



首页

组织机构

新闻发布

政务公开

政务服务

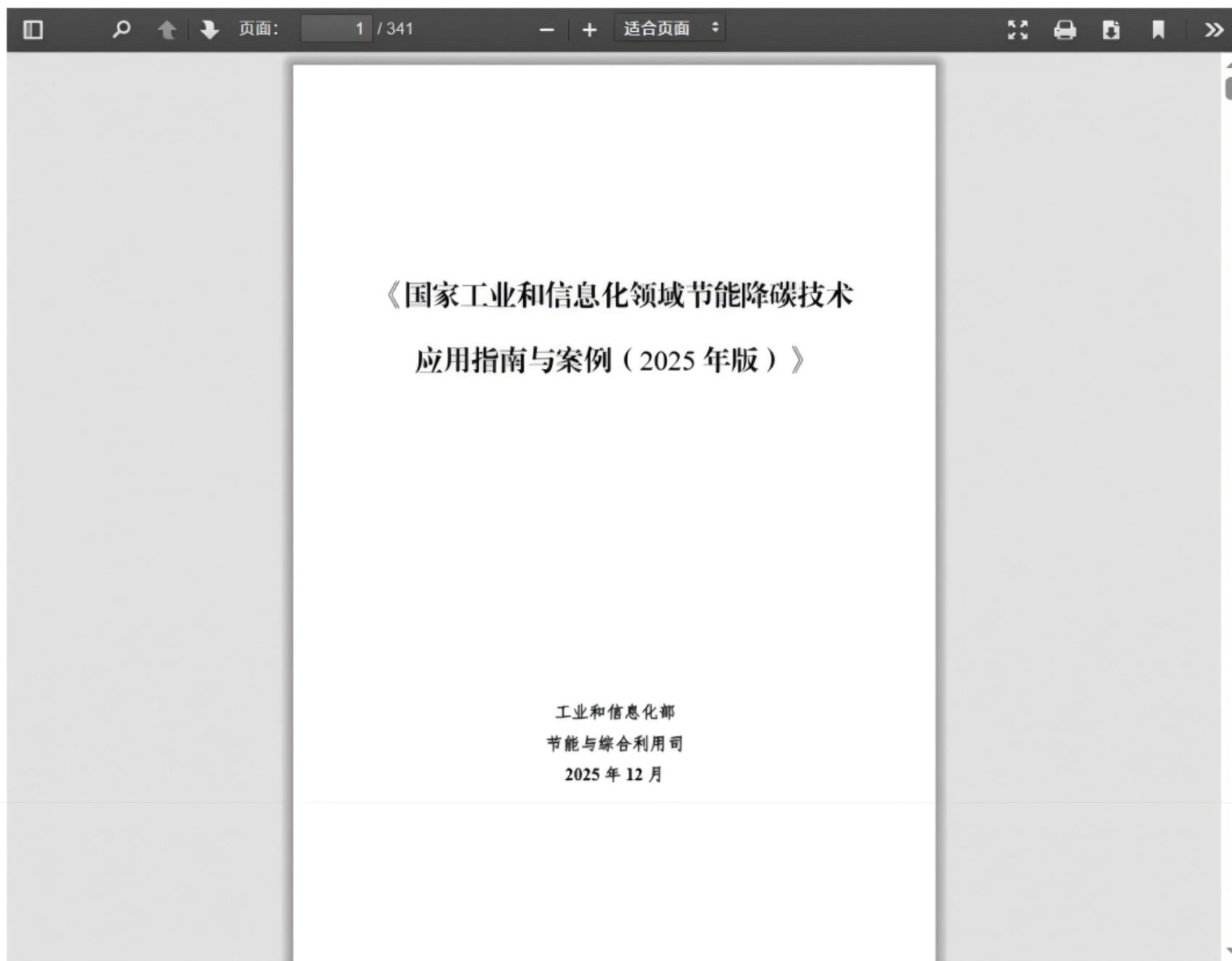
互动交流

工信数据

首页 > 工业和信息化部 > 机关司局 > 节能与综合利用司 > 工作动态

## 国家工业和信息化领域节能降碳技术应用指南与案例（2025年版）

发布时间：2025-12-26 16:53 来源：节能与综合利用司



扫一扫在手机打开当前页



# 《国家工业和信息化领域节能降碳技术 应用指南与案例（2025年版）》

工业和信息化部  
节能与综合利用司  
2025年12月

# 引言

为加快推广节能降碳先进技术，加强重点行业领域技术改造升级，工业和信息化部发布了《国家工业和信息化领域节能降碳技术装备推荐目录（2025年版）》，共包括钢铁、有色、石化化工、机械、建材、轻工、电子、纺织等重点行业，以及数据中心、通信基站、通信机房等重点领域，涵盖余热余压高效利用、工业绿色微电网、清洁低碳氢制备及应用、工业减碳、数字化绿色化协同转型等前沿方向 165 项技术。为加快相关技术推广应用，我们组织编制了《国家工业和信息化领域节能降碳技术应用指南与案例（2025年版）》，详细描述了技术的适用范围、技术原理及工艺、技术功能特性及指标、典型工程应用案例，供参考借鉴。

# 目录

一、国家工业节能降碳技术应用指南与案例	1
(一) 钢铁行业节能降碳技术	2
案例一：钢铁线材通廊控温热处理技术	2
案例二：直弧型特厚板连铸技术	4
案例三：工业煤气内燃机发电技术	6
案例四：钢液真空循环脱气工艺干式机械泵抽真空技术	8
案例五：金属表面无酸除磷技术	10
案例六：大型海装风电主轴轴承无软带感应淬火技术	12
案例七：基于氟塑料换热器烟气余热回收技术	14
案例八：低碳低氮旋切顶燃式热风炉	16
(二) 有色金属行业节能降碳技术	18
案例一：两段短流程炼铜工艺	18
案例二：基于双极膜电渗析装备的氢氧化锂制备技术	20
案例三：兆瓦级超导感应加热技术	22
案例四：钼矿分选流程优化控制与关键装备	24
(三) 石化化工行业节能降碳技术	26
案例一：含盐多组分溶剂分离技术	26
案例二：燃煤催化剂	28
案例三：炼化加热炉复合结晶膜技术	30
案例四：高通量换热技术	32
案例五：液压驱动式无级气量调节系统	34
案例六：高温加热炉纳米节能新材料	36
案例七：高纯度熔融结晶技术	38
案例八：臭氧高级氧化	40
案例九：纳米气凝胶材料工业节能技术	42
案例十：水基岩屑微生物处理土壤化利用技术	44
(四) 机械行业节能降碳技术	46
案例一：智能潜水电机系统	46
案例二：高压电极锅炉	48
案例三：锅炉高效燃烧抗积灰技术	50
案例四：高效通风机电机驱动一体化技术	52
案例五：保护气氛单向排放型辊底炉	54
案例六：10千伏及以上纳米陶瓷电容电阻计量制备技术	56
案例七：复杂工况下燃气轮机进气温度运行控制关键技术	58
案例八：涂装前处理低温脱脂除油节能减碳装置	61
案例九：免维护型磁轮调速驱动技术	63
案例十：智能电除尘器高压控制系统	65
案例十一：“无铁芯”盘式智能模组变频电机	67

案例十二：伺服直驱纸机动力系统 .....	69
案例十三：光储直流化空调系统关键技术 .....	71
案例十四：自然水源综合利用节能空调系统 .....	73
案例十五：二氧化碳复叠分体空气源热泵技术 .....	76
案例十六：橡塑机械电磁加热节能技术 .....	78
案例十七：船舰污废真空收处装备高效节能技术 .....	80
案例十八：高压永磁同步变频调速一体机技术 .....	82
案例十九：基于电磁感应的轮胎全氮气循环加热硫化技术 .....	84
案例二十：制冷系统智控节能技术 .....	86
案例二十一：高速直驱机械蒸汽再压缩技术 .....	88
案例二十二：车用热泵空调 .....	90
案例二十三：双筒型永磁调速节能技术 .....	92
案例二十四：脱硫浆液循环泵耐磨材料节能技术 .....	94
案例二十五：大型制冷机组环境模拟和检测技术 .....	96
案例二十六：磁悬浮离心压缩机关键技术 .....	98
案例二十七：氟泵自然冷技术 .....	100
案例二十八：跨临界二氧化碳热泵的并行复合循环关键技术 .....	102
案例二十九：大压比离心热泵 .....	104
案例三十：三管制冷凝热回收技术 .....	106
案例三十一：螺旋埋管地源热泵系统 .....	108
<b>(五) 建材行业节能降碳技术 .....</b>	<b>110</b>
案例一：水泥富氧煅烧系统节能技术 .....	110
案例二：水泥生产线全工况智能优化控制技术 .....	112
案例三：水泥用活化铝硅酸盐胶凝材料制备关键技术 .....	114
<b>(六) 轻工、电子及纺织行业节能降碳技术 .....</b>	<b>116</b>
案例一：吹贴灌旋一体化集成技术 .....	116
案例二：展示冷柜节能减碳技术 .....	118
案例三：空调换热器用石墨烯涂层节能技术 .....	120
案例四：石墨负极材料制备炉节能技术 .....	122
案例五：织物定形机数字化控制技术 .....	124
<b>(七) 余热余压及系统能量梯级利用技术 .....</b>	<b>126</b>
案例一：烟气冷凝余热深度利用技术 .....	126
案例二：高炉煤气锅炉低温换热岛技术 .....	128
案例三：基于高温热泵系统的巴氏消毒余热回收技术 .....	130
案例四：锅炉给水余热利用系统 .....	132
案例五：基于磁悬浮热泵的工业废热低碳供暖技术 .....	134
案例六：非静态环境余热回收型溴化锂吸收式技术 .....	136
案例七：余热蒸发浓缩高盐废水与零排放处理一体化装备 .....	138
案例八：高压湿天然气压力能回收技术 .....	140
案例九：新一代水泥窑余热发电技术 .....	142
案例十：闭式工质热泵精馏技术 .....	144

案例十一：转炉烟气余热回收技术 .....	146
案例十二：低温甲醇洗二氧化碳尾气发电技术 .....	148
案例十三：窄温区低压降缠绕管换热器 .....	150
(八) 工业绿色微电网技术 .....	152
案例一：基于碳化硅电能路由器的园区绿色微电网技术 .....	152
案例二：绿色低碳园区综合能源管控系统及碳监测终端 .....	154
案例三：光储充空直柔一体化技术 .....	156
案例四：120 伏安全低压智能光伏建筑一体化系统技术 .....	158
案例五：智能群控能量管理装置 .....	160
案例六：融合电动汽车移动储能的光-储-充-放微电网技术 .....	162
案例七：智能光储直柔微电网技术 .....	164
案例八：光储柴多能互补微电网系统 .....	166
案例九：基于“光储直柔”系统的零碳建筑建设与运营技术 .....	168
案例十：高压固体热储能技术 .....	170
案例十一：全钒液流电池长时储能系统 .....	172
案例十二：锌铁液流电池储能技术 .....	174
案例十三：水系有机液流电池 .....	176
案例十四：塔式熔盐储能光热发电技术 .....	178
案例十五：125 千瓦/500 千瓦时盐酸基全钒液流电池储能系统 .....	180
案例十六：储能电站大容量热管理成套系统关键技术 .....	182
案例十七：大规模压缩空气储能透平压缩机组技术 .....	184
案例十八：压缩二氧化碳气液相变储能技术 .....	186
案例十九：电储热锅炉 .....	188
案例二十：光储充检智能充电站 .....	190
(九) 清洁低碳氢制备及应用技术 .....	192
案例一：电解水制氢成套设备 .....	192
案例二：碱性水电解制氢复合隔膜技术 .....	194
案例三：低温氨分解制氢装置 .....	196
案例四：氢气回路冷启动破冰核心技术 .....	198
案例五：阴离子交换膜电解水制氢技术 .....	200
案例六：无人机用气态储氢及供氢系统 .....	202
案例七：小功率氢燃料电池系统 .....	204
案例八：200 千瓦级氢燃料电池动力系统 .....	206
案例九：大容量风电离网制氢一体化技术 .....	208
(十) 工业减碳技术 .....	210
案例一：大规模燃烧后碳捕集技术 .....	210
案例二：生物质微波裂解燃气化成套装备及技术 .....	212
案例三：肉食加工用能零碳技术 .....	214
案例四：基于学习代理模型的空调运行节能关键技术 .....	216
案例五：一体化高效低露点转轮除湿系统 .....	218
案例六：基于负荷预测的中央空调运行节能技术 .....	220

案例七：中空纤维二氧化碳分离膜技术 .....	222
案例八：二氧化碳离心压缩机技术 .....	224
案例九：物流行业数字化减碳技术 .....	226
案例十：基于复杂流场的碳计量技术 .....	228
案例十一：中高压开关设备六氟化硫替代技术 .....	230
案例十二：污水处理智能控制技术 .....	232
<b>二、国家信息化领域节能降碳技术应用指南与案例 .....</b>	<b>234</b>
<b>(一) 数据中心节能降碳技术——高效冷却技术 .....</b>	<b>235</b>
案例一：全直流变频氟泵空调技术 .....	235
案例二：双回路变频式氟泵技术 .....	237
案例三：解耦冷板式液冷技术 .....	239
案例四：风侧间接蒸发冷却技术 .....	241
案例五：间接蒸发冷却一体化集成冷站技术 .....	243
案例六：芯片级精准喷淋液冷技术 .....	245
案例七：智算中心低能耗浸没液冷技术 .....	247
案例八：液冷热管理控制技术 .....	249
案例九：变频气动热管技术 .....	251
案例十：冷板式液冷全链条解决方案 .....	253
案例十一：基于智算高密场景悬浮多联热管近端制冷技术 .....	255
案例十二：热管多联空调系统技术 .....	257
案例十三：高效自适应间接蒸发冷却技术 .....	259
案例十四：高热流密度的液冷系统技术 .....	261
案例十五：氟泵多联式自然冷却技术 .....	263
<b>(二) 数据中心节能降碳技术——高效供配电技术 .....</b>	<b>265</b>
案例一：模块化不间断电源（UPS）技术 .....	265
案例二：新型一体化电源设备技术 .....	267
案例三：10千伏交流输入的直流不间断电源技术 .....	269
案例四：电力模块技术 .....	271
案例五：智能锂离子电池技术 .....	273
案例六：基于能效优化的智算/超算中心模块化不间断电源技术 .....	275
<b>(三) 数据中心节能降碳技术——高效系统集成技术 .....</b>	<b>277</b>
案例一：智能微模块化数据中心技术 .....	277
案例二：预制模块化数据中心基础设施解决方案 .....	279
案例三：智能微模块技术 .....	281
<b>(四) 数据中心节能降碳技术——智能化运维管理技术 .....</b>	<b>283</b>
案例一：基于人工智能调优的数据中心节能管理技术 .....	283
案例二：制冷系统智能控制技术 .....	285
案例三：数据中心能效提升智能调优技术 .....	287
案例四：数据中心暖通空调系统智能自适应柔性控制技术 .....	289
案例五：微模块风液融合智慧节能技术 .....	291
案例六：基于人工智能与物理机理融合的数据中心空调系统优化控制	

技术 .....	293
(五) 通信基站、机房节能降碳技术 .....	295
案例一：全变频气悬浮空调技术 .....	295
案例二：机房综合能耗智慧管控技术 .....	297
案例三：零碳绿色基站技术 .....	299
案例四：智慧机房节能技术 .....	301
(六) 数字化绿色化协同转型技术 .....	303
案例一：算力中心碳治理技术 .....	303
案例二：能碳一体化运营管理技术 .....	305
案例三：流体智慧节能系统 .....	307
案例四：基于人工智能驱动的无人矿卡全局最优能量管理系统及能耗 优化技术 .....	309
案例五：工程建造碳监测与优化控制技术 .....	311
案例六：基于平衡热量表的智慧供热技术 .....	313
案例七：基于大涡湍流模拟的工业窑炉数字化燃烧控制技术 .....	315
案例八：高效制冷机房全生命期智能化技术 .....	317
案例九：工业企业综合能源管理平台技术 .....	319
案例十：多联式空调（热泵）机组能耗监控技术 .....	321
案例十一：高效冷水机房全过程集成技术 .....	323
案例十二：基于人工智能负荷预测的冷热站节能智控技术 .....	325
案例十三：多能互补智慧能源管控技术 .....	327
案例十四：冷链设备智控节能技术 .....	329
案例十五：机房综合能源管理技术 .....	331
案例十六：基于人工智能大模型的公辅车间数字化能效协同调控技术 .....	333

# 一、国家工业节能降碳技术应用指南与案例

## （一）钢铁行业节能降碳技术

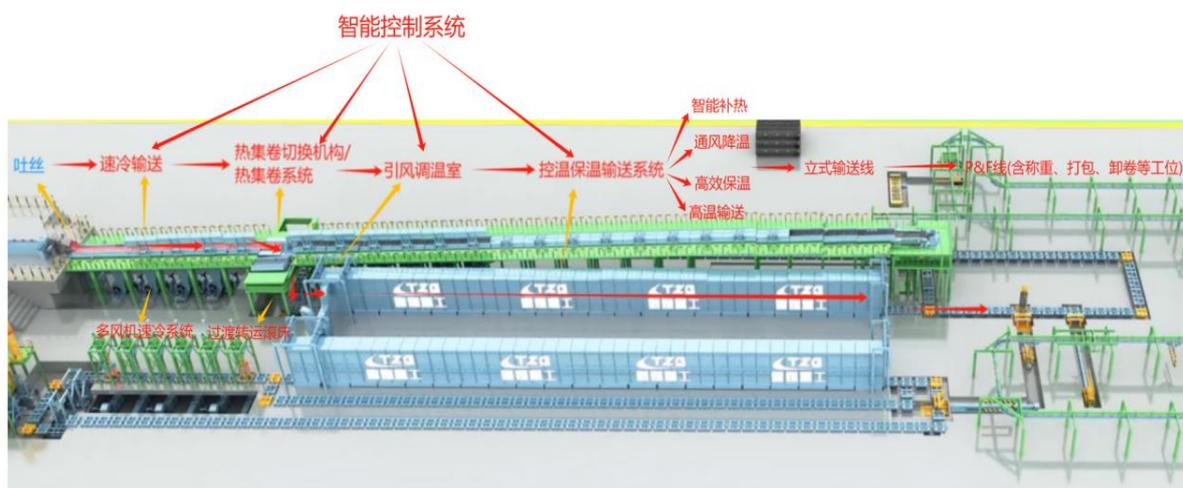
### 案例一：钢铁线材通廊控温热处理技术

#### 1.技术适用范围

适用于钢铁行业高速线材轧制领域。

#### 2.技术原理及工艺

该技术采用三层复合材料构筑的保温通廊。轧制高温线材直接进入通廊，通过高精度探头、传感器实时监测保温通廊内部温度变化，利用通风机、热补偿设备等调节温度，使线材等速降温，提高线材质量。相较传统热处理工艺，可减少钢材二次加热能耗48 千克标准煤/吨。系统结构如图所示。



钢铁线材通廊控温热处理技术系统结构图

#### 3.技术功能特性及指标

（1）恒温模式（控温输送时长不小于 30 分钟）下，可实现控制系统中的温度波动不大于 $\pm 2^{\circ}\text{C}$ ；

（2）等速降温模式（控温输送时长不小于 30 分钟）下，可

实现控制系统内温降速率波动在 0.1~0.3 °C/s 内；

(3) 消除钢材的氢脆现象和轧制内应力，力学性能提升 5%~10%，金相组织有效转化率提升 15%，省却二次热处理。

#### 4.应用案例

##### (1) 项目基本情况：

技术提供单位为青岛雷霆重工股份有限公司，应用单位为常熟市龙腾特钢有限公司。改造前应用单位年产轧制冷锻钢、焊丝钢、轴承钢、弹簧钢、优质结构钢、低合金钢等 90 余万吨，吨钢材加热能耗为 48 千克标准煤，高速线材轧制热未能有效回收再利用。

##### (2) 主要技术改造内容及实施周期：

将原有高端特种焊材冷却工艺按照智能化节能保温通廊控温热处理技术方案进行改造。实施周期 7 个月。

##### (3) 节能降碳效果及投资回收期：

改造完成后，有效利用轧制余热 1266062.4 吉焦，折合年节约标准煤 4.32 万吨，减少二氧化碳排放 11.5 万吨。投资额为 4056 万元，投资回收期为 2.8 年。

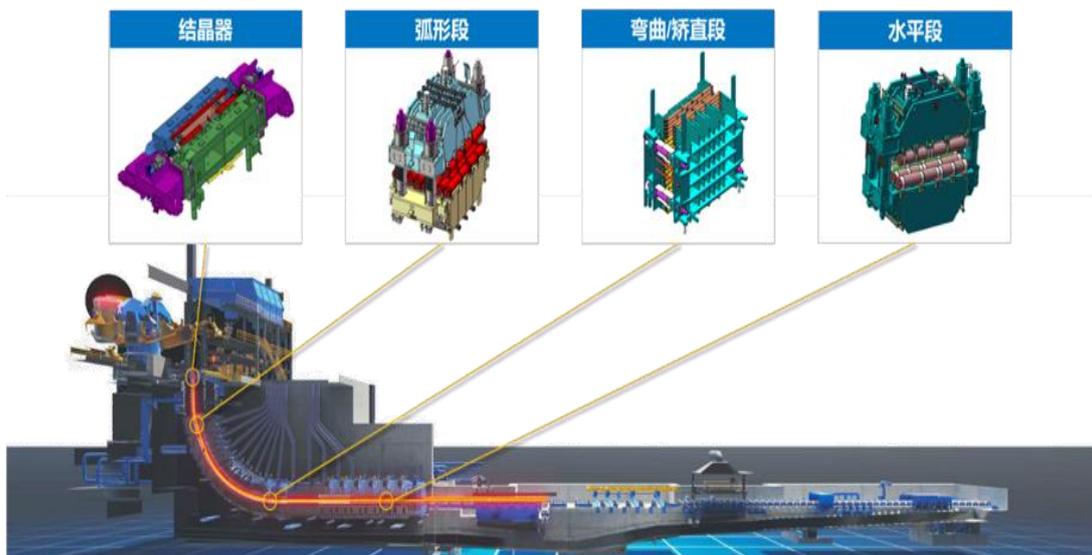
## 案例二：直弧型特厚板连铸技术

### 1.技术适用范围

适用于钢铁行业厚板连铸领域。

### 2.技术原理及工艺

该技术采用 450 毫米超厚板坯直弧型连铸机，通过高均质凝固控制、连续辊缝收缩、二冷精细分区动态调控等将钢液直接浇铸成坯并轧制，替代模铸钢锭、冷却加热、初轧开坯等工序，连铸金属收得率可达 98%，加热炉重复加热能耗降低 70%，吨钢能耗降低 30%。工作原理如图所示。



直弧型特厚板连铸技术工作原理图

### 3.技术功能特性及指标

(1) 减少初轧工序，加热炉重复加热能耗降低  $>70\%$ ，降低全流程碳排放；

(2) 连铸工艺金属收得率  $\geq 98\%$ ，相对模铸工艺提高 14%；

(3) 采用二冷精细分区动态调控技术，精准控制冷却强度，

减少冷却水用量 >20%。

#### 4.应用案例

##### (1) 项目基本情况：

技术提供单位为中冶京诚工程技术有限公司，应用单位为江阴兴澄特种钢铁有限公司特板厂。该项目为新建项目，生产铸坯断面厚度达 450 毫米，设计最大铸坯宽度为 2600 毫米，450 毫米断面最大拉速为 0.53 米/分钟，年产量为 42 万吨。

##### (2) 主要技术改造内容及实施周期：

应用二冷精细分区动态调控技术、小弧形半径低应变辊列等技术，安装高均匀冷却结晶器、高精度结晶器液压振动、结晶器专家系统、结晶器液面自动控制、结晶器在线自动调宽等装备。实施周期 1 年。

##### (3) 节能降碳效果及投资回收期：

建设完成后，铸坯加热环节吨钢平均节省混合煤气量 1480 立方米，折合年节约标准煤 17.6 万吨，减少二氧化碳排放 46.8 万吨。投资额为 2.2 亿元，投资回收期为 2 年。

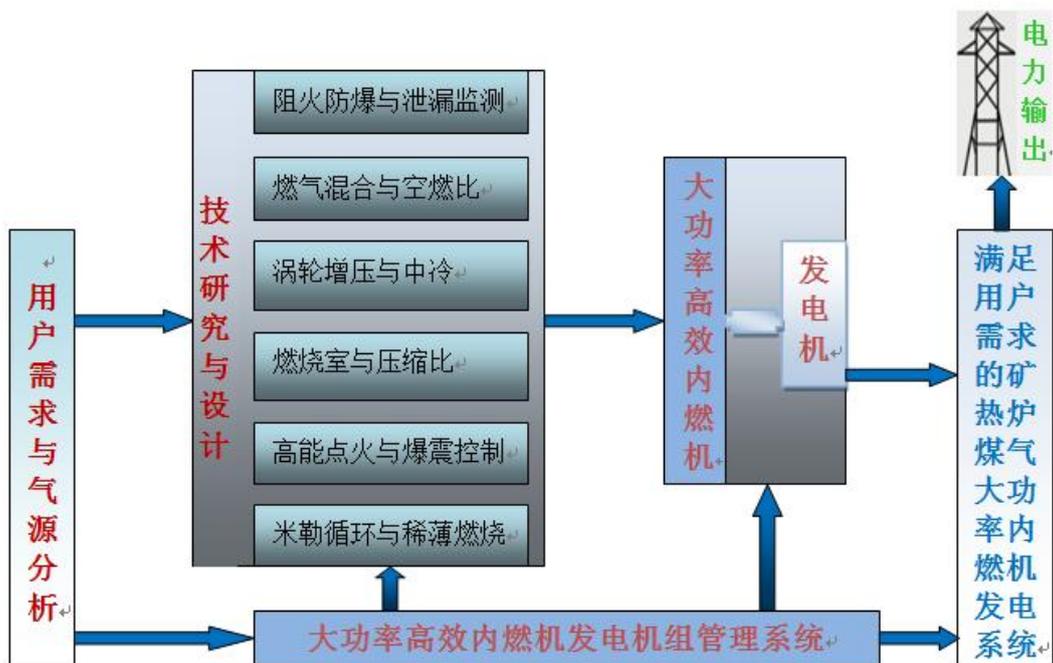
### 案例三：工业煤气内燃机发电技术

#### 1.技术适用范围

适用于冶金行业可燃尾气发电领域。

#### 2.技术原理及工艺

该技术采用工业煤气内燃机驱动发电机，以多气源可燃工业尾气为燃料，将处理后尾气与空气充分预混合，为内燃机提供高质量可燃混合气进行发电，同时回收发动机排气与冷却液中高品位余热供暖，实现尾气热能二次利用，尾气发电效率提升近 10%。工艺流程如图所示。



工业煤气内燃机发电技术工艺流程图

#### 3.技术功能特性及指标

(1) 机组发电效率 > 37%;

(2) 脱硝后  $\text{NO}_x$  排放  $\leq 50$  毫克/标立方米；

(3) 机组运行润滑油消耗低至 0.2 克/千瓦时。

#### 4.应用案例

(1) 项目基本情况：

技术提供单位为湖南省力宇燃气动力有限公司，应用单位为内蒙古科翰冶金有限责任公司。改造前应用单位拥有 2 台 30000 千伏安高碳铬铁矿热炉，单台矿热炉年产量为 60000 吨，年副产煤气量为 9360 万标立方米，其中 6217 万标立方米煤气可用于燃气内燃发电机组发电。

(2) 主要技术改造内容及实施周期：

安装 12 台 LY1600GH-M 燃气内燃发电机组、1 套煤气储存、加压、降温、精处理系统及 35 千伏变电站系统。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，利用高碳铬铁密闭炉副产工业煤气发电，年发电量 7858 万千瓦时，折合年节约标准煤 2.38 万吨，减少二氧化碳排放 4.48 万吨。投资额为 9121.3 万元，投资回收期为 2.75 年。

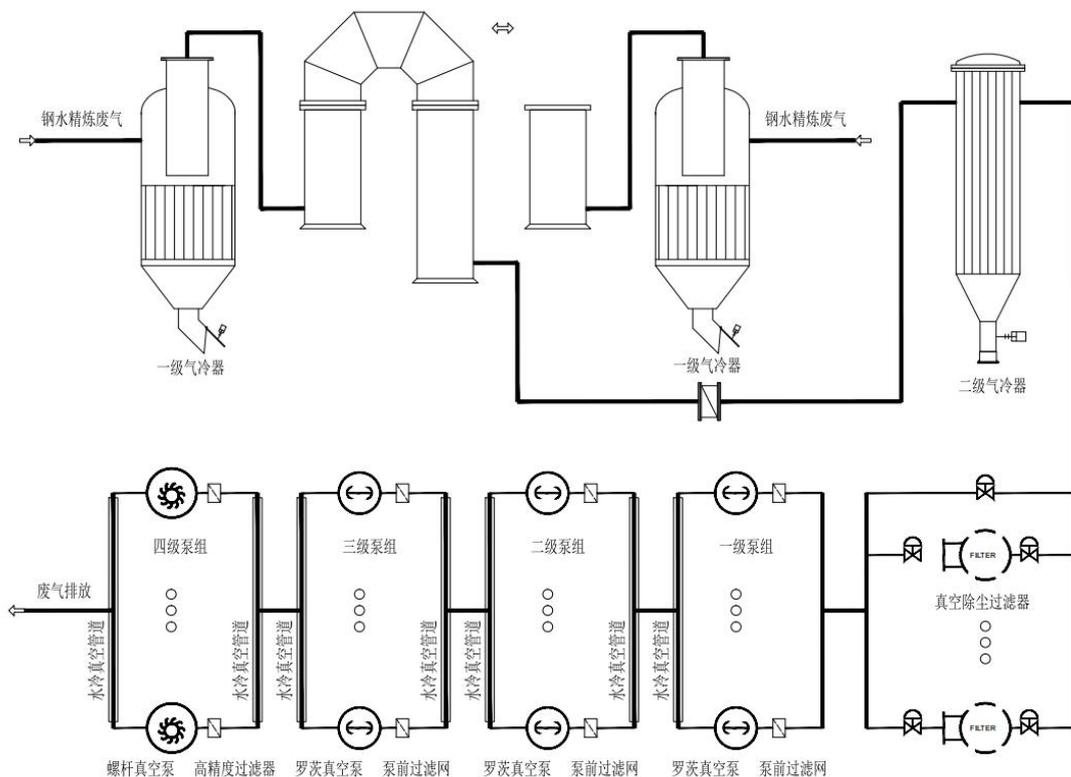
## 案例四：钢液真空循环脱气工艺干式机械泵抽真空技术

### 1.技术适用范围

适用于钢铁行业冶炼领域。

### 2.技术原理及工艺

该技术采用机械真空泵将电能直接转化为抽真空的动能，结合低压缩比四级串联真空系统、复合除尘过滤系统和四级冷却系统，通过控制各级真空泵之间压缩比，减少气体压缩产生的温升，降低各级泵出入口温度，提高真空泵系统效率至 95%，运行电耗降低至 3 千瓦时/吨钢液。工作原理如图所示。



钢液真空循环脱气工艺干式机械泵抽真空技术工作原理图

### 3.技术功能特性及指标

(1) 采用低压缩比设计，机械真空泵系统效率 $\geq 95\%$ ；

(2) 采用四级除尘过滤系统，机械泵入口粉尘浓度 $\leq 5$  毫克/立方米；

(3) 机械泵运行电耗 $< 3$  千瓦时/吨钢水。

### 4.应用案例

(1) 项目基本情况：

技术提供单位为中冶京诚工程技术有限公司，应用单位为石家庄钢铁有限责任公司。该项目为新建项目。

(2) 主要技术改造内容及实施周期：

在电炉炼钢车间同步建设 2 座三车五位式双工位钢液真空循环脱气真空精炼炉，年处理钢水量 242 万吨。实施周期 23 个月。

(3) 节能降碳效果及投资回收期：

建设完成后，干式机械泵钢液真空循环脱气工序能耗为 3.12 千克标准煤/吨钢水，较传统蒸汽真空泵钢液真空循环脱气工序能耗减少 9.4 千克标准煤/吨钢水，折合年节约标准煤 2.27 万吨，减少二氧化碳排放 5.13 万吨。投资额为 7000 万元，投资回收期为 3.6 年。

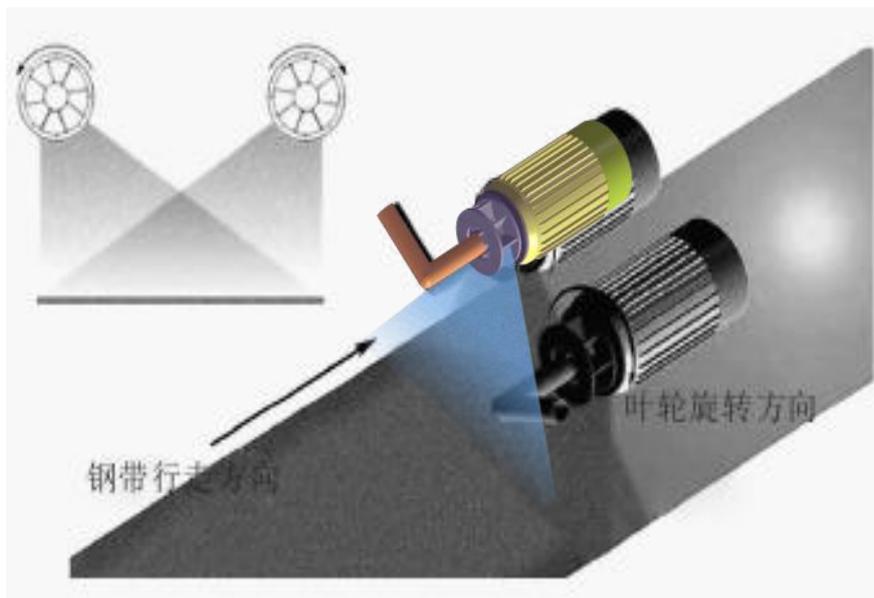
## 案例五：金属表面无酸除鳞技术

### 1.技术适用范围

适用于钢铁行业金属表面除鳞领域。

### 2.技术原理及工艺

该技术采用高速旋转涡轮喷头，喷射角度可智能调节。将水和钢砂混合料连续喷射到钢板上下表面，去除钢板表面氧化皮，实现板材清洗全覆盖。混合料可连续循环使用，钢材铁损 $\leq 0.4\%$ ，减少传统酸洗酸液加热、酸再生等工序，降低天然气、蒸汽等能耗，节能率约30%。技术原理如图所示。



金属表面无酸除鳞技术原理图

### 3.技术功能特性及指标

(1) 通过物理方法进行表面除锈，减少传统酸洗酸液加热、酸再生过程中产生的能耗，混合料可循环利用率 $>99\%$ ；

(2) 氧化铁皮处理后流入底部水槽通过磁性过滤系统过滤，

全流程无尘化、无酸化清洁生产，废料利用率>99%；

(3) 无酸除磷后金属材料表面清洁度最高达 Sa3.0 级，粗糙度 $\leq 5$  微米。

#### 4.应用案例

##### (1) 项目基本情况：

技术提供单位为杭州泰恩智达装备科技有限公司，应用单位为鞍钢股份有限公司。改造前应用单位采用传统酸洗工艺设备，主要耗能种类为煤炭和天然气，年生产普碳钢钢卷 30 万吨，单位产品能耗为 40 千克标准煤/吨。

##### (2) 主要技术改造内容及实施周期：

采用金属表面无酸除磷技术，安装大流量磁性分离器，改进混合物控制工艺，优化顶部喷管布局和水压，升级辊刷装置。实施周期 14 个月。

##### (3) 节能降碳效果及投资回收期：

改造完成后，年产 30 万吨无酸除磷钢卷，单位产品能耗降低至 6 千克标准煤/吨，折合年节约标准煤 1.08 万吨，减少二氧化碳排放 2.87 万吨。投资额为 2165 万元，投资回收期为 4 年。

## 案例六：大型海装风电主轴轴承无软带感应淬火技术

### 1.技术适用范围

适用于钢铁材料热处理领域。

### 2.技术原理及工艺

该技术采用双电磁感应加热组件对工件进行表面淬火。利用电磁感应原理将电流集中在工件表面，达到淬火温度的瞬间喷水冷却，工件加热区域受热均匀、芯部保持常温。相比传统加热，该技术仅需对工件表层进行处理，加热时间缩短至1小时内，节能率约60%。工艺流程如图所示。



大型海装风电主轴轴承无软带感应淬火技术工艺流程图

### 3.技术功能特性及指标

(1) 采用电磁感应原理，电流主要集中在工件表面，表面迅速加热到淬火温度，能耗约为渗碳淬火的20%；

(2) 淬火介质只覆盖需加热区域，淬火介质消耗约为渗碳淬火的 30%。

#### 4.应用案例

##### (1) 项目基本情况：

技术提供单位为十堰高周波科工贸有限公司，应用单位为烟台天成机械有限公司。改造前应用单位主轴车间采用渗碳淬火工艺为风电主轴轴承进行表面淬火，主要耗能种类为电力，单位产品能耗为 980 千瓦时/件。

##### (2) 主要技术改造内容及实施周期：

安装风电主轴轴承无软带淬火机床，配套淬火能量监控系统 and 智能统计过程控制系统，取消渗碳炉。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，单位产品能耗降低至 400 千瓦时/件，年产 6400 件，年节电量 371.2 万千瓦时，折合年节约标准煤 1125 吨，减少二氧化碳排放 2117 吨。投资额为 3000 万元，投资回收期为 9 年。

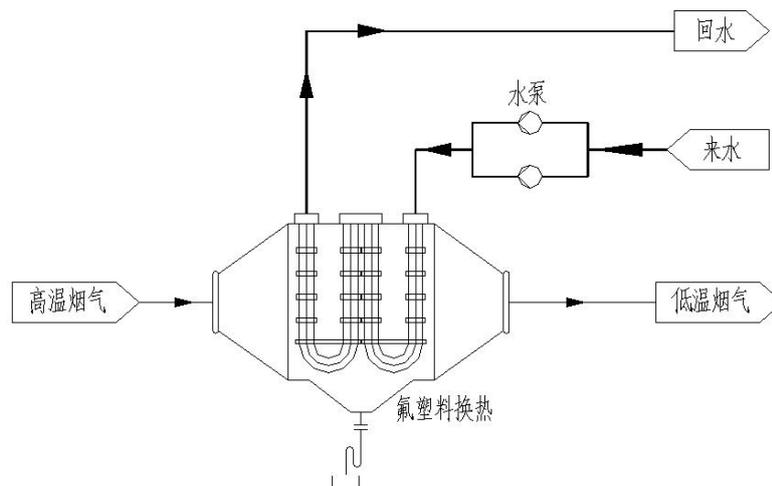
## 案例七：基于氟塑料换热器烟气余热回收技术

### 1.技术适用范围

适用于钢铁行业烟气余热回收利用领域。

### 2.技术原理及工艺

该技术在烧结烟气湿法脱硫前后两端设置氟塑料换热器。换热器与热烟气间接换热，提升换热管内水温，利用换热管内热水加热湿法脱硫后的低温烟气，降低后续烟气脱硝反应所需温升，减少脱硝段烟气补热燃料消耗。技术原理如图所示。



基于氟塑料换热器烟气余热回收技术原理图

### 3.技术功能特性及指标

- (1) 氟塑料换热器烟气余热深度回收系统出口烟温低于 90 °C；
- (2) 氟塑料换热器烟气余热深度回收系统阻力低于 500 帕；
- (3) 氟塑料换热器泄漏率低于 0.1%。

#### 4.应用案例

##### (1) 项目基本情况：

技术提供单位为浙江鼎诚环保科技有限公司，应用单位为华电国际电力股份有限公司朔州热电分公司。应用单位 1、2 号机组为 2×35 兆瓦循环流化床燃煤机组，烟气平均温度为 130 ℃，经脱硫塔降温后直接排空。

##### (2) 主要技术改造内容及实施周期：

在引风机出口烟道设置氟塑料换热器装置，新增热媒水系统、加药和补水稳压系统，配套局部热网水管改造。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，单台机组余热回收功率约 25.45 兆瓦，每个供暖季可回收烟气热量 42.2 万吉焦，折合年节约标准煤 1.44 万吨，减少二氧化碳排放 3.83 万吨。投资额为 4800 万元，投资回收期为 3 年。

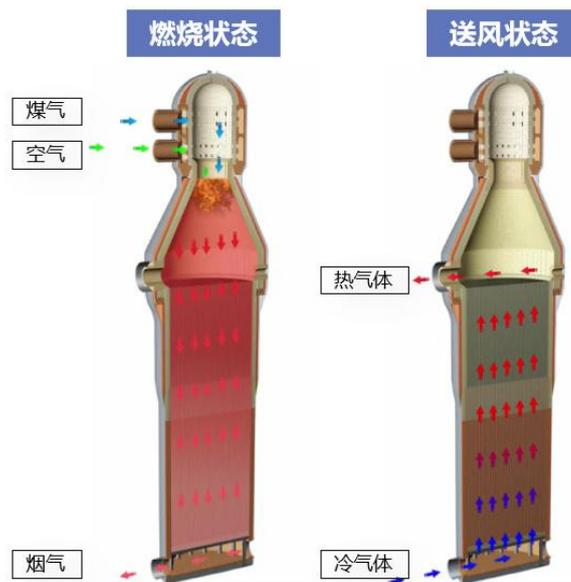
## 案例八：低碳低氮旋切顶燃式热风炉

### 1.技术适用范围

适用于钢铁行业煤气加热领域。

### 2.技术原理及工艺

该技术优化燃烧器结构和格子砖错位砌筑锁扣结构，结合热焓燃烧数学模型和专家系统。通过交错布置煤气和空气喷口，控制不同区域空煤气流量比例，提高空煤气混匀度、送风温度及传热效率，实现低碳低氮精准燃烧，节省煤气消耗 3%~8%。技术原理如图所示。



低碳低氮旋切顶燃式热风炉技术原理图

### 3.技术功能特性及指标

(1) 在单烧高炉煤气条件下，平均送风温度达到 1250℃ 以上，提高换热效率；

(2) 采用低氧燃烧技术，实现烟气中  $\text{NO}_x$  浓度  $\leq 25$  毫克/标立方米；

(3) 提高空煤气混匀程度并实现精准烧炉，节省煤气消耗 3%~8%。

#### 4.应用案例

##### (1) 项目基本情况：

技术提供单位为中冶京诚工程技术有限公司，应用单位为邯钢能嘉钢铁有限公司。该项目为新建项目，采用高炉煤气烧炉，设计风温为  $1230\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，高炉每天产铁量为 8800 吨。

##### (2) 主要技术改造内容及实施周期：

建设一座 3700 立方米高炉、3 座低碳低氮旋切顶燃式热风炉，配套栈桥平台、管道系统、余热回收系统、助燃风机以及三电设施。实施周期 1.5 年。

##### (3) 节能降碳效果及投资回收期：

建设完成后，单位产品煤气消耗量为 470 标立方米/吨，较行业对标值降低 30 标立方米/吨，年节省煤气量  $9.24 \times 10^7$  标立方米，年节省焦炭和煤粉分别为 7398 吨和 3382 吨，折合年节约标准煤 2 万吨，减少二氧化碳排放 10.88 万吨。投资额为 1.4 亿元，投资回收期为 4.3 年。

## (二) 有色金属行业节能降碳技术

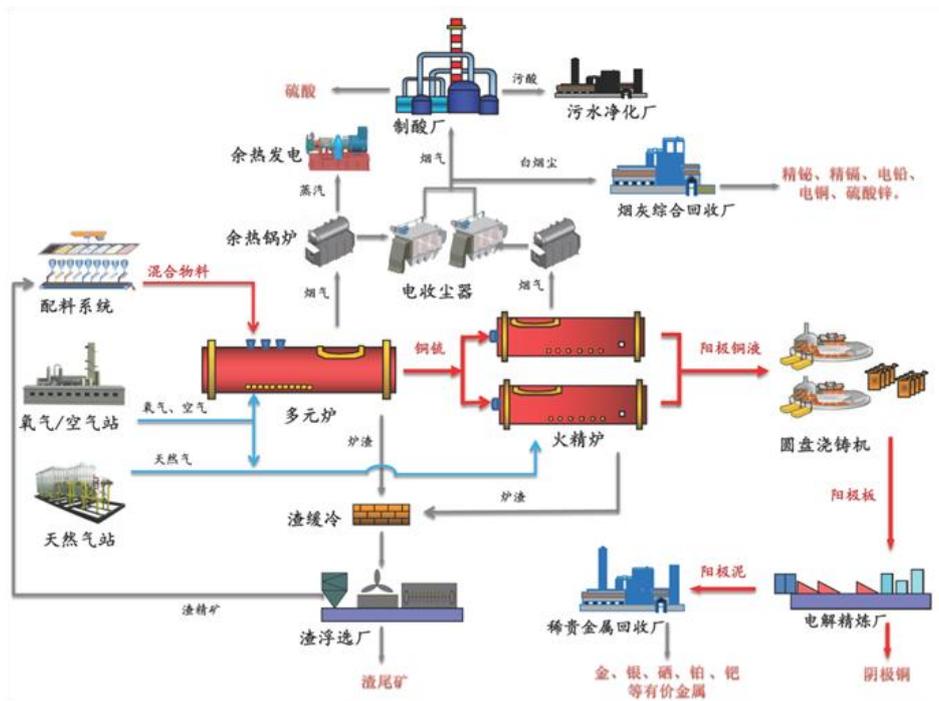
### 案例一：两段短流程炼铜工艺

#### 1. 技术适用范围

适用于铜冶炼领域。

#### 2. 技术原理及工艺

该技术运用铜冶炼过程热力学和动力学原理优化工艺控制参数。将传统炼铜法的熔炼炉、吹炼炉和精炼炉三段工序，精简为多元炉与火精炉两段工序。取消阳极炉，减少天然气和氧气使用量，降低阳极铜生产综合能耗至 103 千克标准煤/吨阳极铜（当量值）。工艺流程如图所示。



两段短流程炼铜工艺流程图

#### 3. 技术功能特性及指标

(1) 两段炼铜工艺采用底吹炉熔炼，实现杂质元素定向分

离，铜回收率 99.6%，金回收率 98.5%，银回收率 98.5%；

(2) 冶炼过程无精炼炉，降低天然气消耗。

#### 4.应用案例

(1) 项目基本情况：

技术提供单位为山东中金岭南铜业有限责任公司，应用单位为山东中金岭南铜业有限责任公司。该项目为新建项目，主要耗能种类为电、天然气、氧气、氮气，年产阳极铜 25 万吨。

(2) 主要技术改造内容及实施周期：

安装 1 台多元炉与 2 台火精炉，缩短炼铜流程。实施周期 1.5 年。

(3) 节能降碳效果及投资回收期：

建设完成后，单位产品综合能耗降低至 150.8 千克标准煤/吨，与行业传统能耗水平相比，折合年节约标准煤 0.91 万吨，减少二氧化碳排放 2.42 万吨。投资额为 15.5 亿元，投资回收期为 4 年。

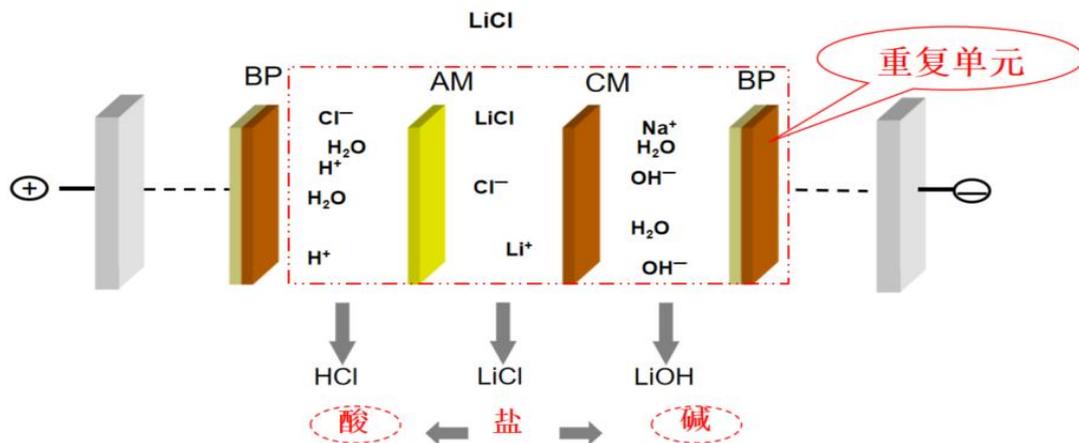
## 案例二：基于双极膜电渗析装备的氢氧化锂制备技术

### 1.技术适用范围

适用于盐湖提锂领域。

### 2.技术原理及工艺

该技术采用双极膜电渗析装置将可溶性锂盐转化为酸和氢氧化锂。双极膜阴膜面在直流电场电解作用下分解出氢氧根离子，在碱室与锂离子结合，生成氢氧化锂，双极膜阳膜面将锂盐分解的阴离子留在酸室。工艺过程仅依靠酸、碱、水系统内循环即可实现氢氧化锂制取，缩短工艺流程，实现节省化学药剂10%~20%，节能15%~20%。技术原理如图所示。



基于双极膜电渗析装备的氢氧化锂制备技术原理图

### 3.技术功能特性及指标

(1) 一步法电解制得氢氧化锂，缩短工艺流程，相比传统苛化法节能15%~20%；

(2) 不引入新杂质，可制取高纯度电池级氢氧化锂产品；

(3) 双极膜制氢氧化锂同时副产酸碱，实现酸、碱循环使

用，节省化学药剂 10%~20%。

#### 4.应用案例

##### (1) 项目基本情况：

技术提供单位为杭州科锐环境能源技术有限公司，应用单位为赣锋锂业集团股份有限公司。该项目为新建项目。

##### (2) 主要技术改造内容及实施周期：

安装 44 台双极膜设备，配套控制系统，实现对关键工艺参数（如流量、压力、电流、电压、电导）的实时监测、自动调节和连锁控制。实施周期 2 个月。

##### (3) 节能降碳效果及投资回收期：

建设完成后，单位产品能耗由传统工艺的 2200 千瓦时/吨降至 1950 千瓦时/吨，按年产量 1000 吨计算，年节电量达 25 万千瓦时，折合年节约标准煤 75.75 吨，减少二氧化碳排放 142.6 吨。投资额为 1.4 亿元，投资回收期为 2 年。

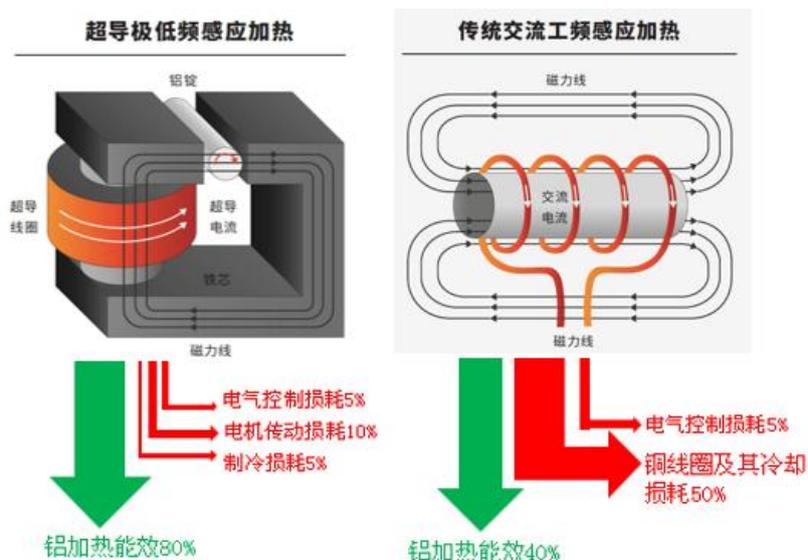
### 案例三：兆瓦级超导感应加热技术

#### 1.技术适用范围

适用于金属材料热加工领域。

#### 2.技术原理及工艺

该技术采用高温超导磁体在零电阻状态下通电产生稳定直流磁场，驱动被加热金属工件在磁场中旋转，切割磁力线产生涡流，实现工件加热。透热深度超过 200 毫米，温度梯度精准可控，超导线圈热损耗低，加热效率提高至 80%。技术原理如图所示。



兆瓦级超导感应加热技术原理图

#### 3.技术功能特性及指标

- (1) 超导线圈运行损耗低，加热能效达 80% 以上；
- (2) 加热频率低，透热深度达 200 毫米以上，加热均匀性好；
- (3) 温度梯度精准可控，可达 100 °C/m。

#### 4.应用案例

##### (1) 项目基本情况：

技术提供单位为江西联创超导技术有限公司，应用单位为山东南山铝业股份有限公司。改造前应用单位铝挤压生产线采用传统工频感应加热方式加热铝工件，主要耗能种类为电力，年产能约 3.46 万吨，单位产品能耗平均为 36.87 千克标准煤/吨。

##### (2) 主要技术改造内容及实施周期：

安装超导感应加热装置，增设超导磁体系统、电气传动系统和智能化一键式综合测控系统，配套自动化上下料系统，取消原工频交流感应加热炉主炉体。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 17.21 千克标准煤/吨，吨产品节能 19.66 千克标准煤，折合年节约标准煤 680 吨，减少二氧化碳排放 1808 吨。投资额为 1159 万元，投资回收期为 3 年。

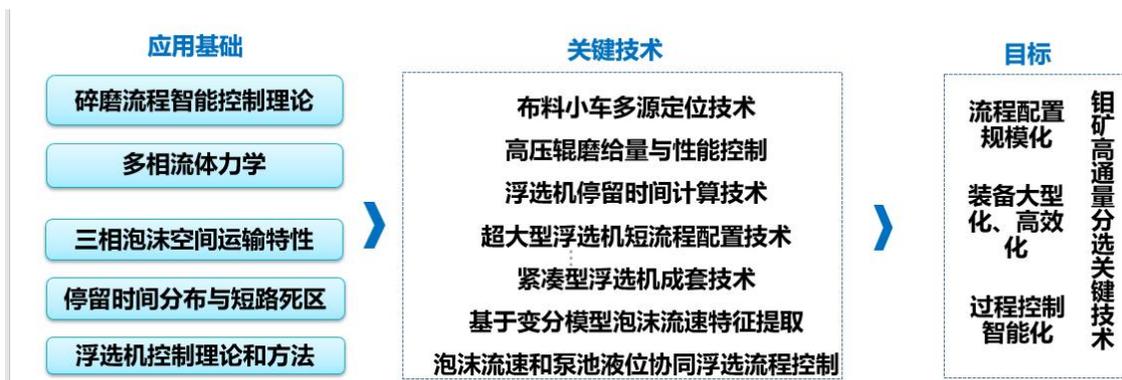
## 案例四：钼矿分选流程优化控制与关键装备

### 1.技术适用范围

适用于有色金属选矿领域。

### 2.技术原理及工艺

该技术采用碎磨智能控制系统、浮选机折弯短流程配置技术及流程协同控制，一键设定碎磨全流程矿石通量，稳定控制泡沫流速，进行破碎磨矿与浮选。降低浮选机装机功率，实现破碎效率提升 9%，系统回收率提高约 4%，吨矿石处理能耗降低约 58%。技术原理如图所示。



钼矿分选流程优化控制与关键装备技术原理图

### 3.技术功能特性及指标

(1) 构建碎磨智能控制系统，集成布料小车多源定位、负荷优化及高压辊磨控制技术，实现处理量一键设定，破碎效率提升 9%，入磨粒度由 12 毫米降至 5 毫米以下；

(2) 采用荧光示踪-数值仿真矿浆停留时间计算方法，开发超大型浮选机折弯短流程配置技术，设备容积和数量缩减 30%，药剂消耗降低 15%，浮选机装机总功率减少 58%；

(3) 建立矿浆/泡沫相流动模型，研发无箱体锥阀、前倾推板泡沫槽等关键部件，形成 320 立方米紧凑型浮选机技术，占地面积减少 20%，回收率提升 3%~4%。

#### 4.应用案例

##### (1) 项目基本情况：

技术提供单位为洛阳栾川钼业集团股份有限公司，应用单位为洛钼集团选矿三公司。改造前应用单位采用电力能源破碎磨矿与浮选，主要耗能种类为电力，年生产钼精矿 13920 吨，年用电量为 10392 万千瓦时。

##### (2) 主要技术改造内容及实施周期：

采用浮选机折弯短流程配置技术，安装 2 台高压辊磨机及 5 台 KYF-320 浮选机，并进行自动化控制改造。实施周期 1 年。

##### (3) 节能降碳效果及投资回收期：

改造完成后，系统矿石处理量提高 67%，钼回收率提高 4%，年用电量减少 4063 万千瓦时，折合年节约标准煤 12311 吨，减少二氧化碳排放 23171 吨。投资额为 1.77 亿元，投资回收期为 1 年。

### (三) 石化化工行业节能降碳技术

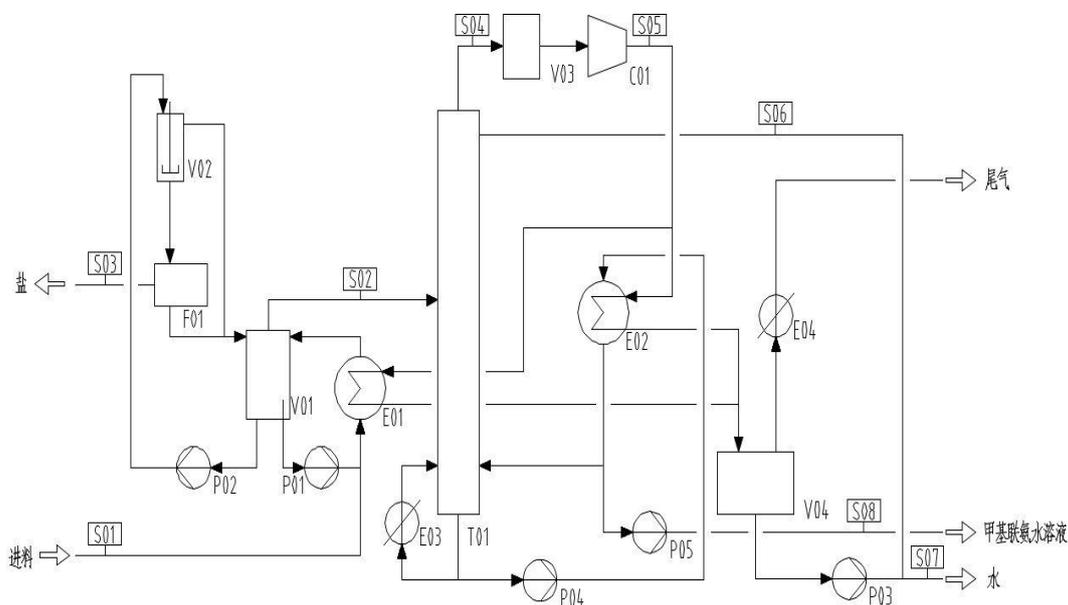
#### 案例一：含盐多组分溶剂分离技术

##### 1. 技术适用范围

适用于化工行业含盐多组分溶剂分离领域。

##### 2. 技术原理及工艺

该技术采用热泵压缩机、精馏塔强制循环加热器等进行精馏分离。含盐多组分溶剂经蒸发除盐后，气相进入精馏塔分离，塔顶轻组分气相物料经热泵压缩机增压提高品位后，分别输送至蒸发和精馏装置进行换热，冷凝液部分回流，部分作为产品采出。利用气相物料压缩增压的热量代替外购蒸汽加热，热泵能效比可达 11.7。工艺流程如图所示。



含盐多组分溶剂分离技术工艺流程图

##### 3. 技术功能特性及指标

(1) 实现清洁能源替代传统能源进行传热，能效比达 11.7；

(2) 采用高效热泵压缩技术，运行成本降低 80%；

(3) 通过耦合式工艺流程，装置占地面积减少 10%以上。

#### 4.应用案例

(1) 项目基本情况：

技术提供单位为湖北三峰透平装备股份有限公司，应用单位为安徽金禾实业股份有限公司。改造前应用单位采用先蒸发脱盐，后精馏分离的工艺流程，系统处理能力为 6 吨/小时，蒸汽消耗为 5 吨/小时，单位产品能耗为 0.83 吨蒸汽/吨原料。

(2) 主要技术改造内容及实施周期：

旧精馏塔系统保持原运行参数不变，新增 1 台蒸汽压缩机、1 台降膜蒸发器并配套 2 台循环泵，构成蒸汽压缩换热系统。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，蒸汽消耗量降至 0.5 吨/小时，耗电量为 452 千瓦时/小时，按年运行 8000 小时计算，折合年节约标准煤 3534 吨，减少二氧化碳排放 9400 吨。投资额为 600 万元，投资回收期为 10 个月。

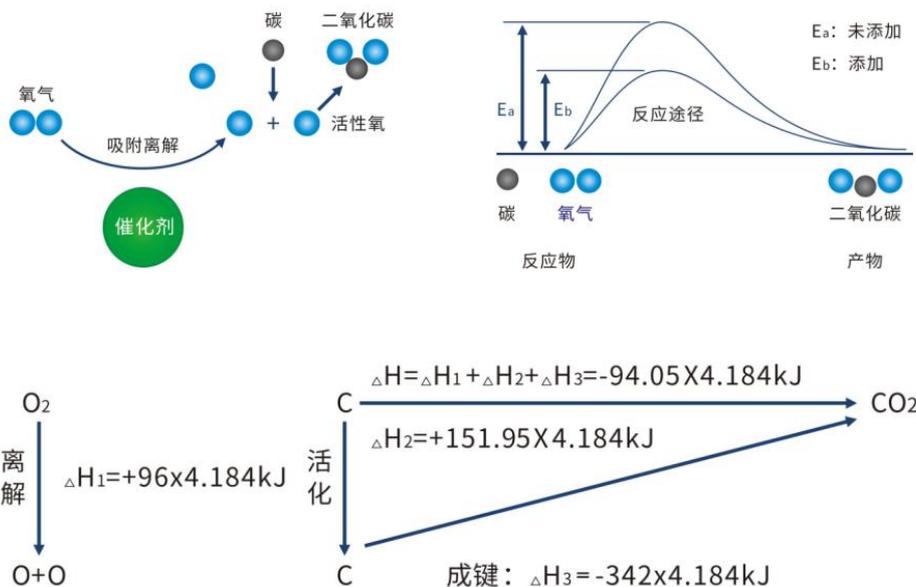
## 案例二：燃煤催化剂

### 1.技术适用范围

适用于煤炭高效清洁利用领域。

### 2.技术原理及工艺

该技术采用纳米二氧化钛水溶剂为催化剂核心组分，借助其介孔结构复合载体强化燃煤催化剂催化活性，完成活性氧释放与加氧脱硫过程。可使传统煤炭由表及里的燃烧方式改变为内外同步燃烧，提高煤炭燃尽度，改善锅炉热传递效率，根据不同锅炉工艺，节煤效率可达3%~15%。技术原理如图所示。



燃煤催化剂技术原理图

### 3.技术功能特性及指标

- (1) 根据不同锅炉工艺，节煤效率可达3%~15%；
- (2) 应用催化剂后可降低起火点30~50℃；

(3) 残碳率低于 2.0%。

#### 4.应用案例

(1) 项目基本情况：

技术提供单位为福建朝旭新能源科技有限公司，应用单位为辉南县宏鑫热力有限责任公司。应用单位年产热 978380 吉焦，主要耗能种类为煤炭，单位产品能耗为 63.37 千克煤/吉焦。

(2) 主要技术改造内容及实施周期：

每月采购 3.44 吨燃煤催化剂产品用于锅炉供热，年消耗 20.64 吨。实施周期 7 天。

(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 55.83 千克煤/吉焦，按年运行 4320 小时计算，折合年节约标准煤 5522 吨，减少二氧化碳排放 14689 吨。年投资额为 154.8 万元，投资回收期为 4 个月。

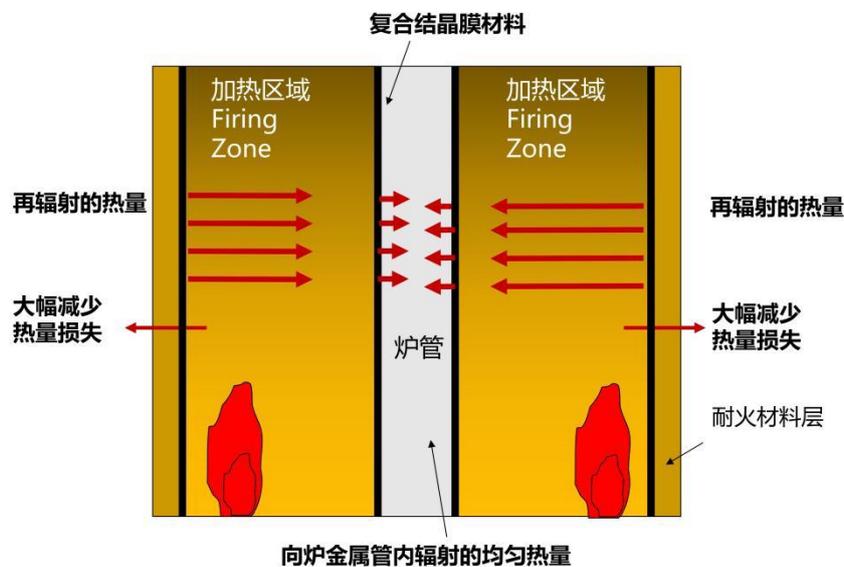
### 案例三：炼化加热炉复合结晶膜技术

#### 1.技术适用范围

适用于石油化工有限公司炼化加热炉、锅炉及换热系统。

#### 2.技术原理及工艺

该技术采用复合结晶膜涂敷于炼化加热炉炉管表面。根据炼化炉受热面及运行工况，选择复合结晶膜材料配方，对炉管受热面进行复合结晶膜改造，提高炉管表面黑度，提升炉管吸热/换热能力和抗焦阻垢等性能，降低燃料消耗 3%~10%。工艺流程如图所示。



炼化加热炉复合结晶膜技术工艺流程图

#### 3.技术功能特性及指标

(1) 应用复合结晶膜后受热面在高温工况下黑度大于 0.93，提高受热面吸热能力，降低燃料消耗 3%~10%；

(2) 应用复合结晶膜后受热面具有抗氧化、耐高温腐蚀等特点，延长受热面寿命 1~2 倍。

#### 4.应用案例

##### (1) 项目基本情况：

技术提供单位为北京希柯节能环保科技有限公司，应用单位为宁波中金石化有限公司。应用单位原加热炉主要耗能种类为燃料气，装置设计热负荷 35.5 兆瓦，年处理量约 120 万吨，运行 8400 小时，燃料气消耗约 3462 立方米/小时。

##### (2) 主要技术改造内容及实施周期：

采用复合结晶膜技术对渣油轻质化装置加热炉辐射室炉管进行改造。实施周期 20 天。

##### (3) 节能降碳效果及投资回收期：

改造完成后，燃料气消耗降至 3319.4 立方米/小时，年节约燃料气约 120 万立方米，折合年节约标准煤 1727 吨，减少二氧化碳排放 3996.86 吨。投资额为 364 万元，投资回收期为 8 个月。

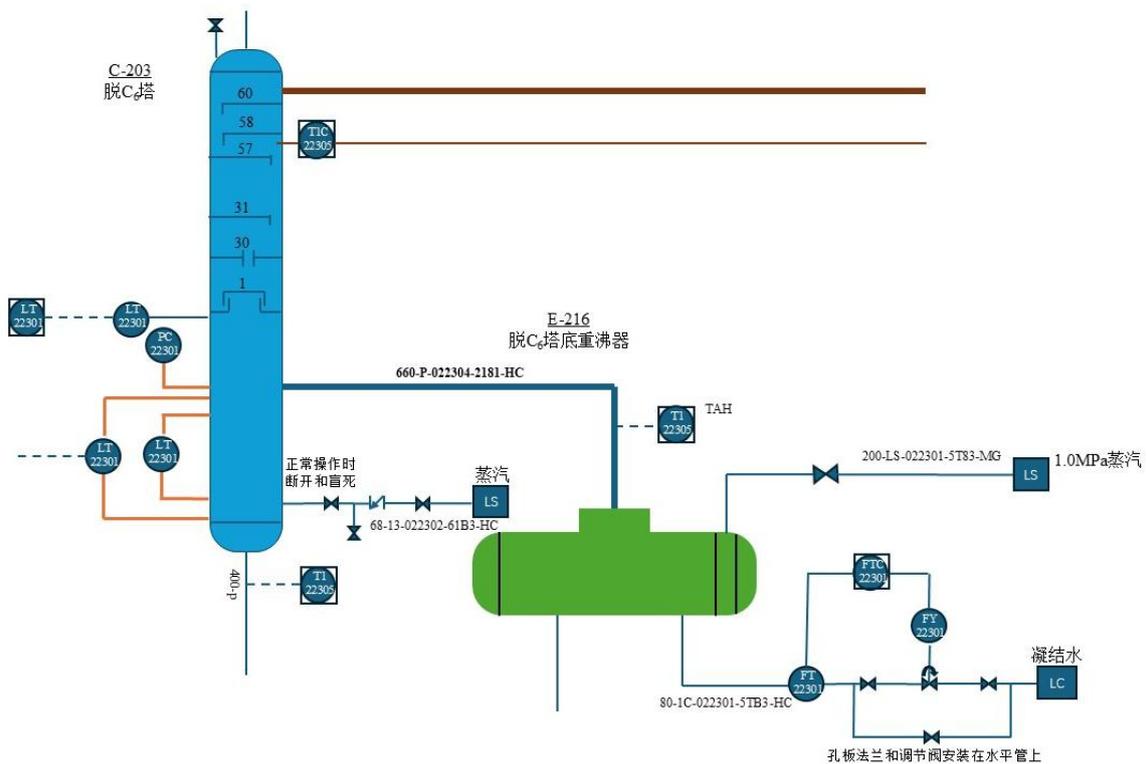
## 案例四：高通量换热技术

### 1.技术适用范围

适用于石油化工行业换热系统。

### 2.技术原理及工艺

该技术在换热元件光滑表面覆盖多孔层涂层作为气泡发生单元。涂层内部布满金属颗粒构成的凹穴和隧道，隧道随机将凹穴连接起来，增加换热接触面积，加速气泡生成和热传递，可提高沸腾设备总传热系数2倍以上，与光管换热器相比节能25%~60%。工艺流程如图所示。



高通量换热技术工艺流程图

### 3.技术功能特性及指标

(1) 采用多孔表面换热管技术，强化沸腾传热，减少所需

换热面积 30%以上；

(2)多孔表面使沸腾换热系数提高到光滑管表面的 2~10 倍，提高沸腾设备的总传热系数 2 倍以上。

#### 4.应用案例

##### (1) 项目基本情况：

技术提供单位为葫芦岛国华能源装备集团有限公司，应用单位为中海石油中捷石化有限公司。应用单位年产原料油约 55 万吨，主要耗能种类为低压蒸汽，改造前低压蒸汽消耗量约为 6.5 吨/小时，单位产品能耗约为 37.95 千克标准煤/吨。

##### (2) 主要技术改造内容及实施周期：

将脱 C6 塔塔底重沸器原有的普通换热器管束更换为烧结型表面多孔管的高通量换热器。实施周期 1 年。

##### (3) 节能降碳效果及投资回收期：

改造完成后，低压蒸汽消耗量降至 5.8 吨/小时，按年生产 8400 小时计算，年节省低压蒸汽 5880 吨，折合年节约标准煤 2248 吨，减少二氧化碳排放 5979.7 吨。投资额为 66 万元，投资回收期为 4 个月。

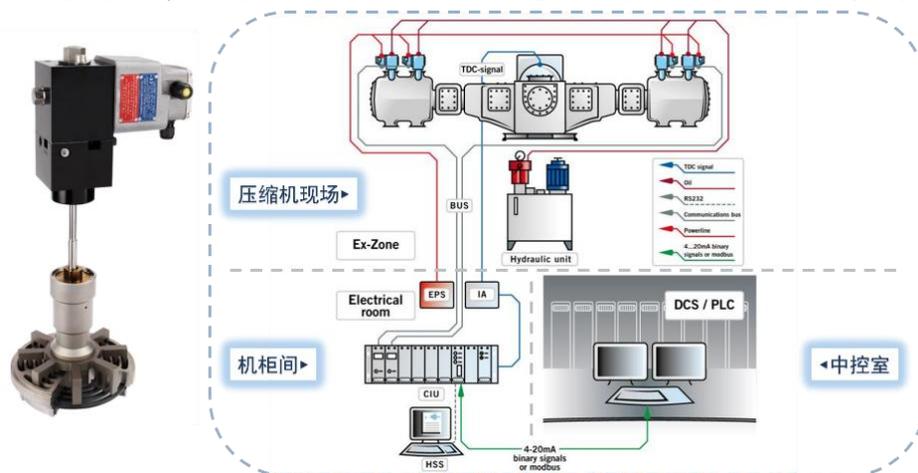
## 案例五：液压驱动式无级气量调节系统

### 1.技术适用范围

适用于石油化工行业往复式压缩机。

### 2.技术原理及工艺

该技术采用物联网技术，将压缩机运行数据即时反馈至执行机构，实时控制进气阀启闭时间，将多余气体无压缩回流至进气总管，实现压缩机排气量 0~100% 全行程无级调节，减少压缩多余气体的能耗，实现动态控制和系统节能。技术原理如图所示。



液压驱动式无级气量调节系统技术原理图

### 3.技术功能特性及指标

(1) 通过液压执行机构实时控制吸气阀启闭，实现 0~100% 负荷的无级调节，避免传统回流调节损失；

(2) 调节延迟 < 50 毫秒，适用于瞬变负荷工况。

### 4.应用案例

(1) 项目基本情况：

技术提供单位为贺尔碧格压缩机（中国）技术有限公司，应

用单位为中国石油化工股份有限公司天津分公司。改造前，应用单位电机单机功率为 2500 千瓦，主要耗能种类为电力，年耗电量为 2100 万千瓦时。

(2) 主要技术改造内容及实施周期：

在一台压缩机上加装液压驱动式无级气量调节系统（含液压执行器、液压单元、控制单元及专用气阀）。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，电机单机功率降低至 1170 千瓦，按年运行 8400 小时计算，年节电量 1117.2 万千瓦时，折合年节约标准煤 3385 吨，减少二氧化碳排放 6371 吨。投资额为 248 万元，投资回收期为 0.6 年。

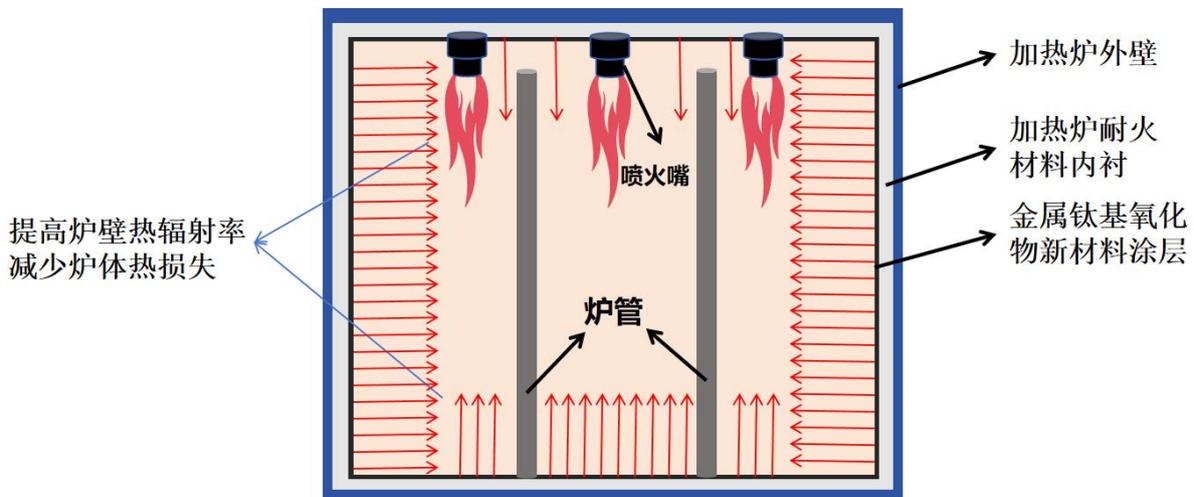
## 案例六：高温加热炉纳米节能新材料

### 1.技术适用范围

适用于化工行业高温炉。

### 2.技术原理及工艺

该技术采用纳米级金属钛基氧化物涂敷于高温加热炉耐火材料表面，钛离子经加热转化为黑钛氧化物，避免炉内耐火材料被氧化、腐蚀、结垢，氧化物与基材热胀冷缩后同步附着力强，热辐射率由 0.5~0.6 提升至 0.80~0.98，减少加热炉热损失。技术原理如图所示。



高温加热炉纳米节能新材料技术原理图

### 3.技术功能特性及指标

(1) 采用纳米级新材料，成分超细化，纳米级（直径在 5 纳米左右）颗粒占 40%；

(2) 附着力强，渗透基材中热胀冷缩系数能够与基材同步，

使新材料涂层达到不剥落的效果。

#### 4.应用案例

##### (1) 项目基本情况：

技术提供单位为天津日中环保科技股份有限公司，应用单位为新疆天运化工有限公司。改造前应用单位合成氨一段转化炉保温层使用高铝陶纤维折叠块，主要耗能种类为天然气，天然气消耗量为 1.42 万立方米/小时，炉内工作温度为 950~1100℃。

##### (2) 主要技术改造内容及实施周期：

向合成氨一段转化炉内壁、炉顶、炉底的基材上喷涂高温加热炉纳米节能新材料。实施周期 11 天。

##### (3) 节能降碳效果及投资回收期：

改造完成后，天然气消耗量降低至 1.31 万立方米/小时，按年运行 7200 小时计算，折合年节约标准煤 9228.7 吨，减少二氧化碳排放 1.44 万吨。投资额为 780 万元，投资回收期为 9 个月。

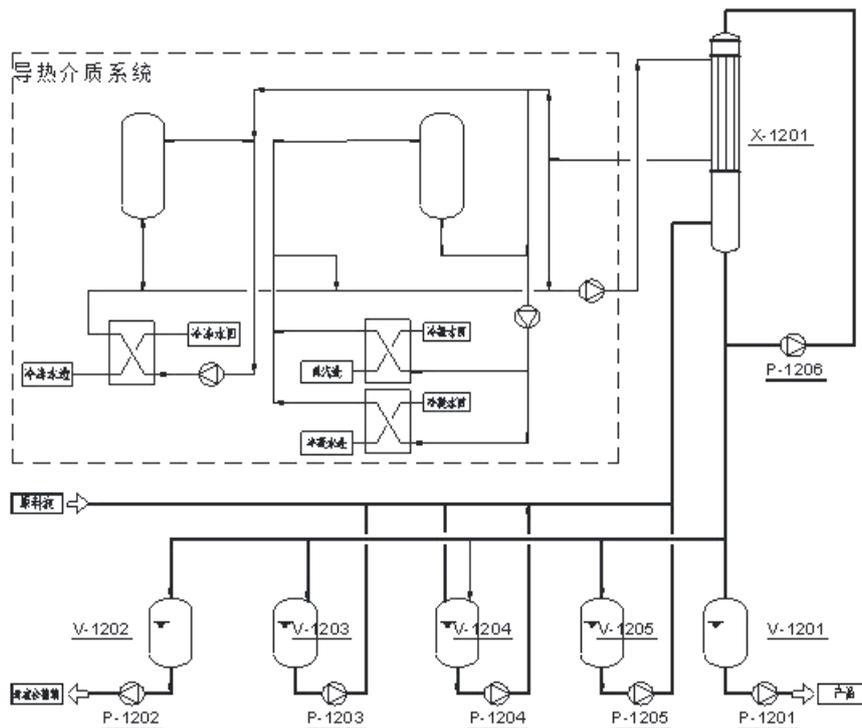
## 案例七：高纯度熔融结晶技术

### 1.技术适用范围

适用于精细化工领域。

### 2.技术原理及工艺

该技术采用旋流布膜技术使物料在结晶管壁上形成均匀降膜液层。基于不同物质熔点差异精确调控温度参数，分阶段控制“结晶→发汗→熔融”过程，通过固液两相平衡实现主物质与杂质分离，分离过程中不加入溶剂，分离周期短，相比传统精馏工艺减少蒸汽消耗，能耗降低70%~85%。工艺流程如图所示。



高纯度熔融结晶技术工艺流程图

### 3.技术功能特性及指标

(1) 采用非稳态流体动力学设计，成膜厚度 $\leq 2$ 毫米，传质

效率提升 40%;

(2) 采用多级温控系统，实现 $\pm 0.5$  °C精准控温，适用于热敏性物质分离，提高整体收率。

#### 4.应用案例

##### (1) 项目基本情况:

技术提供单位为上海东庚化工技术有限公司，应用单位为石大胜华（泉州）有限公司。改造前应用单位采用传统精馏工艺提纯碳酸乙烯酯，年产能 9 万吨，主要耗能种类为蒸汽，单位产品能耗为 120.9 千克标准煤/吨。

##### (2) 主要技术改造内容及实施周期:

采用高纯度熔融结晶技术替代原有精馏工艺，新增熔融结晶装置及相关配套系统，去除原有部分精馏设备。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，单位产品能耗降至 33.3 千克标准煤/吨，折合年节约标准煤 7884 吨，减少二氧化碳排放 2.1 万吨。投资额为 6000 万元，投资回收期为 8 年。

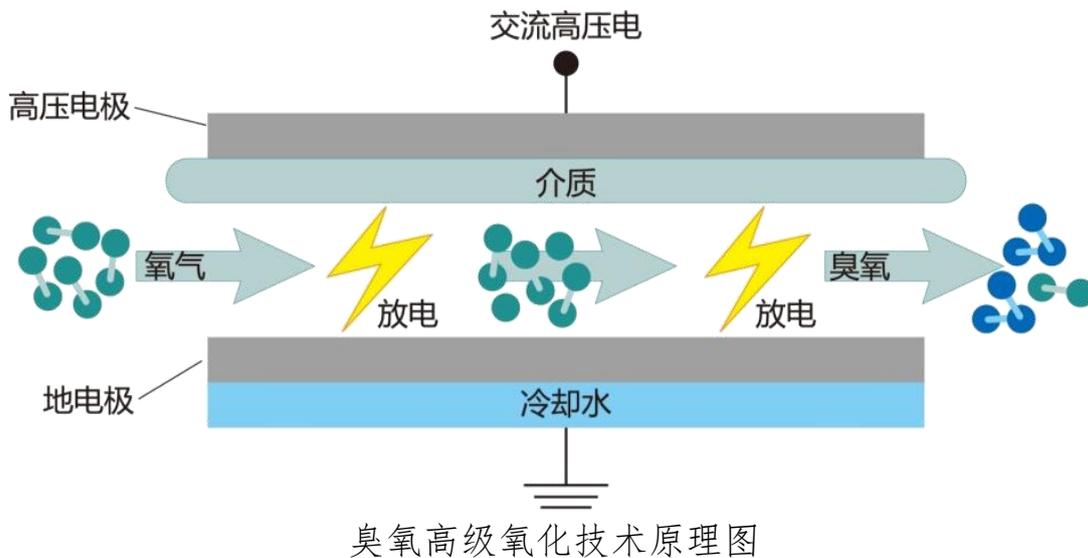
## 案例八：臭氧高级氧化

### 1.技术适用范围

适用于污水纯化领域。

### 2.技术原理及工艺

该技术采用微间隙放电技术以及高介电常数的超薄陶瓷基板作为放电介质，结合双极冷却系统制备臭氧。含氧气的原料气流经过绝缘介电体与电极间的狭窄放电间隙，在高压放电电场作用下，氧气分子被电离并重新组合转化为臭氧，去除水中污染物质。微间隙设计可降低运行电压，提升臭氧转化效率，相比传统管式设备节电 30%左右。技术原理如图所示。



### 3.技术功能特性及指标

(1) 采用极窄放电间隙设计，放电间隙 $\leq 0.2$ 毫米，强化电场强度，提升臭氧转化效率；

(2) 传统放电电压为 6~8 千伏，微间隙放电可将运行电压

降至 2.2~2.7 千伏，相比传统管式设备降低电耗；

(3) 选用高介电常数的超薄陶瓷基板作为放电介质，结合高效冷却系统，运行温度稳定，减少臭氧分解并提升散热效率。

#### 4.应用案例

##### (1) 项目基本情况：

技术提供单位为西安中升智造科技有限公司，应用单位为中铁环境研究院（西安）有限公司。该项目为新建项目，设计臭氧产量为 2 千克/小时，年运行 8760 小时。

##### (2) 主要技术改造内容及实施周期：

新建一套 2 千克板式臭氧高级氧化舱，包含空压机、缓冲罐、过滤器、制氧机组、氧气缓冲罐及粉尘过滤器、冷水机组等。实施周期 1 个月。

##### (3) 节能降碳效果及投资回收期：

建设完成后，生产每千克臭氧的氧气消耗量为 6 立方米，臭氧发生器平均用电功率为 5 千瓦，较传统臭氧发生器，生产臭氧综合能耗由 20.25 千瓦时/千克降至 14 千瓦时/千克，年节电量为 11 万千瓦时，折合年节约标准煤 33 吨，减少二氧化碳排放 63 吨。投资额为 56 万元，投资回收期为 5.8 年。

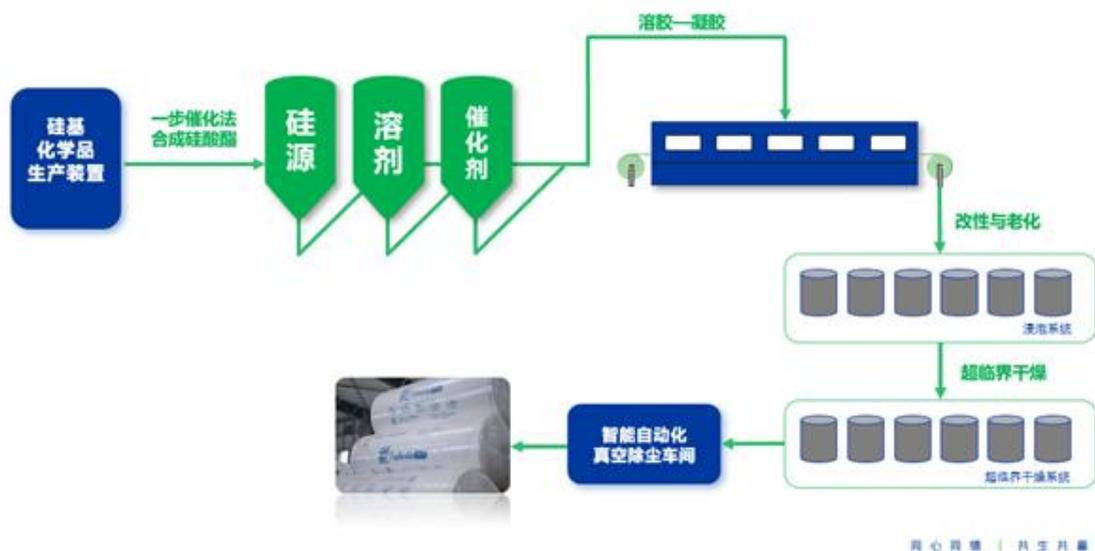
## 案例九：纳米气凝胶材料工业节能技术

### 1.技术适用范围

适用于保温材料生产领域。

### 2.技术原理及工艺

该技术采用“溶胶-凝胶法”形成气凝胶网络结构，利用改性剂将凝胶表面羟基置换为烷基，使其变为憎水性凝胶，采用二氧化碳超临界萃取干燥除去湿凝胶中的溶剂，形成气凝胶玻璃纤维卷进行保温。较传统保温材料导热系数低、憎水率高，散热量降低 50%以上。工艺流程如图所示。



纳米气凝胶材料工业节能技术工艺流程图

### 3.技术功能特性及指标

(1) 常温导热系数低至  $0.018 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ ，绝热厚度仅为传统保温材料的  $1/2\sim 1/3$ ；

(2) 结构稳定，憎水率达 99.8%，使用寿命达 15~20 年。

#### 4.应用案例

(1) 项目基本情况：

技术提供单位为中化学华陆新材料有限公司，应用单位为蓝星安迪苏南京有限公司。改造前应用单位使用岩棉作为保温材料，每年热损失为 489679.8 吉焦。

(2) 主要技术改造内容及实施周期：

采用 1000 立方米气凝胶材料代替岩棉作为蒸汽系统、熔盐管道、高温设备的保温材料。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，每年热损失仅为 342286.1 吉焦，年节能量为 147393.7 吉焦，折合年节约标准煤 5030 吨，减少二氧化碳排放 1.34 万吨。投资额为 1200 万元，投资回收期为 2.85 年。

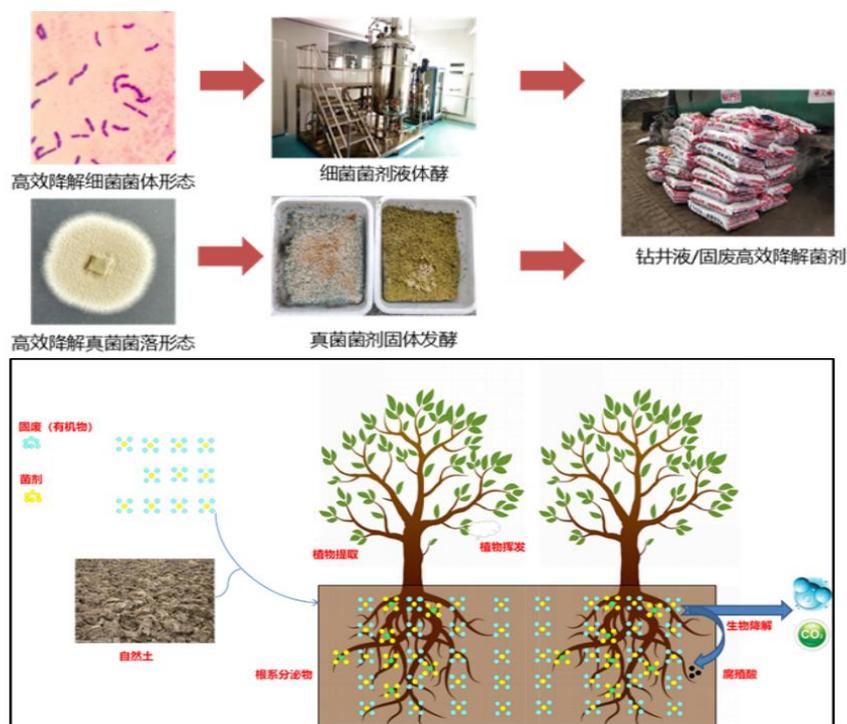
## 案例十：水基岩屑微生物处理土壤化利用技术

### 1.技术适用范围

适用于石油天然气行业钻井废弃物处理领域。

### 2.技术原理及工艺

该技术构建“污染物+降解细菌+土壤+植物”联合处理体系处理水基钻井岩屑。通过定向筛选和复配复合菌剂，在控温控湿条件下将水基岩屑、复合菌剂及营养物质混合均匀并转移至微生物降解池，利用微生物氧化、还原和水解作用将石油烃等有机污染物降解为二氧化碳和水。处理后土壤满足耕植土或绿化土标准，相比传统外运烧砖处置能耗下降约 92%。技术原理如图所示。



水基岩屑微生物处理土壤化利用技术原理图

### 3.技术功能特性及指标

(1)定向筛选降解菌种,特征污染物达标降解周期 $\leq 3$ 个月;

(2)通过特定比例菌种、营养剂和水基岩屑复配,实现降解周期内一般水基岩屑化学需氧量去除率 $\geq 95\%$ ,磺化类固废化学需氧量去除率 $\geq 75\%$ 。

### 4.应用案例

(1)项目基本情况:

技术提供单位为四川科特检测技术有限公司,应用单位为中国石油天然气股份有限公司西南油气田分公司。该区域钻井过程产生的水基岩屑通过重卡外运至地方砖厂作为烧结砖原料,主要能耗为运输过程和烧砖过程,单位产品能耗为51.73千克标准煤/吨。

(2)主要技术改造内容及实施周期:

构筑生物降解池,将固体菌剂、岩屑、营养物质等在控温、控湿的环境内混合均匀后,转移至微生物降解池中进行生物处理。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,项目累计处理水基岩屑1683吨,单位产品能耗降至3.96千克标准煤/吨,较外运烧砖处置,折合年节约标准煤71.9吨,减少二氧化碳排放205.6吨。投资额为24万元,投资回收期为3.3年。

#### (四) 机械行业节能降碳技术

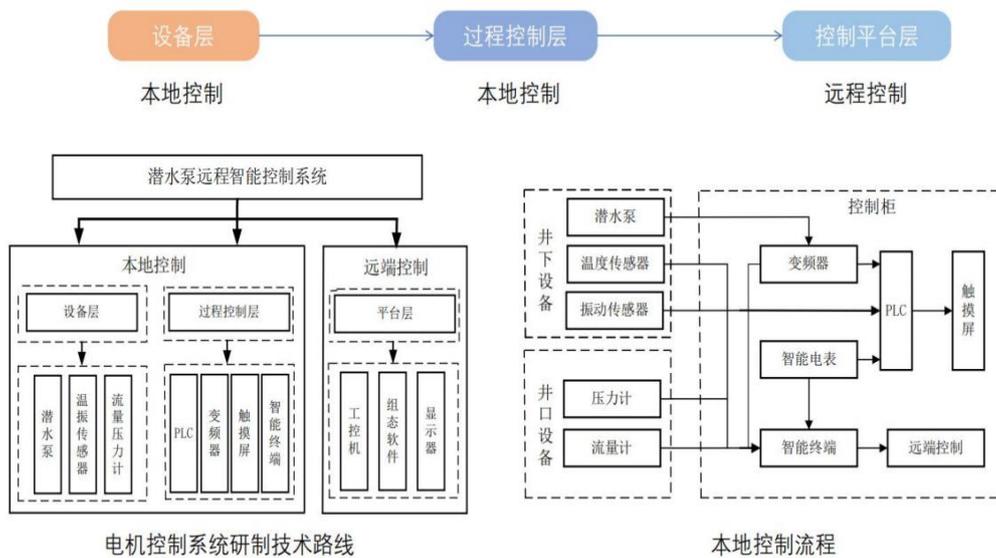
##### 案例一：智能潜水电机系统

###### 1. 技术适用范围

适用于潜水电泵系统。

###### 2. 技术原理及工艺

该技术采用高效永磁电机和“物联网+大数据+云计算+人工智能”技术。传感器采集电机运行参数和工况数据，通过物联网传送至云平台分析后，得出每一特定工况下最优节能设置结果，根据结果对设备进行实时设置，电机效率提升 13%，整机效率提升 20%~40%。工艺流程如图所示。



智能潜水电机系统工艺流程图

###### 3. 技术功能特性及指标

(1) 采用永磁电机代替异步电机，提高设备运行效率  $\geq 93\%$ ，

设备运行功率因数 $\geq 0.98$ ;

(2) 通过设备本地变频控制系统、远程数据采集分析系统(人工智能+物联网+大数据+云计算),实现产品设备的全生命周期智慧化节能管控。

#### 4.应用案例

##### (1) 项目基本情况:

技术提供单位为沈阳众创高科节能电机技术有限公司,应用单位为大同市供水排水集团有限责任公司。改造前应用单位使用30台三相异步电机,主要耗能种类为电力,每台设备能耗约35.6千瓦时/小时,年耗电量为935.568万千瓦时。

##### (2) 主要技术改造内容及实施周期:

将30台三相异步电机替换为智能潜水电机系统。实施周期2个月。

##### (3) 节能降碳效果及投资回收期:

改造完成后,单台设备能耗为26.7千瓦时/小时,30台设备年节电量为233.9万千瓦时,折合年节约标准煤709吨,减少二氧化碳排放1334吨。投资额为24万元,投资回收期为0.72年。

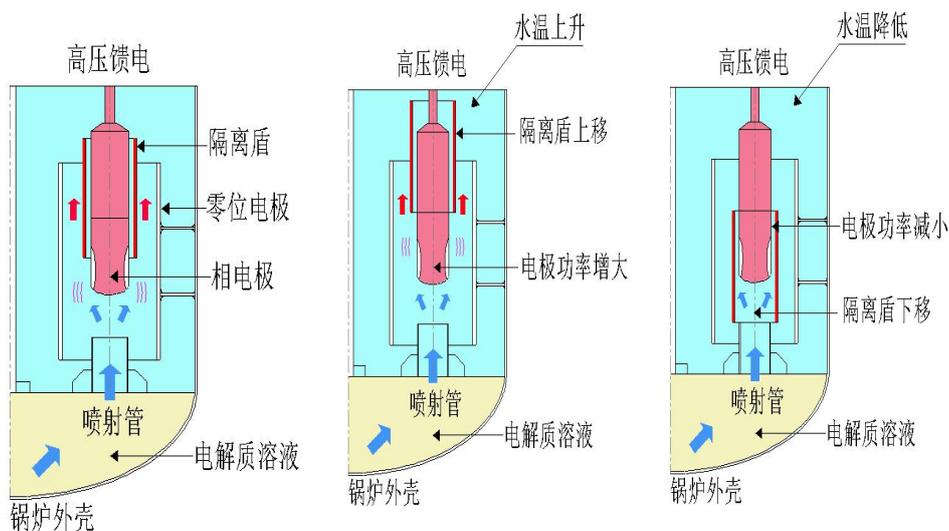
## 案例二：高压电极锅炉

### 1.技术适用范围

适用于集中供热、核电等领域。

### 2.技术原理及工艺

该技术采用浸没式双筒结构设计，在内筒对称布置三相电极，将电流直接通过锅炉炉水，利用纯水的高电阻比特性，使电流通过电极放电转化为热能，产生饱和蒸汽或热水，在此过程中水既是热传导介质也是能量源，减少能量损失，转换效率可达99%以上。技术原理如图所示。



高压电极锅炉技术原理图

### 3.技术功能特性及指标

(1) 利用水的导电性直接加热，热电转化效率高达99.8%以上；

(2) 可实现0~100%范围内无级调节；

(3) 热水锅炉在 30 秒内达到满负荷，蒸汽锅炉在热备状态下 1~3 分钟内达到满负荷。

#### 4.应用案例

##### (1) 项目基本情况：

技术提供单位为沈阳恒久安泰环保与节能科技公司，应用单位为吉林省中远火电工程有限公司。该项目为新建项目。

##### (2) 主要技术改造内容及实施周期：

建设规模为 6×40 兆瓦全浸没式高压电极锅炉。实施周期 3 个月。

##### (3) 节能降碳效果及投资回收期：

建设完成后，按年运行 1800 小时计算，项目年消纳未并网电量 43200 万千瓦时，折合年节约标准煤 13.09 万吨，减少二氧化碳排放 24.64 万吨。投资额为 9980 万元，投资回收期为 3 年。

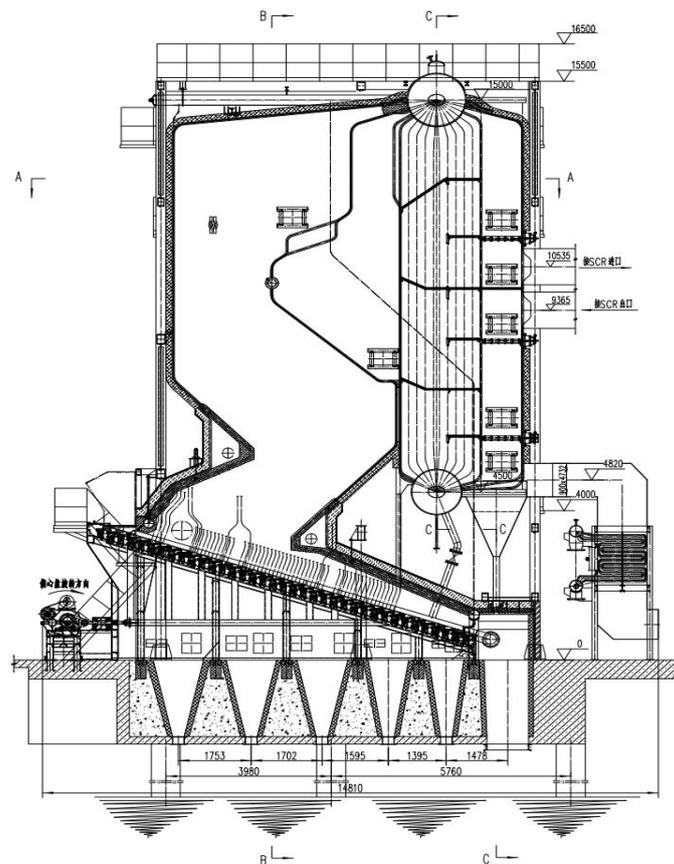
### 案例三：锅炉高效燃烧抗积灰技术

#### 1.技术适用范围

适用于燃煤锅炉系统。

#### 2.技术原理及工艺

该技术采用调温烟门、S形烟道及碳捕集再燃系统，当烟气温度过低时，部分烟气可不经U型路径直接穿过烟门进入下游，脱硝室下游S形烟道在低负荷时打开烟门调整烟气换热路径减少积灰，同时在烟道中捕集灰包碳并鼓风补氧，使未燃气体再燃，整体运行热效率可达87%以上。技术原理如图所示。



锅炉高效燃烧抗积灰技术原理图

### 3.技术功能特性及指标

(1) 实现  $H_2$ 、 $CO_2$ 、 $CH_4$  等补氧再燃，提高运行热效率 4% 以上；

(2) 灵活调整换热路径适应负荷，降低大气污染物初始排放浓度， $NO_x \leq 43$  毫克/立方米， $SO_2 < 56$  毫克/立方米，烟尘  $< 23$  毫克/立方米。

### 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，应用单位为黑龙江省双鸭山市五九七农场供热中心。该项目为新建项目。

#### (2) 主要技术改造内容及实施周期：

采用 2 台温度可调的高效燃烧抗积灰低排放锅炉 SHW29-1.6/115/70-S 对场区 80 万平方米用户进行供热。实施周期 3 个月。

#### (3) 节能降碳效果及投资回收期：

建设完成后，实现年节约原煤 3360 吨，折合年节约标准煤 2400 吨，减少二氧化碳排放 6384 吨。投资额为 803 万元，投资回收期为 2 年。

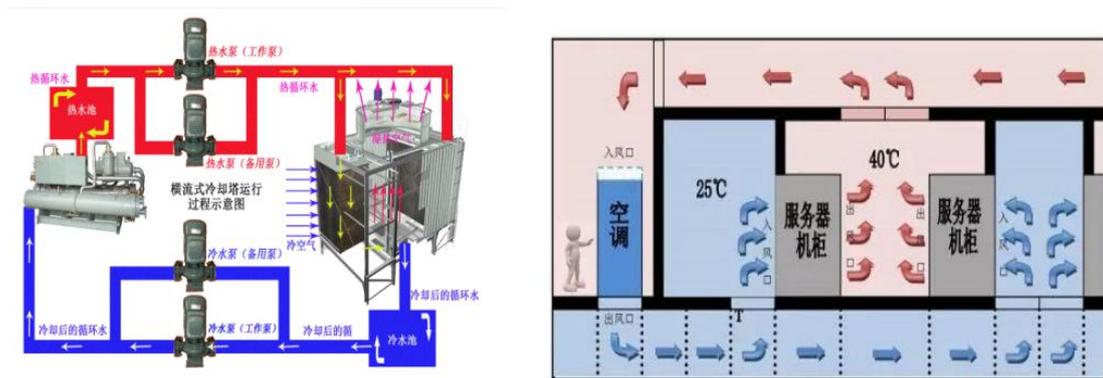
## 案例四：高效通风机电机驱动一体化技术

### 1.技术适用范围

适用于通风机电驱系统。

### 2.技术原理及工艺

该技术采用永磁电机智能调整电机转速，优化风机叶片设计及流场，控制空气流动及水分蒸发，转移制冷剂冷凝热。电机在宽载荷、宽转速范围内效率可达 85%~92%，综合降低通风机能耗 30%以上。技术原理如图所示。



高效通风机电机驱动一体化技术原理图

### 3.技术功能特性及指标

(1) 采用反 T 型高效扭曲中空机翼型叶片，提高气动效率，通风机效率高于国家 1 级能效；

(2) 电机速度可控效率高，在宽载荷、宽转速范围内保持高效，电机效率高达 85%~92%，高于 IE4 能效等级；

(3) 通风机组可根据制冷量需求实现智能控制转速。

#### 4.应用案例

##### (1) 项目基本情况：

技术提供单位为威海克莱特菲尔风机股份有限公司，应用单位为顿汉布什（中国）工业有限公司。该项目为新建项目。

##### (2) 主要技术改造内容及实施周期：

安装 8 台采用电机驱动一体化技术的风机，构建通风冷却系统。实施周期 3 个月。

##### (3) 节能降碳效果及投资回收期：

建设完成后，每台风机每小时耗电量为 5.5 千瓦时，按年运行 6500 小时计算，年耗电量为 28.6 万千瓦时，较传统 7.5 千瓦风机年节电量 13.4 万千瓦时，折合年节约标准煤 40.6 吨，减少二氧化碳排放 76.4 吨。投资额为 20.5 万元，投资回收期为 1.5 年。

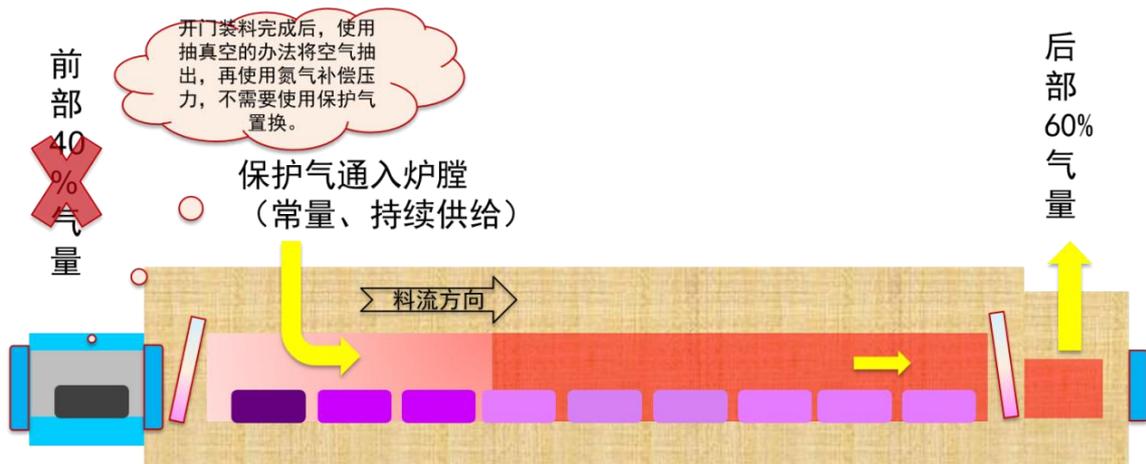
## 案例五：保护气氛单向排放型辊底炉

### 1.技术适用范围

适用于热处理领域。

### 2.技术原理及工艺

该技术采用纳米保温材料炉体，通过抽真空方法在装料完成后将炉膛内空气抽出，再使用氮气补偿压力，炉膛前部不再使用保护气置换及再排气。实现气体单向排放，较传统设备保护气氛消耗量降低 40%，散热损失降低 30%。技术原理如图所示。



保护气氛单向排放型辊底炉技术原理图

### 3.技术功能特性及指标

- (1) 炉温稳定在 $\pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 范围内，热处理质量稳定；
- (2) 炉壁最大表面温升 $\leq 40\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，保障设备安全运行；
- (3) 保护气氛消耗量相比传统设备降低 40%，减少碳排放量，降低运行成本。

### 4.应用案例

- (1) 项目基本情况：

技术提供单位为亚捷科技（唐山）股份有限公司，应用单位为河北鑫泰轴承锻造有限公司。改造前应用单位使用双向排放结构，年使用保护气氛（20%CO，40%H<sub>2</sub>，40%N<sub>2</sub>）30.24万标立方米，采用天然气制备保护气氛，年消耗天然气61920标立方米，耗电量72000千瓦时。

（2）主要技术改造内容及实施周期：

新建保护气氛单向排放型辊底炉盐浴淬火热处理装备，规格为RRX9炉型。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，气氛用量降低至25标立方米/小时，制备气氛所用天然气年消耗量降低至36864标立方米，年耗电量降低至42840千瓦时，折合年节约标准煤39.25吨，减少二氧化碳排放64.1吨。投资额为1400万元，投资回收期为0.9年。

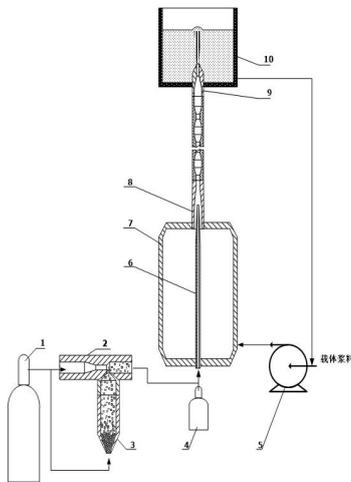
## 案例六：10 千伏及以上纳米陶瓷电容电阻计量制备技术

### 1.技术适用范围

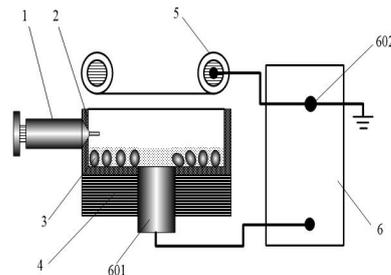
适用于电力行业电力计量电压互感器制备领域。

### 2.技术原理及工艺

该技术采用气泡膨胀粉体分散装置、微磁珠导电陶瓷纺丝装置与静电纺丝技术制备纳米陶瓷电容电阻。利用气泡膨胀产生的高速拉伸使待分散粉体在载体浆液中均匀分散，使陶瓷混合浆液在静电作用下形成细流固化成超细纤维，效率是传统电纺技术的 10 倍左右，纳米陶瓷电阻互感器相比电磁式互感器无铁磁谐振，自身功耗降低约 90%。系统结构如图所示。



1—气源、2—粒子混合管、3—粒子流化室、4—气室、5—粘液泵、  
6—气体-粉体射流喷嘴、7—液室、8—上升管、9—喷嘴、10—敞口液室。



1—装置由浆液输送机构、2—料盘、3—微磁珠、4—安装于料盘底部的磁场发生器、  
5—位于料盘上方的纤维接收传送带、6—高压纺丝电源

## 10 千伏及以上纳米陶瓷电容电阻计量制备技术系统结构图

### 3.技术功能特性及指标

(1) 采用微磁珠静电纺丝技术制备的纳米陶瓷材料均匀度

高，陶瓷电容容值为 600 pF，陶瓷电阻阻值为 20 MΩ，误差 < 0.1%；

(2) 采用气泡膨胀粉体分散技术使陶瓷材料充分混合，制备陶瓷电容、陶瓷电阻温度系数可达到 10 ppm 以上。

#### 4.应用案例

##### (1) 项目基本情况：

技术提供单位为廊坊电力传感技术有限公司，应用单位为国网冀北电力有限公司。改造前应用单位使用 500 套传统电磁式电压互感器作为计量元件，设备易受谐波干扰，能耗较高，互感器年耗电量约为 90.29 万千瓦时。

##### (2) 主要技术改造内容及实施周期：

使用纳米陶瓷电容电阻制备技术生产陶瓷电容电阻电压互感器作为计量设备，替代现场老旧计量设备共计 500 套。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，每年互感器自身功耗约为 2.19 万千瓦时，减少铜用量 8.1 吨，铁磁材料用量 16 吨，折合年节约标准煤 266.9 吨，减少二氧化碳排放 502.4 吨。投资额为 1300 万元，投资回收期为 12.5 年。

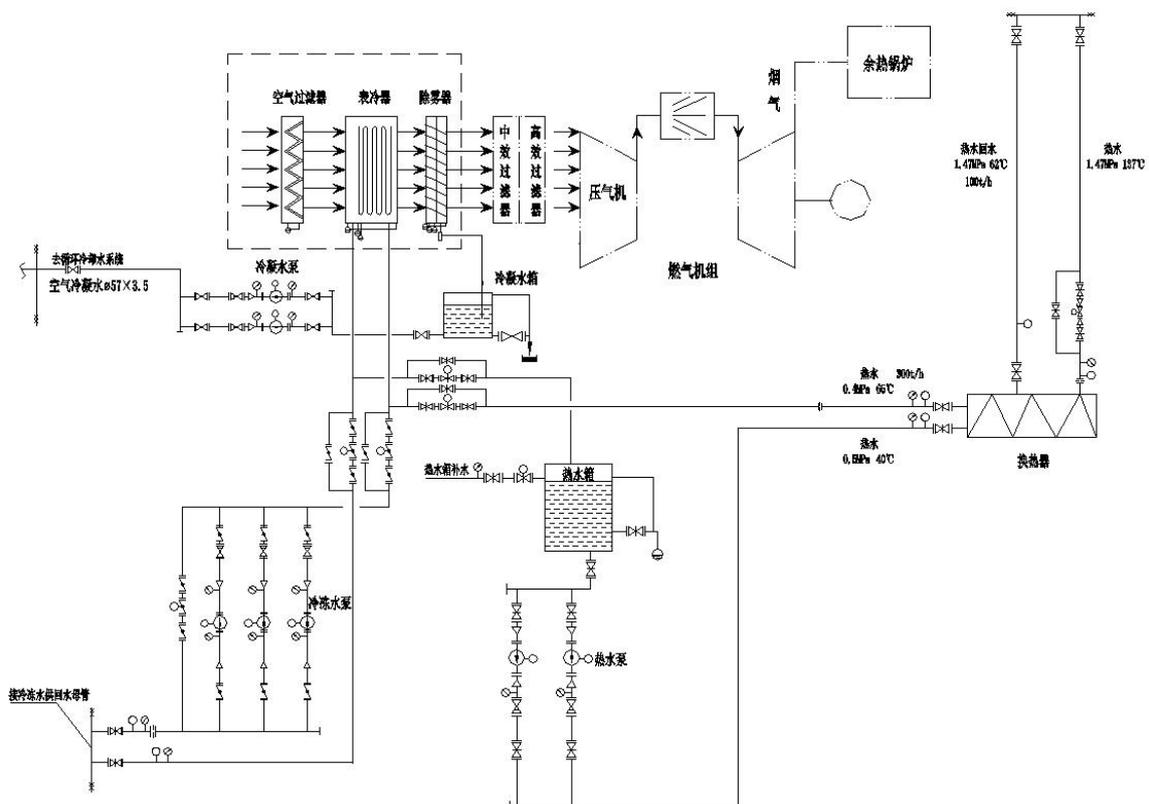
## 案例七：复杂工况下燃气轮机进气温度运行控制关键技术

### 1.技术适用范围

适用于燃气轮机组。

### 2.技术原理及工艺

该技术采用燃机进气加热和进气冷却系统，低负荷运行时，通过进气系统流场及温度场模拟优化，加热入口空气，提高进气体积流量；高负荷运行时，通过喷雾冷却和溴化锂吸收式制冷等冷却入口空气，增加进气质量流量，全工况下调控进气温度，减少低负荷工况系统能耗，提升高负荷工况机组发电效率。技术原理如图所示。



复杂工况下燃气轮机进气温度运行控制关键技术原理图

### 3.技术功能特性及指标

(1)针对 50%~80%负荷工况运行的燃气轮机联合循环机组，提高燃气轮机压气机入口空气温度 5~20 ℃；

(2)针对 50%~80%负荷工况运行的燃气轮机联合循环机组，提高机组发电效率 0.5%；

(3)燃气轮机进气系统因换热器增加的进气阻力值不高于 300 Pa。

### 4.应用案例

#### (1) 项目基本情况：

技术提供单位为国能南京电力试验研究有限公司，应用单位为天津华电福源热电有限公司。改造前，应用单位燃气轮机 60%时间处于 50%~80%负荷范围内，联合循环机组在 120 兆瓦负荷下热耗为 7932.8 千焦/千瓦时，在 130 兆瓦负荷下热耗为 7712.72 千焦/千瓦时。

#### (2) 主要技术改造内容及实施周期：

通过管道连接，采用余热锅炉尾部 8 兆瓦换热器热量加热燃气轮机入口空气。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，联合循环机组在 120 兆瓦负荷下热耗降至 7804.04 千焦/千瓦时，在 130 兆瓦负荷下热耗降至 7603.62 千焦/千瓦时，年节约天然气约 123.6 万标立方米，折合年节约标准煤

1500.7 吨，减少二氧化碳排放 2341.2 吨。投资额为 800 万元，投资回收期为 2.5 年。

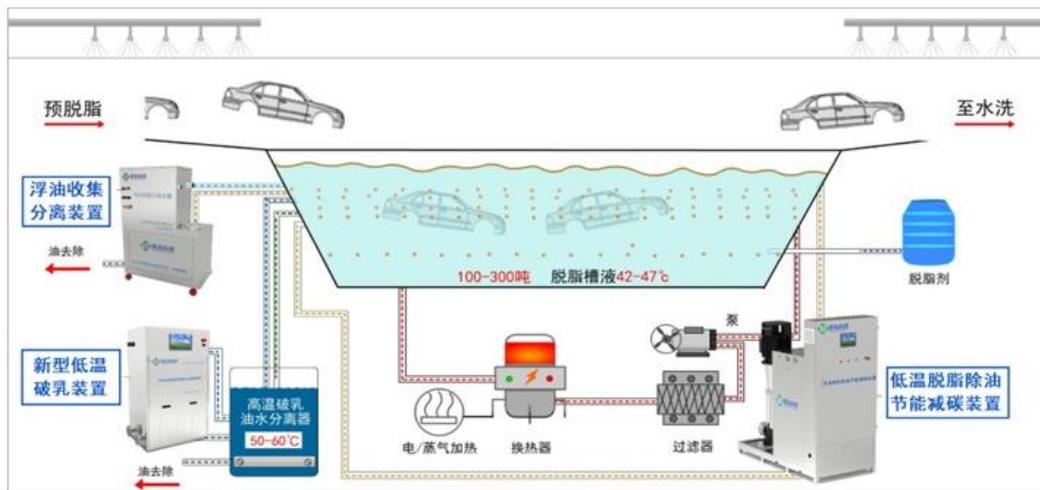
## 案例八：涂装前处理低温脱脂除油节能减碳装置

### 1.技术适用范围

适用于涂装前处理领域。

### 2.技术原理及工艺

该技术利用水力空化过程产生的机械效应、热效应和生物效应对脱脂液进行破乳除油。乳化状态下的脱脂液通过破乳装置转化为浮油，浮油通过溢流方式完成自动油水分离，循环处理脱脂液。通过纯物理手段实现低温破乳、除油，减少加热能耗，提高脱脂剂循环利用率，减少脱脂废液排放 50%，减少二氧化碳排放 30%。工艺流程如图所示。



涂装前处理低温脱脂除油节能减碳装置工艺流程图

### 3.技术功能特性及指标

(1) 水力空化系统最大处理量达到 30 立方米/小时，实现脱脂温度降低 7~10℃；

(2) 高效破乳除油，油水分离率 $\geq 99.0\%$ ，控制槽液油含量

≤1.0 克/升；

(3) 延长脱脂槽液使用周期 2 倍以上，减少脱脂废液排放量 >50%，减少水资源使用量 >50%。

#### 4.应用案例

##### (1) 项目基本情况：

技术提供单位为浙江路弘科技有限公司，应用单位为一汽-大众汽车有限公司。应用单位原涂装车间采用高温加热结合化学药剂破乳方式，单个涂装车间年消耗热量为 70000 吉焦。

##### (2) 主要技术改造内容及实施周期：

安装涂装前处理低温脱脂除油节能减碳装置对脱脂液进行循环处理。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，降低脱脂温度 10℃，单个涂装车间热量年消耗量降低至 56000 吉焦，减少涂装车间脱脂环节二氧化碳排放量 30%，节省脱脂剂使用量 30%，折合年节约标准煤 1912 吨，减少二氧化碳排放 5085.9 吨。投资额为 176 万元，投资回收期为 1.5 年。

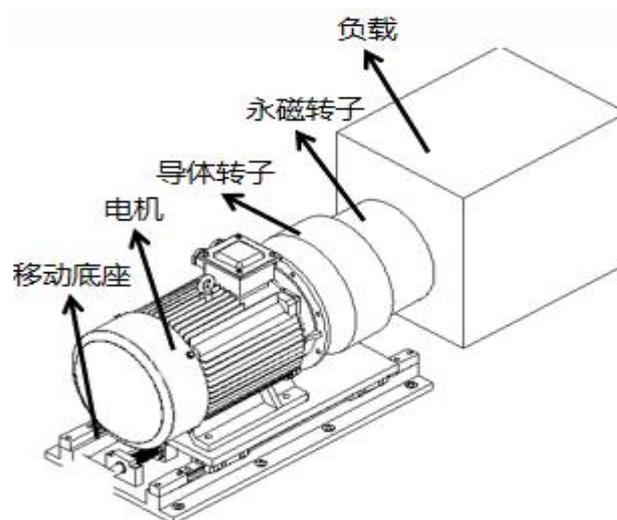
## 案例九：免维护型磁轮调速驱动技术

### 1.技术适用范围

适用于电机传动系统。

### 2.技术原理及工艺

该技术采用筒式导体转子、筒式永磁转子、移动底座组合，将导体转子安装于电机轴、永磁转子安装于负载轴，通过移动电机调节导体转子与永磁转子的轴向相对位置，改变两者之间啮合面积和传递转矩的大小，实现机泵无级调速。可根据负载变化自动调整转速，设备在最佳效率点运行，节电率可达 10%~60%。结构如图所示。



免维护型磁轮调速驱动技术系统结构图

### 3.技术功能特性及指标

(1) 系统无联轴器，对中要求 1 毫米，单边气隙 5 毫米，安装简单；

(2) 轴端距为 0.15 米（一次基础不需延长）；

(3) 机/泵、电机振动下降幅度为 20%~60%。

#### 4.应用案例

(1) 项目基本情况：

技术提供单位为芜湖磁轮传动技术有限公司，应用单位为中国石化北海炼化有限责任公司。应用单位原电机功率为 900 千瓦，无调速功能，通过调节阀门开度调节输出，电机能耗为 766.3 千瓦时/小时。

(2) 主要技术改造内容及实施周期：

采用永磁轮和导体轮替换原有刚性联轴器，电机底座替换为移动底座。实施周期 15 天。

(3) 节能降碳效果及投资回收期：

改造完成后，电机能耗降低至 448.3 千瓦时/小时，按年运行时间 8400 小时计算，年节电量为 267.12 万千瓦时，折合年节约标准煤 809 吨，减少二氧化碳排放 1523 吨。投资额为 127 万元，投资回收期为 1 年。

## 案例十：智能电除尘器高压控制系统

### 1.技术适用范围

适用于电除尘器控制系统。

### 2.技术原理及工艺

该技术采用“深度学习+群体智能优化”的智能建模技术和AI控制器，结合电除尘物理机理，对电除尘器的运行数据、排放数据和锅炉相关数据进行关联分析，筛选出具有因果关系的数据建立预测优化模型，生成最优控制策略，实现电除尘设备精准控制，系统节能率达30%。技术原理如图所示。



智能电除尘器高压控制系统技术原理图

### 3.技术功能特性及指标

- (1) 烟囱出口粉尘排放浓度均值 $\leq 10$  毫克/标立方米；
- (2) AI 控制系统输出优化参数集的控制方向准确率 $\geq 98\%$ （不超出安全边际的参数集数量/输出优化参数集总数）；

(3) AI 控制系统输出优化的时间频率 $\leq 1$  分钟。

#### 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，应用单位为山西大唐国际云冈热电有限责任公司。应用单位 4#炉为 300 兆瓦超超临界燃煤发电机组，配置 1 台双室五电场卧式静电除尘器，除尘器日平均耗电量为 21.27 兆瓦时，年耗电量为 638.1 万千瓦时。

(2) 主要技术改造内容及实施周期：

安装 AI 智慧高压控制系统与升级后的 IPEC 系统进行对接，每台变频电源增设 1 台 AI 控制器。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，日平均耗电量为 14.83 兆瓦时，按年运行 300 天计算，年节电量为 193.2 万千瓦时，折合年节约标准煤 585 吨，减少二氧化碳排放 1102 吨。投资额为 508 万元，投资回收期为 4 年。

## 案例十一：“无铁芯”盘式智能模组变频电机

### 1.技术适用范围

适用于变频电机系统。

### 2.技术原理及工艺

该技术采用无铁芯设计，结合轴向磁通设计、自散热结构和模块化叠片设计，由高分子复合材料封灌定子绕组替代硅钢片，消除齿槽效应，较传统径向磁通设计增加电机功率密度，降低效率衰减，消除占电机运行总损耗 30%的定子铁损，电机在 90%的运行频率和功率覆盖范围内效率超过 90%，系统综合节能率约 20%。工艺流程如图所示。



“无铁芯”盘式智能模组变频电机工艺流程图

### 3.技术功能特性及指标

- (1) 电机 90%的运行频率和功率覆盖范围内效率 $>90\%$ ;
- (2) 电机效率衰减 $<3\%$ 。

### 4.应用案例

#### (1) 项目基本情况：

技术提供单位为湖南众联鑫创动力科技有限公司，应用单位为云南欧亚乳业有限公司。改造前，应用单位采用氨机撬块制冷机组，由 3 台立式离心泵构成的恒压供水水泵机组系统向氨机撬块机组供给冷却循环用水，采用“两用一备”配置模式，主要耗能种类为电力，制冷机组日耗电量为 8800 千瓦时，泵组平均日耗电量为 500 千瓦时。

#### (2) 主要技术改造内容及实施周期：

采用搭载 6 台“无铁芯”盘式智能模组变频电机的变频螺杆并联机组替换原氨机撬块机组，维持现有泵组作为备用系统，增设 1 套“无铁芯”盘式智能模组变频水泵机组。实施周期 2 个月。

#### (3) 节能降碳效果及投资回收期：

改造完成后，制冷机组日耗电量为 7000 千瓦时，泵组平均日耗电量为 400 千瓦时，年节电量为 69.35 万千瓦时，折合年节约标准煤 210 吨，减少二氧化碳排放 395 吨。投资额为 350 万元，投资回收期为 5 年。

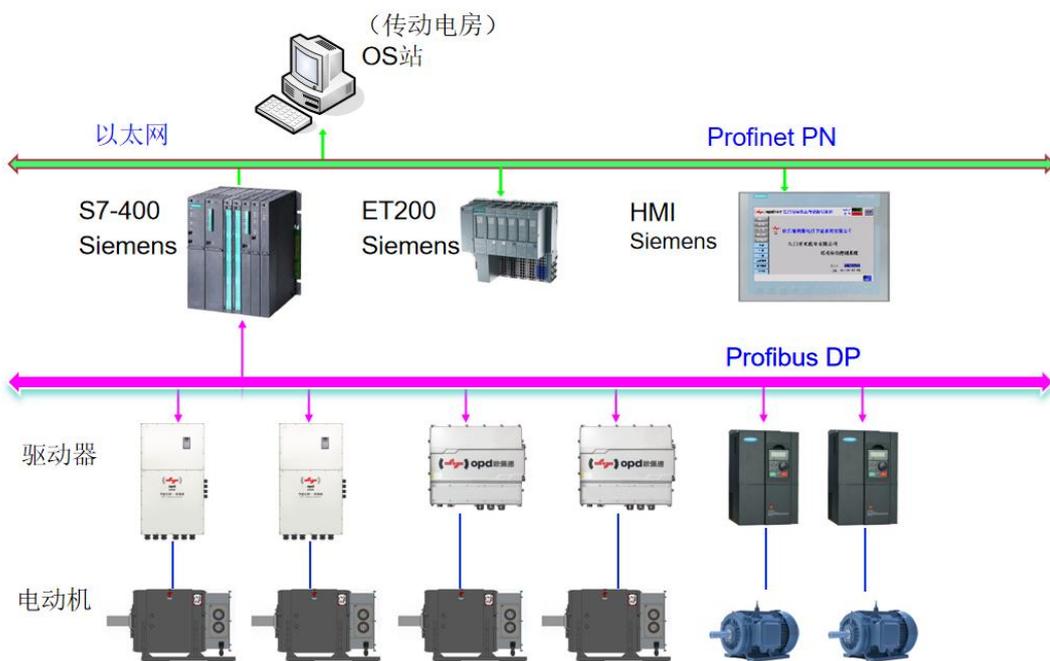
## 案例十二：伺服直驱纸机动力系统

### 1.技术适用范围

适用于造纸机系统。

### 2.技术原理及工艺

该技术集成低速大扭矩伺服直驱电机、大功率水冷驱动器和造纸传动控制系统，由永磁同步伺服电机直接驱动负载，通过智能算法对多电机协同控制，结合总线通讯实时调整转速与负载，取消减速机，消除机械损耗、提升响应速度，系统综合节电率20%~30%。工艺流程如图所示。



伺服直驱纸机动力系统工艺流程图

### 3.技术功能特性及指标

(1) 支持高负载场景并具备短时高过载能力，电机功率范

围为 5.5~2000 kW，转速范围为 100~300 r/min，单机扭矩覆盖 150 N·m 至 100000 N·m；

(2) 采用永磁同步直驱技术，系统综合节电率 $\geq 25\%$ 。

#### 4.应用案例

(1) 项目基本情况：

技术提供单位为欧佩德伺服电机节能系统有限公司，应用单位为山东天和纸业有限公司。应用单位原系统由高效低速大扭矩伺服直驱电机、高效大功率水冷驱动器和造纸传动 DCS 控制系统组成，两台纸机每小时耗电量为 2925.9 千瓦时。

(2) 主要技术改造内容及实施周期：

安装伺服直驱纸机动力系统硬件（伺服直驱电机、驱动器、电柜等），搭建 DCS 控制系统。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，2 台纸机每小时耗电量降低至 2340.8 千瓦时，年节电量为 463.5 万千瓦时，折合年节约标准煤 1404 吨，减少二氧化碳排放 2643 吨。投资额为 811 万元，投资回收期为 2.4 年。

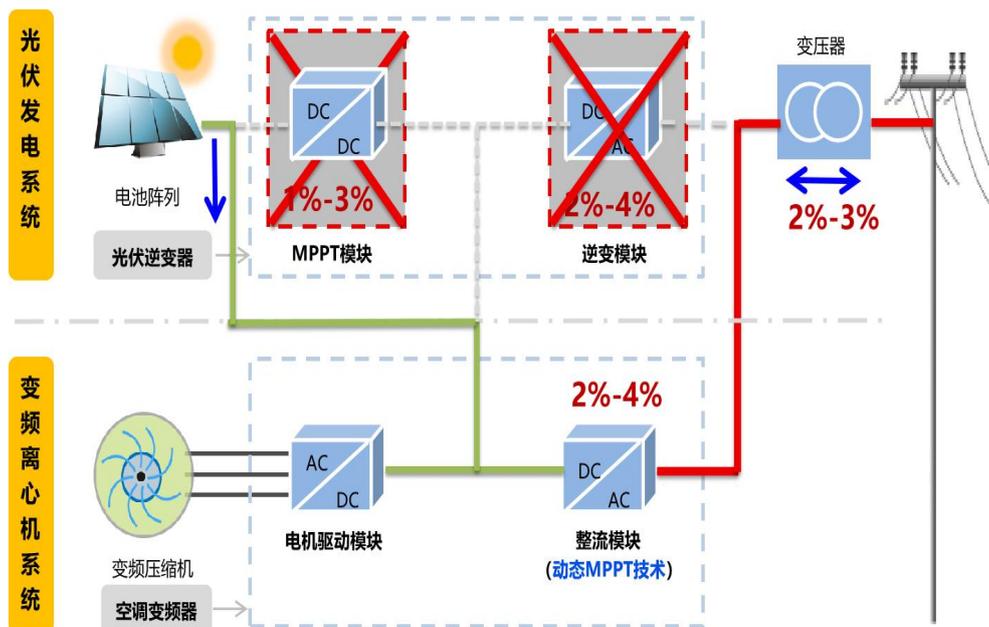
### 案例十三：光储直流化空调系统关键技术

#### 1.技术适用范围

适用于空调系统。

#### 2.技术原理及工艺

该技术采用光储空调系统直流化成套技术，光储网荷多模式混合运行和动态切换，可柔性响应调度需求，光伏电流直发直用，减少光伏/储能输出到空调运行之间多次交直流转换，光伏直驱利用率可达 99%，电能转换效率提升 5%~8%。技术原理如图所示。



光储直流化空调系统关键技术原理图

#### 3.技术功能特性及指标

(1) 光伏直驱利用率达 99%，电能转换利用效率提升 5%~8%；

(2) 光储网荷多模式混合运行和动态切换，系统模式间切

换时间 $\leq 4.6$  毫秒；

(3) 压缩机复杂气动工况下高速稳定运行，母线超调量 $\leq 9.8\%$ ，恢复时间 $\leq 83$  毫秒，转速波动 $\leq 0.46$  赫兹。

#### 4.应用案例

##### (1) 项目基本情况：

技术提供单位为珠海格力电器股份有限公司，应用单位为海南博鳌亚洲论坛新闻中心。该项目建筑面积约 20 万平方米，共有 55 套多联机和 600 台空调内机，总耗电量为 24.12 万千瓦时。

##### (2) 主要技术改造内容及实施周期：

安装 5 种型号的光伏多联机共计 31 台，总制冷量为 1182.9 千瓦，并搭建光储空调系统。实施周期 1 年。

##### (3) 节能降碳效果及投资回收期：

改造完成后，光伏空调系统最大装机容量为 498 千瓦，年消纳光伏发电量为 86 万千瓦时，全年光伏供电占比约 60%，折合年节约标准煤 260.6 吨，减少二氧化碳排放 490.2 吨。投资额为 199.2 万元，投资回收期为 3 年。

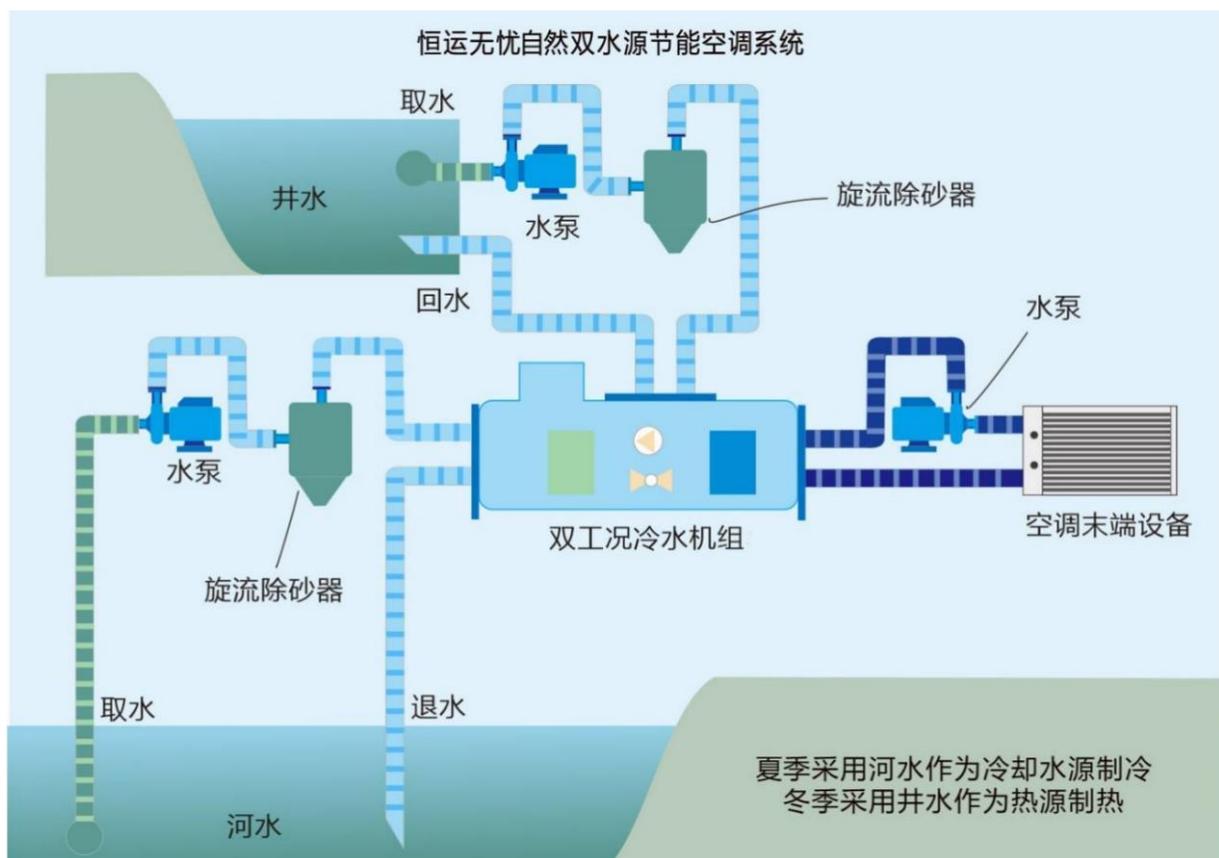
## 案例十四：自然水源综合利用节能空调系统

### 1.技术适用范围

适用于空调系统。

### 2.技术原理及工艺

该技术采用两种自然水源的双进水管路系统，通过电动阀门切换冷水机组夏季制冷/冬季制热运行模式。夏季优先使用低温河水作为冷却介质，冬季使用温度高于环境的地下井水制热，系统采用自然水源作为冷热源，提高运行能效，制冷能效比 $>6.0$ ，制热能效比 $>5.0$ 。技术原理如图所示。



自然水源综合利用节能空调系统技术原理图

### 3.技术功能特性及指标

(1) 采用自然水源作为冷热源，制冷能效比 $>6.0$ ，制热能效比 $>5.0$ ；

(2) 采用电动阀门切换+蒸发/冷凝器复用设计，系统可适用于多个循环水系统（地下水和地表水）并联运行，自由切换选择使用自然水源；

(3) 采用基于 AI 算法的负荷预测与动态调节，优化机组运行策略，优化运行参数，降低能耗和维护成本。

### 4.应用案例

#### (1) 项目基本情况：

技术提供单位为四川阿尔西制冷工程技术有限公司，应用单位为成都飞机工业（集团）有限责任公司。该项目为新建项目，建设自然水源综合利用节能空调系统，设计制冷量 14500 千瓦，制热量 9000 千瓦。

#### (2) 主要技术改造内容及实施周期：

采用高效双工况冷水机组建设制冷机房，新建泵房及管道提取河水，打井 18 口提取地下水。实施周期 6 个月。

#### (3) 节能降碳效果及投资回收期：

建设完成后，按空调系统每天工作 12 小时计算，系统年耗电量 700 万千瓦时，较传统中央空调系统（一级能效风冷热泵机组）年节电量为 350 万千瓦时，折合年节约标准煤 1060 吨，减

少二氧化碳排放 1996 吨。较传统中央空调增加投资额 950 万元，投资回收期为 4.2 年。

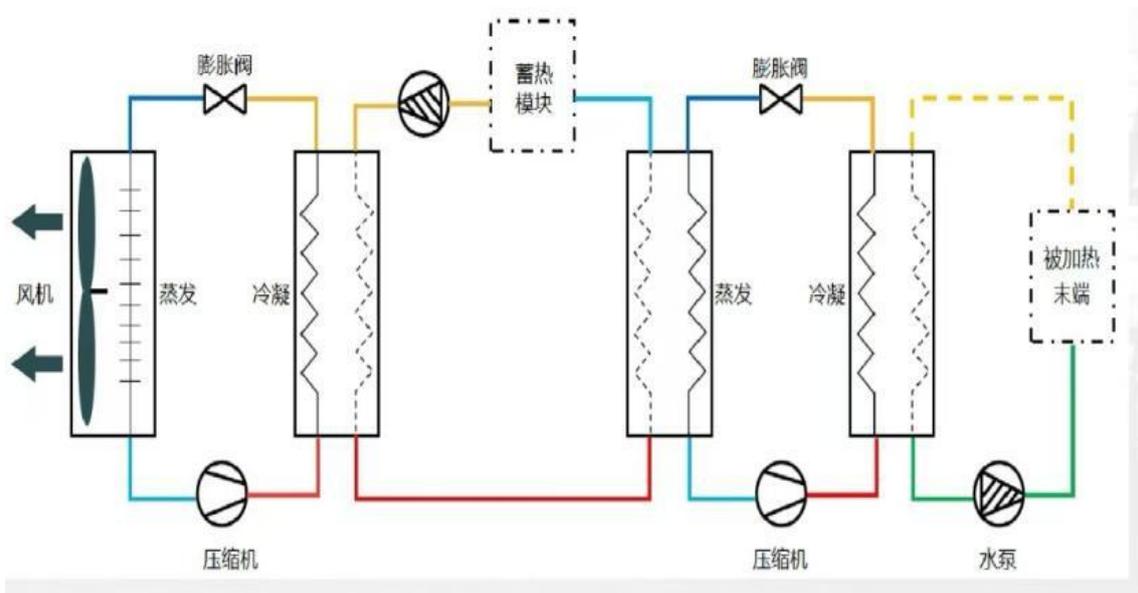
## 案例十五：二氧化碳复叠分体空气源热泵技术

### 1.技术适用范围

适用于热泵供热领域。

### 2.技术原理及工艺

该技术采用“空气源热泵+高温级热泵”复叠耦合技术，通过两级压缩实现稳定供热。低温侧采用二氧化碳空气源热泵提取空气中低品位能量进行一级升温，高温侧采用高温级热泵对能量进行二级取热，满足高温供热需求，较传统燃油锅炉节能 50%，较天然气锅炉节能 72%，超低温工况下冬季采暖年平均能效比 $\geq 2$ 。技术原理如图所示。



二氧化碳复叠分体空气源热泵技术原理图

### 3.技术功能特性及指标

(1) 通过吸收环境空气中的热量或冷量，实现建筑供暖、

制冷及热水供应；

(2) 可在  $-45^{\circ}\text{C}$  的极端低温环境下稳定运行，出水温度可达  $80^{\circ}\text{C}$ ；

(3) 采用天然二氧化碳工质，全球变暖潜能值 (GWP) 为 1，对臭氧层无破坏。

#### 4.应用案例

(1) 项目基本情况：

技术提供单位为陕西一德新能源科技有限公司，应用单位为中铁五局集团有限公司。该项目为新建项目，八达岭长城地上站房建筑面积约 9000 平方米。

(2) 主要技术改造内容及实施周期：

采用 2 台制热量为 375 千瓦的二氧化碳（复叠式）热泵机组以满足室外气温  $-15^{\circ}\text{C}$  下的冬季供暖需求。实施周期 5 个月。

(3) 节能降碳效果及投资回收期：

建设完成后，二氧化碳（复叠式）热泵机组相较于燃气锅炉，折合年节约标准煤 511 吨，减少二氧化碳排放 1359.3 吨。投资额为 387 万元，投资回收期为 4.6 年。

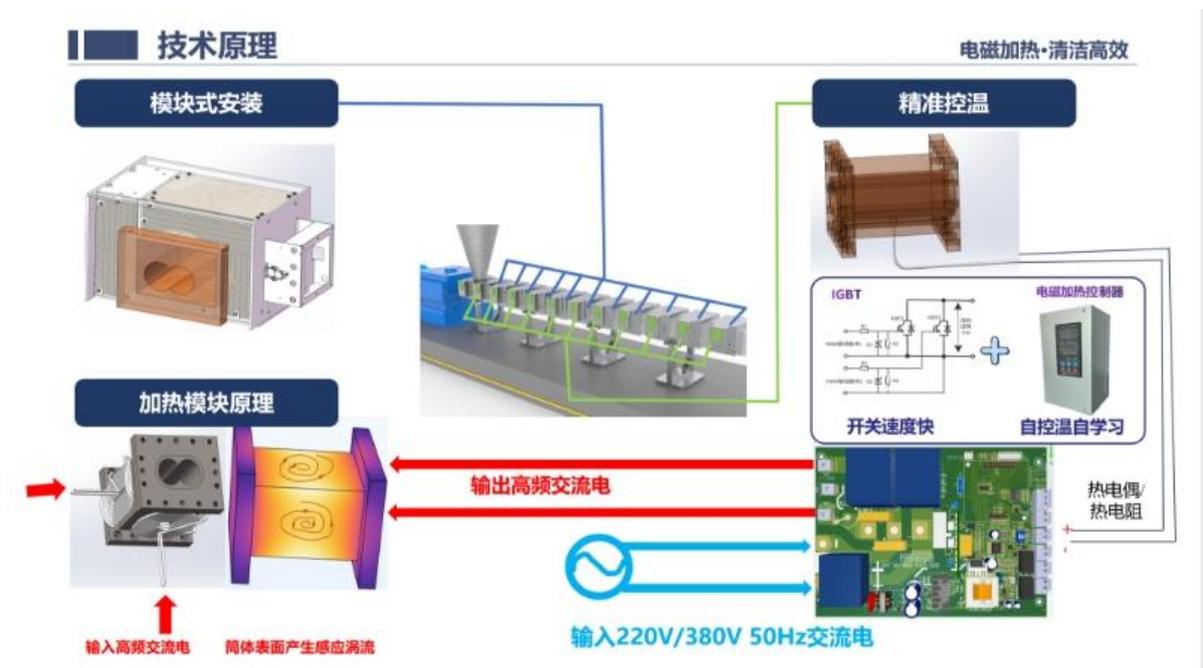
## 案例十六：橡塑机械电磁加热节能技术

### 1.技术适用范围

适用于塑料机械加热系统。

### 2.技术原理及工艺

该技术采用高频逆变系统将电能转换为高频交流电，交流电通过加热线圈产生交变磁场，使金属导体内部形成涡流并转化为热能，实现非接触式加热，热转化效率提高至 90%~95%，较传统电阻丝加热节电率达 40%。技术原理如图所示。



橡塑机械电磁加热节能技术原理图

### 3.技术功能特性及指标

(1) 热效率可达 90%以上，设备加热部分能耗降低 35%~75%，减少电能消耗；

(2) 采用自控温系统，集成温度传感器与 PID 算法，动态调节功率输出，控温精度 $\pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

#### 4.应用案例

##### (1) 项目基本情况：

技术提供单位为深圳塑能节能装备有限公司，应用单位为珠海金发生物材料有限公司。改造前应用单位 16 台双螺杆挤出机使用铸铝电阻式加热，整机耗电量为 119 千瓦时/小时，机筒加热耗电量占整机加热量 30%以上。

##### (2) 主要技术改造内容及实施周期：

将 16 台双螺杆挤出机铸铝电阻加热圈更换为电磁节能加热装备，并对加热系统表面做保温处理。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，单台设备整机耗电量降低至 104 千瓦时/小时，按照年运行 7000 小时计算，年节电量为 168 万千瓦时，折合年节约标准煤 509 吨，减少二氧化碳排放 958 吨。投资额为 140 万元，投资回收期为 1 年。

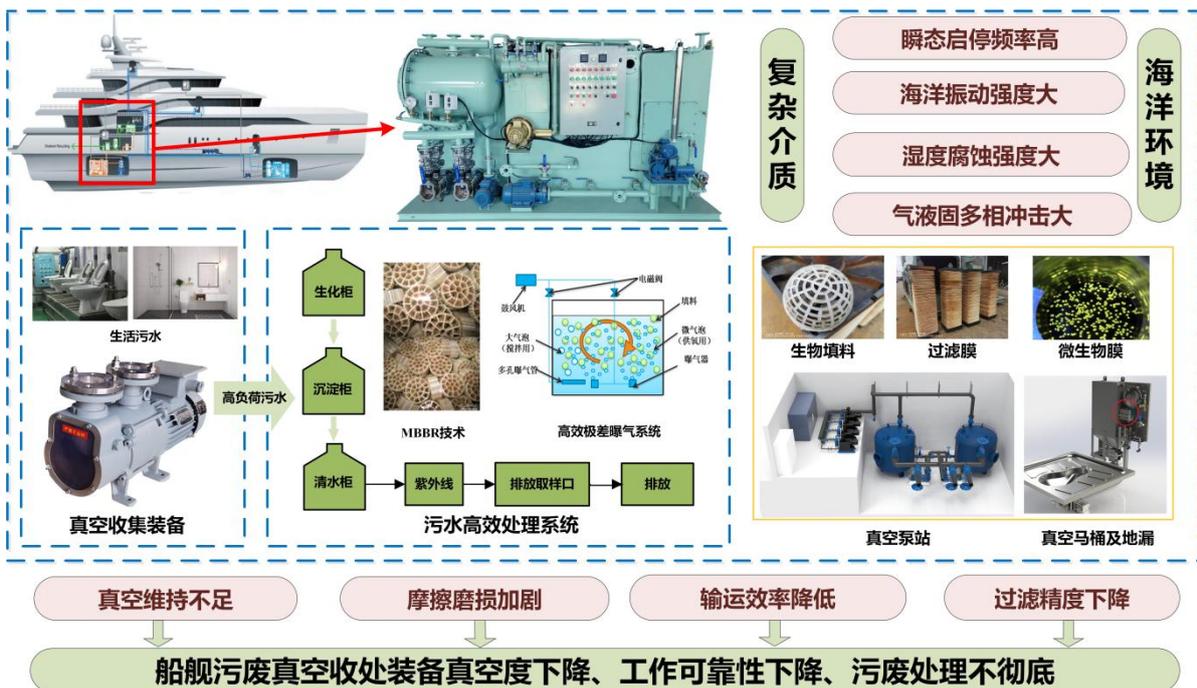
## 案例十七：船舰污废真空收处装备高效节能技术

### 1. 技术适用范围

适用于污水处理领域。

### 2. 技术原理及工艺

该技术采用真空排污泵和“移动床生物膜反应器+膜生物反应器”组合工艺收集并处理污水，真空排污减少污水产生量，极差组合控制提高氧气利用率，使膜反应器实现同步硝化/反硝化，设备整体集成度高，能耗较同类产品降低 35%。工艺流程如图所示。



船舰污废真空收处装备高效节能技术工艺流程图

### 3. 技术功能特性及指标

(1) 采用真空无叶轮变容涡轴排污泵技术，排出压力达 2.5

兆帕，真空度达 85 千帕，从源头减少需处理污水量 70%，降低处理能耗；

(2) 采用极差组合曝气控制系统，氧气利用率提高至 20%~30%（传统为 3%~5%），提高生物膜活性；

(3) 设备综合能耗下降 35%。

#### 4.应用案例

(1) 项目基本情况：

技术提供单位为杭州电子科技大学（天台）数字产业研究院有限公司、台州海百纳船舶设备股份有限公司，应用单位为中船绿洲环保（南京）有限公司。改造前，单艘 200 人船使用传统污水处理设备，主要耗能种类为电力，污水处理年耗电量为 106467.7 千瓦时。

(2) 主要技术改造内容及实施周期：

增设 1 艘智能油污收集船、1 艘智能固体悬浮物收集船、2 套智能油污收集设备、1 套智能油污一体化处理站以及 25 台舱底水分离器。实施周期 9 个月。

(3) 节能降碳效果及投资回收期：

改造完成后，单艘 200 人船污水处理设备减少污水总量 70%，污水处理年耗电量降低至 69204 千瓦时，折合年节约标准煤 11.3 吨，减少二氧化碳排放 21.3 吨。投资额为 4 万元，投资回收期为 1.4 年。

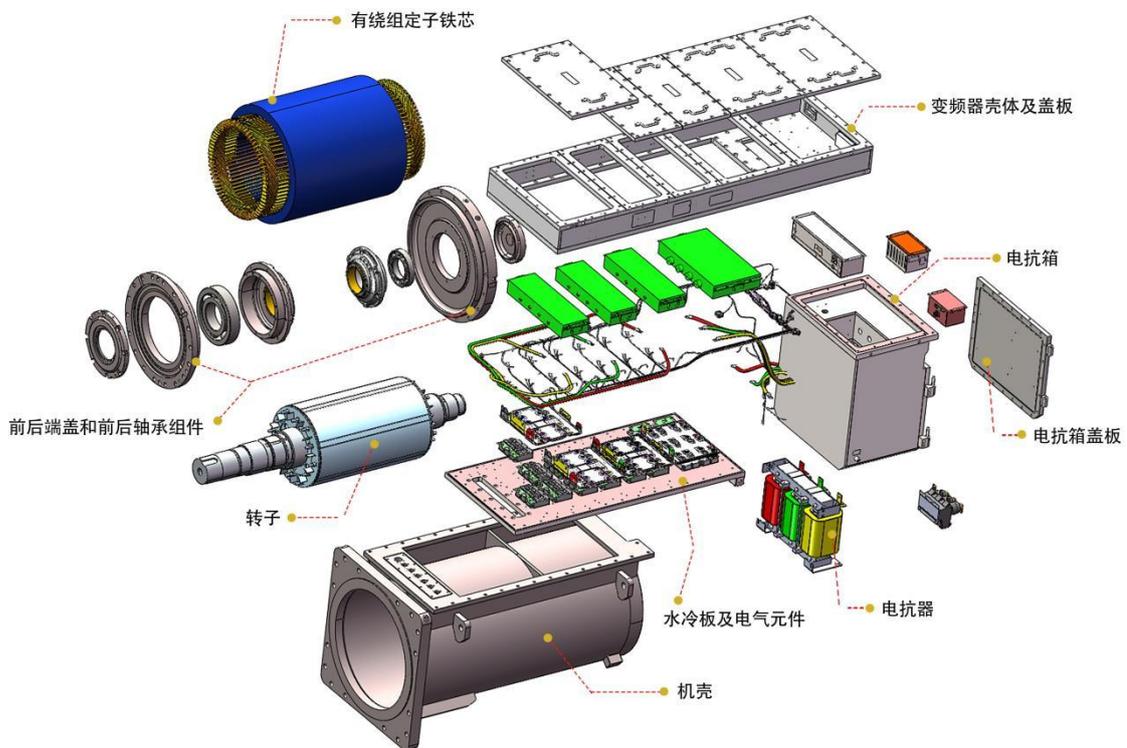
## 案例十八：高压永磁同步变频调速一体机技术

### 1.技术适用范围

适用于永磁电机系统。

### 2.技术原理及工艺

该技术采用变频器、永磁同步电机与智能控制算法，利用永磁电机的高效率、高功率密度特性，结合变频调速系统，实现高启动转矩与高精度调速，实现恒压供液、平稳启停和自适应负载调节，同等输出电流下输出转矩高于异步电机 20%，节能约 15%。系统结构如图所示。



高压永磁同步变频调速一体机技术系统结构图

### 3.技术功能特性及指标

(1) 采用 2.5 倍启动转矩，最大过载倍数 $\geq 2.2$  倍，适合重载启动；

(2) 调速精度可达 0.002 赫兹；

(3) 同等输出电流下，输出转矩高于异步电机 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，应用单位为浙江中煤机械科技有限公司。改造前部分矿井的乳化液泵直接使用工频启动和运行，主要耗能种类为电力，年耗电量为 1152 万千瓦时。

(2) 主要技术改造内容及实施周期：

采用 1600 千瓦高压永磁同步变频调速一体机，替换原乳化液泵上配套的异步电机+变频器的分体式结构，实现恒压自动控制。实施周期 3 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 979 万千瓦时，折合年节约标准煤 524 吨，减少二氧化碳排放 987 吨。投资额为 362 万元，投资回收期为 2.8 年。

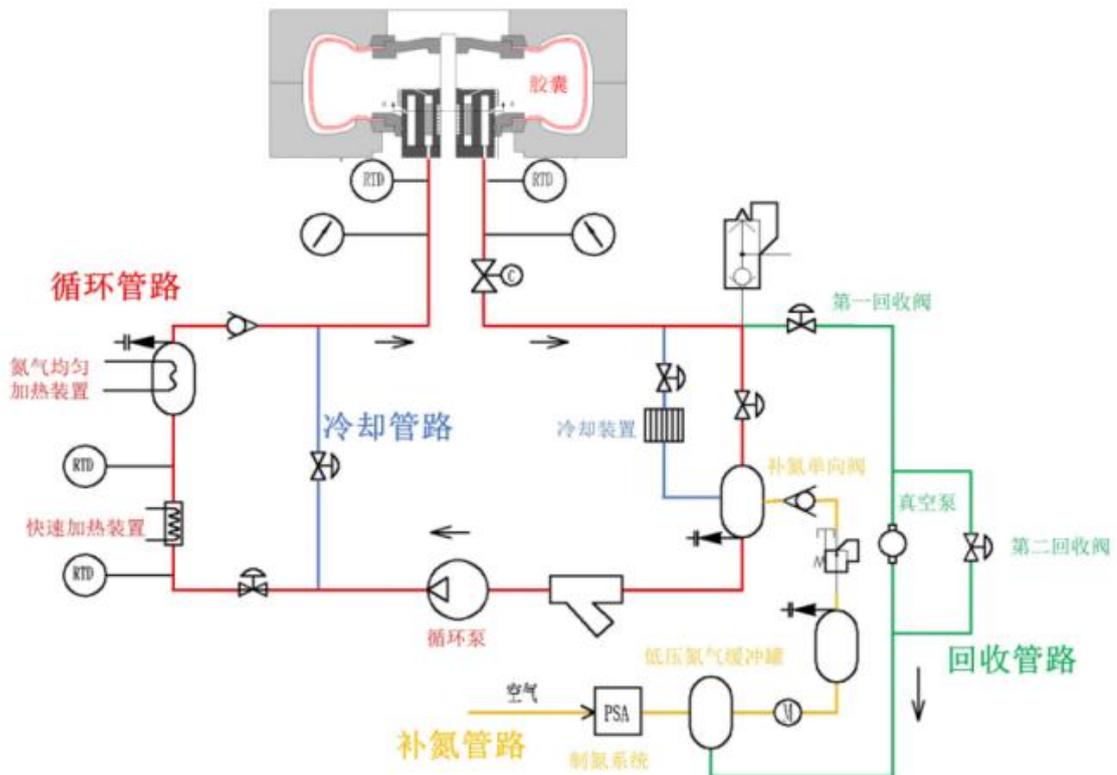
## 案例十九：基于电磁感应的轮胎全氮气循环加热硫化技术

### 1.技术适用范围

适用于轮胎硫化机加热系统。

### 2.技术原理及工艺

该技术采用电磁感应加热技术对加热罐加热，氮气流经加热罐通过热交换升温至设定温度，高温氮气作为载热介质进入胶囊内腔，为轮胎硫化提供内部热源，相较传统硫化该技术无蒸汽参与，消除冷凝水干扰，避免蒸汽管道散热和蒸汽泄漏，吨橡胶硫化节能率可达 60%。技术原理如图所示。



基于电磁感应的轮胎全氮气循环加热硫化技术原理图

### 3.技术功能特性及指标

(1) 通过电磁感应加热技术对氮气加热，避免轮胎硫化过程中产生冷凝水，提高轮胎内部温度均匀性；

(2) 胶囊表面温度分布均匀，温差为 $\pm 1^{\circ}\text{C}$ ，胶囊入口温度达 $200^{\circ}\text{C}$ 以上。

### 4.应用案例

#### (1) 项目基本情况：

技术提供单位为华澳科技（苏州）股份有限公司，应用单位为中策海潮橡胶有限公司。改造前应用单位采用全氮气硫化装备及蒸汽/氮气硫化工艺，主要耗能种类为电力，橡胶硫化能耗为200 千克标准煤/吨，单台轮胎硫化机年产轮胎约 307.2 吨。

#### (2) 主要技术改造内容及实施周期：

采用基于电磁感应的轮胎全氮气循环加热硫化技术对该台硫化机内外温进行改造。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，橡胶硫化能耗降低至 80 千克标准煤/吨，折合年节约标准煤 36.86 吨，减少二氧化碳排放 69.34 吨。投资额为 100 万元，投资回收期为 2 年。

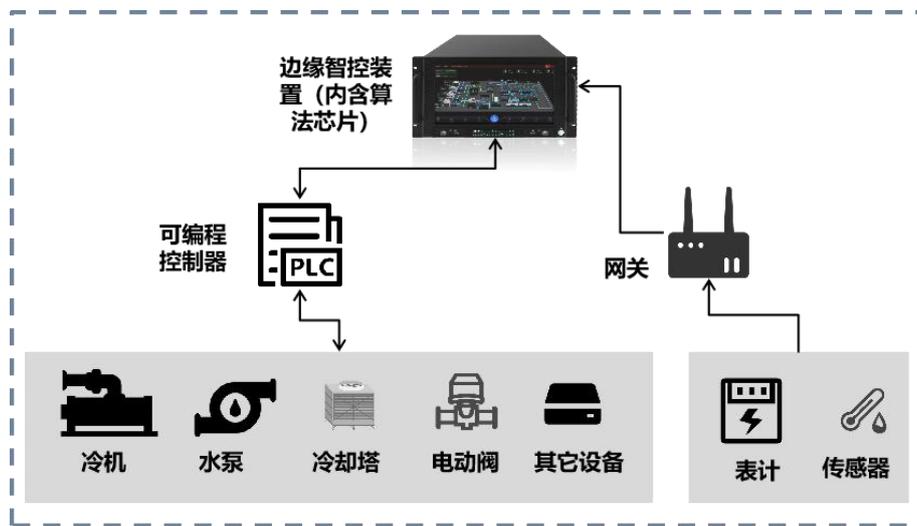
## 案例二十：制冷系统智控节能技术

### 1.技术适用范围

适用于制冷控制系统。

### 2.技术原理及工艺

该技术基于现有控制系统与设备部署边缘智控装置，内置智能优化算法、设备能效机理及预测算法模型进行冷负荷预测，基于负荷需求动态匹配开机，实时采集关键设备运行参数，对系统运行能效、能源费用等指标动态寻优，向设备终端自动发送设备启停、频率调节、温度设定等指令，实现制冷系统动态工况下最优运行，减少负荷浪费，节能率达5%~10%。技术原理如图所示。



制冷系统智控节能技术原理图

### 3.技术功能特性及指标

(1) 采用预测算法模型，对制冷系统的冷负荷进行预测，基于负荷需求动态匹配制冷系统的开机组合，减少冷负荷浪费；

(2) 集成预测算法模型和设备能效模型，对制冷系统进行前馈+反馈控制、联合寻优，实现节能率 5%~10%。

#### 4.应用案例

##### (1) 项目基本情况：

技术提供单位为思安新能源股份有限公司，应用单位为西安市轨道交通集团有限公司。原地铁站空调制冷系统由 2 台冷水机组、2 台冷冻水泵、2 台冷却水泵和 2 台冷却塔构成，处于工频运行状态，主要耗能种类为电力，年耗电量为 85 万千瓦时。

##### (2) 主要技术改造内容及实施周期：

在原有冷冻水泵、冷却水泵、送风机、回排风机上加装变频器，并将手动风阀更换为电动调节阀，增设流量计、冷量计以及温度与压力传感器、智能电能表、边缘智能控制柜，构建地铁能源管理平台。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，节电率为 25.8%，年节电量约为 22 万千瓦时，折合年节约标准煤 67 吨，减少二氧化碳排放 125 吨。投资额为 69.8 万元，投资回收期为 4.7 年。

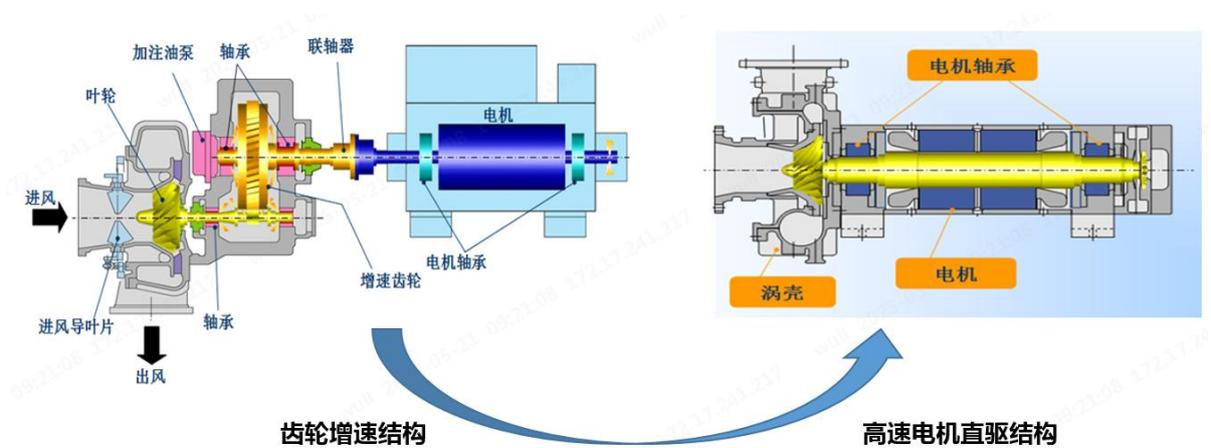
## 案例二十一：高速直驱机械蒸汽再压缩技术

### 1.技术适用范围

适用于机械蒸汽再压缩系统。

### 2.技术原理及工艺

该技术采用磁悬浮技术、数字孪生技术和智能控制系统，将叶轮安装在电机轴伸端，转子部分由磁悬浮轴承、油膜轴承直接支撑，优化轴系柔性布局，智能调节运行参数，实现高速电机直接驱动，取消传统齿轮增速结构，减少传动损失和机械摩擦，名义工况性能系数（COP） $>15.0$ ，系统能耗降低约30%。系统结构如图所示。



高速直驱机械蒸汽再压缩技术系统结构图

### 3.技术功能特性及指标

- (1) 名义工况性能系数（COP） $>15.0$ ；
- (2) 在高温升、复杂介质的状态下，叶轮叶尖线速度达到550米/秒；

(3) 多变效率达到 87%，整机效率达到 84%。

#### 4.应用案例

(1) 项目基本情况：

技术提供单位为南通大通宝富风机有限公司，应用单位为山东双合节能环保技术股份有限公司。改造前应用单位采用齿轮增速型压缩机进行碱回收工艺生产，主要耗能种类为电力，每吨产品耗电量为 44.4 千瓦时，年处理量为 28000 吨。

(2) 主要技术改造内容及实施周期：

采用 1 台磁悬浮高速直驱 MVR 蒸汽压缩机机组替代原有设备，机组蒸发量为 3.5~4.0 吨/小时。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，每吨产品耗电量为 31.8 千瓦时，年节电量 35.3 万千瓦时，折合年节约标准煤 106.9 吨，减少二氧化碳排放 201 吨。投资额为 70 万元，投资回收期为 2 年。

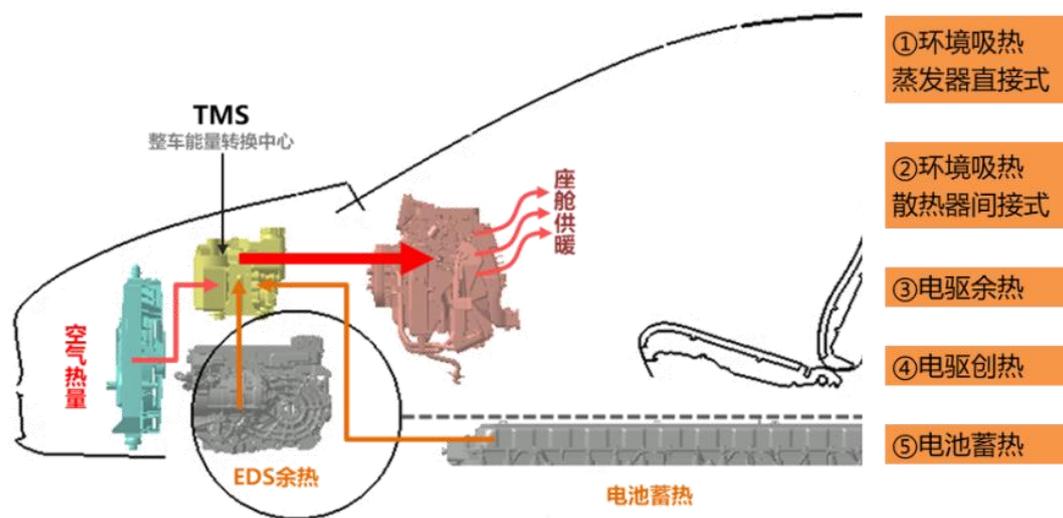
## 案例二十二：车用热泵空调

### 1.技术适用范围

适用于纯电动乘用车空调系统。

### 2.技术原理及工艺

该技术集成制冷剂侧与冷却液侧零件结构及电控系统，通过制冷剂、冷却液两种介质切换制冷剂侧和冷却液侧阀门，耦合空气、电机余热、电池蓄热、电机创热等热源，实现冷却液侧和制冷剂侧能量相互转移，冬季制热能效值（COP）相较传统电加热提升 2.5 倍，减少控制器数量，降低低压功耗 40 瓦，提升整车续航约 15%。工作原理如图所示。



车用热泵空调工作原理图

### 3.技术功能特性及指标

(1) 实现空气、电机余热、电池蓄热、电机创热等多热源调配；

(2) 冬季制热能效值 (COP) 相较传统的电加热方式提升 2.5 倍, 功耗降低 1.5 千瓦, 整车续航提升 15%;

(3) 集成传统空调控制器和鼓风机控制器, 释放副驾脚部 Z 向空间 20 毫米, 降低功耗 40 瓦, 减重 700 克, 降低成本。

#### 4.应用案例

##### (1) 项目基本情况:

技术提供单位为上海汽车集团股份有限公司技术中心, 应用单位为上汽集团大乘用车公司。原纯电车制热 COP 为 1,  $-7^{\circ}\text{C}$  稳态功耗为 1.5 千瓦。

##### (2) 主要技术改造内容及实施周期:

采用一体式模块集成零件, 并通过多通阀实现模式转换, 子零件驱动上移, 并开发软件算法, 安装热泵 32000 台。实施周期 20 个月。

##### (3) 节能降碳效果及投资回收期:

改造完成后, 相同工况制热 COP 可达到 2.8, 功耗降低至 530 瓦, 按单台车年运行 120 小时, 电池成本 500 元/千瓦时计算, 年节电量 384 万千瓦时, 折合年节约标准煤 1163.5 吨, 减少二氧化碳排放 2188.8 吨。投资额为 6900 万元, 投资回收期为 0.6 年。

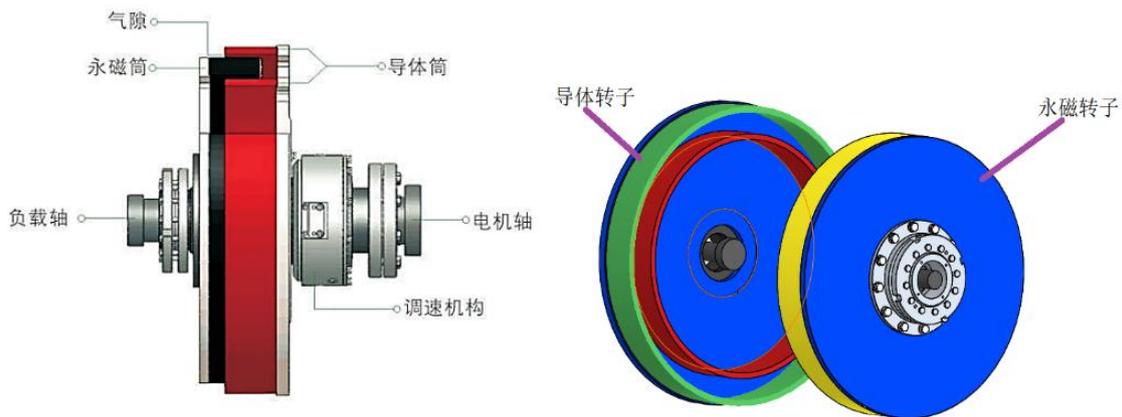
## 案例二十三：双筒型永磁调速节能技术

### 1.技术适用范围

适用于电机调速系统。

### 2.技术原理及工艺

该技术采用双筒嵌套式设计，将永磁导体转子安装于电机侧、永磁转子安装于负载侧，电机驱动导体转子旋转切割磁感线形成感应磁场，与永磁场相互作用传递转矩，通过电动执行器改变耦合面积调节输出转矩，匹配负载工艺需求实现 0~97%无级精准调速，节能率 10%~60%。技术原理如图所示。



双筒型永磁调速节能技术原理图

### 3.技术功能特性及指标

(1) 实现 0~97%无级调速，调节精度可达 1%，宽调速范围满足多种工况需求，确保设备运行稳定可控；

(2) 实现 10%~60%的宽幅节能区间，根据实际工况动态调整节能幅度，轻负载工况下节能率达 60%；

(3) 采用双筒嵌套式设计，磁场利用率较传统结构提升 30% 以上，轴端距尺寸 < 450 毫米，较同类产品缩短 20%~30%。

#### 4. 应用案例

##### (1) 项目基本情况：

技术提供单位为青岛斯普瑞能源科技有限公司，应用单位为唐山松汀钢铁有限公司。改造前应用单位采用阀门调节流量和压力，主要耗能种类为电力，年运行时间 8000 小时，设备运行功率 390.4 千瓦，年耗电量为 312.3 万千瓦时。

##### (2) 主要技术改造内容及实施周期：

采用转机调速方式，对负载的流量或压力进行控制，降低电机总输出功率。实施周期 45 天。

##### (3) 节能降碳效果及投资回收期：

改造完成后，运行功率降低至 214.7 千瓦，年耗电量降低至 140.5 万千瓦时，年节电量为 171.8 万千瓦时，折合年节约标准煤 532.6 吨，减少二氧化碳排放 979.3 吨。投资额为 59 万元，投资回收期为 6 个月。

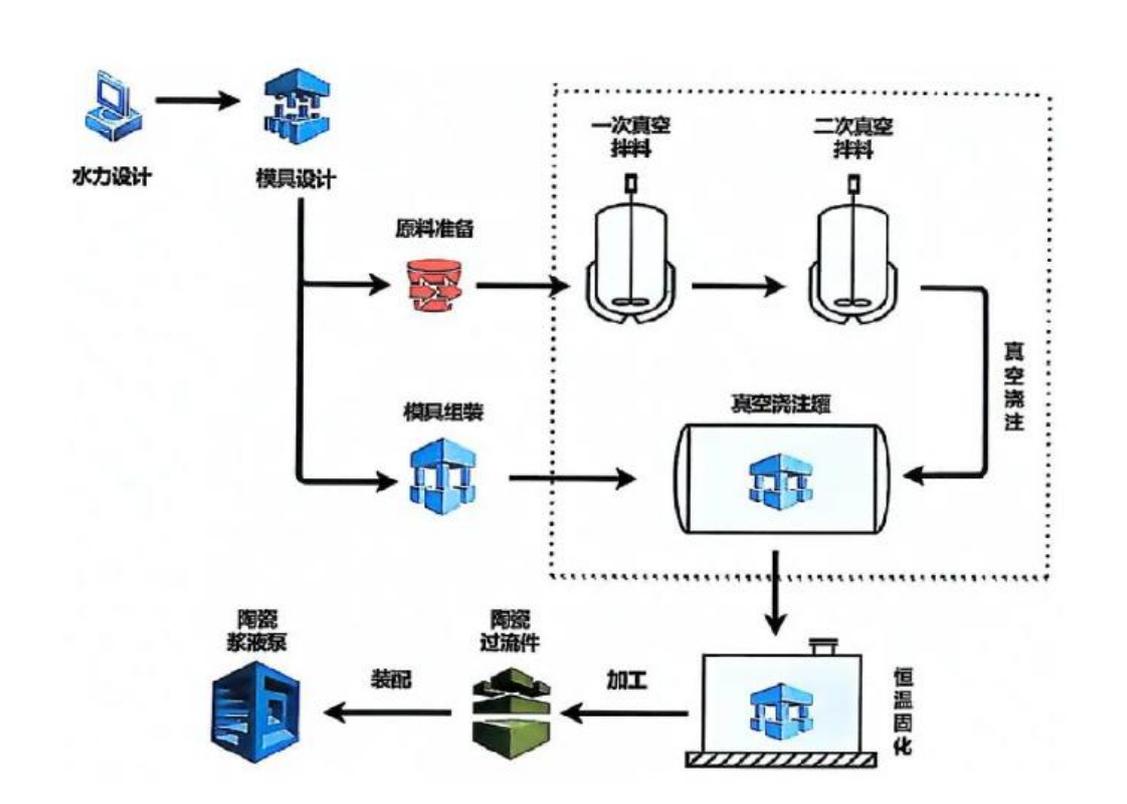
## 案例二十四：脱硫浆液循环泵耐磨材料节能技术

### 1.技术适用范围

适用于化工泵。

### 2.技术原理及工艺

该技术采用碳化硅陶瓷材料和全真空陶瓷浇注工艺，生产制造叶轮及过流部件，替代传统金属树脂砂制造，提高部件精度和使用寿命，减缓泵运行效率下降速度，增宽高效区运行面积，降低配套电机能耗，泵运行效率提高约 9%。工艺流程如图所示。



脱硫浆液循环泵耐磨材料节能技术工艺流程图

### 3.技术功能特性及指标

(1) 碳化硅复合陶瓷材料莫氏硬度 $>9.2$ ，耐受不同浓度氯

离子，耐磨耐腐寿命可提高 4 倍以上；

(2) 优化后泵效率达 93%，比原金属泵提高 9%以上，降低配套电机功率；

(3) 机械密封寿命达原金属泵 2 倍以上，轴承寿命达原金属泵的 1.5 倍以上，设备稳定性强，降低维修设备用工。

#### 4.应用案例

##### (1) 项目基本情况：

技术提供单位为石家庄科宏泵业有限公司，应用单位为国能宁夏灵武发电有限公司。应用单位原二期#4 机组脱硫一级吸收塔的 4 台浆液循环泵为 Cr30A 合金材质，4 台设备平均运行电流为 102.75 安，年运行 8000 小时。

##### (2) 主要技术改造内容及实施周期：

安装 4 台采用碳化硅复合陶瓷材料生产的陶瓷浆液泵，替代原循环泵。实施周期 21 个月。

##### (3) 节能降碳效果及投资回收期：

改造完成后，4 台泵平均运行电流降至 95.25A，单台泵每小时节约能耗 95.524 千瓦时，4 台泵年总节电量为 305.68 万千瓦时，折合年节约标准煤 946 吨，减少二氧化碳排放 1743 吨。投资额为 287.1 万元，投资回收期为 1.2 年。

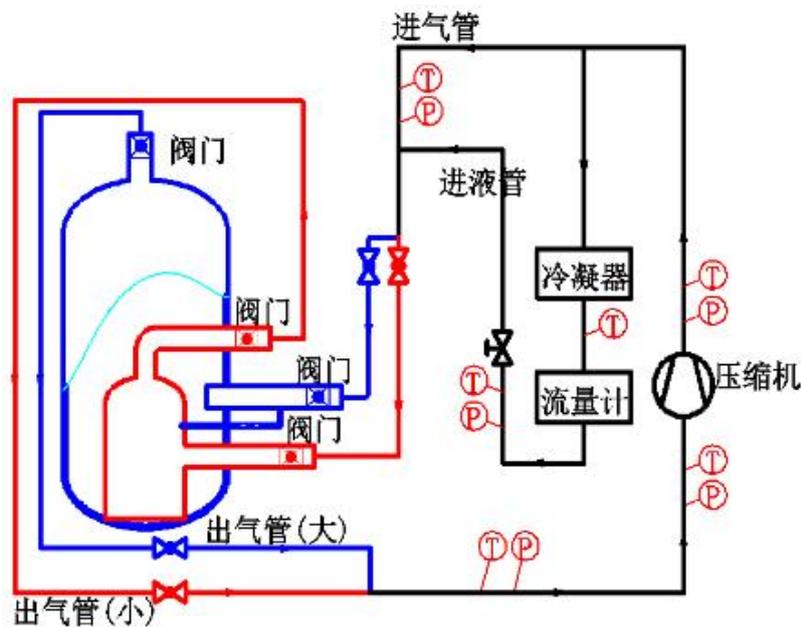
## 案例二十五：大型制冷机组环境模拟和检测技术

### 1.技术适用范围

适用于大型制冷机组及压缩机性能检测领域。

### 2.技术原理及工艺

该技术采用新型气体冷却器结构，结合过热区闭环测试、冷水机组逆温差工况调控及多灾种极端环境模拟等技术，扩充大型制冷压缩机单台试验装置最大与最小冷量倍率，使工质停留在循环系统内，避免处于气液两相状态，延长设备寿命并降低运行能耗，保障装置精准控制，大型制冷机组性能检测系统运行能耗降低可达 20%。技术原理如图所示。



大型制冷机组环境模拟和检测技术原理图

### 3.技术功能特性及指标

(1) 采用气体冷却器设备换热并联等技术，拓展单个大型

制冷压缩机组性能测试最大与最小冷量倍率达 7~10 倍；

(2) 采用大型冷水机组逆温差工况检测等技术，实现工况机组冷热量同步利用节能回收，节能率超过 20%；

(3) 采用多系统耦合恒温控制等技术，保障大型人工环境模拟装备温度控制精准，水温控制精度 $\leq 0.05\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

#### 4.应用案例

(1) 项目基本情况：

技术提供单位为合肥通用机械研究院有限公司，应用单位为上海汉钟精机股份有限公司。改造前制冷压缩机试验中心采用传统气体冷却器法进行大型制冷压缩机组产品性能试验，不同容量、工质产品需在不同台架上开展试验，主要耗能种类为电力，年耗电量为 640 万千瓦时。

(2) 主要技术改造内容及实施周期：

采用联通设计新型气体冷却器结构、过热区闭式循环构型，兼顾多种工质应用，实现多类压缩机组产品同一台位开展试验。实施周期 1 年。

(3) 节能降碳效果及投资回收期：

改造完成后，试验中心实际年运行能耗降低至 273.6 万千瓦时，折合年节约标准煤 1110 吨，减少二氧化碳排放 2090 吨。投资额为 480 万元，投资回收期为 2 年。

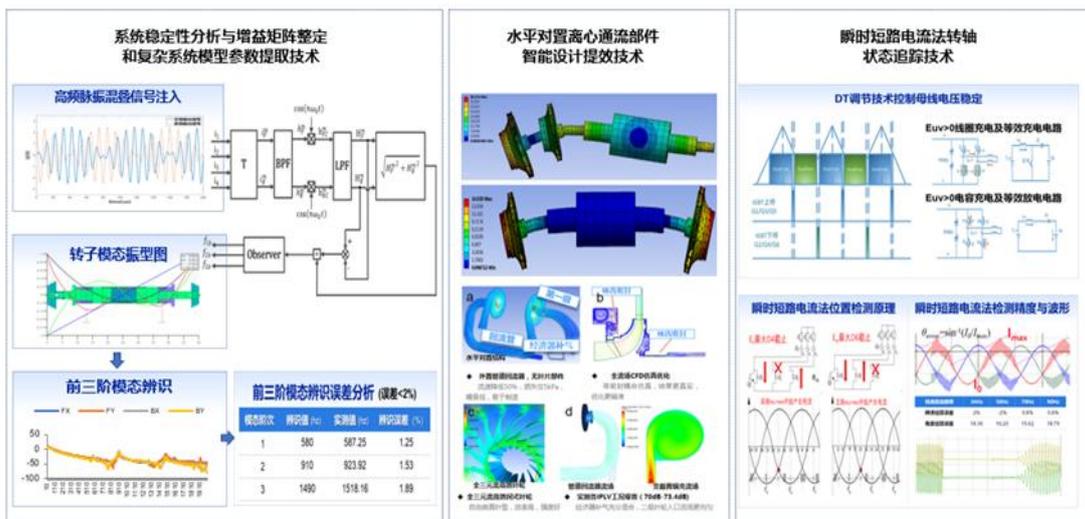
## 案例二十六：磁悬浮离心压缩机关键技术

### 1. 技术适用范围

适用于离心压缩机。

### 2. 技术原理及工艺

该技术采用基于高阶非线性矩阵逆向求解的稳定性分析方法，实现高精度磁悬浮位置控制，结合水平对置离心通流部件智能设计和优化算法，消除机械摩擦，优化气动方案，降低轴向力90%，实现全工况加权平均等熵效率提升2.3%，名义工况性能系数可达6.67。系统原理如图所示。



磁悬浮离心压缩机关键技术系统原理图

### 3. 技术功能特性及指标

(1) 转子静态悬浮精度高达 0.5 微米，高压比连续喘振 308 次稳定悬浮无故障；

(2) 名义工况下 COP 高达 6.67，全系列产品的 COP、IPLV

高于一级能效标准；

(3) 转速跟踪的误差 $\leq\pm 2\%$ ，临界角误差 $\leq 3^\circ$ ，电源异常时可实现最长发电时间达 14.42 秒，转子速度降低到 7.95 赫兹，保证轴承以下近零速软着陆。

#### 4.应用案例

##### (1) 项目基本情况：

技术提供单位为广东美的暖通设备有限公司，应用单位为深圳市地铁集团有限公司。该项目为新建项目。

##### (2) 主要技术改造内容及实施周期：

在地铁线内 21 个地铁站安装 42 台磁悬浮变频离心式冷水机组。实施周期 3 年。

##### (3) 节能降碳效果及投资回收期：

建设完成后，地铁站空调系统单站年耗电量为 42 万千瓦时，较传统地铁站空调系统单站年节电量 30 万千瓦时，21 个地铁站年节电量为 630 万千瓦时，折合年节约标准煤 1909 吨，减少二氧化碳排放 3593 吨。投资额为 1 亿元，投资回收期为 11 年。

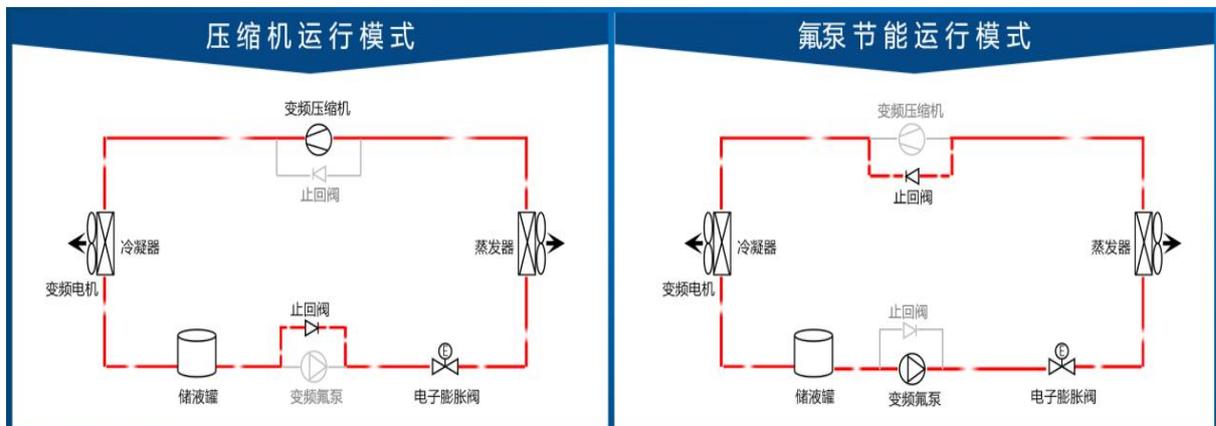
## 案例二十七：氟泵自然冷技术

### 1.技术适用范围

适用于数据中心、配电房制冷系统。

### 2.技术原理及工艺

该技术采用氟泵和压缩机协同制冷，夏季采用压缩机制冷模式，关闭氟泵，冬季或室外温度低于设定值的过渡时期，采用氟泵自然冷却模式，利用自然冷源实现 100%冷量输出，氟泵较压缩机节能约 40%，减少压缩机使用，提升机组整体运行能效，系统名义工况性能系数（COP）>3.5，全年性能系数（APF）>4.15。技术原理如图所示。



氟泵自然冷技术原理图

### 3.技术功能特性及指标

- (1) 氟泵制冷模式开启条件为室内外温差 $\geq 15^{\circ}\text{C}$ ；
- (2) 氟泵制冷功耗较压缩机制冷功耗节能率 $\geq 40\%$ ；
- (3) 氟泵制冷能力输出频率范围为 0~50 赫兹。

#### 4.应用案例

##### (1) 项目基本情况：

技术提供单位为广东欧科空调制冷有限公司，应用单位为玖龙纸业（沈阳）有限公司。改造前应用单位配电房采用普通变频直膨立柜式空调机组，主要耗能种类为电力，年耗电量为 112128 千瓦时，机组全年综合能效（AEER）为 3.5。

##### (2) 主要技术改造内容及实施周期：

安装氟泵自然冷变频直膨立柜式空调机组代替原机组。实施周期 2 个月。

##### (3) 节能降碳效果及投资回收期：

改造完成后，年耗电量为 65700 千瓦时，机组全年综合能效（AEER）为 6.0，年节电量为 46428 千瓦时，折合年节约标准煤 14.1 吨，减少二氧化碳排放 26.5 吨。投资额为 6 万元，投资回收期为 2 年。

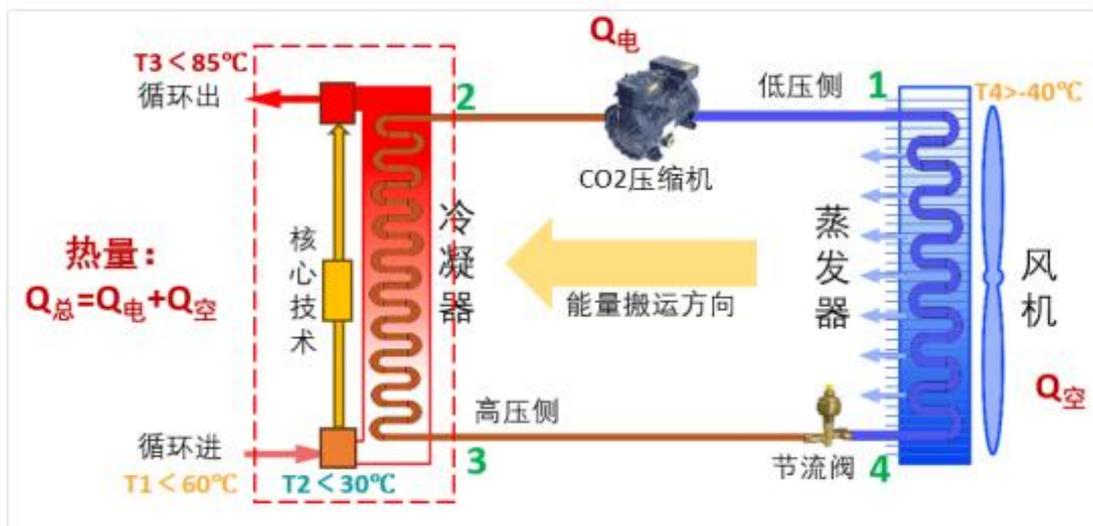
## 案例二十八：跨临界二氧化碳热泵的并行复合循环关键技术

### 1.技术适用范围

适用于热泵供热领域。

### 2.技术原理及工艺

该技术采用压缩机将二氧化碳压缩为超临界高温高压气体，与被加热介质在换热器中热交换后冷却为高压液体，通过节流阀降压为低温低压两相流体，流体进入蒸发器从低温热源吸热蒸发再次变为气体，完成一个循环。不同温区系统与换热器匹配负荷，动态分配流量，提高高温段散热效率，相比传统二氧化碳系统能效比提高 30%~50%。系统原理如图所示。



跨临界二氧化碳热泵的并行复合循环关键技术系统原理图

### 3.技术功能特性及指标

(1) 优化换热器设计和管路连接，回收中高温水余热并与

超高温水混合，根据负荷动态调节循环运行状态，保障不同工况高效运转，运行效率提升 20%以上；

(2) 实时控制机组最优排气压力，实现压力、温度等关键参数自适应控制，提升除霜效率与机组寿命。

#### 4.应用案例

##### (1) 项目基本情况：

技术提供单位为宁波美科二氧化碳热泵技术有限公司，应用单位为新疆吐哈石油勘探开发有限公司。改造前油田工区 4 个阀组间的稀油加油采用电磁加热设备，主要耗能种类为电力，年耗电为 202.3 万千瓦时。

##### (2) 主要技术改造内容及实施周期：

安装 1 套二氧化碳空气源热泵撬模块+储热换热撬模块，替代原有电磁加热设备。实施周期 2 个月。

##### (3) 节能降碳效果及投资回收期：

改造完成后，年耗电量降低至 74.5 万千瓦时，年节电量为 127.8 万千瓦时，折合年节约标准煤 387 吨，减少二氧化碳排放 729 吨。投资额为 239.8 万元，投资回收期为 2.8 年。

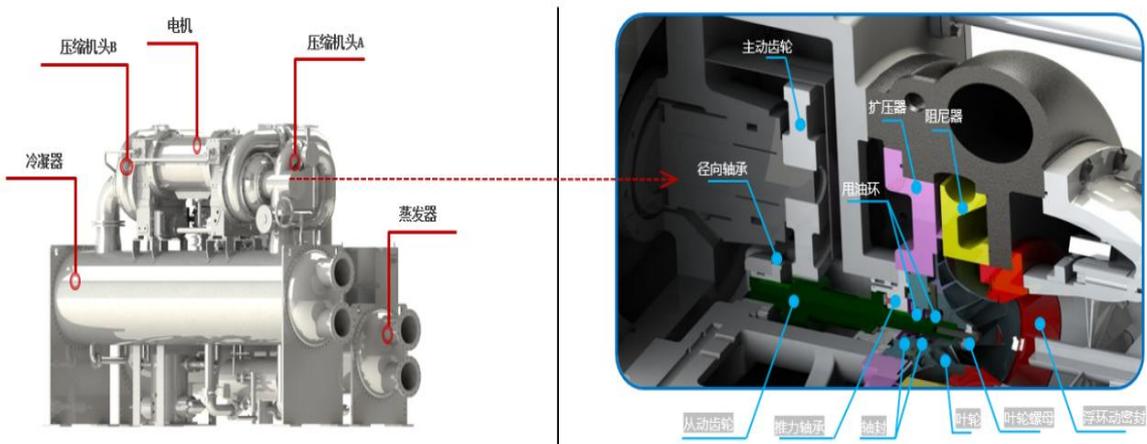
## 案例二十九：大压比离心热泵

### 1.技术适用范围

适用于高温热泵系统。

### 2.技术原理及工艺

该技术采用同一电机的高低压压缩机机头进行增压，使启动和运行达到最佳配比。低温低压制冷剂气体通过高速旋转的三元流叶轮施加离心力后，变为高速冷媒气体，再通过扩压器将动能转化为静压能，经高效电机的低压与高压两级压缩机机头逐级增压，扩大压差范围，最高压比可达 15.0，最大冷热水温差可达 85℃，压缩机效率达 90%。系统结构如图所示。



大压比离心热泵系统结构图

### 3.技术功能特性及指标

(1) 采用双轴伸多级设计，合理分配压比，最高压比可达 15.0，最大冷热水温差为 85℃；

(2) 采用高效三元流叶轮，提高气体压缩效率，同时采用

专利浮动密封设计，降低气体漏气率，压缩机效率达 90%以上；

(3) 高低压压缩机机头共用一个高效电机，实现电机最大利用，达到启动和运行最佳配比。

#### 4.应用案例

##### (1) 项目基本情况：

技术提供单位为青岛北冰洋冷暖能源科技有限公司，应用单位为甘肃某矿区。改造前矿区采用锅炉提供高温热水，主要耗能种类为天然气，年消耗天然气 136.12 万立方米。

##### (2) 主要技术改造内容及实施周期：

安装一套大压比热泵系统，拆除原有锅炉系统，增加大压比离心式热泵机组、闪蒸发生系统、抽空维持系统、泵组及相关的调节阀门等。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，系统采用清洁电能提供低压蒸汽，年耗电量为 264 万千瓦时，折合年节约标准煤 1011.4 吨，减少二氧化碳排放 2690.3 吨。投资额为 420 万元，投资回收期为 1 年。

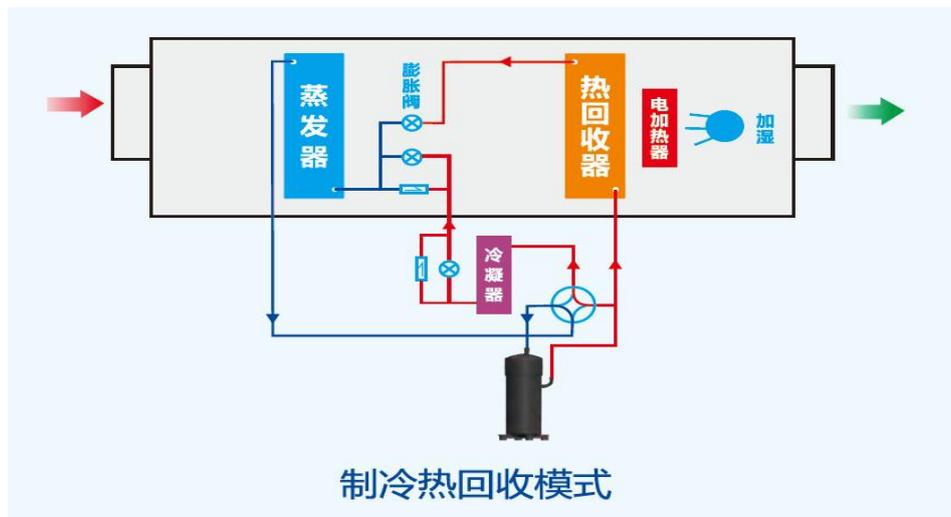
## 案例三十：三管制冷凝热回收技术

### 1.技术适用范围

适用于直膨式空调机组系统。

### 2.技术原理及工艺

该技术采用高压侧三管结构与阀门控制，在直膨机供液管和回气管两管结构上再增加一根高压侧热回收管，制冷剂在制冷循环中优先将冷凝热传递给需加热的介质（如空气），再通过常规冷凝器处理剩余热量，替代直膨机原电加热环节，整机耗电量减少约 50%。技术原理如图所示。



三管制冷凝热回收技术原理图

### 3.技术功能特性及指标

(1) 三管制冷凝热回收直膨式空调机组相较于传统直膨机压缩机性能系数 (COP) 提高 10%;

(2) 利用室外机废热替代电再热，整机总输入功率节能率可达 50%以上。

#### 4.应用案例

##### (1) 项目基本情况：

技术提供单位为广东欧科空调制冷有限公司，应用单位为山东中润达环境工程有限公司。该项目为新建项目。

##### (2) 主要技术改造内容及实施周期：

安装恒温恒湿空调机组，利用三管制冷凝热回收技术实现室外机废热回收。实施周期 15 天。

##### (3) 节能降碳效果及投资回收期：

改造完成后，年节电量约 57600 千瓦时，折合年节约标准煤 17.5 吨，减少二氧化碳排放 32.8 吨。投资额为 150 万元，投资回收期为 1 年。

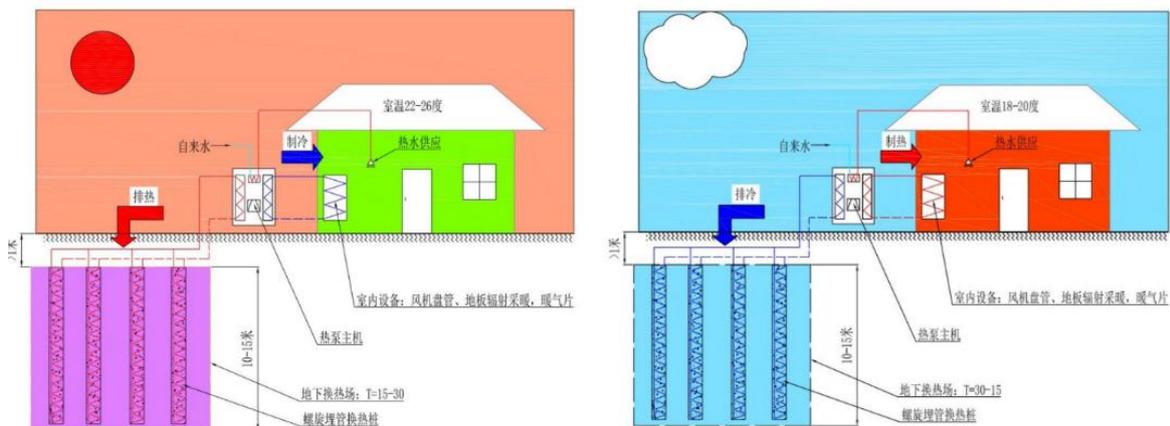
## 案例三十一：螺旋埋管地源热泵系统

### 1.技术适用范围

适用于工业用热领域。

### 2.技术原理及工艺

该技术采用埋设于地下的螺旋状结构换热管吸收土壤低品位热，通过热泵机组循环将低品位热转化为 80~120℃ 的高品位热，可替代燃气锅炉和电锅炉供应工业用热，一次能源利用率可达 1.5，螺旋管埋管深度为 10~30 米，降低传统 U 形管地源热泵系统打井成本。技术原理如图所示。



螺旋埋管地源热泵系统技术原理图

### 3.技术功能特性及指标

(1) 螺旋埋管入地深度 10~30 米，降低传统 U 形管地源热泵打井成本；

(2) 工业高温热泵在提供 80℃ 热水时 COP 可达 3.0~4.0。

(3) 地源热泵一次能源利用率可达 1.5 以上。

#### 4.应用案例

##### (1) 项目基本情况：

技术提供单位为湖南百润绿色能源技术有限公司，应用单位为贵州钢绳股份有限公司。改造前采用燃气锅炉供热，对生产中所需液体进行加热升温，年耗能量为 1.3 万吨标准煤。

##### (2) 主要技术改造内容及实施周期：

利用厂房桩基建设地下换热场（厂区建筑桩埋管数量为 1772 根），与热泵机组形成热源系统替代原燃气锅炉供热。实施周期 1 年。

##### (3) 节能降碳效果及投资回收期：

改造完成后，年节约天然气 176 万立方米，折合年节约标准煤 2336.8 吨，减少二氧化碳排放 3645.4 吨。投资额为 3000 万元，投资回收期为 4 年。

## （五）建材行业节能降碳技术

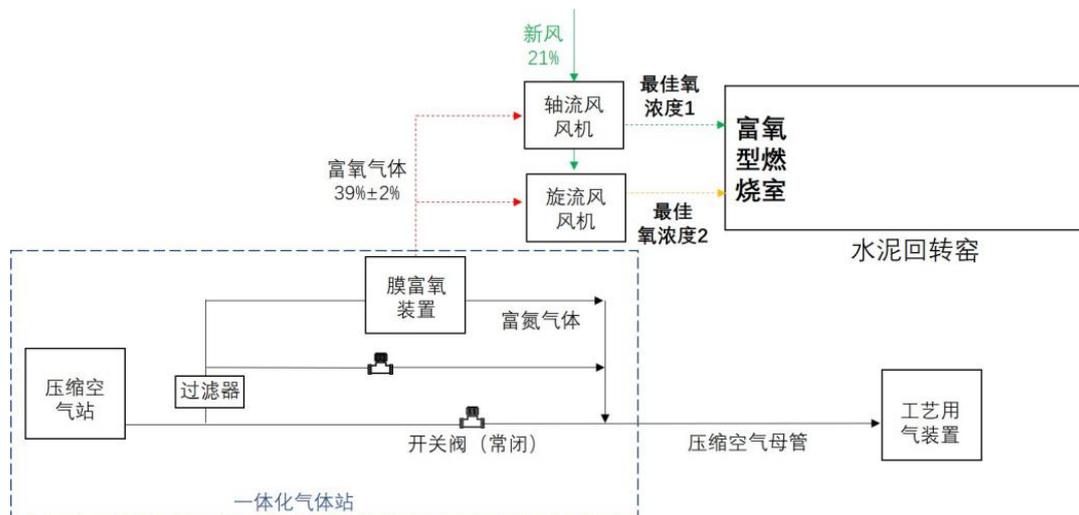
### 案例一：水泥富氧煅烧系统节能技术

#### 1.技术适用范围

适用于水泥行业煅烧系统。

#### 2.技术原理及工艺

该技术采用气体膜分离技术，结合膜富氧撬装模块和智能调控系统等，将压缩空气分离出富氧气（浓度  $39\% \pm 2\%$ ）和富氮气，富氧气经调压后与新风按最佳比例混合，形成旋流/轴流风通入炉内提升氧浓度，富氮气通过溢流阀自动回流至压缩空气管网循环利用，不增加制氧设备即可提高燃烧区氧浓度，提高燃烧效率，减少燃煤消耗量，吨熟料能耗降低约 4%，产量提高 5%~12%。系统流程如图所示。



水泥富氧煅烧系统节能技术系统流程图

#### 3.技术功能特性及指标

（1）利用不同气体组分在膜材料中的渗透速率差异，实现

富氧浓度达 39%±2%;

(2) 采用一级能效空压站技术,降低压缩空气产气能耗,实现制氧综合电耗为 0.11~0.12 千瓦时/立方米;

(3) 通过富氧专用燃烧器以及智能化控制,将富氧产生的高温火焰集中在煅烧带,提高煅烧温度,实现提产 5%,煤耗下降 4%。

#### 4.应用案例

##### (1) 项目基本情况:

技术提供单位为杭州哲达科技股份有限公司,应用单位为大连天瑞水泥有限公司。应用单位有 3 条水泥生产线,改造前平均产量为 6373.5 吨/天,年生产 250 天,吨熟料平均能耗为 103.63 千克标准煤。

##### (2) 主要技术改造内容及实施周期:

配置 3 台离心空压机,空压站改造后总供气量为 330 标立方米/分钟,总管压力为 0.8 兆帕,并将现有燃烧器更换为高风压富氧燃烧器,轴流风和旋流风采用 2 台风机分别供风。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,平均产量为 6941.4 吨/天,吨熟料平均能耗降低至 99.38 千克标准煤,折合年节约标准煤 7375 吨,减少二氧化碳排放 1.96 万吨。投资额为 2800 万元,投资回收期为 4 年。

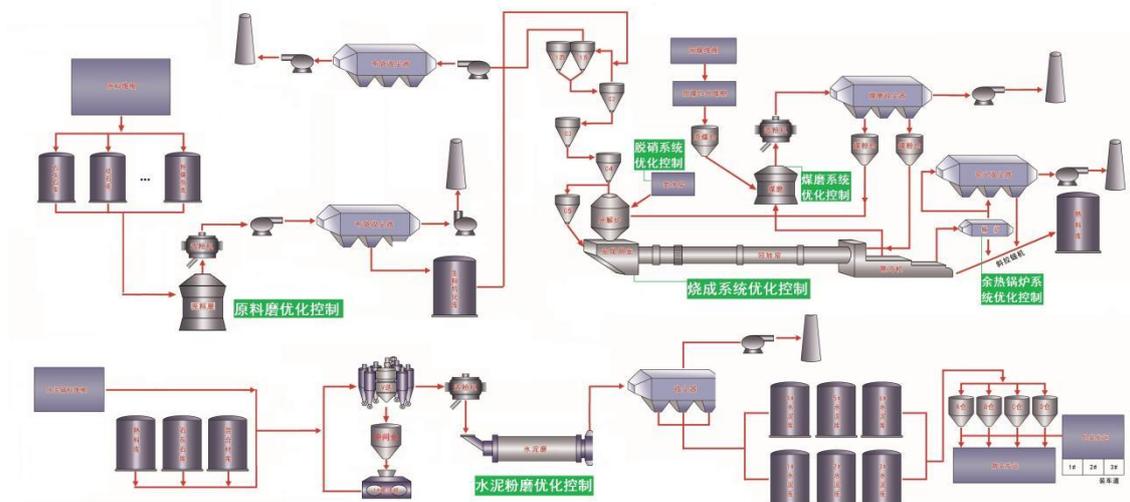
## 案例二：水泥生产线全工况智能优化控制技术

### 1.技术适用范围

适用于水泥行业生产线智能控制系统。

### 2.技术原理及工艺

该技术采用机器学习+神经网络算法，构建智能控制系统，采集并分析水泥生产历史数据，针对生产过程多重非规律特性，形成最优控制闭环响应方案及工艺推荐参数，自动优化调整核心装置及工艺参数，实现水泥生产过程自动运行，减少人工操作，自控率超 90%，吨水泥熟料耗煤量降低 1%~2%，吨水泥工序耗电量降低 2%。工艺流程如图所示。



水泥生产线全工况智能优化控制技术工艺流程图

### 3.技术功能特性及指标

(1) 实现水泥生产线窑系统、磨系统全自动运行，提高安全生产水平，自控率大于 90%；

(2) 实现窑、磨系统长期平稳运行，提高水泥生产线效率，

吨水泥熟料煤耗降低 $\geq 1\%$ ;

(3) 实现水泥粉磨长期在最佳工况平稳运行，提高产量，吨水泥工序电耗降低 $\geq 2\%$ 。

#### 4.应用案例

##### (1) 项目基本情况：

技术提供单位为北京和隆优化科技股份有限公司，应用单位为河北金隅鼎鑫水泥有限责任公司。改造前，应用单位日平均产量为 4250 吨，年运行 330 天，平均吨熟料煤耗约 106.97 千克标准煤。

##### (2) 主要技术改造内容及实施周期：

增设生料分析仪、煤制分析、熟料质量与系统的在线接口，全面整合对接分布式控制系统、能源管理系统、设备在线监测系统、质检数据等生产数据。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，吨熟料煤耗降低至 105.41 千克标准煤，折合年节约标准煤 2188 吨，减少二氧化碳排放 5820 吨。投资额为 170 万元，投资回收期为 9 个月。

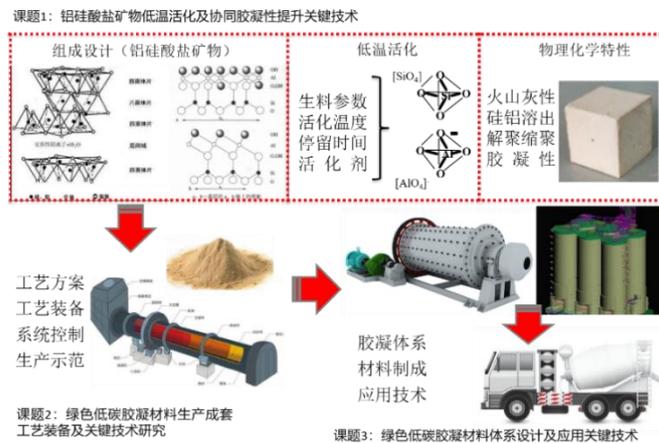
### 案例三：水泥用活化铝硅酸盐胶凝材料制备关键技术

#### 1.技术适用范围

适用于水泥行业活化铝硅酸盐胶凝材料制备领域。

#### 2.技术原理及工艺

该技术采用回转煅烧与原水泥产线耦合工艺，利用水泥窑炉余热及三次热风低温（800℃左右）将高岭土煅烧为无定型活性偏高岭土，制备水泥用活化铝硅酸盐胶凝材料，可替代30%水泥熟料生产水泥，不增加废气处理系统，煅烧工艺相比1450℃水泥熟料高温工艺能耗降低35%，碳排放降低40%。技术路线如图所示。



水泥用活化铝硅酸盐胶凝材料制备关键技术路线图

#### 3.技术功能特性及指标

(1) 采用 750~800℃低温活化工艺，相比 1450℃熟料高温工艺能耗降低 35%；

(2) 通过燃料替代与能源循环技术深度融合，构建燃料替代率达 100%的低碳煅烧装备群，煅烧热耗降低 35%。

#### 4.应用案例

##### (1) 项目基本情况：

技术提供单位为中材建设有限公司，应用单位为瑞士豪瑞公司。该项目为新建项目，设计粘土生产能力 360 吨/天，年运行 330 天。

##### (2) 主要技术改造内容及实施周期：

新建包括粘土破碎、烘干、煅烧、冷却、最终粉磨、储存的生产系统，生产的煅烧粘土成品可运输至现有熟料线，与熟料混合制成 LC3 水泥。实施周期 2 年。

##### (3) 节能降碳效果及投资回收期：

建设完成后，系统热耗降低至 440 kcal/kg.cc，较传统系统热耗降低 280 kcal/kg.cc，折合年节约标准煤 4752 吨，减少二氧化碳排放 12640 吨。投资额为 1820 万元，投资回收期为 1.2 年。

## （六）轻工、电子及纺织行业节能降碳技术

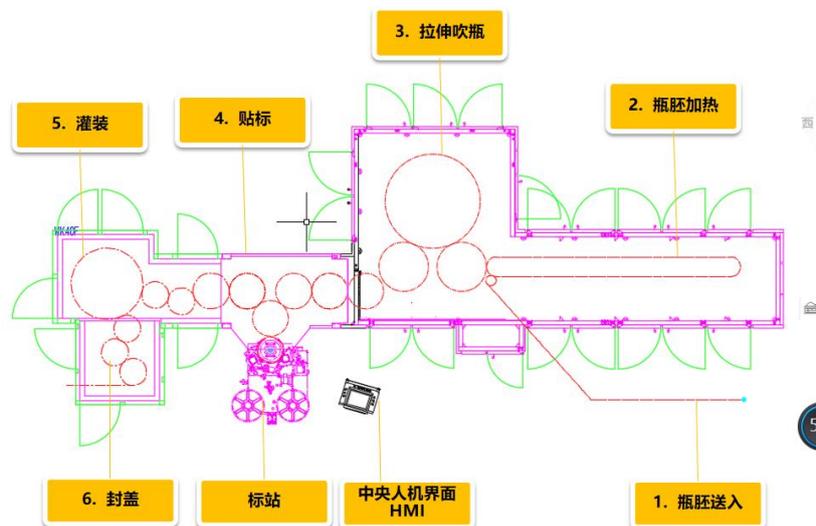
### 案例一：吹贴灌旋一体化集成技术

#### 1.技术适用范围

适用于日化行业包装瓶生产领域。

#### 2.技术原理及工艺

该技术将吹瓶单元、贴标单元、灌装单元和封盖单元等设备集成为一体，结合视觉检测和剔除系统，自动检测吹瓶、贴标质量，当瓶坯或吹瓶出现异常时贴标机自动停止供标及抹胶，在线剔除不合格产品。减少吹干机使用及设备能耗，提升整机效率至95%，节省高压气40%~55%，耗电量减少25%~35%。工艺流程如图所示。



吹贴灌旋一体化集成技术工艺流程图

#### 3.技术功能特性及指标

- (1) 采用二次回收吹瓶工艺，节省高压气40%~55%；
- (2) 采用一体化集成技术，省去贴标机前端无压力输送、

瓶身风干系统等设备，耗电量减少 25%~35%；

(3) 在吹贴灌旋一体机中运用智能化管理系统，配备视觉检测和剔除系统，整机效率 $\geq 95\%$ 。

#### 4.应用案例

##### (1) 项目基本情况：

技术提供单位为广州达意隆包装机械股份有限公司，应用单位为苏尔科技有限责任公司。应用单位原车间采用“吹灌旋一体机+贴标机”组合工艺，通过输送链连接设备并配备吹干机，主要耗能种类为电力，产能为 72000 瓶/小时，年运行 5000 小时，设备年耗电量为 183.63 万千瓦时。

##### (2) 主要技术改造内容及实施周期：

拆除原有吹灌旋一体机与贴标机间输送链及贴标机前端 3 台瓶身吹干机，新增吹贴灌旋一体机设备及智能软件系统。实施周期 14 个月。

##### (3) 节能降碳效果及投资回收期：

改造完成后，单台设备年耗电量降低至 150 万千瓦时，年节电量为 33.63 万千瓦时，折合年节约标准煤 102 吨，减少二氧化碳排放 192 吨。投资额为 2600 万元，投资回收期为 11 年。

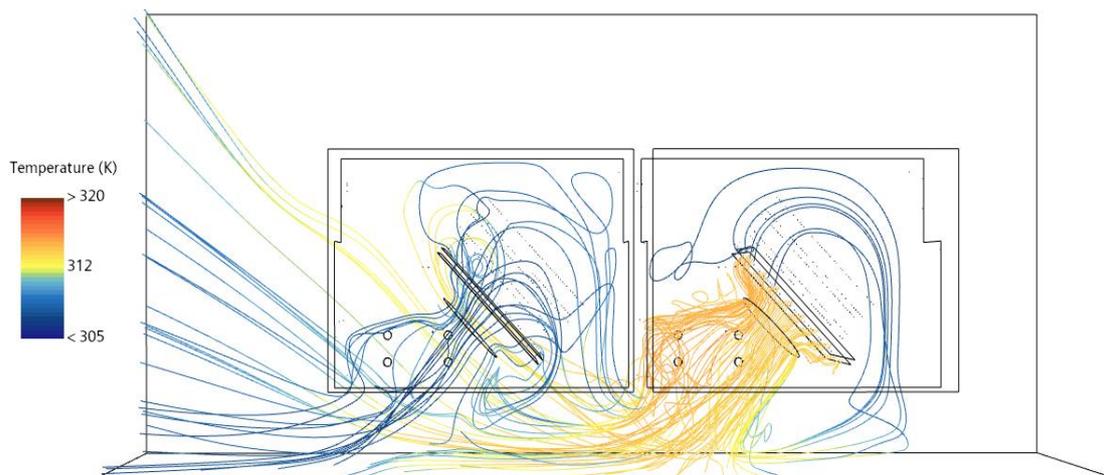
## 案例二：展示冷柜节能减碳技术

### 1.技术适用范围

适用于小型制冷设备。

### 2.技术原理及工艺

该技术优化冷凝机舱风道结构，将冷凝器以  $45^\circ$  倾斜布置，在侧面增加导流板，形成下斜进上斜出结构，使右侧展示柜出口气流在远离左侧展示柜的进风区域流动，降低进风阻力，改善热风混合问题，优化机组进风条件，实现展示冷柜制冷能效提升 16%。结构流线如图所示。



展示冷柜节能减碳技术结构流线图

### 3.技术功能特性及指标

(1) 与传统冷凝机舱相比，提高机舱散热效率，排气温度降低 20.8%；

(2) 将相关元器件倾斜放置，减少冷凝机舱所占面积 13%；

(3) 强化冷凝机舱换热效果，系统能效提升 16.3%。

#### 4.应用案例

##### (1) 项目基本情况：

技术提供单位为青岛澳柯玛智慧冷链有限公司，应用单位为农夫山泉股份有限公司。该项目为新建项目。

##### (2) 主要技术改造内容及实施周期：

应用负压区偏移旁通防混风降阻技术，对冷凝机舱的风道结构进行优化，将冷凝器以 45° 倾斜布置，并在冷凝器侧面增加导流板。实施周期 1 年。

##### (3) 节能降碳效果及投资回收期：

改造完成后，生产产品约 30000 台，年节电量为 536.55 万千瓦时，折合年节约标准煤 1626 吨，减少二氧化碳排放 3060 吨。投资额为 1500 万元，投资回收期为 0.87 年。

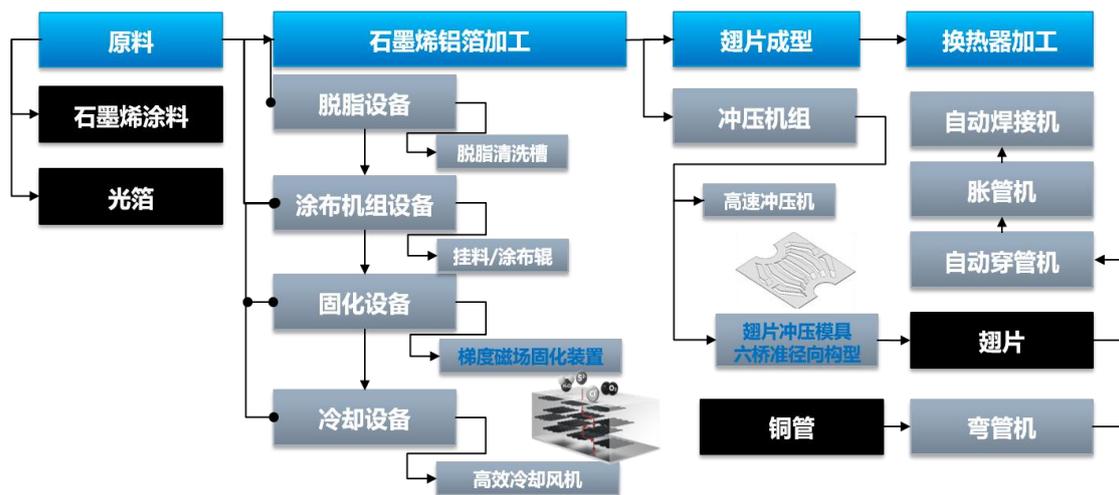
### 案例三：空调换热器用石墨烯涂层节能技术

#### 1.技术适用范围

适用于空调换热器涂层领域。

#### 2.技术原理及工艺

该技术采用石墨烯改性涂层技术和径向开缝片型换热器翅片，在换热器表面均匀涂敷石墨烯超薄涂层，改善换热器翅片热传导路径，提升换热器表面防腐能力、导热性能，增大传热系数，可实现空调运行单位温差能耗降低 23%。工艺流程如图所示。



空调换热器用石墨烯涂层节能技术工艺流程图

#### 3.技术功能特性及指标

(1) 测试温度 50℃ 条件下，石墨烯改性涂层涂覆铝箔的横向导热系数为 79.13 平方毫米/秒，纵向导热系数为 31.18 平方毫米/秒；

(2) 石墨烯改性涂层涂覆铝箔经 1500 小时中性盐雾老化测试后，铝箔腐蚀等级为 9.8；

(3) 相较于采用至臻金铝箔的批产机型，整机单位温差能耗降低 23.51%。

#### 4.应用案例

##### (1) 项目基本情况：

技术提供单位为广东美的制冷设备有限公司，应用单位为郑州拳头互联网服务有限公司。应用单位采用普通二级能耗空调共计 710 套，主要耗能种类为电力，单台空调年耗电量为 2296 千瓦时。

##### (2) 主要技术改造内容及实施周期：

安装 710 套应用石墨烯改性涂层涂覆铝箔生产的一级能效空调。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，产品初始状态制冷量提升 10%，全生命周期能效提升 42.3%，单台产品年节电量 261.99 千瓦时，折合年节约标准煤 56 吨，减少二氧化碳排放 106 吨。产品较传统空调投资额增加 52 万元，投资回收期为 8.4 年。

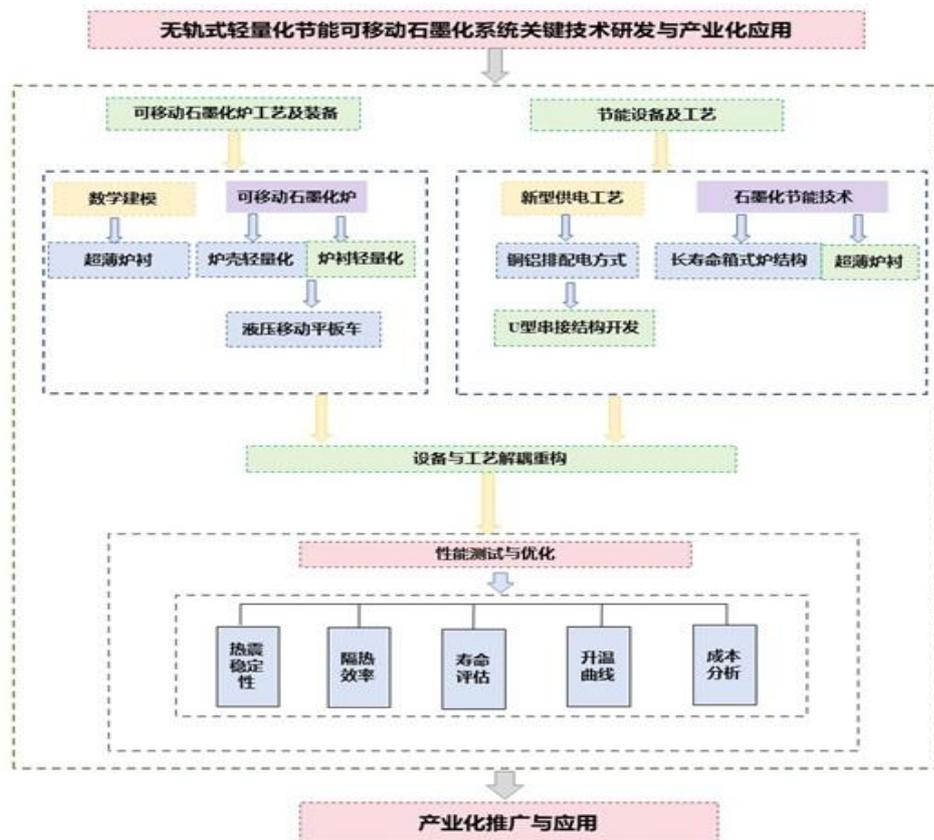
## 案例四：石墨负极材料制备炉节能技术

### 1.技术适用范围

适用于石墨及石墨化负极材料制备炉。

### 2.技术原理及工艺

该技术采用 200 毫米异型砖加空气隔热技术减少炉衬厚度，利用无轨移动自行式液压模块运输车，搭载轻量化石墨负极材料制备炉实现设备在不同工位间移动，优化移动化送电方式，降低输电损耗，减轻炉体重量约 50%，石墨化负极材料制备单耗降低 >10%，单炉生产周期缩短至 30 天。技术原理如图所示。



石墨负极材料制备炉节能技术原理图

### 3.技术功能特性及指标

(1) 炉体轻量化设计，相较于传统固定式设备炉衬厚度减小 65%以上，石墨化炉空载重量减轻 50%以上；

(2) 通过设备与工艺解耦重构，结合新式送电方式，降低输电损耗 80%以上；

(3) 智能化温控与自适应调节系统，结合余热回收技术，提升冷却效率 40%，石墨化度稳定达 94.5%以上。

### 4.应用案例

#### (1) 项目基本情况：

技术提供单位为福建科达新能源科技有限公司，应用单位为安徽科达新材料有限公司。改造前应用单位采用传统石墨化技术，生产周期为 40~60 天，单位产品能耗达 9500 千瓦时/吨。

#### (2) 主要技术改造内容及实施周期：

优化炉衬结构与送电工艺，结合无轨式轻量化设计，采用移动石墨化系统。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，节能率为 25%，每年节电量为 5800 万千瓦时，折合年节约标准煤 1.76 万吨，减少二氧化碳排放 3.3 万吨。投资额为 4 亿元，投资回收期为 4.5 年。

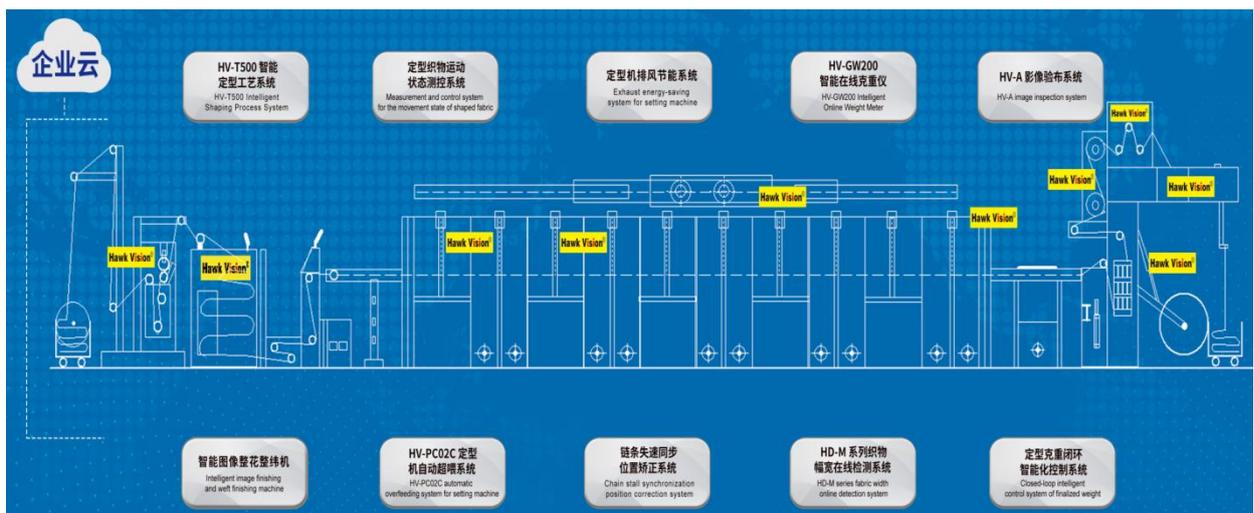
## 案例五：织物定形机数字化控制技术

### 1.技术适用范围

适用于纺织印染行业织物定形领域。

### 2.技术原理及工艺

该技术在原有装备工艺控制基础上构建印染人工智能大模型，控制织物进布状态、烘房内布面温度、定形时间以及织物克重、门幅等关键质量指标，实现织物定形全过程实时感知、智能判断与动态调节，定形一次成功率提高约 15%，降低织物反复定形的工艺能耗，综合节能率约 12%。工艺流程如图所示。



织物定形机数字化控制技术工艺流程图

### 3.技术功能特性及指标

(1) 织物克重可在线检测，门幅范围 1.8~3.4 米，车速 0~150 米/分钟，克重检测精度 $\leq\pm 3$  克；

(2) 采用织物密度检测和自动超喂控制功能，检测精度 $\leq 0.1$  线圈（根），控制精度 $\leq 0.25\%$ ；

(3) 采用织物纬弯纬斜、花形变形检测和矫正功能，检测厚度 $\leq 2$ 毫米，矫正精度 $\leq 1.0$ 厘米/米。

#### 4.应用案例

##### (1) 项目基本情况：

技术提供单位为常州宏大智慧科技有限公司，应用单位为浙江迎丰科技股份有限公司。应用单位采用传统定形机，生产万米布消耗蒸汽 6 吨、天然气 375 立方米、电力 370 千瓦时，年产能为 5 亿米布。

##### (2) 主要技术改造内容及实施周期：

安装 33 台织物定形机。实施周期 15 天。

##### (3) 节能降碳效果及投资回收期：

改造完成后，万米布生产消耗降低至蒸汽 5 吨、天然气 330 立方米、电力 330 千瓦时，折合年节约标准煤 2049.2 吨，减少二氧化碳排放 5450 吨。投资额为 500 万元，投资回收期为 1 年。

## (七) 余热余压及系统能量梯级利用技术

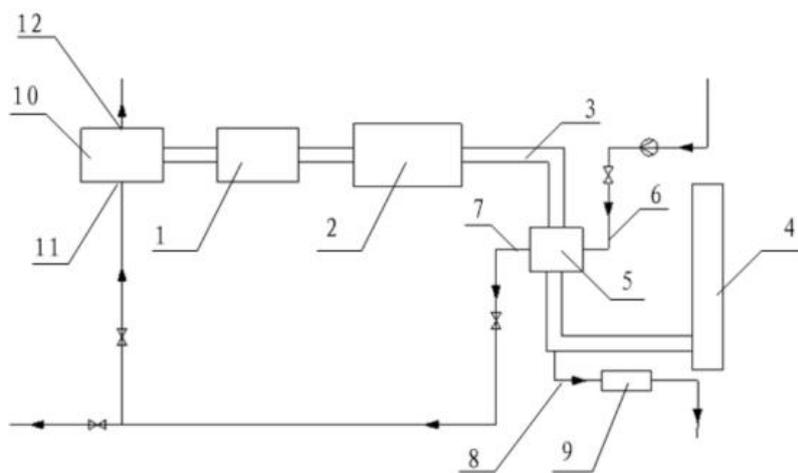
### 案例一：烟气冷凝余热深度利用技术

#### 1. 技术适用范围

适用于烟气余热回收利用领域。

#### 2. 技术原理及工艺

该技术采用烟气冷凝条件下防腐、强化传热传质及流动减阻降噪技术，利用低温水吸收加热炉高温排烟余热，回收排烟显热和水蒸气凝结潜热，降低加热炉排烟温度和生产能耗，提高加热炉燃料利用效率 10%，减少二氧化碳等污染物排放。工艺流程如图所示。



1——鼓风机；2——加热炉；3——排烟道；4——烟囱；5——烟气余热回收装置；

6——流入管；7——流出管；8——冷凝水排出管路；9——水处理装置；

10——气体预热装置；11——换热箱流入口；12——换热箱流出。

烟气冷凝余热深度利用技术工艺流程图

#### 3. 技术功能特性及指标

(1) 利用低温水吸收高温烟气余热，排烟温度降至 40℃ 以

下，单位容量锅炉每天回收烟气冷凝水 1~1.7 吨；

(2) 加热炉效率可达到 100%以上，燃料利用效率提高 5%~16%。

#### 4.应用案例

##### (1) 项目基本情况：

技术提供单位为山东京博石油化工有限公司，应用单位为山东京博石油化工有限公司。改造前应用单位烷烃脱氢炉产生的烟气直接排向大气，排烟温度为 180℃，烟气余热未回收利用。

##### (2) 主要技术改造内容及实施周期：

在排烟道上安装烟气余热回收装置，包括流入管、流出管和流体介质等。实施周期 2 年。

##### (3) 节能降碳效果及投资回收期：

改造完成后，烟气温度降至 70℃，回收烟气余热 2600 千瓦，每年可节约燃料气 312 万标立方米，折合年节约标准煤 4150 吨，减少二氧化碳排放 1 万吨。投资额为 600 万元，投资回收期为 8 个月。

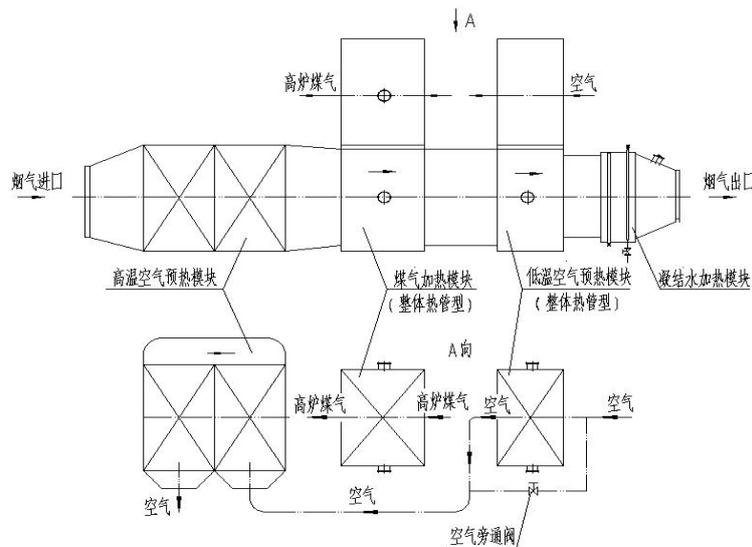
## 案例二：高炉煤气锅炉低温换热岛技术

### 1.技术适用范围

适用于高炉煤气锅炉余热回收利用领域。

### 2.技术原理及工艺

该技术采用新型热管高效传热与柔性金属搪瓷防腐技术，依据不同温区及冷媒介质特性，针对性设计换热模块，通过多种冷媒介质灵活协同及自主调节式换热，实现烟气余热分级回收利用，降低锅炉排烟温度至 100℃ 以下，减少燃料消耗，提高锅炉整体热效率至 94%。设备结构如图所示。



高炉煤气锅炉低温换热岛设备结构图

### 3.技术功能特性及指标

通过冷媒灵活协同及自主调节换热，实现高炉煤气锅炉排烟温度 $\leq 100^{\circ}\text{C}$ 。

### 4.应用案例

#### (1) 项目基本情况：

技术提供单位为南京圣诺热管有限公司，应用单位为日照旭日发电有限公司。应用单位原有 135 兆瓦煤气发电机组，高炉煤气直接排放，余热未回收利用。

(2) 主要技术改造内容及实施周期：

在高炉煤气锅炉烟气低温部位增设分体式热管换热模块+径向热管换热模块组合结构的III型低温换热岛。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，排烟温度为 93.1℃，每小时回收利用余热折合标准煤 2.87 吨，折合年节约标准煤 2.3 万吨，减少二氧化碳排放 6.1 万吨。投资额为 2010 万元，投资回收期为 1.22 年。

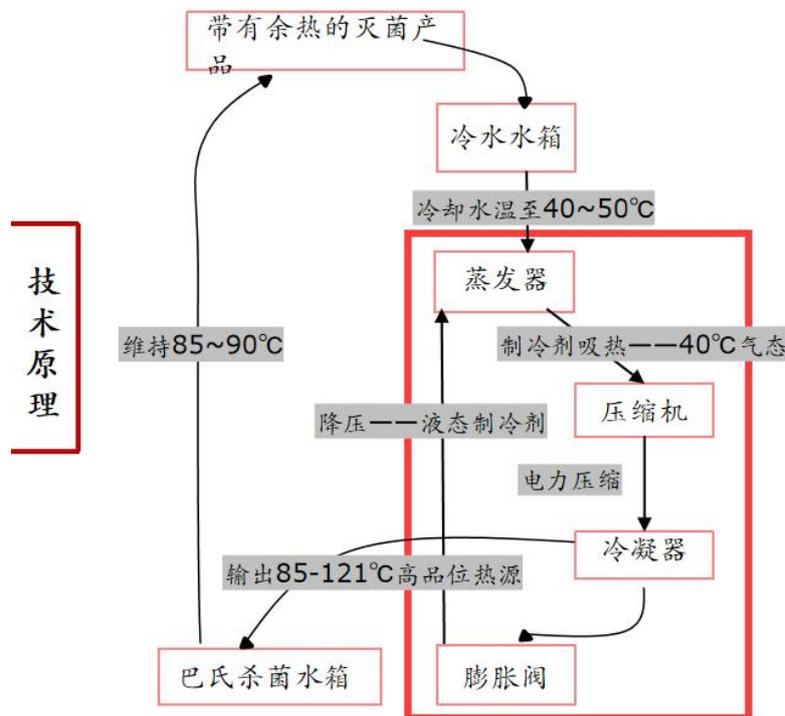
### 案例三：基于高温热泵系统的巴氏消毒余热回收技术

#### 1. 技术适用范围

适用于巴氏消毒或冷热联供领域。

#### 2. 技术原理及工艺

该技术采用高温热泵机组回收利用巴氏消毒余热，常温水吸收产品余热后输送至热泵蒸发器，蒸发器内制冷剂吸热蒸发为气态，通过压缩机提升气态品质，高品质气态制冷剂放热将工艺用水加热至 85~121 °C，满足巴氏杀菌需求温度，放热后的制冷剂再经膨胀阀降压后返回蒸发器吸收余热，往复循环，减少加热所需的蒸汽消耗和产品冷却能耗，余热回收利用率达 85%。技术原理如图所示。



基于高温热泵系统的巴氏消毒余热回收技术原理图

### 3.技术功能特性及指标

(1) 回收利用产品冷却余热作为高品位热源输出，能量回收利用率超过 85%；

(2) 精准控制温度，输出高品位热源温度为 85~121℃。

### 4.应用案例

(1) 项目基本情况：

技术提供单位为安徽焓谷工程技术有限公司，应用单位为仙乐健康科技（安徽）有限公司。改造前应用单位巴氏灭菌室采用 0.6 兆帕饱和蒸汽直喷加热，输出功率约 198.25 千瓦，后端产品冷却采用冷冻水和冷却塔备用辅助进行冷却，产品低品位废热未得到有效利用。

(2) 主要技术改造内容及实施周期：

新增水源高温蒸汽热泵，配套相应循环水管路，回收产品余热输出 85~121℃ 高品位热源代替原蒸汽加热。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，按年运行 4800 小时计算，年节约蒸汽 355.5 吨，耗电量增加 8.16 万千瓦时，综合年节约标准煤 33 吨，减少二氧化碳排放 58.5 吨。投资额为 15 万元，投资回收期为 2 年。

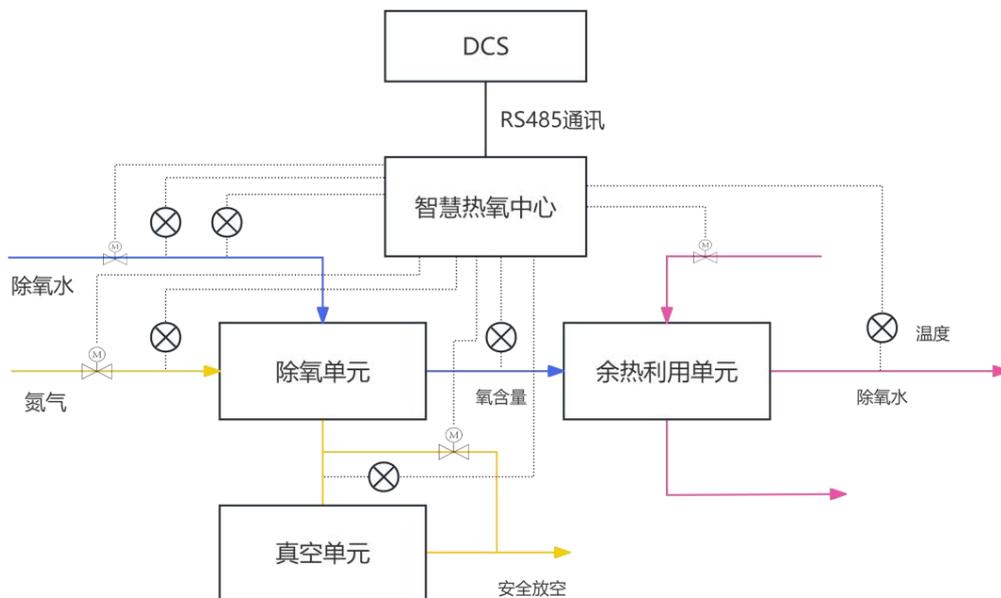
## 案例四：锅炉给水余热利用系统

### 1.技术适用范围

适用于化工行业余热回收利用领域。

### 2.技术原理及工艺

该技术集成除氧单元、余热利用单元和智慧热氧中心，采用常温除氧技术脱除锅炉给水中的溶解氧，换热机组利用工艺余热将除氧水加热到原热力除氧器出口温度并智能优化控制运行参数，取消蒸汽加热，无乏汽排放，减少能量损耗，余热利用效率高、系统运行稳定。技术原理如图所示。



锅炉给水余热利用系统技术原理图

### 3.技术功能特性及指标

(1) 除氧单元采用常温除氧技术，溶解氧指标小于 3 ug/L；

(2) 回收利用工艺余热，保证出口温度大于原热力除氧器出口水温 104℃。

#### 4.应用案例

##### (1) 项目基本情况：

技术提供单位为上海优华系统集成技术股份有限公司，应用单位为中海油气（泰州）石化有限公司。改造前应用单位采用热力除氧方式除氧，且除氧器顶部有乏汽排空，工艺余热未得到有效利用。

##### (2) 主要技术改造内容及实施周期：

新建一套锅炉给水余热高效利用系统，增设 500 立方米除氧水罐、变频除氧水泵，配套安装工艺管线，常温除氧水设计处理量为 400 吨/小时。实施周期 1 年。

##### (3) 节能降碳效果及投资回收期：

改造完成后，按年运行 8400 小时计算，年回收凝结水热量折合标准煤 4271 吨，年增加耗电量 38.22 万千瓦时，综合年节约标准煤 4155 吨，减少二氧化碳排放 10548 吨。投资额为 1200 万元，投资回收期为 1 年。

## 案例五：基于磁悬浮热泵的工业废热低碳供暖技术

### 1. 技术适用范围

适用于钢铁、化工、电力等行业余热回收利用领域。

### 2. 技术原理及工艺

该技术采用基于磁悬浮轴承压缩机的热泵机组及智能控制系统，结合波节板强化传热和跨季节储能技术，回收工业冷却水、烟气等低品位余热，夏季将工业余热储存于地下，冬季通过水循环提取储热，换热器传热系数较传统光管提升3倍，实现小温差换热，提高热利用效率，且机组无机械摩擦，能效提升约30%。技术原理如图所示。



基于磁悬浮热泵的工业废热低碳供暖技术原理图

### 3. 技术功能特性及指标

(1) 采用无油磁悬浮压缩机，减少机械摩擦损耗，综合能效（COP） $\geq 6.4$ ；

(2) 配合跨季节储能技术，储能效率 $\geq 85\%$ 。

#### 4.应用案例

##### (1) 项目基本情况：

技术提供单位为河海新能源（兰州）有限公司，应用单位为济南市章丘区刁镇清洁智慧热源厂。该项目为新建项目，回收工业废热进行供暖和气化滤饼的干燥造粒，供热能力为 1100 兆瓦。

##### (2) 主要技术改造内容及实施周期：

建设 2 台 160 吨/小时高温高压燃气锅炉和 36 台溴化锂热泵机组利用工业废热供热，并配套动力车间、热泵机房、综合水泵房、干燥车间、变电站、智慧能源中心等。实施周期 2.7 年。

##### (3) 节能降碳效果及投资回收期：

建设完成后，年供热量约 1143 万吉焦，外供气化滤饼量 17.98 万吨，折合年节约标准煤 40 万吨，减少二氧化碳排放 106 万吨。投资额为 12 亿元，投资回收期为 5 年。

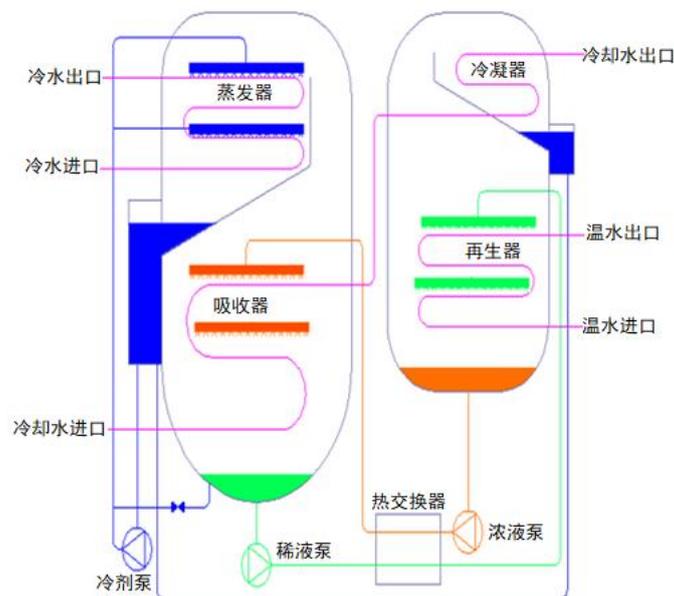
## 案例六：非静态环境余热回收型溴化锂吸收式技术

### 1.技术适用范围

适用于非静态环境余热回收利用领域。

### 2.技术原理及工艺

该技术采用溴化锂吸收式冷（温）水机组，机组蒸发器与吸收器上下布置在同一个筒体中，冷凝器与再生器上下布置在同一个筒体中，基于真空吸收式原理回收非静态环境下  $60\text{ }^{\circ}\text{C}$  以上低品位余热，提升在倾斜、摇摆、震动等非静态环境状态下机组运行效率和稳定性，实现非静态环境余热回收利用。工艺流程如图所示。



非静态环境余热回收型溴化锂吸收式技术工艺流程图

### 3.技术功能特性及指标

(1) 充分利用非静态环境下余废热资源，机组实际运行电量仅为输出冷（热）量的 1%；

(2) 机组最大倾斜和摇摆角度：机组横向倾斜 15°、纵向倾斜 5°、横向摇摆 22.5°、纵向摇摆 7.5°。

#### 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，应用单位为海英荷普曼船舶设备有限公司。改造前船舶采用电制冷螺杆式空调，由柴油发电机组供电，主要耗能种类为柴油，制冷量合计 1800 千瓦，年消耗柴油 263.73 吨。

##### (2) 主要技术改造内容及实施周期：

安装 1 台制冷量为 900 千瓦的非静态环境余热回收型溴化锂吸收式冷水机组，替换原有 2 台螺杆机组中的 1 台。实施周期 1 年。

##### (3) 节能降碳效果及投资回收期：

改造完成后，年运行 3240 小时，年耗电量降为 56.9 万千瓦时，综合年节约柴油 116 吨，折合年节约标准煤 169 吨，减少二氧化碳排放 450 吨。投资额为 94 万元，投资回收期为 1.6 年。

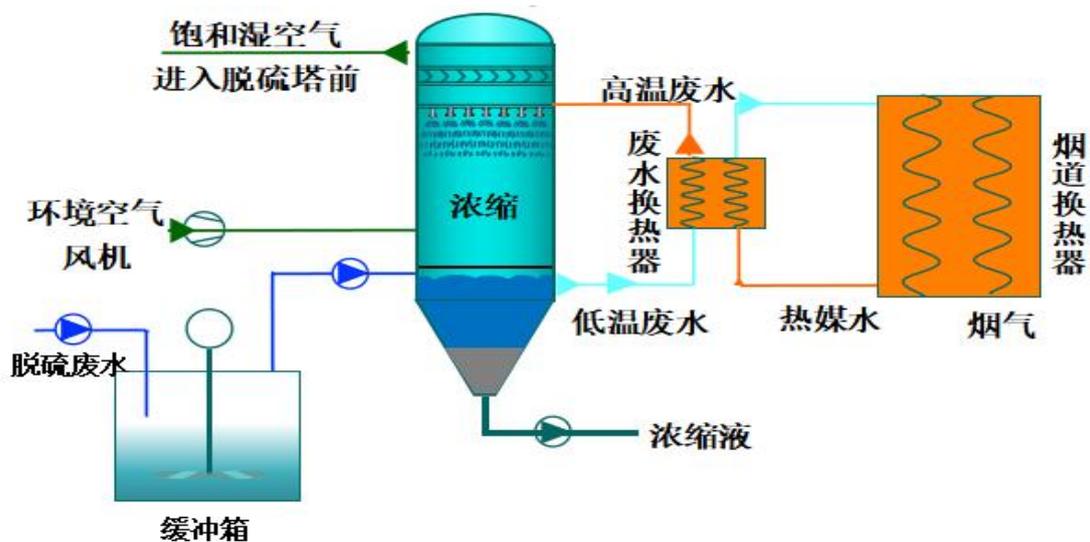
## 案例七：余热蒸发浓缩高盐废水与零排放处理一体化装备

### 1.技术适用范围

适用于高盐废水处理领域。

### 2.技术原理及工艺

该技术采用烟气余热低温蒸发浓缩和主烟道分区梯级蒸发干燥技术，以低温省煤器出口热媒水为热量载体，利用低温余热水蒸气分压力差，驱使废水中水分子向空气中迁移，控制废水浓度和温升，抑制结垢，实现烟气余热利用和高盐废水零排放。技术原理如图所示。



余热蒸发浓缩高盐废水与零排放处理一体化装备技术原理图

### 3.技术功能特性及指标

(1) 以热媒水为载体，两级间接利用低温余热，精准控制废水浓度和温升，换热效率较三效浓缩技术提升 4~8 倍；

(2) 排气温度约 70℃，无酸性物质，减少低温腐蚀。

### 4.应用案例

(1) 项目基本情况：

技术提供单位为青岛达能环保设备股份有限公司，应用单位为浙能阿克苏热电有限公司。改造前应用单位采用传统三联箱工艺处理废水，处理能力为 7~8 吨/小时，吨水电耗为 24 千瓦时，废水处理效率低，废热未充分利用。

(2) 主要技术改造内容及实施周期：

安装热媒水加热系统、脱硫废水给料系统、蒸发浓缩系统、返料系统、浓缩液输送系统、冲洗系统等。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，系统处理能力约 9.5 吨/小时，余热转化率 > 15%，吨水电耗为 21.5 千瓦时，折合年节约标准煤 63 吨，减少二氧化碳排放 120 吨。投资额为 1495 万元，投资回收期为 3 年。

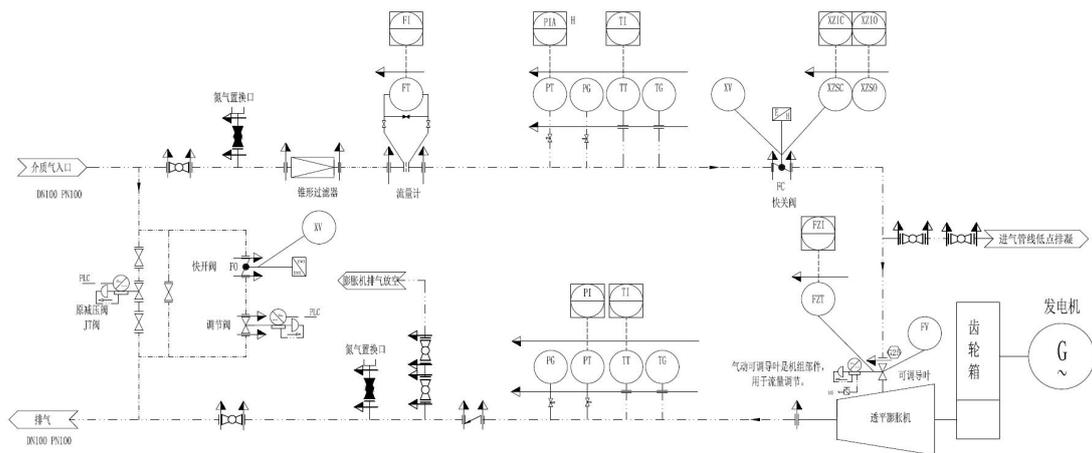
## 案例八：高压湿天然气压力能回收技术

### 1. 技术适用范围

适用于工业高压湿工艺气压力能回收利用领域。

### 2. 技术原理及工艺

该技术采用由高性能叶轮、导叶、轴密封及控制系统组成的工艺透平膨胀机组，回收高压湿天然气减压过程的直接压力能进行发电，替代原气体减压装备，控制透平两侧高压差引起的轴向力，保证轴承安全与机组稳定运行，实现高压湿天然气压力能回收利用。工艺流程如图所示。



高压湿天然气压力能回收技术工艺流程图

### 3. 技术功能特性及指标

(1) 采用高压工艺透平轴系轴向力平衡方法，透平进气压力达 13 MPa；

(2) 采用带液工艺透平高性能叶轮及导叶气动设计技术，透平入口工质允许含液率（质量分数）为 2%。

#### 4.应用案例

##### (1) 项目基本情况：

技术提供单位为中国船舶集团第七一一研究所，应用单位为中国石油工程建设有限公司西南分公司。应用单位使用 JT 阀进行湿天然气减压，主要耗能种类为电力，日处理天然气 100 万标立方米。

##### (2) 主要技术改造内容及实施周期：

部署高压湿天然气压差发电机组，与原有 JT 阀进行并联，并配套智能运维系统。实施周期 9 个月。

##### (3) 节能降碳效果及投资回收期：

改造完成后，按年运行 8000 小时计算，回收压力能发电 85 万千瓦时，减少系统综合电耗 170 万千瓦时，综合年节电量 255 万千瓦时，折合年节约标准煤 772.65 吨，减少二氧化碳排放 1454.3 吨。投资额为 290 万元，投资回收期为 1 年。

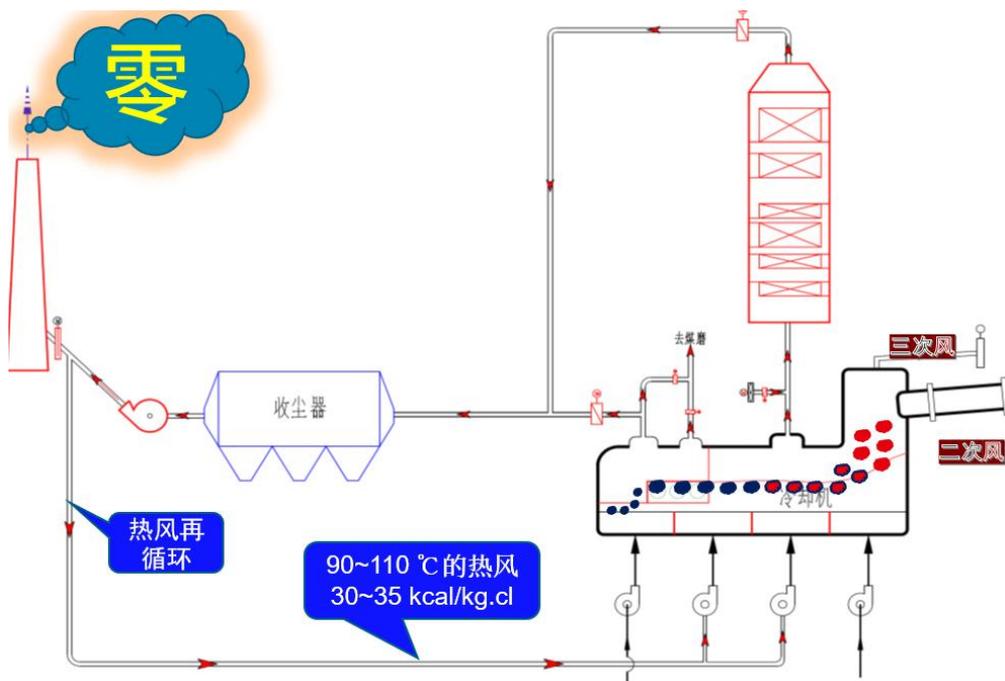
## 案例九：新一代水泥窑余热发电技术

### 1. 技术适用范围

适用于水泥行业余热回收利用领域。

### 2. 技术原理及工艺

该技术采用复合双压联合过热系统，增设窑头循环风管道，将原本从窑头排出的热烟气引至篦冷机，与熟料进行热交换，回收低品位烟气余热，提高窑头余热锅炉入口风温，同时将汽轮机高压段中膨胀的蒸汽重新引到锅炉再热器加热升温，提高再热循环热效率，提升余热发电量约 7%。工艺流程如图所示。



新一代水泥窑余热发电技术工艺流程图

### 3. 技术功能特性及指标

(1) 有效回收低品位烟气余热，吨熟料发电量达 30 千瓦时；

(2) 电站自用电率 $\leq 5\%$ 。

#### 4.应用案例

(1) 项目基本情况：

技术提供单位为中材节能股份有限公司，应用单位为衢州南方水泥有限公司。该项目为新建项目，设计吨熟料发电量为 30 千瓦时。

(2) 主要技术改造内容及实施周期：

建设应用第二代新型干法水泥技术的水泥熟料生产线，配套建设余热发电工程，包括补汽凝汽式汽轮机、发电机、窑头 AQC 锅炉及窑尾 SP 锅炉。实施周期 1 年。

(3) 节能降碳效果及投资回收期：

改造完成后，按年运行 7440 小时计算，年发电量为 7192 万千瓦时，折合年节约标准煤 2.18 万吨，减少二氧化碳排放 4.1 万吨。投资额为 5710 万元，投资回收期为 3 年。

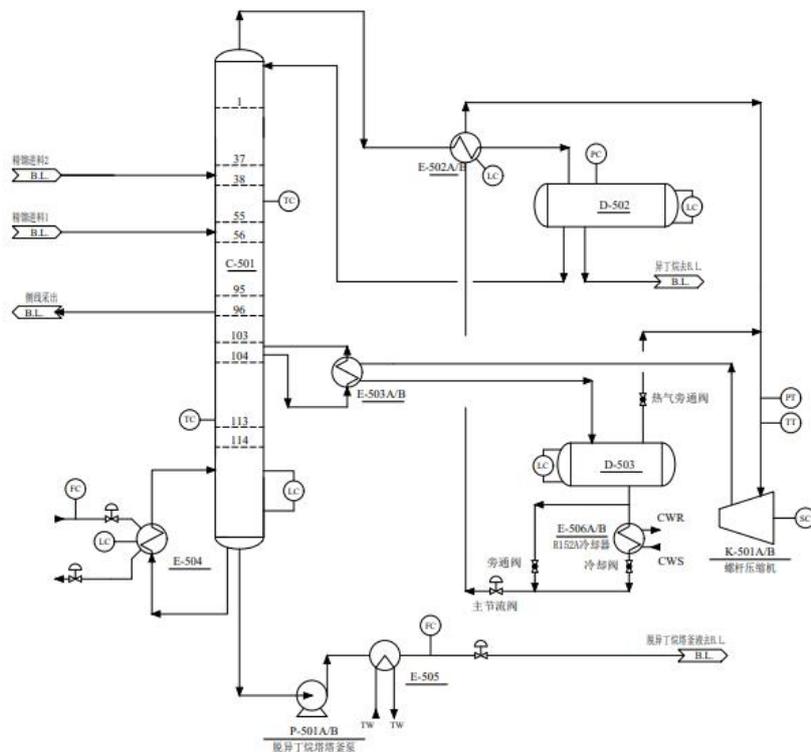
## 案例十：闭式工质热泵精馏技术

### 1.技术适用范围

适用于化工、轻工、食品等行业精馏领域。

### 2.技术原理及工艺

该技术采用热泵回收塔顶低温蒸汽冷凝热，提升其热能品位后输送至塔底再沸器释放为高品位热能，用于加热塔釜液体汽化，产生精馏过程所需的上升蒸汽，替代原有蒸汽加热与水冷工艺，将原本排放的废热转化为有效热能，实现精馏过程余热内部循环利用，提升能源利用效率，系统名义工况性能系数（COP）为 6.15。工艺流程如图所示。



闭式工质热泵精馏技术工艺流程图

### 3.技术功能特性及指标

(1) 构建“热泵精馏+余热梯级利用+智能化控制”全链条节能，系统 COP 达 6.15；

(2) 采用 R152a 工质，压力低、单位容积制热量大，制热量为 13.9 兆瓦。

### 4.应用案例

#### (1) 项目基本情况：

技术提供单位为冰轮环境技术股份有限公司，应用单位为中国石化青岛炼油化工有限责任公司。应用单位原脱异丁烷精馏塔塔釜采用锅炉蒸汽作为再沸器热源进行加热，塔顶使用冷却水冷却，冷凝热未利用。

#### (2) 主要技术改造内容及实施周期：

安装精馏塔、中间再沸器、蒸发冷凝器、塔釜再沸器、塔顶水冷冷凝器、热泵压缩机组、正丁烷产品回流罐、回流泵组、塔釜水冷器等设备，替代原蒸汽加热及水冷工艺。实施周期 1 年。

#### (3) 节能降碳效果及投资回收期：

改造完成后，年减少循环水使用量 25.24 万吨，减少蒸汽使用量 27.08 万吨，增加耗电量 2857.6 万千瓦时，折合年节约标准煤 2.6 万吨，减少二氧化碳排放 7 万吨。投资额为 3500 万元，投资回收期为 0.8 年。

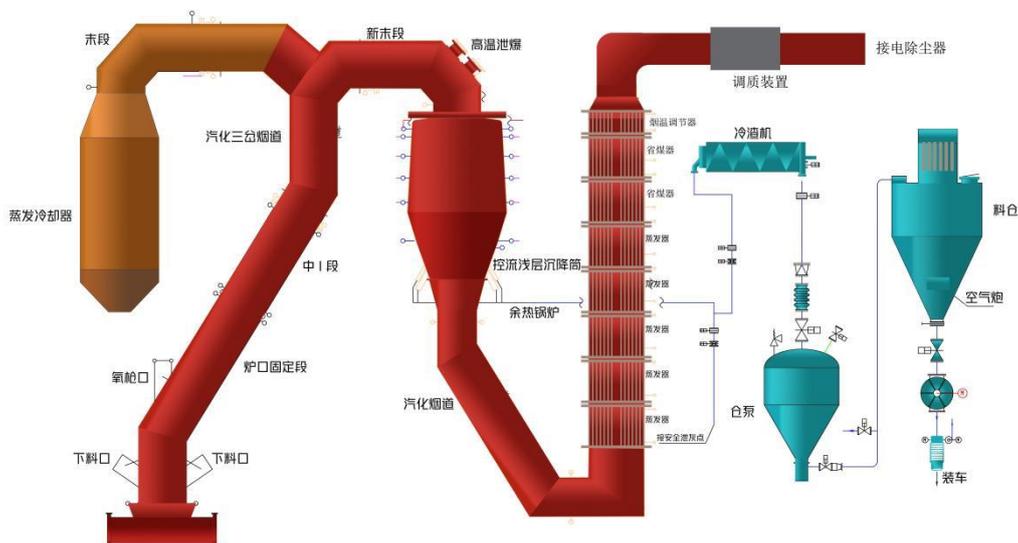
## 案例十一：转炉烟气余热回收技术

### 1.技术适用范围

适用于冶金转炉炼钢烟气余热回收利用领域。

### 2.技术原理及工艺

该技术采用火种捕集装置、宽流道余热锅炉和除尘系统，转炉烟道高温段烟气降温后捕集其中高温火种，通过对流换热回收800~200℃的中低温余热，使烟气降温至200℃左右，提高外供蒸汽量，低温烟气经荒煤气管道及烟气调质装置进入电除尘器净化外排，实现烟气余热回收及除尘，降低炼钢工序能耗5千克标准煤/吨钢。工艺流程如图所示。



转炉烟气余热回收技术工艺流程图

### 3.技术功能特性及指标

(1) 结合宽流道对流换热回收中低温烟气余热，外供蒸汽量提高40%；

(2) 采用干式防爆方法分离烟尘中高温火种，干灰直接转炉回用。

#### 4.应用案例

##### (1) 项目基本情况：

技术提供单位为中冶京诚工程技术有限公司，应用单位为建龙西林钢铁有限公司。改造前高温烟气仅回收 800~1600 °C 的热能，200~800 °C 余热未被回收利用。

##### (2) 主要技术改造内容及实施周期：

安装转炉汽化烟道、火种捕集装置、高温泄爆阀、宽流道余热锅炉等装备。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，余热锅炉出口烟温为 170~260 °C，外供蒸汽量提升 55%，吨钢工序能耗降低 5 千克标准煤，综合年节约标准煤 8260 吨，减少二氧化碳排放 2.2 万吨。投资额为 4600 万元，投资回收期为 2 年。

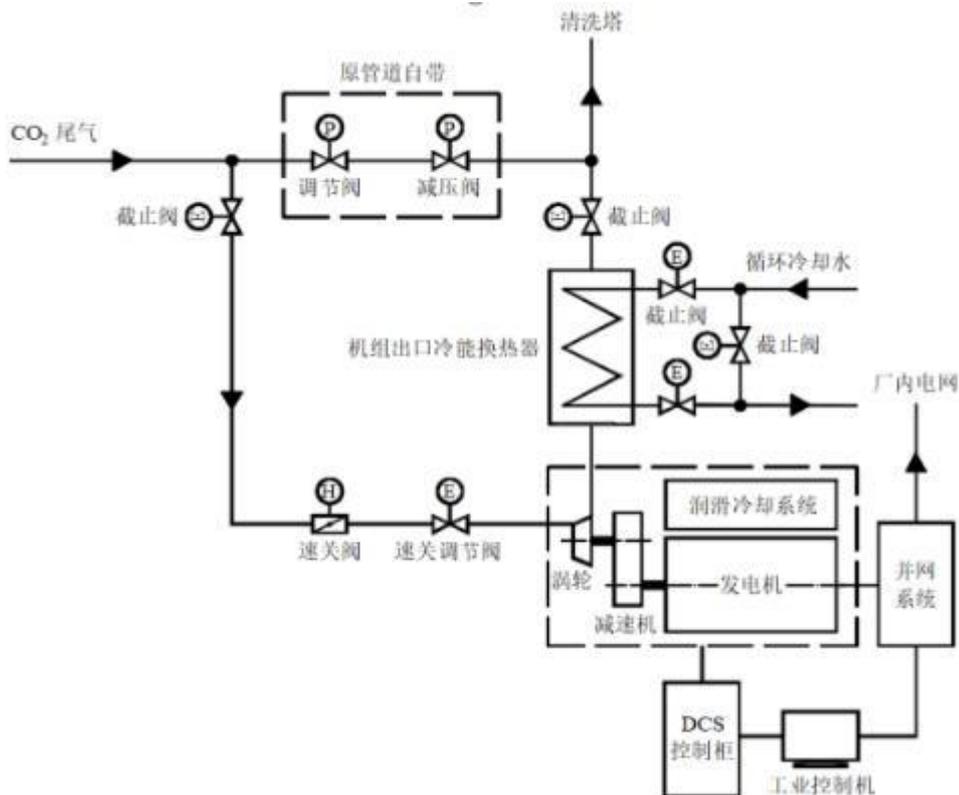
## 案例十二：低温甲醇洗二氧化碳尾气发电技术

### 1.技术适用范围

适用于煤化工低温甲醇洗领域。

### 2.技术原理及工艺

该技术采用高速径流涡轮膨胀发电机组替代低温甲醇洗二氧化碳尾气调节阀和减压阀，带压低温尾气在径流透平机内膨胀做功驱动发电机发电，透平出口的低温尾气通过冷能回收器与循环水进行冷交换，降低冷却系统能耗，实现压力能与冷能双重回收，可在宽负荷范围内稳定运行，压力能回收 30%~50%。工艺流程如图所示。



低温甲醇洗二氧化碳尾气发电技术工艺流程图

### 3.技术功能特性及指标

- (1) 可调节性强，在 10%~100%流量范围内均具有高效率；
- (2) 发电机能效提升，可回收 30%~50%压力能。

### 4.应用案例

#### (1) 项目基本情况：

技术提供单位为天津快透平科技发展有限公司，应用单位为江西心连心化学工业有限公司。原低温甲醇洗装置现场有 4 万标立方米/小时二氧化碳低压气体，通过节流阀减压后洗涤放空，压力能未被利用。

#### (2) 主要技术改造内容及实施周期：

安装径流透平机组代替调节阀和减压阀进行发电，机组发电功率为 670 千瓦。实施周期 1 年。

#### (3) 节能降碳效果及投资回收期：

改造完成后，二氧化碳压力由 0.14 兆帕降至 0.015 兆帕，年发电量为 562.8 万千瓦时，折合年节约标准煤 1705 吨，减少二氧化碳排放 3210 吨。投资额为 498 万元，投资回收期为 1.2 年。

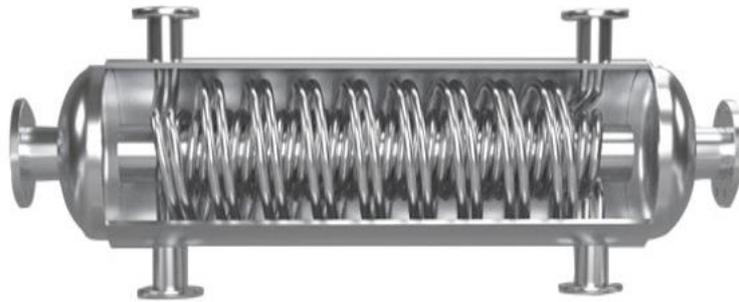
### 案例十三：窄温区低压降缠绕管换热器

#### 1.技术适用范围

适用于石油化工、液化天然气及低温甲醇洗换热领域。

#### 2.技术原理及工艺

该技术采用螺旋缠绕结构，换热管在芯筒与外筒之间呈螺旋状交替缠绕排布，相邻管反向排布，并借助定距件保持间距，优化壳程换热空间结构，促进管内外流体湍流和二次环流，增强壳程流体扰动，形成叉流换热方式，提高冷热源间传热温差，提升传热效率约 40%，减少燃料消耗。工作原理如图所示。



窄温区低压降缠绕管换热器工作原理图

#### 3.技术功能特性及指标

(1) 采用微段法进行传热计算，较同类产品换热核算准确度提高 5%~10%；

(2) 采用螺旋缠绕与湍流设计，流体扰动强化传热，实测传热效率提升 40%，窄点温差控制在 3℃ 以内。

#### 4.应用案例

(1) 项目基本情况：

技术提供单位为山东京博装备制造安装有限公司，应用单位为山东京博石油化工有限公司。应用单位原采用列管式换热器，主要耗能种类为燃气，燃气消耗量为 3473 标立方米/小时。

(2) 主要技术改造内容及实施周期：

安装高效缠绕管式换热器替代原列管式换热器，提高换热器原料出口温度。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，燃气消耗量为 2914 标立方米/小时，年减少燃气使用量 475 万标立方米，折合年节约标准煤 0.63 万吨，减少二氧化碳排放 1 万吨。投资额为 1620 万元，投资回收期为 2 年。

## (八) 工业绿色微电网技术

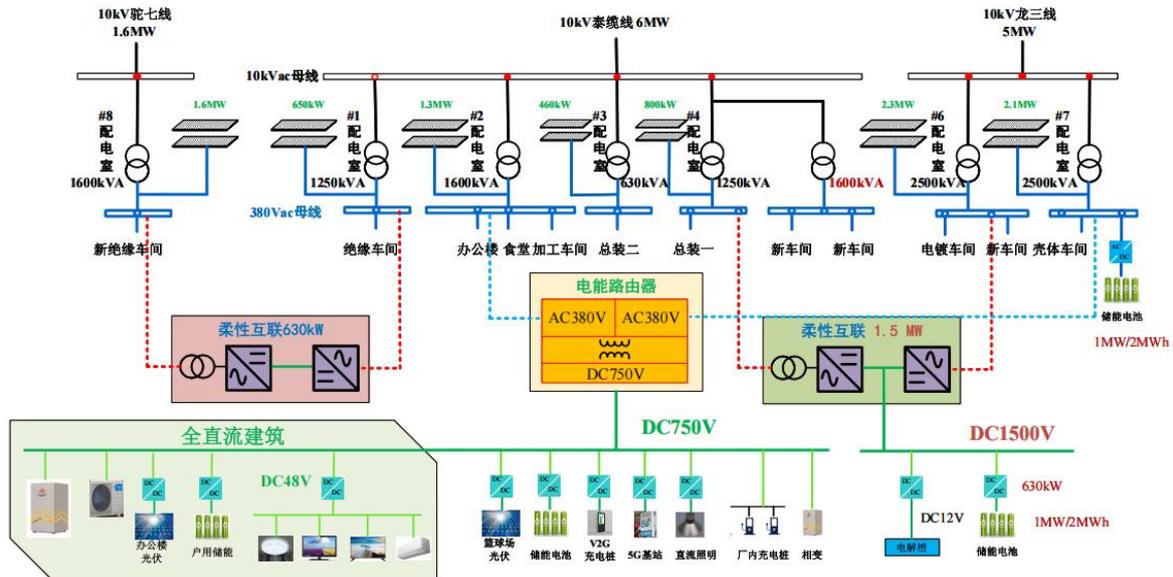
### 案例一：基于碳化硅电能路由器的园区绿色微电网技术

#### 1. 技术适用范围

适用于园区绿色微电网领域。

#### 2. 技术原理及工艺

该技术采用碳化硅（SiC）电能路由器，构建交直流混合园区绿色微电网系统，动态调节功率流向与能量分配，实现源-网-荷-储动态优化控制，直流负荷直供，减少多级变换电能损耗，提升可再生能源自用率至 85%，用电效率提高 15%。工作原理如图所示。



基于碳化硅电能路由器的园区绿色微电网技术工作原理图

#### 3. 技术功能特性及指标

(1) 采用碳化硅器件与高频变压技术，降低电能变换损耗，

系统能效 $\geq 98.5\%$ ;

(2) 通过智能功率流调度，实现源-网-荷-储动态优化控制，提升可再生能源自用率至 85%以上，用电系统动态增容 30%以上；

(3) 支持直流负荷直供，减少多级变换，整体用电效率提升 15%。

#### 4.应用案例

##### (1) 项目基本情况：

技术提供单位为山东泰开直流技术有限公司，应用单位为山东泰开高压开关有限公司。该项目为新建项目，园区用电负荷包括生产设备、空调系统、测试平台及直流照明等，用电峰值约 3.5 兆瓦。

##### (2) 主要技术改造内容及实施周期：

采用三端口电能路由器（1 个端口容量 500 千瓦），集成接入 10.5 兆瓦光伏阵列、储能、相变储冷储热等交直流负载，并配置低压直流母线构建微电网系统。实施周期 8 个月。

##### (3) 节能降碳效果及投资回收期：

建设完成后，年消纳光伏电力 986 万千瓦时，电能路由器效率达 98.2%，满负荷运行可实现节电量 26.4 万千瓦时，综合年节电量 1012.4 万千瓦时，折合年节约标准煤 3068 吨，减少二氧化碳排放 5774 吨。投资额为 1900 万元，投资回收期为 3.3 年。

## 案例二：绿色低碳园区综合能源管控系统及碳监测终端

### 1.技术适用范围

适用于工业园区能源信息化管控领域。

### 2.技术原理及工艺

该技术采用嵌入统一数据接入模型的能源互联网系统，实现多种能源集中监控、统一管理。结合电网实时运行信息数据，通过动态优化多能互补策略，实时耦合负荷需求与分布式能源出力，智能调度储能系统，并实时采集能源数据计算碳排放情况，实现能源利用率不低于 95%，新能源消纳比例不低于 97%。工作原理如图所示。



绿色低碳园区综合能源管控系统及碳监测终端工作原理图

### 3.技术功能特性及指标

- (1) 系统平均无故障工作时间 $\geq 20000$ 小时；
- (2) 系统控制操作响应时间 $\leq 10$ 秒；
- (3) 能源利用率不低于95%，新能源消纳比例不低于97%。

### 4.应用案例

#### (1) 项目基本情况：

技术提供单位为许继集团有限公司，应用单位为许继集团国际工程有限公司资产管理分公司。该项目为新建项目。

#### (2) 主要技术改造内容及实施周期：

建设装机容量为1.5066兆瓦的光伏电站，配套200千瓦/400千瓦时的电化学储能系统，对配电室、空调等系统进行改造。实施周期1年。

#### (3) 节能降碳效果及投资回收期：

建设完成后，年消纳光伏发电量162万千瓦时，节能改造后节电量45.31万千瓦时，节约天然气15201立方米，折合年节约标准煤646.61吨，减少二氧化碳排放1211.09吨。投资额为1173.5万元，投资回收期为5年。

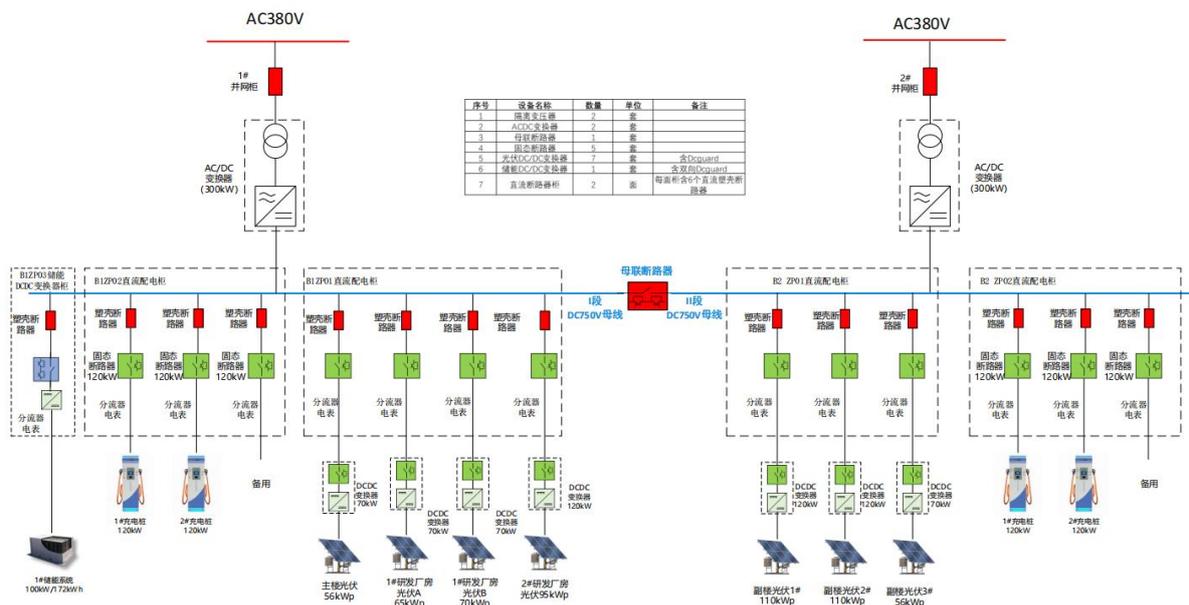
### 案例三：光储充空直柔一体化技术

#### 1.技术适用范围

适用于工业园区多能互补领域。

#### 2.技术原理及工艺

该技术采用低压直流耦合技术，构建囊括光伏、储能、充电桩、空调的直流微电网。光伏电通过变换器接至直流母线，充电桩和空调等负载采用直流供电方式，通过柔性互联实现柔性调节建筑用电需求，使建筑用电与清洁能源发电实现实时匹配，降低配电容量，减少交直流转换损耗，供电效率提升2%~3%。工作原理如图所示。



光储充空直柔一体化技术工作原理图

#### 3.技术功能特性及指标

(1) 形成直流微网实现分布式能源就地消纳，减少交直流

转换，降低损耗约 8%~10%；

(2) 负载采用直流供电方式，供电效率提升 2%~3%。

#### 4.应用案例

(1) 项目基本情况：

技术提供单位为珠海汇众能源科技有限公司，应用单位为珠海汇港新能源有限公司。港湾 2 号园区入驻近 50 家企业，主要耗能种类为电力，月平均用电量 15 万千瓦时。

(2) 主要技术改造内容及实施周期：

采用光储充空直柔一体化技术，配套光伏、储能、充电桩、空调等形成直流微网实现分布式能源就地消纳。实施周期 3 个月。

(3) 节能降碳效果及投资回收期：

建设完成后，年消纳光伏绿电 70 万千瓦时，折合约节约标准煤 212 吨，减少二氧化碳排放 400 吨。投资额为 400 万元，投资回收期为 7 年。

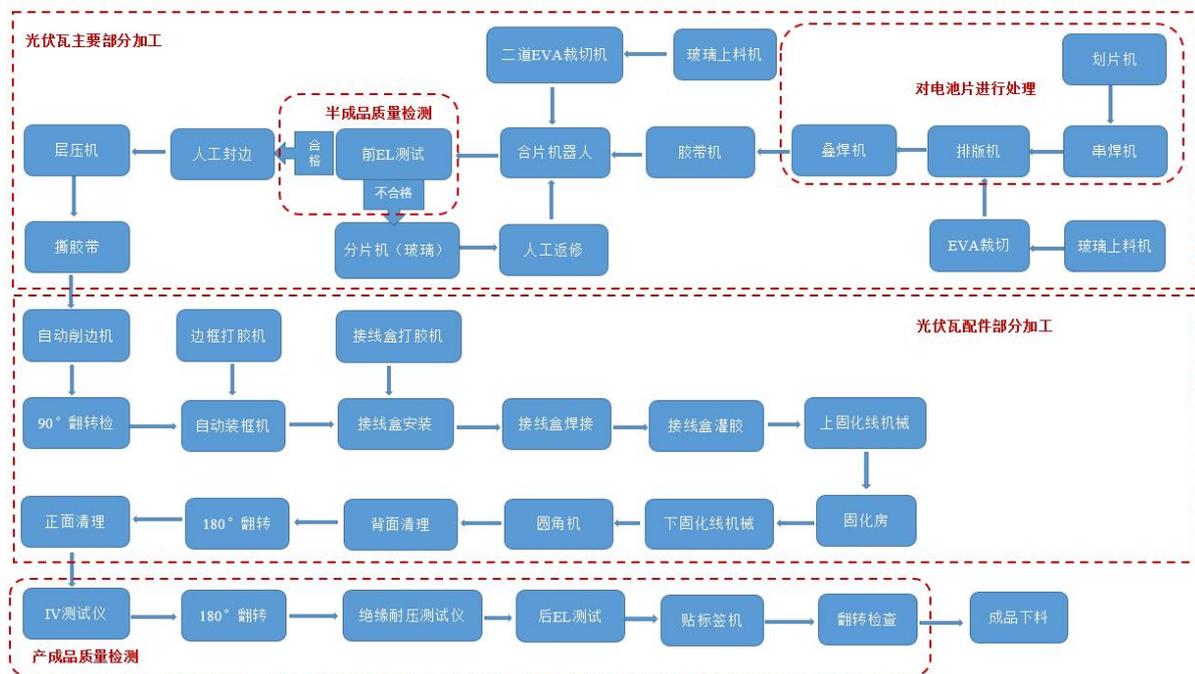
## 案例四：120 伏安全低压智能光伏建筑一体化系统技术

### 1.技术适用范围

适用于光伏建筑一体化系统。

### 2.技术原理及工艺

该技术采用网状电路结构晶硅电池片、高透光耐候胶膜及金属建材背板，搭配高强度组件与隔离型低压智能逆变装置，通过物联网与 AI 实现组件级监控及用能分析，光伏组件与建筑材料深度融合，消除热斑效应，系统转化率提高 8%，实现直流侧 120 伏低压安全运行。工艺流程如图所示。



120 伏安全低压智能光伏建筑一体化系统技术工艺流程图

### 3.技术功能特性及指标

(1) 晶硅电池片二并六串组成网状电路结构，消除热斑效

应，光伏电池片最大功率 $>540$ 瓦，阴影遮挡与发电功率影响比例 $<1.3$ ；

(2) 胶膜透光率 $>91\%$ ，水蒸气透过率 $<5.0$ ，黄变指数 $<4.0$ ，剥离强度 $>40$ 。

#### 4.应用案例

##### (1) 项目基本情况：

技术提供单位为赫里欧新能源有限公司，应用单位为西凤酒厂。改造前应用单位依赖电网供电，主要耗能种类为电力，年耗电量为 136 万千瓦时。

##### (2) 主要技术改造内容及实施周期：

采用组件级智能监控与隔离型逆变技术，新建 120 伏安全低压智能光伏建筑一体化系统，最大装机容量为 2.38 兆瓦，并配套物联网数据平台。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，年消纳绿电 126 万千瓦时，折合年节约标准煤 382 吨，减少二氧化碳排放 719 吨。投资额为 490 万元，投资回收期为 6.8 年。

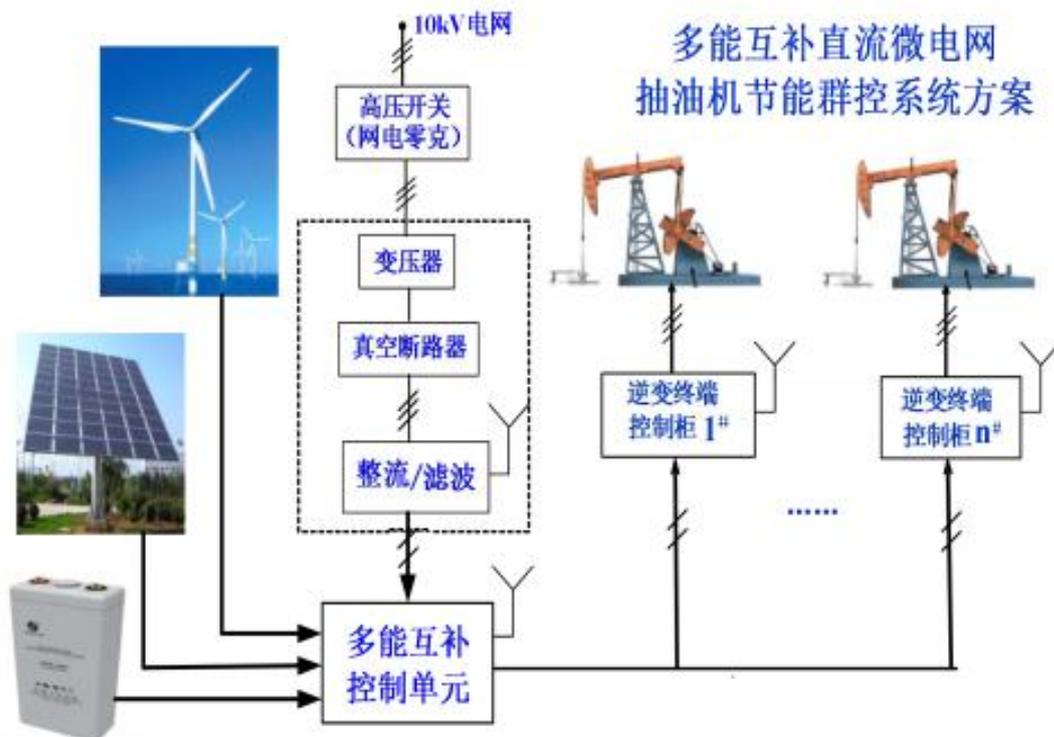
## 案例五：智能群控能量管理装置

### 1.技术适用范围

适用于直流微电网领域。

### 2.技术原理及工艺

该技术采用风、光、储、网电等多能互补控制构成直流微电网，为多个抽油机电控终端供电。直流母线可由电网经整流滤波装置集中供电，或利用可再生能源构建直流微电网供电，同时各抽油机倒发电馈通过直流母线互馈共享、循环利用，降低谐波和抽油机耗电量，提高能源利用效率，综合节电率约 21%。技术原理如图所示。



智能群控能量管理装置技术原理图

### 3.技术功能特性及指标

(1) 光伏发电机组经升压变换器输出直流额定电压为 600 伏，直流电压可调范围为 420~1000 伏；

(2) 风力发电机组额定输出交流电压为 400 伏，额定输出功率为 5~50 千瓦。

### 4.应用案例

#### (1) 项目基本情况：

技术提供单位为中石大蓝天（青岛）石油技术有限公司，应用单位为中国石油化工股份有限公司胜利油田分公司东辛采油厂。改造前油井依靠燃烧煤炭发电用于设备运转，该区块日均耗电量为 3992 千瓦时，主要耗能种类为煤炭。

#### (2) 主要技术改造内容及实施周期：

建设井场分布式光伏发电系统、地面小型风力发电机组、储能电池和采油区块抽油机直流母线供电驱动井群，构成新能源多能互补直流微电网及抽油机节能群控系统。实施周期 1 年。

#### (3) 节能降碳效果及投资回收期：

改造完成后，区块内平均日耗电量为 3142 千瓦时，年节电 30.6 万千瓦时，同时消纳光伏电力 16.56 万千瓦时，综合年节约标准煤为 143 吨，减少二氧化碳排放 269 吨。投资额为 140 万元，投资回收期为 3.6 年。

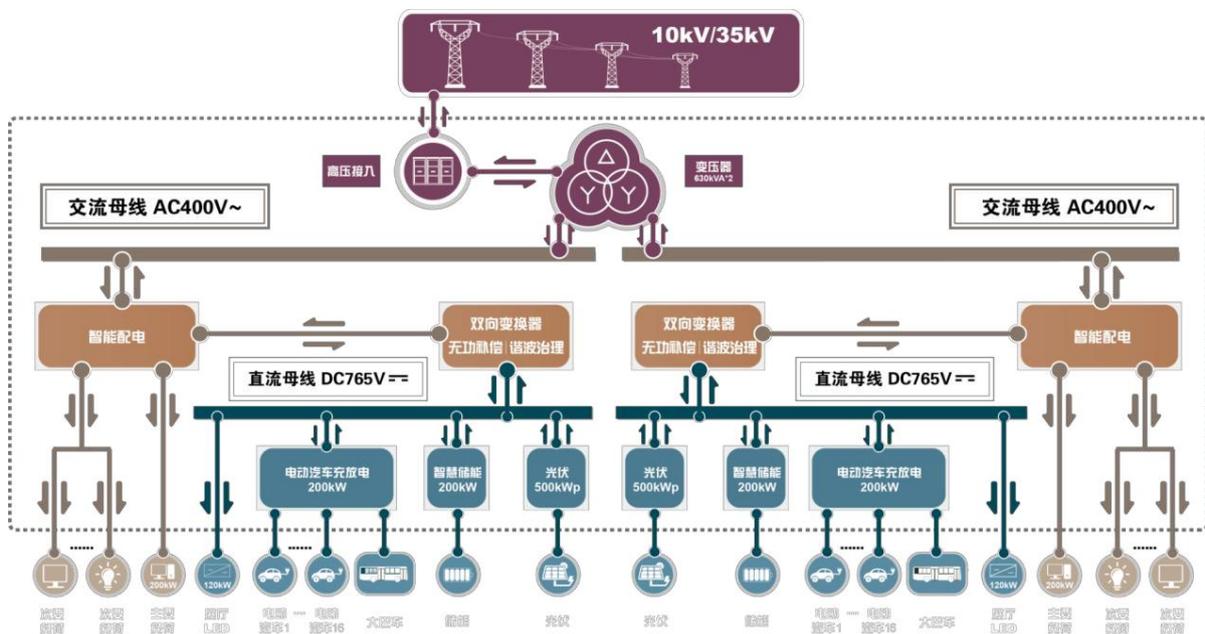
## 案例六：融合电动汽车移动储能的光-储-充-放微电网技术

### 1.技术适用范围

适用于光储微电网领域。

### 2.技术原理及工艺

该技术采用“云边协同”和交直流混合母线柔性架构，边缘侧通过弹性化硬件与组态化软件平台进行实时数据采集与控制，云端基于发电与负荷预测，通过多时间尺度优化调度与多方博弈策略，提升系统运行经济性，集成光伏、储能、充放电系统，实现光伏绿电柔性消纳与削峰填谷，可提高光伏发电量约 15%。设计架构如图所示。



融合电动汽车移动储能的光-储-充-放微电网技术设计架构图

### 3.技术功能特性及指标

(1) 光伏预测精度大于 85%，负荷预测精度大于 85%；

(2) 采用交直流柔性混合母线架构，光伏、储能等系统可根据项目情况灵活配置。

#### 4.应用案例

##### (1) 项目基本情况：

技术提供单位为特来电新能源股份有限公司，应用单位为崂山工业园区。该项目为新建项目。

##### (2) 主要技术改造内容及实施周期：

安装最大装机容量为 2.1 兆瓦的屋顶光伏发电系统及最大装机容量为 91.8 千瓦的光伏车棚，配套安装储能系统、200 余个新能源汽车充电终端及 4 个 V2G 充放电终端。实施周期 4 个月。

##### (3) 节能降碳效果及投资回收期：

建设完成后，系统年节电量 238 万千瓦时，折合年节约标准煤 721 吨，减少二氧化碳排放 1357 吨。投资额为 1387 万元，投资回收期为 8.8 年。

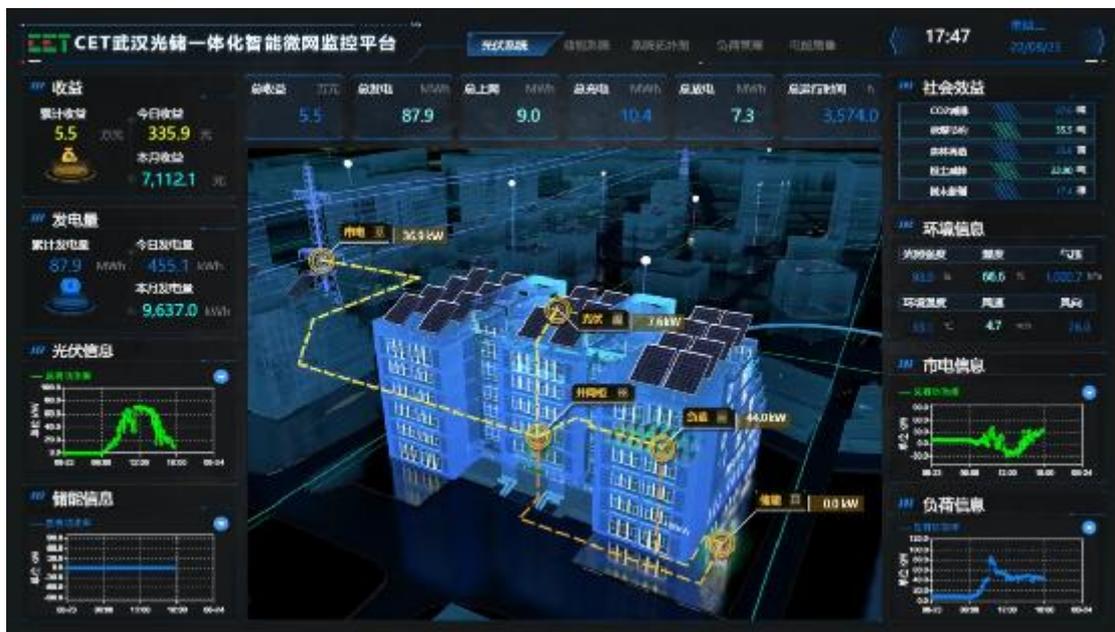
## 案例七：智能光储直柔微电网技术

### 1.技术适用范围

适用于光储直柔微电网领域。

### 2.技术原理及工艺

该技术采用“光储直柔”系统与碳化硅、氮化镓变流器等变流装备，通过多层次直流供电，实现光伏、储能、直流空调与电动汽车正反向电桩之间能量直供，并利用柔性调控与多目标能量优化控制，实现负荷曲线定制与新能源特性匹配，减少交直流转化损耗，新能源发电量占比达 20%，实现建筑极低能耗与零碳运行。工作原理如图所示。



智能光储直柔微电网技术工作原理图

### 3.技术功能特性及指标

(1) 采用低压直流配电系统，减少 AC/DC 环节损耗，工作

效率提高 1%~2%;

(2) 通过直流供电系统提高可再生能源利用效率约 5%。

#### 4.应用案例

(1) 项目基本情况:

技术提供单位为深圳市中电电力技术股份有限公司, 应用单位为上海海纳工程院。该项目为新建项目。

(2) 主要技术改造内容及实施周期:

采用光储直柔解决方案, 建设光伏发电系统、60 千瓦/105 千瓦时的储能系统、2 台 60 千瓦 V2G 双向充电桩, 并配套低压直流配电系统和微电网能源管理系统。实施周期 8 个月。

(3) 节能降碳效果及投资回收期:

建设完成后, 年光伏发电量为 12.88 万千瓦时, 建筑能耗强度降低 26%, 折合年节约标准煤 39 吨, 减少二氧化碳排放 73.5 吨。投资额为 160 万元, 投资回收期为 10 年。

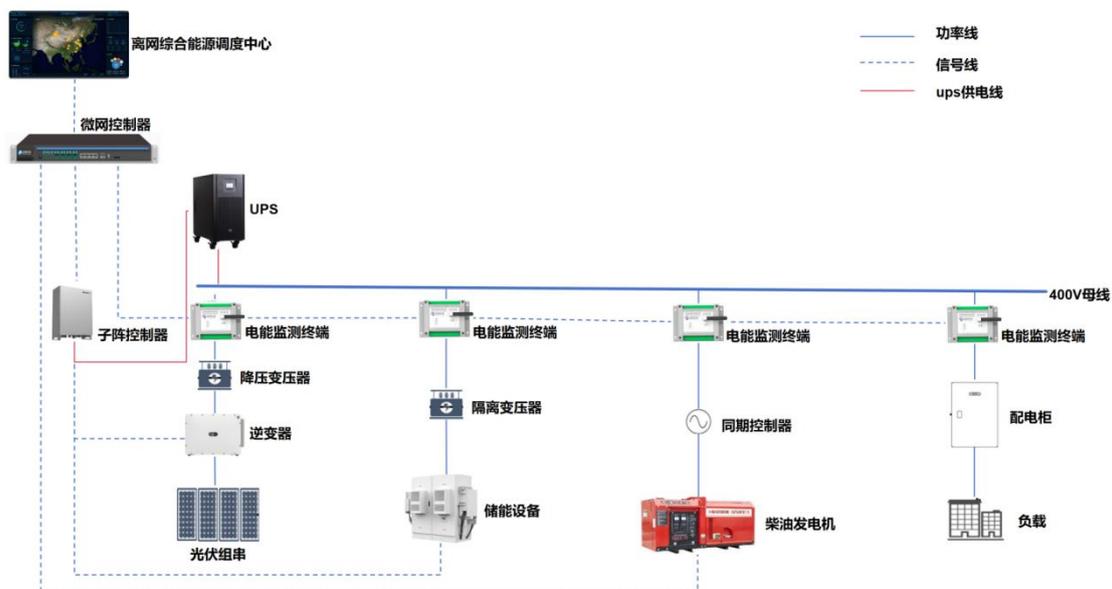
## 案例八：光储柴多能互补微电网系统

### 1.技术适用范围

适用于离网区域多能互补微电网系统。

### 2.技术原理及工艺

该技术采用以光伏、储能和柴油发电机为核心的多能互补微电网系统，光伏经逆变和汇流后接入母线，储能通过隔离变压器接入，柴油发电机组经同期控制并入，共同组成离网供电结构，利用非线性多目标优化方法和遗传算法进行容量优化配置，提升光伏占比与发电效率，减少柴油消耗 80%以上，降低碳排放。系统架构如图所示。



光储柴多能互补微电网系统架构图

### 3.技术功能特性及指标

利用可再生能源，较传统柴油发电机降低燃油消耗量 80%以

上。

#### 4.应用案例

##### (1) 项目基本情况：

技术提供单位为中建八局总承包建设有限公司，应用单位为乌鲁木齐市绿电新能源有限公司。该项目原临时办公生活区采用柴油发电机进行供电，主要耗能种类为柴油，工程建设期 240 天，日均燃油消耗约为 2000 升。

##### (2) 主要技术改造内容及实施周期：

结合原工程光伏发电系统，配置储能系统，对既有柴油发电系统进行改造，配套箱式变配电站和智能能源管理系统。实施周期 1 周。

##### (3) 节能降碳效果及投资回收期：

改造完成后，日均减少燃油消耗量 1584 升，按运行 240 天计算，折合年节约标准煤 488.8 吨，减少二氧化碳排放 1085 吨。投资额为 300 万元，投资回收期为 1 年。

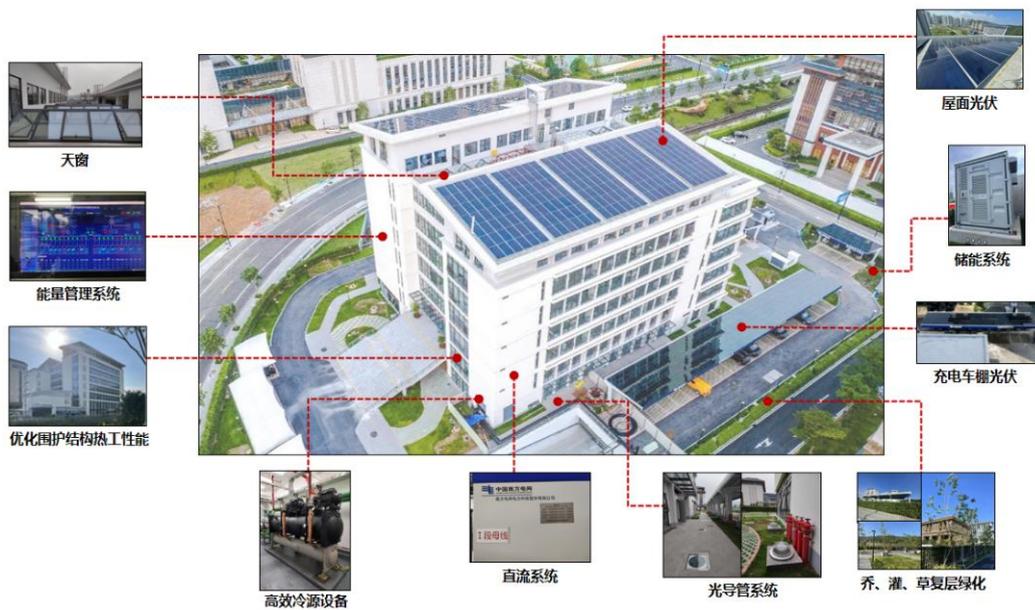
## 案例九：基于“光储直柔”系统的零碳建筑建设与运营技术

### 1.技术适用范围

适用于多能互补供电领域。

### 2.技术原理及工艺

该技术采用“光储直柔”系统与碳化硅、氮化镓变流器等变流装备，通过多层次直流供电，实现光伏、储能、直流空调与电动汽车正反向电桩之间能量直供，并利用柔性调控与多目标能量优化控制，实现负荷曲线定制与新能源特性匹配，减少交直流转化损耗，新能源发电量占比达 20%，实现建筑极低能耗与零碳运行。工作原理如图所示。



基于“光储直柔”系统的零碳建筑建设与运营技术工作原理图

### 3.技术功能特性及指标

(1) 采用“光储直柔”系统，建筑年综合能耗强度为 43 千

瓦时/平方米；

(2) 通过柔性调控与多目标能量优化控制，负荷调节比例达 60%，负荷调控偏差率低于 10%。

#### 4.应用案例

##### (1) 项目基本情况：

技术提供单位为广东电网有限责任公司直流配用电研究中心，应用单位为广东电网有限责任公司珠海横琴供电局。该项目为新建项目，总建筑面积约 14047 平方米，最大电负荷为 1.3 兆瓦，设计能耗强度低于 52 千瓦时/(平方米·年)。

##### (2) 主要技术改造内容及实施周期：

建设分布式光伏系统、直流供用电系统、“光储直柔”能量管理系统及 12 套导光管，采用高效水冷中央空调系统，优化楼体结构和增设保温涂层，并配置楼宇智能化措施。实施周期 2.3 年。

##### (3) 节能降碳效果及投资回收期：

建设完成后，实现年节电量 62.41 万千瓦时，同时消纳光伏绿电 83 万千瓦时，建筑综合节能率 73.87%，折合年节约标准煤 441 吨，减少二氧化碳排放 829 吨。投资额为 1837 万元，投资回收期为 13 年。

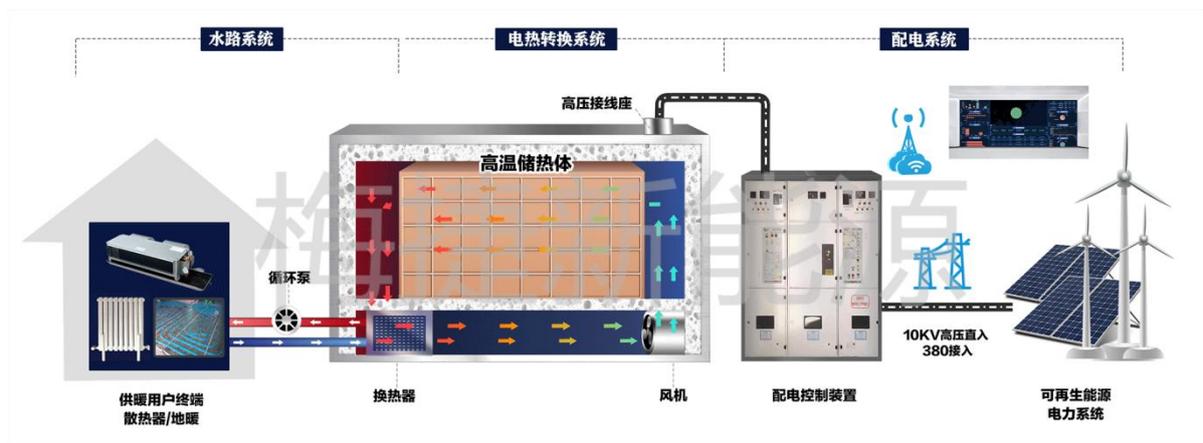
## 案例十：高压固体热储能技术

### 1.技术适用范围

适用于工业供热领域。

### 2.技术原理及工艺

该技术采用新型固体储热材料和一体化分层次设计，配套智能控制系统。利用谷电、弃风光电、调峰电，将电能转化为热能储存，以热水、热风 and 蒸汽三种形式输出，实现水电分离与高温储热/换热模块解耦，可直接接入高压电，24小时热损低于2%，电热转换率不低于97%。技术原理如图所示。



高压固体热储能技术原理图

### 3.技术功能特性及指标

(1) 采用耐高温隔热层，电热转换率 $\geq 97.5\%$ ，24小时热损低于2%；

(2) 可直接接入10千伏及以上电压，无需变电设备。

### 4.应用案例

(1) 项目基本情况：

技术提供单位为内蒙古梅捷新能源科技有限公司，应用单位为赤峰市政府。原供暖、制冷采用水地源热泵设备，主要用能种类为电力，集中供暖核定面积为 10.06 万平方米，年耗电量为 518.4 万千瓦时。

(2) 主要技术改造内容及实施周期：

增设 4 台总功率 7020 千瓦的固体储热供暖设备(互为备用)，安装 1 台 28 千瓦循环泵代替原有 3 台 37 千瓦中间泵，并配套智能控制系统。实施周期 4.5 个月。

(3) 节能降碳效果及投资回收期：

改造完成后，年节电量为 63.5 万千瓦时，且消纳可再生能源发电量 454.9 万千瓦时，折合年节约标准煤 1571 吨，减少二氧化碳排放 2956 吨。投资额为 1968 万元，投资回收期为 9 年。

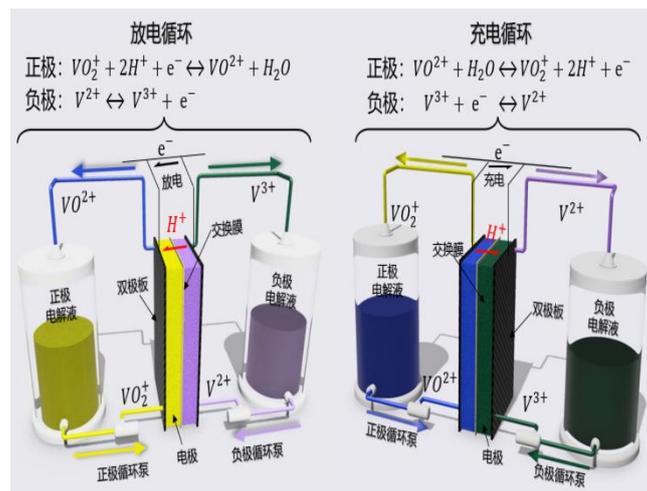
## 案例十一：全钒液流电池长时储能系统

### 1.技术适用范围

适用于规模化长时储能领域。

### 2.技术原理及工艺

该技术采用宽温域混酸基电解液，以钒离子为活性物质。泵驱动电解液循环流动，使钒离子在不同价态之间发生氧化还原反应，质子通过交换膜进行迁移，完成化学能与电能相互转化，实现电能存储与释放，电解液浓度达 2 摩尔/升。系统原理如图所示。



全钒液流电池长时储能系统原理图

### 3.技术功能特性及指标

(1) 采用分子结晶工艺制备全氟磺酸离子交换膜，拉伸强度提升 2 倍以上，宽幅达 1.5 米；

(2) 采用宽温域混酸电解液制备技术，电解液浓度达 2 摩尔，温域达  $-30\sim 60\text{ }^\circ\text{C}$ ；

(3) 采用低流阻流道设计及电极材料高活化技术，系统集

成度高，电堆功率达 50 千瓦。

#### 4.应用案例

##### (1) 项目基本情况：

技术提供单位为沈阳恒久安泰环保与节能科技有限公司，应用单位为大连供电公司金州十三里堡供电所。该项目为新建项目。

##### (2) 主要技术改造内容及实施周期：

建设规模容量为 20 千瓦/80 千瓦时的全钒液流储能电站。实施周期 45 天。

##### (3) 节能降碳效果及投资回收期：

建设完成后，年发电量为 8420 千瓦时，综合年节约标准煤 2.55 吨，减少二氧化碳排放 4.8 吨。投资额为 30 万元，投资回收期为 9 年。

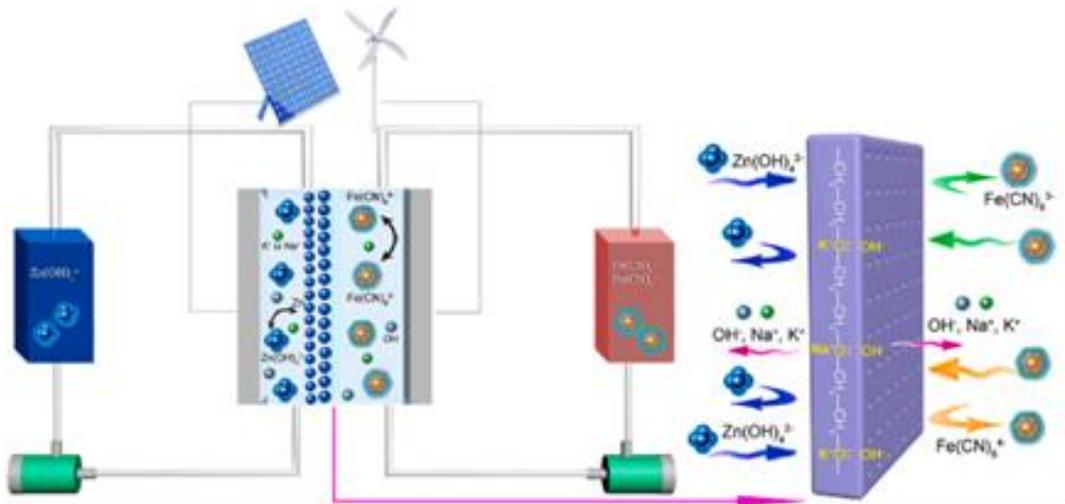
## 案例十二：锌铁液流电池储能技术

### 1.技术适用范围

适用于长时储能领域。

### 2.技术原理及工艺

该技术采用模块化分装及系统集成总装，泵将电解液罐中储能物质循环至电极，锌和铁在电解液中发生电化学反应，正极铁离子发生二价与三价相互转化，负极锌离子沉积、溶解，通过隔膜实现离子交换，完成化学能与电能相互转化，实现电能存储与释放，可消纳光伏发电、峰谷电等，直流侧能量转换效率达 80%。技术原理如图所示。



锌铁液流电池储能技术原理图

### 3.技术功能特性及指标

(1) 电源侧适配光伏、风电等可再生能源，运行环境温度  
为  $-10\sim 55\text{ }^{\circ}\text{C}$ ；

(2) 直流侧能量转换效率达 80%。

#### 4.应用案例

##### (1) 项目基本情况：

技术提供单位为纬景储能科技有限公司，应用单位为国网上海市电力公司市区供电公司。该项目为新建项目，项目设计年发电量为 12 万千瓦时。

##### (2) 主要技术改造内容及实施周期：

采用锌铁液流电池建设 1 套 100 千瓦/400 千瓦时集中式储能系统，并配套智慧能源综合管理平台。实施周期 3 个月。

##### (3) 节能降碳效果及投资回收期：

建设完成后，实测年充电量 30.689 万千瓦时，光伏直储占比约 70%，年放电量 22.71 万千瓦时，折合年节约标准煤 68.81 吨，减少二氧化碳排放 129.52 吨。投资额为 124 万元，投资回收期为 6 年。

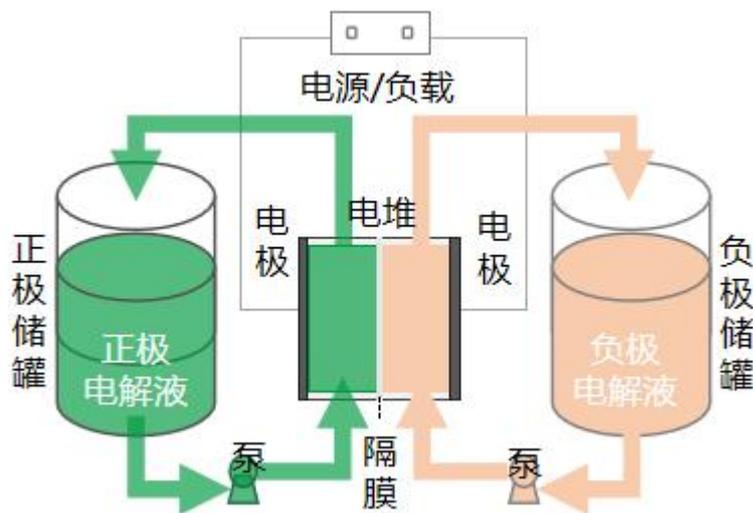
### 案例十三：水系有机液流电池

#### 1.技术适用范围

适用于长时储能领域。

#### 2.技术原理及工艺

该技术采用水溶剂电解液，以碳、氮、氢、氧等元素组成的有机分子作为活性物质。泵驱动电解液向电极循环流动发生氧化还原反应，质子通过交换膜进行迁移，完成化学能与电能相互转化，实现电能存储与释放。系统跨膜渗透效率，抑制无效电子转移，自放电低，直流侧能量转换效率达 80%~84%。技术原理如图所示。



水系有机液流电池技术原理图

#### 3.技术功能特性及指标

(1) 采用阴离子交换膜，库伦效率较其他液流电池提高 3%~4%；

(2) 系统自放电低，直流侧能量效率达 80%~84%。

#### 4.应用案例

(1) 项目基本情况：

技术提供单位为宿迁时代储能科技有限公司，应用单位为宿迁環泰新材料有限公司。该项目为新建项目。

(2) 主要技术改造内容及实施周期：

安装 1 套 200 千瓦/1200 千瓦时水系有机液流电池系统，包括正负极电解液储液罐、电堆模块、循环泵组、智能控制系统及配套输电设备等。实施周期 1 个月。

(3) 节能降碳效果及投资回收期：

建设完成后，平均每天充放电 1.2 次，按年运行时间 330 天计算，可实现年节电量 47.52 万千瓦时，折合年节约标准煤 144 吨，减少二氧化碳排放 271 吨。投资额为 300 万元，投资回收期为 7 年。

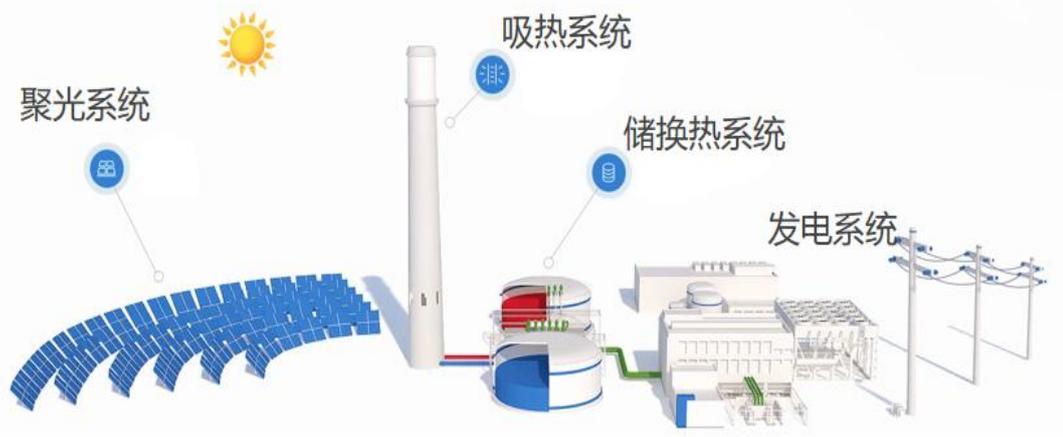
## 案例十四：塔式熔盐储能光热发电技术

### 1.技术适用范围

适用于独立光热电站及多能互补电站。

### 2.技术原理及工艺

该技术采用大规模定日镜场与熔盐储热系统，通过实时跟踪太阳，将阳光聚焦至塔顶吸热器，将太阳能转化为热能，利用高温熔盐储热并加热工质产生高温高压蒸汽，推动汽轮发电机组输出稳定电能，系统光电转换效率达 24%。技术原理如图所示。



塔式熔盐储能光热发电技术原理图

### 3.技术功能特性及指标

- (1) 采用太阳能发电，设计工况光电转换效率 24.2%；
- (2) 镜场定日镜年平均跟踪准确度 $\leq 1.65$  mrad；
- (3) 较煤电机组启动时间短，冷态启动 60 分钟、热态启动 20 分钟，电网灵活性高。

#### 4.应用案例

##### (1) 项目基本情况：

技术提供单位为浙江可胜技术股份有限公司，应用单位为青海中控太阳能发电有限公司。该项目为新建项目，设计规模为 50 兆瓦，设计年发电量为 1.46 亿千瓦时。

##### (2) 主要技术改造内容及实施周期：

安装 27135 台高精度定日镜及镜场控制系统，并配置 7 小时熔盐储能系统。实施周期 1.7 年。

##### (3) 节能降碳效果及投资回收期：

建设完成后，年发电量为 1.46 亿千瓦时，折合年节约标准煤 4.4 万吨，减少二氧化碳排放 8.3 万吨。投资额为 10 亿元，投资回收期为 8 年。

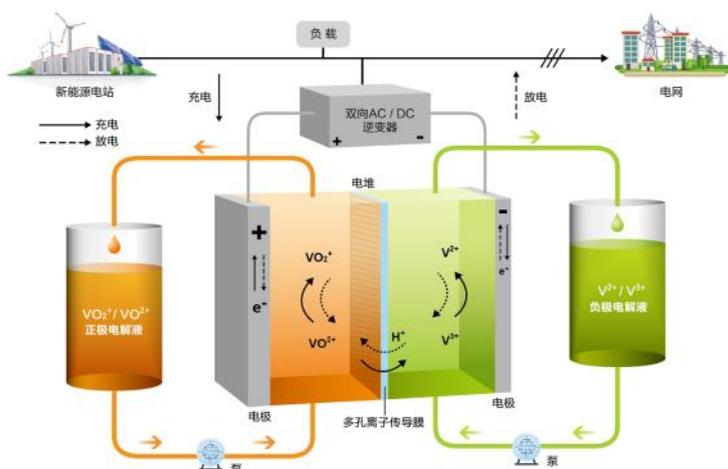
## 案例十五：125 千瓦/500 千瓦时盐酸基全钒液流电池储能系统

### 1. 技术适用范围

适用于可再生能源储能、电网储能领域。

### 2. 技术原理及工艺

该技术采用水系盐酸基电解液和多孔离子膜，以钒离子为活性物质。泵驱动电解液循环流动，使钒离子在不同价态之间发生氧化还原反应，质子通过交换膜进行迁移，完成化学能与电能相互转化，实现电能存储与释放，可有效抑制析氢，库伦效率达 95% 左右。技术原理如图所示。



125 千瓦/500 千瓦时盐酸基全钒液流电池储能系统技术原理图

### 3. 技术功能特性及指标

(1) 采用水系盐酸基电解液，实现全钒液流电池容量动态平衡和有效抑制析氢，能量密度提高约 25%；

(2) 采用大功率高能量密度电堆，充放电次数不少于 25000

次，放电深度达到 100%，库伦效率达 95.76%，满足大规模储能需求；

(3) 运行温度为  $-35\sim 65\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，无需外部冷却/加热等温控设备，提高系统整体效率。

#### 4.应用案例

##### (1) 项目基本情况：

技术提供单位为液流储能科技有限公司，应用单位为中核汇能有限公司。该项目为新建项目。

##### (2) 主要技术改造内容及实施周期：

安装 125 千瓦/500 千瓦时盐酸基全钒液流电池储能系统，包括液流电池功率单元、能量存储单元、电解液循环系统、控制单元及逆变升压单元。实施周期 4 个月。

##### (3) 节能降碳效果及投资回收期：

建设完成后，储能电站每天放电量为 5760 千瓦时，年节电量为 210 万千瓦时，折合年节约标准煤 637 吨，减少二氧化碳排放 1120 吨。投资额为 1300 万元，投资回收期为 6 年。

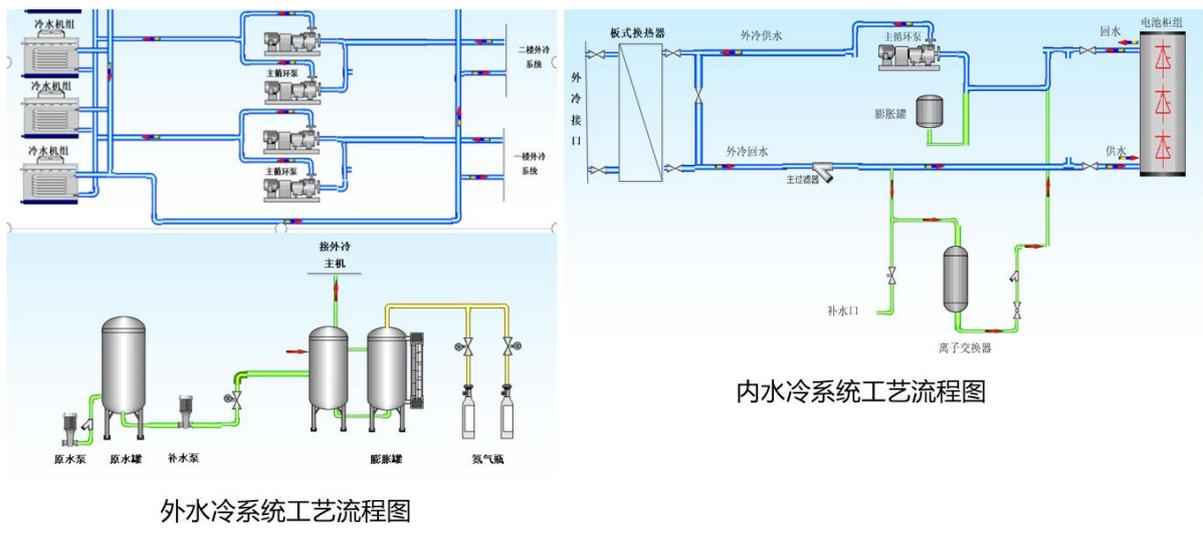
## 案例十六：储能电站大容量热管理成套系统关键技术

### 1.技术适用范围

适用于储能电站。

### 2.技术原理及工艺

该技术采用集中式设计，集成内冷系统、外冷系统、冷水机组及空气散热器。内冷系统利用去离子水吸收储能电池充放电产生的热量，控制电芯温度恒定，外冷系统为内冷系统提供低温冷水，冷水机组和空气散热器系统复合冷源为外冷系统提供低温冷水，减少单体设备散热压力，节能率约 20%。工艺流程如图所示。



储能电站大容量热管理成套系统关键技术工艺流程图

### 3.技术功能特性及指标

- (1) 制冷量 $\geq 4400$  千瓦，冷却水流量 $\geq 900$  立方米/小时；
- (2) 供液温度 $\leq 14$   $^{\circ}\text{C}$ ，供液温度偏差 $\leq \pm 2$   $^{\circ}\text{C}$ 。

### 4.应用案例

- (1) 项目基本情况：

技术提供单位为广州高澜节能技术股份有限公司，应用单位为北京海博思创工程技术有限公司。该项目为新建项目。

(2) 主要技术改造内容及实施周期：

安装板式换热器+冷水机组构成的冷却系统，并采用模块化设备供水。实施周期 1 年。

(3) 节能降碳效果及投资回收期：

建设完成后，电气负荷为 2473.6 千瓦，较传统分布式冷却项目年节电量约 514 万千瓦时，折合年节约标准煤 1557 吨，减少二氧化碳排放 2931 吨。投资额为 1900 万元，投资回收期为 4.2 年。

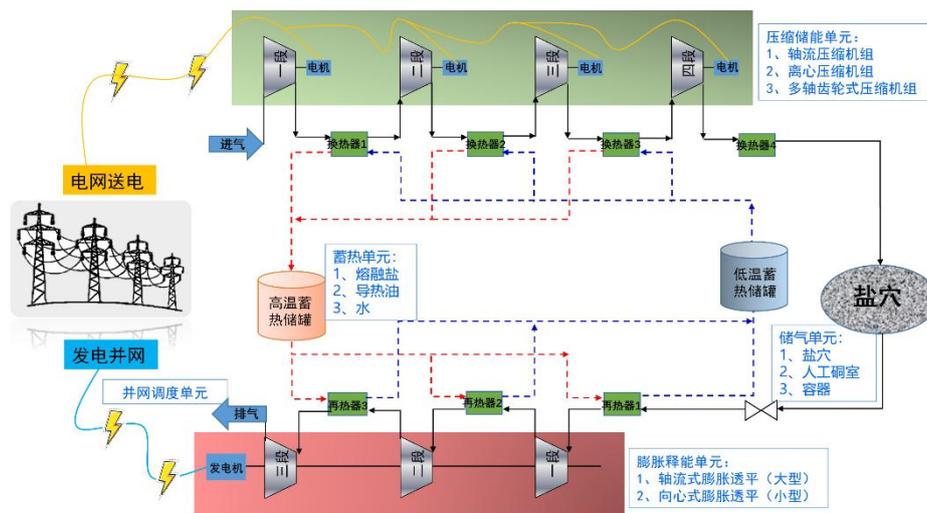
## 案例十七：大规模压缩空气储能透平压缩机组技术

### 1. 技术适用范围

适用于大规模压缩空气储能领域。

### 2. 技术原理及工艺

该技术采用轴流式压缩机、离心式压缩机或两种压缩机组组合，多台压缩机串联，将空气从常压增压到高压状态并注入储气装置，同时将压缩过程中产生的热量通过换热系统储存，在电力需求高峰时释放储气装置中的高压空气，经再热系统驱动膨胀机带动发电机发电，压缩机组综合效率达 88%。工作原理如图所示。



大规模压缩空气储能透平压缩机组技术工作原理图

### 3. 技术功能特性及指标

(1) 压缩机组综合效率  $\geq 88\%$ ，设计寿命  $\geq 30$  年，频繁启停次数  $\geq 25000$  次；

(2) 机组启动到满负荷时间  $\leq 15$  分钟。

#### 4.应用案例

##### (1) 项目基本情况：

技术提供单位为西安陕鼓动力股份有限公司，应用单位为湖北楚韵储能科技有限公司。该项目为新建项目，利用当地盐穴资源，结合电网调峰需求，建设 300 兆瓦级压缩空气储能电站。

##### (2) 主要技术改造内容及实施周期：

采用 2 台轴流压缩机+两台离心压缩机串联的模式，共安装 8 台套透平压缩机组实现气体增压储热。实施周期 15 个月。

##### (3) 节能降碳效果及投资回收期：

建设完成后，储能电站平均日运行 5 小时，按年运行 330 天计算，年发电量 5 亿千瓦时，折合年节约标准煤 15 万吨，减少二氧化碳排放 28.5 万吨。投资额为 20 亿元，投资回收期为 10 年。

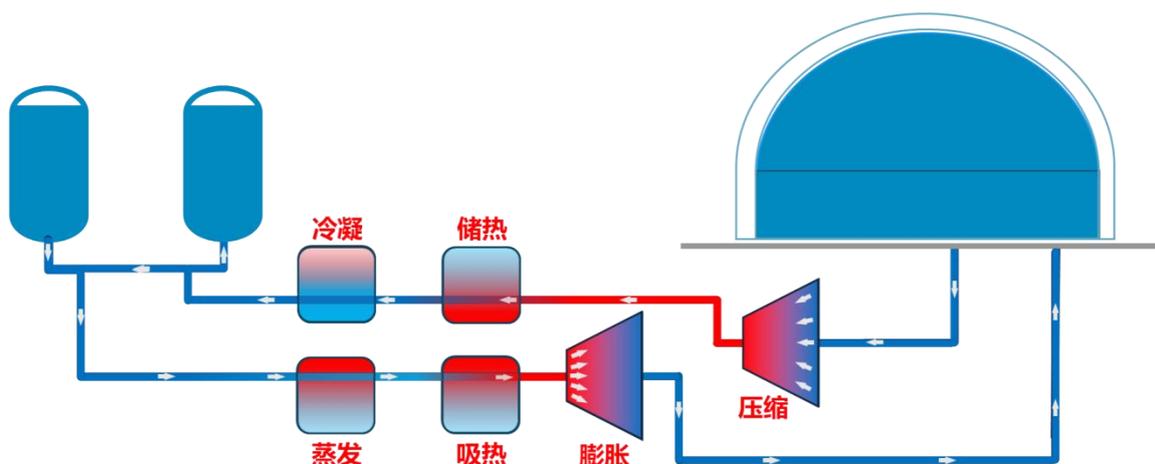
## 案例十八：压缩二氧化碳气液相变储能技术

### 1.技术适用范围

适用于相变储能领域。

### 2.技术原理及工艺

该技术采用二氧化碳作为工质，结合恒压、可变容积的柔性结构低压储气装置和矩阵式自平衡储压单元分别储存气态与液态二氧化碳，通过谷电、可再生能源、废弃余热余冷等能源控制二氧化碳气液相变实现能量存储和释放，可实现削峰填谷和新能源就地消纳，减少输变电损耗。工作原理如图所示。



压缩二氧化碳气液相变储能技术工作原理图

### 3.技术功能特性及指标

(1) 系统利用余热烟气温度 $<90\text{ }^{\circ}\text{C}$ ；

(2) 发电功率为 10 兆瓦的系统循环效率 $\geq 55\%$ ，发电功率为 50 兆瓦的系统循环效率 $\geq 60\%$ ，发电功率为 100 兆瓦的系统循

环效率 $\geq 65\%$ 。

#### 4.应用案例

##### (1) 项目基本情况：

技术提供单位为百穰新能源科技（深圳）有限公司，应用单位为芜湖海螺水泥有限公司。该项目为新建项目，二氧化碳储能系统设计规模为 10 兆瓦/80 兆瓦时。

##### (2) 主要技术改造内容及实施周期：

采用压缩二氧化碳气液相变储能技术耦合水泥产线实现二氧化碳捕捉、利用、暂态封存，并改造水泥炉窑 AQC 锅炉回收锅炉低温余热烟气。实施周期 1 年。

##### (3) 节能降碳效果及投资回收期：

建设完成后，一次性封存二氧化碳 2900 吨，日发电量 80 兆瓦时，实现年发电量 2800 万千瓦时，同时回收烟气余热折合标准煤 3130 吨，综合年节约标准煤 1.2 万吨，减少二氧化碳排放 2.7 万吨。投资额为 2.25 亿元，投资回收期为 13 年。

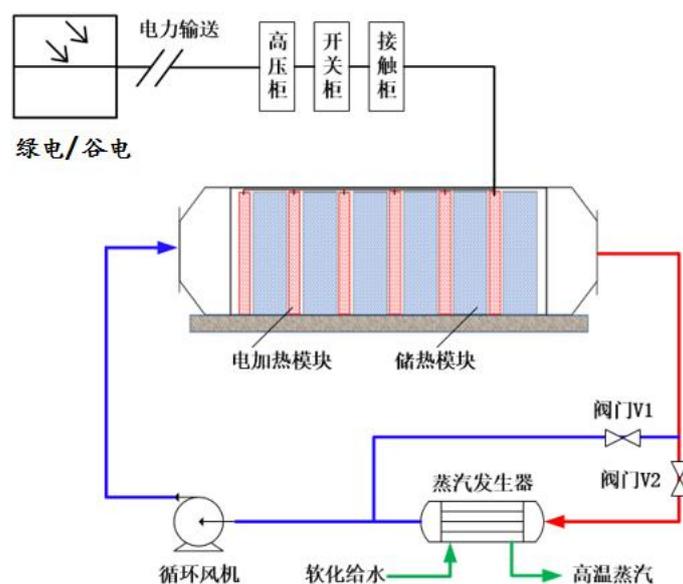
## 案例十九：电储热锅炉

### 1.技术适用范围

适用于电储热领域。

### 2.技术原理及工艺

该技术采用浇注成型的硅酸盐储热材料，结合高压电加热元件和固态储热单元，通过电加热元件将绿电/低谷电转换为热能存储于固体储热单元，放热时以空气为换热介质，通过热交换器将高温热能转换为热水/热风/蒸汽形式输出，系统热效率达 92%。工艺流程如图所示。



电储热锅炉工艺流程图

### 3.技术功能特性及指标

(1) 采用高性能固态硅酸盐储热材料，抗压强度 $\geq 92$  MPa，比热容 $\geq 1.3$  kJ/(kg $\cdot$ °C)；

(2) 兆瓦时级储热供热系统热效率 $\geq 92\%$ 。

#### 4.应用案例

(1) 项目基本情况：

技术提供单位为思安新能源股份有限公司，应用单位为陕西重型汽车有限公司。应用单位原外购蒸汽供生产使用，主要耗能种类为蒸汽，年外购蒸汽 10560 吨。

(2) 主要技术改造内容及实施周期：

建设 1 套 3.3 MW/10 kV 的谷电+固体储热供蒸汽系统，储热供热蒸汽参数为 0.7 MPa/170 °C。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，年消纳绿电 840 万千瓦时，节约蒸汽 10560 吨，折合年节约标准煤 2545 吨，减少二氧化碳排放 4790 吨。投资额为 460 万元，投资回收期为 4 年。

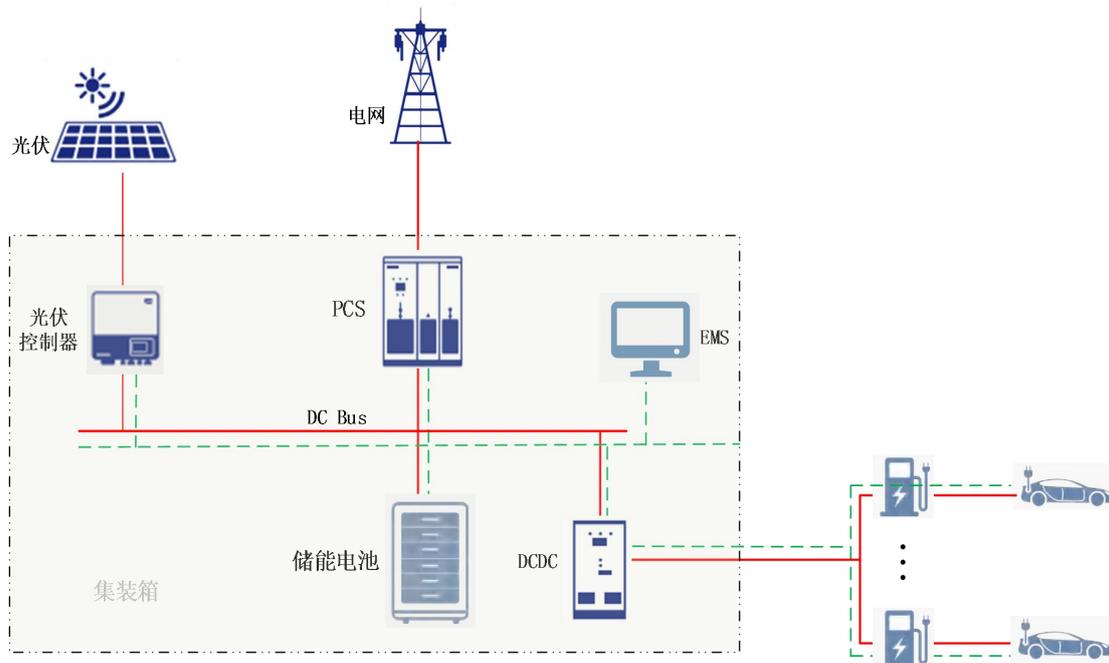
## 案例二十：光储充检智能充电站

### 1.技术适用范围

适用于光储充电站领域。

### 2.技术原理及工艺

该技术采用电池作为扩容单元，构建独立局域微电网，将分布式光伏发电与直流微网系统相结合，集成光伏、储能、快速充电、电池检测及虚拟电厂等功能，提高电网容量，光伏直供储能无须逆变，能源利用效率提升约3%。工作原理如图所示。



光储充检智能充电站工作原理图

### 3.技术功能特性及指标

(1) 采用直流母线架构，光伏直供储能，能源利用率提升3%；

(2) 基于云平台与 AI (人工智能) 检测实现全面监控预警, 减少人工, 系统全年在线可用率 > 95%。

#### 4. 应用案例

##### (1) 项目基本情况:

技术提供单位为福建时代星云科技有限公司, 应用单位为时代华智(福州)储能科技有限公司。该项目为新建项目, 建设 4600 平方米的光伏发电配储充电站, 光伏最大发电功率为 486.75 千瓦。

##### (2) 主要技术改造内容及实施周期:

采用全直流母线技术, 建设 96 台 180 千瓦直流快充桩, 并配套 4.12 兆瓦时液冷储能系统。实施周期 6 个月。

##### (3) 节能降碳效果及投资回收期:

建设完成后, 年发电量为 38 万千瓦时, 折合年节约标准煤 115 吨, 减少二氧化碳排放 217 吨。投资额为 900 万元, 投资回收期为 3 年。

## (九) 清洁低碳氢制备及应用技术

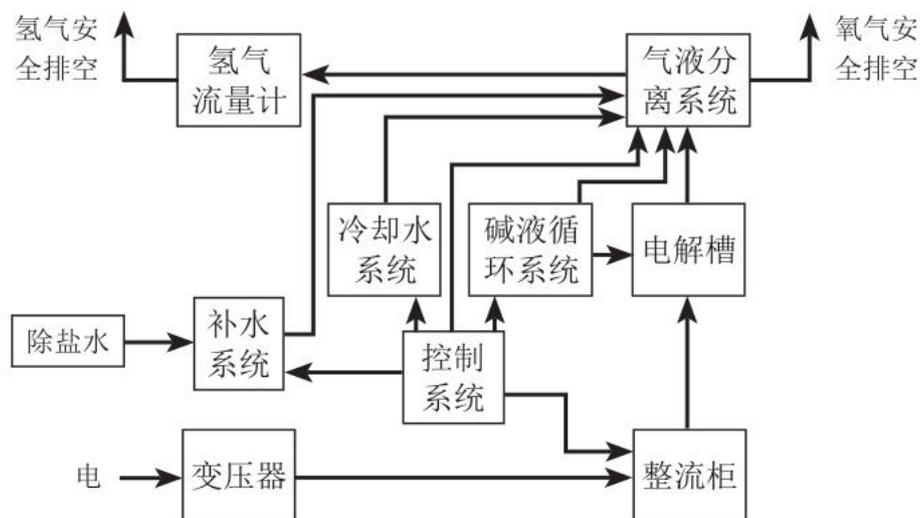
### 案例一：电解水制氢成套设备

#### 1. 技术适用范围

适用于可再生能源电解水制氢领域。

#### 2. 技术原理及工艺

该技术采用整流电源将新能源交流电转化为直流电供给电解槽，电解槽内水发生电化学反应，产生氢气和氧气，氢气/氧气和碱液两相流进入气液分离系统，实现碱液回收与气体初步分离，分离后氢气进入纯化装置，通过脱氧、干燥等工艺，去除微量氧气和水分，获得 99.999% 的高纯度氢气，实现绿电制绿氢，电源综合转换效率可达 96%~98%。工艺流程如图所示。



电解水制氢成套设备工艺流程图

#### 3. 技术功能特性及指标

(1) 制氢整流电源综合转换效率可达 96% 以上，满负荷条件下可达 98% 以上，制氢直流能耗  $< 4.3 \text{ kW}\cdot\text{h}/\text{Nm}^3$ ；

(2) 交流侧可单位功率因数运行，功率因数 $\geq 0.99$ 。

#### 4.应用案例

(1) 项目基本情况：

技术提供单位为北京电力设备总厂有限公司，应用单位为中国葛洲坝集团股份有限公司。该项目为新建项目，建设光伏发电、制氢、加氢一体化工程。

(2) 主要技术改造内容及实施周期：

安装 1 套 1000 标立方米/小时碱性电解水制氢成套装备，包括电解槽、气液分离装置、纯化装置及 5.5 兆瓦全控型 IGBT（绝缘栅双极型晶体管）制氢电源等。实施周期 1 年。

(3) 节能降碳效果及投资回收期：

建设完成后，电解水制氢装备能耗为 4.3 千瓦时/标立方米，按年运行 4000 小时计算，年产氢气 400 万标立方米，相较煤制氢可实现年节约标准煤 2680 吨，减少二氧化碳排放 1.52 万吨。投资额为 1000 万元，投资回收期为 3.7 年。

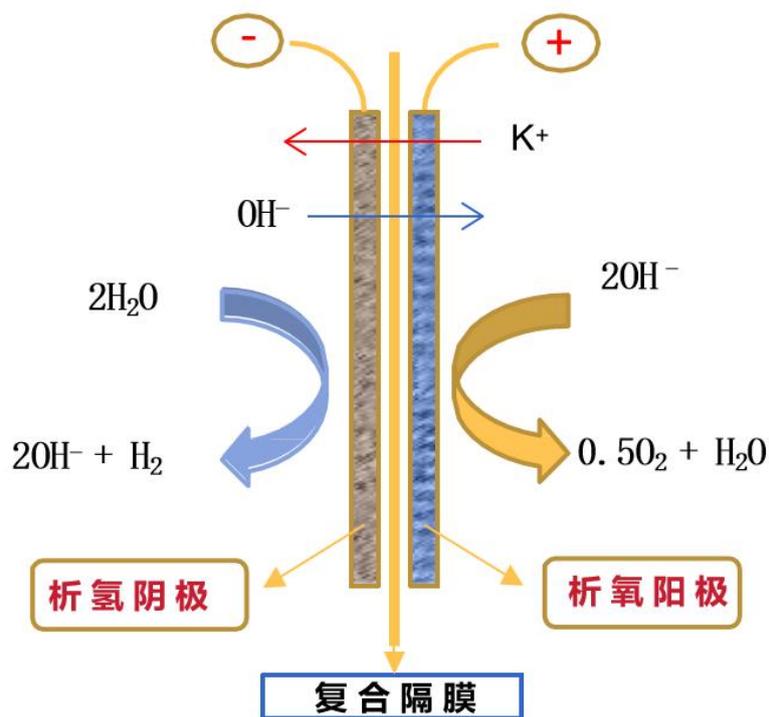
## 案例二：碱性水电解制氢复合隔膜技术

### 1. 技术适用范围

适用于碱性电解水制氢领域。

### 2. 技术原理及工艺

该技术采用涂覆、浸渍和相转移等方法将陶瓷粉体和聚合物材料复合在多孔基体上制备复合隔膜。将隔膜置于析氢阴极和析氧阳极之间，电解液中离子可自由通过但隔绝氢气和氧气，降低槽体电阻，提高电解效率及气体纯度，较传统隔膜节电率约 5%。系统原理如图所示。



碱性水电解制氢复合隔膜技术系统原理图

### 3.技术功能特性及指标

(1) 应用复合隔膜电解能耗低，电解液透过能力强，孔隙率  $60\pm 10\%$ ，降低槽体电阻，面电阻  $\leq 0.3 \Omega \cdot \text{cm}^2$ ；

(2) 复合隔膜可有效隔绝氢气和氧气，透气率  $\leq (1.3 \pm 1) \text{L}/(\text{cm}^2 \cdot \text{min})$ 。

### 4.应用案例

#### (1) 项目基本情况：

技术提供单位为碳能科技（北京）有限公司，应用单位为隆基氢能科技有限公司。该项目为新建项目，建设 4 套  $1000 \text{ Nm}^3 \text{ H}_2/\text{h}$  碱性水电解制氢电解槽。

#### (2) 主要技术改造内容及实施周期：

采用复合隔膜代替 PPS（聚苯硫醚）布隔膜应用于 4 套碱性电解水制氢电解槽。实施周期 6 个月。

#### (3) 节能降碳效果及投资回收期：

建设完成后，直流电解制氢能耗由传统  $4.6 \text{ kW} \cdot \text{h}/\text{Nm}^3$  降至  $4.38 \text{ kW} \cdot \text{h}/\text{Nm}^3$ ，按年运行 8000 小时计算，与传统隔膜电解水制氢相比，年节电 176 万千瓦时，折合年节约标准煤 533.3 吨，减少二氧化碳排放 1003.7 吨。投资额为 3200 万元，投资回收期为 11 年。

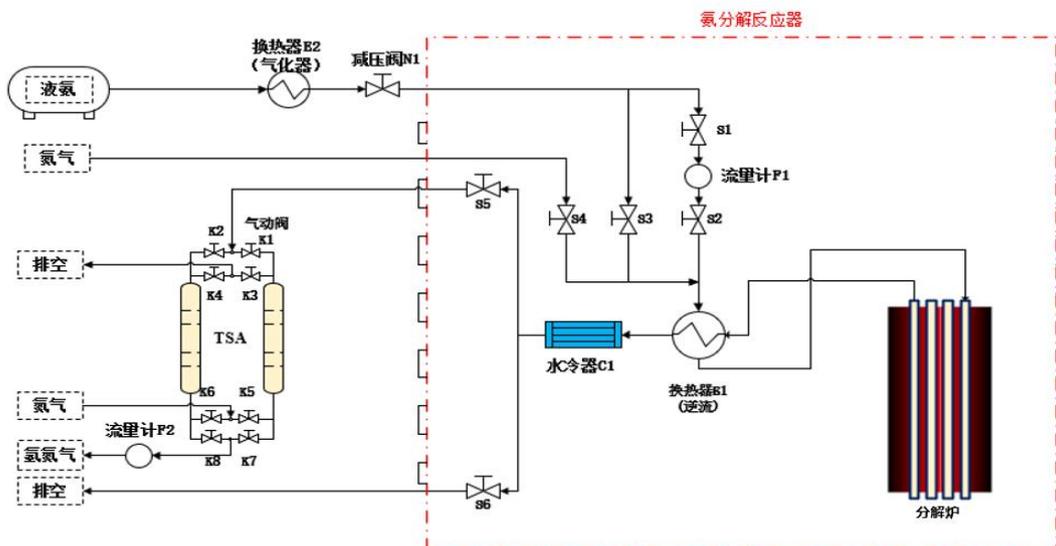
### 案例三：低温氨分解制氢装置

#### 1.技术适用范围

适用于工业氨制氢领域。

#### 2.技术原理及工艺

该技术采用低温氨分解催化剂，耦合换热与余热回收体系和智能调功系统，液氨经气化、预热后进入氨分解反应器，利用高温尾气余热作为预热和反应热源，分解成氢氮混合气体，通过吸附分离完成杂质脱除及产物气纯化，催化剂降低反应温度，电力调整器动态调压调功，工艺过程能耗减少约 30%。工艺流程如图所示。



低温氨分解制氢装置工艺流程图

#### 3.技术功能特性及指标

(1) 额定工况下单位分解气能耗 $\leq 0.45 \text{ kW}\cdot\text{h}/\text{Nm}^3$ ，氨分解率 $> 99.9\%$ ；

(2) 纯化后残氨量 $<0.1$  ppm, 露点 $<-30$  °C。

#### 4.应用案例

(1) 项目基本情况:

技术提供单位为福大紫金氢能科技股份有限公司, 应用单位为新万鑫(福建)精密薄板有限公司。改造前应用单位原有氨分解设备, 平均产气量为 $225.81$  Nm<sup>3</sup>/h, 主要耗能种类为电力, 单位分解气能耗为 $0.65$  kW·h/Nm<sup>3</sup>。

(2) 主要技术改造内容及实施周期:

安装1套FZAD-200型低温节能氨分解制氢装置替代原有氨分解设备进行生产供气。实施周期2个月。

(3) 节能降碳效果及投资回收期:

改造完成后, 经测算, 单位分解气能耗降低至 $0.41$  kW·h/Nm<sup>3</sup>, 节能率37%, 年节电量47.47万千瓦时, 折合年节约标准煤143.85吨, 减少二氧化碳排放270.75吨。投资额为25万元, 投资回收期为0.78年。

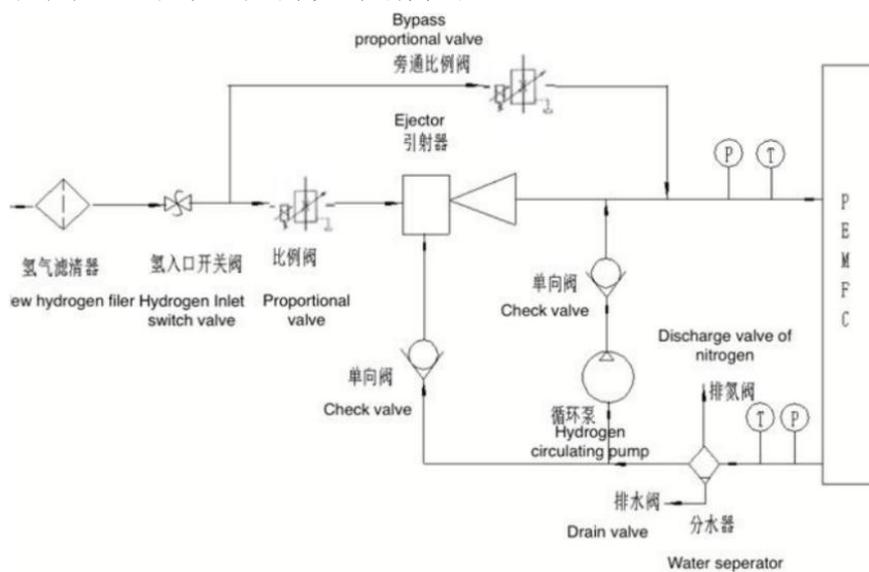
## 案例四：氢气回路冷启动破冰核心技术

### 1. 技术适用范围

适用于氢燃料电池车系统。

### 2. 技术原理及工艺

该技术采用温度算法自适应氢气循环泵和多级微孔膜除水装置，通过脉冲式氢气回流主动冲刷氢气回路冰晶，提升冷凝水截留效率，减少泵内液态水残留与结冰风险，结合压力补偿与梯度升温策略，提升电堆内部温度场均匀性，抑制热应力，降低低温工况衰减率。系统架构如图所示。



氢气回路冷启动破冰核心技术系统架构图

### 3. 技术功能特性及指标

- (1) 冷凝水截留效率达 99.5%；
- (2) 最低启动温度：-40℃，冷启动时间：30 s；
- (3) 电堆内部温度场均匀性偏差 $\leq 3$ ℃。

#### 4.应用案例

##### (1) 项目基本情况：

技术提供单位为烟台东德实业有限公司，应用单位为上海重塑能源科技有限公司。原氢燃料电池系统在循环泵壳外安装 500 瓦加热片加热保温，需长时间电机破冰及加热，单台启动一次破冰能耗约 3.75 千瓦时。

##### (2) 主要技术改造内容及实施周期：

安装 5000 套带有氢气回路冷启动系统的氢燃料电池，实现氢气循环泵快速破冰。实施周期 1 年。

##### (3) 节能降碳效果及投资回收期：

改造完成后，电池系统年运行 90 天，每日启动 2 次，年总耗电量约为 0.45 万千瓦时，年节电量为 337.1 万千瓦时，折合年节约标准煤 1021 吨，减少二氧化碳排放 1922 吨。投资额为 3200 万元，投资回收期为 9 年。

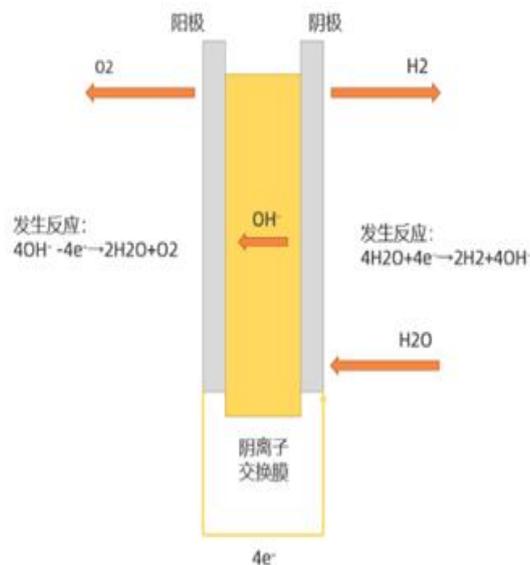
## 案例五：阴离子交换膜电解水制氢技术

### 1.技术适用范围

适用于绿氢制备领域。

### 2.技术原理及工艺

该技术采用光伏发电驱动阴离子交换膜（AEM）电解槽，以纯水为原料发生电解反应制氢，通过阴离子交换膜将氢氧根离子从阴极传导至阳极，阴极反应产生氢气，阳极反应产生水和氧气，经气液、气气分离干燥得到高纯绿氢，可协同运行储能系统，保障离网制氢效率，较碱性电解水制氢设备利用率提升 20%。技术原理如图所示。



阴离子交换膜电解水制氢技术原理图

### 3.技术功能特性及指标

(1) 适配波动电源，对比碱性电解水制氢设备利用率提升 20%以上；

(2) 单位产品能耗较传统电解水方式降低 11%。

#### 4.应用案例

(1) 项目基本情况：

技术提供单位为惠州亿纬氢能有限公司，应用单位为潮州和翔陶瓷制造厂。应用单位使用天然气给梭式窑进行燃烧供热，主要耗能种类为天然气，每炉产品平均耗气量为 469 Nm<sup>3</sup>，年耗能量为 187.13 吨标准煤。

(2) 主要技术改造内容及实施周期：

使用光伏离网阴离子交换膜电解水技术进行天然气掺氢，改造陶瓷窑炉进行进气口，增加氢气、氧气接入口。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，年产能为 1200 吨，每炉产品平均耗气量降至 390 Nm<sup>3</sup>，年耗能量为 155.61 吨标准煤，折合年节约标准煤 32 吨，减少二氧化碳排放 46 吨。投资额为 20 万元，投资回收期为 3 年。

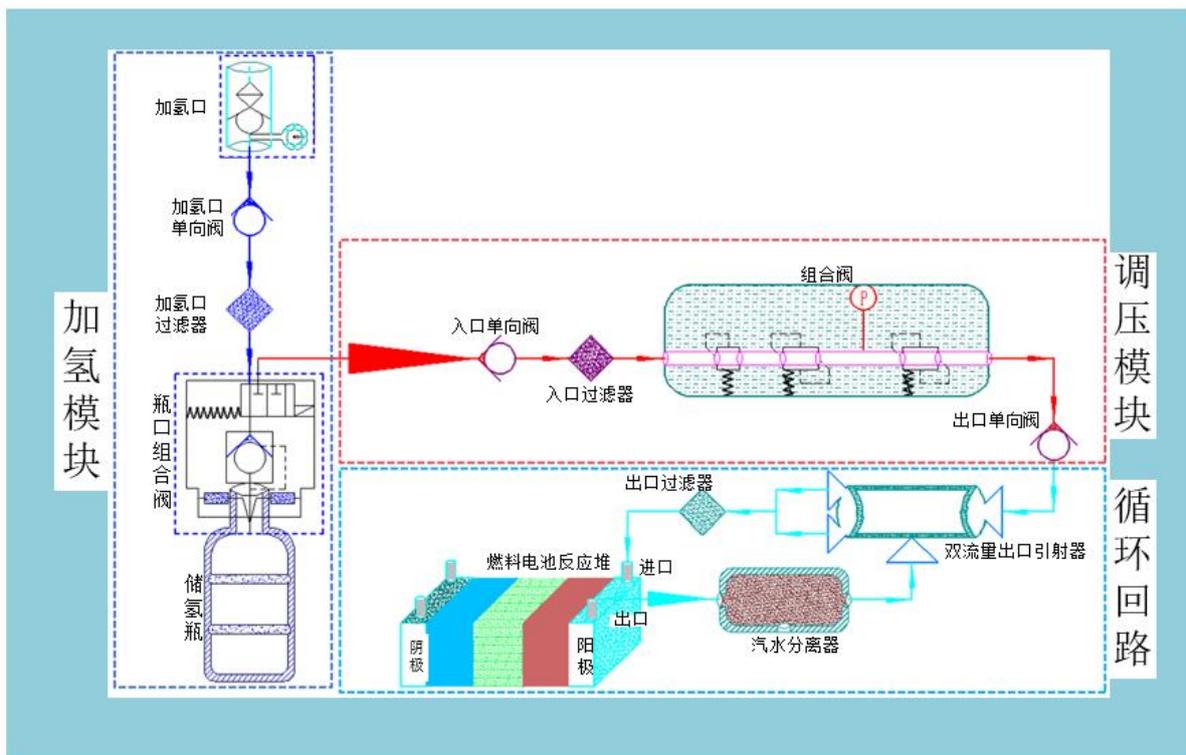
## 案例六：无人机用气态储氢及供氢系统

### 1.技术适用范围

适用于氢动力无人机系统。

### 2.技术原理及工艺

该技术采用玄武岩纤维缠绕高压储氢瓶，结合阴阳极压力差回氢循环系统和双流量出口引射器，实现阳极未反应氢气主动回流，实时智能调节氢气和空气流量，提高中低负荷下氢气循环利用能力，氢气回收效率提升约 18%，减少氢气消耗，实现全工况范围内氢气稳定供给。技术原理如图所示。



无人机用气态储氢及供氢系统技术原理图

### 3.技术功能特性及指标

(1) 采用阴阳两极压力差回氢循环系统，压力差为 0.1~0.3 bar，

回氢流量最高可达 3.215 g/s;

(2) 采用双流量出口引射器，最大引射流量可达 8.184 g/s，氢气回收效率提升 17.9%。

#### 4.应用案例

##### (1) 项目基本情况：

技术提供单位为四川丛碧新能源科技有限公司，应用单位为风氢源科技（苏州）有限公司。改造前应用单位采用 10 台锂电池无人机进行园区巡检，主要耗能种类为电力，单台无人机年运行 4000 小时，年耗电量约 23.53 万千瓦时。

##### (2) 主要技术改造内容及实施周期：

采用氢能无人机代替原锂电池无人机。实施周期 1 年。

##### (3) 节能降碳效果及投资回收期：

改造完成后，单台无人机氢气消耗量为 0.215 kg/h，按单台无人机年飞行时间 3000 小时计算，折合年节约标准煤 45 吨，减少二氧化碳排放 120 吨。投资额为 50 万元，投资回收期为 2 年。

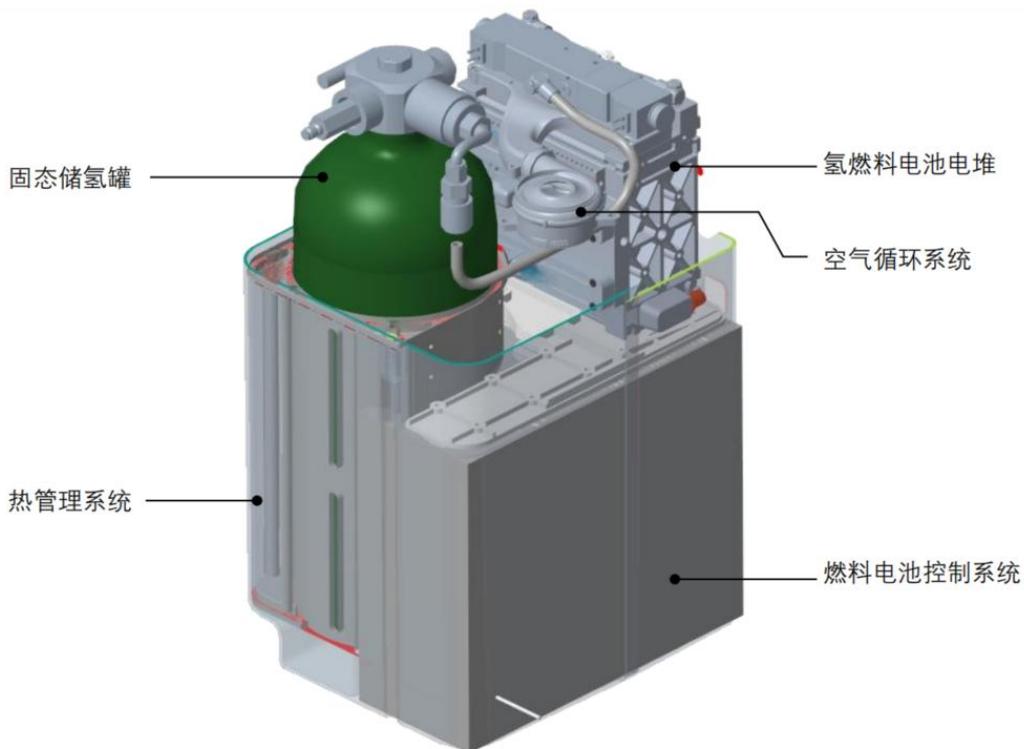
## 案例七：小功率氢燃料电池系统

### 1.技术适用范围

适用于氢燃料电池系统。

### 2.技术原理及工艺

该技术在开放式空冷燃料电池堆增设封闭阴极与液冷布局，利用三维设计仿真软件优化空腔、氢腔及水腔的流场设计，协同优化催化剂浆料配方、喷涂工艺及扩散层结构，匹配低功耗鼓风机等关键部件，形成小功率燃料电池电堆，提升双极板与整堆流场性能，氢气利用效率提升至 98%。产品结构如图所示。



小功率氢燃料电池系统产品结构图

### 3.技术功能特性及指标

(1) 氢气利用效率提升至 $\geq 98\%$ ;

(2) 能量转化效率提升至 40%以上；

(3) 小功率燃料电池寿命 >3500 小时，功率衰减 <20%。

#### 4.应用案例

(1) 项目基本情况：

技术提供单位为四川轻绿科技有限公司，应用单位为成都市新都区。该项目为新建项目，投放共享氢能电动自行车，主要耗能种类为氢能，燃料电池系统功率为 350 瓦。

(2) 主要技术改造内容及实施周期：

投放 3500 辆采用小功率燃料电池系统的氢能电动自行车。实施周期 1.5 年。

(3) 节能降碳效果及投资回收期：

经测算，单辆电动自行车年平均用氢量为 20 千克，折合年节约标准煤 284.2 吨，减少二氧化碳排放 317 吨。投资额为 1750 万元，投资回收期为 1.5 年。

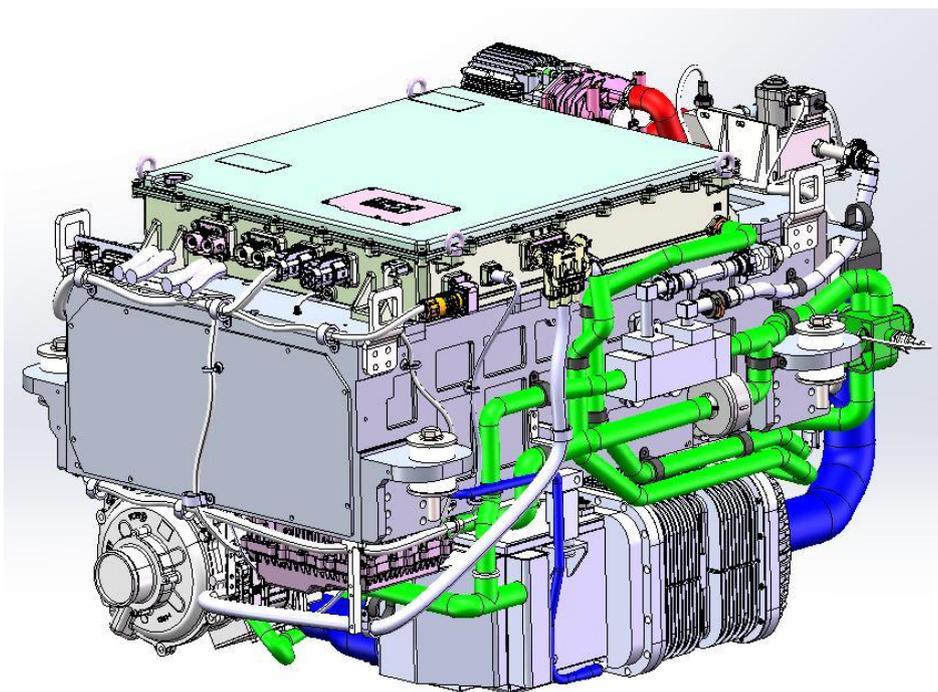
## 案例八：200 千瓦级氢燃料电池动力系统

### 1.技术适用范围

适用于氢燃料电池系统。

### 2.技术原理及工艺

该技术集成电池堆、气体供应、热管理及智能控制系统，实时响应输出负载所需电能。氢气在阳极侧经催化剂作用分解为质子和电子，质子穿过质子交换膜（PEM）迁移至阴极，电子通过外部电路输出电能，在阴极侧发生还原反应生成水，全程零碳排放，能量转换效率达 45%~60%。电池系统结构如图所示。



氢燃料电池系统结构图

### 3.技术功能特性及指标

(1) 采用氢燃料电池，系统能量转化效率为 45%~62%；

(2) 质量功率密度为 740 W/kg;

(3) 低温冷启动温度  $\geq -35\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

#### 4.应用案例

(1) 项目基本情况:

技术提供单位为东方电气（成都）氢能科技有限公司，应用单位为成都氢辉源汽车运输有限公司。改造前应用单位主要采用柴油重卡，主要耗能种类为柴油，单台重卡年柴油消耗量为 151.47 吨。

(2) 主要技术改造内容及实施周期:

投入 42 台氢燃料重卡代替柴油车进行运输。实施周期 1 年。

(3) 节能降碳效果及投资回收期:

改造完成后，每辆氢燃料电池卡车年消耗氢气 43.56 吨，经测算单台车年节约标准煤 42.36 吨，减少二氧化碳排放 469 吨，合计年节约标准煤 1779.12 吨，减少二氧化碳排放 1.97 万吨。投资额为 5460 万元，投资回收期为 2 年。

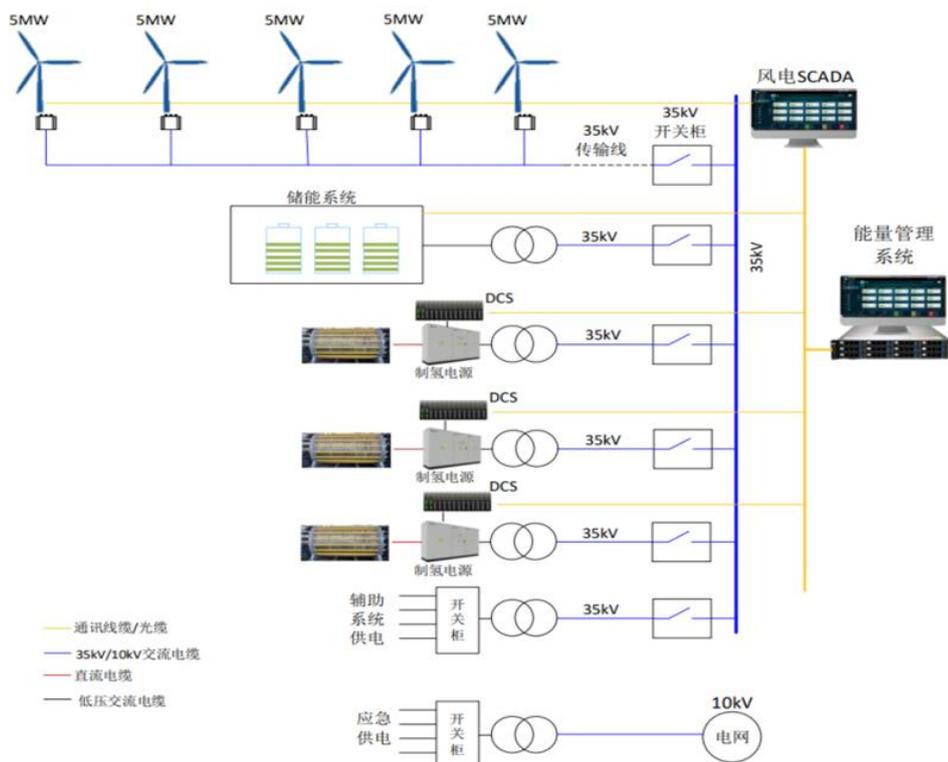
## 案例九：大容量风电离网制氢一体化技术

### 1.技术适用范围

适用于可再生能源离网制氢领域。

### 2.技术原理及工艺

该技术采用二极管整流与变流器级联、多组电解槽与储能系统，集成能量管理平台，优化源-储-荷容量配置，结合电解负荷主动频率支撑技术，实时监测电网状态并动态调节制氢功率，分层优化控制，实现风氢功率的高精度跟踪与能源分配，提升能量转换效率与风电波动适应能力，电解槽跟踪风电精度大于 95%，保障离网制氢系统稳定运行。工艺流程如图所示。



大容量风电离网制氢一体化技术工艺流程图

### 3.技术功能特性及指标

(1) 精准控制能量分配，系统协同运行状态下电解槽跟踪风电精度大于 95%，系统可用性时长达 95%；

(2) 通过二极管整流级联 DC/DC 变流器，有效平抑风电功率波动，系统母线电压幅值最大变化范围 10%，频率最大变化量 0.5 Hz。

### 4.应用案例

#### (1) 项目基本情况：

技术提供单位为华电辽宁能源有限公司，应用单位为辽宁铁岭华电氢能源科技发展有限公司。该项目为新建项目，风电场总装机容量为 25 MW，利用风电实现电解水制氢。

#### (2) 主要技术改造内容及实施周期：

安装总装机容量为 25 MW 的风力发电机组，新建开闭站，配套 3000 Nm<sup>3</sup>/h 碱性电解槽、5 MW/5 MW·h 储能装置、气液分离框架、氢气纯化设备、1600 m<sup>3</sup> 储氢罐、氢气压缩机、双枪双计量加氢柱等。实施周期 6 个月。

#### (3) 节能降碳效果及投资回收期：

建设完成后，采用风电代替传统化石能源制氢，年消纳风能发电 72924 兆瓦时，年产绿氢约 1123 吨，折合年节约标准煤 2.21 万吨，减少二氧化碳排放 4.16 万吨。投资额为 25490 万元，投资回收期为 12 年。

## (十) 工业减碳技术

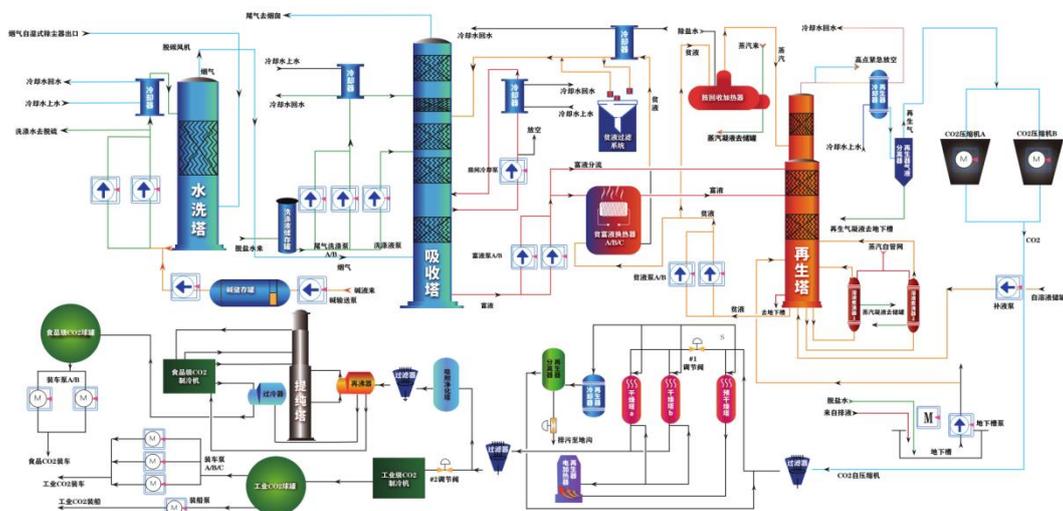
### 案例一：大规模燃烧后碳捕集技术

#### 1. 技术适用范围

适用于二氧化碳捕集领域。

#### 2. 技术原理及工艺

该技术采用醇胺吸收法碳捕集工艺，通过优化三元复合胺吸收剂，集成级间冷却、富液分流等工艺，搭配小齿顶角填料和干法凝胺回收装置，将水洗段与吸收段同塔布置，应用高效离心式压缩机组，降低吸收塔压降和避免胺溶剂逃逸，实现二氧化碳捕集率 90%以上。工艺流程如图所示。



大规模燃烧后碳捕集技术工艺流程图

#### 3. 技术功能特性及指标

(1) 采用三元复配胺吸收剂，再生热耗相比传统单乙醇胺吸收剂下降 35%以上；

(2) 采用小齿顶角填料和干法凝胺回收装置，吸收塔压降减小 5%~10%，胺逃逸较传统装置降低 30%。

#### 4.应用案例

##### (1) 项目基本情况：

技术提供单位为国家能源集团新能源技术研究院有限公司，应用单位为国家能源集团泰州发电有限公司。该项目为新建项目。

##### (2) 主要技术改造内容及实施周期：

采用三元复合胺吸收剂进行碳捕集，配套安装小齿顶角填料和干法凝胺回收装置等。实施周期 1 年。

##### (3) 节能降碳效果及投资回收期：

建设完成后，年捕集二氧化碳 51.5 万吨，CO<sub>2</sub> 捕集率达 90.86%，CO<sub>2</sub> 纯度 99.94%，捕集热耗为 2.35 GJ/tCO<sub>2</sub>，电耗为 51.5 kW·h/tCO<sub>2</sub>，捕集 CO<sub>2</sub> 的综合能耗约为 0.115 tce/tCO<sub>2</sub>，折合年减少二氧化碳排放 35 万吨。投资额为 32000 万元，投资回收期为 9.6 年。

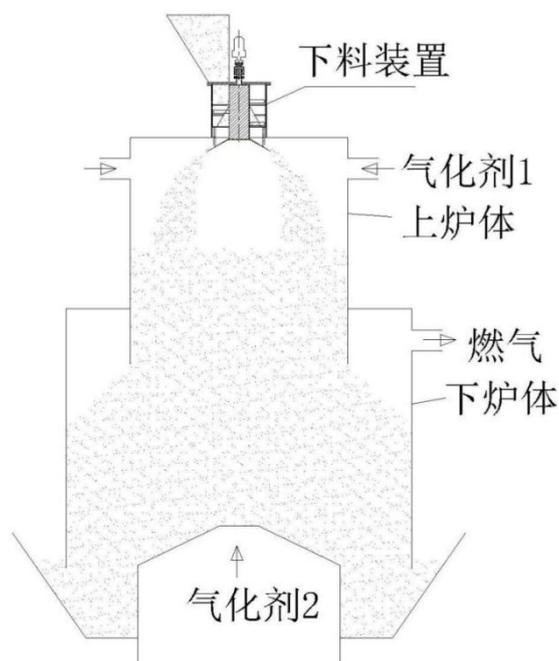
## 案例二：生物质微波裂解燃气化成套装备及技术

### 1.技术适用范围

适用于天然气替代领域。

### 2.技术原理及工艺

该技术采用上下炉体复合型固定床气化炉，结合富氧气化技术及微波裂解焦油技术。生物质原料从炉顶经连续式封闭布料下料装置进入上炉体内与气化剂1依次发生加热、裂解、氧化和还原反应，反应后固体碳和焦油渣下降至下炉体与气化剂2反应生产燃气，残余固废由底部灰槽液压系统排出，生物质原料碳转化率 $\geq 95\%$ ，减少天然气消耗。工艺流程如图所示。



生物质微波裂解燃气化成套装备及技术工艺流程图

### 3.技术功能特性及指标

(1) 采用生物质原料制备燃料气，能量转换效率高，碳转化率 $\geq 95\%$ ，燃气热值达 1700~1900 kcal/m<sup>3</sup>；

(2) 反应后处理难度低，燃气焦油含量 $\leq 20$  mg/m<sup>3</sup>。

#### 4.应用案例

(1) 项目基本情况：

技术提供单位为湖南阳东电瓷电气股份有限公司，应用单位为湖南阳东电瓷电气股份有限公司。改造前应用单位使用管道天然气生产高压瓷绝缘子，年生产 10~63 千伏瓷绝缘子 7600 吨，单位产品天然气消耗量约为 276 立方米/吨。

(2) 主要技术改造内容及实施周期：

新建生物质气化站，包括上料机、气化炉、气体净化设备等，将原天然气供热改为生物质气供热。实施周期 1 年。

(3) 节能降碳效果及投资回收期：

改造完成后，年产量提高为 9950 吨，年消耗天然气 160 万立方米，增加年耗电量 90480 千瓦时，经测算，年节约天然气消耗量 115 万立方米，折合年节约标准煤 1502 吨，减少二氧化碳排放 2334 吨。投资额为 200 万元，投资回收期为 1.85 年。

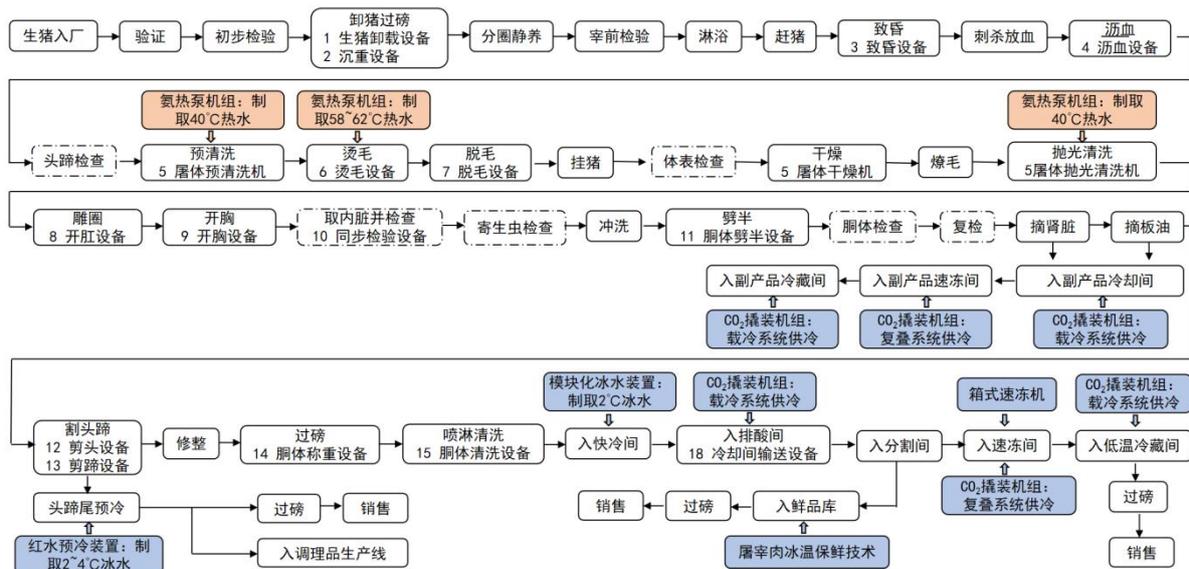
### 案例三：肉食加工用能零碳技术

#### 1.技术适用范围

适用于肉类加工制冷领域。

#### 2.技术原理及工艺

该技术搭建光伏发电系统及能源管控系统提供新能源电力，结合绿色制冷剂、红水预冷装置、箱式连续冷却冻结装置及屠宰肉冰温保温技术，通过热泵回收制冷系统冷凝热，制取 40~82℃ 多级热水，满足不同工艺用热，降低速冻与冷藏能耗，实现能量梯级利用。工艺流程如图所示。



注：1~18为相关工艺对应的配套设备。其中，16为胴体运输设备。17为刀具消毒设备和围裙清洗器，氨热泵机组：制取82℃热水为工具消毒。

肉食加工用能零碳技术工艺流程图

#### 3.技术功能特性及指标

(1) 制冷系统采用智能化软硬件控制，实现制冷系统全自动运行，按需供冷，节能率 15.7%；

(2) 采用红水预冷装置制取 0.5~1℃ 冷水，供给螺旋预冷

槽，节能率 37.7%，节水率 46.9%。

#### 4.应用案例

##### (1) 项目基本情况：

技术提供单位为冰山冷热科技股份有限公司，应用单位为牧原食品股份有限公司。该项目为新建项目。

##### (2) 主要技术改造内容及实施周期：

建设规模为 20000 吨的低温立体冷库、速冻加工车间及配套辅助建筑，安装红水预冷装置、箱式连续冷却冻结装置及氨热泵机组、CO<sub>2</sub>撬装机组、光伏发电等设备，并配套 IOT（物联网）冷热智能控制系统和智慧能源管理系统。实施周期 2 年。

##### (3) 节能降碳效果及投资回收期：

建设完成后，年消纳绿电 280 万千瓦时，节电量 458 万千瓦时，并采用绿色制冷剂替代全球变暖潜能值高的制冷剂，减少碳排放，较传统屠宰工厂，综合年节约标准煤 2476 吨，减少二氧化碳排放 1 万吨。投资额为 1007 万元，投资回收期为 2 年。

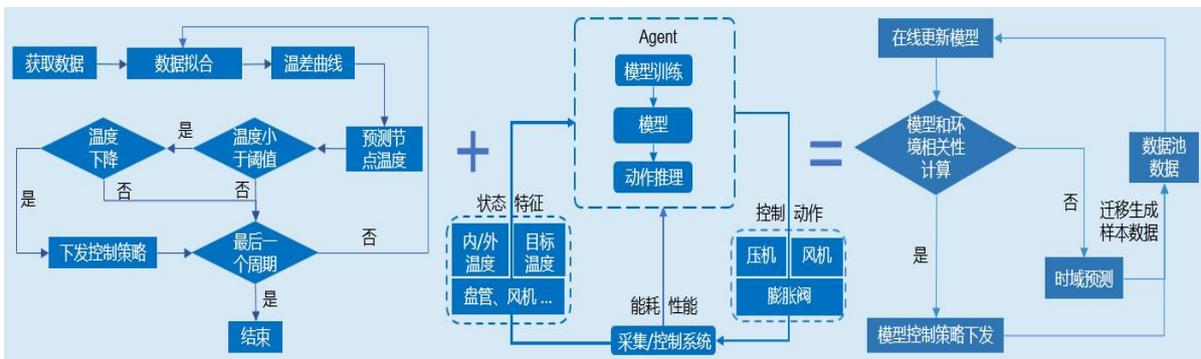
## 案例四：基于学习代理模型的空调运行节能关键技术

### 1.技术适用范围

适用于家用/商用空调系统。

### 2.技术原理及工艺

该技术采用轻量化温差模型及控制算法，融合数据与机理混合建模技术和迁移学习技术，通过空调运行数据预测温度变化趋势，提前调节压缩机频率，并实时利用高价值数据进行训练，形成自主执行网络，自适应切换控制策略并更新模型，实现系统提前平滑控制，减少频繁启停能耗，全时域平均节能达 18%。技术原理如图所示。



基于学习代理模型的空调运行节能关键技术原理图

### 3.技术功能特性及指标

- (1) 空调动态阶段节能率达 40%，全时域平均节能率达 18%；
- (2) 通过对温度参数进行动态训练，温控精度提升 50%以上。

### 4.应用案例

- (1) 项目基本情况：

技术提供单位为 TCL 空调器（中山）有限公司，应用单位为瑞安市电化教育与教育装备中心。该项目为新建项目，设计规模为 1100 套 3 匹空调。

（2）主要技术改造内容及实施周期：

采购并安装调试搭载 AI 节能模块的空调系统，同步实施配套电力增容工程。实施周期 1 个月。

（3）节能降碳效果及投资回收期：

建设完成后，经测算，单台空调制冷季耗电量为 684 千瓦时，节电率为 18%，年节电量 16.5 万千瓦时，折合年节约标准煤 50 吨，减少二氧化碳排放 94 吨。较传统空调增加投资额 5.5 万元，投资回收期为 0.55 年。

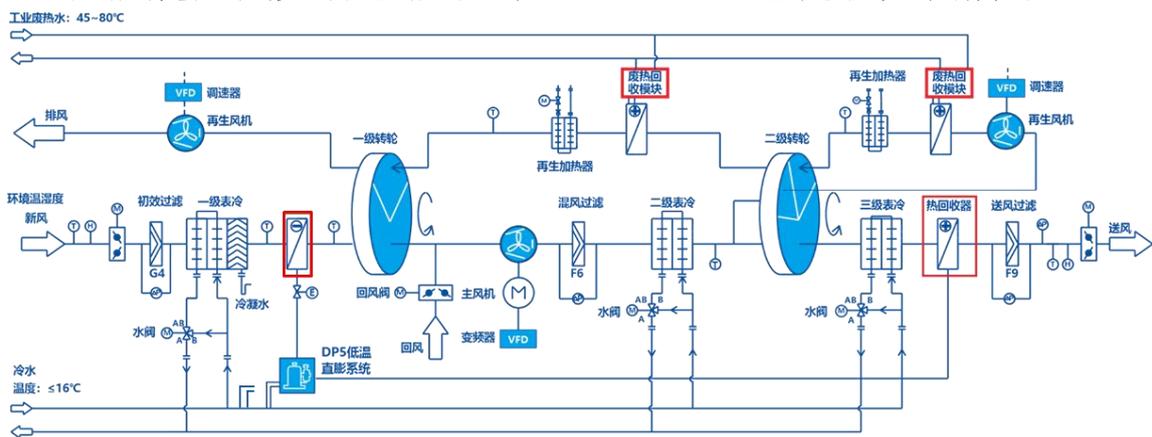
## 案例五：一体化高效低露点转轮除湿系统

### 1.技术适用范围

适用于工业除湿领域。

### 2.技术原理及工艺

该技术集成传统转轮除湿、低温出风直膨除湿、热泵余热回收再生高温技术及智能自适应控制系统，回收低温工业废热加热再生风，降低空气含湿量，使除湿系统根据环境变化进行自适应动态调节，减少转轮负荷及再生热风能耗，提升冷冻水进水温度和主机能效，减少再生能耗可达 50%。工艺流程如图所示。



一体化高效低露点转轮除湿系统工艺流程图

### 3.技术功能特性及指标

(1) 采用低温出风直膨除湿技术处理新风，降低转轮进风含湿量至  $4.45\sim 5.12\text{ g/kg}$ ，减少转轮除湿负荷和再生能耗  $30\%\sim 50\%$ ；

(2) 提升冷冻水进水温度最高至  $16^{\circ}\text{C}$ ，提升机组能效  $33\%$ ；

(3) 回收  $45\sim 80^{\circ}\text{C}$  工业废热水热量，加热再生风至  $120^{\circ}\text{C}$ 。

#### 4.应用案例

##### (1) 项目基本情况：

技术提供单位为广东欧科空调制冷有限公司，应用单位为江苏耀宁新能源有限公司。改造前应用单位配置一体化高效转轮除湿机，转轮再生采用蒸汽加热，机组年蒸汽消耗量为 65880 吨。

##### (2) 主要技术改造内容及实施周期：

在原 19 台除湿机中增设 DP5 新风处理蒸发器，拆除和改造原水系统管道、控制柜，并进行电气接线改造。实施周期 2 个月。

##### (3) 节能降碳效果及投资回收期：

改造完成后，19 台除湿机每年蒸汽耗量降至 54540 吨，年减少蒸汽消耗量 11340 吨，折合年节约标准煤 1066 吨，减少二氧化碳排放 2835 吨。投资额为 410 万元，投资回收期为 1 年。

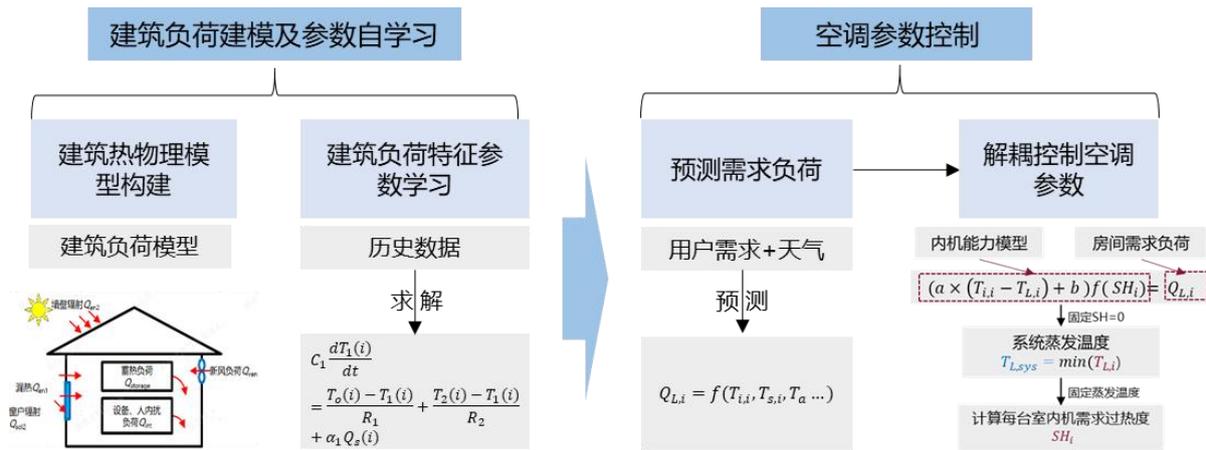
## 案例六：基于负荷预测的中央空调运行节能技术

### 1. 技术适用范围

适用于多联机、单元机空调系统。

### 2. 技术原理及工艺

该技术采用非稳态 RC 负荷模型和建筑参数主动识别算法，构建负荷模型实时预测建筑负荷，采集空调历史运行数据，结合内机能力计算运行参数，并在实际运行中持续对比实际参数与最优室温变化曲线，动态调节控制参数，确保空调运行参数与实时负荷精确匹配，运行节能达 25%。技术原理如图所示。



基于负荷预测的中央空调运行节能技术原理图

### 3. 技术功能特性及指标

(1) 自动识别房间建筑负荷特征，室温预测误差  $\leq 1^\circ\text{C}$ ，负荷预测误差  $\leq 15\%$ ；

(2) 动态调节运行参数，实现空调能力与建筑负荷相匹配，运行节能率达 25%。

#### 4.应用案例

##### (1) 项目基本情况：

技术提供单位为青岛海信日立空调系统有限公司，应用单位为杭州暖方环境工程有限公司。改造前应用单位采用普通多联机空调产品，通过室温反馈式制冷/制热能力调节温度，年耗电量12500 千瓦时/台。

##### (2) 主要技术改造内容及实施周期：

安装 5 台应用新型负荷预测节能控制技术的 M3 系列多联机产品，替代原空调系统。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，单台空调年节电量达 2500 千瓦时，节电率 20%，综合年节电量为 12500 千瓦时，折合年节约标准煤 4 吨，减少二氧化碳排放 7 吨。较传统空调增加投资额 0.5 万元，投资回收期为 5 个月。

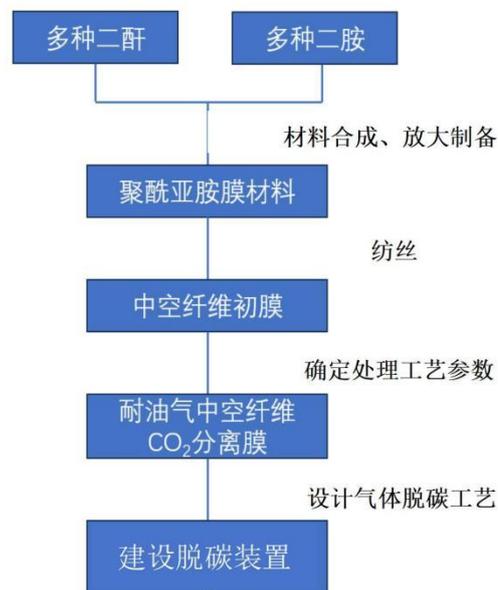
## 案例七：中空纤维二氧化碳分离膜技术

### 1.技术适用范围

适用于石化、化工行业二氧化碳捕集领域。

### 2.技术原理及工艺

该技术采用二酐与二胺单体制备具有双预埋功能基团的聚酰亚胺材料，通过干湿相转化法纺丝及热处理后，纤维膜内功能基团发生原位交联，形成耐油气溶胀的中空纤维二氧化碳分离膜，配置膜组件与压缩机，二次增压后实现二氧化碳分离与浓度控制，分离膜油气溶胀率 $<30\%$ ，实现二氧化碳稳定分离与回收。工艺流程如图所示。



中空纤维二氧化碳分离膜技术工艺流程图

### 3.技术功能特性及指标

- (1) 膜组件  $\text{CO}_2/\text{N}_2$  分离因子  $>30$ ,  $\text{CO}_2/\text{CH}_4$  分离因子  $>50$ ;
- (2) 中空纤维  $\text{CO}_2$  分离膜的油气溶胀率  $<30\%$ 。

### 4.应用案例

#### (1) 项目基本情况:

技术提供单位为胜利通海油田服务股份有限公司, 应用单位为中国石油化工股份有限公司胜利油田分公司河口采油厂。该项目为新建项目, 平均处理气体量为 74500 立方米/天, 主要耗能种类为电力。

#### (2) 主要技术改造内容及实施周期:

安装采用中空纤维二氧化碳分离膜的脱碳装置, 并配套增压、输送和控制系统, 对天然气中的二氧化碳进行捕集。实施周期 6 个月。

#### (3) 节能降碳效果及投资回收期:

建设完成后, 处理气体耗电量为 11350 千瓦时/天, 较传统纯氨法工艺捕集二氧化碳节电率达 62%, 年节电量为 671.4 万千瓦时, 折合年节约标准煤 2034 吨, 减少二氧化碳排放 3829 吨。投资额为 1300 万元, 投资回收期为 2 年。

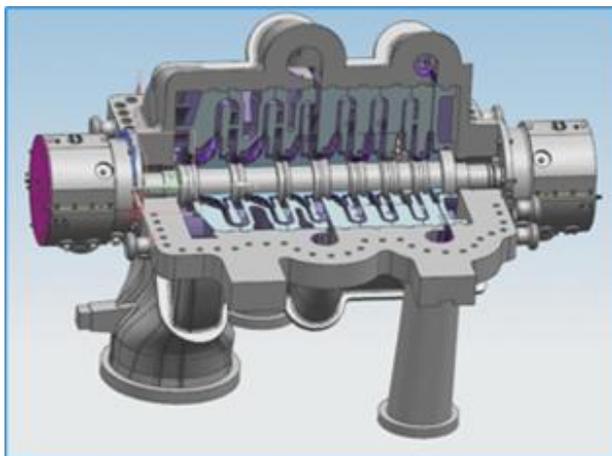
## 案例八：二氧化碳离心压缩机技术

### 1.技术适用范围

适用于大规模二氧化碳捕集领域。

### 2.技术原理及工艺

该技术利用高精度二氧化碳物性计算软件，构建适用于 15 万~300 万吨/年规模 CCUS 装置、排气压力覆盖 2~20 MPa 不同等级的二氧化碳离心压缩机，结合短粗干气密封设计、节鞭轴、消涡等结构，减少气流力作用，提升机组运行稳定性，配合智能化控制技术，提高机组多变效率至 80%以上，降低运行能耗。设备结构如图所示。



二氧化碳离心压缩机技术设备结构图

### 3.技术功能特性及指标

(1) 采用基于遗传算法的多目标优化设计，确保压缩机多变效率 $\geq 80\%$ ；

(2) 优化离心式压缩机设计，采用干气密封实现压缩机泄

漏量 $\leq 100$ 标立方米/小时，保障设备安全运行。

#### 4.应用案例

##### (1) 项目基本情况：

技术提供单位为西安陕鼓动力股份有限公司，应用单位为国家能源集团泰州发电厂有限公司。该项目为新建项目，应用单位建设有总装机 4000 兆瓦的发电机组及两台锅炉，使用离心压缩机对锅炉烟气进行碳捕集并压缩，二氧化碳捕集设计规模为 50 万吨/年。

##### (2) 主要技术改造内容及实施周期：

安装 2 台并联运行的离心压缩机捕集并压缩二氧化碳，离心式压缩机设计流量为 35650 千克/小时。实施周期 1 年。

##### (3) 节能降碳效果及投资回收期：

建设完成后，按年运行 8000 小时计算，二氧化碳封存消纳率达到 100%，可实现年捕集二氧化碳 50 万吨。投资额为 2500 万元，投资回收期为 1 年。

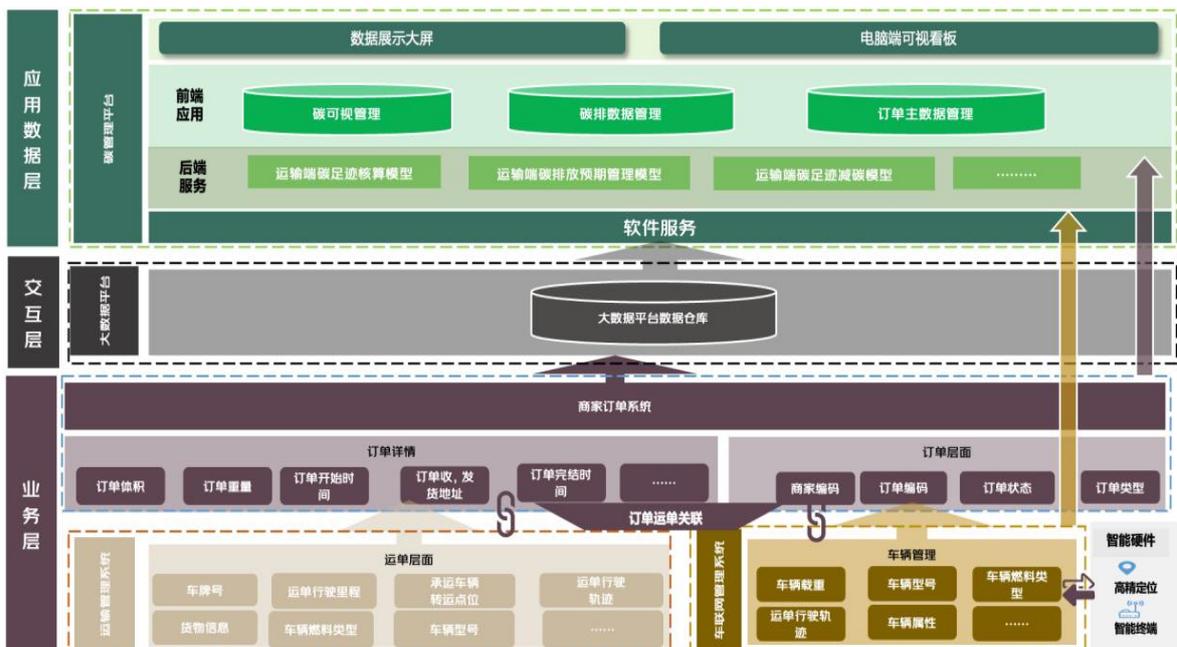
## 案例九：物流行业数字化减碳技术

### 1.技术适用范围

适用于物流行业温室气体监测与评估领域。

### 2.技术原理及工艺

该技术采用覆盖陆海空超 140 种交通运输因子的专业数据库，采集订单运输数据，逐级计算每个运单对应的温室气体排放数据，汇总生成总温室气体排放数据，运用 AI 模型分析能耗数据，优化运输路径降低能耗，提升运输能效。产品架构如图所示。



物流行业数字化减碳技术产品架构图

### 3.技术功能特性及指标

(1) 专业数据库覆盖陆海空超 140 种交通运输因子，利用 AI 深度分析实时能耗与生产数据；

(2) 系统核心操作提交事务响应时间<1.5 秒，一般页面支持 200+、核心页面支持 300+用户并发。

#### 4.应用案例

##### (1) 项目基本情况：

技术提供单位为北京京东远升科技有限公司，应用单位为迪卡侬公司。改造前应用单位在中国境内价值链上下游的温室气体排放面临移动排放源监测难、计算难的问题。

##### (2) 主要技术改造内容及实施周期：

在供应链碳管理平台（SCEMP）中为迪卡侬建立相应的碳账户，计算可核证的温室气体减排量及脱碳路径。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，通过碳核查优化运输路径与新能源载具调度，减少退货率，降低履约碳排放成本 15%~20%，年减少二氧化碳排放 4 吨。投资额为 650 万元，综合效益投资回收期为 4 个月。

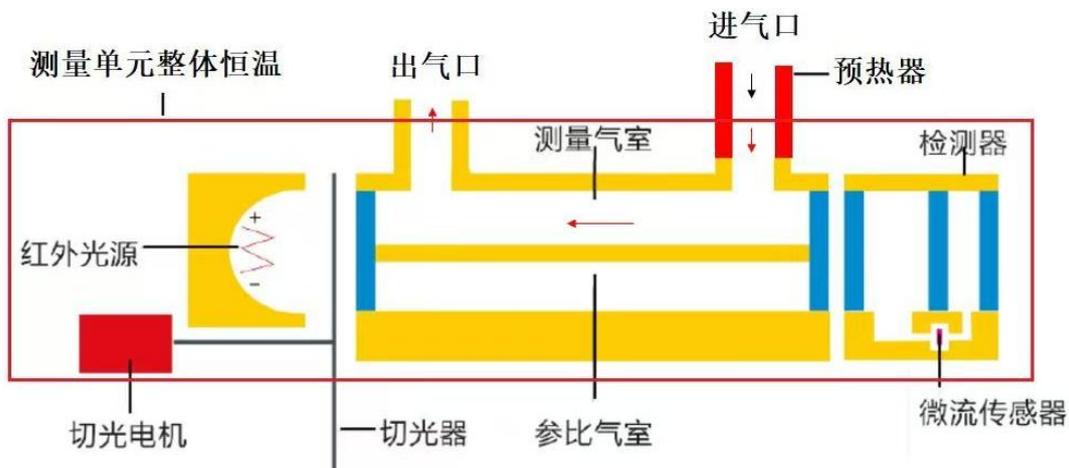
## 案例十：基于复杂流场的碳计量技术

### 1.技术适用范围

适用于火电机组碳排放计量领域。

### 2.技术原理及工艺

该技术采用二氧化碳监测、烟气排放参数监测、系统控制及数据采集处理的集成系统，监测烟气排放参数及烟气中的二氧化碳，通过可编程逻辑控制器进行模数转换，以通讯方式与数据采集系统进行连接并进行数据处理，实现复杂流场下烟气流量计量与火电机组碳排放连续监测，数据偏差 $<2\%$ ，减少碳数据核查成本和碳交易损失。工作原理如图所示。



基于复杂流场的碳计量技术工作原理图

### 3.技术功能特性及指标

(1) 采用基于 CFD（计算流体力学）数值模拟的线平均流量计倾斜安装工艺，实现烟气流量测量偏差 $<2\%$ ；

(2) 采用基于动态多变烟气流场的多点式流量计点位设置

技术，实现烟气流量测量偏差 $<6\%$ ；

(3) 采用非分散红外测量原理的  $\text{CO}_2$  浓度在线监测系统，提升零点漂移和量程漂移精度 6 倍，误差缩小 60%。

#### 4.应用案例

##### (1) 项目基本情况：

技术提供单位为国电环境保护研究院有限公司，应用单位为国家能源集团山西电力有限公司霍州发电厂。应用单位原有 1200 MW 燃煤机组，负荷率为 75%，碳排放强度为  $850 \text{ g}/(\text{kW}\cdot\text{h})$ ，采用碳数据核查法计量碳排放量。

##### (2) 主要技术改造内容及实施周期：

在 2 台超临界燃煤机组上安装二氧化碳排放在线精准计量系统并进行调试。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，碳排放量计量准确度提升约 2%，年节约碳数据核查和采制化改造成本约 100 万元。投资额为 200 万元，投资回收期为 2 年。

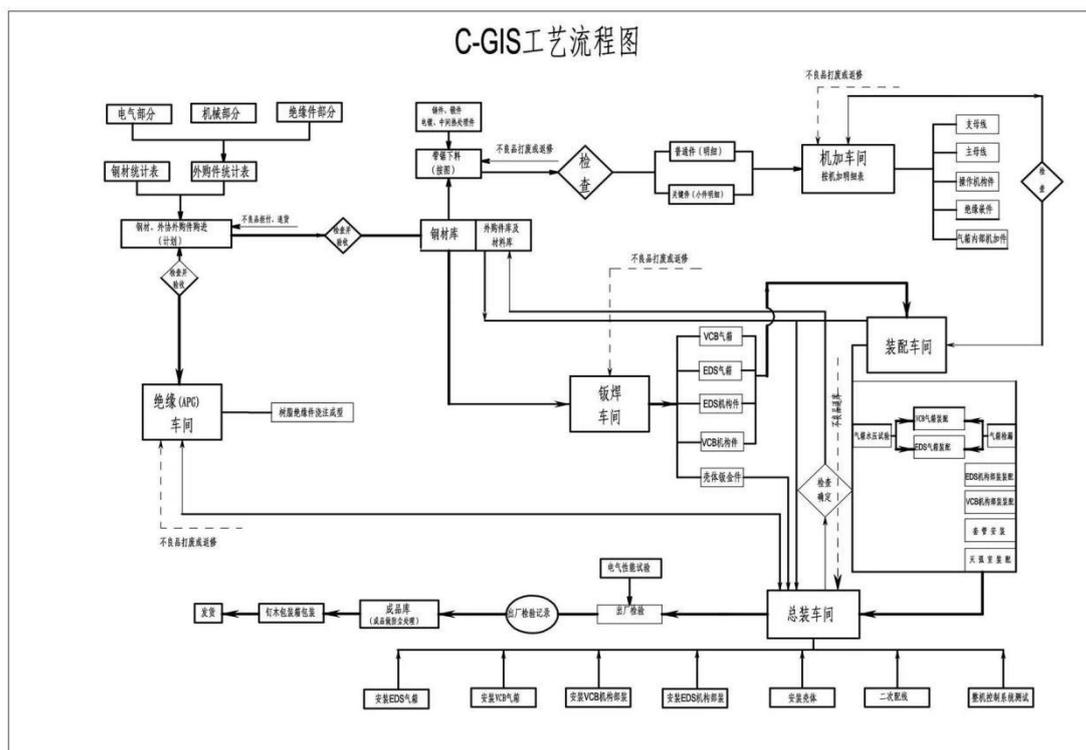
## 案例十一：中高压开关设备六氟化硫替代技术

### 1.技术适用范围

适用于中高压变电站开关设备。

### 2.技术原理及工艺

该技术采用清洁干燥空气或氮气替代传统六氟化硫，高压元件封装于密封容器内，三工位开关采用直动式结构，断路器采用真空纵磁场灭弧及模块化弹簧操动机构，提升开断能力与操作可靠性，隔绝大气环境影响，减少六氟化硫产生的温室气体排放。工艺流程如图所示。



中高压开关设备六氟化硫替代技术工艺流程图

### 3.技术功能特性及指标

(1) 采用真空灭弧室进行开断，替代传统高压 SF6 断路器，增温潜势值为 0；

(2) 适应极端环境，可在极寒、高温、高海拔等场景下连续稳定运行。

### 4.应用案例

#### (1) 项目基本情况：

技术提供单位为沈阳华德海泰电器有限公司，应用单位为辽宁西北供水有限责任公司。该项目改造前共 15 套高压开关设备，采用传统 SF6 开关设备，SF6 具有强温室效应，影响环境。

#### (2) 主要技术改造内容及实施周期：

采用 15 套 HG6-72.5KVH-GIS 产品，以清洁干燥空气为绝缘介质，替代传统 SF6 气体绝缘开关设备。实施周期 6 个月。

#### (3) 节能降碳效果及投资回收期：

经测算，与同型号 SF6 气体绝缘开关设备相比，每年减少 SF6 排放量 65.25kg，折合年减少二氧化碳排放 1644 吨。投资额为 600 万元，综合效益投资回收期为 1 年。

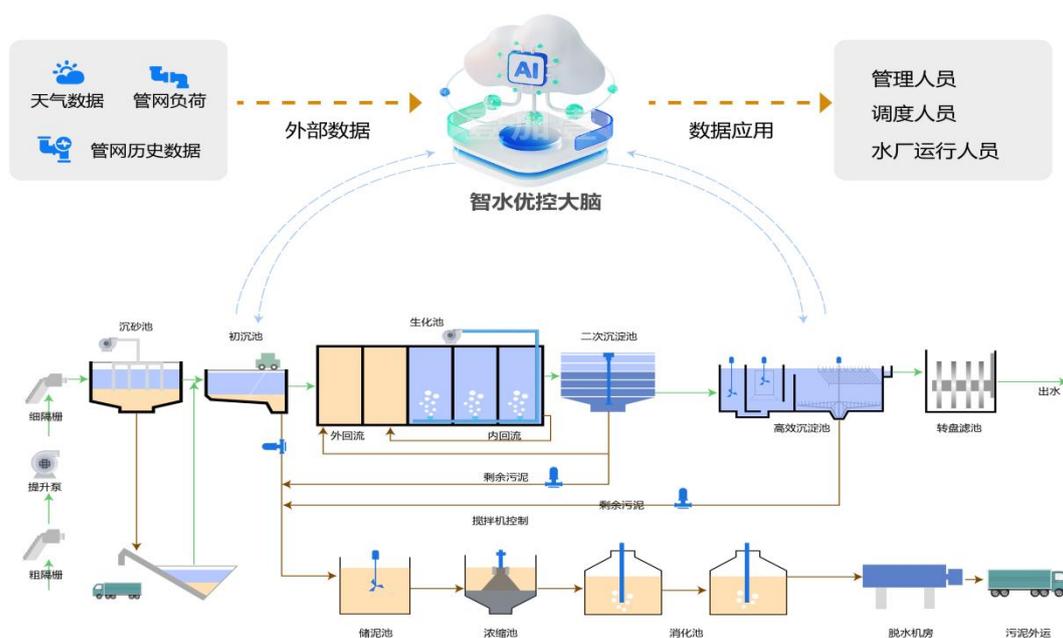
## 案例十二：污水处理智能控制技术

### 1.技术适用范围

适用于污水处理领域。

### 2.技术原理及工艺

该技术采用异常值识别与替代技术、高精度水质软测量技术，融合污水处理工艺机理模型与人工智能算法，构建双模协同控制算法，监测水质数据，根据动态数据智能加药与精准曝气，通过厌氧氨氧化工艺，降低工艺电耗和药耗，可整体降低碳排放达 30%。技术原理如图所示。



污水处理智能控制技术原理图

### 3.技术功能特性及指标

(1) 采用异常值识别与替代技术以及高精度水质软测量技术，日均值及小时均值达标率 100%；

(2) 基于工艺优化和控制算法实现综合降碳率 30%。

#### 4.应用案例

(1) 项目基本情况：

技术提供单位为青岛思普润水处理股份有限公司，应用单位为烟台市辛安河污水处理厂。改造前应用单位日处理污水 5 万吨，主要能耗为生化工艺曝气及搅拌产生的电耗，以及用于脱氮的乙酸钠和聚合氯化铝，吨水处理能耗为 0.6 千克标准煤。

(2) 主要技术改造内容及实施周期：

采用污水处理智能控制技术构建污水厂智慧管控平台，代替传统人工控制，不改变硬件设施，仅进行软件改造。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，吨水处理能耗降低至 0.4 千克标准煤，折合年节约标准煤 3650 吨，减少二氧化碳排放 6701 吨。投资额为 220 万元，投资回收期为 1.7 年。

## 二、国家信息化领域节能降碳技术应用指南与案例

## （一）数据中心节能降碳技术——高效冷却技术

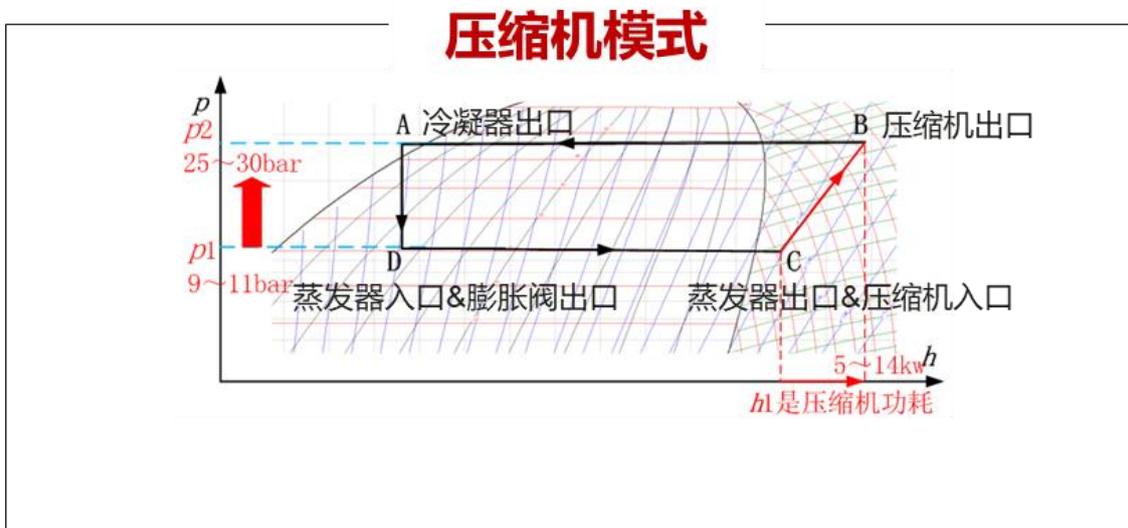
### 案例一：全直流变频氟泵空调技术

#### 1.技术适用范围

适用于数据中心制冷系统。

#### 2.技术原理及工艺

该技术采用变频压缩机及变频风机，可根据机房负载变化和室外环境温度进行系统寻优，自动调整压缩机、室内风机、室外风机等设备转速与电子膨胀阀的开度。当室外环境温度低于 10℃ 时，压缩机停止运行，直接利用自然冷源，可实现全氟泵驱动自然冷却循环，降低制冷系统能耗。技术原理如图所示。



#### 3.技术功能特性及指标

- (1) 全年能效比 (AEER) 可提升 8%;
- (2) 换热效率提高 10%;
- (3) 北京地区 75%负荷下全年能效比 (AEER) 为 10.9。

#### 4.应用案例

##### (1) 项目基本情况：

技术提供单位为华为数字能源技术有限公司，应用单位为上海某数据中心。该数据中心为新建项目，项目要求快速部署 600 个 IT 机柜。

##### (2) 主要技术改造内容及实施周期：

部署 43 个微模块，总共 602 个 IT 机柜，均采用全直流变频氟泵空调。实施周期 2 个月。

##### (3) 节能降碳效果及投资回收期：

项目可实现节能率 23%，年节约电量约 163 万千瓦时，折合年节约标准煤 493.9 吨，减少二氧化碳排放 1313.7 吨。投资额为 650 万元，投资回收期为 5 年。

## 案例二：双回路变频式氟泵技术

### 1.技术适用范围

适用于数据中心制冷系统。

### 2.技术原理及工艺

该技术采用“机械制冷+自然冷源”双循环协同模式，配备机械制冷和氟泵自然冷两套冷却回路，在机械制冷、自然冷却、联合冷却三种运行模式之间自动切换，可根据需求调节制冷量，制冷系统能耗降低 10%以上。工作原理如图所示。



双回路变频式氟泵技术工作原理图

### 3.技术功能特性及指标

- (1) 相较于传统空调，氟泵空调能效比提升 40%；
- (2) 单台空调节能率为 49.2%；
- (3) 运行温度区间为 -45℃~80℃。

### 4.应用案例

(1) 项目基本情况：

技术提供单位为浙江新涛智控科技股份有限公司、上海福慧特泵业制造有限公司、杭州电子科技大学（天台）数字产业研究院有限公司，应用单位为中国电信股份有限公司某分公司数据中心。改造前该数据中心采用传统房间级风冷空调降温，能耗较高。

(2) 主要技术改造内容及实施周期：

采用 1800 台变频式氟泵空调替换传统房间级风冷空调。实施周期 6 个月。

(3) 节能降碳效果及投资回收期：

可实现系统节能率 49.2%，项目年节电量为 5300 万千瓦时，折合年节约标准煤 1.6 万吨，减少二氧化碳排放 4.3 万吨。投资额为 860 万元，投资回收期为 3 个月。

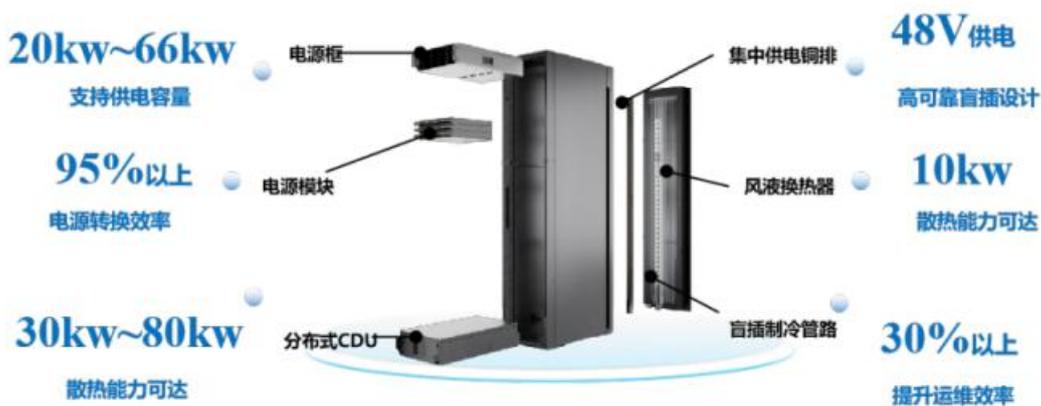
### 案例三：解耦冷板式液冷技术

#### 1.技术适用范围

适用于高密度液冷服务器数据中心制冷系统。

#### 2.技术原理及工艺

该技术采用可移动盲插总线结构，搭配可兼容型流体连接器，实现服务器与机柜的解耦交付、灵活部署。配置高密分布式冷量分配单元，可在4U空间内提供80千瓦的制冷量，支持35℃/45℃高温冷却水运行，依托系统智能调优功能动态匹配服务器冷量需求，实现数据中心电能利用效率低至1.15。机柜示意图如图所示。



解耦型冷板式液冷机柜示意图

#### 3.技术功能特性及指标

- (1) 供电容量：20 千瓦~66 千瓦；
- (2) 散热能力：30 千瓦~80 千瓦；
- (3) 电源转换效率： $\geq 95\%$ ；
- (4) 风液换热器散热量： $\geq 10$  千瓦。

#### 4.应用案例

##### (1) 项目基本情况：

技术提供单位为中国移动通信集团设计院有限公司，应用单位为某智算中心。该智算中心为新建项目，机柜功率密度较高。

##### (2) 主要技术改造内容及实施周期：

采用 10 台解耦型冷板式液冷机柜，配套分布式冷量分配单元、风液换热器及集中供电系统，总装机容量 200 千瓦。实施周期 14 天。

##### (3) 节能降碳效果及投资回收期：

该项目电能利用效率（PUE）可低于 1.15，年节约电量 61.3 万千瓦时，折合年节约标准煤 185.7 吨，减少二氧化碳排放 494.0 吨。投资额为 250 万元，投资回收期为 4.7 年。

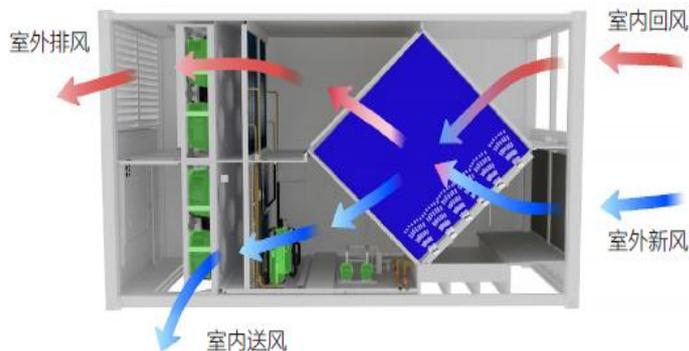
## 案例四：风侧间接蒸发冷却技术

### 1.技术适用范围

适用于数据中心制冷系统。

### 2.技术原理及工艺

该技术有干模式、湿模式和混合模式三种运行模式，随着室外干球温度和湿球温度变化自动切换工作模式使系统在最佳工况下运行。在干模式运行时，室内回风与室外新风在芯体内部热交换，利用自然冷源实现降温；在湿模式运行时，开启水泵进行喷淋换热，较压缩机制冷节能 60%；在混合模式时，系统根据负载需求，自动调整压缩机频率，压缩机能耗降低 10%。混合模式运行状态示意图如图所示。



风侧间接蒸发冷却技术混合模式运行状态示意图

### 3.技术功能特性及指标

(1) 北京地区 83%负载率（制冷量 225 千瓦）下，全年能效比（AEER）为 21.1；

(2) 电能利用效率（PUE）降低 10%。

### 4.应用案例

(1) 项目基本情况：

技术提供单位为华为数字能源技术有限公司，应用单位为某数据中心。该数据中心为新建项目，计划部署机柜超过 1000 台，总容量为 1200 千瓦，设计 PUE 低于 1.30。

(2) 主要技术改造内容及实施周期：

建设 6 个标准的模块化机房，可承载 10000+ 台服务器运行，均采用间接蒸发冷却温控技术进行制冷。实施周期 3 个月。

(3) 节能降碳效果及投资回收期：

项目全年能效比 (AEER) 为 10.9，年节约电量 210 万千瓦时，折合年节约标准煤 636.3 吨，减少二氧化碳排放 1692.6 吨。制冷系统投资额为 520 万元，投资回收期为 3 年。

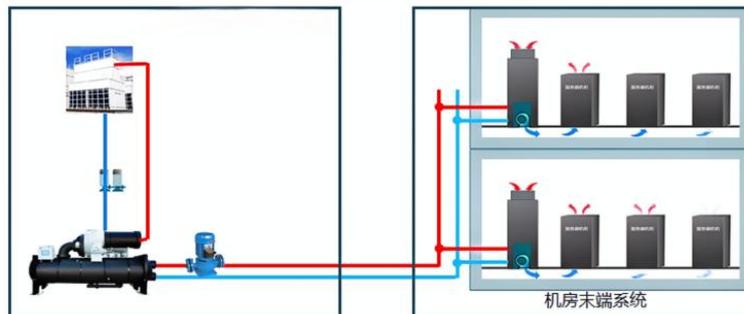
## 案例五：间接蒸发冷却一体化集成冷站技术

### 1.技术适用范围

适用于数据中心制冷系统。

### 2.技术原理及工艺

该技术采用制冷主机（按需选配）、间接蒸发冷却冷水机组（塔）、输配系统、水处理系统、动力配电系统、智能控制系统等，可实现自然冷却、联合制冷、机械制冷三种运行模式。自然冷却模式下通过间接蒸发冷却冷水机组产生的冷水直接为末端设备提供冷源，压缩机停止使用；联合制冷模式下，末端回水先经间接蒸发冷却冷水机组产生的冷水进行预冷，可减少冷量需求；机械制冷模式下，间接蒸发冷却冷水机组可提供更低温度冷却水，提高整机能效比。技术原理如图所示。



间接蒸发冷却一体化集成冷站技术原理图

### 3.技术功能特性及指标

- (1) 能效比（EER）超过 15；
- (2) 电能利用效率（PUE）可低至 1.10；
- (3) 节电率 35%。

#### 4.应用案例

##### (1) 项目基本情况：

技术提供单位为华奕新能源股份有限公司，应用单位为海南某数据中心。该数据中心设计 IT 负载为 1069 千瓦，改造前全年空调系统电耗为 172 万千瓦时。

##### (2) 主要技术改造内容及实施周期：

采用间接蒸发冷却一体化集成冷站作为冷源对现有机房空调系统进行改造。实施周期 2 个月。

##### (3) 节能降碳效果及投资回收期：

与原传统风冷冷媒精密空调系统相比，可实现节电率 35%以上，年节电量为 75.6 万千瓦时，折合年节约标准煤 229 吨，减少二氧化碳排放 609.3 吨。投资额为 138 万元，投资回收期为 2.5 年。

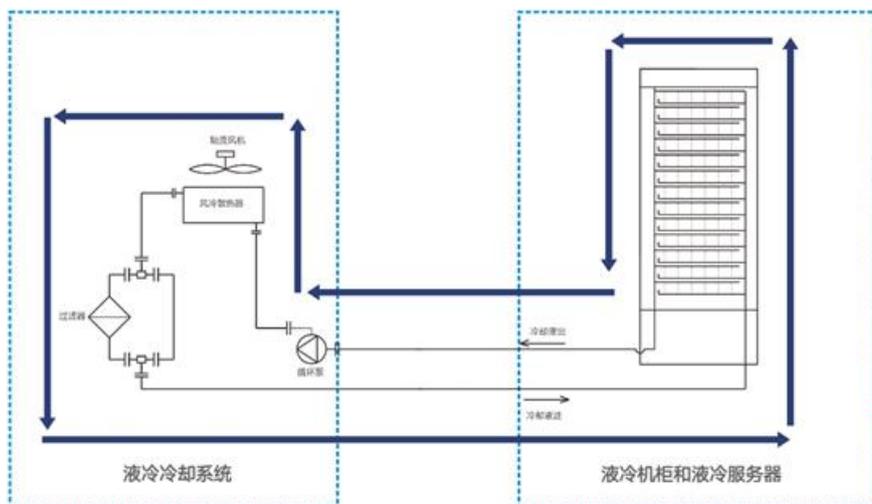
## 案例六：芯片级精准喷淋液冷技术

### 1.技术适用范围

适用于高密度服务器智算、超算中心等制冷系统。

### 2.技术原理及工艺

该技术采用冷却塔、冷水机组、液冷工质分配单元（CDU）及喷淋机柜、液冷喷淋系统及配套温控设施，通过将绝缘环保冷却液直接喷淋至服务器芯片等发热单元吸收热量，低温冷却液经喷淋吸热后返回液冷冷量分配单元，与冷却水换热降温后循环使用，可实现数据中心电能利用效率低至 1.10。工作原理如图所示。



芯片级精准喷淋液冷技术工作原理图

### 3.技术功能特性及指标

- (1) 单机柜功率为 36 千瓦；
- (2) IT 设备器件温度为 40℃；
- (3) 机柜噪声 $\leq$ 45 分贝；
- (4) 单柜有效操作空间为 (42~56) U。

## 4.应用案例

### (1) 项目基本情况：

技术提供单位为广东合一新材料研究院有限公司，应用单位为广州某智算中心。改造前该智算中心采用传统空调进行制冷，电能利用效率（PUE）超过 1.50。

### (2) 主要技术改造内容及实施周期：

采用喷淋冷却方式替代传统的机房空调冷却，通过水冷单元中的泵将冷却液吸出，进入换热器制冷，经过滤器和主进液管分配到液冷机柜中。实施周期 2 个月。

### (3) 节能降碳效果及投资回收期：

项目可实现年节电量 176.6 万千瓦时，折合年节约标准煤 535.1 吨，减少二氧化碳排放 1423.4 吨。投资额为 435 万元，投资回收期为 2.8 年。

## 案例七：智算中心低能耗浸没液冷技术

### 1.技术适用范围

适用于高密度服务器智算中心制冷系统。

### 2.技术原理及工艺

该技术采用氟化液、矿物油等绝缘冷却液，可将服务器完全浸入，支持单机柜功率 50 千瓦以上的制冷需求。绝缘冷却液快速吸收 CPU、GPU 等高功耗部件产生的热量并传递至热交换器中的水。相较于传统制冷系统，占地空间节省 30%，节能率可达 20%。工作原理如图所示。



智算中心低能耗浸没液冷技术工作原理图

### 3.技术功能特性及指标

- (1) 换热容量  $\geq 15$  千瓦；
- (2) 循环泵每小时流量为 5.4 立方米；
- (3) 二次侧供液温度为 40℃；
- (4) 设备噪声  $\leq 60$  分贝。

### 4.应用案例

- (1) 项目基本情况：

技术提供单位为广州高澜创新科技有限公司，应用单位为广州市某智算中心。该智算中心为新建项目，单机柜功率密度高。

(2) 主要技术改造内容及实施周期：

采用集成式浸没液冷解决方案进行冷却，包括外冷模块、冷量分配单元（CDU）模块、管网模块、机柜模块。实施周期 2 个月。

(3) 节能降碳效果及投资回收期：

项目可实现节能率 23.6%，年节约电量为 6175 万千瓦时，折合年节约标准煤 1.9 万吨，减少二氧化碳排放 5.1 万吨。投资额为 2797 万元，投资回收期为 1.6 年。

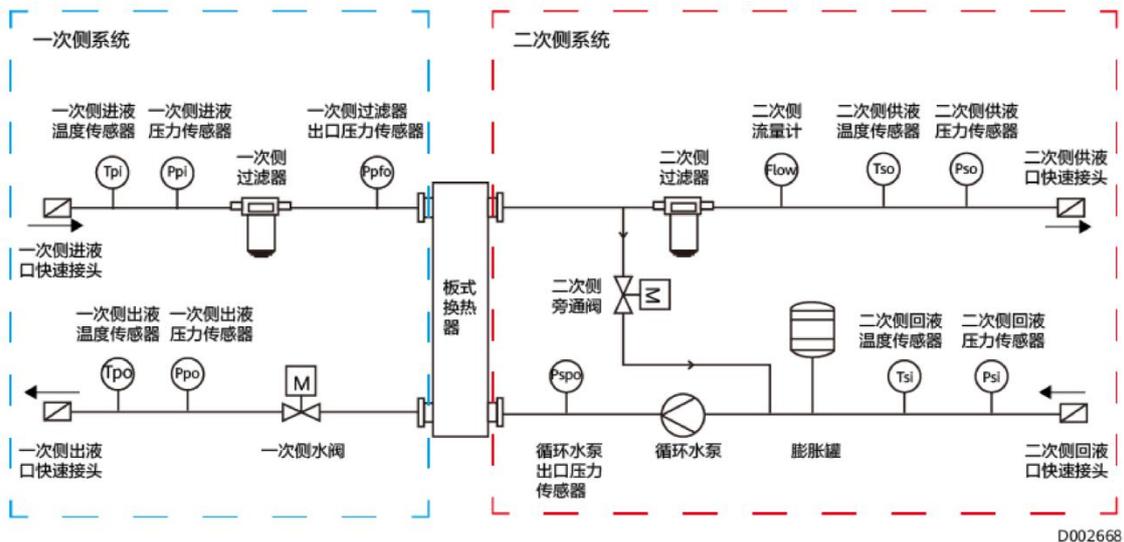
## 案例八：液冷热管理控制技术

### 1. 技术适用范围

适用于高密度服务器数据中心制冷系统。

### 2. 技术原理及工艺

该技术采用液体作为传热工质，在液冷 IT 机柜的冷板内部流道流动，通过调节液冷系统二次侧冷却液的温度和流量，吸收高功耗核心器件热量，保障 IT 设备在适宜温度下运行。采用高效板式换热器，可实现一次侧与二次侧冷却液 3℃ 的极小温差逼近度，降低一次侧冷源能耗 15%；采用智能群控调优技术，可降低机组运行能耗 30%。工作原理如图所示。



液冷热管理控制技术工作原理图

### 3. 技术功能特性及指标

(1) 额定工况下，单泵运行模式输出制冷量 360 千瓦，双泵运行模式输出制冷量 450 千瓦；

(2) 板式换热器逼近度低至 3℃。

#### 4.应用案例

##### (1) 项目基本情况：

技术提供单位为华为数字能源技术有限公司，应用单位为南方某超算中心。该超算中心为新建项目，设计 IT 规模 2880 千瓦，单机柜功率 45 千瓦。

##### (2) 主要技术改造内容及实施周期：

采用风液融合方案建设服务器冷却方案，实现全年 100% 自然冷却。实施周期 2 个月。

##### (3) 节能降碳效果及投资回收期：

建设完成后，项目电能利用效率（PUE）低于 1.25，年节约电量为 465 万千瓦时，折合年节约标准煤 1408.9 吨，减少二氧化碳排放 3747.8 吨。投资额为 1100 万元，投资回收期为 3 年。

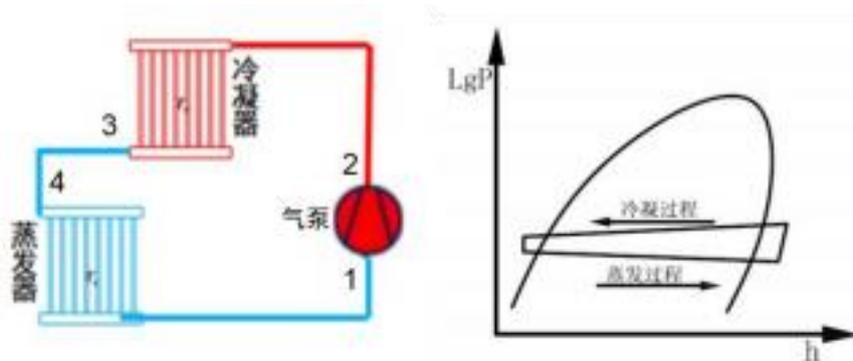
## 案例九：变频气动热管技术

### 1.技术适用范围

适用于数据中心制冷系统。

### 2.技术原理及工艺

该技术采用压缩制冷与气动热管技术，实现制冷系统可根据室外温度变化灵活适配空调系统。当室内温度比室外温度高  $10^{\circ}\text{C}$  以上时，气动热管模式自动启动，减少压缩机使用时间；当室内外温差在其他温度范围内，系统切换至传统压缩制冷模式，保障制冷效果。该技术既可满足室外高温环境下高压力比运行的制冷需求，又能在低温工况时，通过气动热管实现低能耗制冷。工作原理如图所示。



变频气动热管技术工作原理图

### 3.技术功能特性及指标

- (1) 气动热管模式能效比（EER） $\geq 5$ ；
- (2) 完全自然冷却模式能效比（EER） $\geq 12$ ；
- (3) 全年能效比（AEER）提高 50%以上。

### 4.应用案例

(1) 项目基本情况：

技术提供单位为深圳市英维克科技股份有限公司，应用单位为某运营商数据中心。改造前该数据中心采用 104 台风冷空调进行制冷，单台空调年耗电量为 23.04 万千瓦。

(2) 主要技术改造内容及实施周期：

采用变频气动热管氟泵空调替换 104 台风冷空调。实施周期 2 个月。

(3) 节能降碳效果及投资回收期：

相比风冷空调，节电率为 50.7%，年节约电量为 1214.9 万千瓦时，折合年节约标准煤 3681.1 吨，减少二氧化碳排放 9791.7 吨，投资额为 1750 万元，投资回收期为 1.4 年。



#### 4.应用案例

##### (1) 项目基本情况：

技术提供单位为深圳市英维克科技股份有限公司，应用单位为某液冷数据中心。该数据中心为新建项目，设计单机柜功率为 20 千瓦，总功率为 120 千瓦，电能利用效率（PUE）不高于 1.2。

##### (2) 主要技术改造内容及实施周期：

采用冷板式液冷全链条解决方案对功率为 20 千瓦的机柜进行冷却。实施周期 3 个月。

##### (3) 节能降碳效果及投资回收期：

建设完成后，数据中心电能利用效率（PUE）低至 1.10，年节电量 25.2 万千瓦时，折合年节约标准煤 76.4 吨，减少二氧化碳排放 203.2 吨。投资额为 95 万元，投资回收期为 2 年。

## 案例十一：基于智算高密场景悬浮多联热管近端制冷技术

### 1.技术适用范围

适用于高密度服务器智算中心制冷系统。

### 2.技术原理及工艺

该技术针对高密度数据中心的散热特性与运行需求，基于无油悬浮压缩机的氟泵多联系统，可实现多种制冷模式按需切换。室外侧充分利用自然冷源，室内侧通过优化气流组织设计，与近端制冷末端匹配，提高送回风温度，缩短送风距离，降低制冷负载系数（CLF）。技术原理如图所示。



基于智算高密场景悬浮多联热管近端制冷技术原理图

### 3.技术功能特性及指标

- (1) 制冷负载系数（CLF） $\leq 0.1$ ；
- (2) 全年能效比（AEER） $\geq 10$ ；
- (3) 制冷量覆盖范围为 200 千瓦~600 千瓦。

### 4.应用案例

- (1) 项目基本情况：

技术提供单位为深圳市艾特网能技术有限公司，应用单位为某数据中心。该数据中心为新建项目，建设 4 个 IT 机房，单机柜功率为 30 千瓦，设计总负荷为 13200 千瓦。

(2) 主要技术改造内容及实施周期：

采用 37 台制冷量 500 千瓦蒸发冷悬浮多联热管设备和 220 台高密背板末端空调对该数据中心进行制冷。实施周期 3 个月。

(3) 节能降碳效果及投资回收期：

项目节电率 54.3%，可实现年节约电量 1961.6 万千瓦时，折合年节约标准煤 5943.6 吨，减少二氧化碳排放 15810.1 吨。投资额为 5900 万元，投资回收期为 2.7 年。

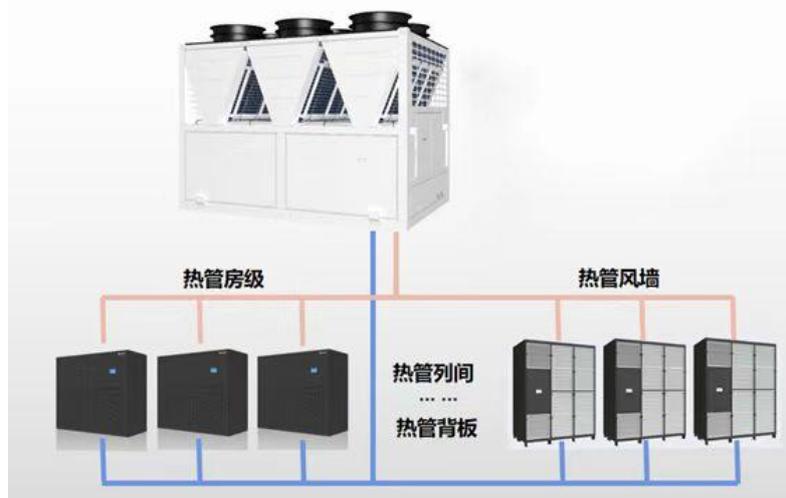
## 案例十二：热管多联空调系统技术

### 1.技术适用范围

适用于数据中心制冷系统。

### 2.技术原理及工艺

该技术采用雾化冷却、变频氟泵等技术装备，将高温回风与末端液态冷媒进行换热，降低室内温度。液态冷媒吸热后变成气态冷媒，流向屋顶的冷凝器自然散热，冷却后形成液态冷媒循环制冷，通过分布式架构与末端多联设计，既能确保制冷系统稳定运行，又能实现室内外双侧备份，保障连续制冷，可降低空调系统能耗 15%。技术原理如图所示。



热管多联空调系统技术原理图

### 3.技术功能特性及指标

- (1) 室外干/湿球温度 35℃/23℃时，能效比（EER）为 4.82；
- (2) 室外干/湿球温度 25℃/17℃时，能效比（EER）为 6.47；
- (3) 室外干/湿球温度 15℃/10℃时，能效比（EER）为 7.76；

(4) 室外干/湿球温度 5°C/2°C 时，能效比 (EER) 为 18.30;

(5) 室外干球温度 -5°C 时，能效比 (EER) 为 21.92。

#### 4.应用案例

##### (1) 项目基本情况:

技术提供单位为广东海悟科技有限公司，应用单位为宁夏某数据中心。该数据中心为新建项目，设计电能利用效率 (PUE) 低于 1.15。

##### (2) 主要技术改造内容及实施周期:

采用风冷型磁悬浮相变多联系统对数据中心进行制冷。实施周期 5 个月。

##### (3) 节能降碳效果及投资回收期:

相比传统制冷系统，节电率 69.1%，电能利用效率 (PUE) 为 1.15，可实现年节电量 3174 万千瓦时，折合年节约标准煤 9617.2 吨，减少二氧化碳排放 2.6 万吨。投资额为 4500 万元，投资回收期为 2.2 年。

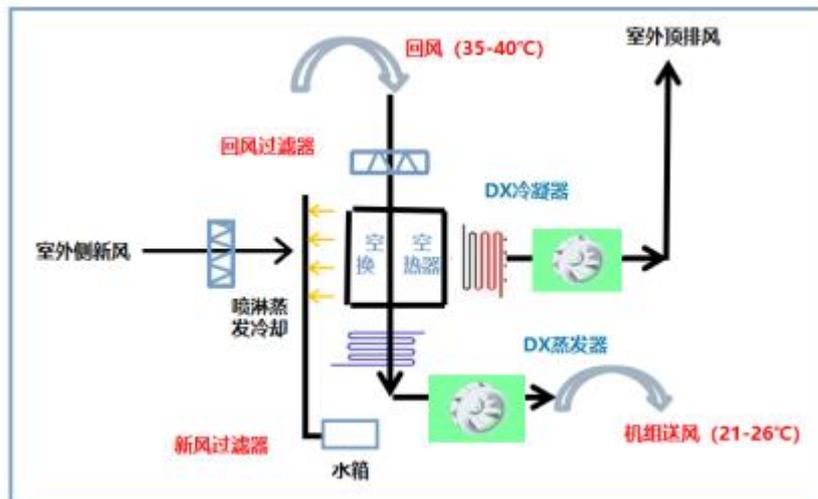
### 案例十三：高效自适应间接蒸发冷却技术

#### 1.技术适用范围

适用于数据中心制冷系统。

#### 2.技术原理及工艺

该技术采用蒸发冷却、间接换热、智能控制等技术，提高自然冷却能力。机房回风和新风间接换热，通过蒸发冷却和蒸发器冷凝器强化换热提高自然冷却效率，减少 40%以上压缩机制冷系统运行时间，降低电制冷设备的配置规模；智能控制模块可根据室外环境温度自动切换适配工况，该技术可降低机房制冷负载系数（CLF）10%，数据中心电能利用效率低至 1.25。技术原理如图所示。



高效自适应间接蒸发冷却技术原理图

#### 3.技术功能特性及指标

(1) 宁夏地区名义工况性能系数（COP）>4.2，北京地区名义工况性能系数（COP）>3.2；

(2) 宁夏地区综合部分负荷性能系数 (IPIV) >10, 北京地区综合部分负荷性能系数 (IPIV) >9;

(3) 送风温度范围: 23℃~26℃。

#### 4.应用案例

(1) 项目基本情况:

技术提供单位为广东申菱环境系统股份有限公司, 应用单位为宁夏某数据中心。该数据中心为新建项目。新建四栋机房, 总建筑面积共计 5.76 万平方米。建设 8320 个机柜, 单机柜功率为 10 千瓦。

(2) 主要技术改造内容及实施周期:

采用 280 千瓦间接蒸发冷却机组共 80 台对数据中心进行制冷。实施周期 6 个月。

(3) 节能降碳效果及投资回收期:

数据中心电能利用效率 (PUE) 为 1.18, 年节电量 1822 万千瓦时, 折合年节约标准煤 5520.7 吨, 减少二氧化碳排放 1.5 万吨。投资额为 1000 万元, 投资回收期为 1 年。

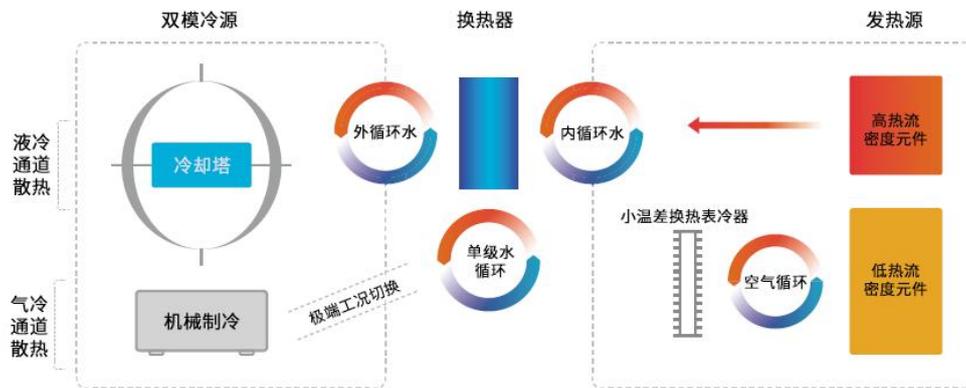
## 案例十四：高热流密度的液冷系统技术

### 1.技术适用范围

适用于数据中心制冷系统。

### 2.技术原理及工艺

该技术由一/二次侧输配管网及预制管组、液冷温控单元、分水器和末端空调等组成。采用液体作为传热工质，吸收机柜内部电子元件产生的热量并携带至液冷温控单元，与来自一次侧冷源（冷却塔或干冷器）的冷却工质液进行充分换热。通过闭液冷温控单元的一/二次侧热交换过程，将液冷 IT 机柜产生的热量从二次侧转移至一次侧冷源散热系统，形成一套高密度 IT 设备液冷散热空调系统，可实现机房制冷负载系数（CLF）低至 0.70，数据中心电能利用效率（PUE）低至 1.15。系统原理如图所示。



高热流密度的液冷系统技术原理图

### 3.技术功能特性及指标

- (1) 电能利用效率（PUE）低至 1.15；
- (2) 单机架装机容量 $\geq 20$  千瓦。

#### 4.应用案例

##### (1) 项目基本情况：

技术提供单位为广东申菱环境系统股份有限公司，应用单位为天津某数据中心。该数据中心为新建项目，建设 770 个液冷机柜，单机柜功率为 21 千瓦。

##### (2) 主要技术改造内容及实施周期：

采用 21 套 560 千瓦液冷冷量分配单元（CDU）及管网、阀门、配电、群控系统。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，数据中心电能利用效率（PUE）为 1.15，年节电量 4957.7 万千瓦时，折合年节约标准煤 1.5 万吨，减少二氧化碳排放 4.0 万吨。投资额为 3500 万元，投资回收期为 2 年。

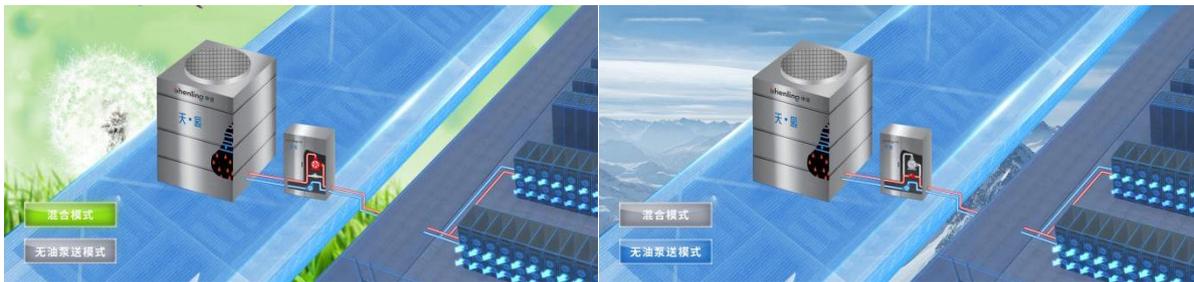
## 案例十五：氟泵多联式自然冷却技术

### 1.技术适用范围

适用于数据中心制冷系统。

### 2.技术原理及工艺

该技术由室外机、热管末端及冷媒输送三部分组成，集成热管、氟泵和自然冷却等技术，可根据室外温度切换最佳工作模式。当设定值低于室外湿球温度时，可通过氟泵进行制冷；当设定值大于室外湿球温度而小于室外干球温度时，氟泵和自然冷却共同制冷；当设定值大于室外干球温度时，切换为完全自然冷却运行。可实现数据中心电能利用效率低至 1.23。技术原理如图所示。



氟泵多联式自然冷却技术原理图

### 3.技术功能特性及指标

- (1) 混合模式名义工况能效比 (COP)  $\geq 5.5$ ;
- (2) 氟泵模式名义工况能效比 (COP)  $\geq 11.9$ ;
- (3) 可支持系统单程管长超过 120 米。

### 4.应用案例

- (1) 项目基本情况：

技术提供单位为广东申菱环境系统股份有限公司，应用单位

为陕西某数据中心。该数据中心为新建项目，计划建设机柜 3000 架，单机柜功率为 3 千瓦。

(2) 主要技术改造内容及实施周期：

采用 81 台氟泵多联式自然冷却系统对其中 400 多架功率为 3 千瓦的机柜进行制冷。实施周期 3 个月。

(3) 节能降碳效果及投资回收期：

项目制冷负载系数 (CLF) 为 0.07，年节电量 105.1 万千瓦时，折合年节约标准煤 318.5 吨，减少二氧化碳排放 847.2 吨。投资额为 109.3 万元，投资回收期为 1.5 年。

## （二）数据中心节能降碳技术——高效供配电技术

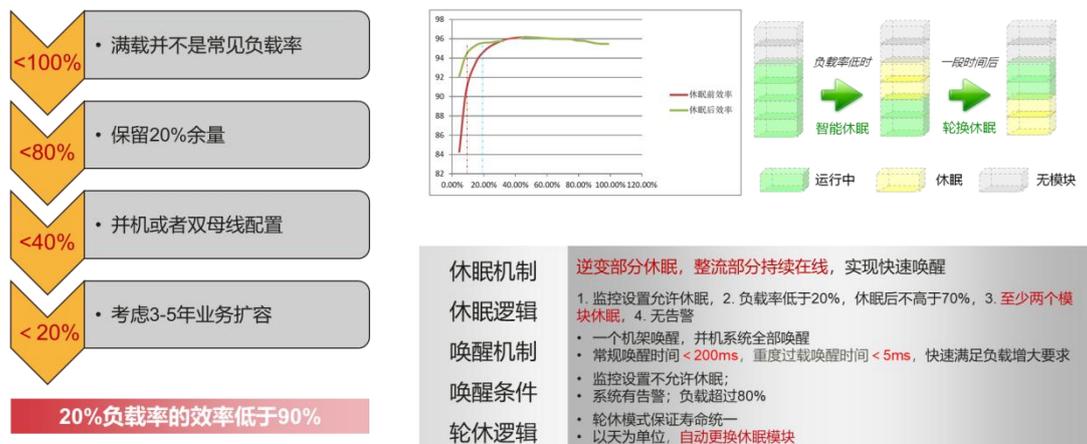
### 案例一：模块化不间断电源（UPS）技术

#### 1.技术适用范围

适用于数据中心供配电系统。

#### 2.技术原理及工艺

该技术基于模块化架构，采用智能自循环技术，实现产品无负载时自动带载循环，减少生产环节和现场调试环节测试负载的能耗；具备交错并联、智能休眠、智能在线等功能，可实现多种模式相互切换和谐波主动补偿。在40%负载率时，转换效率可达到97%。技术原理如图所示。



模块化不间断电源（UPS）技术原理图

#### 3.技术功能特性及指标

- （1）40%负载率时，双变换模式效率最高为97%；
- （2）智能在线模式，效率最高为99%；
- （3）逆变器自动检测谐波，主动补偿。

#### 4.应用案例

(1) 项目基本情况：

技术提供单位为华为数字能源技术有限公司，应用单位为天津某数据中心。该数据中心为新建项目。数据中心一期部署机柜 3000 个，要求采用模块化建设，实现快速部署。

(2) 主要技术改造内容及实施周期：

供配电系统采用一套模块化 UPS 的供配电系统，配置容量为 20 兆伏安。实施周期 1 个月。

(3) 节能降碳效果及投资回收期：

该技术可实现电源转换效率提升 2%，项目按 20 兆伏安供电容量，平均负载率 30% 计算，年节电量为 82 万千瓦时，折合年节约标准煤 248.5 吨，减少二氧化碳排放 660.9 吨。投资额为 481 万元，投资回收期为 1 年。

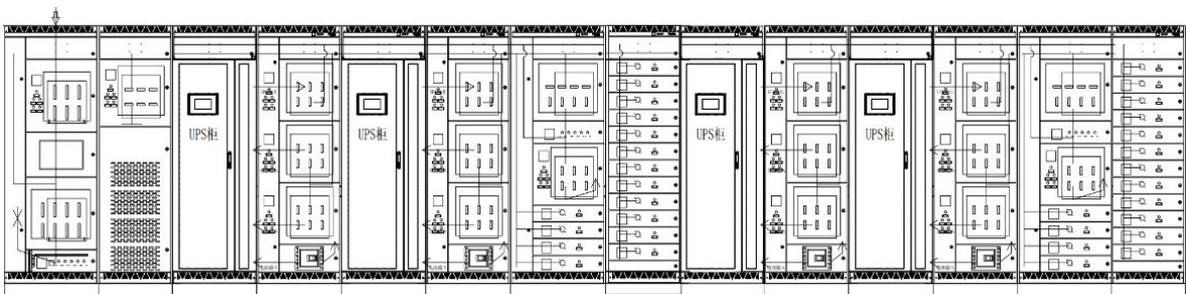
## 案例二：新型一体化电源设备技术

### 1.技术适用范围

适用于数据中心供配电系统。

### 2.技术原理及工艺

该技术将变压器、补偿器、不间断电源模块和馈电模块整合为一体式结构，节省空间，解决传统配电方案中柜体之间线缆上下翻折、布局复杂问题。通过对关键节点实时测温、故障录波追踪及系统单线图动态显示等，实现对设备运行状态的可视化监控与异常预警。采用一级能效变压器以及模块化不间断电源，在双变工况下，链路效率达 97%。柜体间采用全铜排预制、连接，供电效率提升 1%以上。工作原理如图所示。



新型一体化电源设备技术工作原理图

### 3.技术功能特性及指标

(1) 100%阻性负载时效率超过 95%，50%阻性负载时效率超过 93%，30%阻性负载时效率超过 91%；

(2) 补偿回路塑壳断路器进线、出线端小于 70 (K)；

(3) 声压级应低于 55 分贝。

### 4.应用案例

(1) 项目基本情况：

技术提供单位为中讯邮电咨询设计院有限公司，应用单位为某运营商数据中心。该数据中心为新建项目，项目具备 3160 架服务器的投产能力。

(2) 主要技术改造内容及实施周期：

建设项目中 1288 架服务器机架的供电配套，部署 8 套一体化电源设备，施工现场无需电缆连接。实施周期 1 天。

(3) 节能降碳效果及投资回收期：

可实现系统节能率 2%，项目综合年节电量为 184 万千瓦时，折合年节约标准煤 557.5 吨，减少二氧化碳排放 1483.0 吨。投资回收期为 8 年。

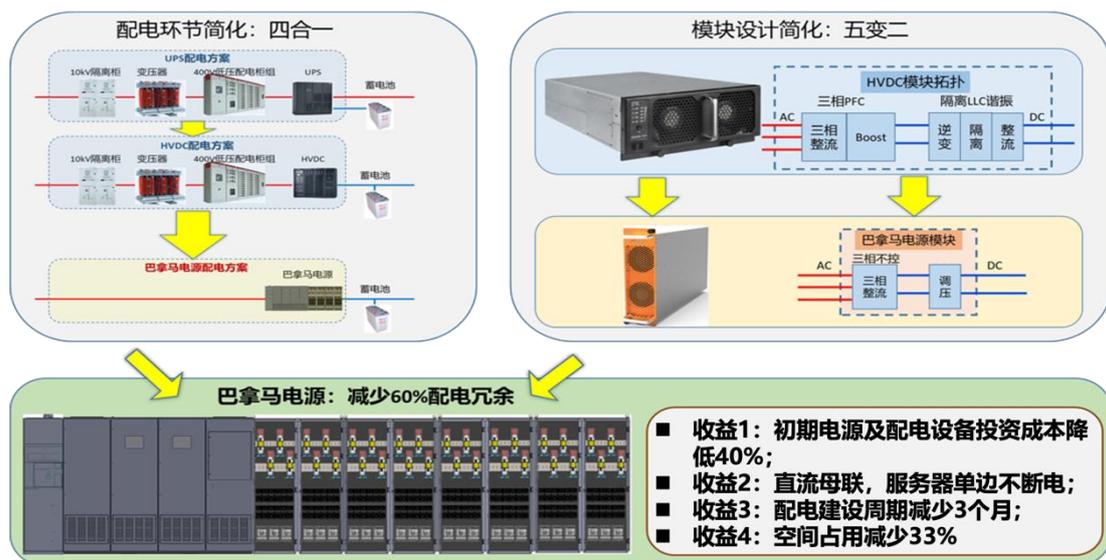
### 案例三：10千伏交流输入的直流不间断电源技术

#### 1.技术适用范围

适用于数据中心供配电系统。

#### 2.技术原理及工艺

该技术采用配电链路和整流模块拓扑两个维度对传统不间断电源系统架构进行优化，减少功率变换环节，实现中压10千伏交流电输入后直接转变为240伏直流电输出，降低供配电系统冗余，10%~100%负载率下效率不低于97%。系统原理如图所示。



10kV 交流输入的直流不间断电源系统原理图

#### 3.技术功能特性及指标

(1) 电源模块最高效率超过98%，10%~100%负载率下效率达到97%；

(2) 电源模块最大功率达到30千瓦，功率密度超过3.6瓦/立方厘米；

(3) 电源满载总电流谐波 (THDi) 小于 3%。

#### 4.应用案例

(1) 项目基本情况：

技术提供单位为阿里云计算有限公司，应用单位为上海某数据中心。该数据中心为新建项目，建设五层楼结构，机柜 1700 个，要求供配电系统具有高安全可靠性及强过载能力。

(2) 主要技术改造内容及实施周期：

供配电系统采用 16 台 10 千伏交流输入的直流不间断电源，配电区域与服务器机房一一对应，模块化布置。实施周期 2 个月。

(3) 节能降碳效果及投资回收期：

项目综合年节电量为 1500 万千瓦时，折合年节约标准煤 4545 吨，减少二氧化碳排放 1.2 万吨。投资额为 2100 万元，投资回收期为 2 年。

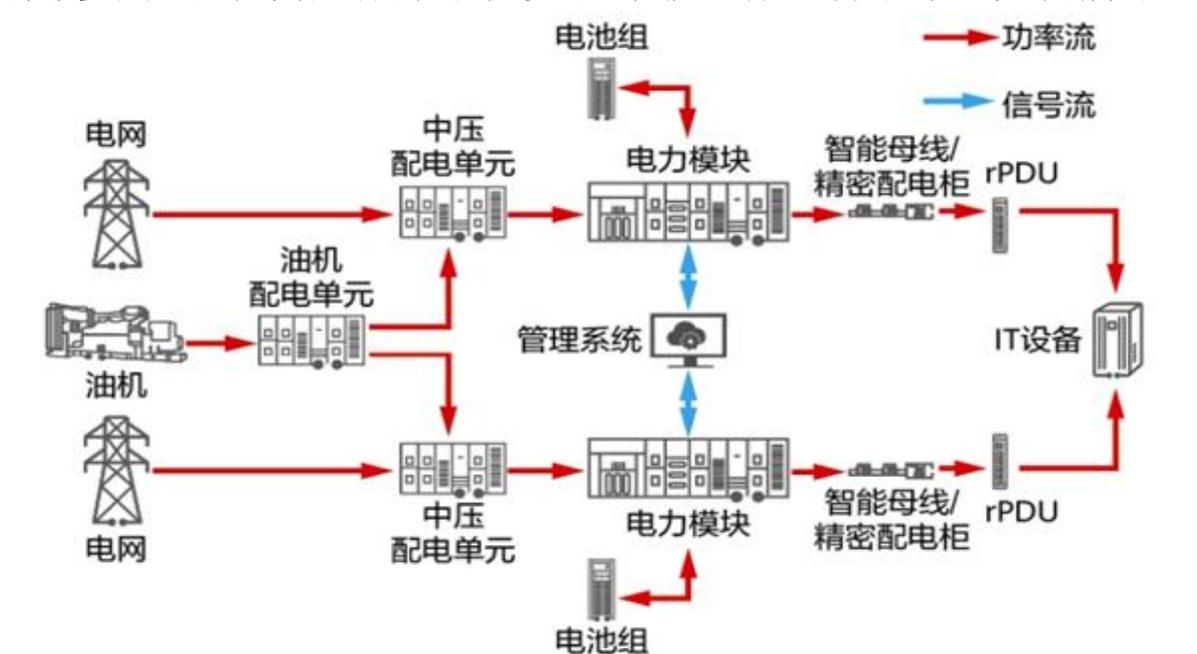
## 案例四：电力模块技术

### 1.技术适用范围

适用于数据中心供配电系统。

### 2.技术原理及工艺

该技术一体化集成变压器、低压柜、补偿柜、不间断电源（UPS）柜、输出馈线柜等，减少占地面积 40%。采用智能经济运行模式及铜排预制缩短供电链路，将原有的数据中心供配电系统链路供电效率从 94.5%提升到 97.8%，同时通过对核心器件健康度评估和预测，保障系统安全可靠运行。技术原理如图所示。



电力模块技术原理图

### 3.技术功能特性及指标

- (1) 节省占地空间 40%；
- (2) 采用超高密度 UPS，顶部采用母排连接，链路效率高

达 97.8%;

(3) 交付时间从 2 个月缩短至 2 周。

#### 4.应用案例

(1) 项目基本情况:

技术提供单位为华为数字能源技术有限公司,应用单位为某数据中心。该数据中心规划首期部署 200 个 5 千瓦机柜,配套建设相应电源系统。

(2) 主要技术改造内容及实施周期:

部署 8 套 2.0 兆伏安电力模块及 4 套 2.5 兆伏安电力模块,包括安装和相关设备调试。实施周期 7 个月。

(3) 节能降碳效果及投资回收期:

在双变换模式下系统效率为 95.5%,与行业水平 94.5%相比,提升 1%,年节电量为 135 万千瓦时,折合年节约标准煤 409 吨,减少二氧化碳排放 1088 吨。项目总投资额为 1765 万元,投资回收期为 5 年。

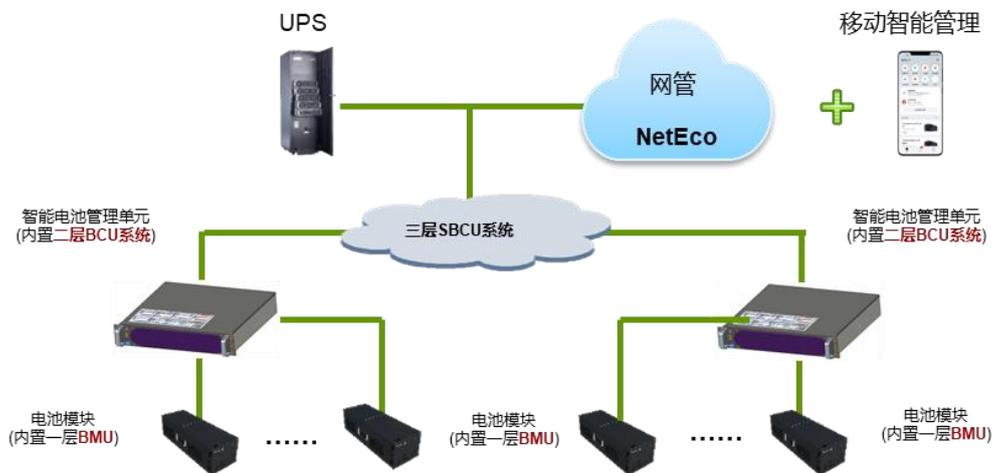
## 案例五：智能锂离子电池技术

### 1.技术适用范围

适用于数据中心供配电系统。

### 2.技术原理及工艺

该技术采用高密度磷酸铁锂电池封装技术，减少电池系统占地面积。采用三层电池管理（BMS）系统具有主动均流、智能均压控制功能，可对每组电池进行独立充放电控制，避免电池组并联时不均流导致的过配置。同时采用新旧电池混并，不均流度小于 2%，提高电池组利用效率和使用寿命。管理系统架构如图所示。



智能锂离子电池管理系统架构图

### 3.技术功能特性及指标

- (1) 循环次数为 5000 次；
- (2) 设计寿命为 15 年；
- (3) 高倍率放电效率为 85%；

(4) 不均流度低于 2%。

#### 4.应用案例

(1) 项目基本情况：

技术提供单位为华为数字能源技术有限公司，应用单位为深圳市某数据中心。该数据中心为新建项目。IT 设备供电架构为双重电源供电，末端自动切换。在 10 千伏侧，采用 2 路市政电源和 1 路柴油发电机后备电源供电。经变压器转换后，在 0.4 千伏侧设置“2N”不间断电源系统。

(2) 主要技术改造内容及实施周期：

采用一套不间断电源系统作为后备电源，设计后备时间为 15 分钟。实施周期 3.5 个月。

(3) 节能降碳效果及投资回收期：

对比行业平均产品，效率提升 1%，项目年节电量 601 万千瓦时，折合年节约标准煤 1821 吨，减少二氧化碳排放 4844 吨。投资回收期为 5~6 年。

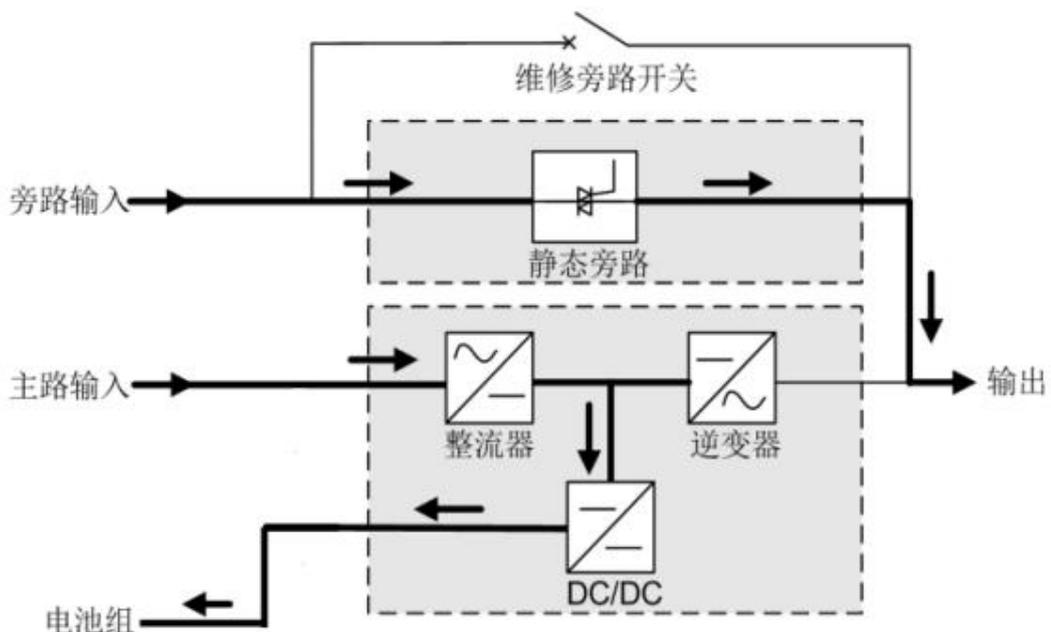
## 案例六：基于能效优化的智算/超算中心模块化不间断电源技术

### 1.技术适用范围

适用于智算、超算中心供配电系统。

### 2.技术原理及工艺

该技术采用模块化设计，功率模块、旁路模块、控制模块均支持热插拔，可按需扩容。配备多种运行模式，在低负载情况下，空余模块可实现自动休眠，降低能耗。同时，系统会对工作的模块进行定期轮换，延长模块寿命；在超级旁路模式中市电供电可对负载进行补偿，整机效率在双变换模式达到 97%，超级旁路模式达到 99%。技术原理如图所示。



基于能效优化的智算/超算中心模块化不间断电源技术原理图

### 3.技术功能特性及指标

- (1) 机组整机效率大于 97%;
- (2) 功率模块效率大于 97%;
- (3) 超级旁路模式效率大于 99%;
- (4) ECO 运行模式效率大于 99%。

### 4.应用案例

#### (1) 项目基本情况:

技术提供单位为深圳市艾特网能技术有限公司，应用单位为北京某数据中心。该数据中心为新建项目。项目整体设计功率约为 5400 千瓦，配电采用分布式冗余架构。

#### (2) 主要技术改造内容及实施周期:

采用 18 台 600 千伏安及 2 台 500 千伏安模块化不间断电源系统。实施周期 2 个月。

#### (3) 节能降碳效果及投资回收期:

系统可实现节能率 5%，项目年节电量为 242 万千瓦时，折合年节约标准煤 733 吨，减少二氧化碳排放 1950.5 吨。投资额为 708 万元，投资回收期为 3 年。

### （三）数据中心节能降碳技术——高效系统集成技术

#### 案例一：智能微模块化数据中心技术

##### 1.技术适用范围

适用于数据中心基础设施。

##### 2.技术原理及工艺

该技术集成供配电、全变频氟泵制冷、服务器机柜及冷热气流隔离、线缆管理、动环监控等单元，具备按需扩展和复制能力。采用动力环境监控系统，制冷系统实现近端精确送风、按需柔性制冷。采用模块化和封闭冷/热通道设计，避免冷热气流混合，提高制冷效率，数据中心电能利用效率可低至 1.21。技术原理如图所示。



智能微模块化数据中心技术原理图

##### 3.技术功能特性及指标

（1）微模块供电子系统采用高频模块化不间断电源（UPS），双变换效率高达 97.1%，高级经济模式（HECO）效率达 99%以

上；

(2) 配电模块采用智能小母线，铜排传输，降低线损；

(3) 制冷模块采用氟泵全变频列间空调，可在机械制冷、氟泵自然冷却和混合制冷三种模式间自动切换。

#### 4.应用案例

(1) 项目基本情况：

技术提供单位为深圳科士达科技股份有限公司，应用单位为某运营商四川某数据中心。该数据中心为新建项目，总建设规模为 495 个机柜。

(2) 主要技术改造内容及实施周期：

采用智能微模块化技术建设数据中心，包括 165 个机柜，UPS 总装机容量 2100 千伏安，配套 600 节 750 瓦高倍率铅酸蓄电池、11 套变频氟泵精密空调等。实施周期 3 个月。

(3) 节能降碳效果及投资回收期：

项目节电率可达 28%，年综合节电量 346 万千瓦时，折合年节约标准煤 1048.4 吨，减少二氧化碳排放 2788.7 吨。投资额为 1400 万元，投资回收期为 9 个月。

## 案例二：预制模块化数据中心基础设施解决方案

### 1.技术适用范围

适用于数据中心基础设施。

### 2.技术原理及工艺

该技术采用模块化数据中心技术与预制建筑技术，将供电、制冷等集成在一定尺寸箱体模块内。模块在工厂预制并完成测试，建设周期减少 50%。制冷系统冷/热通道分离，通过人工智能算法实现部分负载下冷/热智能调度，数据中心电能利用效率可降低 15%。系统架构如图所示。



预制模块化数据中心基础设施解决方案系统架构图

### 3.技术功能特性及指标

(1) 支持模块化数据中心整体结构最高 9 烈度抗震、12 级抗风、5 层堆叠；

- (2) 出柜率提升 15%;
- (3) 回收利用率提升 50%。

#### 4.应用案例

##### (1) 项目基本情况:

技术提供单位为华为数字能源技术有限公司，应用单位为广东某数据中心。该数据中心为新建项目，总建设规模为 3000 个机柜。IT 设备总功率达 24 兆瓦。

##### (2) 主要技术改造内容及实施周期:

采用预制模块化数据中心方案进行建设，总计 189 个预制模块。实施周期 6 个月。

##### (3) 节能降碳效果及投资回收期:

预制模块化数据中心 PUE 可低至 1.28, 每年可节约电量 6067 万千瓦时，折合年节约标准煤 1.8 万吨，减少二氧化碳排放 4.8 万吨。投资额为 1210 万元，投资回收期为 6 年。

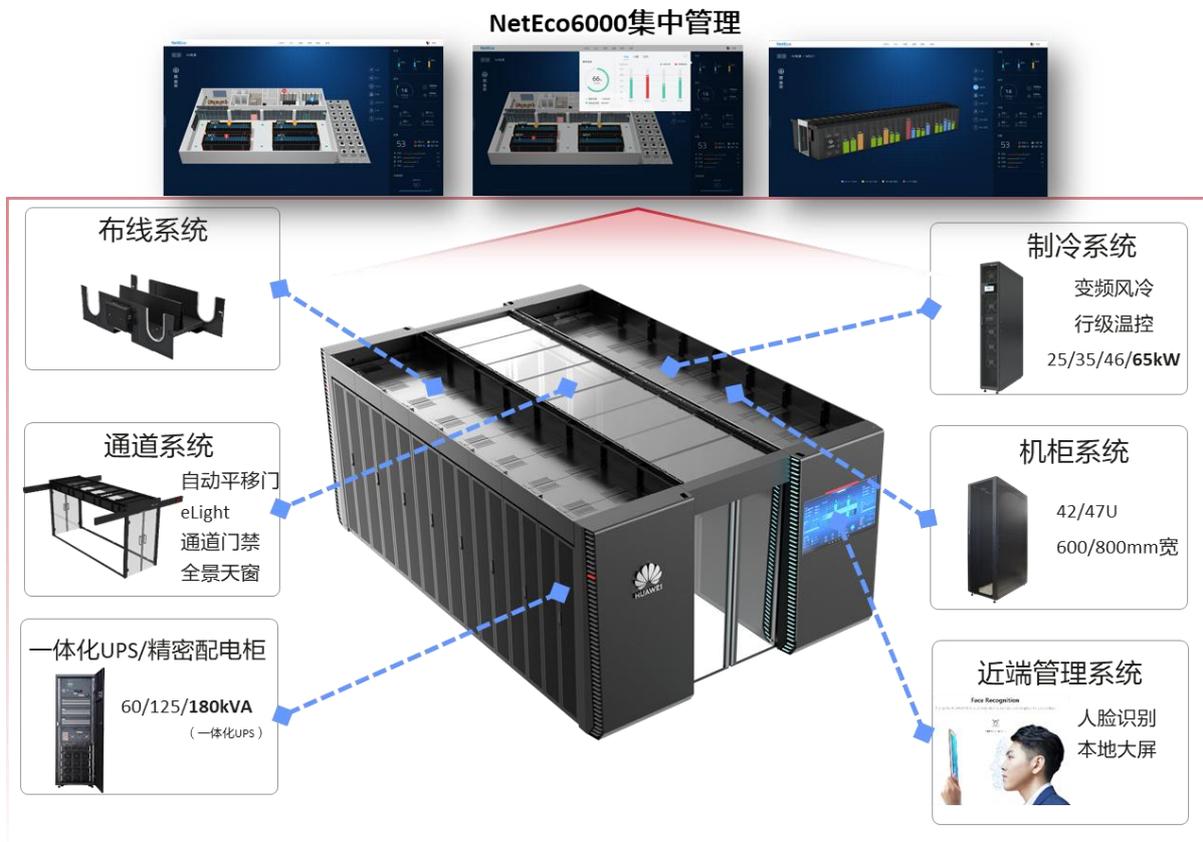
### 案例三：智能微模块技术

#### 1.技术适用范围

适用于数据中心基础设施。

#### 2.技术原理及工艺

该技术采用模块化设计，将供配电、温控、机柜、冷/热通道、布线、监控等单元集成在一个模块内，单机柜功率可达 20 千瓦~50 千瓦。通过可视化三维监控提高数据中心管理能力，提升运维效率 20%。制冷系统采用近端制冷、冷/热隔离密闭通道、智能温控等技术，空调系统节能率可达 30%。系统架构如图所示。



智能微模块技术系统架构图

### 3.技术功能特性及指标

- (1) 现场安装部署时间可降低 70%;
- (2) 单模块最大可支持信息设备负载为 310 千瓦;
- (3) 支持单柜功率为 20 千瓦~50 千瓦。

### 4.应用案例

#### (1) 项目基本情况:

技术提供单位为华为数字能源技术有限公司,应用单位为天津某数据中心。该数据中心为新建项目,计划建设 1200 个机柜。

#### (2) 主要技术改造内容及实施周期:

采用智能微模块技术建设 1200 个机柜,包括 36 台下送风空调,72 台精密列头柜。实施周期 5 个月。

#### (3) 节能降碳效果及投资回收期:

经测算,电能利用效率(PUE)低于 1.40,年综合节电量 630 万千瓦时,折合年节约标准煤 1908.9 吨,减少二氧化碳排放 5077.7 吨。投资回收期为 1.6 年。

#### （四）数据中心节能降碳技术——智能化运维管理技术

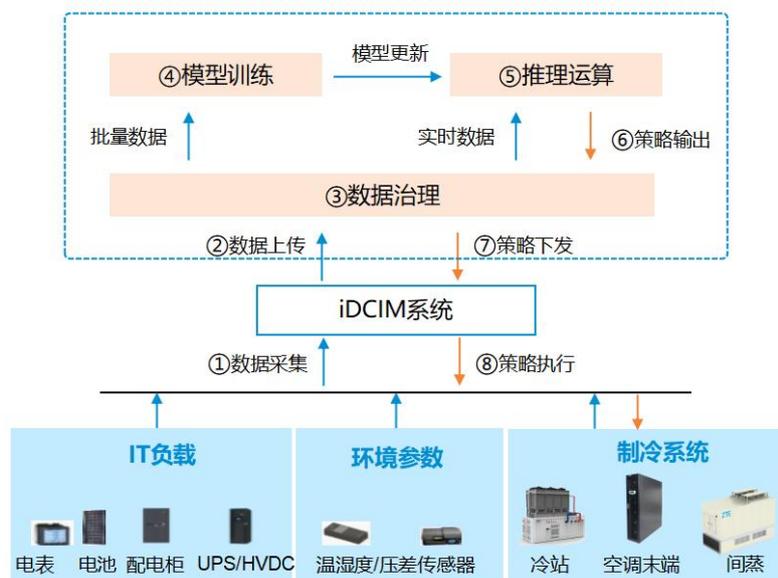
##### 案例一：基于人工智能调优的数据中心节能管理技术

###### 1.技术适用范围

适用于数据中心制冷系统。

###### 2.技术原理及工艺

该技术采用数据中心基础设施管理系统（DCIM），结合数字孪生技术和人工智能调优技术，将影响能耗指标的关键特征参数处理后，代入训练模型进行计算。在保障数据中心安全运行的前提下制定制冷系统最优控制策略，可实现数据中心制冷系统能耗降低 10%以上。工作原理如图所示。



基于人工智能调优的数据中心节能管理技术工作原理图

###### 3.技术功能特性及指标

- （1）测点规模为 50 万个，并支持扩容；
- （2）平均故障间隔时间超过 2 万小时；

(3) 模型预测准确率超过 98%。

#### 4.应用案例

(1) 项目基本情况：

技术提供单位为中兴通讯股份有限公司，应用单位为南京某数据中心。该数据中心主要承载智能制造等相关业务数据，总规模 1100 个机柜，单机柜功率平均为 7.5 千瓦。

(2) 主要技术改造内容及实施周期：

采用一套 iDCIM 数据中心管理系统，可输出制冷系统调优策略，并由群控系统执行调优。实施周期 2 个月。

(3) 节能降碳效果及投资回收期：

项目年节电量 474 万千瓦时，折合年节约标准煤 1436 吨，减少二氧化碳排放 3819.8 吨。投资回收期为 2 年。

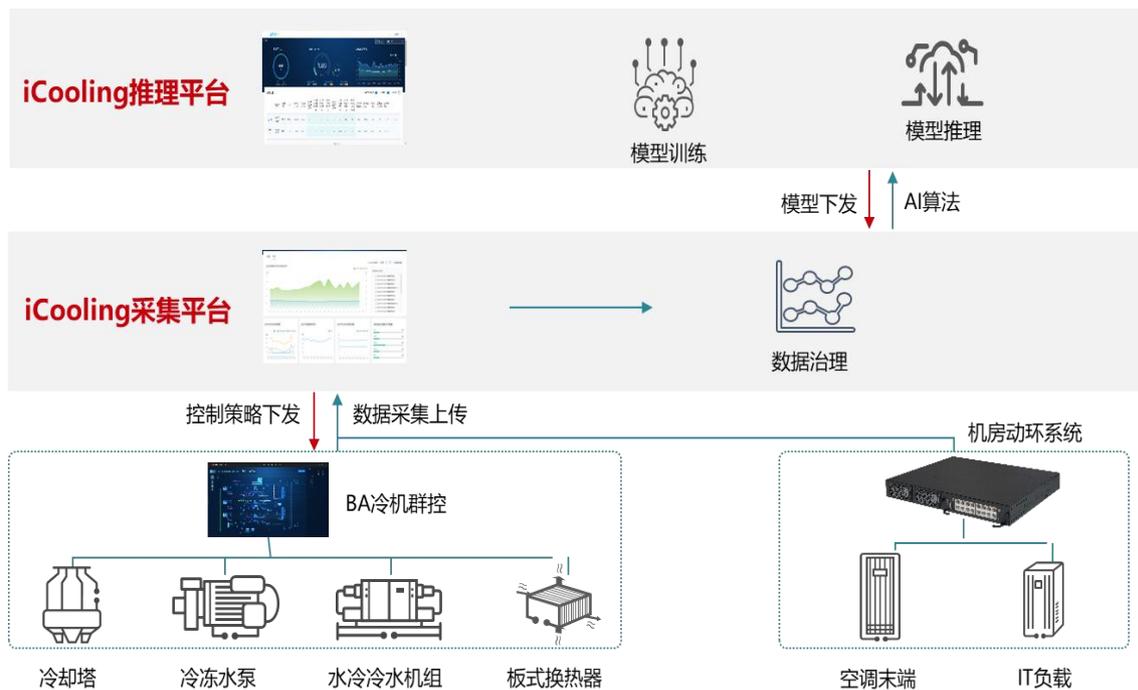
## 案例二：制冷系统智能控制技术

### 1.技术适用范围

适用于数据中心制冷系统。

### 2.技术原理及工艺

该技术通过采集数据中心室外温湿度、IT 设备能耗数据、制冷系统（冷站、空调等）能耗等参数，结合业务数据分析和预测，建立数据中心电能利用效率预测模型，优化制冷系统控制策略，实现按需制冷，制冷系统效率可提高 8%。技术原理如图所示。



制冷系统智能控制技术原理图

### 3.技术功能特性及指标

- (1) 数据采集点超过 700 个；
- (2) 采集周期为 5 分钟；
- (3) 电能利用效率（PUE）预测模型精度超过 99.5%。

#### 4.应用案例

##### (1) 项目基本情况：

技术提供单位为华为数字能源技术有限公司，应用单位为中国长江三峡集团有限公司某数据中心。该数据中心为新建项目，包含 160 套模块化机房，一期部署 4400 台机柜，全年 PUE 须控制在 1.25 以内。

##### (2) 主要技术改造内容及实施周期：

部署 1 套智能温控系统对数据中心制冷系统能耗设备进行监控和调节。实施周期 1 个月。

##### (3) 节能降碳效果及投资回收期：

经测算，该技术可使 PUE 降低 7%，项目年节电量 2081 万千瓦时，折合年节约标准煤 6305.4 吨，减少二氧化碳排放 16772.4 吨。投资回收期小于 2 年。

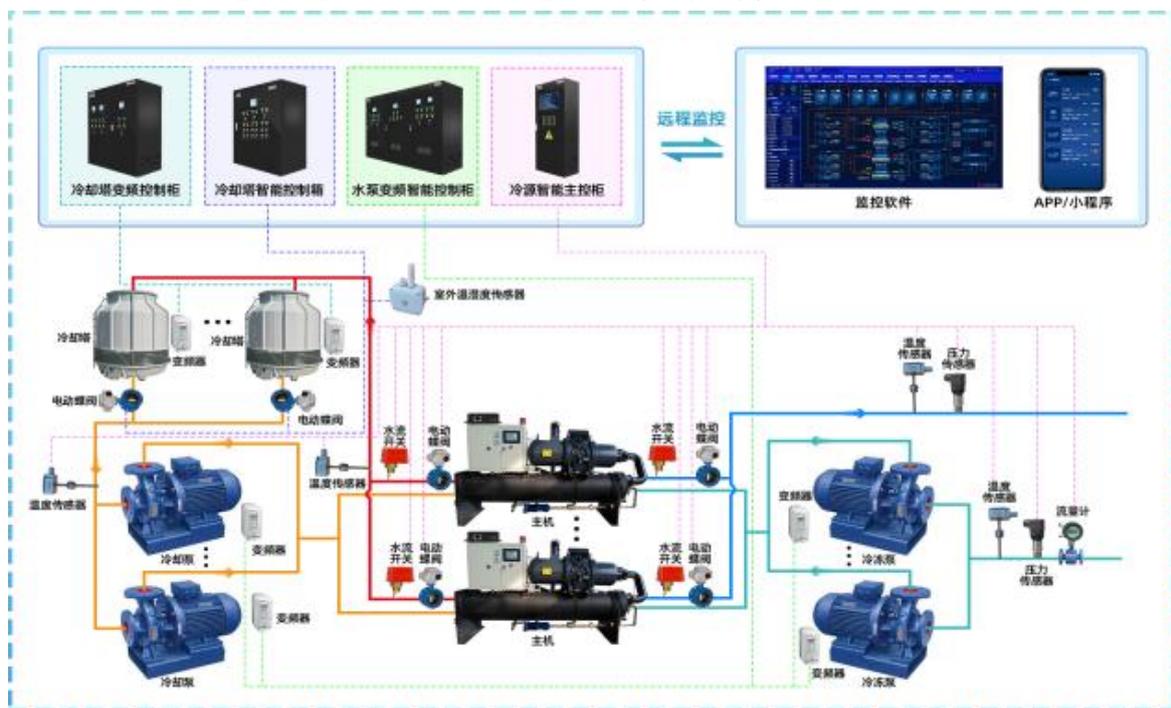
### 案例三：数据中心能效提升智能调优技术

#### 1.技术适用范围

适用于数据中心制冷系统。

#### 2.技术原理及工艺

该技术采用冷量靶向调节、三级逆向调控、人工智能调优等技术，依据 IT 波动负载按需实时调控冷量分配，同时根据机房温度与冷热气流组织分布，及时监测并进行供冷，消除过热点，可降低制冷系统能耗 30%。系统架构如图所示。



数据中心能效提升智能调优技术系统架构图

#### 3.技术功能特性及指标

(1) 采用风、水系统及冷源三级逆向调控，制冷系统节电率 30%以上；

(2) 电能利用效率（PUE）降低 5%~10%。

#### 4.应用案例

##### (1) 项目基本情况：

技术提供单位为广州远正智能科技股份有限公司，应用单位为某运营商广东数据中心。该数据中心总机架数量约为 5965 个。

##### (2) 主要技术改造内容及实施周期：

采用数据中心能效提升智能调优系统对制冷系统进行改造。实施周期 4 个月。

##### (3) 节能降碳效果及投资回收期：

可实现节能率 8%，PUE 由改造前的 1.50 降至 1.38，年节电量为 1073 万千瓦时，折合年节约标准煤 3250 吨，减少二氧化碳排放 8645 吨。投资额为 1372 万元，投资回收期为 1.5 年。

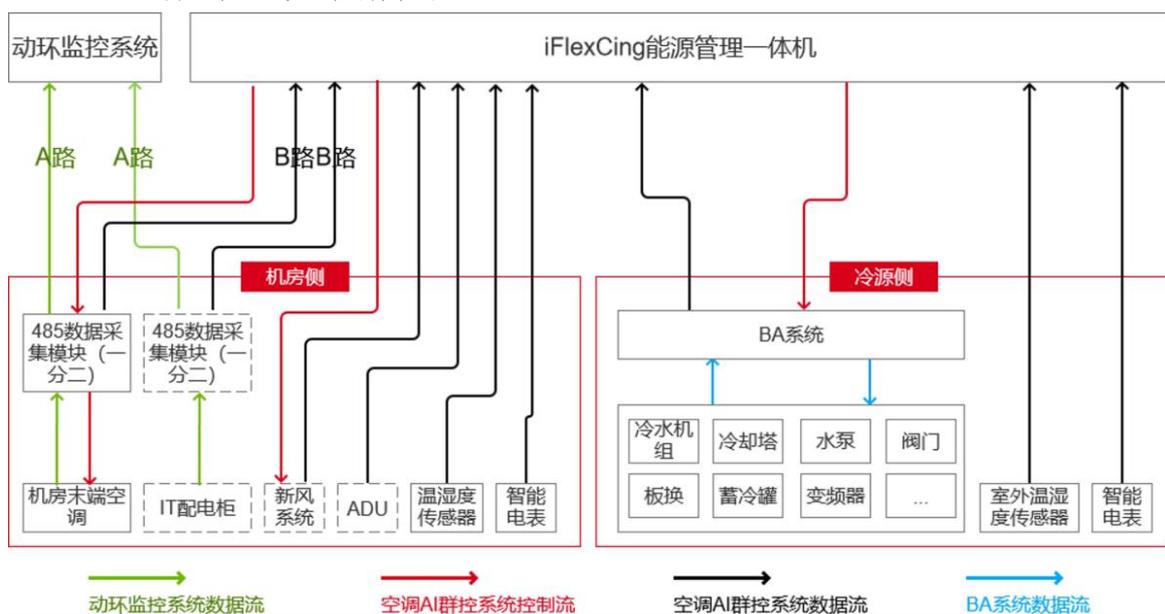
## 案例四：数据中心暖通空调系统智能自适应柔性控制技术

### 1.技术适用范围

适用于数据中心制冷系统。

### 2.技术原理及工艺

该技术采用智能电表、温湿度传感器、数据采集器及边缘控制主机等设备，通过实时采集机房环境、设备运行参数，利用自适应学习算法构建温度场、气流组织场动态控制模型，依托智能算法及专家经验实现制冷量与热负荷匹配，空调系统能效提升20%。工作原理如图所示。



数据中心暖通空调系统智能自适应柔性控制技术工作原理图

### 3.技术功能特性及指标

- (1) 制冷量保障阈值 $\geq 95\%$ ;
- (2) 低温环境自动切换为自然冷源;
- (3) 数据采集与控制指令下发响应时间 $\leq 5$ 秒;

(4) AB 路通信独立运行，单点故障率 $\leq 0.1\%$ 。

#### 4.应用案例

##### (1) 项目基本情况：

技术提供单位为南京佳力图机房环境技术股份有限公司，应用单位为上海某数据中心。随着该数据中心规模的扩大，各空调组独立运行，不能根据机房整体 IT 设备负荷变化动态调整制冷量输出，导致空调系统能耗偏高。

##### (2) 主要技术改造内容及实施周期：

采用机房空调智能群控系统，通过通信接口采集各台空调的运行数据，并在外置位置安装网络型温湿度传感器，实时监测机房整体温度场分布。实施周期 3 个月。

##### (3) 节能降碳效果及投资回收期：

可实现节能率 20%，年综合节电量 12 万千瓦时，折合年节约标准煤 36.4 吨，减少二氧化碳排放 96.7 吨。投资额为 30 万元，投资回收期为 2.5 年。

## 案例五：微模块风液融合智慧节能技术

### 1.技术适用范围

适用于数据中心制冷系统。

### 2.技术原理及工艺

该技术集成智能化电源能效管理、冷电联动、风液融合冷却、智能运维管理等技术，可使制冷系统充分利用自然冷源，按需分配冷量。智能化电源能效管理技术可调控不间断电源按需分配；冷电联动技术通过前馈控制、温度自适应控制、冲突管理、热点追踪等策略实现制冷量与热负荷精准匹配；风液融合技术利用冷板式液冷温控单元（CDU）调节制冷量，降低制冷功耗；智能运维管理技术支持可视化运维和电池健康管理，提高运维便捷性。可实现数据中心电能利用效率低至 1.20。微模块风液融合系统结构如图所示。



微模块风液融合系统结构图

### 3.技术功能特性及指标

- (1) 温度场均匀度为±5%;
- (2) 输入电流谐波率为 2.4%;
- (3) 输出电压波形失真度为 0.8%。

### 4.应用案例

#### (1) 项目基本情况:

技术提供单位为科华数据股份有限公司,应用单位为广东某数据中心。该数据中心为新建项目,设计部署 120 套微模块,总计机柜 2000 台,设计 PUE≤1.25。

#### (2) 主要技术改造内容及实施周期:

采用微模块数据中心技术进行建设,机柜数量达 2000 台。实施周期 1 年。

#### (3) 节能降碳效果及投资回收期:

年节电量为 3416.4 万千瓦时,折合年节约标准煤 1.0 万吨,减少二氧化碳排放 2.66 万吨。总投资额为 2 亿元,比传统数据中心多投入 4600 万元,多投入部分的投资回收期约为 2 年。

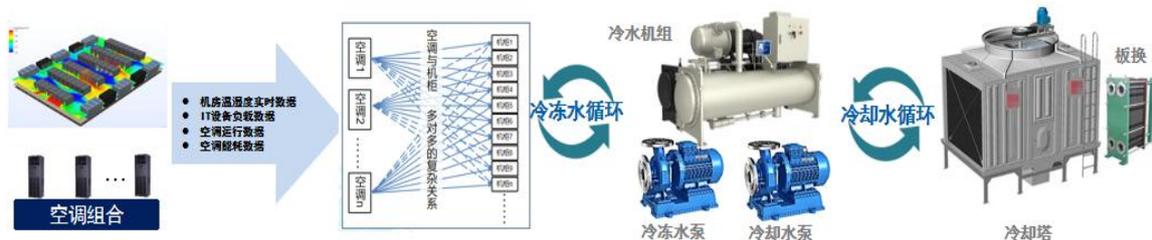
## 案例六：基于人工智能与物理机理融合的数据中心空调系统优化控制技术

### 1.技术适用范围

适用于数据中心制冷系统。

### 2.技术原理及工艺

该技术通过实时采集机房温湿度、空调运行参数及 IT 设备功耗等关键数据，基于人工智能算法构建末端空调与机房热环境的动态关联模型。通过该模型，系统可持续监测机房全域温湿度变化，动态跟踪并智能调节空调运行参数，实现机房 IT 设备散热需求与空调系统制冷能力的精确匹配，并实现制冷设备的全局优化控制，降低制冷系统能耗 6% 以上。技术原理如图所示。



基于人工智能与物理机理融合的数据中心空调系统优化控制技术原理图

### 3.技术功能特性及指标

- (1) 系统响应时间 $\leq 120$  秒；
- (2) 冷量供需匹配误差 $\leq 5\%$ 。

### 4.应用案例

- (1) 项目基本情况：

技术提供单位为中国移动通信集团设计院有限公司，应用单

位为某运营商河南数据中心。该数据中心共 6000 个机柜，配置 5 备 1 用的制冷系统，空调总冷量为 35170 千瓦。

(2) 主要技术改造内容及实施周期：

完成机房楼群控及动环数据对接，采集冷源群控及动环全部点位参数，实现每五分钟采集一次，每一小时给出一次运行优化建议。实施周期 1 个月。

(3) 节能降碳效果及投资回收期：

经测算，空调能耗降低 6%，年综合节电量 142.8 万千瓦时，折合年节约标准煤 432.7 吨，减少二氧化碳排放 1150.9 吨。投资额为 180 万元，投资回收期为 1.8 年。

## (五) 通信基站、机房节能降碳技术

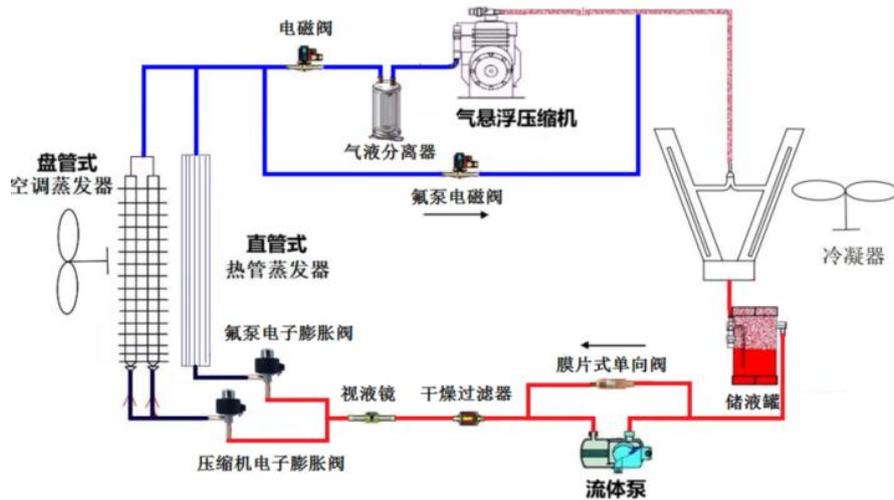
### 案例一：全变频气悬浮空调技术

#### 1. 技术适用范围

适用于通信机房制冷系统。

#### 2. 技术原理及工艺

该技术采用气悬浮无油高速离心式压缩机（转速高达 10 万转/分钟）、复合蒸发等技术，实现制冷系统在机械制冷、热管等多种模式下无油、无摩擦运行。标称制冷量为 60 千瓦的设备价格为 8 万元~10 万元。在机械制冷模式下适配盘管蒸发器，提高制冷速度；在热管模式下适配微通道蒸发器，延长自然冷源的利用时间，减少压缩机运行时长，降低制冷系统能耗 15%。技术原理如图所示。



全变频气悬浮空调技术原理图

#### 3. 技术功能特性及指标

- (1) 全年能效比 (AEER)  $\geq 18$ ;
- (2) 支持  $-35^{\circ}\text{C}\sim 50^{\circ}\text{C}$  宽温域运行;
- (3) 室内外机管路最长可达 100 米;
- (4) 使用寿命 20 年以上。

#### 4.应用案例

##### (1) 项目基本情况:

技术提供单位为湖北兴致天下信息技术有限公司,应用单位为某通信企业。该数据中心空调日均消耗电量 97 千瓦时~144 千瓦时,原氟泵列间空调在秋冬季节低温条件下能耗较高。

##### (2) 主要技术改造内容及实施周期:

安装 40 千瓦气悬浮热管空调,与其他氟泵空调对比测试。实施周期 14 天。

##### (3) 节能降碳效果及投资回收期:

经测算,单台 40 千瓦气悬浮热管空调与氟泵空调相比,可实现节电率为 35%,年节约总电量约 1.1 万千瓦时,折合年节约标准煤 3.3 吨,减少二氧化碳排放 8.9 吨。投资回收期为 4.3 年。

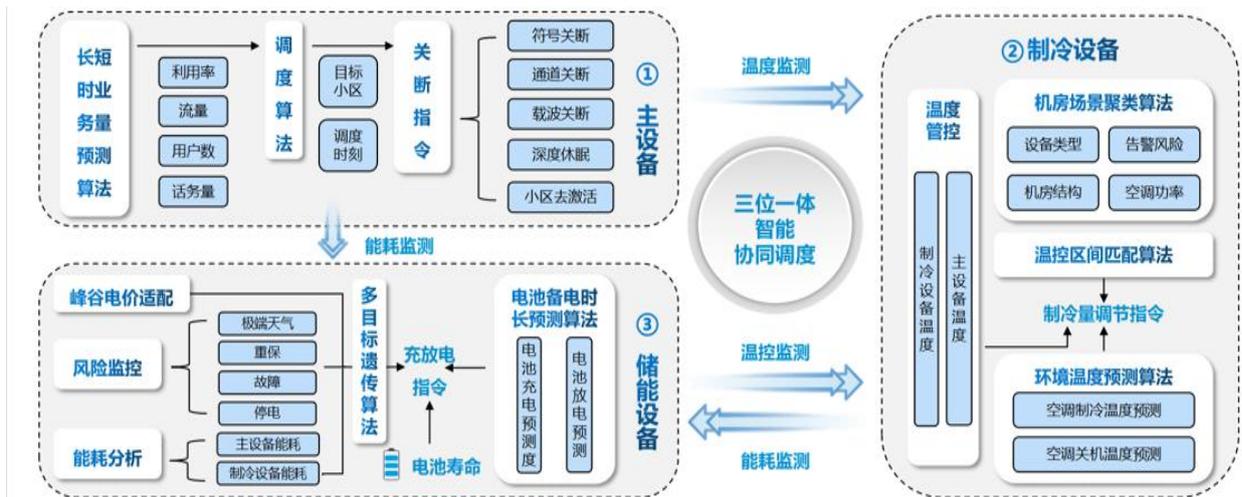
## 案例二：机房综合能耗智慧管控技术

### 1.技术适用范围

适用于通信机房能耗管控系统。

### 2.技术原理及工艺

该技术采用人工智能、大数据分析与智能控制等技术建设机房能耗管控系统，可针对不同场景预测负荷，实时监控、分析能耗数据并进行能耗管控，同时对储能设备开展充放电优化与电池寿命管理。能耗管控系统集中部署，可管控多个机房的智能硬件控制系统；智能硬件控制系统包含智能控制终端、温湿传感器和红外控制器，安装数量按照机房面积及管控设备数量确定。该技术结合数据分析定位低效站点，识别并处理能效异常情况，智能生成并自动执行最优节能策略，实现通信机房（含主设备、制冷、储能）三位一体的智能协同能耗管理。工作原理如图所示。



机房综合能耗智慧管控技术工作原理图

### 3.技术功能特性及指标

- (1) 能耗分析准确率达 95%;
- (2) 主设备兼容性达 80%以上;
- (3) 年故障停机时间不超过 24 小时。

#### 4.应用案例

##### (1) 项目基本情况:

技术提供单位为中国移动通信集团设计院有限公司，应用单位为中国移动某省公司。该机房在运行过程中，耗能设备未集中管理与监控，设备之间协同能力较弱。

##### (2) 主要技术改造内容及实施周期:

部署通信机房能耗管控系统及智能控制设备，构建“数据采集—智能分析—精准调控—效果评估”全流程管理闭环。具备业务和热量负荷、能效异常溯源、强化学习动态寻优、场景聚类一站一策等 AI 能力。通过软硬件联动，实现主设备—空调—储能三位一体协同调度。实施周期 2~3 个月。

##### (3) 节能降碳效果及投资回收期:

项目可实现节电率 9%，年节电量 1155 万千瓦时，折合年节约标准煤 3499.7 吨，减少二氧化碳排放 9309.2 吨。投资额为 1000 万元，投资回收期为 1.2 年。

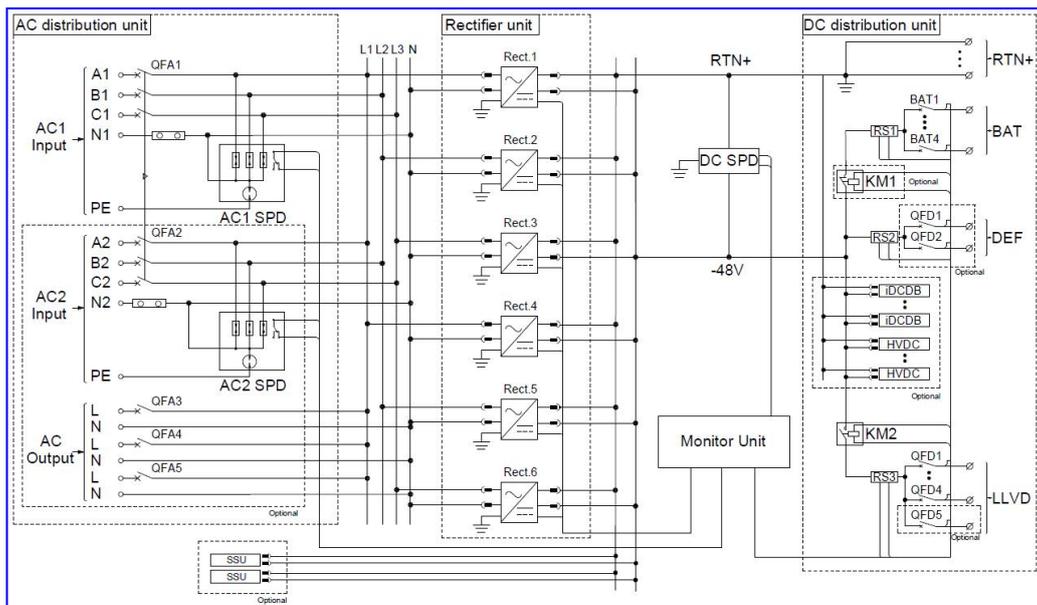
### 案例三：零碳绿色基站技术

#### 1.技术适用范围

适用于偏远区域基站建设。

#### 2.技术原理及工艺

该技术基于定制化基站、智能锂电池储能系统、太阳能集成一体化能源柜构建绿色基站。一体化能源柜接入太阳能、电池储能等能源，转换为设定参数的交/直流电压，为基站提供稳定电力支撑。以覆盖 3 扇区的零碳绿色基站典型配置为例，包含定制化低功耗基站、室外柜及锂电池、太阳能电池板，设备成本约 25 万元，总重量约 500 千克。定制化基站面向偏远区域场景特点进行针对性研发，在满足无线覆盖的前提下，通过硬件模块级功耗拆解优化，搭载智能节能算法，实时感知业务负载波动、环境温度变化等参数，自动调整设备运行状态。工作原理如图所示。



零碳绿色基站技术工作原理图

### 3.技术功能特性及指标

- (1) 清洁能源供电率为 100%;
- (2) 内置可控储能智能锂电池 600 安·时;
- (3) 光伏发电峰值功率为 6480 瓦;
- (4) 电池备用时长为 48 小时;
- (5) 非峰值时段设备能耗降低率 $\geq 30\%$ 。

### 4.应用案例

#### (1) 项目基本情况:

技术提供单位为中国移动通信集团设计院有限公司，应用单位为青海某公司。该应用单位基站为新建项目，项目地处风光资源丰富的区域。

#### (2) 主要技术改造内容及实施周期:

安装 4/5G 低频段一体化基站、卫星基带回传、室外型能源柜，搭配 600 安时可控储能智能锂电池、峰值功率 6480 瓦太阳能光伏阵列。实施周期 1 年。

#### (3) 节能降碳效果及投资回收期:

平均电能利用效率 PUE 为 1.07，年节电量 1.4 万千瓦时，折合年节约标准煤 4.2 吨，减少二氧化碳排放 11.3 吨。投资额为 16.1 万元，投资回收期为 7.1 年。

## 案例四：智慧机房节能技术

### 1.技术适用范围

适用于风冷型通信机房、数据中心。

### 2.技术原理及工艺

该技术采用人工智能控制平台、精密空调自适应技术与室外冷凝器喷淋技术。通过实时采集机房环境参数与设备能耗数据，持续监测机房温度、湿度及各类用能设备的能耗指标，对标预设的智能预测模型，实现机房实际热负荷动态调整运行策略。系统节能率可达 23%。系统原理如图所示。



高压智能室外喷雾系统原理示意图

### 3.技术功能特性及指标

- (1) 温差控制精度为 $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ ；
- (2) 喷雾粒度可在 10 微米~50 微米动态调整；
- (3) 出水电阻率大于 15 毫欧·厘米。

### 4.应用案例

(1) 项目基本情况：

技术提供单位为中国联合网络通信有限公司深圳市分公司，应用单位为深圳某公司核心机房。改造前该核心机房冷热通道混合，IT 总负荷 686.7 千瓦，配置 30 台风冷精密空调，总制冷为 1906 千瓦，综合能耗较高。

(2) 主要技术改造内容及实施周期：

建设一套 AI 能源管理平台、10 台精密空调变频控制设备及 28 套高压智能喷雾系统。实施周期 1 个月。

(3) 节能降碳效果及投资回收期：

可实现整体节电率 23%左右，项目可实现年节电量 63.2 万千瓦时，折合年节约标准煤 191.5 吨，减少二氧化碳排放 509.4 吨。投资额为 61 万元，投资回收期为 1.5 年。

## （六）数字化绿色化协同转型技术

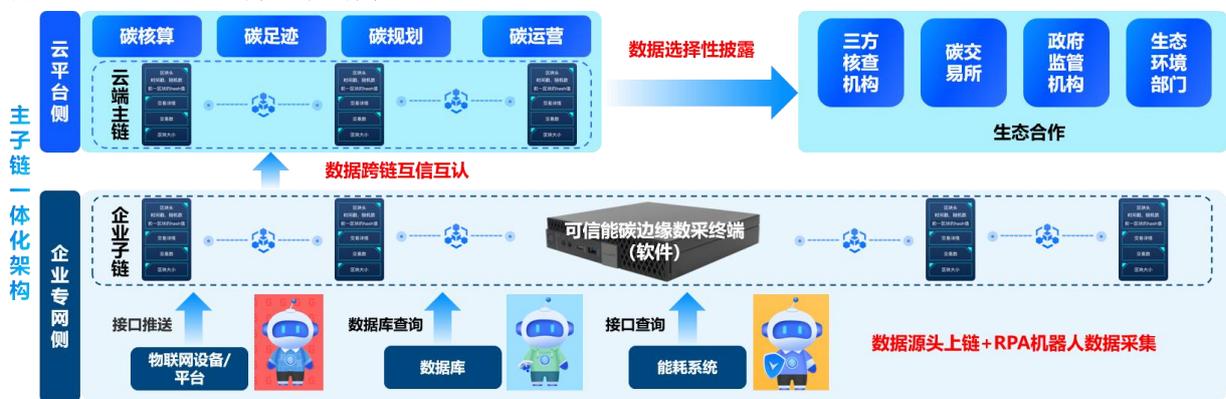
### 案例一：算力中心碳治理技术

#### 1.技术适用范围

适用于数据中心能碳管理系统。

#### 2.技术原理及工艺

该技术采用算力碳效量化模型，融合智能调控、碳排放因子量化分析与低碳运维策略等技术，实时追踪、优化算力碳效水平。通过对算力基础设施的能耗数据、环境参数、负载等进行实时监控和分析，并通过机器学习模型和算力碳效量化模型分析影响碳排放的因素，生成数据中心电能利用效率动态优化方案并自动执行。技术架构如图所示。



算力中心碳治理技术架构图

#### 3.技术功能特性及指标

- （1）支持电、水、气、物流等 20+类数据源的实时融合；
- （2）支持 50+细分场景的碳核算模型与碳流网络分析；
- （3）平台核心组件（区块链底层、隐私计算引擎）100%适配国产芯片及操作系统。

#### 4.应用案例

##### (1) 项目基本情况：

技术提供单位为中国移动紫金（江苏）创新研究院有限公司，应用单位为江苏某数据中心。该数据中心 PUE 高于 1.50，制冷系统能耗偏高。

##### (2) 主要技术改造内容及实施周期：

在数据中心服务器机房配置智能化运维策略与能效优化模型，实现 IT 资源池与制冷系统的高效协同运作。实施周期 16 个月。

##### (3) 节能减碳效果及投资回收期：

经测算，该技术可实现节电 20%，年节电量为 643 万千瓦时，折合年节约标准煤 1948.3 吨，减少二氧化碳排放 5182.5 吨。投资额为 580 万元，投资回收期为 1.2 年。

## 案例二：能碳一体化运营管理技术

### 1.技术适用范围

适用于数据中心能碳管理系统。

### 2.技术原理及工艺

该技术融合能碳态势感知、能算碳诊断评估、能算碳协同优化算法与预测性维护等技术，智能生成并自动执行数据中心最优节能降碳策略。能碳态势感知构建数据底座，融合人工智能大模型打造智能碳管理助手；能算碳诊断评估构建无线网能效、算效与碳效预测模型；采用人工智能机理融合协同优化算法，实现系统最优工况运行。技术架构如图所示。



能碳一体化运营管理平台技术架构图

### 3.技术功能特性及指标

- (1) 能碳数据分析与管理覆盖用能场景类型超过 4 个；
- (2) 可分析、管理能碳指标类型超 500 项；
- (3) 能耗预测模型误差低于 5%。

### 4.应用案例

(1) 项目基本情况：

技术提供单位为中国移动通信集团设计院有限公司，应用单位为贵州某公司。该应用单位某机房装机功率为 33000 千瓦，制冷系统、供配电系统等单元未纳入集中管理。

(2) 主要技术改造内容及实施周期：

搭建数据中心数智化综合管理与智能运维体系。聚焦监管控一体精益运维，实现数据统一整合与深度利用，支撑智慧监控、识别、分析、预测、诊断等。实施周期 3 个月。

(3) 节能降碳效果及投资回收期：

项目实现总能耗降低 4.5%，制冷系统能耗降低 9%以上。投资额为 2000 万元，投资回收期为 4 年。

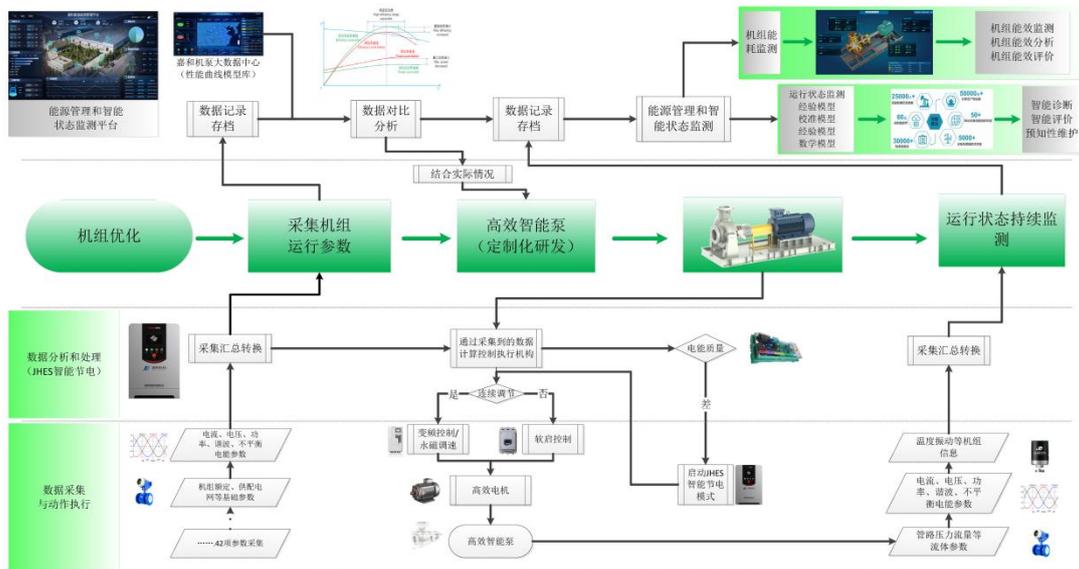
### 案例三：流体智慧节能系统

#### 1.技术适用范围

适用于煤化工、石油化工、有色冶炼、硫磷化工等行业的泵系统。

#### 2.技术原理及工艺

该系统集成智能泵、驱动系统、控制系统、智慧能源管理平台及智能状态监测模块，通过各组件的协同联动，构建从流体输送到末端的全流程解决方案，覆盖驱动调控、负载适配、运行状态实时监测及能源动态管理等关键环节，实现泵系统最佳运行效率及最优工艺匹配，节能率可达15%以上。技术原理如图所示。



流体智慧节能系统技术原理图

#### 3.技术功能特性及指标

- (1) 系统节能率超过 15%；
- (2) 压力/流量控制误差在±1%以内；

(3) 支持 PID 自适应调节算法，动态响应时间小于 2 秒；

(4) 故障诊断准确率超过 95%，支持远程诊断与预测性维护。

#### 4.应用案例

(1) 项目基本情况：

技术提供单位为昆明嘉和科技股份有限公司，应用单位为中煤陕西能源化工集团有限公司。应用单位年生产甲醇 180 万吨，单位产品能耗为 19.88 千克标准煤/吨。

(2) 主要技术改造内容及实施周期：

在甲醇中心气化装置采用智慧节能系统，配置高效泵、智慧能源管理平台等。实施周期 6 个月。

(3) 节能降碳效果及投资回收期：

经测算，单位产品能耗降低至 13.3 千克标准煤/吨，单台设备年节约电量 20.6 万千瓦时，折合年节约标准煤 62.4 吨，减少二氧化碳排放 166.0 吨。投资额为 108 万元，投资回收期为 2 年。

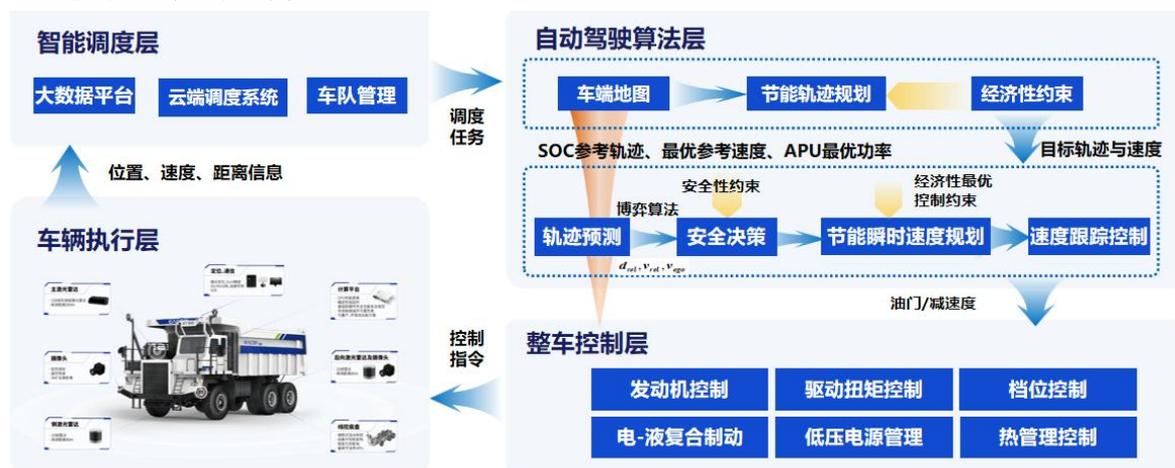
## 案例四：基于人工智能驱动的无人矿卡全局最优能量管理系统及能耗优化技术

### 1. 技术适用范围

适用于矿石、煤炭等物料运输系统。

### 2. 技术原理及工艺

该技术集成云端智能调度、车端无人驾驶及线控控制等技术。云端智能调度技术通过调度算法，实现生产任务与运行模式的动态优化，提高整体运营效率，降低单位作业能耗；车端无人驾驶系统智能规划全局最优经济车速，减少急加减速行为，降低能耗；线控控制技术通过制定能量管理策略，实现动力系统关键能量精确分配。与传统燃油矿卡相比，该技术可实现节能率 15%。系统原理如图所示。



系统原理图

### 3. 技术功能特性及指标

(1) 无人驾驶模式油耗降低 5%以上；

(2) 比传统燃油矿卡油耗降低 15%以上；

(3) 新能源矿卡动力传动系统最高综合效率超过 90%。

#### 4.应用案例

(1) 项目基本情况：

技术提供单位为易控智驾科技股份有限公司，应用单位为新疆哈密三塘湖能源开发建设有限公司。为满足应用单位对不同道路环境和恶劣天气下的运输需求，需对矿区运输系统进行智能化改造。

(2) 主要技术改造内容及实施周期：

项目期间内投入 77 辆新能源线控矿卡，配套无人驾驶系统、智能云控平台、协同作业系统以及智能巡检系统。实施周期 1 个月。

(3) 节能降碳效果及投资回收期：

经测算，运营车型与传统燃油车相比，节油率为 15%，年节约柴油 108.59 万升。投资回收期为 3 年。

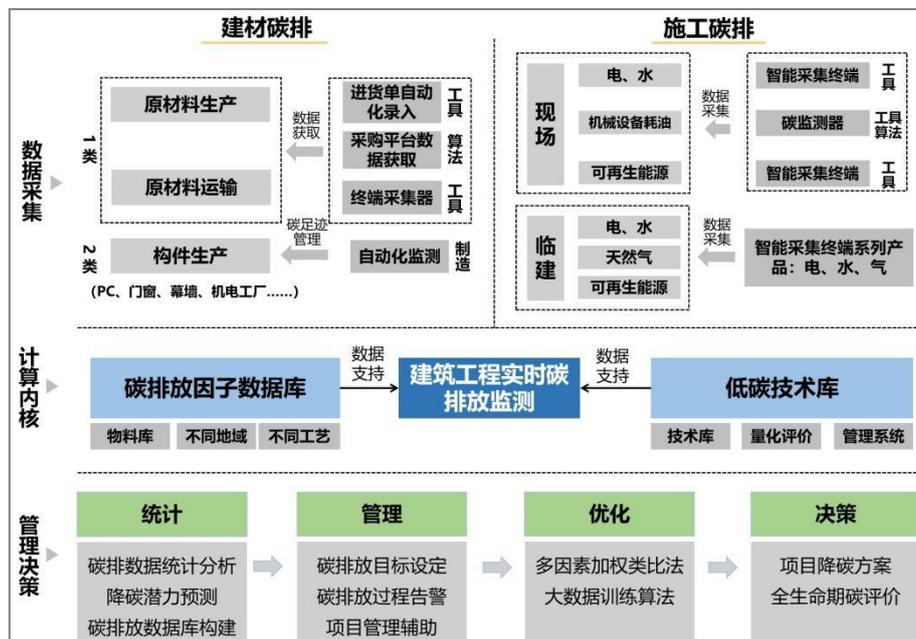
## 案例五：工程建造碳监测与优化控制技术

### 1.技术适用范围

适用于建材行业数字化碳管理。

### 2.技术原理及工艺

该技术融合智能物联网与碳排放因子法，构建覆盖施工活动、建材运输和建材生产三类碳排放场景的碳监测体系，可实现工程建造活动碳排放自动监测。基于 2000 余个工程项目的碳排放数据库，对建造碳排放强度及其关键影响因素进行敏感性分析，生成低碳建造策略方案。新建项目碳减排率可达 4%。技术原理如图所示。



工程建造碳监测与优化控制技术原理图

### 3.技术功能特性及指标

(1) 实时碳监测自动化水平超过 85%;

(2) 拥有碳排放因子数据库和低碳技术库；

(3) 新建项目节能率可达 4%以上。

#### 4.应用案例

(1) 项目基本情况：

技术提供单位为中国建筑第八工程局有限公司，应用单位为上海富洲滨江开发建设投资有限公司。该项目为新建项目。

(2) 主要技术改造内容及实施周期：

采用工程碳排放监测与管理系统及相关设备对项目建设过程中碳排放进行监测与管理。实施周期 1 年。

(3) 节能降碳效果及投资回收期：

改造完成后，经测算，节能率达 22%，年节约电量 33.7 万千瓦时，折合年节约标准煤 102.1 吨，减少二氧化碳排放 271.6 吨。投资额为 24 万元，投资回收期为 0.7 年。

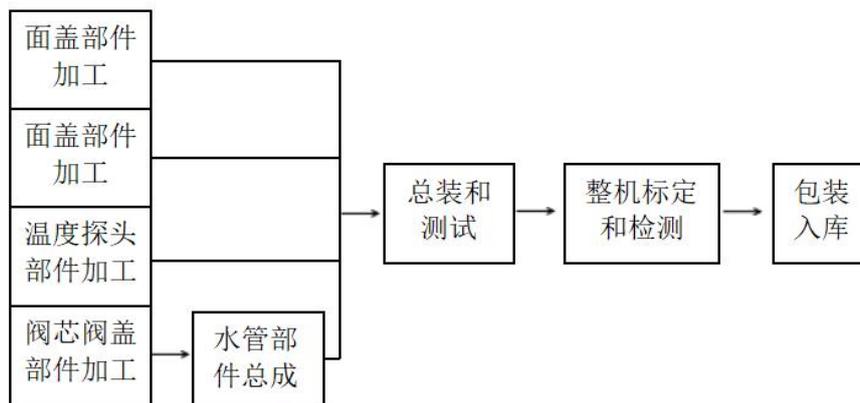
## 案例六：基于平衡热量表的智慧供热技术

### 1.技术适用范围

适用于城市供热领域。

### 2.技术原理及工艺

该技术采用电磁流量测量与焓差法热计量，结合供回水温度比值控制算法和室温软测量模型，构建从热源到用户的智慧供热闭环系统。通过表阀一体化设计同步完成流量计量与调节，实现二次网水力/热力动态平衡，节能率可达 15%。热量表生产工艺流程如图所示。



热量表生产工艺流程图

### 3.技术功能特性及指标

- (1) 热计量准确度等级为 2 级；
- (2) 标称流量范围为 2.5 立方米~10 立方米；
- (3) 温度测量误差为  $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ 。

### 4.应用案例

- (1) 项目基本情况：

技术提供单位为杭州云谷科技股份有限公司，应用单位为中国华能北方联合电力包头第二热电厂。改造前应用单位供热耗能种类为煤，供热面积为 213000 平方米，供热住户数量为 2668 户，总电量为 274170.4 千瓦时。

(2) 主要技术改造内容及实施周期：

完成智慧供热驾驶舱监控平台的搭建，对 2668 户居民供热入口管路安装平衡热量表，配套通信系统。实施周期 1 个月。

(3) 节能降碳效果及投资回收期：

经测算，单位热耗降低 26%，年综合节约标准煤 419.9 吨，折合约减少二氧化碳排放 1116.9 吨。投资额为 217 万元，投资回收期为 3.9 年。

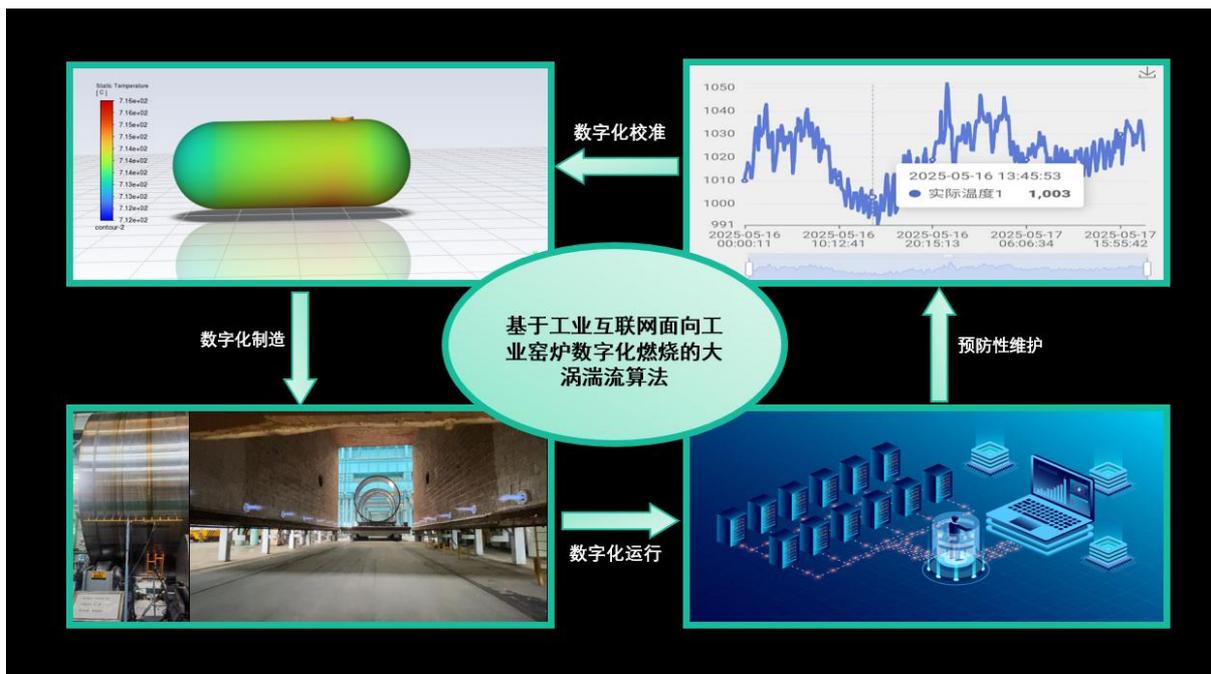
## 案例七：基于大涡湍流模拟的工业窑炉数字化燃烧控制技术

### 1.技术适用范围

适用于工业窑炉智能燃烧系统。

### 2.技术原理及工艺

该技术通过大涡湍流燃烧模拟算法，对工业窑炉现有燃烧系统进行设计改造，即时运算和呈现工业燃烧动态参数，实现精细化、数字化、稳定化燃烧，可提升产品质量。单位产品能耗降低15%，燃烧相关的污染物排放降低25%。技术原理如图所示。



基于大涡湍流模拟的工业窑炉数字化燃烧控制技术原理图

### 3.技术功能特性及指标

- (1) 单位产品能耗降低15%以上；
- (2) 减少氮氧化物排放超过25%；
- (3) 提高产品质量及稳定性5%以上。

#### 4.应用案例

##### (1) 项目基本情况:

技术提供单位为江阴优燃科技有限公司，应用单位为国机重型装备集团股份有限公司。应用单位 4 号加热炉年产能达 1.7 万吨。改造前锻件升温速率慢，氧化烧损率高，单位产品天然气消耗为 56 立方米/吨。

##### (2) 主要技术改造内容及实施周期:

对 4 号加热炉进行升级，通过大涡湍流燃烧模拟，实现炉内温度的合理分布，提高能源利用效率。实施周期 4 个月。

##### (3) 节能降碳效果及投资回收期:

改造后，单位产品天然气消耗降至 38.8 立方米/吨，节能率为 30.7%，年节约天然气 28.9 万立方米。投资额为 135 万元，投资回收期为 14 个月。

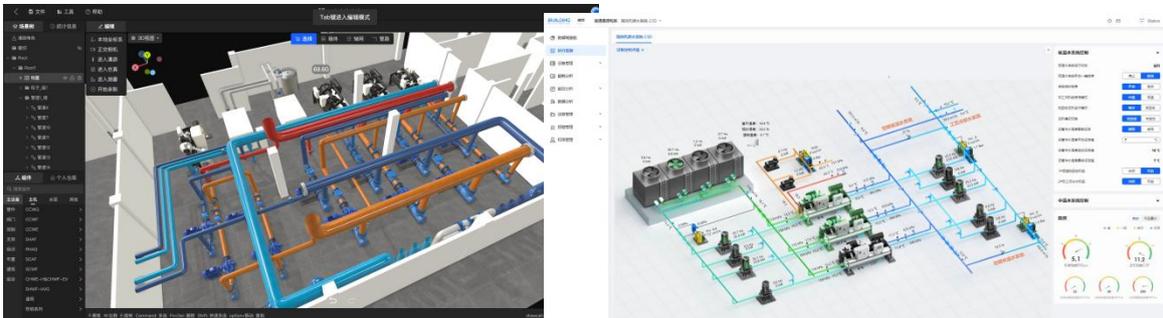
## 案例八：高效制冷机房全生命期智能化技术

### 1.技术适用范围

适用于通信机房的设计、建设、运维管理。

### 2.技术原理及工艺

该技术包括机房可视化仿真平台、智控系统和能效系统，可支撑机房设计、交付、运维管理全流程。设计阶段采用生成式人工智能、数字孪生等技术自动生成图纸、三维模型等方案；交付阶段通过数字孪生技术将三维模型转化为能效监测系统原理图，提升设计与交付一致性，交付周期减少 30%；运维阶段依托物联网技术智能生成并自动执行最优节能方案。高效制冷机房全生命期智能化技术架构如图所示。



高效制冷机房全生命期智能化技术架构图

### 3.技术功能特性及指标

- (1) 高效制冷机房设计、交付周期节约 30%；
- (2) 通过故障预警功能，提前规避 90%的潜在问题；
- (3) 节电率超过 15%。

### 4.应用案例

- (1) 项目基本情况：

技术提供单位为广东美的暖通设备有限公司，应用单位为某集团公司。改造前，应用单位原机房配置制冷设备的总制冷量为16178 千瓦（4600RT），含 3 台溴化锂机组、2 台螺杆式冷水机组，采用二次泵系统，管路复杂，能耗高。

（2）主要技术改造内容及实施周期：

采用超高效智能环控系统，包含本地高效机房智控系统、能效管理平台。实施周期 2 个月。

（3）节能降碳效果及投资回收期：

改造后，综合节能率达 30%，年节约电量为 331.6 千瓦时，折合年节约标准煤 1004.8 吨，减少二氧化碳排放 2672.8 吨。投资额为 1300 万元，投资回收期为 7.6 年。

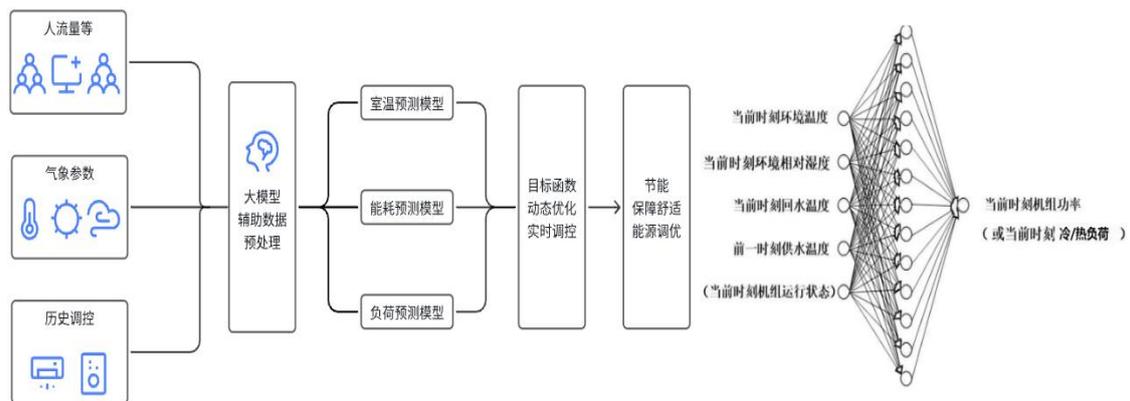
## 案例九：工业企业综合能源管理平台技术

### 1.技术适用范围

适用于工业企业能源管理系统。

### 2.技术原理及工艺

该技术通过实时采集工厂室内温湿度、二氧化碳浓度等环境数据及用能设备的运行参数，整合历史运行记录构建完整基础数据库。智能调度模型结合项目特性搭建温度预测、能耗分析、负荷预判等子模型，动态优化能源供给逻辑，输出适配实时工况的最优节能运行策略，节能率可达 15%。技术原理如图所示。



工业企业综合能源管理平台技术原理图

### 3.技术功能特性及指标

- (1) 预测准确度达 95%以上；
- (2) 节能率可达 15%；
- (3) 服务器可按需动态扩容。

### 4.应用案例

- (1) 项目基本情况：

技术提供单位为天津华德智慧科技集团有限公司，应用单位为天津市静海区机关事务服务中心。改造前，应用单位原制冷机组效率低，管网热损失严重，暖通、电力、给排水系统分散管理；年总二氧化碳排放量为 5742.57 吨。

(2) 主要技术改造内容及实施周期：

采用物联网综合能源管理平台，集成 3D 可视化监测、暖通智能调控（M1-M2 双模型算法）、电力安全监管等模块，更换高效制冷机组及输配系统。实施周期 1 年。

(3) 节能降碳效果及投资回收期：

改造后，综合节能率达 19.5%，年节能量为 249.3 吨标准煤，折合年减少二氧化碳排放 663.1 吨。投资额为 691 万元，投资回收期为 6 年。

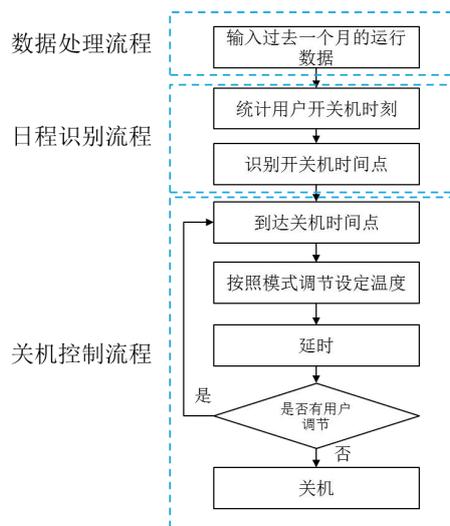
## 案例十：多联式空调（热泵）机组能耗监控技术

### 1.技术适用范围

适用于多联式空调（热泵）机组能耗管理平台。

### 2.技术原理及工艺

该技术通过采集多联机实时运行数据，融合人工智能算法，计量、分析与预测用能设备能耗，生成涵盖智能日程规划、温度设定寻优、智慧喷淋调控、冷媒量预警及能耗诊断等多维度的节电策略，并自动完成自适应控制，节能率可达 10%。工作原理如图所示。



多联式空调（热泵）机组能耗监控平台工作原理图

### 3.技术功能特性及指标

- (1) 室内机开关机辨识准确度高达 98%；
- (2) 温度偏差不大于 0.3℃；
- (3) 通过冷凝压力和室外温度的联动控制，实现 75%的节电。

水效果。

#### 4.应用案例

##### (1) 项目基本情况：

技术提供单位为广东美的暖通设备有限公司，应用单位为仁怀市立诚投资有限公司。该项目建筑面积约 20 万平方米，共有 55 套多联机和 600 台空调内机，总耗电量为 24.1 万千瓦时。

##### (2) 主要技术改造内容及实施周期：

采用多联机能耗监控平台对 55 套多联机和 600 台空调内机设置智能日程。实施周期 1 个月。

##### (3) 节能降碳效果及投资回收期：

经测算，2024 年 1 月—10 月对比 2023 年同期，节电量为 4.2 万千瓦时，节电率为 17.4%。投资额为 5.5 万元，投资回收期为 1.3 年。

## 案例十一：高效冷水机房全过程集成技术

### 1.技术适用范围

适用于制冷机房建设。

### 2.技术原理及工艺

该技术采用动态负荷预测算法以及建筑信息模型三维技术，匹配冷量需求，构建低阻管路布局。融合物联网监测与数字孪生技术，实时感知环境参数，通过人工智能算法动态诊断系统能效，实时调节冷水主机、低扬程水泵、冷却塔等设备运行参数，实现按需供冷。制冷系统节能率可达 20%。工作原理如图所示。



高效冷水机房全过程集成技术工作原理图

### 3.技术功能特性及指标

- (1) 制冷机房系统全年平均运行能效比（AEER） $\geq 5.0$ ；
- (2) 充分利用峰谷电价、环境冷源与废热资源，实现多设

备协同降耗。

#### 4.应用案例

##### (1) 项目基本情况：

技术提供单位为广州施杰节能科技有限公司，应用单位为广州融捷能源科技有限公司。该项目为新建项目，总建筑面积为 53 万平方米，制冷机房年用冷量约为 1.18 亿千瓦时。

##### (2) 主要技术改造内容及实施周期：

采用高效机房全过程节能技术和水蓄冷技术，配置综合能源管理系统，将用能设备等纳入统一管理框架。实施周期 6 个月。

##### (3) 节能降碳效果及投资回收期：

制冷机房系统全年平均运行能效比（AEER）为 5.58，年综合节约电量 1340 万千瓦时，折合年节约标准煤 4060.2 吨，减少二氧化碳排放 1.08 万吨。投资额为 3700 万元，投资回收期为 3.7 年。

## 案例十二：基于人工智能负荷预测的冷热站节能智控技术

### 1.技术适用范围

适用于区域冷热或冷热电多联供能源站。

### 2.技术原理及工艺

该技术通过自研高性能边缘计算器、智控器，采集冷热站机组、输配管网、室内末端、室外环境的数据。采用内置运行仿真技术训练人工智能前馈调控算法模型，最终生成以保障室内环境舒适度为前提、以冷热源系统供需平衡为目标的前馈调控策略，包括主机逐时投切、开关机最优时间规划、水泵实时变频、冷却塔逐时投切等智能控制方案。综合节能率可达 24%。技术原理如图所示。



基于人工智能负荷预测的冷热站节能智控技术原理图

### 3.技术功能特性及指标

(1) 硬件国产化率达 95%以上；

(2) 数据采集频率可达 100 毫秒，控制指令响应时间在 1 秒以内；

(3) 运行可靠性达到 99%以上。

### 4.应用案例

(1) 项目基本情况：

技术提供单位为中瑞恒（北京）科技有限公司，应用单位为北京达一安装工程有限公司。该应用单位承接建筑面积为 1.3 万平方米的工程，包括一个冷站，由 2 台磁悬浮制冷机组，3 台冷冻水泵、3 台冷却水泵和 3 台冷却塔组成。

(2) 主要技术改造内容及实施周期：

采用基于人工智能负荷预测的冷热站节能智控技术，对输配管网增装智能温度、压力、温差、流量计等传感器，为泵组及冷却塔等设备安装智能电表，并对泵组变频控制系统进行改造。实施周期 2 个月。

(3) 节能降碳效果及投资回收期：

项目建成后，节能率为 15%，年节约电量为 5.5 万千瓦时，折合年节约标准煤 16.7 吨，减少二氧化碳排放 44.4 吨。投资额为 63.6 万元，投资回收期为 2.5 年。

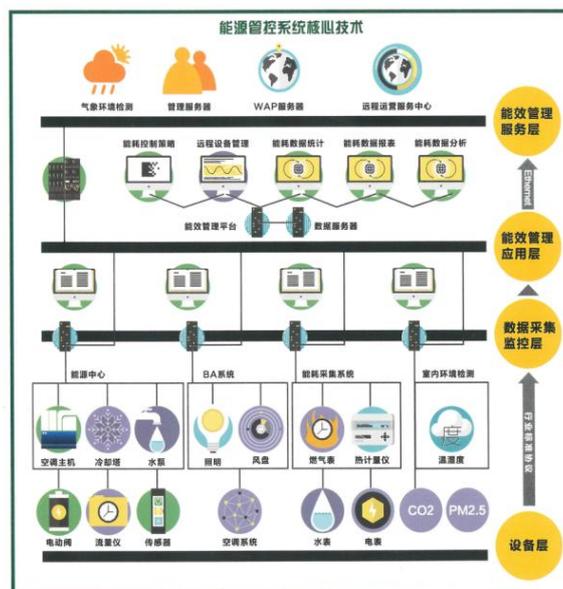
### 案例十三：多能互补智慧能源管控技术

#### 1.技术适用范围

适用于工业企业、园区能源管理系统。

#### 2.技术原理及工艺

该技术采用物联网技术和智能算法，构建涵盖冷热源、输配管网及末端空调的综合节能降碳闭环体系。通过实时监测用能设备的运行状态，同时整合多种能源大模型，动态调整和优化关键设备的参数，提升运行稳定性和可靠性，节能率可达 15%。工艺流程如图所示。



多能互补智慧能源管控平台工艺流程图

#### 3.技术功能特性及指标

- (1) 24 小时负荷预测误差率小于 8%;
- (2) 从负荷/能源供给波动到完成多能互补调度指令执行延

迟小于 5 分钟；

(3) 平台内嵌入 10 余种能源大模型。

#### 4.应用案例

(1) 项目基本情况：

技术提供单位为北京京能华清综合能源股份有限公司，应用单位为北京热力集团有限责任公司。该项目由应用单位承接 4.7 万平方米供暖，2.9 万平方米供冷。

(2) 主要技术改造内容及实施周期：

整合浅层地温能、空气能、冰蓄冷系统，构建“水源热泵+地源热泵+冰蓄冷+能源塔热泵”的多能耦合体系，建设“设备智慧管理平台”，可集中管理冷热源、末端设备、光伏系统及充电桩。通过动态监控与策略优化，确保系统稳定经济运行。实施周期 4 个月。

(3) 节能降碳效果及投资回收期：

改造后，节能率为 10.7%，年节约电量为 115 万千瓦时，折合年节约标准煤 348.5 吨，减少二氧化碳排放 927.0 吨。投资额为 146.1 万元，投资回收期为 3 年。

## 案例十四：冷链设备智控节能技术

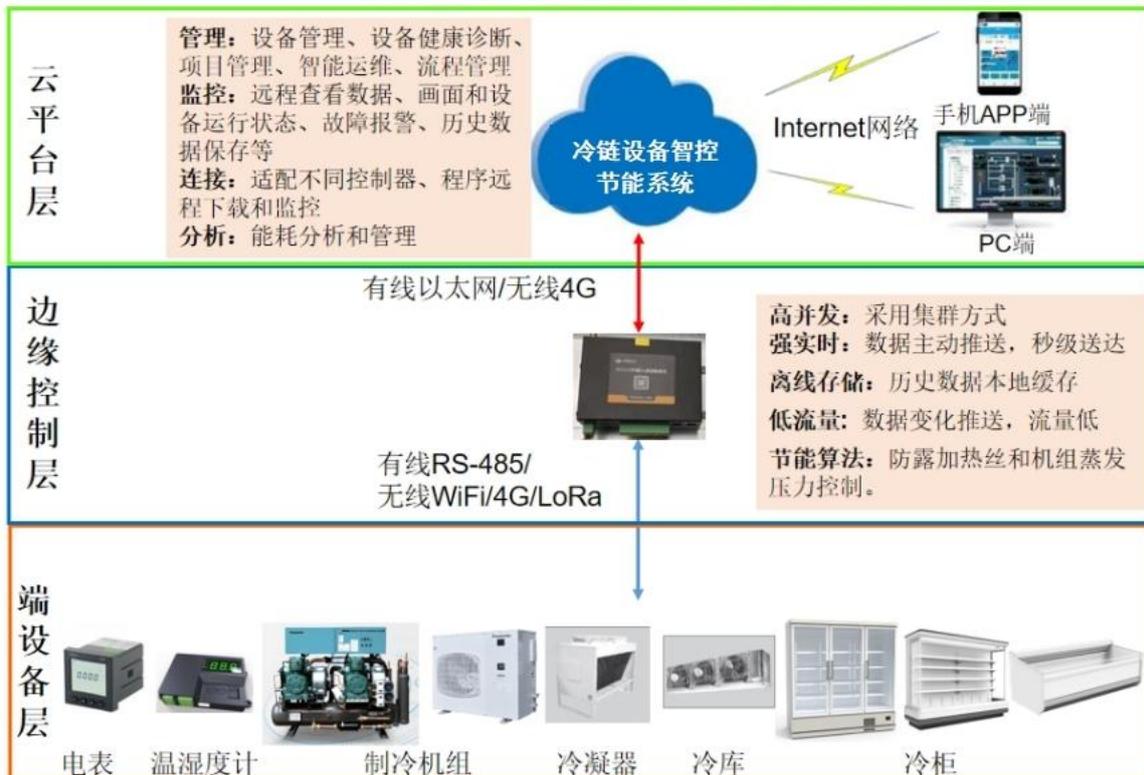
### 1.技术适用范围

适用于冷链设备系统。

### 2.技术原理及工艺

该技术由冷链云平台、工业物联网关、冷链设备端控制器等构成，可实时采集冷柜、冷库、压缩机机组、环境温湿度等参数，通过云平台智能报警功能，可降低运维成本。采用防凝露算法和制冷压缩机浮动吸气压力控制算法，实现防露加热丝和压缩机机组自动控制，节能率为10%~25%。系统架构如图所示。

## ICECO智控节能技术系统构架



冷链设备智控节能系统架构示意图

### 3.技术功能特性及指标

- (1) 节能率为 10%~25%;
- (2) 温度控制精度为 $\pm 1^{\circ}\text{C}$ ;
- (3) 温度控制范围为 $-40^{\circ}\text{C} \sim 20^{\circ}\text{C}$ 。

### 4.应用案例

#### (1) 项目基本情况:

技术提供单位为冰山松洋冷链（大连）股份有限公司，应用单位为东北某大型超市。应用单位制冷系统采用 57 套不带通信功能的冷链设备控制器，操作复杂。

#### (2) 主要技术改造内容及实施周期:

采用智能主控箱 1 套、物联网控制/无线通信模块 57 套。实施周期 7 天。

#### (3) 节能降碳效果及投资回收期:

改造后，项目年节省电量 7.4 万千瓦时，年碳减排量 42.2 吨二氧化碳，年节能率为 17.2%。投资额为 9.4 万元，投资回收期为 2.5 年。

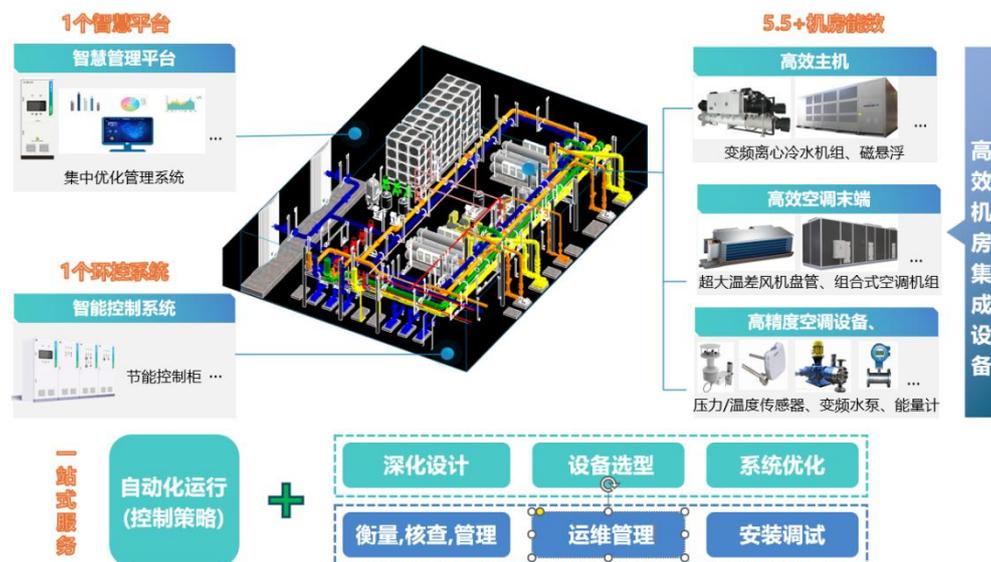
## 案例十五：机房综合能源管理技术

### 1.技术适用范围

适用于通信机房能源管理系统。

### 2.技术原理及工艺

该技术采用全年动态负荷模拟、运行能耗仿真、系统阻力与温差优化、管网水力平衡优化、机房群控、人工智能寻优、可视化安装和运维等技术，实现水蓄冷制冷机房系统智慧运维。空调末端风机盘管采用温差串联逆流、直流无刷电机技术，可实现精准温差及无级调速变风量运行。新风机采用离心风机，新风干管设置变风量控制器，可根据室内二氧化碳等气体浓度传感器调节新风量大小，实现按需供应新风量。机房可支持运维全过程可视化管理，机房制冷系统全年能效比达 5.50。技术原理如图所示。



机房综合能源管理系统技术原理图

### 3.技术功能特性及指标

- (1) 机房能效比 (EER)  $\geq 5.0$ ;
- (2) 产品预制率超过 95%;
- (3) 数据处理响应时间小于 5 秒;
- (4) 系统平均响应时间小于 3 秒。

#### 4.应用案例

##### (1) 项目基本情况:

技术提供单位为广东申菱环境系统股份有限公司, 应用单位为广东某股份公司。该项目为新建项目, 要求满足园区的冷源供应, 同时实现夜间低环境温度期间谷电蓄冷, 日间放冷。

##### (2) 主要技术改造内容及实施周期:

采用 2 台 1800 千瓦超大温差磁悬浮冷水机组, 2 台蓄冷水泵, 6 台放冷水泵, 2 台冷却塔, 建设 2 个容积为 1230 平方米的蓄冷罐, 搭建综合能源管理平台。实施周期 4 个月。

##### (3) 节能降碳效果及投资回收期:

机房能效比达到 5.52。项目年节省电量 129.9 万千瓦时, 折合年节约标准煤 393.6 吨, 减少二氧化碳排放 1047.0 吨。投资额为 500 万元, 投资回收期为 3.27 年。

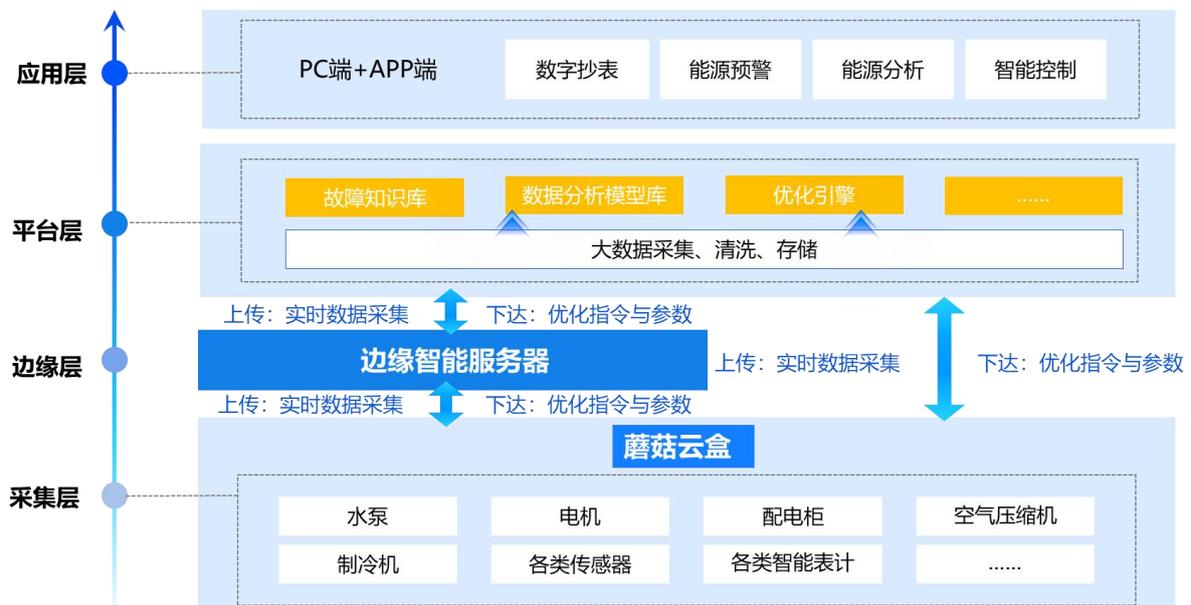
## 案例十六：基于人工智能大模型的公辅车间数字化能效协同调控技术

### 1.技术适用范围

适用于工业企业公辅车间数字化升级。

### 2.技术原理及工艺

该技术实时采集设备运行状态、工艺参数等核心数据并上传至云端，依托人工智能算法开展建模分析与数据挖掘，形成智能决策方案与动态调节指令，整合用能趋势预测、全链路智能调控、三维可视化监控、故障在线诊断预警等功能模块，实现从数据采集、智能分析到决策执行的全流程闭环管理。系统节能率可达10%。技术原理如图所示。



基于人工智能大模型的公辅车间数字化能效协同调控技术原理图

### 3.技术功能特性及指标

- (1) 具备实时自主分析、判断、应变能力；
- (2) 可实现无线布控，非侵入式安装；
- (3) 支持 1600 种通信协议。

#### 4.应用案例

##### (1) 项目基本情况：

技术提供单位为广东蘑菇物联科技有限公司，应用单位为华润三九医药股份有限公司。应用单位某压缩空气系统有 3 台空压机、3 台冷干机、3 台吸干机，中央空调系统有 5 台制冷机、14 台水泵、5 台冷却塔。采用人工操作，设备空载率高，管网压差大。

##### (2) 主要技术改造内容及实施周期：

在各类用能设备上安装传感器、电表和流量计，将网关与边缘服务器连接，配置系统参数。实施周期 1 个月。

##### (3) 节能降碳效果及投资回收期：

改造后，节能率为 15%，年节约电量 55.5 万千瓦时，折合年节约标准煤 168.2 吨，减少二氧化碳排放 447.4 吨。投资额为 105 万元，投资回收期为 2.4 年。