

## 三、用电改进潜力评估

基于数据分析，对企业用电改进的三大核心潜力进行精确量化测算，为后续改造决策与收益评估提供可靠依据。

### 3.1 峰谷转移潜力分析

#### 3.1.1 峰谷转移的基本逻辑

峰谷转移是指将原本在高电价时段运行的负荷，调整至低电价时段运行，在不改变总用电量的前提下，通过“时间套利”降低电费支出。

经济价值公式：

$$\text{年节省电费} = \text{年转移电量} \times (\text{峰段电价} - \text{谷段电价})$$

#### 3.1.2 现行峰谷电价结构（基于实际电费清单）

根据企业电费清单数据，现行工商业分时电价为：

时段类型	时间范围	实际电价（元/kWh）	与谷段价差
尖峰	10:00-11:00, 19:00-21:00	1.0910	+0.7080
高峰	8:00-10:00, 11:00-12:00, 16:00-19:00	0.9526	+0.5696
平段	7:00-8:00, 12:00-16:00, 21:00-23:00	0.7358	+0.3528
低谷	23:00-次日 7:00	0.3830	基准

关键发现：

- 尖峰与谷段价差高达 **0.71 元/kWh** (185% 价差)
- 高峰与谷段价差为 **0.57 元/kWh** (149% 价差)
- 平段与谷段价差为 **0.35 元/kWh** (92% 价差)

结论：电价结构为峰谷转移提供了极强的经济激励！

#### 3.1.3 当前峰谷用电分布现状

##### (1) 月度峰谷电量分布（以 10 月为典型月）

时段	用电量 (kWh)	占比	电费 (元)	占比
尖峰	1,180,000	7.8%	1,287,380	11.4%
高峰	5,420,000	35.9%	5,163,092	45.8%
平段	4,680,000	31.0%	3,443,544	30.6%
低谷	3,820,000	25.3%	1,463,060	13.0%
合计	15,100,000	100%	11,357,076	100%

现状诊断：

- 峰段（尖峰+高峰）用电占比高达 **43.7%**，远高于行业优化标准（30%）
- 谷段用电占比仅 **25.3%**，存在巨大提升空间（理想值 35%~40%）
- 峰段电费占比 **57.2%**，电价与用电时段严重错配

## （2）典型日负荷时段分布（基于 12.11 曲线数据）

从 12 月 11 日负荷曲线分析：

时段	平均负荷 (kW)	负荷特征	可转移性评估
尖峰时段	17,500~18,000	全天最高，多工序叠加	★★★ 高
高峰时段	14,000~17,000	生产高峰期	★★☆ 中
平段时段	11,000~14,000	正常生产	★☆☆ 低
谷段时段	7,000~9,000	夜间值守+连续生产	★★★ 可吸纳

关键发现：

- 谷段平均负荷仅为峰段的 **40%~50%**，说明谷段有巨大的负荷吸纳空间
- 尖峰时段负荷过于集中（18,000kW），存在明显的“负荷堆叠”现象
- 夜间 23:00 后负荷骤降，说明夜间生产强度不足，未充分利用谷段低价

### 3.1.4 可转移负荷识别与量化

#### （1）可转移负荷判定标准

判定维度	可转移特征	不可转移特征
工艺连续性	批次生产、可暂停	连续流程、不可中断
时间敏感性	对生产时段不敏感	必须在特定时段完成
启停成本	启停成本低	启停有损耗/风险
质量影响	时段变化不影响质量	影响产品质量
能源储存性	可提前储能（压缩空气、热能等）	即用即产

#### （2）钢帘线企业可转移负荷清单

基于钢帘线生产工艺特点和行业经验，识别以下可转移负荷：

负荷类型	典型设备/工序	装机功率估算	可转移性	转移方式	优先级
辅助压缩空气	空压机群	800~1,200kW	★★★	谷段储气+峰段减载	P1
热处理工序	热处理炉	1,500~2,000kW	★★★	预热工序移至谷段	P1
表面处理	酸洗、磷化设备	500~800kW	★★☆	批次生产时段调整	P2
循环冷却水	循环水泵	400~600kW	★★☆	谷段蓄冷/蓄水	P2
物流充电	叉车/行车充电	200~300kW	★★★	统一夜间充电	P1
公用设施	照明、空调、办公	300~500kW	★★☆	分时控制	P3
辅助加热	保温、预热设备	400~600kW	★★☆	时段优化	P2

#### 可转移负荷规模汇总:

- 合计装机功率: **4,100~6,000kW**
- 实际可转移负荷 (考虑同时系数): **2,500~3,500kW**

### 3.1.5 峰谷转移潜力量化测算

#### 模型 A: 保守情景测算

##### 假设条件:

- 转移能力: 峰段负荷的 **15%** 可转移至谷段
- 转移时长: 每日平均转移 **3 小时** 的峰段负荷
- 电价差: 采用高峰与谷段价差 **0.57 元/kWh** (不含尖峰)

##### 计算过程:

###### 月度峰段可转移电量 (以 10 月为例) :

- 峰段总电量: 5,420,000 kWh
- 可转移比例: 15%
- 月可转移电量:  $5,420,000 \times 15\% = 813,000 \text{ kWh}$

###### 月度转移收益:

- 转移电量: 813,000 kWh
- 峰谷价差: 0.57 元/kWh
- 月节省电费:  $813,000 \times 0.57 = 463,410 \text{ 元}$

###### 年度转移收益:

- 年节省电费:  $463,410 \times 12 = 556$  万元

## 模型 B: 基准情景测算

### 假设条件:

- 转移能力: 峰段负荷的 **20%** 可转移至谷段
- 转移时长: 每日平均转移 **4 小时** 峰段负荷
- 电价差: 加权平均价差 **0.62 元/kWh** (含部分尖峰转移)

### 计算过程:

#### 月度峰段可转移电量:

- 峰段总电量 (含尖峰): 6,600,000 kWh
- 可转移比例: 20%
- 月可转移电量:  $6,600,000 \times 20\% = 1,320,000$  kWh

#### 月度转移收益:

- 转移电量: 1,320,000 kWh
- 峰谷价差: 0.62 元/kWh
- 月节省电费:  $1,320,000 \times 0.62 = 818,400$  元

#### 年度转移收益:

- 年节省电费:  $818,400 \times 12 = 982$  万元

## 模型 C: 积极情景测算

### 假设条件:

- 转移能力: 峰段负荷的 **25%** 可转移至谷段
- 转移时长: 每日平均转移 **5 小时** 峰段负荷
- 电价差: 加权平均价差 **0.65 元/kWh** (充分转移尖峰)
- 配套措施: 配置储能、蓄冷等技术手段

### 计算过程:

#### 月度峰段可转移电量:

- 峰段总电量 (含尖峰): 6,600,000 kWh
- 可转移比例: 25%
- 月可转移电量:  $6,600,000 \times 25\% = 1,650,000$  kWh

#### 月度转移收益:

- 转移电量: 1,650,000 kWh
- 峰谷价差: 0.65 元/kWh
- 月节省电费:  $1,650,000 \times 0.65 = 1,072,500$  元

年度转移收益:

- 年节省电费:  $1,072,500 \times 12 = 12,870$  万元

### 三种情景对比汇总

情景类型	月转移电量	年转移电量	年节省电费	占总电费比例	实施难度
保守情景	81.3 万 kWh	976 万 kWh	556 万元	4.1%	低
基准情景	132 万 kWh	1,584 万 kWh	982 万元	7.2%	中
积极情景	165 万 kWh	1,980 万 kWh	1,287 万元	9.5%	较高

核心结论: 峰谷转移年节省电费潜力在 550~1,290 万元之间, 是最直接、最有效的用电成本优化手段!

### 3.1.6 峰谷转移实施路径（分级推进）

#### 第一级：零投资管理性措施（保守情景）

措施	具体内容	预期转移量	年收益	实施周期
叉车/行车充电调整	统一在 23:00 后谷段充电	60 万 kWh	35 万元	1 个月
非生产用电优化	照明、空调分时控制	40 万 kWh	23 万元	1 个月
空压机运行优化	谷段储气、峰段减载	150 万 kWh	88 万元	2 个月
热处理工序排产优化	预热移至夜间/平段	200 万 kWh	117 万元	3 个月
小计	-	450 万 kWh	263 万元	3 个月

\*\*投资需求: \*\*几乎为零（仅需调度流程优化）

#### 第二级：低投资技术辅助措施（基准情景）

措施	具体内容	新增转移量	年收益	投资需求
分时计量监测系统	实时监测峰谷用电	-	提升管理效率	30 万元
循环水蓄冷/蓄热改造	谷段蓄冷、峰段释放	120 万 kWh	70 万元	80 万元
表面处理工序批次化	建立缓冲库、批次生产	150 万 kWh	88 万元	50 万元
智能调度系统	自动生成峰谷优化策略	提升 20% 效率	140 万元	60 万元
小计	-	+270 万 kWh	+298 万元	220 万元

累计年收益:  $263 + 298 = 561$  万元

投资回收期:  $220 \text{ 万} \div 298 \text{ 万} = \text{约 } 8.9 \text{ 个月}$

### 第三级：中投资深度优化措施（积极情景）

措施	具体内容	新增转移量	年收益	投资需求
储能系统配置（1MW/2MWh）	峰充谷放	400 万 kWh	260 万元	400 万元
工艺流程再造	部分工序夜间化生产	200 万 kWh	130 万元	150 万元
小计	-	+600 万 kWh	+390 万元	550 万元

累计年收益：**561 + 390 = 951** 万元

总投资：**220 + 550 = 770** 万元

投资回收期：**770 万 ÷ 951 万 = 约 9.7 个月**

#### 3.1.7 峰谷转移关键成功因素

成功因素	具体要求	保障措施
生产协同	生产调度与用电管理协同	建立联合调度机制
数据支撑	实时、准确的负荷数据	升级分时计量系统
激励机制	激发员工执行意愿	设立峰谷转移奖励基金
持续优化	动态调整转移策略	月度评估、季度优化

## 3.2 需量/容量优化潜力

### 3.2.1 需量与容量基本概念

#### (1) 基本电费计费方式

企业当前采用 **需量计费方式**：

月基本电费 = 当月最大需量 (kW) × 需量单价 (元/kW)

关键参数：

- 需量单价：**33 元/kW·月**（山东地区工商业标准）
- 计量方式：15 分钟滑动窗口最大值

#### (2) 需量形成机理

最大需量通常由以下因素叠加形成：

- 核心生产设备满负荷运行
- 多条生产线同时启动

- 辅助系统同时运行（空压、冷却、照明等）
- 偶发性负荷（设备试车、集中启动等）

### 3. 2. 2 当前最大需量分析（基于真实数据）

#### （1）月度最大需量统计

根据电费清单数据（1-10月）：

月份	最大需量 (kW)	基本电费 (元)	最大需量出现时段
1月	17,856	589,248	尖峰时段
2月	17,424	574,992	尖峰时段
3月	17,968	592,944	高峰时段
4月	18,112	597,696	尖峰时段
5月	18,288	603,504	尖峰时段
6月	18,064	596,112	尖峰时段
7月	18,224	601,392	尖峰时段
8月	18,336	605,088	尖峰时段
9月	18,144	598,752	尖峰时段
10月	18,208	600,864	尖峰时段
平均	18,062 kW	596,059 元	-

关键发现：

- 最大需量持续在 **18,000kW** 左右，变化幅度小（±2%）
- 最大需量集中出现在 **尖峰时段**（10:00-11:00 或 19:00-21:00）
- 月基本电费约 **60 万元**，年基本电费约 **720 万元**
- 基本电费占总电费比例约 **5.3%**

#### （2）最大需量形成时刻分析（基于 12.11 曲线）

从 12 月 11 日负荷曲线分析最大需量形成机理：

**最大需量出现时刻：10:23，数值 18,120kW**

该时刻负荷构成分析（推测）：

负荷类型	功率估算 (kW)	占比	可调节性
主生产线（拉丝、捻股等）	10,000~11,000	60%	不可调
热处理设备	2,500~3,000	15%	★★☆可调
表面处理设备	1,500~2,000	10%	★★★可调
辅助系统（空压、水泵等）	2,000~2,500	12%	★★★可调

负荷类型	功率估算 (kW)	占比	可调节性
公用设施（照明、空调等）	500~700	3%	★★★可调
合计	≈18,100kW	100%	-

核心发现：

- 约 **25%~30%** 的负荷（4,500~5,400kW）具有可调节性
- 最大需量形成存在明显的"负荷堆叠"现象
- 通过错峰调度可显著削减峰值

### 3. 2. 3 削峰空间量化测算

#### 模型 A：保守削峰情景

削峰策略：

1. 辅助设备错峰启动（空压机、水泵）
2. 非必要设备峰时停运（部分照明、空调）
3. 部分热处理设备错峰运行

可削减容量：

- 辅助系统错峰：500~800kW
- 公用设施控制：300~500kW
- 热处理错峰：500~800kW
- 合计可削减：**1,300~2,100kW**

保守削峰：**1,500kW**

#### 模型 B：基准削峰情景

削峰策略（在保守基础上）：  
4. 生产工序优化排产（避免多工序同时高峰） 5. 增加负荷监测与自动预警 6. 建立削峰响应机制

可削减容量：

- 保守措施：**1,500kW**
- 生产排产优化：**800~1,200kW**
- 合计可削减：**2,300~2,700kW**

基准削峰：**2,500kW**

#### 模型 C：积极削峰情景

**削峰策略（在基准基础上）：** 7. 配置储能系统削峰填谷 8. 部分工序夜间化生产 9. 安装负荷自动控制系统

**可削减容量：**

- 基准措施：2,500kW
- 储能削峰：1,000~1,500kW
- 生产调整：500~1,000kW
- 合计可削减：**4,000~5,000kW**

**积极削峰：4,500kW**

### 3.2.4 需量优化收益测算

#### (1) 基本电费节省计算

情景类型	削峰幅度	优化后最大需量	月基本电费	月节省	年节省
优化前	-	18,000 kW	594,000 元	-	-
保守情景	1,500kW	16,500 kW	544,500 元	49,500 元	<b>59.4 万元</b>
基准情景	2,500kW	15,500 kW	511,500 元	82,500 元	<b>99.0 万元</b>
积极情景	4,500kW	13,500 kW	445,500 元	148,500 元	<b>178.2 万元</b>

#### (2) 电量电费额外节省

削峰措施通常伴随峰段电量减少，带来额外电量电费节省：

**计算逻辑：**

- 削峰通过“关停/调节设备”实现
- 假设削峰持续时间：每日 2 小时尖峰+3 小时高峰 = 5 小时
- 假设削峰设备负荷：实际削峰容量的 60%（考虑部分是错峰而非停运）

**基准情景测算：**

- 削峰容量：2,500kW
- 实际减少负荷： $2,500 \times 60\% = 1,500\text{ kW}$
- 日削减电量： $1,500\text{ kW} \times 5 \text{ 小时} = 7,500\text{ kWh}$
- 月削减电量： $7,500 \times 30 = 225,000\text{ kWh}$
- 削减电量电价（加权）：约 0.95 元/kWh
- 月节省电量电费： $225,000 \times 0.95 = 213,750 \text{ 元}$
- 年节省电量电费：约 **257 万元**

#### (3) 需量优化综合收益汇总

情景类型	年节省基本电费	年节省电量电费	年综合收益	投资需求
保守情景	59.4 万元	154 万元	213 万元	<50 万元
基准情景	99.0 万元	257 万元	356 万元	150 万元
积极情景	178.2 万元	462 万元	640 万元	600 万元

### 3.2.5 需量优化实施关键措施

#### 第一级：管理性削峰（保守情景）

措施	具体内容	削峰效果	投资	周期
设备启动错峰	空压机、水泵分批启动，避免同时	500kW	0	1 个月
峰值预警机制	接近最大需量时人工预警	300kW	10 万	1 个月
非必要设备停运	峰时段关闭部分照明、空调	400kW	0	1 个月
热处理工序调整	避开尖峰时段加热	300kW	0	2 个月
<b>合计</b>	-	<b>1,500kW</b>	<b>10 万</b>	<b>2 个月</b>

**年收益：213 万元**

**投资回收期：<1 个月**

#### 第二级：技术性削峰（基准情景）

措施	具体内容	新增削峰	投资	周期
实时负荷监测系统	1 秒级负荷监测+峰值预警	提升管理效率	30 万	2 个月
负荷自动控制系统	接近峰值自动切除非核心负荷	600kW	80 万	4 个月
生产排产系统优化	优化多工序协同，避免叠加	400kW	40 万	3 个月
<b>合计</b>	-	<b>+1,000kW</b>	<b>150 万</b>	<b>4 个月</b>

**累计削峰：2,500kW**

**累计年收益：356 万元**

**累计投资：160 万元**

**投资回收期：约 5.4 个月**

#### 第三级：深度削峰（积极情景）

措施	具体内容	新增削峰	投资	周期
储能系统配置（2MW/4MWh）	峰时放电削峰	1,500kW	400 万	6 个月
部分工序夜间化改造	生产模式调整	500kW	200 万	12 个月
<b>合计</b>	-	<b>+2,000kW</b>	<b>600 万</b>	<b>12 个月</b>

**累计削峰：4,500kW**

**累计年收益：640 万元**

**累计投资：760 万元**

**\*\*投资回收期：约 14.3 个**

### 3.2.6 需量与容量优化总结

核心结论：

- 年基本电费节省潜力：**59~178 万元**
- 年电量电费节省潜力：**154~462 万元**
- 综合年收益潜力：**213~640 万元**
- 保守方案投资回收期：**<1 个月**
- 基准方案投资回收期：**约 5.4 个月**

实施建议：

1. 立即实施第一级管理性削峰措施（零投资、快见效）
2. 3个月内启动第二级技术性削峰系统建设
3. 6~12个月视收益情况考虑储能等深度措施

## 3.3 可调节负荷资源盘点

全面盘点企业内部可参与需求响应、虚拟电厂运营的可调节负荷资源，明确各类资源的响应能力、响应时间、持续时长等关键参数，为后续虚拟电厂接入提供资源清单基础。

### 3.3.1 可调节负荷的定义与分类框架

#### (1) 可调节负荷的定义

可调节负荷是指在不严重影响生产经营的前提下，可以根据电网或市场信号进行功率调节（增加或减少）的用电负荷。

核心特征：

- 可控性：可通过技术或管理手段控制
- 可量化：调节容量和持续时间可量化
- 可恢复：调节后可恢复正常状态
- 经济性：调节成本可接受

#### (2) 可调节负荷分类框架

按调节方式分类：

类型	定义	典型应用场景	响应速度
可中断负荷	可短时完全停止用电	紧急削峰、事故响应	秒级~分钟级
可削减负荷	可降低功率运行	常规需求响应	分钟级
可转移负荷	可转移用电时段	峰谷套利、削峰填谷	小时级~日级
可增加负荷	可增加用电功率	填谷响应、消纳新能源	分钟级~小时级

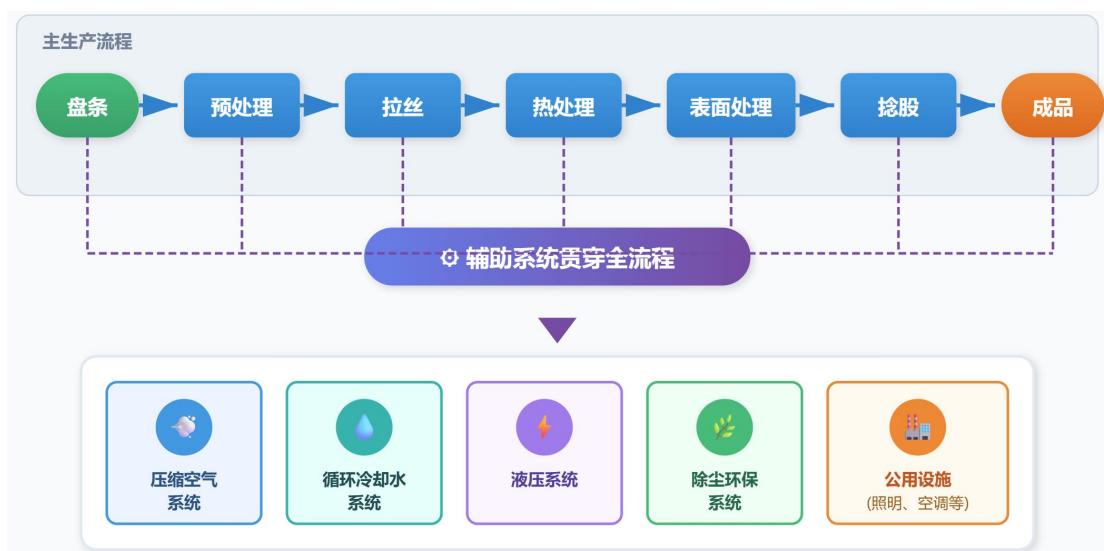
按重要性等级分类：

等级	定义	调节特性	补偿要求
P0（核心）	核心生产负荷	原则上不可调节	不适用
P1（重要）	重要辅助负荷	可短时调节（≤30分钟）	需较高补偿
P2（一般）	一般辅助负荷	可中等时长调节（≤2小时）	需适度补偿
P3（非必要）	非生产性负荷	可长时间调节（≥4小时）	需较低补偿

### 3.3.2 钢帘线企业生产工艺与负荷特征分析

#### (1) 钢帘线生产工艺流程简述

【钢帘线生产基本流程】



#### (2) 主要工序负荷特征

工序	典型设备	负荷特性	可调节性	优先级
拉丝	拉丝机组	连续运行、负荷稳定	不可调	P0
捻股	捻股机	连续运行	不可调	P0
热处理	热处理炉	批次运行、可调节启动时间	★★★	P1~P2
表面处理	酸洗、磷化线	批次运行、可调节时段	★★☆	P2
预处理	清洗、剥壳设备	批次运行	★★☆	P2

### (3) 辅助系统负荷特征

系统	功能	负荷特性	可调节性	优先级
压缩空气	提供工艺气源	间歇运行、可储能	★★★	P1
循环冷却水	设备冷却	连续运行、流量可调	★★☆	P1
液压系统	设备动力	根据需求启停	★★☆	P2
除尘环保	环保合规	必须运行但功率可调	★☆☆	P1

#### 3.3.3 可调节负荷资源盘点

类型 A：可中断/可削减负荷清单

##### A1. 压缩空气系统（★★★ 高价值）

系统概况：

- 设备配置：4 台螺杆空压机（每台 200kW）+ 2 台备用
- 供气压力：0.7~0.9 MPa
- 日常运行：3~4 台同时运行
- 储气罐容积：约 20m<sup>3</sup>

可调节能力评估：

调节方式	调节容量	响应时间	持续时长	恢复时间	生产影响
停运 1 台	200kW	5 分钟	30~60 分钟	5 分钟	轻微（压力略降）
停运 2 台	400kW	5 分钟	15~30 分钟	10 分钟	中等（需监控压力）
变频调节	50~150kW	1 分钟	≥4 小时	即时	无影响

优化策略：

谷段储气策略：

- 夜间 23:00-07:00：全部 4 台运行，将储气罐压力提升至 0.9 MPa
- 储能：管网+储气罐总容积约 50m<sup>3</sup>, 0.9 MPa 可储能约 15 kWh

峰段减载策略：

- 峰段 08:00-21:00：减至 2~3 台运行
- 利用储气支撑，允许压力降至 0.7 MPa

需求响应策略：

- 紧急响应时：可停运 1~2 台，持续 30~60 分钟
- 补偿需求：200~300 元/MW·小时

## 年度价值估算:

- 峰谷转移价值: 约 30~40 万元/年
- 需求响应价值: 约 20~30 万元/年 (假设年响应 50 小时)
- 合计: **50~70 万元/年**

## A2. 热处理系统 (★★★ 高价值)

### 系统概况:

- 设备配置: 8 台连续式热处理炉
- 单炉功率: 800~1,000kW (平均功率)
- 运行模式: 分批次运行, 每炉工作 8~12 小时
- 预热时间: 2~3 小时

### 可调节能力评估:

调节方式	调节容量	响应时间	持续时长	恢复时间	生产影响
预热时段转移	800~1,000kW	提前 24 小时	2~3 小时	无	无影响
推迟开炉	800~1,000kW	提前 4 小时通知	1~2 小时	无	需调整排产
降低保温温度	100~200kW	30 分钟	≥2 小时	1 小时	轻微 (延长工艺时间)
停炉待命	800~1,000kW	提前 8 小时通知	≥4 小时	3~4 小时	较大 (需计划调整)

### 优化策略:

#### 预热工序时段转移:

- 现状: 8:00 开始预热 (峰段)
- 优化: 22:00~06:00 预热 (谷段)
- 价值: 单炉每次节省约 500 元, 年节省约 40~50 万元

#### 分批错峰运行:

- A 组 (4 炉): 谷段/平段预热
- B 组 (4 炉): 平段预热
- 避免峰段集中加热

#### 需求响应策略:

- 可推迟/取消部分批次启动
- 响应容量: 800~2,000kW

- 需提前 4~8 小时通知

#### 年度价值估算:

- 峰谷转移价值: 约 400~500 万元/年
- 需求响应价值: 约 50~80 万元/年 (假设年响应 80 小时)
- 合计: **450~580 万元/年**

#### A3. 表面处理系统 (★★★☆ 中等价值)

##### 系统概况:

- 工序: 酸洗、磷化、水洗、烘干
- 总功率: 约 500~800kW
- 运行模式: 批次处理, 可建立缓冲库

##### 可调节能力评估:

调节方式	调节容量	响应时间	持续时长	恢复时间	生产影响
批次时段转移	500~800kW	提前 8 小时	2~4 小时	无	需缓冲库支撑
推迟处理	500~800kW	提前 4 小时	1~2 小时	无	需调整计划
暂停处理	500~800kW	1 小时	≤2 小时	1 小时	中等

##### 优化策略:

###### 建立缓冲库机制:

- 在拉丝与表面处理之间设置半成品库
- 解耦工序时间依赖性
- 实现表面处理工序时段灵活调整

###### 峰段规避策略:

- 将批次处理集中在平段/谷段
- 避开尖峰时段 (10:00-11:00, 19:00-21:00)

##### 年度价值估算:

- 峰谷转移价值: 约 200~250 万元/年
- 需求响应价值: 约 30~50 万元/年
- 合计: **230~300 万元/年**

#### A4. 循环冷却水系统 (★★★☆ 中等价值)

##### 系统概况:

- 设备配置：5 台循环水泵（每台 150kW）
- 日常运行：3 台运行+2 台备用
- 冷却塔配套：散热风机 8 台（每台 30kW）

可调节能力评估：

调节方式	调节容量	响应时间	持续时长	恢复时间	生产影响
减少运行台数	150kW	10 分钟	30~60 分钟	5 分钟	需监控水温
变频调速	50~100kW	5 分钟	≥2 小时	即时	轻微
冷却塔风机调节	60~120kW	1 分钟	≥4 小时	即时	无明显影响

优化策略：

蓄冷/蓄热策略：

- 夜间低负荷时段：降低水温（蓄冷）
- 峰段高负荷时段：允许水温适度上升

变频改造：

- 对循环水泵进行变频改造
- 根据水温、流量需求动态调节

年度价值估算：

- 峰谷转移价值：约 20~30 万元/年
- 需求响应价值：约 15~20 万元/年
- 变频节能：约 30~40 万元/年
- 合计：**65~90 万元/年**

## A5. 辅助与公用设施负荷 (★★☆ 中等价值)

### A5.1 电动叉车/行车充电系统

参数	数值
设备数量	叉车 15 台、行车 8 台
总充电功率	约 200~300kW
当前充电模式	随用随充，集中在白天
优化后模式	统一夜间 23:00 后充电

可调节能力：

- 调节方式：充电时段完全转移至谷段
- 调节容量：200~300kW

- 响应时间：提前 8 小时通知（次日充电计划）

**年度价值：**约 15~20 万元/年

### A5.2 照明系统

参数	数值
总功率	约 300~400kW
当前模式	全天候固定照度
优化方式	分时控制、分区控制

**可调节能力：**

- 峰段降低非必要区域照度：削减 100~150kW
- 响应时间：即时

**年度价值：**约 8~12 万元/年

### A5.3 空调暖通系统

参数	数值
总功率	约 400~600kW (夏季)
当前模式	固定温度设定
优化方式	峰段温度微调、预冷/预热

**可调节能力：**

- 峰段温度微调（夏季+1℃、冬季-1℃）：削减 80~120kW
- 谷段预冷/预热策略：转移 200~300kW

**年度价值：**约 15~25 万元/年

### A5.4 办公及其他非生产负荷

类型	功率	可调节方式	调节容量
办公设备	100~150kW	峰段非必要设备关闭	30~50kW
食堂厨房	150~200kW	错峰用餐	50~80kW
宿舍热水	100~150kW	谷段加热	100~150kW

**年度价值：**约 10~15 万元/年

**类型 B：**可增加负荷（填谷响应）清单

#### B1. 热处理炉预热负荷

参数	数值

参数	数值
可增加容量	1,500~2,000kW
增加时段	谷段 23:00~07:00
持续时长	2~4 小时
响应时间	提前 12 小时通知

应用场景：

- 电网谷段消纳过剩电力
- 新能源消纳需求响应
- 获取填谷补贴（如有）

### B2. 电动车辆充电负荷

参数	数值
可增加容量	200~300kW
增加时段	谷段集中充电
持续时长	6~8 小时
响应时间	提前 24 小时

### B3. 蓄热/蓄冷负荷（需改造）

类型	可增加容量	投资需求	响应能力
蓄热水箱	300~500kW	80 万元	★★★
蓄冷系统	400~600kW	120 万元	★★★

### 3.3.4 可调节负荷资源汇总表

#### (1) 按调节方式分类汇总

调节类型	总容量 (kW)	快速响应容量 ( $\leq 15\text{min}$ )	可持续时长	年响应价值估算
可中断负荷	1,500~2,000	800~1,200	30~60 分钟	80~120 万元
可削减负荷	3,000~4,000	1,500~2,500	1~2 小时	150~200 万元
可转移负荷	4,000~6,000	不适用	灵活	600~800 万元
可增加负荷	2,000~3,000	500~1,000	2~8 小时	50~100 万元
合计	10,500~15,000	2,800~4,700	-	880~1,220 万元 /年

#### (2) 按重要性等级分类汇总

优先级	负荷类型	总容量 (kW)	可中断时长	补偿价格建议	适用场景
P0	核心生产线	10,000~12,000	不可中断	不适用	不参与响应
P1	重要辅助(空压、循环水)	1,000~1,500	$\leq 30$ 分钟	400~600 元 /MW • h	紧急响应
P2	一般辅助(热处理、表面 处理)	3,000~4,500	$\leq 2$ 小时	200~400 元 /MW • h	常规响应

优先级	负荷类型	总容量 (kW)	可中断时长	补偿价格建议	适用场景
P3	非生产负荷	800~1,200	≥4 小时	100~200 元 /MW · h	日常优化

### (3) 虚拟电厂响应能力分级

响应等级	响应容量	响应速度	持续时长	年可响应次数	适用市场
I 级 (快速)	800~1,200kW	≤5 分钟	30~60 分钟	50~80 次	调频、备用
II 级 (常规)	1,500~2,500kW	≤15 分钟	1~2 小时	80~120 次	需求响应、削峰
III 级 (计划)	3,000~5,000kW	≤2 小时	2~4 小时	100~150 次	日前/日内优化
IV 级 (填谷)	2,000~3,000kW	提前 12 小时	4~8 小时	150~200 次	填谷、新能源消纳

### 3.3.5 可调节负荷资源开发建议

#### 短期 (0~6 个月): 低成本快速见效

措施	开发对象	开发容量	投资	预期收益
管理优化	充电设备、公用设施	500~800kW	<10 万	20~30 万/年
调度优化	热处理、表面处理	1,500~2,000kW	<30 万	300~400 万/年
监测系统	全厂负荷实时监测	提升管理能力	50 万	提升 20% 效率

#### 中期 (6~12 个月): 技术改造提升能力

措施	开发对象	开发容量	投资	预期收益
变频改造	循环水泵、风机	新增 300~500kW	120 万	60~80 万/年
控制系统	自动响应系统	提升响应速度	150 万	提升 30% 收益
蓄能系统	蓄热/蓄冷	新增 500~800kW	200 万	100~150 万/年

#### 长期 (12 个月以上): 深度资源开发

措施	开发对象	开发容量	投资	预期收益
储能系统	电池储能	2,000kW/4MWh	800 万	300~400 万/年
工艺优化	生产流程再造	新增 1,000~2,000kW	300 万	200~300 万/年
智能化升级	AI 优化调度	提升整体效率	150 万	提升 25% 收益

### 3.3.6 可调节负荷资源管理建议

#### (1) 资源管理制度

建立《可调节负荷资源管理办法》，明确：

- 资源清单动态更新机制
- 响应权限与决策流程
- 生产影响评估标准

- 收益分配原则

## (2) 响应决策矩阵

响应容量	响应时长	决策权限	审批时限
≤500kW	≤1 小时	值班调度员	即时
500~1,500kW	≤2 小时	生产经理	≤15 分钟
1,500~3,000kW	≤4 小时	生产副总	≤30 分钟
>3,000kW	>4 小时	总经理	≤1 小时

## (3) 风险控制措施

风险类型	控制措施
生产影响风险	设置响应“安全边界”，核心工序不参与
设备损坏风险	频繁启停设备增加维护，设定年度响应次数上限
响应失败风险	建立备用响应预案，确保履约率>95%
收益不达标风险	保守估计收益，设置最低补偿价格

## 3.4 小结

### 综合潜力汇总

潜力类型	年收益区间（万元）	投资需求（万元）	投资回收期	实施难度
峰谷转移	550~1,290	200~770	3~10 个月	低~中
需量优化	213~640	10~760	<1~14 个月	低~中
可调节资源开发	880~1,220	60~500	3~8 个月	中
累计（去重后）	1,400~2,200	300~1,200	约 6~12 个月	中等

关键发现：企业用电改进潜力巨大，年节省/增收空间 1,400~2,200 万元，相当于当前电费的 10%~16%！

