

《国家工业节能降碳技术应用指南与案例（2024 年版）》之五：机械行业节能降碳技术

（一）超超临界煤气发电汽轮机装置

1. 技术适用范围

适用于煤气发电装置。

2. 技术原理及工艺

采用一次中间再热、两缸单排汽布置，高压模块通流采用反动式设计，高压内缸采用筒型内缸+红套环设计；中低压模块采用合缸单向流动设计，冲反结合通流设计方案；低压缸前部和后部通过垂直法兰面连接。该技术在冶金行业煤气发电利用领域将 150 兆瓦等级汽轮机组进汽参数推升至超超临界水平。汽轮机布置如图 1 所示。

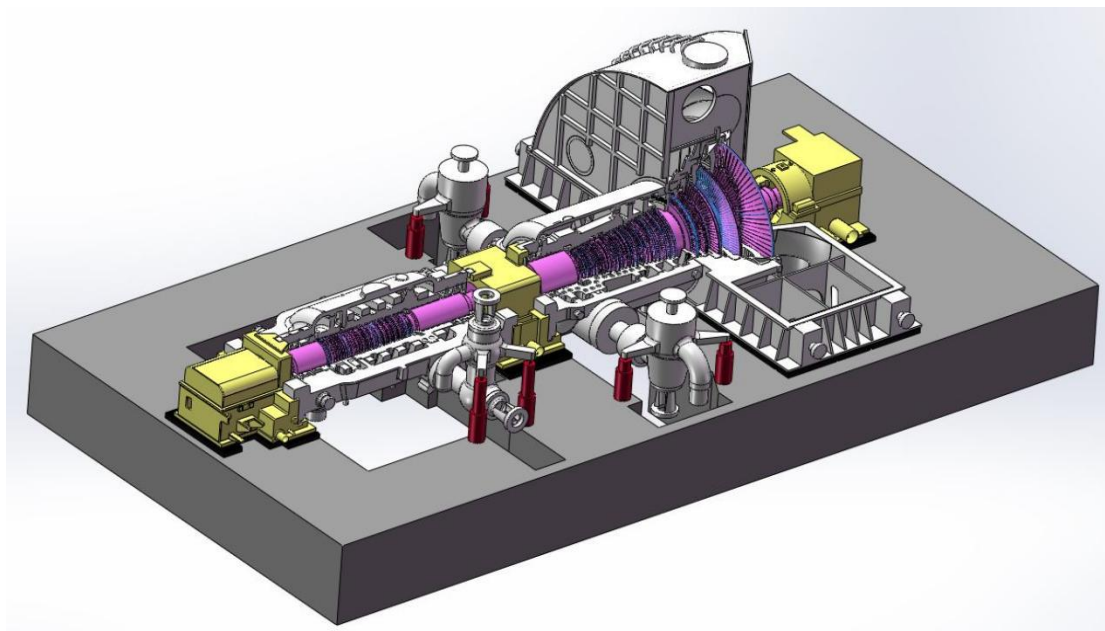


图1 150兆瓦等级超超临界再热煤气发电汽轮机布置图

3. 技术功能特性及指标

（1）涵盖 135~200 兆瓦功率范围，进汽参数（主蒸汽

压力/主蒸汽温度/再热蒸汽温度)达到 24.2 兆帕/600 °C/600 °C;

(2) 机组热耗率降低, 相同煤气消耗比常规亚临界机组发电提高 4%。

4.应用案例

(1) 项目基本情况:

技术提供单位为东方电气集团东方汽轮机有限公司, 应用单位为某钢铁集团股份有限公司。改造前设备为 1 台 80 兆瓦高温超高压机组和 1 台 50 兆瓦超高温超高压机组, 主要耗能种类为煤气, 2 台机组热耗率约 8400 千焦/千瓦时。

(2) 主要技术改造内容:

新安装 1 套超超临界额定功率 135 兆瓦、进汽参数(主蒸汽压力/主蒸汽温度/再热蒸汽温度) 24.2 兆帕/600 °C/600 °C 汽轮机发电机组, 代替 2 台原有机组。2021 年 4 月实施节能改造, 实施周期 1.3 年。

(3) 节能降碳效果及投资回收期:

改造完成后, 机组热耗降低 1000 千焦/千瓦时, 副产煤气实现有效利用, 新增发电量 10.8 亿千瓦时, 实现节能量 33.48 万吨标准煤/年, 二氧化碳减排量 89 万吨/年。投资额为 3.8 亿元, 投资回收期为 2 年。

（二）高效热泵空调系统

1.技术适用范围

适用于高效热泵空调系统。

2.技术原理及工艺

制热时，采用两相流体相分离技术，部分蒸发后的气相直接分离回到压缩机吸气，液相继续在后半程换热器中蒸发，实现制冷剂高效低阻换热，提升制热量及性能系数。制冷时，随着制冷剂流动方向流路数逐渐减少，实现最佳过冷度，提升制冷量及能效比。技术原理如图 2 所示。

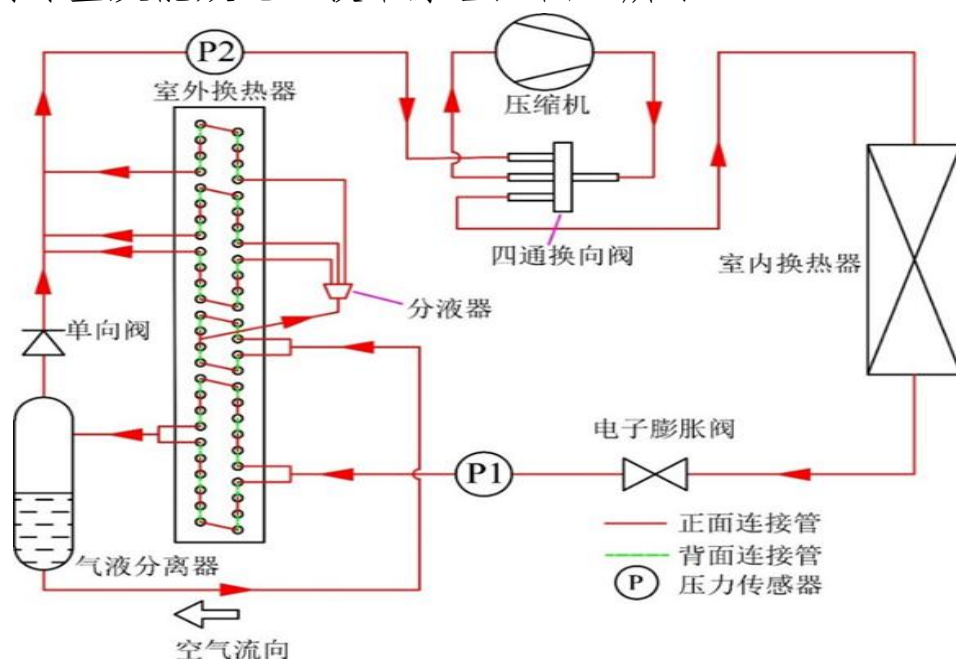


图2 技术原理图

3.技术功能特性及指标

（1）蒸发阻力低，压降减小 5.0%~26.7%，低温制热量提升 5.0%；

（2）制冷制热流路高效匹配，APF 值相比原型机提升 5.1%。

4.应用案例

该技术为研发类技术，暂无应用案例。技术提供单位为广东美的制冷设备有限公司。

（三）10 kV 永磁直驱变频调速一体机装置

1.技术适用范围

适用于大功率电传动系统。

2.技术原理及工艺

采用一体化集成技术，简化供电系统，支持 10 kV 高压直接进线。变频模块体积大幅减小，变频输出电缆近似为零，减少变频器谐波干扰。摒弃减速机直接驱动负载，实现电气传动系统中变压器、变频器、电动机、减速机四位一体，提高驱动系统的可靠性、安全性及传动效率，降低线缆成本，且有利于电气设备平稳运行。技术原理如图 3 所示。

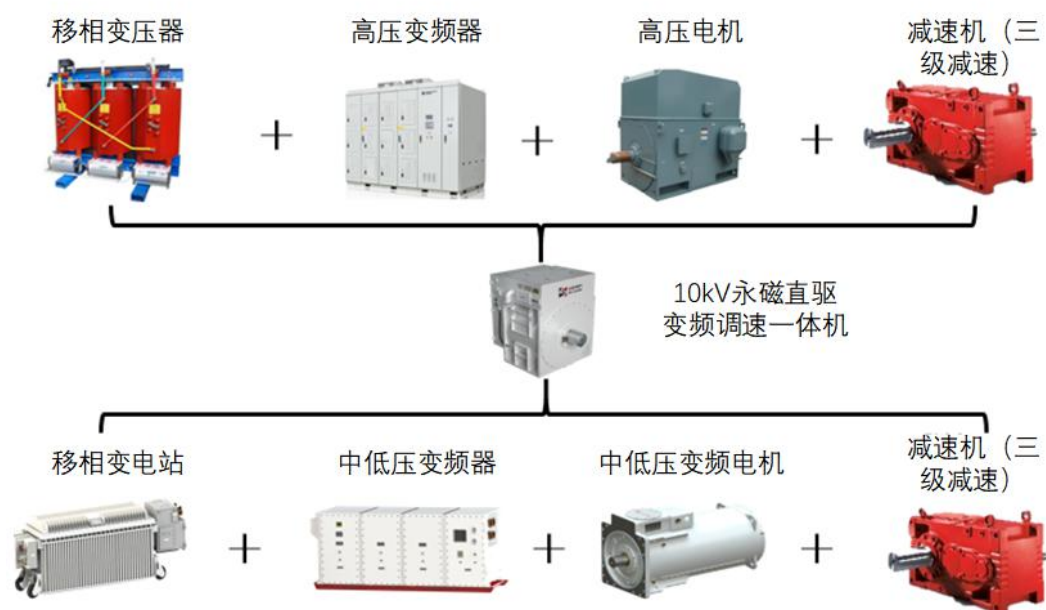


图3 技术原理图

3.技术功能特性及指标

- （1）供电系统 10 千伏高压直接进线，系统整体效率高；
- （2）变频模块体积缩小至 1/6，变频器谐波干扰小，直接驱动负载传动效率高，平均节能达 20%。

4.应用案例

（1）项目基本情况：

技术提供单位为青岛中加特电气股份有限公司，应用单位为青岛港董家口矿石码头有限公司。改造前输送皮带采用电机+耦合器+减速箱的传统方式驱动，主要耗能种类为电能，平均作业效率 4000 吨/小时，平均单条皮带每输送万吨物料能耗为 665.30 千瓦时。

（2）主要技术改造内容：

拆除原电机+耦合器+减速箱，安装 1 台 10 千伏/560 千瓦永磁直驱变频调速一体机以直接驱动，加装水循环制冷系统、电机智能管理控制系统、皮带机流量监测装置等。2020 年 12 月实施节能改造，实施周期 2 天。

（3）节能降碳效果及投资回收期：

改造完成后，平均单条皮带每输送万吨能耗降至 527.34 千瓦时，实现节能量 136.9 吨标准煤/年，二氧化碳减排量 364.1 吨/年。投资额为 139 万元，投资回收期为 3.9 年。

（四）真空热管耦合低低温电除尘技术

1.技术适用范围

适用于燃煤锅炉及工业窑炉。

2.技术原理及工艺

通过在真空管内工质的蒸发与凝结传递热量，真空热管采用“中隔板组件+水套管”结构，将热烟气和冷却水 2 种换热介质进行多重物理隔离。避免冷却水泄漏造成的烟道堵塞、烟尘排放超标、灰斗堵灰等隐患，保证设备安全稳定运行。真空热管换热装置一般设置在燃煤锅炉尾部的空预器与除尘器之间的烟道处。将回收的热量用于加热汽轮机凝结水，排挤汽轮机抽汽，实现汽轮机做功增加。工艺流程如图 4 所示。

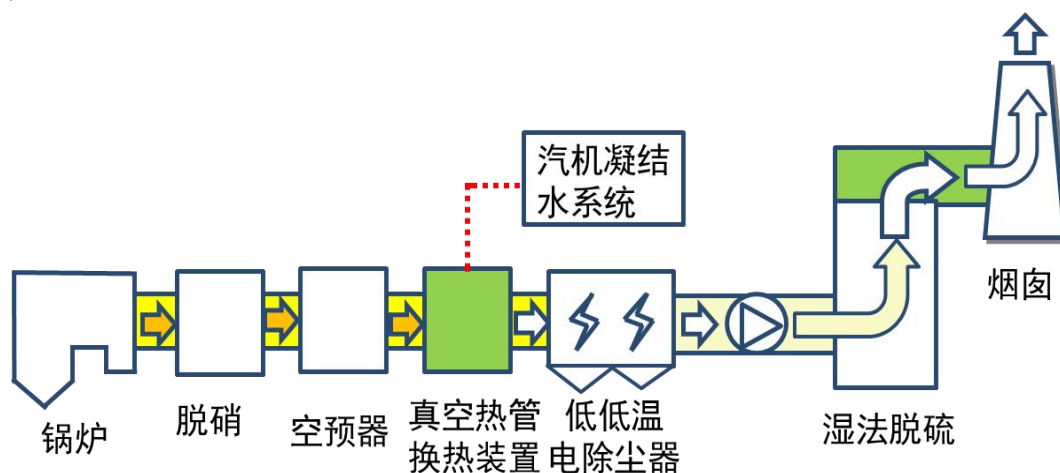


图4 工艺流程图

3.技术功能特性及指标

（1）回收排烟余热加热汽轮机冷凝水，锅炉排烟温度降低 30 ~ 50 ℃，发电标煤耗可降低 1 ~ 3 克/千瓦时；

（2）真空热管耦合低低温电除尘效率高，除尘器出口粉尘浓度 ≤ 20 毫克/立方米，除尘效率 ≥ 99.5%。

4.应用案例

（1）项目基本情况：

技术提供单位为福建龙净环保股份有限公司，应用单位为国家电投集团江西电力有限公司景德镇发电厂。改造前该电厂采用传统低温省煤器回收排烟余热，主要耗能种类为煤炭，装机规模 660 兆瓦，机组供电煤耗约为 310 克标准煤/千瓦时。

（2）主要技术改造内容：

拆除原低温省煤器换热元件，安装真空热管换热装置，对低低温电除尘器升级改造，增设基于大数据方法的智慧监控运行系统。2020 年 10 月实施节能改造，实施周期 2.5 个月。

（3）节能降碳效果及投资回收期：

改造完成后，发电煤耗降低至 308.3 克标准煤/千瓦时，实现节能量 5669 吨标准煤/年，二氧化碳减排量 15079.5 吨/年。投资额为 1480 万元，投资回收期为 2.4 年。

（五）船舶水动力节能装置

1.技术适用范围

适用于船舶行业。

2.技术原理及工艺

装置包含前置预旋导轮及桨毂消涡鳍，通过前置预旋导轮将前置导管和前置定子进行结合，实现前置导管对螺旋桨进流场的整流效果及前置定子对螺旋桨进流场的预旋效果。桨毂消涡鳍的叶片采用反侧斜设计及鳍毂端面内凹设计，可有效缩短消涡鳍鳍片与螺旋桨叶片之间的轴向距离，实现螺旋桨毂涡能量损失回收，提升鳍毂端面压力恢复效果，提高螺旋桨推力。结构示意图如图 5 所示。

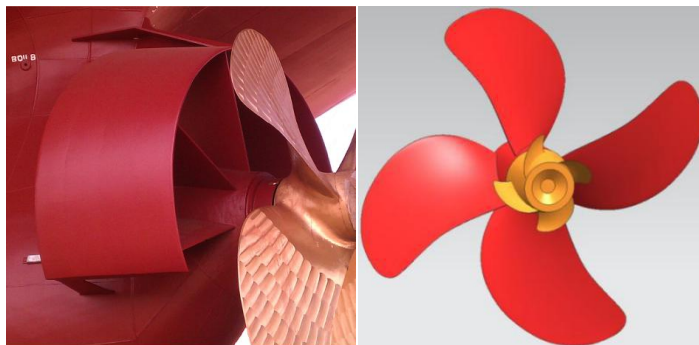


图5 结构示意图

3.技术功能特性及指标

（1）前置预旋导轮提高螺旋桨推进效率，节能效果可提升约 5%；

（2）桨毂消涡鳍有效利用螺旋桨尾流能量，产生推力并降低扭矩，节能效果可提升约 3%。

4.应用案例

（1）项目基本情况：

技术提供单位为中船（上海）节能技术有限公司，应用

单位为南京远洋运输股份有限公司。改造前散货船正常行驶未经过节能改造，耗能种类为船用柴油，共 12 艘 5.7 万吨散货船，单船日均油耗达 26.4 吨左右。

（2）主要技术改造内容：

不改变散货船原动力的情况下加装前置预旋导轮和桨毂消涡鳍。2014 年 2 月实施节能改造，实施周期 2 年。

（3）节能降碳效果及投资回收期：

改造完成后，单船日均油耗降至 25.08 吨，实现节能量 4152 吨标准煤/年，二氧化碳减排量 11044 吨/年。投资额为 1080 万元，投资回收期为 1 年。

（六）辊式立磨用变频调速永磁同步电动机系统

1.技术适用范围

适用于立磨、矿粉磨等设备。

2.技术原理及工艺

采用变频器将电源的交流电转换成直流电，再通过逆变器将直流电转换为可调频率的交流电，从而实现电动机转速的调节。再通过电动机与磨盘直连，优化调速系统的控制算法和参数设置，实现磨盘转速在不同工况下的智能调节。该技术可提高生产的稳定性和灵活性，同时延长设备使用寿命，有效提高磨机研磨效率。工艺流程如图 6 所示。

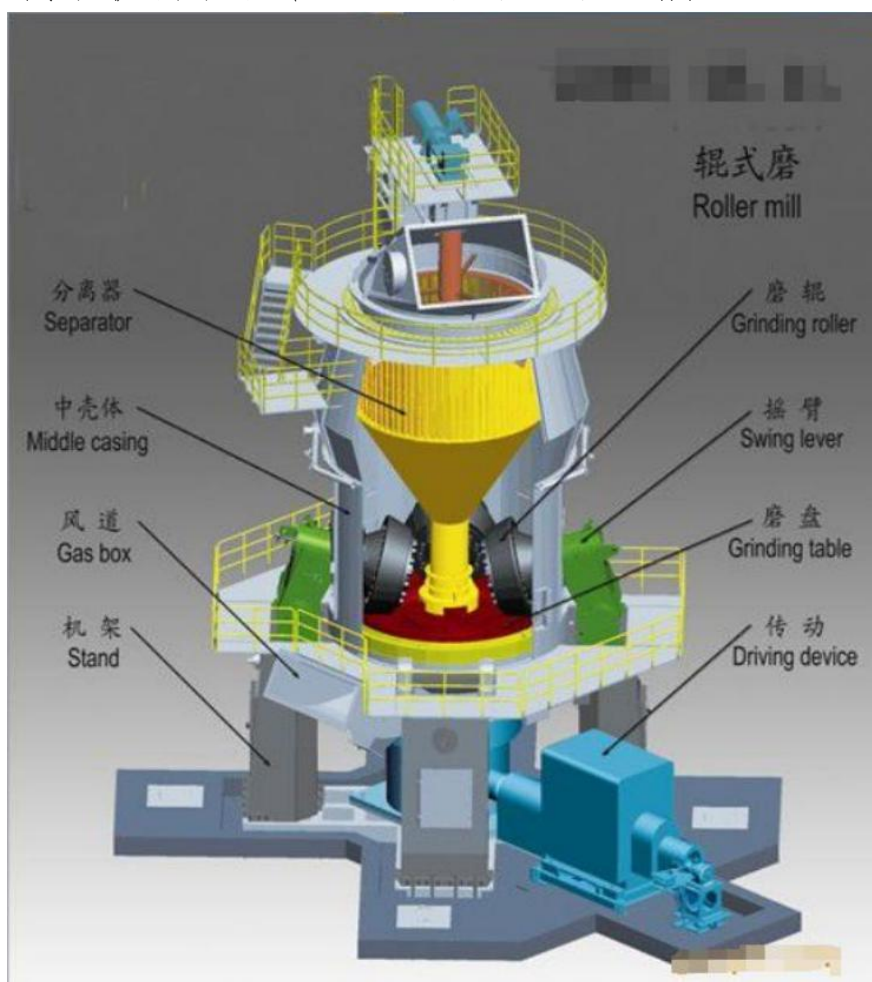


图6 工艺流程图

3.技术功能特性及指标

变频器控制立磨磨盘转速，动态优化运行参数，提高研磨效率 5%~8%。

4.应用案例

（1）项目基本情况：

技术提供单位为江苏祝尔慷电机节能技术有限公司，应用单位为日照鲁碧新材料科技有限公司，改造前配套电机为普通三相异步电动机，耗能种类为电能，设备每小时产量 200 吨，设备电耗为 36.5 千瓦时/吨。

（2）主要技术改造内容：

拆除原电机，基础无需调整，安装永磁同步电机，安装永磁调速系统，更换 DCS 系统。2021 年 5 月实施节能改造，实施周期 5 天。

（3）节能降碳效果及投资回收期：

改造完成后，设备电耗降至 33.8 千瓦时/吨，实现节能量 1339 吨标准煤/年，二氧化碳减排量 3562 吨/年。投资额为 315 万元，投资回收期为 1 年。

（七）永磁同步电动滚筒

1.技术适用范围

适用于带式输送设备。

2.技术原理及工艺

通过将输送机的驱动滚筒与永磁电动机融为一体，设计成外转子、内定子的驱动系统，直接驱动皮带，无中间传动环节，提高系统可靠性和效率，降低故障率，减少维护成本。再通过闭环矢量控制方式，实现多机驱动功率平衡，降低胶带磨损，延长输送机使用寿命。技术原理如图7所示。

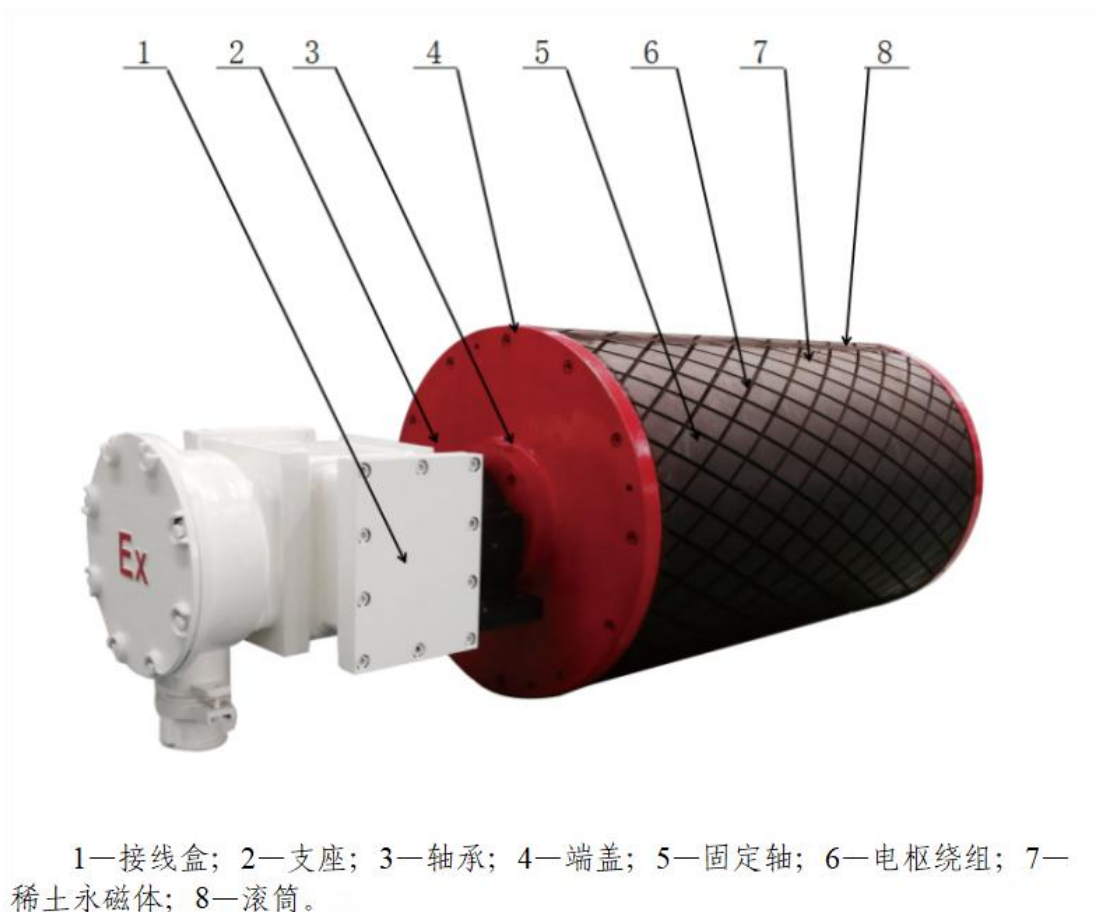


图7 技术原理图

3.技术功能特性及指标

（1）永磁电动设计，高功率因数负载率范围 25% ~ 120%；

(2) 直接驱动皮带，闭环矢量控制，多机驱动功率平衡，节电 10%~20%。

4.应用案例

(1) 项目基本情况:

技术提供单位为安徽明腾永磁机电设备有限公司，应用单位为淮南矿业（集团）有限责任公司。改造前异步电动机配套减速机驱动皮带运输矸石，主要耗能种类为电，运量 1000 吨/小时，单位产品能耗 0.110 千瓦时/吨。

(2) 主要技术改造内容:

采用永磁电动滚筒直接驱动皮带替换原皮带机。2023 年 8 月实施节能改造，实施周期 3 个月。

(3) 节能降碳效果及投资回收期:

改造完成后，单位产品能耗降低至 0.096 千瓦时/吨，实现节能量 34.7 吨标准煤/年，二氧化碳减排量 92.3 吨/年。投资额为 26 万元，投资回收期为 2 年。

（八）永磁直驱电动滚筒

1.技术适用范围

适用于带式输送设备。

2.技术原理及工艺

采用将外壳作为外转子，内部使用磁钢形成磁路的设计，定子线圈固定在机轴轴套上。机轴为空心轴，电源引线从接线盒由机轴的空心穿入与线圈连接，其外还有相应支撑的端盖、支座、轴承和油盖等标准件，实现由变频驱动器直接驱动滚筒，替代传统永磁电机的带式输送机核心部件，降低故障率，提升传动效率。系统结构如图 8 所示。

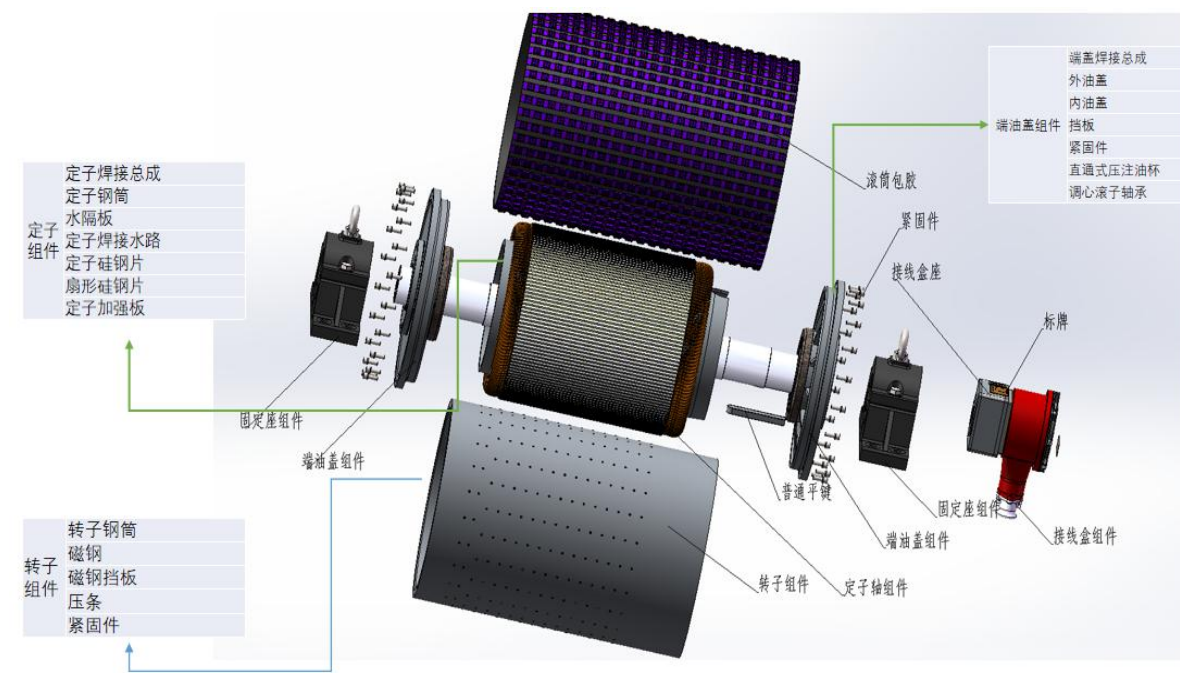


图8 系统结构图

3.技术功能特性及指标

- （1）永磁电动设计，高功率因数负载率范围 20% ~ 120%；
- （2）直接驱动皮带，无中间传动损失，传动效率提升 10%~15%。

4.应用案例

（1）项目基本情况：

技术提供单位为江苏嘉轩智能工业科技股份有限公司，应用单位为中铝宁夏王洼煤业有限公司。改造前 2 台异步电动机配套减速机驱动皮带，主要耗能种类为电能，运输系统运力为 3000 吨/小时，系统年耗电量 5174400 千瓦时。

（2）主要技术改造内容：

安装永磁直驱电动滚筒、制动器，替代联轴器、液力耦合器、电机、减速机等设备。2020 年 11 月实施节能改造，实施周期 1 天。

（3）节能降碳效果及投资回收期：

改造完成后，系统年耗电量 3622080 千瓦时，年节电量 1552320 千瓦时，实现节能量 481 吨标准煤/年，二氧化碳减排量 1279 吨/年。投资额为 118 万元，投资回收期为 1 年。

（九）介孔绝热材料

1.技术适用范围

适用于绝热保温工艺。

2.技术原理及工艺

采用独特的分子聚集体为模板，通过自组装机制进行合成，对孔结构进行设计，建立良好构效关系。优选既有优异绝热保温能力又有高热稳定性的新型纳米孔绝热材料，从阻止传导、抑制对流及阻断辐射等热量传递方式入手，实现介孔材料纳米孔道结构对热量传递的阻隔。工艺流程如图9所示。

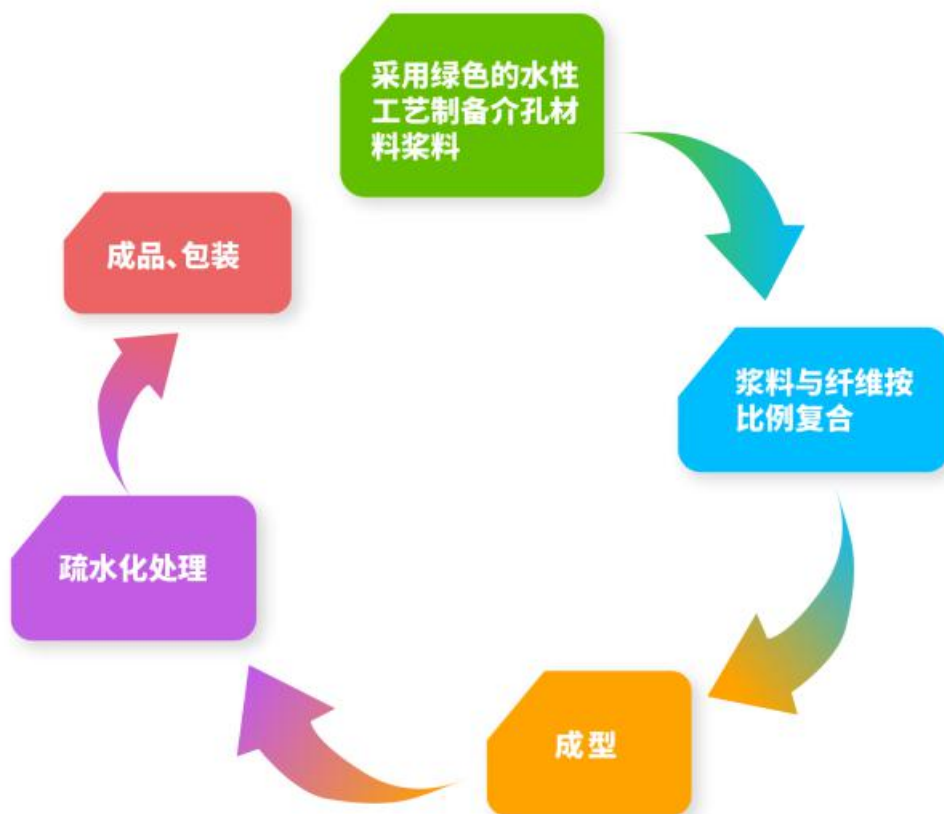


图9 工艺流程图

3.技术功能特性及指标

(1) 高比表面积、高孔隙率, 300 °C及 500 °C热面导热系数分别为 0.033 瓦/(米·开) 和 0.047 瓦/(米·开);

(2) 材料掺杂锆等耐高温元素, 可耐受 1000 °C以上高温, 最高使用温度为 1200 °C。

4.应用案例

(1) 项目基本情况:

技术提供单位为常州优纳新材料科技有限公司, 应用单位为宁波中金石化有限公司。改造前 5306 米长 PTA 蒸汽管道采用 250 毫米厚硅酸铝材料保温, 主要耗能损失为蒸汽热损失, 平均环境温度 29.1 °C时, 每小时散热损失为 9.93 吉焦。

(2) 主要技术改造内容:

采用 20~40 毫米不等的新型纳米孔绝热材料与 100~150 毫米不等的硅酸铝材料代替原保温材料进行复合保温, 不同管径及工况条件下实施不同保温结构。2020 年 6 月实施节能改造, 实施周期 1 个月。

(3) 节能降碳效果及投资回收期:

改造完成后, 平均环境温度 28.6 °C时, 每小时散热损失为 6.59 吉焦, 实现节能量 912 吨标准煤/年, 二氧化碳减排量 2425 吨/年。投资额为 260 万元, 投资回收期为 7 个月。

（十）短流程低能耗高品质砂石制备技术装备

1.技术适用范围

适用于中低硬度岩石矿物生产工艺。

2.技术原理及工艺

采用先进短流程破碎工艺、干法生产工艺、楼站式集成处理及散装物料智能装车系统的一体化设计，搭配开发的大产量低能耗锤式破碎机和 RV 制砂机，实现生产过程环保，无污水粉尘排放，成品砂石的粒形优，颗粒级配合理，石粉含量可控。工艺流程如图 10 所示。

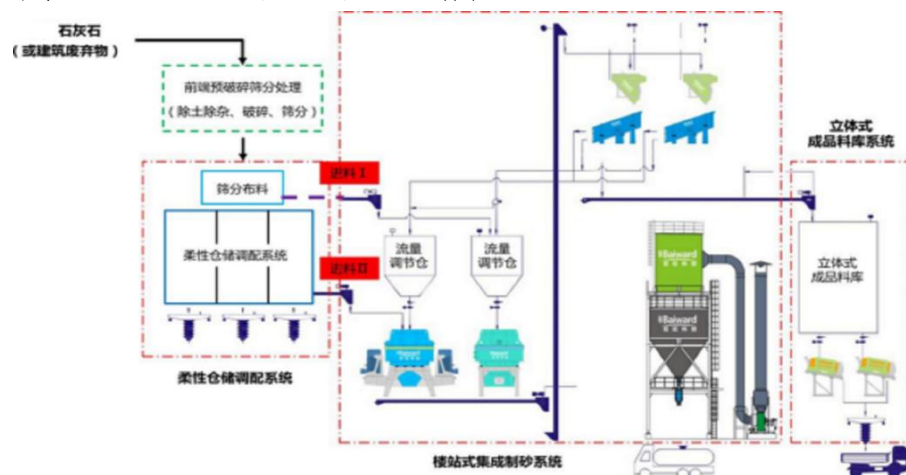


图10 工艺流程图

3.技术功能特性及指标

（1）短流程破碎工艺、楼站式集成处理，骨料产量 ≥ 1000 吨/小时；

（2）智能化控制，产品耐磨性能提高 30%，物料通过量提高约 35%，能耗降低 $\geq 40\%$ 。

4.应用案例

（1）项目基本情况：

技术提供单位为枣庄鑫金山智能装备有限公司，应用单

位为山东华鑫新材料有限责任公司。改造前采用多台反击式破碎机、立轴式冲击制砂设备，主要耗能种类为电能，年生产 880 万吨，单位产品能耗 3 千瓦时/吨。

（2）主要技术改造内容：

安装锤式破碎机、RV 制砂机、风选机、楼站式制砂系统等设备，配备短流程工艺及柔性仓储调配等系统，代替原制砂设备。2021 年 6 月实施节能改造，实施周期 10 个月。

（3）节能降碳效果及投资回收期：

改造完成后，单位产品能耗降低至 2 千瓦时/吨，实现节能量 2728 吨标准煤/年，二氧化碳减排量 7256.5 吨/年。投资额为 1960 万元，投资回收期为 2.8 年。

（十一）锅炉空气预热器智能在线清灰装置

1.技术适用范围

适用于锅炉空预器。

2.技术原理及工艺

通过编程程序及分散式控制系统对清灰频率进行自动控制，实现自清洁。针对不同燃烧介质，设计锯震式机械装置，实现在空气预热器内部高温、多灰、腐蚀性气体环境下稳定运行，动态实时在线清灰。装备原理布置如图 11 所示。

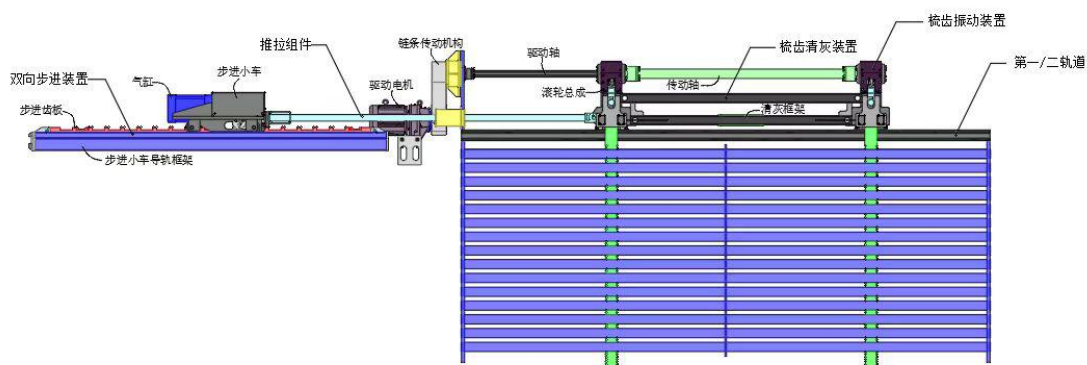


图11 装备原理布置图

3.技术功能特性及指标

（1）通过智能分散式控制系统内部自动实时控制锅炉清灰，节省停炉次数 50%；

（2）震动式清灰，提高空预器热效率约 2%。

4.应用案例

（1）项目基本情况：

技术提供单位为山东泓江智能设备有限公司，应用单位为山东平原汉源绿色能源有限公司。改造前主要设备为 2 台 75 吨/小时次高温次高压秸秆燃烧锅炉、2 台抽凝式汽轮机配 2 台 15 兆瓦发电机组。主要原材料消耗种类为生物质秸秆，

装机总容量 30 兆瓦，年发电量 2.2 亿千瓦时，单位产品能耗 638 克标准煤/千瓦时。

（2）主要技术改造内容：

在 2 台锅炉空气预热器上加装智能实时动态清灰装置。
2021 年 1 月实施节能改造，实施周期 1 年。

（3）节能降碳效果及投资回收期：

改造完成后，单位产品能耗降低至 636 克标准煤/千瓦时，
实现节能量 440 吨标准煤/年，二氧化碳减排量 1232 吨/年。
投资额为 30 万元，投资回收期为 6 个月。

（十二）柴油发动机制造关键技术

1.技术适用范围

适用于柴油发动机。

2.技术原理及工艺

采用改性碳化硅+合成铸铁生产工艺技术，以硅作为强化合金元素，降低蠕墨铸铁中的珠光体含量，使铸件在循环加热冷却过程中不会产生相变膨胀内应力。该技术可实现石墨形核与石墨细化的互补性，突破生铁遗传性带来的石墨割裂基体问题。工艺流程如图 12 所示。

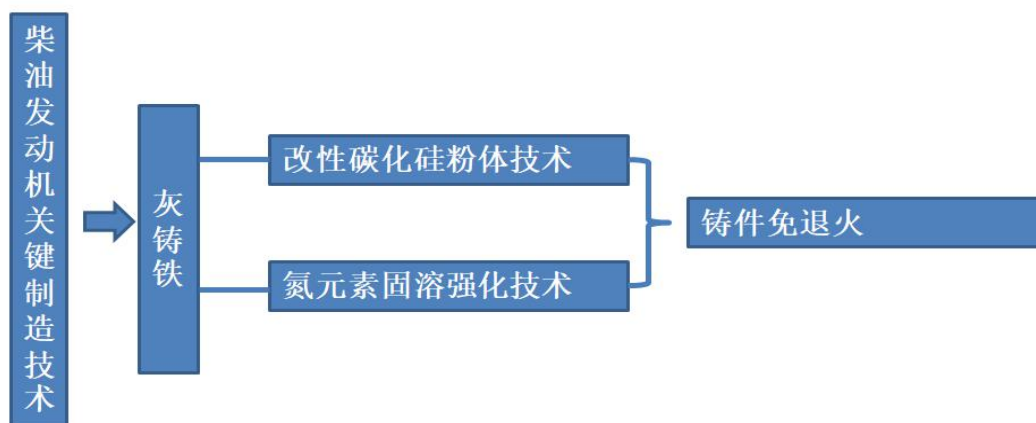


图12 工艺流程图

3.技术功能特性及指标

- （1）优化灰铸铁改性工艺，灰铸铁抗拉强度 ≥ 350 兆帕；
- （2）铸件免退火，吨铸件退火工序节电 230 千瓦时。

4.应用案例

- （1）项目基本情况：

技术提供单位为广西玉柴机器股份有限公司，应用单位为广西玉柴机器股份有限公司。改造前灰铸铁件须经过退火处理，主要耗能种类为电能，年生产铸铁 8 万吨，退火工序

耗能 1840 万千瓦时/年。

（2）主要技术改造内容：

气缸体、气缸盖等灰铸铁件生产工段实施改性碳化硅+合成铸铁生产工艺技术改造，取消退火工序。2023 年 1 月实施节能改造，实施周期 1 年。

（3）节能降碳效果及投资回收期：

改造完成后，退火工序年节电 1840 万千瓦时，实现节能量 5704 吨标准煤/年，二氧化碳减排量 15172 吨/年。投资额为 26 万元，投资回收期为 1 个月。

（十三）空气源高温热泵蒸汽发生技术

1.技术适用范围

适用于工业供热系统。

2.技术原理及工艺

采用热泵技术，消耗少量的电能从空气中提取大量的低品位热能产生低温低压蒸汽。再通过蒸汽压缩技术，消耗少量的电能提升蒸汽品位，使低温低压蒸汽的压力和温度提升，实现高温热能供应。技术原理如图 13 所示。

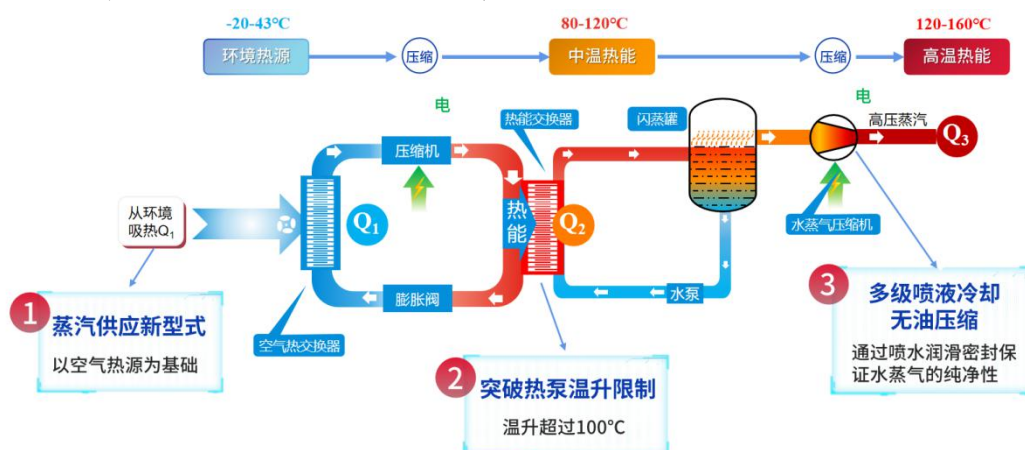


图13 技术原理图

3.技术功能特性及指标

多级喷液冷却无油压缩循环系统能效高，正常环境温度下直供 120 °C 的工业用蒸汽，系统能效达 1.8。

4.应用案例

（1）项目基本情况：

技术提供单位为上海诺通新能源科技有限公司，应用单位为山东宏济堂七粮窖酿酒有限公司。改造前酿酒蒸锅采用电锅炉，主要耗能种类为电能，制热功率约 216 千瓦，年耗电约 186.6 万千瓦时。

(2) 主要技术改造内容:

采用功率 150 千瓦空气能热泵蒸汽机组替代原电锅炉，出口蒸汽温度 120 °C，出气量 0.3 吨/小时。2019 年 1 月实施节能改造，实施周期 5 个月。

(3) 节能降碳效果及投资回收期:

改造完成后，年耗电量 108.84 万千瓦时，实现节能量 241 吨标准煤/年，二氧化碳减排量 641 吨/年。投资额为 111.6 万元，投资回收期为 2.4 年。

（十四）常温半超导超高节能电机系统

1.技术适用范围

适用于电机及电机系统。

2.技术原理及工艺

采用自主研发的半超导电磁线，绕制在超高导磁率的铁芯上制成定子总成，结合无谐波损耗的超高内阻的超强永磁体制作的双永磁转子。针对电机定子和转子采用损耗极低的新材料，结合节能电机和节能算法驱动技术，实现电机能效提升。电机结构如图 14 所示。

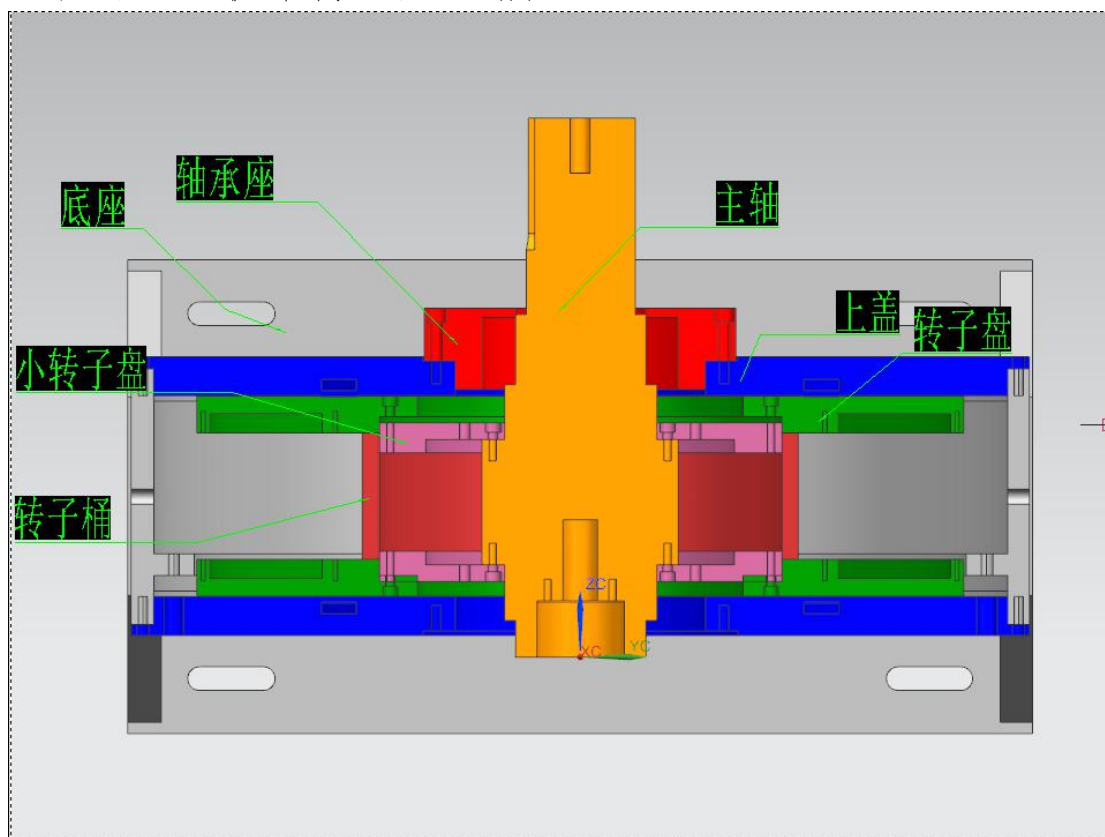


图14 常温半超导超高节能电机结构图

3.技术功能特性及指标

（1）热损、铁损、铜损、磁饱和损耗等综合损耗低，高效区范围 95%~99%；

(2) 取消励磁电源电流，功率因数 0.996~0.998。

4.应用案例

(1) 项目基本情况:

技术提供单位为广能亿能（北京）核能科技有限公司，应用单位为诸城泰盛化工股份有限公司。改造前除盐水泵配套三相异步电机，耗能种类为电能，除盐水泵用电总功率 45 千瓦，年耗电量 295840 千瓦时。

(2) 主要技术改造内容:

拆除除盐水泵原电机，更换常温半超导超高节能电机并加装智能驱动系统。2023 年 3 月实施节能改造，实施周期 7 天。

(3) 节能降碳效果及投资回收期:

改造完成后，年耗电量降低至 144480 千瓦时，实现节能量 49 吨标准煤/年，二氧化碳减排量 131 吨/年。投资额为 27 万元，投资回收期为 2.5 年。

（十五）第三代半导体用热场保温材料

1.技术适用范围

适用于单晶生长炉。

2.技术原理及工艺

通过炭化炉、石墨化炉、真空离心机等多种核心设备制备出高性能黏胶基固毡产品。其应用环境为长期 2300 °C 有氩气冲刷气体氛围的感应加热炉，可分为保温板和保温桶两大类产品，具有同样密度条件下电阻高 1 倍以上，隔热性能高 30% 以上和更高的纯度（小于 15 ppm）等优点，实现碳化硅晶片外延生长。工艺装备布置如图 15 所示。

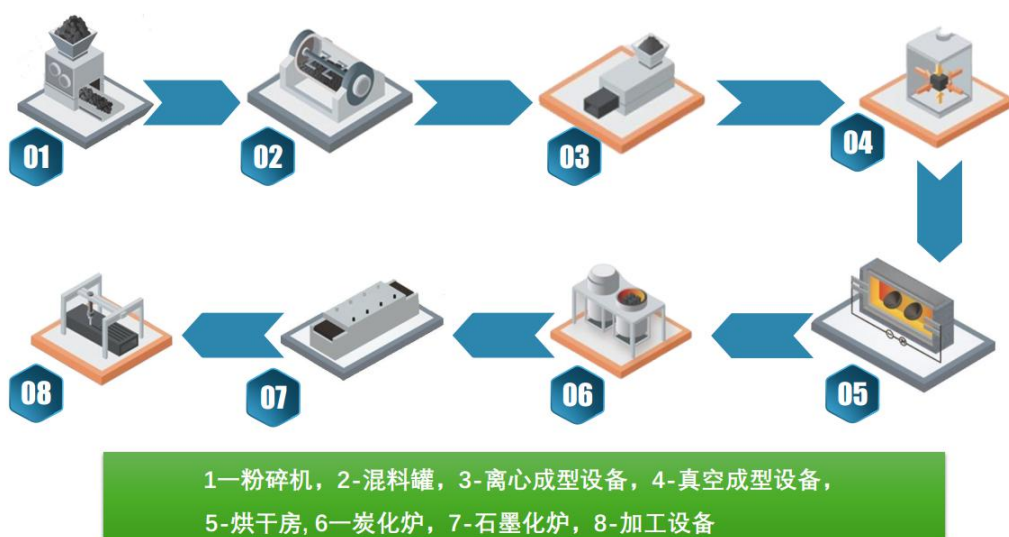


图15 工艺装备布置图

3.技术功能特性及指标

材料磷硼等杂质含量低，板材 1000 °C 导热系数（氮气下）<0.6 瓦/（米·开），桶材 1000 °C 导热系数（氮气下）<0.45 瓦/（米·开）。

4.应用案例

该技术为研发类技术，暂无应用案例。技术提供单位为烟台奥森制动材料有限公司。

（十六）永磁齿轮变速技术

1.技术适用范围

适用于齿轮变速器。

2.技术原理及工艺

采用分布永磁体的内磁环、外磁环、导磁和非导磁材料间隔构成，与内、外磁环分别形成内、外气隙的调磁环组成同轴式拓扑结构。内、外磁环形成的磁场经过调磁环的磁场调制作用在内、外气隙形成稳定磁耦合效应，通过内、外气隙中形成的磁耦合极数差实现永磁齿轮高速端和低速端的差速运行和大扭矩动力传递。工艺装备布置如图 16 所示。

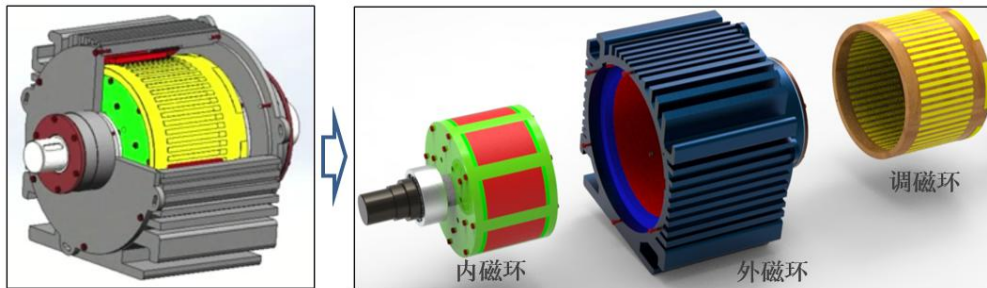


图16 工艺装备布置图

3.技术功能特性及指标

（1）充分利用永磁体励磁磁场传递扭矩，输出转矩 > 15000 牛·米；

（2）永磁齿轮替代机械齿轮，传动效率 $\geq 93\%$ ，能耗可降低 10%。

4.应用案例

（1）项目基本情况：

技术提供单位为国家电投集团科学技术研究院有限公司，应用单位为朝阳燕山湖发电有限公司。改造前空冷岛风

机的电驱动系统采用机械齿轮箱，主要耗能种类为电，电驱动系统年耗电约 108.7 万千瓦时。

（2）主要技术改造内容：

安装永磁齿轮代替机械齿轮，更改风机平台接口，风叶置于永磁齿轮箱输出端。2022 年 3 月实施节能改造，实施周期 1 年。

（3）节能降碳效果及投资回收期：

改造完成后，电驱动系统电耗降低至 97.8 万千瓦时/年，实现节能量 34 吨标准煤/年，二氧化碳减排量 85 吨/年。投资额为 22 万元，投资回收期为 3 年。

（十七）智能叠流复合燃烧床技术

1.技术适用范围

适用于燃煤锅炉、电站锅炉。

2.技术原理及工艺

通过在锅炉炉床结构上设置自下而上延伸的蛇形烟道，由炉排与受热面管首尾相接，自上而下，左右延伸彼此定距相隔，形成多个复合燃烧层特性。实现炉床“无限着火”，可在低温状态下燃烧劣质燃料，燃料着火的方向与供氧通风的方向一致时，着火条件不受限制，形成完全燃烧状态。技术原理如图 17 所示。

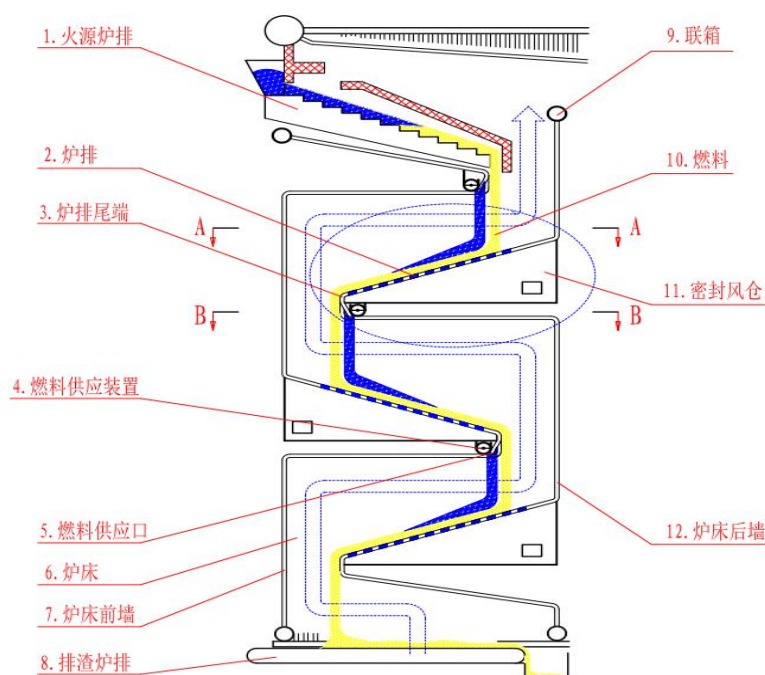


图17 技术原理图

3.技术功能特性及指标

（1）实时动态智能化自洁式清灰，提高锅炉热效率至98%；

（2）烟气分级、燃料分级燃烧，氮氧化物排放降低至

40%。

4.应用案例

（1）项目基本情况：

技术提供单位为黑龙江新双锅锅炉有限公司，应用单位为河北省石家庄市润城热力有限公司。改造前采用燃煤锅炉为社区供热，主要耗能种类为煤，7 台锅炉总出力 131 蒸吨/小时，单位蒸吨煤耗 158.1 千克。

（2）主要技术改造内容：

安装新型炉排燃煤锅炉替代原锅炉，配套组装智能化叠流复合燃烧炉床，受热面尾部加设趋零积灰、趋零结露装置。2021 年 4 月实施节能改造，实施周期 1 个月。

（3）节能降碳效果及投资回收期：

改造完成后，尾部脱硫脱硝装置减少投入 50 万元，单位蒸吨煤耗 151.0 千克，实现节能量 2612 吨标准煤/年，二氧化碳减排量 7244 吨/年。投资额为 700 万元，投资回收期为 3.1 年。

（十八）磁悬浮水轮机技术

1.技术适用范围

适用于工业冷却塔。

2.技术原理及工艺

采用磁悬浮结构代替机械传动结构，通过安装在水轮机上的上下磁环所产生的排斥力与水轮机自身的重力相抵消，实现运行阻力降低及能量转换率提高。利用循环冷却水系统的水能带动风机旋转，降低传统冷却塔水轮机的摩擦损耗，提高运行效率及水轮机的使用寿命。结构示意图如图 18 所示。

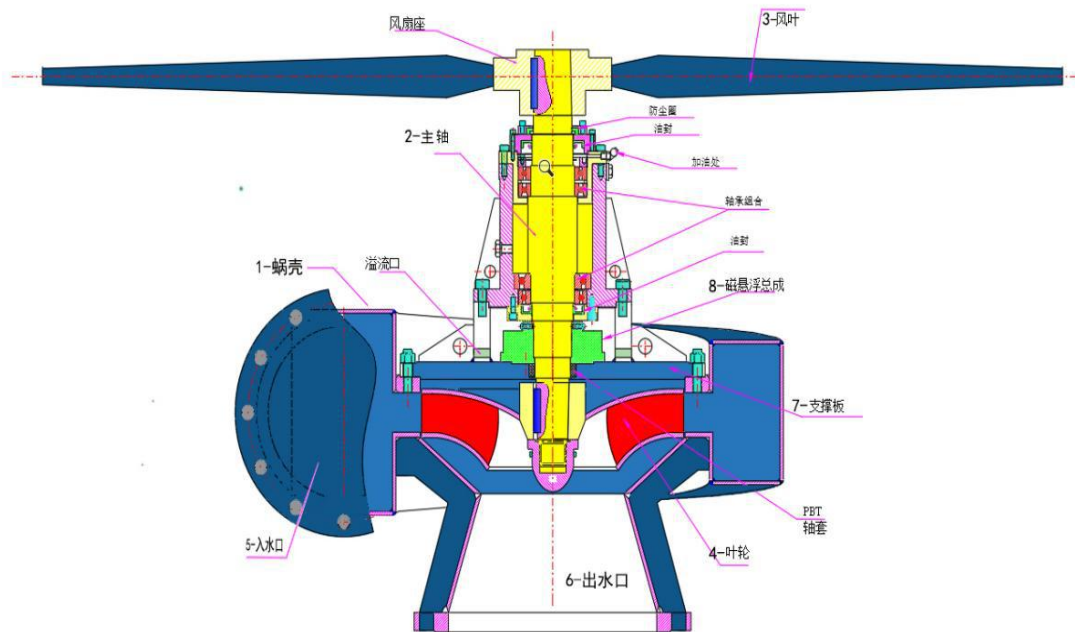


图18 结构示意图

3.技术功能特性及指标

（1）混流式水轮机比转速低，旋转噪声 ≤ 65 分贝，振动幅度 ≤ 1.8 毫米；

（2）磁悬浮旋转无物料摩擦，能量转换效率 $> 95\%$ 。

4.应用案例

（1）项目基本情况：

技术提供单位为江苏淳天新能源科技有限公司，应用单位为广西北部湾新材料科技有限公司。改造前冷却塔风扇采用电机驱动，主要耗能种类为电能，10 台电机总功率 450 千瓦，年耗电 280 万千瓦时。

（2）主要技术改造内容：

拆除其中 5 台冷却塔风扇驱动电机，安装 5 台磁悬浮水轮机替代原电机。2021 年 3 月实施节能改造，实施周期 1 个月。

（3）节能降碳效果及投资回收期：

改造完成后，5 台磁悬浮水轮机全年无电耗，年可节电 140 万千瓦时，实现节能量 434 吨标准煤/年，二氧化碳减排量 1154 吨/年。投资额为 118 万元，投资回收期为 1.3 年。

（十九）永磁直驱起重机技术

1.技术适用范围

适用于起重机械。

2.技术原理及工艺

采用自主研发的低速大扭矩永磁同步电机，取代异步电机、传动轴、联轴器和减速机，驱动机构简化为电机+卷筒的直连结构。将内转子电机变成外转子电机，外转子承担卷筒功能，即可实现电机、联轴器、传动轴、减速机、卷筒五合一。利用特有的高调速比和轻载快速功能，一套起升机构可以实现主副钩全部功能。技术原理如图 19 所示。

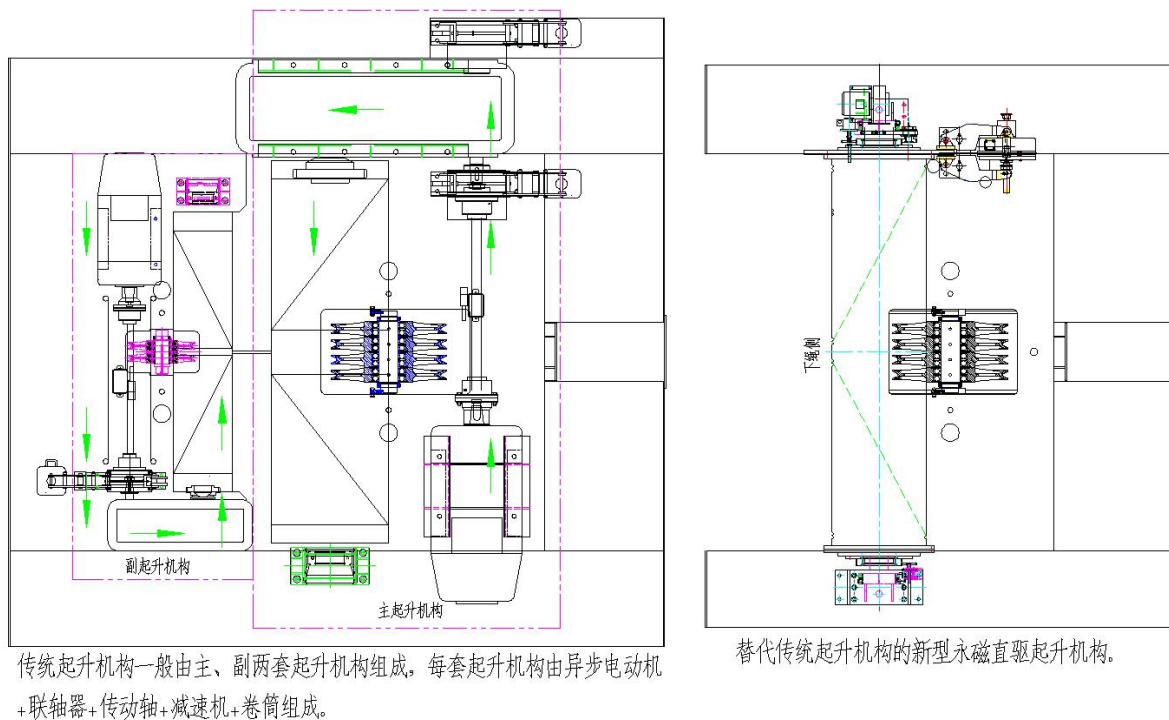


图19 技术原理图

3.技术功能特性及指标

- （1）取消减速机，吊运效率提升 60~70%；
- （2）高效永磁同步电机直驱升降器，综合节电率 $\geq 10\%$ 。

4.应用案例

（1）项目基本情况：

技术提供单位为河北兴隆起重设备有限公司，应用单位为唐山中材重型机械有限公司。改造前起重机采用异步电机+联轴器+传动轴+减速器+卷筒的传动结构，主要耗能种类为电能，5台起重机总功率 500 千瓦，年耗电量 119 万千瓦时。

（2）主要技术改造内容：

安装新型永磁直驱起升系统，代替传统异步电动机、联轴器、传动轴、减速器。2020 年 10 月实施节能改造，实施周期 1.5 个月。

（3）节能降碳效果及投资回收期：

改造完成后，年耗电量降至 88.1 万千瓦时，实现节能量 97 吨标准煤/年，二氧化碳减排量 258 吨。投资额为 15 万元，投资回收期为 9 个月。

（二十）燃气超低温多联式（热泵）空调技术

1.技术适用范围

适用于工商业建筑。

2.技术原理及工艺

采用燃气发动机代替电动机驱动制冷剂压缩机，直接使用天然气作为动力能源。气态制冷剂经压缩机压缩后压力和温度升高，进入冷凝器中散热凝结（制热），形成液态制冷剂；再经膨胀阀降压后进入蒸发器，在蒸发器中吸收外界热量（及发动机余热）后气化，再被吸入压缩机，如此循环完成制热（制冷）循环。构造原理如图 20 所示。

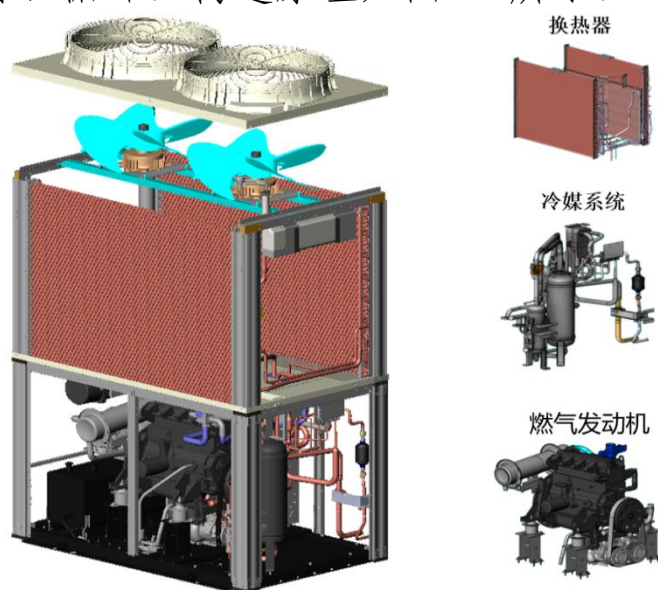


图20 构造原理图

3.技术功能特性及指标

采用天然气驱动，相比于电驱动热泵，余热可回收，供热能力强，-21℃温度下制热能力不受影响。

4.应用案例

（1）项目基本情况：

技术提供单位为冰山松洋制冷（大连）有限公司，应用单位为北京光明饭店。改造前采用螺杆式中央空调+锅炉供热系统，主要耗能种类为电能和天然气，电螺杆中央空调单位制冷能耗 0.4 千瓦时/千瓦，锅炉的供热能耗 0.125 立方米/千瓦，年耗电 1183200 千瓦时，年耗天然气 451764 立方米。

（2）主要技术改造内容：

拆除原设备螺杆式制冷机组和燃气热水锅炉，安装燃气多联式热泵空调 62 套，配套智能控制系统。2019 年 3 月实施节能改造，实施周期 8 个月。

（3）节能降碳效果及投资回收期：

改造完成后，年耗天然气量 49 万立方米，实现节能量 282 吨标准煤/年，二氧化碳减排量 750 吨/年。投资额为 400 万元，投资回收期为 3.8 年。

（二十一）智能磁悬浮空气压缩机技术

1.技术适用范围

适用于发酵、玻璃、纺织等行业工艺设备。

2.技术原理及工艺

采用磁悬浮轴承及电感式传感器和电涡流式传感器，实现宽功率范围空压机高速悬浮，悬浮转子无接触磨损转速高。通过对空压机叶轮型线优化设计，提高非设计工况点气动效率，降低气动噪声。采用自主变频运行控制技术，动态检测空压机的进气温度和排气压力，根据进气温度变化自动调节空压机输入电流，有效提升空压机运行。设备如图 21 所示。



图21 智能磁悬浮空气压缩机设备图

3.技术功能特性及指标

（1）优化设计叶轮型线，非设计工况点气动效率提高至 87%；

(2) 高速直驱、自主变频运行，无物理摩擦、免维护，效率提高至 80%。

4.应用案例

(1) 项目基本情况:

技术提供单位为亿昇（天津）科技有限公司，应用单位为微赛诺生物科技有限公司。改造前发酵系统压缩空气采用活塞式空压机，能耗种类为电能，5 台活塞式空压机总功率 382 千瓦，年耗电量 305.6 万千瓦时。

(2) 主要技术改造内容:

安装 5 台磁悬浮空压机替代原活塞式空压机，优化压缩空气站运行控制系统。2022 年 2 月实施节能改造，实施周期 15 天。

(3) 节能降碳效果及投资回收期:

改造完成后，年电耗量 240 万千瓦时，实现节能量 206 吨标准煤/年，二氧化碳减排量 548 吨。投资额为 80 万元，投资回收期为 1.6 年。

（二十二）智能磁悬浮透平真空泵技术

1.技术适用范围

适用于造纸行业纸浆干燥工艺。

2.技术原理及工艺

真空泵叶轮与高速永磁同步电机直联，采用磁悬浮轴承技术，消除轴承物理摩擦损耗。通过具有独特分区结构汽水分离器分离汽水和杂质，水和杂质经滤液泵排出。利用液位检测装置精确控制滤液泵启停，减少真空泵叶轮惰转时间，降低叶轮转动能耗；真空泵系统配备检测元件和传感器，实现真空泵运行高度智能化，防喘振、防过载能力大幅提升。设备如图 22 所示。

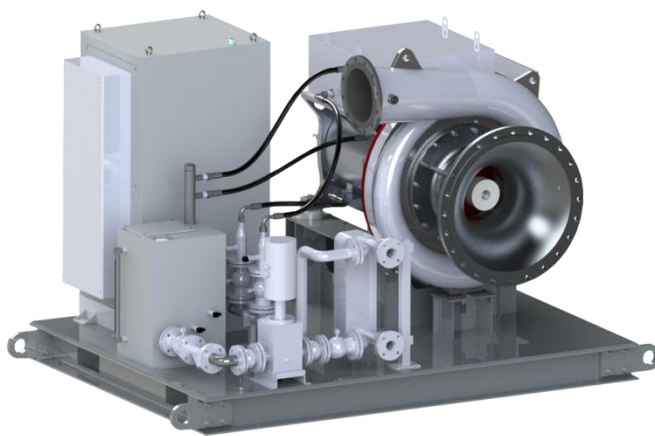


图22 智能磁悬浮透平真空泵设备图

3.技术功能特性及指标

（1）叶轮与高速永磁同步电机直联，设备效率提升至77%；

（2）汽水分离结构分区设计，水、纤维等杂质分离效果 $\geq 98\%$ 。

4.应用案例

（1）项目基本情况：

技术提供单位为亿昇（天津）科技有限公司，应用单位为仙鹤股份有限公司。改造前真空脱水系统采用水环式真空泵，主要能耗种类为电能，7 台水环式真空泵总功率 645 千瓦，年耗电量 541.8 万千瓦时。

（2）主要技术改造内容：

安装 2 台磁悬浮透平真空泵替代原 7 台水环式真空泵，优化真空泵站运行控制系统。2020 年 6 月实施节能改造，实施周期 15 天。

（3）节能降碳效果及投资回收期：

改造完成后，年耗电量 260.4 万千瓦时，实现节能量 872 吨标准煤/年，二氧化碳减排量 2320 吨/年。投资额为 225 万元，投资回收期为 1.3 年。

（二十三）内燃机车新能源改造技术

1.技术适用范围

适用于工矿行业调运轨道机车电气化改造。

2.技术原理及工艺

将内燃机车改造为新能源轨道机车，自主研发整车控制器，通过采集各部件信号，控制各控制器动作，实现机车安全稳定运行。主驱动器采用直接转矩控制低转速高转矩变频调速技术，将蓄电池直流电通过大功率绝缘栅双极型晶体管元件逆变为频率可调的三相交流电。采用同轴永磁电机驱动，并配有水冷装置，提升机车运载能力。机车整体布置如图 23 所示。

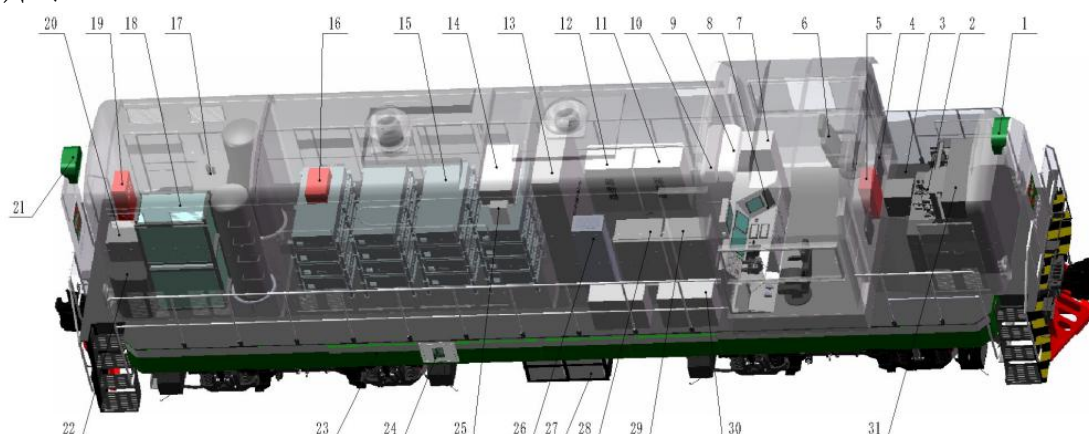


图23 机车整体布置图

3.技术功能特性及指标

（1）利用磷酸铁锂电池作为动力源，电池容量为 640 千瓦时；

（2）将蓄电池的直流电通过大功率 IGBT 元件逆变为频

率可调的三相交流电，驱动 220 千瓦同轴永磁电机作为机车动力。

4.应用案例

（1）项目基本情况：

技术提供单位为南京金瀚环保科技有限公司，应用单位为南京钢铁股份有限公司。改造前牵引机车采用内燃机驱动，主要耗能种类为柴油，牵引重量 1500 吨，单位里程柴油消耗 6.24 升，每年消耗柴油 113880 升。

（2）主要技术改造内容：

拆除内燃机车柴油机、液力传动箱、车轴齿轮箱、风泵、电气系统等，安装电动机车系统（含同轴电机转向架、动力蓄电池、变频驱动柜、配电柜、整车控制器、无线遥控器、自动灭火系统等）。2023 年 2 月实施节能改造，实施周期 4 个月。

（3）节能降碳效果及投资回收期：

改造完成后，年耗电 136875 千瓦时，实现节能量 98.67 吨标准煤/年，二氧化碳减排量 262.5 吨/年。投资额为 410 万元，投资回收期为 5 年。

（二十四）多能互补供热技术

1.技术适用范围

适用于清洁能源供热、弃风电、谷电消纳。

2.技术原理及工艺

采用全自动高压电极锅炉技术、燃气锅炉技术和蓄热技术，并将用气系统和用电系统集成成为智能化供热系统，实现天然气和电力的相互补充使用。通过大数据、物联网及云平台实现企业实际生产能耗和用能方案的实时监测、分析和修正，最终实现谷电消纳、辅助电网保持平衡，减少弃风光电。工艺系统如图 24 所示。

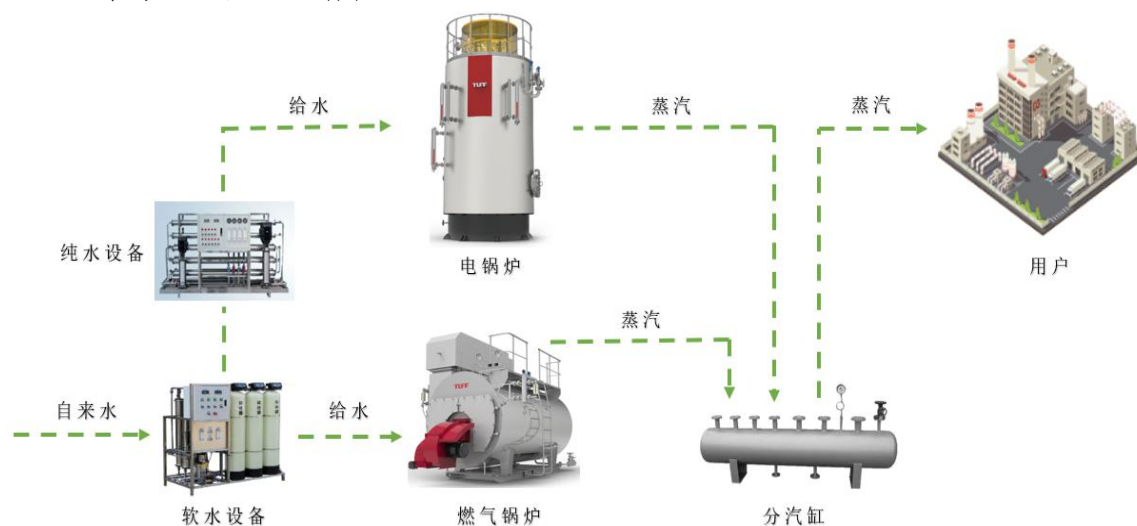


图24 工艺系统图

3.技术功能特性及指标

- （1）10 千伏电极锅炉热效率>99%；
- （2）实现零氮氧化物排放，采用绿电可实现零碳排放。

4.应用案例

- （1）项目基本情况：

技术提供单位为浙江特富发展股份有限公司，应用单位

为新疆和融热力有限公司。改造前采用燃气热水锅炉供热，能耗种类为天然气，20 台锅炉总功率 29 兆瓦，年耗天然气量约 6000 万标立方米。

（2）主要技术改造内容：

新安装 2 台 16 兆瓦、10 千伏高压电极热水锅炉，用于夜间低谷电时段代替燃气锅炉供暖。2018 年 7 月实施节能改造，实施周期 5 个月。

（3）节能降碳效果及投资回收期：

改造完成后，谷电耗量 4320 万千瓦时/年，替代天然气 480 万立方/年，实现二氧化碳减排量 1.54 万吨/年。投资额为 1000 万元，投资回收期为 2.8 年。

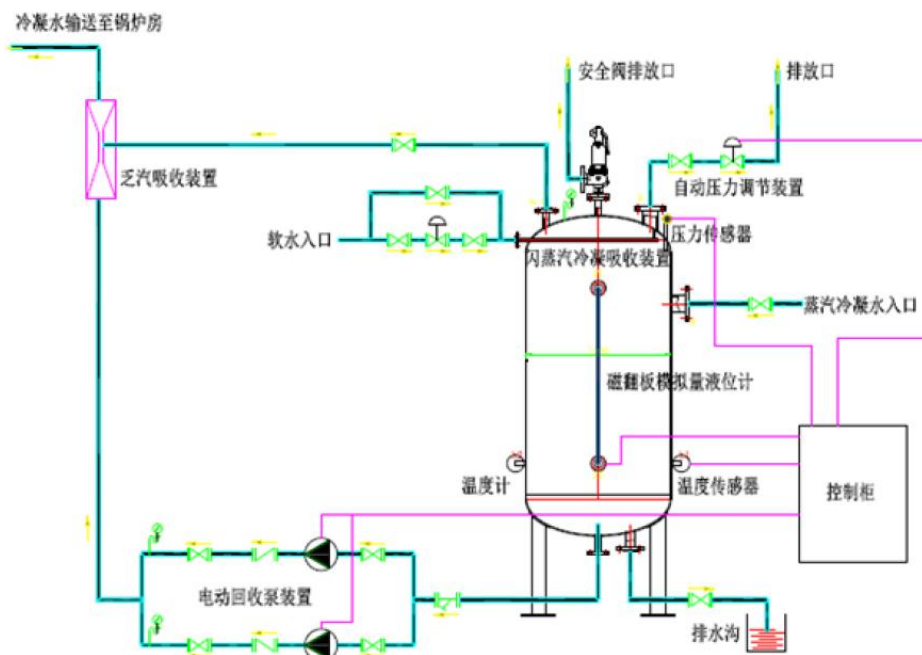
（二十五）微负压蒸汽冷凝水回收技术

1.技术适用范围

适用于工业锅炉。

2.技术原理及工艺

采用高温冷凝水回收水泵，蒸汽经加热设备工艺换热后产生不同压力的冷凝水。冷凝水通过疏水阀后流至汽液分离缓冲罐内（微负压），进行汽液分离。分离后的冷凝水通过疏水阀泵加压输送至冷凝水回收设备，闪蒸汽引射至闪蒸吸收装置，吸收后进入冷凝水回收罐内，再经冷凝水回收设备加压泵送至锅炉房回用。工艺流程如图 25 所示。



3.技术功能特性及指标

（1）全闭式回收，冷凝水及闪蒸汽回收率 $\geq 95\%$ ，热能回收率 $\geq 95\%$ ；

（2）阀门调节平稳，系统背压可控制在 0.5 巴。

4.应用案例

(1) 项目基本情况:

技术提供单位为湖南柯林瀚特环保科技有限公司，应用单位为常德芙蓉烟叶复烤有限责任公司。改造前采用蒸汽锅炉提供生产用蒸汽，主要能耗种类为天然气，片烟年加工量3万吨，片烟天然气耗为72.0标立方米/吨。

(2) 主要技术改造内容:

不淘汰现有主体设备，将开式冷凝水回收系统更换为全密闭式回收系统，增加闪蒸罐。2017年6月实施节能改造，实施周期4个月。

(3) 节能降碳效果及投资回收期:

改造完成后，片烟天然气耗降至62.5标立方米/吨，实现节能量345吨标准煤/年，二氧化碳减排量917吨/年。投资额为100万元，投资回收期为1年。

（二十六）无油螺杆水蒸气增压技术

1.技术适用范围

适用于热泵水蒸气增压利用。

2.技术原理及工艺

采用双螺杆压缩机，向压缩过程基元内喷入冷却水，通过与压缩蒸汽进行显热及蒸发潜热换热从而冷却蒸汽，并使压缩过程接近等温过程，提高绝热效率。未蒸发的液体水可有效密封双螺杆式压缩机的泄漏通道，减少压缩蒸汽的泄漏，提高容积效率。工艺系统如图 26 所示。



图26 复合式热泵系统图

3.技术功能特性及指标

- （1）高压比、高密封性，绝热效率达 72%；
- （2）小间隙运行避免压缩蒸汽泄漏，容积效率达 81.9%。

4.应用案例

该技术为研发类技术，暂无应用案例。技术提供单位为冰轮环境技术股份有限公司。

（二十七）基于边缘计算末端全动态温控节能装置

1.技术适用范围

适用于建筑供热系统。

2.技术原理及工艺

通过安装在室内的智能温控器设定并监测室温，将监测室温发送至室外控制器，通过控制器内部的高性能人工智能芯片处理器实时运算，全动态自适应调整阀门开度，解决供热管网存在的三大水力失衡问题。通过改变热用户回水流量精准调控室温，实现自主节能和被动节能，按需供热、精准供热、智慧供热。电动调节阀剖面如图 27 所示。

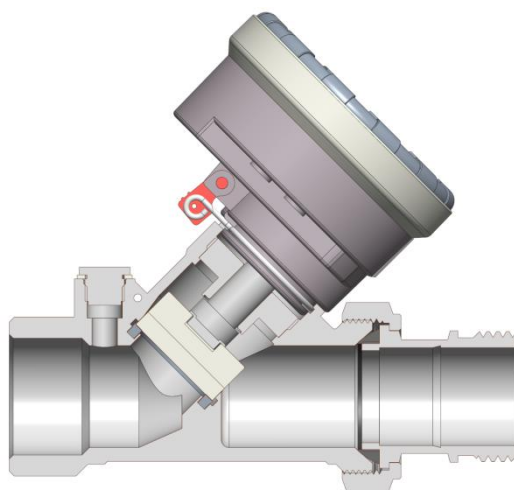


图27 电动调节阀剖面图

3.技术功能特性及指标

系统流量全动态智能调节，节能率可达 23%。

4.应用案例

（1）项目基本情况：

技术提供单位为山东琅卡博能源科技股份有限公司，应用单位为延安圣地蓝热力（集团）有限公司。改造前采用普通手动阀门进行水力平衡调节，主要耗能种类为热力及电力，

总供热面积约 512 万平方米，单位面积供热电耗 2.5 千瓦时/平方米，单位面积供热热耗 0.44 吉焦/平方米。

（2）主要技术改造内容：

安装户用智能电动温控装置代替手动阀门调节水力平衡，配套安装通信线和室内温度控制器及楼宇热量表等。

2016 年 11 月实施节能改造，实施周期 3 年。

（3）节能降碳效果及投资回收期：

改造完成后，单位面积供热电耗降至 1.2 千瓦时/平方米，单位面积供热热耗降至 0.32 吉焦/平方米，实现节能量 23032 吨标准煤/年，二氧化碳减排量 61265.1 吨/年。投资额为 7680 万元，投资回收期为 2.8 年。

（二十八）非侵入式无源无线电力传感器关键技术

1.技术适用范围

适用于用电节能及安全监测场景。

2.技术原理及工艺

通过非侵入式无源无线电力传感器、边缘计算网关及其综合能源管理平台软硬件协作，采用非侵入式无源无线电力传感器收集测量数据。对用电数据进行数据清洗和整理、数据分析、制定节能减碳策略并持续优化。整体方案架构如图 28 所示。



图28 整体方案架构图

3.技术功能特性及指标

（1）电量测量精准可控，功率因数 0.8 情况下电量精度达 2%；

（2）无电池供电，0.4 安母线电流冷启动和无电流状态下续航达到 24 小时。

4.应用案例

（1）项目基本情况：

技术提供单位为北京京仪北方仪器仪表有限公司，应用单位为北京仪器仪表工业基地。改造前生产工序无能源数字化管理设施，主要耗能种类为电能，年生产电表 130 万只，单位产品综合能耗为 0.516 千瓦时/只。

（2）主要技术改造内容：

在主要用能设备上安装非侵入式无源无线电力传感器，组建能源管理平台。2022 年 7 月实施节能改造，实施周期 1 年。

（3）节能降碳效果及投资回收期：

改造完成后，单位产品能耗降低至 0.322 千瓦时/只，实现节能量 78.2 吨标准煤/年，二氧化碳减排量 208 吨/年。投资额为 45 万元，投资回收期为 2.3 年。

（二十九）水氟全多联高效中央空调智慧能源管理系统

1.技术适用范围

适用于中央空调。

2.技术原理及工艺

采用水氟全多联系统需求智能匹配技术、基于数据挖掘和能源回收的自适应节能寻优技术、基于机器学习算法的热舒适度推荐及智能预测控制技术和中央空调高可靠节能运行技术，实现低碳建筑用中央空调智能管控、能源管理、智能运维等功能。系统结构如图 29 所示。

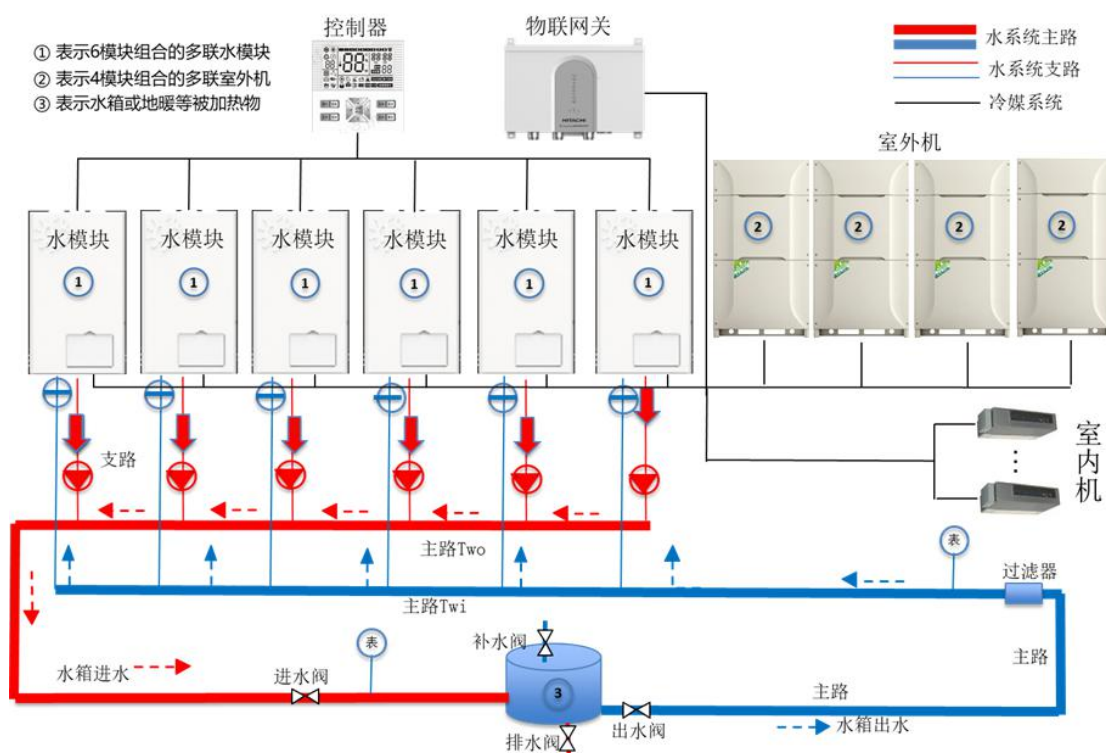


图29 系统结构图

3.技术功能特性及指标

（1）支持参数采集、区域可视化、能耗管理、OTA 及设备轮换等功能，远程控制成功率 $\geq 97\%$ ；

（2）水模组合支持 72 匹，热回收效率达 8.96。

4.应用案例

该技术为研发类技术，暂无应用案例。技术提供单位为青岛海信日立空调系统有限公司。

（三十）高效压缩空气能源供应系统

1.技术适用范围

适用于工业压缩空气系统。

2.技术原理及工艺

采用云智能数字系统、压缩空气动力系统、后处理系统、循环冷却系统、管道输送系统、余热回收系统等分散控制与集中管理相结合的模式，实施动态调整压缩空气设备调配组合。结合压缩空气集控系统实现压缩空气供应的智能管控一体化，实现管网系统恒压运行，最终实现压缩空气安全、高效、稳定运行。能源供应系统流程如图 30 所示。

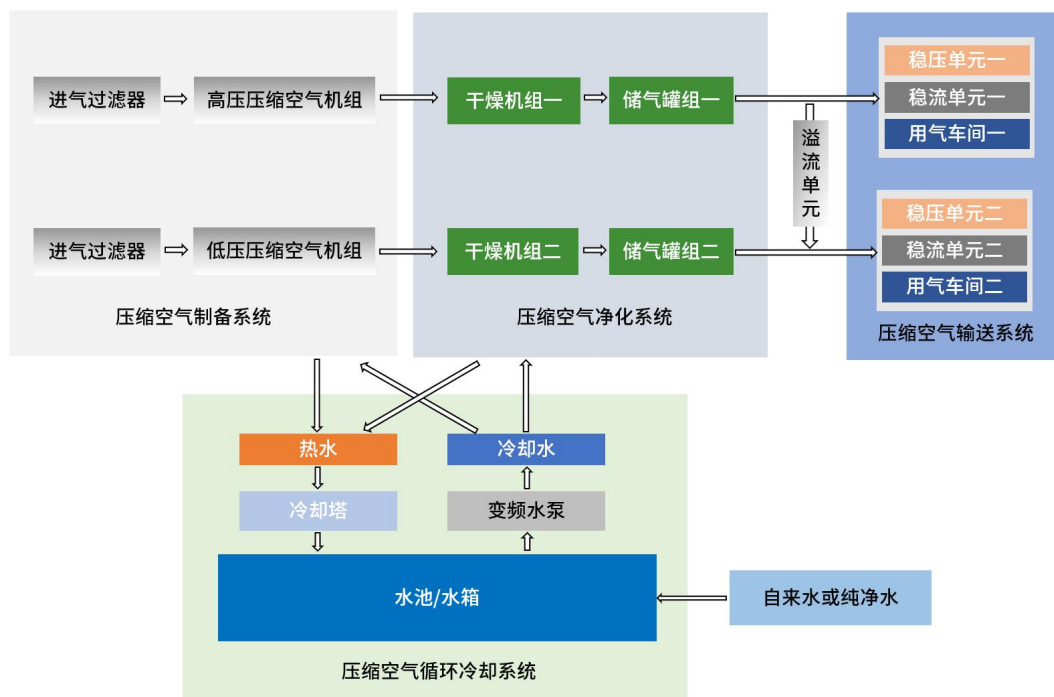


图30 能源供应系统流程图

3.技术功能特性及指标

（1）云智能数字控制，实时动态匹配生产端与用气端供需，系统能效提升至 54.9%；

(2) 管道高低压溢流，末端恒压供气，压力波动范围 ≤ 0.015 兆帕。

4.应用案例

(1) 项目基本情况:

技术提供单位为丰电科技集团股份有限公司，应用单位为天津钢管制造有限公司。改造前压缩空气系统主机为离心式压缩机和活塞式压缩机，能耗种类为电能，压缩机组总功率 7018 千瓦，系统平均气电比为 0.1256 千瓦时/标立方米。

(2) 主要技术改造内容:

安装离心式压缩机 6 台，螺杆式压缩机 2 台，零气耗干燥机 8 台，替换原有空压机及干燥机等压缩空气系统设备，配套云智能数字控制系统。2020 年 10 月实施节能改造，实施周期 6 个月。

(3) 节能降碳效果及投资回收期:

改造完成后，系统平均气电比为 0.1030 千瓦时/标立方米，年节电量约 1050 万千瓦时，实现节能量 3255 吨标准煤/年，二氧化碳减排量 8658 吨/年。投资额为 2000 万元，投资回收期为 3 年。

（三十一）基于大数据的船舶节能管理系统

1.技术适用范围

适用于船舶行业能效系统管理平台。

2.技术原理及工艺

通过对船舶主机瞬时油耗、转速、船位、航速、水深等数据进行在线采集，建立船舶运行数据库，通过大数据挖掘，确定船舶运行中主机转速、瞬时油耗、静水航速三个参数之间数据模型，以此为机桨匹配优化、技术保养和改造、故障分析提供诊断依据。根据船舶的油耗规律，智能推算该船在不同航道水流下主机油耗，实现转速寻优。管理系统架构如图 31 所示。

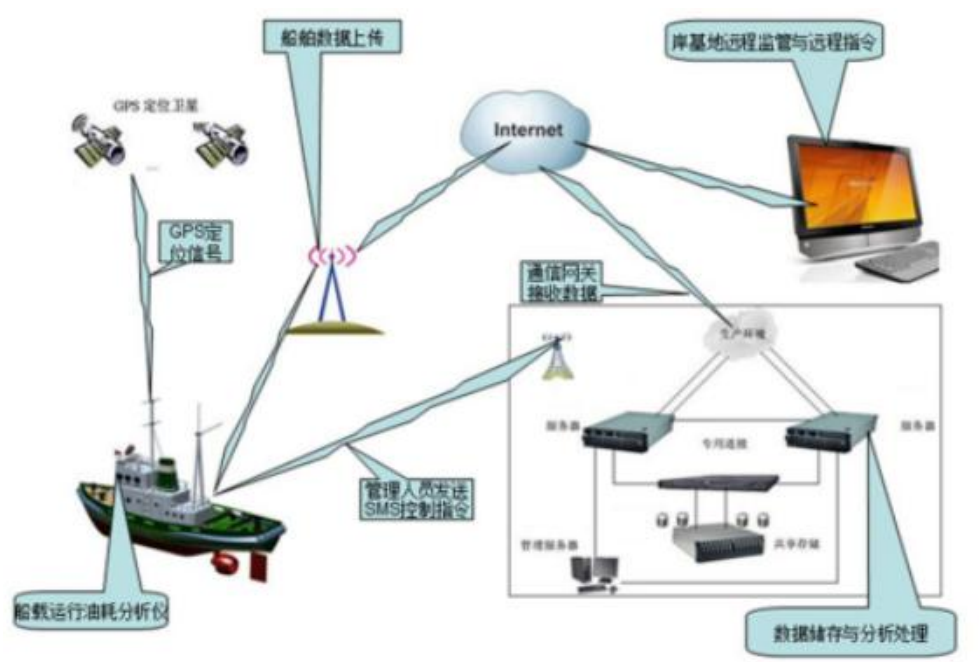


图31 船舶节能管理系统架构图

3.技术功能特性及指标

将船舶运行实际与理论分析结合，实现经济航道、经济航速寻优，综合节能率为 15%。

4.应用案例

（1）项目基本情况：

技术提供单位为中电凯杰科技有限公司，应用单位为湖南湘平高速航运有限公司。改造前船舶无数字化控制系统，主要耗能种类为柴油，1艘双机双桨船功率600千瓦，千吨货物运输油耗为2.4千克/千米。

（2）主要技术改造内容：

在机舱安装主机油耗实时测量与分析装置，驾驶台安装船载分析仪、北斗卫星接收装置、数据透传及服务器，配套云计算服务等。2019年6月实施节能改造，实施周期5天。

（3）节能降碳效果及投资回收期：

改造完成后，千吨货物运输油耗降至1.9千克/千米，按照年运输3万千米计算，平均每年节约油耗约45吨，实现节能量66吨标准煤/年，二氧化碳减排量175吨/年。投资额为10.2万元，投资回收期为4个月。

（三十二）小型燃气轮机能源梯级利用节能技术

1.技术适用范围

适用于天然气及工业尾气热值回收利用。

2.技术原理及工艺

以连续流动空气为工质，由高速旋转压气机压缩，经回热器与高温烟气换热升温后进入燃烧室，与燃料混合燃烧后将化学能量转变为热能，形成高温高压烟气在透平膨胀做功输出机械能，带动压气机并输出轴功。排出的高温烟气经回热器与压气机后空气换热降温，余热进入余热设备进行再利用。工艺原理如图 32 所示。

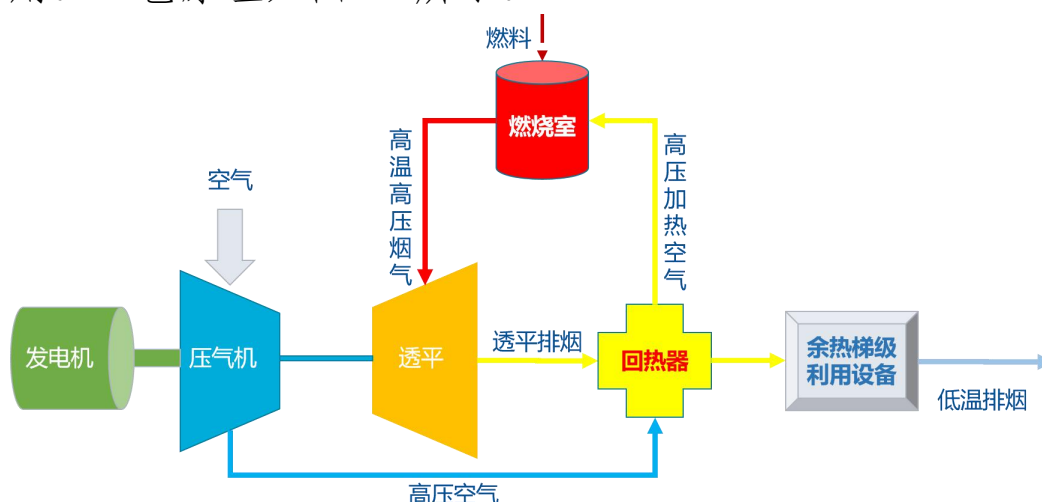


图32 工艺原理图

3.技术功能特性及指标

- （1）回热、余热梯级循环利用，发电效率达 31.1%；
- （2）富氢干式燃烧氮氧化物排放低，综合能效达 90%。

4.应用案例

- （1）项目基本情况：

技术提供单位为新奥能源动力科技（上海）有限公司，

应用单位为新能源有限公司。改造前煤制甲醇工业尾气直接燃烧排放，主要耗能种类为煤炭和电力，年产煤制甲醇 60 万吨，外排含氢和一氧化碳尾气约 4850 标立方米/小时。

（2）主要技术改造内容：

安装一台小型燃气轮机发电机组，配套安装 1 台余热锅炉。2022 年 11 月实施节能改造，实施周期 6 个月。

（3）节能降碳效果及投资回收期：

改造完成后，尾气全部回收利用，年发电量 1421.4 万千瓦时，实现节能量 4406 吨标准煤/年，二氧化碳减排量 11720 吨/年。投资额为 1635 万元，投资回收期为 2.8 年。