

基于退役燃煤电厂的卡诺电池储能技术研究

李国庆 安军

四川电力设计咨询有限责任公司 成都 610041

【摘要】：本研究基于新疆某热电厂 2×25MW 老旧燃煤机组灵活性改造项目，通过加装熔盐储能装置，将其改造为兼具储能调峰与供热功能的电站。改造后，系统可有效消纳光伏弃电和电网谷电：非采暖季为区域电网顶峰发电，并为周边工业园区提供工业蒸汽；采暖季则为居民提供采暖用汽。项目聚焦于以下关键技术的研究与应用：提高储能效率、耦合低品位余热利用、实现长时储能并推动商业化应用。

【关键词】：灵活性改造；熔盐储能；调峰供热；消纳光伏

DOI:10.12417/2811-0528.26.05.016

退役火电厂改造为储能电站技术（又称卡诺电池系统）是一种新兴的中大规模电力存储解决方案。该技术通过利用现有电厂基础设施，具备低成本、场地复用和环保等优势，主要应用于退役燃煤电厂及生物质电厂等场景。作为电化学储能的重要补充方案，其规模化应用将有效提升可再生能源消纳能力^[1]。在政策层面，我国持续强化储能产业支持力度。2022 年国家发改委、能源局联合发布《关于促进新时代新能源高质量发展的实施方案》，明确提出完善调峰补偿机制，重点推进煤电灵活性改造、抽水蓄能及光热发电项目建设，并要求研究储能成本回收机制^[2]。2024 年 4 月，国家能源局《关于促进新型储能并网和调度运用的通知》进一步细化市场机制：通过合理扩大现货市场限价区间、建立容量补偿机制等市场化手段，促进新型储能电站“一体多用、分时复用”，进一步丰富新型储能电站的市场化商业模式^[3]。

1 项目背景

(1) 某热电厂机组运行现状：某热电厂现有 2×130t/h+1×160t/h 高温高压燃煤锅炉+2×25MW 抽凝式汽轮发电机组。由于该热电厂建设较早，现有的 3 台锅炉及配套辅机设备老化严重，运行过程中故障频发且锅炉效率较低，同时还存在一定的环保压力。截止目前，某热电厂 2 台 25MW 机组 25 年设计使用年限将满，如何有效处置即将退役的火电机组，避免机组退役造成企业资产闲置和减值是某电力集团需要解决的问题。

(2) 光伏电站弃电状况：某电力集团在建或待建的光伏电站正逐年增加，随着光伏电站装机容量的增大，光伏电力的消纳及用电平衡问题亟需解决，特别是在光伏电站大发时段，自有电网无法及时消纳光伏电力从而造成弃光现象。预计到 2025 年底，某电力集团并网光伏电站最大出力达到 1510MW，根据现有的用能状况只能消纳 1200~1300MW 的光伏电力，剩余 210~300MW 光伏电力将出现弃光现象。

(3) 退役热电厂改造思路：本项目拟将光伏大发时段的

弃电通过储能装置进行存储，利用储能装置代替某热电厂燃煤锅炉产生高温蒸汽进行发电和供热。本改造项目中，汽机岛及化补水系统、冷却水系统、电气系统、仪控系统辅助系统利用，对于退役火电机组而言，可利用原有设备，有效降低储能电站投资，同时避免由于机组退役造成的资产闲置、减值。

本项目经改造后成为储能调峰及供热电站，利用光伏电站弃电或电网谷电，通过储能装置将电能转化为热能。在非采暖季，将储能装置中的热量转化为高温蒸汽推动汽轮机做功发电（电网电价较高的时段）和对外供应工业蒸汽；在采暖季，将储能装置中的热量转化为高温蒸汽对外供热用于居民采暖，采暖蒸汽供应量应不低于 100t/h。

2 项目改造方案

本项目熔盐电加热器最大运行功率为 210MW，电热转换效率按 95% 计算，熔盐储热容量按 800MWh 考虑，在非采暖季，熔盐岛满负荷充电 4h，可满足一台 25MW 机组 8h 顶峰发电，发电期间利用汽机抽汽为园区提供 P=0.88MPa.g、t=276°C、Q=10t/h 的工业蒸汽；在电网电价处于平、谷时段，汽轮发电机组不发电，此时间段通过熔盐储换热系统为园区提供约 10t/h 的工业蒸汽。

在采暖季，熔盐储能站运行模式相对单一，熔盐岛满负荷充电 9.3h，即可每天 24 小时为热网首站提供 P=0.88MPa.g、t=276°C、Q=100t/h 的采暖供汽。

(1) 非采暖季工况：在熔盐储热阶段（每天加热 4~8h），低温熔盐（290°C）经低温熔盐泵（889~1778t/h）输送至熔盐电加热器，熔盐被电加热升温至 565°C 后储存于高温熔盐储罐中，储热过程中电加热器最小功率为 10MW，最大功率为 210MW，熔盐储热阶段为边储边放状态。

在熔盐放热阶段（每天 24h）：在 1 台 25MW 汽轮发电机组顶峰发电的 8 个小时期间，高温熔盐（565°C）经高温熔盐

泵 (735.8t/h) 在蒸汽发生系统中加热 245°C 给水 (低负荷预热器进口给水温度 220°C, 给水由汽机岛原有高压给水系统提供), 产生 114.3t/h 的高温高压 (540°C、9.8MPa) 蒸汽送至汽轮发电机组发电 (发电功率约 27.5MW), 并从汽机三段抽汽口抽出 10t/h 低参数 (276°C、0.88MPa) 蒸汽对外供热, 该时段蒸汽发生系统处于设计工况。

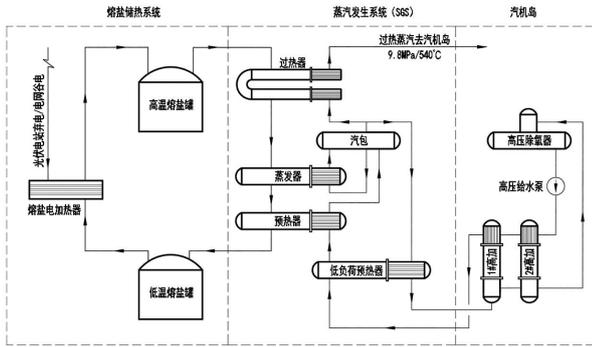


图1 非采暖季机组顶峰发电工况储放热流程图

在每天剩余 16 小时的纯工业供热工况下, 高温熔盐 (565°C) 经高温熔盐泵 (76.6t/h) 在蒸汽发生系统中加热 245°C 给水 (低负荷预热器进口给水温度 158°C), 产生约 12.3t/h 的高温高压 (540°C、6.3MPa) 过热蒸汽。

考虑到发电用蒸汽与工业用蒸汽温度及压力匹配性问题, 本项目还设有一套汽-水换热器 (BEM) 和一套发夹式过热器, 两套换热器串联后利用高参数蒸汽 (540°C、6.3MPa) 产生低参数 (0.88MPa、276°C) 的工业蒸汽。高参数蒸汽进入换热器管侧, 中压给水 (1.3MPa、70°C) 进入换热器壳侧, 在汽-水换热器壳侧产生 0.88MPa 的饱和蒸汽, 饱和蒸汽再经过 1 套发夹式过热器加热后产生 276°C 的过热蒸汽用于工业供热 (~10t/h)。在纯工业供汽工况期间, 蒸汽发生系统、汽-水换热器及发夹式过热器均处于低负荷工况。

在非采暖季纯工业供汽工况下, 蒸汽发生系统 (SGS) 进口给水由汽机岛侧高压给水泵 (7.0MPa) 提供, 汽水换热系统 (BEM) 进口给水由汽机岛侧现有中继水泵 (1.3MPa) 提供。

此外, 本项目还设有 1 套疏水箱和 1 套疏水泵, 用于将汽水换热系统 (BEM) 及低负荷预热器中的疏水打回蒸汽发生系统 (SGS) 给水管路。

参考文献:

[1] 韩瑞等.面向火电厂改造的熔盐卡诺电池储能系统仿真研究[D].面向火电厂改造的熔盐卡诺电池储能系统仿真研究[J].储能科学与技术,2023,12(12):3605-3615.
 [2] 国家发展改革委,国家能源局.关于促进新时代新能源高质量发展的实施方案.(国办函〔2022〕39号)[EB/OL].2022.
 [3] 国家能源局.关于促进新型储能并网和调度运用的通知(国能发科技〔2024〕26号)[EB/OL].2024.

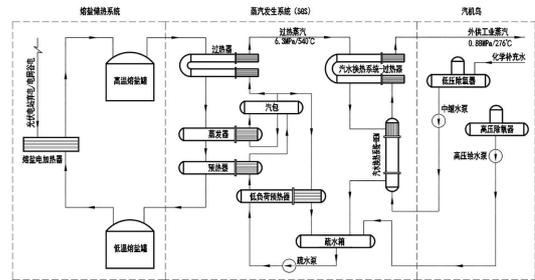


图2 非采暖季纯工业供汽工况储放热流程图

(2) 采暖季工况: 在熔盐储热阶段 (每天加热 9~9.5h), 低温熔盐 (290°C) 经低温熔盐泵 (889~1778t/h) 输送至熔盐电加热器, 熔盐被电加热升温至 565°C 后储存于高温熔盐储罐中, 储热过程中电加热器最小功率为 10MW, 最大功率为 210MW, 熔盐储热阶段为边储边放状态。

在熔盐放热阶段 (每天 24h), 高温熔盐 (565°C) 经高温熔盐泵 (696.6t/h) 在蒸汽发生系统中加热 245°C 给水 (低负荷预热器进口给水温度 158°C), 产生约 115.6t/h 的高参数 (540°C、6.3MPa) 过热蒸汽。高参数过热蒸汽经一套汽-水换热器 (BEM) 和发夹式过热器换热后, 水侧可产生 100t/h 的低参数过热蒸汽 (0.88MPa、276°C) 用于采暖供热。在采暖供汽工况期间, 汽-水换热器及发夹式过热器处于设计工况。

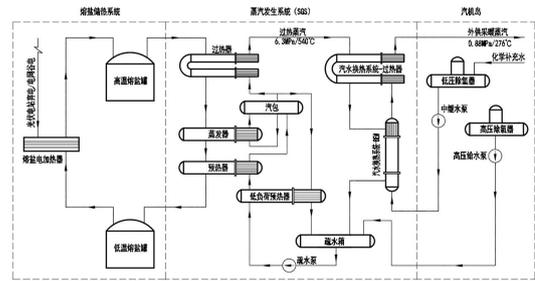


图3 采暖季工况储放热流程图

3 结语

本项目通过熔盐储热技术改造退役热电厂, 构建兼具调峰供电与热力供应功能的综合能源站, 有效盘活企业闲置资产。改造后系统可实现三重效益: (1) 新能源消纳: 降低区域光伏弃光率, 平抑光伏出力波动导致的电网不平衡; (2) 经济性提升: 基于分时电价策略参与电力市场, 通过峰谷套利与调峰辅助服务获取收益; (3) 社会价值: 为老旧机组绿色转型提供可复制路径, 推动能源基础设施可持续发展。该模式为火电低碳转型提供了技术经济双可行的解决方案, 对构建新型电力系统具有示范意义。