

# 四、综合用电改造与优化方案设计

基于潜力评估，设计可落地、可量化、可持续的技术改造方案与运行策略优化方案，确保改造投资经济合理、实施风险可控、运营效益最大化。

## 4.1 技术改造方案

### 4.1.1 技术改造总体架构



### （2）技术改造三阶段规划

阶段	时间	核心任务	投资（万元）	预期收益（万元/年）
第一阶段	T+0~3 月	监测系统建设、数据采集	80~120	100~150（提升管理效率）
第二阶段	T+3~9 月	控制系统建设、设备改造	150~250	400~600（实现自动化）
第三阶段	T+9~18 月	智能化升级、深度优化	200~350	600~900（智能决策）
合计	18 个月	-	430~720	1,100~1,650

4.1.2 用能监测与分项计量系统

(1) 系统建设目标

实现\*\*\*三个可视化\*\*\*:

- 负荷可视化: 实时监测各层级负荷, 精确到设备级
- 能耗可视化: 分时段、分工序、分产品能耗追踪
- 成本可视化: 实时计算电费, 分析成本构成

(2) 监测点位规划详细方案

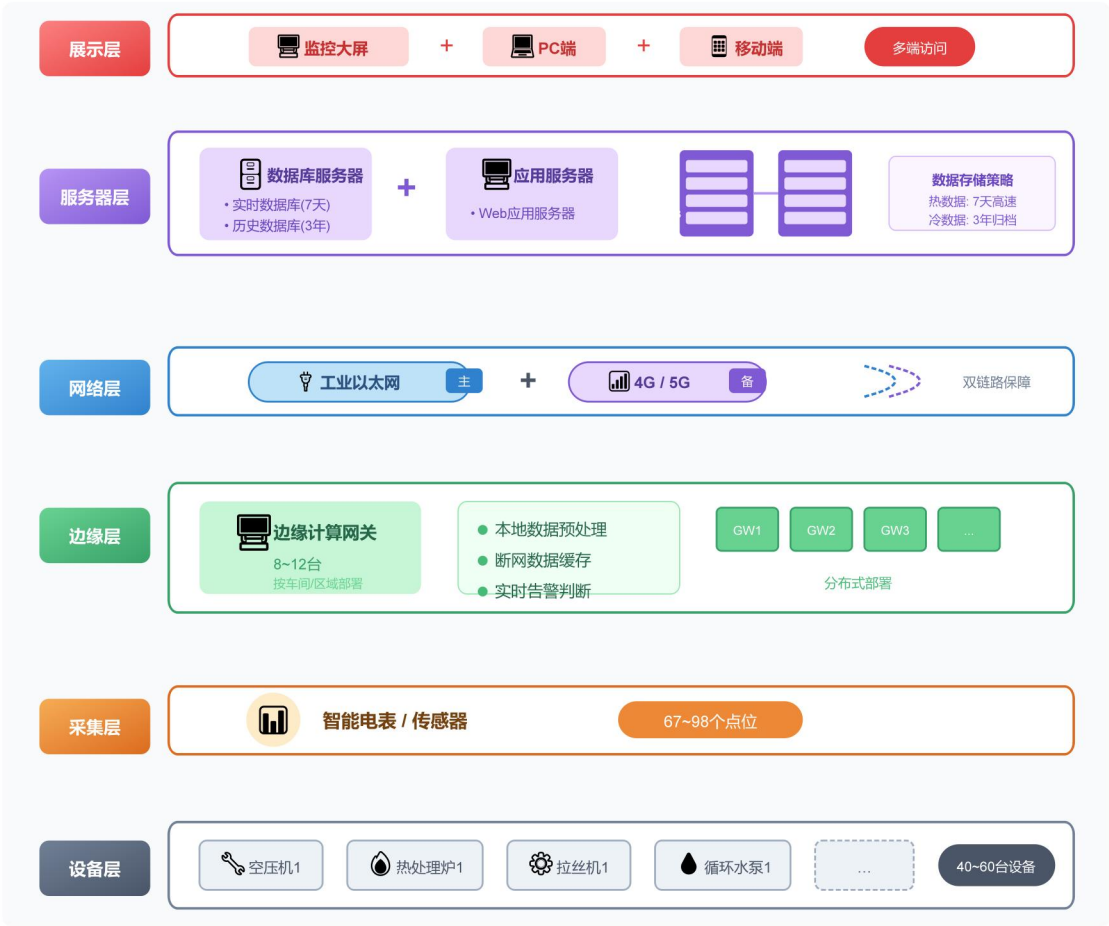
A. 分层监测架构

监测层级	监测对象	点位数量	数据精度	采集频率
Lv1 总表级	企业总进线	1 个	0.5 级	1 秒/次
Lv2 变压器级	各台变压器出线	3~5 个	0.5 级	1 秒/次
Lv3 车间级	各生产车间进线	8~12 个	1 级	5 秒/次
Lv4 工序级	主要工序 (拉丝、热处理等)	15~20 个	1 级	15 秒/次
Lv5 设备级	重点耗能设备	40~60 个	1 级	30 秒/次
合计	-	67~98 个	-	-

B. 重点监测设备清单

设备类型	监测参数	点位数	监测目的
空压机群 (4 台)	有功功率、电流、运行状态	4	负荷调节、效率分析
热处理炉 (8 台)	有功功率、温度、运行阶段	8	工序排产优化、能耗分析
拉丝机组	有功功率、产量	10	单耗分析
循环水泵 (5 台)	有功功率、流量、压力	5	变频控制依据
表面处理线	有功功率、批次记录	3	排产优化
冷却塔风机 (8 台)	有功功率、运行状态	8	负荷调节
照明回路	分区功率	8	分时控制
空调系统	分区功率、温度	6	负荷调节

C. 监测系统拓扑结构



(3) 系统功能设计

A. 实时监控功能

功能模块	具体功能	刷新频率
实时负荷曲线	总负荷、分项负荷实时曲线	1 秒
运行状态监视	重点设备运行状态一览	5 秒
电能质量监测	电压、频率、功率因数、谐波	1 秒
峰值预警	接近最大需量时预警	实时
异常告警	负荷异常、设备故障告警	实时

B. 历史数据分析功能

功能模块	具体功能	数据维度
负荷曲线分析	日/周/月/年负荷曲线对比	多维度对比
能耗分析	分时段、分车间、分产品能耗	多维度钻取
峰谷分析	峰平谷用电量、电费占比分析	月度/年度
同比环比	用电量、电费同比环比分析	灵活对比
单耗分析	单位产品能耗分析	按产品/工序

C. 预测预警功能

功能模块	预测/预警对象	预测周期	准确度要求
负荷预测	次日逐时负荷	提前 24 小时	误差 $\leq$ 8%
峰值预测	当日最大需量预测	提前 4 小时	误差 $\leq$ 5%
电费预测	当月电费预测	实时更新	误差 $\leq$ 3%
峰值预警	接近最大需量预警	提前 15 分钟	准确率 $\geq$ 95%

D. 报表自动生成功能

报表类型	生成周期	主要内容	输出格式
日报	每日 08:00	前日用电量、电费、峰值等	PDF/Excel
周报	每周一	本周用电分析、对比、建议	PDF
月报	每月 3 日	上月用电全面分析、电费账单	PDF/Excel
年报	每年 1 月	全年用电分析、成本核算	PDF

(4) 设备配置清单与投资估算

A. 感知层设备

设备名称	规格型号	数量	单价 (万元)	小计 (万元)
智能电表 (总表级)	0.5 级, RS485	1	3.0	3.0
智能电表 (变压器级)	0.5 级, RS485	5	2.5	12.5
智能电表 (车间级)	1 级, RS485	12	1.5	18.0
智能电表 (工序级)	1 级, RS485	20	1.0	20.0
智能电表 (设备级)	1 级, 无线	60	0.6	36.0
电流互感器	配套	100	0.08	8.0
温度传感器	热电偶	30	0.15	4.5
压力传感器	0.5%FS	20	0.2	4.0
小计	-	-	-	106.0

B. 网络层设备

设备名称	规格型号	数量	单价 (万元)	小计 (万元)
边缘计算网关	支持 Modbus/OPC	10	1.2	12.0
工业交换机	24 口千兆	12	0.5	6.0
4G 通信模块	双 SIM 卡	3	0.3	0.9
光纤及配件	多模	1 批	3.0	3.0
小计	-	-	-	21.9

C. 平台层软硬件

设备/软件名称	规格配置	数量	单价（万元）	小计（万元）
数据库服务器	双路 16 核，128G 内存，10TB	1	8.0	8.0
应用服务器	双路 8 核，64G 内存	2	5.0	10.0
网络安全设备	防火墙、入侵检测	1 批	4.0	4.0
实时数据库软件	支持百万点	1 套	15.0	15.0
能源管理平台软件	定制开发	1 套	30.0	30.0
小计	-	-	-	67.0

D. 展示层设备

设备名称	规格配置	数量	单价（万元）	小计（万元）
LED 拼接大屏	55 寸×6 块，3×2 拼接	1 套	20.0	20.0
大屏控制器	4K 输出	1 台	3.0	3.0
控制台席位	操作台+座椅	3 套	1.5	4.5
PC 工作站	高性能图形工作站	3 台	1.0	3.0
小计	-	-	-	30.5

E. 施工与其他费用

费用项	内容	金额（万元）
安装调试费	设备安装、系统调试	15.0
线缆敷设费	电缆、线槽、桥架等	12.0
培训费	操作培训、技术培训	5.0
软件定制开发	个性化功能开发	20.0
系统集成费	系统集成、测试	10.0
备品备件	备用电表、传感器等	5.0
项目管理费	项目管理、监理	8.0
小计	-	75.0

F. 监测系统总投资汇总

类别	投资（万元）	占比
感知层设备	106.0	35.3%
网络层设备	21.9	7.3%
平台层软硬件	67.0	22.3%
展示层设备	30.5	10.2%
施工与其他费用	75.0	25.0%
总投资	300.4 万元	100%

(5) 实施计划与里程碑

阶段	时间	主要任务	交付成果
----	----	------	------

阶段	时间	主要任务	交付成果
需求调研	T+0~0.5 月	现场勘查、点位确认	需求规格书
方案设计	T+0.5~1 月	详细设计、设备选型	设计方案、设备清单
设备采购	T+1~2 月	招标采购、到货验收	设备到货
安装施工	T+2~3 月	设备安装、线缆敷设	安装完成
系统调试	T+3~3.5 月	单体调试、联调	系统可运行
试运行	T+3.5~4 月	试运行、问题整改	稳定运行 1 周
正式验收	T+4 月	验收测试、文档交付	验收合格

(6) 预期效益评估

A. 直接经济效益

虽然监测系统本身不直接产生收益，但通过提升管理效率可间接产生效益：

效益来源	实现机制	年收益估算（万元）
精细化管理	发现浪费点、优化用电行为	50~80
峰值控制	实时预警避免超峰值	30~50
故障预警	提前发现异常、减少损失	20~30
辅助决策	为运行优化提供数据支撑	提升其他措施效果 20%
合计	-	100~160

B. 管理效益

效益维度	优化前	优化后	提升幅度
数据获取时效性	月度人工抄表	实时自动采集	提升 720 倍
异常发现时间	事后发现（数天）	实时告警（秒级）	提升数千倍
分析决策效率	人工整理、分析（数天）	自动生成报表（分钟级）	提升数百倍
管理人员配置	需 3~4 人专职	1~2 人兼职	节省 2~3 人

4.1.3 负荷预测与告警系统

(1) 负荷预测系统设计

A. 预测模型架构



## B. 预测精度要求与评估指标

预测类型	预测周期	精度要求 (MAPE)	评估周期
超短期预测	未来 1~4 小时	≤5%	每日评估
短期预测	次日 24 小时	≤8%	每日评估
中期预测	未来 7 天	≤10%	每周评估

**MAPE 公式:**  $MAPE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{\text{实际值}_i - \text{预测值}_i}{\text{实际值}_i} \right| \times 100\%$

## C. 预测结果应用场景

应用场景	使用预测类型	应用目的
峰值控制	超短期预测	提前 15~60 分钟预警，采取削峰措施
次日排产优化	短期预测	结合电价优化次日生产安排

应用场景	使用预测类型	应用目的
需求响应决策	短期预测	评估响应能力，决策是否参与
月度电费预测	中期预测	预测月度电费，提前调整策略

(2) 峰值预警系统设计

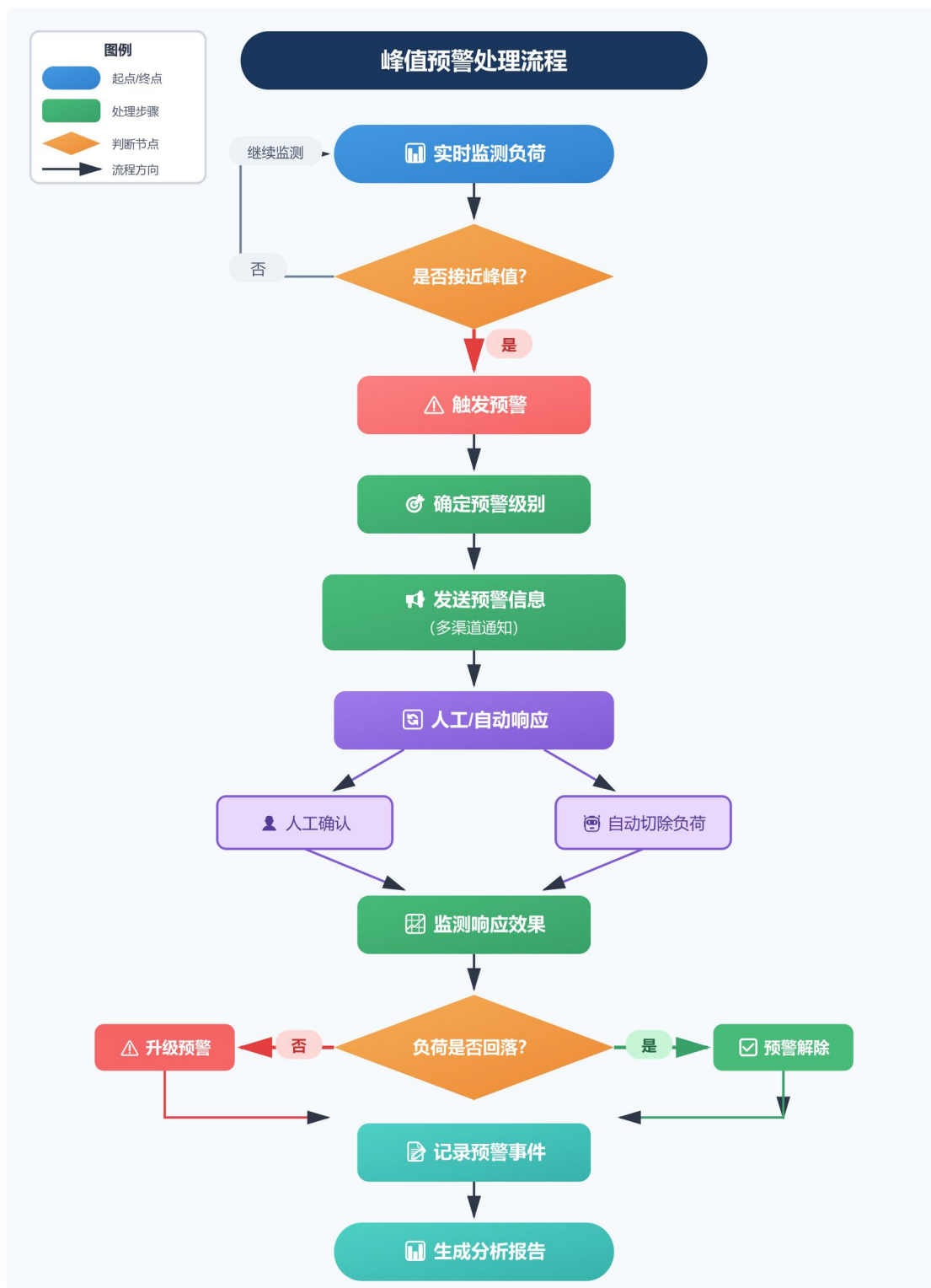
A. 多级预警机制

预警级别	触发条件	预警方式	响应措施	响应时限
蓝色	负荷达到当月最大需量的 90%	系统提示	调度员关注，暂缓新增负荷	实时监控
黄色	负荷达到当月最大需量的 95%	系统弹窗+短信	立即核查原因，准备削峰	≤5 分钟
橙色	负荷达到当月最大需量的 98%	弹窗+短信+电话	立即削减 P3 级负荷	≤3 分钟
红色	负荷超过当月最大需量	现场警报+多级通知	紧急削减 P2+P3 级负荷	≤2 分钟

B. 预警逻辑流程

【峰值预警处理流程】





### c. 预警信息推送配置

预警级别	推送对象	推送方式	推送内容
蓝色	值班调度员	系统界面提示	当前负荷、预计峰值时间

黄色	调度员+能源主管	界面+短信	负荷值、超峰风险、建议措施
橙色	能源主管+生产经理	界面+短信+电话	负荷值、需立即削减容量
红色	生产经理+分管副总	多渠道紧急通知	已超峰、紧急削减要求

(3) 系统开发投资估算

开发模块	开发内容	工作量（人月）	费用（万元）
数据接口开发	对接监测系统、生产系统	2	6
预测模型开发	模型训练、调优	4	15
预警系统开发	规则引擎、推送系统	3	10
可视化开发	预测曲线、预警界面	2	8
测试与优化	系统测试、模型优化	2	6
合计	-	13 人月	45 万元

4.1.4 自动/半自动负荷控制系统

(1) 系统设计目标

实现"三个自动化":

- 自动监测：实时监测负荷，自动识别风险
- 自动决策：根据预设策略自动生成控制指令
- 自动执行：在授权范围内自动执行负荷调节

(2) 控制系统架构



(3) 控制策略设计

A. 峰值削减控制策略

触发条件	控制对象	控制动作	削减容量	持续时长
负荷 $\geq 17,500\text{kW}$	P3 级负荷	自动切除	300~500kW	至负荷回落
负荷 $\geq 17,800\text{kW}$	P3+部分 P2	自动切除	800~1,200kW	至负荷回落
负荷 $\geq 18,000\text{kW}$	紧急削峰	自动+人工确认	1,500~2,000kW	至负荷回落

控制对象优先级：

第 1 优先级（自动切除）：

- 非必要区域照明
- 办公区部分空调
- 非工作时段充电桩

第 2 优先级（自动切除）：

- 冷却塔部分风机
- 1 台空压机短时停机
- 食堂厨房设备

第 3 优先级（需人工确认）：

- 表面处理工序暂停
- 热处理炉推迟启动
- 循环水泵降速运行

B. 峰谷转移控制策略

时段	控制目标	控制动作	预期效果
谷段开始（23:00）	增加谷段负荷	<ul style="list-style-type: none"><li>• 4 台空压机全开储气</li><li>• 热处理炉预热启动</li><li>• 充电桩统一充电</li><li>• 循环水系统蓄冷</li></ul>	谷段负荷提升 2,000~3,000kW
峰段前（07:30）	峰前预控	<ul style="list-style-type: none"><li>• 空压机减至 2 台</li><li>• 非必要设备关闭</li></ul>	避免早峰叠加
尖峰段（10:00、19:00）	削峰	<ul style="list-style-type: none"><li>• 严格控制新增负荷</li><li>• 利用储气/蓄冷</li></ul>	削减峰值 500~1,000kW

C. 需求响应控制策略

响应类型	响应容量	控制流程	执行方式
自动响应	$\leq 800\text{kW}$	<ol style="list-style-type: none"><li>1. 接收响应指令</li><li>2. 系统自动决策</li></ol>	全自动

响应类型	响应容量	控制流程	执行方式
半自动响应	800~2,000kW	3. 自动执行切除	人工确认+自动执行
		4. 实时监测效果	
		5. 自动上报数据	
		1. 接收响应指令	
		2. 系统生成方案	
人工响应	>2,000kW	3. 人工确认	全人工
		4. 自动执行	
		5. 效果监测上报	
		1. 接收响应指令	
		2. 人工评估决策	
		3. 手动执行	
		4. 人工上报	

(4) 受控设备接口设计

A. 不同设备控制方式

设备类型	控制方式	控制接口	响应时间	改造需求
开关类设备 (照明、插座等)	远程分合闸	智能断路器/接触器	<5 秒	更换为智能断路器
变频类设备 (水泵、风机等)	频率调节	Modbus/Profinet	<10 秒	变频器通信模块
空压机	启停+卸载	PLC 接口	<30 秒	PLC 程序修改
热处理炉	延时启动	生产系统接口	提前通知	软件对接

B. 控制设备配置清单

设备名称	规格型号	数量	单价 (万元)	小计 (万元)
智能断路器	支持远程分合闸	20	0.3	6.0
智能接触器	支持远程控制	30	0.15	4.5
变频器通信模块	Modbus RTU	15	0.2	3.0
PLC 控制器	S7-1200 系列	3	1.5	4.5
工业路由器	4G/以太网	5	0.4	2.0
硬件设备小计	-	-	-	20.0
软件系统开发	控制策略、界面	1 套	50.0	50.0
系统集成调试	接口对接、联调	1 项	25.0	25.0
总投资	-	-	-	95.0 万元

(5) 安全保护机制

A. 多重安全保护

保护层级	保护内容	实现方式
------	------	------

保护层级	保护内容	实现方式
Lv1 硬件保护	物理开关、紧急停止按钮	现场硬件
Lv2 逻辑保护	核心设备禁止自动切除	软件逻辑
Lv3 权限保护	分级授权、重要操作需确认	权限管理
Lv4 时间保护	切除时长限制、自动恢复	定时器
Lv5 监测保护	异常监测、自动告警	实时监测

B. 紧急情况处理

情况	系统响应	恢复方式
通信中断	自动切换为本地控制模式	通信恢复后自动同步
控制失效	立即告警，切换人工模式	人工介入
误操作	可在 5 分钟内一键撤销	快速恢复功能
生产异常	自动暂停控制策略	人工确认后恢复

4.1.5 技术改造方案投资汇总

系统模块	投资（万元）	实施周期	年收益贡献（万元）
用能监测与分项计量系统	300.4	4 个月	100~160
负荷预测与告警系统	45.0	2 个月	30~50（辅助决策价值）
自动/半自动负荷控制系统	95.0	3 个月	200~300（提升执行效率）
合计	440.4 万元	6~9 个月	330~510 万元/年

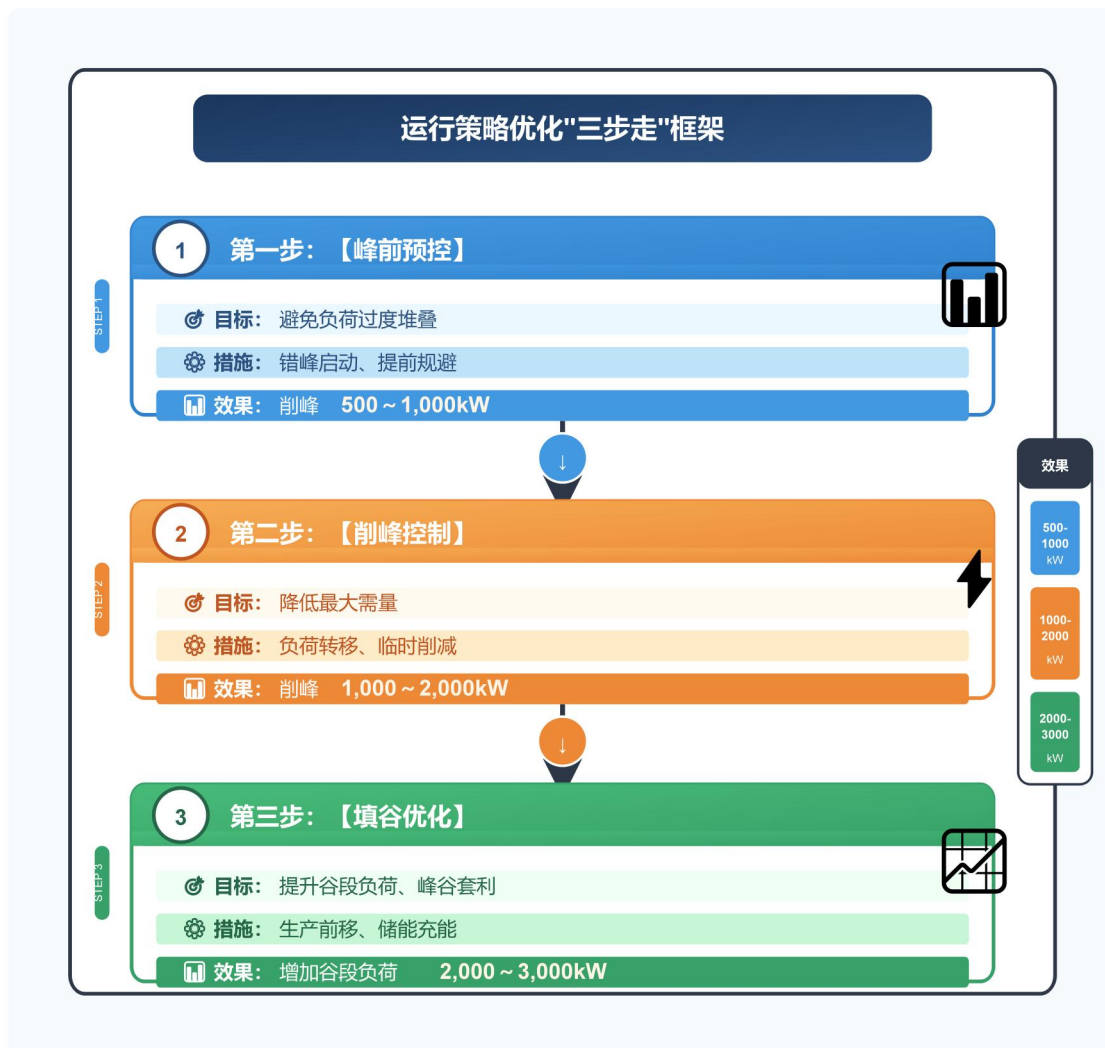
投资回收期： $440.4 \div 420 \approx 13$  个月

4.2 运行策略优化方案

**策略优先于技术：**在技术改造完成前，通过运行策略优化可快速实现显著效益，且几乎零投资。

4.2.1 运行策略优化总体思路

(1) "三步走"策略框架



## (2) 策略优化关键原则

原则	具体要求	实施要点
生产优先	不影响核心生产工序	只调整辅助系统和非核心工序
安全可控	不影响生产安全和质量	设置安全边界，可快速恢复
经济合理	优化收益大于调整成本	量化评估每项措施的经济性
灵活机动	策略可根据情况动态调整	建立多套预案
循序渐进	从简单到复杂逐步推进	先易后难，积累经验

### 4.2.2 峰前预控策略

**核心思想：**在峰段到来之前（特别是早高峰 8:00 和晚高峰 16:00 前），提前采取措施避免负荷过度堆叠。

#### (1) 早高峰预控策略（07:00～08:00）

##### A. 现状问题分析

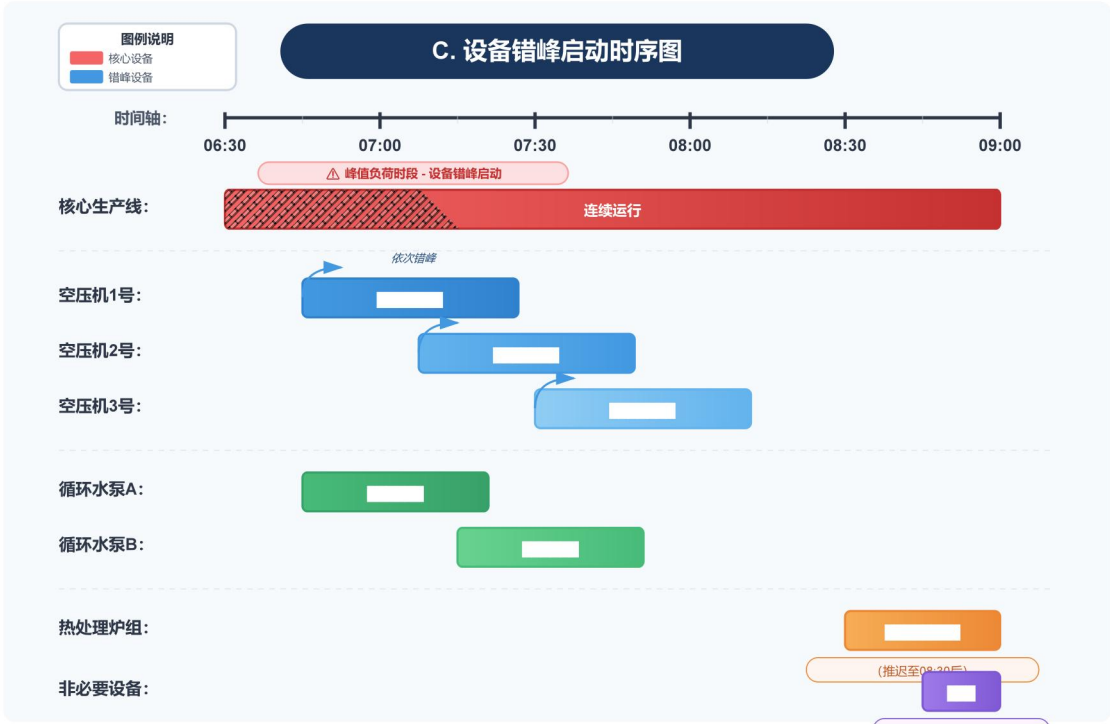
根据 12.11 负荷曲线分析：

- 07:00~08:00：负荷从 9,000kW 快速上升至 14,000kW
- 08:00~10:00：负荷继续上升至 18,000kW
- 问题：早班设备集中启动，形成负荷快速堆叠

B. 优化策略设计

时段	优化措施	责任部门	预期效果
06:30~07:00	<div>提前启动核心生产线</div> <div>利用谷段电价完成预热</div>	生产调度	避免峰段启动
07:00~08:00	<div>空压机分批启动（每台间隔 10 分钟）</div> <div>循环水泵分批启动</div>	设备部	削减启动峰值 300~500kW
08:00 前	<div>推迟非紧急设备启动至平段</div> <div>暂缓热处理炉加热</div>	生产调度	避免峰值叠加

C. 设备错峰启动时序图



(2) 晚高峰预控策略（16:00~19:00）

A. 现状问题分析

- 16:00 进入晚高峰时段，电价上涨
- 16:00~19:00：负荷维持在 16,000~17,500kW 高位

- 19:00~21:00：尖峰时段，负荷最高达 18,000kW
- 问题：白班与夜班交接，设备叠加运行

B. 优化策略设计

时段	优化措施	预期效果
15:30~16:00	<ul style="list-style-type: none"><li>• 提前完成白班收尾工作</li><li>• 部分设备提前进入保温/待机</li></ul>	降低 16:00 进峰冲击
16:00~19:00	<ul style="list-style-type: none"><li>• 严格控制新增负荷</li><li>• 非紧急工序推迟至 21:00 后</li></ul>	维持负荷相对稳定
19:00~21:00	<ul style="list-style-type: none"><li>• 热处理炉避开尖峰加热</li><li>• 利用储气减少空压机运行</li><li>• 部分照明关闭</li></ul>	削峰 500~1,000kW

(3) 峰前预控效益测算

措施类型	削峰效果 (kW)	年节省基本电费 (万元)	年节省电量电费 (万元)	合计 (万元/年)
早高峰错峰启动	300~500	11.9~19.8	15~25	27~45
晚高峰负荷控制	500~1,000	19.8~39.6	30~60	50~100
合计	800~1,500	32~59	45~85	77~145

4.2.3 班次与设备启停优化

(1) 现行班次制度分析

A. 当前班次安排

班次	时间	人员配置	生产负荷特征
早班	08:00~16:00	满员(100%)	高负荷 (14,000~17,000kW)
中班	16:00~24:00	80%人员	较高负荷 (13,000~16,000kW)
夜班	00:00~08:00	60%人员	低负荷 (7,000~10,000kW)

B. 存在的问题

问题	具体表现	经济损失
峰段负荷过高	早班、中班集中在峰段	高电价、高需求量
谷段负荷不足	夜班负荷仅为峰段的 40%	浪费谷段低电价
班次交接负荷叠加	16:00 交接时负荷叠加	形成晚高峰

(2) 班次优化方案设计



方案 A：渐进式优化（推荐）

班次	优化后时间	人员配置	负荷目标	主要调整
早班	07:00~15:00	满员	12,000~15,000kW	前移 1 小时，利用谷段尾段
中班	15:00~23:00	85%人员	11,000~14,000kW	前移 1 小时，减少尖峰负荷
夜班	23:00~07:00	70%人员 ↑	9,000~12,000kW ↑	增加人员，提升谷段负荷

优化效果：

- 早班前移 1 小时：增加谷段用电约 1,000kWh/天，年节省约 21 万元
- 夜班人员增加 10%：增加谷段用电约 2,000kWh/天，年节省约 43 万元
- 错开尖峰时段：削峰约 800kW，年节省基本电费约 32 万元
- 合计年收益：约 96 万元

实施难度：

- 人员调整：需与员工沟通，可能涉及夜班补贴增加
- 管理调整：需调整物料配送、质检等配套流程

方案 B：深度优化（中长期）

班次	优化后时间	人员配置	负荷目标	主要调整
早班	06:00~14:00	满员	11,000~14,000kW	前移 2 小时，充分利用谷段
中班	14:00~22:00	85%人员	10,000~13,000kW	前移 2 小时，完全避开尖峰
夜班	22:00~06:00	80%人员 ↑ ↑	10,000~13,000kW ↑ ↑	大幅增强，谷段生产常态化

优化效果：

- 年节省电费：约 180~220 万元
- 但实施难度较大，需要更大的管理变革

（3）关键设备启停优化

A. 空压机群启停优化

现状：

- 4 台空压机，通常 3 台运行+1 台备用
- 24 小时基本保持 3 台运行
- 压力设定：0.75~0.85 MPa

## 优化策略：

时段	运行台数	压力设定	优化逻辑
谷段 23:00~07:00	4 台全开	0.85~0.9 MPa	• 谷段电价低，全力储气 • 提高管网压力，储存压缩空气能量
平段 07:00~08:00 12:00~16:00 21:00~23:00	3 台运行	0.75~0.8 MPa	• 正常运行模式 • 压力适中
峰段 08:00~12:00 16:00~21:00	2~3 台运行	0.7~0.75 MPa	• 利用储气支撑 • 允许压力适度下降 • 减少 1 台运行

## 效益测算：

峰段减少 1 台运行（每天平均 5 小时）：

- 日转移电量： $200\text{kW} \times 5\text{h} = 1,000\text{kWh}$
- 日节省电费： $1,000 \times 0.57 = 570$  元
- 年节省：约 **20.8 万元**

谷段增加 1 台运行（每天 8 小时）：

- 日增加电量： $200\text{kW} \times 8\text{h} = 1,600\text{kWh}$
- 日增加电费： $1,600 \times 0.383 = 613$  元
- 年增加：约 22.4 万元

**净收益： $20.8 - 22.4 = -1.6$  万元？**

## 修正分析：

- 上述计算未考虑削峰收益！
- 峰段减少 200kW 运行，降低最大需量潜力
- 若实现削峰 200kW，年节省基本电费： $200 \times 33 \times 12 = 7.92$  万元
- **修正后年收益： $7.92 - 1.6 = 6.32$  万元**

## B. 热处理炉启停优化

### 现状：

- 8 台热处理炉，分批次运行
- 预热时间：2~3 小时
- 当前多在早班时段（08:00 后）开始预热

## 优化策略：

### 【热处理炉分组排产策略】

A 组（4 台）：谷段预热，平段/峰段生产

- 预热时间：05:00~07:00（谷段）
- 生产时间：08:00~20:00
- 优势：预热电费低，避开尖峰

B 组（2 台）：平段预热，峰段生产

- 预热时间：12:00~14:00（平段）
- 生产时间：15:00~23:00
- 优势：避开早高峰

C 组（2 台）：谷段预热，次日使用

- 预热时间：23:00~01:00（谷段）
- 生产时间：次日 06:00~18:00
- 优势：充分利用谷段电价

## 效益测算：

单台热处理炉预热功率：约 900kW

预热时间：2.5 小时

预热电量： $900\text{kW} \times 2.5\text{h} = 2,250\text{kWh}$

若 4 台从峰段转移至谷段预热：

- 日转移电量： $2,250 \times 4 = 9,000\text{kWh}$
- 峰谷价差：约 0.57 元/kWh
- 日节省电费： $9,000 \times 0.57 = 5,130$  元
- 年节省：约 187 万元

### 4.2.4 谷段用电放大策略

**核心目标：**充分利用谷段低电价（0.383 元/kWh），将可转移负荷尽量安排在谷段运行，同时为峰段“储能”。

#### （1）谷段负荷提升目标

#### 现状：

- 谷段（23:00~07:00）平均负荷：约 7,000~9,000kW
- 谷段最大负荷：约 10,000kW

- 谷段负荷率：仅为峰段的 40%~50%

目标：

- 短期目标：谷段平均负荷提升至 10,000~12,000kW（提升 30%~40%）
- 中期目标：谷段平均负荷提升至 12,000~14,000kW（提升 60%~80%）
- 长期目标：谷段平均负荷接近峰段（14,000~16,000kW）

(2) 谷段负荷提升具体措施

A. 压缩空气储能策略

措施	具体内容	增加谷段负荷
空压机满负荷运行	谷段 4 台空压机全开	+200kW
提高储气压力	压力从 0.8 提升至 0.9 MPa	储能效果提升
增加储气罐容量	新增储气罐（可选）	储能能力 ↑

B. 热处理工序前移

措施	具体内容	增加谷段负荷
预热前移	4~6 台炉谷段预热	+3, 600~5, 400kW
保温前移	部分保温工序谷段进行	+800~1, 200kW

C. 循环水系统蓄冷

措施	具体内容	增加谷段负荷
谷段强制冷却	循环水泵全开+冷却塔全开	+500~700kW
降低水温	将水温从 35℃ 降至 28℃	蓄冷效果

D. 电动车辆集中充电

措施	具体内容	增加谷段负荷
统一谷段充电	所有叉车、行车 23:00 后充电	+200~300kW
禁止日间充电	除紧急情况外禁止峰平段充电	强制性措施
充电监控	安装充电监控系统	确保执行

E. 生产工序适度前移

措施	具体内容	增加谷段负荷
夜班强度提升	夜班人员增加 10%~20%	+1, 000~2, 000kW
非时效性工序前移	表面处理、检验等工序夜间化	+500~1, 000kW
提前备料	次日生产物料夜间准备	+300~500kW

F. 辅助设施前移

措施	具体内容	增加谷段负荷
生活热水加热	宿舍、食堂热水夜间加热	+100~150kW
空调预冷/预热	夏季夜间预冷，冬季预热	+200~400kW
设备维护保养	部分保养工作夜间进行	+100~200kW

(3) 谷段负荷提升综合效果

A. 措施汇总与效果预测

措施类别	短期可实现 (0~3 月)	中期可实现 (3~12 月)	长期目标 (12 月以上)
压缩空气储能	+200kW	+200kW	+200kW
热处理工序前移	+2,700kW	+4,500kW	+5,400kW
循环水蓄冷	+300kW	+600kW	+700kW
车辆充电	+250kW	+250kW	+300kW
生产工序前移	0	+1,000kW	+2,000kW
辅助设施前移	+150kW	+400kW	+600kW
合计增加	+3,600kW	+6,950kW	+9,200kW
谷段平均负荷	10,600kW	13,950kW	16,200kW
负荷提升幅度	51%	99%	131%

B. 经济效益测算

以中期目标为例（谷段增加 6,950kW）：

直接经济效益：

电量转移收益：

1. 假设峰段转移至谷段的电量（每天 8 小时）：
2. 日转移电量： $6,950\text{kW} \times 8\text{h} = 55,600\text{kWh}$
3. 峰谷价差（加权）：约 0.57 元/kWh
4. 日节省电费： $55,600 \times 0.57 = 31,692$  元
5. 年节省电费：约 1,157 万元

削峰降容收益：

1. 谷段前移带来峰段负荷下降：约 2,000~3,000kW
2. 年节省基本电费： $2,500\text{kW} \times 33 \text{ 元/kW} \times 12 \text{ 月} = 99$  万元

综合收益：

1. 年度总收益：约 1,256 万元

附加成本：

夜班人力成本增加：

- 1. 夜班人员增加 15 人，夜班补贴 50 元/天
- 2. 年增加成本：15 人 × 50 元 × 365 天 = 27.4 万元

夜间管理成本增加：

- 1. 管理人员增加、能耗管理等
- 2. 年增加成本：约 15 万元

总附加成本：约 42.4 万元

净收益：

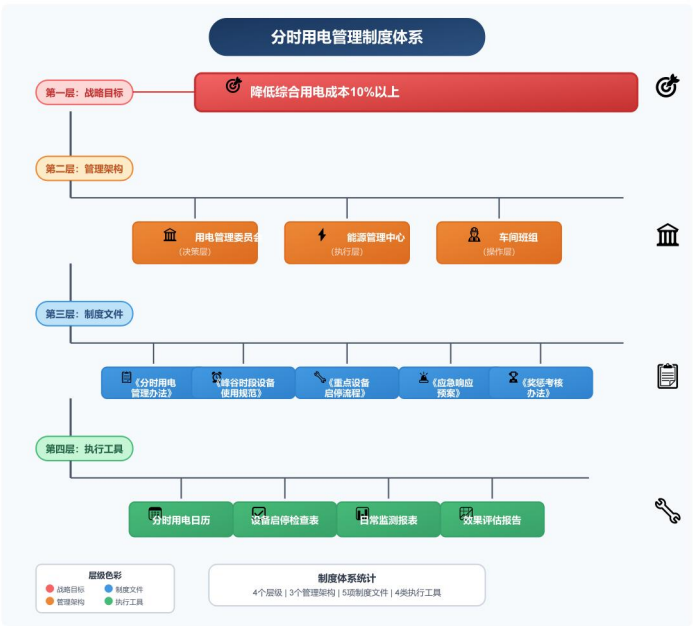
- 年净收益：1,256 - 42.4 = 1,213.6 万元
- 投资回收期：几乎零投资，立即见效

4.2.5 分时用电精细化管理策略

（1）建立分时用电管理制度

A. 管理制度框架

【分时用电管理制度体系】



B. 关键制度条款

制度类型	核心内容	执行要求
禁止性规定	<ul style="list-style-type: none"><li>尖峰时段（10:00-11:00, 19:00-21:00）禁止非必要设备启动</li><li>峰段禁止电动车辆充电</li><li>禁止峰段安排高耗能试验</li></ul>	强制执行，违者处罚
鼓励性规定	<ul style="list-style-type: none"><li>鼓励谷段安排非时效性工作</li><li>鼓励提前完成峰段工作</li><li>鼓励节能创新建议</li></ul>	奖励机制激励
审批制度	<ul style="list-style-type: none"><li>尖峰时段新增负荷&gt;100kW 需审批</li><li>峰段新增负荷&gt;500kW 需审批</li></ul>	分级审批流程
监测制度	<ul style="list-style-type: none"><li>实时监测负荷</li><li>日报、周报、月报制度</li></ul>	定期分析评估

**（2）关键时段负荷管控措施**

**A. 尖峰时段（10:00-11:00, 19:00-21:00）严控措施**

管控措施	具体要求	预期效果
新增负荷限制	<ul style="list-style-type: none"><li>禁止非核心设备启动</li><li>推迟热处理炉启动</li><li>暂停表面处理批次</li></ul>	避免负荷叠加
既有负荷优化	<ul style="list-style-type: none"><li>利用储气减少空压机运行</li><li>关闭非必要照明</li><li>空调温度微调</li></ul>	削减 200~500kW
人员行为管控	<ul style="list-style-type: none"><li>食堂错峰用餐（避开 19:00-20:00）</li><li>办公设备最小化使用</li></ul>	削减 50~100kW

**B. 峰段时段（早 8:00-12:00, 午 16:00-19:00）管控措施**

管控措施	具体要求	预期效果
设备启动管控	<ul style="list-style-type: none"><li>错峰启动原则</li><li>避免集中启动</li></ul>	削峰 300~500kW
可转移负荷	<ul style="list-style-type: none"><li>充电推迟至谷段</li><li>热水加热推迟至谷段</li></ul>	转移 200~300kW
实时监控	<ul style="list-style-type: none"><li>负荷接近峰值时人工干预</li></ul>	控制最大需量

**C. 平段时段（07:00-08:00, 12:00-16:00, 21:00-23:00）策略**

策略	具体要求	目标
承接峰段负荷	<ul style="list-style-type: none"><li>接纳从峰段转移的负荷</li><li>热处理炉优先平段启动</li></ul>	平滑负荷曲线
过渡性管理	<ul style="list-style-type: none"><li>为谷段做准备</li><li>为峰段预控</li></ul>	衔接作用

D. 谷段时段（23:00-次日 07:00）策略

策略	具体要求	目标
放大负荷	<ul style="list-style-type: none"><li>最大化谷段生产强度</li><li>集中安排可转移工作</li></ul>	提升谷段负荷 30%+
储能充能	<ul style="list-style-type: none"><li>空压机储气</li><li>蓄冷蓄热</li><li>车辆充电</li></ul>	为峰段储备

(3) 设备分类分级管理

A. 设备用电分级清单

级别	定义	设备清单	管理策略
A 级 核心设备	必须运行	<ul style="list-style-type: none"><li>主生产线</li><li>核心拉丝设备</li><li>捻股设备</li></ul>	24 小时运行，不参与调控
B 级 重要设备	可短时调节	<ul style="list-style-type: none"><li>空压机</li><li>循环水泵</li><li>热处理炉</li></ul>	可调节启停时间，可错峰运行
C 级 辅助设备	可较长时间调节	<ul style="list-style-type: none"><li>表面处理设备</li><li>检验设备</li><li>物流设备</li></ul>	优先安排平段/谷段使用
D 级 非生产设备	可灵活调节	<ul style="list-style-type: none"><li>照明</li><li>空调</li><li>办公设备</li><li>充电桩</li></ul>	严格分时管理，峰段最小化

B. 重点设备"一设一策"

以热处理炉组为例：

- 【设备名称】热处理炉 1#~8#
- 【总功率】8,000kW（单炉约 1,000kW）
- 【设备等级】B 级（重要设备）

【分时使用策略】

尖峰时段（10:00-11:00， 19:00-21:00）：

- ✗ 禁止新炉启动预热
- ✗ 禁止升温操作
- ✓ 仅允许保温维持

峰段时段（08:00-12:00， 16:00-19:00）：

- △ 控制启动数量（≤2 台同时预热）



- △ 错峰启动（间隔≥1 小时）
- ✓ 允许生产运行

- 平段时段（07:00-08:00， 12:00-16:00， 21:00-23:00）：
- ✓ 优先安排预热
  - ✓ 可同时启动 3~4 台

- 谷段时段（23:00-07:00）：
- ✓✓ 最优时段，全力预热
  - ✓✓ 可同时启动 4~6 台
  - ✓✓ 适度提前生产计划

- 【审批流程】
- 谷段/平段启动：班组长批准
  - 峰段启动：车间主任批准
  - 尖峰启动：生产副总批准（特殊情况）

- 【监测要求】
- 实时监测每台炉运行状态
  - 记录每次启动时间、持续时长
  - 月度分析峰谷用电占比

- 【考核指标】
- 谷段预热比例≥60%
  - 尖峰时段启动次数≤5 次/月

（4）激励与考核机制

A. 激励机制设计

激励类型	激励对象	激励内容	激励标准
节电奖励	车间/班组	按节省电费提取奖励	节省额的 5%~10%
创新奖励	个人	节能创新建议被采纳	500~5, 000 元/条
先进评选	车间/班组	年度“节能先进”称号	精神+物质奖励
管理奖励	管理人员	完成年度用电目标	纳入绩效考核

B. 考核指标体系

考核维度	考核指标	目标值	权重	考核周期
总量控制	月度总电量	环比下降≥3%	20%	月度
峰谷结构	峰段电量占比	≤35%	25%	月度
峰值控制	最大需量	不超过 17, 500kW	25%	月度
单耗水平	单位产品能耗	环比下降≥2%	15%	月度
制度执行	违规次数	0 次	15%	月度

c. 奖惩标准

考核结果	综合得分	奖惩措施
优秀	≥95 分	车间奖励 5 万元 + 通报表扬
良好	85~94 分	车间奖励 2 万元
合格	70~84 分	无奖惩
不合格	<70 分	车间主任约谈 + 下月重点监控
差	<60 分	扣除车间绩效 + 责任追究

4.2.6 运行策略优化方案总结

(1) 策略措施汇总

策略类别	主要措施	投资需求	年收益（万元）	实施周期
峰前预控	错峰启动、提前规避	0	77~145	1 个月
班次优化	班次时间调整、夜班增强	<30 万	96~220	3 个月
设备启停优化	空压机、热处理炉等	0	200~300	2 个月
谷段放大	负荷转移、生产前移	<50 万	600~1,200	3~6 个月
精细化管理	制度建设、激励考核	<20 万	100~200	持续
合计	-	<100 万	1,073~2,065	6 个月

(2) 实施路线图

【运行策略优化实施路线图】

第 1 个月：快速启动期

- └— 制度发布：《分时用电管理办法》
- └— 培训动员：全员培训、考核
- └— 快赢措施：车辆充电、照明控制
- └— 预期收益：20~30 万元/月

第 2~3 个月：全面推进期

- └— 设备优化：空压机、热处理炉启停优化
- └— 班次调整：班次时间前移 1 小时
- └— 监测系统：简易监测工具部署
- └— 预期收益：60~100 万元/月

第 4~6 个月：深化提升期

- └— 谷段强化：夜班人员增加、生产前移
- └— 精细管理：一设一策、精准调控
- └— 效果评估：数据分析、经验总结
- └— 预期收益：100~180 万元/月

第 7~12 个月：持续优化期

- └— 技术支撑：监测系统、控制系统上线

- └─ 模式固化：形成标准操作流程
- └─ 持续改进：动态优化、不断完善
- └─ 稳定收益：150~200 万元/月

### 4.3 电价策略与合同优化

**重要性：**电价策略选择和电力合同优化是降低用电成本的“基础工程”，选择合适的电价政策和合同模式，可实现“不改造、不调整、也节省”的效果。

#### 4.3.1 现行电价政策分析

##### （1）当前执行电价类型

根据电费清单，企业当前执行：

电价类型	具体政策	计费方式
基本电费	需量计费	当月最大需量 × 33 元/kW
电量电费	工商业分时电价	尖峰 1.0910 + 高峰 0.9526 + 平段 0.7358 + 低谷 0.3830 元/kWh
力调电费	功率因数考核	0.9 以上奖励，以下处罚

##### （2）基本电费计费方式对比

山东地区工商业用户基本电费有**两种计费方式**可选：

计费方式	计费公式	单价标准	适用场景
需量计费	最大需量×需量单价	33 元/kW·月	负荷波动大的企业
容量计费	变压器容量×容量单价	22 元/kVA·月	负荷稳定、利用率高的企业

##### （3）企业两种方式费用对比

当前情况：

- 变压器总容量：假设 30,000kVA（根据最大需量 18,000kW 推算）
- 月最大需量：约 18,000kW
- 负荷率：18,000 ÷ 30,000 = 60%

费用对比：

计费方式	月基本电费	年基本电费	差异
需量计费 (当前)	18,000 × 33 = 59.4 万元	712.8 万元	基准
容量计费	30,000 × 22 = 66.0 万元	792.0 万元	+79.2 万元

(备选)

结论：当前采用需量计费更优，应继续保持。

但如果实施削峰措施后：

假设削峰至 15,500kW：

计费方式	月基本电费	年基本电费	差异
需量计费 (削峰后)	$15,500 \times 33 = 51.15$ 万元	613.8 万元	基准
容量计费	$30,000 \times 22 = 66.0$ 万元	792.0 万元	+178.2 万元

结论：削峰后，需量计费优势更加明显！

### 4.3.2 电价政策优化建议

#### (1) 继续采用需量计费，但优化申报策略

##### A. 需量申报值优化

部分地区允许企业申报“月度需量值”，实际需量超过申报值按超出部分加倍计费，低于申报值按申报值计费。

优化策略：

- 根据月度生产计划动态申报需量值
- 淡季申报低值（如 15,000kW）
- 旺季申报高值（如 18,000kW）
- 需核实当地是否有此政策

#### (2) 争取峰谷电价优惠政策

##### A. 延长谷段时长申请

部分地区对高载能企业或参与需求响应的企业，可申请：

- 延长谷段时间（如提前至 22:00 开始）
- 增加深谷电价（如 0.30 元/kWh）

申请条件：

- 谷段用电量占比 $\geq 40\%$
- 参与需求响应

- 装表监测到位

潜在收益：

- 若谷段延长 1 小时，年增收约 30~50 万元

## B. 参与需求响应获取补贴

山东地区有多种需求响应补贴政策：

响应类型	补贴标准	参与要求	年收益估算
日前需求响应	200~400 元/MW · 次	响应能力 $\geq$ 1MW	50~100 万
实时需求响应	400~800 元/MW · 次	快速响应（ $\leq$ 15 分钟）	80~150 万
削峰填谷补贴	按效果补贴 峰谷差优化		30~60 万

企业具备条件：

- 可调节负荷：10,500~15,000kW ✓
- 快速响应能力：2,800~4,700kW ✓
- 建议积极参与！

### （3）探索市场化交易降低电价

#### A. 电力市场化交易模式

交易模式	适用对象	电价机制	降价空间
中长期交易	年用电量 $>$ 500 万 kWh	与发电企业直接交易	0.01~0.03 元/kWh
现货交易	灵活调节负荷的企业	实时电价	波动性收益
绿电交易	有绿色需求的企业	购买绿电	满足绿色要求

企业情况：

- 年用电量：约 1.8 亿 kWh，远超 500 万 kWh 门槛
- 建议参与中长期交易

潜在收益：

- 假设降价 0.02 元/kWh
- 年节省：1.8 亿  $\times$  0.02 = 360 万元

#### B. 市场化交易实施路径

【电力市场化交易实施路径】

第 1 步：准入申请（1~2 个月）

- └─ 向电力交易中心提交申请
- └─ 准备相关资质材料
- └─ 完成准入审核

第 2 步：选择售电公司（0.5~1 个月）

- └─ 比较多家售电公司方案
- └─ 评估服务能力和电价水平
- └─ 签订代理协议

第 3 步：参与交易（持续）

- └─ 参与月度竞价交易
- └─ 根据生产计划申报电量
- └─ 结算与监测

第 4 步：优化策略（持续）

- └─ 分析交易效果
- └─ 优化申报策略
- └─ 降低偏差考核

### 4.3.3 功率因数优化

#### （1）功率因数现状分析

根据电费清单，企业功率因数表现良好：

- 多数月份力调电费为负值（奖励）
- 估算功率因数： $\geq 0.93$

现状评价：

- 功率因数管理较好
- 获得力调奖励
- 建议继续保持

#### （2）进一步优化措施

措施	具体内容	投资	年收益
动态无功补偿	增加动态补偿装置	40 万	5~10 万
低效设备淘汰	淘汰功率因数低的老旧设备	视情况	提升整体效率
谐波治理	安装有源滤波器	60 万	5~8 万 + 设备保护

建议：

- 当前功率因数已较好，无需大规模投资
- 后续新增设备时注意功率因数指标

- 可考虑局部谐波治理

#### 4.3.4 电价策略优化总结

优化措施	实施难度	年收益（万元）	实施周期
继续采用需量计费	无	0（维持最优）	-
动态需量申报（如有政策）	低	20~40	持续
参与需求响应补贴	中	160~310	3~6 个月
参与电力市场化交易	中	200~360	2~3 个月
功率因数进一步优化	低	10~18	持续
合计	-	390~728	3~6 个月

### 4.4 综合方案对比与推荐

#### 4.4.1 方案对比矩阵

基于前述分析，形成三套综合优化方案：

##### 方案 A：保守方案（低投资、快见效）

实施内容	投资（万元）	年收益（万元）	投资回收期
运行策略优化（管理性措施）	30	400~600	<2 个月
简易监测系统	80	100~150	6~10 个月
电价策略优化（需求响应+市场化）	10	360~670	<1 个月
合计	120 万	860~1,420 万	约 2 个月

特点：

- 投资少，风险低
- 见效快，回收期短
- 不涉及大规模设备改造
- 对生产影响最小

适用情况：

- 企业资金紧张
- 需要快速见效证明
- 为后续投资积累资金和经验

##### 方案 B：基准方案（中等投资、稳健收益）

实施内容	投资（万元）	年收益（万元）	投资回收期
------	--------	---------	-------

实施内容	投资（万元）	年收益（万元）	投资回收期
完整监测系统	300	100~160	22~36 个月
运行策略全面优化	100	1,000~1,600	<2 个月
自动控制系统	95	200~300	4~6 个月
设备变频改造	120	60~90	16~24 个月
电价策略优化	10	360~670	<1 个月
合计	625 万	1,720~2,820 万	约 4~5 个月

特点：

- 投资适中，收益显著
- 回收期可接受
- 技术系统完整
- 可持续优化空间大

适用情况：

- 企业有一定投资能力
- 追求长期稳定收益
- 推荐方案

方案 C：积极方案（高投资、最大化收益）

实施内容	投资（万元）	年收益（万元）	投资回收期
基准方案全部内容	625	1,720~2,820	约 4~5 个月
储能系统（2MW/4MWh）	800	300~500	19~32 个月
蓄冷蓄热系统	200	100~150	16~24 个月
生产线深度优化	300	200~300	12~18 个月
智能化管理平台	150	提升整体效率 20%	融入总收益
合计	2,075 万	2,320~3,770 万	约 9~12 个月

特点：

- 收益最大化
- 技术先进性强
- 为虚拟电厂打好基础
- 投资较大，回收期较长

适用情况：

- 企业资金充裕
- 追求行业领先
- 规划虚拟电厂接入



4.4.2 方案推荐

推荐策略：分阶段实施

【三阶段实施策略】



4.5 总结

核心成果汇总

(1) 技术改造方案

系统	投资（万元）	年收益贡献（万元）	关键价值
用能监测系统	300	100~160	数据基础、管理工具
负荷预测告警系统	45	30~50	辅助决策
自动控制系统	95	200~300	提升效率、降低人工依赖
小计	440	330~510	技术支撑体系

**（2）运行策略优化**

策略	投资（万元）	年收益（万元）	关键价值
峰前预控	0	77~145	削峰降容
班次与启停优化	<30	296~520	峰谷转移
谷段放大	<50	600~1,200	最大化价值
精细化管理	<20	100~200	持续优化
小计	<100	1,073~2,065	管理优化

**（3）电价策略优化**

策略	投资（万元）	年收益（万元）	关键价值
需求响应参与	<10	160~310	补贴收益
市场化交易	0	200~360	电价降低
功率因数优化	可选	10~58	效率提升
小计	<10	370~728	政策红利

**综合推荐方案**

**推荐：分阶段实施策略**

阶段	时间	投资	年收益	关键里程碑
一期	T+0~6 月	120 万	860~1,420 万	运行优化全面实施、初步见效
二期	T+6~18 月	新增 505 万	1,720~2,820 万	技术系统建成、稳定运行
三期	T+18 月~	可选 1,450 万	2,320~3,770 万	深度优化、行业领先

