

《国家工业节能技术应用指南与案例(2022年版)》

可再生能源高效利用节能提效技术

一、太阳能等可再生能源高效利用技术

(一) 超薄柔性铜铟镓硒太阳能电池一体化发电节能技术

1. 技术适用范围

适用于可再生能源领域一体化发电节能技术改造。

2. 技术原理及工艺

采用 30 微米柔性不锈钢箔基底，分别利用卷对卷磁控溅射、三步共蒸发、化学水浴沉积等镀膜技术和超薄柔性封装技术制备柔性衬底铜铟镓硒薄膜电池组件，制程工艺稳定可靠。柔性铜铟镓硒太阳能电池作为发电建材，可与建筑物立面、顶面及光伏景观灯一体化结合，将太阳光转化为厂区用电能。

3. 技术指标

- (1) 整体发电效率比晶硅系统高 15%以上；
- (2) 组件长时间耐候性：25 年；
- (3) 每平方重量： ≤ 3.3 千克；厚度： ≤ 3.5 毫米。

4. 技术功能特性

(1) 可与建材及基础设施、智慧传感器整合，一体化成型，适应范围广；

(2) 通过城市家居分布式网络化布置，实现分布式发电分布式储能；

(3) 适合城市多尘多湿环境，高效稳定，寿命长。

5.应用案例

梦想小镇分布式光伏共享系统项目，技术提供单位为浙江尚越新能源开发有限公司。

(1) 用户用能情况：原屋面是由粮仓改建，北坡、东西向坡度较大，传统光伏组件无法应用。

(2) 实施内容及周期：采用超薄柔性铜铟镓硒（CIGS）太阳能电池，总装机容量 1140 千峰瓦，运用“安装型”太阳能光伏系统（BAPV）直铺安装方式。实施周期 3 个月。

(3) 节能减排效果及投资回收期：改造完成后，整体发电比晶硅系统高 15%以上，节约用电 110 万千瓦时/年，折合节约标准煤 341 吨/年，减排 CO₂ 945.4 吨/年。投资回收期 6 年。

6.预计到 2025 年行业普及率及节能减排能力

预计到 2025 年行业普及率可达到 6%。可实现节约标准煤 20 万吨/年，减排 CO₂ 55.5 万吨/年。

(二) 真空集热蓄热型太阳能复合空气能供热技术

1. 技术适用范围

适用于可再生能源领域供热供暖节能技术改造。

2. 技术原理及工艺

真空集热蓄热型空气源热泵采用螺旋形真空集热蓄热辅助升温装置，通过快速集热、高效蓄热，创新设计机组整体结构，实现太阳能和空气能两种能源高效利用。真空集热蓄热型太阳能复合空气能供热技术原理如图 1 所示。

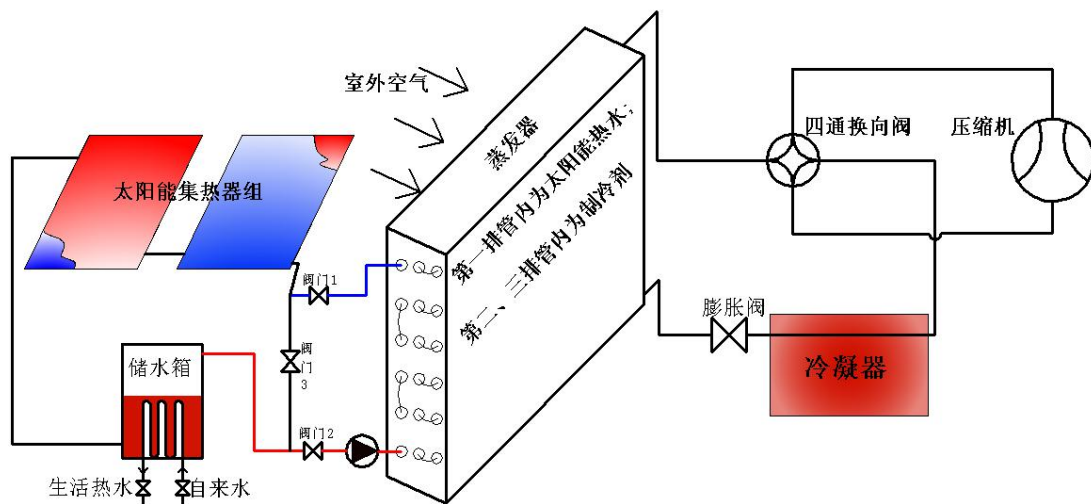


图 1 真空集热蓄热型太阳能复合空气能供热技术原理图

3. 技术指标

- (1) 提高机组能效比：8%；
- (2) 提高机组制热量：15%；
- (3) 供热系统热效率：2.9；
- (4) 机组名义制热工况（-12℃）下性能系数：2.45。

4.技术功能特性

(1) 零下 30°C 机组依然高效、稳定运行；

(2) 机组具有高度智能化控制系统，可远程监控，一键启动，全自动化运行，无需专人值守。

5.应用案例

山东绿源食品有限公司热水工程示范项目，技术提供单位为华春新能源有限公司。

(1) 用户用能情况：山东绿源食品有限公司集种养、屠宰、熟食加工为一体，热水需求量巨大，家禽屠宰车间需求 40~82°C 热水约 170 吨/天。

(2) 实施内容及周期：设计安装太阳能热水系统、辅助能源系统、余热回收系统和供水管道系统。实施周期 3 个月。

(3) 节能减排效果及投资回收期：改造完成后，采用太阳能集热替代燃气锅炉提供中温用热，减少二氧化硫等污染物的污染，太阳能系统节能量 866054.8 兆焦/年，折合节约标准煤 506 吨/年，减排 CO₂ 1403 吨/年。投资回收期 22 个月。

6.预计到 2025 年行业普及率及节能减排能力

预计到 2025 年行业普及率可达到 25%。可实现节约标准煤 11 万吨/年，减排 CO₂ 30.5 万吨/年。

(三) 太阳能异聚态热利用系统

1.技术适用范围

适用于可再生能源领域供热节能技术改造。

2.技术原理及工艺

系统由聚热板、循环主机、冷热末端组成，聚热板吸收太阳能辐射能、风能、雨水能等自然能热量，使板内工质相变，经循环主机推动压缩，转换为高品能后进入冷凝器进行热交换，从而实现热水、采暖、制冷、烘干等功能全天候供应。制冷为反向循环。太阳能异聚态热利用系统技术原理如图 2 所示。

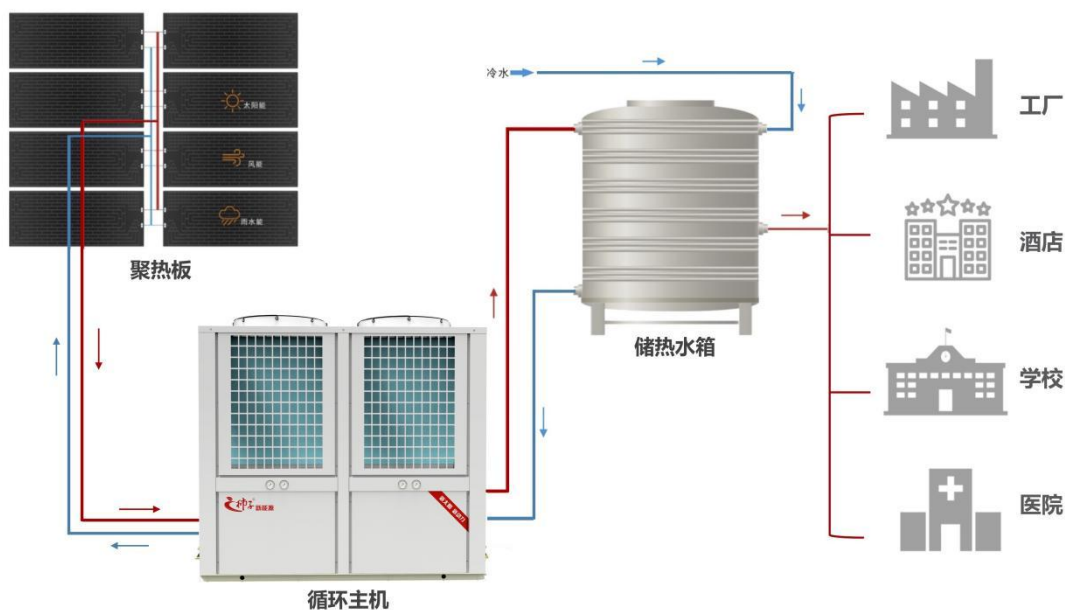


图 2 太阳能异聚态热利用系统技术原理图

3.技术指标

(1) 制热年均能效比：5；综合制热能效比： >2 ；制冷能效比： ≥ 3.5 ；

(2) -30~45℃无电辅助加热可正常运行;

(3) 集热板承压能力: ≥ 50 千克/平方厘米。

4.技术功能特性

(1) 可充分利用风能、太阳能等可再生能源,同时超低温运行技术保证系统在-30℃极寒天气下可连续高效稳定供热;

(2) 系统能效比高,与电热设备相比,全年平均节能率 80% 以上。

5.应用案例

陕西榆林油田太阳能异聚态原油加热项目,技术提供单位为浙江柿子新能源科技有限公司。

(1) 用户用能情况:该油井两台抽油机产油液 15 吨/日,四个储油方罐,每个 30 立方米,罐中布置有换热器,1#、2#用于加热沉降脱水,3#、4#用于储存原油。改造前先后采取燃煤锅炉和电加热棒加热,加热效率低。

(2) 实施内容及周期:安装太阳能异聚态热利用油田专用循环主机 2 台并配置聚热板 32 块。循环主机与聚热板由铜管连接,内添加环保型冷媒,经过循环泵与 500 升缓冲水箱连接。实施周期 15 天。

(3) 节能减排效果及投资回收期:改造完成后,与电热设备相比,全年平均节能率 80%,项目节约标准煤 270 吨/年,减排 CO₂ 748.6 吨/年。投资回收期 1 年。

6.预计到 2025 年行业普及率及节能减排能力

预计到 2025 年行业普及率可达到 8%。可实现节约标准煤 12 万吨/年，减排CO₂ 33 万吨/年。

二、储能技术

(一) 蓄能泵高效节能技术

1. 技术适用范围

适用于储能领域电站蓄能泵节能技术改造。

2. 技术原理及工艺

水力设计采用水泵水轮机优化设计经验和计算流体力学分析技术，通过建立湍流粘度自适应湍流模型、叶轮出口非线性环量分布新规律，为研制高效蓄能泵提供理论基础；针对电站大变幅水头特点进行蓄能泵水力优化设计和模型试验，根据模型制造高效真机。水泵水轮机技术原理如图 3 所示。

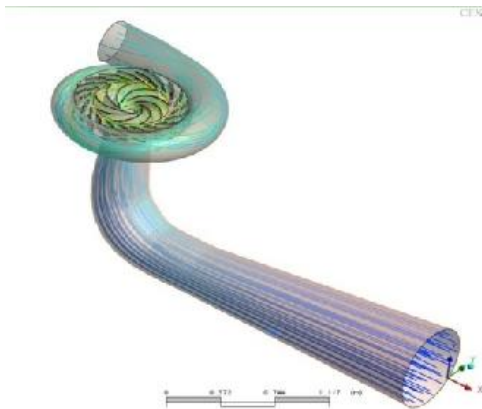


图 3 水泵水轮机技术原理图

3. 技术指标

- (1) 蓄能泵最高效率：92%；
- (2) 压力脉动： $\leq 6\%$ 。

4. 技术功能特性

采用转轮和活动导叶联合计算优化的方法，并针对压力脉动、

“S”形安全余量、驼峰特性和空化特性进行多个转轮、活动导叶、固定导叶的研发，掌握特定目标性能参数与优化设计重点几何参数的相关性，最终根据比转速选择结果，保证水轮泵较高的效率水平和稳定性指标。

5.应用案例

700米级350兆瓦蓄能泵机组关键技术与应用项目，技术提供单位为东方电气集团东方电机有限公司。

(1) 用户用能情况：该项目为新建项目。

(2) 实施内容及周期：根据项目要求建设4套超高水头蓄能泵及配套设备，提升抽蓄电站机组的安全运行水平。实施周期3年。

(3) 节能减排效果及投资回收期：建设完成后，原型蓄能泵平均效率约82%，一年按3000小时抽水时间计算，每台机组可节约电量7500万千瓦时/年，项目总计4台机组，折合节约标准煤9.3万吨/年，减排CO₂25.78万吨/年。投资回收期6年。

6.预计到2025年行业普及率及节能减排能力

预计到2025年行业普及率可达到5%。可实现节约标准煤69万吨/年，减排CO₂191万吨/年。

（二）高效能固体储热技术

1.技术适用范围

适用于可再生能源领域供热、储热节能技术改造。

2.技术原理及工艺

固体储热装置串联在太阳能集热、电制热、工业余热、低品位废热等热源和换热器之间，将富余热能或不稳定热能通过传热工质传递给固体储热装置存储，并在需要时通过加热传热工质对外供热，实现不同能源间耦合转换、清洁能源连续利用供热和发电，提高清洁能源利用率。高效能固体储热技术原理如图 4 所示。

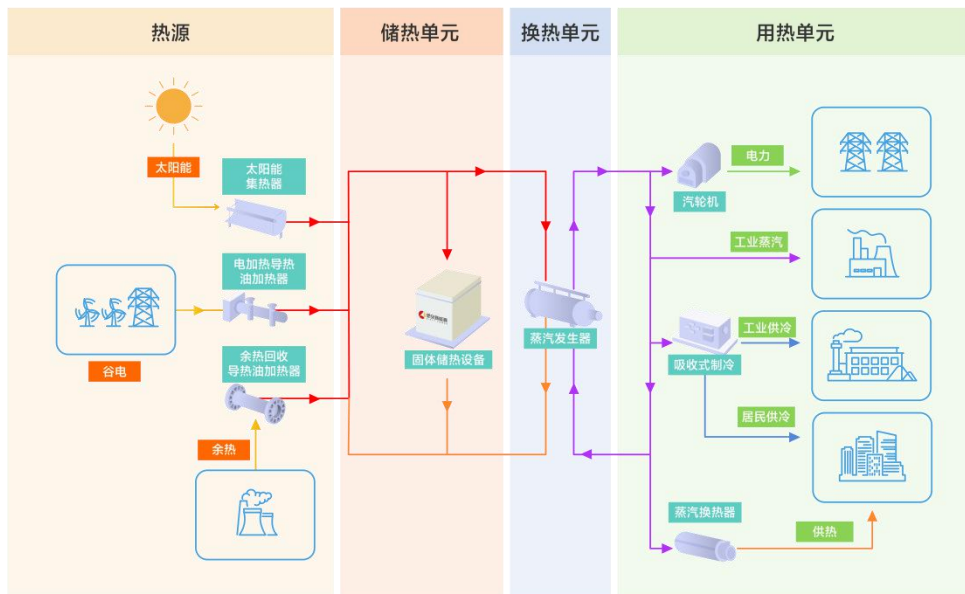


图 4 高效能固体储热技术原理图

3.技术指标

（1）材料比热容：1.1 千焦/（千克·摄氏度）；

(2) 导热系数：1.55 瓦/(米·开尔文)；

(3) 耐压强度：70 兆帕；

(4) 1000 千瓦时级存储效率：>93.6%；1000 兆瓦时级存储效率：99%。

4.技术功能特性

(1) 储热材料可利用系数高，在-50~500°C工作温度区间内始终保持良好的传热、储热性能，且可回收利用；

(2) 材料始终为固体状态，运行安全，无储热材料泄漏风险；

(3) 结合自动控制系统，自动化运行。

5.应用案例

多能互补微网系统综合智慧能源服务项目，技术提供单位为思安新能源股份有限公司。

(1) 用户用能情况：该项目为新建项目。

(2) 实施内容及周期：在供给端融合分布式屋顶光伏发电、太阳能光热集热、风力发电，配合市电系统，配套磷酸铁锂电池储电、高效固体储热两种方式，并配套智慧能源仓、微网管理系统、智慧能源管理平台。实施周期 16 个月。

(3) 节能减排效果及投资回收期：建设完成后，节约电量 138 万千瓦时/年，折合节约标准煤 427.8 吨/年，减排 CO₂ 1186 吨/年。投资回收期 7 年。

6.预计到 2025 年行业普及率及节能减排能力

预计到 2025 年行业普及率可达到 5%。可实现节约标准煤 10 万吨/年，减排CO₂ 27.7 万吨/年。

(三) 基于超级电容的重力再生电能就地存储再利用节能系统

1.技术适用范围

适用于可再生能源领域工业变频驱动设备节能技术改造。

2.技术原理及工艺

在传统位能负载变频驱动变频器直流母线上并接超级电容储能模组，变频器和超容模组间不经过 DC/DC 电压、功率变换，电机在发电状态时，电机倒发电回馈电能到变频器直流母线并接的超级电容系统进行存储；电机在电动状态时，超级电容储能系统中存储的电能通过变频器向电机供电，由此完成重力再生电能就地存储再利用。技术原理如图 5 所示。

3.技术指标

(1) 在电梯系统应用中，综合节电率 20%~50%；在石油抽油机系统应用中，综合节电率 15%~40%；

(2) 系统设计寿命大于 10 年；

(3) 不改变原有设备内部电气结构、不参与原有设备控制逻辑。

4.技术功能特性

(1) 系统具有能量暂存功能，电网中断时，可提供短时后备动力电源支撑，降低电网电压波动的影响，提升设备的可靠性；

(2) 超级电容储能单元采用模块化设计，灵活配置，可满足不同电压等级和容量需求。

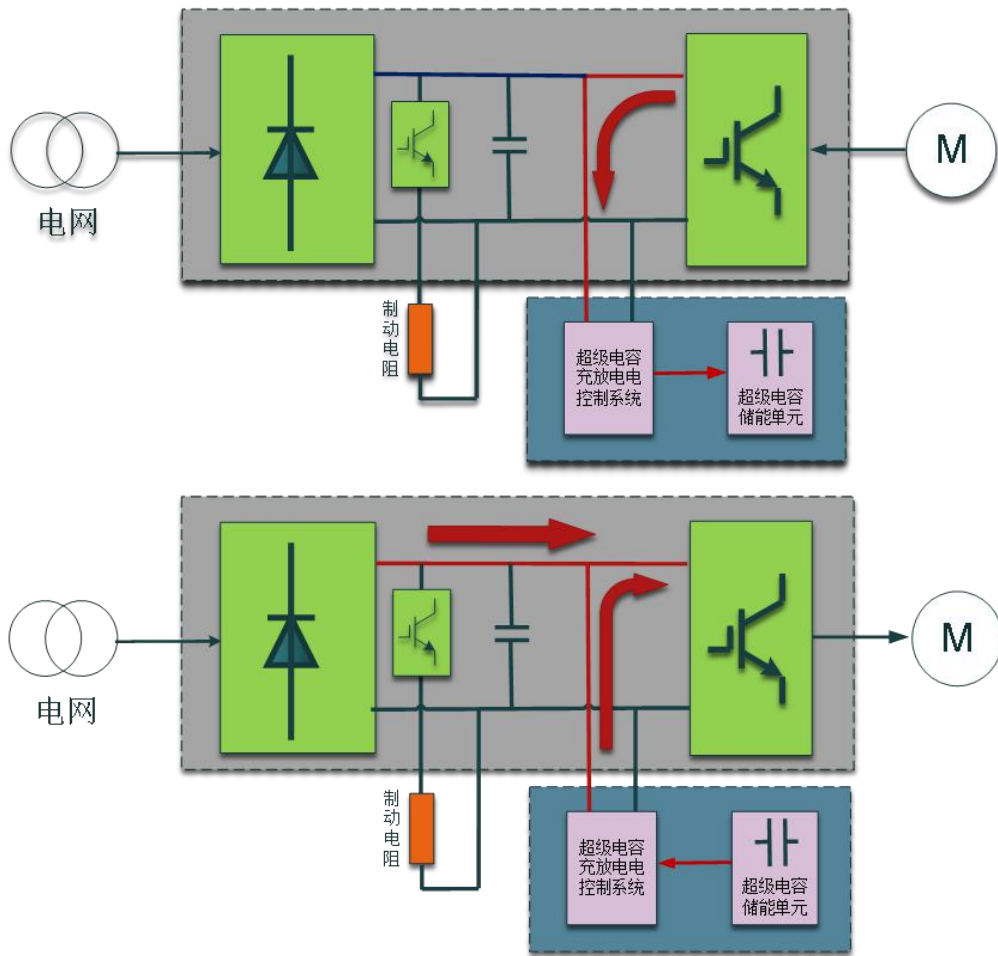


图 5 技术原理图

5.应用案例

大港某油田超容储能型抽油机控制柜应用项目，技术提供单位为力容新能源技术（天津）有限公司。

（1）用户用能情况简单说明：油田共 9 台抽油机，型号为 14 型，工作制度为冲程 6 米，冲次 3 次/分钟，平均每台抽油机耗电量为 240 千瓦时/天。

（2）实施内容及周期：安装 9 台超容储能型抽油机控制柜替换原有工频控制柜。实施周期 40 天。

(3) 节能减排效果及投资回收期：改造完成后，通过控制柜内变频器与超容模组的配合，就地回收再利用抽油机工作中的重力势能，据统计，项目综合节约电量 23.7 万千瓦时/年，折合节约标准煤 73.3 吨/年，减排 CO₂ 203.2 吨/年。投资回收期 2 年。

6.预计到 2025 年行业普及率及节能减排能力

预计到 2025 年行业普及率可达到 10%。可实现节约标准煤 12 万吨/年，减排 CO₂ 33 万吨/年。

（四）钛酸锂功率型高效储能系统

1.技术适用范围

适用于可再生能源领域高效能量转化与储存节能技术改造。

2.技术原理及工艺

通过将钛酸锂单体电芯进行串并联得到大型电池组，配置电池管理系统，提高电芯在运行过程一致性，实现每一个电芯在高功率下高效利用，从而秒级响应负载功率需求或者电网调度功率需求等，合理调节电网侧调频服务、无功补偿、可再生能源并网等。钛酸锂功率型高效储能系统工艺流程如图 6 所示。

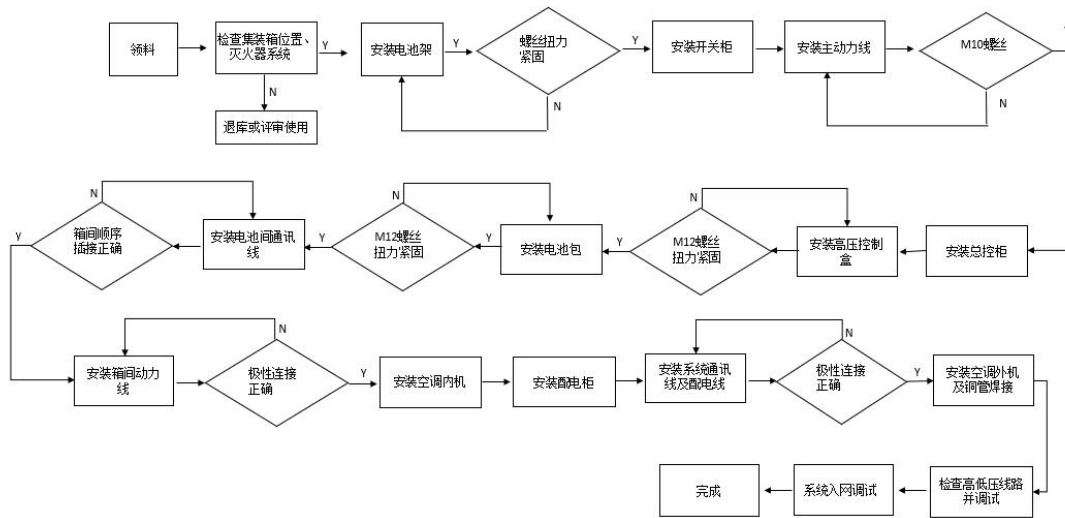


图 6 钛酸锂功率型高效储能系统工艺流程图

3.技术指标

- (1) 系统额定 2.5 倍功率下运行效率： $\geq 85\%$;
- (2) 系统寿命： ≥ 25 年；
- (3) 钛酸锂专用 BMS，支持充放电深度 100%；

(4) 安全冗余设计: $\geq 30\%$ 。

4.技术功能特性

(1) 钛酸锂单体电芯可支持锂离子在严酷环境下快速脱出与嵌入, 运行过程电池本体温升高, 产热少;

(2) 系统由电池系统、功率系统及辅助系统集成而成, 设有电芯、电池簇、电池堆、系统整体共四级保护。

5.应用案例

国家风光储输示范工程(一期)0.5兆瓦时钛酸锂储能系统示范项目, 技术提供单位为格力钛新能源股份有限公司。

(1) 用户用能情况: 该项目采用发电机组进行二次调频响应调度, 改造前耗能 13140 兆瓦时/年。

(2) 实施内容及周期: 在原有发电机组的基础上加入钛酸锂功率型高效储能系统产品。实施周期 7 个月。

(3) 节能减排效果及投资回收期: 改造完成后, 节能量为 18 兆瓦时/天, 经测算可知, 综合调频性能指标提高 41%, 调频里程提高 30%, 综合节约用电 6570 兆瓦时/年, 折合节约标准煤 2036.7 吨/年, 减排 CO₂ 5646.8 吨/年。投资回收期 2.4 年。

6.预计到 2025 年行业普及率及节能减排能力

预计到 2025 年行业普及率可达到 8%。可实现节约标准煤 85 万吨/年, 减排 CO₂ 235.7 万吨/年。

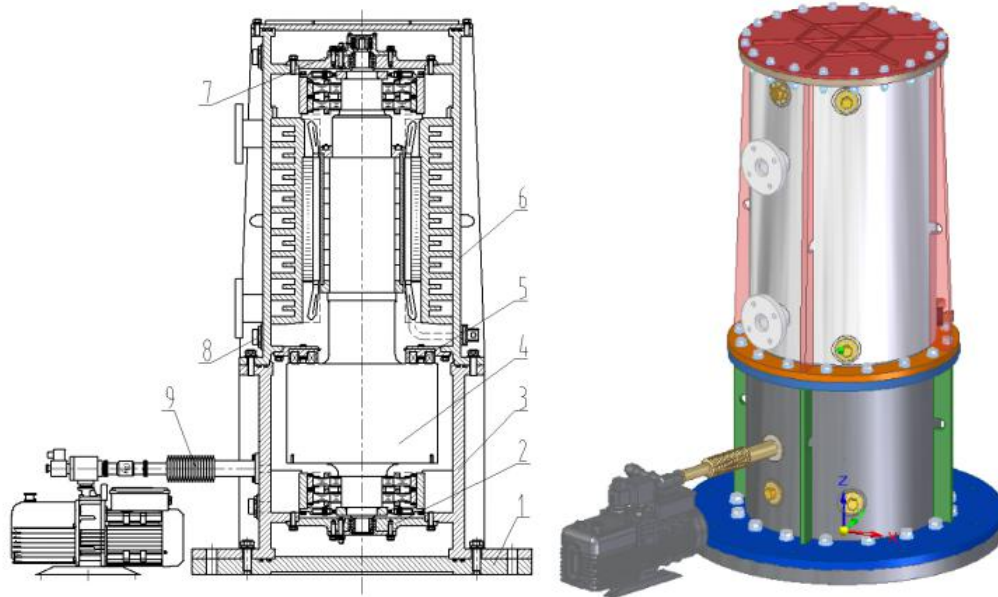
(五) 飞轮储能技术

1.技术适用范围

适用于微电网领域储能应用节能技术改造。

2.技术原理及工艺

集高速永磁电机、电磁轴承、抽真空装置于一体，电磁轴承需根据机组运行工况进行设计，并在总体结构设计中充分考虑工艺性、可靠性、维修性及安全性。飞轮储能电源系统中电机在“充电”时，作为电动机给飞轮加速，将电能转换成机械能；在“放电”时，作为发电机将机械能转换成电能，给外部供电，从而实现节能。飞轮储能机组结构如图 7 所示。



- 1.底板 2.辅助轴承单元 3.下径向磁轴承定子
4.飞轮转子 5.轴向磁轴承定子 6.上径向磁轴承定子（含电机定子）
7.旋转变压器 8.航插 9.抽真空装置

图 7 飞轮储能机组结构图

3.技术指标

(1) “短时功率型”飞轮电机效率： $\geq 96\%$ ；飞轮储能单机储能容量： ≥ 10 兆焦，能量效率： $\geq 85\%$ ；

(2) “短时功率型”飞轮线速度： ≥ 400 米/秒；

(3) 双向变流器整流/逆变模式平均切换时间： ≤ 0.5 秒；

(4) 动态真空度： ≤ 10 帕。

4.技术功能特性

(1) 通过系统优化配置（混合飞轮储能阵列）构成涵盖毫秒级至数分钟级的多时间尺度储能系统，突破源-网-储协调优化控制，可与其它长时慢响应的储能方式相结合，满足弱电网中高比例新能源消纳、微电网功率波动平抑等多应用场景需求；

(2) 功率等级覆盖广，充放电过程可控，充放电时间覆盖毫秒级至几十分钟范围，单机和多机使用灵活，能量转换率高，可靠性高，维护工作量小。

5.应用案例

青岛地铁3号线再生制动能量回收项目，技术提供单位为湘潭电机股份有限公司。

(1) 用户用能情况：青岛地铁3号线列车在进站时主要通过电阻耗能方式来解决列车制动能量的回收，将电能转换为热能排掉，同时列车出站时需从电网上取电，对电网波动造成影响。

(2) 实施内容及周期：采用飞轮储能技术进行节能改造，

安装 2 台 CNZ-15MJ/1MW 飞轮储能机组，含变频器、水冷装置，以及制动电阻箱。实施周期 3 个月。

(3) 节能减排效果及投资回收期：改造完成后，两台飞轮在一个站点上平均节电量 1288.7 千瓦时/天，节约总电量 47.0 万千瓦时/年，折合节约标准煤 145.8 吨/年，减排 CO₂ 404.2 吨/年。投资回收期 6.9 年。

6.预计到 2025 年行业普及率及节能减排能力

预计到 2025 年行业普及率可达到 4%。可实现节约标准煤 9 万吨/年，减排 CO₂ 25 万吨/年。

(六) 压缩空气储能发电透平技术

1. 技术适用范围

适用于储能领域压缩空气储能节能技术改造。

2. 技术原理及工艺

利用低谷电、弃风电、弃光电等对空气进行压缩，并将高压空气密封在地下盐穴、地下矿洞、过期油气井或新建储气室中，在电网负荷高峰期释放压缩空气推动透平机发电，摒弃燃料补燃，实现电力系统削峰填谷，减少发电装机及电网容量，提升电力系统效率和经济性。压缩空气储能发电透平技术原理如图 8 所示。

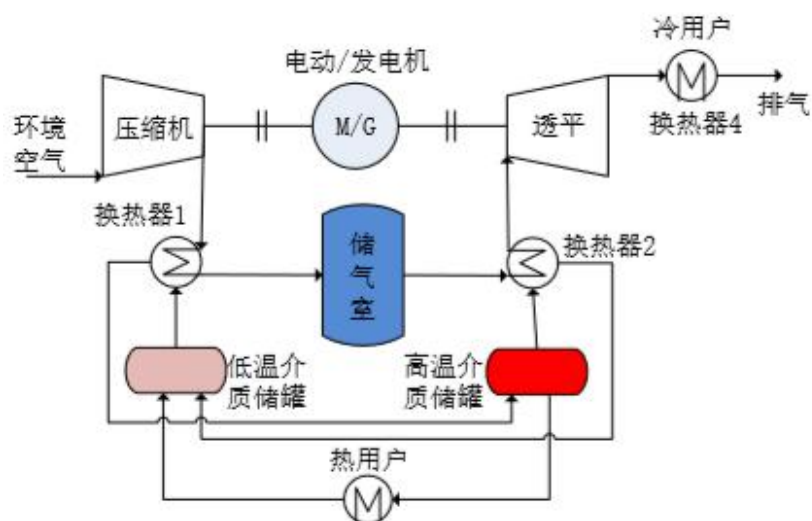


图 8 压缩空气储能发电透平技术原理图

3. 技术指标

- (1) 透平效率： $>90\%$ ；
- (2) 主调门前温度： 320°C ；再热温度： 320°C ；
- (3) 调门前压强： 118.7 巴，机组排气压强： 1.025 巴。

4.技术功能特性

(1) 可将间断、不稳定、不可控的可再生能源发电储存，再按照需求平稳、可控的释放；

(2) 可作为负荷平衡装置及备用电源，有效解决分布式能源系统负荷波动大、系统调节能力差、故障率高等问题，提高系统的供电可靠性、稳定性。

5.应用案例

江苏金坛盐穴压缩空气储能国家试验示范项目，技术提供单位为东方电气集团东方汽轮机有限公司。

(1) 用户用能情况：该项目为新建项目。

(2) 实施内容及周期：建设 1 套 60 兆瓦×5 小时非补燃压缩空气储能系统，压缩空气储存在地下盐腔内，盐腔容积约 22 万立方米。实施周期 2 年。

(3) 节能减排效果及投资回收期：实施完成后，发电时间 1660 小时/年，可发电 9960 万千瓦时/年，折合节约标准煤 3 万吨/年，减排 CO₂ 8.3 万吨/年。投资回收期 12 年。

6.预计到 2025 年行业普及率及节能减排能力

预计到 2025 年行业普及率可达到 2%。可实现节约标准煤 19 万吨/年，减排 CO₂ 25.8 万吨/年。

(七) 陶瓷复合相变储热技术

1. 技术适用范围

适用于可再生能源领域供热节能技术改造。

2. 技术原理及工艺

将低谷电、弃风电、弃光电、弃水电或工业余热等利用效率低的清洁能源转化成热能存储在特制陶瓷储热材料中，在需要使用热能时，通过换热器将储存热能以热水、热风、热蒸汽、导热油、热辐射等形式供给用户。陶瓷复合相变储热技术原理如图 9 所示。

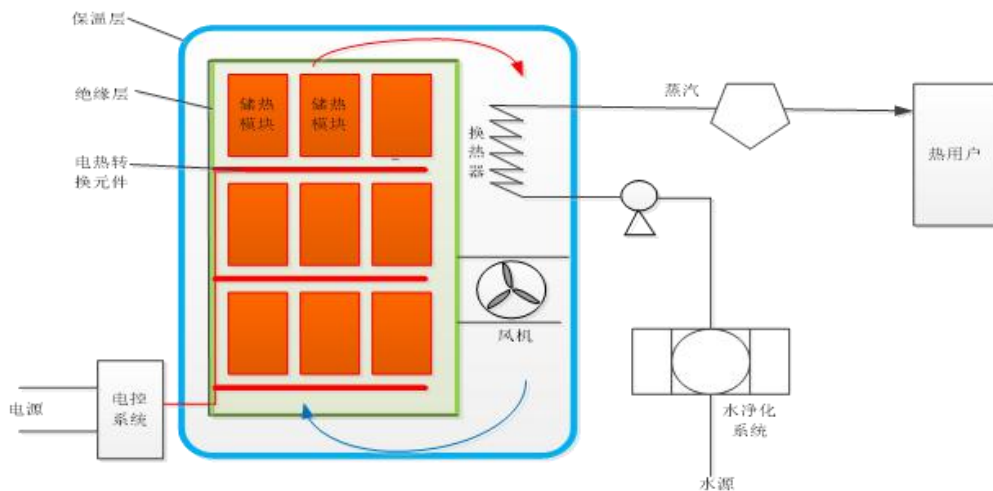


图 9 陶瓷复合相变储热技术原理图

3. 技术指标

- (1) 储热密度: >600 千焦/千克;
- (2) 导热系数: >5 瓦/(米·开尔文);
- (3) 使用寿命: 7500 次;

(4) 循环衰减: <3%。

4.技术功能特性

(1) 可实现安全高效的规模化储热，储热成本是电池的十分之一，使用寿命可以达到 30 年；

(2) 使用能源为晚上的低谷电以及弃风电、弃光电、弃水电，电价相对较低，降低运行成本。

5.应用案例

怀来县 24 万平方米风力发电陶瓷储热供暖项目，技术提供单位为国辉（武汉）智慧能源有限公司。

(1) 用户用能情况：该项目为新建项目。

(2) 实施内容及周期：将弃风电采用陶瓷储热技术转化成热能储存起来，给小区 24 小时供热。实施周期 60 天。

(3) 节能减排效果及投资回收期：建设完成后，整套设备一年可以消纳 3000 万千瓦时的废弃风电，折合节约标准煤 9300 吨/年，减排 CO₂ 25784 吨/年。投资回收期 4 年。

6.预计到 2025 年行业普及率及节能减排能力

预计到 2025 年行业普及率可达到 1%。可实现节约标准煤 10 万吨/年，减排 CO₂ 27.7 万吨/年。

三、工业绿色微电网技术

(一) 钢铁企业电网智能管控技术

1. 技术适用范围

适用于钢铁行业电网智慧管控节能技术改造。

2. 技术原理及工艺

通过电网运行安全化、潮流控制自动化、电网调度智能化、数据采集全景化、设备运维规范化、事故处理智慧化等核心功能，使企业电网内发电设备、用电设备实现高效协调运行，提升余能发电机组自发电利用率。电网智能管控技术平台架构如图 10 所示。

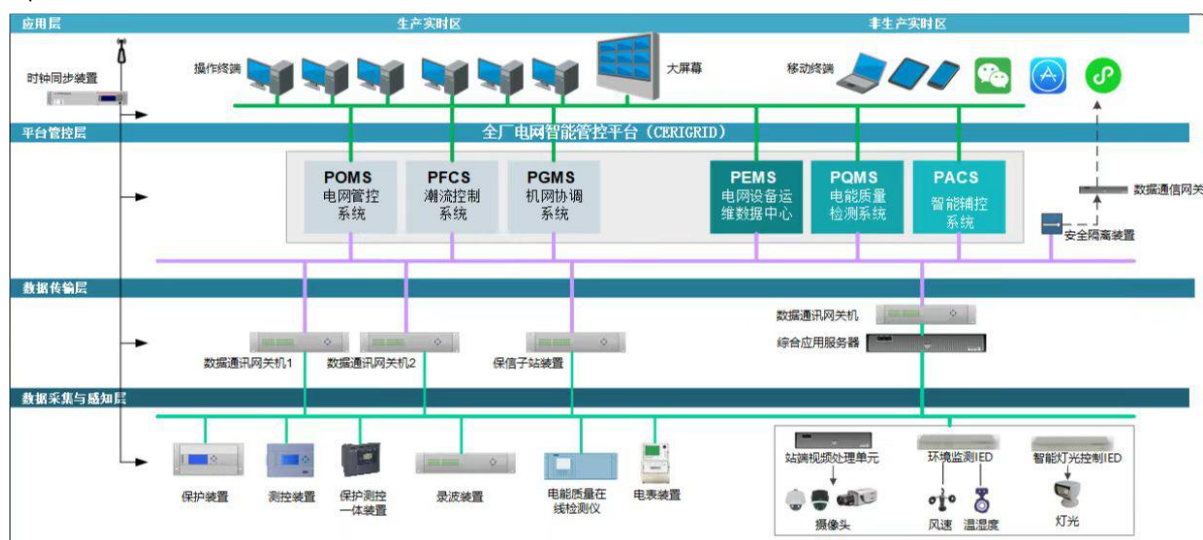


图 10 电网智能管控技术平台架构图

3. 技术指标

- (1) 针对千万吨级钢铁企业，自发电量利用率提升约 7%；
- (2) 自动拓扑识别周期： ≤ 20 毫秒；

(3) 潮流控制系统整组动作时间: <70 毫秒;

(4) 全网事故跳闸原因分析时间: <10 秒。

4.技术功能特性

(1) 可对电气设备进行校验, 提前规避电网安全风险;

(2) 可对全厂的源、网、荷、储进行协调控制, 实现全电网潮流控制自动化;

(3) 可实现全时全网毫秒级捕捉事故报警信息, 便于全网故障的统计与分析, 提高事故分析的准确性和快速性;

(4) 可实现无人值守。

5.应用案例

河北纵横集团丰南钢铁有限公司 110 千伏区域变电所及全厂电网智能管控系统项目, 技术提供单位为中冶京诚工程技术有限公司。

(1) 用户用能情况: 丰南钢铁电网系统覆盖范围包括 220 千伏总降变电所 2 座、110 千伏变电所 14 座、发电机组 4 座, 电源、电网、自发电机组和负荷之间没有协调运行, 造成较大能源浪费。

(2) 实施内容及周期: 采用电网智能管控技术对企业电网进行智能控制。实施周期 18 个月。

(3) 节能减排效果及投资回收期: 改造完成后, 发电量增加 100 万千瓦时/天, 可节约电量 3.3 亿千瓦时/年, 折合节约标准

煤 10.2 万吨/年，减排 CO₂ 28.3 万吨/年。投资回收期 1 年。

6.预计到 2025 年行业普及率及节能减排能力

预计到 2025 年行业普及率可达到 5%。可实现节约标准煤 31 万吨/年，减排 CO₂ 86 万吨/年。