

ICS 国际标准分类号

CCS 中国标准文献分类号

团 体 标 准

T/ XXX-XXXX

分布式电氢耦合系统规划设计导则

Guidelines for the Planning and Design of Distributed Electric-Hydrogen Coupling Systems

(征求意见稿)

XXXX-XX-XX 发布

XXXX-XX-XX 实施

发布

目 录

前 言	III
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 总体设计要求	1
4.1 规划设计原则	2
4.2 规划设计流程	2
5 系统架构设计	2
6 电氢耦合系统容量配置设计方法	3
6.1 一般规定	3
6.2 计算方法	3
7 电氢耦合系统选址设计方法	3
7.1 一般规定	4
7.2 选址原则	4
7.3 氢负荷与电网特性分析	4
8 电氢耦合系统技术选型设计	4
8.1 一般规定	4
8.2 选型原则	4
9 电氢耦合系统接入设计	4
9.1 电网接入要求	5
9.2 氢气管网接入要求	5
9.3 能量管理与协调控制	5
10 安全防护要求	5
10.1 氢气安全设计	5
10.2 消防设施配置	5
11 规划设计评价体系	6
11.1 技术经济性指标	6
11.2 环境影响指标	6
11.3 可持续发展指标	6
11.4 灵活性指标	6
参 考 文 献	错误！未定义书签。

前 言

本文件由上海电工技术学会标准工作委员会提出并解释。

本文件起草单位（包括第一承担单位和参加起草单位，按对标准的贡献大小排列）：上海电力大学、国网上海市电力公司、国网上海综合能源服务有限公司、上海电器科学研究所（集团）有限公司、上海舜卓能源科技有限公司、国网浙江省综合能源服务有限公司、北京氢璞创能科技有限公司、上海电力设计院有限公司

本文件主要起草人（按对标准的贡献大小排列）：李琦芬、杨涌文、张丽婷、钱凡悦、窦真兰、张春雁、张少迪、周大汉、王泽荣、赖平化、龚晨、倪建辉、傅超然

本文件首次发布。

分布式电氢耦合系统规划设计导则

1 范围

本文件规定了分布式电氢耦合系统的规划设计导则，涵盖系统架构、容量配置、选址方法、技术选型、接入要求、安全防护及评价体系等全流程技术要求。

本文件规定了通过 10kV 及以下电压等级接入配电网，且制氢规模为 1000kg/d 及以下的分布式电氢耦合系统规划设计，涵盖新建、改建和扩建项目。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本文件。凡是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 14285 继电保护和安全自动装置技术规程
- GB/T 19774 水电解制氢系统技术要求
- GB/T 26916 小型氢能综合能源系统性能评价方法
- GB/T 28728 燃料电池发电系统安全要求
- GB/T 33592-2017 分布式电源并网运行控制规范
- GB/T 33593-2017 分布式电源并网技术要求
- GB/T 34593 电解水制氢系统技术要求
- GB/T 38755 电力系统安全稳定导则
- GB/T 39779-2021 分布式冷热电能源系统设计导则
- GB 50116 火灾自动报警系统设计规范
- GB 50177 氢气站设计规范
- GB 50116 火灾自动报警系统设计规范
- DL/T 5599 电力系统通信设计导则
- NB/T 10306 氢电耦合综合能源系统技术规范
- NB/T 33010-2014 分布式电源接入电网运行控制规范
- NB/T 32015-2013 分布式电源接入配电网技术规定
- T/QGCML 4509-2024 分布式新能源并网技术规范
- T/CAB 0078-2020 低碳氢、清洁氢与可再生能源氢的标准与评价

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1 分布式电氢耦合系统 distributed electro-hydrogen coupling system

指安装在用户侧或配电网附近，面向分布式能源应用场景（如工业园区、城镇社区、交通枢纽、偏远微网等），以分布式可再生能源（风电、光伏等）或本地低谷电力为核心能源输入，集成电解制氢、储氢、燃料电池发电/氢燃料利用的多能互补能源系统；该系统通过电-氢（电解制氢）、氢-电（燃料电池发电）的双向能量转换与动态耦合调控，实现电能与氢能的时空互补、梯级利用，核心目标是提升分布式可再生能源消纳率、平抑电力负荷波动、保障终端能源供应的灵活性与稳定性。系统可独立运行或与电网互联，制氢规模不超过 1000kg/d。¹

3.2 电制氢 power-to-hydrogen

利用电能通过电解水等方式制取氢能的技术过程。

¹ 目前撬装式电解水制氢设备的主流单机容量为 1000kg/d；可匹配 20MWp 左右的光伏电站或 10MW 级风电项目的弃电消纳需求；符合 GB 50177《氢气站设计规范》中关于小型氢气站的规模定义。

3.3 电解制氢系统 electrolytic hydrogen production system

以水为原料，利用电能进行电解反应生成氢气的模块化装备总称，包括碱性水电解制氢模块、质子交换膜水电解制氢模块等，配套含气液分离、气体纯化、循环供水/碱液等辅助系统。

3.4 储氢系统 hydrogen storage system

用于储存氢气的设备及配套设施，包括高压气态储氢罐、液态储氢罐、固态储氢装置等，用于平衡电氢耦合系统的供需波动。

3.5 氢燃料电池系统 hydrogen Fuel cell system

以氢气为燃料，将氢能直接转化为电能的模块化发电系统，包含燃料电池电堆、燃料供给与循环系统、氧化剂供给系统、水/热量管理系统及控制系统等。

3.6 灵活性裕度 flexibility margin

系统响应供需波动的调节能力裕量，包括上调和下调方向，受设备功率范围、爬坡率等因素影响。

4 总体设计要求

4.1 规划设计原则

4.1.1 安全优先原则：系统设计应优先遵循氢系统安全相关标准，全面识别泄漏、爆炸、氢脆等风险，建立分级防控体系，确保人身与设备安全。

4.1.2 协同高效原则：统筹协调可再生能源发电、电解制氢、储氢、燃料电池发电及负荷需求，优化能量流配置，提升能源转化效率与综合利用效率。

4.1.3 经济合理原则：结合负荷特性与资源条件，优化系统容量配置与设备选型，降低全生命周期投资成本与运维成本，提升项目经济效益。

4.1.4 可扩展适配原则：预留设备扩容与功能升级接口，适应未来负荷增长、能源结构调整及技术升级需求，具备与上级电网及周边能源系统协同互动能力。

4.1.5 环保低碳原则：优先采用可再生能源制氢，减少化石能源消耗；妥善处理系统废水、废气，控制噪声污染，符合环保相关要求。

4.2 规划设计流程

分布式电氢耦合系统规划设计应按照以下流程，并应强化安全优先原则，将安全评估贯穿于规划设计全过程：

1) 需求分析：明确系统建设目标（如新能源消纳比例、调峰能力、碳减排量等），分析负荷特性、可再生能源资源禀赋及电网接入条件；开展氢系统安全需求评估，识别潜在安全风险。

2) 场景匹配：根据应用场景选择合适的系统架构，包括：

a) 可再生能源消纳场景：针对分布式光伏、风电出力波动性大的特点，配置电解制氢系统将富余电力转化为氢能存储。

b) 电力系统调峰场景：利用氢储能的长时储能特性，在电网低谷时段制氢、高峰时段发电，参与电网调峰。

3) 方案设计：开展系统容量配置、设备选型、布局规划等初步设计；编制安全专项设计，包括氢气泄漏防控、防爆设计、消防设施配置及应急疏散方案、安全设计专篇编制要求；进行技术经济比较与可行性分析。

4) 审批备案：按照相关规定完成项目审批、环评、能评、安评等备案手续；分布式电氢耦合系统应在可行性研究阶段开展安全预评价，在竣工验收阶段开展安全验收评价，确保设计符合 GB 50177《氢气站设计规范》的安全要求。

5 系统架构设计

分布式电氢耦合系统主要由以下子系统组成：

1) 电解制氢子系统：包括电解槽、电源转换装置、水预处理子系统等。

- 2) 储氢子系统：包括储氢罐、压力调节装置、氢气纯化设备等。
- 3) 氢燃料电池子系统：包括燃料电池堆、燃料供应子系统、热管理子系统等。
- 系统架构示意图见图 1，即各单元的连接关系与能量流向。

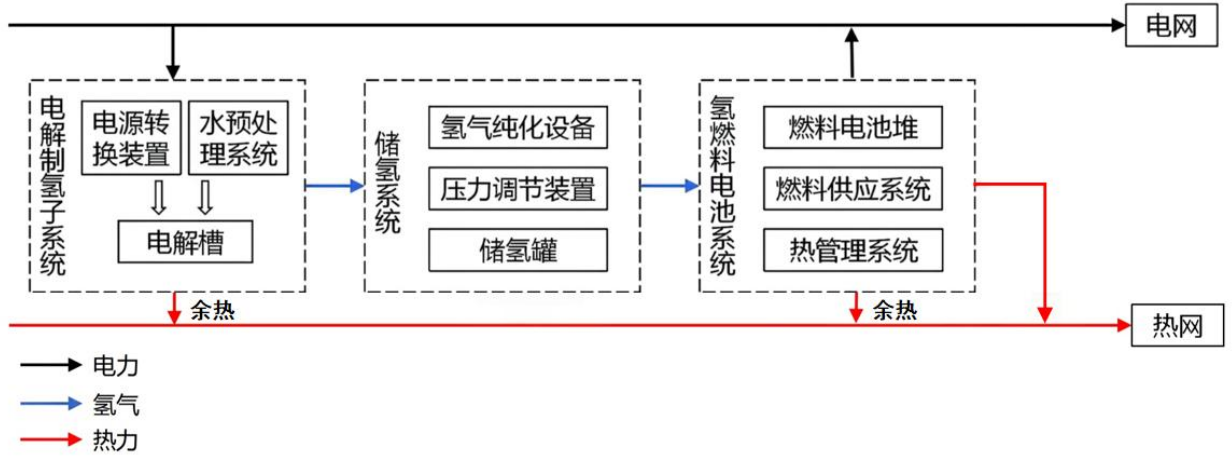


图 1 分布式电氢耦合系统架构

6 电氢耦合系统容量配置设计方法

6.1 一般规定

- 1) 分布式系统容量配置需优先匹配区域分布式可再生能源接入规模及出力特性，以满足电网调峰、氢能供应需求为主要目标，避免集中式大规模配置导致的资源浪费与电网冲击。
- 2) 基于区域电网负荷特性、氢能需求预测、可再生能源出力特性及电网接入条件，确保配置方案技术可行、经济合理。
- 3) 结合系统选址与技术选型，通过多方案比选和优化，确定最佳容量配置方案。

6.2 计算方法

1) **电-氢转换功率计算**：根据区域电网峰谷差、可再生能源弃电率等数据，确定电解槽的功率规模。推荐采用“弃电消纳优先+峰谷差调节”模型，计算公式为：

$$P_{el}=k_1 \times P_{abandon}+k_2 \times (P_{peak}-P_{valley}) \quad (1)$$

式中： P_{el} 为电解槽额定功率(kW)； $P_{abandon}$ 为年均弃电量对应的功率(kW)； P_{peak} 、 P_{valley} 为区域电网峰、谷负荷功率(kW)； k_1 、 k_2 为调节系数(0.5~1.0)。

2) **储氢容量计算**：综合考虑电解槽制氢速率、燃料电池发电需求、氢能用户负荷波动等因素，储氢容量可按下式估算：

$$V_{H2}=\frac{P_{fc} \times t \times \eta_{fc} \times 22.4}{3600 \times P_{H2} \times \eta_{storage}} \quad (2)$$

式中： V_{H2} 为储氢体积(m^3 ,标准状态)； P_{fc} 为燃料电池额定功率(kW)； t 为储能时长(h)； η_{fc} 为燃料电池电效率； P_{H2} 为氢气压力(MPa)； $\eta_{storage}$ 为储氢系统效率。

3) **燃料电池功率匹配**：根据氢能用户需求（如工业用氢、氢燃料电池车加氢）和电网调峰需求，确定燃料电池的功率规模，需满足：

$$P_{fc} \geq \max(P_{H2_demand}, P_{grid_peak}) \quad (3)$$

式中： P_{H2_demand} 为氢能用户最大小时用氢量对应的燃料电池功率(kW)； P_{grid_peak} 为电网调峰所需燃料电池最大功率(kW)。

7 电氢耦合系统选址设计方法

7.1 一般规定

- 1) 选址应满足国土空间规划、土地利用总体规划、城乡规划的相关要求，严格执行环保、交通运输、消防安全、水文地质等方面的相关标准。
- 2) 结合氢能需求分布、电网接入条件、可再生能源资源（如光伏、风电场地）、氢气运输条件等因素选址。
- 3) 站址规划需充分考虑防洪、防涝要求，设备基础标高宜高于当地历史最高水位 0.5m 以上，避开地震断裂带、滑坡等地质灾害易发区域。

7.2 选址原则

分布式电氢耦合系统选址原则包括以下 3 项：

- 1) **靠近负荷中心**：分布式系统选址应充分利用工业园区、数据中心等用户侧场地资源，实现能源就近消纳，减少长距离传输损耗。
- 2) **能源协同利用**：与分布式光伏、风电项目联合选址，实现“风-光-电-氢”一体化运行，提高分布式可再生能源消纳率。
- 3) **安全距离控制**：与居民区、学校、医院等敏感区域保持安全距离，应按系统储氢量分级控制，具体要求应符合 GB 50177《氢气站设计规范》第 3.0.2 条的规定：
 - a) 当储氢量不大于 1000kg 时，储氢装置与民用建筑物、重要公共建筑物安全距离不应小于 25m；
 - b) 当储氢量为 1000kg~5000kg 时，储氢装置与民用建筑物、重要公共建筑物安全距离不应小于 30m；
 - c) 当储氢量为 5000kg~10000kg 时，储氢装置与民用建筑物、重要公共建筑物安全距离不应小于 35m；
 - d) 当储氢量大于 10000kg 时，储氢装置与民用建筑物、重要公共建筑物安全距离不应小于 40m。注：储氢量按氢气在标准状态下的体积换算，储氢装置与明火或散发火花地点、架空电力线、铁路、道路等的安全距离应符合 GB 50177 表 3.0.2 的规定。

7.3 氢负荷与电网特性分析

- 1) **氢负荷分析**：调查区域内工业用氢（如化工、冶金）、交通用氢（如氢燃料电池车、氢燃料船舶）等需求的规模、时段分布及压力等级要求，绘制氢负荷曲线，作为选址和容量配置的依据。
- 2) **电网特性分析**：分析接入点的电网电压等级、短路容量、负荷波动特性及可再生能源接入情况，评估系统接入对电网电能质量的影响，确保符合 GB/T 12326、GB/T 14549 等标准要求。

8 电氢耦合系统技术选型设计

8.1 一般规定

- 1) 技术选型应以国家新型储能及氢能产业政策为指导，遵循现行国家标准《电解水制氢系统技术要求》《燃料电池发电系统安全要求》等的相关要求。
- 2) 结合技术成熟度、系统效率、生命周期成本、环境适应性等因素，因地制宜选择合适的技术路线。
- 3) 设备选型应确保电解槽、燃料电池、储氢系统等核心设备的性能参数匹配，满足系统整体效率要求。
- 4) 系统设计应遵循模块化、标准化原则，便于后期扩容与维护。

8.2 选型原则

不同应用场景下的设备选型原则如下：

- 1) **电解槽选型**：对于电网波动较大、可再生能源接入比例高的场景，优先选择具有启动速度快、负荷调节范围宽的电解槽；对于成本敏感、连续运行需求高的场景，可选择投资成本较低，系统效率较高的电解槽。
- 2) **燃料电池选型**：用于电网调峰、应急电源的场景，推荐发电效率高、响应速度快的燃料电池类型；用于热电联供的场景，可选择综合效率可达 80% 以上，且能利用多种燃料的燃料电池类型。
- 3) **储氢方式选型**：当储氢规模小于 500kg、氢气压力需求为 1.0~3.5MPa 时，优先采用高压气态储氢，推荐使用碳纤维缠绕储氢罐；当储氢规模大于 500kg、具备低温条件时，可考虑液态储氢；对于安全要求高的居民区、商业中心等场景，可采用固态储氢。

9 电氢耦合系统接入设计

9.1 电网接入要求

- 1) 接入电压等级: 根据系统容量选择接入电压等级, 100kW 以下可接入 220V/380V 低压电网, 100kW~5MW 可接入 10kV 电网, 接入方案应符合 DL/T 5611 的要求。
- 2) 电能质量: 系统并网时的电压偏差、频率偏差、谐波含量、电压波动和闪变等指标应符合 GB/T 12325、GB/T 15945、GB/T 14549、GB/T 12326 标准要求。
- 3) 并网保护: 应配置过流保护、过压保护、欠压保护、频率保护等并网保护装置, 保护配置及整定计算应符合 GB/T 14285 的要求。

9.2 氢气管网接入要求

- 1) 当系统具备氢气管网接入条件时, 应考虑管网接入, 氢气压力、纯度等指标应符合用户需求和 GB/T 3634.1 的要求。
- 2) 氢气管网接口应设置压力调节装置、流量计量装置和安全切断阀, 确保氢气供应安全稳定。
- 3) 对于无管网接入的场景, 可采用高压管束车、液氢槽车等方式运输氢气, 运输车辆及装卸设施应符合 GB 50177 的安全要求。

9.3 能量管理与协调控制

- 1) 系统应具备能量管理系统 (EMS), 实现对电解槽、燃料电池、储氢系统及电网的协调控制, 优化电-氢能量转换效率, 降低运行成本。
- 2) 控制策略应根据电网电价信号、氢能需求、可再生能源出力等因素自动调整运行模式, 低谷电价时段: 优先利用电网电能制氢, 储存氢能; 高峰电价时段: 通过燃料电池发电向电网供电, 或满足高价氢能用户需求; 可再生能源大发时段: 优先利用弃电制氢, 提高能源利用效率。
- 3) 系统应具备与电网调度中心的通信接口, 接受调度指令, 参与电网调峰、调频等辅助服务, 通信协议应符合 GB/T 33602-2017《电力系统通用服务协议》的要求。
- 4) 系统接入电网的通信网络应符合 GB/T 25320.4-2024《电力系统网络安全 第4部分: 分布式电源接入电网安全防护》与 GB/T 45223-2025《电力系统网络安全 分布式能源控制系统安全防护技术要求》的规定, 采用加密通信、访问控制等技术手段保障数据安全。

10 安全防护要求

10.1 氢气安全设计

- 1) 氢气泄漏检测: 在电解槽、燃料电池、储氢罐、管道等区域设置氢气泄漏探测器, 检测精度不低于 1% LEL (爆炸下限), 响应时间不超过 30s。
- 2) 氢气排放系统: 设置安全可靠的氢气排放管道, 排放口应高出建筑物顶部 2m 以上, 并远离明火和易燃物, 排放管道应采用不锈钢材质, 设置防静电接地装置。
- 3) 防爆措施: 氢气区域的电气设备应符合防爆要求, 选用防爆电器, 区域内禁止产生静电、火花等点火源。

10.2 消防设施配置

- 1) 灭火系统: 根据系统规模和危险等级配置消防设施, 储氢罐区设置固定式水喷雾灭火系统, 喷头布置应确保罐壁全覆盖; 电解槽和燃料电池区域设置气体灭火系统 (如七氟丙烷、IG-541), 灭火设计浓度应符合 GB 50370 的要求;
- 2) 火灾报警系统: 配置感烟、感温火灾探测器和火灾声光警报器, 系统应与消防控制室联动, 实现火灾早期预警和自动灭火;
- 3) 应急系统: 设置紧急切断阀、安全泄放装置、人员紧急撤离通道和应急照明设施, 确保在紧急情况下人员安全和设备保护。

10.3 安全设计专篇编制要求

- 1) 编制要求: 分布式电氢耦合系统应在方案设计阶段编制安全设计专篇, 作为设计文件的重要组成部分。安全设计专篇应包括危险与可操作性分析 (HAZOP)、保护层分析 (LOPA)、安全完整性等级 (SIL) 评估等内容。

2) 触发条件及响应动作：安全设计专篇应明确触发条件及响应动作，包括但不限于：a) 氢气浓度达到 20% LEL 时声光报警，达到 40%LEL 时联锁切断氢源，达到 60% LEL 时启动紧急泄放；b) 电解槽温度超过设定值时自动切断电源；c) 储氢罐压力超过设计压力 90%时报警，超过 95%时安全阀起跳。

3) 分级管理：安全设计专篇应实行分级管理：a) 储氢量不大于 1000kg 的系统应完成 HAZOP 分析；b) 储氢量 1000kg~5000kg 的系统应完成 HAZOP 和 LOPA 分析；c) 储氢量大于 5000kg 或涉及重大危险源的系统应完成 HAZOP、LOPA 和 SIL 评估，并配置 SIS。

11 规划设计评价指标及组织实施流程

11.1 技术经济性指标

1) 技术经济指标包括经济指标：包括初始投资（万元）、年运行维护成本（万元 / 年）、生命周期（年）、净现值（NPV）、内部收益率（IRR）、平准化氢成本（LCOH，元 /kg）、平准化度电成本（LCOE，元 /kWh）等；技术指标：包括系统效率（%）、电氢转换效率（%）、可再生能源消纳率（%）、设备利用率（%）等。

2) 成本收益分析包括成本构成分析、收益来源分析以及经济性测算模型，平准化氢成本（LCOH）计算公式如下：

$$LCOH = \frac{C_{initial} \times CRF + C_{OM} - R_{subsidy}}{H_{production}} \quad (4)$$

式中： $C_{initial}$ 为初始投资（万元）； CRF 为资本回收因（ $CRF = i(1+i)^n / [(1+i)^n - 1]$ ， i 为折现率， n 为生命周期）； C_{OM} 为年运行维护成本（万元/年）； $R_{subsidy}$ 为年政策补贴（万元/年）； $H_{production}$ 为年氢气产量（kg/年）。

11.2 环境影响指标

1) 生态环境影响

分析土地占用、植被破坏、施工扬尘、噪声污染等生态环境影响，提出环保措施；评估废水、废气排放情况，确保符合国家环保标准。

2) 碳排放评估

开展全生命周期碳排放评估，计算单位氢气或电能碳排放量。单位氢气碳排放量应符合 T/CAB 0078-2020 要求（小于 4.9 kg CO₂-eq/kg H₂）。对比传统能源系统，计算碳减排量与减排率。

11.3 可持续发展指标

从能源安全、资源利用效率、环境友好性、区域协同发展等方面评价系统对区域能源结构转型和双碳目标的贡献，提出优化建议。

11.4 灵活性指标

包括灵活性不足概率与灵活性裕量期望。灵活性不足概率为研究时段内灵活性不足时间与总时间的比值；灵活性裕量期望为灵活性裕量随机变量的集中趋势。

灵活性裕量为系统最大可调节出力与最大需调节负荷的差值。

11.5 评价组织与实施

规划设计评价应按照以下流程开展：

- 1) 评价准备：明确评价目标、范围、依据和方法，组建评价工作组，收集项目基础资料；
- 2) 指标测算：按照 11.1~11.4 的要求，分别测算技术经济性指标、环境影响指标、可持续发展指标和灵活性指标；
- 3) 综合评价：对各指标进行加权汇总，形成综合评价结论，提出优化建议；
- 4) 报告编制：编制规划设计评价报告，报告应包括评价依据、评价方法、指标测算过程、评价结论和优化建议等内容。

参 考 文 献

- [1] 张琪. 基于可再生能源水电解制氢技术发展概述[J]. 当代化工研究, 2023, 127(02): 14-16
- [2] 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(3): 486-495
- [3] 袁铁江, 张昱, 栗磊, 等. 计及功率密度约束含氢储能的预装式多元储能电站容量优化配置研究[J]. 电工技术学报, 2021, 36(3): 496-506
- [4] 鲁宗相, 李海波, 乔颖. 含高比例可再生能源电力系统灵活性规划及挑战[J]. 电力系统自动化, 2016, 40(13): 147-158
- [5] 李海波, 鲁宗相, 乔颖, 等. 大规模风电并网的电力系统运行灵活性评估[J]. 电网技术, 2015, 39(06): 1672-1678
- [6] 鲁宗相, 李海波, 乔颖. 高比例可再生能源并网的电力系统灵活性评价与平衡机理[J]. 中国电机工程学报, 2017, 37(01): 9-20
- [7] 王洪坤, 王守相, 潘志新, 等. 含高渗透分布式电源配电网灵活性提升优化调度方法[J]. 电力系统自动化, 2018, 42(15): 86-93
- [8] MOHAMMADI A, MEHRPOOYA M. A comprehensive review on coupling different types of electrolyzer to renewable energy sources[J]. Energy, 2018, 158: 632-655
- [9] JIN Chen, XIAO Jinyu, HOU Jinming, et al. Flexibility improvement evaluation of hydrogen storage based on electricity-hydrogen coupled energy model[J]. Global Energy Interconnection, 2021, 4(4): 371-383
- [10] 潘光胜, 顾钟凡, 罗恩, 等. 新型电力系统背景下的电制氢技术分析与展望[J/OL]. 电力系统自动化: 1-15[2023-03-02]