

钢铁企业用户侧储能项目经济评价与风险分析

黄鹿江

(上海梅山钢铁股份有限公司,江苏 南京 210000)

摘要:项目效益及投资风险分析对用户侧储能项目投资决策至关重要。为了评估储能项目在不同场景下的经济可行性,本文剖析了用户侧储能项目的建设模式、成本构成及收益来源,构建了基于“成本-收益分析法”的经济效益评价指标体系,并引入“敏感性分析法”量化关键因素变动对经济性的影响,进而识别项目风险并提出应对策略。以某钢铁企业用户侧储能项目为例,测算了度电成本、投资回收期、净现值及内部收益率等指标,结果表明该项目各项经济指标均满足行业基准要求。在此基础上,进一步开展了敏感性分析与盈亏平衡分析,并根据分析结果制定了风险防控对策。本文成果可为同类用户侧储能电站的投资决策提供参考。

关键词:用户侧储能;合同能源管理;经济性评价;成本-收益分析;盈亏平衡分析;敏感性分析;钢铁企业

中图分类号:F426.61

文献标志码:A

文章编号:1673-8993(2026)06-0067-06

doi:10.13402/j.gcjs.2026.06.069

Economic evaluation and risk analysis of user-side energy storage projects in iron&steel enterprises

HUANG Lujiang

(Shanghai Meishan Uion&Steel Co., Ltd., Nanjing 210000, Jiangsu, China)

Abstract: Project benefit and investment risk analysis are crucial for investment decisions in user-side energy storage projects. To evaluate the economic feasibility of energy storage projects under different scenarios, this paper examines the construction models, cost structures, and revenue sources of user-side energy storage projects. An economic benefit evaluation index system based on the “cost-benefit analysis method” is developed, and the “sensitivity analysis method” is introduced to quantify the impact of key factor variations on economic performance, thereby identifying project risks and proposing countermeasures. Taking a user-side energy storage project in a steel enterprise as a case study, indicators such as levelized cost of energy (LCOE), payback period, net present value (NPV), and internal rate of return (IRR) are calculated. The results show that all economic indicators meet industry benchmark requirements. On this basis, further sensitivity analysis and break-even analysis are conducted, and risk prevention and control measures are formulated based on the analysis results. The findings of this paper can serve as a reference for investment decisions in similar user-side energy storage power stations.

Key words: user-side energy storage; energy management contract (EMC); economic evaluation; cost-benefit analysis; break-even analysis; sensitivity analysis; iron and steel enterprises

钢铁企业用电特点是负荷大、能源电费成本敏感、用电负荷波动大,且面临碳减排压力。用户侧储能的核心优势是贴近终端负荷,能直接解

决用户在“降成本、保供电、适配新能源”三大核心需求。依托用户侧储能可实现“低谷充电、高峰放电”,可充分利用峰谷价差降低10%~

收稿日期:2026-01-09

作者简介:黄鹿江(1983—),男,工程师,从事钢铁企业固定资产投资工程经济研究。

15% 的用电成本。但早期储能项目多依赖政策补贴,随着储能容量补贴逐步减少、取消,储能项目自身经济性已成为投资可行性决策的核心依据。

唐西胜等^[1]分析了储能投资运营主体、应用场景模式、储能技术等对储能规划的影响,提出了用户侧电、热、氢多元储能合作/竞争共存下的规划方法。邱志辉等^[2]通过分析浙江省新分时电价政策,构建储能项目的经济收益模型,对比不同分时电价政策下的收益差异。李浩^[3]探讨了用户侧储能的商业模式,研究了用户侧储能经济性评价模型,从经济性的角度给出了用户侧储能容量配置方法。俞容江等^[4]提出了基于共享储能理念的第三方投资储能商业模式,以杭州电网为计算案例验证了所提商业模式的经济性和有效性。

本文针对钢铁企业用电特点,基于 EMC 合同能源管理模式,构建用户侧储能电站项目模型,从项目全生命周期出发,运用“成本-收益分析法”系统测算项目经济效益各项指标,同时采用“敏感性分析法”量化关键指标的变化对项目经济性的影响程度,分析项目潜在风险并制定相应措施,为投资方对该类用户侧储能电站提供项目决策支撑。

1 项目经济性评价与风险分析技术

1.1 确定性分析:基于成本-收益分析法的核心指标与计算方法

成本-收益分析法是判断项目方案优劣与经济可行性的决策与评估分析方法,通过量化项目全生命周期内的总成本与总收益,计算净现值、投资回收期、内部收益率等指标。

1.2 核心评价指标

1.2.1 净现值

净现值兼顾资金时间价值,同时反映项目绝对收益,是判断项目盈利空间的关键指标。净现值 > 0 时,项目可行,数值越大盈利能力越强。公式:

$$y_{NPV} = \sum_{t=0}^n \frac{(x_{CI} - x_{CO})_t}{(1 + i_c)^t} \quad (1)$$

式中: y_{NPV} 为净现值; $(x_{CI} - x_{CO})_t$ 为第 t 年的净现金流量; i_c 为基准收益率; n 为项目计算期; t 为年份。

1.2.2 投资回收期

投资回收期是累计净现金流转正的时间,是衡量项目资金的周转速度和回收风险的核心指标。回收期越短,资金周转越快,项目风险越小。是否考虑资金时间价值,可分为静态投资回收期和动态投资回收期,公式为

$$y_{PBP} = (T - 1) + \frac{|C_{T-1}|}{C_T} \quad (2)$$

式中: y_{PBP} 为投资回收期; T 为累计净现金流量首次转正的年份序号; C_{T-1} 为第 $T-1$ 年的净现金流量; C_T 为第 T 年的净现金流量。

1.2.3 收益率

内部收益率 y_{IRR} 是净现值为 0 的折现率,反映实际收益率,体现折现逻辑,验证项目长期收益效率。 y_{IRR} 一般情况下越大越好,只有高于资金成本,项目才可能赚钱。公式:

$$\sum_{t=0}^n \frac{(x_{CI} - x_{CO})_t}{(1 + y_{IRR})^t} = 0 \quad (3)$$

以上指标的计算数据密集、环环相扣、相对繁琐,需要总成本费用表、折旧摊销表、营业收入表、利润与利润分表、借款还本付息表、现金流量表等多张辅助表格支撑才能计算。一般可采用如 Excel 软件多表关联计算,如使用专业软件则可极大地提升计算效率。

3 个指标需要相互配合使用,内部收益率提供项目“上不上、上哪个”的决策依据,净现值则解答能够赚多少钱,回收期反映多久能够回本。一般在项目财务分析中,除了这 3 个指标,还需要根据项目涉及行业等因素,配合其他指标使用,为项目决策提供更精准的支撑。

1.3 不确定性分析:盈亏平衡与敏感性分析方法

1.3.1 盈亏平衡分析

盈亏平衡分析一般是将产量、单价、成本等因素作为变量,计算利润为 0 时的各项技术经济指标,主要用于判断项目的风险水平、安全边际等。盈亏平衡点并非越高或越低越好,需根据不同指标分析。盈亏平衡产量、单价计算公式如下。

$$Q^* = \frac{C_F}{P - C_V} \quad (4)$$

$$P^* = C_V + \frac{C_F}{Q} \quad (5)$$

式中： Q^* 为盈亏平衡点对应的产量； C_F 为年固定成本； P 为产品单价； C_V 为单位变动成本； P^* 为盈亏平衡点对应的单价； Q 为年产量。

1.3.2 敏感性分析

敏感性分析是研究投资额、产量、价格、成本等因素变化时，对项目技术经济指标的影响程度，从而找出项目的敏感因素。以基础数据为参照，一般以 $\pm 5\%$ 、 $\pm 10\%$ 、 $\pm 15\%$ 、 $\pm 20\%$ 为幅度，逐一计算每个技术经济指标在变动后的数值。再计算出敏感度系数，敏感度系数绝对值越大，对技术经济指标越敏感。敏感度系数计算公式如下：

$$S_{AF} = \frac{\Delta A/A}{\Delta F/F} \tag{6}$$

式中： S_{AF} 为敏感度系数， ΔA 为评价指标的变动量； A 为评价指标的原始值； ΔF 为不确定因素的变动量； F 为不确定因素的原始值。

高敏感性因素需作为重点风险管控对象，重点监控并制定预案。同时也可以结合多个变量进行多因素敏感性分析，开展最乐观/最悲观情景分析。

盈亏平衡、敏感性分析每次变量变动均需重新计算技术经济指标，需充分利用 Excel 软件或专业软件进行调整测算，以提高效率。

2 研究模型介绍

2.1 项目概况

项目模型建设投资为 1.92 亿元，采用合同能源管理投资模式(投资单位与用能单位收益分享比例为 80%：20%)，建设期 1 a，运营期 15 a；装机规模为 80 MW/160 MW，采用磷酸铁锂电池(运营期第 8 年更换 1 次电芯)；运行策略为每天两充两放，放电深度为 90%，年衰减率为 2%，年放电次数为 680 次，对应年均充电量约为 91 755 MW·h，年均放电电量约为 88 085 MW·h。

2.2 资金筹措

项目建设投资资金来源为 40% 资本金，60% 银行贷款。贷款利率按 4% 执行，贷款偿还期为 10 a，采用等额还本、利息照付方式。

2.3 总成本费用

项目主要成本包括投资折旧摊销、运营维护

成本、充电费用、EMC 收益分享及财务费用，基于前述技术经济指标模型测算，具体数据如表 1 所示。

表 1 总成本费用估算 万元

项目	合计成本	年均成本
运营维护成本	1 800.00	120.00
充电费用	59 869.99	3 991.00
EMC 收益分享	12 000.00	800.00
投资折旧摊销	24 000.00	1 600.00
财务费用	2 764.80	184.00
总成本费用	100 434.79	6 696.00
经营成本	73 669.99	4 911.00

支付给用能单位的年均收益分成计入经营成本；项目年均折旧摊销按 4% 残值率采用直线折旧法计算(含运营期第 8 年电芯更换费用 8 000 万元)。

2.4 收入与利润情况

用户侧储能核心收益来源包含四大渠道：峰谷价差套利、需量电费节省、电网需求响应收益、政策补贴。基于前述技术经济指标模型测算，具体数据如表 2 所示。

表 2 收入与利润 万元

项目	合计	年均
销售收入	121 015.01	8 067.67
销售税金附加	717.25	47.82
总成本费用	100 434.79	6 695.65
利润总额	19 862.97	1 324.20
所得税	4 965.74	331.05
净利润	14 897.22	993.15
息税前利润	22 627.77	1 508.52
息税折旧摊销前利润	46 627.77	3 108.52

其中：所得税税率为 25%，增值税税率为 13% (不享受“三免三减半”政策)，年均销售税金及附加税率为 12%。需量电费节省、电网需求响应收益、政策补贴等其他收益，本次测算暂未纳入。

3 经济评价

采用“成本－收益分析法”对全生命周期数据进行测算，重点分析盈利能力与资金回收能力，通过计算关键财务指标判断项目财务可行性，项

目现金流量如表 3 所示。

3.1 度电成本

储能平准化度电成本 (levelized cost of electricity, LCOE) 的核心逻辑是全生命周期总成本与总放电量的比值。测算时需重点考虑储能“充放电转换”特性(如充放电效率、电池循环寿命对实际放电量的影响)。基于前述项目指标计算得出, LCOE 为 0.783 2 元/kW·h, 低于度电收益 0.915 9 元/kW·h, 表明项目在单位电能成本层面具备可行性。

3.2 投资回收期

经测算, 项目税后投资回收期为 8.38 a, 对比用户侧储能行业普遍认可的 8~12 a 合理回收区间, 处于中等偏上水平, 资金回笼节奏可控, 投资回收风险较低。

3.3 净现值

在全生命周期视角下, 考虑 8% 的资金成本(折现率)后, 结合全生命周期收支数据测算得出, 项目净现值为 989 万元, 表明项目不仅满足基准收益率要求, 还可创造额外收益, 具备投资价值。

3.4 收益率

内部收益率为 9.01%, 资本金的收益率为

13.07%, 对比能源项目基准收益率 6%~8%, 项目长期收益效率达标; 总投资收益率 (return on investment, ROI) 为 7.76%, 从静态角度看, 项目具备整体收益潜力, 处于行业合理收益区间; 资本金净利润率 (return on equity, ROE) 为 12.93%, 直接反映投资方自有资金的回报水平, 符合投资回报预期。

3.5 间接收益

项目仅考虑了峰谷套利差价的直接收益, 间接受益还包括: 供电可靠性提升(作为应急电源, 避免停电或电压波动导致的钢铁生产中断, 此类事件若发生, 其潜在收益甚至可能超过项目本身收益); 通过削峰填谷平滑用电负荷, 降低变压器最大需量、减少需量电费, 此部分费用也相当可观, 预计每年 80 万~100 万元; 此外, 碳减排隐含收益、政策补贴等其他收入未计入本次财务评价的现金流。

3.6 有无对比分析

针对钢铁企业配套储能与未配套储能, 详细分析如表 4 所示。

综合判断, 以上指标均满足行业合理标准, 项目风险可控, 项目具备投资价值。

表 3 现金流量表 万元

项目	合计	建设期/(1 a)	运营期		
			2 a	…	16 a
现金流入	121 407.01	0	8 609.75	…	7 866.35
现金流出	101 587.24	19 200.00	5 233.03	…	4 641.03
所得税前净现金流量	19 819.77	-19 200.00	3 376.72	…	3 225.32
调整所得税	4 965.74	0	117.78	…	442.73
净现金流量	14 854.02	-19 200.00	3 258.94	…	2 782.59
累计净现金流量	0	-19 200.00	-15 941.06	…	14 854.02
折现净现金流量(<i>i</i> = 8%)	988.68	-17 777.78	2 794.02	…	812.21
累计折现净现金流量	0	-17 778.00	-14 983.76	…	988.68

表 4 有无对比分析

对比维度	无储能	有储能
年用电成本	被动承受尖峰电价	节省电费约 4 370 万元/a
电力系统运行	无调节能力, 用电峰谷波动较大	“两充两放”精准匹配, 柔性调节灵活高效
碳减排能力	碳排放控制手段较单一	与光伏、自发电系统联动, 提升绿电消耗, 降低碳排放
投资回报	无	收益率为 9.01%, 回收期为 8.38 a, 年均净利润为 993 万元
企业形象	高能耗单元	打造绿色标杆, 引领行业转型

4 不确定性分析

政策、市场、技术、运营等因素变化对储能项目的经济性评价结果影响较大，主要体现在收入端的充放电价差、发电量及成本端的建设投资三类核心指标，其波动可能导致实际收益偏离预期。针对上述指标进行敏感性分析与盈亏平衡分析，识别其对项目整体收益的影响程度，计算盈利边界，具体结果如下。

4.1 敏感性分析与盈亏平衡分析

聚焦建设投资、发电量/充放电价差两大主要变量，测算其在±5%、±10%变化幅度下，对项目内部收益率、投资回收期、净现值3个指标的影响，结果如表5所示。

由表5可知：建设投资敏感系数为-1.6，属于中度敏感，影响相对可控。即建设投资每变动1%，内部收益率反向变动约为1.6%；从盈亏临界值看，当投资超支7%时，项目净现值降至0，进入盈亏平衡状态。发电量与充放电价差对项目影响一致，合并测算后敏感系数达5.07，属极度敏感。即发电量/差价每变化1%，内部收益率变化约为5.07%，是典型的“收益放大器”效应。盈亏平衡点为0.97，即发电量或充放电价差任一指标下降幅度不得超过3%，否则项目净现值降至0，失去盈利空间。

4.2 最危险情景模拟：双重打击下的盈亏平衡

为进一步验证项目抗风险能力，模拟“成本+收入”双重不利情景：建设投资超支2%叠加

电量/充放电价差下降2%。

情景测算结果：项目内部收益率从基准值9.01%降至7.74%，项目净现值从989万元转为-254万元，项目直接进入亏损状态。该情景已构成项目不可承受的风险阈值，必须坚决规避。

4.3 分析结果

根据敏感性分析与盈亏平衡分析结果，项目的经济性呈现“收入端主导、高收益潜力、高风险、中抗风险能力”的特征：首先，该项目发电量/充放电价差的敏感系数(5.07)是建设投资(-1.6)的3倍以上，说明在对经济效益的影响中，项目收益波动幅度远高于建设投资波动，属于高度依赖收入端，需严格把控发电量并精准预判充放电价差。其次，发电量/充放电价差每变化1%，项目净现值变化达48%，项目具备高收益潜力，但风险同样较高。发电量/充放电价差、建设投资两个关键因素的盈亏平衡点均不足1.1%，盈亏平衡区间极窄；建设投资超支7%或收入端下降3%时，即触及盈亏平衡的临界点，项目抗风险能力一般。

4.4 应对策略

4.4.1 确保收入达标（项目生命线）

在未考虑需量电费节省、电网需求响应收益、政策补贴等其他收入的情况下，售电收入是项目唯一核心收入来源，需通过“合同锁定+运营优化”手段，将发电量/差价波动风险降至安全边际内，实现敏感风险可控。

前期：依托“钢铁企业稳定用电+EMC长期合作”的组合特性，在EMC合同中锁定放电价或

表 5 敏感性分析及盈亏平衡

不确定因素	不确定因素变化率/%	项目评价指标			敏感系数	盈亏平衡
		内部收益率/%	投资回收期/a	净现值/万元		
基本方案	0	9.01	9.33	989	-1.60	1.07
	10	7.56	8.91	-464		
	5	8.26	8.65	263		
	-5	9.83	8.10	1 715	-1.60	1.07
	-10	10.72	7.83	2 441		
发电量/差价	10	13.58	7.24	5 751		
	5	11.35	7.75	3 370		
	-5	6.54	9.50	-1 393	5.07	0.97
	-10	4.37	10.74	-2 283		

放电差价。钢铁企业生产连续性强、用电负荷稳定,有调峰需求,具备签订长期收益保障条款的基础,可从源头保障发电量及规避放电差价波动风险。

后期:通过精细化运营保障放电效率。结合当地电网峰、平、谷时段价格,制定充放电策略,最大化电费价差带来的效益;同时,强化电池维护保养管理,保证充放电转换效率。

4.4.2 严控建设成本,确保建设投资不超支

建设投资超支会直接拉低项目效益。储能设备费占总投资的 80%,是成本管控的核心环节,可通过合同模式约束实现投资精准控制。

近年磷酸铁锂电池技术快速迭代,单位储能成本呈下降趋势,项目可通过错峰采购关键设备降低设备端投入;同时,采用公开招标与固定总价合同模式,可降低建设投资,确保项目不超支。

5 结 论

钢铁企业+EMC 模式+用户侧储能的组合模式,可实现“用能单位降本、投资单位稳收”的多赢局面,是一套可落地的解决方案。

5.1 从用能单位角度

首先,通过轻资产模式引入储能系统,无需承担初始投资与运维成本,可规避技术与投资风险,通过谷充峰放降低能源成本,还可按 EMC 协议分享收益。其次,解决用电负荷剧烈波动问题,通过储能系统快速充放电平抑负荷波动,有效削峰填谷,平滑用电曲线,减少容量电费,优化电费结构。同时具备应急电源功能,在电网停电时快速切换供电,短时间内供电可为检修或其他电源接入争取关键窗口期,减少因停电导致的生产中断损失。还可以与内部的光伏系统、余压煤气发电、余热资源回收系统联动,转化为电能存储,解决“余电上网难”困局,提升自发电使用率。

这可降低企业单位产值能耗,提升绿色生产形象,助力“双碳”目标。

5.2 从投资单位角度

通过 EMC 模式绑定长期用户,确保稳定的供电量及锁定电费差价收益,保证现金流基本不受市场波动影响,将高敏感风险降低为可控风险,实现长期、可预测的稳定收益,满足投资单位稳定的现金流需求。投资单位可将此作为工业储能领域的战略布局项目,锁定用户单位部分电力的长期供应,领先其他竞争对手抢占市场先机,还可拓展能源供应或其他业务合作机会,为后续拓展其他企业类似项目积累经验与资源。虽然前期为重资产投入,但 EMC 模式是“运营服务”模式,而非传统的“设备销售”模式,其稳定、长期的收入来源有利于企业的长期规划和再投资,在资本市场也更易于获得更高估值。同时,上述模型收入端计算较为保守,未计入减少需量电费、需求响应及政策补贴等收入,后续可拓展多元渠道,进一步挖掘其他收益,提升项目收益。

参考文献:

- [1] 唐西胜,李伟,沈晓东.面向新型电力系统的储能规划方法研究进展及展望[J].电力系统自动化,2024,48(9):178-191.
- [2] 邱志辉,袁梦扬,颜裕明,等.浙江省用户侧储能项目在新分时电价政策的盈利态势分析[J].能源研究与管理,2024,16(3):31-40.
- [3] 李浩.用户侧储能经济性分析及容量配置策略研究[J].山西电力,2021,231(6):1-5.
- [4] 俞容江,陈致远,尹建兵,等.第三方投资共享储能电站商业模式及其经济性评价[J].南方电网技术,2022,16(4):78-85.