

5.4 技术平台对接方案

5.4.1 VPP 平台对接总体架构

(1) 技术架构全景图

【见上图：虚拟电厂平台对接架构】

架构说明：

- **L1 层（VPP 云平台）**：运营商侧，负责聚合调度和市场交易
- **L2 层（企业 EMS）**：企业侧核心，负责内部资源优化调度
- **L3 层（车间控制）**：分布式控制，按工序/区域管理
- **L4 层（设备执行）**：现场设备，实际执行调节动作

(2) 关键技术要求

技术模块	功能要求	技术指标	技术方案
实时通信	企业与 VPP 平台实时数据交互	延迟≤500ms	MQTT/HTTP/WebSocket
数据采集	负荷、设备状态实时采集	采样≤1s	智能电表+传感器
边缘计算	本地预处理、断网缓存	算力≥8 核	边缘计算网关
安全隔离	生产网与 VPP 接口隔离	等保三级	网闸+防火墙+VPN
自动控制	响应指令自动执行	响应时间≤5min	PLC/DCS 控制系统
可视化	实时监控与历史分析	Web/移动端	可视化平台

5.4.2 监测与数据采集系统对接

(1) 在现有监测系统基础上的增强

基于已有的监测系统，增加 **VPP 专用功能**：

增强模块	功能	实现方式
VPP 数据接口	实时数据上传至 VPP 平台	API 开发+边缘网关
基线负荷计算	自动计算响应基线	算法模块
响应效果监测	实时对比响应前后负荷	算法模块
多维度分组	按 VPP 要求分组上报	数据重组模块
历史数据接口	向 VPP 提供历史数据	数据库接口
告警联动	响应失败自动告警	规则引擎
合计	-	-

(2) VPP 专用监测点位

除常规监测点位外，新增 VPP 专用监测：

监测对象	监测目的	点位数	备注
可调节负荷总表	监测可参与 VPP 的总容量	1	虚拟计量点
快速响应资源	I 级资源独立计量	5	照明、空调等
关键工序负荷	生产影响评估	8	核心生产线
备用资源	备用响应能力监测	3	备用设备

(3) 数据上传规范

A. 实时数据包（每分钟上传）

```
{
  "timestamp": "2024-01-15T14:30:00+08:00",
  "enterprise_id": "SD_STEEL_CORD_001",
  "data": {
    "total_load": 15200,           // 当前总负荷 (kW)
    "controllable_load": 8500,    // 可调节负荷 (kW)
    "baseline_load": 15800,       // 基线负荷 (kW)
    "response_status": "idle",    // 响应状态: idle/responding/completed
    "resource_pools": {
      "level_1": {                // I 级快速响应资源
        "available_capacity": 560,
        "status": "ready"
      },
      "level_2": {                // II 级常规响应资源
        "available_capacity": 2200,
        "status": "ready"
      },
      "level_3": {                // III 级计划响应资源
        "available_capacity": 4500,
        "status": "ready"
      }
    },
    "equipment_status": {         // 关键设备状态
      "air_compressors": "3_running_1_standby",
      "heat_treatment_furnaces": "6_running_2_standby",
      "circulating_pumps": "4_running_1_standby"
    }
  },
  "signature": "SHA256_HASH_VALUE" // 数据签名
}
```

B. 响应执行数据包（响应期间每 5 秒上传）

```

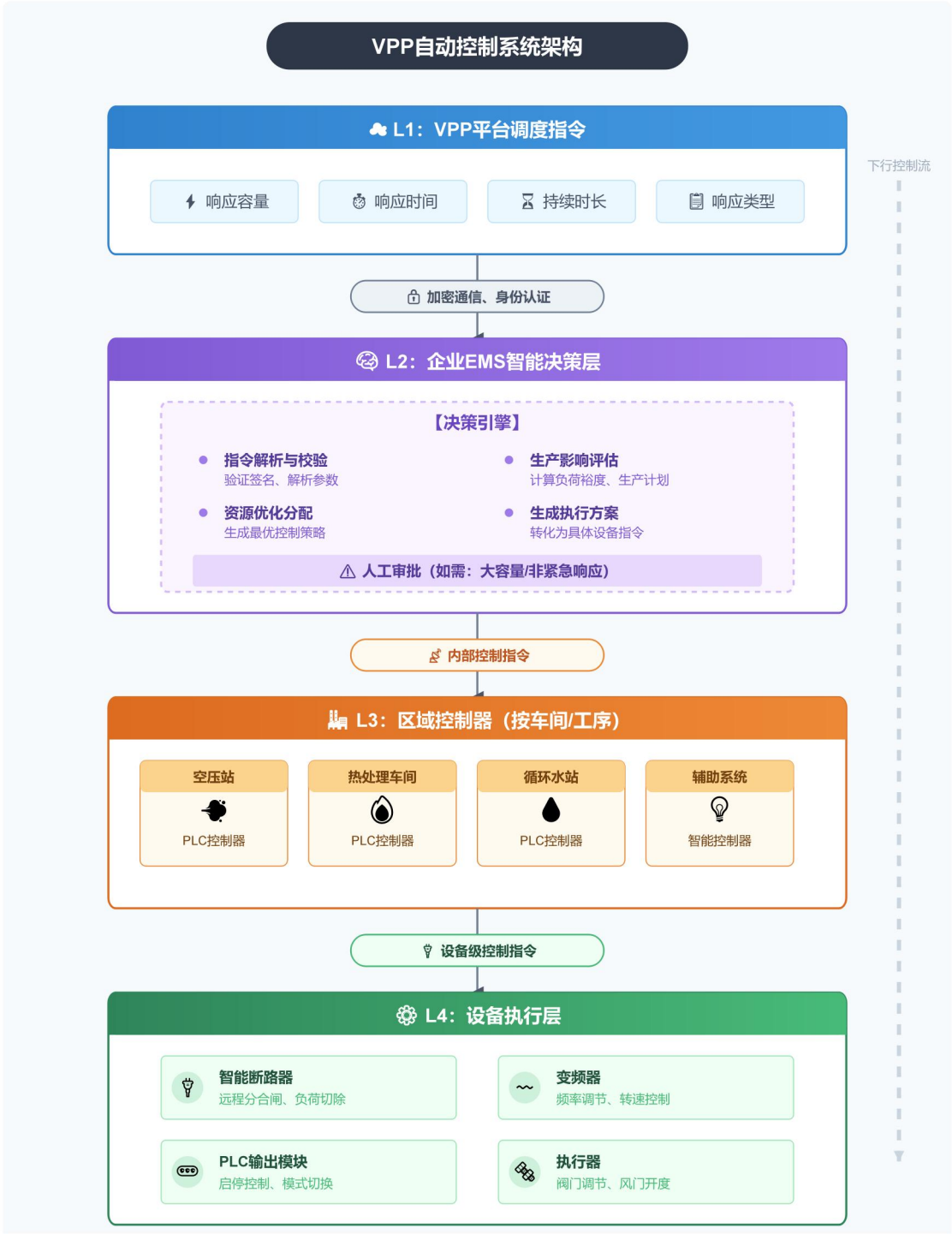
{
  "timestamp": "2024-01-15T14:35:00+08:00",
  "enterprise_id": "SD_STEEL_CORD_001",
  "response_id": "RESP_20240115_001",
  "data": {
    "response_start_time": "2024-01-15T14:30:00+08:00",
    "baseline_load_before": 15800,          // 响应前 15 分钟平均负荷
    "current_load": 13500,                  // 当前负荷
    "actual_reduction": 2300,               // 实际削减量 (kW)
    "target_reduction": 2000,               // 目标削减量 (kW)
    "achievement_rate": 115,                // 完成率 (%)
    "executed_actions": [                  // 已执行动作
      {
        "resource_id": "FR-03",
        "resource_name": "非必要照明",
        "action": "switch_off",
        "capacity": 100,
        "status": "success"
      },
      {
        "resource_id": "SR-01",
        "resource_name": "空压机 2#",
        "action": "shutdown",
        "capacity": 200,
        "status": "success"
      }
    ]
  }
}

```

5.4.3 自动控制系统对接

(1) 控制系统层次架构

【VPP 自动控制系统架构】



（2）自动控制模式设计

模式 A：全自动模式（推荐用于快速响应）

流程阶段	执行内容	执行方式	时间
指令接收	接收 VPP 平台响应指令	自动	T+0s
指令校验	校验指令合法性、完整性	自动	T+1s
影响评估	评估对生产的影响	自动（规则引擎）	T+5s

流程阶段	执行内容	执行方式	时间
资源分配	选择最优响应资源组合	自动（优化算法）	T+10s
执行控制	下发控制指令到设备	自动	T+15s
效果监测	实时监测响应效果	自动	持续
反馈上报	上报执行情况到 VPP	自动	实时

适用场景：

- I 级快速响应（≤5 分钟）
- II 级常规响应（≤15 分钟），且预案清晰
- 辅助服务市场（快速响应）

优势： 响应快速、无需人工干预、适合高频次响应

模式 B：半自动模式（推荐用于大容量响应）

流程阶段	执行内容	执行方式	审批要求
指令接收→评估	同全自动模式	自动	-
生成方案	系统自动生成 3 套响应方案	自动	-
人工审批	调度员/主管选择方案或调整	人工	容量>2MW
执行控制→反馈	同全自动模式	自动	-

适用场景：

- III级计划响应（≥4 小时通知）
- 响应容量>2,000kW
- 涉及核心生产工序

优势： 平衡自动化与安全性，关键决策人工把关

模式 C：手动模式（备用模式）

流程阶段	执行内容	执行方式
指令接收	接收 VPP 指令并提示	自动
方案制定	调度员手动制定响应方案	人工
执行控制	人工操作或授权系统执行	人工
效果监测	系统自动监测并提示	自动
反馈上报	人工确认后系统上报	半自动

适用场景：

- 系统故障时的备用方案
- 特殊生产状况（如重要订单）

- 培训与演练

(3) 安全防护机制

三层安全防护：

【VPP 自动控制安全防护体系】



(4) 控制系统投资估算

项目	内容	数量	单价（万元）	小计（万元）
决策引擎软件	EMS 智能决策模块	1 套	40	40
区域控制器	车间级 PLC 控制器	4 套	3	12
智能执行器	智能断路器、接触器等	50 个	0.3	15
VPP 通信网关	企业-VPP 通信网关	2 台（主备）	5	10
安全防护系统	网络安全、权限管理	1 套	20	20
调试与集成	系统集成、联调测试	1 项	25	25

项目	内容	数量	单价（万元）	小计（万元）
合计	-	-	-	122 万

5.4.4 数据与应用平台建设

（1）企业侧 VPP 管理平台功能模块

【企业 VPP 管理平台功能架构】



（2）关键功能界面设计

A. 实时监控大屏

项目	内容	投资（万元）
数据库系统	实时+历史数据库	10
服务器硬件	应用服务器（若未建）	0（已含在第四章）
可视化大屏	LED 大屏显示（若未建）	0（已含在第四章）
移动端 APP	iOS+Android APP	20
系统集成调试	与 VPP 平台对接测试	15
合计	-	105 万

5.5 市场交易策略设计

5.5.1 需求响应市场参与策略

（1）需求响应市场机制

山东省需求响应市场结构：

市场类型	启动方式	通知时间	响应时长	补偿标准	频次
年度邀约型	年初签约	提前 7 天	2~4 小时	200~300 元 /MW·次	30~50 次/年
日前邀约型	日前通知	提前 24 小时	1~3 小时	250~400 元 /MW·次	50~80 次/年
实时邀约型	实时通知	提前 15 分钟~2 小时	30 分钟~2 小时	400~800 元 /MW·次	20~40 次/年
尖峰需求响应	紧急启动	提前 5~30 分钟	15 分钟~1 小时	800~1,500 元 /MW·次	5~15 次/年

（2）分级参与策略（续）

具体参与方案：

市场类型	申报容量	年响应次数	年收益（万元）	参与策略
年度邀约	2,000kW	40 次	$2\text{MW} \times 250 \text{ 元} \times 40 = 20$	积极参与，承诺容量保守
日前邀约	2,500kW	60 次	$2.5\text{MW} \times 300 \text{ 元} \times 60 = 45$	主力参与，灵活调整
实时邀约	1,500kW	30 次	$1.5\text{MW} \times 600 \text{ 元} \times 30 = 27$	选择性参与，保障生产
尖峰响应	800kW	10 次	$0.8\text{MW} \times 1000 \text{ 元} \times 10 = 8$	应急参与，高补偿
合计	-	140 次	100	多层次参与，分散风险

（3）响应决策矩阵

【需求响应决策矩阵】



(4) 典型响应场景案例

场景 A：日前邀约响应（最常见）

要素	内容
通知时间	前一日 18:00 收到次日 14:00~16:00 响应通知
响应要求	削减负荷 2,000kW，持续 2 小时
补偿标准	300 元/MW·次，预计收益：2MW×300 元=600 元
企业决策	接受响应
响应方案	<ul style="list-style-type: none">• 热处理炉 1#、2#预热工作提前至 12:00~14:00 完成• 表面处理批次从 14:00 调整至 16:30• 空压机 1 台暂停（200kW）• 循环水泵降速（150kW）• 非必要照明、空调调整（150kW） 合计削减：2,200kW
对生产影响	通过提前和延后安排，对生产无实质影响
实际效果	实际削减 2,180kW，达标率 109%，获得收益 654 元

场景 B：实时紧急响应

要素	内容
通知时间	当日 14:45 收到 15:00~15:30 响应通知
响应要求	削减负荷 1,000kW，持续 30 分钟
补偿标准	600 元/MW·次，预计收益：1MW×600 元=600 元
企业决策	接受响应（响应时间紧，调用 I+II 级资源）
响应方案	<ul style="list-style-type: none">• 空压机 1 台立即停机（200kW）- 自动执行• 非必要照明关闭（100kW）- 自动执行• 办公区空调上调 2℃（120kW）- 自动执行• 冷却塔 2 台风机暂停（60kW）- 自动执行• 部分表面处理设备暂停（300kW）- 人工确认• 循环水泵降速（150kW）- 人工确认 合计削减：930kW
对生产影响	30 分钟短时影响，可接受
实际效果	实际削减 950kW，达标率 95%，获得收益 570 元

5.5.2 辅助服务市场参与策略

（1）辅助服务市场机会分析

山东电力辅助服务市场包括：

服务类型	服务内容	补偿标准	企业适合度	参与建议
调频服务	秒级~分钟级快速调节	1,000~1,500 元/MW·次	★★ 较难	需配储能, 当前不适合
备用服务	待命, 按需调用	500~800 元/MW·次	★★★★ 适合	优先参与
调峰服务	削峰填谷	200~400 元/MW·次	★★★★★ 很适合	重点参与
无功调节	无功功率支持	按效果补偿	★ 不适合	当前功率因数已达标
黑启动	电网故障恢复支持	固定容量补偿	★ 不适合	需配自备电源

(2) 备用服务参与策略

备用服务机制:

- 企业承诺一定容量作为"备用"
- 平时不调用, 仅在电网紧急情况下调用
- 按月支付固定容量费+按次支付调用费

参与方案:

备用类型	承诺容量	响应时间要求	月容量费	年调用次数	调用补偿	年收益(万元)
旋转备用	500kW	≤1 分钟	100 元/kW	20 次	800 元/MW·次	$500 \times 0.1 \times 12 + 0.5 \times 800 \times 20 = 14$
非旋转备用	1,500kW	≤10 分钟	50 元/kW	30 次	500 元/MW·次	$1500 \times 0.05 \times 12 + 1.5 \times 500 \times 30 = 31.5$
合计	2,000kW	-	-	-	-	45.5

优势:

- 调用频次低, 对生产影响小
- 有固定容量收益, 类似"保险费"
- 是稳定的基础收益来源

(3) 调峰服务参与策略

削峰调峰:

- 在电网负荷高峰时段削减负荷
- 与需求响应类似, 但结算方式不同

- 按削减电量(kWh)结算，而非按次

填谷调峰：

- 在电网负荷低谷时段增加负荷
- 帮助电网消纳新能源电量
- 按增加电量结算+给予电价优惠

参与方案：

调峰方向	参与容量	年调峰时长	补偿标准	年收益（万元）
削峰	2,000kW	200 小时	0.3 元/kWh	$2000 \times 200 \times 0.3 \div 10000 = 12$
填谷	2,500kW	300 小时	0.15 元/kWh	$2500 \times 300 \times 0.15 \div 10000 = 11.25$
合计	-	500 小时	-	23.25

5.5.3 现货市场套利策略

（1）电力现货市场机制

山东电力现货市场特征：

- 日前市场：提前一天申报，按 15 分钟出清
- 实时市场：日内滚动出清，按 5 分钟出清
- 价格波动：日内价格波动 0.2~0.8 元/kWh，极端情况可达 1.5 元/kWh

适合套利的场景：

时段	典型电价	套利机会	操作方式
夜间低谷（02:00-06:00）	0.25~0.35 元/kWh	低价购电	增加可转移负荷
上午尖峰（10:00-11:00）	0.95~1.20 元/kWh	高价避开	削减可控负荷
午后平段（13:00-15:00）	0.60~0.75 元/kWh	适度用电	正常生产
晚间尖峰（19:00-21:00）	0.90~1.15 元/kWh	高价避开	削减可控负荷

（2）无储能情况下的套利策略

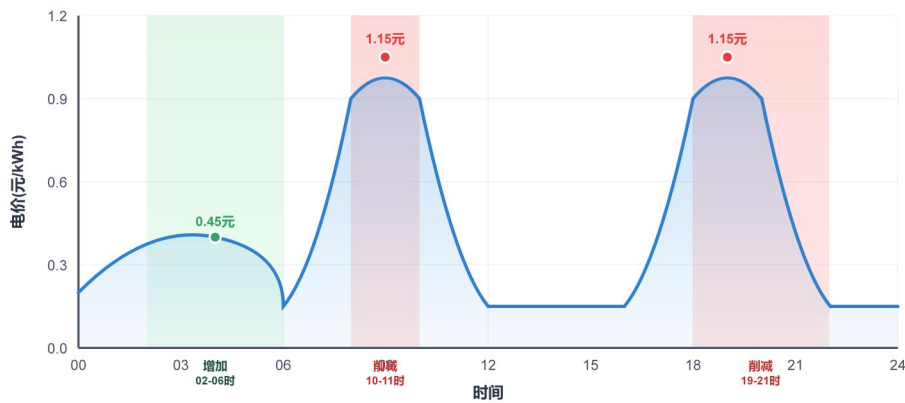
当前企业无储能，套利手段有限，但可通过负荷转移实现：

策略 A：日内负荷转移

【日内负荷转移套利】

日内负荷转移套利策略

典型工作日现货电价曲线与负荷调整策略



削减时段 (10:00-11:00, 19:00-21:00)

- 热处理炉暂停启动 削减功率: 约900kW
- 表面处理批次推迟 削减功率: 约600kW
- 辅助设施最小化 削减功率: 约500kW

增加时段 (02:00-06:00)

- 热处理炉提前预热 增加功率: 约1200kW
- 空压机满负荷储气 增加功率: 约800kW
- 蓄冷蓄热系统 增加功率: 约500kW

套利收益计算

日均套利:

削减收益 = 削减2000kW × 2小时 × 0.5元/kWh = 2,000元

增加收益 = 增加2500kW × 3小时 × 0.15元/kWh = 1,125元

日净收益 = 2,000 + 1,125 = 3,125元/天

年套利收益: 3,125元 × 300天 = 93.75万元

策略 B: 周内负荷优化

策略	具体操作	收益机制
周末低价囤能	周末电价较低时，增加生产强度	利用周末低电价（比工作日低 10%~15%）
工作日高峰避让	工作日高峰时段生产强度降低	避开工作日高电价时段
灵活排产	非紧急订单优先安排周末/夜间	降低平均电价

年收益估算： 20~30 万元

(3) 配置储能后的套利策略（未来选项）

若企业配置储能系统（如 2MW/4MWh）：

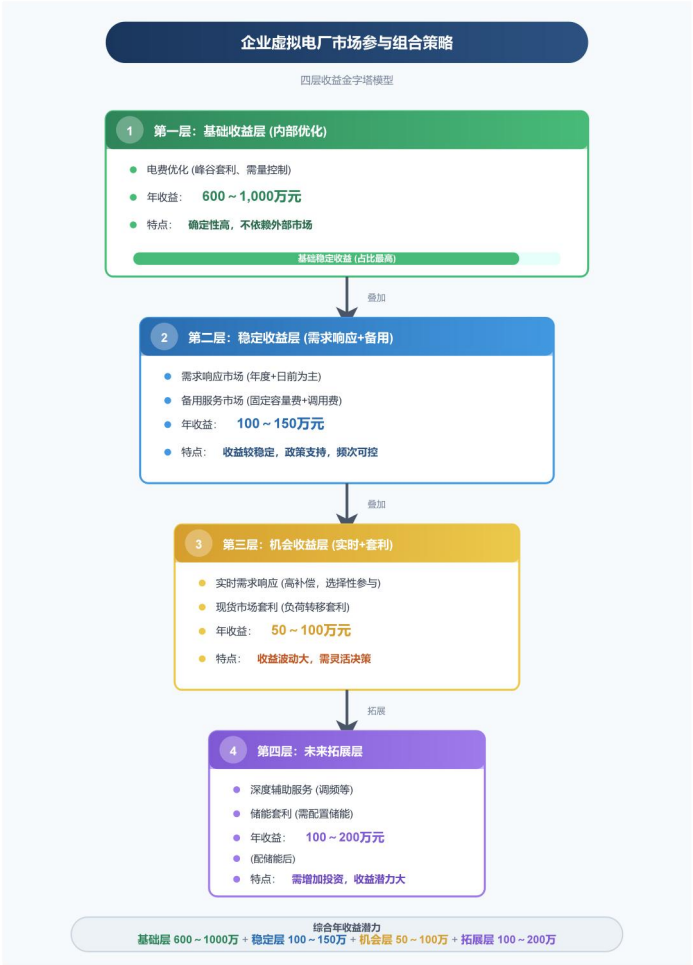
套利模式	操作方式	日收益	年收益（万元）	投资回收期
峰谷套利	谷段充电、峰段放电	$4\text{MWh} \times 0.5 \text{ 元} = 2,000 \text{ 元}$	$2000 \times 300 \text{ 天} = 60 \text{ 万}$	储能投资 800 万 回收期 13 年
现货套利	低价充电、高价放电	$4\text{MWh} \times 0.7 \text{ 元} = 2,800 \text{ 元}$	$2800 \times 250 \text{ 天} = 70 \text{ 万}$	回收期 11 年
需求响应增强	储能辅助响应	+500 元	+15 万	
合计	-	约 3,300 元	145 万	约 5.5 年

建议：当前储能经济性一般，建议待储能成本降低或政策更优时再考虑。

5.5.4 综合市场参与策略与收益汇总

(1) 市场参与组合策略

【企业虚拟电厂市场参与组合策略】



【总收益】当前可实现：750~1,250 万元/年
配储能后可达：850~1,450 万元/年

(2) 市场参与收益汇总表

市场类型	参与方式	年收益（万元）	收益占比	确定性	实施难度
内部优化	峰谷套利、需量控制	600~1,000	68%~73%	★★★★★	低
需求响应	四类市场组合参与	100~120	11%~9%	★★★★★	中
备用服务	旋转+非旋转备用	40~50	5%~4%	★★★★★	中
调峰服务	削峰+填谷	20~30	2%~2%	★★★★	中
现货套利	负荷转移套利	20~50	2%~4%	★★	较高
其他收益	辅助服务、创新项目	10~20	1%~1%	★★	高
合计（当前）	-	790~1,270	100%-	-	-
储能增值（未来）	峰谷套利+辅助服务	+100~150	-	★★★★	需投资
总计（配储能）	-	890~1,420	--	-	-

5.6 收益模式与分配机制

5.6.1 虚拟电厂运营商合作模式

(1) 主流合作模式对比

合作模式	模式描述	收益分配	适用场景	优缺点
A. 平台服务费模式	企业自主运营，平台提供技术服务	企业 90%~95% 平台 5%~10%（固定服务费）	企业能力强，有自主团队	<div> <div>✓</div> <div>✗</div> </div> 企业收益高 企业需投入人力
B. 收益分成模式	平台负责运营，按收益分成	企业 60%~80% 平台 20%~40%	最常见模式	<div> <div>✓</div> <div>✓</div> <div>✗</div> </div> 企业零投入 激励相容 收益分成较多
C. 保底+分成模式	平台保证最低收益，超额分成	保底收益全给企业 超额部分 5:5 或 6:4	企业风险偏好低	<div> <div>✓</div> <div>✗</div> </div> 收益有保障 保底价较低
D. 合同能源管理模式	平台投资建设，从节省电费中分成	企业 50%~70% 平台 30%~50% (3~5 年)	企业无资金投入	<div> <div>✓</div> <div>✗</div> </div> 零投资 分成期较长

(2) 推荐合作模式

推荐：收益分成模式（B 模式）

分成方案示例：

收益来源	企业占比	平台占比	说明
内部优化收益	85%	15%	平台提供优化算法和策略
需求响应补贴	70%	30%	平台提供市场对接和运营
辅助服务收益	65%	35%	平台承担市场风险
现货市场收益	60%	40%	平台提供交易策略

年收益分配测算（以中位值计算）：

收益来源	总收益（万元）	企业收益（万元）	平台收益（万元）
内部优化	800	$800 \times 85\% = 680$	$800 \times 15\% = 120$
需求响应	110	$110 \times 70\% = 77$	$110 \times 30\% = 33$
辅助服务	45	$45 \times 65\% = 29$	$45 \times 35\% = 16$
现货套利	35	$35 \times 60\% = 21$	$35 \times 40\% = 14$
合计	990	807	183

企业年净收益：约 807 万元（占总收益的 82%）

5.6.2 结算规则与流程

（1）结算周期

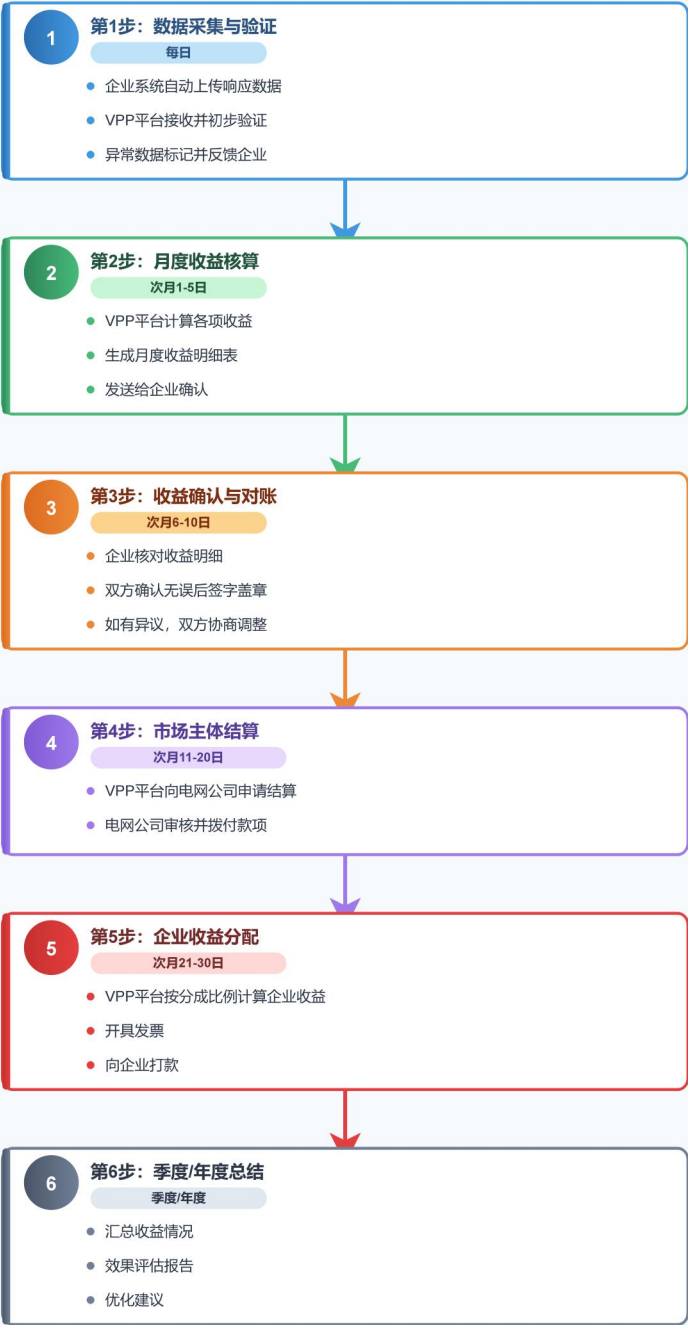
收益类型	结算周期	结算时间	到账时间
需求响应补贴	月度	次月 10 日结算	次月底到账
辅助服务收益	月度	次月 15 日结算	次月底到账
现货市场收益	月度	次月 5 日结算	次月 20 日到账
内部优化收益	季度	季度末核算	与电费一起体现

（2）结算流程

【VPP 收益结算流程】

VPP收益结算流程

从数据采集到收益分配的完整闭环



循环改进

完整结算周期时间轴



标准结算周期：从响应执行到收益到账约 30-40天

(3) 收益核算示例

某月收益核算单（示例）：

结算中心

导出PDF

虚拟电厂月度收益结算单

结算单号：SETT-202407-0045

结算月份：2024年7月

企业名称：山东某钢帘线有限公司

运营商：国网山东综合能源服务有限公司

一、需求响应收益明细

日期	类型	容量(kW)	时长(h)	补偿标准	收益(元)	状态
07-02	日前	2,200	2.0	300	1,320	✓ 完成
07-05	日前	1,800	1.5	300	810	✓ 完成
07-08	实时	1,500	1.0	600	900	✓ 完成
07-12	日前	2,500	2.0	300	1,500	✓ 完成
07-15	尖峰	800	0.5	1,000	400	✓ 完成
... (省略3条记录)						
07-28	日前	1,900	2.0	300	1,140	✓ 完成
小计：9次响应，成功率100%				合计收益：9,025 元		

二、辅助服务收益明细

• 备用容量费 (旋转) 50,000

• 备用容量费 (非旋转) 75,000

• 备用调用费 1,200

• 调峰服务 12,000

小计 138,200 元

三、内部优化收益 (估算)

• 峰谷优化节省 65,000

• 需求控制节省 12,000

• 现货套利收益 8,000

小计 85,000 元

四、收益汇总与分配

收益类型	总收益(元)	企业占比	企业收益(元)	平台收益(元)
需求响应	9,025	70%	6,318	2,707
辅助服务	138,200	65%	89,830	48,370
内部优化	85,000	85%	72,250	12,750
合计	232,225	-	168,398	63,827

本月企业应收金额 (税前):

¥ 168,398.00

人民币(大写): 壹拾陆万捌仟叁佰玖拾捌元整

企业确认签字 (盖章):

平台确认签字 (盖章):

日期:

日期:

系统生成时间: 2024-08-05 10:00:00 | 第 1 页 / 共 1 页

5.7 总结

5.7.1 虚拟电厂接入方案综述

(1) 技术方案总结

技术模块	建设内容	投资（万元）	实施周期
监测系统增强	VPP 数据接口、响应监测	25	1~2 个月
控制系统对接	自动控制、决策引擎	30（增量）	2~3 个月
通信系统建设	VPP 通信网关、安全防护	50	1~2 个月
应用平台建设	VPP 管理平台、移动端	40（增量）	3~4 个月
系统集成调试	联调测试、试运行	20	1~2 个月
合计	-	165	6 个月

(2) 商业模式总结

【虚拟电厂商业价值创造路径】



5.7.2 实施路线图

虚拟电厂接入三阶段实施路线图



