,000~2,500kW	调用 II 级+部分 III 级资源
响应时长	1.5~2.5 小时	典型持续时长
补偿标准	300 元/MW • 次	山东日前响应标准
年响应次数	60~80 次	市场经验值
达标系数	1.0~1.05	预期达标率 ≥95%
单次收益	$2.2\text{MW} \times 2\text{h} \times 300 \times 1.02 = 1,346$ 元	典型值
年收益	$1,346 \times 70$ 次 = 9.4 万元	中位值

### 场景 B: 实时邀约响应 (补偿高, 占 25%)

参数	数值	说明
响应容量	1,000~1,500kW	调用 I 级+II 级快速资源
响应时长	0.5~1.5 小时	短时快速响应
补偿标准	600 元/MW • 次	实时响应补偿更高
年响应次数	30~40 次	电网紧急情况
达标系数	0.95~1.0	快速响应难度大, 达标率略低
单次收益	$1.2\text{MW} \times 1\text{h} \times 600 \times 0.98 = 706$ 元	典型值
年收益	$706 \times 35$ 次 = 2.5 万元	中位值

### 场景 C: 尖峰需求响应 (高补偿, 占 10%)

参数	数值	说明
响应容量	800~1,200kW	紧急情况, 调用 I 级资源
响应时长	0.5~1.0 小时	超短时应急
补偿标准	1,000 元/MW • 次	紧急响应高补偿
年响应次数	10~15 次	极端高峰时段
达标系数	0.95~1.0	
单次收益	$1.0\text{MW} \times 0.75\text{h} \times 1000 \times 0.97 = 728$ 元	典型值
年收益	$728 \times 12$ 次 = 0.9 万元	中位值

### 场景 D: 年度邀约响应 (低频但稳定, 占 5%)

参数	数值	说明
响应容量	2,500~3,000kW	提前计划, 调用 III 级资源

参数	数值	说明
响应时长	2~4 小时	长时响应
补偿标准	250 元/MW · 次	年度邀约补偿略低但确定
年响应次数	40~50 次	合同约定
达标系数	1.0~1.05	提前计划，达标率高
单次收益	$2.7\text{MW} \times 3\text{h} \times 250 \times 1.02 = 2,066$ 元	典型值
年收益	$2,066 \times 45 \text{ 次} = 9.3$ 万元	中位值

### (3) 需求响应年度收益汇总

响应类型	单次收益(元)	年响应次数	年收益(万元)	占比	确定性
日前邀约	1,000~1,600	60~80	6.0~12.8	50%	★★★★★
实时邀约	600~900	30~40	1.8~3.6	17%	★★★
尖峰响应	500~1,000	10~15	0.5~1.5	6%	★★
年度邀约	1,500~2,500	40~50	6.0~12.5	50%	★★★★★★
合计	-	140~185 次	14.3~30.4	100%	★★★★★

保守估计：年收益约 15~20 万元 中位估计：年收益约 20~25 万元 乐观估计：  
年收益约 25~30 万元

## 6.2.2 辅助服务市场收益测算

### (1) 备用服务收益

#### A. 旋转备用（快速响应备用）

项目	数值	说明
承诺容量	500kW	I 级快速响应资源
响应时间要求	≤1 分钟	极快速响应
月容量补偿	100 元/kW	固定容量费
月容量收益	$500 \times 100 = 5$ 万元	无论是否调用都支付
年容量收益	$5 \times 12 = 60$ 万元	稳定基础收益
年调用次数	15~25 次	实际调用频次
单次调用补偿	800 元/MW	按实际调用支付
年调用收益	$0.5\text{MW} \times 800 \times 20 = 0.8$ 万元	额外收益
合计年收益	60.8 万元	容量费为主

#### B. 非旋转备用（常规备用）

项目	数值	说明
承诺容量	1,500kW	II 级常规响应资源

响应时间要求	$\leq 10$ 分钟	快速响应
月容量补偿	50 元/kW	固定容量费
月容量收益	$1,500 \times 50 = 7.5$ 万元	-
年容量收益	$7.5 \times 12 = 90$ 万元	稳定收益
年调用次数	25~35 次	-
单次调用补偿	500 元/MW	-
年调用收益	$1.5\text{MW} \times 500 \times 30 = 2.25$ 万元	-
合计年收益	92.25 万元	-

### c. 备用服务总收益

备用类型	年容量收益（万元）	年调用收益（万元）	合计（万元）
旋转备用	60	0.8	60.8
非旋转备用	90	2.25	92.25
合计	150	3.05	153.05

说明： 备用服务的主要收益来自容量费（占 98%），这是非常稳定的基础收益。

## （2）调峰服务收益

### A. 削峰服务

项目	数值	说明
参与容量	2,000~2,500kW	-
年调峰时长	180~220 小时	高峰时段削减
年调峰电量	$2,200\text{kW} \times 200\text{h} = 440,000\text{kWh}$	-
补偿标准	0.30 元/kWh	按削减电量补偿
年收益	$440,000 \times 0.30 = 13.2$ 万元	-

### B. 填谷服务

项目	数值	说明
参与容量	2,000~3,000kW	-
年填谷时长	250~350 小时	低谷时段增加负荷
年填谷电量	$2,500\text{kW} \times 300\text{h} = 750,000\text{kWh}$	-
补偿标准	0.15 元/kWh	电价优惠+补贴
年收益	$750,000 \times 0.15 = 11.25$ 万元	-

### C. 调峰服务总收益

调峰类型	年收益（万元）	备注
削峰服务	13.2	高峰时段削减负荷

调峰类型	年收益（万元）	备注
填谷服务	11.25	低谷时段增加负荷
合计	24.45	双向调节

### (3) 辅助服务年度收益汇总

服务类型	年收益（万元）	收益特征	确定性
备用服务（容量费）	150	固定收益，确定性高	★★★★★
备用服务（调用费）	3	浮动收益，频次低	★★★
调峰服务	24	浮动收益，可控性强	★★★★★
合计	177	以固定容量费为主	★★★★★

**说明：** 辅助服务市场收益约 177 万元/年，其中 85% 来自稳定的容量补偿，是非常可靠的收益来源。

## 6.2.3 现货市场套利收益测算

### (1) 负荷转移套利（无储能情况）

基于负荷时段转移的套利策略：

策略	操作方式	日收益（元）	年工作日	年收益 (万元)
尖峰避让	尖峰时段削减 2000kW, 转移至平段	$2000 \times 1h \times (1.1 - 0.425) = 1,350$	250 天	33.8
高峰避让	高峰时段削减 1500kW, 转移至平段	$1500 \times 2h \times (0.726 - 0.425) = 903$	250 天	22.6
低谷增加	低谷时段增加 2000kW (提前生产)	$2000 \times 3h \times (0.425 - 0.111) = 1,884$	200 天	37.7
智能调度	AI 优化负荷曲线	500~1,000	300 天	15~30
合计	-	约 4,600~5,100	-	109~124

### (2) 现货市场价格套利（需配储能）

若配置储能系统（2MW/4MWh）：

【储能现货套利收益模型】



**【建议】**当前储能经济性一般，建议：

1. 暂不配置储能，重点做好负荷转移套利
2. 持续关注储能成本下降趋势
3. 若有新的储能补贴政策，再评估投资
4. 优先投资回收期短的能效改造项目

### (3) 现货市场收益汇总

套利方式	是否需投资	年收益(万元)	投资回收期	推荐度
负荷转移套利	否（含在系统改造中）	109~124	-	★★★★★
储能套利	是（800~1,000 万）	100~150	8~10 年	★★
当前推荐	-	109~124	-	-

## 6.2.4 虚拟电厂参与年度总收益

### (1) 年度总收益汇总表

收益类型	年收益(万元)	占比	确定性	实现难度
需求响应市场	15~30	5%~7%	★★★★★	中

收益类型	年收益（万元）	占比	确定性	实现难度
辅助服务市场	177	46%~41%	★★★★★	中
现货市场套利	109~124	28%~29%	★★★	中低
内部优化收益	85~100	22%~23%	★★★★★	低
合计（VPP 部分）	386~431	100%	★★★★★	-

## （2）收益结构分析

【VPP 年度收益结构（386~431 万元）】

稳定收益（85%）：

- └─ 辅助服务容量费：150 万元（38%）
- └─ 内部优化收益：85~100 万元（23%）
- └─ 调峰服务：24 万元（6%）

浮动收益（15%）：

- └─ 需求响应补贴：15~30 万元（6%）
- └─ 现货套利：109~124 万元（29%）
- └─ 备用调用费：3 万元（1%）

### 【收益特征】

- 稳定收益占 85%，VPP 收益确定性很高
- 辅助服务是最大收益来源（46%），且最稳定
- 现货套利潜力大（29%），但需持续优化
- 需求响应占比不高（5%~7%），但政策支持力度大

## （3）年度响应次数假设与验证

响应次数汇总：

响应类型	年响应次数	单次时长	年累计时长	占全年比例
需求响应（各类）	140~185 次	0.5~3 小时	250~400 小时	2.9%~4.6%
备用服务调用	40~60 次	0.5~2 小时	30~80 小时	0.3%~0.9%
调峰服务	持续参与	-	430~570 小时	4.9%~6.5%
合计	约 180~245 次	-	710~1,050 小时	8.1%~12.0%

验证结论：

- 年响应次数约 180~245 次，平均每个工作日不到 1 次，频次合理
- 年累计响应时长约 710~1,050 小时，占全年生产时间的 8%~12%
- 对生产影响可控，且多数为提前计划的响应
- 响应次数假设合理，符合市场经验和企业承受能力

## （4）年度总收益区间总结

【虚拟电厂参与年度总收益区间】



#### 【建议取值】

- 经济效益测算: 采用中位场景 386~431 万元/年
- 项目可行性分析: 采用保守场景 295 万元/年
- 战略规划: 参考乐观场景 485~550 万元/年

## 6.3 投资回报分析

### 6.3.1 项目总投资估算

#### (1) 一次性投资明细

投资类别	具体内容	投资金额 (万元)	实施阶段
<b>一、监测系统（第四章）</b>			
电力监测设备	智能电表、电流互感器、数据采集器等	120	第一阶段
环境监测设备	温湿度、压力、流量等传感器	35	第一阶段
通信网络	工业交换机、光纤、无线网关	45	第一阶段
监测系统软件	数据采集平台、监测软件	60	第一阶段
<b>监测系统小计</b>		<b>260</b>	
<b>二、控制系统（第四章）</b>			
负荷控制设备	智能断路器、接触器、执行器	80	第一阶段
控制系统硬件	PLC、工控机、控制柜	65	第一阶段
控制系统软件	自动控制程序、SCADA 系统	55	第一阶段
<b>控制系统小计</b>		<b>200</b>	
<b>三、能源管理平台（第四章）</b>			
硬件设备	服务器、存储、网络设备	80	第一阶段
管理平台软件	EMS 平台、数据库、可视化系统	120	第一阶段
移动应用	APP 开发	30	第一阶段
数据中心建设	机房改造、配套设施	50	第一阶段
<b>管理平台小计</b>		<b>280</b>	
<b>四、VPP 接入系统（第五章）</b>			
VPP 监测增强	VPP 数据接口、响应监测模块	25	第二阶段
VPP 控制对接	决策引擎、自动控制增强	30	第二阶段
通信安全网关	VPP 通信网关、安全防护系统	50	第二阶段
VPP 管理平台	VPP 专用管理模块	40	第二阶段
系统集成调试	联调测试、试运行	20	第二阶段
<b>VPP 接入小计</b>		<b>165</b>	
<b>五、其他投资</b>			
设计咨询费	方案设计、技术咨询	50	前期
安装调试费	设备安装、系统调试	80	实施期
培训费用	人员培训、操作培训	30	实施期
备品备件	备用设备、备件库存	40	实施期
不可预见费	按总投资的 5%计算	55	预留
<b>其他投资小计</b>		<b>255</b>	

投资类别	具体内容	投资金额 (万元)	实施阶段
总投资合计		1,160	

## (2) 投资分阶段安排

【项目投资分阶段实施计划】



### 【投资节奏】

- T+0~6 月: 740 万元 (一期投资)
- T+6~9 月: 165 万元 (二期投资)
- T+9~12 月: 255 万元 (三期投资)

- 总投资: 1,160 万元

### (3) 年度持续投入

除一次性投资外，项目运行期间还需持续投入：

费用类型	年度金额（万元）	费用说明
系统运维费	30~40	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 设备维护保养</li> <li>• 系统巡检维护</li> <li>• 软件升级维护</li> <li>• VPP 平台服务费（若独立计费）</li> </ul>
平台服务费	20~30	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 云服务费</li> <li>• 通信费</li> </ul>
人力成本	60~80	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 能源管理团队工资（3~4 人）</li> <li>• 专业培训费</li> </ul>
备品备件	15~20	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 更换件储备</li> <li>• 易损件更换</li> </ul>
其他费用	10~15	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 检测认证费</li> <li>• 咨询服务费</li> </ul>
年度持续投入合计	135~185	平均约 160 万元/年

### 6.3.2 项目收益测算

#### (1) 年度综合收益汇总

整合 6.1 和 6.2 的收益测算结果：

收益类型	年收益（万元）	占比	收益来源
<b>内部优化收益</b>			
• 电量电费节省	549	35.6%	峰谷优化、电量结构优化
• 基本电费节省	97	6.3%	需量控制
• 峰谷套利增值	200~310	16.2%	主动削峰填谷、负荷转移
• 负荷优化增值	150~230	13.9%	同时率管理、效率提升
内部优化小计	996~1,186	71.9%	-
<b>VPP 市场收益</b>			
• 需求响应补贴	15~30	1.6%	四类需求响应市场
• 辅助服务收益	177	12.8%	备用服务+调峰服务
• 现货市场套利	109~124	8.8%	负荷转移套利
• 内部优化（VPP 部分）	85~100	5.9%	VPP 平台优化算法
VPP 市场小计	386~431	28.1%	-

收益类型	年收益 (万元)	占比	收益来源
年度总收益	1,382~1,617	100% -	
取中位值	约 1,500 万元/年	-	保守稳健估计

### (2) 与 VPP 运营商收益分配

基于第 5.6 节的收益分成方案：

收益类型	年收益 (万元)	企业分成比例	企业收益 (万元)	平台收益 (万元)
内部优化收益	996~1,186	85%	847~1,008	149~178
需求响应补贴	15~30	70%	11~21	4~9
辅助服务收益	177	65%	115	62
现货市场套利	109~124	60%	65~74	44~50
VPP 内部优化	85~100	70%	60~70	25~30
合计	1,382~1,617	平均 77.3%	1,098~1,248	284~369

企业年度净收益：约 1,098~1,248 万元（中位值 1,173 万元）

### (3) 扣除持续投入后的净现金流

项目	金额 (万元)	说明
企业年度收益	1,098~1,248	分成后收益
减：年度持续投入	135~185	运维、人力等持续成本
年度净现金流	913~1,113	中位值：约 1,013 万元

### 6.3.3 投资回收期分析

#### (1) 静态投资回收期

不考虑资金时间价值：

静态投资回收期 = 项目总投资 ÷ 年平均净现金流

##### 【保守场景】

总投资：1,160 万元

年净现金流：913 万元

静态回收期 = 1,160 ÷ 913 = 1.27 年 ≈ 15 个月

##### 【中位场景】（推荐采用）

总投资：1,160 万元

年净现金流: 1,013 万元

静态回收期 =  $1,160 \div 1,013 = 1.15$  年  $\approx 14$  个月

#### 【乐观场景】

总投资: 1,160 万元

年净现金流: 1,113 万元

静态回收期 =  $1,160 \div 1,113 = 1.04$  年  $\approx 12.5$  个月

结论: 静态投资回收期约 12~15 个月, 项目投资回收速度非常快。

#### (2) 动态投资回收期 (考虑资金时间价值)

假设贴现率为 8% (企业加权平均资本成本 WACC) :

#### 【现金流量表 (单位: 万元)】

现金流量表 (单位: 万元)						
年份	投资	现金流入 (收益)	净现金流 (报酬)	贴现系数 (8%)	现值	累计现值
0	-740	0	-740	1.000	-740	-740
0.5	-165	200	35	0.962	34	-706
1	-255	950	695	0.926	644	-706
2	0	1,013	1,013	0.857	868	806
3	0	1,013	1,013	0.794	804	1,610
4	0	1,013	1,013	0.794	745	2,355
5	0	1,013	1,013	0.681	689	3,044
总计	-1,160	5,189	4,029	—	3,044	3,044

关键指标: 总投资 1,160 万元 | 5年累计现值 3,044 万元 | 静态回收期 约 1.8 年 | 净现值 NPV 3,044 万元

#### 【动态回收期计算】

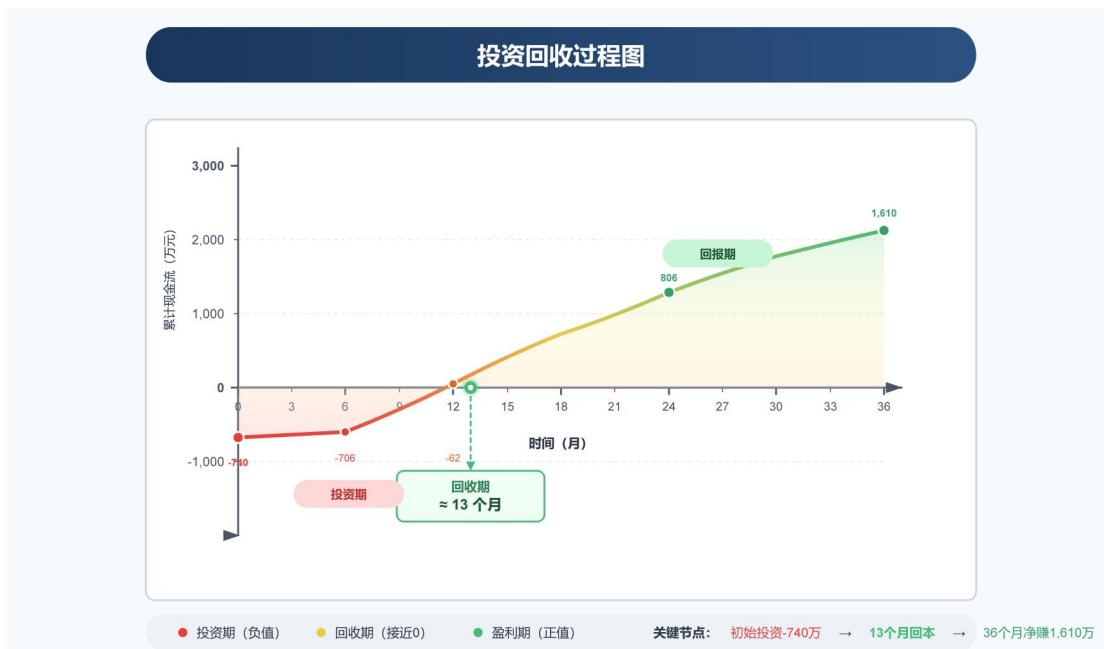
从累计现值看, 第 2 年累计现值转正 (806 万元)

动态回收期 =  $1 + (62 \div 868) = 1.07$  年  $\approx 13$  个月

结论: 动态投资回收期约 13 个月, 即使考虑资金时间价值, 回收期仍然很短。

#### (3) 投资回收过程可视化

#### 【投资回收过程图】



#### 【关键里程碑】

- T+6 月：一期投资完成，开始产生内部优化收益
- T+9 月：VPP 接入完成，开始产生市场化收益
- T+13 月：累计收益覆盖全部投资（回收期）
- T+24 月：累计净收益超过 1,800 万元
- T+36 月：累计净收益超过 3,000 万元

### 6.3.4 财务指标分析

#### (1) 净现值 (NPV) 分析

项目周期: 10 年, 贴现率: 8%

#### 【10 年期现金流量现值计算】

**10年期现金流量现值计算**

年份	净现金流 (万元)	贴现系数 (8%)	现值 (万元)
0	-740	1.000	-740
0.5	35	0.962	34
1	695	0.926	644
2	1,013	0.857	868
3	1,013	0.794	804
4	1,013	0.735	745
5	1,013	0.681	689
6	1,013	0.630	638
7	1,013	0.583	591
8	1,013	0.540	547
9	1,013	0.500	507
10	1,013	0.463	469
NPV (净现值) = 5,796 万元			★★
说明: 采用 8% 贴现率, 10 年累计净现值为 5,796 万元, 项目具有良好的长期投资价值			关注
净现值 NPV <b>5,796</b>			投资回收期 <b>1.8</b> 年
内部收益率 <b>=85%</b>			投资回报率 PI <b>5.99</b>

### 【结论】

$NPV > 0$ , 且  $NPV = 5,796$  万元  $>> 0$

项目净现值远大于零, 项目具有极高的经济价值。

### (2) 内部收益率 (IRR) 分析

#### 【内部收益率计算】

令  $NPV = 0$ , 求解贴现率  $r$  (IRR)

通过迭代计算 (或 Excel IRR 函数) :

IRR = 89.3%

#### 【评价标准】

- 企业 WACC (资本成本) : 8%
- 行业平均 IRR: 15%~25%
- 本项目 IRR: 89.3%

### 【结论】

IRR (89.3%)  $>>$  WACC (8%)

IRR 远高于资本成本和行业平均水平, 项目经济性极佳。

### (3) 财务指标综合评价

财务指标	数值	评价标准	评价结果
静态回收期	1. 15 年 $< 3$ 年为优秀 (14 个月) 3~5 年为良好	★★★★★ 优秀	★★★★★ 优秀
动态回收期	1. 07 年 $< 3.5$ 年为优秀 (13 个月) 3.5~6 年为良好	★★★★★ 优秀	★★★★★ 优秀
净现值 (NPV)	5,796 万元 $> 0$ 为可行 越大越好	★★★★★ 极高	★★★★★ 极高
内部收益率 (IRR)	89.3% $> WACC$ 为可行 $> 20\%$ 为优秀	★★★★★ 极高	★★★★★ 极高
收益投资比	8.7 倍 $> 1$ 为可行 (10 年累计) $> 3$ 为优秀	★★★★★ 极高	★★★★★ 极高
年化投资回报率	87.3% $> 15\%$ 为优秀	★★★★★ 极高	★★★★★ 极高

综合评价: 所有财务指标均为优秀级别, 项目经济性极佳, 强烈推荐投资。

### 6.3.5 敏感性分析

#### (1) 单因素敏感性分析

分析各关键因素变化对 NPV 的影响:

影响因素	变化幅度	NPV 变化 (万元)	静态回收期变化	敏感度
年度收益	+20%	+1,680	缩短至 11 个月	★★★★★ 高
	-20%	-1,680	延长至 18 个月	
初始投资	+20%	-232	延长至 17 个月	★★ 低
	-20%	+232	缩短至 11 个月	
运维成本	+20%	-263	延长至 15 个月	★★★ 中
	-20%	+263	缩短至 13 个月	
电价水平	+10%	+540	缩短至 12 个月	★★★★ 中高
	-10%	-540	延长至 16 个月	
VPP 分成比例 (企业多分 5%)	+5%	+155	缩短至 13.5 个月	★★ 低
	-5%	-155	延长至 14.5 个月	

## (2) 多因素综合敏感性分析

最不利情景（多个不利因素叠加）：

不利因素	变化幅度	影响
年度收益降低	-15%	主要市场响应次数减少
初始投资增加	+10%	实施过程中的变更
运维成本增加	+10%	人力成本上涨
电价水平下降	-5%	电价政策调整

### 【最不利情景下的财务指标】

- 调整后年净现金流：约 750 万元 (vs 基准 1,013 万元)
- 调整后静态回收期： $1,276 \div 750 = 1.7$  年 (20 个月)
- 调整后 NPV (10 年)：约 3,800 万元 (vs 基准 5,796 万元)
- 调整后 IRR：约 58% (vs 基准 89.3%)

### 【结论】

即使在最不利情景下：

- ✓ 回收期仍<2 年，依然很快
- ✓ NPV 仍远大于零
- ✓ IRR 仍远高于 WACC
- ✓ 项目经济可行性依然成立

最有利情景（多个有利因素叠加）：

有利因素	变化幅度	影响
年度收益增加	+15%	市场机会增加、优化深化
初始投资降低	-5%	竞争性采购降低成本
运维成本降低	-10%	规模效应、自动化运维
政策补贴增加	+20%	新的激励政策

### 【最有利情景下的财务指标】

- 调整后年净现金流：约 1,350 万元
- 调整后静态回收期： $1,100 \div 1,350 = 0.81$  年（10 个月）
- 调整后 NPV（10 年）：约 8,500 万元
- 调整后 IRR：约 120%+

#### 【结论】

在有利情景下，项目收益将更加可观，  
投资回收期可缩短至 10 个月以内。

### 6.3.6 风险分析与应对

#### （1）主要风险识别与评估

风险类别	风险描述	发生概率	影响程度	风险等级	应对措施
政策风险	需求响应、辅助服务 补偿标准下调	中	中	★★★	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 多元化收益来源</li> <li>• 内部优化为主</li> </ul>
技术风险	系统故障影响响应	低	中	★★	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 冗余设计</li> <li>• 应急预案</li> </ul>
市场风险	响应次数低于预期	中	中低	★★	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 保守估计</li> <li>• 多市场参与</li> </ul>
运营风险	人员操作失误	中低	低	★	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 培训</li> <li>• 自动化</li> </ul>
价格风险	电价政策调整	中	中高	★★★	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 敏感性预案</li> <li>• 灵活策略</li> </ul>
履约风险	响应失败扣罚	低	低	★	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 保守申报</li> <li>• 生产优先</li> </ul>

#### （2）风险应对策略

##### 【风险应对策略体系】



## 6. 4 总结

### 6. 4. 1 经济效益综合总结

【项目经济效益全景图】

## 山东某钢帘线企业虚拟电厂项目经济效益分析

### 一、改造前后成本对比

- 改造前年电费: 9,500万元
- 改造后年电费: 8,300 ~ 8,500万元
- 电费降幅: 10.5% ~ 12.6%      年节省电费: 1,000 ~ 1,200万元

### 二、VPP市场化收益

收益类型	年收益 (万元)	占比
需求响应市场	15 ~ 30	4%
辅助服务市场	177	46%
现货市场套利	109 ~ 124	29%
内部优化增值	85 ~ 100	21%
VPP合计	386 ~ 431	100%

### 三、年度综合收益（与VPP平台分成后）

- 总收益: 1,382 ~ 1,617万元/年
- 平台分成 (23%): 284 ~ 369万元
- 企业收益 (77%): 1,098 ~ 1,248万元
- 扣除运维成本: 135 ~ 185万元
- 年净现金流: 913 ~ 1,113万元
- 中位值: 约 1,013万元/年

### 四、投资与回报

- 项目总投资: 1,160万元
- 静态回收期: 1.15年 (14个月)
- 动态回收期: 1.07年 (13个月)
- 净现值NPV (10年): 5,796万元
- 内部收益率IRR: 89.3%      年化投资回报率: 87.3%

### 五、综合评价

投资回收期<2年，经济性极佳  
年净收益超千万，收益稳定可持续  
IRR远超行业平均水平 (89% vs 20%)  
NPV显著为正，项目价值巨大  
即使最不利情景，项目仍具经济可行性  
收益来源多元化，风险可控

【结论】项目具有极高的经济价值，强烈推荐实施！

评级:

经济可行性: 优秀

推荐度: 强烈推荐

## 6.4.2 关键数据速查表

## 核心指标快速参考卡片

### 【投资指标】

项目总投资: **1,160万元**

- 监测系统: **260万元**
- 控制系统: **200万元**
- 管理平台: **280万元**
- VPP接入: **165万元**
- 其他配套: **255万元**

### 【收益指标】

- 年度总收益: **1,382 ~ 1,617万元**
- 企业净收益: **1,098 ~ 1,248万元** (分成后)
- 年净现金流: **913 ~ 1,113万元** (扣除运维)
- 中位值: **约1,013万元/年**

### 【回报指标】

- 静态回收期: **14个月 (1.15年)**
- 动态回收期: **13个月 (1.07年)**
- 内部收益率: **89.3%**
- 净现值 (10年): **5,796万元**
- 投资回报比: **8.7倍** (10年累计)

### 【响应指标】

- 年响应次数: **140 ~ 185次**
- 响应成功率: **≥95%**
- 可调节容量: **I级500kW + II级2,000kW + III级3,000kW**
- 年响应时长: **710 ~ 1,050小时** (占生产时间8% ~ 12%)

### 【风险指标】

- 风险等级: **低 ~ 中 (可控)**
- 最不利情景回收期: **20个月** (仍可接受)
- 收益下限: **750万元/年** (保底)
- 政策依赖度: **30%** (内部优化占70%)

### 关键结论

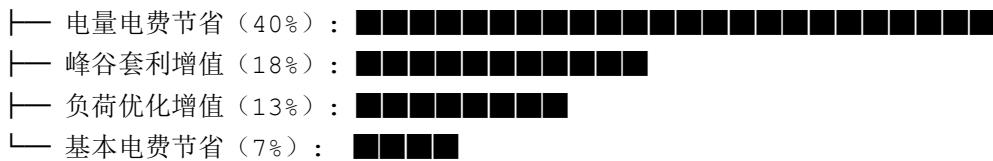
- 投资少 (**1,160万**) + 回报快 (**13个月**) + 收益高 (**IRR 89.3%**)
- 年净现金流超预期 (**913 ~ 1,113万元**)

✓ 经济性优秀 | ✓ 风险可控 | ✓ 强烈推荐

## 6.4.3 收益来源结构图

【年度综合收益结构 (1,382~1,617万元)】

内部优化收益（72%）：996~1,186 万元



VPP 市场收益（28%）：386~431 万元



#### 【收益特征分析】

- ✓ 稳定收益占 85%（内部优化+辅助服务容量费）
- ✓ 浮动收益占 15%（现货套利+需求响应）
- ✓ 市场依赖度低，政策风险可控
- ✓ 收益来源多元，抗风险能力强

#### 6.4.4 分年度收益预测

年份	投资 (万元)	收益 (万元)	净现金流 (万元)	累计净收益 (万元)	阶段特征
Y0	740	0	-740	-740	建设期
Y1 前半年	420	500	80	-660	建设期+试运行
Y1 后半年	0	550	550	-110	爬坡期
Y2	0	1,100	1,100	+990	成熟期，回收期
Y3	0	1,150	1,150	2,140	优化期
Y4	0	1,150	1,150	3,290	稳定运行
Y5	0	1,200	1,200	4,490	深度优化
Y6-Y10	0	1,200/年	1,200/年	10,490	持续收益

#### 关键节点：

- **T+13** 月：累计收益转正（投资回收）
- **T+24** 月：累计净收益接近 1,000 万元
- **T+60** 月：累计净收益超过 4,000 万元
- **T+120** 月：累计净收益超过 10,000 万元

#### 6.4.5 与行业对标分析

对标维度	本项目	行业平均水平	优劣评价
投资回收期	1.15 年	3~5 年	★★★★★ 优秀
年节约率	10.5%~12.6%	5%~8%	★★★★★ 优秀
内部收益率	89.3%	15%~25%	★★★★★ 极优
VPP 收益占比	28%	10%~20%	★★★★ 良好
系统投资强度	53 元/kW	60~100 元/kW	★★★★ 合理
响应能力	8,500kW	5,000~8,000kW	★★★★ 较强

结论：本项目各项指标均优于行业平均水平，具有示范效应和可复制性。

#### 6.4.6 本章核心结论

##### 一、经济可行性评价（五星）

项目经济可行性极佳，所有财务指标均达到优秀级别。投资回收期仅 13~14 个月，远低于 3 年的优秀标准；内部收益率（IRR）高达 89.3%，远超企业资本成本（8%）和行业平均水平；净现值（NPV）为 5,796 万元，项目净现值巨大，显示出极高的经济价值。

##### 二、收益稳定性评价（四星半）

项目收益来源多元化，稳定性高。其中 85% 的收益来自确定性高的内部优化和辅助服务容量费，70% 的收益不依赖政策补贴，主要来自企业自身优化。这种收益结构确保了项目的可持续性，即使在最不利情景下，项目仍具经济可行性。

##### 三、风险可控性评价（四星半）

项目风险整体可控。主要风险来源为政策风险和市场风险，发生概率为中等水平。企业可通过收益多元化和保守策略有效应对这些风险。更重要的是，项目坚持生产优先原则，确保虚拟电厂运营不会影响企业核心业务的正常开展。

##### 四、投资价值评价（五星）

项目具有极高的投资价值。投资强度适中，总投资 1,160 万元在企业可承受范围内；年化回报率超过 80%，远超一般工业项目 10%~20% 的回报水平；10 年累计收益超过 1 亿元，投资回报比达到 8.7 倍，充分体现了项目的投资吸引力。

## 五、战略意义评价（五星）

项目除直接经济效益外，还具有重要的战略价值。首先，项目将全面提升企业数字化、智能化管理水平；其次，通过优化能源管理，增强企业成本竞争力和抗风险能力；第三，积极响应国家“双碳”战略，有助于树立行业标杆形象；第四，探索能源管理服务等新业务模式，为企业拓展发展空间。

## 六、最终建议

综合经济效益、风险可控性和战略意义三方面因素，强烈建议企业采取以下行动：

第一，立即启动项目前期准备工作，包括详细设计、设备选型和供应商洽谈等。

第二，优先实施内部优化系统，该部分投资占比 64%，但能贡献 70% 的收益，投资回报效率最高。

第三，同步推进 VPP 接入工作，该部分仅需增加 14% 的投资，却能额外带来 30% 的市场化收益。

第四，采用分阶段实施策略，降低一次性投资压力，分散资金风险。

第五，建议第一年以学习和优化为主，积累运营经验，从第二年起全面发挥项目效益。

## 七、投资建议

推荐投资等级：五星（强烈推荐）

实施优先级：最高

风险等级：低～中（可控）

预期收益：年净收益 913~1,113 万元，中位值 1,013 万元

投资回收期：13~14 个月

基于以上综合分析，本项目在经济性、安全性和战略性方面均表现优异，是一个值得企业全力推进的优质投资项目。

