

山 东 省 地 方 标 准

DB37/T 4838—2025

含氢分布式综合能源系统运行优化指南

Guidelines for operational optimization of distributed integrated energy systems
containing hydrogen

2025 - 03 - 19 发布

2025 - 04 - 19 实施

目 次

前言 II

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

4 总则 3

 4.1 经济原则 3

 4.2 环保原则 3

 4.3 全局最优原则 3

5 基本内容 3

6 数据收集 3

7 用能分析 4

 7.1 概述 4

 7.2 分析内容 4

 7.3 分析方法 4

8 优化方案制定 4

 8.1 概述 4

 8.2 构建运行优化模块 4

 8.3 季节优化方案制定 5

 8.4 日前优化方案制定 5

 8.5 实时优化方案制定 5

9 实施和评价 6

 9.1 实施 6

 9.2 评价 6

附录 A（资料性） 含氢分布式综合能源系统运行优化常用数据记录表 7

 A.1 气象数据记录 7

 A.2 可再生能源发电功率历史数据记录表 7

 A.3 用户能源负荷历史数据记录表 7

 A.4 能源设备参数数据记录表 7

 A.5 实施方案记录表 7

 A.6 运行异常记录表 8

 A.7 方案效果记录表 8

附录 B（资料性） 含氢分布式综合能源系统运行优化模块常见目标及约束 9

 B.1 优化目标 9

 B.2 等式约束 9

 B.3 不等式约束 10

参考文献 11

前 言

本文件按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由山东省能源局提出并组织实施。

本文件由山东省能源标准化技术委员会归口。

含氢分布式综合能源系统运行优化指南

1 范围

本文件提供了含氢分布式综合能源系统运行优化在基本内容、数据收集、用能分析、优化方案制定、方案实施和评价等方面的指导。

本文件适用于指导含氢分布式综合能源系统的运行优化。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

- GB/T 2484 固结磨具 形状类型、标记和标志
- GB/T 2587 用能设备能量平衡通则
- GB/T 3484 企业能量平衡通则
- GB/T 8222 用电设备电能平衡通则
- GB/T 24499 氢气、氢能与氢能系统术语

3 术语和定义

GB/T 24499界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

含氢分布式综合能源系统 hydrogen-containing distributed integrated energy systems

以电力、氢气为重要能源载体，将光伏发电、风力发电和生物质能发电等一种或多种作为主要输入能源，集成应用电解水制氢、燃料电池发电等能量生产、传输、转换、存储技术和设备，就地向用户供能的多能联产、联供系统。

注：系统结构示例见图1。

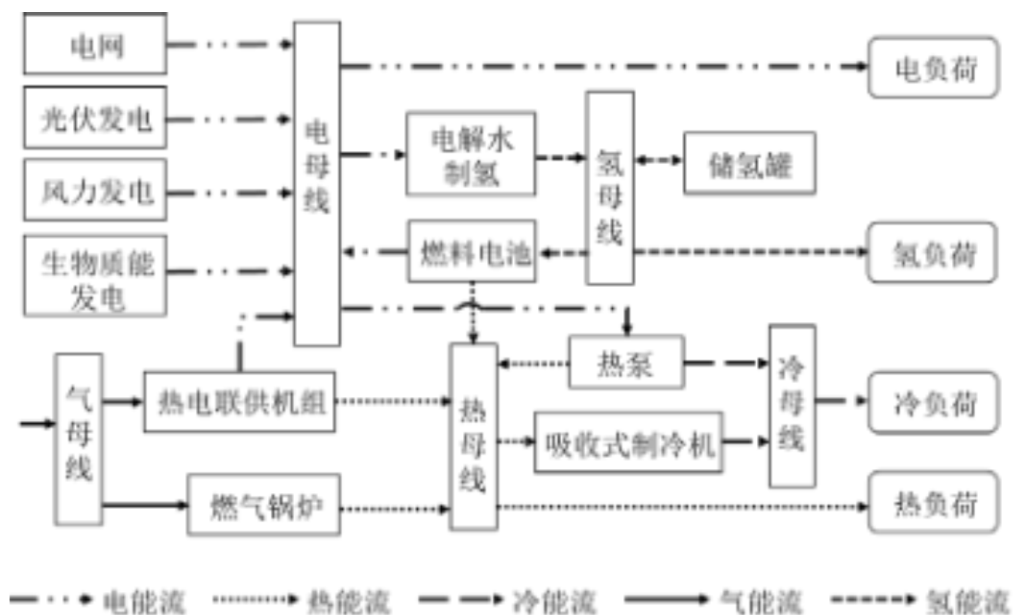


图1 系统结构示例

3.2

系统运行优化 system operation optimization

根据设定的一个(或几个)目标，在满足系统运行限制的情况下，选择最佳的能源设备输入/输出功率调节计划的过程。

3.3

时间尺度 time scale

源荷预测或运行优化的时间范围。

注：季节时间尺度，时间范围一般为季度或月份；日前时间尺度，时间范围一般为天；实时时间尺度，时间范围一般为小时或分钟。

3.4

源荷预测 prediction of source and load

对光伏发电、风力发电和生物质能发电等可再生能源发电功率以及氢、电、热、冷等用户能源负荷的预测。

注：按照不同时间尺度一般分为季节、日前、实时源荷预测。其中，季节源荷预测，采用季节时间尺度，时间分辨率一般为1 d；日前源荷预测，采用日前时间尺度，时间分辨率一般为1 h；实时源荷预测，采用实时时间尺度，时间分辨率一般为15 min或1 min。

3.5

季节优化 seasonal optimization

结合季节源荷预测，为实现设定的目标，在满足系统运行限制和用户能源需求下，以月份为时间分辨率制定最佳的储能设备储量状态调节计划。

3.6

日前优化 day-ahead optimization

结合日前源荷预测，为实现设定的目标，在满足系统运行限制和用户能源需求下，以小时为时间分辨率制定最佳的能源设备输入/输出功率调节计划。

3.7

实时优化 real-time optimization

结合实时源荷预测，为实现设定的目标，在满足系统运行限制和用户能源需求下，以分钟为时间分辨率制定最佳的能源设备输入/输出功率调整计划，在线实时修正日前优化。

4 总则

4.1 经济原则

在满足多元用户能源需求的情况下，宜统筹考虑经济效益和能源利用率，力求以较少的经济投入实现较大的能源效益。

4.2 环保原则

在系统运行优化整个过程中，尤其是优化方案制定环节，宜充分考虑环境保护、低碳发展、资源节约等约束性要求。

4.3 全局最优原则

在同时考虑经济、环保等原则前提下，宜遵循加权最优或多目标最优，对能源设备输入/输出功率调节计划做整体优化。

5 基本内容

系统运行优化（见图2）包括以下内容：

- a) 数据收集；
- b) 用能分析；
- c) 优化方案制定；
- d) 方案实施。

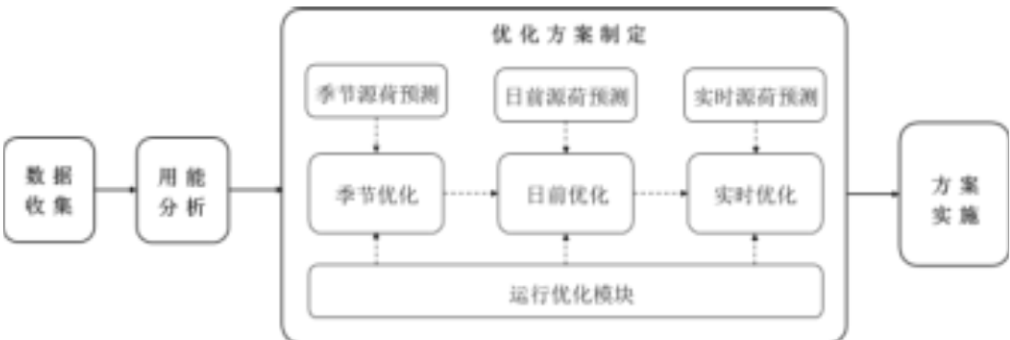


图2 系统运行优化流程

6 数据收集

6.1 数据收集主要用于用能分析、源荷预测和运行优化模块的构建。

6.2 数据收集宜考虑代表性、实效性和一致性等重要因素。

6.3 数据收集（见附录 A）宜包含但不限于以下内容：

- a) 系统结构集成与运行流程；
- b) 气象数据，包括温度、空气湿度、风速、光照、气压等，记录表见表 A.1；

- c) 可再生能源历史数据，包括光伏、风力和生物质能等发电功率，记录表见表 A. 2；
 - d) 用户能源负荷历史数据，包括电负荷、冷负荷、热负荷、氢负荷，记录表见表 A. 3；
 - e) 主要能源设备参数数据，包括电解水制氢、热电联供、储能等设备容量、额定效率、使用寿命等技术参数，记录表见表 A. 4；
 - f) 自产和外购能源的价格和热值。
- 6.4 部分收集数据进行相应的处理，包括但不限于归一化、标准化。

7 用能分析

7.1 概述

分析与系统生产和用能相关的各种因素对运行优化的影响，以精准地制定贴合实际的优化方案。

7.2 分析内容

- 7.2.1 根据数据收集结果，宜根据 GB/T 2484 绘制系统结构。
- 7.2.2 宜对氢、电、热、冷等子系统进行分析，围绕氢、电、热、冷等能源的生产、传输、转换、存储等环节，以经济性和环保性为评价指标，全面评估系统能量利用的合理性。
- 7.2.3 宜对能源设备的能效和运行特性进行分析。
- 7.2.4 对用户生活和生产用能行为与能源价格、气象、工作日/非工作日等因素间的关联关系进行分析。

7.3 分析方法

- 7.3.1 宜使用数据分析工具（如电子表格、数据库和编程语言等）处理、分析和可视化数据，提升数据利用效率和结果直观性。
- 7.3.2 宜使用适用于能源系统分析的专业仿真软件进行运行模拟，评估不同条件下的系统性能，为优化决策提供支持。

8 优化方案制定

8.1 概述

综合考虑系统运行规律和合理性，在满足设备可操作性要求下，结合系统实际需求，构建运行优化模块，形成相应时间尺度的优化方案。

8.2 构建运行优化模块

- 8.2.1 模块包含优化目标、优化变量、等式约束、不等式约束，常见目标及约束可参考但不限于附录 B。
- 8.2.2 确认优化目标，宜包括但不限于：
 - a) 经济性目标；
 - b) 环保性目标。
- 8.2.3 确定优化变量，宜包括但不限于：
 - a) 电解水制氢输出功率；
 - b) 燃料电池输出功率；
 - c) 储氢罐的输入/输出功率；
 - d) 热电联供机组输出功率；

- e) 燃气锅炉输出功率;
 - f) 热泵输出功率。
- 8.2.4 确立等式约束,宜包括但不限于:
- a) 供需平衡约束;
 - b) 能量守恒约束,符合 GB/T 2587、GB/T 3484、GB/T 8222 的要求。
- 8.2.5 确立不等式约束,宜包括但不限于:
- a) 能源转换设备功率上、下限不等式约束;
 - b) 储能设备储量限制不等式约束;
 - c) 设备单位时间内最大减少、增加功率限制不等式约束。
- 8.2.6 选择优化方法,宜满足以下要求:
- a) 根据用户负荷的不同,选择合适的优化时间尺度;
 - b) 优化算法根据实际需求开发,包括但不限于进化计算的优化算法、基于强化学习的优化算法。
- 8.2.7 执行优化计算,输出优化结果,宜满足以下要求:
- a) 执行优化计算时,优先选择并行方式;
 - b) 输出的优化结果为满足约束下目标函数在所有可能的解中取得最优值的解。

8.3 季节优化方案制定

- 8.3.1 季节优化宜以季度或月份为时间尺度。
- 8.3.2 使用收集、处理后的可再生能源发电功率和用户能源负荷历史数据,综合考虑系统运行特性和气象信息等因素,经季节预测模型计算得出可再生能源发电功率和用户能源负荷的预测值。
- 8.3.3 利用季节源荷预测数据,考虑光伏发电、风力发电和生物质能发电等可再生能源发电功率的时间分布特征,以及储氢设备容量和企业生产规划等季节时间尺度因素,在系统运行优化模块的基础上,形成季节运行优化方案。
- 8.3.4 季节运行优化方案包括在季节时间尺度上最佳的储能设备储量状态调节计划。

8.4 日前优化方案制定

- 8.4.1 日前优化宜以天为时间尺度。
- 8.4.2 除 7.3.2 所考虑的因素,还宜考虑用户生活和生产用能行为等因素,经日前预测模型计算得出可再生能源发电功率和用户能源负荷的预测值。
- 8.4.3 在季节运行优化方案的基础上,利用日前源荷预测数据,考虑能源设备变工况特性、多能流动态差异性和可再生能源发电随机性,基于系统运行优化模块,形成日前优化运行方案。
- 8.4.4 日前运行优化方案包括能源设备在日前时间尺度上最佳的运行状态以及输入/输出功率,通过确定各能源设备在日前时间尺度上的运行状态,制定各能源设备在日前时间尺度上的输入/输出功率调节计划。

8.5 实时优化方案制定

- 8.5.1 实时优化宜以分钟或小时为时间尺度。
- 8.5.2 除 7.3.2 和 7.4.2 所考虑的因素,还宜考虑能源设备实时运行工况、实时气象预报信息等因素,经实时预测模型计算得出可再生能源发电功率和用户能源负荷的预测值。
- 8.5.3 在日前运行优化方案的基础上,利用实时源荷预测数据,考虑可再生能源发电功率和用户能源负荷的波动性,基于系统运行优化模块,形成实时优化运行方案。
- 8.5.4 实时运行优化方案包括能源设备在实时时间尺度上最佳的运行状态以及输入/输出功率,通过确定各能源设备在实时时间尺度上的运行状态,制定各能源设备在实时时间尺度上的输入/输出功率调整

计划，在线实时修正日前优化，如实时运行优化与日前运行优化偏差过大，则重新制定日前方案。

9 实施和评价

9.1 实施

9.1.1 优化方案实施前宜进行仿真试验、编制具体实施方案，按照实施方案规定的步骤和程序实施优化方案，及时记录相关数据，实施方案表见表 A.5。

9.1.2 实施过程中安全平稳生产是至关重要的，运行过程中发现异常及时处理，运行异常记录表见表 A.6。

9.2 评价

9.2.1 优化方案实施后，根据能源设备实际输入/输出功率，计算运行经济成本、环境惩罚成本等关键指标，宜全面评估优化方案的运行效果，适时调整运行优化方案，以进一步提升系统性能。方案效果记录见表 A.7。

9.2.2 根据生产变化持续开展系统运行优化，有条件的企业宜建立必要的技术队伍和运行优化系统，鼓励设置相应的岗位、部门，建立完善的考核、激励机制，保证系统运行优化的长期效果。

附录 A
(资料性)

含氢分布式综合能源系统运行优化常用数据记录表

A.1 气象数据记录

气象数据记录表及填写示例见表A.1。

表A.1 气象数据记录表

单位时间	温度 ℃	湿度 %	光照 Lux	风速 m/s	气压 kPa	其它
2023.1.1 0:00	-10	30	2000	5.5	100	—

A.2 可再生能源发电功率历史数据记录表

可再生能源发电功率历史数据记录表及填写示例见表A.2。

表A.2 可再生能源发电功率历史数据记录表

单位为千瓦

单位时间	风力发电	光伏发电	生物质能发电	其它
2023.1.1 0:00	1113.02	0.00	84.54	—

A.3 用户能源负荷历史数据记录表

用户能源负荷历史数据记录表及填写示例见表A.3。

表A.3 用户能源负荷历史数据记录表

单位时间	电负荷 kW	热负荷 kW	冷负荷 kW	氢负荷 kg	其它
2023.1.1 0:00	1125.00	1887.10	0.00	72.73	—

A.4 能源设备参数数据记录表

能源设备参数数据记录表及填写示例见表A.4。

表A.4 能源设备参数数据记录表

序号	设备名称	设备容量 kW	性能效率 (采用多项式法表示)	使用寿命	输出功率 上限 kW	输出功率 下限 kW	其它
1	电制冷机	2000	$\eta=0.24^3-1.132^2+1.237+0.63$	25.0 年	2000	200	—

A.5 实施方案记录表

实施方案记录表及填写示例见表A.5。

表A.5 实施方案记录表

单位为千瓦

单位时间	电解水装置		燃料电池		燃气锅炉		氢储能				其它
	计划	实际	计划	实际	计划	实际	计划		实际		—
2023. 1. 1 0:00	输出功率	输出功率	输出功率	输出功率	输出功率	输出功率	输入功率	输出功率	输入功率	输出功率	—
	1000.00	1050.00	0.00	0.00	1300.00	1200.00	200.00	0.00	250.00	0.00	—

A.6 运行异常记录表

运行异常记录表及填写示例见表A.6。

表A.6 运行异常记录表

时间	异常描述	异常等级	异常原因	处理进展	其它
2023. 1. 1 0:00	无	无	无	无	—

A.7 方案效果记录表

方案效果记录见表A.7。

表A.7 方案效果记录表

单位为万元

单位时间	日前优化				实时优化			
	计划		实际		计划		实际	
	经济成本节约	环境惩罚成本	经济成本节约	环境惩罚成本	经济成本节约	环境惩罚成本	经济成本节约	环境惩罚成本
2023. 1. 1 0:00	3.44	2.88	3.28	2.19	3.01	2.07	3.21	2.12

附录 B

(资料性)

含氢分布式综合能源系统运行优化模块常见目标及约束

B.1 优化目标

B.1.1 经济性目标

经济性目标，按照公式 (B.1) 计算：

$$L_P = \sum_j^n \lambda_j P_j \Delta t \dots\dots\dots (B.1)$$

式中：

L_P ——系统运行经济成本，单位为元 (CNY)，经济成本越小，经济性越好，越接近经济性目标；

λ_j ——第 j 个设备的单位时间运行成本，单位为元/千瓦时 (CNY/kW·h)；

$P_j(t)$ —— t 时刻时第 j 个设备的运行功率，单位为千瓦时 (kW)；

Δt ——单位时间，单位为小时 (h)。

B.1.2 环保性目标

环保性目标，按照公式 (B.2) 计算：

$$L_E = \sum_j^n \gamma_j E_j \dots\dots\dots (B.2)$$

式中：

L_E ——系统运行环境惩罚成本，单位为元 (CNY)，环境惩罚成本越小，环保性越好，越接近环保性目标；

γ_j ——碳排放惩罚成本系数，单位为元/千克 (CNY/kg)；

E_j ——第 j 个设备的单位时间 CO₂ 排放量，单位为千克 (kg)。

B.1.3 组合目标

组合目标与经济性、环保性目标的关系，按照公式 (B.3) 计算：

$$\begin{cases} Obj = \alpha_1 L_P + \alpha_2 L_E \\ \alpha_1 + \alpha_2 = 1 \\ 0 \leq \alpha_1 \leq 1 \\ 0 \leq \alpha_2 \leq 1 \end{cases} \dots\dots\dots (B.3)$$

式中：

Obj ——组合目标，单位为元 (CNY)；

α_1 ——系统运行经济成本权重系数；

L_P ——系统运行经济成本，单位为元 (CNY)；

α_2 ——系统运行环境惩罚成本权重系数；

L_E ——系统运行环境惩罚成本，单位为元 (CNY)。

B.2 等式约束

B.2.1 能量守恒等式约束

能量守恒约束，按照公式 (B. 4) 计算：

$$P_{in} - P_{loss} = P_{out} \dots\dots\dots (B. 4)$$

式中：

P_{in} ——系统能量输入，单位为千瓦 (kW) ；

P_{loss} ——系统能量损失，单位为千瓦 (kW) ；

P_{out} ——系统能量输出，单位为千瓦 (kW) 。

B. 2. 2 供需平衡等式约束

供需平衡约束，按照公式 (B. 5) 计算：

$$P_{out}^i = P_{load}^i \dots\dots\dots (B. 5)$$

式中：

P_{out}^i ——系统能量输出，单位为千瓦 (kW)，其中*i*可为*e* (电)、*h* (热)、*c* (冷)、*h_y* (氢) 等；

P_{load}^i ——用户所需能量，单位为千瓦 (kW)，其中*i*可为*e* (电)、*h* (热)、*c* (冷)、*h_y* (氢) 等。

B. 3 不等式约束

B. 3. 1 能源转换设备功率上、下限不等式约束

转换设备功率上、下限约束，按照公式 (B. 6) 计算：

$$P_j^{min} \leq P_j(t) \leq P_j^{max} \dots\dots\dots (B. 6)$$

式中：

P_j^{min} ——第*j*个设备的最小运行功率，单位为千瓦 (kW) ；

$P_j(t)$ ——*t*时刻时第*j*个设备的运行功率，单位为千瓦 (kW) ；

P_j^{max} ——第*j*个设备的最大运行功率，单位为千瓦 (kW) 。

B. 3. 2 储能设备储量限制不等式约束

储能设备容量限制约束，按照公式 (B. 7) 计算：

$$N_j^{min} \leq N_j(t) \leq N_j^{max} \dots\dots\dots (B. 7)$$

式中：

N_j^{min} ——第*j*个设备的最小容量，单位为千瓦 (kW) ；

$N_j(t)$ ——*t*时刻时第*j*个设备的储能状态，单位为千瓦 (kW) ；

N_j^{max} ——第*j*个设备的最大容量，单位为千瓦 (kW) 。

B. 3. 3 设备单位时间内最大减少、增加功率限制不等式约束

设备单位时间内最大减少、增加功率限制约束，按照公式 (B. 8) 计算：

$$P_j^{dn} \leq P_j(t) - P_j(t-1) \leq P_j^{up} \dots\dots\dots (B. 8)$$

式中：

P_j^{dn} ——第*j*个设备单位时间内最大减少的功率，单位为千瓦 (kW) ；

$P_j(t)$ ——*t*时刻时第*j*个设备的运行功率，单位为千瓦 (kW) ；

$P_j(t-1)$ ——*t-1*时刻时第*j*个设备的运行功率，单位为千瓦 (kW) ；

P_j^{up} ——第*j*个设备单位时间内最大增加的功率，单位为千瓦 (kW) 。

参 考 文 献

- [1] GB/T 15587 能源管理体系 分阶段实施指南
 - [2] GB/T 40063 工业企业能源管控中心建设指南
-