

附件 2

《国家重点推广的低碳技术目录》

(第二批)

技术简介

目录

一、 非化石能源类技术.....	1
1 风电场、光伏电站集群控制技术.....	1
2 基于免蓄电池风光互补扬水灌溉技术.....	6
3 生物质气化燃气替代窑炉燃料技术.....	11
4 基于二次燃烧的高效生物质气化燃烧技术.....	15
5 基于氢氧化钠湿式固态常温预处理工艺的生物天然气制备技术.....	19
6 基于无机械搅拌厌氧系统的生物天然气制备技术.....	23
7 基于亚临界水热反应生物质废弃物资源化利用技术.....	28
8 工业生物质废弃物能源化（热解）利用集成技术.....	33
二、 燃料及原材料替代类技术.....	38
9 基于双膨胀自深冷分离的石油化工尾气高效回收技术.....	38
10 乙烯氧化生产环氧乙烷高性能银催化剂技术.....	44
11 粘度时变材料可控灌浆技术.....	49
12 新型干法水泥窑无害化协同处置污泥技术.....	55
13 全生物降解材料聚羟基脂肪酸酯（PHA）制造技术.....	60
14 竹缠绕复合压力管技术.....	64
15 利用废聚酯类纺织品生产再生涤纶短纤维关键技术.....	70
16 PH 型智能化扩容蒸发器技术.....	76
17 环保型 PAG 水溶性淬火介质淬火技术.....	80
18 车用锂离子动力电池系统开发技术.....	85

19 基于能源作物蓖麻的全产业链高值化利用技术.....	92
20 餐厨废弃物资源化利用生产生物腐植酸技术.....	97
三、 工艺过程等非二氧化碳减排类技术.....	102
21 煤层瓦斯增透解吸技术.....	102
22 六氟化硫（SF ₆ ）气体循环再利用技术.....	107
23 电力开关设备 SF ₆ 气体替代技术.....	112
24 利用 CO ₂ 替代 HFCs 发泡生产挤塑板技术.....	118
25 低充灌量 R290 空调压缩机技术.....	123
四、 碳捕集、利用与封存类技术.....	126
26 低碳低盐无氨氮分离提纯稀土化合物新技术.....	126
27 半碳法制糖工艺技术.....	132
五、 碳汇类技术.....	135
28 公益性人工林小林窗疏伐经营技术.....	135
29 秸秆清洁制浆及其废液肥料资源化利用技术.....	140

一、 非化石能源类技术

1 风电场、光伏电站集群控制技术

一、技术名称：风电场、光伏电站集群控制技术

二、技术类别：零碳技术

三、所属领域及适用范围：电力行业 新能源领域

四、该技术应用现状及产业化情况

我国规划 2020 年在甘肃、新疆、内蒙古、河北、吉林、江苏、山东和黑龙江等地区建成九个千万千瓦级风电基地，其中部分地区同时建设百万千瓦级光电基地，“规模化开发、集中并网”已成为我国可再生能源开发利用的主要模式之一。风电场、光伏电站集群控制技术可有效地平抑单一风场、光伏电站的随机性和波动性出力特性，形成规模和外部调控特性与常规电厂相近的电源，具备灵活响应大电网调度的能力，大幅度提高风电/光电的利用率。

目前，该技术已在甘肃酒泉 800 万千瓦风电场、300 万千瓦光伏电站进行示范应用，共接入敦煌、酒泉等 5 个协调控制主站，瓜州、玉门等 40 个控制子站，53 座风电场、18 座光伏电站、4 个火电厂，厂站规模达到 120 个，每年可减少弃风、弃光发电量 5%左右，相当于甘肃省每年增加发电量 10.4 亿 kWh，节约标准煤 33 万吨，减少碳排放 78 万 tCO₂。

五、技术内容

1. 技术原理

该技术通过配合大电网完成风-光-火-水协调调度、紧急控制，对内协调控制各风电场、光伏电站、无功补偿设备等，采取集群内部的在线有功控制、无功电压调整、运行优化和本地安全策略，进而提高系统效率，减少弃风、弃光等现象发生。其应用主要基于以下几种研究和技术：实时监测网络与数据支撑平台研究，联合功率预测及应用支持系统研究，集群运行优化及安全稳定防线研究，风电场、光伏电站集群控制策略研究，风/光电出力特性及建模验证和关键信息提取、可视化与可扩展方面的关键技术等。

2. 关键技术

（1）基于测风测光网络和实时监测数据平台的风光电源的动态状态估计技术

提出风光电源的动态状态估计方法，为风/光建模、联合功率预测系统开发和风光集群在线控制提供基础数据支持；

（2）大型风电、光伏集群“机组-场站-集群子网”多颗粒度建模技术

提出大型风电、光伏集群“机组-场站-集群子网”多颗粒度建模技术，为分层集群控制奠定模型基础；

（3）大规模风光集群联合功率预测及其误差综合评估技术

提出大规模风光集群联合功率预测及其误差综合评估技术，为集群控制系统提供关键决策依据；

（4）风电场、光伏电站集群有功、无功、安稳一体化控制技术

该技术通过集群方法实现内外分层协调控制，可有效提升网源协

调能力。

3. 工艺流程

风光集群控制系统结构图见图 1。

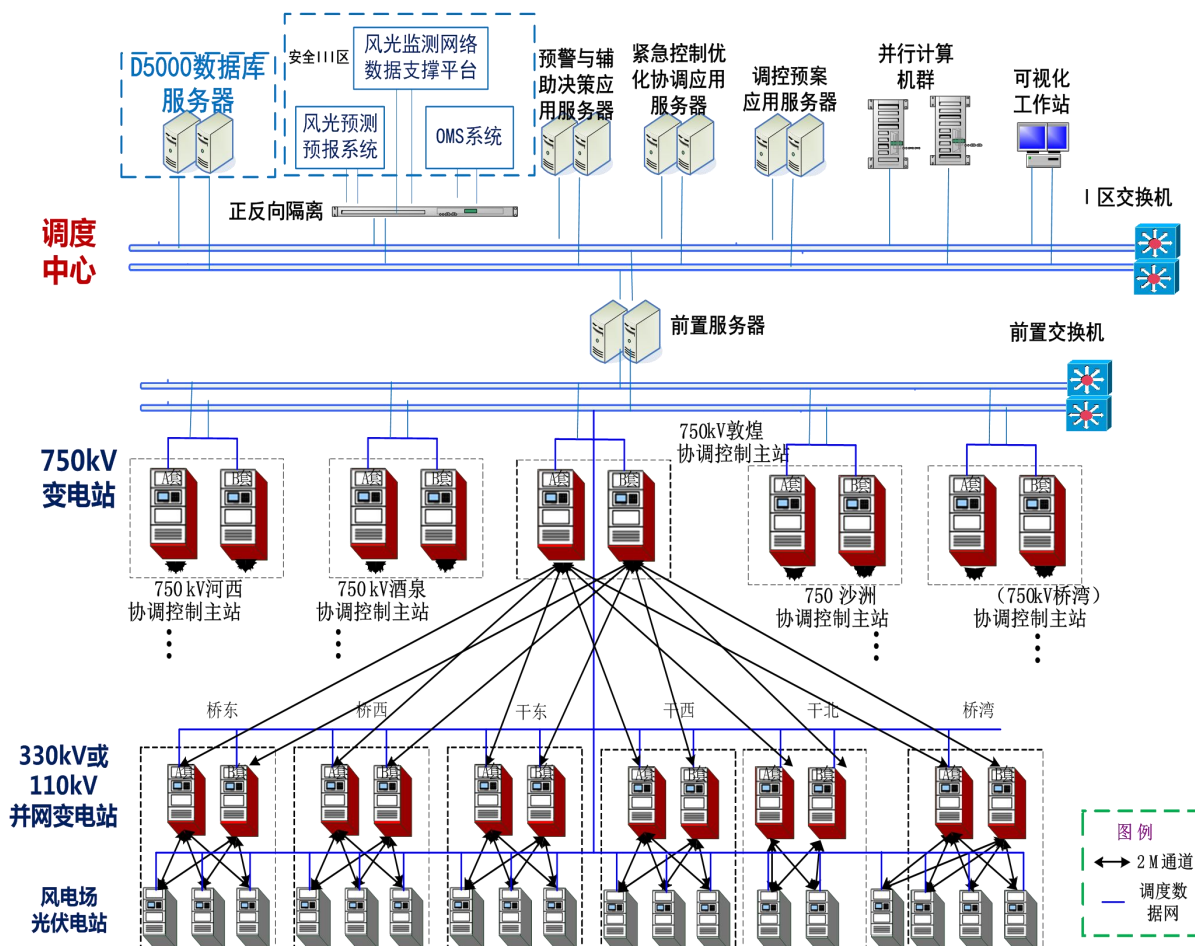


图 1 风光集群控制系统结构图

六、主要技术指标

1.有功控制命令控制周期 $\leq 5\text{min}$ ；新能源电站有功控制响应时间

$\leq 10\text{s}$ ，控制偏差 $\leq 3\text{MW}$ ；新能源电站申请更改有功出力计划的时间间隔 $\leq 1\text{min}$ ；

2.电压控制命令控制周期 $\leq 5\text{min}$ ；无功控制命令控制周期 $\leq 1\text{min}$ ；
新能源电站电压控制响应时间 $\leq 120\text{s}$ ，控制偏差 $\leq 0.5\text{kV}$ ；

3.调度中心站安全稳定控制策略在线刷新周期 $\leq 5\text{min}$ ；厂站端控制装置本地整组动作时间 $\leq 30\text{ms}$ ，系统整组动作时间 $\leq 100\text{ms}$ ；

4.重要模拟量更新周期 $\leq 3\text{s}$ ；开关量状态变化传送时间 $\leq 2\text{s}$ ；场站侧命令执行时间 $\leq 1\text{s}$ 。

七、技术鉴定情况

该技术已获得国内发明专利 12 项，获得实用新型 10 项目；软件著作权 25 项；制定技术标准 20 项；出版专著 3 本。

八、典型用户及投资效益

典型用户：甘肃酒泉千万千瓦风电基地、百万千瓦光电基地等。

典型案例

案例名称：酒泉大规模风、光集群控制系统示范工程

建设规模：建成覆盖 800 万千瓦风电场、300 万千瓦光伏电站的新能源集群控制系统示范工程。建设条件：风、光集群控制系统示范工程为四级控制体系，分别为调度中心站、控制主站、控制子站和执行站，风电场、光伏电站升压站作为控制子站，各个风电场、光伏电站作为执行站。主要建设内容：建设以测风塔、测光站为主的资源监测网络，覆盖风电基地、光电基地的运行监测网络，集群控制系统调度中心站、控制主站、控制子站、执行站的建设。主要设备为 44 座测风塔、18 座测光站，1 个调度中心站、5 个控制主站、40 个控制子站、

75 个执行站。项目总投资 7880 万元，建设期为 36 个月。应用风电场、光伏电站集群控制技术每年可减少弃风、弃光发电量 5% 左右，产生年经济效益 6.3 亿元，可节约标准煤 33 万 t，减少碳排放约 78 万 tCO₂，碳减排成本约 100 元/tCO₂。

九、推广前景和减排潜力

随着我国新能源发展战略的持续推进，在今后一段时期内我国大规模风电基地、光电基地的建设还会保持高速发展态势，风电场、光伏电站集群控制系统将具有广阔的发展空间和推进应用前景。预计未来 5 年，该技术可推广应用 30 套，包括 10 套中心站和约 1000 套厂站端装备，年可以减少弃风、弃光电量约 63 亿 kWh，可减少碳排放 468 万 tCO₂。

2 基于免蓄电池风光互补扬水灌溉技术

一、技术名称：基于免蓄电池风光互补扬水灌溉技术

二、技术类别：零碳技术

三、所属领域及适用范围：农业灌溉、养殖业水循环

四、该技术应用现状及产业化情况

我国丘陵山地面积约占全国总面积的55%，丘陵山地作物的灌溉用水往往需要从低处扬提。采用传统电网输电驱动水泵提水，不仅受制于电网线路铺设，同时耗电量大。该技术的核心是将风光互补的能量直接用于扬水，而无需传统风能太阳能利用中的蓄电池蓄能环节，不但节能更节约灌溉成本，也降低维护费用和设备故障率。同时，该技术采用先进的通讯和控制技术将有限的灌溉水用在作物生长发育的关键期，起到节水且保障作物产量和品质的作用。目前，该技术分别在福建省不同地区的3个山地茶园、1个山地果园和1个山地蔬菜种植基地应用，合计应用总面积达2.3万亩。

五、技术内容

1. 技术原理

太阳能光伏电池阵列的输出直接连接到风光互补控制器的输入端，风力发电机组的输出连接到风光互补控制器的输入端。若太阳能光伏电池阵列的输出电流大于或等于第一电流阈值，第一IGBT管（VT1）导通，太阳能光伏电池阵列的输出电压全部加到输出电感（L）上，实现输出供电电压；若风力发电机组的输出电流大于或等于第二

电流阈值，第二IGBT管（VT2）导通，风力发电机组的输出电压全部加到输出电感（L）上，实现输出供电电压；当太阳能光伏电池阵列与风力发电机组的输出电流均分别大于对应的预设阈值时，两者并网输出。输出电压直接控制直流或交流水泵，进行扬水并积蓄于高处的蓄水池。高处蓄水池的水经自压管道输送到各灌溉分区的电磁阀。电磁阀的开启或关闭由太阳能供电的灌溉控制系统控制，控制信息来自作物调亏灌溉需求，使灌溉水适时适量用在作物生长发育的关键期。

2. 关键技术

（1）免蓄电池的风光互补扬水技术

太阳能和风能互补直接用于高扬程扬水，且无需蓄电池，提高能量的利用效率，显著降低太阳能与风能的利用成本；

（2）农作物调亏灌溉技术

农作物调亏灌溉，为作物的生长发育适时适量供水，既保障作物的产量和品质，也节约灌溉用水；

（3）太阳能作物灌溉自动控制技术

太阳能供电的作物灌溉自动控制技术，灌溉信息通过短信方式推送到用户手机，便于用户及时了解灌溉情况。

3. 工艺流程

风光互补扬水灌溉集成技术的原理图和示意图分别见图1和图2。

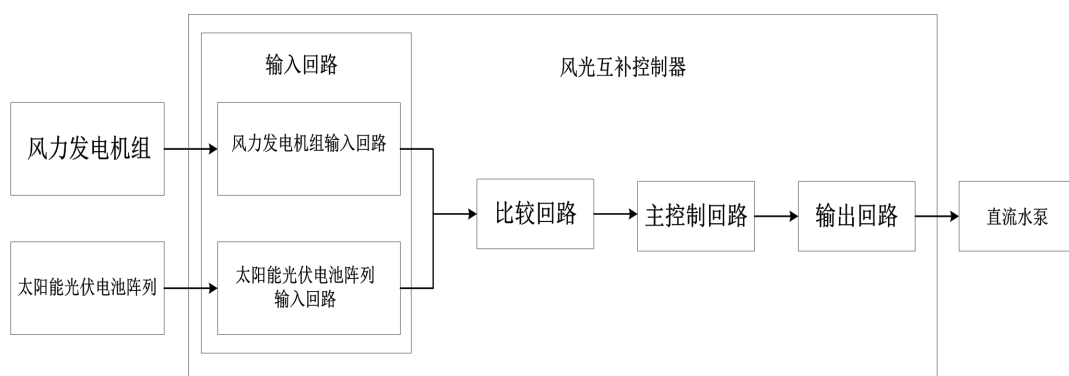


图 1 风光互补扬水灌溉集成技术原理图

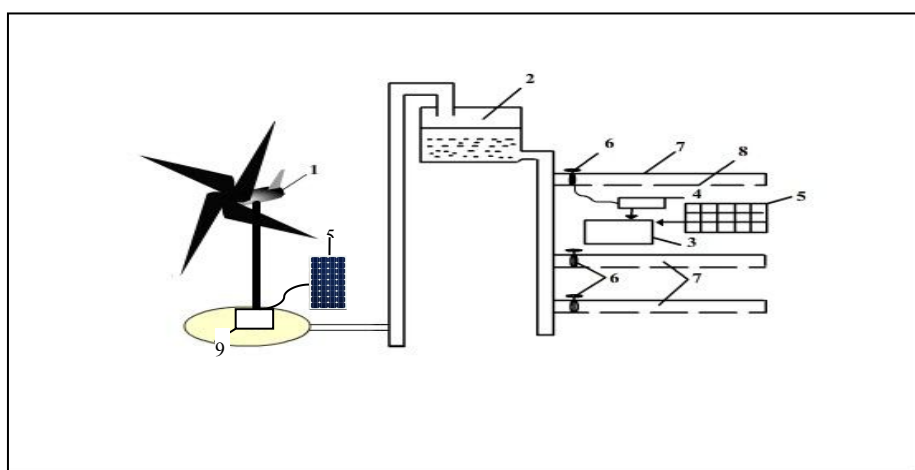


图 2 风光互补扬水灌溉集成技术示意图

- 1 风能发电机；2 蓄水池；3 调亏灌溉控制器；4 蒸发盆；5 太阳能电池板；
6 电磁阀；7 管道；8 喷头；9 免蓄电池的风光互补扬水控制器

六、主要技术指标

1. 风叶长度：1.7m（标配）；
2. 太阳能电池板面积：3.0m²（标配）；
3. 平均有效扬水量：27.0 m³/天；
4. 平均有效节能3.7kW.h/天.台。

七、技术鉴定情况

该技术于 2011 年通过福建省教育厅科技成果鉴定，并获 2 项国家

发明专利授权。

八、典型用户及投资效益

典型用户：福建省莆田市松岭生态农业发展有限公司生态茶园、福建省南安市桃源葡萄园等。

典型案例 1

案例名称：生态茶园的免电池风光互补扬水与控制技术示范项目

建设规模：9 台风光互补扬水设备，20 套作物调亏灌溉控制技术设备。建设条件：沿海山地风力资源充足，太阳辐射强。主要内容：该茶园的灌溉主要依靠降雨，由于福建季节性高温干旱的气候时常发生，导致在关键期茶园灌溉水经常不足，茶叶产量和品质屡屡受损。项目改造茶园扬水、蓄水和灌溉控制方式。利用免蓄电池的风光互补扬水技术设备进行扬水、利用作物灌溉控制器自动控制灌溉时间点与灌溉量。主要设备：免蓄电池的风光互补扬水设备和作物灌溉控制技术设备。项目总投资 38 万元，建设期为 1 个月。年减排量约 31tCO₂，每年可产生经济效益 500 万元，投资回收期约 2 年，碳减排成本为 730 元/tCO₂。

典型案例 2

案例名称：葡萄园风光互补扬水灌溉集成技术示范项目

建设规模：3 台风光互补扬水设备和 10 套调亏灌溉控制系统。建设条件：太阳辐射强，风力资源充足。主要内容：该葡萄园原来经过远距离电力布线，利用电动抽水机扬水到蓄水池蓄水，并需专人控制各分区的灌溉。采用该技术对扬水与分区灌溉控制方式进行改造，用太阳能和风能提供灌溉扬水及其控制所需的能源，不仅可节省电力

布线 and 电动抽水的能耗，而且可完全避免因电线导致田间劳作触电的危险。主要设备：免蓄电池的风光互补扬水设备、调亏灌溉控制技术和自压管道。项目总投资 20 万元，建设期为 1 个月。年减排量约 10tCO₂，产生经济效益 300 万元，投资回收期约 2 年。碳减排成本为 730 元/tCO₂。

九、推广前景和减排潜力

我国的丘陵山地分布着大量山地果茶园、草原牧场等小农场，这些农场一般远离村落，受距离等因素的制约，常常电力供应成本高，有的地方甚至电力线路难以企及。近年来各地大力发展地方特色现代农业，利用风能和太阳能的灌溉集成技术将可有效改变山地果茶园、草原牧场等以往靠天吃饭的被动格局，得到重视并推广应用。预计未来 5 年，预期推广比例将达到 10%，可形成年碳减排能力 20 万 tCO₂。

3 生物质气化燃气替代窑炉燃料技术

一、技术名称：生物质气化燃气替代窑炉燃料技术

二、技术类别：零碳技术

三、所属领域及适用范围：可再生能源生物质能源化利用

四、该技术应用现状及产业化情况

我国生物质资源丰富，其利用方式主要有成型燃料、直燃发电、厌氧制沼气等，但各类技术发展均存在一定的瓶颈。该技术以工业领域热需求为目标市场，通常单一热需求用户需要消耗生物质原料在6万吨左右，燃料选择广泛，受周边燃料市场的制约相对较小。目前，该技术已在广东汕头、深圳、佛山、肇庆等地建立了示范工程，涉及行业包括钢铁、有色金属熔炼等。生物质气化燃气替代传统的煤、重油和天然气等化石能源，清洁低碳，具有良好的经济和社会效益。

五、技术内容

1. 技术原理

该技术的核心设备是混流式固定床气化炉。原料从设备顶部进入气化炉后，在高温和气化剂作用下转化为含有一氧化碳、氢气和甲烷等成分的可燃气。气化剂可从气化炉的上部和下部同时进入，产生可燃气体经炉体中部排出，而炉渣由炉底炉排输送到灰渣池。由炉体中部排出的可燃气体经过净化除尘后送往工业燃烧设备。该气化气可用于不锈钢退火炉、熔铜炉、熔铝炉等工业窑炉，可实现对燃煤、重油、天然气等传统化石燃料的替代。

2. 关键技术

（1）生物质混流式固定床气化技术

通过将上吸式固定床与下吸式固定床优化组合，解决生物质固定床气化过程中燃气温度低和生产规模小的常见问题；

（2）高温生物质燃气除灰及输送技术

通过燃气高温除尘器和燃气高温输送风机，实现高温除尘高温输送的一体化设计，既满足工业窑炉对生物质燃气洁净度的要求，又可避免生物质燃气的显热损失、过度除焦油的能量损失以及焦油冷凝带来的管道堵塞问题；

（3）低热值燃气高效燃烧及污染控制技术

通过低热值燃气连续式蓄热燃烧器，在高效燃烧的同时降低 NO_x 和 SO_2 等污染物的含量，实现中低热值燃气燃烧工况的有效调节，满足工业窑炉对火焰长度、燃烧温度、环境气氛和污染物控制等方面的要求；

（4）生物质气化系统与工业窑炉耦合调控技术

根据窑炉生产需求可快速调节产气负荷，避免浪费和燃气不足的情况发生。

3. 工艺流程

该技术是一项由生物质原料气化到用气设备端的完整工艺。以熔铝炉为例，工艺系统由原料储存、上料设备、固定床气化炉、灰渣处理装置、燃气输送、熔铝炉蓄热燃烧系统、熔铝炉烟风系统及主辅设备控制系统构成，详见图1所示。

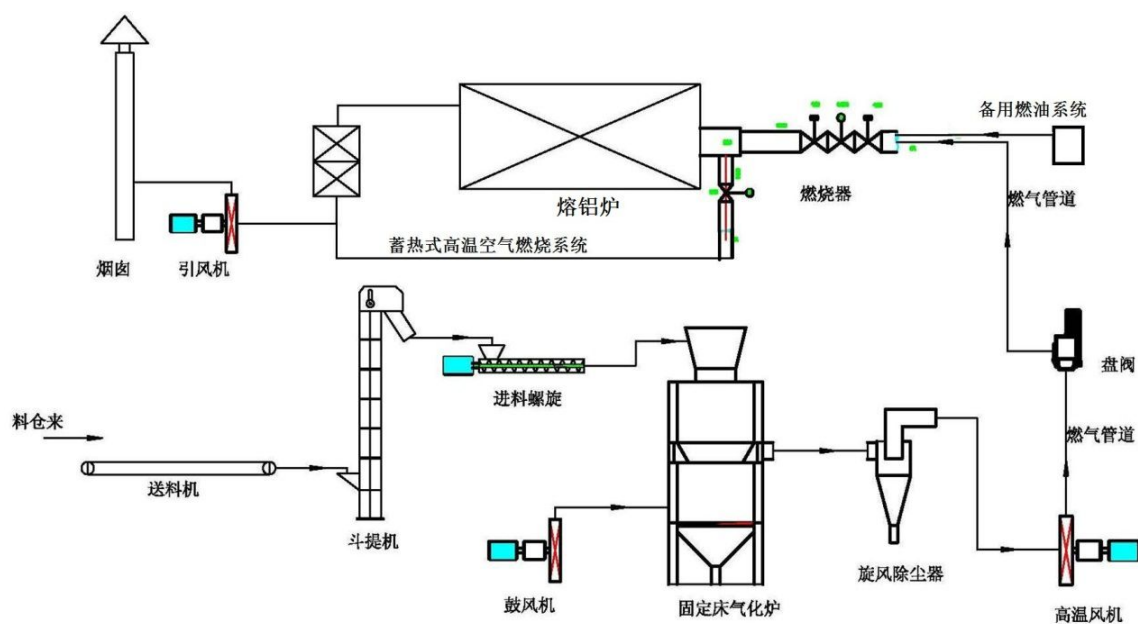


图 1 生物质燃气替代化石燃料工艺流程图（熔铝炉为例）

六、主要技术指标

1. 气化炉生物质原料处理量3t/h;
2. 燃气热值: 1350kcal/Nm³;
3. 燃气杂质含量: ≤50mg/Nm³;
4. 生物质燃气产率: 1.8 ~ 2Nm³/kg;
5. 气化效率 (热燃气): ≥85%。

七、技术鉴定情况

该技术已获得 5 项国家发明专利, 5 项实用新型专利。

八、典型用户及投资效益

典型用户: 佛山金兰铝厂有限公司、肇庆市弘达实业有限公司、深圳市华美钢铁有限公司等。

典型案例 1

案例名称: 佛山金兰铝厂有限公司生物质燃气熔铝炉供热技改项

目

建设规模：年耗生物质原料 5.4 万吨，替代燃油折合标准煤 2.1 万吨/年，若折合替代天然气相当于 2835 万立方米。建设条件：项目周边资源丰富，热用户用热需求稳定。主要内容：4 套生物质气化设备，以生物质燃气替代燃油，供热于数台铝熔炼炉及保温炉。项目投资约 2000 万元，建设周期约 6 个月，年经济效益约 780 万元，项目投资回收期约 2.6 年。年减排量约 5 万 tCO₂，碳减排成本约 150 元/tCO₂。

典型案例 2

案例名称：肇庆弘达公司生物质燃气有色金属熔炼炉供热技改项目

建设规模：年耗生物质原料 5000 吨，替代燃油折合标准煤 1900 吨/年，若折合替代天然气相当于 262 万立方米。建设条件：项目周边资源丰富，用户用热需求稳定。主要内容：生物质气化设备及辅助工程的施工。项目投资约 350 万元，建设周期约 6 个月，年经济效益约 210 万元，项目投资回收期约 1.7 年。年减排量约 4600tCO₂，碳减排成本约 150 元/tCO₂。

九、推广前景和减排潜力

预计未来 5 年，应用该技术项目总投资额可达到 1.5 亿元，按照耗用生物质量 25 万吨/年计算，可替代标准煤 9.5 万吨/年，可形成年减排能力约 25 万 tCO₂。

4 基于二次燃烧的高效生物质气化燃烧技术

一、技术名称：基于二次燃烧的高效生物质气化燃烧技术

二、技术类别：零碳技术

三、所属领域及适用范围：可再生能源 生物质能源化利用

四、该技术应用现状及产业化情况

在我国，生物质能能源化利用比例逐年加大。截至目前，已开展生物质供热项目超过200个，项目规模最大达到了80t/h，应用领域覆盖钢铁、医疗、化工等十几个行业。其中，生物质气化燃烧技术也有少量应用，但存在规模小、气化效率低、合成气热值低、焦油含量高和经济效率低等问题。基于二次燃烧的高效生物质气化燃烧技术可实现单台生物质锅炉容量达到1200万千卡，同时高温燃烧使焦油裂解焚烧彻底，保证设备的工作稳定性；另一方面，因该技术利用生物质热能产生高温火焰和气体用于锅炉和工业炉窑加热，目前已在我国广东省和浙江省得到应用，具有广泛的适用性和较大的推广潜力。

五、技术内容

1. 技术原理

该技术可视作生物质燃烧器，将生物质成型燃料在第一燃烧室内进行悬浮式半气化半燃烧，产生800~1000℃的高温火焰及少量的颗粒烟尘。经一次燃烧后的气体喷射到蓄热燃烧室（二次升温燃烧室）二次补氧升温，进一步充分燃烧，产生1200~1300℃的高温清洁火焰，为锅炉或熔炼炉、烘干炉、导热油炉等工业窑炉供热。

2. 关键技术

(1) 悬浮气化技术

采用双层结构燃烧器，炉膛上层对生物质成型燃料进行鼓风悬浮半气化半燃烧，热效率达到 90%以上；

(2) 自动化分级控温技术

通过温度、风量分级控制，避免焦油等物质对设备的堵塞和腐蚀，提高锅炉燃烧效率，同时减少氮氧化物的排放；

(3) 烟气余热回收技术

采用热交换装置回收尾气热能，可降低单位产出能耗达10%以上；

(4) 耐高温蓄热装置

在二次燃烧室外包裹蓄热耐火材料，使二次燃烧室内恒定高温，避免局部冷却产生结焦问题。其耐火材料抗酸性能好，使用寿命长，性能稳定。

3. 工艺流程

生物质气化燃烧技术原理图见图1。

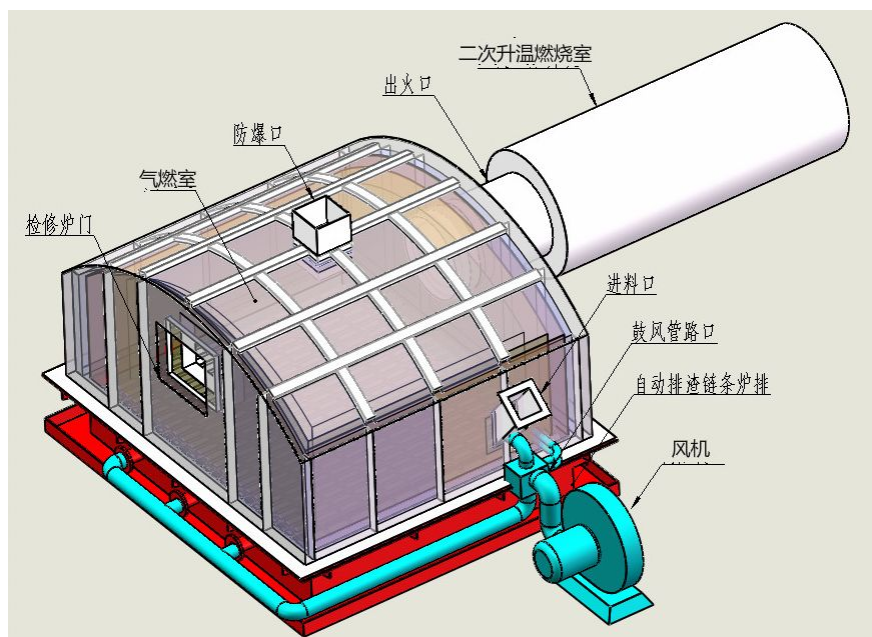


图 1 基于二次燃烧的高效生物质气化燃烧技术原理图

六、主要技术指标

- 1.燃烧器点火启动时间： $\leq 8\text{min}$;
- 2.燃烧器热效率： $>90\%$;
- 3.燃料燃烧排放浓度：烟尘 $\leq 20\text{mg/m}^3$ ， $\text{SO}_2 \leq 20\text{mg/m}^3$ ， $\text{NO}_x \leq 200\text{mg/m}^3$ 。

七、技术鉴定情况

该技术已获得国家实用新型专利 12 项，并通过中国特种设备检测研究院试验，浙江省特种设备检测研究院和浙江省特种设备节能检测中心的锅炉运行工况能效测试。

八、典型用户及投资效益

典型用户：浙江正华纸业有限公司、湖州长盛化工有限公司、杭州千岛湖渔具制造有限公司、湖州吉昌化工有限公司、湖州市道场电镀厂等。

典型案例 1

案例名称：浙江正华纸业有限公司生物质气化供热项目

建设规模：锅炉容量为 10t/h ，年利用生物质成型燃料 1 万吨。建设条件：能提供锅炉安装的场地，具备连续运行的生产用能需求。主要内容：对 10t/h 燃煤锅炉进行改造，增加一台生物质成型燃料气化燃烧设备。主要设备为生物质气化燃烧器、蓄热器、热交换器和自动装置。项目总投资 50 万元，建设期为 1 个月。年减排量约 1.3 万 tCO_2 ，年经济效益 570 万元，投资回收期约 1 个月。碳减排成本约 40 元/ tCO_2 。

典型案例 2

案例名称：湖州长盛化工有限公司生物质气化供热项目

建设规模：锅炉容量为 6t/h，年利用生物质成型燃料 6000 吨。建设条件：能提供锅炉安装的场地，具备连续运行的生产用能需求。主要内容：增加一台生物质成型燃料气化燃烧设备和 1 台 6t/h 锅炉。主要设备为生物质气化燃烧器 1 台、蓄热器、自动装置 1 套、6 吨蒸汽锅炉。项目总投资 74 万元，建设期为 1 个月。年减排量约 0.79 万 tCO₂，年经济效益 342 万元，投资回收期约 3 个月。碳减排成本约 94 元/tCO₂。

九、推广前景和减排潜力

该技术的推广有助于提高我国生物质燃料能源化利用比例，对于工业及民用供热、加热系统具有较强的适用性。预计未来 5 年，全国生物质锅炉将达到 1 万座，该技术的预期市场占有率可达 15%，可形成年碳减排能力 980 万 tCO₂。

5 基于氢氧化钠湿式固态常温预处理工艺的生物

天然气制备技术

一、技术名称：基于氢氧化钠湿式固态常温预处理工艺的生物天然气制备技术

二、技术类别：零碳技术

三、所属领域及适用范围：生物质能 废弃物处理领域

四、该技术应用现状及产业化情况

我国生物质秸秆资源丰富，但分布较为分散，不适合进行大规模的工业化利用。制备沼气是对生物质秸秆及其他有机废弃物进行资源化和能源化利用的传统方法之一。但目前，我国利用秸秆及有机废弃物制备沼气技术一般多用于农村户用沼气池或中小规模沼气工程项目，工业化大规模沼气制备技术相对较少。该技术突破了传统秸秆制备沼气的瓶颈，以秸秆及其他有机废弃物作为原料进行联合厌氧发酵产生沼气，沼气经提纯后生产生物天然气，可有效提高沼气的利用品质。目前，该技术已在内蒙古赤峰市进行示范应用，具有良好的经济和社会效益。

五、技术内容

1. 技术原理

通过对秸秆等有机废弃物原料进行预处理，破坏原料结构，增加其可分解性，进而提高原料的转化效率和产气量。预处理后的原料按一定的混配比进行中温（恒温）厌氧发酵，发酵过程中定时进行全方

位、无死角搅拌，保障物料传质、传热均匀稳定，以实现沼气高效率产生。沼气产出后进行纯化处理，将甲烷浓度净化至96%以上。纯化剩余物CO₂采用吸附精馏法生产高纯度CO₂产品；发酵剩余物质经固液分离后，沼液经处理后循环使用，也可生产液体有机肥，沼渣经元素配比后生产颗粒有机肥。该技术极大的提高了秸秆基沼气的产量和产气效率，并将废弃物资源化利用，具有良好的减排效果。

2. 关键技术

（1）高效预处理技术

采用物理和化学方法对秸秆等有机废弃物进行预处理，破坏原料结构，增加原料可分解性，进而提高原料的转化效率和产气量。

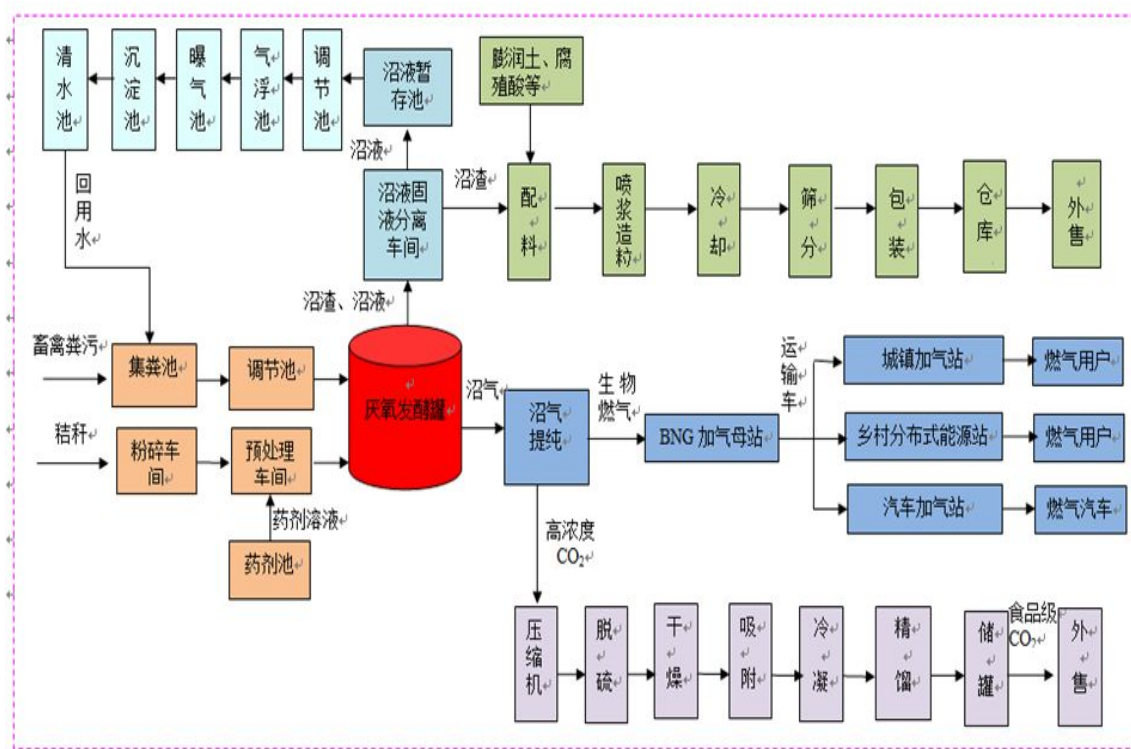
（2）发酵温度控制技术

通过全方位温度检测系统，实时监测发酵系统温度，并控制加热系统实现发酵温度恒定。

（3）高效能搅拌技术

该搅拌技术可实现发酵罐内全方位无死角搅拌，保障物料传质、传热均匀稳定，以实现沼气高效率产生。

3. 工艺流程



系统工艺流程图见图1。

图1 系统工艺流程图

六、主要技术指标

1. 玉米秸秆产气率 $\geq 400\text{m}^3/\text{t}$ (TS);
2. 容积产气率 $\geq 1\text{m}^3/(\text{m}^3\cdot\text{d})$;
3. 生物天然气纯度:甲烷浓度 $\geq 96\%$ 。

七、技术鉴定情况

该技术已获得国家发明专利 1 项。

八、典型用户及投资效益

典型用户：赤峰市阿鲁科尔沁旗

案例名称：阿旗特大型农牧业有机废弃物生产生物天然气与有机肥循环化综合利用项目

建设规模：总厌氧发酵容积 6 万 m^3 (单体 5000 m^3 发酵罐 12 座);

日产沼气 6 万 m^3 、提纯生物天然气 3 万 m^3 ；年产有机肥 5 万吨、液态 CO_2 1.37 万吨。建设条件：项目所在地具有丰富的农牧业有机废弃物资源，生物燃气的销售通畅。主要建设内容：厌氧发酵罐、预处理车间、有机肥车间、提纯车间等。主要设备为：预处理设备、进出料设备、搅拌设备、提纯设备等。项目总投资约 1.8 亿元，建设期为 24 个月，项目建成后可实现年减排量约 3.5 万 tCO_2 ，减排成本约 200 元/ tCO_2 。年可获得经济效益 2650 万元，项目投资回收期约 6.8 年。

九、推广前景和减排潜力

目前，该技术已在内蒙古赤峰市阿鲁科尔沁旗成功示范应用，为农林秸秆等有机废弃物制备生物天然气，并进行工业化、规模化、商业化模式运营提供了有益的探索，推广潜力较大。预计在未来 5 年内，该技术将推广至 20~30 个项目，以推广至 20 个项目估算，可形成年碳减排能力 70 万 tCO_2 。

6 基于无机械搅拌厌氧系统的生物天然气制备技术

一、技术名称：基于无机械搅拌厌氧系统的生物天然气制备技术

二、技术类别：零碳技术

三、所属领域及适用范围：生物质能 废弃物处理领域

四、该技术应用现状及产业化情况

我国秸秆资源丰富，制备沼气是秸秆资源进行能源化利用的重要途径之一。该技术采用无机械搅拌厌氧系统，在技术上成功克服了秸秆厌氧发酵等技术难题，实现多原料混合厌氧发酵制沼气，并通过持续技术改进降低能耗、维护、人工等成本，突破多种气候区应用限制，有效降低沼气生产成本。该技术建立了从制备、净化、远距离输送工业级沼气的全产业链，使沼气从中间产品转化为终端能源产品，实现沼气的工业化、规模化、商品化利用。目前，该技术已经在山东、河北等地进行应用。

五、技术内容

1. 技术原理

该技术通过中温厌氧发酵降解农作物秸秆、养殖业畜禽粪便、屠宰废料、餐厨垃圾等废弃物中的有机成分，杀灭有害菌和病原体，并转化为生物能源沼气。通过沼气净化系统去除沼气中的有害气体和二氧化碳，使甲烷浓度大于95%，并用于制备压缩天然气或并入市政天然气管网。同时，将沼液、沼渣用以制备生物质有机肥，替代化学肥料，实现生物质资源的自然循环。

2. 关键技术

(1) 高效超大型厌氧反应器技术

该厌氧反应器占地面积小，单体反应器容积可实现 6000m^3 以上，处理能力可达 500 吨/天，最高容积产气率 $\geq 2.3\text{m}^3/(\text{m}^3\cdot\text{d})$ ，每天单罐可产沼气 1.5 万方，能够满足 30 万人城镇污染治理需求及 5 万居民能源需求，规模化效益明显；

(2) 低耗能、高稳定性沼气循环技术

厌氧反应器采用航空前沿技术-气液固多相流技术搅拌，罐体内无活动件，终生免开罐维修，原料先进先出，并且搅拌耗能大大降低；

(3) 工业级沼气的净化、加压、长途运输技术

沼气能够通过管道或中压沼气罐车进行输送，能够对城市燃气管网无法覆盖的农村地区及远距离工业用户持续稳定供应燃气；

(4) 沼液循环利用技术

对发酵后的沼气进行重新回收利用，将其与新来原料均匀混合，作为新原料的接种菌种循环利用，减少项目资源消耗并显著提高项目效率。

3. 工艺流程

该技术的工艺流程模式见图1，工艺流程系统图见图2。

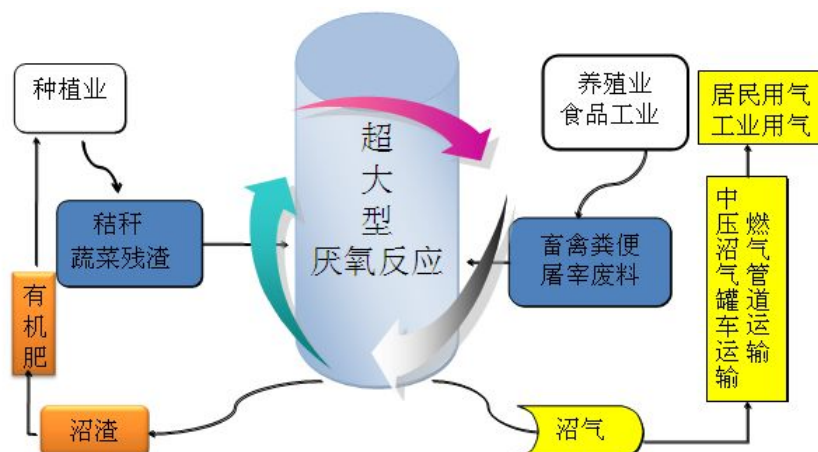


图1. 工艺流程模式图

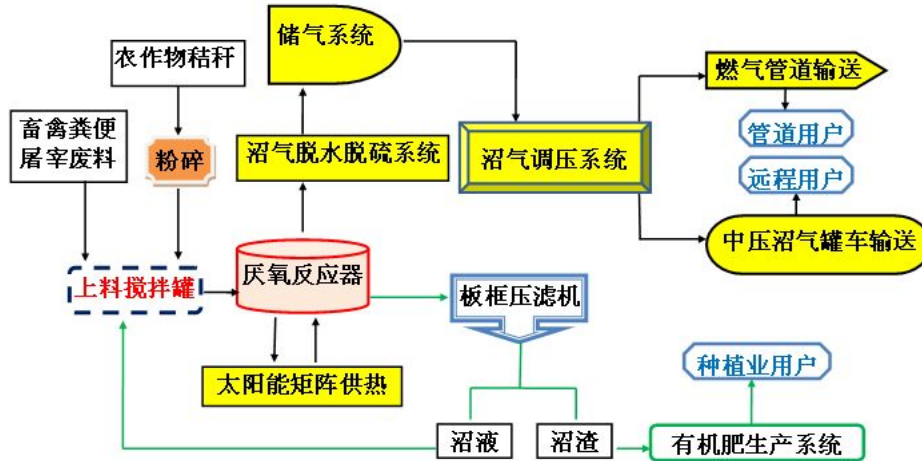


图2. 工艺流程系统图

六、主要技术指标

1. 厌氧罐单体容积 $\geq 6000\text{m}^3$;
2. 厌氧反应器最大容积产气率 $\geq 2.3\text{ m}^3/(\text{m}^3\cdot\text{d})$;
3. 沼气输送压力: 0-4.5 MPa;
4. 沼气输送距离: 0-40 km (按照经济效益计算所得);
5. 大修维护周期 ≥ 15 年。

七、技术鉴定情况

该技术已获得国家发明专利 3 项，实用新型专利 17 项。

八、典型用户及投资效益

典型用户: 青岛南方国能清洁能源有限公司、青岛中清能生物能

源有限公司、潍坊天昊环保科技有限公司等。

典型案例 1

案例名称：青岛南方国能清洁能源有限公司

建设规模：日产沼气最 2 万 m^3 。项目建设条件：有适合建设场地，周边 25 公里范围内有充足有机废弃物，有适宜沼气用户。主要建设内容：建设 1 座 3000m^3 厌氧发酵罐、1 座 3500m^3 厌氧发酵罐、1 座 150m^2 投料车间、1 台 2000m^3 方双顶膜干式储气柜、1 座 $1400\text{m}^3/\text{h}$ 沼气加气站及 10 公里沼气管网。主要设备为秸秆粉碎机、上料泵、厌氧发酵罐、生物脱硫塔、干法脱硫塔、沼气和液分离器、沼气和压缩机、沼气和运输车等。项目总投资为 3500 万元，建设期 1 年。年减排量 6000tCO_2 ，年经济效益 600 万元，投资回收期 6.5 年。碳减排成本为 388 元/ tCO_2 。

典型案例 2

案例名称：青岛中清能生物能源有限公司

建设规模：日产沼气最大量 5 万 m^3 ，日处理鸡粪、牛粪、屠宰污泥、咖啡渣等 700 吨。建设条件：有适合建设场地，周边 25 公里范围内有充足有机废弃物，有适宜沼气用户。主要建设内容：建设 2 座 6200m^3 厌氧发酵罐，建设 1 座 400m^2 投料车间、1 座 96m^2 锅炉房、1 台 3000m^3 双顶膜干式储气柜、1 座 $3400\text{m}^3/\text{h}$ 沼气和加气站及 1 座 800m^2 沼渣处理车间。主要设备为上料搅拌器、上料泵、厌氧发酵罐、生物脱硫塔、干法脱硫塔、气和液分离器、沼气和压缩机、沼气和运输车、固液分离机、锅炉等。项目总投资 4500 万元，建设期 1 年。年减排量 1.2 万 tCO_2 ，年经济效益 800 万元，投资回收期 7 年。减排成本为 250 元/ tCO_2 。

九、推广前景和减排潜力

根据国家可再生能源中长期发展规划目标,到 2020 年计划建成规模化沼气工程 16000 座,年产沼气 140 亿 m^3 ,每年减排温室气体 1.5 亿吨二氧化碳。该技术相对传统大型沼气工程,具有稳定性高、运行成本低的优点,在不依靠政府补贴的情况下,可以实现沼气工程完全商业化运行,发展前景广阔。预计未来 5 年内,约有 3%的沼气工程将采用本技术,年产沼气量约 10 亿 m^3 ,可形成年碳减排能力 188 万 tCO_2 。

7 基于亚临界水热反应生物质废弃物资源化利用技术

一、技术名称：基于亚临界水热反应生物质废弃物资源化利用技术

二、技术类别：减碳技术

三、所属领域及适用范围：农业 废弃物处理

四、该技术应用现状及产业化情况

我国生物质废弃物资源丰富，但高值化利用率相对偏低。本技术创新性的采用亚临界水热反应生物质废弃物处理技术，生产具有高附加值的肥料产品和植物型饲料添加剂，具有生物质原料选择范围广、处理过程耗能低、无污染、生物质资源回收率高、工程占地面积小、分布式利用性强等特点。目前，该技术已在中国、日本建成 2 条生产线，并在国内十余个省市推广示范，具有较大的推广潜力。

五、技术内容

1. 技术原理

在密闭压力容器内，将秸秆等生物质与水蒸气混合均匀，在一定的温度和压力下，经加水分解、加压爆破，快速切断大分子有机质之间的分子结合键，使大分子有机物分解成小分子物质，选择性提取黄腐酸等有效成分。该技术的生物质资源回收率可达到 85%以上，生产的高附加值黄腐酸有机肥产品可增加土壤稳定态有机碳的含量，减少氮肥、农药用量；生产的植物型动物饮料添加剂产品，可减少动物胃肠道发酵和粪便排放的 CH_4 ，碳减排效果明显。

2. 关键技术

（1）亚临界低分子化技术

在亚临界状态下，通过水热反应、水蒸气爆破切断生物质有机物中不同的分子结合键，发生低分子化，产生小分子营养物质，选择性提取生化黄腐酸，解决高耗能技术瓶颈。

（2）循环多段式加压爆破技术

提取生物质中不同聚合度、不同耐热性的有机物，同时提高低分子化效率。

（3）固、液相物质一步式分离技术

分离装置根据分子量大小不同，一步式分离出不同有效成分，且在分离过程中添加惰性气体等特殊处理，防止分离物被氧化或混入杂菌。

（4）微生物发酵、生物酶分解技术

根据不同微生物以及生物酶的单一性，对经亚临界水热反应处理后的固、液相处理物经进一步低分子化处理成纳米级，提高肥效和生物活性。

3. 工艺流程

亚临界水热反应生物质废弃物资源化利用技术的工艺流程见图1。

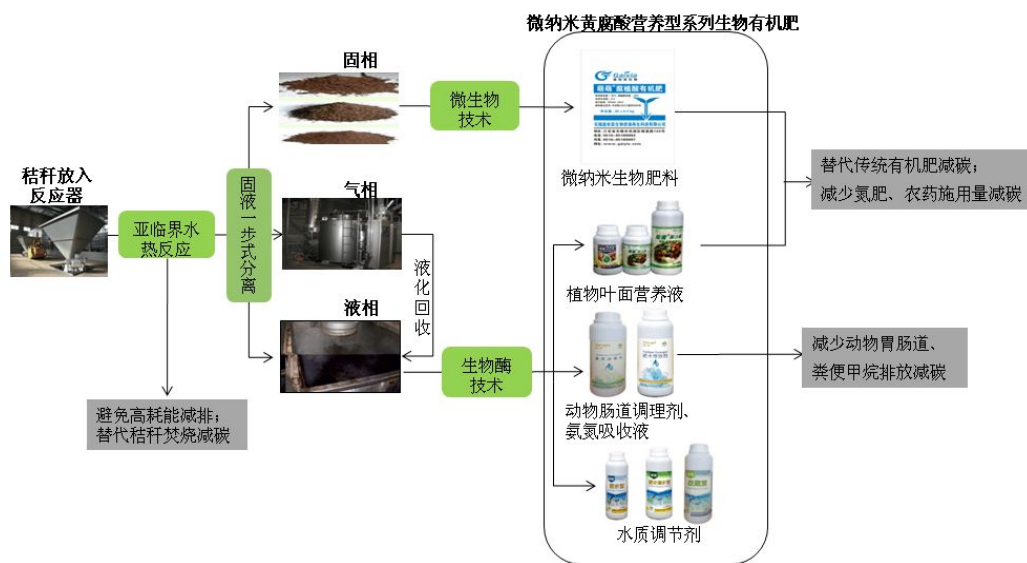


图 1 亚临界水热反应生物质废弃物资源化利用工艺流程图

将生物质投入亚临界水热反应装置，经亚临界水热反应处理后，并经一步式分离装置分离，产生固、液、气三相物质；固相物质通过微生物发酵进一步低分子化生成微纳米生物肥料；气相物质通过液化回收后与液相物质混合，再经生物酶分解，进一步低分子化生成植物叶面营养液、动物肠胃调理剂、氨氮吸收液、水质调节剂等。

六、主要技术指标

1. 生产技术指标（以处理 1 吨秸秆为例）

- （1）产出率：85%~95%（资源回收率）；
- （2）电耗：7.5kWh/t；
- （3）油耗：20L/t。

2. 产品应用技术指标

（1）微纳米生物肥料、植物叶面营养液：增加土壤稳定态有机碳 10%以上，减少氮肥、农药亩用量 1/3 以上，作物亩产经济效益增加 30%以上，氮肥、农药 CO₂ 减排 1/3 以上；

(2) 动物肠胃调理剂、氨氮吸收液：减少约 20%动物肠道、粪便排放的 CH₄。

七、技术鉴定情况

本技术已获得 2 项国内发明专利授权，5 项国际发明专利授权，1 项实用新型专利授权，1 项国际发明专利公布。

八、典型用户及投资效益

典型用户：无锡盖依亚生物资源再生科技有限公司、日本生物耕研有限会社、安徽天安动物药业有限公司、广东省江门市江海区水产协会、北京中农天陆微纳米气泡水科技有限公司等。

典型案例 1

案例名称：无锡盖依亚生物资源再生科技有限公司生物质废弃物资源化利用项目

建设规模：年处理秸秆 1.5 万吨，年产微纳米黄腐酸营养型生物系列有机肥 12750 万吨。建设条件：秸秆等生物资源丰富地区，具备秸秆收储运条件。主要建设内容：建设亚临界水热反应生物质废弃物处理生产线，固体、液体肥料发酵系统的建设。主要设备：1 套亚临界水热反应生物质处理装置。项目总投资 1350 万元，建设期为 1.5 年。年减排量约 5228tCO₂，年经济效益 1900 万元，投资回收期约 2.6 年。碳减排成本 287 元/tCO₂。

典型案例 2

案例名称：日本生物耕研有限会社生物质废弃物资源化利用项目

建设规模：年处理秸秆 1 万吨，年产有机肥 9000 吨。建设条件：秸秆等生物资源丰富地区，具备秸秆收储运条件。主要建设内容：建

设亚临界水热反应生物质废弃物处理生产线，固体肥料发酵系统的建设。主要设备：1 套亚临界水热反应生物质处理装置。项目总投资 1000 万元，建设期为 2 年。年减排量约 3735tCO₂，年经济效益 720 万元，投资回收期约 3.2 年。碳减排成本 300 元/tCO₂。

九、推广前景和减排潜力

亚临界水热反应生物质废弃物资源化利用技术为生物质废弃物进行资源化利用提供了一条新的路径，可为农业、畜牧、水产行业提供大量高附加值的优质产品，有效减少农业、畜牧行业的排碳量，具有良好的经济和社会效益。预计未来 5 年，该技术预期推广比例将达到 5%，废弃秸秆通过该技术实现高值化利用量将达到 1080 万吨，可形成年碳减排能力 480 万吨 CO₂。

8 工业生物质废弃物能源化（热解）利用集成技术

一、技术名称：工业生物质废弃物能源化（热解）利用集成技术

二、技术类别：零碳技术

三、所属领域及适用范围：废弃物处理

四、该技术应用现状及产业化情况

我国每年产出以化学制药菌渣、中药渣、白酒糟、醋糟、甘蔗渣、茶/咖啡渣以及建筑废木材等为代表的富含木质纤维素的工业生物质废物总量约5亿吨，且每年仍以10~15%的速度递增，市场规模巨大。目前，处理这些废弃物主要技术有堆肥、食用菌栽培、饲料生产、焚烧等，但由于现有技术局限性，均较难实现规模化推广应用。该技术可以实现低成本地将工业生物质废弃物转化为清洁燃气和热力，替代部分化石能源用于企业供能。目前已在河南、山东等地推广示范，具有良好的经济和社会效益。

五、技术内容

1. 技术原理

通过破碎系统将原料破碎，使其粒径均匀，保证下一步脱水的连续稳定性；通过机械脱水系统将其含水率降至50~60%以下，利用机械方式最大限度的去除水分，降低预处理能耗；采用非接触式封闭干燥，避免物料挥发出的水气直接向空气中排放、污染环境；通过改进生物质循环流化床气化炉的结构提高原料的适应性及气化效率，利用热解气化系统产生的高温燃气在不经过降温的情况下直接通入燃气蒸

汽锅炉进行高效燃烧，实现工业废弃物能源化利用，减少企业化石能源消耗。

2. 关键技术

（1）湿基工业生物质废弃物的预处理技术

采用集破碎-脱水-干燥于一体的全自动连续预处理系统、差速定转子技术等多种预处理技术实现，有效解决湿基工业生物质废弃物处理过程中的缠绕、团聚及异味散发问题，并可实现废弃物高效脱水；

（2）工业生物质废弃物热解气化技术

采用创新性的循环流化床结构和水蒸气重整转化技术，实现工业生物质即时、高效的热解气化；

（3）生物质燃气直燃技术

该技术集焦油裂解、超焓燃烧、自动控制等为一体，实现燃烧过程的主动控制，提高设备的燃烧效率和自动化程度。

3. 工艺流程

工业生物质废弃物燃气化利用工艺流程见图 1。

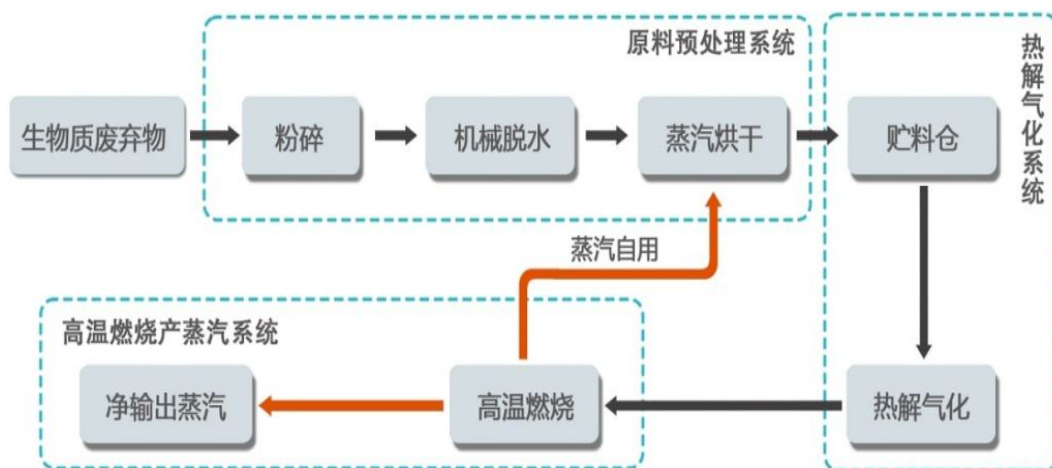


图 1 工业生物质废弃物燃气化利用工艺流程图

六、主要技术指标

1. 气化效率 $\geq 78\%$;
2. 燃气热值 $\geq 6500\text{KJ}/\text{Nm}^3$;
3. 综合热效率 $\geq 85\%$ 。

七、 技术鉴定情况

该技术已获得 12 项国家授权专利，其中发明专利 3 项，实用新型专利 9 项。其中，“湿基工业生物质废弃物预处理系统研制”和“组合式生物质循环流化床气化反应炉研制”于 2013 年通过山东省科技厅组织的科学技术成果鉴定；“生物质热解气化关键技术研究及产业化”研究成果于 2012 年荣获全国工商联科技进步一等奖。

八、典型用户及投资效益

典型用户：河南省宛西制药股份有限公司、山东步长制药股份有限公司等。

典型案例 1

案例名称：河南省宛西制药中药渣等废弃物资源化利用项目

建设规模：年处理中药渣 2 万吨。建设条件：制药企业有稳定的生产、有稳定的能源需求及水、电、气系统通畅。主要内容：药渣预处理系统、气化机组、生物质燃气锅炉、气柜建设、水电管网等。主要设备为剪切式粉碎机、带式压滤机、桨叶蒸汽烘干系统、中药渣输送給料系统、循环流化床气化系统、生物质燃气锅炉、沼气收集净化系统、DCS 控制系统、工艺管线等。项目总投资 1200 万元，建设期为 10 个月。年减排量约 3350tCO₂，产生经济效益 254.5 万元，投资回收期约 5 年，碳减排成本为 230 元/tCO₂。

典型案例 2

案例名称：山东步长制药中药渣综合利用项目

建设规模：年综合处理中药渣约 10.2 万吨。建设条件：制药企业有稳定的生产、有稳定的能源需求及水、电、气系统通畅。主要内容：预处理系统、气化机组安装、生物质燃气锅炉、气柜、水电管网等。主要设备：二级剪切式粉碎机、重压压滤机、蒸汽烘干系统、中药渣输送給料系统、循环流化床气化系统、生物质燃气锅炉、沼气收集净化系统、DCS 控制系统、工艺管线等。项目总投资 5800 万元，建设期为 18 个月。年减排量约 1.6tCO₂，产生经济效益 1680 万元，投资回收期约 3.5 年。碳减排成本为 200 元/tCO₂。

九、推广前景和减排潜力

随着公众环保意识的加强和国家环保力度不断加大，热解气化技术将成为工业废弃物减量化、无害化、资源化利用的重要手段。由于该技术具有处置成本低，可生产可燃气体，兼具环保和经济效益双重

效益，市场潜力巨大。预计未来 5 年，该技术推广比例将达到 5%，可形成年碳减排能力 83 万 tCO₂。

二、 燃料及原材料替代类技术

9 基于双膨胀自深冷分离的石油化工尾气高效回收技术

一、技术名称：基于双膨胀自深冷分离的石油化工尾气高效回收技术

二、技术类别：减碳技术

三、所属领域及适用范围：石化化工 含烃类尾气回收

四、该技术应用现状及产业化情况

石油化工装置的尾气产生量很大，以聚乙烯装置为例，预计到2020年产能将增至2000万吨以上，每年所产生的尾气中乙烯等碳氢化合物的含量将近20万吨。目前，石油化工尾气通常是送到火炬系统燃烧后排放，产生大量CO₂排放的同时，也造成极大的资源浪费。

压缩冷凝、膜分离、变压吸附等技术在石油化工装置的尾气回收中已有应用，但在实际应用时多采用单一的回收技术，难以在低能耗的条件下实现尾气中碳氢化合物的完全回收。该技术根据尾气的组成特点和不同分离技术的适用范围，以双膨胀自深冷分离技术为核心，综合采用热功集成、热力学分析、多目标优化等方法，实现烯烃聚合物生产过程中尾气的高效回收。该技术自2012年首次实现工业化应用以来，已应用于4套气相法流化床聚乙烯装置的尾气回收，并取得良好的经济效益和社会效益，目前正在国内外其他聚乙烯装置、丁辛醇装置等石油化工装置中进行推广应用，具有良好的推广前景。

五、技术内容

1. 技术原理

该技术以对工艺的全流程模拟为基础，充分考虑反应系统与分离系统的相互影响，采用热功集成、热力学分析、多目标优化等方法，根据尾气的组成特点和不同分离技术的适用范围，合理构建分离序列并对其操作参数进行优化，以实现分离效率和经济效益的最大化。例如，将压缩冷凝技术、膜分离技术和双膨胀自深冷分离技术相结合，用于烯烃聚合物的生产中回收尾气，利用压缩冷凝等方法回收大部分的C4及以上碳氢化合物，利用膜分离方法分离氢气等小分子物质，利用双膨胀自深冷分离技术分离碳氢化合物（C2、C4等）与氮气，实现低能耗、高效率回收烃类物质和氮气，显著降低二氧化碳排放量。

2. 关键技术

（1）基于机理单元模型和状态方程的尾气回收流程超结构优化技术

在建立压缩冷凝、膜分离、变压吸附、深冷分离、油吸收、精馏等分离单元机理模型的基础上，以回收产品纯度、回收率、能耗等指标作为优化目标，根据尾气组成确定最优的分离工艺组合及流程；

（2）基于夹点分析的换热网络和分离网络同步优化技术

利用所构建的换热网络夹点与分离系统夹点的相互作用规律及其随操作条件的变化规律，以系统能量利用率、分离效率作为优化目标，根据尾气组成和分离要求确定最优的分离工艺流程。

3. 工艺流程

双膨胀自深冷分离技术的原理如图1所示。

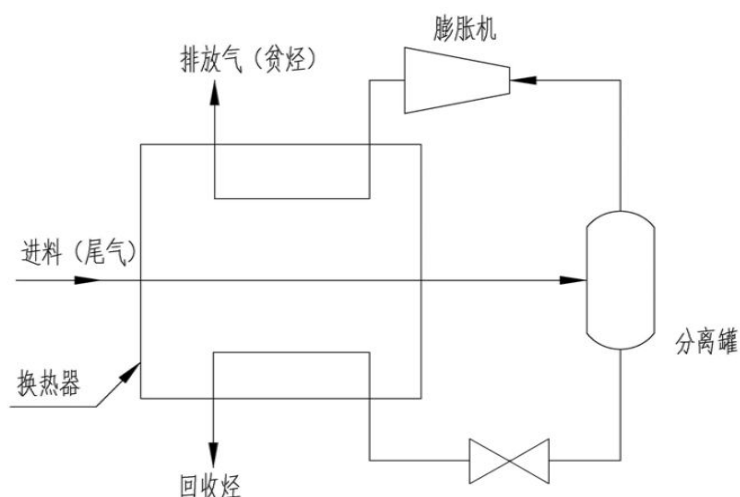


图1 双膨胀自深冷分离系统流程简图

用于聚烯烃装置尾气回收的压缩冷凝/膜分离/双膨胀自深冷分离组合工艺流程如图2所示。聚烯烃树脂经树脂脱挥后得到的尾气经压缩冷凝工序后进入气液分离罐，分离出冷凝液体与未冷凝气体，冷凝液体作为回收产品可直接返回聚合反应系统，未冷凝气体经过膜分离与双膨胀自深冷分离系统组合的气体分离装置，分离出可回收使用的烃产品以及循环使用的吹扫气体，仅有少量含烃的尾气需要排往火炬。该工艺不仅能高效率地实现烃类物质的回收，而且能够同时回收氮气作为吹扫气体供树脂脱挥装置循环使用。根据不同的尾气组成情况，烃类及氮气的回收率均可达80%以上，甚至可高达96%，产品的纯度也高于90%。

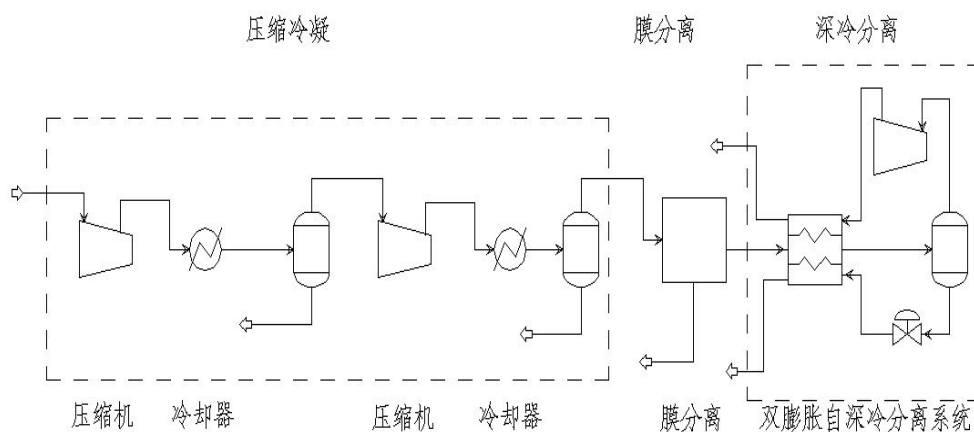


图 2 压缩冷凝/膜分离/双膨胀自深冷分离组合工艺流程简图

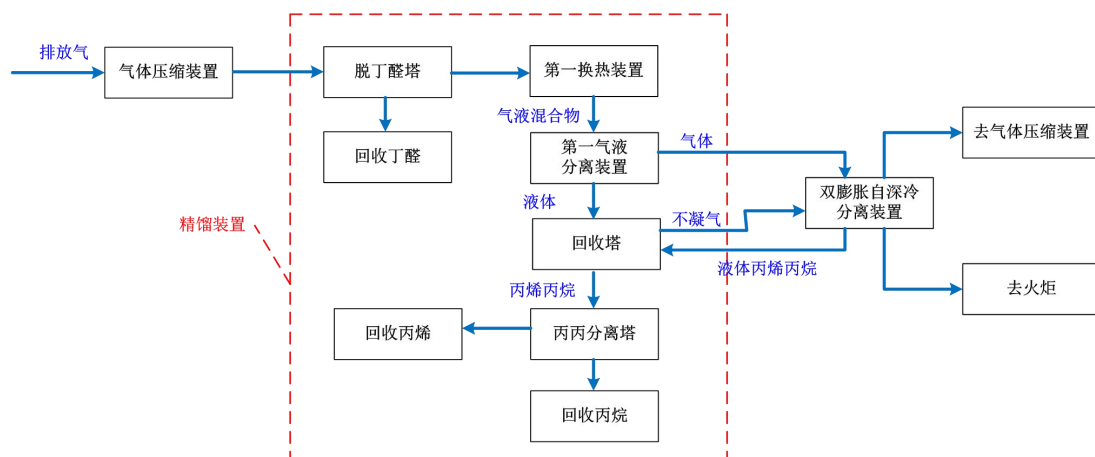


图 3 压缩/精馏/双膨胀自深冷分离组合工艺流程简图

用于丁辛醇装置尾气回收的压缩/精馏/双膨胀自深冷分离组合工艺流程如图 3 所示。来自低压蒸发系统、稳定系统及高压蒸发系统的尾气经尾气缓冲罐进入压缩机入口，冷却后的压缩机出口气体与羰基合成反应系统的弛放气混合后共同进入脱丁醛塔，其塔底出料经冷却后作为丁醛产品出装置，塔顶回流罐出来的不凝气经过吸附塔脱水后冷凝进入气液分离罐。气液分离罐出来的液体进入回收塔脱除 CH_4 等轻组分（丙烯产品的杂质），气体送入双膨胀自深冷分离系统。回收塔塔顶气也送至双膨胀自深冷分离系统，塔底出料经加压后作为丙丙塔进料。深冷分离后得到三股物流，一股为分离丙烯丙烷后的尾气，主要为 CO 、 CH_4 、 H_2 等，可作为燃料气出装置；一股为富含丙烯丙烷的气体返回一次压缩机循环回收；另一股富含丙烯丙烷的液体送入回收塔脱除轻组分。脱出轻组分后的液体进入丙烯精馏塔分离出丙烯和丙烷，分别送出界区。

六、主要技术指标

1. 总烃回收率 $\geq 90\%$;
2. C_4+ 重烃回收率 $\geq 99\%$;

3. C2烃回收率 $\geq 75\%$;

4. 产品纯度 $\geq 90\%$ 。

七、技术鉴定情况

该技术已获得 2 项国家发明专利和 1 项实用新型专利，并获得 1 项美国发明专利。

八、典型用户及投资效益

典型用户：中国石化齐鲁分公司、天津分公司、中原石油化工有限公司、镇海炼化化工股份有限公司等。

典型案例 1

案例名称：中国石化股份有限公司齐鲁分公司塑料厂 14 万吨/年 HDPE 装置火炬气回收系统

建设规模：尾气处理能力 1400 Nm³/h。建设条件：具有含烃类尾气的生产工艺。主要建设内容：火炬气回收系统安装。主要设备：压缩机、低聚物分离撬块、双膨胀自深冷分离撬块、溶剂加入及低聚物处理撬块。项目总投资 1000 万元，建设期 8 个月，年减排 3900 吨 CO₂。项目年经济效益 1000 万元，投资回收期 12 个月，碳减排成本约 200 ~ 300 元/tCO₂。

典型案例 2

案例名称：中国石化齐鲁分公司第二化肥厂丁辛醇驰放气回收利用

建设规模：尾气处理能力 1.7 万吨/年。建设条件：具有含烃类尾气的生产工艺。主要建设内容：新增驰放气回收系统系统安装。主要设备：压缩机、脱丁醛塔、回收塔、丙丙分离塔、脱水塔、双膨胀自

深冷分离撬块。项目总投资 4458 万元，建设期 12 个月，年减排量为 1.04 万吨 CO₂。项目年经济效益 2282 万元，投资回收期约 24 个月，碳减排成本约 400 ~ 500 元/tCO₂。

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占整个市场的 30%，总投资约 9.6 亿元，可形成年碳减排能力 42 万吨 CO₂。

10 乙烯氧化生产环氧乙烷高性能银催化剂技术

一、技术名称：乙烯氧化制环氧乙烷高性能银催化剂技术

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 环氧乙烷/乙二醇生产领域

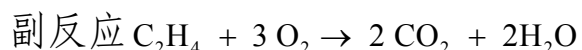
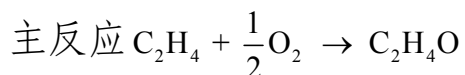
四、该技术应用现状及产业化情况

环氧乙烷/乙二醇（EO/EG）是第二大乙烯衍生物，是用途广泛的大宗石油化工产品，在国民经济中占有重要地位。工业生产中，乙烯和氧气在银催化剂作用下发生氧化反应生产环氧乙烷，再由环氧乙烷水解生产乙二醇。目前我国 EO/EG 生产企业约有 37 家，产能约 600 万吨/年。乙烯成本占环氧乙烷生产成本的 70%以上，乙烯价格随着原油价格的升高而升高，为降低生产成本，提高竞争力，企业都采用高性能银催化剂以提高环氧乙烷产率。高性能银催化剂主要包括高选择性银催化剂和中等选择性银催化剂，目前国产高性能银催化剂综合性能达到国际先进水平，但是国内市场占有率仅 12%，具有很大的推广潜力。

五、技术内容

1. 技术原理

在银催化剂作用下，乙烯和氧气发生氧化反应，主反应生成环氧乙烷，副反应生成二氧化碳和水，反应方程式如下：



随着银催化剂选择性的提高，消耗同样的乙烯，生成环氧乙烷的量越多，生成 CO_2 的量越少。在装置产能不变的前提下，提高催化剂的选择性，不仅可以节约一定量的乙烯，提高原料的转化率，有效降低企业生产成本，同时可减少生产过程中 CO_2 生成，实现温室气体减排。

2. 关键技术

（1）新型载体制备技术

优化载体制备配方，改善载体孔分布，制备出比表面提高 50% 以上的新型载体，提高了高性能银催化剂稳定性，满足工业使用要求；

（2）高性能银催化剂制备技术

通过添加助剂调节催化剂表面电子效应和微观化学环境，提高催化剂的选择性。采用新型载体，优化催化剂组成和制备工艺，成功开发出选择性比传统银催化剂高 7% 的高选择性银催化剂；

（3）发挥催化剂最佳性能工艺优化技术

通过优化反应器入口乙烯、氧气、二氧化碳浓度和调节剂浓度，确定发挥催化剂最佳性能的工艺条件技术，实现装置长周期稳定运行。

3. 工艺流程

乙烯氧化生产环氧乙烷工艺示意图见图1。

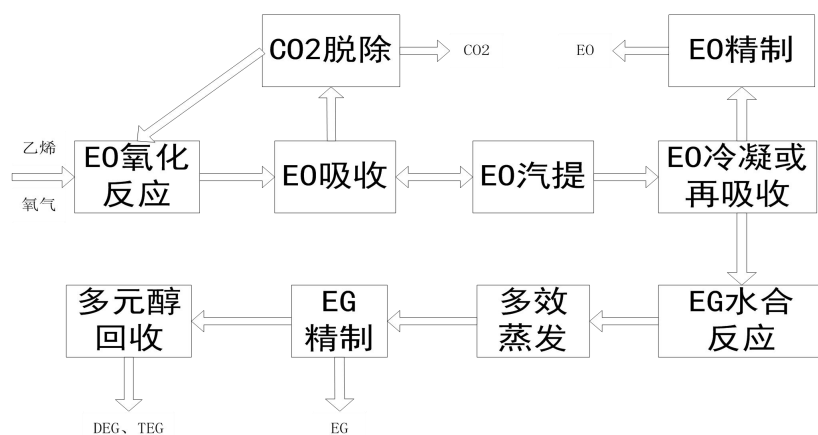


图 1 乙烯氧化制环氧乙烷工艺示意图

六、主要技术指标

1. 高选择性银催化剂

最高选择性在89%以上，三年平均选择性87%，比传统催化剂提高约7%；

2. 中等选择性银催化剂

最高选择性在86%以上，三年平均选择性82.7%，比传统催化剂提高2.7%。

七、技术鉴定情况

高选择性银催化剂技术于 2013 年 4 月通过中国石化组织的技术成果鉴定，中等选择性银催化剂技术于 2010 年 9 月通过中国石化组织的技术成果鉴定。其中，高性能银催化剂技术已获得 22 项国家发明专利。

八、典型用户及投资效益

典型用户：上海石化、天津石化等。

典型案例 1

案例名称：上海石化 2 套乙二醇装置使用高选择性银催化剂项目

建设规模：52.5 万吨当量环氧乙烷/年。建设条件：适用于原有环

氧乙烷/乙二醇装置。主要建设内容：使用高选择性银催化剂替代原有催化剂，银催化剂在运行期间的平均选择性从使用传统催化剂的 80% 上升到 87%。项目总投资 12000 万元，建设期 2 个月，项目年减排量 10.5 万 tCO₂。项目实施后，每年节约乙烯 3.34 万吨，直接产生经济效益 3 亿元。高选择性银催化剂与原有催化剂成本相当，碳减排成本约为 0 元/tCO₂。

典型案例 2

案例名称：天津石化乙二醇装置使用中等选择性银催化剂项目

建设规模：7.5 万吨当量环氧乙烷/年。建设条件：适用于原有环氧乙烷/乙二醇装置。主要建设内容：使用中等选择性银催化剂替代原有催化剂，银催化剂在运行期间的平均选择性从使用传统催化剂的 80% 上升到 82.7%。项目总投资约 1270 万元，建设期 1 个月。项目年减排量 6118 tCO₂。项目实施后，每年节约乙烯约 1950 吨/年，直接产生经济效益约 1750 万元。项目由于节约生产成本产生的经济效益为 1754 万元。中等选择性银催化剂与原有催化剂成本相当，碳减排成本约为 0 元/tCO₂。

九、推广前景和减排潜力

随着环氧乙烷/乙二醇生产规模的扩大，预计到 2020 年，国内银催化剂装填量约为 7700m³，以国产高性能银催化剂（包括高选择性和中等选择性银催化剂）所占比例为 60% 计算，年均需国产高性能银催化剂约 1600 吨/年，项目总投资预计约为 15 亿元，使用国产高性能银催化剂比采用传统银催化剂每年直接节约乙烯合计 35 万吨/年，每年直接为企业降低生产成本超过 30 亿元，二氧化碳年减排潜力约 110 万

吨 CO₂。

11 粘度时变材料可控灌浆技术

一、技术名称：粘度时变材料可控灌浆技术

二、技术类别：减碳技术

三、所属领域及适用范围：建材行业复杂岩土体灌浆，适用于水利水电、交通、冶金矿山、地质灾害防治及山区城市建设等地基加固与防渗

四、该技术应用现状及产业化情况

我国环青藏高原东侧地区，由于活跃的构造环境和深切峡谷的地貌特征，导致这一地区地质结构复杂。随着许多重大工程实施，揭露出岩体中存在较为普遍的陡倾宽缝，这些岩体内部地质缺陷，对工程安全产生重要影响，成为制约工程建设可行性的重大地质问题。用常规水泥灌浆加固这类特殊岩体，由于流动时间长，灌入的材料顺着裂缝流动，漏失异常严重，常导致施工无法正常进行，灌浆工程量难以“控制”，水泥浪费严重。如装机 360 万 kW 的雅砻江锦屏一级水电站，存在大量这类复杂岩体，需进行灌浆处理，普通水泥年漏失量达 18~20 万吨。据不完全统计，我国相关灌浆工程的水泥漏失量每年不少于 1000 万吨。

该技术通过调节水泥浆的粘度，控制其初始流动度与凝结时间，并有效控制水泥浆液的扩散范围，大量减少复杂地层灌浆的水泥用量。目前，该技术已在四川、云南、贵州、新疆、河北等地成功实施多个工程项目，在复杂地层灌浆工程中具有广阔的发展前景。

五、技术内容

1. 技术原理

粘度时变性灌浆材料以普通硅酸盐水泥为基础浆液,掺加高分子聚合物以及硬凝剂和调节剂,配制成一种新型的粘度时变性注浆材料。高分子聚合物溶剂可以抑制水泥浆的析水,提高浆液结石率;使用硬凝促进剂不仅早期强度高,而且还能有效调节浆液凝结时间;时间调节剂可以调节浆液铝酸三钙的水化进度,控制浆液的稠化时间,使得浆液能具有较好流动性能。该技术可有效控制浆液的使用和排放,降低水泥用量,减少二氧化碳排放。

2.关键技术

(1) 粘度时变性灌浆材料制备技术

利用粘度时变灌浆材料水化过程的溶剂化膜理论,构建水泥-外掺剂相互作用水化、硬化原理,为水泥基灌浆材料外掺剂的选择奠定了理论基础(见图1)。研发的SJP型系列水泥基粘度时变性灌浆材料,具有流动性可控性的特点,同时可解决速凝灌(注)浆材料早期强度高、但后期强度低这一国际难题。

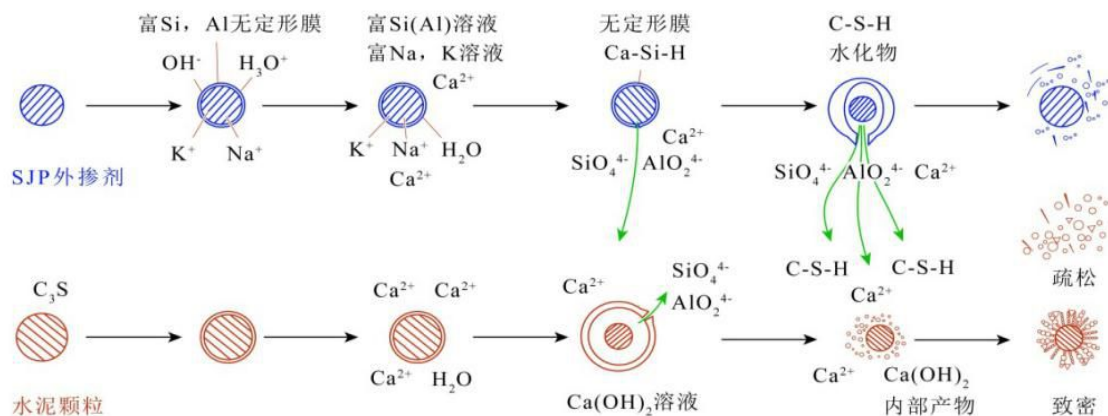


图1 水泥—聚合物溶剂化膜协调二次水化概念模型

（2）浆液扩散测试技术

采用浆液扩散测试系统，实现不同倾角、不同结构面宽度、不同隙充填材料浆液的扩散范围测量，为灌浆材料在复杂岩土体中的扩散提供技术支撑（见图2）。

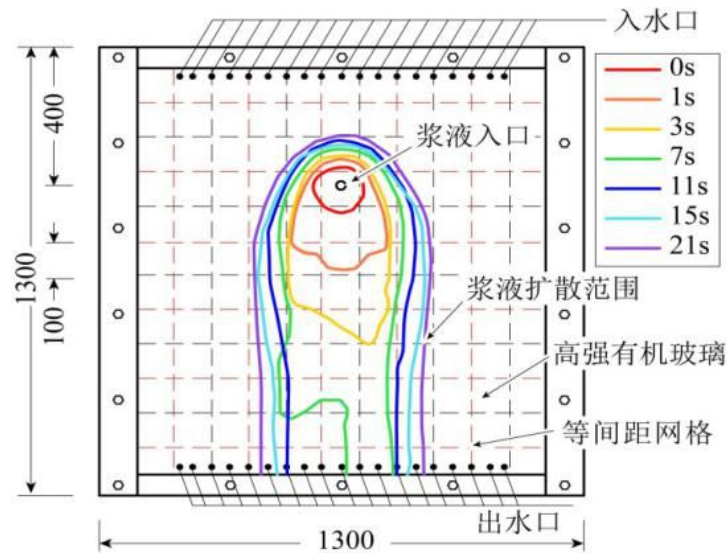


图2 扩散装置测出范围示意图

3. 工艺流程

该技术的工艺流程主要包括掺入材料加工合成、普通水泥浆搅拌、加入外掺剂、测试扩散范围、完成灌浆等过程，图3为掺入剂合成工艺流程示意图。

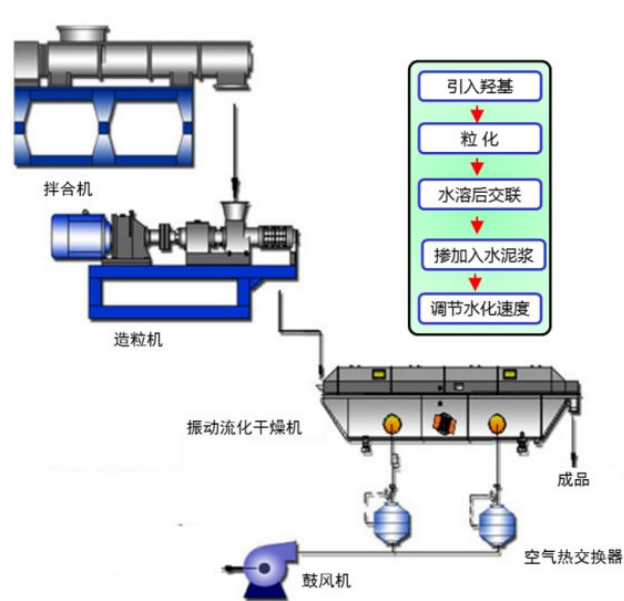


图 3 外掺材料合成技术工艺流程示意图

六、主要技术指标

1. SJP-1粘度时变灌浆材料：1) 可泵期30-90min； 2) 终凝5.5-8h；
3) 结石体强度比普通水泥浆高10-20%；适用地层：陡倾宽缝岩层、松散覆盖土层、动水地层；

2. SJP-2粘度时变灌浆材料：1) 冻融系数降低20-30%； 2) 50个冻融周期强度比普通水泥浆高50%；适用地层：短时冻土、季节性冻土和多年冻土；

3. SJP-3粘度时变灌浆材料：1) 线膨胀率降低40%； 2) 后期强度与普通水泥相比高80%；适用地层：湖沼相盐渍土和滨海相软土。

七、技术鉴定情况

该技术于 2010 年通过四川省科技厅组织的技术成果鉴定，已获 1 项国家发明专利，2 项实用新型专利，并先后荣获 2013 年第十五届中国专利金奖、2014 年四川省专利特等奖及 2013 年四川省科技进步一等奖。

八、典型用户及投资效益

典型用户：中国水电第七工程局锦屏施工局、锦屏一级水电站七·十四局联营体、中国水电七局斜卡项目部、中冶集团西北岩土工程有限公司、四川荟骏基础工程有限公司等。

典型案例 1

案例名称：锦屏一级水电站左岸边坡锚索灌浆加固

建设规模：拱坝坝高 305 m，坝顶高程 1885m，坝基、锚索灌浆工程量达 400 万延长米。建设条件：对裂隙宽大、陡倾、发育的岩层灌浆，注浆过程中漏浆现象非常严重，采用传统灌浆设备即可满足施工要求。主要建设内容：应用粘度时变性浆材对普通水泥浆无法完成灌注的节理裂隙发育、结构面宽大、陡倾、延伸长的锚索注浆孔进行施工。主要设备为注浆扩散测试装置、泥浆泵、空压机等配套设备。锦屏一级水电站灌浆项目（含坝基加固、边坡支护、防渗帷幕等）总投资 50 亿元，灌浆材料投资约 8000 万元，建设周期为 10 年，年节约水泥 20 万 t，项目年减排量约 10.6 万 tCO₂。年节省投资成本为 0.8 亿元，建设期节约成本 8 亿元，碳减排成本为 -800 ~ -400 元/tCO₂。

典型案例 2

案例名称：中冶成勘九寨·云顶悦榕山庄酒店边坡治理工程

建设规模：2.3×10⁴m² 边坡加固工程。建设条件：岩层破碎、裂隙、断层极度发育，局部地段有地层空腔，注浆过程中漏浆现象非常严重，采用传统灌浆设备即可满足施工要求。主要建设内容：采用粘时变性浆材岩层破碎、裂隙发育地层锚杆成孔难，普通水泥浆液无法完成灌注的锚杆孔进行灌注。主要设备为注浆扩散测试装置、泥浆泵、空压

机等配套设备。边坡加固总投资 350 万元，建设期为 0.5 年。共节约水泥 480 吨，综合节约生产成本 19 万元。项目实施期间减排量约 255tCO₂，碳减排成本为 -800 ~ -400 元/tCO₂。

九、推广前景和减排潜力

随着我国城镇化的快速推进，大型水电、隧道等工程建设对水泥建筑材料的需求量将大大增加，在节约水泥方面，粘度时变型灌浆材料具有广阔的发展前景。预计未来 5 年，该技术的推广比例将达到 30%，灌浆材料总投资约 3.2 亿元，预计年节约水泥 90 万吨，可形成年碳减排能力 48 万吨 CO₂。

12 新型干法水泥窑无害化协同处置污泥技术

一、技术名称：新型干法水泥窑无害化协同处置污泥技术

二、技术类别：减碳技术

三、所属领域及适用范围：建材行业 废弃物协同处理

四、该技术应用现状及产业化情况

目前，我国城镇污水处理厂污泥产量已达 3000 万吨，但大部分污泥都通过简单脱水后外运弃置，约 80%污泥采用简易填埋，占地及二次污染严重。该技术采用水泥窑协同处置污泥，大规模处置市政、工业污泥，已在北京、广州、江苏等多家水泥厂得到应用，节能减排显著效果，具有广阔的市场空间。

五、技术内容

1. 技术原理

水泥窑协同焚烧城镇污水处理厂污泥，主要利用水泥高温煅烧窑炉焚烧处理污泥。在焚烧过程中，有机物彻底分解，灰渣作为水泥组分直接进入水泥熟料产品中，实现彻底减量化。污泥具有一定的热值，干化后可作为替代燃料，节约部分燃煤，实现二氧化碳减排。为提高水泥窑协同处置污泥的热回收利用效率，有废热回收利用条件的企业可利用水泥生产过程余热干化湿污泥，干污泥中有机组分焚烧产生热量被水泥生产回收，实现整个工艺过程能量利用最优化。

2. 关键技术

（1）污泥干化预处理技术

利用水泥窑协同处置污泥,不同的污泥水分含量对水泥窑协同处置污泥的处置方式及处置能力形成直接的影响。污泥处置的难点在污泥的高水分,来自污水处理厂的污泥其水分含量通常在78~83%之间波动,而通过工业试验的研究,只有水分控制在40%以下的污泥,进行水泥窑系统焚烧处置才具有明显的节能效应。

(2) 污泥入窑工艺控制技术

水泥窑系统是一个敏感的热工系统,不论是热流、气流还是物料流的变化都会对系统的平衡产生影响。采用入窑工艺控制技术,实现窑系统的稳定运行,产品质量得到保证。

(3) 污泥干化焚烧过程中的恶臭气体防治技术

市政污泥本身具有较强烈的恶臭、异味,在工业污泥运输、储存、输送、干化、成品中转、成品储存、入窑焚烧等一系列工艺过程中采用恶臭气体处理预防,使得无臭气外泄。

3. 工艺流程

(1) 污泥直接入窑工艺

湿污泥通过接收储存,再经过专业的输送装置直接送入水泥窑系统,彻底焚烧处置。污泥输送储存过程中的臭气直接入窑焚烧,无臭气外泄。适合于少量污泥的处理处置技术。以5000t/d水泥熟料生产线为例,污泥处置能力为100~150t/d(以含水率80%计)。

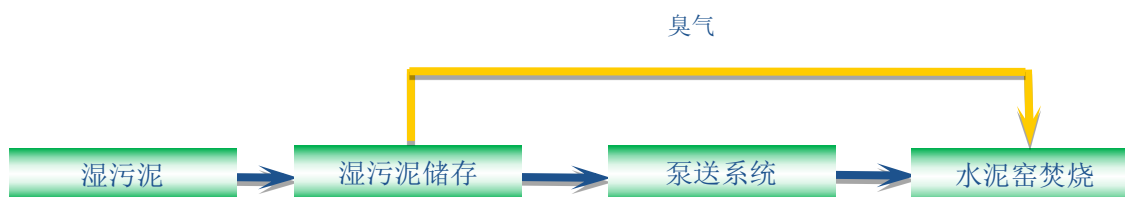


图1 污泥直接入窑工艺

（2）污泥直接干化工艺

利用水泥生产过程中的废热烟气作为热源，直接与湿污泥接触换热，降低污泥的含水率。干化后的污泥作为替代燃料送入分解炉焚烧处置。污泥输送储存中的臭气直接入窑焚烧；干化尾气经喷淋降温，生物滤塔除臭后达标排放，无臭气外泄。冷凝液经废水处理系统处理后，循环使用或排放。

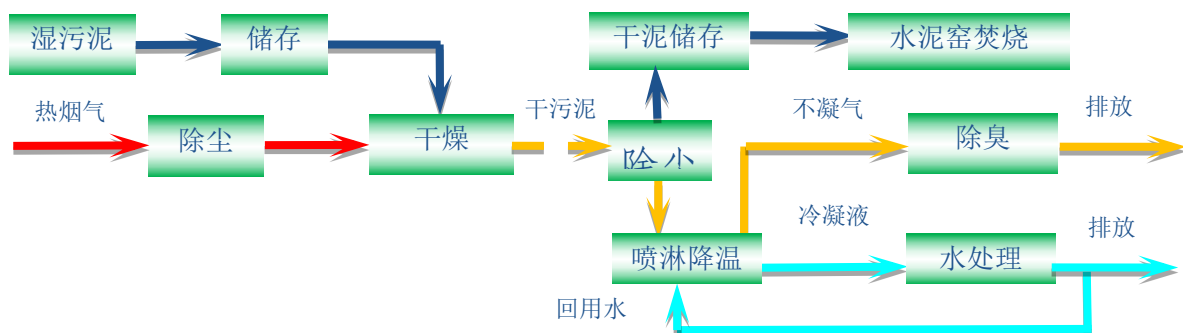


图2 污泥直接干化工艺

（3）烟气间接干化污泥工艺

利用水泥生产过程中的废热烟气作为热源，通过换热装置将热量转换给载热媒质。在干化机内被载热媒质加热脱水后，干污泥送入水泥窑焚烧处置。经喷淋降温后的尾气与输送储存过程中的臭气一起直接入窑焚烧，无臭气外泄。冷凝液经处理后，循环使用或排放。

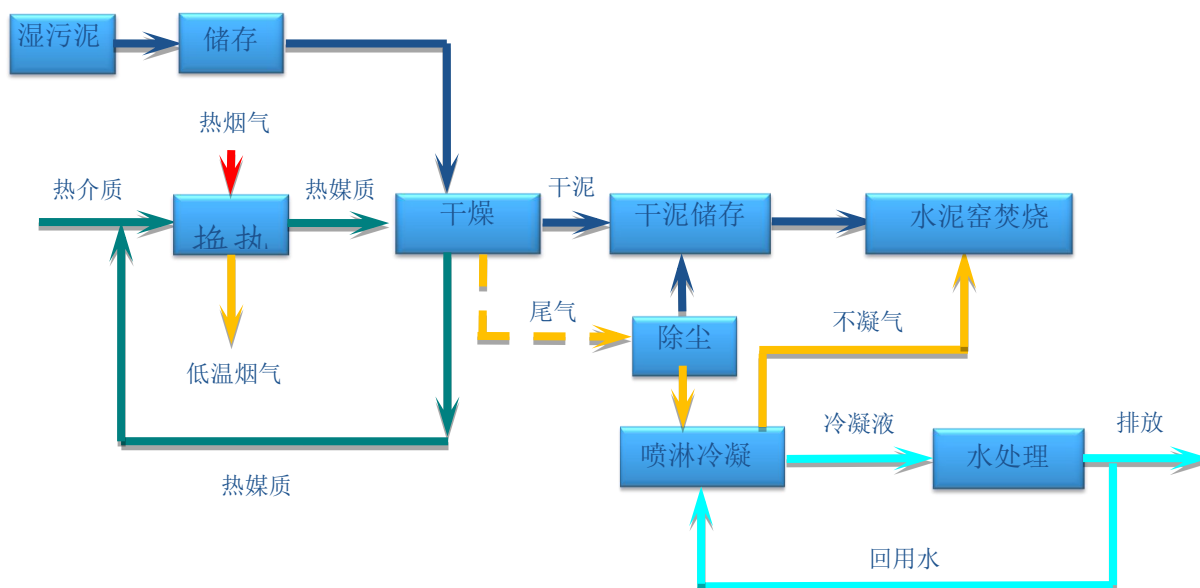


图3 污泥间接干化污泥工艺

六、主要技术指标

1. 干化后污泥含水率<30%;
2. 湿污泥直接入窑处置量：约100t/d（2500t/d熟料生产线），约120t/d（5000t/d熟料生产线）;
3. 干化后污泥入窑处置量：约700t/d（6000t/d熟料生产线，污泥含水率80%计）。

七、技术鉴定情况

该技术于2011年通过中国建材联合会组织的技术成果鉴定，并已获得2项国家实用新型专利。

八、典型用户及投资效益

典型用户：广州越堡水泥有限公司、西安尧柏环保科技工程有限公司、遵义三岔拉法基瑞安水泥有限公司、北京水泥有限公司。

典型案例1

案例名称：广州越堡水泥公司处理600t/d污泥项目

建设规模：日处理 600 吨污泥。建设条件：2000 吨/天以上新型干法水泥熟料生产线改造。主要建设内容：熟料生产线改造，包括干化机车间以及相关电气控制系统、电力室、中控室等。主要设备：水泥窑余热利用的取热系统、废气处理、生物除臭系统、干泥储运输送系统等。项目总投资 9000 万元，建设期 12 个月。年减排量 3.25 万吨 CO₂，年经济效益 1300 万元，投资回收期约 5.6 年。碳减排成本约 200 ~ 500 元/tCO₂。

典型案例 2

案例名称：北京水泥厂有限责任公司处置污水厂污泥工程项目

建设规模：日处理污水厂污泥 500 吨。建设条件：2000 吨/天以上新型干法水泥熟料生产线改造。主要建设内容：包括取热、干化、水处理三部分。主要设备：水泥窑余热利用的取热系统、废气处理、生物除臭系统、干泥储运输送系统等。项目总投资 1.7 亿元，建设期 7 个月。年减排量 2.5 万吨 CO₂，年经济效益为 1090 万元，投资回收期约 15 年，减排成本约 200 ~ 500 元/tCO₂。

九、推广前景和减排潜力

随着我国污泥处置力度的加强，水泥窑协同处置污泥技术将得到进一步应用推广。预计未来 5 年，该技术推广比例可达 10%，项目总投资为 15 亿元，可形成的年碳减排能力达 48 万吨 CO₂。

13 全生物降解材料聚羟基脂肪酸酯（PHA）制造技术

一、技术名称：全生物降解材料聚羟基脂肪酸酯（PHA）的制造技术

二、技术类别：减碳技术

三、所属领域及适用范围：轻工行业 农业、生物化工、环保、医用材料等

四、该技术应用现状及产业化情况

由于传统PE等石油基塑料的不可降解性，以石油基为主的塑料产品对环境产生严重的影响，其中我国60%以上的土地受到不同程度的地膜污染，严重影响土地的质量，而日常生活中塑袋购物袋的使用导致的白色污染更加严重。

生物降解塑料主要应用于包装、纤维、农业、注塑等领域，其中在包装行业的应用最为广泛，2013年约占市场总量的60%。预计未来五年，全球生物降解塑料行业将以每年超过13%以上的速度增长，目前生物降解塑料行业正处于快速上升期。

五、技术内容

1. 技术原理

利用秸秆、甘蔗等农副产品生产出糖，然后利用具有高分子合成功能的微生物得到高分子材料聚羟基脂肪酸酯（PHA），利用提取分离技术将PHA从微生物体中分离，所有过程不涉及化工合成过程。

2. 关键技术

- (1) 高纯度酶提取技术;
- (2) 工程菌种构造技术;
- (3) 代谢工程控制技术;
- (4) 高密度、高粘度发酵工艺研究;
- (5) 聚羟基脂肪酸酯分离新技术;
- (6) 聚羟基脂肪酸酯改性技术。

3. 工艺流程

全生物降解材料聚羟基脂肪酸酯 (PHA) 发酵工艺及生产工艺流程分别见图1、图2。

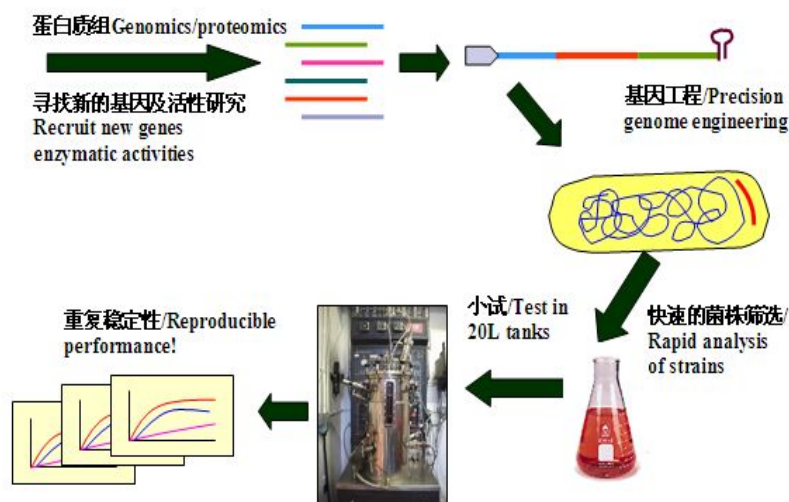


图1 高分子发酵生产工艺流程图

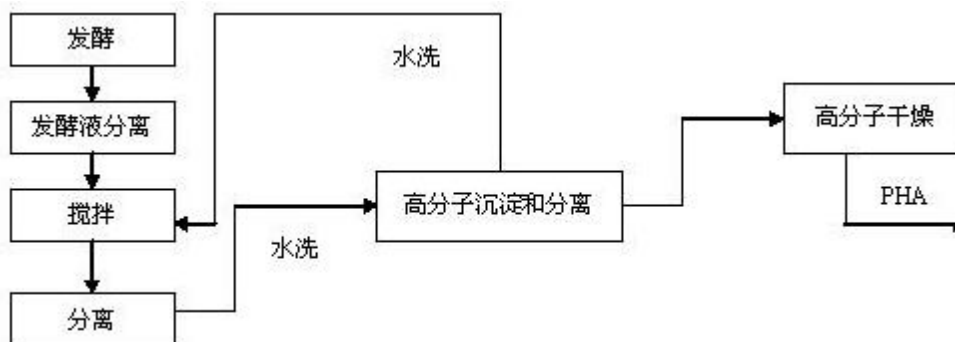


图2 全生物降解材料聚羟基脂肪酸酯 (PHA) 生产工艺流程图

六、主要技术指标

1. 发酵单位（细胞干重）：150克/升；
2. 高分子含量（占细胞干体重）：75-85%；
3. 发酵时间：32-40小时；
4. 发酵效率：3.0-3.3克/小时·升；
5. 糖的转化率：0.33-0.35克PHA/克糖；
6. 高分子纯度：99.90%。

七、技术鉴定情况

该技术于 2011 年通过山东省科技厅组织的科技成果鉴定。目前已获得 4 项国家发明专利。

八、典型用户及投资效益

典型用户：山东意可曼科技有限公司（子公司）、青岛平度宇洁降解塑料有限公司等。

典型案例 1

案例名称：1000t/a 全生物降解 PHA 购物袋树脂生产线

建设规模：1000t/a 全生物降解 PHA 购物袋树脂。建设条件：具备共混造粒、吹膜、印刷、制袋等塑料加工设备和有熟练的造粒、吹膜、印刷和制袋人员。主要建设内容：双螺杆配套设备、吹膜机最好带有混炼螺杆、印刷设备张力好调控、热封热切的制袋机。主要设备为高搅机、低混机、双螺杆造粒机、切粒机、单螺杆吹膜机、双色或多色印刷机、背心袋制袋机、废膜回收机等。项目总投资 5000 万元，建设期为 12 个月。年减排量约 2090tCO₂，产生年经济效益 5000 万元，投资回收期约 1 年。碳减排成本为 1000-2000 元/tCO₂。

典型案例 2

案例名称：2000t/a 全生物降解 BOPHA 树脂生产线

建设规模：2000t/a 全生物降解 PHA 购物袋树脂。建设条件：具备共混造粒、流延、双向拉伸设备、印刷等塑料加工设备和有熟练的造粒流、延机操作、印刷人员。主要建设内容：双螺杆配套设备、BOPHA 生产机组带有纵向拉伸系统、横向拉伸系统、热处理系统，电晕、激光测厚仪，张力控制装置、收卷分切装置。主要设备为高搅机、低搅机、双螺杆造粒机、切粒机、BOPHA 生产机组等。项目总投资 8000 万元，建设期为 1 年。年减排量约 4180tCO₂，产生年经济效益 10000 万元，投资回收期约 1 年。碳减排成本为 1000-2000 元/tCO₂。

九、推广前景和减排潜力

随着我国 PHA 产业化的成熟以及国家对生态环境的重视，预计未来 5 年 PHA 全生物降解地膜年推广量可达 10 万吨，PHA 全生物降解包装膜塑料年推广量可达 35 万吨。预计市场推广比例可达地膜、包装塑料膜市场的 10%，可形成年碳减排能力 94 万吨 CO₂。

14 竹缠绕复合压力管技术

一、技术名称：竹缠绕复合压力管技术

二、技术类别：减碳技术

三、所属领域及适用范围：轻工行业 用于生产管径 200 ~ 3000mm、压力等级 $\leq 1.6\text{MPa}$ 、使用温度 $\leq 110^{\circ}\text{C}$ 的各类市政给排水管、水利农田灌溉管、电厂循环水管及化工石油管等。

四、该技术应用现状及产业化情况

随着城市化进程加快、农村饮用水系统扩建和政府基建增加的推动，我国的管道产量逐年增加。2013年，我国管道总产量（不包括水泥管）约为1亿吨，其中螺旋焊管产量5016万吨，塑料管产量1210万吨。作为传统管道，螺旋焊管生产加工能耗高，钢材使用量大，造成大量的二氧化碳排放；塑料管、玻璃钢管和水泥管等使用的主要原材料为聚乙烯、玻璃纤维和水泥，加工过程中也存在高能耗、高排放的问题，管道生产行业面临巨大的节能减排压力。该技术开发出竹缠绕复合压力管，可用于各类市政给排水管、水利农田灌溉管、电厂循环水管及化工石油管等领域，可替代水泥管、螺旋焊管、玻璃钢管等传统管材，节能减排效果显著。目前该技术已由水利部组织实施应用于浙江慈溪、黑龙江哈尔滨和新疆阜康三个城市的水利示范工程中，运行效果良好。

五、技术内容

1. 技术原理

该技术以竹子为基材，将壁薄中空的竹材加工成连续带状片材，并以树脂为胶黏剂，经过无应力缺陷的缠绕工艺加工成型，制造出具有较强抗压能力的新型生物基压力管道。该技术将竹纤维的轴向拉伸强度使用至最大化，并在管道结构中形成无应力缺陷分布，从而使管材达到承压要求。

竹缠绕复合压力管充分利用竹子特性，将竹子用于生产不同直径的中低压力管道，可以替代市场上大部分的螺旋焊管等传统管材，其生产全过程能耗要明显低于螺旋焊管、预应力钢筒混凝土管等传统管道，节能减排效果显著。此外，通过对可再生的竹林进行定期择伐生产竹缠绕复合压力管，还能够有效发挥竹子生长及使用过程中优异的固碳效益，减少温室气体排放。

2. 关键技术

（1）竹材加工处理技术

采用先进的竹材加工处理技术，包括竹子的剖、织等自动化加工设备，干燥、保鲜、防虫防蛀等环保处理技术，使竹材适合管道加工，达到管道压力等级设计要求，并满足竹缠绕管道大规模产业化生产需要；

（2）管道缠绕工艺技术

建立强度设计模型和结构设计模型，在结构增强层中合理科学设计径向和横向竹材铺层，提高管道抗内外压和抗弯的能力；

（3）界面复合技术

在不同类型树脂制作的内衬层和结构增强层之间采用特定的胶黏剂，具有高紧密性，提高管道由内至外的应力传递效果；

(4) 管道生产专用成套设备设计及制造技术

采用管模行走、喂料小车固定的方式，对竹材缠绕角度和铺层行走速度进行程序自动化控制，缠绕中施压使竹材紧密排列，使胶黏剂浸透竹材细胞膜后形成铆钉结构，可保障管材结构密实性，提高管道各方面机械性能。

3. 工艺流程

竹缠绕复合压力管的生产工艺主要包括竹篾加工、内衬层制作、结构层缠绕、加热固化、外防护层制作等流程，生产工艺流程图见图1。

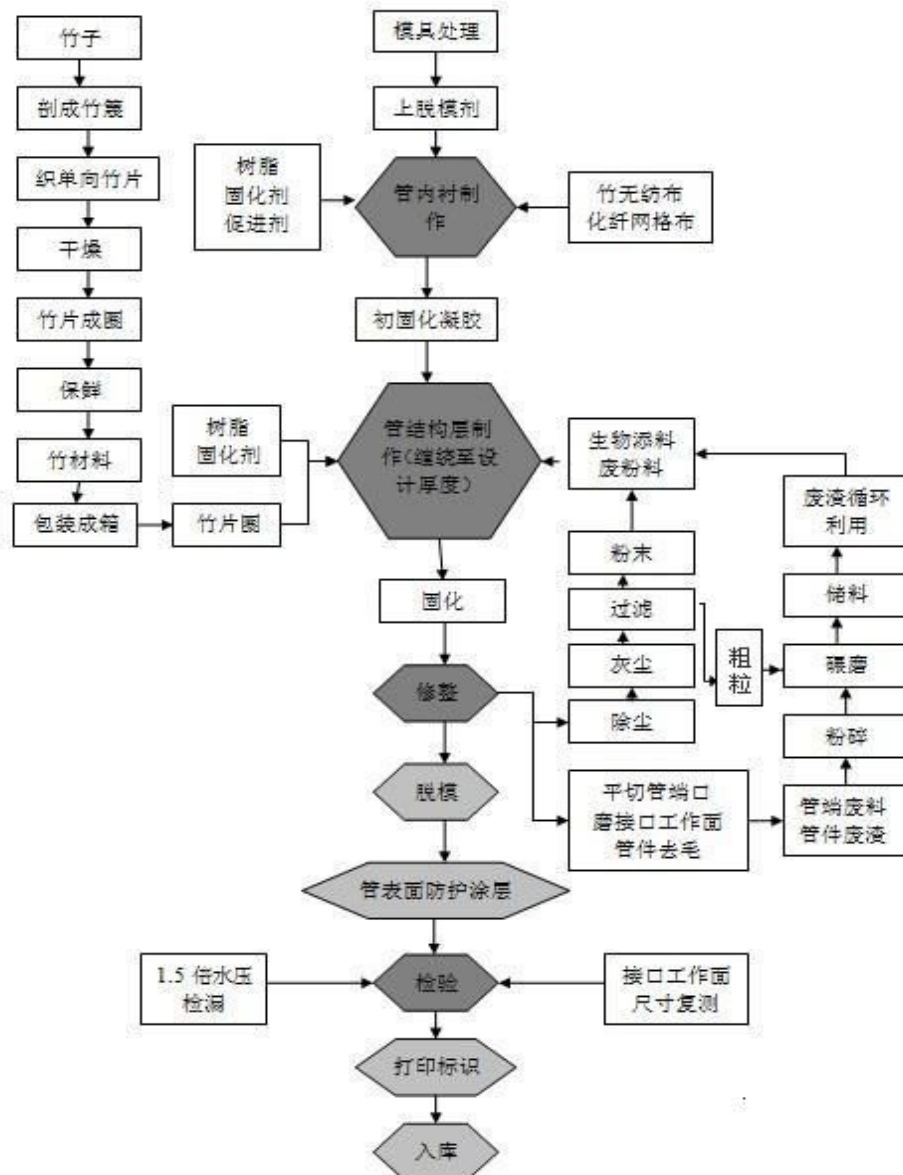


图1 管材生产工艺流程图

管材结构示意图见图2。

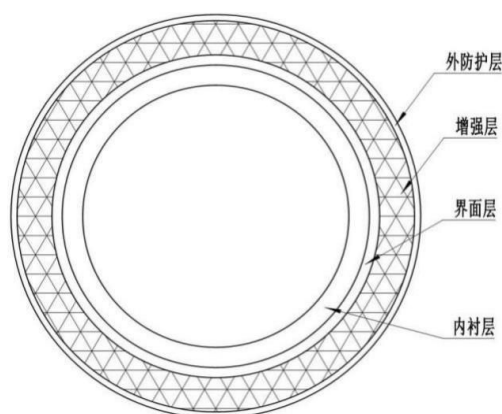


图2 管材结构示意图

六、主要技术指标

- 1.管道规格：DN200 ~ DN3000;
- 2.密度：0.9 ~ 1.35g/cm³;
- 3.轴向拉伸强度：18 ~ 24 MPa;
- 4.短时失效水压：不小于管道压力等级的4倍;
- 5.弯曲弹性模量：9GPa;
- 6.初始环刚度：≥10000N/m²;
- 7.内表面粗糙度：≤0.0082;
- 8.使用寿命：≥50年;
- 9.使用压力：≤1.6MPa;
- 10.使用温度：-20℃ ~ 110℃;
- 11.燃烧等级：B1;
- 12.表面吸水率：≤0.1%。

七、技术鉴定情况

该技术已获得国家发明专利3项，实用新型专利11项。同时，该技

术于2011年通过浙江省的省级新产品鉴定，于2014年通过由国家林业局组织的科技成果鉴定。其中，竹缠绕复合压力管通过水利部灌排设备检测中心、国家化学建材质量监督检验中心、国家农副产品质量监督检验中心及浙江大学高分子复合材料研究所对管道相关性能的检验检测，并通过上海标检产品检测有限公司的燃烧等级测试，证实管材达到难燃等级。

八、典型用户及投资效益

典型用户：新疆建设兵团222团、浙江慈溪市杭州湾现代农业开发区、黑龙江水利科学研究院等。

典型案例1

案例名称：新疆222团7支7斗1243亩滴灌安装工程

建设规模：504米DN300竹缠绕复合压力管工程。建设条件：依托1243亩农田滴灌安装工程，接入竹缠绕复合压力管；挖掘机挖土，人工清基后，取消砂子铺垫及包覆施工规范。主要内容：改变传统渠道输水方式，安装42根12米长的竹缠绕复合压力管。主要设备为挖掘机。项目总投资12万元，建设期为1个月。与采用螺旋焊管相比，可节约管道生产能耗约15tce，相应减排约36tCO₂。由于竹缠绕复合压力管投资不高于螺旋焊管，采用该技术不产生增量投资额，碳减排成本在0元/tCO₂左右，管道生产单元建设的投资回收期约为1.8年。

典型案例2

案例名称：浙江省慈溪市杭州湾现代农业开发区（东片）二期规模化节水灌溉增效示范项目引水工程

建设规模：108米DN600竹缠绕复合压力管引水工程。建设条件：

埋设深度3.25米，土地盐渍化，呈碱性，具有一定的腐蚀性。主要内容：在三座引水泵站处，分别埋设3根12米长的竹缠绕复合压力管。项目总投资5万元，建设期为1个月。与采用螺旋焊管相比，可以节约管道生产能耗约11tce，相应减排量约26tCO₂；与采用预应力钢筒混凝土管相比，可以节约管道生产能耗约1tce，相应减排量约2tCO₂。由于竹缠绕复合压力管投资不高于螺旋焊管和预应力钢筒混凝土管，采用该技术不产生增量投资额，碳减排成本为0元/tCO₂左右，管道生产单元建设的投资回收期约为1.8年。

九、推广前景和减排潜力

随着我国节水供水重大水利工程建设和城市管网建设的快速推进，管道更新换代和新管路建设需求巨大，竹缠绕复合压力管具有广阔的发展前景。按照国家林业局制定的《2014-2020年竹缠绕复合压力材料产业发展规划》，预计未来5年，该技术推广应用将占我国管道市场的10%，即竹缠绕复合压力管2020年总产量预计可达1000万吨，项目总投资为500亿元，可形成的年碳减排潜力约6400万吨CO₂。

15 利用废聚酯类纺织品生产再生涤纶短纤维关键技术

一、技术名称：利用废聚酯类纺织品生产再生涤纶短纤维关键技术

二、技术类别：减碳技术

三、所属领域及适用范围：纺织行业 废聚酯类纺织品回收再利用

四、该技术应用现状及产业化情况

我国废旧纺织品总量超过2500万吨/年，但回收利用率不足3%，废旧纺织品社会总存量约2亿吨，占据大量储藏空间，造成极大的资源浪费。废旧纺织品的循环再利用，是解决纺织行业中资源短缺和环境污染双重问题的关键。利用废聚酯纺织品生产再生涤纶短纤维关键技术是在传统再生纺工艺的基础上进行创新改造，通过废聚酯纺织初始摩擦造粒、连续干燥、深槽螺杆熔融、多级过滤、调质调粘，形成以废聚酯类纺织品生产高附加值再生涤纶短纤维系列创新技术。目前该技术已建立5条生产线，在行业内具有较大的推广应用潜力。

五、技术内容

1. 技术原理

该技术针对废聚酯纺织品密度低、造粒后含水高(含水率 $\geq 1.5\%$)，常规干燥时间长、降解大、且颗粒不匀、杂质高等特点，采用废聚酯纺织品摩擦造粒的方法，压缩提高其密度；采用热风连续干燥工艺对摩擦料进行高效干燥；利用深槽螺杆解决因颗粒不匀导致的进料不稳定和环结阻料现象，同时减少熔体在螺杆中回流造成的粘度降解；对聚酯熔体采用专用再生纺多级过滤技术进行过滤，滤去大颗粒杂质，

再进入立卧结合式的调质调粘系统，并在高真空条件下熔体自上到下形成膜帘，挥发出的低分子聚合物、增塑剂、染料等随真空从釜内逸出，熔体的纯度和粘度得到提高。调质调粘后的熔体经计量后纺出差别再生化纤，节约生产涤纶短纤维的大量石油资源，减少二氧化碳排放。

2. 关键技术

（1）废聚酯纺织品摩擦造粒技术

废聚酯纺织品因蓬松、勾连等特点对应用造成了一定的困难，通过废纺织品摩擦造粒技术的方式实现废聚酯纺织品的压缩，压缩后摩擦料的密度与常规切片的颗粒相接近。该过程通过控制废聚酯纺织品在摩擦料机器中的停留时间和数量以最大程度降低造粒环节造成的聚酯熔体特性粘度下降。

（2）连续干燥技术

摩擦料混合计量后，在热风的作用下通过送料管道后进入旋风分离器，在旋风分离器中热风与摩擦料分离，摩擦料落入带有保温的料斗中，在质量达到一定程度时，阀门自动开启重复上述循环。摩擦料在热风输送过程中与热风接触非常充分，使其干燥效率高于常规真空转鼓，且摩擦料经多次混合减少了原料间的差异性，有利于颜色和粘度的均一化。

（3）深槽螺杆熔融技术

常规螺杆设计是以聚酯切片为设计依据，鉴于切片形状规则、颗粒大小均匀的特点，常规螺杆的进料端相对较短、螺槽相对较浅，这种设计对颗粒大的摩擦料（体积为切片的10倍左右）极其不适合，用

常规螺杆用于废聚酯纺织品加工的摩擦料纺丝，存在螺杆进料困难、环节阻料、回流现象严重等现象，加剧了摩擦料的降解，降低了纤维的可纺性。针对上述现象，通过加深进料段和压缩段的螺槽的深度和长度来提供高的进料压缩比，并通过在计量段设置引流槽以减少熔体在螺杆中的回流，有效地解决了螺杆的进料问题和粘度降解大的问题。

（4）多级过滤技术

废聚酯纺织品原料来源复杂，经过分拣的废聚酯纺织品也难免含有棉纤维、氨纶、锦纶等非聚酯成分，相对PET瓶片和切片含杂量较高，且不易过滤，为此采用双级过滤加组件过滤的方式在上述三个环节中去除这些杂质，以此来提高熔体的洁净度和纤维的可纺性。

（5）液相调质调粘技术

利用低分子物质除杂技术及改进的双级液相调质调粘装置，能高效去除高温熔融过程中降解产生的低分子物质及染料中含有的增塑剂、紫外线吸收剂等低分子物质，同时使得熔体粘度得到提升。调质调粘后的熔体粘度与聚酯切片熔融后的粘度相似，便于不同类型纤维的生产加工。

3. 工艺流程

废聚酯纺织品→造粒→干燥→熔融→初级过滤→调质调粘→二级过滤→计量→纺丝→上油→卷绕→初生纤维

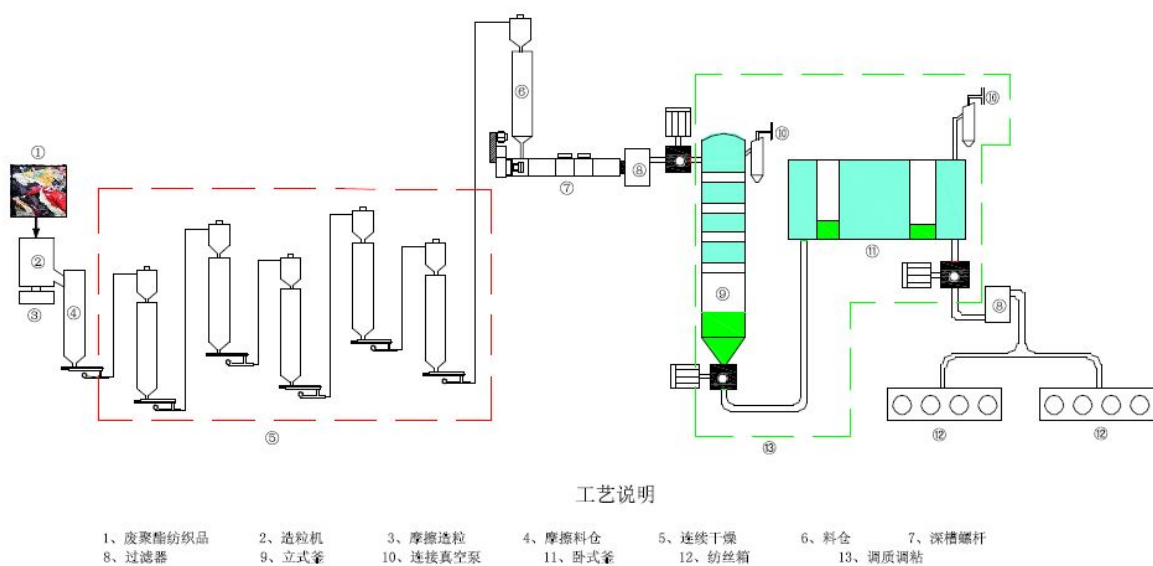


图 1 液相调质调粘工艺示意图

六、主要技术指标

1. 废聚酯纺织品加工摩擦料的特性粘度：0.54dl/g ~ 0.60dl/g;
2. 干燥后摩擦料含水率：≤100ppm;
3. 螺杆熔融阶段粘度降：≤6%;
4. 二级过滤器过滤精度：≤45μm;
5. 真空除杂率：≥0.15%;
6. 纺丝特性粘度：0.620dl/g ~ 0.680dl/g;
7. 组件使用周期：> 48h;
8. 产品指标:

膨松度 V_1 ：≥130cm³/g;

膨松度 V_2 ：≥20cm³/g;

疵点含量：≤1000mg/100g;

压缩弹性回复率：≥58%。

七、技术鉴定情况

该技术于 2012 年通过中国纺织工业协会组织的科技成果鉴定, 并获得国家发明专利 5 项。

八、典型用户及投资效益

典型用户: 宁波大发化纤有限公司、余姚大发化纤有限公司。

典型案例 1

案例名称: 宁波大发废聚酯纺织品生产再生涤纶短纤维项目

建设规模: 3 条 2 万吨/年生产线。建设条件: 具备设备安装所需的 15m 以上高度和周边不低于 4 m²的空间、稳定的蒸汽来源和配套水电。主要建设内容: 厂房改造、立式釜、卧式釜、过滤器、蒸汽喷射泵及配套装置安装和 DSC 控制系统。每条生产线的主要设备为产能为 65t/d 立卧反应釜、3 台配套熔体泵、1 台过滤器、五级蒸汽喷射泵一套 (含冷却塔、循环泵)、DCS 控制系统。项目总投资 346 万元, 建设周期 1 个月。项目年减排量 14 万吨 CO₂。项目经济收益 3388 万元, 投资回收期约 1 年。碳减排成本为 2~10 元/tCO₂。

典型案例 2

案例名称: 余姚大发废旧纺织品和聚酯瓶片生产功能性低熔点再生涤纶短纤维项目

建设规模: 2 条 3 万吨/年生产线。建设条件: 具备设备安装所需的 15m 以上高度和周边不低于 4 m²的空间、稳定的蒸汽来源和配套水电。主要建设内容: 厂房改造、立式釜、卧式釜、过滤器、蒸汽喷射泵及配套装置安装和 DSC 控制系统。主要设备为聚合装置、连续干燥装置、调质调粘装置、纺丝设备、后处理设备、公用工程等。项目总投资 500 万元, 建设期为 2 年。项目年减排量 14 万吨 CO₂。项目经济

效益 3500 万元，投资回收期约 1 年。碳减排成本约为超过 2 ~ 10 元/tCO₂。

九、推广前景和减排潜力

我国“十二五”、“十三五”发展规划以及纺织行业强国纲要中都把发展循环经济、开展废旧纺织品循环利用放到重要位置。国家鼓励废旧纺织品综合利用产业化，以从废旧纺织品中分离出来的废聚酯纺织品为原料，采用液相调质调粘技术或醇解技术生产差别化再生涤纶短纤维，具有广阔的发展前景。预计未来 5 年，该技术在行业内推广比例为可利用聚酯类废纺织品的 10%，项目总投资为 4000 万元，可形成年碳减排能力约 114 万吨 CO₂。

16 PH 型智能化扩容蒸发器技术

一、技术名称：PH 型智能化扩容蒸发器技术

二、技术类别： 减碳技术

三、所属领域及适用范围： 化工行业、印染行业

四、该技术应用现状及产业化情况

在染整、印染企业中的丝光工艺，主要用烧碱来达到布面的染整工艺要求。在生产过程中产生大量的废碱（淡碱），如不加于回收综合利用，过高的碱度会抑制微生物的生长，使污水处理生化工艺难以运行。为了使污水处理正常运行，必须采用加酸来中和调节 PH 值。这样既浪费了大量的液碱，又增加了污水含盐量，进一步加大污水处理的难度，造成生产成本大幅增加。该技术可回收印染企业丝光工艺中产生的废碱，经过滤、净化，浓缩后回用于丝光工艺中，亦可供退浆、煮漂使用，可有效降低生产成本，减少环境污染。目前，该技术已在国内纺织行业进行了产业化应用。

五、技术内容

1. 技术原理

先在一定的压力下加热碱液，然后通向一个压力降低的蒸发室，此时高温碱液开始扩容并蒸发（即自身的温度逐步下降，下降到蒸发室压力相对饱和时的饱和温度），同时在降温时所放出的显热量作为水份蒸发所需的潜热。由扩容蒸发出来的二次蒸汽进入一个加热器被冷凝后生成冷凝水，在二次蒸汽冷凝时所放出的潜热通过加热器管内循

环碱液的吸热而予以回收冷凝水。多个压力不同的蒸发室和外加热器连接起来组成扩容蒸发器（又称闪蒸器）。利用多次多级扩容器可提高汽水比，同时得到更高的碱液浓度，即可回收热量，也可回用碱液。

2. 关键技术

（1）采用“扩容－沸腾”组合技术提高汽水比，可达 1:4；

（2）采用合理的沸腾室温度控制，有效防止设备材料的碱脆化，提高浓缩效果；

（3）采用高效蒸发技术，设备热能利用率达到 90%，比“多级分效”高出 12%。

3. 工艺流程

PH型智能化扩容蒸发器技术工艺流程图见图1。碱液回收利用系统示意图见图2。

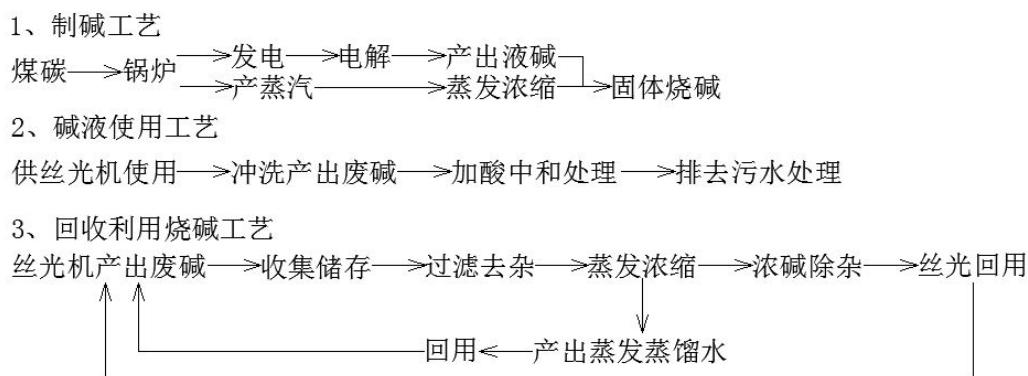


图1 PH型智能化扩容蒸发器技术工艺流程图

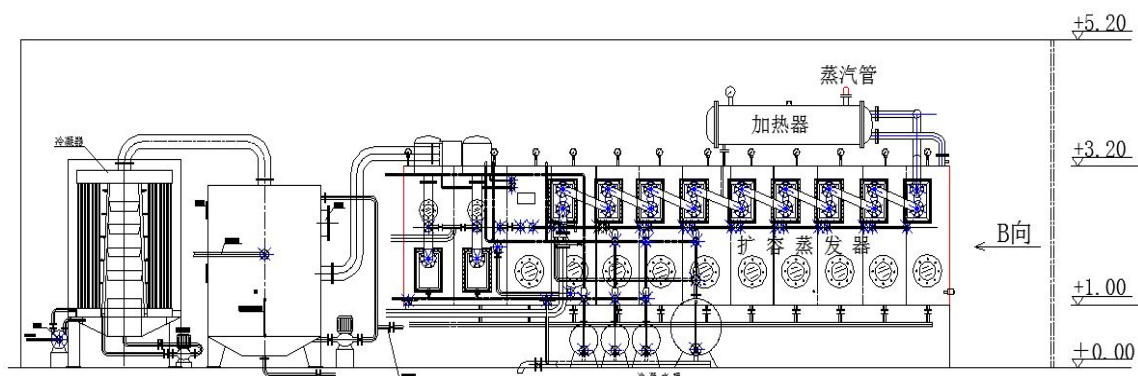


图2碱液回收利用系统示意图

六、主要技术指标

1. 蒸发汽水比1:4以上;
2. 日处理能力100~200吨/天 (单台机组);
3. 蒸汽耗用量14~30吨/天 (单台机组);
4. 装机功率25~50kW (单台机组);
5. 浓缩比可达4~6倍。

七、技术鉴定情况

该技术于2007年通过无锡市科学技术局组织的科技成果鉴定。

八、典型用户及投资效益

典型用户：广东顺德金纺集团。

典型案例 1

案例名称：新增 PH 型智能化扩容蒸发器

建设规模：丝光淡碱 350 吨/天。建设条件：纺织印染相关工艺。

主要建设内容：丝光淡碱回收站。主要设备：PH 型智能化扩容蒸发器。

项目总投资 280 万元，建设期为 4 个月。年减排量约 11320tCO₂，产生经济效益 308 万元，投资回收期约 1 年内。碳减排成本为 70-100 元/tCO₂。

典型案例 2

案例名称：无锡通顺印染有限公司

建设规模：丝光淡碱 100 吨/天。建设条件：纺织印染相关工艺。

主要建设内容：丝光淡碱回收站。项目总投资 110 万元，建设期为 2 个月。年减排量约 4840tCO₂，产生年经济效益 88 万元，投资回收期

约 1 年。碳减排成本为 70-100 元/tCO₂。

九、推广前景和减排潜力

中国纺织印染行业市场巨大，随着我国经济建设的加快，对环境保护和节能减排的重视力度将越来越大，普通的废碱回收设备必然会加速淘汰。预计未来 5 年，该技术在行业内的推广比例可达 75%，约 200 套左右，可形成年碳减排能力 100 万吨 CO₂。

17 环保型 PAG 水溶性淬火介质淬火技术

一、技术名称：环保型 PAG 水溶性淬火介质淬火技术

二、技术类别：减碳技术

三、所属领域及适用范围：机械加工行业 应用在金属热处理工艺过程中淬火、调质、渗碳、感应淬火等工序中

四、该技术应用现状及产业化情况

传统的热处理淬火冷却大都使用淬火油，淬火过程中浪费了大量的石油资源，产生大量油烟等有害气体和废弃油渣。无论是热处理过程，还是焚烧处理废弃油渣都会造成污染环境，损害操作者健康，同时导致热处理工艺过程存在火灾隐患。目前，我国热处理行业每年消耗淬火油约 40 万吨，随着我国热处理行业规模日趋扩大，其淬火油数量将逐年增加，预计到 2020 年淬火油用量将达到 77.3 万吨。采用新型淬火技术替代传统的淬火油淬火，可以避免石油能源的消耗，减少石油能源的使用，目前已在全国推广应用客户近百余家，具有良好的经济和社会效益。

五、技术内容

1. 技术原理

该技术采用优质复合环保型 PAG 高分子聚合物与多功能助剂进行复配。热处理时淬火介质在热处理工件表面产生聚合物包覆膜，这种膜可以减少水与工件传热，进而实现控制冷却速率作用。在热处理过程中通过设定温度、浓度、搅拌速度、工艺条件等参数实现蒸汽膜阶

段、沸腾膜阶段、对流阶段的有效控制，进而实现工件的热处理过程。该工艺技术采用的PAG水溶性淬火介质与水结合可代替淬火油，其淬火特性可满足中低碳钢、中低合金钢、某些中高合金钢的热处理要求，其应用面较为广泛。该技术的应用可以减少石化能源使用，进而减少废弃油渣处理后产生的二氧化碳排放，并减少由于淬火和废弃油炸处置引起的环境污染。

2.关键技术

（1）水溶性介质复配技术

实现PAG类聚醚的分子量、聚合度、共聚物合理比例，筛选与之匹配的功能助剂，实现如杀菌剂、催冷剂、防锈剂等功能；

（2）特定工艺应用优化技术

针对具体钢种、材料、工件复杂程度量身定制及优化热处理工艺；

（3）水溶性介质改性技术

温度区间可实现0-60℃调节，增加产品适用性。

3.工艺流程

每一种特定材料的淬火，都需根据淬火槽大小计算出 PAG 介质需要量，合理设计循环搅拌系统及冷却系统，最终确定热处理工艺，并进行应用实验，最终完成热处理工序，其设计工艺流程图如图 1 所示。

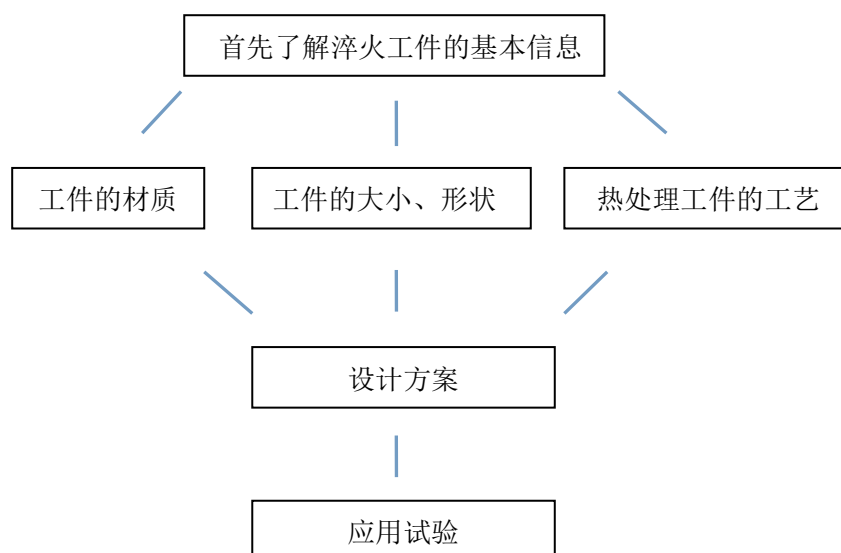


图 1 环保型 PAG 水溶性淬火介质淬火流程图

六、主要技术指标

1. 与淬火油相比，节省 90%淬火油；
2. 与淬火油相比，节约成本 70%~80%；
3. 中低碳钢用水溶性 PAG 淬火剂淬火，产品质量合格率达到 98% 以上；
4. 降低烟气排放量 95%以上，对操作者身心健康没有影响。

七、技术鉴定情况

该技术于 2009 年 3 月通过辽宁省科技厅组织的科技成果鉴定；2014 年 10 月通过中国高科技产业化研究会的技术鉴定，并获得国家发明专利 2 项；2011 年被国家科技部批准立项、获得国家中小企业创新基金项目资助。

八、典型用户及投资效益

典型用户：辽宁五一八内燃机配件有限公司、山西大同煤机中央煤机有限公司、北京兵标龙翔热处理技术有限公司等。

典型案例 1

案例名称：辽宁五一八内燃机配件有限公司热处理淬火介质淬火技术改造项目

建设规模：42 条热处理自动化生产线，年产 10 万吨锻钢曲轴。
建设条件：增加搅拌和循环设备，清洗循环管路和淬火油槽。主要建设内容：42 条生产线 PAG 水性介质代替淬火油改造。主要设备：水溶性 PAG 淬火剂及其工艺系统。项目投资约 400 万元（采用淬火油工艺投资约 1200 万元），项目建设周期约 1 个月，年实现节约能量为 8012tce，年实现碳减排量 1.66 万 tCO₂，每年可获得经济效益 2000 万元。投资回收期约 3 个月。碳减排成本为 -450 ~ -600 元/tCO₂。

典型案例 2

案例名称：山西大同煤机中央煤机有限公司热处理淬火介质淬火技术改造项目

建设规模：两个 100 立方米油槽改水槽项目，年产 5 万吨热处理工件。建设条件：增加搅拌和循环设备，清洗循环管路和淬火油槽。主要建设内容：将淬火油改成水溶性淬火介质。主要设备：水溶性 PAG 淬火剂及其工艺系统。技改投资额 200 万元（采用淬火油工艺投资约 600 万元），建设期 1 个月，年实现碳减排量约 7100 吨 tCO₂，每年可获得经济效益 1100 万元，投资回收期约 3 个月。碳减排成本为 -550 ~ -650 元/tCO₂。

九、推广前景和减排潜力

目前热处理行业深入到我国军工，包括航天、航空、海军、武器装备、汽车、重工、农业机械、石油化工诸多领域，应用量大面广。因此，该技术具有广阔推广前景及巨大的市场潜力。预计未来 5 年，

该技术替代淬火油推广比例达到 70%，项目总投资预计 12 亿元，每年可节约淬火油 48.72 万吨，以节约的淬火油计算可实现年碳减排能力约 100 万 tCO₂。

18 车用锂离子动力电池系统开发技术

一、技术名称：车用锂离子动力电池系统开发技术

二、技术类别：减碳技术

三、所属领域及适用范围：汽车行业交通运输领域

四、该技术应用现状及产业化情况

锂离子电池具有重量轻、储能容量大、功率大、无污染、寿命长、自放电系数小、温度适应范围广等优点，已逐渐取代铅酸电池和镍氢电池，成为目前世界上大多数汽车企业进行电动汽车开发的首选目标。自 2009 年 1 月我国启动新能源汽车“十城千辆”推广工程以来，已经覆盖北京、上海、重庆等 25 个城市。受政策和市场驱动，2014 年我国新能源汽车产销量呈井喷式增长，全年产量突破 8.4 万辆，销量达 7.6 万辆，产销量增长均超过 300%。商用车是新能源汽车行业现阶段发展最快的领域，尤其在客车领域，由于公共交通需求而释放的潜力将极大地促进电动汽车行业的发展。

五、技术内容

1. 技术原理

电动汽车通过动力电池系统为驱动电动机提供电能，电动机将电能转化为机械能，通过传动装置直接驱动车轮。与传统燃油机动车相比，电动汽车在行驶中不排放二氧化碳，其排放量按动力电池所耗电量进行折算。由于电力可以采用常规火电和其他可再生能源电力获得，且可充分利用晚间低谷电进行充电，其单位里程排放量低于燃油机动

车的排放量，从而实现二氧化碳减排，并有效提高其经济效益。

2. 关键技术

（1）电池分选配组技术

通过对大量单体电池的数据统计和软件分析，评估单体电池不同电压差、内阻差、容量差等分档情况对电池模块一致性程度的影响，确定更合适的单体电池分选和配组标准，组建自动化的电池分选装备，提升电池分选配组的效率。

（2）电池系统热管理技术

通过有限元（FEA）计算机辅助设计（CAE）进行电池单体、电池模块热性能模拟，确定被测单元在不同工况下的热性能表现和电池单体在实际工况下的发热状况及发热点，构建适宜的电池模块冷却系统。

（3）电池系统均衡技术

电动汽车的车载能量通常由串联成组的动力电池来提供。但由于存在一致性问题，成组电池在可用容量、使用寿命等方面远不及单体电池，采用电池系统均衡技术可有效提高成组电池的使用性能。

（4）电池管理系统关键技术

关键技术包括电池剩余电量（SOC）、健康状态（SOH）估算和均衡技术，在准确估测电池系统SOC的基础上，准确评估电池系统的SOH。通过优化充放电控制算法，在原有容量、电压、温度等参考参数的前提下，引入内阻等电池特性参数，进行基于多参数的充放电控制算法，有利于降低电池充放电状态评价误差影响，正确评价电池充放电状态，优化充放电管理。

（5）电池系统测试验证技术

研究单体电池、电池系统、BMS 系统的功能、性能及安全性、可靠性的测试验证标准及方法，建立综合性的测试验证平台。

（6）电池系统模拟仿真技术

对电池系统进行流场、热场、机械强度及控制策略等的模拟仿真，保证系统设计的可靠性。

3. 工艺流程

锂离子电池及电池组生产示意图见图1和图2。

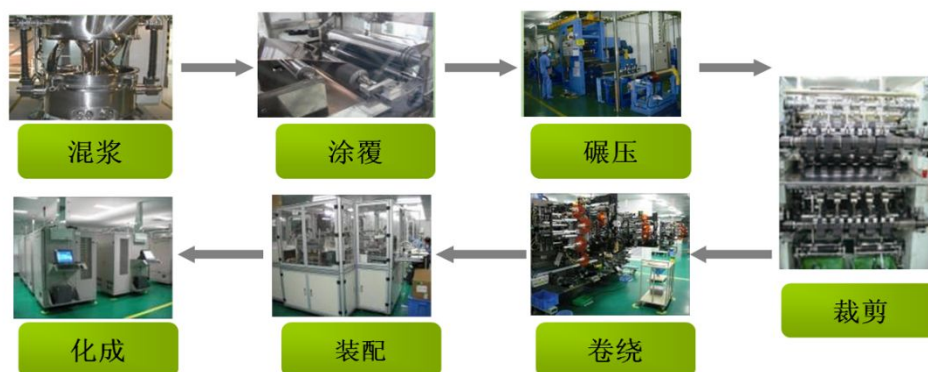


图1 电芯生产工艺流程示意图

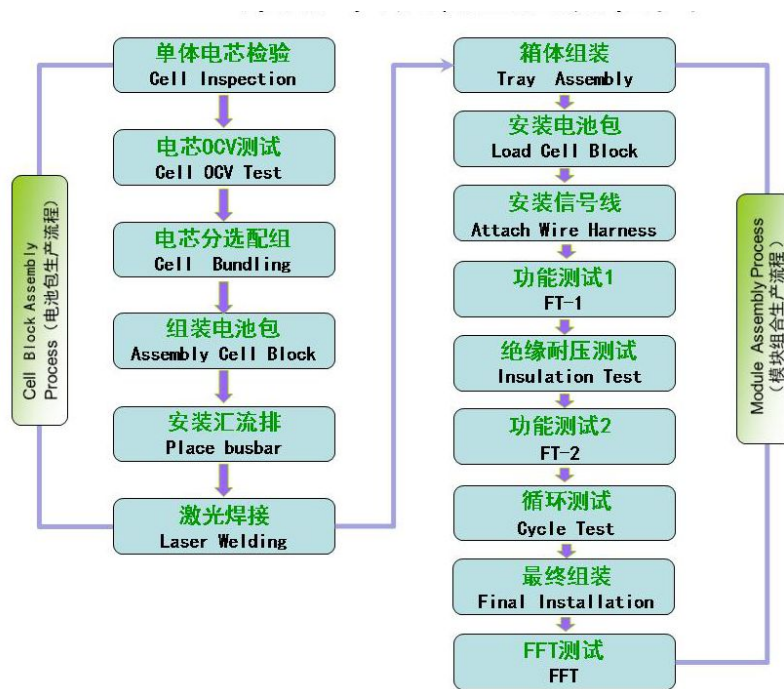


图2 电池组生产工艺流程示意图

主要制作工艺技术路线如下：

（1）制浆。用专门的溶剂和粘接剂分别与粉末状的正负极活性物质混合，经高速搅拌均匀后，制成浆状的正负极浆料；

（2）涂膜。将制成的浆料均匀地涂敷在金属箔的表面，烘干，分别制成正、负极极片；

（3）装配。按正极片/隔膜/负极片/隔膜自上而下的顺序放好，经卷绕制成电池极芯，再经滚槽、注液、封口等工艺过程，即完成电池的装配过程，制成成品电池；

（4）化成。用专用的电池充放电设备对成品电池进行充放电，激活其内部活性物质，然后对每一只电池检测，筛选出合格的成品电池待下一流程使用；

（5）分选。采用智能的分选软件，根据合理的容量、电压及内阻差异标准对电池进行分组；

(6) 组合。采用专用的设备对成组的单体电池进行复检，将经过绝缘处理后的电池进行焊接，与保护线路板进行焊接后，再进行电性能检测，并进行入壳、贴标签和包装。

电池管理系统（BMS）示意图见图3。

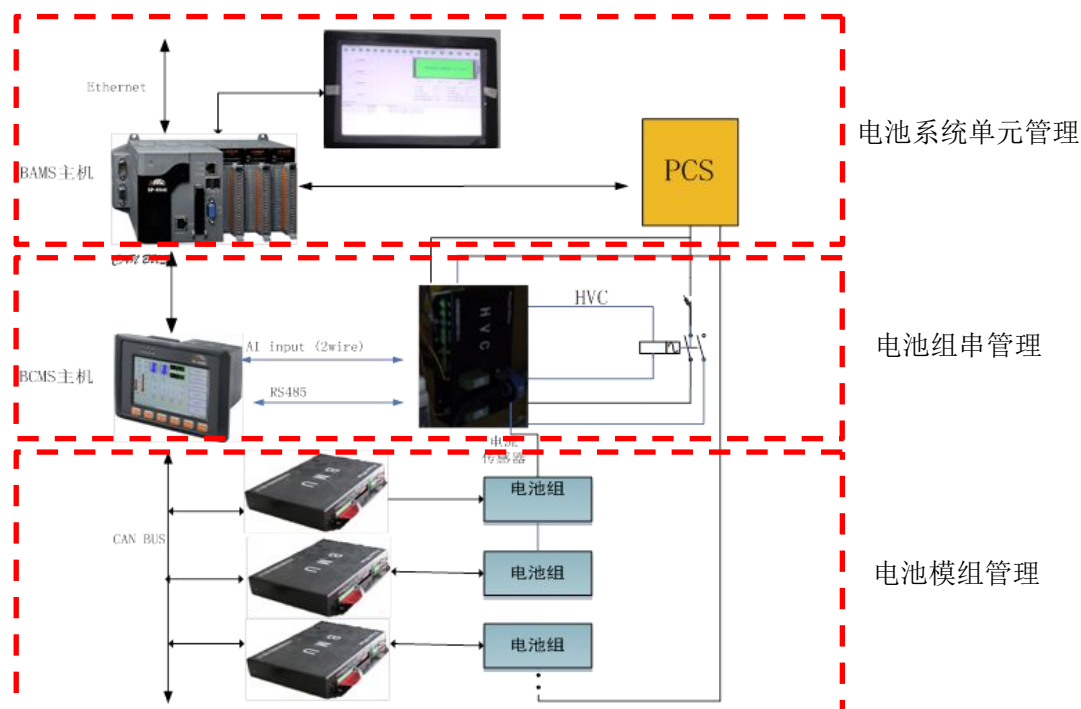


图3 电池管理系统（BMS）示意图

六、主要技术指标

1. 单体电池

电压：3.2V、3.6V、3.75V；

容量：5.5Ah ~ 130Ah；

内阻：≤10mΩ。

2. 商用大巴电池系统

电压：120 ~ 360V；

容量：245Ah ~ 615Ah；

能量： 110kWh ~ 221kWh;

最大放电电流： 540A。

3. 乘用车电池系统

电压： 144 ~ 358V;

容量： 4.4Ah ~ 115Ah;

能量： 0.6336kWh ~ 38.33kWh;

最大放电电流： 500A。

七、技术鉴定情况

该技术已获国家发明专利 5 项，实用新型专利 45 项。

八、典型用户及投资效益

典型用户： 安凯、宇通、申沃、青年、江淮、悦达起亚等汽车厂

典型案例 1

案例名称： 快换式纯电动客车动力电池系统开发项目

建设规模： 具备年产 4000 套大巴用锂电池系统的生产能力。建设条件： 该动力电池系统应用于电动公交车，已应用于天津津门湖、海泰等充换电站、青岛薛家岛、深圳路充换电站。主要内容： 动力电池生产线。主要设备为自动点焊机、激光焊接机、自动分选机、ARBIN 测试设备、功能测试设备等。项目总投资 1.5 亿元，建设期为 3 年。投运公交车 502 辆，年减排量约 1104tCO₂。项目达产可形成的年经济效益 8000 万元，投资回收期约 3 年，碳减排成本为 1.8 ~ 4 万元/tCO₂。

典型案例 2

案例名称： 车用方型动力电池开发项目

建设规模：形成年产 3 亿 Ah 方型电池的生产能力。建设条件：方型锂离子电池已广泛应用于宇通、金龙、福田、安凯等商用大巴车及悦达起亚、一汽红旗等乘用车项目中。主要内容：生产线建设。主要设备为自动卷绕机、自动制片机、自动物流线、自动装配线、自动注液机、极片烘干箱、电池烘干箱、锂离子排气设备、锂离子化成设备、自动打标机、锂离子电池验漏、自动分选机、pack 自动电阻焊、ARBIN 测试设备、自动激光焊接机等。项目总投资 6 亿元，建设期为 5 年。年碳减排可达 7058tCO₂。项目达产可形成的年经济效益 15 亿元，投资回收期约 6 年，碳减排成本为 1.8~4 万元/tCO₂。

九、推广前景和减排潜力

随着新能源汽车产业政策的密集出台，新能源汽车产业的发展呈现出逐年增长的态势。目前动力电池系统技术已广泛应用于新能源商用车、乘用车、城市物流车及其他特种车的示范运营中。预计未来 5 年，全国约有 400 万辆新能源汽车，占汽车总量的 2%，项目总投资约 30 亿元，年碳减排能力可达 550 万吨 CO₂。

19 基于能源作物蓖麻的全产业链高值化利用技术

一、技术名称：基于能源作物蓖麻的全产业链高值化利用技术

二、技术类别：零碳技术

三、所属领域及适用范围：农业 经济和能源作物

四、该技术应用现状及产业化情况

蓖麻是一类重要的油料作物，蓖麻油分子结构独特，可替代石油生产多种精细化工、生物基材料和能源类产品。我国蓖麻产业加工企业有300多家，产品大多为附加值较低的初级产品，产业规模化效应不明显。目前，基于能源作物蓖麻的全产业链高值化利用技术已进入产业化初期阶段。年产绿色润滑油1万吨，已形成发动机油、工业润滑油40多种产品；生物基材料癸二酸、癸二胺、生物基尼龙等年产量约5万吨；采用“良种良方”技术可以实现单产平均提高20%效果。该技术产业化正处于快速发展阶段，具有较大的推广潜力。

五、技术内容

1. 技术原理

该技术为蓖麻产业链集成化技术。通过良种、良方、生物有机肥及机械化种植等技术的开发和集成，提高蓖麻作物单产、增加土地储碳功能，极大改善传统蓖麻种植现状。同时，利用蓖麻作物开发出绿色高性能润滑油、生物航油、生物基材料等高值化产品，实现蓖麻作物高值化利用，进而形成完整的产业链，促进蓖麻产业发展。而蓖麻作物具有耐旱、耐盐碱、耐瘠薄等特性，可以种植于荒地或与其他经

济作物轮作，具有良好的经济效益和社会效益。

2. 关键技术

（1）“良种良方+机械化种植”关键技术集成

通过“良种良方+机械化”，有效提高植株光合作用效率，实现增加蓖麻单位用地面积产量，进而增加单位面积储碳量。

（2）替代石油蓖麻基绿色润滑油生产技术

通过催化合成制备生物基基础油及低温循环调和技术，可生产各项指标达行业高质量级别润滑油要求，且环境友好、可生物降解。

（3）蓖麻生物航油催化加氢异构化生产技术

采用高活性、高水热稳定性、高选择性绿色高效催化剂，结合蓖麻油加氢脱氧和加氢异构关键技术、及调和储运成套清洁工艺，可实现低能耗的航油生产。

（4）生物基尼龙材料清洁生产工艺

采用“蓖麻油→癸二酸→癸二胺→生物基尼龙”工艺路线生产高值产品，解决传统工艺苯酚污染问题，提高癸二胺产率。

（5）生物有机肥集约高效生产技术

采用高活性蛋白复合微生物菌剂高效发酵等技术，较传统工艺节能 15%以上，且产品附加值高，可促进大量农废物资综合利用。

3. 工艺流程

蓖麻产业链高值化技术减排原理及工艺流程示意图见图1。

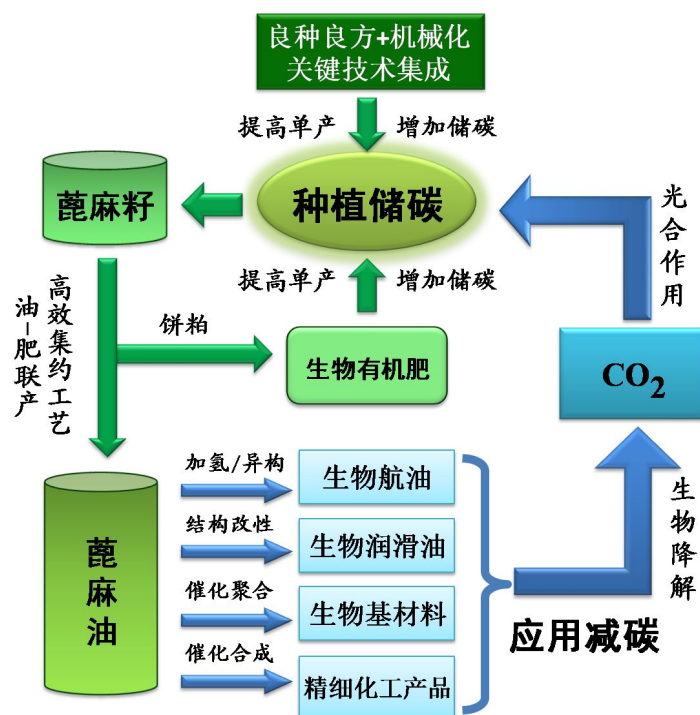


图 1 蓖麻产业链高值化技术减排原理及工艺流程示意图

六、主要技术指标

1. 蓖麻生物航油技术：原料转化率 > 99%，最终产率 > 90%，产品纯度 > 99%，质量满足 ASTM D-7566 等相关标准，加氢脱氧催化剂、加氢异构催化剂技术达到国际领先水平；

2. 蓖麻基高性能绿色润滑油技术：产品符合行业高质量级别（美国石油协会 API）要求，低温性能优异，适合 -50℃ ~ 50℃ 大跨度温度范围，-35℃ 低温动力粘度 ≤ 6200 mPa·s，换油周期 2 万公里以上，生物降解率 ≥ 80%；

3. 生物基尼龙材料清洁生产工艺：癸二酸含量 > 99.5%，癸二胺含量 > 99.5% 产品纯度高、不含酚，联产物仲辛醇、产生的废水均不含酚，工艺能耗降低 15%；

4. 生物有机肥技术：有机质 ≥ 45%，总养分 (N+P₂O₅+K₂O) ≥ 5.0%；

5. “良种良方+机械化种植”技术：蓖麻籽含油率 > 50%，亩产油 >

180kg，机播发芽率 > 90%，机收损失率 < 10%。

七、技术鉴定情况

该技术已获得 8 项国家发明专利。其中，蓖麻产业链良种及高值化产品技术获 2014 年国家科技进步二等奖；蓖麻基 0w/50 长寿命发动机油、重载齿轮油、免酸洗轧制油、风电齿轮油等 6 项产品通过天津市科学技术委员会科技成果鉴定；2010 年该技术先后通过环保部节油减排测试认证和美国农业部生物基产品认证，并得到总后军工认证。

八、典型用户及投资效益

典型用户：新疆建设兵团、部队系统三所一院（中国人民解放军总后油料所、空军油料所、海军技术装备所、后勤工程学院）、浙江王力集团、天津丹弗中绿股份有限公司、山东四强化工集团、新疆前山蓖麻生物科技有限公司、内蒙天润发展有限公司等。

典型案例 1

案例名称：新疆地区蓖麻种植加工及生物质能源产业链示范项目

建设规模：年产蓖麻生物航油 1 万吨、绿色润滑油 3 万吨、生物有机肥 20 万吨。建设条件：新疆北疆、南疆兵团团场及广大沙漠干旱、盐碱地区，利用沙地、盐碱地、拓荒地、棉田及其他作物轮作和间作等，种植蓖麻。主要建设内容：巩固新疆兵团已有蓖麻种植及初加工产业基础，配套良种良方+机械化种植技术，发展 50 万亩蓖麻种植，建设年产 1 万吨蓖麻航油、3 万吨绿色润滑油、联产 20 万吨生物有机肥示范生产线。主要设备为生物航油催化加氢脱氧和加氢异构成套装置、润滑油调和储运成套装置、“油肥联产”成套装置等。项目总投资 3.3 亿元，建设期 12 个月。项目产品替代石油年减排量达 13.5 万 tCO₂

以上，每年可产生经济效益 3 亿元以上，投资回收期约 2 年，减排成本为 0 元/tCO₂（投资建设费用与普通润滑油企业相当）。

典型案例 2

案例名称：内蒙蓖麻生物能源产业链示范项目

建设规模：年产蓖麻生物航油 1 万吨、绿色润滑油 1 万吨、无酚癸二酸 1 万吨、生物有机肥 10 万吨。建设条件：适宜我国北方大部分地区、年降雨量在 150mm 以上的干旱半干旱区域。可利用沙地、盐碱地、拓荒地、棉田及其他作物轮作和间作等，种植蓖麻。主要内容：以“良种良方+机械化”技术巩固扩大传统蓖麻种植区，发展 20 万亩蓖麻示范种植，建设年产 1 万吨蓖麻航油、1 万吨绿色润滑油、1 万吨无酚癸二酸、10 万吨生物有机肥示范生产线，主要设备为生物航油催化加氢脱氧和加氢异构成套装置、生物基润滑油合成及调和成套装置、油肥联产成套装置等。项目总投资为 11000 万元，建设期 12 个月。项目产品替代石油年减排量达 10.6 万 tCO₂，产生经济效益 10000 万元以上，投资回收期约 2 年，减排成本为 0 元/tCO₂（投资建设费用与普通润滑油企业相当）。

九、推广前景和减排潜力

蓖麻全产业链高值化利用技术，可带动蓖麻种植加工产业规模化发展。预计未来 5 年，该技术推广比例将达到 20%，形成蓖麻生物航油产能 50 万 t/年，蓖麻绿色润滑油产能 10 万 t/年，累计推广蓖麻良种油料植物种植面积超过 300 万亩，可形成年碳减排能力 255 万 tCO₂。

20 餐厨废弃物资源化利用生产生物腐植酸技术

一、技术名称：餐厨废弃物资源化利用生产生物腐植酸技术

二、技术类别：减碳技术

三、所属领域及适用范围：废弃物资源化利用领域 循环农业及耕地质量提升

四、该技术应用现状及产业化情况

我国有规模以上城市约660个，餐饮企业每年产生的餐厨废弃物已超过4000万吨，餐厨废弃物的处理问题一直是城市管理面临的难题。目前，传统的餐厨废弃物利用方式主要包括混在生活垃圾中填埋、焚烧、沼气发电、好氧发酵堆肥等。与传统处理方式相比，餐厨废弃物资源化利用生产生物腐植酸技术强调对废弃物的高效资源化利用，具有处理速度快、占地面积小、发酵完全、无二次污染、再生产品附加值高、产品一致性高等优势，为我国城市餐厨废弃物高效资源化利用，并能工业化、标准化复制推广提供了技术支撑。目前以该技术为核心，已在北京、成都、南京、广州、乌鲁木齐等城市建设了14个规模化的餐厨废弃物资源化处理厂，设施处理能力达到1760吨/日，并曾为北京奥运、广州亚运、南京青奥会等国际赛事提供服务。

五、技术内容

1. 技术原理

以城市餐厨废弃物等有机废弃物为原料，在生化处理机内通过高温好氧发酵，经生物降解、聚合、缩合反应转化生成高有机质含量的生

物腐植酸产品。生物腐植酸用于还田能够增加土壤有机碳含量，减少因有机碳分解产生的碳排放。同时，腐植酸的施用可替代化肥，减少化肥生产过程中的能耗和二氧化碳排放。

2. 关键技术

（1）高温好氧发酵技术

以城市餐厨废弃物等有机废弃物为原料，添加生化腐植酸转化剂，在生化处理机内于60℃～80℃条件下经8～10小时高温好氧发酵，转化成生物腐植酸肥料。

（2）生物腐植酸制备技术

经生物降解、聚合、缩合反应转化生成腐植酸含量≥50%、有机质含量75%～85%（测定方法按照《有机肥料标准》（NY525-2012）执行）的生物腐植酸产品。

3. 工艺流程

（1）预处理与筛分：将收集未处理的餐厨废弃物筛分去除无机物；

（2）培养：将高温复合菌扩大培养，得到其培养物，即生物腐植酸转化剂；

（3）掺混：将高温复合菌培养物与筛分后的餐厨废弃物和水分调整材混合均匀，含水率调整至50%～60%；

（4）发酵：在有机垃圾生化处理机内60℃～80℃条件下好氧发酵8～10小时。

该技术的工艺流程见图1。

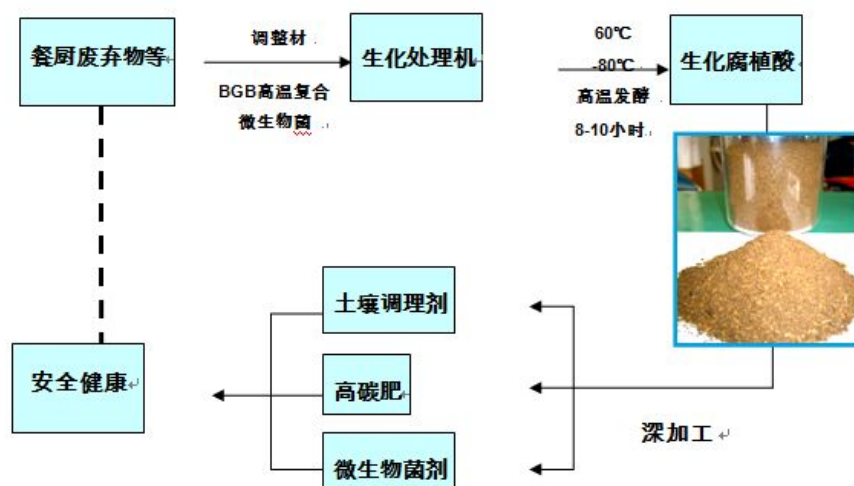


图 1 餐厨废弃物资源化利用生产生物腐植酸工艺流程图

六、主要技术指标

工艺技术指标:

1. 发酵温度: $60^{\circ}\text{C} \sim 80^{\circ}\text{C}$;
2. 发酵时间: $8 \sim 10\text{h}$
3. 无害化处理率达 100%;
4. 资源转化率达到 95%以上。

再生产品技术指标:

1. 总腐植酸含量 $\geq 50\%$;
2. 有机质含量 $75\% \sim 85\%$;
3. 水分 $\leq 10\%$ 。

七、技术鉴定情况

该技术于 2013 年获得第十五届中国专利金奖, 2014 年获得环境保护科学技术一等奖, 2015 年获得国家技术发明奖二等奖, 并获得国家发明专利 1 项, 国际专利 1 项。

八、典型用户及投资效益

典型用户：北京朝阳循环经济产业园、2008年北京奥运会奥运村、成都城管局、广州城管局、南京城管局、乌鲁木齐固废处理中心。

典型案例 1

案例名称：北京朝阳餐厨废弃物资源化处理厂

建设规模：日处理餐厨废弃物 400 吨。建设条件：当地具备餐厨废弃物收运体系，临近垃圾焚烧厂的情况下可以利用垃圾焚烧余热作为替代能源。主要内容：餐厨废弃物资源化利用生产生物腐植酸的生产线建设。主要设备为有机垃圾生化处理机。项目总投资 1.08 亿元万元（不含土地），建设期为 12 个月。年减排量约 50 万 tCO₂。该项目属于政府投资的市政设施项目，投资回收期约 17.9 年。碳减排成本为 10~20 元/tCO₂。

典型案例 2

案例名称：成都中心城区餐厨废弃物处理厂

建设规模：日处理餐厨废弃物 200 吨

建设条件：当地具备餐厨废弃物收运体系，临近垃圾焚烧厂的情况下可以利用垃圾焚烧余热作为替代能源。主要内容：餐厨废弃物资源化利用生产生物腐植酸的生产线建设。主要设备为有机垃圾生化处理机。项目总投资 7853 万元，建设期为 12 个月。年减排量约 25 万 tCO₂，产生经济效益 900 万元，投资回收期约 8.7 年。碳减排成本为 10~20 元/tCO₂。

九、推广前景和减排潜力

2010 年 5 月，国家发改委等四部委联合发布了《关于组织开展城市餐厨废弃物资源化利用和无害化处理试点工作的通知》，分四批共选

定了 83 个试点城市，设计日处理能力 13929 吨/日，其中该技术中标建设规模为 1760 吨/日。预计未来 5 年，在现有基础上，采用独立运营和合作运营相结合等商业模式，该技术推广比例可达 40%，实现日处理能力 5000 吨/日，项目总投资 20 亿元，可形成年碳减排能力 620 万 tCO₂。

三、 工艺过程等非二氧化碳减排类技术

21 煤层瓦斯增透解吸技术

一、技术名称：煤层瓦斯增透解吸技术

二、技术类别：减碳技术

三、所属领域及适用范围：煤炭行业，适用于难抽采煤层和煤与瓦斯突出煤层

四、该技术应用现状及产业化情况

2014 年全国煤矿瓦斯排放量大约在 500 亿 m^3 ，其中难抽采煤层和煤与瓦斯突出煤层中的瓦斯量约占三分之一。煤层瓦斯增透解吸技术可使煤层瓦斯含量由国家规定的 $8\text{m}^3/\text{吨煤}$ 降到 $4\text{m}^3/\text{吨煤}$ 以下，抽采出来的瓦斯浓度达 30%~90%，较长时间达到 60% 以上。该技术已在全国 40 个煤矿进行了试验和使用，具有广泛的适应性，技术操作简便，安全可靠，减排效果明显。

五、技术内容

1. 技术原理

液态 CO_2 受热成为气体后体积可达原来的 600 倍（标准状况下），在其膨胀过程中，可对周围物体产生巨大的压强，使之形成裂隙。由于煤层本身存在原生裂隙，高压 CO_2 气体将撑大裂隙，并改善煤层的透气性。由于 CO_2 气体的带压膨胀会对吸附在煤层中的瓦斯产生驱赶作用，加之相对瓦斯较强的亲煤特性，使煤中的吸附瓦斯游离在已经改善了的煤层裂隙之中，解决了难抽采煤层透气性差和煤层中瓦斯游

离度低的抽采的制约因素，实现瓦斯高浓度、高效抽出。

2. 关键技术

(1) 二氧化碳致裂器

用于充装液态 CO_2 ，实现对其加热、气化、增压，达到煤层增透解吸效果。

(2) 压力、流量控制技术

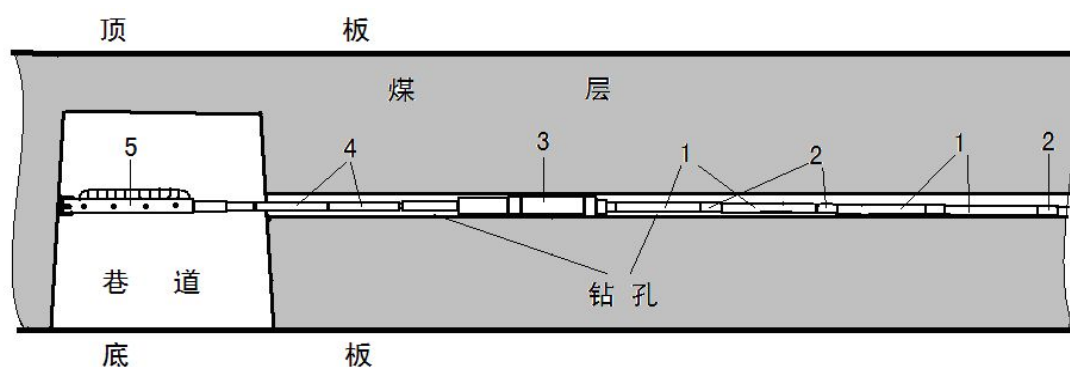
通过对压力和流量的设定，可在不同煤层中达到最佳的增透效果。

(3) 远程启封技术

利用专用封孔器，实现远程封孔和启封功能。当预裂沟通煤层中瓦斯突出源时，可远程封孔，采用缓释模式，限流解压孔内瓦斯压力，避免井下风流瓦斯超限发生事故，同时也避免作业现场孔前启封发生事故。

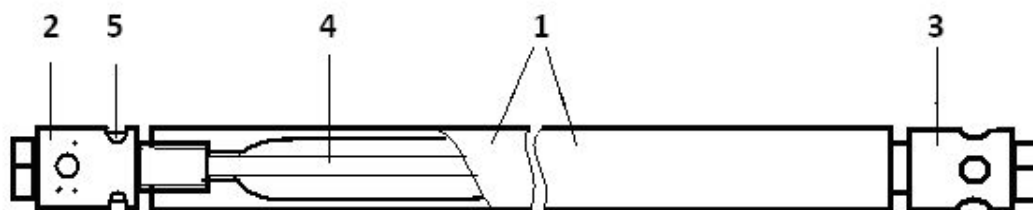
3. 工艺流程

煤层瓦斯增透解吸工艺流程图见图 1。二氧化碳致裂器结构图见图 2。



1.预裂器 2.连接件 3.封孔装置 4.封孔引出杆 5.推取固定器

图 1 煤层瓦斯增透解吸工艺流程图



1. 主管 2.充气阀 3.泄能阀 4.发热装置 5.电极引出体

图 2 二氧化碳致裂器结构简图

六、主要技术指标

1. 有效作用半径 20 ~ 30m，影响半径 100m 以内；
2. 1 ~ 3 个月时间内，孔口瓦斯抽出浓度维持在 30 ~ 90%；
3. 单孔瓦斯流量达到 0.1 ~ 1m³/min，较非预裂区瓦斯抽出效率提高 10 ~ 30 倍，难抽采煤层中可提高 40 余倍；
4. 可安全泄压距预裂钻孔 30 ~ 40m 以里的瓦斯突出源，实现突出源瓦斯经济利用；
5. 实现低瓦斯含量煤层（煤层瓦斯含量在 6m³ / t 煤左右）中的瓦斯抽采利用；
6. 可大幅提高煤层透气性和煤层内瓦斯游离性，提高抽采效率，减少抽采能耗。

七、技术鉴定情况

该技术于 2012 年通过山西省科技厅组织成果鉴定，并获得国家发明专利一项。

八、典型用户及投资效益

典型用户：山西潞安集团高河煤矿、晋城市兰花集团东峰煤矿、玉溪煤矿、保利平山煤矿、贵州省六枝玉舍煤矿等。

典型案例 1

案例名称：山西潞安集团高河煤矿 E1305 瓦排巷瓦斯抽采项目

建设规模：预裂 7 孔煤矿瓦斯回收。建设条件：高瓦斯低渗透煤层，原瓦斯抽采浓度不足 8%。主要建设内容：利用煤层瓦斯增透解吸工艺抽采高河 E1305 瓦排巷预裂 7 孔中的瓦斯。主要设备：二氧化碳致裂器、连接件、封孔装置、固定装置等。项目总投资 136 万元，建设期为 1 个月。项目年经济效益 300 万，投资回收期约 1 年。项目年减排量约 2 万 tCO₂。碳减排成本为 65 ~ 75 元/tCO₂。

典型案例 2

案例名称：晋城市兰花集团东峰煤矿低瓦斯含量煤层瓦斯抽采项目

建设规模：预裂 7 孔煤矿瓦斯回收。建设条件：瓦斯抽采浓度不足 1%。主要建设内容：利用煤层瓦斯增透解吸工艺抽采 80m 长的巷道内预裂三个孔的瓦斯。主要设备：二氧化碳致裂器、连接件、封孔装置、固定装置等。项目总投资 106 万元，建设期为 1 个月。项目年经济效益约 80 万元，投资回收期约 3 个月。项目年减排量约 1.5 万 tCO₂。碳减排成本为 65 ~ 75 元/tCO₂。

九、推广前景和减排潜力

据统计，2014 年我国共有煤矿约 11000 座，全年生产原煤 38.7 亿吨，以全国煤炭生产相对瓦斯涌出量平均 15m³/t 计算，我国 2014 年共释放煤层瓦斯约 580 亿 m³。其中约三分之一属于难抽采煤层和煤与

瓦斯突出煤层所产生的瓦斯， 预计到 2020 年， 该技术在全国煤矿企业中的应用比例可达 5%， 形成的年减排能力可达 2700 万 tCO₂。

22 六氟化硫（SF₆）气体循环再利用技术

一、技术名称：六氟化硫（SF₆）气体循环再利用技术

二、技术类别：减碳技术

三、所属领域及适用范围：电力领域

四、该技术应用现状及产业化情况

目前，我国国家电网相关公司已经明确要求建立省级SF₆气体回收净化处理中心并完善公司系统SF₆气体回收处理网络，全面实现回收SF₆气体统一管理。在2012-2013年期间，已完成江苏、福建、河南、辽宁、吉林、陕西、北京、天津、山西、山东、上海、浙江、湖南、江西、黑龙江、蒙东、青海、新疆和西藏公司的六氟化硫回收处理中心建设工作。目前该技术已在安徽、宁夏、湖北、华北、甘肃等省的电网系统进行了应用，并在国家电网公司20多个省（市）电力公司如江苏、浙江、山西等省推广应用，各处理中心运行状况良好，共回收处理SF₆气体近200吨。

五、技术内容

1. 技术原理

（1）SF₆回收回充工作原理

采用改进的对SF₆气体直接制冷的方式，通过冷媒与SF₆直接接触，提高热利用效率，通过制冷液化和加压灌瓶的方式提高SF₆气体回收灌装速度；采用对SF₆直接加热蒸发汽化的方式，提高SF₆的蒸发汽化速度，进而提高回收回充速度。

（2）SF₆净化处理工作原理

净化处理系统由倒转单元、缓冲处理单元、动力单元、深冷分离处理单元组成。钢瓶被倒转单元夹紧后，倒转，并达到设定高度，通过带手动球阀的压力软管连接到处理单元。钢瓶内的高压 SF₆ 经处理单元缓冲罐后减压到 0.6 MPa，流向处理单元吸附塔内，将旧气中的杂质及水分等杂质吸附后，通过动力单元压缩机打向尾气深冷分离单元。利用动力单元间歇抽出深冷单元中的尾气，并存储在动力单元储气罐内。当深冷单元的尾气分离过程达到设定值后，利用低温液泵将深冷容器内的低温液体抽至钢瓶内。

2. 关键技术

（1）回收回充技术

采用对 SF₆ 气体直接换热的技术，研制 SF₆ 回收回充设备，其功能为回收、回充和抽真空。辅助回收设备可将回收回充设备排出的高压 SF₆ 气体，降温后变成低温的气/液混合物，便于灌瓶。同时，也可将纯净的 SF₆ 气体快速回充入相应的 SF₆ 设备中，实现对电气设备的抽真空以及对设备本身的自洁；

（2）净化处理技术

采用预处理、变压吸附、深冷分离、尾气分离的净化处理技术设计 SF₆ 净化处理系统，主要包括：源气气化单元、缓冲处理单元、动力单元、尾气深冷分离处理单元等。

3. 工艺流程

（1）回收回充工艺

六氟化硫回收回充工艺流程如图 3 所示。

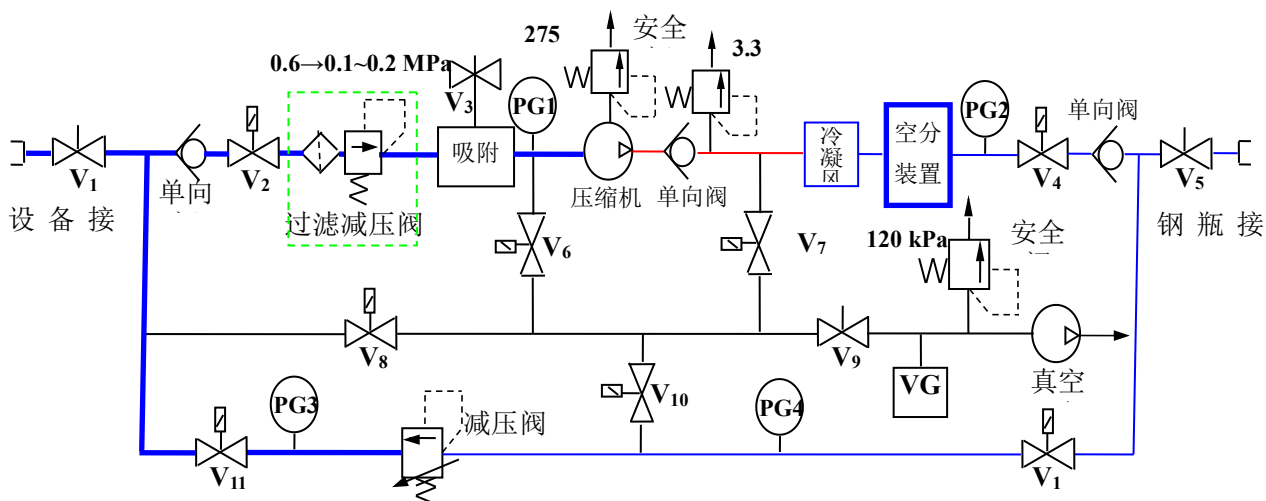


图 1 六氟化硫回收回充设备工艺流程图

阀 V1、阀 V3、阀 V5、阀 V9 均为三片式手动球阀，阀 V2、阀 V4、阀 V6、阀 V7、阀 V8、阀 V10、阀 V11、阀 V12 均为常闭型二位二通电磁阀。阀 V1、阀 V5 相当于紧急手动检修阀，常闭，当回收气体或回充气体时分别连接钢瓶(或储罐)和电气设备后，才开启；手动阀 V3，常闭，只在吸附罐吸附剂再生时开启；手动阀 V9，常闭，防止系统试压时，真空泵入口被管路中压力冲击而损坏真空泵，只有在抽真空时才开启。

(2) 处理系统

六氟化硫处理工艺流程图如图 2 所示。

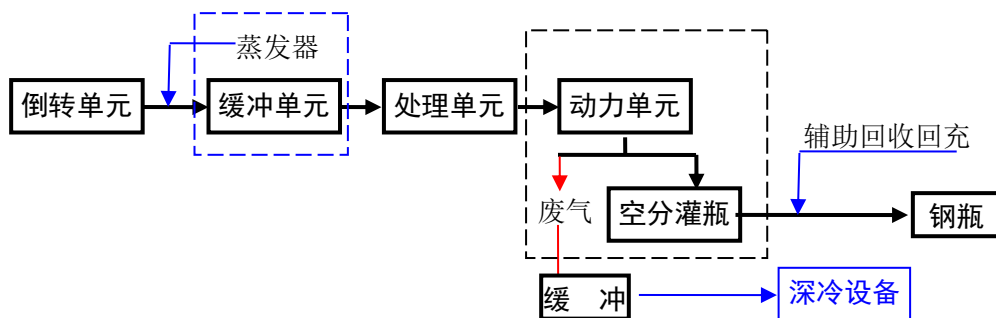


图 2 六氟化硫处理工艺流程图

六、主要技术指标

1. 回收回充速度：50 ~ 150kg/h;
2. 灌瓶速度：0.5 h/瓶左右;
3. 净化处理后SF₆气体GB 12022《工业六氟化硫》新气质量要求;
4. SF₆净化处理回收率≥95%;
5. SF₆净化处理能力≥50kg/h。

七、技术鉴定情况

该技术通过了安徽省科技成果鉴定，已获得国家发明专利 2 项，实用新型专利 10 项，外观设计专利 4 项；相关技术企业已制定行业标准 1 项，并已颁布实施。

八、典型用户及投资效益

典型用户：安徽电网、华北电网、湖北电网、宁夏电网等。

典型案例 1

案例名称：安徽电网六氟化硫气体回收处理中心

建设规模：60 吨/年 SF₆回收处理中心。建设条件：厂房面积不小于 300 平方米，避开人口较多的居民生活区、办公区、学校等场所，周边开阔、通风良好、水电齐备、交通便利。主要建设内容：SF₆净化处理设备、回收回充设备、辅助回收回充设备、质量分析仪器设备安装调试等。主要设备为 SF₆净化处理系统、SF₆回收回充装置、SF₆辅助回收回充装置以及试验仪器设备。项目总投资 300 万元，建设期为 6 个月。目前每年可回收 SF₆15t，年减排量约 35.8 万 tCO₂，产生经济效益 240 万元，投资回收期约 1 年。碳减排成本为 8-10 元/tCO₂。

典型案例 2

案例名称：华北电网六氟化硫气体回收处理中心

建设规模：60 吨/年 SF₆回收处理中心。建设条件：厂房面积不小于 300 平方米，避开人口较多的居民生活区、办公区、学校等场所，周边开阔、通风良好、水电齐备、交通便利。主要内容：SF₆净化处理设备、回收回充设备、辅助回收回充设备、质量分析仪器设备安装调试等。主要设备为 SF₆净化处理系统、SF₆回收回充装置、SF₆辅助回收回充装置以及试验仪器设备。项目总投资 350 万元，建设期为 6 个月。年减排量约 35.8 万 tCO₂，产生经济效益 280 万元，投资回收期约 1 年。碳减排成本为 9-12 元/tCO₂。

九、推广前景和减排潜力

随着新 SF₆电气设备不断投入运行和大量电气设备进入检修周期，对 SF₆回收处理新技术的需求不断增大，尤其是发供电企业，地市公司、县级公司、电厂等都需要配备 SF₆回收装置或 SF₆净化处理设备。预计未来 5 年，在电力行业的推广比例可达 10%，可形成年碳减排能力为 2390 万 tCO₂。

23 电力开关设备 SF₆ 气体替代技术

一、技术名称：电力开关设备 SF₆ 气体替代技术

二、技术类别：减碳技术

三、所属领域及适用范围：电力输配电行业

四、该技术应用现状及产业化情况

目前，我国电力开关设备中使用的SF₆气体约在6万吨左右。无SF₆或少SF₆气体绝缘开关设备，在我国40.5kV以下的充气配电开关设备领域已经推广使用近10年，年产量大致在1000台左右，产生了极大的环保社会效益。72.5kV无SF₆或少SF₆气体绝缘输电开关设备，由于技术难度较大，能够生产的企业相对较少，目前市场推广量维持在百余台左右。随着人们对环保日益重视与需求增加，在72.5kV及以下的输配电开关设备中，无SF₆/少SF₆气体绝缘开关设备将得到广泛应用。

五、技术内容

1. 技术原理

根据不同气体压力及不同电场结构下清洁干燥空气及氮气绝缘介质的特性以代替SF₆气体的使用，并对开关设备的电场进行优化设计。将所有高压元件都安装在密封的容器内，从而不受大气环境的影响。断路器的设计采用了真空纵磁场灭弧技术以及模块化弹簧操动机构技术，具有极高的可靠性和开断能力；三工位开关用于实现母线的连接、隔离及接地，在检修、维护时提供对人员及设备的保护，在设计时采用了直动式结构，体积小、动作可靠、指示精准。利用以上技术研制

的产品可大大减少温室气体的排放；同时，设备结构紧凑，可大幅节约城市用地，具有环保、小型化、免维护、安装操作简单等特点。

2. 关键技术

（1）清洁干燥空气或氮气绝缘技术

干燥空气或氮气绝缘技术，相比于传统SF₆气体绝缘，减少SF₆气体的使用和排放。通过掌握绝缘优化设计逐步替代72.5kV以下开关设备中SF₆气体的使用；

（2）满足清洁干燥空气或氮气绝缘的真空断路器技术

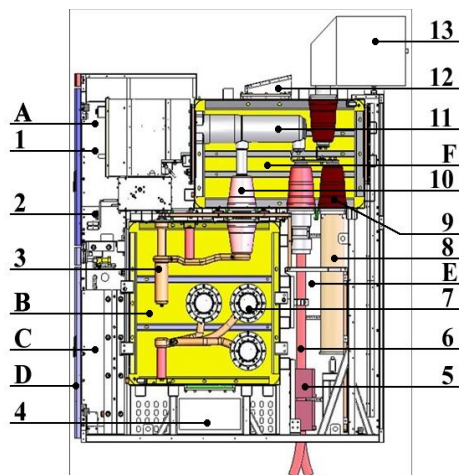
真空灭弧技术是利用真空绝缘介质，靠密封在真空中的一对触头来实现电力电路通断功能的技术。真空灭弧技术可以替代传统SF₆灭弧技术，大大减少SF₆气体的使用和排放；

（3）在清洁干燥空气或氮气下使用的真空断路器固封极柱技术

通过优化设计，完成真空断路器在清洁干燥空气或氮气下使用的环氧树脂固封极柱技术，缩小设备的结构尺寸，节约用地。

3. 工艺流程

（1）72.5kV少SF₆气体绝缘金属封闭开关设备（C-GIS）结构简图见图1。

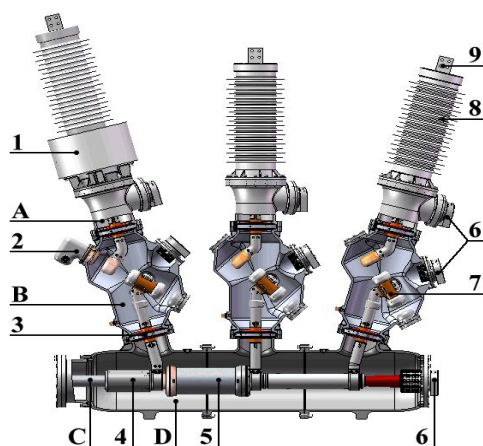


A、操作机构室，B、三工位开关箱，C、仪表室，D、柜体，E、电缆室，F、真空断路器气箱。1、断路器操作机构，2、三工位开关操作机构，3、三工位开关，4、泄压通道1，5、电流互感器，6、出线电缆，7、母线，8、避雷器，9、4#内锥插座，10、母线连接器，11、真空断路器，12、泄压通道2，13、电压互感器。

图1. 72.5kV少SF₆气体绝缘金属封闭开关设备（C-GIS）结构简图

（2）72.5kV无SF₆气体绝缘金属封闭开关设备（H-GIS）结构简图

见图2。

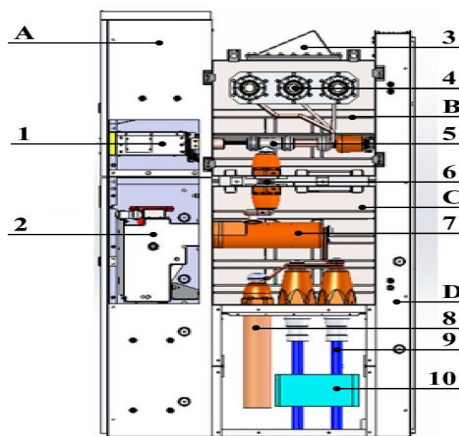


A、充气套管室，B、三工位开关气室，C、小气室（真空灭弧室气室），D、断路器罐体气室。1、电流互感器，2、快速接地开关，3、碟式套管，4、操作绝缘子外罩，5、真空灭弧室单元，6、防爆泄压装置，7、三工位开关，8、复合充气套管，9、接线端子。

图2. 72.5kV无SF₆气体绝缘金属封闭开关设备（H-GIS）结构简图

（3）40.5kV无SF₆气体绝缘金属封闭开关设备（C-GIS）结构简图

见图3。

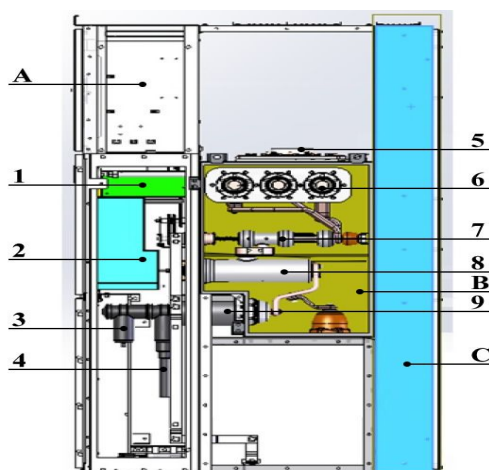


A、低压室，B、三工位开关气箱，C、断路器气箱，D、外壳。1、三工位操作机构，2、真空断路器机构，3、压力释放装置，4、主母线，5、三工位开关，6、母线连接器，7、真空断路器，8、避雷器，9、电缆，10、电流互感器。

图3. 40.5kV无SF₆气体绝缘金属封闭开关设备（C-GIS）结构简图

（4）12kV无SF₆气体绝缘金属封闭开关设备（C-GIS）结构简图见

图4。



A、低压室，B、气箱，C、外壳。1、三工位开关操作机构，2、真空断路器操作机构，3、避雷器，4、电缆，5、压力释放装置，6、主母线，7、三工位开关、8、真空断路器，9、电流互感器。

图4. 12kV无SF₆气体绝缘金属封闭开关设备（C-GIS）结构简图

六、主要技术指标

1. 72.5kV少SF₆ C-GIS，额定电压：72.5kV；额定电流：1250-2500A；额定短路开断电流：25-31.5kA。使用少量SF₆气体，额定气体压力0.02MPa。

2. 72.5kV无SF₆ H-GIS，额定电压：72.5kV，额定电流：2500A；额定短路开断电流：31.5kA。使用清洁干燥空气，额定气体压力

0.7MPa。

3. 40.5kV无SF₆ C-GIS，电压等级：40.5kV，额定电流：1250-2500A，额定短路开断电流：31.5kA，使用清洁干燥空气或者氮气，额定气体压力0.13MPa。

4. 12kV无SF₆ C-GIS，额定电压：12kV，额定电流：630-3150A，额定短路开断电流31.5-40kA，使用清洁干燥空气或氮气，额定气体压力0.02-0.05MPa。

七、技术鉴定情况

1. 72.5kV 少 SF₆ 气体绝缘金属封闭开关设备(C-GIS)分别于 2009 年 3 月及 2013 年 5 月在机械工业高压电器产品质量检测中心通过全部型式试验。

2. 72.5kV 无 SF₆ 气体绝缘金属封闭开关设备(H-GIS)于 2014 年 4 月在机械工业高压电器产品质量检测中心通过全部型式试验。

3. 40.5kV 无 SF₆ 气体绝缘金属封闭开关设备(C-GIS)分别于 2010 年 8 月及 2013 年 7 月在机械工业高压电器产品质量检测中心通过全部型式试验。

4. 12kV 无 SF₆ 气体绝缘金属封闭开关设备(C-GIS)分别于 2014 年 3 月及 2014 年 7 月在机械工业高压电器产品质量检测中心通过全部型式试验。

上述系列产品均已通过省级新品技术鉴定，满足 GB/T11022，GB1985，GB1984，GB3906，GB7674，DL/T593 等相关产品标准，并获得 9 项国家发明专利，34 项实用新型专利。

八、典型用户及投资效益

典型用户：发电、输配电、石油石化、大型工矿企业等。

典型案例 1

案例名称：大兴安岭金欣矿业有限公司 66kV 变电所项目

建设规模：8 台户内 72.5kV 充气开关设备。建设条件：新建 72.5kV 变电所工程。主要建设内容：72.5kV 环保气体绝缘金属封闭开关设备 8 台的应用。主要设备：8 台 72.5/1600-25 型环保气体绝缘金属封闭开关设备(C-GIS)。项目总投资 400 万元，建设期为 3 个月。项目年减排量约 348tCO₂，产品寿命周期 30 年。碳减排成本为 3000 ~ 6000 元/tCO₂。

典型案例 2

案例名称：黄河水电龙羊峡水光互补光伏电站项目

建设规模：34 台 40.5kV 充气开关设备。建设条件：新建 40.5kV 变电所工程。主要建设内容：40.5kV 环保气体绝缘金属封闭开关设备 34 台的应用。主要设备：34 台 40.5/1250-31.5 型环保气体绝缘金属封闭开关设备(C-GIS)。项目总投资 530 万元，建设期为 5 个月。项目年减排量约 169tCO₂，产品寿命周期 30 年。碳减排成本为 3000 ~ 6000 元/tCO₂。

九、推广前景和减排潜力

预计未来 5 年，12kV 至 72.5kV 系列产品推广比例可达 30%及以上，按照 30 年使用寿命计算，未来可形成的年碳减排能力约 150 万 tCO₂。

24 利用 CO₂ 替代 HFCs 发泡生产挤塑板技术

一、技术名称：利用 CO₂ 替代 HFCs 发泡生产挤塑板技术

二、技术类别：减碳技术

三、所属领域及适用范围：建材行业 挤塑板生产

四、该技术应用现状及产业化情况

挤塑板通常采用氟利昂（HFCs）系列化合物作为发泡剂，将聚苯乙烯经高温混炼制成的发泡材料，具有强度高、保温性能好、吸水率低等优点，就主要的建筑保温材料，广泛用于冷库、机场跑道、高铁路基、高寒公路、水利工程等领域。目前，我国挤塑板生产线已超过 1000 条，95%以上使用氟利昂进行发泡。由于氟利昂类物质的温室效应潜值是 CO₂ 的数百倍到上万倍，会对环境造成较大影响。该技术采用二氧化碳替代 HFCs 作为发泡剂，可实现无氟生产，达到淘汰氟利昂的目的。目前已使用该技术成功建设和改造 3 条氟利昂发泡生产挤塑板的生产线，另有一项年产 100 套二氧化碳发泡挤塑板设备生产线项目已开工建设。

五、技术内容

1. 技术原理

该技术采用二氧化碳发泡挤塑板专用设备，通过恒压泵将二氧化碳稳定在超临界状态。在第一静态混合器中将二氧化碳与促进剂充分混合，用高压计量泵配合质量流量计将二氧化碳稳定注入第一阶螺杆，通过第二静态混合器、第三静态混合器与聚苯乙烯塑料（PS）实现分

级充分混合，达到二氧化碳稳定注入和顺利发泡的目的。由于使用二氧化碳替代氟利昂作为发泡剂，避免高潜值温室气体的排放，从而实现碳减排。

2. 关键技术

（1）二氧化碳改性技术

使用酒精、烷基磷酸酯、蒸馏水充分混合后生成的促进剂与二氧化碳协同发泡，显著提高二氧化碳与 PS 塑料的相容性和发泡倍率。

（2）高压混合技术

在 20MPa 高压作用下，二氧化碳与促进剂在高压混合器中，经分流→合流→旋转→再分流→再合流，反复作用，使二氧化碳和促进剂（气、液）充分混合。

（3）超临界控制技术

由二氧化碳恒压恒温装置、二氧化碳稳压注入装置组成二氧化碳恒压系统，使二氧化碳在注入过程中长期稳定地保持在超临界状态下，其溶解力是液体和气态的 100 倍。

（4）熔体静态混合技术

为了防止混炼料在输送和挤出过程中发生二氧化碳逃逸现象，研制出两级静态混合器安装在螺杆上，使物料始终保持充分的混合状态。

3. 工艺流程

二氧化碳发泡挤塑板专用设备，包括二氧化碳前端恒压泵、二氧化碳供应装置、促进剂供应装置、物料输送装置、第一静态混合器、第一阶熔炼螺杆、第二静态混合器、第二阶挤出螺杆、第三静态混合器和成型模头。其生产工艺流程图见图1。

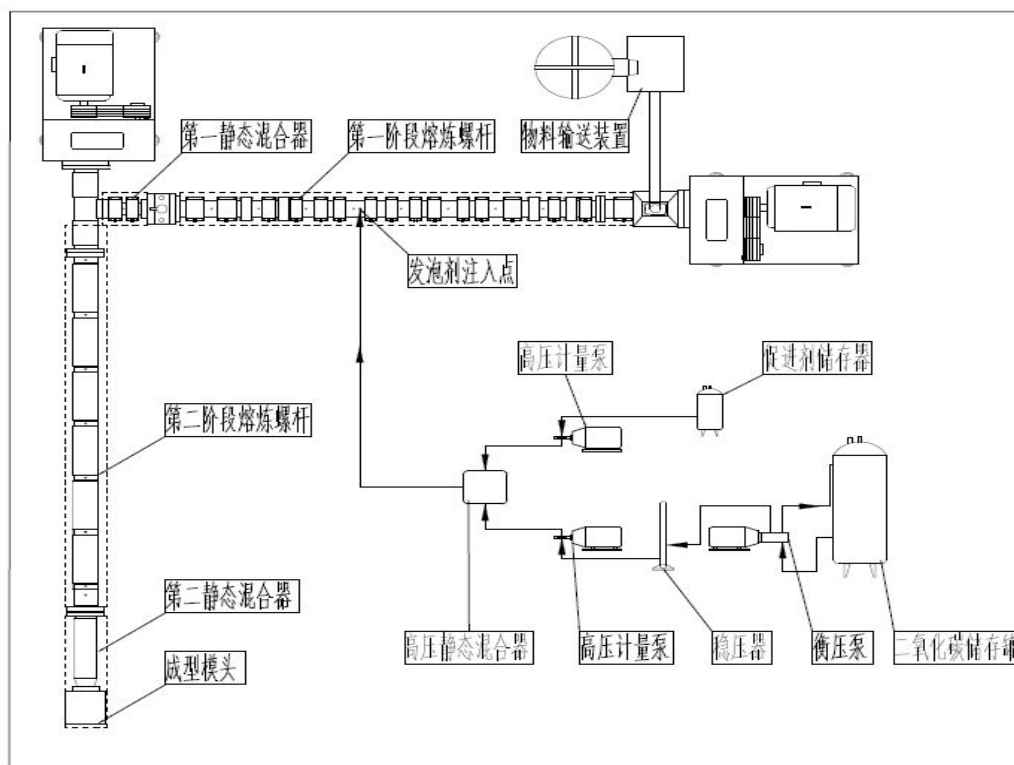


图1 利用CO₂替代HFCs发泡生产挤塑板技术工艺流程图

六、主要技术指标

1. 压缩强度： $\geq 200\text{kPa}$;
2. 抗拉强度： $\geq 0.15\text{kPa}$;
3. 尺寸稳定性： ≤ 0.16 ;
4. 导热系数： ≤ 0.030 ;
5. 燃烧性能： B1级。

七、技术鉴定情况

该技术于 2013 年获得宁夏回族自治区科技厅组织的科技成果鉴定，并获得国家实用新型专利 4 项。

八、典型用户及投资效益

典型用户：石家庄工美新型建材厂、烟台德赛机械制造有限公司、宁夏鼎盛阳光保温材料有限公司等。

典型案例 1

案例名称：石家庄工美新型建材厂挤塑板设备改造项目

建设规模：改造年产 10 万 m^3 二氧化碳发泡挤塑板生产线。建设条件：对原有 HFCs 发泡挤塑板生产线进行改造。主要建设内容：新增二氧化碳注入系统一套；改造二级螺杆一条；加装静态混合器两台；更换二氧化碳专用模具一台。主要设备为：75 平双/200 型挤出机 1 套、二氧化碳注入系统 1 套、静态混合器 2 台、专用模具 1 台、挤塑板设备相关辅机及回收造粒设备。项目总投资 80 万元，建设期为 3 个月。项目年减排量约 90 万 tCO_2 ，产生经济效益 600 万元，投资回收期约 2 个月。碳减排成本-10 ~ 0 元/ tCO_2 。

典型案例 2

案例名称：烟台德赛机械制造有限公司新增挤塑板生产线项目

建设规模：新建年产 5 万 m^3 二氧化碳挤塑板项目。建设条件：替代原有氟利昂发泡挤塑板生产线。主要建设内容：建设厂房 1200 m^2 ，配电 250kW，安装二氧化碳发泡挤塑板专用设备一套。主要设备：130/150 型挤出机 1 套、二氧化碳注入系统 1 套、整平机 1 台、牵引机 2 台、纵切机 1 套、横切机 1 台、回收造粒机 1 台、自动上料机 2 台。项目总投资 160 万元，建设期为 6 个月。项目年减排量约 45 万 tCO_2 ，产生经济效益 300 万元，投资回收期约 7 个月。碳减排成本为-10 ~ 0 元/ tCO_2 。

九、推广前景和减排潜力

随着我国淘汰氟利昂进程的加快，使用 CO_2 发泡生产挤塑板技术具有广阔的发展前景。预计未来 5 年，该技术在挤塑板生产行业推广

比例可达 5%，项目总投资约 1.5 亿元，可形成的年碳减排能力为 3000 万吨 CO₂。

25 低充灌量 R290 空调压缩机技术

一、技术名称：低充灌量 R290 空调压缩机技术

二、技术类别：减碳技术

三、所属领域及适用范围：制冷行业，适用于房间空调器、热泵热水器、干衣机等领域

四、该技术应用现状及产业化情况

根据中国房间空调器行业HPMP实施要求，以R22冻结使用量74700吨/年为基准，到2020年要淘汰35%的R22使用量。作为替代品的R290属于环保型制冷剂，ODP值为零，对臭氧层没有破坏作用。但由于国内的空调生产厂商对于可燃性冷媒的使用安全性仍缺乏足够的技术积累，R290空调还没有大规模量产，目前该压缩机产品主要出口到其他国家。

五、技术内容

1. 技术原理

在满足压缩机的性能及可靠性要求的前提下，降低压缩机中R290制冷剂的含量，使其匹配R290房间空调器时，能使整机更好地满足安全标准中对制冷剂充灌量的严格要求

2. 关键技术

(1) 降低封油量，减少压缩机内制冷剂含量，使得空调器更好满足安全标准中对制冷剂封入量的严格限制；同时采用“低油量供油”技术，在轴承法兰盘上设置集油槽、在汽缸滑片槽下部设置档油板、针

对冷冻机油和 R290 混合物特性而优化上油泵尺寸、设置旋转抽空机构，降低曲轴中心孔的压力等，以确保在低封油量的情况下，仍能保证对压缩泵体的润滑可靠性；

（2）开发出“低溶解度”新型 R290 专用“部分相溶”冷冻机油,以降低压缩机内制冷剂含量。

3. 工艺流程

低充灌量R290空调压缩机结构简图见图1。

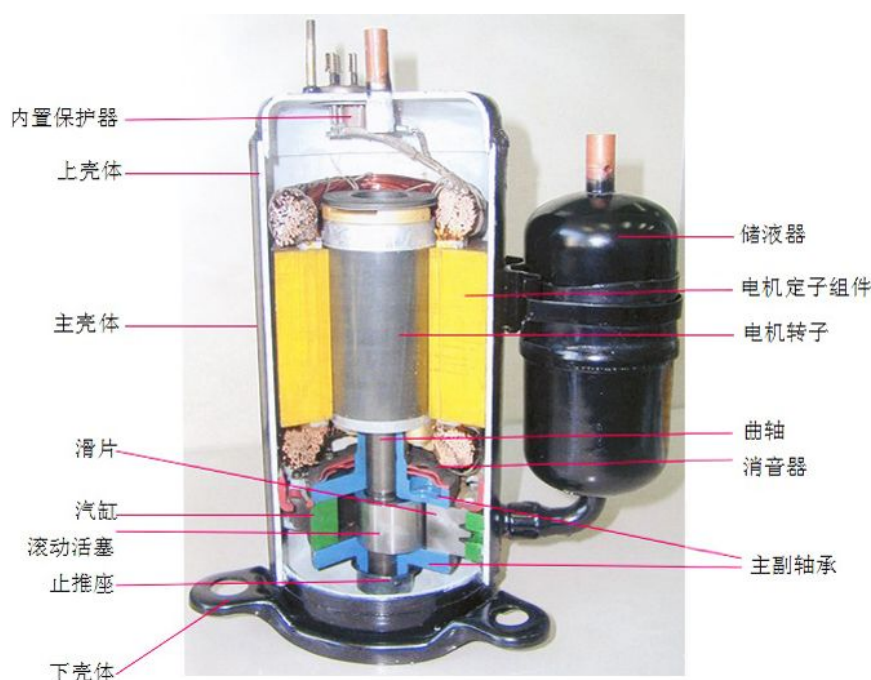


图 1 低充灌量 R290 空调压缩机结构简图

六、主要技术指标

1. 代表机型COP $\geq$ 3.30;
2. 压缩机的可靠性符合国家有关标准要求,空调器整机的充灌量符合GB4706.32对可燃性制冷剂系统的充灌量要求。

七、技术鉴定情况

该技术于 2014 年通过了由中国轻工业联合会组织的科学技术成果

鉴定，已获得国家发明专利 8 项，实用新型专利 21 项。

八、典型用户及投资效益

典型用户：空调生产商、热泵系统生产商。

典型案例 1

案例名称：GODREJ & BOYCE 公司 R290 空调器生产

建设规模：10000 台 R290 空调器。建设条件：R290 压缩机替代 R22 压缩机。主要建设内容：R290 空调器生产。主要设备为：R290 空调器生产线。项目总投资：410 万元。年减排量约 8.1 万 tCO₂，产生经济效益 600 万元，投资回收期约 1 年。碳减排成本为 0 元/tCO₂。

典型案例 2

案例名称：TCL 德龙公司 R290 移动空调生产

建设规模：50000 台 R290 除湿机。建设条件：R290 压缩机替代 R22 压缩机。主要建设内容：R290 移动空调生产。项目总投资：82 万元。年减排量约 2.7tCO₂，产生经济效益 80 万元，投资回收期约 1 年。碳减排成本为 0 元/tCO₂。

九、推广前景和减排潜力

R22 是目前空调器最常用的制冷剂，但已被“蒙特利尔议定”书列为限期逐步淘汰的制冷剂。2015 年削减基线水平的 10%，2020 年削减 35%，中国制冷行业将逐步加速对 R22 的淘汰进程。预计未来 5 年，该技术的预期推广比例可达 35%，可形成年碳减排能力 2200 万 tCO₂。

四、碳捕集、利用与封存类技术

26 低碳低盐无氨氮分离提纯稀土化合物新技术

一、技术名称：低碳低盐无氨氮分离提纯稀土化合物新技术

二、技术类别：储碳技术

三、所属领域及适用范围：有色金属行业 稀土湿法冶炼分离与稀土氧化物生产

四、该技术应用现状及产业化情况

我国是世界稀土生产大国，稀土冶炼分离年产量为 12~15 万吨稀土氧化物（REO）。在稀土生产过程中，存在化工材料消耗高、资源综合利用率低、三废污染严重等问题。同时，在稀土氧化物制备过程中，通常采用碳铵或草酸进行沉淀、煅烧等工序，每制备 1 吨 REO 将直接产生 3 吨以上 CO₂，造成大量 CO₂ 排放。预计到 2020 年，全国稀土分离量将达到每年 20 万吨 REO，年 CO₂ 排放量将达 60 多万吨。低碳低盐无氨氮分离提纯稀土化合物新技术，采用碳酸氢镁溶液皂化萃取分离稀土，与传统的氢氧化钠皂化萃取分离法相比，产生的 CO₂ 气体可以循环用于镁盐碳化。目前，该技术已在江苏省进行应用，改建完成 1 条年产 3000 吨高品质、低成本稀土氧化物清洁萃取分离生产线，实现连续规模化生产。同时，在广西崇左已建设完成 5500 吨规模稀土冶炼分离厂的一期工程 3000 吨 REO/年生产线。

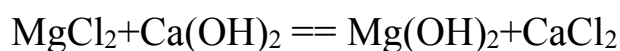
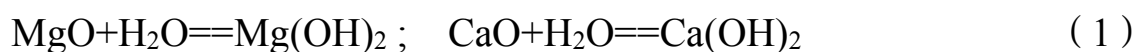
五、技术内容

1. 技术原理

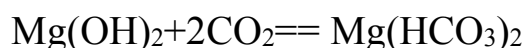
该技术采用碳酸氢镁溶液皂化萃取分离稀土技术，用碳酸氢镁溶液代替液氨或高成本的液碱用于稀土萃取分离，可解决稀土萃取分离过程中氨氮或高钠盐废水排放问题；采用新型稀土沉淀结晶技术，用低成本的碱土金属沉淀剂碳酸氢镁溶液替代原碳铵沉淀工艺，可解决稀土沉淀过程中的氨氮排放问题；采用稀土分离提纯过程中化工材料及 CO₂ 低成本循环利用，将高盐度废水和 CO₂ 气体有效回收利用制备碳酸氢镁溶液，可降低原料消耗和生产成本，减少温室气体和三废排放。

(1) 稀土萃取分离过程

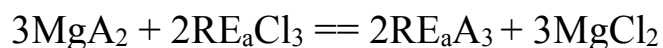
以碳酸氢镁溶液替代氨水或液碱作为新型有机相皂化剂，应用于稀土萃取分离提纯过程，化学反应式如下所示：



(2)



(3)

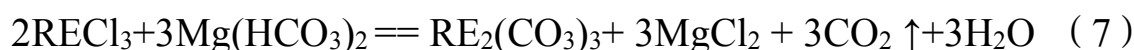


(5)



其中，RE_a 代表难萃稀土元素，RE_b 代表易萃稀土元素。

(2) 稀土沉淀和焙烧过程





2. 关键技术

(1) CO₂ 低成本循环利用技术

将 CO₂ 利用和稀土萃取、沉淀、焙烧工艺相结合, 通过净化除尘、除油、脱水、压缩等综合手段, 处理稀土萃取、稀土沉淀、焙烧、锅炉燃烧等各个环节中产生的不同浓度的 CO₂ 气体, 并通过梯度碳化, 实现 CO₂ 高效循环利用。

(2) 碳酸氢镁溶液皂化萃取分离稀土技术

将碳酸氢镁溶液用于稀土萃取分离, 即以自然界广泛存在的钙镁矿物为原料, 稀土提取过程回收的 CO₂ 为介质, 通过碳化反应制备碳酸氢镁溶液, 代替液氨或液碱用于稀土分离过程, 实现稀土萃取分离过程无氨氮排放, 可解决早期开发的钙皂化及非皂化工艺中存在的三相物、杂质含量高、反应慢等问题, 进一步降低生产成本。

(3) 酸、盐等化工材料循环利用技术

利用 Mg、Ca 碱性差异, 采用轻烧白云石或石灰石消化得到氢氧化钙, 将稀土萃取分离和沉淀过程产生的氯化镁废水转化为氢氧化镁, 用于碳化制备碳酸氢镁溶液, 实现镁盐的循环再利用; 采用氯化钙废水回收制备盐酸和石膏技术, 无需对含盐废水进行高能耗的蒸发浓缩或高成本的膜分离, 可实现低盐排放, 使运行成本大幅度降低。

(4) 新型稀土沉淀结晶技术

将纯化的碳酸氢镁溶液用于稀土沉淀结晶, 用碱土金属沉淀剂和稀土沉淀结晶工艺代替碳铵沉淀工艺, 并通过物理性能溶解积差异控制技术对非稀土杂质的沉淀结晶行为进行控制, 彻底革除氨氮废水污

染，消除 Fe、Al、Si 等杂质干扰，获得不同类别的高品质、低成本稀土氧化物。

3. 工艺流程

该技术工艺流程图见图1。

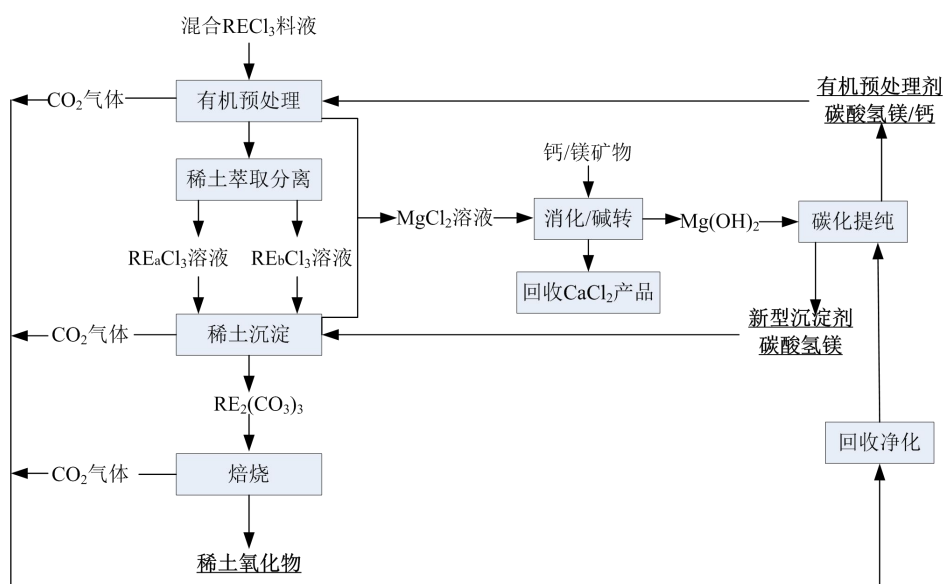


图 1 低碳低盐无氨氮分离提纯稀土化合物新技术工艺流程图

该技术示范线的流程图见图2。

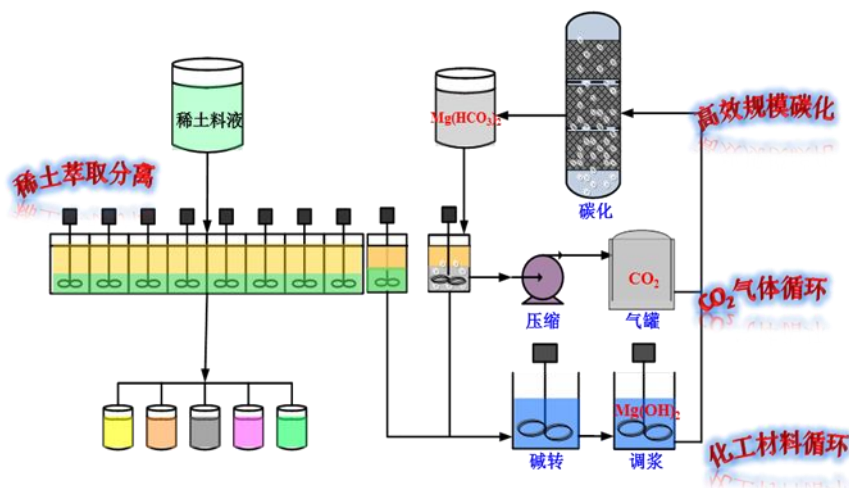


图 2 低碳低盐无氨氮分离提纯稀土化合物新技术示范线流程图

六、主要技术指标

1. 稀土化合物产品相对纯度达到3N ~ 5N;
2. 萃取分离过程稀土回收率: $\geq 99.5\%$;

3. 稀土分离提取过程，镁和CO₂气体回收利用率： $\geq 90\%$;
4. 稀土分离提取过程，水资源循环利用率： $\geq 85\%$;
5. 材料成本降低35%以上，实现从源头消除氨氮废水污染，三废排放达到《稀土工业污染物排放标准》。

七、技术鉴定情况

该技术已获得授权国家发明专利 7 项，美国、澳大利亚和马来西亚发明专利 5 项。

八、典型用户及投资效益

典型用户：江苏省国盛稀土有限公司、中铝广西有色稀土开发有限公司、甘肃稀土集团有限责任公司等。

典型案例 1

案例名称：江苏国盛 3000 吨稀土氧化物高效清洁生产线

建设规模：改建 3000 吨 REO/年稀土氧化物生产线。建设条件：项目占地 1000m²，与工厂现有工序相配套。主要内容：新建钙镁矿物预处理、碳化、皂化萃取、化工材料循环回收等工序；改造沉淀、焙烧、锅炉等区域，以回收 CO₂ 温室气体。主要设备为笼式消化机、碱转槽、厢式压滤机、调浆槽、自控连续碳化塔、新型皂化萃取槽、二氧化碳净化回收系统、高效除油器等。该项目采用新技术改造新增投资 800 万元左右，建设期为 6 个月。年减排量约 9900tCO₂，由生产成本降低产生的年经济效益 600 万元，投资回收期约 1.3 年。碳减排成本为 80 ~ 100 元/tCO₂。

典型案例 2

案例名称：中铝广西 5500 吨稀土氧化物高效清洁生产线

建设规模：新建 5500 吨 REO/年稀土氧化物生产线（一期工程：3000 吨 REO/年）。建设条件：具备稀土萃取沉淀等工序的稀土氧化物生产线。采用新技术新增建设内容：钙镁矿物消化、碳化、皂化萃取、盐及废水循环回收利用、CO₂ 温室气体回收利用等工序。主要设备为笼式消化机、碱转槽、厢式压滤机、调浆槽、自控连续碳化塔、新型皂化萃取槽、二氧化碳净化回收系统、高效除油器等。一期工程（3000 吨/年）总投资为 2.6 亿元，其中采用新技术新增投资 1000 万元，建设期 12 个月。年减排量约 9900tCO₂，由生产成本降低产生的经济效益 600 万元，碳减排成本为 80 ~ 100 元/tCO₂。

九、推广前景和减排潜力

随着国家相关部门严格执行稀土行业环保标准，大力推广先进清洁生产工艺，低碳低盐无氨氮分离提纯稀土化合物新技术将具有广阔的发展前景。预计未来 5 年，该技术在行业内的推广比例可达 40%，使用新技术的企业约 25 ~ 30 家，生产的 REO 将达 8 万吨左右，项目总投资约为 2 亿元，可形成的年减排量约为 25 万 tCO₂。

27 半碳法制糖工艺技术

一、技术名称：半碳法制糖工艺技术

二、技术类别：减碳技术

三、所属领域及适用范围：制糖行业

四、该技术应用现状及产业化情况

我国制糖行业的年甘蔗用量为1亿吨左右，亚硫酸法制糖在我国南方地区应用广泛。目前，半碳法制糖工艺在国际上仅用于难度较低的精制糖加工，在一步法生产耕地白糖工艺上的应用尚处于起步阶段。国内主要在广西省进行了示范应用，总产能已达25万吨以上。

五、技术内容

1. 技术原理

利用锅炉排放烟道气中的二氧化碳或酒精生产过程排出的二氧化碳，经净化处理后替代传统亚硫酸法制糖工艺的部分二氧化硫，应用于蔗汁或糖浆的澄清过程，改造传统的亚硫酸法制糖工艺，从而实现提高产品质量和产糖率，减少硫磺用量和二氧化碳排放。

2. 关键技术

（1）锅炉风系统节能优化技术

实现锅炉自动控制，减少配风量，降低过剩空气系数，提高烟道气二氧化碳含量；

（2）低浓度二氧化碳强制饱充设备

强化气液混合效果，提高二氧化碳饱充效率。

3. 工艺流程

半碳法制糖工艺流程图见图1。

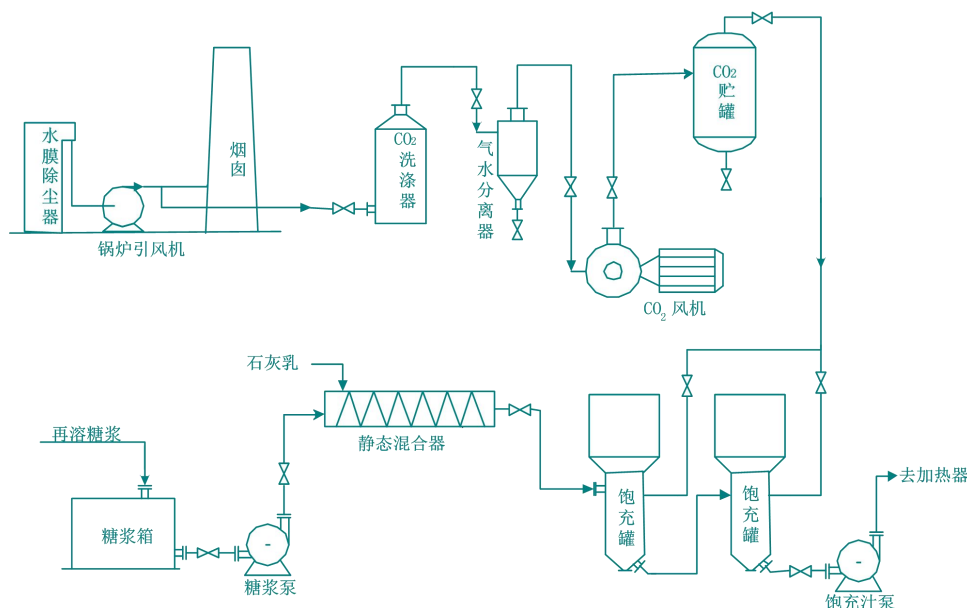


图 1 半碳法制糖工艺流程图

六、主要技术指标

1. 硫磺用量减少30%以上;
2. 每百吨甘蔗减排0.5吨二氧化碳;
3. 糖品含硫量: $\leq 10\text{mg/kg}$;
4. 产糖率提高0.12%。

七、技术鉴定情况

该技术于 2012 年通过广东省科技厅组织的技术成果鉴定, 并获得 3 项国家发明专利。

八、典型用户及投资效益

典型用户: 广西大新县雷平永鑫糖业有限公司、广西来宾永鑫小平阳糖业有限公司等。

典型案例 1

案例名称: 广西大新县雷平永鑫糖业有限公司锅炉烟道气综合利

用示范工程

建设规模：150 万吨甘蔗/年。建设条件：采用亚硫酸法工艺的甘蔗糖厂。主要建设内容：锅炉 DCS 自动控制改造，新建烟道气洗涤、饱充装置。主要设备为烟道气洗涤器、烟道气饱充罐、锅炉自动控制系统等。项目总投资 1800 万元，建设期为 1 年。每年多产糖 1800 吨，少用硫磺 360 吨，减少二氧化碳排放 7500 吨，平均年经济效益为 900 万元，投资回收期约 2 年。碳减排成本为 250 ~ 350 元/t CO₂。

典型案例 2

案例名称：广西来宾永鑫小平阳糖业有限公司

建设规模：100 万吨甘蔗/年。建设条件：采用亚硫酸法工艺的甘蔗糖厂。主要建设内容：锅炉 DCS 自动控制改造，新建烟道气洗涤、饱充装置。主要设备为烟道气洗涤器、烟道气饱充罐、锅炉自动控制系统等。项目总投资 1300 万元，建设期为 1 年。每年多产糖 1100 吨，少用硫磺 220 吨，减少二氧化碳排放 5000 吨，平均年经济效益 650 万元，投资回收期约 2 年。碳减排成本为 250 ~ 350 元/tCO₂。

九、推广前景和减排潜力

烟道气综合利用是未来我国糖业清洁生产的主要发展方向。随着我国食品安全监管的逐步规范及糖业清洁生产技术水平的不断提高，半碳法制糖工艺技术由于兼具减排、提高产品质量、增加糖分回收等多重效果，在亚硫酸法甘蔗糖厂工艺改造具有广阔的发展前景。预计未来五年，该技术推广比例将占整个亚硫酸法甘蔗糖厂的 40%，可形成年碳减排能力约 24 万 tCO₂。

五、 碳汇类技术

28 公益性人工林小林窗疏伐经营技术

一、技术名称：公益性人工林小林窗疏伐经营技术

二、技术类别：储碳技术

三、所属领域及适用范围：土地利用变化/林业中的人工林经营管理

四、该技术应用现状及产业化情况

我国是世界上人工林面积最大的国家，现有人工林总面积约 $6.93 \times 10^7 \text{ha}$ ，蓄积量 $2.48 \times 10^9 \text{m}^3$ 。但当前大多数人工林存在组成树种单一、林分密度大、森林层次结构简单、林分郁闭度过大、发展到中龄林阶段后表现出林木长势普遍衰弱、林下植被盖度小、生物多样性贫乏、林地生产力及固碳能力低等问题，已成为典型的低效林。因此，探索科学有效的经营和改造低效人工林的理论和方法，是当前我国森林持续经营管理与林业发展不可避免的任务。

小林窗疏伐技术是针对复杂的地形条件，在不剧烈干扰人工林生态系统的前提下提出的林业经营技术，具有操作简便、易掌握，在生态功能上能优化林地结构，迅速恢复林下地面植被，促进物质循环和乔木层生长的快速释放等优点，能有效实现森林功能的快速恢复与生物多样性保育，明显提升人工林的储碳效果。目前，该技术已经完成前期试验性的探索，处于技术推广初期。

五、技术内容

1. 技术原理

人工林小林窗疏伐经营技术是基于林木群体稀疏理论与森林林窗镶嵌演替理论，模拟林窗形成，采取有限的人为疏伐措施，消减冠层乔木间的竞争自耗（碳排放），去激活乔木活力，进而提高乔木净生产力。同时，该技术可改善林下环境质量，促进林下植被自然恢复与森林更新，推动林下与土壤多样性组成及其食物网关系的自然恢复，通过多层（乔、灌、草）立体的环境资源（光、温、水）的高效利用，实现森林光合碳利用效率最大化，在碳减排的基础上进一步促进森林生态系统的碳积存。

2. 关键技术

（1）总体疏伐强度控制技术

单位面积内的林木疏伐强度总体控制在 25%~30%，避免疏伐强度过大、过小引起的负面效果；

（2）林窗大小组合与布局应用技术

不同大小的林窗组合与布局也是此项技术的关键。平均树高 10~12m 的林分适宜的林窗大小范围为 80~120m² 林窗大小；根据总体疏伐强度控制量与林分状况确定合理的林窗数量，根据林分结构空间差异合理组合安排林窗布局，通过复式镶嵌的方式组合与布局较为合理。

3. 工艺流程

小林窗疏伐经营管理技术的工作流程主要包括林分结构特征调研与评估、林窗大小、数量与布局的确定和设计、疏伐对象的确定与标记、疏伐时间选择、疏伐作业操作与采伐剩余物处理、补充操作与完善等过程，其工作流程示意图如图1所示。

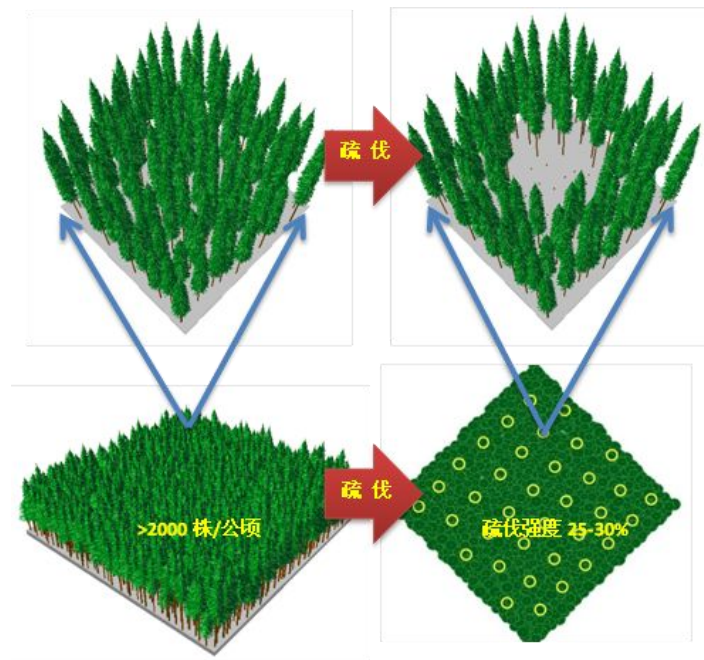


图1 人工林小林窗疏伐经营管理技术操作示意图

六、主要技术指标

应用该技术5年内就可通过林地生产力提高完全补偿因疏伐去除掉的生物量，并实现以下指标：

1. 在不增大林地土壤碳排放的同时，增加林分碳储量约1.85t/ha·a，生物固碳能力提高20%~30%，林分碳积存提高30%~40%；
2. 林下植被盖度提高到60%以上，增加林下物种多样性，物种丰富度可增加30%~40%；
3. 显著改善林地的水源涵养能力，土壤水分含量平均增加18.8%，也能改善土壤肥力，提高土壤养分可利用性，促进地表耐阴性植物生长。

七、技术鉴定情况

该技术是我国科技部“十二五”国家科技支撑计划重点项目“横断山区生态恢复技术研发”及中国科学院先导专项“云杉林固碳增汇技术的实验示范”的研究成果之一，目前已完成生态效果评价，可在全国范围

内进行推广应用。

八、典型用户及投资效益

典型用户：四川茂县林业局、四川壤塘林业局等。

典型案例 1

案例名称：凤仪林场云杉人工林疏伐技术示范项目

建设规模：茂县林业局凤仪林场（大沟流域）30 ha 低效云杉人工林。建设条件：海拔 2151m，坡度 14.3，土壤类型为山地暗棕壤，林地郁闭度 0.81，乔木密度 1650 株/ha、DBH 为 19.1cm、树高 10m，林下植被盖度 25%，凋落物盖度 85 %。主要建设内容：（1）调查与评估林分结构特征（2）确定和设计林窗大小、数量与布局（3）疏伐对象的确定与标记；（4）疏伐作业操作与采伐剩余物处理；（5）补充操作与完善。主要设备为样地调查工具、油锯、土壤呼吸仪、光合仪、元素分析仪等。项目总投资 17.61 万元/30ha，建设期为 12 月。执行时间为 2009 年下半年，从 2012 年开始实现年减排量约 200tCO₂，碳减排成本约为 60 元/tCO₂。

典型案例 2

案例名称：凤仪林场油松人工林疏伐技术示范项目

建设规模：茂县林业局凤仪林场（大沟流域）20 ha 油松人工密林。建设条件：海拔 1960m，坡度 14.0，土壤类型为山地棕壤，林地郁闭度 0.82，乔木密度 2321 株/ha、DBH 为 15.4cm、树高 11.2m，林下植被盖度 12.3%，凋落物盖度 82 %。主要建设内容：（1）调查与评估林分结构特征（2）确定和设计林窗大小、数量与布局（3）疏伐对象的确定与标记；（4）疏伐作业操作与采伐剩余物处理；（5）补充操作与

完善。项目总投资万元 11.74 万元/20 ha，建设期为 12 个月，执行时间为 2009 年下半年，从 2013 年开始年减排量约 140tCO₂。初步概算的碳减排成本约为 60 元/tCO₂。

九、推广前景和减排潜力

目前，我国现有人工林总面积约 6.93×10^7 ha，绝大部分为公益性人工林，其中大多数林分是由处于幼中龄阶段（大于 15 年）冠层树种组成的纯林。其林木密度大于 2000 株/ha，森林生态系统服务功能不强，如不及时采取必要的生态疏伐改造与合理经营管理，任其自然发展，必将进一步加剧林木竞争，导致林地资源的浪费与新的生态问题（如病虫害、火灾等）。采用该技术进行林分抚育改造，可显著提高包括固碳能力在内的森林生态服务功能，推动区域森林生态屏障建设。按四川现有人工林面积 4.49×10^6 ha 计，预计未来 5 年，该技术推广比例可达 10%，形成的年碳减排能力约 300 万 tCO₂。

29 秸秆清洁制浆及其废液肥料资源化利用技术

一、技术名称：秸秆清洁制浆及其废液肥料资源化利用技术

二、技术类别：储碳技术

三、所属领域及适用范围：造纸行业、农业秸秆综合利用、农田施肥及土壤改良

四、该技术应用现状及产业化情况

目前，该技术已在山东建立了示范项目，年产精制本色草浆 40 万吨、本色纸制品 60 万吨和黄腐酸有机肥 60 万吨。在建项目包括山东年处理 150 万吨秸秆制浆造纸综合利用项目，吉林德惠、黑龙江佳木斯正建设秸秆综合利用项目等，未来将逐步在全国秸秆富产区进行产业化推广。

五、技术内容

1. 技术原理

针对秸秆纤维特点，通过锤式备料、亚氨法置换蒸煮、机械疏解-氧脱木素工艺，实现木素高效脱除、降低黑液粘度并提高黑液提取率，形成适于秸秆的本色纸浆及纸制品制造技术；同时，制浆产生的黑液经蒸发浓缩、喷浆造粒工艺生产黄腐酸有机肥，实现废液的资源化利用和秸秆科学还田。

2. 关键技术

（1）锤式备料技术

使用锤式破碎机替代传统切草机，圆筒筛取代传统除尘机，实现

秸秆备料系统杂质的有效去除；

（2）草浆置换蒸煮技术

利用草浆最佳蒸煮终点，使用大液比全液相蒸煮工艺和带有中央施放管的草浆立锅连续蒸煮器，改进锅内滤板的结构、增大过滤面积，实现蒸煮黑液置换和循环使用；

（3）机械疏解-氧脱木素技术

应用疏解机解离纤维新工艺，将疏解机运用于制浆主流程，把机械疏解、氧脱木素技术连用，获得低硬度浆。可根据需求采用单段氧脱或多段连续氧脱木素；

（4）本色浆技术：

浆中的纤维性尘埃通过物理方法（筛选净化）除掉，不采用化学漂白方式加以去除，本色浆匀度好、色相稳定，生产过程无 AOX 产生；

（5）制浆黑液制有机肥技术：

以制浆黑液为原料，对其进行蒸发浓缩、喷浆造粒生产黄腐酸有机肥，在废液资源化综合利用的同时实现了秸秆的科学还田。

3. 工艺流程

秸秆清洁制浆及其废液肥料资源化利用工艺流程见图 1。

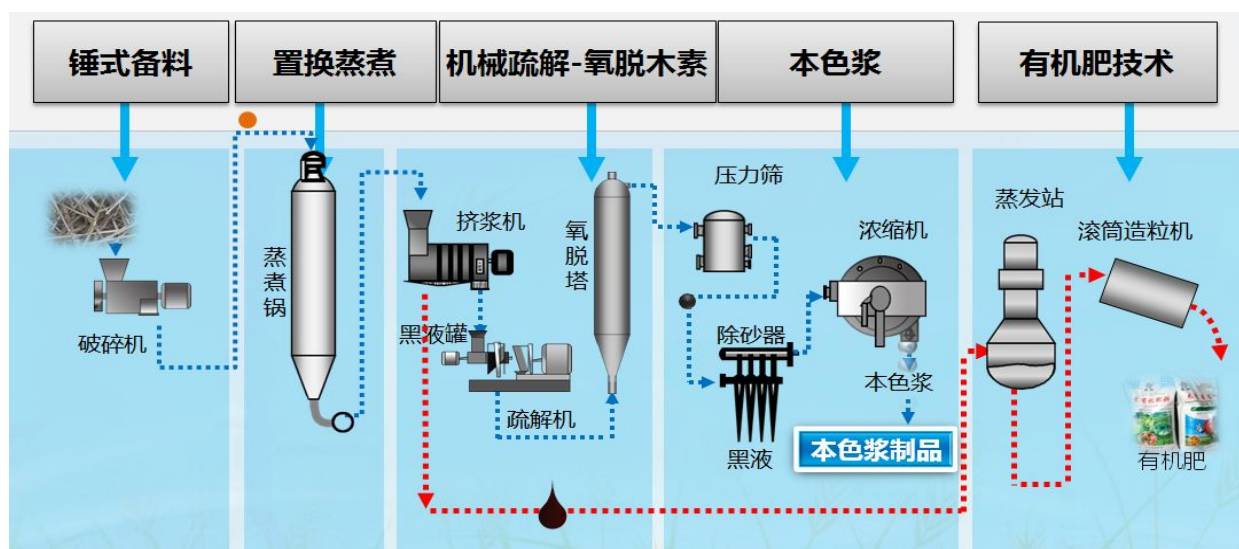


图 1 秸秆清洁制浆及其废液肥料资源化利用工艺流程图

六、主要技术指标

1. 吨浆耗水 22m³;
2. 细浆得率 56%;
3. 耐折度 62 次;
4. 抗张力 40.2N;
5. 本色浆生产过程无 AOX 的产生;
6. 黄腐酸含量≥30%;
7. 有机质≥40%。

七、技术鉴定情况

该技术获得 2009 年中国轻工业联合会科学技术发明一等奖, 2012 年度国家技术发明二等奖, 并于 2015 年 3 月通过了中国轻工业联合会技术成果鉴定。秸秆清洁制浆及其废液肥料资源化利用系统相关技术共获得国家发明专利 14 项。

八、典型用户及投资效益

典型用户: 山东泉林纸业有限责任公司、吉林泉德秸秆综合利用

有限公司、黑龙江泉林生态农业有限公司、山东和润浆纸有限公司等。

典型案例 1

案例名称：山东泉林纸业有限责任公司年处理 150 万吨秸秆综合利用项目

建设规模：年处理秸秆 150 万吨。建设条件：项目所在区域农业秸秆资源丰富，水资源等满足项目建设要求。主要内容：以麦草为原料，采用亚铵制浆工艺建设 60 万吨本色麦草浆生产线；建设 60 万吨本色文化纸擦手纸生产线、100 亿只本色模塑环保餐具生产线；以制浆废液为原料建设 50 万吨有机肥生产线。主要设备有蒸煮锅、氧漂塔、洗浆机等制浆设备，压光机、造纸机等造纸设备和蒸发、造粒烘干机等制肥设备。项目总投资 106 亿元，建设期为 3 年。目前已经完成的项目投资额为 5 亿元，项目已建成 20 万吨制浆系统，结合旧有系统，目前年可生产 20 万吨有机肥以及 25 万吨文化纸和生活用纸，可产生的减排量为 224 万 tCO₂，年经济效益 1.6 亿元。碳减排成本为 -150 ~ -200 元/tCO₂。

九、推广前景和减排潜力

我国森林资源匮乏，秸秆资源丰富，造纸原料进口比例高。大力发展秸秆清洁制浆有利于优化我国造纸行业原料结构调整，替代部分阔叶木浆，减少对外依赖，同时推进传统产业升级和技术进步，废液肥料化利用实现了秸秆科学还田，可替代化肥用量，促进工农业循环经济发展。预计未来 5 年，在全国秸秆资源富产区推广建设秸秆清洁制浆及废液生产黄腐酸有机肥项目，年消耗秸秆可达 500 万吨，推广比例约占全国纸浆产量的 3%，形成的年碳减排能力 2240 万 tCO₂。