

水资源受限氢储能电站 BOP 系统优化设计

——满负荷补水与热源未验证条件下的工程分析

邹 昊

爱德曼氢能源装备有限公司 浙江嘉兴

【摘要】化德县电网侧储能示范项目可研按地下水作为生活、工业和消防补水水源，循环水补水按 30 m³/h 考虑，并配置 50 t/h 地下水处理系统，但可研同时注明水文地质报告和水资源论证尚未落实。项目实施后，井水实际产量不足 20 t/d，满负荷补充冷却水为 10 至 15 t/h，单一地下水源无法满足连续运行。可研中的循环水设计流量为 1700 m³/h，供回水温度为 32℃和 42℃，设计温差 10℃；现场记录的冷却塔进出口温差为 20 至 30℃，需按同一回路和稳定工况复核。本文对可研假设与现场数据进行对照，提出分项计量、多水源补给、雨水及燃料电池排水回用、储水降载和首冬热源试验要求。

【关键词】氢储能站；循环冷却水；地下水；水量平衡；多水源

【收稿日期】2026 年 6 月 12 日

【出刊日期】2026 年 7 月 15 日

【DOI】10.12208/j.jer.20260053

Optimization design of BOP system for hydrogen energy storage power station with limited water resources ——Engineering analysis under full-load water supplementation and unverified heat source conditions

Hao Zou

Edman Hydrogen Energy Equipment Co., Ltd. Jiaxing, Zhejiang

【Abstract】The feasibility study for the Huade County grid-side energy storage demonstration project uses groundwater as the water source for domestic, industrial, and fire-fighting purposes, with a circulating water supply capacity of 30 m³/h and a 50 t/h groundwater treatment system. However, the feasibility study also notes that the hydrogeological report and water resource assessment have not yet been completed. After project implementation, the actual well water production is less than 20 t/d, and the full-load cooling water supplementation is 10 to 15 t/h, which cannot meet the continuous operation requirements of a single groundwater source. The design flow rate of circulating water in the feasibility study is 1700 m³/h, and the supply and return water temperatures are 32℃ and 42℃, with a design temperature difference of 10℃. The on-site recorded temperature difference between the inlet and outlet of the cooling tower is 20 to 30℃, which needs to be verified under the same circuit and stable operating conditions. This paper compares the feasibility study assumptions with field data and proposes requirements for component metering, multi-source water supply, rainwater and fuel cell drainage reuse, water storage load reduction, and the first winter heat source test.

【Keywords】Hydrogen energy storage station; Circulating cooling water; Groundwater; Water balance; Multi-source water supply

1 引言

氢储能站的制氢、氢气压缩和燃料电池发电设备都需要冷却。水量不足或供水温度过高会造成设备降载，严重时触发停机。化德县地下水不丰富，且分布不均，水源能力必须和运行方式一起核算。水处理设备能处理多少水，并不等于水井能够持续提供同样的水量^[6]。

可研阶段按地下水供水，设置 50 t/h 处理系统，但

水文地质报告、水资源论证和实际井深均未落实。项目实施后的井水产量不足 20 t/d，与处理系统额定能力相差很大。本文将可研设计值和现场数据分开使用，不以设备名义能力替代水源实测能力。

在 BOP 系统校核中，还应将各用水单元按照“生产必需、运行保障和辅助用水”进行分级管理。制氢、燃料电池及相关冷却环节属于连续运行条件下的核心

用水负荷，其供水可靠性直接影响储能系统的可用功率；设备冲洗、场地保洁等用水则可根据储水状态进行时段调整。通过建立分级用水清单，可以在水源受限时优先保障关键设备，并为后续负荷调整提供明确边界。

2 可研设计值与现场数据

项目氢储能规模为 10 MW/40 MWh，制氢和燃料电池交替运行。可研按 1700 m³/h 配置循环水系统，设置 2 台 850 m³/h 机力通风冷却塔，3 台 900 m³/h 循环水泵两用一备。设计供水温度 32℃，回水温度 42℃，温差 10℃。可研另按循环冷却水补水 30 m³/h、其他工艺用水 10 m³/h 考虑，并配置 50 t/h 地下水处理系统^[4]。

现场记录的冷却塔进出口温差为 20 至 30℃，明显

偏离可研 10℃设计值。该数据可能来自瞬时工况，也可能混用了不同回路或温度范围。正式采用前需从控制系统导出同一时刻的供回水温度、流量、运行泵数和设备负荷，再与散热量核对^[5]。

3 满负荷水量平衡

3.1 供需缺口

按现场满负荷补水 10 至 15 t/h、连续运行 24 h 计算，日补水需求约 240 至 360 t。井水按 20 t/d 上限计，日缺口仍超过 220 至 340 t，自给率不足 5.6%至 8.3%，每天只能支持约 1.3 至 2.0 h 的满负荷补水。该计算用于判断数量级，最终设计水量仍需以稳定工况计量为准。

表 1 可研口径与现场数据对照

指标	可研口径	现场口径	校核意见
循环水流量	1700 m³/h	待稳定工况复核	核对流量计量程和泵组状态
循环水温差	42/32℃，温差 10℃	塔进出口 20 至 30℃	核对测点、回路和时刻
冷却补水	约 30 m³/h	满负荷 10 至 15 t/h	拆分蒸发、排污和泄漏
水处理能力	额定 50 t/h	设备能力并非水源能力	不得代替取水论证
井水能力	水资源论证待落实	不足 20 t/d	按实测持续产量设计
空气源热泵	工艺楼约 300 kW，参数后续确认	尚未运行	首冬专项验证

表 2 满负荷补水能力筛查

指标	计算	结果	工程判断
日补水需求	10 至 15×24	240 至 360 t/d	连续满负荷需求
井水供给	按上限 20 t/d	小于 20 t/d	实际值可能更低
日缺口	需求减井水	大于 220 至 340 t/d	需要其他水源
井水自给率	20÷240 至 360	小于 5.6%至 8.3%	不具备单源保障能力
满负荷支撑时长	20÷10 至 15	小于 1.3 至 2.0 h/d	无法连续运行

3.2 补水数据闭合

10 至 15 t/h 需要拆分为蒸发、飘水、排污、泄漏、化学水消耗和调试期充水。可研还给出地下水处理系统每天约 41.21 m³ 反洗排水，生活水处理废水约 2 t/h，除盐水系统废水约 5 t/h。上述排水若未纳入总量平衡，会低估取水需求。总补水、冷却用户、排污、处理系统产水和储水量变化均需独立计量^[1]。

3.3 水量与功率控制

补水不足会降低冷却塔水位并抬高设备入口水温，制氢或燃料电池系统随后降载^[7]。站级控制应根据储水量和冷却余量提前降低功率，避免低液位或高温保护直接动作。降载曲线需用运行试验确定，并写入能量管理系统和运行规程。

在多水源方案中，不同水源不宜简单按照水量进行叠加，还需考虑水质、供水稳定性和切换条件。地下水作为现有水源，应首先明确可持续取水能力；外购水主要承担主水源不足时的补充作用，应落实运输、接卸和储存条件；回用水则应根据水质检测结果确定具体用途。各水源进入生产系统前，应明确隔离、过滤和水质监测要求，并通过阀门及控制逻辑实现有序切换，避免因水源切换造成循环水系统压力和水质波动。

4 水源和回用方案

4.1 多水源补给

可研把地下水作为生活、工业和消防补水水源，但实际井水能力不能支撑满负荷运行。后续方案需把井水、具有合同保障的外购水和安全储水组合使用，

并明确外购水到场周期、道路受低温影响时的替代路线及最大补给速率。消防水独立保留，不计入生产可用水量。

4.2 雨水和燃料电池排水

可研的雨水方案是收集后排出站外，没有设置生产回用。改造时可增加初期弃流、沉淀过滤和独立储存，处理合格后用于冷却补水或冲洗^[2]。化德县年降水量有限，雨水只能作为补充水源，不能承担基本供水。

可研已提出收集燃料电池排水再利用，但把具体方案留到后续设计。回收系统需设置缓冲水箱和水质监测，并根据发电负荷核算产水量。水质满足要求后，可优先送入除盐水或循环水补水系统；不合格水进入其他低品质用水环节。

4.3 储水和节水

储水容积按允许连续运行时间、外购水到场周期和主水源故障持续时间计算。运行规程设置正常、预警、降载和停机保安水位。需求侧先消除泄漏，再核实漂水、排污和浓缩倍率。节水能降低缺口，但无法单独解决每天 220 至 340 t 的供水差额。

储水系统的作用不仅是弥补日常水量缺口，同时还承担短时供水中断期间的运行缓冲功能。因此，储水

容积应与实际补水能力、设备降载策略和外部补给周期联动考虑。运行中可根据储水液位划分不同控制区间：正常状态维持既定运行方式，预警状态限制非必要用水，降载状态降低相关设备负荷，达到保安水位后停止非必要生产负荷。该控制方式能够把水量不足由被动停机风险转化为可管理的功率调整过程。

5 首冬热源验证

可研为工艺楼设置约 300 kW 空气源热泵，并注明具体参数需结合气象和设备资料进一步计算。该设备至今尚未运行，项目也没有冬季水温实测数据。首冬试验记录环境温度、供回水温度、流量、输入功率、输出热量和化霜状态，覆盖低温启动、周期化霜、单机故障、停电恢复及伴热失效^[3]。

首冬运行还应关注热源系统与水系统之间的耦合关系。低温环境下，空气源热泵性能、管道保温、伴热状态以及循环水流量会共同影响供热效果，单独验证热泵额定能力并不能代表实际工况下的保障能力。试验过程中还应保留连续运行数据，并将环境温度变化与供回水温度、输入功率和设备状态对应起来。对于异常停机或恢复过程，还应记录水温变化和恢复时间，为后续确定最低运行条件及保安措施提供依据^[8]。

表 3 首冬专项试验

场景	监测量	判定内容
低温启动	环境温度、启动时间、供回水温度	能建立稳定供热
周期化霜	化霜时长、出水温度、输入功率	温度波动不触发保护
单机或循环泵故障	剩余流量、温度、报警和切换	备用或降载逻辑有效
停电及恢复	最低水温、恢复时间、排水状态	无冻损并可安全恢复
伴热失效	管壁温度、低点温度、报警	留有足够处置时间

6 调试与验收

调试阶段取得稳定满负荷或可外推的分项计量数据，复核 10 至 15 t/h 补水量和 20 至 30℃温差。主水源中断、低储水位降载和外购水补给均需演练。验收资料包括水量闭合结果、储水持续时间、补给能力、热泵性能曲线和故障切换记录。

调试与验收阶段还应形成“数据-判断-整改-复测”的闭环。首次测试发现的数据偏差，应先确认测点、仪表精度和运行状态，再判断是否属于系统设计问题。对于补水量、循环水温差等关键指标，应采用连续稳定数据进行复核，而不是依据单次记录作出结论。涉及水源切换、储水降载和热源故障的试验，则应验证控制指令是否能够被设备正确执行，并检查报警、联锁及人工处

置流程是否一致。

7 结论

（1）可研配置 50 t/h 地下水处理系统，但水资源论证尚未落实。现场井水日产不足 20 t，处理设备能力不能代表水源供给能力。

（2）现场满负荷补水对应日需求 240 至 360 t，井水自给率不足 5.6%至 8.3%。项目需要外购水、回用水和储水共同保障。

（3）可研循环水设计温差为 10℃，现场记录为 20 至 30℃。两组数据必须按相同测点、回路和稳定负荷复核。

（4）雨水回用、燃料电池排水回收和空气源热泵首冬试验尚未形成完整现场证据，应纳入后续设计和验收。

参考文献

- [1] GB/T 50050-2017,工业循环冷却水处理设计规范[S].
- [2] GB 50400-2016,建筑与小区雨水控制及利用工程技术规范[S].
- [3] GB/T 41703-2022,商业或工业用及类似用途的热泵热水系统设计、安装、验收规范[S].
- [4] 化德县电网侧独立储能示范项目可行性研究报告,收口版[R]. 2024.
- [5] 化德县电网侧储能示范项目技术协议及建设调试记录[R]. 2025.
- [6] 霍现旭,王靖,蒋菱,徐青山. 氢储能系统关键技术及应用综述[J]. 储能科学与技术,2016,5(2):197-203.
- [7] 赵洪波,刘杰,马彪,郭强,刘晓辉,潘凤文. 水冷 PEMFC 热管理系统控制策略及仿真研究[J]. 化工学报, 2020, 71(5):2139-2150.
- [8] 马文举,周家旺,谢奇光,李洪涛,姜珮,胡囡涛,周丰松. 燃料电池发动机水热管理系统设计、仿真与试验验证[J]. 汽车工程学报,2024,14(4):674-686.

版权声明: ©2026 作者与开放获取期刊研究中心(OAJRC)所有。本文章按照知识共享署名许可条款发表。

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



OPEN ACCESS