

国家重点推广的低碳技术目录（第四批）

技术简介

中华人民共和国生态环境部

2022 年 11 月

目 录

一、节能及提高能效类技术	1
1 干式抽真空系统节能改造技术.....	1
2 多孔表面高通量管高效换热技术.....	6
3 多能互补型直流微电网及抽油机节能群控系统技术.....	10
4 旋浮铜冶炼节能减碳技术	15
5 全氧燃烧玻璃窑炉工艺及产业化技术.....	20
6 陶瓷原料干法制粉技术	25
7 多腔孔陶瓷复合保温绝热材料.....	29
8 新型无碳粘土湿型砂铸造技术.....	33
9 绕组式永磁耦合调速器技术.....	37
10 基于电磁平衡调节的用户侧电压质量优化技术.....	43
11 超低浴比高温高压全模式纱线染色机技术	50
12 高效翼型轴流风机技术	56
13 基于相变抑制传热材料的 LED 照明灯具技术.....	61
14 基于碱土金属复合盐类的绝热（保温隔热）涂料技术.....	66
15 智能化超高层建筑施工集成平台技术	71
16 基于新型一体式低氮燃烧冷凝燃气锅炉的智能供热控制技术	76
17 基于机械发泡温拌沥青的道路施工技术	82
18 数据中心高效节能喷淋液冷技术.....	86
19 数据中心垂直制冷能效控制技术.....	90
20 双系统互备机柜热管背板空调末端节能技术	95

21 10kV 交流输入直流不间断电源技术	99
二、非化石能源类技术	104
22 塔式太阳能光热发电技术	104
23 高效 P 型 PERC 单晶太阳能电池及组件制造与应用技术	108
24 基于物联网控制的储能式多能互补高效清洁供热技术	1133
25 基于真空管换热储能式热泵供热技术	1188
三、燃料及原材料替代类技术	1222
26 电解铝预焙阳极纳米陶瓷基高温防氧化涂层保护技术	1222
27 生活垃圾生态化前处理和水泥窑协同后处置技术	126
28 20m~60m 跨度钢管混凝土桁梁桥技术	131
29 高性能土工格栅制造与应用技术	136
30 纳米高分子复合型可降解生态塑料技术	141
31 基于新材料炭吸附聚谷氨酸化肥减量增效技术	145
四、工艺过程等非二氧化碳减排类技术	149
32 农田系统温室气体减排关键技术	149
五、碳捕集、利用与封存类技术	153
33 陆相油藏 CO ₂ 高效驱油与规模埋存一体化技术	153
34 新型高效低能耗二氧化碳捕集技术	158
六、碳汇类技术	163
35 基于关键因子调控的退化湿地储碳技术	163

一、节能及提高能效类技术

1 干式抽真空系统节能改造技术

一、技术名称：干式抽真空系统节能改造技术

二、技术类别：减碳技术

三、所属领域及适用范围：电力行业 凝汽器抽真空系统

四、该技术应用现状及产业化情况

本技术利用干式抽真空系统并连接入，针对传统电厂凝汽器抽真空系统，进行节能改造。目前，电厂凝汽器抽真空系统一般装设 2~3 台水环真空泵组。随着机组真空系统严密性要求越来越高，按照常规泄漏量设计配置的传统真空泵存在运行功率过大、能耗高的问题。受水环泵特性、极限真空的限制，冬季漏入真空系统的不凝结气体无法完全抽出来，普遍存在凝汽器端差大、真空差、凝结水溶氧超标等现象，影响机组经济性和安全性。干式抽真空系统节能改造技术是在凝汽器原水环抽真空设备基础上，并联一套干式抽真空系统，具有功耗低、极限真空度高、抽气速率不受密封水温影响等特点，可使电耗降低 80% 以上，机组冬季真空度得到提高，凝结水溶氧显著降低，经济性和安全效益显著。目前该技术已在 2 台 300MW 机组应用，节能减碳效果好。

五、技术内容

1.技术原理

该技术根据机组运行状态下真空严密性的实际状况，通过基于机组真空泄漏量模型算法以确定抽真空设备的抽气速率，集成了工作腔无需密封水的干式变螺距螺杆真空泵，系统极限真空度高。采用最优化的关键设备选型、系统配置功率和运行控制方案，可大幅度降低系统电耗，提高机组真空度，显著降低凝结水溶氧，提高了机组的经济性和安全性，实现节能减排。

2.关键技术

（1）基于机组真空泄漏量模型算法定制系统抽气速率技术

该技术根据机组运行状态下真空度要求的实际状况，通过基于机组真空泄漏量模型算法确定抽真空设备的抽气速率，定制化设计抽真空系统的功率，并采用变频调速设计，大幅度降低系统配置功率。

（2）基于干式变螺距螺杆真空泵的抽真空技术

该技术主设备利用干式变螺距螺杆真空泵，其转子与泵体采用较小间隙设计，无摩擦、噪音小、变螺距、工作腔无需密封水或密封油、功耗低、极限真空高。轴端采用无泄漏无磨损复合密封，轴承润滑油不易乳化，使用寿命长。

（3）基于积木式模块化集成设计技术

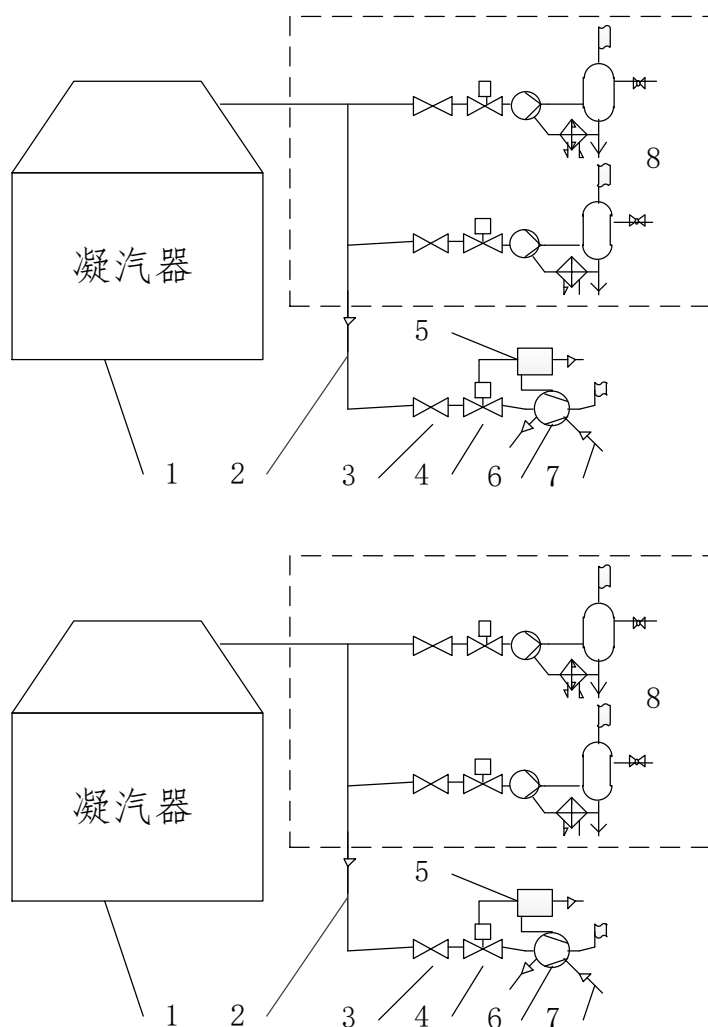
干式抽真空系统采用积木式模块化集成设计技术，占地面积小于 4m^2 ，减少设备占地面积，简化设备接口，降低维护费用。同时，设计有完善的保护逻辑和自动控制系统，系统简单易维护。

3.工艺流程

干式抽真空系统节能改造技术工艺流程见图 1。

在凝汽器原水环式抽真空设备并联增加一套干式抽真空系统，汽

轮发电机组启动时用原水环抽真空泵组，机组正常运行后启动干式抽真空系统，与原水环抽真空泵组同时备用。



- 1.电厂凝汽器 2.进气管路 3.进气真空手动阀 4.进气速关阀 5.控制装置
6.干式抽真空泵组 7.冷却水管路 8.原水环抽真空泵组

图1 干式抽真空系统节能改造技术工艺流程图

六、主要技术指标

- 1.电耗降低 80%以上；
- 2.冬季真空度提高 0.5-2kPa；
- 3.凝结水溶氧 10μg/L 以内。

七、技术鉴定及获奖情况

该技术已获得国家实用新型专利 4 项。并于 2018 年通过河北建投国融能源服务有限公司组织的科技项目成果验收。

八、典型用户及投资效益

典型用户：秦皇岛秦热发电有限责任公司

典型案例 1

案例名称：秦热 5 号机（300MW）增设真空高效装置项目

建设规模：增设一套干式抽真空系统，每台机占地约 4m²。建设条件：凝汽器使用水环真空泵组抽真空的系统。主要建设内容：机组原汽轮机凝汽器 2 台水环式真空泵抽真空设备并联增设一套干式抽真空系统。主要设备：变频干式变螺距螺杆泵及其控制系统，以及配套管道、阀门等附属设备。项目总投资 100 万元，建设期为 4 个月。年碳减排量为 4270tCO₂，碳减排成本为 10~20 元/tCO₂。年经济效益 120 万元，投资回收期小于 1 年。

典型案例 2

案例名称：秦热 6 号机（300MW）增设真空高效装置项目

建设规模：增设一套干式抽真空系统，每台机占地约 4m²。建设条件：凝汽器使用水环真空泵组抽真空的系统。主要建设内容：机组原汽轮机凝汽器 2 台水环式真空泵抽真空设备并联增设一套干式抽真空系统。主要设备：变频干式变螺距螺杆泵及其控制系统，以及配套管道、阀门等附属设备。项目总投资 100 万元，建设期为 4 个月。年碳减排量 5060tCO₂，碳减排成本为 10~20 元/tCO₂。年经济效益 140 万元，投资回收期小于 1 年。

九、推广前景和减排潜力

干式抽真空系统节能改造技术电力行业推广应用，项目投资低，见效快，节能减碳效果良好。预计未来 5 年，该技术在 300MW 等级以上大型发电机组推广应用比例将达到 10%(300MW 等级机组新增 1 套干式抽真空系统，600MW、1000MW 等级机组新增 2 套)，总投资将达到 2 亿元，每年可节电 1.3 亿 kWh，节煤 22 万 tce，可形成的年碳减排能力约 67 万 tCO₂。

2 多孔表面高通量管高效换热技术

一、技术名称：多孔表面高通量管高效换热技术

二、技术类别：减碳技术

三、所属领域及适用范围：石油化工行业 石油、化工行业的低品位热利用

四、该技术应用现状及产业化情况

在石油化工行业，重沸器、蒸汽发生器等沸腾工况换热器的换热管通常为光管，普遍存在换热效率低下的问题。装置大型化是我国石油化工行业未来的发展趋势，但因效率低造成的换热器体积大、数量多等问题尤为突出，不利于低品位热利用。用多孔表面高通量管替代光管，使换热器具有所需传热温差小、换热效率高等优点，能够加强对更低品位的余热进行利用，并有效减少换热器的数量和体积，提高压缩机的效率。目前，多孔表面高通量管换热器已在百万吨乙烯、60万吨/年甲醇制烯烃，以及50万吨/年煤制乙二醇等大型化工装置上成功应用，并取得良好节能效果。

五、技术内容

1.技术原理

该技术是一种用于提高沸腾换热效率的强化换热技术，通过在普通换热管表面制造一层金属多孔层，达到强化沸腾传热的目的。金属多孔层能提供大量的泡核中心，可使传热维持在高效率的泡核沸腾状态，使沸腾换热系数达到光管的3~8倍，从而有效减少换热器的体积和数量；同时，表面的多孔使介质容易形成大直径气泡，可降低达到沸

腾所需的过热度，减小传热温差，从而可以利用更低品位的余热，提高压缩机效率，实现节能减碳。

2.关键技术

(1) 强化传热结构设计技术

针对不同低品位热利用的差异化需求，根据介质特性和温差条件进行强化传热设计，设计适宜的多孔表面高通量管外形，并设计与之相匹配的换热器结构。

(2) 多孔层金属粉末配方技术

根据传热强化要求，筛选适宜的多孔层金属粉末配方，调控制成工艺达到合适的孔径和孔隙率范围，使多孔层的工艺参数既能满足强化传热要求，也能满足结合强度要求。

(3) 多孔层和基层的烧结工艺技术

采用优选的烧结温度及工艺，使金属颗粒间以及金属颗粒与基管之间达到微冶金结合状态，并且实现制造出的金属多孔层厚度均匀、与基层结合牢固。

3.工艺流程

多孔层微观结果及多孔表面高通量管沸腾强化传热原理见图 1。

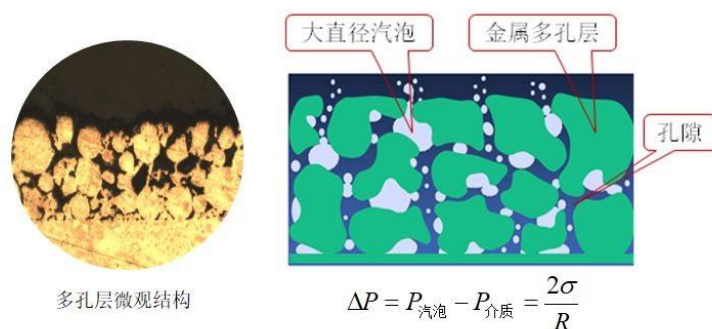


图 1 多孔层微观结果及沸腾强化传热原理示意图

六、主要技术指标

1. 沸腾传热系数为光管的 3~8 倍；
2. 沸腾温差为光管的 1/4~1/7；
3. 多孔层厚度 0.2~0.4mm；
4. 多孔层孔隙率 20%~70%；
5. 多孔层孔径 50~150 μm 。

七、技术鉴定及获奖情况

该技术已获得国家发明专利 2 项，实用新型专利 24 项。2012 年通过了中国石油和化学工业联合会组织的科技成果鉴定；2018 年通过了中国有色金属工业协会组织的科技成果评价；2018 年荣获中国有色金属工业科学技术奖一等奖。

八、典型用户及投资效益

典型用户：山东华鲁恒升化工股份公司、中石化集团天津石化分公司等

典型案例 1

案例名称：山东华鲁恒升煤制乙二醇塔顶气余热产蒸汽项目

建设规模：50 万吨/年煤制乙二醇装置。建设条件：装置中有可回收的塔顶气低温余热，其他设备有低压蒸汽的用热需求。主要内容：采用不锈钢多孔表面高通量管作为蒸汽发生器的换热管，回收装置中 4 台塔的塔顶气低温余热作为热源，年产 122.56 万吨低压蒸汽，满足该装置 T1 塔的全部用热需求。主要设备：项目共配置 13 台高通量管蒸汽发生器。高通量管换热器总投资为 2001.7 万元，建设期为 22 个月。年碳减排量 26 万 tCO_2 ，碳减排成本为 10~30 元/ tCO_2 。年经济

效益 12256 万元，投资回收期约 2 个月。

典型案例 2

案例名称：中石化天津乙烯装置高通量管换热器替代光管换热器项目

建设规模：100 万吨/年乙烯装置。建设条件：利用装置中自产的急冷水作为低温余热给丙烯精馏塔提供热源。主要建设内容：采用多孔表面高通量波纹管换热器作为丙烯精馏塔底重沸器，替代原设计所选用的光管换热器。主要设备：项目共配置 3 台多孔表面高通量波纹管换热器，作为 1#和 2#丙烯精馏塔的塔底重沸器。高通量波纹管换热器总投资为 1170 万元，建设期为 26 个月。年碳减排量 6 万 tCO₂，碳减排成本为 10~30 元/tCO₂。年经济效益 2400 万元，投资回收期约 6 个月。

九、推广前景和减排潜力

随着国家对石油和化工行业节能减排的要求逐步提高，石油和化工企业将越来越多地采用节能、环保新技术和新设备。新装置应用和老装置改造都为高效换热器提供了广阔市场，高效节能换热设备的需求量将持续增长。预计未来 5 年，我国乙烯产能将超过 5000 万吨/年，乙二醇装置产能将达到 2200 万吨/年，该技术可推广应用到国内 60% 的乙烯装置和 30% 的乙二醇装置，项目总投资将达到 4 亿元，可形成的年碳减排能力约为 210 万 tCO₂。

3 多能互补型直流微电网及抽油机节能群控系统技术

一、技术名称：多能互补型直流微电网及抽油机节能群控系统技术

二、技术类别：减碳技术

三、所属领域及适用范围：石油化工行业 各类型微电网工程及分布式风、光利用和储能工程

四、该技术应用现状及产业化情况

油田多采用单井独立变频电控装置，存在谐波污染严重、抽油机倒发电馈能处理方式不当、能耗大和变压器冗余容量大等问题。多能互补型直流微电网及抽油机节能群控系统技术通过物联网集散群控系统，发挥集多能直流群控和信息化资源共享为一体的集群控制优势，结合风电、光伏等新能源的利用，拓展节能空间。目前，该技术已经在胜利油田、华北油田、中原油田、新疆油田等多个油田应用约 3200 台，节能减碳效益比单井独立电控装置提高 12~19%，市场前景广阔。

五、技术内容

1.技术原理

通过新能源风/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，充分发挥直流供电的优点和多抽油机的群体优势。各抽油机冲次可根据采油工况优化调节，通过物联网无线通讯技术实现集群井间协调和监控管理。通过协调控制井群各抽油机上、下冲程状态，使下冲程向直流母线的馈能功率在处于上冲程耗能状态的抽油机上得以共享利用，即各抽油机倒发电馈能通过直流母线互馈共享、循环利用。该技术既提高能效，又降低谐波，从根本上解决油田

抽油机电控长期存在的采油工艺和能效问题，大幅度降低所需供电变压器容量和台数，显著降低抽油机的耗电量，从而实现节能增效。

2.关键技术

（1）抽油机冲程相位参差协调及优化控制技术

根据直流母线上各逆变终端之间的倒发电能流互馈共享、循环利用和抽油机馈耗功率平衡的要求，结合抽油机载荷的周期性急剧变化特点，实现各抽油机冲程相位参差协调及优化控制，提高系统节能减碳效益。

（2）抽油机柔性驱动及姿态控制技术

结合采油工艺要求，群控系统的逆变终端可实现对抽油机及电机的精准快速柔性控制，实现抽油机的柔性驱动及姿态控制，优化了井筒举升工艺，提高了泵效，降低检泵及作业成本。

（3）直流微电网多能互补控制技术

采用直流微电网的风/光/气/蓄/网等多能互补的控制方式，结合新能源接入、储能等措施，保障在抽油作业意外事件发生时保持独立运行，最大限度降低突发事件带来的影响。

3.工艺流程

多能互补型直流微电网及抽油机节能群控系统方案流程如图 1 所示。

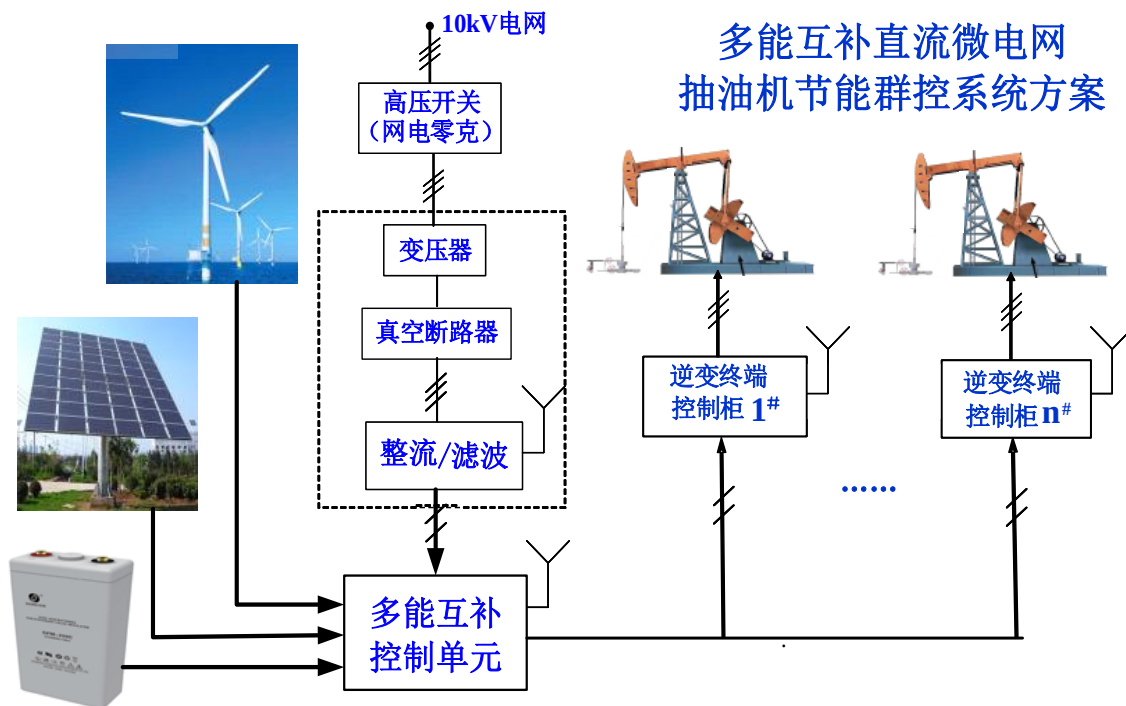


图1 多能互补型直流微电网及抽油机节能群控系统方案流程

六、主要技术指标

- 1.抽油机吨液生产节电率：15~25%；
- 2.网侧功率因数：优于 0.95；
- 3.直流微电网风、光等可再生能源利用率提高 8%-20%；
- 4.储能系统效率提高 7%~15%；
- 5.循环寿命提高 5%~20%。

七、技术鉴定及获奖情况

该技术已获得国家发明专利 5 项、实用新型专利 31 项和软件著作权 15 项。2013 年 10 月，该技术通过山东省科技厅组织的科技成果鉴定，整体达到国际先进水平；2019 年 12 月，该技术入选《国家工业节能技术装备推荐目录》（2019）。

八、典型用户及投资效益

典型用户：中国石化集团

典型案例 1

案例名称：胜利油田东辛采油厂营二管理区营 26 断块基于多能互补型直流微电网供电的抽油机节能群控系统供电技术应用工程

建设规模：30 口油井，30kW 光伏发电，30kW 垂直轴风力发电机。

建设条件：油井配电系统原采用常规“一井一变”配电模式，存在变压器负载率及功率因数低、配电线路损耗高、配电电气设施多。主要建设内容：项目以井场分布式光伏发电系统、地面小型风力发电机组系统和抽油机直流群控系统相结合的方式进行建设。每个发电单元光伏组件和风力发电机组所发电能通过直流变换器并入直流母线电路，通过直流互馈型直流母线，以集散式供电模式到达各井口，经逆变终端实现对抽油机电机的变频驱动。

主要设备：3 台 160kW 整流装置，30 台 37kW 逆变装置，3 台光伏组件汇流柜，3 台光伏 DC-DC 直流并网控制器，100 块 315WpA 级单晶太阳能光伏组件，1 台 30kW 垂直轴风力发电机。项目总投资 203 万元，建设期为 0.5 个月。年碳减排量 293tCO₂，碳减排成本为 340~360 元/tCO₂。年经济效益 130 万元，投资回收期约 3 年。

典型案例 2

案例名称：胜利油田东辛采油厂辛 50 区块基于多能互补型直流微电网供电的抽油机节能群控系统供电技术应用工程

建设规模：25 口油井，30kW 光伏，30kW 垂直轴风力发电机。

建设条件：油井配电系统原采用常规“一井一变”配电模式，存在变压器负载率及功率因数低、配电线路损耗高、配电电气设施多。主要建设内容：项目以井场分布式光伏发电系统、地面小型风力发电机组系

统和抽油机直流群控系统相结合的方式进行建设。每个发电单元光伏组件和风力发电机组所发电能通过直流变换器并入直流母线电路，通过直流互馈型直流母线，以集散式供电模式到达各井口，经逆变终端实现对抽油机电机的变频驱动。

主要设备：2 台整流装置 160kW，25 台逆变装置 37kW，3 台光伏组件汇流柜，3 台光伏 DC-DC 直流并网控制器，100 块 315WpA 级单晶太阳能光伏组件，1 台 30kW 垂直轴风力发电机。项目总投资 177.58 万元，建设期为 0.5 个月。年碳减排量 256tCO₂，碳减排成本为 340~360 元/tCO₂。年经济效益 123.6 万元，投资回收期约 2 年。

九、推广前景和减排潜力

预计未来 5 年，该技术在油田领域的推广比例将达到 25%左右，项目总投资为 21 亿元，可形成的年碳减排能力约为 32 万 tCO₂。

4 旋浮铜冶炼节能减碳技术

一、技术名称：旋浮铜冶炼节能减碳技术

二、技术类别：减碳技术

三、所属领域及适用范围：有色金属行业 铜冶炼

四、该技术应用现状及产业化情况

目前，全世界火法炼铜的工厂约 110 家，其中采用闪速熔炼的工厂约 40 多家，产铜量占总产量的 60%以上。闪速冶炼以其节能高效环保的技术特点，成为世界先进、主流的铜冶炼工艺。随着铜冶炼向着更加节能、环保、低碳的方向发展，闪速冶炼的反应偏析、脱杂差、能耗高、强化冶炼困难等问题也暴露出来，并制约着冶炼产业可持续发展。我国铜冶炼综合能耗额一般在 280~350kgce/t 之间。

旋浮冶炼技术于 2009 年 5 月应用于铜冶炼项目，与闪速冶炼技术相比，该技术具有生产能力大、反应充分、烟尘率低、自热冶炼（可处理大量吸热原料如氧化矿等）、原料适应性强（可处理高杂质铜精矿）等优点，已被纳入我国《铜冶炼行业规范条件》，目前已在国内外 7 家大型铜冶炼企业得到推广应用。该技术适用于铜、镍、铅、金等有色金属冶炼工艺，在新建生产线和旧有生产线技改均可进行推广应用，有较大的市场前景和节能减碳潜力。

五、技术内容

1. 技术原理

闪速冶炼反应机理为反应塔内氧气和物料颗粒间发生反应，以熔炼为例，主要反应： $\text{CuFeS}_2 \rightarrow \text{FeS} + \text{Cu}_2\text{S}$ ； $\text{FeS} + \text{O}_2 \rightarrow \text{FeO} + \text{SO}_2$ ；

$\text{FeO} + \text{O}_2 \rightarrow \text{Fe}_3\text{O}_4$ (过氧化反应); $\text{Cu}_2\text{S} + \text{O}_2 \rightarrow \text{Cu}_2\text{O} + \text{SO}_2$ (过氧化反应)。

闪速冶炼对物料的分散采取的是用水平方向的分布风打散垂直下落的物料,当投料量大时,易出现反应偏析、下生料、烟尘率高、炉况波动等问题。

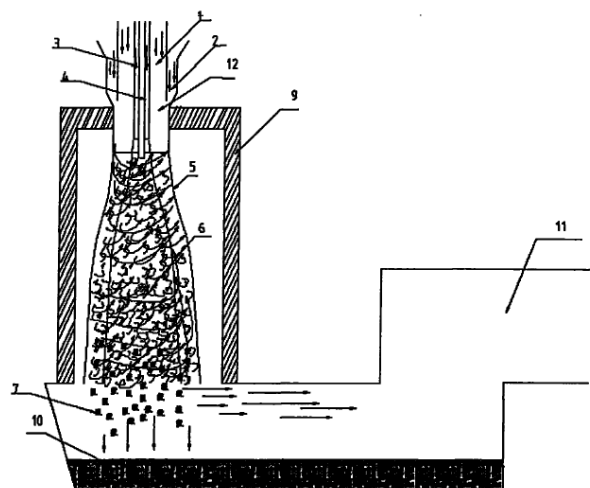
旋浮冶炼除了具有同闪速冶炼相同的反应塔上部反应机理外,还独创了反应塔下部过氧化物料颗粒和次氧化物料颗粒间的碰撞反应机理。以熔炼为例,反应塔下部的主要反应: $\text{Fe}_3\text{O}_4 + \text{FeS} \rightarrow \text{FeO} + \text{SO}_2$; $\text{Cu}_2\text{O} + \text{FeS} \rightarrow \text{FeO} + \text{Cu}_2\text{S}$; $\text{FeO} + \text{SiO}_2 \rightarrow \text{Fe}_2\text{OSiO}_4$ 。旋浮冶炼采用“风内料外”的供料方式,对物料的分散模拟了自然界龙卷风高速旋转时具有极强扩散和卷吸能力的原理,物料颗粒呈倒龙卷风的旋流状态分布在反应塔中央,在龙卷风旋流体中间增加中央脉动氧气,改变物料颗粒的运动,实现物料颗粒间脉动碰撞、传热传质以及化学反应的强化,使整个熔炼和吹炼过程的化学反应能够更加充分地进行。

2. 关键技术

- (1) 超强化旋浮熔炼和旋浮吹炼技术;
- (2) 新型脉动旋流型喷嘴;
- (3) 旋浮冶炼数值仿真模拟在线控制技术。

3. 工艺流程

旋浮铜冶炼工艺及装置示意图见图1,脉动旋流喷嘴原理示意图见图2。



1-富氧空气，2-粉状物料，3-脉动氧气，4-脉动燃料枪，5-高旋流体，6-脉动紊流，
7-分离出的液滴，8-高温烟气，9-反应器，10-熔池，11-排烟道，12-脉动旋流喷嘴

图 1 旋浮铜冶炼工艺及装置示意图

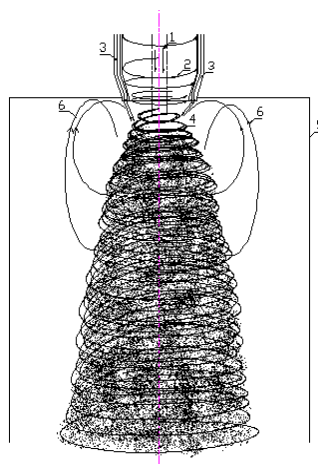


图 2 脉动旋流喷嘴原理示意图

六、主要技术指标

- 1.投料量：由 200t/h 提高到 350t/h；
- 2.单台炉的年产能最大可提高到 50 万 t；
- 3.反应塔热负荷：2600-2900MJ/m³·h；
- 4.熔炼炉作业率 98%，吹炼炉作业率 97%；
- 5.粗铜综合能耗：150kgce/t；
- 6.铜铕品位可达 70%；

7. 渣尾矿含铜 0.21%。

七、技术鉴定及获奖情况

该技术获得国家发明专利 11 项、实用新型专利 7 项，PCT 国际发明专利 13 项。该技术 2011 年通过山东省科技厅组织的科技成果鉴定；2012 年获得中国有色金属工业协会科学技术一等奖、二等奖各 1 项；2013 年获得国家科学技术进步二等奖；2014 年获得中国专利金奖。2016 年入选国家发改委《国家重点节能技术推广目录》。

八、典型用户及投资效益

典型用户：阳谷祥光铜业有限公司、中国黄金集团—河南中原黄金冶炼厂有限责任公司、紫金铜业有限公司等。

典型案例 1

案例名称：阳谷祥光铜业有限公司年产 20 万 t 阴极铜节能改造项目

建设规模：年产 20 万 t 阴极铜工程。建设条件：闪速炉铜冶炼工艺改造。主要技改内容：用旋风脉动型精矿喷嘴和冰铜喷嘴替代了旧有的中央扩散型精矿喷嘴和冰铜喷嘴。主要设备：包括旋风脉动型精矿喷嘴和旋风脉动型冰铜喷嘴各一台、冰铜干法粒化装置和吹炼渣干法粒化装置各 1 套。项目技改投资 3000 万元，建设期 12 个月。年碳减排量 155000tCO₂，碳减排成本为 10~20 元/tCO₂。项目改造后单炉产能由原来的 20 万 t/a 提升为 50 万 t/a，项目形成的年经济效益为 18572 万元，投资回收期约 2 个月。

典型案例 2

案例名称：河南中原黄金冶炼厂有限责任公司年产 10 万 t 阴极铜改造项目

建设规模：年产阴极铜 10 万 t，建设条件：吹炼工艺采用旋浮闪速吹炼炉。主要技改内容：建造旋浮闪速吹炼炉及配套设施，采用旋浮吹炼工艺进行改造。主要设备：旋浮闪速吹炼炉 2 台；冰铜干法粒化装置和吹炼渣干法粒化装置各 1 套。项目技改投资 3000 万元，建设期 24 个月。项目实施后，年碳减排量 30970tCO₂，碳减排成本为 35~55 元/tCO₂。项目形成的年经济效益 3700 万元，投资回收期约 1 年。

九、推广前景及减排潜力

预计未来 5 年，按照中国年铜产量 1100 万 t 计算，该技术在我国铜冶炼行业内推广比例将达到 60%，预计总投入近 10 亿元，可形成的年碳减排能力约为 204 万 tCO₂。

5 全氧燃烧玻璃窑炉工艺及产业化技术

一、技术名称：全氧燃烧玻璃窑炉工艺及产业化技术

二、技术类别：减碳技术

三、所属领域及适用范围：建材行业 玻璃制造

四、该技术应用现状及产业化情况

玻璃窑炉为玻璃制造行业必须的玻璃熔化装置，行业多采用蓄热式空气燃烧窑炉，窑炉由空气助燃、单位能耗高、污染物排放相对较高，因此属于高能耗、高排放、高污染的行业。玻璃熔窑采用全氧燃烧时，燃料燃烧完全，火焰温度高，可以大幅减少烟气和粉尘排放量以及排烟的热损失。目前，全氧燃烧玻璃熔窑技术已在彩虹集团和中国建材集团成功推广应用，节能减碳和环境效益良好。

五、技术内容

1.技术原理

该技术主要利用高纯度氧气代替空气与燃料进行充分燃烧，将混合均匀的粉料加热至高温熔解，再通过玻璃液的均化、澄清、冷却及温度调节等过程，形成成分均匀、缺陷较少、符合成形温度要求的玻璃液。与蓄热式空气燃烧窑炉相比，由于使用纯氧，空气中约 79%的氮气不再参与燃烧，可大幅减少烟气量和粉尘及排烟热损失，同时减少 NO_x 排放。同时，使燃料燃烧更完全，比空气助燃黑度大，辐射能力强，火焰辐射玻璃液温度可提高 100°C 左右，配合料熔融速度加快，可使熔化率提高 20% 左右，从而实现节能减碳。

2.关键技术

（1）光伏玻璃全氧燃烧窑炉设计技术

熔化部池底采用四道台阶式结构设计，增加澄清效果，起到控制引导作用，减少玻璃液回流；采用无缩孔整体熔铸式窑坎设计，设置于窑炉3/4处，提高熔化质量，稳定了玻璃液流；横通路拐角采用“倒角”设计，防止玻璃析晶，保证对流稳定；横通路墙体及熔化池后山墙采用“锚拉砖”控制，防止墙体倾斜。

（2）光伏玻璃全氧燃烧辅助工艺装置设计技术

采用脉冲式窑炉鼓泡装置，提高了熔化效率；采用独有的三对消泡装置及消泡液配方，可有效消除富硅层泡沫，降低窑炉能耗，提高熔化质量。

（3）光伏玻璃全氧燃烧熔解工艺控制技术

选用高过率玻璃配方，配合“单峰状”窑炉温度特性分布曲线，采用“双垂直烟道+百叶窗式补风”的窑炉压力稳定及精确控制技术和DCS控制系统可实现窑温的自动检测，实现对全氧燃烧熔解工艺的精确控制。

4.工艺流程

全氧燃烧玻璃窑炉工艺技术的工艺流程见图 1。全氧燃烧玻璃窑炉平面示意图见图 2。全氧燃烧玻璃窑炉剖面示意图见图 3。

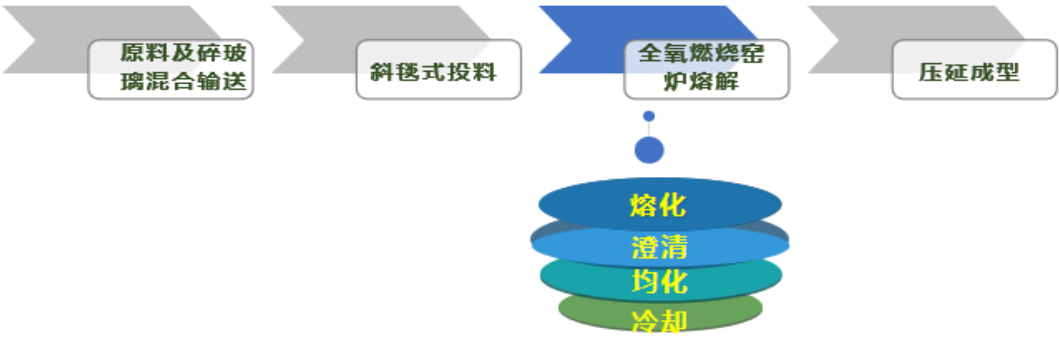


图 1 全氧燃烧玻璃窑炉工艺及产业化技术工艺流程图

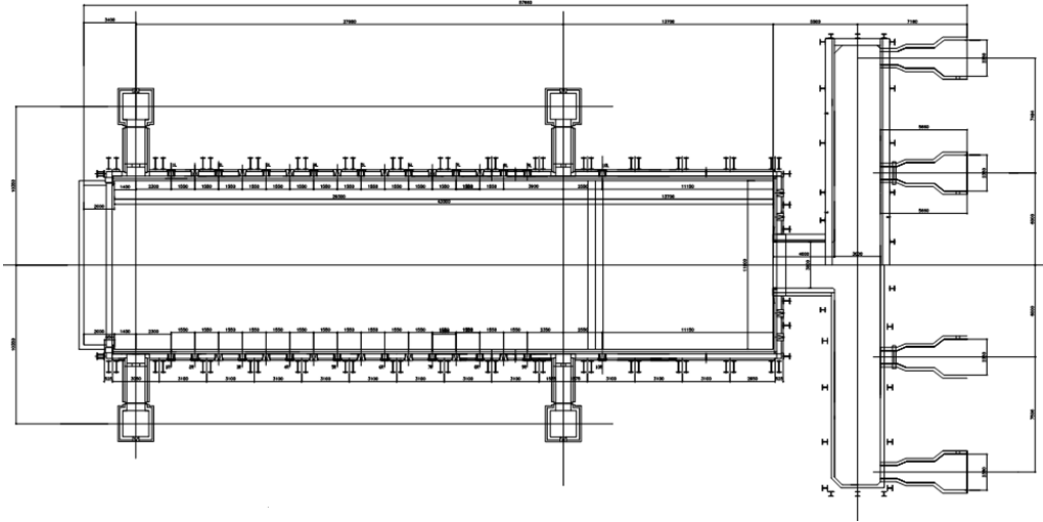


图 2 全氧燃烧玻璃窑炉平面示意图

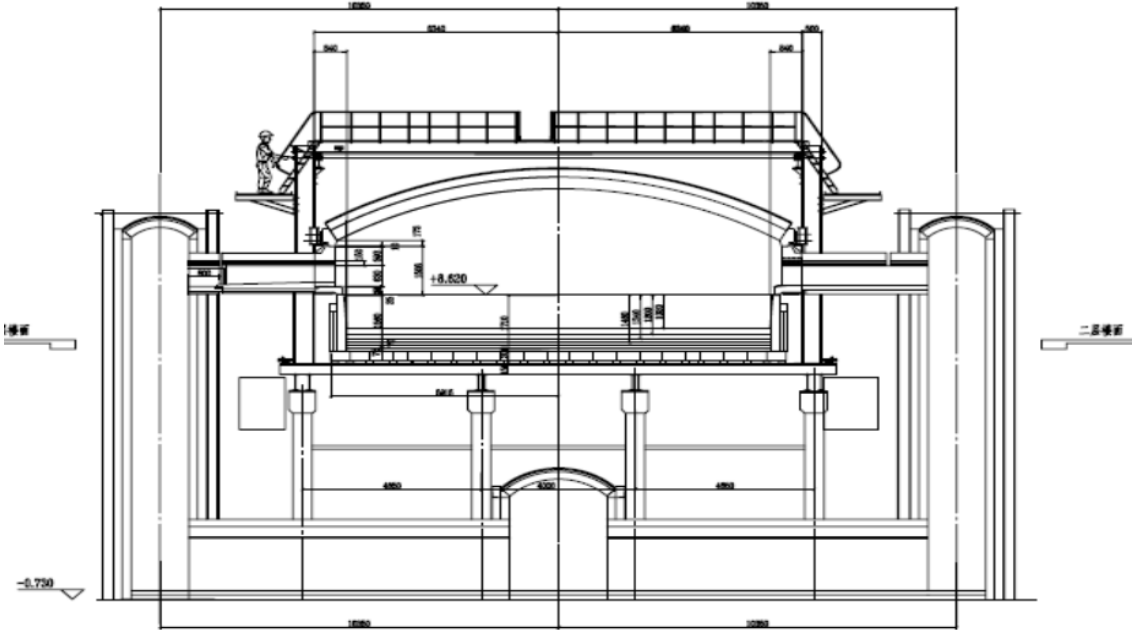


图 3 全氧燃烧玻璃窑炉剖面示意图

六、主要技术指标

- 1.熔窑热效率提高 15%~20%;
- 2.单位产品能耗下降 25%-30%;
- 3.天然气单耗小于 1170kcal/kg;
- 4.温室气体 CO₂ 排放减少 20%~30%，NO_x 排放减少 80%以上。

七、技术鉴定及获奖情况

该技术已获得国家发明专利 8 项，实用新型专利 16 项。2016 年，经中国电子学会组织的科技成果评价，该技术达到国际先进水平，其中窑炉结构设计、工艺控制技术处于国际领先。同年，荣获中国电子学会科学技术进步奖二等奖及中国建材行业第二十次优秀工程设计奖一等奖。2018 年，牵头起草由中国建筑玻璃与工业玻璃协会组织的《全氧燃烧超白压花玻璃能源消耗限额标准》。

八、典型用户及投资效益

典型用户：彩虹（合肥）光伏有限公司、中国建材集团

典型案例 1

案例名称：合肥光伏玻璃一期全氧燃烧玻璃窑炉工艺及产业化项目

建设规模：一座 750 吨/日全氧光伏玻璃燃烧窑炉及配套生产线。
建设条件：无特殊条件。主要建设内容：750 吨/日全氧光伏玻璃燃烧窑炉，配套 4 条热端引流生产线，以及 6 条玻璃深加工生产线。主要设备：全氧燃烧设备、窑炉鼓泡系统、熔化池燃烧设备、排烟设备与控制系统、DCS 控制系统、退火窑设备。项目总投资 61382 万元，建设期为 7 个月。年碳减排量 18200tCO₂，碳减排成本为 1600-1700 元/tCO₂。

年经济效益 8768 万元，投资回收期约 7 年。

典型案例 2

案例名称：合肥光伏玻璃二期全氧燃烧光伏玻璃窑炉工艺及产业化项目

建设规模：建设一座日熔化能力为 800t/d 的全氧燃烧玻璃窑炉及配套生产线。建设条件：无特殊条件。主要建设内容：建设一座日熔化能力为 800t/d 的全氧燃烧玻璃熔窑，并配套 4 条单线 ≥ 200 t/d 压延玻璃生产线和相应产能的玻璃镀膜、钢化生产线。主要设备：全氧燃烧设备、窑炉鼓泡系统、熔化池燃烧设备、排烟设备与控制系统、DCS 控制系统、退火窑设备。项目总投资 75000 万元，建设期为 10 个月。年碳减排量 19180tCO₂，碳减排成本为 1900~2100 元/tCO₂。年经济效益 10822 万元，投资回收期约 7 年。

九、推广前景和减排潜力

目前，全氧燃烧技术在我国光伏玻璃领域中应用较多，在光伏领域占比约 12%，在全国玻璃制造领域占比仅为 1.53%。在产能最大的浮法玻璃领域中，全氧燃烧技术还尚未大范围推广应用，若该技术在浮法玻璃制造领域中进行应用，其推广应用前景十分广阔。预计未来 5 年，在光伏玻璃领域市场规模将达到 40000 吨/日，其中光伏玻璃全氧燃烧应用规模将超过 10000 吨/日，将占总市场的 25%左右。项目总投资将达到 80 亿元，可形成的年碳减排能力约为 24 万 tCO₂。

6 陶瓷原料干法制粉技术

一、技术名称：陶瓷原料干法制粉技术

二、技术类别：减碳技术

三、所属领域及适用范围：建材行业 陶瓷原料制备

四、该技术应用现状及产业化情况

目前，我国建筑陶瓷生产大部分采用湿法制粉技术，建陶生产过程中能耗高、尾气污染严重，每吨陶瓷干粉料消耗电能约 58~80kWh。采用干法制粉工艺取代传统湿法制粉工艺，工艺简单连续，生产效率相对较高，由于减少了造粒喷雾塔环节，可直接节约用水 70%以上，从而减少了蒸发水所消耗的电量和燃料，降低了生产过程中的碳排放。同时，整个粉料的生产过程配备有全过程封闭自动化系统，从而减少了电耗，燃料用量及废气和粉尘排放量也大幅下降，生产的综合能耗降低约 78.85%，节能减碳和环保效益显著。目前，该技术已在淄博卡普尔陶瓷有限公司、河北领世陶瓷有限公司等陶瓷制粉公司推广应用。

五、技术内容

1.技术原理

传统陶瓷湿法制粉一般采用“球磨、喷雾塔”进行的“干→湿→干”操作工艺，具有高能耗、高物耗、高排放等特点。而干法制粉技术采用“预破碎机、立磨机”的“干→干”操作工艺，取消了造粒喷雾塔环节，直接节约用水 70%以上，有效降低蒸发水消耗的电量、燃料以及生产过程中的二氧化碳和污染物排放。同时，采用干法制粉成套装备，使生产工艺简单连续，其中主要设备采用集中式工业控制器，可精确

控制陶瓷原料的加工参数，提升了原料的供给质量，从而实现陶瓷生产的高效节能。

2.关键技术

（1）陶瓷原材料预均化干燥处理技术

针对水分含量较高的原料，如原料配方中的泥料，水分达到25%左右，无法直接按比例配送至磨机磨粉，采用预均化处理方法，可大幅降低水分含量，水分可降到8%以下，保证了准确的泥料配比。

（2）高效的干法造粒技术

在干法造粒前期，对粉料精确称重，采用先进的控水系统，在粉料增湿环节保证了原料注水精准稳定可调。造粒时，采用先进的粒子细化系统，使搅拌更加均匀、造粒更圆滑、粒子结构密实、粒度级配调整更加简单，易操作，更加高效。

（3）干法制粉工艺流程智能控制技术

运用中控管理的方法，可自动化监控陶瓷制粉的各个工序，节省人力、物力并提高生产效率，降低废品率，实现综合节能降耗。

3.工艺流程

干法陶瓷制粉工艺流程如图 1 所示。

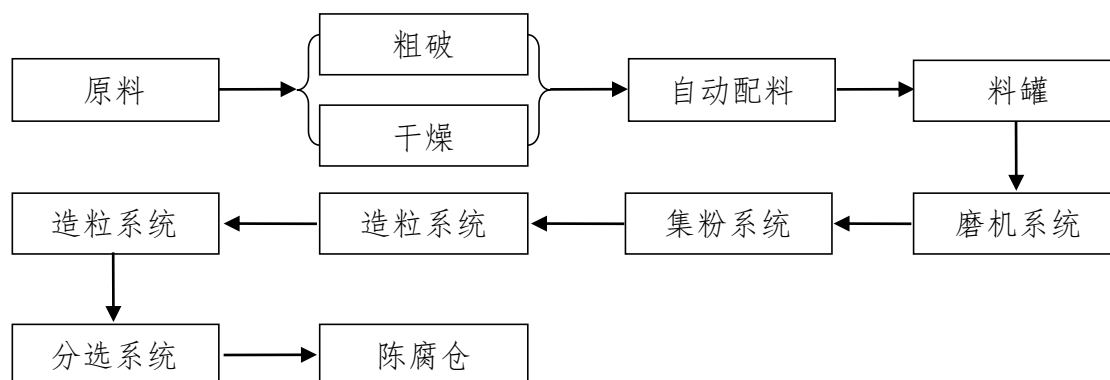


图 1 全干法陶瓷制粉工艺流程示意图

六、主要技术指标

- 1.节约天然气 70~80%;
- 2.节约水 66~80%;
- 3.节约电能 5~15%;
- 4.节约耗材 68~78%。

七、技术鉴定及获奖情况

该技术已获得国家发明专利 1 项，实用新型专利 10 项。2016 年 10 月，通过中国建筑材料联合会组织的科技成果鉴定，综合技术达到国际先进水平；2017 年，《干法制粉用于制造釉面砖（陶质砖）的关键技术研究与应用示范》荣获广东省轻工业联合会科学技术进步奖一等奖。

八、典型用户及投资效益

典型用户：淄博卡普尔陶瓷有限公司、河北领世陶瓷有限公司等
典型案例 1

案例名称：淄博卡普尔陶瓷有限公司釉面砖干法制粉项目

建设规模：占地面积约 3500m²，产能 16t/h，2 条单线 7400m²/d 的干法制粉釉面砖生产线，系统日耗粉量 350t。建设条件：满足建设施工条件，无特殊要求。主要建设内容：对湿法制粉工艺和原料车间进行系统性改造。主要设备：包括原料输送、预破碎系统、料仓、磨机系统、除铁、造粒、集尘系统、流化干燥系统、筛分系统、陈腐仓等。项目投资额为 3500 万元，建设周期为 4 个月。年碳减排量约为 8960tCO₂，碳减排成本为 185~205 元/tCO₂。年经济效益约为 1921 万元，项目投资回收期约为 2 年。

典型案例 2

案例名称：河北领世陶瓷有限公司建陶园区集中干法制粉项目

建设规模：主设备占地面积约 4000m²；产能 40~45t/h；1 条 42000m²/d 的瓷砖生产线，系统日耗粉量 800t。建设条件：满足建设施工条件。主要建设内容：新建 1 条产量≥40~45t/h，能满足 42000m²瓷片产量的干法制粉生产线。主要设备：破碎系统、立磨系统、造粒系统、除铁系统、干燥系统、智能控制系统等。项目投资额 4518 万，建设周期 4 个月。年碳减排量约为 12600tCO₂，碳减排成本为 185~205 元/tCO₂。年经济效益 4390 万元，项目投资回收期约为 1 年。

九、推广前景和减排潜力

目前，陶瓷原料干法制粉技术在我国陶瓷行业的推广应用比例仅为 1%，预计未来 5 年，该技术在行业内的推广比例将达到 20%，项目总投资约为 38 亿元，可形成的年碳减排能力约为 100 万 tCO₂。

7 多腔孔陶瓷复合保温绝热材料

一、技术名称：多腔孔陶瓷复合保温绝热材料

二、技术类别：减碳技术

三、所属领域及适用范围：建材行业 保温隔热新材料领域，适用于各行业管道及建筑的保温隔热等

四、该技术应用现状及产业化情况

目前，我国保温材料行业无机软质类材料和硬质类材料应用较多。以硅酸铝棉为代表的软质类保温材料热桥大、通孔多，在高温条件下保温能力会下降，使用过程中易变形老化。以硅酸钙为代表的硬质类保温材料则不能卷曲，通用性差，长期使用容易粉化脱落。传统无机保温材料的保温能力总体欠佳，实际使用厚度大，使用过程中能耗及维护成本较高，保温寿命短，设备全寿期内更换频繁。多腔孔陶瓷复合保温绝热材料具有耐高温、柔韧性好、抗腐蚀、不燃等优势，目前已在电力、石油化工、冶金、建筑、纺织等行业领域成功应用，具有良好的绝热保温效果。

五、技术内容

1.技术原理

多腔孔陶瓷复合保温绝热材料采用中空陶瓷玻化微珠、反辐射纳米配方、纤维等复合而成。将一定配比的原料经化料、搅拌、均化、陈化、布料成型、干燥、自动化收卷等先进制备工艺，形成具有硬质可卷曲、多级微纳米孔、蜂巢状结构等特点的新一代保温绝热材料。该材料在热面温度为 200°C 时，材料导热系数小于 $0.041\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ ，能耐高温

1000℃。与传统纤维状保温材料相比，相同保温效果保温厚度减薄1/3~1/2，保温性增加1倍左右，绝热保温效果显著。

2.关键技术

（1）微纳多尺度、多腔孔微观结构控制技术

将纳米技术与先进复合材料设计方法相结合，使性状稳定的微纳米颗粒和闭腔孔的陶瓷颗粒与纤维原料混合成型，制备形成多级闭腔孔结构，控制微纳多尺度、多腔孔微观结构，实现多层次耦合隔热。

（2）硬质可卷曲制造技术

在生产中添加提升陶瓷柔性的纤维类材料，采用湿法静电搅拌工艺将纤维类材料和其它材料组分混合均匀，提升其柔韧性，可将多腔孔陶瓷生产成为硬质可卷曲的保温材料。

（3）异型、接缝处浆料一体化处理技术

在保温材料施工过程中，采用涂抹施工工艺，将容易漏热、热损耗较大且传统保温材料不易于施工的异型和接缝等部位使用特殊浆料涂抹填缝，浆料干燥后与保温卷材形成一体化的保温体，提高了整体保温效果，且对比包裹施工工艺更为方便快捷高效。

3.工艺流程

该材料的生产工艺流程如图 1 所示，主要包括原料配备、搅拌、陈化、成型、烘干、包装等工艺。

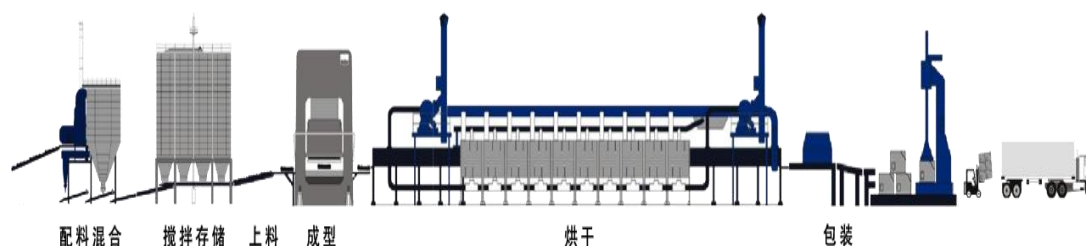


图1 多腔孔陶瓷生产工艺流程

六、主要技术指标

- 1.与传统保温材料同厚度应用时，设备外表面温度比国标设计要求降低 10℃，节能率约 25%；
- 2.与传统保温材料保温效果相同时，保温厚度减薄 30%以上，用量减少 40%以上；
- 3.保温寿命 30 年；
- 4.温度适用区间：-40℃~1000℃；
- 5.循环回用率 100%。

七、技术鉴定及获奖情况

该技术已获得国家发明专利 3 项，实用新型专利 13 项，国际 PCT 发明专利 1 项，并联合主编《DL/T1761-2017 电厂多腔孔复合绝热材料技术规范》。2015 年通过中国电力企业联合会组织的科技成果及新产品鉴定；2016 年通过中国电力规划设计协会组织的科技成果评价；2017 年荣获“电力工程科学技术进步奖”一等奖，“中煤新集利辛电厂多腔孔陶瓷复合绝热材料应用”入选国家节能中心首批《重点节能技术应用典型案例》。

八、典型用户及投资效益

典型用户：中煤新集利辛发电有限公司、广东互太纺织公司等。

典型案例 1

案例名称：中煤新集利辛电厂多腔孔陶瓷复合绝热材料应用工程

建设规模：中煤新集利辛电厂 1×1000MW 超超临界机组四大管道保温。建设条件：保温施工前应对所有保温材料做质量检验，保温材料及其制品的性能必须符合设计要求；保温施工期间切忌使保温材料受

潮。室外施工时应在晴天施工，做到主保温层和保护层同时进行，并有防雨措施。主要建设内容：1×1000MW 超超临界机组四大管道保温，保温材料总用量 1140m³。项目总投资 180 万元，建设期为 1 个月。年碳减排量 900tCO₂，碳减排成本为 65~75 元/tCO₂。年产生的经济效益 45 万元，投资回收期约 4 年。

典型案例 2

案例名称：广东互太纺织公司多腔孔陶瓷复合绝热材料应用工程

建设规模：4 管染缸一台+6 管染缸 1 台，共 2 台设备保温。建设条件：保温施工前应对所有保温材料做质量检验，保温材料及其制品的性能必须符合设计要求；保温施工期间切忌使保温材料受潮。室外施工时应在晴天施工，要做到主保温层和保护层同时进行，并有防雨措施。主要建设内容：两台染缸缸体保温，用量共计 5.3m³。项目总投资 3.5 万元，建设期为 4 个月。年碳减排量 5tCO₂，碳减排成本为 220~240 元/tCO₂。年产生的经济效益约 0.74 万元，投资回收期约 4.7 年。

九、推广前景和减排潜力

该保温绝热材料可在电力、石油化工、冶金、建筑、纺织、供热等各行业领域广泛应用，与传统保温材料相比，由于其具有耐高温、柔韧性好、抗腐蚀、不燃等优良特性，有较大的推广应用空间。预计未来 5 年，该技术在保温材料行业的推广比例将达到 4%，可推广应用 250 万 m³，项目总投资约 25 亿元，可形成的年碳减排能力约 130 万 tCO₂。

8 新型无碳粘土湿型砂铸造技术

一、技术名称：新型无碳粘土湿型砂铸造技术

二、技术类别：减碳技术

三、所属领域及适用范围：机械行业 铸造领域 适用于各行业机械装备零件的铸造

四、该技术应用现状及产业化情况

铸造业是我国装备制造业的基础和前端产业，产量约占世界的40%。我国铸造行业长期存在能源平均利用率低、能耗高、污染严重等问题。2019年，我国铸件产量约4950万吨，采用煤粉湿型砂铸造技术生产约3500万吨，粉尘污染排放约150万吨，废气污染排放约530亿立方米，废砂约3000万吨。新型无碳粘土湿型砂铸造技术解决了现行的铸造用煤粉湿型砂长期存在污染的难题，该技术只需对原有铸造工艺稍作改进，即可从源头上控制、消减铸造过程中产生的废气、粉尘和固体废弃物造成的污染，从而减少二氧化碳排放量。目前，该技术已在天津、江苏、安徽等地100多家铸造企业成功应用。

五、技术内容

1.技术原理

传统砂型铸造工艺的型砂由原砂、陶土、煤粉等原材料混合制成，在铸造高温作用下，煤粉燃烧会产生大量的气体、粉尘和固体废弃物，造成严重的环境污染。新型无碳粘土湿型砂铸造技术的型砂由原砂、粘土混合制成，其成分以 SiO_2 等氧化物为主，是无毒无味的无机材料，不含碳质材料等有机物，在高温铁水浇注过程中不会燃烧而产生气体

和粉尘，经高温作用后回用的型砂再次经受高温作用时性能更加稳定，并且不会对型砂造成污染。同时，利用金属铸件及无碳粘土砂铸型的界面作用，可实现凝固后铸件表面不粘砂，有效提升铸件的成品率。与传统铸造技术相比，该技术具有节煤、节约粘结剂，铸件成品率高，且铸造过程中不产生气体等优点，极大地减少了粉尘和固废的排放，因此具有良好的节能减碳和环保效益。

2.关键技术

（1）无碳粘土砂铸型/金属铸件的界面作用调控技术

利用无碳粘土砂与金属液的化学物理界面相互作用，防止铸件粘砂，有效保证铸件的表面质量。同时，由于新型无碳粘土湿型砂采用纯无机物为原料，型砂中不添加煤粉、不含任何碳质材料和有机物，在高温铁水浇注过程中不燃烧、不产生气体，保证了铸件的品质。

（2）适应各种造型生产线的无碳粘土砂型铸造工艺和设备技术

开发了适用于水平造型生产和垂直分型自动造型生产线用无碳粘土砂的制备工艺、无碳粘土砂造型工艺和设备技术。核心是无碳粘土砂，型砂由原砂、粘土混合制成，其成分以 SiO_2 等氧化物为主，匹配了适于各种造型生产线的铸造工艺和设备技术。

3.工艺流程

将旧砂、新砂、粘土干混，再加水湿混均匀制成型（芯）砂，用混制的砂造型（制芯）合箱，浇注铁水、凝固冷却、落砂清理后即可获得铸件。工艺流程如图 1 所示：

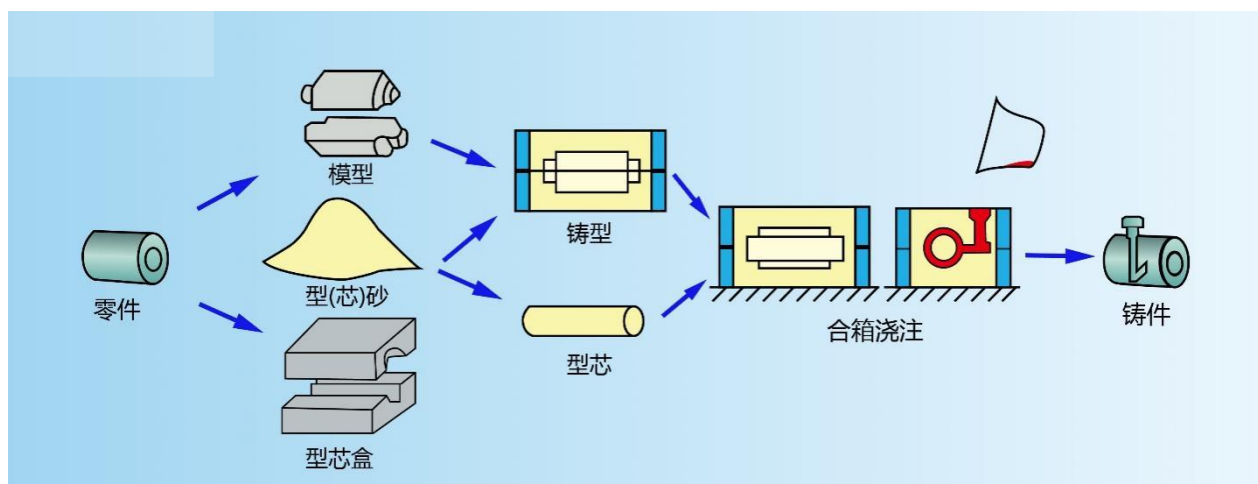


图 1 新型无碳粘土湿型砂铸造工艺流程图

六、主要技术指标

1. 新型铸造型砂不含煤粉等有机物或碳材料，煤粉减少 100%；
2. 新型铸造型砂回用率 $\geq 95\%$ ，粘结剂补加量减少 30~60%；
3. 铸件成品率平均提高 2~6%；
4. 原材料无自燃爆炸问题，无安全生产风险；
5. 生产每吨铸件，节约 0.118tce，碳减排 0.31tCO₂。

七、技术鉴定及获奖情况

该技术已获得国家发明专利 1 项。2018 年 10 月，该技术通过中国铸造协会组织的科技成果评价，被认定为原创性科技成果，达到国际领先水平，可为我国铸造行业转型升级绿色发展提供有力的技术支持；2020 年 8 月，荣获第十八届国际铸造博览会“全国铸造材料金鼎奖”。

八、典型用户及投资效益

典型用户：勤威（天津）工业有限公司、江苏跃亿机械制造有限公司等

典型案例1

案例名称：新东 HWS 自动生产线用无碳粘土砂技术改造项目

建设规模：垂直分型自动生产线年产 6300t 球铁、灰铁铸件。建设条件：对原有的传统煤粉湿型砂铸造技术进行改造。主要内容：全面使用无碳粘土砂铸造新技术并形成配套的工艺技术。主要设备：在原有的德国新东 HWS 生产线上进行，无需增加新设备。项目投资额 36 万元，建设周期 2 周。年碳减排量 3680tCO₂，碳减排成本为 90~110 元/tCO₂。年经济效益 146 万元，项目投资回收期约 3 个月。

典型案例2

案例名称：QJ-1 型铸造生产线用无碳粘土砂技术改造项目

建设规模：水平分型自动生产线年产 4650t 球铁、灰铁铸件。建设条件：对原有的传统煤粉湿型砂铸造技术进行改造。主要内容：全面使用无碳粘土砂铸造新技术并形成配套的工艺技术。主要设备：在原有的 QJ-1 型铸造生产线上进行，不增加新设备。项目投资额 12 万元，建设周期 2 周。年碳减排量 640tCO₂，碳减排成本为 170~190 元/tCO₂。年经济效益 209 万元，项目投资回收期小于 1 个月。

九、推广前景和减排潜力

新型无碳粘土湿型砂铸造技术可以从源头上解决铸造行业高能耗、高污染等问题，升级简便，成本极低。预计未来五年，该技术可在全国铸造行业推广应用比例将达到 65%，预计用于新建或改造项目总投资约 60 亿元，可形成的年碳减排能力约 760 万 tCO₂。

9 绕组式永磁耦合调速器技术

一、技术名称：绕组式永磁耦合调速器技术

二、技术类别：减碳技术

三、所属领域及适用范围：机械行业 电机控制节电领域 适用于各行业风机、压缩机、水泵等动力源节电或控制等

四、该技术应用现状及产业化情况

风机、水泵等电机驱动设备是我国工业领域的常用装备，用电约占工业领域总电耗的75%。我国电机驱动设备运行效率比国外先进水平低10~20%，每年电能浪费极其严重。但由于变频设备价格昂贵、操作复杂和谐波污染等问题，目前很多风机、泵类负载仍采用挡板或阀门的机械节流方式来调节风量或流量，系统调节方式落后。绕组式永磁耦合调速器是一种新型调速技术，与变频调速技术相比，在较小负载率（较大调速范围）工况下综合节电效率可维持在96%以上，节电率比变频调速提高30%左右；在较大负载率（较小调速范围）工况下综合节电性比变频技术提高2%~4%，并且几乎不产生谐波等二次电磁污染。目前，该技术已在钢铁、电力、化工、水泥等行业的多个项目中成功应用，并取得显著的经济、社会与环境效益。

五、技术内容

1.技术原理

绕组式永磁耦合调速器是一种转差调速装置，由本体和控制器两部分组成。本体上有两个轴，分别装有永磁磁铁和线圈绕组。驱动电机与绕组永磁调速装置连在一起带动其永磁转子旋转产生旋转磁场，绕

组切割旋转磁场磁力线产生感应电流，进而产生感应磁场。该感应磁场与旋转磁场相互作用传递转矩，通过控制器控制绕组转子的电流大小来控制其传递转矩的大小以适应转速要求，实现调速功能，同时将转差功率引出再利用，不仅可解决转差损耗带来的温升问题，而且可实现电机高效运行。

2.关键技术

（1）电机的离合与调速技术

绕组接通，则形成电流回路，绕组中电流产生电磁场与原永磁场相互作用传递扭矩（离合器合）；绕组断开，绕组中无电流不传递扭矩（离合器离），此离合器无机械动作、无摩擦磨损。通过控制绕组中感应电流大小，可控制传递扭矩大小，既可实现软起功能，又能达到调速目的。

（2）转差功率回馈技术

通过将绕组中产生的转差功率引入反馈回供电端，既可实现电能的回收，又能保证绕组温升始终处于电机正常工作的温升。对短时间软起调速或小功率的传动，可将引出的转差功率消耗在控制柜内的电阻上。

3.工艺流程

（1）设备原理图

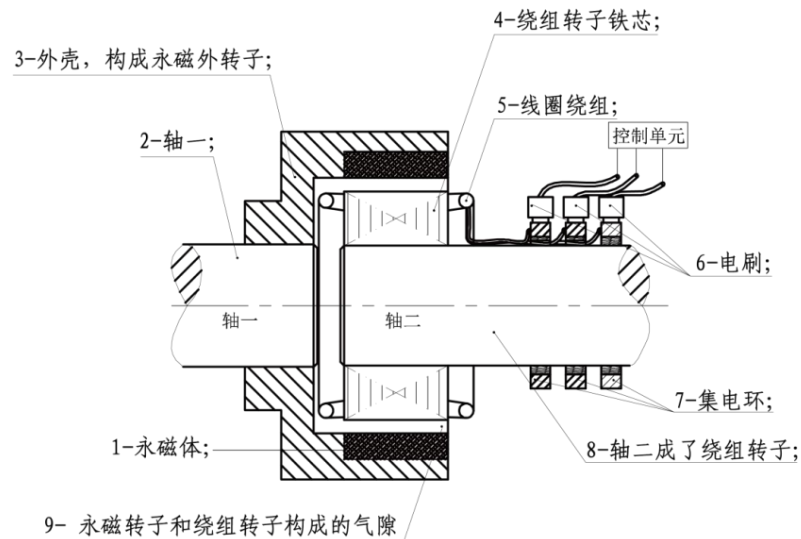


图1 绕组式永磁耦合调速器工作原理图

(2) 结构（简）图

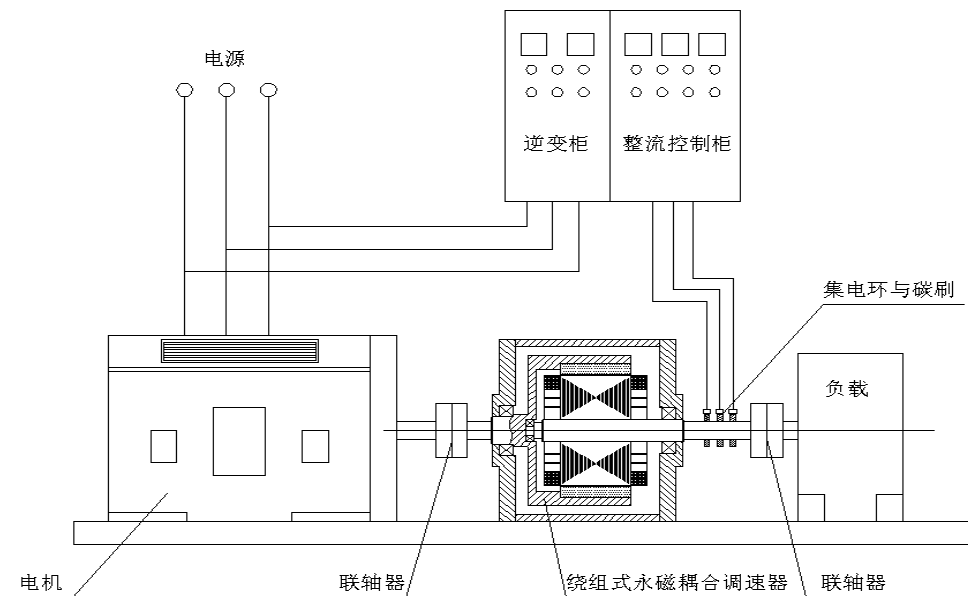


图2 绕组式永磁耦合调速器结构（简）图

六、主要技术指标

- 1.功率范围：1.5kW~5000kW；
- 2.配套电机极数：2、4、6、8、10、12 等；
- 3.调速范围：0~99%；

4.振动： $\leq 2.8\text{mm/s}$;

5.效率：96%~98%;

6.各类节能方式比较：在低转速（流量）工况时，绕组永磁节电效果与其它方式比较节电优势尤为明显。例如：在转速 50%时，绕组永磁比变频设备节电高 20%~30%。

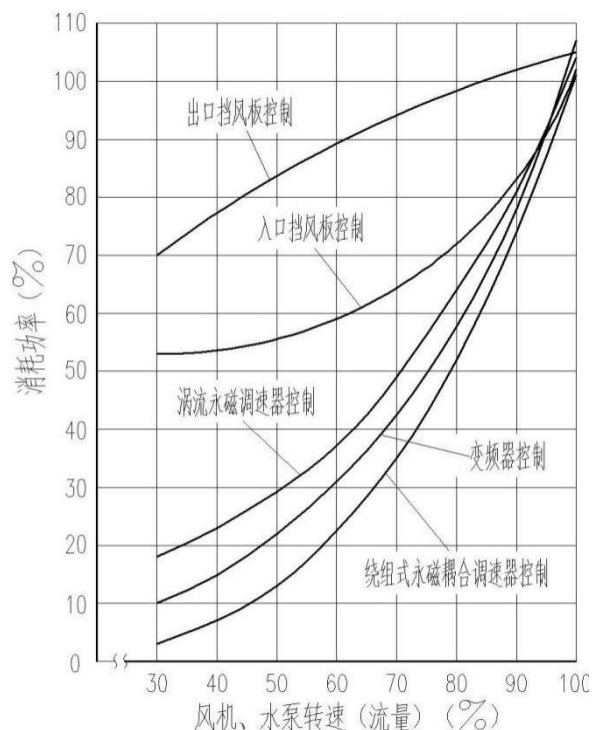


图3 各类调节方式能耗比较

七、技术鉴定及获奖情况

该技术已获得国家发明专利 3 项，实用新型专利 10 项，国际 PCT 发明专利 3 项。2016 年，该技术入选国家发改委《国家重点节能技术推广目录》；2017 年，该技术通过中国工业节能与清洁生产协会组织的技术成果鉴定，并被列入国家工信部《国家工业节能技术装备推荐目录（2017）》及《全国工业领域电力需求侧管理第三批参考产品（技术）目录》；2018 年，“沙钢 2500kW 除尘风机的绕组永磁耦合调速技术改造”项目入选国家节能中心《重点节能技术应用典型案例（2017）》、国

家发改委《中国节能双十佳目录》；2019年，沙钢节能改造案例入选G20组织《国际节能双十佳目录》；2020年，绕组永磁耦合调速器产品入选《全国工业领域电力需求侧管理第三批参考产品（技术）目录》。

八、典型用户及投资效益

典型用户：沙钢集团、山西建邦钢铁、秦皇岛鸿兴钢铁、铜陵旋力特钢、杭锦集团萧山电厂、中石化齐鲁石化、镇江索普集团、鸳鸯湖电厂等

典型案例 1

案例名称：江西新余钢铁公司烧结厂 6#、7#、8#环脱硫风机绕组永磁改造项目

建设规模：3 台 630kW 绕组式永磁耦合调速器改造。建设条件：烧结厂 6#、7#、8#环脱硫风机。主要技改内容：烧结厂 6#、7#、8#环脱硫风机节能改造，新增 3 台 630kW 永磁耦合调速器取代原有刚性联轴器。项目技改投资额 268 万元，建设期 3 个月。年碳减排量为 3480tCO₂，碳减排成本为 30~50 元/tCO₂。年经济效益为 264 万元，投资回收期约 12 个月。

典型案例 2

案例名称：连云港晨兴环保产业有限公司 3#炉引风机、一次风机绕组永磁节能改造项目

建设规模：2 台绕组式永磁耦合调速器（1120kW、800kW 各 1 台）。建设条件：连云港晨兴环保 3#炉引风机及一次风机系统。主要建设内容：3#炉引风机、一次风机节能改造，新增 2 台永磁耦合调速器。节能技改投资额 220 万元，建设期 2 个月。年碳减排量 1330tCO₂，碳减

排成本为 70~90 元/tCO₂。年经济效益 120 万元，投资回收期约 22 个月。

九、推广前景和减排潜力

绕组式永磁耦合调速器与液力耦合调速器及涡流永磁耦合调速器都属转差类调速器（只调负载转速，电机不调速），转差类调速器都存在转差损耗，转差损耗通常都表现为设备本体温升。绕组式永磁耦合调速器可将此转差损耗转化为电能进行再利用，不仅可彻底解决设备温升问题，而且更加节电，因此在调速设备领域将具有较大的推广潜力。预计未来五年，该技术的推广比例将能达到 5%，累计投资达 9 亿元，可形成的年碳减排能力 130 万 tCO₂。

10 基于电磁平衡调节的用户侧电压质量优化技术

一、技术名称：基于电磁平衡调节的用户侧电压质量优化技术

二、技术类别：减碳技术

三、所属领域及适用范围：机械行业 工业、民用及商业场所的电力配电系统

四、该技术应用现状及产业化情况

随着电力系统中敏感用户设备使用的增多，电能质量问题日益凸显。由于电力用户更加多样化，电网负荷持续增加，特别是电力系统中的电解设备、电力机车等非线性负荷，以及电弧炉、电力机车运行等对电能带来的波动性和冲击性负荷增加，导致波形失真、电压波动、三相不平衡等电能质量问题日趋严重，电网供电效率降低，负载用电效率下降，致使系统能耗增加。据统计，目前由此造成的电能浪费约占其用能总量的5%~10%，具有较大的节能空间。

采用基于电磁平衡调节的负载柔性适配技术，可以解决现代工业电气系统供电中的电压偏差、波动、谐波和三相不平衡等问题，精准提升用户侧微电网电压质量，提高用电效率，达到综合节电的效果。该技术可广泛应用于高校、医院、商业中心等公共机构及各类工矿企业，特别适用于供电环境恶劣的场合。目前，该技术已在冶金、石油化工、煤炭、建材等行业领域，以及高校、医院、市政等系统的多个项目广泛应用。

五、技术内容

1.技术原理

电机工作时的综合能量损耗包括恒定损耗、负载损耗和杂散损耗。该技术通过采集用电设备端的电压、电流及功率因数等电气参数，并根据用电设备的自身特性进行参数计算和分析，确定用电设备的最佳工作点，即综合耗损最低时的工作点。当用电设备的实际能耗大于最佳工作点的能耗时，装置的主控制单元会立即通过无扰动切换模块启动电磁式自耦调压器，调整用电设备的输入电压等电气参数。通过多级调整从而使用电设备的实际工作状态达到或接近最佳工作点，优化用电侧用电质量，降低用电设备综合损耗，最终达到节电效果。

2.关键技术

(1) 最佳工作点追踪技术

根据电机等负载的输出、电机自身阻抗特性及供电情况进行电机的最佳工作状态追踪和调整，调整电机的供电情况，使电机在能效转化最高、自身损耗最低的最佳供电状态下工作。

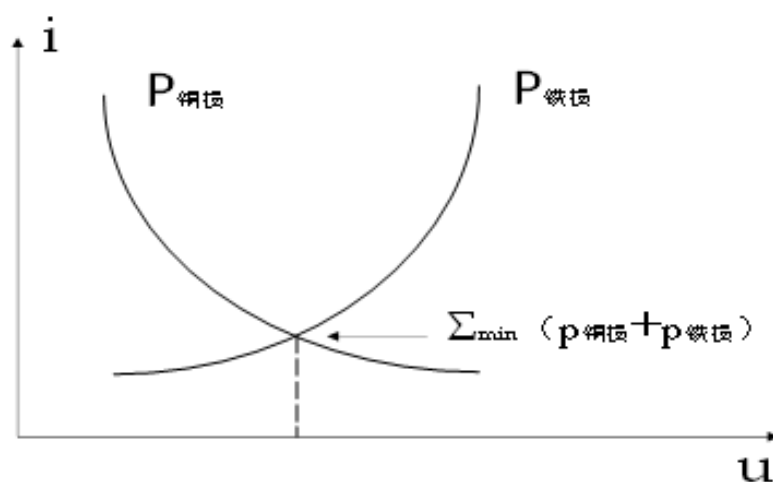


图 1 电机铜损铁损与电流电压关系示意图

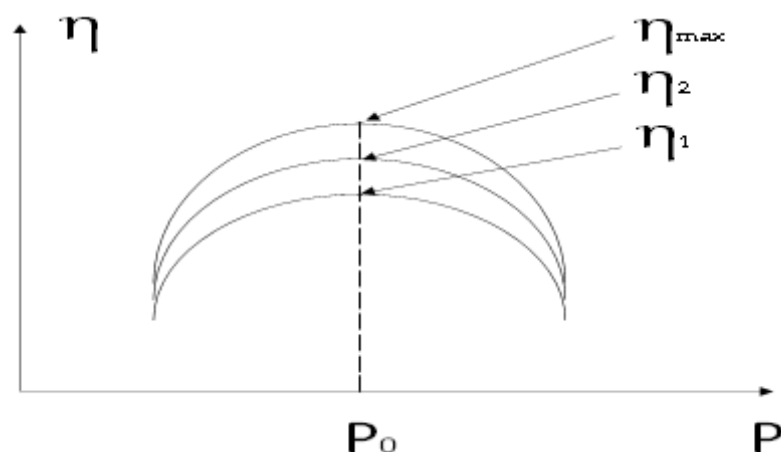


图 2 负载输出驱动的电机电效率示意图

根据上述图 1、图 2 所示，以负载输出驱动的电机电工作效率和其工作时的电流电压关系密切，在不同的电流电压工况下，其输出效率均不同，当铜损、铁损等的综合损耗最低时，其工作效率 $\eta_{\max}$ 最大，而此时的电流、电压即为最佳工作点。

(2) 无扰动切换技术

无扰动切换技术由一次电路和控制电路两部分组成。一次电路由调压变压器、补偿变压器和可控硅组成，控制电路部分主要以主控制器和触发板组成的控制电路组成。一次电路中，调压变压器的一次绕组接成 Y 型，连接在稳压器的输出端，二次绕组连接在补偿器的一次绕组，补偿器的二次绕组连接在主回路中，通过控制可控硅的导通与关断来改变调压器的匝数，从而改变补偿电压的大小与极性，进而控制输出电压的大小。该项技术可解决电压参数调整过程中保持电压的连续性问题，在切换过程中不产生谐波和尖峰、快速投档、不会产生断电和失压情况。

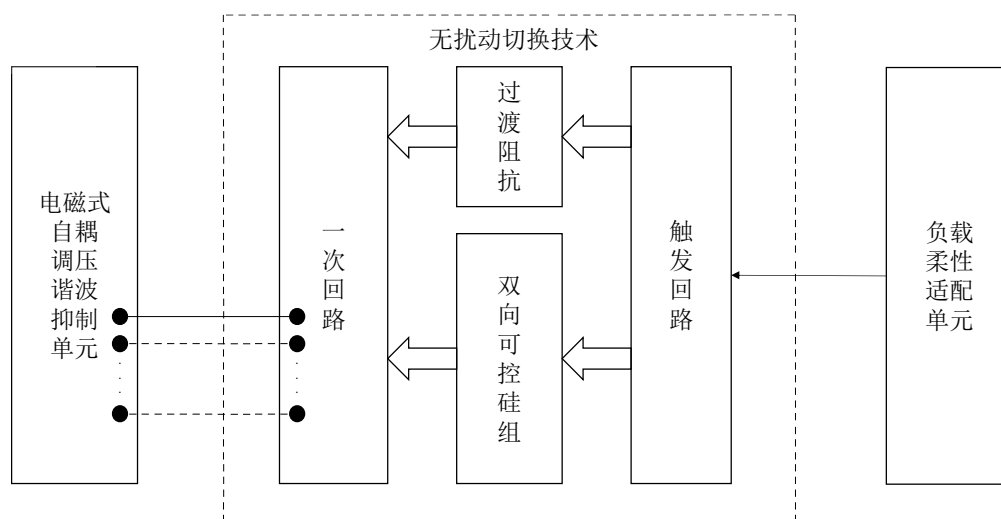


图3 无扰动切换模块工作示意图

（3）电磁平衡主机的自身损耗控制技术

该技术采用独特的结构对电磁平衡主机进行设计，并根据实际负载和供电的匹配选择最优的设计指标，结合高性能的选材，从而实现电磁平衡主机的自身损耗控制，其空载损耗 $\leq 0.08\%$ ，负载损耗 $\leq 0.39\%$ 。

3.工艺流程

将电磁式电能质量优化装置串联在电源和用电设备之间，装置中的数据采集模块（DCM）对设备的输出电压参数等进行采样，采样的数据进入中央计算模块（CPM），根据中央计算模块（CPM）对供电电压、电机工作电流、系统功率因数等电源、负载及负载率的情况进行最优化程序计算，得出此状态下电机工作的最佳工作点。中央计算单元（CPM）将结果通过无扰动切换模块（NTCM）对设备供电参数进行调整，使电机工作状态靠近最佳工作点，提高电机工作效率，降低电机的能耗。该装置的控制电路逻辑图见图4。

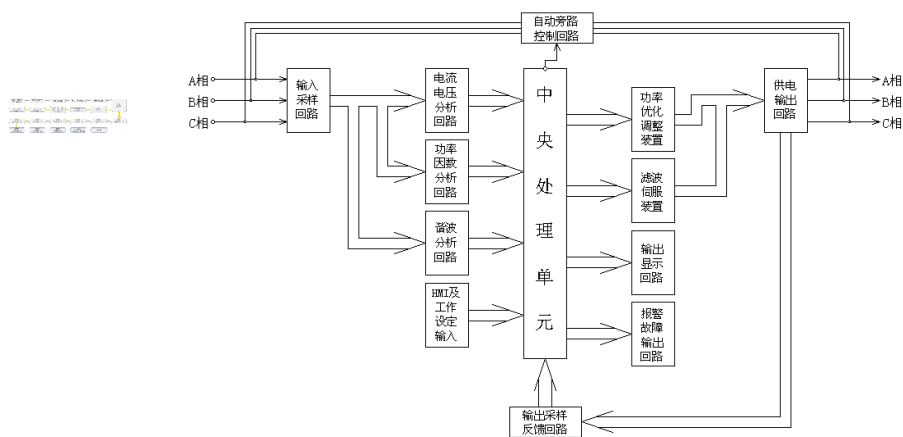


图4 控制电路逻辑图

电磁式电能质量优化装置结构图见图5和图6。



图5 内部装置结构图(正面)

数据采集模块
系列保护集成
调流主机(ID)
调压主机(UD)

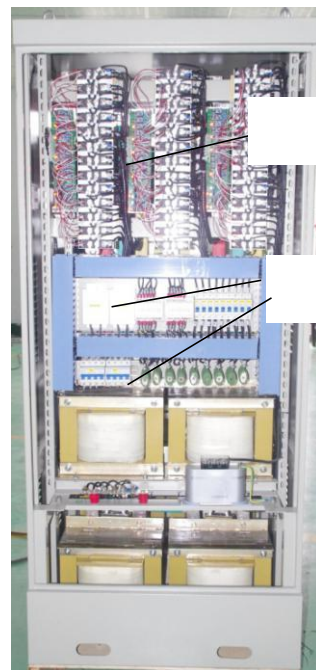


图6 内部装置结构图(背面)

无扰动切换模块
系列保护集

六、主要技术指标

- 1.对于 0.4kV 三相异步电机，节电率：8%~15%；
- 2.对于 6kV 三相异步电机，节电率：6%~9%；
- 3.照明负载场合，节电率：10%~25%；
- 4.空载损耗： $\leq 0.08\%$ ；
- 5.负载损耗： $\leq 0.39\%$ ；

- 6.空载电流： $\leq 0.08\%$;
- 7.切换时间：10~20ms;
- 8.切换过程实现扰动低、失压小。

七、技术鉴定及获奖情况

该技术获得国家发明专利 2 项，实用新型专利 6 项和软件著作权 15 项。2015 年入选国家发改委《国家重点节能技术推广目录》（第八批）；2017 年入选国家机关事务管理局《公共机构绿色节能节水产品目录》。

八、典型用户及投资效益

典型用户：恒源煤电集团、贵州永贵集团高山矿、芜湖融汇化工集团、铜陵有色集团、马鞍山钢铁集团、江苏中天钢铁、辽宁抚顺矿务局页岩油厂、南钢集团金安矿业等

典型案例 1

案例名称：池州学院配电系统节能改造一期项目

建设规模：2 台 500kVA，8 台 630kVA，3 台 800kVA。建设条件：根据现场的实际情况，设备在户内安装时需要 1000×1000×2200（mm）的安装空间；设备在户外需要设备的安装基础；设备安装时须停电安装。主要技改内容：对校内学生公寓、食堂、办公楼、部分教学楼、图书馆等户内、外微电网供电的照明、空调、办公、食堂等负载进行配电改造。主要设备：2 台 500kVA、8 台 630kVA、3 台 800kVA 电磁式电能优化装置。项目技改投资额 326 万元，建设期 3 个月。年碳减排量 1270tCO₂，碳减排成本为 120~140 元/tCO₂。年经济效益 83 万元，投资

回收期约 4 年。

典型案例 2

案例名称：恒源煤电百善矿压风机节能改造项目

建设规模：6kV 供电的 250kW 高压风机。建设条件：现场粉尘等污染较多，要求设备具有一定的绝缘能力，保证设备能够安全持续运行，具有良好的软起特性和较强的过负荷能力，并且在设备故障时候能够脱离设备运行，安装于电机配电的电缆沟上，有一定的空间要求。主要技改内容：将高压电机专用型电磁式电能优化装置串联在高压风机供电前端。主要设备：电磁式电能优化装置、250kW 高压风机。项目技改投资额 27 万元，建设期 3 个月（含运行监测时间）。年碳减排量 100tCO₂，碳减排成本为 120~140 元/tCO₂。年经济效益约 9 万元，投资回收期约 3 年。

九、推广前景及减排潜力

预计未来 5 年，该技术仅在全国教育系统的推广应用比例将能达到 10%，项目总投资约 16 亿元，可形成的年碳减排能力约 60 万 tCO₂。

11 超低浴比高温高压全模式纱线染色机技术

一、技术名称：超低浴比高温高压全模式纱线染色机技术

二、技术类别：减碳技术

三、所属领域及适用范围：纺织行业 适用于各类纤维的纱线、织带染色

四、该技术应用现状及产业化情况

印染是纺织行业核心工序之一，也是保障织物品质的关键。根据纱线结构、材质等特性不同，大型纺织印染厂通常会配备多台不同染色工艺的染色机，以适应不同染色工艺。目前，我国印染行业普遍采用传统的大浴比（1:6~8以上）染色机，需要消耗大量的水、电、蒸汽和染料助剂等，具有造价高、能耗高、污水排放量大、染色周期长、操作繁琐等问题。改造落后生产工艺，提高绿色化工工艺的应用水平，已经成为印染行业的重点发展方向。

全模式染色机可实现一机多种模式染色，不仅单一品种染色品质高于传统染色模式，而且适用于较宽的纱线范围，同时可实现纱线的超低浴比染色，极大地提高染色效率，降低电耗，减少污水排放，具有显著的节能减碳和环保效益。目前该技术装备已经在芜湖富春染织股份有限公司、上海题桥江苏纺织有限公司等多个大型印染企业得到应用，累计应用2000多标准台套。

五、技术内容

1.技术原理

采用离心泵和轴流泵的三级叶轮泵和短流程冲击式脉流染色技术，实现超低浴比（1:3）高效率染色。采用带导流系统的多出口对流泵和全模式换向机构，通过最佳的流道切换，实现超低浴比及多模式染色，满足快速水洗和压力脱水两种工艺，实现超宽的适用纱线范围。冲击式脉流染色可在超低浴比下进行，染液不浸泡纱锭，减少染料助剂用量。纱锭与染液由于不浸泡在水中，减少了纱锭渗透阻力，加快染色交换速度，并且有利于均匀染色和缩短染纱时间。同时，由于该技术大幅降低浴比，减少了循环水泵的电耗和加热蒸汽的使用量，从而达到降低耗电量、蒸汽消耗量和耗水量的目的。

2.关键技术

- （1）离心泵和轴流泵的三级叶轮泵染色技术；
- （2）短流程冲击式脉流染色技术；
- （3）带导流系统的多出口对流泵；
- （4）低浴比智能环保染色工艺。

3.工艺流程

该技术装备整体透视图见图1；核心设备三叶轮泵见图2；冲击式脉流染色原理图见图3；关键设备沙盘及附件结构图见图4。

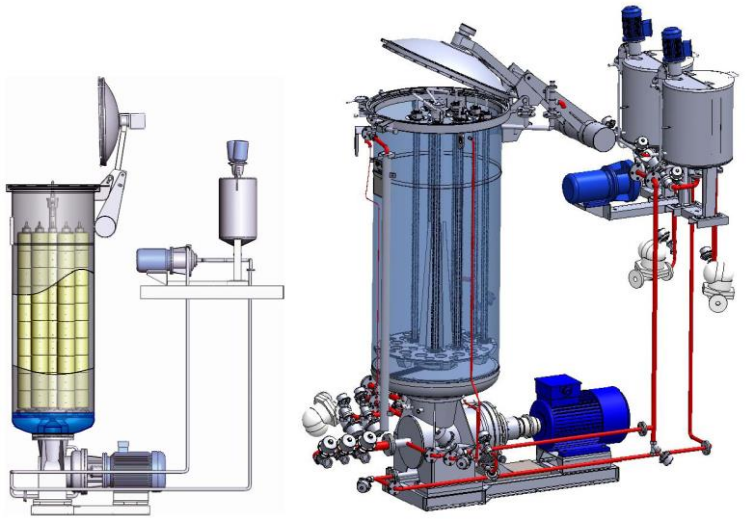


图 1 超低浴比高温高压纱线染色机设备图



图 2 三级叶轮泵图

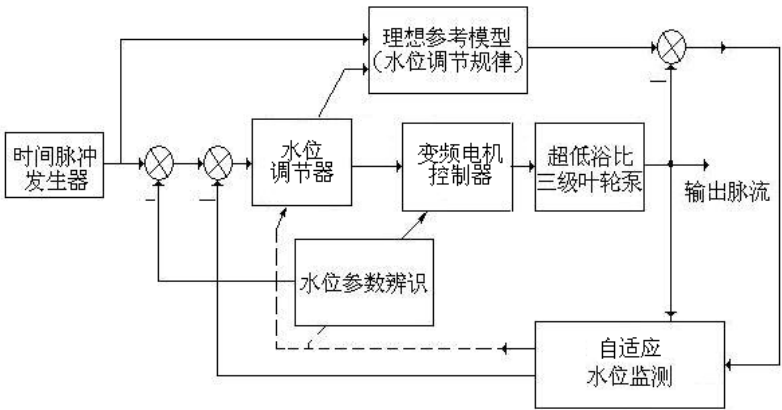


图 3 冲击式脉流染色原理图

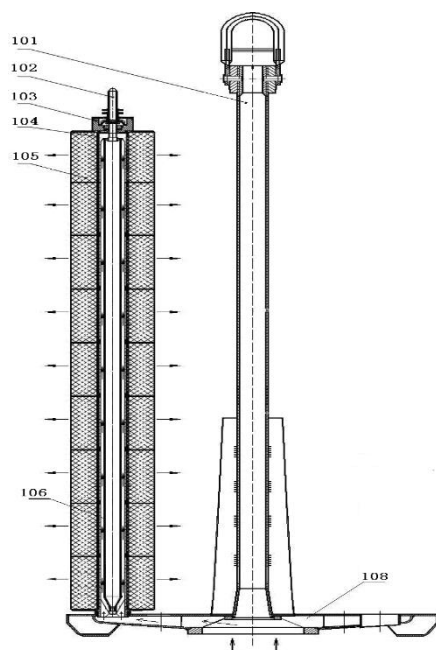


图4 纱架、吊环、纱杆（光身水鼓）、纱盘、重力锁头结构图

六、主要技术指标

- 1.采用超低浴比单向循环染色模式：浴比低至1:3；
- 2.采用低浴比双向循环染色模式：浴比低至1:4.5；
- 3.耗水量：22.9吨/吨纱锭；
- 4.耗蒸汽量：1.87吨/吨纱锭；
- 5.耗电量：410千瓦时/吨纱锭；
- 6.印染织物工艺周期：5.5～8小时。

七、技术鉴定及获奖情况

该技术已获得国家授权外观设计专利 1 项，实用新型 6 项，并通过了 2011 年度广东省经济和信息委员会组织的技术成果鉴定。“超低浴比高温高压纱线染色机—重大高效节能节水低碳环保染色技术”研究成果荣获 2014 年度国家环境保护科学技术奖三等奖和广东省环境保护科学技术奖一等奖；“超低浴比高温高压纱线染色机研发及产业化”荣获 2015 年广东省科学技术奖三等奖。“超低浴比高温高压纱线染色

机”、“高温低浴比 O 型染色机”和“高端智能全模式染色机”三项技术分别入选国家发改委《国家重点节能技术推广目录》。

八、典型用户及投资效益

典型用户：芜湖富春染织股份有限公司、上海题桥江苏纺织有限公司、佛山金丰漂染有限公司、山东孚日集团等

典型案例 1

案例名称：佛山金丰漂染有限公司 31 台超低浴比高温高压纱线染色机节能改造项目

建设规模：31 台超低浴比高温高压纱线染色机，年产 1.2 万 t 纱线。主要技改内容：对 31 台超低浴比高温高压纱线染色机进行技术改造。主要设备为超低浴比高温高压纱线染色机等。项目技改投资 1550 万元，建设期 1 年。年碳减排量约 24100tCO₂，碳减排成本为 30~50 元/tCO₂。项目年节约水、电、蒸汽等能源成本 2220 万元，每生产 1t 纱线降低成本 1500~2527 元，项目投资回收期 9 个月。

典型案例 2

案例名称：山东孚日集团 34 台超低浴比高温高压纱线染色机节能改造项目

建设规模：34 台超低浴比高温高压纱线染色机节能改造项目，年产 1.3 万 t 纱线。主要技改内容：对 34 台超低浴比高温高压纱线染色机进行技术改造。主要设备为超低浴比高温高压纱线染色机等。技改投资额 1700 万元，建设期 1 年。年碳减排量 26700tCO₂，碳减排成本为 30~50 元/tCO₂。年节省水、电、蒸汽能源成本 2448 万元，每生产 1t 纱线降低成本 1500~2527 元。投资回收期 9 个月。

九、推广前景和减排潜力

预计未来5年,该技术在我国印染行业的推广应用比例将达到30%左右,预计纱线染色年产量将达110万t,项目总投资将达到15亿元,可形成的年碳减排能力约为220万tCO₂。

12 高效翼型轴流风机技术

一、技术名称：高效翼型轴流风机技术

二、技术类别：减碳技术

三、所属领域及适用范围：纺织行业 适用于各工序通风换气、温湿度送风调节、回风系统、回风再利用环节、车间风量平衡补充、温湿度自控调节等

四、该技术应用现状及产业化情况

我国纺织行业使用的空调风机运行普遍存在技术工艺落后、性能系数不匹配、功耗大、效率低等问题。据统计，全国在用风机产品的用电量约占全国发电总量的 10%，纺织行业通风设备能耗约占企业总能耗的 21%~28%。近年来，尽管国内在纺织空调技术方面做了大量改进工作，但未取得突破性进展。

高效翼型轴流风机的气动性能高于传统的翼型风机，风机效率明显提升。利用该技术对纺织空调风机进行改造，一般节电率可达 10% 以上，在全国纺织行业具有较大的节能潜力。目前，该技术已在山东、河北、河南、安徽、江苏、浙江、广东、湖南、湖北、四川、陕西、新疆等地的 860 多家纺织企业广泛应用，累计使用约 6 万 5 千多套，节能降碳效果显著。

五、技术内容

1. 技术原理

采用独特的高升阻比先进翼型技术，气体由一个攻角进入叶轮，在翼背上产生一个升力，同时在翼腹上产生一个大小相等方向相反的

作用力使气体排出；叶片与叶柄采用过度扭曲矩形连接方式，有效降低风机叶轮旋转时的流动阻力；叶片长度比传统叶片增长，过风面积增大，可增强叶片做功能力，减少无用功耗，降低同等工况下的轴功率损失；采用航空特殊铝镁合金材质，比重轻，可减小叶轮自重耗能。通过上述手段，实现空调风机综合节电的效果。

2.关键技术

（1）先进翼型技术

风机叶轮采用沿叶片弦长函数曲线设计，合理借鉴三元流体理论、飞机机翼、螺旋桨发动机及最佳气动布局等航空先进设计技术，设计制造高升阻比的先进翼型。

（2）叶面及叶形优化设计技术

叶片弦长过度到根部为扭曲角度，叶片与叶柄为过度扭曲矩形连接方式，可有效降低风机叶轮旋转时产生的流动阻力。叶片长度比传统叶片增长约15%（根据不同工况具体确定长度），过风面积增大，可增强叶片做功能力，减少无用功消耗，降低同等工况下的轴功率损失。

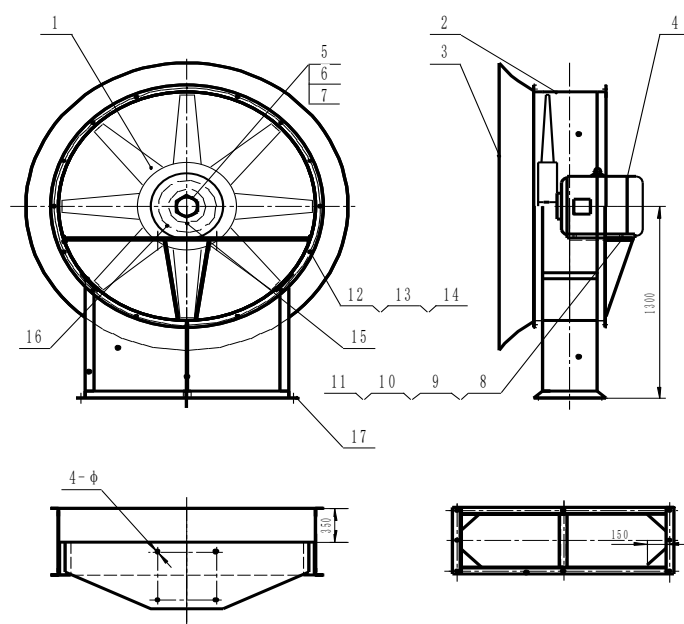
（3）叶片特殊材质铸造技术

风机叶片采用航空特殊铝镁合金材质铸造。铝镁合金比重轻，可减小叶轮自重消耗的能量；铝镁合金具有良好的抗震动及降噪性能，在相同载荷下，减振性是铝合金的100倍，是钛合金的300~500倍，有效降低风机噪音。

3.工艺流程

该技术借鉴航空飞机机翼、翼型、螺旋桨以及航空发动机的设计方法，采用三元流理论和最佳气动布局进行风机整体化设计出高效翼

型轴流风机。风机主要由风筒，叶轮，电机、集流器、扩散口等部分构成，如图 1 所示。风机及叶轮的整个工艺流程如图 2 所示。



1-叶轮 2-机壳 3-集流器 4-Y 系列三相异步电动机 B3 型 5-变径螺栓 6-盖形螺母 M10 7-标准型弹簧垫圈 12 8-M22X90 9-平垫 10-标准型弹簧垫圈 22 11-六角螺母 12- M12X40 13-平垫 14-六角螺母 15-压盖 16-护帽 17-地脚螺栓

图 1 高效翼型轴流风机结构示意图

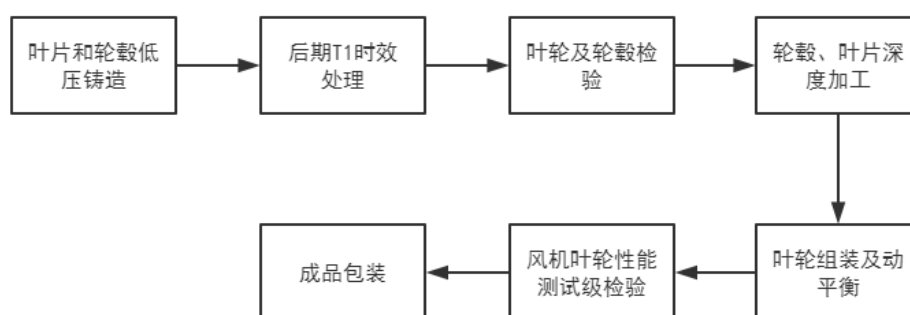


图 2 风机及叶轮的制造工艺流程图

六、主要技术指标

- 1.风机叶片长度增加 15%;
- 2.风机升阻比提高 40，提高率 66%;
- 3.噪音降低 7~13dB (A)，降低率 8%~12%;

- 4.风量增加 4~5 万 m³/h，增加率 25%~28%；
- 5.最大风压升高 79Pa，升高率 12%；
- 6.风机效率提高 8%；
- 7.运行电流降低 8A；
- 8.节电率 10%~20%。

七、技术鉴定及获奖情况

该技术已获得国家发明专利 2 项，实用新型专利 29 项，外观设计专利 10 项。2010 年获得陕西省科学技术成果鉴定证书；2015 年通过上海国家级电气器具检验测试所检测风机能源效率，判定能效等级为 1 级；2017 年 12 月获得陕西省工业和信息化厅颁发的新产品新技术鉴定验收证书。

八、典型用户及投资效益

典型用户：山东鲁泰集团、江苏大生集团、安徽华茂集团、山东恒丰集团、雅戈尔集团、山东宏业纺织股份有限公司、河南银龙集团、江苏天虹集团、邓州市永泰棉纺股份有限公司等

典型案例 1

案例名称：山东宏业纺织股份有限公司纺织空调风机改造项目

建设规模：102 台轴流风机。建设条件：对原有风机实施改造。主要内容：对轴流风机叶轮进行新型节能叶轮更换改造，以实现风机增加风量、降低电流、节约能耗的目的。主要设备：YFZ40/35-No16、18 型号风机。项目投资额 120 万元，建设期 2 个月。年碳减排量 1250tCO₂，碳减排成本为 30~50 元/tCO₂。年经济效益约 133 万元，投资回收期约 10 个月。

典型案例 2

案例名称：邓州市永泰棉纺股份有限公司纺织空调风机改造项目

建设规模：120 台轴流风机。建设条件：对原有风机实施改造。主要内容：对轴流风机叶轮进行新型节能叶轮更换改造，以实现风机增加风量、降低电流、节约能耗的目的。主要设备：YFZ40/35-No11.2、No14、No16、No18 型号风机。项目投资额 231 万元，建设期 2 个月。年碳减排量 3630tCO₂，碳减排成本为 30~50 元/tCO₂。年经济效益约 387 万元，投资回收期约 9 个月。

九、推广前景及减排潜力

高效翼型轴流风机不仅可在纺织行业空调领域广泛应用，而且可在煤炭、钢铁、石油化工等行业推广应用，具有较大的推广应用潜力。预计未来 5 年，仅在纺织空调领域的推广应用比例就可达 20%，项目总投资约 16 亿元，可形成的年碳减排能力约为 230 万 tCO₂。

13 基于相变抑制传热材料的 LED 照明灯具技术

一、技术名称：基于相变抑制传热材料的 LED 照明灯具技术

二、技术类别：减碳技术

三、所属领域及适用范围：轻工行业 照明领域 适用于道路交通、户外景观、机场等各种场所的大功率照明

四、该技术应用现状及产业化情况

据统计，我国大功率照明市场 80%以上为金卤灯和高压钠灯，年耗电约 8600 亿千瓦时，特别是道路照明、工矿企业照明用电耗能更高。基于相变抑制传热材料的 LED 灯具具有易生产、节能率高、重量轻、体积小、寿命更长、光的穿透性更强、光衰更少、光源色温选择性更多等优势特点。该技术产品可广泛应用于道路交通、工矿企业、户外景观、港口码头、体育场馆和各种场所大功率照明，目前已经在重庆、四川、贵州等地 5 个城市安装应用近 2 万盏。

五、技术内容

1.技术原理

相变抑制传热材料具有超强的取热能力和热扩散能力，传热速度极快，可以达到毫秒级别，传热强度大，比传统的散热材料具有更好的热分布表现。相变抑制传热材料应用于 LED 大功率照明灯具上，能将灯具芯片 PN 结热量快速向外传导，有效解决灯具的散热问题，使灯具可以在较宽的温度范围下工作，极大地提升电光转换效率和光通量，并使灯具寿命更长。此外，应用相变抑制传热材料，可以高密度集成发光芯片，使大功率 LED 芯片封装更加集中、发光面更小，配合玻璃的

使用能大幅提高透光率及地面照度。与传统 LED 灯具相比，该技术产品具有重量轻、体积小特点，以五年寿命周期检测，光衰整体在 15% 以内，综合节能效率超过同类产品 20%。

2. 关键技术

（1）相变抑制超导传热材料结构技术

相变抑制超导传热材料作为灯具的结构件，替代传统散热器（铝、铜鳍片），能数倍提高散热功能，大幅减轻灯具重量。同时，相变抑制传热材料的使用，可使 LED 灯具的热快速传递出去，使 LED 芯片的焊点工作温度控制在 50 度以下，降低了 LED 灯的工作温度，从而减少光源光衰，延长灯具寿命达到 5 年以上。

（2）超强穿透性和低色温技术

COB 光源采用芯片集中排布，光密度高，可极大地提高光的有效利用率；采用玻璃透镜具有良好的穿透性，可使灯具光衰 5 年小于 5%。

3. 工艺流程

相变抑制传热技术 COB 路灯组装流程见图 1，路灯见图 2。

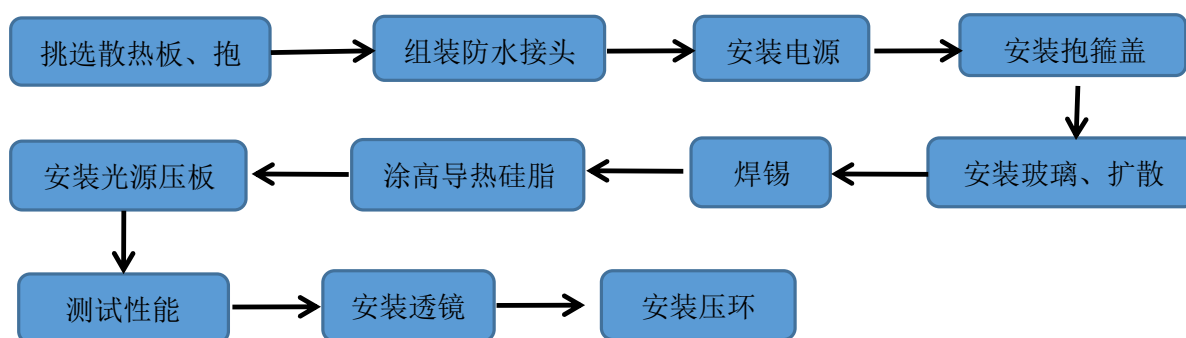


图 1 相变抑制传热技术 COB 路灯组装流程



图 2 相变抑制传热材料 LED 路灯

六、主要技术指标

- 1.光效：160lm/W；
- 2.光衰：5 年少于 5%；
- 3.重量：约 3kg(100W)；
- 4.寿命：大于 50000 小时；
- 5.综合节能率：比传统高压钠灯节能 70%以上；比传统 LED 灯具节能 20%以上；与传统金卤灯相比，节能率>40%。

七、技术鉴定及获奖情况

该技术已获得230多项国家专利，其中发明专利60多项，实用新型专利150多项，外观专利20项。2018年该技术通过中国质量认证中心节能技术的认定。同时，该技术产品的多项性能指标已获得由国家半导体淘汰产品质量监督检验中心（广东）、深圳市计量质量检测研究出具的检测检验报告。

八、典型用户及投资效益

典型用户：中航天旭恒源节能科技有限公司、中广核新能源控股

有限公司、中建三局等

典型案例 1

案例名称：四川泸州开发区 LED 路灯节能改造项目

建设规模：3500 只相变抑制传热材料 LED 路灯节能改造。建设条件：开发区现有传统高压钠灯为夜间道路提供服务，部分钠灯低于《道路照明设计标准》。主要建设内容：采用新一代的相变抑制传热材料 LED 路灯（120W）替换传统钠灯（350W）。主要设备：新相变抑制传热材料路灯灯具。项目投资约为 875 万元，建设期为 2 年。年碳减排量 2340tCO₂，碳减排成本为 360~380 元/tCO₂。年经济效益约 195 万元，投资回收期约 4.5 年。

典型案例 2

案例名称：贵州新蒲经开区智慧路灯改造项目

建设规模：7378 只相变抑制传热材料 LED 路灯节能改造。建设条件：开发区现有传统高压钠灯为夜间道路提供服务，其中主灯 250W，副灯 180W，部分钠灯低于《道路照明设计标准》。主要建设内容：采用新一代的相变抑制传热材料 LED 路灯 100W 替换传统钠灯 250W（60W 替换 180W），使改造后的路灯和配电控制柜等具有远程单灯控制智能化、节能化、智慧化和网络平台化等功能。主要设备：新相变抑制传热材料 LED 路灯灯具。项目投资约为 1500 万元，建设期为 2.5 年。年碳减排量约 2920tCO₂，碳减排成本为 500~520 元/tCO₂。年经济效益约 346 万元，投资回收期约 4.3 年。

九、推广前景和减排潜力

预计未来 5 年，该技术在全国推广所占比例可达到 25%，预计项

目总投资将达到 26 亿元，可形成的年碳减排能力达 65 万 tCO₂。

14 基于碱土金属复合盐类的绝热（保温隔热）涂料技术

一、技术名称：基于碱土金属复合盐类的绝热（保温隔热）涂料技术

二、技术类别：减碳技术

三、所属领域及适用范围：建材行业 新建、老旧建筑节能应用

四、该技术应用现状及产业化情况

我国建筑外墙保温所用材料主要为聚苯板、聚氨酯等有机材料，约占市场份额的 80%，传统的外墙保温材料在生产过程中会产生大量污染物，施工工序复杂，综合成本高；在使用过程中易脱落，且因耐火性能差，存在火灾安全隐患，使用后难以降解。

基于碱土金属复合盐类的绝热（保温隔热）涂料是一种水溶性多功能涂层，涂层厚度仅为 0.3mm 左右，集保温、隔热、装饰功能于一体，施工工序简单。目前，该技术产品已在万科、碧桂园、美的、中建、富力、融创、中铁、中铁建、军民融合等多个地产项目中得到广泛应用，全国累计应用面积超过 2000 万 m^2 。

五、技术内容

1.技术原理

该技术采用碱土金属复合盐类材料作为填料添加到涂料里，使产品具有远红外辐射率大的特点，可在特定环境温度 $-60^{\circ}\text{C} \sim 70^{\circ}\text{C}$ 区间内、能量主要辐射波段 $8 \sim 14\mu\text{m}$ 进行辐射换热，可大幅降低建筑物墙体的热流密度，减少热传递，从而达到保温隔热的作用。

2.关键技术

（1）碱土金属复合盐

由 Fe_2O_3 、 MnO_2 、 Co_2O_3 和 CuO 等金属氧化物掺杂形成的具有反尖晶石结构的物质具有高效的发射率。随着涂料中掺加的碱土金属复合盐量的增加，涂层保温隔热性能逐步提高，碱土金属复合盐量掺加量大于 9% 时，涂料的保温隔热性能趋于稳定，达到较佳状态。

(2) 涂料的特定温度区间及能量主要辐射波段

当温度为 -60°C 时，相对应的波长 λ 为 $13.6\mu\text{m}$ ；当温度为 70°C 时，对应的波长 λ 为 $8.45\mu\text{m}$ ；在地表环境 $-60^\circ\text{C} \sim 70^\circ\text{C}$ 的特定温度区间内使用该涂料，能量主要辐射在远红外波段 $8 \sim 14\mu\text{m}$ 之间。

(3) 工艺流程

该技术的生产工艺流程如图 1 所示，产品使用工艺流程如图 2 所示。与传统保温材料相比，该保温材料在使用时省去原有的保温层（粘结砂浆+保温砂浆或保温板）、抗裂防护层（膨胀锚固件+抹面砂浆+耐碱网格布+抹面砂浆），直接使用该产品配套的腻子、高渗抗碱底漆、保温隔热面涂（与传统饰面施工方法、工序结构相同）即可。

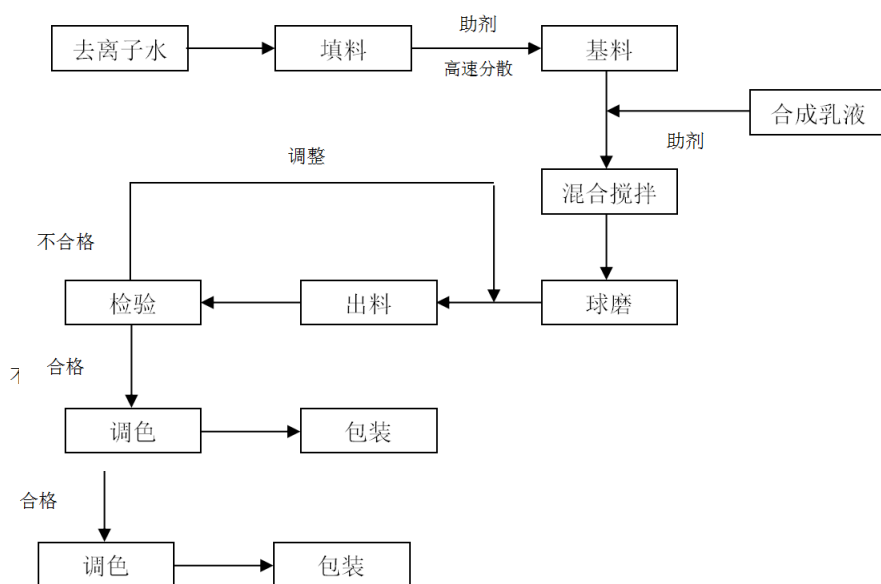


图 1 基于碱土金属复合盐类保温隔热涂料制备工艺流程图

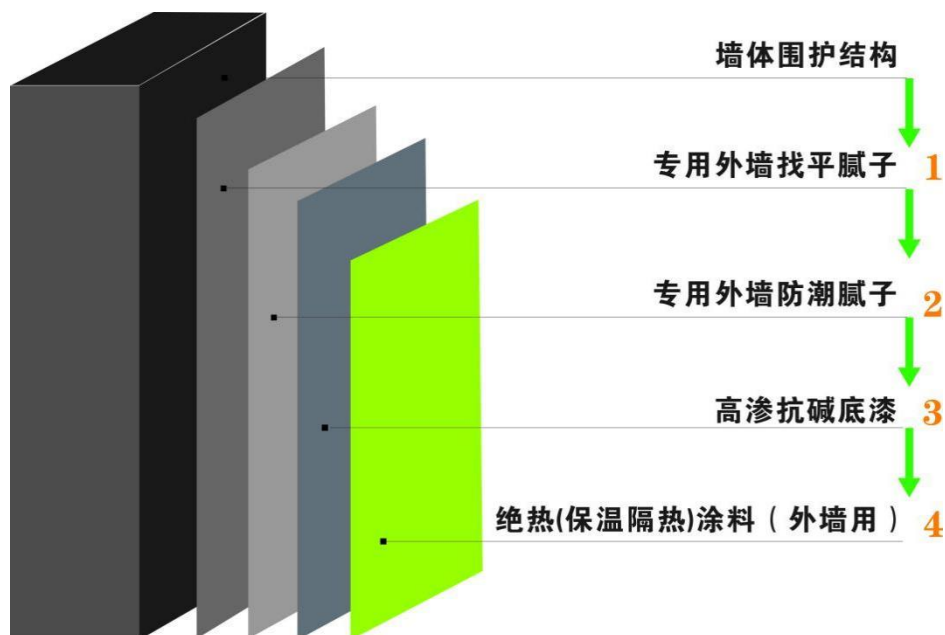


图 2 绝热（保温隔热）涂料施工工艺流程

六、主要技术指标

1. 墙体内涂等效热阻 ≥ 0.88 ($\text{m}^2\text{k}/\text{W}$), 墙体外涂等效热阻 ≥ 0.78 ($\text{m}^2\text{k}/\text{W}$);
2. 比 60mm 厚的挤塑聚苯板节能 15.2%;
3. 比传统保温材料节省 2/3 工期;
4. 比传统保温材料节约 95% 以上使用空间;
5. 常规性能、耐人工气候老化比国家标准优等品高 400 小时以上。

七、技术鉴定及获奖情况

该技术已获得国家发明专利 2 项，并于 2016 年 12 月通过了住建部节能与科技司组织的科技成果验收。2017 年获得贵州省科学技术进步奖三等奖；2018 年荣获住建部“华夏建设科学技术奖”三等奖。目前，该技术共取得江苏、吉林、贵州、四川、山西等 10 个省的节能技术推广证书，涂料产品已通过德国 TUV 国际认证检测机构的认证，产品绿

色环保性能优异；并通过新加坡绿色建筑委员会评审，获得新加坡绿色建材三星级认证。

八、典型用户及投资效益

典型用户：山西省建科院、山西市政管理局、万科地产、中铁集团等

典型案例 1

案例名称：万科大都会项目

应用规模：应用面积 30 万平方米。建设条件：与水性建筑涂料的应用条件一致。主要建设内容：省去原有的保温层（粘结砂浆+保温砂浆或保温板）、抗裂防护层（膨胀锚固件+抹面砂浆+耐碱网格布+抹面砂浆），直接使用配套的腻子、高渗抗碱底漆、保温隔热面涂。主要设备与水性涂料施工设备相同。项目总投资额 5400 万元，建设周期 5 个月。年碳减排量 5120tCO₂，碳减排成本为 690~710 元/tCO₂。年经济效益为 1253 万元，投资回收期约 4 年。

典型案例 2

案例名称：凯里未来城项目

应用规模：应用面积 24 万平方米。建设条件：与水性建筑涂料的应用条件一致。主要建设或改造内容：省去原有的保温层（粘结砂浆+保温砂浆或保温板）、抗裂防护层（膨胀锚固件+抹面砂浆+耐碱网格布+抹面砂浆），直接使用配套的腻子、高渗抗碱底漆、保温隔热面涂。主要设备与水性涂料施工设备相同。项目总投资额 4320 万元，建设周期 5 个月。年碳减排量 4100tCO₂，碳减排成本为 690~710 元/tCO₂。年经济效益为 1002 万元，投资回收期约 4 年。

九、推广前景及减排潜力

预计未来五年，该技术产品在建筑领域的推广比例将达到 0.1%，预计可实现应用面积达 6000 万平方米，项目总投资约 60 亿元，可形成的年碳减排能力约为 55 万 tCO₂。

15 智能化超高层建筑施工集成平台技术

一、技术名称：智能化超高层建筑施工集成平台技术

二、技术类别：减碳技术

三、所属领域及适用范围：建筑行业 超高层项目主体工程施工

四、该技术应用现状及产业化情况

伴随着超高层建筑高度不断攀升，结构日趋复杂，建造难度与安全风险不断增大，各类设备设施在选型、布置、协同施工中出现多方面的冲突，降低了设备能力发挥，增加了施工过程的能耗。

智能化超高层建筑施工集成平台技术可实现类似于“产品”化生产的超高层建筑施工方式，与传统施工方法相比，节能减碳效果明显。目前，该平台已先后在武汉中心（438m）、深圳华润总部大楼（400m）、武汉绿地中心（475m，华中第一高楼）、北京中国尊（528m，北京第一高楼）等 400m 以上的摩天大楼中得到成功应用，施工总建筑面积超过 200 万 m²，已产生经济效益约 6756 万元。

五、技术内容

1. 技术原理

在建筑平台顶模轻质化设计的基础上，首次成功实现将动臂塔机等设备直接集成于建筑平台上，可使塔机随平台同步顶升，减少塔机独立爬升和顶模顶升的能耗以及塔机支撑系统制造、运输及反复安拆、提升的能耗，也减少了重复垂直运输作业的能耗；通过集成平台形成竖向多专业流水作业，充分利用设备资源提高作业效率，提高了能源利用率。同时，通过数字化控制系统，能够最大限度保证平台各支撑点

顶升的平衡度，从而降低倾斜校正带来的额外能耗。

2.关键技术

(1) 超高层建筑施工平台设备集成技术

成功实现将动臂塔机等设备集成于平台上，可随平台同步顶升，施工安全与塔机有效使用时间大幅提升，塔机投入大幅降低，可有效减少塔机支撑系统制造、运输及反复安拆等带来的施工能耗和污染物排放。

(2) 高承载力超高层建筑施工平台技术

基于墙体表面素混凝土微凸构造承载力构造特点，支点承载力高、传力可靠、单个支点承载力可达 400 吨，研发了一种利用核心筒外围墙体支承的集成平台巨型空间框架结构，使平台可承受上千吨荷载、抵抗 14 级大风的作用。

(3) 高适应性超高层建筑施工平台技术

针对超高层建筑墙体结构变化特点，开发了一种可以根据墙体内收、外扩、倾斜等复杂施工情况自适应的支承系统，可解决墙体结构变化带来的平台施工难题。同时，创造性的构建了平台角部开合机构、伸缩机构等可变机构，可满足核心筒结构变化及劲性构件整体吊装的需求。

3.工艺流程

根据塔机与顶模的整体情况作受力验算与轻质化设计，将动臂塔机固定于顶模平台，实现塔机随顶模同步顶升。智能化超高层建筑平台结构示意图见图 1。

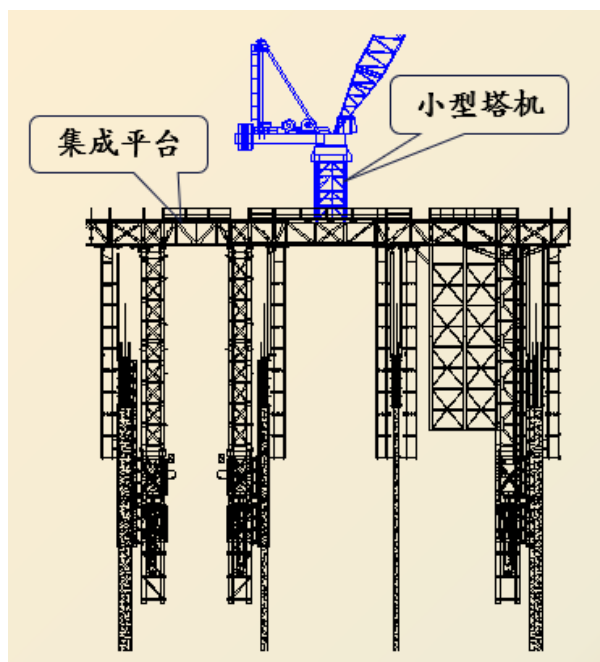


图1 智能化超高层建筑平台结构示意图

六、主要技术指标

- 1.平台整体可承受上千吨荷载、抵抗14级大风；
- 2.单个支点的承载力达400吨，各支点同步顶升偏差仅2mm；
- 3.集成平台使复杂的钢板剪力墙核心筒施工速度达到4天/层；
- 4.塔机自重约100t，自爬升采用柴油机，能效约40%；
- 5.顶模顶升采用电动机，能效约80%，轻质化设计节约重量270t左右。

七、技术鉴定及获奖情况

该技术已获国家发明专利7项，实用新型专利9项。2015年，“超高层建筑智能化施工装备集成平台系统研究与应用”经中国建筑工程总公司组织的成果鉴定，整体达到国际领先水平。该技术先后荣获中国建筑工程总公司发明金奖1项、中建三局科技进步特等奖1项、湖北省科技进步二等奖1项。

八、典型用户及投资效益

典型用户：中建三局大项目管理公司、中建三局第二建设工程有限责任公司

典型案例 1

案例名称：中国尊大厦工程项目

建设规模：项目处于北京市朝阳区 CBD 核心区 Z15 地块，中国尊大厦大楼结构高度达到 528m，总建筑面积 43.7 万 m^2 。建设条件：利用中国尊大厦核心筒结构墙体支承的巨型空间框架平台结构。主要内容：集成平台面积超过 1800 m^2 ，高度超过 22m，自重达 2330t；覆盖四个半竖向作业层，最大顶推力达 4800t。平台可根据墙体内收、外扩、倾斜等复杂情况进行变化的自适应支承系统。主要设备：自带塔机顶模平台。项目总投资 3600 万元，建设期为 2 个月。年碳减排量 2660 tCO_2 ，碳减排成本为 13400~13600 元/ tCO_2 。年经济效益 1200 万元，投资回收期约 2.5 年。

典型案例 2

案例名称：武汉绿地中心工程项目

建设规模：武汉绿地中心总建筑面积 32.1 万 m^2 。建设条件：武汉绿地中心劲性混凝土核心筒 100 层，屋面结构标高为 475m。主要内容：集成平台面积 1310 m^2 ，平面上呈“Y”字形，覆盖四个半竖向作业层。采用顶模系统结合 BIM 技术的三维可视化、碰撞检查、管路排布以及方案可视化模拟等主要功能，缩短施工周期，提高了铝模板的周转率。主要设备：自带塔机顶模平台。项目总投资 2500 万元，建设期为 2 个月。年碳减排量 2010 tCO_2 ，碳减排成本为 12300~12500 元/ tCO_2 。年经济效益 1000 万元，投资回收期约 3 年。

九、推广前景和减排潜力

目前，该技术已在我国 400 米以上的超高层建筑推广应用 40%。
预计未来 5 年，该技术在国内外超高层建筑工程项目推广比例将达到 80%，
预计到 2025 年总投资约 23 亿元，可减少碳排放约 20 万 tCO₂。

16 基于新型一体式低氮燃烧冷凝燃气锅炉的智能供热控制技术

一、技术名称：基于新型一体式低氮燃烧冷凝燃气锅炉的智能供热控制技术

二、技术类别：减碳技术

三、所属领域及适用范围：建筑行业 民用建筑采暖、工业领域供热

四、该技术应用现状及产业化情况

燃气锅炉是我国民用建筑采暖和工业领域供热的重要设备，数量约占我国锅炉总量的 10%左右，其中约 10%为冷凝式燃气锅炉。国内冷凝式燃气锅炉多采用传统炉体配置节能器或冷凝器等方式回收烟气显热和冷凝热，锅炉效率约在 94%~96%左右，与国外冷凝锅炉相比仍有一定的差距，且冷凝器换热面易出现盐化结垢现象，致换热效率逐年衰减。

新型燃气锅炉将锅炉与冷凝回收装置集于一体，可减少冷凝回收装置二次换热造成的能量损失，极大回收烟气中约 8%的显热和 10%的潜热，且换热面积更小，换热系数更大，因此热效率相比国内现有冷凝燃气锅炉更高，热效率可提高 10%以上。同时，在新型燃气锅炉供热基础上，对供热管网、供热环境、供热需求进行大数据采集分析，提供管网供热运行策略和管网智能供热控制技术，可实现天然气供热综合节能 30%以上，从源头上降低了二氧化碳的排放。目前，该技术已在北京、山西、山东等地 20 多个供热项目上推广应用，累计供热面积近 800 万 m^2 。

五、技术内容

1.技术原理

新型燃气锅炉将锅炉与冷凝回收装置集于一体，减少了冷凝回收装置二次换热造成的能量损失，极大回收烟气中的显热和潜热。锅炉采用特殊换热结构，使得烟气在换热过程中产生旋转、分流和汇合、收缩和膨胀，从而打破对流换热边界层及层流边界层，提高了换热效率；且由于烟气对换热面形成有效的冲刷，可使换热面持久洁净。此外，采用大炉膛尺寸设计，确保了在不牺牲效率的前提下降低热力型氮氧化物的产生。同时，以锅炉技术为核心，结合智能化供热控制技术，基于对供热系统负荷、三级管网供热平衡、实时室温、历史气象及实时用热需求的大数据分析，提出最优的供热策略。并采用智能化供热阀控技术，实现对换热站、管网、楼宇热负荷的自动调节，最终实现对整个供热系统热量的精准投放，实现高效高质供热。

2.关键技术

（1）一体式燃烧冷凝设计技术

新型燃气锅炉将锅炉与冷凝回收装置集于一体，烟气换热面采用特殊波纹结构设计，实现了强化传热，提升了换热效率；同时，烟气在两组波纹结构中高速流动时形成冲刷作用，可确保换热面持久清洁。

（2）低氮炉体结构设计技术

采用单回程炉体结构设计，相比传统三回程炉体，可以在同样炉筒内安装更大尺寸的炉膛，可降低火焰温度进而减少热力型氮氧化物生成，实现在采用同型号燃烧器条件下，氮氧化物排放量更低。

（3）智能供热控制技术

采用大数据方法，对供热系统负荷、三级管网供热平衡、实时室温、历史气象及实时用热需求进行分析，提出合理的供热策略。同时，采用智能化供云控能量阀技术，集成流量、温度、压力测量及无线通信远传功能，通过对换热站、管网、楼宇热负荷的自动调节，实现供热系统热量的精准投放。

3.工艺流程

一体式冷凝燃气热水锅炉换热流程见图 1，智能化供热控制系统示意图见图 2。

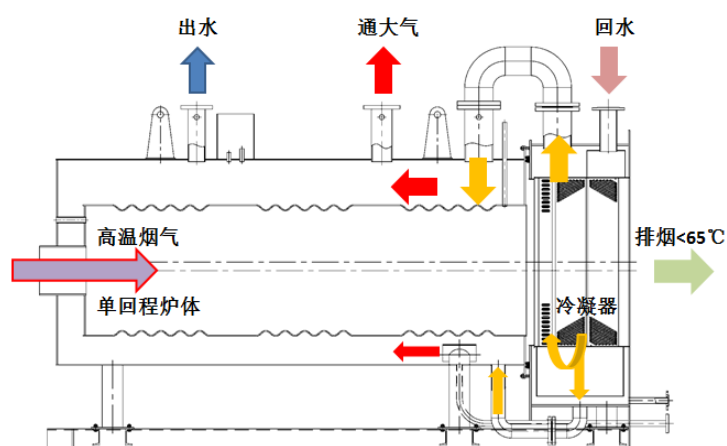


图 1 一体式冷凝燃气热水锅炉换热流程图

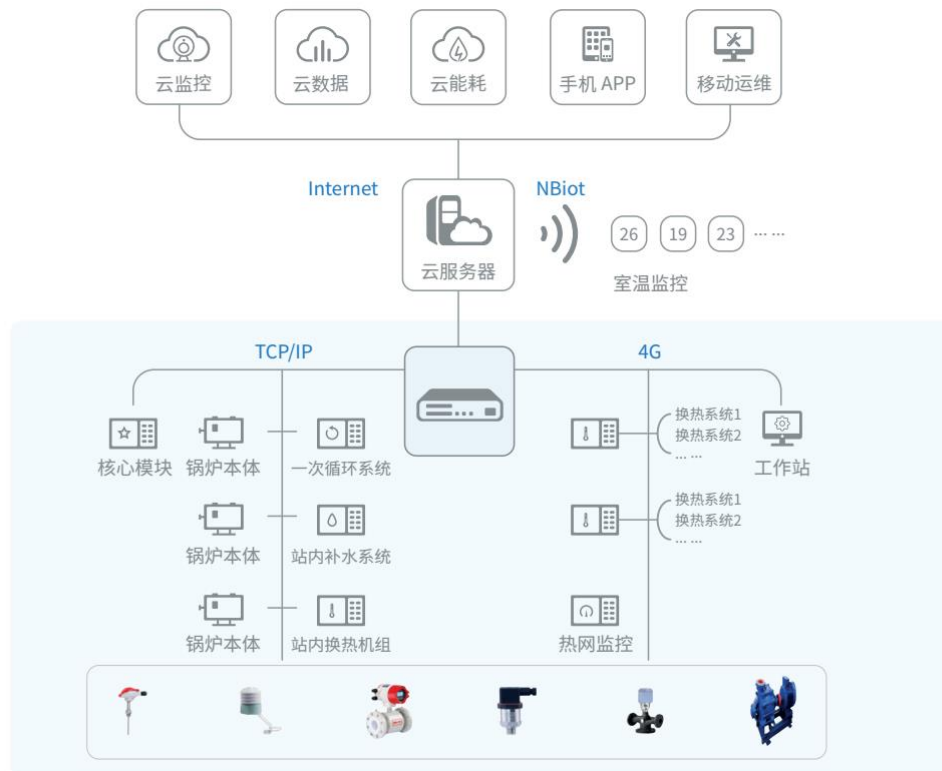


图2 智能供热控制系统示意图

六、主要技术指标

- 1.30℃回水时，锅炉满负荷热效率106.7%，最小负荷热效率109.5%；
- 2.40℃回水时，锅炉满负荷热效率102.2%，最小负荷热效率105.1%；
- 3.50℃回水时，锅炉满负荷热效率98.5%，最小负荷热效率100.5%；
- 4.系统综合节能率约32.7%；
- 5.供暖室温波动范围：±0.5℃；
- 6.住宅供暖单季耗气量：5-7Nm³/m²；
- 7.系统综合节能率约32.7%。

七、技术鉴定及获奖情况

该技术已获得国家发明专利7项，实用新型专利17项，软件著作权1项。2016年先后获得江苏省特种设备安全监督检验研究院和中国

特种设备检验研究院出具的能效和环保排放检测报告；2017 年入选国家发改委《国家重点节能低碳技术推广目录》；2018 年入选国家发改委“双十佳”建筑领域 10 项最佳节能技术清单及国际能效合作组织（IPEEC）“双十佳”建筑领域 10 项最佳节能技术清单。

八、典型用户及投资效益

典型用户：北京泰和明洋能源科技有限公司、济南大学

典型案例 1

案例名称：北京于辛庄“煤改气”工程

建设规模：“煤改气”集中供热改造工程，供暖面积 80 万平方米。

建设条件：原址改造，燃煤锅炉拆除、燃气锅炉及必要公辅设备安装。

主要建设内容：管网敷设，锅炉安装，800kW 变压器的安装建设，连续出水量达每小时 70 方的用水井的建设，DN500 中压天然气管道的铺设以及燃气调压箱安装对供热管网优化，增设了一套智能控制系统对锅炉供热系统进行智能控制。主要设备：一体化冷凝锅炉、管网优化设备、智能化供热控制系统。项目总投资 2838 万元，建设期为 3 年。年碳减排量 4430tCO₂，碳减排成本为 310~330 元/tCO₂。年经济效益 784 万元，投资回收期约 4 年。

典型案例 2

案例名称：济南大学供暖改造工程

建设规模：原有燃气锅炉改造，用于 16.1 万平方米的学校宿舍、教学楼等供暖。建设条件：原址改造，原燃气锅炉拆除，新燃气锅炉及必要公辅设备安装。主要建设内容：安装一体式冷凝燃气锅炉、对供热管网进行了优化，增设了一套智能控制系统对锅炉供热系统进行智能

控制。主要设备：一体化冷凝锅炉、管网优化设备、智能化供热控制系统。项目总投资 679 万元，建设期为 1 年。年碳减排量 890tCO₂，碳减排成本为 370~390 元/tCO₂。年经济效益 370 万元，投资回收期约 2 年。

九、推广前景和减排潜力

据统计，我国供暖市场面积共约 140 亿平方米。目前，已采用该技术的供暖面积近 2000 万平方米，折合推广比例约为 0.14%。根据我国天然气采暖比例的不断增加、城市化率的不断提高，预计未来 5 年，该技术在供暖行业的推广比例将达到 1%，约 1.4 亿平方米。项目总投资将达到 56 亿元，可形成年碳减排能力约 80 万 tCO₂。

17 基于机械发泡温拌沥青的道路施工技术

一、技术名称：基于机械发泡温拌沥青的道路施工技术

二、技术类别：减碳技术

三、所属领域及适用范围：交通行业 沥青路面建设和养护

四、该技术应用现状及产业化情况

沥青路面在我国高等级公路中占比最大，其中在高速公路中占比高达 95%以上。目前，用于沥青路面建设和维修养护的材料以热拌沥青混合料为主，施工时热拌沥青混合料的温度高、燃油消耗大，并且会产生大量的温室气体和沥青烟等有毒、有害气体。

基于机械发泡温拌沥青的道路施工技术是一种具有操作简便、施工成本低等特点的温拌沥青技术，与热拌沥青技术相比，可使拌和温度降低 20℃左右，节省燃料油约 15%左右，具有良好的节能减排效果。目前，该技术已经实现发泡设备国产化，先后在北京、河北、江苏、浙江、广西等省（区）市的多条高速公路、国道及市政道路上得到成功应用。

五、技术内容

1.技术原理

基于机械发泡温拌沥青的道路施工技术是将沥青和微量水通过机械发泡装置形成泡沫沥青，增大沥青的比表面积，降低沥青结合料的黏度，从而能够在拌和楼中与粗细集料、矿粉等在较低温度下进行拌和，同时提高了沥青混合料的施工和易性。此外，通过合理的配方和操作工序，可确保沥青混合料拌和均匀并有效压实，其性能与热拌沥青

混合料相当。该技术可降低沥青混合料的施工温度 20°C 左右, 节能 15% 左右。同时, 降低沥青烟和 CO_2 等的排放量分别达 80% 和 50% 以上。

2. 关键技术

(1) 沥青发泡技术。根据工程需要, 选配适宜的沥青发泡装置, 试验确定合理发泡用水量、温度, 然后将基质沥青或改性沥青发泡。

(2) 机械发泡温拌沥青混合料设计技术。确定合理的温拌混合料级配、油石比, 选定合理的拌和温度及成型温度, 验证温拌沥青混合料的路用性能。

(3) 机械发泡温拌沥青混合料施工技术。依据施工环境条件并结合沥青类型, 确定沥青混合料的施工温度, 确保路面压实度。

3. 工艺流程

机械发泡温拌沥青技术工艺流程: 首先通过机械发泡装置向加热至流动状态的沥青中加入一定量的水, 形成泡沫沥青, 然后将该泡沫沥青加入到拌和装置中, 与预热的粗细集料、矿粉等进行拌和, 形成温拌沥青混合料。工艺流程见图 1。

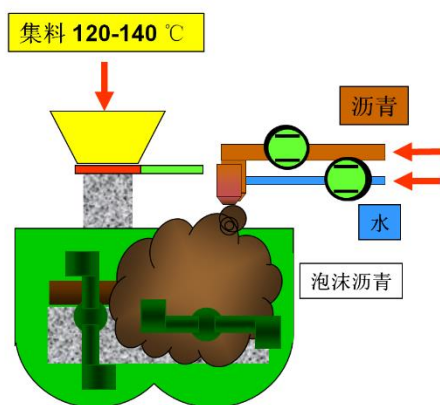


图 1 机械发泡温拌沥青混合料工艺流程

六、主要技术指标

与同类型热拌沥青混合料相比，在保持良好路用性能的前提下，温拌沥青技术的主要技术指标如下：

- 1.可降低施工温度 20℃左右；
- 2.节省加热燃油 15%左右（每吨沥青混合料节省 1.0kg 燃料油）；
- 3.减少温室气体（二氧化碳等）排放量 50%以上，减少沥青烟等有毒气体排放量 80%以上。

七、技术鉴定及获奖情况

该技术已获得国家发明专利 4 项，实用新型专利 2 项。2018 年 7 月，科技部国家科技支撑项目“道路铺面材料废物循环利用技术及示范”的子课题“沥青路面低碳建造技术及工程示范”，通过了由中国公路学会组织的研究成果验收评审，结论为“总体上达到国际领先水平”。

八、典型用户及投资效益

典型用户：广西乐百高速公路有限公司、贵州省公路工程集团有限公司等。

典型案例 1

案例名称：贵州盘兴、毕节东清高速公路新建工程

建设规模：采用温拌沥青混合料约 20 万 t。建设条件：该高速公路的路面基层铺筑完毕可进行后续沥青面层施工，现场具备沥青混合料搅拌条件。主要建设内容：4000 型沥青混合料拌和楼 1 套，沥青储存罐 2 个，加热装置 1 套。主要设备：在已有沥青混合料拌和楼上加装沥青发泡设备。项目总投资 70 万元，建设期为 1 个月。项目碳减排量 490tCO₂，碳减排成本为 0，经济效益 380 万元。

典型案例 2

案例名称：广西乐百高速公路新建工程

建设规模：本项目沥青路面铺筑采用温拌沥青混合料近 7 万 t。建设条件：该高速公路的路面基层铺筑完毕可进行后续沥青面层施工，现场具备沥青混合料搅拌条件。主要建设内容：4000 型沥青混合料拌和楼 1 套，沥青储存罐 2 个，加热装置 1 套。主要设备：在本项目已有沥青混合料拌和楼上加装沥青发泡设备。项目总投资 50 万元，建设期为 1 个月。项目碳减排量 170tCO₂，碳减排成本为 0，经济效益 135 万元。

九、推广前景和减排潜力

我国沥青路面施工所需沥青混合料的年均用量约 4.5 亿 t，随着我国节能减排要求趋严，机械发泡温拌沥青混合料技术推广比例将持续提高。预计未来 5 年，该技术预期推广比例将达到 30%，项目总投资 5 亿元，可形成的年碳减排能力约 33 万 tCO₂。

18 数据中心高效节能喷淋液冷技术

一、技术名称：数据中心高效节能喷淋液冷技术

二、技术类别：减碳技术

三、所属领域及适用范围：信息行业 数据中心、5G 通信边缘计算工作站

四、该技术应用现状及产业化情况

随着我国新型基础设施建设的快速发展，数据中心在新基建领域的核心地位越发凸显。我国数据中心大多采用风冷技术散热，能耗 PUE 值总体在 1.6 以上，制约了数据中心的高质量发展。数据中心喷淋液冷技术是一种新型的芯片冷却技术，可以使数据中心 PUE 值降低至 1.1 以下，相比传统风冷模式具有更节能、空间利用率更高、环境适应能力更强等特点。目前，该技术及装备已应用于雄安喷淋液冷示范数据中心、复旦大学大数据试验场等项目，不仅降低了数据中心前期建设成本（机房设备投入降低 30%），减少机房空间（90%），还减少后期运行电费支出 50%。

五、技术内容

1.技术原理

该技术采用特定的液体工质，直接喷淋于发热电子器件，实现液体与电子器件直接接触。利用液体比热容与密度的优势，大幅提高散热效率，进而提高服务器功率密度。喷淋液冷系统为液体单相循环提供动力，并在系统冷端（冷却单元）排放掉液冷工质吸收的热量。与此同时，由于液体具有传热温差低的特性，可更大范围利用自然环境冷

却工质，进一步降低数据中心能耗。

2.关键技术

(1) 喷淋液冷系统集成技术

系统集成了基于标准机柜规范设计的喷淋液冷机柜；集成了由泵组、热交换器、过滤器、阀门阀组构成的（冷却液）冷却单元；还集成了无风扇设计、整体密封、基于标准机架式服务器架构的喷淋液冷服务器。

(2) 喷淋液冷单向循环散热技术

冷却液进入服务器喷淋芯片和主板的发热单元，带走热量后的高温冷却液返回冷却单元，重新冷却为低温冷却液，然后再次进入服务器进行喷淋。冷却液全程无相变，如此单相循环。

3.工艺流程

产品开发工艺流程见图 1

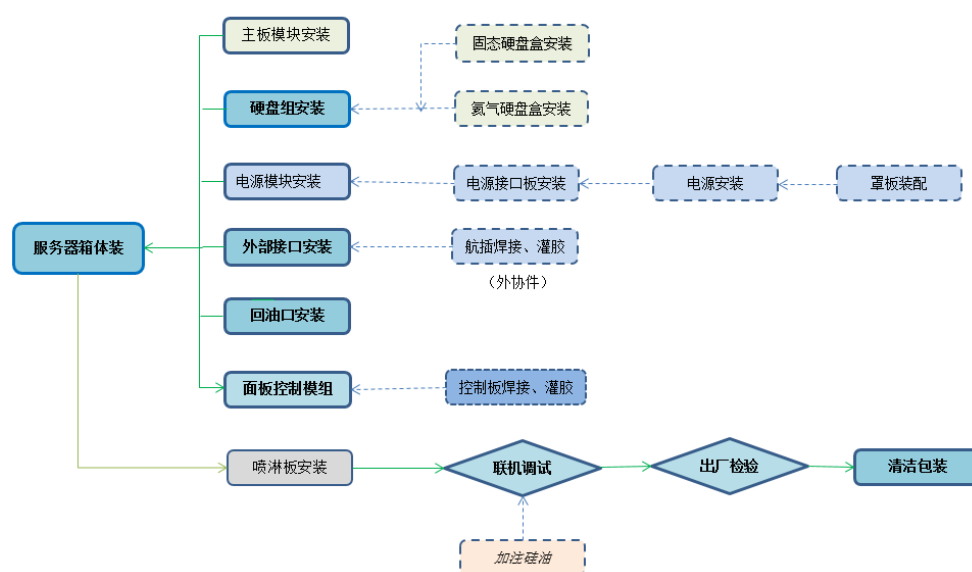


图 1 产品开发工艺流程图

六、主要技术指标

- 1.喷淋液冷数据中心 PUE 值 ≤ 1.1 ;
- 2.喷淋液冷数据中心单机架功率集成 $\geq 30\text{kW}$;
- 3.2U 标准机架式喷淋液冷服务器功率密度 $\geq 2\text{kW/m}^2$ 。

七、技术鉴定及获奖情况

该技术已获得国家发明专利 8 项，实用新型专利 22 项，参与编制国家通信行业标准 1 项。2018 年取得由中国信息通信研究院出具的液冷服务器可靠性检测报告；2019 年入选工信部《绿色数据中心先进适用技术产品目录（2019）》。

八、典型用户及投资效益

典型用户：复旦大学、河北合一新能源科技有限公司、移动通信国家重点实验室、国防科技大学计算机学院等

典型案例 1

案例名称：国家大数据训练场项目

建设规模：占地面积 80m^2 ，所装机的 IT 容量为 360kW 。建设条件：采集装箱式整机模块。主要建设内容：采用喷淋式液冷技术对服务器进行高效节能管理，实现了数据中心整体 PUE 值降低于 1.1 的节能效果。主要设备：采用单台 2U 服务器配置 8 张加速卡，单台服务器的电功率达到 2.8kW 。项目总投资 375 万元，建设期为 12 个月。年碳减排量 480tCO_2 ，碳减排成本为 $510\sim 530$ 元/ tCO_2 。年经济效益 520 万，投资回收周期约 1 年。

典型案例 2

案例名称：雄安通用直接液冷标准示范数据中心项目

建设规模：占地面积 150m²，可装机的 IT 容量为 100kW。建设条件：集装箱式整机模块。主要建设内容：采用喷淋式液冷技术对其服务器和模拟载荷设备进行高效节能热管理。整体机房系统结合河北地区气候，实现数据中心整体 PUE 值降低至 1.07 的节能效果。主要设备：共计安装 30 台戴尔 R710 服务器，70 台模拟载荷设备，整体电功率达到 120kW。项目总投资 170 万元，建设期为 12 个月。年碳减排量 260tCO₂，碳减排成本为 320~340 元/tCO₂。年经济效益 100 万元，投资回收期约 2 年。

九、推广前景和减排潜力

随着我国移动通信技术的快速发展，喷淋液冷技术的推广应用也将有较大的发展空间。预计未来五年，该技术预期推广比例将达到 3%，项目总投资 65 亿元，可形成的年碳减排能力约为 90 万 tCO₂。

19 数据中心垂直制冷能效控制技术

一、技术名称：数据中心垂直制冷能效控制技术

二、技术类别：减碳技术

三、所属领域及适用范围：信息行业 数据中心

四、该技术应用现状及产业化情况

随着我国云计算、大数据、人工智能、互联网、5G 技术的迅猛发展，数据中心正呈现倍数增长。国内数据中心的能耗巨大，2018 年中国数据中心总用电量为 1608.89 亿度电，预计 2023 年中国数据中心总用电量将达到 2668 亿度电。数据中心制冷系统占其整体总能耗的 40%，而现有数据中心制冷系统监控架构信息孤立，且人为手动控制居多，导致系统制冷效率不高。数据中心垂直制冷能效控制系统技术打破了数据中心制冷系统传统监控架构，借助现代 AIoT 技术实现精准制冷和能效提升。目前，该技术已在运营商 IDC、主流第三方 IDC、金融行业 IDC 等数十个制冷系统节能优化项目上应用。随着数据中心 PUE 要求日益严格，该技术在数据中心制冷系统节能方面的市场潜力较大。

五、技术内容

1. 技术原理

数据中心垂直制冷能效控制系统是实现数据中心制冷系统能耗管理与运行控制于一体的制冷设施整体管控、数据分析平台技术。该技术改变了传统数据中心制冷系统动环加群控系统的割裂监测方式，将冷冻站数据、末端精密空调数据、机房环境数据及能耗计量数据全部

打通，利用人工智能实现垂直数据融合、模型仿真和全局控制。该系统采用最佳供水温度控制、冷机高效区控制、冷冻水最优阻抗控制等核心算法，实现数据中心制冷系统高效运行。

2.关键技术

（1）基于云计算和神经网络技术的高效系统仿真技术

将不同地域、规模、上架率的数据汇集云端，利用神经网络技术分析挖掘，建立冷冻站、精密空调、机房温湿度、IT 能耗联动仿真，模拟计算能效。

（2）基于人工智能的能效优化控制技术

对实时数据进行深度学习，获取针对制冷系统的优化节能运行策略和最佳运行参数，与传统能效控制设备相配合，实现全工况下数据中心空调系统节能优化控制。

3.工艺流程

数据中心垂直制冷能效控制系统示意图见图 1。

将数据中心制冷系统冷量流动全链路设备（冷源冷冻站→冷冻水输配系统→精密空调→机房冷热通道温湿度）进行整体监控及能耗数据采集，实现全系统的协调、协同调节，优化能效，降低制冷能耗。实时将能耗数据、PUE 数据与制冷系统运行数据进行人工智能大数据分析，获取关联性规律，发现能耗薄弱环节，优化能效降低 PUE。



图1 数据中心垂直制冷能效控制系统示意图

六、主要技术指标

1.采集精度：数据采集底层架构性能优越，采用嵌入式开源架构，监控测点并发处理数 >500 万，故障精准定位时间 $<2s$ ，复杂报表查询时间 $<5s$ ；

2.控制精度：实现垂直制冷控制可提升数据中心冷热通道温湿度控制精度至 $\pm 0.2^{\circ}\text{C}$ ；

3.节能指标：实现制冷系统整体年节电率 $15\sim 30\%$ ，数据中心PUE降低 $5\sim 15\%$ 。

七、技术鉴定及获奖情况

该技术已获得国家发明专利1项，实用新型专利7项，软件著作权1项。2016年通过了由四川省科技厅组织的科技成果鉴定；2018年获得SGS技术评定；2019年入选工信部《绿色数据中心先进适用技术产品目录（2019）》，同年入选中国电子学会《电子行业节能减排先进适用技术产品推荐目录（2019）》。

八、典型用户及投资效益

典型用户：北京中金云网亦庄数据中心、鹏博士北京酒仙桥数据

中心、光环新网北京房山数据中心、中国电信东莞樟木头数据中心、北京企商在线亦庄数据中心、多联元孙河数据中心。

典型案例 1

案例名称：北京中金云网亦庄数据中心制冷系统节能改造项目

建设规模：数据中心空调系统冷冻站额定制冷量 8000 冷吨，精密空调数量 400 台。项目通过建立垂直制冷能效控制系统。建设条件：数据中心已投入运营。主要建设内容：对 400 台精密空调增加精密空调能效控制器，对精密空调风机和表冷器水阀进行优化控制；对机房气流组织进行优化调试，解决机房热点或气流短路问题。主要设备：数据中心垂直制冷能效控制系统软、硬件。项目总投资 628 万元，建设期为 3 个月。年节约制冷系统用电量 700 万 kWh，年碳减排量 4270tCO₂，碳减排成本为 90~110 元/tCO₂。年经济效益 320 万元，投资回收期约 2 年。

典型案例 2

案例名称：鹏博士北京酒仙桥数据中心制冷系统节能改造项目

建设规模：数据中心冷源分为东、西两个冷冻站，共设有 8 套制冷单元（3 大 1 小），冷源总额定制冷量 9715 冷吨。该数据中心设有 45 个服务器模块间，共有 368 台精密空调。建设条件：数据中心已投入运营。主要建设内容：项目通过建立垂直制冷能效控制系统，将制冷主机、水泵、电动阀门、精密空调等纳入控制系统，实现冷量按需供给，提高设备运行效率；对 368 台精密空调增加精密空调能效控制器，对精密空调风机和表冷器水阀进行优化控制；对机房气流组织进行优

化调试，解决机房热点或气流短路问题。主要设备：数据中心垂直制冷能效控制系统软、硬件。项目总投资 523 万元，建设期为 3.5 个月。年节约制冷系统用电量 252 万 kWh，年碳减排量 1540tCO₂，碳减排成本为 210~230 元/tCO₂。年经济效益 174 万元，投资回收期约 3 年。

九、推广前景和减排潜力

预计未来 5 年，该技术预期推广比例将达到 5%，项目总投资 15 亿元，可形成的年碳减排能力约 55 万 tCO₂。

20 双系统互备机柜热管背板空调末端节能技术

一、技术名称：双系统互备机柜热管背板空调末端节能技术

二、技术类别：减碳技术

三、所属领域及适用范围：信息产业 数据中心空调系统

四、该技术应用现状及产业化情况

目前，国内数据中心大多数还采用传统的“精密空调+地板下送风”的封闭冷通道制冷方式，由于送风距离远仅能实现对机房环境进行冷却，存在换热效率低、空调能耗大等问题，难以满足高热密度机房的技术要求，容易产生局部热点和机房热岛效应。双系统互备机柜热管背板空调末端节能技术是一种直接针对发热量大的机柜及设备进行机柜级制冷技术，可以大大降低机房能耗。目前，该技术已在国内三大通讯运营商、国家电网、政府、企业的新机房建设项目及老旧机房的节能改造项目中得到规模化应用。

五、技术内容

1.技术原理

双系统互备机柜热管背板空调末端节能技术是一种利用工质相变（气/液态转变）实现热量快速传递的新型制冷技术。该技术通过温差及自然重力驱动制冷工质在热管系统内实现封闭的相变循环，将机柜内IT设备的热量排出机房，并根据散热需求在外部配备空冷或冷水系统。该技术可实现机柜级精确按需制冷，综合能效比为6~10，末端能效比最高达100，可实现机房PUE值1.30以下。与精密空调制冷技术相

比，具有高换热效率、高可靠性、高空间利用率和低能耗等特点。

2.关键技术

（1）机柜热管背板散热技术

将热管背板蒸发器靠近热源，提高换热效率，解决机柜局部“热岛”问题。工质依靠重力实现自然对流循环，可有效降低机房制冷能耗。

（2）单翅片双盘管冷负荷冗余技术

机柜端采用双盘管热管散热器，与冷却端对应的换热器连接，形成两套独立的热管循环，既提高了制冷量的冗余性、安全性，又不会因为双系统而增加换热器的风阻。

（3）软连接管双锁及保护套设计技术

避免软连接管在热管开/关门时产生不规则变形，解决软管损坏带来的系统漏氟和不制冷的技术难题。

（4）机柜热管背板监控技术

通过自主开发的机柜热管背板监控系统，可实现机柜级动力环境监控和管理功能。

3.工艺流程



图 1 热管背板工艺流程图

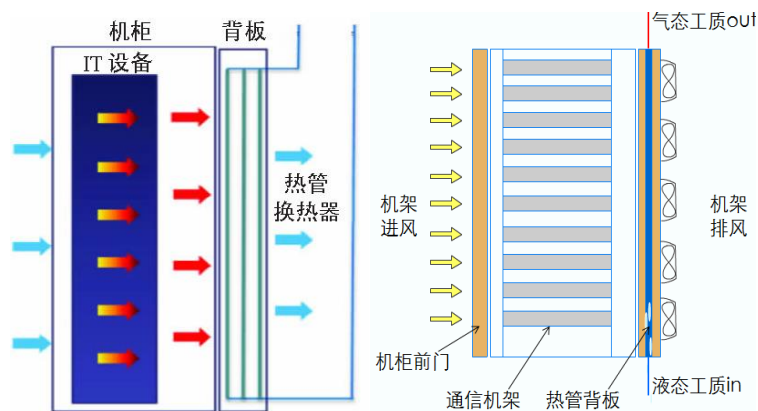


图 2 热管背板空调末端原理图

六、主要技术指标

1. 单背板末端空调制冷能力：3~25kW；
2. 单背板末端空调风量：1000~5000m³/h；
3. 单背板末端空调功耗：50~250W；
4. 单背板末端空调噪声：60~65dB（A）；
5. 单背板末端能效比*：60~100。

*末端能效比 COP=末端制冷量/输入功率

七、技术鉴定及获奖情况

该技术已获得国家发明专利 1 项，实用新型专利 6 项，软件著作权 2 项。2017 年通过了四川省科技成果鉴定及新产品鉴定；2019 年入选工信部《绿色数据中心先进适用技术产品目录（2019）》。

八、典型用户及投资效益

典型用户：中国移动通信集团贵州有限公司、中国电信股份有限公司重庆分公司

典型案例 1

案例名称：中国移动贵安数据中心空调设备采购项目

建设规模：应用 638 台热管背板空调。建设条件：共启用 36 个模块数据机房及 9 个电池电力室机房，空调冷负荷需求约 12845kW。主要内容：应用热管背板空调（制冷能力 6.5kW）638 台，150kW 水氟换热器 24 台，75kW 水氟换热器 8 台，机柜热管背板监控系统 6 套。主要设备：热管背板空调、水氟换热器、机柜热管背板监控系统。项目总投资 736 万元，建设期为 2 个月。年碳减排量 1710tCO₂，碳减排成本为 270~290 元/tCO₂。年经济效益 280 万元，投资回收期约 2.6 年。

典型案例 2

案例名称：中国电信云计算重庆基地项目

建设规模：应用 302 台热管背板空调。建设条件：案例地点位于中国电信云计算重庆基地南 4 楼机房，机房内已建设有设备并已投入运营，项目施工不应影响机房内现有设备的正常运行。主要内容：应用热管背板空调（制冷量 10kW）75 套，热管背板空调（制冷量 5kW）227 套。主要设备：热管背板空调、机柜、机柜热管背板监控系统。项目总投资 550 万元，建设期为 2 个月。年碳减排量 810tCO₂，碳减排成本约 440~460 元/tCO₂。年经济效益 133 万元，投资回收期约 4 年。

九、推广前景和减排潜力

随着我国信息产业的发展，该技术以其广泛适用性，在数据中心机房应用前景将更加广阔。预计未来 5 年，该技术在行业内的推广比例将达到 5%，可实现推广应用 75000 台，项目总投资 9 亿元，可形成的年碳减排能力约为 20 万 tCO₂。

21 10kV 交流输入直流不间断电源技术

一、技术名称：10kV 交流输入直流不间断电源技术

二、技术类别：减碳技术

三、所属领域及适用范围：信息行业 通信领域，数据中心技术供电

四、该技术应用现状及产业化情况

中国数据中心年均增长率已经连续 8 年超过 12%，预计到 2023 年总耗电量将达到 2962 亿千瓦时。据 ODCC 统计，我国现存数据中心 PUE 值在 1.6~2 之间，而对于大型及超大型数据中心，配电部分在 PUE 值中为 0.1 左右，仍有一定的节能空间。10kV 交流输入直流不间断电源通过技术革新，减少 66%的配电环节，最高运行效率相比传统方式提高 2%，全工况综合效率提高 4%以上，可直接降低 PUE 值 0.04 左右。目前，该技术在中国移动、中国联通、阿里巴巴、腾讯等通信运营商和互联网企业累计应用 50 台，应用效果良好。

五、技术内容

1.技术原理

10kV交流输入的直流不间断电源是直流不间断电源技术的迭代与发展，主要从供配电链路和整流模块拓扑两个维度对原有系统进行优化设计，通过整合优化减少了配单系统66%的冗余，提高了系统效率。首先，将原有配电链路中的中压隔离柜、变压器柜、低压配电柜组、HVDC柜优化为一套10kV交流输入直流不间断电源，通过供配电链路4合1，降低中间环节供电损耗；其次将传统的HVDC模块拓扑优化为三

相不控整流和Buck调压两个环节，借助整流模块拓扑5变2，实现功率密度从 $1.8\text{W}/\text{cm}^3$ 提升到 $3.6\text{W}/\text{cm}^3$ ，不仅降低电源成本，还可提升系统效率和可靠性。

2.关键技术

（1）移相交错并联拓扑及其均流控制技术

移相交错并联拓扑通过电路叠加复用，减小了输出电流的波动，提高了系统稳定性，提升模块效率达98%以上；均流控制技术实现了多个模块间的均流控制，降低了系统环流，提高了系统的可靠性。

（2）多磁路耦合的低阻抗比变压器设计技术

提出一种多磁路耦合的低阻抗比变压器设计技术，可以在34绕组的变压器中实现多绕组的均衡阻抗比，并控制所有绕组的阻抗比在10%以内。

（3）多保护策略叠加、复杂能流模式下的交直流一体化监控技术

提出一种考虑多绕组序网电流的多保护策略叠加、复杂能流模式下的交直流一体化监控技术，通过对多能流拓扑的傅里叶分析和保护判据，保障整个系统的可靠性。

3.工艺流程



图 1 10kV 交流输入的直流不间断电源工艺流程图

六、主要技术指标

1.10kV 交流输入的直流不间断电源模块最高效率 $>98\%$ ，10~100% 负载率下效率 $>97\%$ ；

2.10kV 交流输入的直流不间断电源模块最大功率 $>30\text{kW}$ ，功率密度 $>3.6\text{W}/\text{cm}^3$ ；

3.10kV 交流输入的直流不间断电源整机效率 $>97.5\%$ ；

4.10kV 交流输入的直流不间断电源满载 $\text{THDi}<4\%$ 。

七、技术鉴定及获奖情况

目前，已在中国泰尔实验室完成效率对比测试，10kV 交流输入直流不间断电源模块与传统通信用 240V 直流供电模块相比，节能达 2.2~4.9%。

八、典型用户及投资效益

典型用户：中国移动、中国联通、阿里巴巴、腾讯公司等。

典型案例 1

案例名称：阿里云计算有限公司南通基地项目 10kV 交流输入直流不间断电源灰度示范楼

建设规模：四层楼结构，建筑面积 2 万 m^2 ，外市电容量 40MW，可用电力 20MW，建筑结构为整体预制的标准化设计，制冷模块和供电模块全部为标准化设计，供电为自建 110kV 变电站。建设条件：新建项目，4 路 10kV 外市电。主要内容：设计机柜功率 12kW，机柜 1000 个。一楼为整体制冷及辅助配电区域，二三四楼为 IT 及配电区域，全楼共有 6 个 IT 机房，配电区域与 IT 机房一一对应，模块化布置。主要设备：全楼共采用 1.2MW10kV 交流输入的直流不间断电源 18 台，采用 DR 架构配置。项目总投资 2 亿元（其中电源 2000 万元），建设期为 18 个月。年碳减排量 2570tCO₂，碳减排成本为 510~530 元/tCO₂。年经济效益 295 万元，投资回收期 2 年。

典型案例 2

案例名称：中国移动集团浙江有限公司浙中、浙东产业园项目

建设规模：浙中产业园应用 10 台，浙东产业园应用 8 台，每栋楼四层，建筑面积 2 万 m^2 ，可用电力 26MW，制冷模块和供电模块全部为标准化设计。建设条件：新建项目，4 路 10kV 外市电。主要内容：一楼为整体制冷及辅助配电区域，二三四楼为 IT 及配电区域，配电区域与 IT 机房一一对应，模块化布置。主要设备：全楼共采用 1.8MW、10kV 交流输入的直流不间断电源 18 台，全部采用 2N 架构配置。项目总投资 5 亿元，建设期为 20 个月。年碳减排量 2730tCO₂，碳减排成本为 510~530 元/tCO₂。年经济效益 313 万元，投资回收期 3 年。

九、推广前景和减排潜力

该技术是一种数据中心新型供电技术，未来在互联网及运营商数

据中心推广前景广阔。预计未来 5 年，该技术预期推广比例将达到 10%，项目总投资 500 亿元，其中电源设备投资约为 50 亿元，可形成的年碳减排能力约为 70 万 tCO₂。

二、非化石能源类技术

22 塔式太阳能光热发电技术

一、技术名称：塔式太阳能光热发电技术

二、技术类别：零碳技术

三、所属领域及适用范围：可再生能源 光热发电领域

四、该技术应用现状及产业化情况

光热发电因自带储热系统，可作为基荷电源，使电力系统彻底摆脱对化石能源的依赖，还可与风电、光伏等混合发电实现多能互补，减少弃风弃光，解决环境污染、能源短缺问题。但长期以来一直存在造价高、稳定性低等问题，致使行业发展缓慢。该技术基于系统关键技术的突破，实现了核心设备的国产化，可为光热电站建设提供成熟、可靠的解决方案，有效提升光热发电系统的稳定性和经济性，关键指标达到国际领先水平。2013 年，利用该技术建成青海德令哈 10MW 塔式熔盐储能光热电站，成为我国首座商业化运营的光热电站。目前，该技术已在青海中控太阳能德令哈 50MW 塔式熔盐储能光热发电、中电建青海共和 50MW 塔式熔盐储能光热电站等多个塔式光热电站中推广应用，效果良好。

五、技术内容

1.技术原理

塔式太阳能热发电技术通过驱动排列有序的大规模定日镜实时跟

踪太阳，将太阳光聚焦到位于高塔顶部的吸热器，通过高温熔盐储存热能，并加热工质产生高温高压蒸汽，通过汽轮机带动发电机发电，实现“光能-热能-机械能-电能”的转化。该技术通过规模化定日镜集群高精度协同聚光、安全可靠的大容量低成本熔盐储能、高温吸热器的网格化能量协调控制的关键技术，可解决光热电站的定日镜聚光精度、可靠性及稳定性等问题，为光热发电行业提供更优的解决方案。

2.关键技术

（1）规模化定日镜集群高精度协同聚光技术

研发了自主动态跟踪、精度自校正功能的智能定日镜装备；开发了机器视觉的定日镜偏差检测、最优参数拟合校正算法和定日镜集群协同控制系统，实现数万亩定日镜集群大规模、高精度聚光集热。

（2）适用于太阳能热发电的安全可靠、大容量低成本储能技术

研发了温度可控的预热缓冲熔盐储罐进盐方法与液态熔盐存储设备的工艺技术，实现了 565°C 高温、5000m³级熔盐大容量安全储能；开发了高参数、大范围、快速变负荷换热系统，实现比传统火电更优的负荷调节深度和速度。

（3）高温吸热器与大规模镜场之间能量网格化动态协调控制方法

研发了大规模镜场定日镜光斑的投射策略，实现了吸热器表面能量的均匀化和温度变化的精准控制，防止吸热器出现超温或欠温现象。

3.工艺流程

塔式太阳能光热发电技术的发电工艺流程如图 1 所示。



图 1 塔式太阳能热发电流程图

六、主要技术指标

- 1.单位年采光面积发电量 $\geq 260\text{kWh}/(\text{m}^2\cdot\text{a})$;
- 2.镜场定日镜年平均跟踪准确度 $\leq 3\text{mrad}$;
- 3.设计工况光电转换效率 22%。

七、技术鉴定及获奖情况

该技术已获得国家发明专利 75 项，实用新型专利 52 项。软件著作权 22 项。2016 年通过中国科学院电工研究所的测定太阳定日镜跟踪鉴定，并荣获青海省科学技术奖励一等奖；2019 年，荣获浙江省技术发明奖一等奖、青海省科学技术奖励二等奖。

八、典型用户及投资效益

典型用户：浙江中光新能源有限公司、中国电力建设集团等

典型案例 1

案例名称：青海中控太阳能德令哈 50MW 塔式熔盐储能光热电站

建设规模：采用其自主研发的熔盐塔式太阳能热发电技术，装机容量 50MW。建设条件：戈壁荒漠等国有未利用地，光资源较好 ($\text{DNI} \geq 1700\text{kWh}/\text{m}^2$)。主要建设内容：镜场采光面积 542700m^2 ，配置

7 小时熔盐储能系统等。主要设备：镜场由 27135 台 20m^2 的定日镜组成，吸热器和吸热塔各 1 座，高低温储罐各 1 套，蒸汽发生系统 1 套，汽轮机和发电机 1 套。项目总投资 11.3 亿元，建设期为 21 个月；设计年发电量 1.46 亿度，年碳减排量 9 万 tCO_2 ，碳减排成本为 510~530 元/ tCO_2 。年经济效益 1 亿元，投资回收期约 11 年。

典型案例 2

案例名称：中电建西勘院青海共和 50MW 塔式熔盐储能光热电站

建设规模：采用其自主研发的熔盐塔式太阳能热发电技术，装机容量 50MW。建设条件：戈壁荒漠等国有未利用地，光资源较好（ $\text{DNI} \geq 1700\text{kWh/m}^2$ ）。主要建设内容：镜场采光面积 600320m^2 ，配置 6 小时熔盐储能系统等。主要设备：镜场由 30016 台 20m^2 的定日镜组成，吸热器和吸热塔各 1 座，高低温储罐各 1 套，蒸汽发生系统 1 套，汽轮机和发电机 1 套。项目总投资 12 亿元，建设期为 21 个月；设计年发电量 1.57 亿度，年碳减排量 9.6 万 tCO_2 ，碳减排成本为 510~530 元/ tCO_2 。年经济效益 1.1 亿元，投资回收期约 11 年。

九、推广前景和减排潜力

预计未来 5 年，该技术可预期推广比例将达到 5%，累计装机容量 1385MW，年发电量 40 亿度，项目总投资 300 亿元，可形成的年碳减排能力约为 244 万 tCO_2 。

23 高效 P 型 PERC 单晶太阳能电池及组件制造与应用技术

一、技术名称：高效 P 型 PERC 单晶太阳能电池及组件制造与应用技术

二、技术类别：零碳技术

三、所属领域及适用范围：可再生能源 太阳能光伏发电

四、该技术应用现状及产业化情况

中国作为全球最大的光伏产品制造国和应用国，截至 2019 年底，光伏发电装机总量超过 204GW，约占全球光伏发电装机总量的 33%左右。2015 年以前，太阳能电池以传统多晶 BSF（铝背场）技术为主，电池光电转换效率 18%左右。2015 年以后，随着国家领跑者项目的驱动，高效产品逐渐成为主导，传统多晶 BSF 产品已经不能满足相关项目的技术要求。PERC 是一种新型太阳能电池制造技术，它通过沉积钝化层，有效提升了电池转换效率，目前可实现电池光电转化效率 22.5%~23%，预计未来 PERC 电池光电转化效率可达 24%以上。同时，PERC 技术可应用现有 BSF 产线，通过简单改造实现 PERC 产品的生产。该技术对扩大光伏发电企业盈利能力、实现光伏平价上网具有重要的推动作用，目前已在国家电力投资集团、中国华电集团、中国华能集团、中国三峡集团、中国节能环保集团、国家电网、南方电网等多家新能源企业广泛应用。

五、技术内容

1.技术原理

PERC 技术通过在电池背面沉积 Al_2O_3 钝化层来降低电池背表面载流子复合量，从而提升电池光电转换效率。同时，该技术在电池端通过采用 SE 和 MBB 技术，进一步提升电池转换效率；在组件端采用半片电池封装技术，不仅提升组件功率，还有效降低组件的工作温度，并使组件具备非常出色的耐阴影遮挡性能。PERC 技术生产的电池和组件不仅具备高转换效率，还具备出色的发电能力（高温、弱光）和可靠性（LID 和 PID），对推动我国光伏产业高质量发展意义重大。

2.关键技术

（1）钝化发射极背接触技术（PERC）

钝化发射极背接触技术通过降低背表面复合速率，大幅提升电池的光电转换效率。

（2）选择性发射极技术（SE）

在金属栅线与硅片接触部位及其附近进行高浓度掺杂，而在电极以外的区域进行低浓度掺杂。通过差异化掺杂可有效降低硅片和电极之间的接触电阻，进而提高转换效率。

（3）多主栅技术（MBB）

通过采用圆形焊带降低电池遮挡面积，将更多光线反射到电池表面。同时，栅线数量的增加还可以提升电池收集电流的能力，提升产品转换效率。另外，MBB 的应用还可以有效降低电池隐裂风险。

（4）半片电池技术

电池切半是目前提升组件功率和性能表现的关键手段。通过将组件内部电流减少至整片的一半，降低内阻热损失和电流失配损失，可

提升组件功率 5~8W。同时还可以有效降低组件的工作温度，并具备非常出色的耐阴影遮挡性能。

3. 工艺流程

PERC 电池和光伏组件工艺流程如图 1 和图 2 所示。

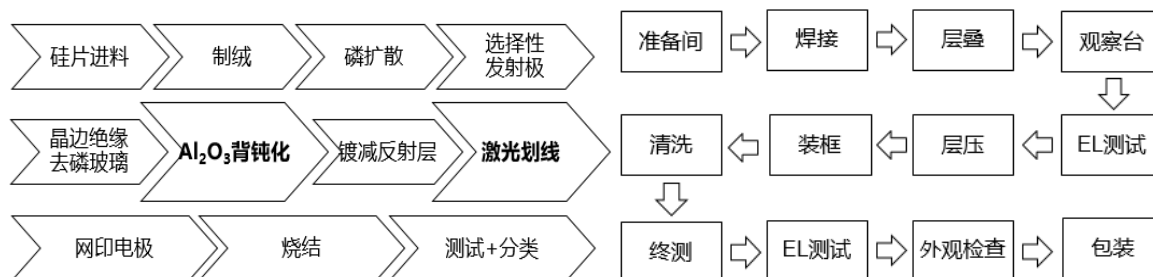


图 1 PERC 电池工艺流程图

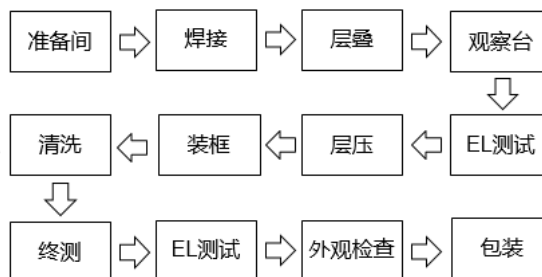


图 2 光伏组件工艺流程图

六、主要技术指标

P 型 PERC 单晶太阳能电池及组件主要技术指标：

1. PERC 电池最大转换效率：23%；
2. 60-cell 版型组件功率：340W/345W（158.75mm 硅片）；
- 72-cell 版型组件功率：410W/415W（158.75mm 硅片）。

七、技术鉴定及获奖情况

该技术已获得国家发明专利 6 项，实用新型专利 2 项。2016 年荣获全球权威研究机构 EuPD Research 授予的“欧洲顶级光伏品牌”称号；至 2019 年，连续 4 次获得 DNV GL 与 PVEL 联合发布的光伏组件可靠性记分卡“最佳表现企业”称号；2019 年获得中国质量认证中心授予的“户外发电能力 1 级证书”。

八、典型用户及投资效益

典型用户：国家电力投资集团、中国民生投资集团、中国节能环保集团、中国华电集团、中国华能集团、中国大唐集团、国家能源集团、

国家电网、南方电网、中国电建集团、中国能建集团、中国三峡集团、中广核集团等。

典型案例 1

案例名称：黄河水电青海共和光伏地面电站

建设规模：项目装机容量 100MW。建设条件：项目位于青海省共和县光伏产业园，地势平坦，交通相对便利。主要内容：项目采用固定支架和平单轴跟踪支架安装方式，光伏组件输出直流电后通过逆变器转换成交流电，然后通过变压器升压外送。主要设备：50kW 组串型逆变器 2000 台，1000kVA 箱变两台，1250kVA 箱变 76 台，1600kVA 箱变 2 台。项目总投资 58000 万元，建设期为 6 个月。年碳减排量 12.5 万 tCO₂，碳减排成本为 170~190 元/tCO₂。年经济效益 7733 万元，投资回收期约 7.5 年。

典型案例 2

案例名称：宁夏中民投盐池 200 兆瓦竞价光伏项目

建设规模：项目装机容量 200MW。建设条件：项目位于中民投宁夏（盐池）新能源综合示范区，地势平坦，交通相对便利。主要内容：光伏组件通过支架安装，输出直流电后通过逆变器转换成交流电，然后通过变压器升压外送。主要设备：逆变器，箱式变压器。项目总投资 70000 万元，建设期为 6 个月。年碳减排量 23 万 tCO₂，碳减排成本为 110~130 元/tCO₂。年经济效益 9000 万元，投资回收期约 8 年。

九、推广前景和减排潜力

预计未来 5 年，PERC 组件市场占有率将达到 50%左右，项目总

投资 6990 亿元，可形成的年碳减排能力约为 21000 万 tCO₂。

24 基于物联网控制的储能式多能互补高效清洁供热技术

一、技术名称：基于物联网控制的储能式多能互补高效清洁供热技术

二、技术类别：零碳技术

三、所属领域及适用范围：可再生能源 太阳能供热

四、该技术应用现状及产业化情况

近年来，为防治大气污染，我国大力推进散煤治理，以保障北方地区冬季清洁取暖为重点，多措并举、稳步推进“煤改气”“煤改电”工作，并取得了明显的大气治理效果。但由于缺乏经济可行性，因取暖成本高而导致各地“返煤”现象频发。基于物联网控制的储能式多能互补高效清洁供热技术，是一种利用太阳能和热泵实现“阶梯”供热的技术，不仅可满足各类供热需求，而且借助太阳能和储能设施大幅降低传统能源消耗，实现清洁供暖。该技术具有热利用效率高、安全系数高、稳定性和持续性强、耗能低、用电成本少等优点，并且具有较好的经济和环境效益。目前，该技术已在北京、山西、河北、内蒙等地 30 多个清洁供暖项目上推广应用，累计供热面积达到 100 万 m^2 ，应用效果良好。

五、技术内容

1. 技术原理

该技术是一种以太阳能为主热源，以热泵为辅助热源，耦合储热装置，适用于各类地区供暖系统的供热技术。该技术通过高效抗冻真空聚能太阳能集热器把太阳能转换成热能并储存在储能装置内，采用智能控制、远程控制、远程诊断等物联网技术，将热能通过管网输送到用热末端，可供冬季采暖、夏季制冷、全年生活用热水。此外，该技术

通过工艺技术集成和生产过程优化，降低了用电成本，综合能效比（COP）最高可达12.77，具有良好的经济和社会效益。

2.关键技术

（1）高效抗冻真空聚能太阳能集热器制造技术

集热管具有吸热比高、发射比低等特点，可有效收集多种波段太阳光的热量，并能大幅度提高光热转换效率到67%以上。

（2）高效相变储能材料应用技术

该材料相变温度为35°C~70°C，相变潜热620kJ/L，具有良好的热传导性（617W/m.k）和稳定蓄放热性能，长期使用无衰减。

（3）太阳能自动回流储存技术

通过智能软件控制策略，将集热器及室外管道的水按照时间段和温度两个维度进行自动回流到储热装置，解决了传统技术的太阳能不能储存，白天收集、夜晚散失的瓶颈问题。

（4）多能互补系统耦合技术

除可以采用热泵为辅助热源外，还可以因地制宜选择生物质锅炉、天然气锅炉、管道壁挂炉等作为辅助热源。

（5）智能物联网大数据管理服务平台应用技术

构建智能物联网大数据管理服务平台系统，包括用户侧设备本地自动化控制、远程监控监测及在线预警、能耗评估诊断系统3个子系统平台。

3.工艺流程

基于物联网控制的储能式多能互补高效清洁供热技术工艺流程见图1。

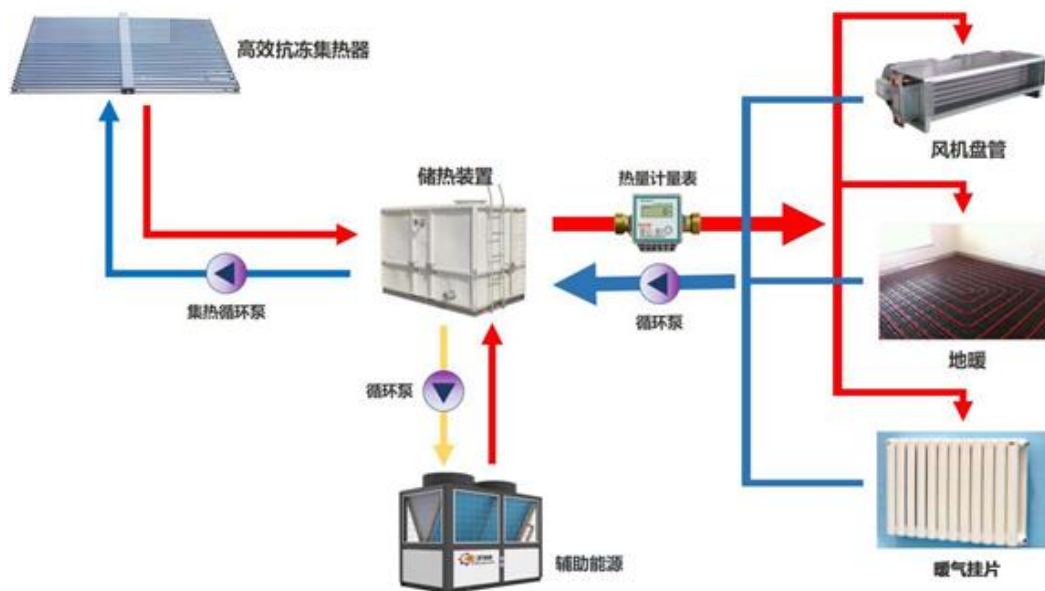


图 1. 基于物联网控制的储能式多能互补高效清洁供热技术工艺流程

六、主要技术指标

1. 当太阳辐照量 $HLa \geq 17.0 \text{ MJ/m}^2$ 时

室外平均温度在 $-30^\circ\text{C} \leq t_a \leq -15^\circ\text{C}$ 之间， $\text{COP} \geq 9.0$;

室外平均温度在 $-15^\circ\text{C} < t_a \leq 15^\circ\text{C}$ 之间， $\text{COP} \geq 12.0$;

2. 节电率 75%~90%以上（纯电供热对比）;

3. 单位面积日均耗电量 $0.069 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{d}) \sim 0.16 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ 。

七、技术鉴定及获奖情况

该技术已经获得国家发明专利 4 项，实用新型专利 15 项。2019 年入选工信部《国家工业节能技术装备推荐目录（2019）》，并入选住建部《工业化建筑标准化部品与构建产品信息咨询单位（2019）》；2020 年 4 月，通过中国机械工业联合会组织的科技成果鉴定。

八、典型用户及投资效益

典型用户：山西省阳曲县北小店乡政府、山西阳曲县杨兴乡政府

典型案例 1

案例名称：山西省阳曲县北小店乡政府供热改造项目

建设规模：2100m²建筑面积供暖。建设条件：老旧建筑办公楼无外墙保温；年辐射总量每年 4200MJ/m² 以上。主要内容：替代 0.7MW 电锅炉对 2100m² 建筑进行供热，采暖季室内温度保持在 18℃~24℃之间。主要设备：真空集热器、PLC 智控远程系统（包括传感器系统）、组合式储能装置、超低温空气源热泵、应急备用电锅炉、管路系统及附件、膨胀罐、散热（冷）末端、排气管口、循环及驱动泵、水流控制阀等。项目总投资 115.5 万元，建设期为 1 个月；年碳减排量 270tCO₂/a，碳减排成本为 210~230 元/tCO₂。年经济效益 28.5 万元，投资回收期为 2.5 年。

典型案例 2

案例名称：山西阳曲县杨兴乡供暖改造项目

建设规模：1900m²建筑面积供暖；建设条件：老旧建筑办公楼有外墙保温；年辐射总量每年 4200MJ/m² 以上；主要内容：对 1000m² 的三层砖混结构政府办公楼和 900m² 的职工宿舍进行供暖，保证库房、卫生间温度保持在 14℃~16℃，其余室内温度保持在 18℃左右恒温；主要设备：真空集热器、PLC 智控远程系统（包括传感器系统）、组合式储能装置、超低温空气源热泵、电锅炉、管路、泵与阀等。项目总投资 104.5 万元，建设期为 1 个月。年碳减排量 240tCO₂/a，碳减排成本为 210~230 元/tCO₂。年经济效益 25.8 万元，投资回收期为 2.5 年。

九、推广前景和减排潜力

预计未来 5 年，该技术在清洁供暖领域的推广应用比例将达到 30%，

总供暖面积约 3000 万 m^2 ，项目总投资 90 亿元，可形成的年碳减排能力为 190 万 tCO_2 。

25 基于真空管换热储能式热泵供热技术

一、技术名称：基于真空管换热储能式热泵供热技术

二、技术类别：零碳技术

三、所属领域及适用范围：可再生能源 建筑供热领域

四、该技术应用现状及产业化情况

近年来，我国大力推进清洁取暖工作，散煤治理取得良好的进展，但高寒偏远地区冬季取暖依然缺乏行之有效的方案。我国北方中小城镇建筑体形系数大、建筑密度低、太阳能资源较好，但传统的太阳能集热器是以水为换热介质，存在低温环境容易冻裂、泄露、锈蚀等问题，难以从根本上解决供热问题。基于真空管换热储能式热泵供热技术是一种将太阳能、储能和热泵融为一体新型供热技术，既解决了寒冷地区热泵供热难的问题，又解决了太阳能利用的周期性问题，可为北方地区分散供热提供一套经济可行的综合解决方案。目前，该技术产品已经在四川、西藏、新疆、宁夏等地多个清洁供暖项目上推广应用，应用建筑类型包括边防哨所、站房、民用住宅、综合性办公楼以及农业大棚温室等，累计供暖面积超过 1000 万 m^2 。

五、技术内容

1. 技术原理

该技术集相变蓄能技术、空气式太阳能集热技术和热泵技术于一体。太阳能集热器吸收太阳辐射热，并通过其内置的高效蓄能核芯直接原位贮存，可以在晚间利用白天积蓄的热量；蓄能核芯作为热源经空气与热泵机组实现换热，由于冷/热源温差变小，能大幅提高热泵供

热系数。当太阳能不足时，热泵主机引入室外空气，开启双级复叠增功功能，确保不同工况高效供暖。同时，该技术产品可在夏季作为空调进行制冷，进一步提高项目的经济性。

2.关键技术

(1) 真空集热管尾部通风设计技术。采用太阳能真空集热管尾部通风设计，实现集热管双向导通；以相变蓄热材料代替“水”贮存热量，可直接用于加热空气介质。

(2) 高效储热材料设计技术。研发并采用了高蓄能密度、高热传导性、无毒无害环保型的相变蓄热材料，贮能密度为 410MJ/m^3 ，是水蓄热能力的 5 倍以上。

(3) 双级复叠机增功技术。热泵主机采用双级复叠机增功技术，可实现太阳能和热泵机组联合双驱供暖，零下 35°C 仍可实现较高制热系数。

3.工艺流程

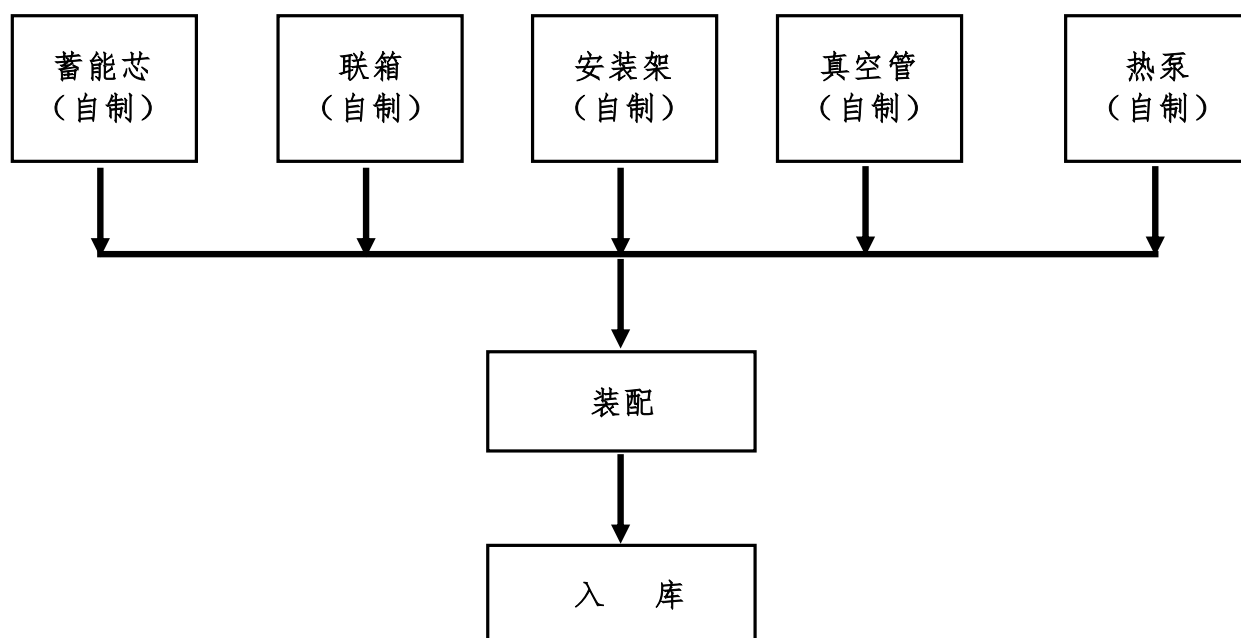


图 1 储能式热泵工艺流程图

六、主要技术指标

1. 热泵机组设计出水温度最高 60℃，名义工况 COP 大于 3；
2. 真空管镀膜采用干涉膜工艺，吸收率大于 90%，散射率低于 6%；
3. 空晒温度 $\geq 280^{\circ}\text{C}$ 、最低运行温度 -40°C ；
4. 真空管真空度 $< 5.0 \times 10^{-3}\text{Pa}$ 。

七、技术鉴定及获奖情况

该技术已获得国家发明专利 1 项，实用新型专利 6 项，外观专利 1 项，国际 PCT 发明专利 1 项。参与编制“太阳能供热采暖工程技术”国家标准 1 项，参与编制中国电力企业联合会行业标准 1 项。2019 年，该技术获得由国家建筑节能质量监督检验中心出具的性能检验报告。

八、典型用户及投资效益

典型用户：青海省玉树州称多县拉布寺、内蒙古通辽科左中旗花胡硕加油站等

典型案例 1

案例名称：青海省玉树州称多县拉布寺太阳能热泵供暖系统工程

建设规模：该项目包含活佛住所和两栋住宅楼，总建筑面积为 5525.2m²。建设条件：最低温度大于 -35°C 。主要建设内容：将原有电锅炉替换为太阳能热泵系统。主要设备：太阳能集热器 28 台，热泵 7 台。项目总投资 60 万元，建设期为 3 个月。年碳减排量 680tCO₂，碳减排成本为 60~80 元/tCO₂。年经济效益 15 万元，投资回收期约 4 年。

典型案例 2

案例名称：内蒙古通辽科左中旗花胡硕加油站太阳能采暖系统工

程项目

建设规模：该项目为单层建筑，钢混结构，总建筑面积为 260.1m^2 ，总供暖面积为 231.2m^2 。建设条件：最低温度大于 -35°C 。主要内容：将原有电锅炉替换为太阳能热泵系统。主要设备：太阳能集热器 12 台，热泵 1 台。项目总投资 12.7 万元，建设期为 1 个月。年碳减排量 26tCO_2 ，碳减排成本为 $320\sim 340$ 元/ tCO_2 。年经济效益 4 万元，投资回收期约 3 年。

九、推广前景和减排潜力

预计未来 5 年，该技术预期推广比例将达到 10%，项目总投资 12 亿元，可形成的年碳减排能力约 80 万 tCO_2 。

三、燃料及原材料替代类技术

26 电解铝预焙阳极纳米陶瓷基高温防氧化涂层保护技术

一、技术名称：电解铝预焙阳极纳米陶瓷基高温防氧化涂层保护技术

二、技术类别：减碳技术

三、所属领域及适用范围：有色金属行业 电解铝预焙阳极高温防氧化

四、该技术应用现状及产业化情况

工业生产金属铝采用的是冰晶石和氧化铝熔盐电解法，阳极材料为碳素材料，阳极的消耗是电解铝主要碳排放源之一，降低碳素阳极消耗和碳排放一直是困扰行业发展的难题。使用纳米陶瓷基高温防氧化涂层保护技术可对碳素阳极炭块起到防氧化保护作用，从而达到吨铝碳素阳极降耗 15kg/t-Al，能有效解决这一行业难题。目前，该技术已在我国山东魏桥集团、黄河鑫业有限公司、广西华磊新材料有限公司等近十家大型电解铝企业成功应用，累计使用该技术产品的电解铝产能约 170 万吨。

五、技术内容

1.技术原理

纳米陶瓷基高温防氧化涂层材料是根据铝电解槽内高温、高浓度 CO_2 和腐蚀性气体环境以及电解质体系特性而开发的防氧化、无污染材料。通过喷涂方式将涂层材料喷涂在电解铝预焙阳极炭块侧表面，可阻止周围空气、 CO_2 和电解质蒸汽对阳极炭块的侵蚀，实现炭块的隔绝保护，同时也可以降低阳极炭块四周氧化掉渣。在恒定的电流强度下，

与不用涂层的阳极相比，阳极炭块的消耗速率降低，使用寿命延长，从而降低吨铝炭耗、CO₂排放和含氟危险废物炭渣量。同时，还可以在在一定程度上降低电解质电阻，改善电解槽情况，降低电耗。

2.关键技术

（1）常温成膜固化技术

采用由甲基纤维素组成的特定质量比的成膜相和由硅烷偶联剂、铝酸脂偶联剂组成的特定质量比的稳定相，分别用于陶瓷基补强相、陶瓷基连续相的表面改性。在常温状态下，可使涂料喷涂于物体表面后快速成膜固化，避免了喷涂液的垂直流动，使膜层厚薄均匀。

（2）低温致密烧结陶瓷化技术

采用由特定质量比的 $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ 和 $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ 混合作为陶瓷基连续相，由特定质量比的云母粉、钾长石粉、稀土材料作为陶瓷基连续催化相，经 400℃ 烧结后，使涂层材料致密陶瓷化。

（3）涂层材料与碳素材料附着力提升技术

采用由特定质量比的碱及碱土金属作为辅助催化相，附加一定质量比的煅烧硅藻土、蒙脱土组成作为陶瓷基补强相，以提升涂层材料与碳素材料附着力。

3.工艺流程

基于涂层材料制备技术和工业应用技术的工艺流程见图 1。

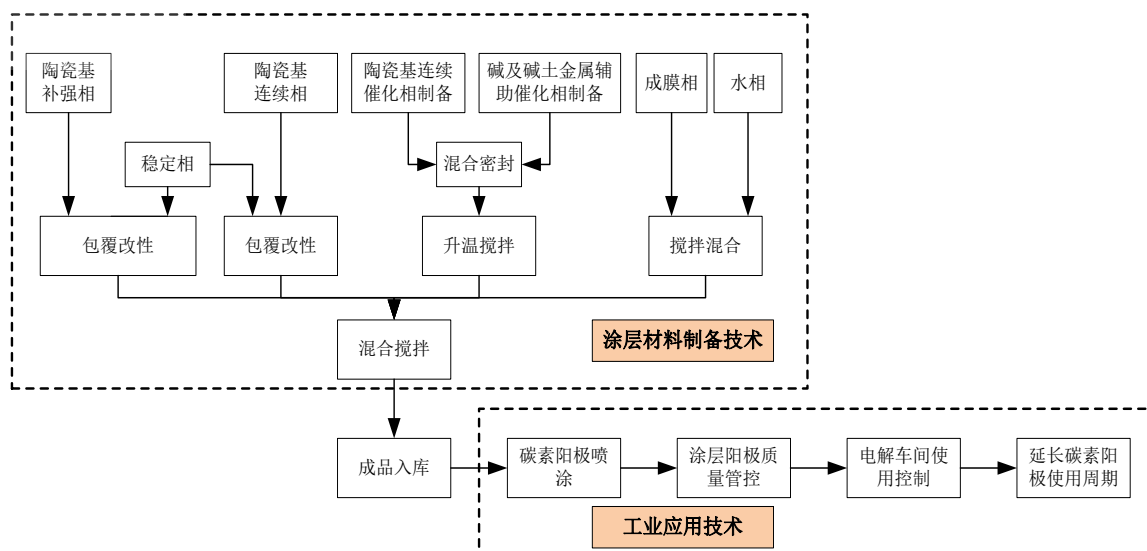


图1 基于涂层材料制备技术和工业应用技术的工艺流程图

六、主要技术指标

- 1.涂层材料线膨胀系数： $6 \times 10^{-6} \sim 8 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ ；
- 2.涂层材料附着力：I级；
- 3.涂层材料耐压强度： $\geq 8\text{MPa}$ ；
- 4.吨铝碳素阳极消耗节约量：15~20kg；
- 5.吨铝 CO_2 排放降低量：55~73kg；
- 6.吨铝危险废物含氟炭渣降低量：3~6kg。

七、技术鉴定及获奖情况

该技术获得国家发明专利 8 项，实用新型专利 15 项。2019 年，分别通过中国铝业集团和国家电力投资集团旗下的电解铝企业出具的电解铝预焙阳极高温防氧化涂层保护项目实验总结报告验证。

八、典型用户及投资效益

典型用户：东方希望包头稀土铝业有限公司、山东邹平宏正新材料公司等

典型案例 1

案例名称：包头希铝阳极防氧化涂层保护项目

建设规模：在三个系列共计 85 万吨产能铝电解槽上使用。建设条件：无技术条件限制，所有电解铝厂均可使用。主要建设内容：在阳极组装车间生产线上在线喷涂；在组装车间现场制作简易板房对涂料进行储存和保温。主要设备：喷涂机、涂料搅拌器。项目总投资为每年投资 550 万元，建设期为 3 个月。年碳减排量 46750tCO₂，碳减排成本为 116~120 元/tCO₂。年经济效益 2700 万元，投资回收期约 2 个月。

典型案例 2

案例名称：邹平宏正阳极防氧化涂层保护项目

建设规模：在 44 万吨产能铝电解槽上使用。建设条件：无技术条件限制，所有电解铝厂均可使用。主要建设内容：在阳极组装车间生产线上在线喷涂；在组装车间现场制作简易板房对涂料进行储存和保温。主要设备：喷涂机、涂料搅拌器。项目总投资为每年投资 290 万元，建设期为 3 个月。年碳减排量 24200tCO₂，碳减排成本为 116~120 元/tCO₂。年经济效益 1015 万元，投资回收期约 2 个月。

九、推广前景和减排潜力

目前，该技术已推广覆盖的电解铝产能约占国内电解铝总产能的 5%。预计未来 5 年，该技术在电解铝行业的推广应用比例将达到 55%，项目总投资将达到 6 亿元，可形成的年碳减排能力约为 50 万 tCO₂。

27 生活垃圾生态化前处理和水泥窑协同后处置技术

一、技术名称：生活垃圾生态化前处理和水泥窑协同后处置技术

二、技术类别：减碳技术

三、所属领域及适用范围：建材行业 生活垃圾水泥窑协同处置

四、该技术应用现状及产业化情况

随着我国经济高速发展，城市化进程加快，生活垃圾的产生量逐年增加，2019 年全国垃圾清运量达到了 2.04 亿吨。目前，我国生活垃圾处置主要采取填埋和焚烧发电的方式，其中垃圾填埋不仅占用大量土地，而且会对环境造成二次污染。由于水泥窑具有较强的消纳处理各类废弃物的能力，水泥窑协同处置生活垃圾作为一种安全、环保的处理技术，已成为生活垃圾处理的重要辅助手段。同时，水泥企业开展协同处置生活垃圾项目有助于实现企业绿色转型，具有良好的社会效益和环境效益。截至 2019 年底，我国新型干法水泥生产线共 1624 条，利用水泥窑协同处置生活垃圾约有 57 条窑线，其中有 12 家工厂的 16 条生产线使用了生态化前处理和水泥窑协同后处置技术。

五、技术内容

1.技术原理

运用窑外生态化前处理和窑内无害化、资源化后处置结合的技术对生活垃圾进行处理处置。首先，利用微生物发酵及物理干化、机械分选等技术对生活垃圾进行预处理，得到水泥窑垃圾预处理可燃物（CMSW）、无机灰渣、金属、渗滤液等，然后利用新型干法水泥窑的烧成系统对垃圾预处理可燃物（CMSW）进行多点协同处置，达到替

代部分燃料（煤炭）的效果，同时无机组分可制成水泥生料喂入新型干法水泥窑系统中替代部分原料。该技术通过利用生活垃圾中的可燃成分，达到替代传统燃料，实现节能减碳的效果。

2.关键技术

（1）生物及物理干化技术

利用垃圾中易腐败有机物的好氧发酵特性，在通风作用下，使混合垃圾的水分显著下降，共同实现生活垃圾的生物及物理干化，改善垃圾潮湿、粘滞的状态，大幅提高其机械分选性。采用超大规模臭气“物化-生物”净化技术，解决垃圾预处理好氧发酵过程产生的臭气和其他有害物质及粉尘的问题。

（2）分选均化技术

通过滚筒筛、重力分选机、圆盘筛、除铁器等一系列机械分选装置，分选出垃圾中易燃、无机等组分，并进一步破碎，制成水泥窑垃圾预处理可燃物（CMSW）、无机灰渣等原料，实现对生活垃圾的高效破碎，以及轻质可燃组分与重质无机组分的有效分离。

（3）预分解炉控制及水泥窑多点协同处置技术

采用计算机流场模拟的方法，根据水泥窑垃圾预处理可燃物（CMSW）的燃烧速度、热能释放速率与煤的燃烧差异性，对进料口的开设部位、开设角度以及入口风速进行调控设计，并调整预处理可燃物的尺寸、颗粒形状、喂入方式以及煤的喷入方式，最终实现预处理可燃物(CMSW)的燃烧与水泥预分解炉内热工的匹配,保证了分解炉热力分布的稳定，确保了分解炉的正常运行；利用水泥熟料高温固相反应和矿物形成机理，使无机渣土中的重金属离子固熔到水泥熟料矿物

晶格中，在保证水泥熟料强度的基础上，实现了重金属离子的安全处置；渗滤液经均化、厌氧、硝化与反硝化及膜处理后达标排放。少量渗滤浓缩液经窑头喷入，利用窑内高温对其有害成分进行高温焚烧或回喷干化床继续干化，实现无害化处置。

3. 工艺流程

生活垃圾生态化前处理和水泥窑协同后处置技术工艺流程见图1。

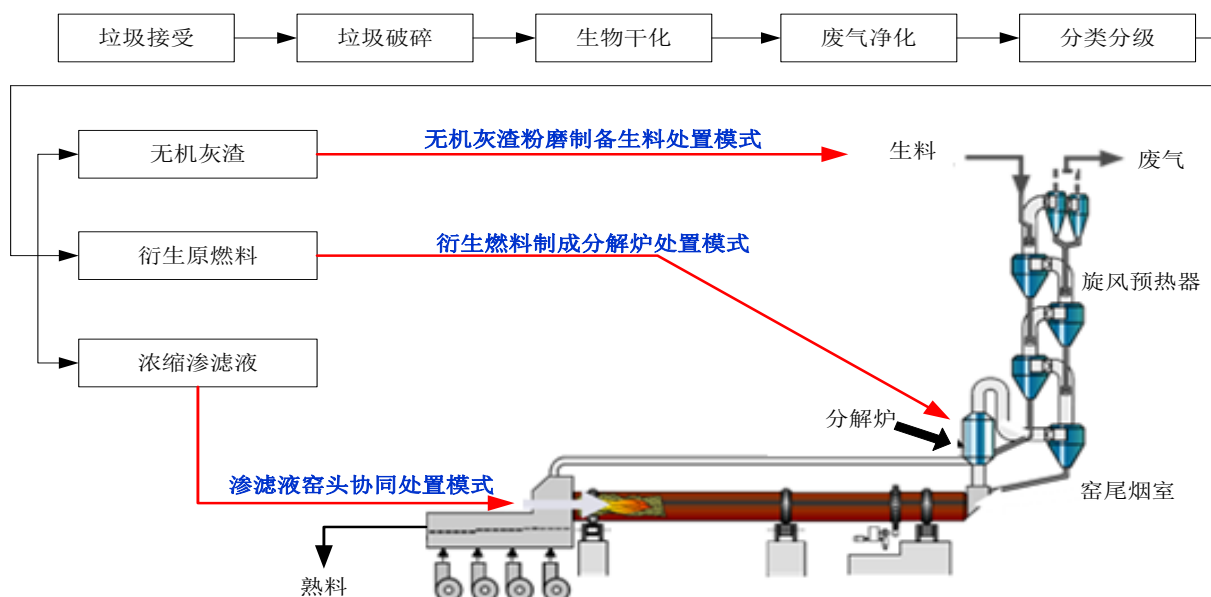


图1 生活垃圾生态化前处理和水泥窑协同后处置技术工艺流程图

六、主要技术指标

- 1.原生垃圾单厂预处理规模：300~2000t/d；
- 2.垃圾轻质可燃物分选率：>90%；
- 3.无机物分选率：>95%。

七、技术鉴定及获奖情况

该技术已获得国家发明专利 18 项，实用新型专利 38 项。2014 年 4 月，经中国建筑材料联合会组织的科技成果鉴定，整体技术达到国际先进水平；2016 年，“水泥窑高效生态化协同处置固体废弃物成套技术

与应用”成果获国家科学技术进步奖二等奖。

八、典型用户及投资效益

典型用户：华新水泥（阳新）有限公司、华新水泥（河南信阳）有限公司等

典型案例 1

案例名称：华新水泥（阳新）生活垃圾预处理及水泥窑资源综合利用一体化项目

建设规模：日处置生活垃圾 2000t/d，CMSW（生活垃圾预处理可燃物）1300t/d。建设条件：根据《水泥窑协同处置固体废物污染防治技术政策》要求，单线设计熟料生产规模 3000t/d 及以上水泥窑即可。主要建设内容：预处置包括干化区、破碎、分选设备、臭气收集处置等系统；协同处置包括多点喂料、旁路放风系统。主要设备：破碎机、滚筒筛、垃圾生物干化风机、洗涤塔、袋式除尘器、输送机等设备。项目总投资 42000 万元，项目建设期 2 年。年碳减排量 32 万 tCO₂，碳减排成本为 120~140 元/tCO₂。年经济效益约 5267 万元，投资回收期约 6 年。

典型案例 2

案例名称：华新水泥（信阳）生活垃圾预处理及水泥窑资源综合利用一体化项目

建设规模：日处理城市生活垃圾 1000t（分两期建设，600t+400t）。建设条件：根据《水泥窑协同处置固体废物污染防治技术政策》要求，单线设计熟料生产规模 2000t/d 及以上水泥窑即可。主要建设内容：预处置包括干化区、破碎、分选设备、臭气收集处置等系统；协同处置包括多点喂料、旁路放风系统。主要设备：破碎机、滚筒筛、垃圾生物干

化风机、洗涤塔、袋式除尘器、输送机等设备。项目总投资 11000 万元，项目建设期 2 年。年碳减排量 14 万 tCO₂，碳减排成本为 70~90 元/tCO₂。年经济效益约 2875 万元，投资回收期约 3 年。

九、推广前景和减排潜力

据统计，截止 2019 年底，全国新型干法水泥生产线 1624 条，目前采用生活垃圾协同处置的生产线有 57 条，比例约为 3.5%。未来推广比例预计将达到 10%，项目总投资额约为 100 亿元，每年生活垃圾处置能力约 2000 万 t，每年可替代约 260 万 t 标煤，可形成的年碳减排能力为 690 万 tCO₂。

28 20m~60m 跨度钢管混凝土桁梁桥技术

一、技术名称：20m~60m 跨度钢管混凝土桁梁桥技术

二、技术类别：减碳技术

三、所属领域及适用范围：交通行业 桥梁建造领域

四、该技术应用现状及产业化情况

现代公路建设中，桥梁占路线比例达 40%以上，而中小跨径桥梁占桥梁总比例高达 90%以上。传统 20m~60m 中小跨径桥梁中，混凝土桥梁存在自重大、水泥砂石用量多、耗能高、抗震性能差等不足；钢结构桥梁具有用钢量大、碳排放量高、山区地形条件下安装困难等问题。特别是我国西部山区，在恶劣建设环境下，如何实现中小跨径桥梁在山区安全、高效、低碳建设，已成为中国西部开发公路建设亟待解决的问题。

20m~60m 跨度钢管混凝土桁梁桥技术针对山区复杂建设环境，提出钢管混凝土桁梁桥设计体系、制造工艺、安装设备成套技术。采用该技术的中小跨径桥梁具有轻质高强、安全系数高、抗震性能好、耗材少、耗能低、施工简单、安装快捷等优点，不仅降低了桥梁全寿命周期成本，而且其综合性能优于传统中小跨径结构桥梁。目前已建成 3 座钢管混凝土桁梁桥，全长近 6.5km，应用效果良好。

五、技术内容

1.技术原理

20m~60m 跨度钢管混凝土桁梁桥技术是利用钢管混凝土材料进行中等跨径桥梁设计、制造和安装的建造技术。该技术利用钢管混凝土

土中钢管对混凝土的约束效应以及钢-混凝土材料的组合作用，解决了传统中等跨径桥梁材强度低、延性差、安全储备不足、材料消耗多的问题。其中，由于钢管的约束作用，钢管混凝土构件抗压承载能力提高约 2.2 倍、抗拉承载能力提高约 1.8 倍。同时，由于钢管混凝土为延性材料，延性至少提高 1.7 倍。采用相同材料，桥梁安全系数可以提高 3.74 倍。采用该技术可节约材料和降低能源消耗，实现桥梁低碳建造。

2.关键技术

（1）钢管混凝土桁梁桥结构与体系设计技术

通过设计预应力钢管混凝土双纵梁、钢-混凝土组合桥面板和桥墩钢管混凝土墩柱实现全桥结构的轻型化、低耗材；采用变刚度支座实现墩梁连接，主动调整墩底内力分配进一步降低桥墩材料用量；利用钢-混组合强劲过渡接头实现桩基础和墩柱可靠连接，提高结构耐久性。

（2）钢管混凝土桁梁桥施工技术

钢结构在工厂内加工制造，将工厂内匹配制造合格的整跨主梁拆分成满足道路运输空间要求的桁片，然后在施工现场利用临时组拼场地还原为整孔主梁结构。全桥建设实现了无模板施工，大幅减少现场施工作业量。

（3）运营全寿命成本核算的关键技术

借助桥梁安全储备的提高和预制部件质量的可控，可降低后期养护维修工作量减少（38%），减少维护费，实现整桥寿命周期成本降低 32%，且与钢结构桥相比工程造价降低 1/3。

3.工艺流程

钢管混凝土桁梁桥施工工艺流程见图 1。

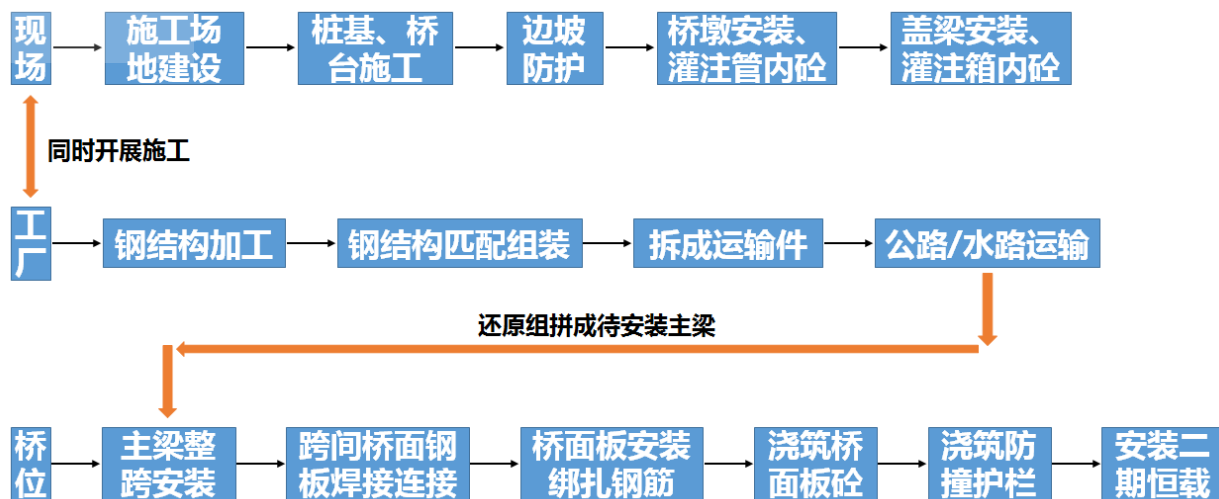


图 1 钢管混凝土桁梁桥施工工艺流程图

六、主要技术指标

- 1.每平方米造价：4776 元；
- 2.每平方米混凝土用量：0.76m³；
- 3.每平方米钢材用量：222.3kg。

七、技术鉴定及获奖情况

该技术已获得国家发明专利 5 项，实用新型专利 4 项，参与编制四川省地方标准 5 项。2012 年 12 月通过交通运输部科技司组织的科技成果鉴定，项目研究成果总体上达到国际领先水平；2013 年，“脱空钢管混凝土计算理经与质量控制成套技术”成果荣获四川省科学技术进步奖一等奖，“温度对钢管混凝土桥梁性能的影响”研究成果荣获中国公路学会科学技术奖二等奖；2018 年“钢管混凝土桥梁的抗震性能与防灾技术研究”成果荣获四川省科学技术进步奖二等奖。目前，该技术在马尔康至久治藏区高速公路中应用，取得了良好的经济和社会效益。

八、典型用户及投资效益

典型用户：汶马高速公路有限责任公司、雅西高速公路有限责任

公司

典型案例 1

案例名称：汶川克枯大桥和下庄大桥项目

建设规模：两座桥全长共计 4670m。建设条件：地震频发、震害严重、生态环境脆弱，没有预制场地、运输通道和砂石材料。主要内容：上部结构为钢管混凝土简支组合桁梁，跨径分别为 30m 或 40m，下部桥墩为钢管混凝土桥墩。主要设备：新型整孔主梁架桥机，胶轮主梁运输车。项目总投资 54842 万元，建设期 24 个月。项目碳减排量 26960tCO₂，碳减排成本为 20000~21000 元/tCO₂。年经济效益 8000 万元，投资回收期为 7 年。

典型案例 2

案例名称：干海子大桥项目

建设规模：大桥全长 1811m，共 36 跨。建设条件：位于线形复杂的双螺旋展线内、桥墩高、地震烈度高、地形陡峭、架设极其困难。主要内容：上部结构为钢管混凝土桁梁，下部桥墩为钢管混凝土格构桥墩和钢筋混凝土柱式墩，世界上首次采用全钢管混凝土桁梁和钢管混凝土格构桥墩，最高桥墩达 110m。主要设备：新型整孔主梁架桥机，胶轮主梁运输车。项目总投资 17600 万元，建设期 32 个月。项目碳减排量 11640tCO₂，碳减排成本为 15000~16000 元/tCO₂。年经济效益 5000 万元，投资回收期为 3.5 年。

九、推广前景和减排潜力

预计未来 5 年，该技术可在西部山区复杂建设环境和地形条件下 36km 公里的中小跨径桥梁中推广应用，预期推广比例将达到 20%，项

目总投资 48 亿元，可形成的碳减排能力约为 21 万 tCO₂。

29 高性能土工格栅制造与应用技术

一、技术名称：高性能土工格栅制造与应用技术

二、技术类别：减碳技术

三、所属领域及适用范围：交通行业 道路设施建设工程

四、该技术应用现状及产业化情况

随着“交通强国”战略的推进，我国年平均建设道路里程达12.8万km。传统道路在修筑过程中，由于高铁路基、重载路面或地基软弱地区大量使用钢筋，普遍存在易锈蚀、修筑过程费时费力、道路修筑周期长等问题。高性能土工格栅作为传统钢筋、线材的替代品，具有抗拉强度高、耐腐蚀等优良工程特性，在路基加筋、边坡防护等工程中可广泛代替钢筋使用。高性能土工格栅因轻便、易施工、造价低等特性，可有效降低劳动强度、提高施工速率、降低建造成本，目前已在我国高速铁路、高速公路、机场、隧道、桥梁、水利工程等多个领域、多项国家重大工程中得到广泛应用，并取得显著的经济、社会和环保效益。

五、技术内容

1.技术原理

高性能土工格栅是以聚合物（如塑料、合成纤维）、无机纤维等为原料，通过原材料改性、纤维复合经编等关键工艺技术制成的网格状产品。该技术产品具有抗拉强度高、耐腐蚀、施工效率高、价格低等优势，在道路设施建设工程中可替代钢筋使用，实现节能降碳。同时，在生产过程中，可使用废旧塑料、再生纤维为原材料，并将产生的边角废料全部进行回收利用，实现原料100%利用。

2.关键技术

(1) 塑料土工格栅高分子材料微纳层叠取向调控技术。在基材挤出成型过程中，对高分子链及增强材料的微观取向状态实施有效调控，使格栅拉伸强度提高20%以上。

(2) 纤维复合土工格栅基体纤维的协同变形和复合经编技术。优化基体纤维配比，使不同材质的纤维之间实现协同变形。采用经向、纬向纱线专用编织工艺，实现复合经编，使产品抗拉强度提高到1000kN/m。

(3) 智能预警监测关键技术。开发集传感、数据采集与传输、结构状态参数与损伤识别、性能评估与预测技术为一体的自动化、信息化监测系统，实现对工程结构当前和未来服役状况及潜在风险进行分析和评估。

3.工艺流程

(1) 塑料土工格栅工艺流程

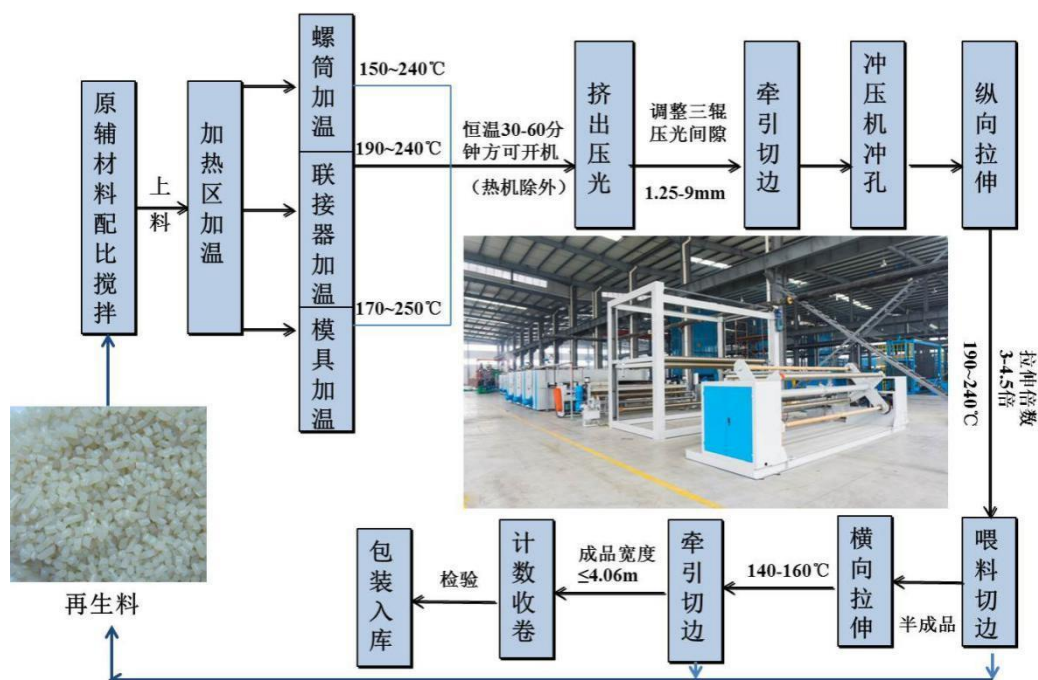


图1 塑料土工格栅工艺流程

(2) 纤维复合土工格栅工艺流程

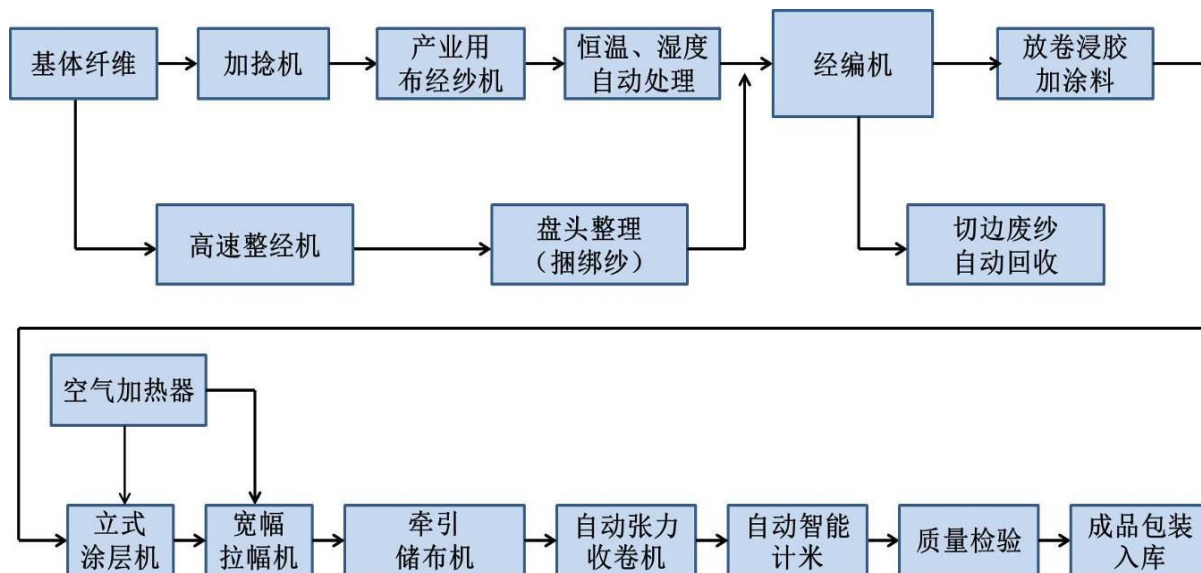


图2 纤维复合土工格栅工艺流程

六、主要技术指标

1.工程塑料土工格栅技术指标:

- (1) 横向、纵向拉伸强度: $\geq 80\text{kN/m}$;
- (2) 耐温范围: $-70\sim 150^{\circ}\text{C}$;
- (3) 蠕变折减系数 RFcr : ≤ 1.59 。

2.纤维复合土工格栅技术指标:

- (1) 拉伸断裂强度: $\geq 800\text{kN/m}$;
- (2) 耐温范围: $-40^{\circ}\text{C}\sim 100^{\circ}\text{C}$;
- (3) 蠕变折减系数 RFcr : ≤ 1.3 ;
- (4) 监测精度: $3\mu\epsilon$;
- (5) 定位精度: $\leq 1\text{m}$ 。

七、技术鉴定及获奖情况

该技术已获得国家发明专利 9 项, 实用新型专利 49 项, 软件著作权

权 12 项；参与制订国家相关标准 4 项、行业标准 6 项、地方标准 2 项。

2017 年 6 月，“高强智能集成化纤维复合土工材料关键技术研发及产业化项目”通过山东省科技厅验收；同年，“高性能土工格栅在重大工程中的应用”入选国家节能中心首批“重点节能技术应用典型案例”。

八、典型用户及投资效益

典型用户：中铁十四局集团第四工程有限公司、中铁二十一局集团第五工程有限公司、中交第三航务工程有限公司等

典型案例 1

案例名称：京沪高速铁路

建设规模：铁路全长 1318km。项目建设条件：工程地质条件主要是软土、松软土分布广泛，埋深变化大，软土层厚、强度低。主要建设内容：桥梁长度约 1140km，隧道长度约 16km，铁路路基长度 162km。主要设备：采用高性能土工格栅产品用于路基加筋、软土地基加固、隧道支护等，共使用 1.2 亿 m^2 。项目总投资 12.6 亿元，建设期 2.5 年，实现碳减排量 21 万 tCO_2 。

典型案例 2

案例名称：鲁南高铁

建设规模：鲁南高速铁路总投资 700 多亿元，全长 494km。项目建设条件：地质结构复杂，岩溶地貌发育，有采空区，跨日兰高速，跨运河。主要建设内容：桥梁 52 座，隧道 6 座，铁路路基 288.75km。主要设备：采用高性能土工格栅产品用于路基加筋、软土地基加固、隧道支护等，共使用 2 亿 m^2 。项目总投资 21 亿元，建设期 4 年，实现碳减排量 36 万 tCO_2 。

九、推广前景和减排潜力

预计未来 5 年，高性能土工格栅市场总量可达 15 亿 m^2 ，技术预期推广比例将达到 80%，项目总投资 150 亿元，可形成的碳减排能力约为 260 万 tCO_2 。

30 纳米高分子复合型可降解生态塑料技术

一、技术名称：纳米高分子复合型可降解生态塑料技术

二、技术类别：减碳技术

三、所属领域及适用范围：农业 农作物地面覆盖

四、该技术应用现状及产业化情况

农用地膜作为农业领域作物覆膜必备的农业生产材料，全国年用量达到 150 万吨。普通地膜因不可降解导致残膜破坏土壤结构，影响作物出苗，阻碍根系生长，影响水分和养分吸收，导致农作物减产。早期的降解技术及产品，比如光降解、光/生物降解、生物基降解地膜等，需要光照、堆肥等特定降解条件，且存在降解可控性低、降解不完全、易产生微塑料和产生二次污染等问题。

纳米高分子复合型可降解生态塑料技术实现了塑料地膜在常规自然环境下（无需光照、堆肥等特定环境）完全降解的目标，具有降解可控性强、不产生微塑料、降解产物无毒无害、无二次污染等特征。目前，已连续 7 年开展生态降解塑料地膜大田试验和推广示范，在全国 28 个省区 600 万亩农田推广应用，涉及棉花、花生、玉米等 30 余种农作物，并对 1.5 万吨残膜污染进行治疗。

五、技术内容

1. 技术原理

该技术是以绿色环保的食品级纳米高分子复合材料作降解助剂，促进地膜在常规自然环境中的光、氧、热作用下，加速氧化分解成亲水性低分子氧化聚合物，然后进一步通过环境微生物作用，最终降解成

水、无害气体和土壤有机质。应用该技术的地膜产品具有与普通地膜同等的机械、保温保墒等使用性能，相比普通地膜可节约50%原材料投入成本和生产能耗，无需回收残膜所需能耗和电耗，实现从源头到终端的节能减排。

2.关键技术

（1）纳米高分子复合型生态塑料母料制备技术

采用食品级纳米氧化物链接复合技术和表面修饰技术，以光降解纳米粒子为核心，均匀加入具有助氧化功能和具有促生物降解功能的成分，研制成兼具氧化降解和生物降解功能的纳米高分子复合型生态塑料母料。

（2）生态地膜可控降解技术

生态地膜可控降解速度技术根据已建立的全国气象环境数据库，结合种植作物需求、农事操作模式、生态地膜配方、应用效果等信息，调控地膜降解速度，避免降解过快/过慢影响作物保温保墒需求和作物生长发育。

3.工艺流程

纳米高分子复合型降解添加剂/母料制备流程示意图见图1。

以光敏性纳米粒子（纳米 TiO_2 等）组成纳米级微结构框架，具有氧化功能的金属离子（ Co^{2+} 、 Mn^{2+} 、 Fe^{3+} 等）以及具有生物降解促进功能的生物质酸（柠檬酸、茶多酚等）均匀加入其中，共同组成兼具氧化降解和生物降解功能的、不受环境因素制约、无论在户外丢弃、填埋、堆肥、光照、加热等条件下都能够发挥降解功能的纳米降解添加剂。



图1 纳米高分子复合型生态塑料母料制备流程

六、主要技术指标

1.经光、热氧化降解后，生态地膜断裂伸长率保留率 $\leq 10\%$ ，重均分子量 < 10000 ；

2.生态地膜力学性能和水汽阻隔性能达到相同规格普通地膜性能的 90%以上；

3.相比普通地膜，生态地膜每年约减少 50%左右聚乙烯原材料投入成本和生产能耗；

4.生态地膜无需回收，减少人工回收残膜成本 50 元/亩，减少残膜回收利用处理成本。

七、技术鉴定及获奖情况

该技术已获得国家发明专利 6 项，实用新型专利 8 项，参与起草国家标准 2 项、山东省地方标准 6 项。2013 年荣获山东省科学技术奖三等奖；2015 年荣获农业部“中华农业科技奖”二等奖（当年最高奖项）；2016 年通过生态地膜大田应用示范评价；2018 年荣获中国轻工业联合会科学技术进步奖二等奖；2020 年荣获山东环境技术进步奖一等奖。

八、典型用户及投资效益

典型用户：宿州妙顺环保科技有限公司、宿州市农业农村局

典型案例 1

案例名称：30 万亩生态降解地膜大田应用

建设规模：30 万亩生态降解地膜大田应用。建设条件：涉及花生、西瓜、大棚蔬菜、露天蔬菜、金丝绞瓜等不同种植作物的农田 30 万亩。主要内容：适用于不同作物的生态降解地膜配方设计及小规模性能评价实验、生态地膜配方优化、生态地膜大面积铺设、阶段性跟踪生态地膜使用性能及降解情况、作物生长发育情况等。项目总投资 3240 万元，建设期 24 个月（项目累计实施 2 年，并非种植时间），碳减排量 7730tCO₂。

典型案例 2

案例名称：10 万吨生态塑料地膜产业化项目

建设规模：年产 10 万吨生态塑料地膜。建设条件：建筑场地地形平整，能够满足建筑所需机械设备、建筑材料等及运输货车进出场地；实现通水、通电、通路。主要内容：生态塑料制品生产车间、生态塑料检验检测中心、新材料研发中心等。主要设备：生态塑料制品生产线设备、产品检验检测设备、研发设备等。项目总投资 10 亿元，建设期为 24 个月。年经济效益 3 亿元，投资回收期约 3-5 年。

九、推广前景和减排潜力

预计未来 5 年，该技术预期推广比例将达到 10%，推广应用面积将达 3000 万亩，项目（年）投资 30 亿元，可形成的年碳减排能力约为 80 万 tCO₂。

31 基于新材料炭吸附聚谷氨酸化肥减量增效技术

一、技术名称：基于新材料炭吸附聚谷氨酸化肥减量增效技术

二、技术类别：减碳技术

三、所属领域及适用范围：农业 农业种植

四、该技术应用现状及产业化情况

化肥作为最重要的农业生产资料，是建设现代化农业的重要支撑，是粮食安全的根本保障。但长期过量施用化学肥料会导致耕地土壤板结、地力下降、农业生产成本增加、农产品品质降低以及农业面源污染等系列问题。提升耕地质量，改善农田生态环境，促进精准施肥已成为助推我国现代农业发展的重要途径。基于新材料炭吸附聚谷氨酸化肥减量增效技术是一种生产土壤改良产品的技术，它采用好氧发酵、炭化、交联技术制备而成的炭吸附聚谷氨酸，既可增加聚谷氨酸的稳定性，又能增强吸附和缓释能力，从而提高化肥利用率，减少化肥施用。同时，该技术可有效改善土壤质量，提升作物的产量与品质。经过大田施用验证，在每亩化肥减量 20% 的情况下，农产品的增产率可达 8%~13%。目前，该技术已在河南、新疆、黑龙江、吉林等省（区）多个区域推广应用，施用作物包括小麦、玉米、水稻、花生等，累计种植面积 2600 万亩，经济环境综合效益良好。

五、技术内容

1. 技术原理

该技术以谷氨酸钠为主要原料，采用好氧生物发酵工艺制备出聚谷氨酸。通过炭化工艺使聚谷氨酸吸附在活性炭表面，同时进行交联，

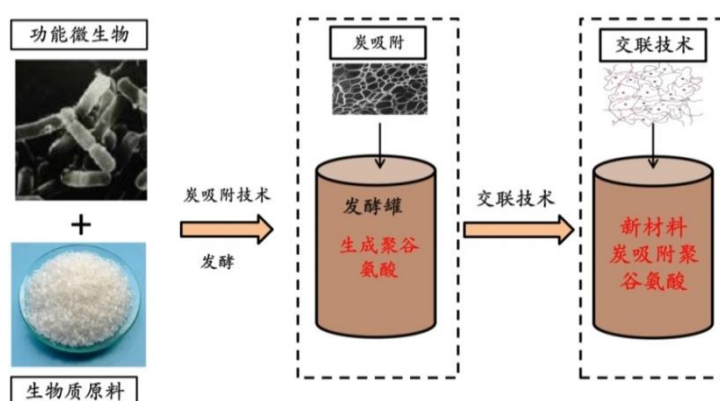
形成炭吸附聚谷氨酸。炭吸附聚谷氨酸具有保水、保肥性，可吸附化肥中的养分离子，起到缓释作用，从而提高化肥利用率，减少化肥施用量，同时可有效改善土壤质量，提升作物的产量与品质。

2.关键技术

(1) 炭吸附聚谷氨酸发酵工艺及设备技术。将原料投入发酵反应器中，在供氧系统、冷热水循环和自动化控制系统联合作用下，原料经灭菌、接种、发酵、通氧、发酵等过程生成聚谷氨酸。

(2) 炭化和交联技术。通过创新的炭化工艺，将活性炭以适当比例加入到发酵液中，在适合温度下搅拌混合，使聚谷氨酸吸附在活性炭表面，形成炭吸附聚谷氨酸。

3.工艺流程



新材料炭吸附聚谷氨酸是通过功能微生物，在适合的培养基中经发酵生成聚谷氨酸，再利用炭吸附技术、交联技术，发酵产生出一种高分子生物聚合物新型材料。

图1 炭吸附聚谷氨酸制备工艺流程图

六、主要技术指标

- 1.聚谷氨酸浓度： $\geq 10\text{g/L}$;
- 2.有机质含量： $\geq 80\text{g/L}$;
- 3.pH: 4.0~6.0;

4.水不溶物： $\leq 10\text{g/L}$ 。

七、技术鉴定及获奖情况

该技术已获得国家发明专利 3 项。2016 年，该技术产品通过中国植物营养与肥料学会组织的科技成果评价；2017 年 11 月，聚谷氨酸有机水溶肥料荣获农业部首家肥料正式登记证；2018 年被河南省科技厅列入《河南省节能低碳与环境污染防治技术指导目录》；2019 年 12 月，通过河南省科学技术信息研究院组织的科技成果评价。

八、典型用户及投资效益

典型用户：西华县为农供销联合合作社、巴里坤自治县良种场等

典型案例 1

案例名称：河南西华县化肥减量增效项目

建设规模：耕地面积 5800 亩。建设条件：由于施用化肥过量，造成土壤板结、碱化，有机质下降，种植成本高。主要内容：通过科普讲座，在当地施肥习惯的基础上，通过化肥减量增效技术，每亩减少化肥施用量 7 公斤。主要产品：新材料炭吸附聚谷氨酸化肥。项目总投资 17.4 万元，建设期 8 个月。年碳减排量 230tCO_2 ，碳减排成本为 750~770 元/ tCO_2 ，经济效益 47.12 万元。

典型案例 2

案例名称：新疆巴里坤县化肥减量增效项目

建设规模：种植面积 6000 亩。建设条件：新疆巴里坤县是哈密市的小麦主产区，过量施肥造成土壤板结。主要内容：在当地施肥习惯的基础上，通过化肥减量增效技术，每亩减少化肥施用量 6 公斤。主要产品：新材料炭吸附聚谷氨酸化肥。项目总投资 18 万元，建设期

8 个月。年碳减排量 205tCO₂，碳减排成本为 870~890 元/tCO₂，经济效益 47.7 万元。

九、推广前景和减排潜力

预计未来 5 年，该技术可推广应用 5000 万亩，技术预期推广比例将达到 3%，项目总投资 15 亿元，可实现年碳减排能力为 190 万 tCO₂。

四、工艺过程等非二氧化碳减排类技术

32 农田系统温室气体减排关键技术

一、技术名称：农田系统温室气体减排关键技术

二、技术类别：减碳技术

三、所属领域及适用范围：农业 东北稻区、南方水旱轮作区和双季稻区水稻低碳种植，宜选择排灌条件较好、未受到污染的地块，不宜选择低洼、易涝等的地块。

四、该技术应用现状及产业化情况

我国典型的南方水旱轮作系统和东北寒地稻作系统是农业源温室气体重要排放源，现有农业耕作方式和栽培技术碳排放相对较高，如何通过耕作栽培技术措施减缓农田生态系统的温室气体排放已成为亟待解决的问题。农田系统温室气体减排关键技术以耕作和栽培技术为核心，经过各种单项技术的集成组合与优化配套，实现农田系统减排增效，为我国典型农田系统温室气体减排和作物丰产增效提供了一种新的模式，具有较好的社会和环境效益。本技术的种植条件宜选择排灌条件较好、未受到污染的地块，不宜选择低洼、易涝等的地块。在这种种植条件下，在不影响水稻产量和品质的前提下，污染物排放不会增加。目前，该技术已在黑龙江绥化市、方正县、庆安县和建三江等地推广应用，累计种植面积达 25 万亩，并在江苏苏州、丹阳及安徽怀远等地开展基地试验，减排增效效果良好。

五、技术内容

1.技术原理

农田系统温室气体减排关键技术以耕作和栽培技术为核心，通过轮耕技术优化、低碳品种选用以及肥、水、密栽培技术调控，实现农田系统减排增效。该技术通过各种单项技术的集成组合与优化配套，使耕作和栽培技术融为一体，实现农田系统减排、高产、高效的协同效应。

2.关键技术

（1）水肥耦合管理减排技术

通过种植低碳水稻品种和间歇灌溉的水分管理，碳排放较长期淹水栽植可减少约 8%；在间歇灌溉条件下，适当的施氮量较低氮或高氮处理方式可减少碳排放 20%以上。

（2）密肥调控减排技术

通过选择种植低碳水稻品种，减少水稻氮肥总量的 20%，并缩小栽插株距 20~30%，较常规密肥种植温室气体减排 7%以上。

3.工艺流程

农田系统温室气体减排关键技术的工艺流程见图 1。

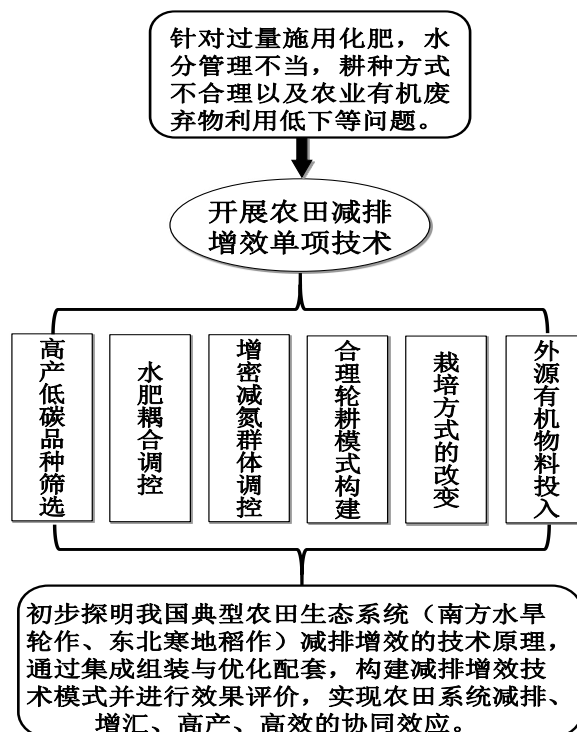


图1 农田系统温室气体减排关键技术的工艺流程图

六、主要技术指标

1. 甲烷排放量：100～500kg/hm²；
2. 综合全球增温潜势：3000～13000kgCO₂-eq/hm²；
3. 单位产量温室气体排放强度：0.3～1.6kg/kg 作物。

七、技术鉴定及获奖情况

该技术已获得国家发明专利 1 项，实用新型专利 1 项，参与编制黑龙江省地方标准 2 项，其中《稻田系统温室气体减排水肥管理操作规程》已于 2017 年 3 月正式发布实施。2018 年 5 月，国家科技支撑计划课题“农田生态系统温室气体减排增效关键技术集成及示范”研究成果通过浙江省科技厅组织的课题验收。

八、典型用户及投资效益

典型用户：黑龙江省庆安县农业技术推广中心、绥化市农业技术推广总站等

典型案例 1

案例名称：庆安县农业技术推广中心水稻种植项目

建设规模：水稻田 5.5 万亩。建设条件：在适宜种植高产低碳水稻品种的区域开展。主要建设内容：稻田系统减排增产增效技术推广应用。主要设备：拖拉机及其配套的铧式犁、旋耕机和搅浆机等农机具。项目总投资 6325 万元，建设期为 3 年，年碳减排量 8450tCO₂。

典型案例 2

案例名称：绥化市农业技术推广总站水稻种植项目

建设规模：水稻田 1.5 万亩。建设条件：在适宜种植高产低碳水稻品种的区域开展。主要建设内容：稻田系统减排增产增效技术推广应用。主要设备：拖拉机及其配套的铧式犁、旋耕机和搅浆机等农机具。项目总投资 1740 万元，建设期为 2 年，年碳减排量 2300tCO₂。

九、推广前景和减排潜力

预计未来 5 年，该技术可推广应用 900 万亩，技术预期推广比例达到 3%，项目总投资 100 亿元，可形成的年碳减排能力约为 140 万 tCO₂。

五、碳捕集、利用与封存类技术

33 陆相油藏 CO₂ 高效驱油与规模埋存一体化技术

一、技术名称：陆相油藏CO₂高效驱油与规模埋存一体化技术

二、技术类别：储碳技术

三、所属领域及适用范围：石油化工行业 工业CO₂捕集后的陆相油藏驱油与埋存

四、该技术应用现状及产业化情况

目前，CO₂ 驱油与埋存是最有效的 CO₂ 减排技术，一直受到国际社会广泛关注。上世纪 90 年代以来，美国已实现 CO₂ 混相驱油工业化应用，但我国与国外油藏沉积特点不同，国外以海相沉积为主，我国主要是陆相沉积，且油藏原油偏重，混相压力高，难以实现完全混相，同时 CO₂ 驱油时存在非均质性强、易气窜、扩大波及难度大等问题。在充分认识 CO₂ 驱油与埋存机理基础上，针对我国高含水、低渗、致密三类目标油藏特点，基于差异化思路剖析不同类型油藏 CO₂ 驱主控机理，研究形成了陆相油藏 CO₂ 高效驱油与规模埋存一体化技术，为我国陆相油藏 CO₂ 驱油与埋存规模化推广奠定了基础。目前，该技术已在中国石化 26 个区块实施推广应用，累计注气 210 万吨，增油 34.9 万吨，CO₂ 埋存率 90%以上，预计最终采收率提高 9.6%，具有较好的经济效益和社会效益。

五、技术内容

1.技术原理

CO₂驱油与埋存是将工业CO₂捕集，输送到油藏进行驱油利用并实现CO₂规模埋存的一项技术。该技术以碳足迹迁移为主线，剖析CO₂注入与产出过程中CO₂高效驱油及碳滞留机理，建立CO₂驱油与埋存一体化数值模拟及优化方法，制定协同优化方案，提高CO₂混相程度，扩大波及体积，实现最优注入量条件下的采收率与埋存率协同最优的目标，达到CO₂高效驱油利用与规模埋存的目的。

2.关键技术

（1）陆相油藏 CO₂ 驱油与埋存机理评价及定量表征技术

研发超高温高压微观可视化系统、混溶体系三相相对渗透率曲线测定系统、裂缝基质间流体交换测试系统等多套实验装置和方法，揭示了高含水油藏“透水替油”、低渗透油藏“降水增油”、致密油藏“扩散萃取作用机制”等 CO₂ 驱主控机理；建立了 CO₂ 驱油过程中动态埋存机理定量检测方法，明晰了 CO₂ 在油水中溶解分配系数、相渗滞后效应、动态溶蚀作用三种埋存机理，形成了 CO₂ 驱油过程中埋存机理表征模型。

（2）陆相油藏 CO₂ 驱油与埋存数值模拟及一体化优化技术

将 CO₂ 驱油过程中埋存机理与组分数模方法相结合，形成了包含储层参数和流体性质时空变化特点的 CO₂ 驱油与埋存数值模拟方法。建立了采收率与埋存率耦合的优化评价函数，开发了基于粒子群算法的 CO₂ 驱油与埋存多目标参数优化及油藏工程设计技术，明确了不同情景下 CO₂ 驱油与埋存开发策略，提出了不同类型油藏 CO₂ 驱油与埋存的有效开发模式。

（3）CO₂ 驱油与埋存化学封存技术

针对陆相油藏储层非均质性强、裂缝发育的特点，研发了自适应体膨颗粒、CO₂复合凝胶、CO₂增强泡沫体系，形成了大裂缝、微裂缝及高渗通道三级化学封窜技术，改善了CO₂驱油效果，提高了CO₂埋存率。

(4) CO₂驱油与埋存工程配套技术

形成CO₂地面压铸、封层注入、高气液比举升、全流程防腐集输、产出气分离回收循环再利用技术及动态监测技术，研发了撬装注入、采出气回收利用装置，降低了投资规模。

3.工艺流程

陆相油藏CO₂驱油与埋存技术实施流程见图1。

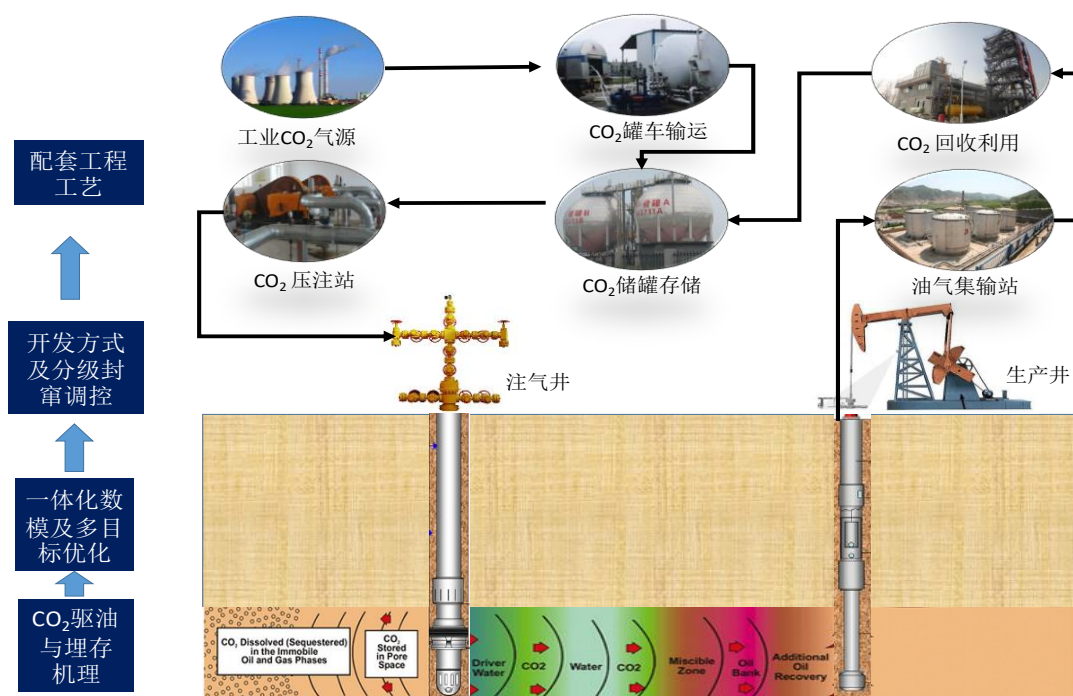


图1 陆相油藏CO₂驱油与埋存技术实施流程

六、主要技术指标

- 1.混相驱提高采收率 $\geq 12\%$;
- 2.非混相驱提高采收率 $\geq 6\%$;

3.CO₂埋存率≥90%;

4.化学剂封堵率≥90%。

七、技术鉴定及获奖情况

该技术已获得国家发明专利10项，实用新型专利8项。参与编制中国石油天然气行业标准《砂岩油田二氧化碳藏工程方案编制技术规范》1项，并于2019年11月正式发布。2017年12月，该技术通过了中国石化股份有限公司科技部组织的科技成果评价。

八、典型用户及投资效益

典型用户：中国石化中原油田分公司、中国石化东北油气分公司等。

典型案例1

案例名称：濮城水驱废弃油藏CO₂驱油与埋存工程项目

建设规模：项目方案设计注入22个井组，全区方案覆盖地质储量1135万吨，区块总存量埋存680万tCO₂，预测最终提高采收率9.9%。建设条件：中原炼化尾气捕集10万吨装置已建成，周边心连心集团工业捕集年捕集能力达到30万吨，以此解决炼厂废气排放并提高濮城高含水油藏采收率。主要内容：对中原油田特高含水油藏地面管汇及井筒油管套管进行注CO₂前的防腐改造，建设规模注气集输站和长距离输送管网、油水井恢复生产措施等。主要设备：包括CO₂压注站、集输站改造、单井管线、注入井管柱更换、采油井管柱更换、回收循环利用设备等。项目投资额12000万元，建设期3年。年碳利用量20万tCO₂，碳利用成本为50~80元/tCO₂。年经济效益约为3420万元，项目投资回收期约3.5年。

典型案例2

案例名称：腰英台低渗油藏CO₂驱油与封存工程项目

建设规模：腰英台CO₂区设计方案覆盖地质储量820万吨，预计埋存220万tCO₂，预计提高采收率6.7%。建设条件：配合松南高碳天然气开发，将高碳天然气脱碳、捕集，管网输送至腰英台油田进行CO₂非混相驱。主要建设内容：高碳天然气CO₂分离、捕集、压缩、液化；地面管输管网建设，以及管材腐蚀处理、油水井注采管柱井口更换等。主要设备：50万tCO₂年捕集液化装置、CO₂压注站、集输站、长距离输送管网、回收利用设备等。项目投资额6500万元，建设期3年。年碳利用量10万tCO₂，碳利用成本为50~80元/tCO₂。年经济效益约为4100万元，项目投资回收期约4年。

九、推广前景和减排潜力

根据2006-2010年《温室气体提高采收率的资源化利用及地下埋存》预测，我国陆相油藏约130亿吨石油地质储量适合CO₂驱油，可封存CO₂约50~60亿吨，CO₂高效驱油与规模埋存一体化技术具有广阔的应用前景。预计未来5年，我国将在准噶尔盆地、鄂尔多斯盆地、渤海湾盆地、松辽盆地、苏北盆地建设CO₂驱油规模应用示范工程，年注入CO₂规模达到300万吨/年，覆盖地质储量10000~15000万吨，5年埋存CO₂量1350万吨，项目推广比例将达到1%，总投资规模约为60亿元，可形成的年碳利用能力约为200万吨。

34 新型高效低能耗二氧化碳捕集技术

一、技术名称：新型高效低能耗二氧化碳捕集技术

二、技术类别：储碳技术

三、所属领域及适用范围：石油化工行业 二氧化碳捕集

四、该技术应用现状及产业化情况

电力、石油、石化等行业的 CO₂ 排放问题受到普遍关注，而 CO₂ 捕集是减少 CO₂ 排放和加强 CO₂ 资源化利用的一个重要途径。目前，化学吸收法是最成熟、应用最广泛的 CO₂ 捕集技术，但一直存在化学吸收液再生能耗高的缺点。该技术采用多种活性胺复配为吸收剂，大幅提高了 CO₂ 吸收能力，降低了再生能耗，可广泛用于电力、石油、石化等行业烟气中的 CO₂ 捕集。目前，该技术已在 16 个省市 100 多套装置成功应用，所捕集的 CO₂ 主要用于生产尿素、甲醇、合成气、食品级 CO₂ 等。

五、技术内容

1. 技术原理

该技术利用化学吸收剂与 CO₂ 的可逆反应，在一定温度和压力下，实现原料气中 CO₂ 的脱除和富集。传统的化学吸收液如乙醇胺 (MEA) 溶液普遍存在再生能耗较大、腐蚀性较强等问题。本技术从分子结构设计的角度进行新型胺基溶剂的设计，开发了多种活性胺复配的方法，形成含抗氧化剂的配方型系列新型胺基溶剂 (MA-1) 复合胺吸收溶剂，使 CO₂ 吸收能力大幅提高，再生能耗下降。新型胺基溶剂 (MA) 在保证 CO₂ 捕集率 > 90% 条件下，再生能耗较 MEA 溶剂降低 30% 以上，溶剂

的抗氧化降解性能显著提高。

2.关键技术

(1) 定制化的专利配方溶剂技术

根据待吸收气体组分差异、物理化学性质和净化要求，采用分子结构设计的方法，进行新型胺基溶剂的设计，调整吸收剂中活性胺、抗氧化剂、缓蚀剂等组分种类和配比，形成含抗氧化剂的配方型系列新型胺基溶剂（MA-1）复合胺吸收溶剂，增强了CO₂吸收能力，降低了再生能耗。

(2) 基于配方溶剂的配套工艺技术

基于开发的配方溶剂，根据气体净化处理指标，调整原料气的预处理工艺（深度净化工艺）、吸收工艺（分段吸收工艺、级间冷却工艺、膜吸收工艺）、再生工艺（分级流工艺、加压再生工艺）、溶液净化工艺（活性炭吸附工艺）、溶液回收工艺（胺回收加热工艺）等配套工艺技术。

3.工艺流程

工艺流程图见图 1。二氧化碳捕集过程主要包括烟气的预处理、填料塔吸收二氧化碳、再生塔吸收液再生活化释放二氧化碳等过程。

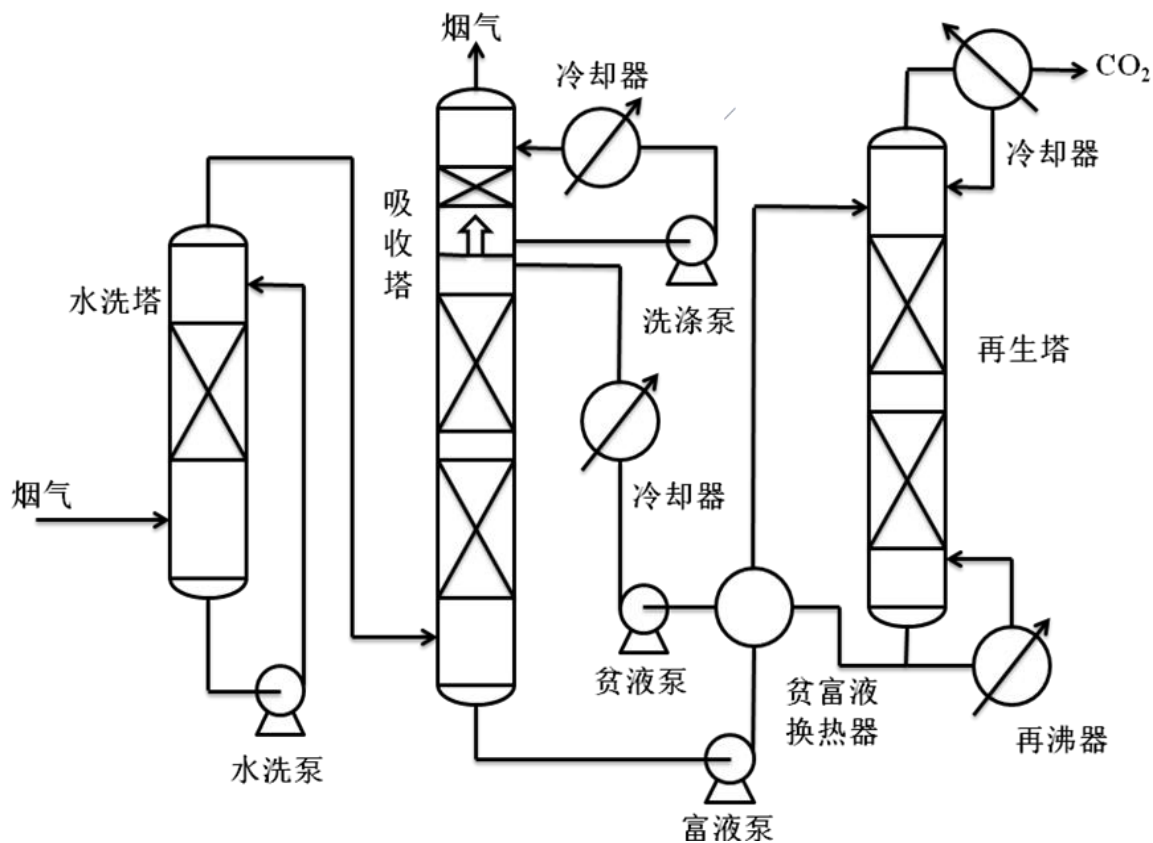


图1 二氧化碳捕集工艺流程图

六、主要技术指标

tCO₂ 捕集主要技术指标：

- 1.蒸汽消耗：1.5~2t；
- 2.电：70kW；
- 3.循环水：85t；
- 4.溶剂消耗：1kg；
- 5.捕集率：80~90%。

七、技术鉴定及获奖情况

该技术已获得国家发明专利5项，国际PCT发明专利2项。2011年11月通过了中国石化集团科技部组织的科技成果鉴定，整体技术达到国际先进水平。

八、典型用户及投资效益

典型用户：江苏华电句容发电厂、中原油田化工总厂等。

典型案例 1

案例名称：句容发电厂二期烟道气回收 1 万 t/年 CO₂ 捕集与精制工程

建设规模：额定烟道气处理量 6986Nm³/h，装置连续操作时间 7200 小时/年，回收 CO₂ 1 万 t/年。建设条件：现场具备循环冷却水、低压蒸汽、脱盐水、380/220V 电等公用工程。主要建设内容：塔器 3 座，换热器 7 台，容器 6 台，机泵 17 台。主要设备：深度洗涤塔一座，直径 2m，高度 19m；吸收塔一座，直径 2m，高度 35.5 米；再生塔一座，直径 1.6m，高度~33m。项目总投资 2000 万元，建设期为 24 个月。年碳减排量 10000tCO₂，碳减排成本为 120~140 元/tCO₂。年经济效益 300 万元，投资回收期约 6 年。

典型案例 2

案例名称：中原油田化工总厂年产 10 万吨二氧化碳项目

建设规模：额定烟道气处理量 60422Nm³/h，装置连续操作时间 8000 小时/年，回收 CO₂ 10 万吨/年。建设条件：现场具备循环冷却水、低压蒸汽、脱盐水、380/220V 电等公用工程。主要建设内容：塔器 6 座，换热器 11 台，容器 12 台，机泵 19 台。主要设备：深度洗涤塔一座，直径 4.4 米，高度 13.4 米；吸收塔一座，直径 4.4 米，高度 38.3 米；再生塔一座，直径 3.6 米，高度 40.3 米。项目总投资 6300 万元，建设期为 18 个月。年碳减排量 10 万 tCO₂，碳减排成本为 30~50 元/tCO₂。年经济效益 3360 万元，投资回收期约 2 年。

九、推广前景和减排潜力

预计未来5年，该技术可推广应用10~20处，年处理烟道气量265亿Nm³(以捕集率80%、烟气CO₂含量12%计)，预期推广比例将达到15%，项目总投资将达到12亿元，可形成的年碳减排能力约180万tCO₂。

六、碳汇类技术

35 基于关键因子调控的退化湿地储碳技术

一、技术名称：基于关键因子调控的退化湿地储碳技术

二、技术类别：储碳技术

三、所属领域及适用范围：农业 湿地退化治理

四、该技术应用现状及产业化情况

陆地生态系统固碳是当前国际社会公认的最经济可行和环境友好的减缓大气 CO₂ 浓度升高的重要途径之一。湿地是陆地生态系统的重要组成部分，在全球及区域碳循环过程中具有重要影响，其减排潜力对各国应对气候变化和碳减排履约具有重大意义。如何提高湿地生态系统碳储量和固碳速率，已经成为当前国际社会广泛关注的焦点。

基于关键因子调控的退化湿地储碳技术是一项修复退化湿地、强化植被和土壤储碳能力的综合性湿地治理技术。该技术通过水分调控和营养调控，改善湿地生境，促进湿地植物生长，提升湿地植被固碳和土壤储碳能力，为湿地固碳减排、发展碳汇经济提供技术支撑，具有良好的生态效益和社会效益。目前，该技术已在黑龙江省挠力河国家级自然保护区、兴凯湖国家级自然保护区、乌苏里江省级自然保护区等省级自然保护区累计推广应用 10 万亩，效果良好。

五、技术内容

1. 技术原理

基于关键因子调控的退化湿地储碳技术以东北地区典型退化湿地

为对象，通过水分和营养调控，改善湿地生境，增加湿地植被固碳量和土壤储碳量。该技术对促进湿地修复，提升湿地固碳能力，减缓温室气体排放，具有重要意义。

2. 关键技术

(1) 植被固碳水分调控技术。在每年5月中旬，通过引用地表水或农田退水方式控制湿地地表水位在10cm左右，最高水位不超过20cm。此水位条件下，湿地植被固碳量及碳净增量最大，植被固碳能力最强。

(2) 土壤储碳营养调控技术。将氮、磷、钾三种主要营养元素按 $N40\text{kg}/\text{hm}^2$ 、 $P30\text{kg}/\text{hm}^2$ 、 $K25\text{kg}/\text{hm}^2$ 进行综合配比，在植物返青期一次性施入退化湿地，改善退化湿地生境，促进湿地植物生长。此营养条件下，湿地土壤碳储量最大，湿地碳净增量较高。

3. 工艺流程

基于关键因子调控的退化湿地储碳技术工艺流程见图1。



图1 基于关键因子调控的退化湿地储碳技术工艺流程图

六、主要技术指标

1. 植被固碳量提高 10%;
2. 土壤碳储量提高 40%;
3. 湿地碳净增量提高 30%。

七、技术鉴定及获奖情况

该技术已获得国家发明专利 3 项。2016 年荣获黑龙江省科技进步奖（发明类）二等奖。该技术成果在黑龙江省挠力河国家级自然保护区、兴凯湖国家级自然保护区等地累计推广应用 10 万亩，生态效益显著。

八、典型用户及投资效益

典型用户：黑龙江省环境保护厅垦区环境保护局

典型案例 1

案例名称：挠力河国家级自然保护区退化湿地生态治理工程

建设规模：挠力河国家级自然保护区 1200hm² 湿地。建设条件：邻近地表水源或二级以上排干。主要建设内容：退化湿地补水 10cm，施肥量按 N40kg/hm²、P30kg/hm²、K25kg/hm² 施入。主要设备：6 寸抽水泵 6 台套，轻质柴油 3500L，水带 400m。项目总投资 38 万元，建设期为 6 个月。年碳减排量约 3 万 tCO₂，碳减排成本为 5~15 元/tCO₂。

典型案例 2

案例名称：兴凯湖国家级自然保护区生态治理工程

建设规模：兴凯湖国家级自然保护区 2600hm² 湿地。建设条件：邻近地表水源或二级以上排干。主要建设内容：退化湿地补水 10cm。主要设备：6 寸抽水泵 13 台套，轻质柴油 7600L，水带 1100m。项目总投资 20 万元，建设期为 6 个月。年碳减排量约 5 万 tCO₂，碳减排成本为 5~15 元/tCO₂。

九、推广前景和减排潜力

我国北方地区天然湿地有近二分之一呈现不同程度的退化，随着

国家“山水林田湖草”治理工作的推进，该技术推广潜力将逐步释放。预计未来 5 年，该技术可推广应用 15 万公顷，预期推广比例达到 3%，项目总投资 3000 万元，可形成的年碳减排能力约为 300 万 tCO₂。