

# 基于典型场景的牧区风光氢储独立微网容量优化配置方法研究

吴嘉锴\*, 梁慧娟, 尹煜

内蒙古工业大学电力学院, 内蒙古呼和浩特, 中国

\*通讯作者

**【摘要】**离网型风光氢储系统为传统电网难以覆盖到的偏远牧区提供了供电解决方案, 但现有系统的容量配置方法多侧重于短期能量平衡, 缺乏基于实测数据对风光资源丰枯特性与氢储能长时调节能力的协同优化, 导致系统在极端天气或负荷高峰时段供电可靠性下降, 可再生能源利用率低。本文以内蒙古某地区风电、光伏实测出力为基础, 结合夏冬季牧户典型负荷, 构建涵盖风光丰枯和季节差异的多典型日场景, 建立风光氢储独立微网能量平衡SOC 阈值控制模型, 将电池与氢储容量放缩系数及关键阈值作为联合决策变量, 构造兼顾未供电、弃电与容量成本的多场景综合目标, 并采用粒子群算法进行优化。仿真结果表明, 相比仅调整控制策略, 在多典型场景下引入容量-控制联合优化可显著提高牧区负荷供电率并降低弃风弃光水平, 充分发挥电池与氢储在日内与跨时段调节上的互补优势, 为牧区风光氢储独立微网的工程容量规划与运行策略设计提供了基于实测数据的可实现技术路径。

**【关键词】**独立微网; 风光互补; 氢储能; 典型场景; 优化配置

**【基金项目】**内蒙古自治区直属高校基本科研业务费项目项目 (编号: JY20220242)

## 1. 引言

离网型风光互补独立微网为偏远牧区等传统电网难以覆盖区域提供了可行的供能途径, 但其运行受风光资源波动与牧区负荷季节性、峰谷性共同影响, 易在连续低风光资源或高负荷时段出现供电缺口, 同时在资源丰富时段产生弃电, 进而造成供电可靠性与可再生能源利用率的双重损失[1,2]。相比单一电池储能主要服务于日内调节, 氢储能的优势在于具备长时储能潜力, 适合作为离网系统的长时调节与备用供电手段, 且研究与工程实践普遍认可氢储能与电池形成互补配置以兼顾短时与长时调节的能力, 但同时也存在氢-电链往返效率偏低、系统容量与间歇工况失配等问题[3-5]。

现有风光氢储容量配置研究中, 多侧重于单日或短期能量平衡下的容量匹配, 亦有方法依赖典型气象年或简化随机模型构造场景, 此类方法往往难以充分表达实测风光资源的丰枯分布与极端日特征; 此外, 容量配置与能量管理策略之间存在强耦合, 仅优化控制策略或仅优化容量均可能导致多工况下的性能整体表现欠佳[6-8]。为提升规划计算效率并保留关键时序特征, 采用“典型日”进行时间序列降维已成为微网容量规划中的常见技术路线, 但如何在多典型场景下实现容量控制协同优化仍缺乏基于实测数据的研究。

究。

基于此, 本文以内蒙古某地区风电、光伏实测出力为基础, 结合夏冬季牧户典型负荷, 构建涵盖风光丰枯与季节差异的多典型日场景; 在统一能量平衡框架下建立风光氢储系统的SOC 阈值控制模型; 进一步将电池与氢储容量放缩系数及关键阈值参数作为联合决策变量, 构造兼顾未供电、弃电与容量成本的多场景综合目标, 并采用粒子群算法求解, 从而形成可复现实测数据驱动的容量及控制策略联合优化方法。通过多场景对比验证, 揭示了电池与氢储在日内与跨时段调节中的互补机制, 并为牧区离网型风光氢储系统的工程容量规划与运行策略设计提供可实现的技术路径[9,10]。

## 2. 基于典型场景的容量-控制联合优化方法

### 2.1 多典型日场景集构建

离网型风光氢储综合能源系统结构如下: 该系统面向偏远牧区等无电网覆盖区域实际需求, 包含风力发电机组、光伏发电阵列、蓄电池储能系统、氢能组件和本地用电负荷等单元。在离网模式下, 风电和光伏等可再生能源通过功率变换装置为牧区用电负荷供电, 并优先满足负荷需求。当可再生能源出力超过负荷时, 多余能量由蓄电池充电储存, 或经电解槽将电能转化为氢气储存在储氢罐中; 当可再生出力不足时, 由蓄电池先行放

电供给负荷,若仍有缺口再由燃料电池消耗储氢发电进行补充,以保证负荷的持续供电。配置蓄电池和氢储能单元可有效平抑可再生能源功率波动,提升系统的供能可靠性。整个系统通过能源管理控制策略协调各环节运行,以实现能源的高效利用和供需平衡。

## 2.2 风电与光伏模型简化

风力和光伏发电输出具有间歇性和随机性,精确建模通常涉及复杂的物理过程,为降低模型复杂度并贴近实际运行特性,在仿真分析中采用基于实测数据的标准化输入功率曲线来表征风电和光伏出力:通过选取代表性的牧区风速和太阳辐照度实测数据,经功率变换得到的风机和光伏输出曲线已包含了资源波动和设备特性等因素的影响,可代表该地区如典型日工况下可再生能源的出力边界情况。将风机和光伏的实测功率按各自装机容量转换为0~1的标幺值时间序列,定义标幺功率下式1所示。

$$p_x(t) = \frac{P_x(t)}{P_{base}}, x \in \{pv, w, load\} \quad (1)$$

则用于构造典型日可用功率曲线实测风电、光伏出力序列对每个代表日 $s$ 将原始出力归一化为下式:

$$\varphi_{pv/w}^{(s)}(t) = \frac{P_{pv/w, meas}^{(s)}(t)}{\max_t P_{pv/w, meas}^{(s)}(t)} \quad (2)$$

微网装机容量分别为 $C_{pv}$ ,  $C_w$ , 则场景 $s$ 下的可再生出力为下式:

$$P_{ren}^{(s)}(t) = C_{pv}\varphi_{pv}^{(s)}(t) + C_w\varphi_w^{(s)}(t) \quad (3)$$

从而该表述形式能保留风光在日内的波动特征,同时将容量配置问题集中到 $C_{pv}$ ,  $C_w$ 的规划层。

## 2.3 电池储能的能量平衡模型

电池以能量状态(SOC)描述,设电池能量容量为 $E_b$ ,充/放电功率上限分别为 $P_{b, ch}^{max}$ ,  $P_{b, dis}^{max}$ ,效率为 $\eta_{ch}$ ,  $\eta_{dis}$

$$SOC_b(t+1) = SOC_b(t) + \frac{\eta_{ch}P_{b, ch}(t) - P_{b, dis}(t)/\eta_{dis}}{E_b} \Delta t \quad (4)$$

并满足下列约束:

$$SOC_b^{min} \leq SOC_b(t) \leq SOC_b^{max} \quad (5)$$

$$0 \leq P_{b, ch}(t) \leq P_{b, ch}^{max} \quad (6)$$

$$0 \leq P_{b, dis}(t) \leq P_{b, dis}^{max} \quad (7)$$

该类SOC约束与能量平衡模型用以支撑后续的容量策略联合优化。

## 2.4 氢储系统的简化模型

氢储系统用于长时能量储存,采用等效氢能量状态建模 $E_H(t)$ 。设储氢能量容量 $E_H^{max}$ ,电解槽与燃料电池额定功率上限分别为 $P_{el}^{max}$ ,  $P_{fc}^{max}$ ,解制氢与燃料电池发电效率分

别为 $\eta_{el}$ ,  $\eta_{fc}$  |z 则:

$$E_H(t+1) = E_H(t) + \eta_{el}P_{el}(t)\Delta t - \frac{1}{\eta_{fc}}P_{fc}(t)\Delta t \quad (8)$$

并满足如下约束:

$$0 \leq E_H(t) \leq E_H^{max} \quad (9)$$

$$0 \leq P_{el}(t) \leq P_{el}^{max} \quad (10)$$

$$0 \leq P_{fc}(t) \leq P_{fc}^{max} \quad (11)$$

该模型突出氢储电-氢链路效率本质:相较电池更适于跨时段乃至季节尺度能量搬移,并受到电解槽/燃料电池功率限制。

## 2.5 能量平衡与SOC阈值控制策略

对场景 $s$ 的任一时刻 $t$ ,离网系统需满足功率平衡。定义可再生与负荷的净功率差如下:

$$\Delta P^{(s)}(t) = P_{ren}^{(s)}(t) - P_{load}^{(s)}(t) \quad (12)$$

当 $\Delta P > 0$ 时为富余功率;当 $\Delta P < 0$ 时为功率缺额。采用SOC阈值策略实现先电池、后氢储的分层调节逻辑,以便在风光氢储能微网中实现参数寻优的策略。

在功率富余时段优先充电( $SOC_b < SOC_b$ 且不超过功率上限);当电池接近上限或富余持续较大时启用电解槽制氢;仍有剩余则计入弃电。在功率缺额时段优先放电池( $SOC_b > SOC_b$ 且不超过功率上限);当电池接近下限或缺额较大时启用燃料电池补偿,仍不足则计入未供电。

该策略通过将运行决策压缩为少量阈值参数,使容量控制联合优化在可接受的维度内完成搜索,同时保持电池与氢储互补调节机制的可解释性。

## 2.6 牧区夏/冬负荷组合模型

牧区负荷由生活用能与畜牧生产用能叠加,并在冬季引入采暖相关负荷。采用负荷类别及其使用系数定义季节下的负荷如下式:

$$P_{load}^{(\sigma)}(t) = \sum_{i=1}^M P_i^{rated} u_i^{(\sigma)}(t) \quad (13)$$

其中 $M \leq 10$ 为负荷类别数, $P_i^{rated}$ 为等效装机功率, $u_i^{(\sigma)}(t) \in [0,1]$ 为日内使用系数曲线。夏季曲线具备日间生产、晚间生活峰;冬季在此基础上增加采暖峰。从而便于在算例中根据负荷落结构统一生成不同季节负荷曲线。

## 2.7 多典型日场景构建

为尽可能保留信息前提下优化计算量,本文以日能量指标对风电、光伏丰枯进行分档,并选取代表日形成场景集。对任意自然日 $d$ ,定义如下式:

$$E_{w/pv}(d) = \sum_{t \in d} P_{w/pv}(t)\Delta t \quad (14)$$

分别对  $\{E_w(d)\}, \{E_{pr}(d)\}$  取 33% 与 67% 分位点, 划分为低/中/高三档, 形成 9 类风光组合; 每类选取 1 个代表日并赋权 (权重等于该类天数占比), 再与夏/冬两类负荷组合得到风光负荷季节差异的多典型场景集。代表日法在当前微网容量规划中实现加速搜索并保持年度特征。

### 3. 多典型场景的容量优化配置模型与求解方法

在风光氢储微网简化模型与典型场景集的基础上, 建立面向多典型场景的容量优化配置模型: 以代表日集合近似全年运行环境, 通过场景权重在目标函数中恢复统计意义, 从而在实现容量和控制参数的协同寻优同时保证计算规模可控。

#### 3.1 决策变量与容量参数化

为减少变量量纲差异并便于复现, 本文将容量采用基准容量乘以缩放系数以参数化。设基准配置为  $(C_{pv,0}, C_{w,0}, E_{b,0}, E_{H,0}, P_{el,0}, P_{fc,0})$  则以下实际容量中, 可再生装机缩放系数为  $k_{ren}$ , 电池容量缩放:

$$E_b = k_b E_{b,0} \quad (15)$$

氢储能量容量缩放:

$$E_H^{max} = k_H E_{H,0} \quad (16)$$

电解槽功率缩放:

$$P_{el}^{max} = k_{el} P_{el,0} \quad (17)$$

燃料电池功率缩放:

$$P_{fc}^{max} = k_{fc} P_{fc,0} \quad (18)$$

控制参数采用阈值量:  $(\theta_b, \theta_H, \delta_{el}, \delta_{fc})$ , 其中  $\theta_b, \theta_H$  为电池/氢储的状态阈值  $\delta_{el}, \delta_{fc}$ , 为制氢/放氢启用门槛。将容量与阈值参数一并作为优化变量, 可体现容量控制联合控制对可靠性与弃电的共同影响。综上, 决策向量定义为下式:

$$x = \{k_{ren}, k_b, k_H, k_{el}, k_{fc}, \theta_b, \theta_H, \delta_{el}, \delta_{fc}\} \quad (19)$$

并给定工程可行的上下界, 以避免过度配置与不可运行阈值。

#### 3.2 决策变量与容量参数化

设多典型场景集合为  $S$ , 含风光 9 类组合在夏冬 2 类负荷下共 18 个场景组合, 每个场景  $s$  赋予权重  $w_s$ 。在给定决策  $x$  下, 调用第二节仿真器可得到场景  $s$  的关键量, 如负荷电量  $E_{load}^{(s)}$ , 未供电电量  $E_{un}^{(s)}$ , 弃电电量  $E_{curt}^{(s)}$ 。

为兼顾可靠性、消纳与容量经济性, 构造多场景综合目标如下式所示。

$$\min_x J(x) = \sum_{s \in S} w_s (\alpha E_{un}^{(s)} + \beta E_{curt}^{(s)}) +$$

$$\gamma C_{cap}(k_{ren}, k_b, k_H, k_{el}, k_{fc}) \quad (20)$$

其中  $\alpha, \beta, \gamma$  为权重系数,  $C_{cap}(\cdot)$  为容量成本项。考虑到实际工程造价差异较大, 将  $C_{cap}$  写为线性归一化形式:

$$C_{cap} = c_{ren} k_{ren} + c_b k_b + c_H k_H + c_{el} k_{el} + c_{fc} k_{fc}$$

将未供电、弃电、成本等多指标形式适用于多场景条件下的整体寻优。

#### 3.3 可靠性与消纳指标

本文由日统计量直接得到以下指标:

供电率 (LSR):

$$LSR^{(s)} = 1 - \frac{E_{un}^{(s)}}{E_{load}^{(s)}} \quad (21)$$

失供电概率/比例 (LPSP):

$$LPSP^{(s)} = \frac{E_{un}^{(s)}}{E_{load}^{(s)}} \quad (22)$$

可再生利用率:

$$\eta_{ren}^{(s)} = 1 - \frac{E_{curt}^{(s)}}{E_{ren}^{(s)}} \quad (23)$$

其中  $E_{ren}^{(s)}$  为场  $s$  的可再生发电电量; 与之等价的弃电率为  $E_{curt}^{(s)}/E_{ren}^{(s)}$ , 用以衡量高比例可再生微网消纳水平的指标。

#### 3.4 粒子群优化求解流程

当前问题包含阈值控制导致的分段非线性, 难以直接构造解析梯度。粒子群优化在可再生综合能源系统容量优化中应用较为成熟, 适用于容量及控制联合变量的全局搜索。

本文 PSO 求解流程如下

(1) 初始化: 在各变量边界内随机生成粒子群:  $\{x_i\}$ ;

(2) 适应度评估: 对每个粒子  $x_i$ , 遍历全部典型场景  $s \in S$ , 调用第二节仿真器得到  $E_{un}^{(s)}, E_{curt}^{(s)}$ , 据式  $J(x)$  计算适应度;

(3) 更新: 按 PSO 速度一位置更新规则迭代, 维护个体最优与全局最优;

(4) 终止: 达到最大迭代次数或全局最优改变量低于阈值时停止, 输出最优配置与对应指标。

PSO 的群体规模与迭代次数由变量维度多场景仿真耗时共同决定, 采用场景降维 (典型日加权) + 轻量仿真器的组合确保可在可接受时间内收敛。

#### 4. 算例分析

基于实测风光和夏/冬牧户负荷的 18 个典型场景的数据库, 验证第二节系统模型与第三章多场景优化流程在离网风光氢储系统中的可用性, 并用少量代表性场景进行结果解释。以未供电 (LPSP/LSR) 与弃电/利用

率为主要评价指标，能直接反映可靠性与消纳水平。

#### 4.1 数据与典型场景集

(1) 风光数据：采用内蒙某地区风电与光伏实测出力序列，经缺失处理与日尺度聚合得到日能量  $E_w(d), E_{pv}(d)$ ，并按分位将风、光分别划分为低/中/高三档，形成 9 类组合。代表日从每一类中选取日能量最接近该类中心的日期曲线，用以降低优化迭代计算量。

(2) 负荷场景：采用第二节的负荷分类叠加模型构造夏季与冬季两条牧户典型日负荷曲线，冬季在生活与生产基荷基础上引入采暖负荷抬升，如下式所示：

$$S = \{(W_i, PV_j, \sigma) | i, j \in \{L, M, H\}\} \quad (24)$$

式中  $\sigma$  为夏冬类别。算例中按每类代表日覆盖天数占比给定。

图 1 为负荷为夏冬季下的典型日构建出的负荷曲线。图 2 及图 3 分别展示了夏冬两季在低风光资源的系统出力曲线。

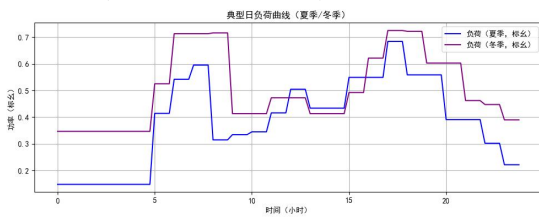


图 1. 典型日负荷曲线

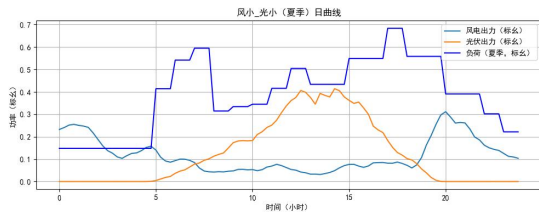


图 2. 低风光资源夏季出力曲线

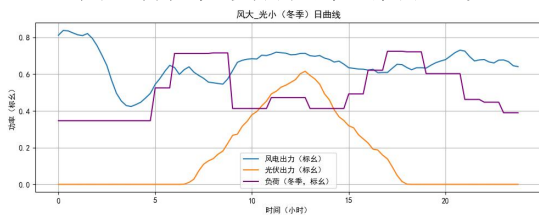


图 3. 低风光资源冬季出力曲线

#### 4.2 模型参数设置

##### (1) 设备模型参数

电池与氢储采用第二节的能量平衡与功率约束模型。效率参数  $(\eta_{ch}, \eta_{dis}, \eta_{el}, \eta_{fc})$ ，与 SOC 上下限  $(SOC_b^{\min}, SOC_b^{\max}, E_H)$  按工程常用范围取值。

##### (2) 优化变量与算法

算例在既定容量基准下，采用 PSO 对

控制阈值  $(\theta_b, \theta_H, \delta_{el}, \delta_{fc})$  进行寻优，并在多典型场景上计算综合目标  $J$ 。因此方法实现简单、对非凸黑箱评价较为友好。为便于跨场景对比与优化求解，算例采用标么化建模：以典型日负荷峰值  $P_L^{\max}$  为功率基准，以  $P_L^{\max} \Delta t$  为能量基准；风电/光伏曲线由实测序列归一化得到可用功率系数  $p_w(t), p_{pv}(t)$  电池能量容量、氢储等效能量容量及电解槽/燃料电池额定功率采用“基准值  $\times$  缩放系数”的参数化方式，从而将容量规划与阈值控制统一到同一决策向量中，关键参数如表 1 所示。

表 1. 算例关键参数与基准容量

模块参数	符号	算例取值	说明
电池约束	$[SOC_b^{\min}, SOC_b^{\max}]$	0.2–0.9	避免深度放电与饱和
氢储约束	$[SOC_H^{\min}, SOC_H^{\max}]$	0.1–0.9	等效氢量约束
初始 SOC	$SOC_b(0), SOC_H(0)$	0.5, 0.5	典型日仿真值

#### 4.3 典型场景集运行特征分析

因共有 18 个风光季节典型场景。为确定各个典型场景下的弃电率和未供电率进行分析，设置横轴未场景标签采用“风光档位-季节”的组合表示。在每个场景下，采用同一套风光氢储能量平衡模型与 SOC 阈值控制策略进行日内仿真，并输出弃电率与未供电率作为综合评价指标，结果如图 4 所示：

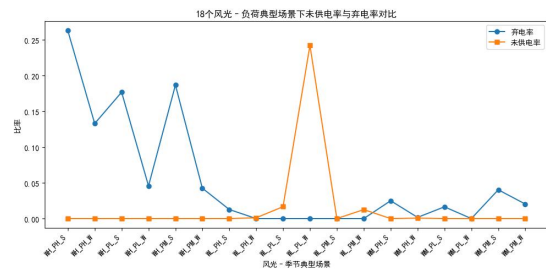


图 4. 各场景下未供电率和弃电率对比

由图 4 可见，18 个典型场景的运行矛盾呈现明显的弃电主导与缺电主导两类模式。

弃电主导场景：在风光资源较充裕的场景，弃电率显著升高，而未供电率接近 0。该现象表明在此类场景下系统供电可靠性已满足，但受储能吸收能力与功率上限约束，富余可再生无法完全转化为可用电能，系统瓶颈从供电不足转为消纳不足。

缺电主导场景：在风光资源较贫乏且冬季负荷抬升的场景，未供电率显著上升，而弃电率接近 0。此时系统处于能量赤字状态，

可再生发电不足以覆盖负荷，储能放电受容量/SOC 下限与燃料电池功率限制影响，导致缺额无法完全补偿。

同一风光档位下，冬季负荷场景的未供电率整体更高，且更容易出现缺电主导场景；夏季则更容易进入弃电主导场景。这说明负荷季节性是影响离网微网可靠性与消纳矛盾的重要外部因素。

为进一步揭示风光资源丰枯与季节负荷对系统能量流的影响，表 2 给出了三个代表性典型场景的日能量收支与电-氢耦合出力分解。

表 2.代表性典型场景的日能量流

场景	$E_{load}$	$E_{ren}$	LSR	$\eta_{ren}$	$E_{el}$	$E_{fc}$
风大光大/夏	9.27	21.433	1.000	0.636	2.667	0.000
风中光中/夏	9.27	13.956	1.000	0.817	2.667	0.000
风小光小/冬	12.0	5.992	0.681	1.000	0.000	1.100

综上，典型场景对比结果表明：离网风光氢储系统的容量配置应围绕“富余场景的弃电削减”和“贫乏场景的缺额保障”两类矛盾进行权衡，为后续容量—控制联合优化模型提供了直接的指标驱动依据。

#### 4.4 电池对低资源冬季场景覆盖分析

为建立对照，首先在无氢储条件下运行能量管理策略（仅电池参与），验证低资源场景短时储能的能力边界，如图 5、6 所示。

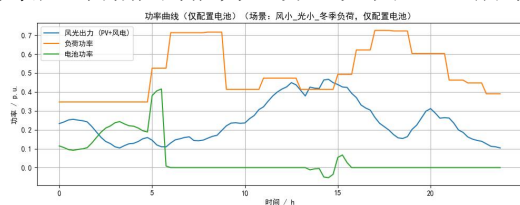


图 5.功率曲线（风小，光小，仅电池）

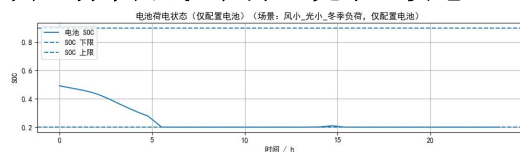


图 6.电池荷电曲线（风小，光小，仅电池）

结果表明当风光总能量低于负荷且冬季负荷抬升时，电池由于容量与 SOC 下限约束，无法在缺额时段持续补偿，未供电显著；同时由于资源整体不足，几乎不存在弃电，系统矛盾主要体现为可靠性缺口，而不是消纳不足。为后续引入氢储提供了必要性依据：低资源/冬季场景更需要长时储能或备用供能机制。

#### 4.5 引入氢储后的场景覆盖分析

在相同场景下引入氢储模块后，分析系统在缺额时段通过燃料电池补偿负荷效果，

以少资源场景下各功率曲线和电池及氢储曲线为例，如图 7，8，9 所示：

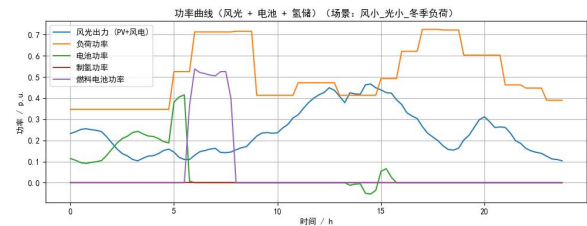


图 7.功率曲线（风小，光小，电池+氢储）

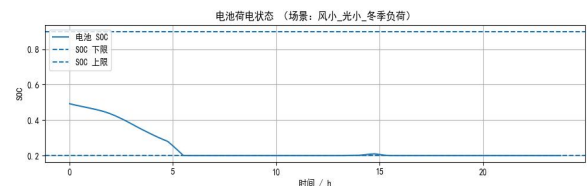


图 8.电池荷电曲线（风小，光小，电池+氢储）

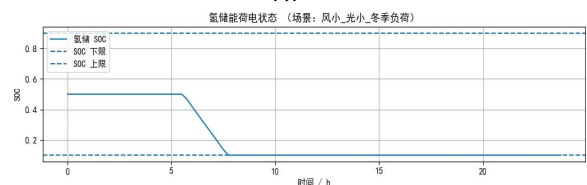


图 9.氢储荷电曲线（风小，光小，电池+氢储）

由结果可以看出氢储的价值主要体现在低资源/高负荷场景的缺额补偿，而在资源相对充足的场景中，为避免效率损失与频繁启停，需要通过 SOC 阈值合理控制氢储启停门槛。

#### 4.6 多场景软约束 PSO 寻优

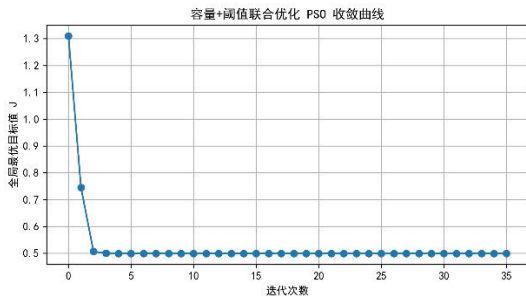
本节在 18 个典型场景集上，对决策向量  $\mathbf{x} = [\theta_b, \theta_H, \delta_{el}, \delta_{fc}]$  进行软约束 PSO 寻优。其中  $\theta_b, \theta_H$  分别为电池/氢储的 SOC 安全阈值， $\delta_{el}, \delta_{fc}$  为电解槽/燃料电池的启停门槛，用于在直接供电/电池充放电/制氢/氢发电之间切换。对任一粒子  $x$  先在全部场景逐日仿真得到未供电率、弃电率等指标与能量流，再计算跨场景综合目标  $J$ 。

软约束策略用于避免可行解稀疏导致搜索停滞：当仿真过程中出现 SOC 越界、功率限值冲突或数值异常时，不直接判为失败，而是对该场景的未供电项与弃电项施加惩罚系数，从而引导粒子回到可行域附近并保持全局搜索能力。

采用标准 PSO 更新规则，设置粒子数  $N_p$ 、最大迭代次数  $N_{iter}$  等参数以及变量边界（见表 3）。为验证寻优的稳定性，可记录每代全局最优  $J_{best}$  并绘制收敛曲线如图 10 所示。

**表 3.PSO 寻优设置与变量边界**

项目	设置/范围
粒子数/迭代次数	$N_p = 30, N_{iter} = 80$
惯性权重/学习因子	$w$ 线性递减, $c_1 = c_2 = 2.0$
电池阈值	$\theta_b \in [0.2, 0.9]$
氢储阈值	$\theta_H \in [0.1, 0.9]$
制氢阈值	$\delta_{el} \in [0, 0.3]$
氢发电阈值	$\delta_{fc} \in [0, 0.3]$


**图 10.PSO 收敛曲线**

通过对四个关键控制参数  $\theta_b, \theta_H, \delta_{el}, \delta_{fc}$  进行寻优，其中  $\theta_b, \theta_H$  为电池/氢储的状态阈值， $\delta_{el}, \delta_{fc}$  为制氢/燃料电池启用门槛。目标函数采用多场景综合形式，并对未供电给予高权重，同时对弃电与参数越界（或不收敛/不可行）采用软约束惩罚，从而保证 PSO 搜索过程稳定。PSO 优化完成后：最优目标值  $J=0.622979$ ，最优参数： $\theta_b=0.20, \theta_H=0.100, \delta_{el}=0.050, \delta_{fc}=0.045$ 。

### 5. 结论

本文基于内蒙某地区实测风电/光伏出力与夏冬牧户典型负荷，构建覆盖风光丰枯与季节差异的多典型日场景集，在统一能量平衡框架下建立风光-电池-氢储的 SOC 阈值控制仿真模型，并以未供电与弃电为核心指标对不同场景运行矛盾进行对比分析。结果表明，系统在高资源场景主要受消纳能力约束而产生弃电，在低资源叠加冬季负荷抬升时则呈现可靠性短缺主导特征，体现出“弃电削减—缺额保障”的典型权衡关系。

在此基础上，采用多场景软约束粒子群算法对关键阈值参数进行整定，得到的最优参数组能够在富余场景优先吸收多余能量并抑制弃风弃光，在贫乏场景利用氢储长时支

撑能力缓解缺电，从而提升多场景综合目标表现。研究为牧区离网型风光氢储独立微网的容量规划与运行策略协同设计提供了可复现实测数据驱动的轻量化技术路径。

### 参考文献

- [1] 李奇, 赵淑丹, 蒲雨辰, 等.考虑电氢耦合的混合储能微电网容量配置优化[J].电工技术学报, 2021, 36 (03): 486-495.
- [2] 陈泽西, 孙玉树, 张妍, 等.考虑风光互补的储能优化配置研究[J].电工技术学报, 2021, 36 (S1): 145-153.
- [3] 杨璠, 王征, 高红均.离网型风光互补装置在肯尼亚米轨铁路的应用研究[J].中国铁路, 2021, (08): 121-127
- [4] 马燕, 徐立军.离网型风光互补系统控制策略探讨[J].热能动力工程, 2016, 31 (01): 1-12+127.
- [5] 解治中, 傅思敏, 盖曜麟, 等.离网型风光互补式充电站容量优化研究[J].内蒙古农业大学学报(自然科学版), 2022, 43 (02): 61-65.
- [6] 王一凡, 王辉, 李旭阳, 等.电氢混合储能微电网容量配置优化的研究综述[J].广西师范大学学报(自然科学版), 2022, 40 (06): 18-36
- [7] 钱宇, 陈耀熙, 史晓斐, 等.太阳能波动特性大数据分析风光互补耦合制氢系统集成[J].化工学报, 2022, 73 (05): 2101-2110+2290.
- [8] 王泽坤, 贾彦, 陈银鹏, 等.基于负载需求的风光储离网系统优化配置研究[J].内蒙古工业大学学报(自然科学版), 2020, 39 (05): 345-355.
- [9] 晏菁菁, 王珍妮, 闻昕, 等.考虑新能源极端出力事件的水风光互补长期优化调度研究[J/OL].水利水电技术(中英文), 1-19[2026-01-09].
- [10] 吴海涛, 郭吉祥, 夏俊兵, 等.风光互补制氢系统的优化设计与性能分析[J].石化技术, 2025, 32 (11): 229-231.