

附件 2

河北省先进低碳工艺、技术、装备目录技术简介

(2023 年)

目录

一、减碳类技术	1
烧结机烟气余热回收高效利用技术.....	1
水泥窑预热器节能提升技术.....	5
烷基化装置脱异丁烷塔增设中间再沸器与低温热联合耦合改造技术.....	8
熔剂性球团生产及高比例球团冶炼技术.....	11
被动式超低能耗居住建筑技术及关键节能部品部件.....	15
低温热源驱动吸收式冷、热制取节能技术设备.....	19
基于 CO/O ₂ 双参量的锅炉智能燃烧优化技术.....	22
食品厂杀菌锅（釜）余热回收技术.....	26
钢铁工业尾气生物发酵制乙醇技术.....	29
准干式金属切削系统.....	32
高炉富氢低碳冶炼技术.....	35
发泡炉尾气处理及余热回收利用装置.....	38
热泵烘干机控制节电技术.....	40
富氧燃烧废钢预热节能技术.....	42
全氧窑炉综合减碳技术.....	45
混凝土路面、墙体建筑垃圾代替石碴生产建筑材料工艺.....	47
二、储碳类技术	50
燃煤锅炉烟气碳捕集与利用技术.....	50
水泥窑尾气捕集提纯食品级 CO ₂ （干冰）技术.....	53
三、零碳类技术	56
村镇污水生态治理及减碳增汇资源化利用技术.....	56

【减碳类技术】

烧结机烟气余热回收高效利用技术

一、技术名称：烧结机烟气余热回收高效利用技术

二、技术类别：减碳技术

三、所属领域及适用范围：钢铁行业，适用于烧结机烟气余热回收利用。

四、该技术应用现状及产业化情况

该技术主要应用于黑色冶炼金属加工。目前，该项技术在全国范围均有应用，推广比例约 10%，在河北省内已有 1 个典型应用案例。

五、技术内容

（一）技术原理

利用烧结环冷机一、二段烟气及大烟道烟气对余热锅炉加热，回收的中压过热蒸汽（包括烧结大烟道余热锅炉产生的饱和蒸汽）作为主蒸汽送入汽轮拖动机组，环冷机余热锅炉低压过热蒸汽，作为补汽送入汽轮拖动机组做功，直接拖动烧结主抽风机，从而降低主抽风机电机的运行功率。较传统的烧结余热发电，减少了能源转换环节，提升了能源效率。

（二）关键技术

1、流程能量匹配技术

在低温余热回收技术及电拖烧结主抽风机技术的基础上，针对中低温余热能量回收系统研发出全新综合回收机组。

2、机组长轴系匹配及稳定性技术

采用国际先进的轴系分析软件，进行转子动力学分析，确保机组长周期安全可靠运行。

3、大型变速离合器的应用技术

烧结烟气通过余热锅炉，产生低温蒸气推动低温余热汽轮机旋转，通过变速离合器输出功，由低温余热汽轮机和电动机共同驱动烧结主抽风机，电动机输出功率下降，最大限度回收利用烧结烟气余热的能量。

4、全新机组的自动化控制技术

开发专用的自动化控制及软件组态技术，实现机组高效节能的效果。

（三）工艺流程

烧结环冷机烟气余热利用分两段取风，高温段烟气从环冷机一段烟囱取风，引至余热锅炉上部的中压过热器，低温段烟气从环冷机二段烟囱取风，与一段烟囱来的经过中压过热器换热后的烟气混合，混合后的烟气按顺序进入余热锅炉中压蒸发器、中压省煤器、低压过热器、低压蒸发器和凝结水加热器，排气温度约140℃，余热锅炉的排气通过循环风机送回环冷机冷却烧结矿。

烧结机大烟道烟气余热，是利用烧结机大烟道后4-6个高温风箱的废气，在大烟道烧结终点处风箱之间布置热管锅炉的蒸发

器，产生 $1.9 \text{ MPa} \cdot \text{g}^{-1}$ 的饱和蒸汽，送至环冷余热锅炉过热，产生高参数过热蒸汽，供至汽拖汽轮机拖动主抽风机，做功后的蒸汽凝结成水后，由凝结水泵送至环冷机余热锅炉岛，环冷机低压汽包除氧水通过泵，送至烧结机余热锅炉各受热面。

余热锅炉供水系统包含锅炉配套的锅炉给水泵及汽轮机配套的凝结水泵。冷凝水通过凝结水泵加压后，送到余热锅炉凝结水加热器加热，再送到锅炉低压除氧器除氧，低压锅炉兼做除氧水箱，除氧水由锅炉给水泵加压后分别向环冷机余热锅炉中压段和烧结大烟道余热锅炉供水。

（四）主要技术指标

双压环冷机余热锅炉设备主要控制参数：

高参数蒸汽： $34 \text{ t} \cdot \text{h}^{-1}$ ， $1.8 \text{ MPa} \cdot \text{g}^{-1}$ ， $360 \pm 10^\circ\text{C}$ ；

低参数蒸汽： $9 \text{ t} \cdot \text{h}^{-1}$ ， $0.5 \text{ MPa} \cdot \text{g}^{-1}$ ， 200°C ；

烧结大烟道余热锅炉饱和蒸汽参数： $9 \text{ t} \cdot \text{h}^{-1}$ ， $1.9 \text{ MPa} \cdot \text{g}^{-1}$ 。

六、典型案例及投资效益

典型案例：辛集市澳森钢铁有限公司烧结烟气环冷余热回收利用项目

建设规模：烧结烟气环冷余热回收利用技术应用于两台 220 平方米的烧结机，采用汽轮机+离合器+电动机+烧结机相结合，每吨矿较蒸汽发电节电 3.6 kWh。项目于 2023 年 9 月份运行。

七、推广前景和减排潜力

目前全国推广比例约为 10%，预期五年内推广比例达到 20%，

总投资额达到 112 亿元，与蒸汽发电相比降碳潜力 120 万 tCO₂。

该技术采用烧结机烟气余热对余热锅炉回收的中压过热蒸汽（包括烧结大烟道余热锅炉产生的过热蒸汽）作为主蒸汽送入汽轮拖动机组，直接拖动烧结主抽风机，从而降低主抽风机电机的运行功率，每吨矿节电 23 度，年减排量 7.2 万 t_{CO2}。

水泥窑预热器节能提升技术

一、技术名称：水泥窑预热器节能提升技术

二、技术类别：减碳技术

三、所属领域及适用范围：水泥行业，适用于新型干法水泥窑预热器。

四、该技术应用现状及产业化情况

目前，该项技术在河北省、陕西省等地已投入应用，推广比例约 10%，在河北省内已有 2 个典型应用案例。

五、技术内容

（一）技术原理

通过对预热器旋风筒整体降阻优化提升，更换旋风筒支撑底座，并在锥体加尾涡隔离器等方面对预热器系统进行节能提升后，可以有效提升预热器一级筒选粉效率，降低煤耗电耗，同时节约维修费用。

（二）关键技术

将预热器 C1 旋风筒尺寸进行扩充，对 C2-C1 烟道部分进行制作更换，并更换旋风筒支撑底座，锥体加尾涡隔离器；通过降低预热器风阻对预热器系统进行节能提升。

（三）工艺流程

不改变现有生产工艺流程，在原有的新型干法熟料生产线的工艺基础上，对现有的悬浮预热器的一级进行扩径、锥体加尾涡

隔离器等节能降阻提升。

现有的生产工艺流程如下图所示：

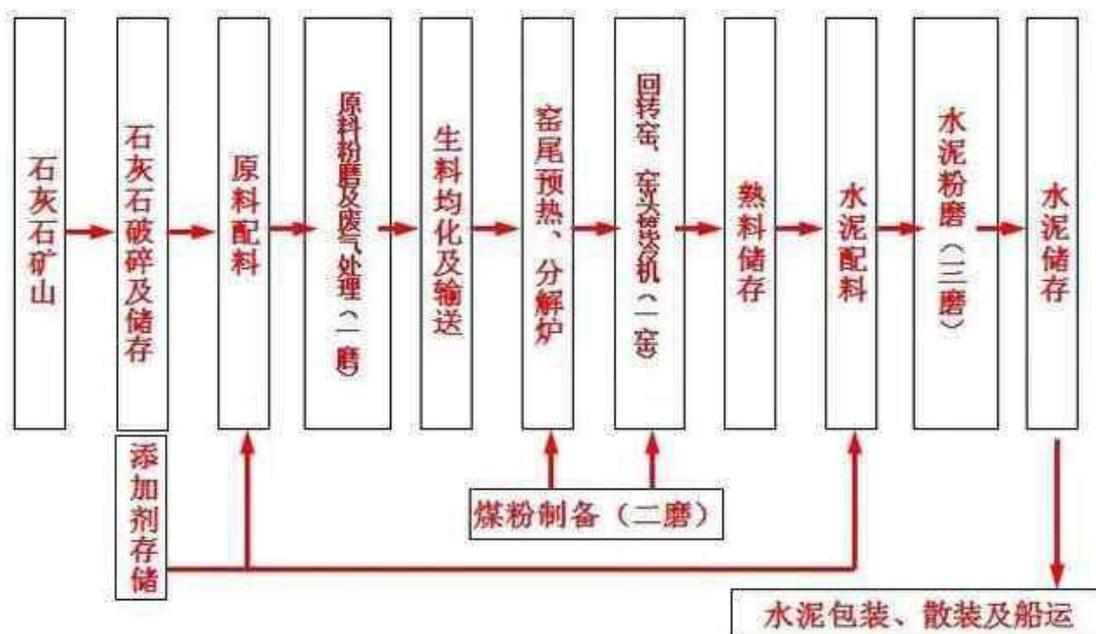


图 1 生产工艺流程图

(四) 主要技术指标

项目实施后可使一级筒本体阻力降低 20%以上；

粉尘含量降低 50%以上；

吨熟料标煤耗降低约 2 kgce · t⁻¹；

吨熟料碳排放降低约 5 kgCO₂。

六、典型案例及投资效益

典型案例 1: 河北金隅鼎鑫水泥有限公司水泥窑预热器节能优化项目

建设规模: 对预热器旋风筒整体降阻优化提升, 通过更换旋风筒支撑底座, 并在锥体加尾涡隔离器等方面对预热器系统进行

节能提升。项目总投资 496 万元，建设期 6 个月，投资回收期 19 个月，碳减排单位成本为 631.2 元 t-1CO₂。

项目实施后，系统标煤耗降低 2.6 kg · t-1.c，系统电耗降低 0.75 kWh · t-1.c，按照该熟料线 2023 年产量 1070000 t 计算，年节标准煤量为 1987.18t，年节煤和节电金额 318.3 万元，年减排 5743.6 tCO₂。

典型案例 2: 冀东水泥涞州有限责任公司二线预热器 C1 旋风筒改造项目

建设规模: 对预热器 C1 旋风筒整体降阻优化提升，多方面对预热器系统进行节能提升。项目投资 340 万元，建设期 3 个月，投资回收期 17 个月，碳减排单位成本为 536.3 元 t-1CO₂。

项目实施后系统标煤耗降低 2.1kg · t-1.c，按照该熟料线 2023 年产量 1135000t 计算，年节标准煤量 1702.53tce，节煤金额 238.4 万元，年节煤减排 4528.7 tCO₂。

七、推广前景和减排潜力

目前，河北省有日产 2500 t 以上的水泥熟料生产线 44 条，已完成改造的有 5 条，在河北省推广比例约为 11%，预计 5 年内该技术在河北省内推广比例达 25%，增加 6 条生产线的改造，总投资额约 2400 万元，全部投入应用后，每年节约煤炭量约 12000 t，年减碳量 3 万 tCO₂。

烷基化装置脱异丁烷塔增设中间再沸器与低温热联合耦合改造技术

一、技术名称：烷基化装置脱异丁烷塔增设中间再沸器与低温热联合耦合改造技术

二、技术类别：减碳技术

三、所属领域及适用范围：石化行业，适用于分馏精制过程余热回收利用。

四、该技术应用现状及产业化情况

目前，该技术在河北省内已有 1 个应用案例，省外约有 3 个类似技术应用案例。

五、技术内容

（一）技术原理

通过在烷基化装置脱异丁烷塔增设中间再沸器与低温热联合耦合改造技术，在中部合适位置设置中间再沸器，与温位较低的物料进行热联合，实现能量的梯级利用、降低塔底高品质热源负荷，减少二氧化碳排放。

（二）关键技术

在分馏塔中部增设补热功能的再沸器，并选择温位较低的热源进行热联合技术改造，可有效减少生产过程热力间接碳排放。

（三）工艺流程

烷基化装置新增脱异丁烷塔中间再沸器，同时对脱异丁烷塔

改造，新增再沸器进出口；引柴油加氢装置精制柴油进烷基化装置中间再沸器管程，回收低温柴油热量，降低脱异丁烷塔底再沸器蒸汽消耗，取热后的精制柴油返回柴油加氢装置。

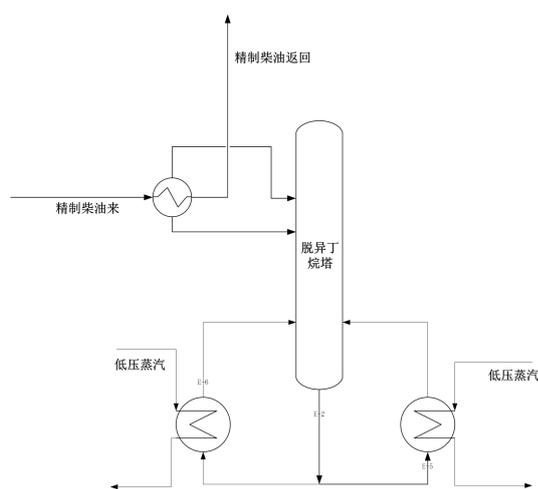


图 2 工艺流程图

（四）主要技术指标

脱异丁烷塔塔顶温度：40 ~ 60 ℃；

塔底温度：87 ~ 130 ℃。

六、典型案例及投资效益

典型案例：中国石油化工股份有限公司石家庄炼化分公司烷基化装置脱异丁烷塔增设中间再沸器项目

主要内容：利用现有烷基化装置框架进行改造，在脱异丁烷塔第 57-59 层塔盘处开口，新增脱异丁烷塔中间再沸器 E-303C，并配置管线引柴油加氢装置精制柴油进烷基化装置。通过 E-303C，脱异丁烷塔抽出物料与精制柴油换热，实现低温热联合，降低塔底再沸器蒸汽消耗，并降低精制柴油返回柴油加氢装置温度，降低空冷冷却负荷。项目投资 450 万元，建设期 20 个月，

投资回收期 6 个月。项目年减排量为 13010 tCO₂，碳减排单位成本为 24.7 元/tCO₂。

该项目有效发挥节能在降低温室气体排放的重要作用，提升企业节能低碳运行水平。

七、推广前景和减排潜力

目前，该技术在河北省内应用比例为 30%。预计未来 5 年，河北省内实施 3 套同类型装置节能降碳改造，总投资约 0.14 亿元，每年节约低压蒸汽实物量 13.14 万吨，可形成年碳减排能力 3.90 万 tCO₂。

熔剂性球团生产及高比例球团冶炼技术

一、技术名称：熔剂性球团生产及高比例球团冶炼技术

二、技术类别：减碳技术

三、所属领域及适用范围：钢铁行业，适用于炼铁工艺。

四、该技术应用现状及产业化情况

该技术在河北省内已有 2 个应用案例，省外有 1 家应用案例。

五、技术内容

（一）技术原理

通过带式焙烧机代替烧结机，以球团产能代替烧结产能，实现能耗和碳排放的大幅降低。球团工序能耗、碳排放量均大幅低于烧结矿，其工序能耗只占烧结工序能耗的 50%，二氧化碳排放量为烧结的 67%。球团品位较高，SiO₂ 含量较低，高炉进行 40% 以上高比例球团冶炼，可提高入炉品位 1%~2%，有利于降低燃料比、提高产量，从而达到节能减排和降碳目的。

（二）关键技术

1、熔剂性球团生产技术

（1）配矿技术：合理配矿是熔剂球团生产的基础和保障，一是控制均匀顺畅的下料，提高工艺称的称量精度；二是通过不同精粉资源的搭配，控制混合料合理的粒度组成和各组分比例；三是采用优质膨润土和熔剂料（消石灰）。

（2）造球技术：合理控制造球工艺参数，通过对混合料进行

高压辊磨、强力混合、烘干，改善混合料成球性。通过优化造球盘加水方式、调整造球盘转速和倾角等措施，改善生球质量，确保生球落下强度在 7 次以上，具有较好致密度。

(3) 焙烧技术：控制合理的干燥温度，确保生球在干燥充分的前提下，不会爆裂。控制合理预热段温度和升温梯度，使球团得到充分氧化。控制合理焙烧段温度和焙烧时间，促进球团结晶、再结晶，同时控制生成合理液相量。充分发挥均热段作用，为结晶、再结晶反应提供空间和时间，使结晶反应完全。控制适当冷却速度，既要避免因冷却过快增加球团内热应力，破坏粘结键，又要确保成品球团温度在 150℃ 以内，确保皮带安全和使用寿命。

2、高炉高比例球团冶炼防滚动布料技术

通过调整各入炉料排料顺序、矿焦平铺、中心加焦等技术措施，有效降低球团滚动效应，实现精准合理布料。

3、高炉高比例球团冶炼软熔带及炉型控制技术

通过控制合理的软熔带高度、厚度及形状，控制合理的操作炉型，确保高炉稳定顺行，维持合理的炉体热负荷，延长炉体冷却设备的使用寿命。

(三) 工艺流程

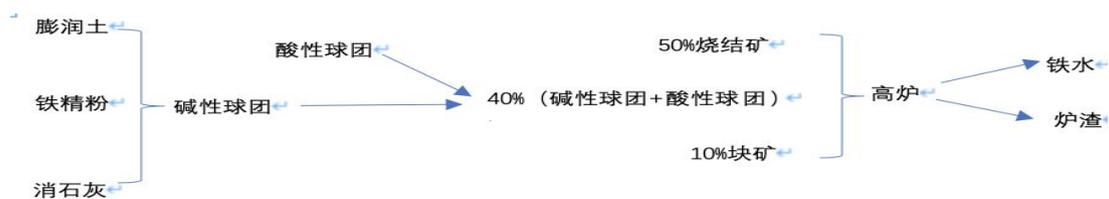


图 3 工艺流程图

（四）主要技术指标

熔剂球团质量指标： $T_{Fe} > 60.5\%$ ， $FeO < 0.8\%$ ， $R_2 = 0.8-1.2$ ，抗压强度 $> 2500N/\text{个球}$ ，膨胀指数 $< 15\%$ 。

高炉技术指标：球团配比 $> 40\%$ ，高炉燃料比 $< 515 \text{ kg /t}$ 。

六、技术鉴定情况

该技术通过中国环境科学学会组织的成果鉴定，鉴定组专家一致认为高比例球团冶炼减污降碳方面达到了国际领先水平。

该技术已授权发明专利 8 项，软件著作权 1 项。

七、典型用户及投资效益

典型案例：唐钢新区带式焙烧机熔剂性球团生产及高炉高比例球团冶炼项目

建设规模：该项目建设规模为年产能 960 万吨球团产线、年产能 920 万吨生铁高炉。主要建设内容包括 2 条 624 m^2 带式焙烧机球团产线，3 座 2922 m^3 高炉，及相关配套设施。球团产线主要设备包括高压辊磨、强力混合机、烘干设备、造球盘、带式焙烧机、风机、除尘器及脱硫脱硝设施。高炉产线主要设备包括高炉本体及配套的上料系统、送风系统、炉前出铁系统、煤气清洗系统、渣处理系统等。项目投资额约 20 亿元（该技术的应用关键在于优质熔剂球团的生产，因此项目投资额按两条带式焙烧机球团产线建设费用计）。

其他典型案例：唐钢不锈钢链篦机一回转窑熔剂性球团生产及高炉高比例球团冶炼项目。

八、推广前景和减排潜力

带式焙烧机生产球团矿，其工序能耗只有烧结矿的 50%左右，吨球 CO₂排放量比烧结矿低约 63.8 kg，与烧结矿生产相比，球团生产节能减排效果显著。球团生产的烟气排放量是烧结的 75%左右，生产每吨球团的 SO₂ 和 NO_x 排放量分别是烧结矿的 1/2 和 1/3，球团生产的环保投入和运行成本均低于烧结生产。球团品位较高，SiO₂含量较低，高炉进行 40%以上高比例球团冶炼，可提高入炉品位 1%~2%，也有助于高炉降低燃料比、提高产量，从而达到节能减排和降碳目的。以球团产能代替烧结产能、高炉进行高比例球团冶炼具有良好的推广应用空间。

球团的工序能耗比烧结矿低 24 kgce t⁻¹，生产每吨球团矿的碳排放量比烧结矿低 63.8 kg，球团生产比烧结生产具有明显的节能、降碳优势。高炉采用熔剂性球团矿代替烧结矿进行高比例球团冶炼，可大大降低长流程高炉炼铁的能耗和碳排放量。

目前，该技术在河北省推广比例约为 10%，到 2025 年预期推广比例将达到 15%，总投资额约为 20 亿元，球团产能约增加 1000 万吨，年减排潜力约 63.8 万 tCO₂。

被动式超低能耗居住建筑技术及关键节能部品部件

一、技术名称：被动式超低能耗居住建筑技术及关键节能部品部件

二、技术类别：减碳技术

三、所属领域及适用范围：建筑行业，适用于房屋建筑。

四、该技术应用现状及产业化情况

被动式超低能耗建筑在德国、挪威、加拿大、美国、日本等国家已得到大范围推广和应用。据不完全统计，目前全国被动式超低能耗建筑项目 530 多个，分布于 30 个省市，总建筑面积超过 3000 万平方米。

五、技术内容

（一）技术原理

高效保温密封以及热量守恒。

（二）关键技术

该技术主要涉及被动式门窗技术、室内环境自动调控技术、高效外墙保温技术、高效密封技术等。

1、室内环境自动调控技术：该技术作为被动式建筑的“呼吸系统”，具有智能控制、新风置换、双重高效过滤、能量回收、辅助供暖与制冷等功能，其功率仅为空调的六分之一，功能是空调的五倍，可智能调节室内温度、湿度及空气质量，始终保持适宜

的室内阅读环境，从而减少 PM2.5、SO₂ 等污染物和碳排放，热回收率高达 82%，相比传统空调更舒适、更节能、更经济。

2、被动窗技术：被动窗是一个完备的集成系统。作为整栋建筑保温的关键，被动窗要求具备极高的保温性能，极长的使用寿命，采用防水隔汽膜、防水透气膜等密封材料，同时需要根据项目实际情况进行科学计算，采取特殊的无热桥、气密性等保障措施。

3、被动门技术：被动门不同于普通的入户门、防盗门、防火门，其作用相当于保温瓶的“暖瓶塞”，是与德国共同研制开发的目前全球唯一获得中欧双认证、首款通过国际认证的绿色康养建筑入户门产品。一道门集成了密封、保温、隔声、防火、防盗等多种功能，并可根据不同建筑类型、气候条件等采用特殊工艺及材料定制加工。

4、高效外墙保温技术：高效外墙保温技术作为被动式超低能耗建筑的“棉衣”，既要轻便，还要保暖，同时还要有强度。根据我国气候区域建筑类型、建筑高度、朝向等多种影响因素，联合德国巴斯夫集团研发科学的配方，确保了高效外墙保温技术材料满足防火、保温、强度等级等性能要求，形成了一套完整的解决方案，在应用上采用科学计算，根据不同的气候、不同的建筑类型合理确定厚度、密度、安装方式。

5、高效密封技术：被动式超低能耗建筑需要良好的气密性以减少室内外空气对流造成的冲击，因此密封系统尤为关键。公司

与德国、瑞士等国际知名密封材料生产企业合作，根据我国的建筑特点专项研发防水隔汽膜、防水透气膜等密封材料，兼具气密性和延展性，并根据项目实际进行精细化施工，形成了一套有效的密封性解决方案。

（三）工艺流程

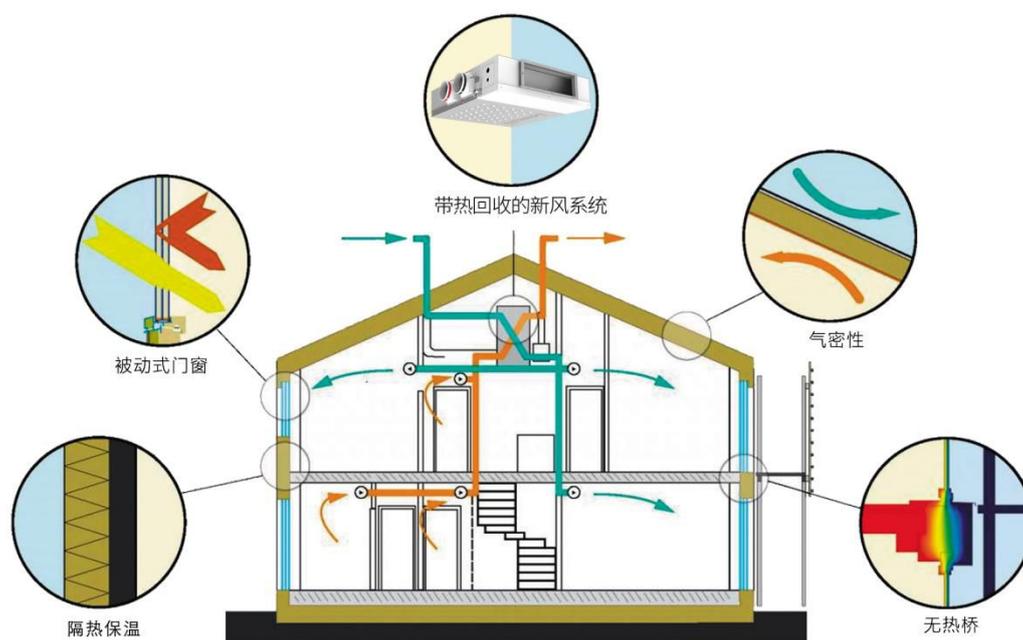


图 4 被动式超低能耗建筑技术关键工艺节点

（四）主要技术指标

室内温度：20-26℃。

室内相对湿度：30%—60%。

室内 PM2.5 浓度：小于 35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 。

室内二氧化碳浓度：小于 1000ppm。

六、技术鉴定情况

该技术取得发明专利 2 项，实用新型专利 11 项，软件著作权

1 项。

七、典型案例及投资效益

典型案例：高碑店列车新城项目

建设规模：被动式超低能耗高层居住建筑 120 万平方米。主要建设内容：11 栋多层，8 栋高层，6 栋联排小别墅被动式建筑住宅。主要部品部件及设备：高性能被动门、高性能被动窗、分户式太阳能热水系统、智能遮阳及高效热回收新风环境一体机等。项目总投资 19 亿元，建设期 2 年，该项目相比传统建筑，每年节碳 6.3 万吨。

八、推广前景和减排潜力

被动式超低能耗建筑技术目前在整个建筑行业推广比例不足 1%，预计未来五年推广比例将达到 5%，可形成 100 亿元产值的经济效益。

在节能降碳方面，根据国际被动式超低能耗建筑认定标准，被动式超低能耗建筑年耗电量 $15\text{kWh}/\text{m}^2$ ，折合标煤 $1.84\text{kg}/\text{m}^2$ 。

截至 2022 年底，公开数据显示，我国北方地区供热总面积 238 亿 m^2 ，在北方城镇建筑供热热源中，燃煤占比约 71%，约 171 亿平方米，年取暖用煤约 4 亿吨，平均能耗 $23\text{kg}/\text{m}^2$ 。

如果我国北方取暖地区全部采用超低能耗建筑每年节约用煤 3.61 亿吨，减少二氧化碳排放约 9.6 亿吨。

低温热源驱动吸收式冷、热制取节能技术设备

一、技术名称：低温热源驱动吸收式冷、热制取节能技术设备

二、技术类别：减碳技术

三、所属领域及适用范围：化工、钢铁行业，适用于烟气、废水、乏汽的余热回收利用。

四、该技术应用现状及产业化情况

该技术产品可用于工业中排放的低温废热的再利用，将烟气、废水中热量回收后，作为设备的驱动能源，进行制冷或制热。目前已在辽宁、四川、河北等地投入使用。

五、技术内容

（一）技术原理

该技术利用真空环境中，水在低温状态发生相变吸收释放潜热的原理，以及溴化锂溶液的强吸水性和稳定性，使设备在无机机械做功的情况下利用低温热能驱动，利用媒介交换使热量发生转移。

（二）关键技术

（1）高效换热技术。采用最新的纳米级立体淋式换热设计，使热交换效率最大化，大幅度提升换热速度，以迅速使冷媒、冷剂和吸收剂发挥作用。

（2）线性布局设计。反应箱体内部按照压力和温度的衰减度

进行分布式组合，以线性裂变方式将热源热量进行彻底吸收和转化。

(3) 大数据运行算法。经过大量实验和测算所形成高性能算法模型，使各部件运行时刻保持最优状态。

(4) 精密自动控制系统。通过自动控制使流体和气体的热功过程完全可控，通过物联网模块实时采集数据进行分析计算，实现精准操控。

(三) 工艺流程

本产品主要的工艺步骤是组装和焊接，生产过程环保无污染。主要流程有管板加工、箱体焊接、组件除锈、支撑板定位、箱体清洁、管件安装、箱体组装、箱体加强、真空检漏、管道预制、设备总装、喷漆、电气系统安装、自动控制系统设定等。通过对工艺的不断改进，生产基本过程逐步实现自动化和节能化绿色生产，产品质量稳定。

(四) 主要技术指标

1、制冷指标

驱动热源：进水温度 65℃，出水温度 60℃左右（温差 5℃）；

输出冷冻水：进水温度 12℃，出水温度 7℃；

转换效率：平均 80%，驱动热源温度越高，效率越高。

2、制热指标

驱动热源：进水温度 40℃，出水温度 35℃（温差 5℃）；

输出热水：进水温度 40℃，出水温度 50℃；驱动热源越高，

输出热水温度越高；

转换效率：45%左右。

六、典型案例及投资效益

典型案例：四川发展龙蟒股份磷肥厂余热制冷结晶工艺改造项目

建设规模：利用乏汽废热制取冷冻水，为生产原料母液的结晶工艺提供工业用冷，替代原有压缩式电制冷机组。项目使用4台260 kW机组，输出总冷量1040 kW，总投资310万元。在改造前，原制冷机组能效比为5.5，每小时电耗189.09 kWh，在实施后，新主机每小时电耗降至6.24 kWh。每年可节约用电量1601766 kWh，产生经济效益120.1万元。该项目通过节省电耗，年减排量约为913.5 tCO₂。

其他典型案例：日本电产（大连）有限公司空压机废热制冷项目、承恒热力低温余热供暖项目。

七、推广前景和减排潜力

目前利用工业低温余废热（85℃以下）制冷，以及低温余废热（40℃）供暖，替代传统压缩式电制冷机组的技术应用，在河北省的推广比例不到1%。预计未来5年，推广比例将达20%，总投资额9亿元，该技术设备总装机量可达300 MW，按照每MW设备连续运行1年节约154万kWh电量、平均年开机时间60%，以及碳排放折算参数0.5703 kgCO₂/kWh进行计算，通过应用该技术设备每年节省电耗总量为2720万kWh，总减排量为158087 tCO₂。

基于 CO/O₂ 双参量的锅炉智能燃烧优化技术

一、技术名称：基于 CO/O₂ 双参量的锅炉智能燃烧优化技术

二、技术类别：减碳技术

三、所属领域及适用范围：电力行业，适用于燃煤电站锅炉。

四、该技术应用现状及产业化情况

目前，该项技术在河北省内已有 7 个应用案例，省外有 110 余家应用案例，在菲律宾、孟加拉等国家也有相关应用案例。

五、技术内容

（一）技术原理

发明锅炉烟道及炉膛 CO 网格式多点在线监测方法，发明除焦、防磨、防堵的全流程烟气预处理装置，开发基于高精度电化学双传感器冗余结构设计的宽温区 CO 在线监测系统。基于大数据挖掘与烟气多组分在线监测方法，构建基于 CO/O₂ 双参量的锅炉动态智能燃烧模型，开发基于 CO/O₂ 双参量联控的锅炉总氧量、分级氧量、分层氧量等多维度的动态智能燃烧控制系统与全套装备，并工业化应用。

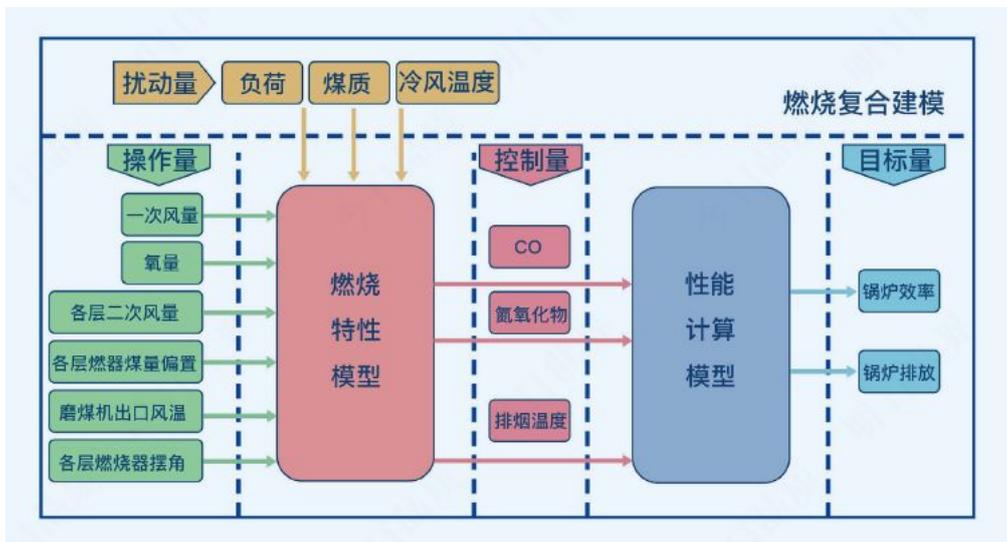


图 5 燃烧优化系统流程图

（二）关键技术

开发和构建有效的锅炉智能燃烧模型、软件及控制系统，解决燃烧过程中锅炉高效燃烧、低氮排放、高温腐蚀/结焦三者之间的突出矛盾，实现锅炉燃烧过程的有效监测和控制。

（三）工艺流程



图 6 工艺流程图

（四）主要技术指标

一般 CO 浓度每增加 1000ppm，锅炉效率降低 0.35%，供电煤耗增加 1 g/kwh，该技术以安全性指标为约束条件，实时计算锅炉

高效燃烧与低氮排放综合指数，实现负荷变化过程中的风煤动态自动跟踪调节，优化机组的负荷响应能力，减小运行参数波动，将烟气排放 CO 浓度降低至 100ppm 以下，从而节约燃煤、减少污染物排放。

六、技术鉴定情况

该技术获得国家发明专利 4 项，实用新型专利 7 项、软件著作权 3 项。由中国动力工程学会出具了动学鉴字[2020]第 21 号科学技术成果鉴定证书，鉴定认为：基于 CO/O₂ 双参量的锅炉智能燃烧控制系统构建实现了在高温、高粉尘、高磨损条件下 CO 浓度的全流程高精度可靠在线测量，解决了锅炉高效燃烧、低氮排放、高温腐蚀/结焦三者之间的突出矛盾，达到国际领先水平。

七、典型案例及投资效益

典型案例：鄂州发电公司基于 CO 测量的锅炉智能燃烧优化系统研究与应用项目

建设规模：该项目 2x650 MW 超临界机组锅炉为东方锅炉厂制造的超临界参数复合变压直流本生型锅炉，锅炉本体采用 II 型布置，一次中间再热、单炉膛、尾部双烟道结构，固态排渣，全钢结构架，全悬吊结构，平衡通风、露天布置、前后墙对冲燃烧方式，采用内置式启动分离系统。该项目总投资 86.6 万元，建设周期 3 个月。年减排量为 9336.6tCO₂，年经济效益 264 万元，投资回收期 4 个月，碳减排单位成本约为 92.75 元/tCO₂。该项目实施后，煤粉锅炉热效率及综合节煤率将提高 0.6%以上，则每度电可节省

标准煤 1.8g，减排 4.788gCO₂；该项目机组年发电量约 19.5 亿度，项目年节约标煤 3510t，年减排量为 9336.6tCO₂。

其他典型案例：华能海门电厂 1 号锅炉燃烧效率分析 CO 建模设备采购项目、国能丰城发电有限公司基于燃烧工况在线监测的锅炉燃烧优化技术和高温腐蚀防治的应用研究项目。

八、推广前景和减排潜力

目前，该技术全省推广比例为 10%，预期五年内推广比例为 80%，预期五年内总投资 1.6 亿元。若该技术每年推广比例提高 15%，发电量按 427 亿 kwh 计，则可实现年碳减排能力约为 20.4 万 tCO₂。

食品厂杀菌锅（釜）余热回收技术

一、技术名称：食品厂杀菌锅（釜）余热回收技术

二、技术类别：减碳技术

三、所属领域及适用范围：食品、饮料加工行业，适用于食品、饮料包装后杀菌冷却过程余热回收利用。

四、该技术应用现状及产业化情况

该技术主要应用于食品饮料厂包装后产品杀菌和冷却过程，把杀菌过程中排放的乏汽和杀菌后冷却产品中的余热进行回收处理。在河北省、安徽省已投入应用，推广比例约 1%。

五、技术内容

（一）技术原理

通过换热器把杀菌过程中排放的蒸汽和杀菌后产品在冷却过程中的热量进行回收处理。

回收装置过程：杀菌锅杀菌升温时需要用蒸汽先把锅内的冷空气排出，保证每个位置的温度一致，排冷杀菌升温的过程中大量的蒸汽被排放到空气中；通过热交换回收，回收热水温度可达到 100℃左右，且持续时间较长；杀菌后冷却循环水最高的温度可达到近似于杀菌后产品的温度，冷却到后期接近于 50℃；由于冷却循环水温度的不稳定性，这部分热难以回收，在多组杀菌锅连续生产过程中，冷却水先进入水箱储存，再进行换热，通过足够换热面积和换热的运行时间，把储存在箱体内的热量充分回收，回收工艺热水可升高 40-60℃左右。冷却循环水出水可以达到

45-55℃左右，这时循环水的温度不需要再进入冷却塔冷却，冷却水中的热量也不会被排放到大气中。

(二) 关键技术

1、乏汽换热器（乏汽换热器结构及安装）、箱体换热器（箱体换热器的蓄水能力、通道设计及运行时间，箱体换热器换热管材质、换热单元结构及换热面积的设计）。

2、两者间的管道连接工艺处理。

(三) 工艺流程

1、排放废气—废气回收换热器—工艺热水；

2、循环冷却水—水箱储存—换热器换热—热水回用—循环水排放。

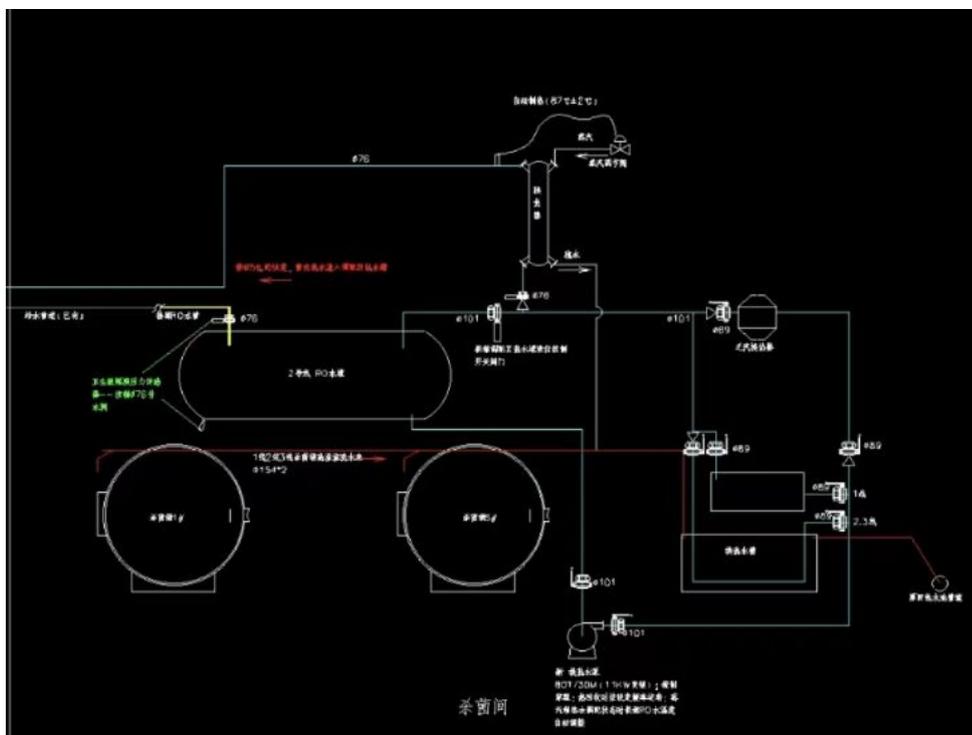


图 7 工艺流程图

(四) 主要技术指标

- 1、杀菌排气温度不低于 100℃，排放时间不少于 3 分钟；
- 2、产品杀菌后冷却到 90℃后，杀菌水不回收，用冷却水排放到空气中；
- 3、回收水温度不低于 65℃；
- 4、冷却水出水温度不高于 50℃。

六、技术鉴定情况

该套设备获批实用新型专利 1 项。

七、典型案例及投资效益

典型案例：安徽滁州养元饮品有限公司杀菌系统余热回收项目

建设规模：该项目总投资 60 万元，建设期 3 个月。改造前后每吨核桃露蒸汽用量节约 180 kg。具体详见下表描述：

表 1 改造前后蒸汽节约量统计表

改造前每吨饮料蒸汽用量 (0.8 mpa)	改造后每吨饮料蒸汽用量 (0.8 mpa)	每吨饮料节约蒸汽量 (0.8 mpa)
0.38t	0.20t	0.18t

改造后每吨核桃露蛋白饮料可节省蒸汽用量 0.18 t，项目年减少二氧化碳排放量 2680tCO₂，碳减排单位用电产生的碳排放 6.71 kgCO₂/kWh。

八、推广前景和减排潜力

目前国内杀菌锅后段余热回收占比约 1%，5 年内推广比例预计达到 10%；该项目投资约 6000 万元。可形成碳减排能力约为 3 万 tCO₂。

钢铁工业尾气生物发酵制乙醇技术

一、技术名称：钢铁工业尾气生物发酵制乙醇技术

二、技术类别：减碳技术

三、所属领域及适用范围：化工行业，适用于钢铁、煤化工、磷化工等企业所产生工业气体的生物法利用。

四、该技术应用现状及产业化情况

该技术可应用于将含 H_2 、 CO 、 CO_2 的工业气体采用生物发酵法制乙醇及梭菌蛋白，目前在河北省有 1 个应用案例，省外有 3 个应用案例。

五、技术内容

（一）技术原理

工业尾气发酵法制乙醇技术，是一种以气体为原料的生物发酵技术。气体主要成分为 H_2 、 CO 、 CO_2 等，通过微生物代谢反应，产生乙醇及新型饲料蛋白。该技术根据原料气组分不同，可分为一代、二代技术。一代技术可将以含 CO 为主的原料气高效转化为乙醇，每转化 $6\text{mol}CO$ 产出 1mol 乙醇，同时放出 4mol 的 CO_2 ，实现 CO_2 减排 33%。二代技术在一代技术的基础上，将含有 H_2 、 CO 、 CO_2 的原料气高效转化，进一步实现 CO_2 的固定。

二代技术反应方程式如下：



(二) 关键技术

工业尾气发酵制燃料乙醇技术主要包括原料气净化工艺技术、高效发酵工艺技术、蒸馏脱水工艺技术、新型菌体蛋白浓缩干燥工艺技术、尾气处理及热能回收技术、污水处理工艺技术等。

高效发酵技术，以 H_2 、 CO 、 CO_2 为主要原料，通过特定微生物菌体的生物代谢，在反应器内将 H_2 、 CO 、 CO_2 转化为乙醇、乙酸等代谢产物，实现无机碳到有机碳的固定。

(三) 工艺流程

工艺流程包括预处理、发酵、蒸馏脱水、蛋白饲料、污水处理、尾气处理六部分。

工业尾气经增压、净化预处理，送入发酵工序。发酵产生的含乙醇发酵液进入蒸馏工序。经蒸馏脱水后得到乙醇产品，塔釜含菌液经离心、干燥，得到梭菌蛋白产品，生产过程产生的污水进入污水处理工序。发酵尾气中未完全反应的 CO ，经高温氧化，副产 1 MPa (G) 饱和蒸汽回用至蒸馏工序。

(四) 主要技术指标

发酵过程 H₂ 转化率 ≥ 60%, CO 转化率 ≥ 80%, CO₂ 转化率 ≥ 60%。

六、技术鉴定情况

该技术获得发明专利 6 项，实用新型 64 项，软件著作权 2 项。

该项科技成果经中国循环经济协会和北京金属学会评价，认定“具有创新性、系统性和实用性，具有较强的可推广性，在工业尾气利用方面属于国际首创，整体达到国际先进水平。”

七、典型案例及投资效益

典型案例 1：河北首朗新能源科技有限公司 4.5 万吨/年钢铁工业煤气生物发酵法制燃料乙醇项目

建设规模：该项目设计能力为每年转化工业尾气 3.67×10^8 Nm³，生产燃料乙醇 45000 t、蛋白粉 5000 t、沼气 3.3×10^6 Nm³。项目总投资 41719 万元，建设期 3 年。项目年降碳量 52830 t，碳减排率 42.6%。

八、推广前景和减排潜力

目前，该技术在河北省有 1 套产化装置，推广比例不足 2%，预计未来 5 年，预期推广比例将达到 4%，乙醇年产能达到 90000 吨。总投资额约为 8 亿元，年碳减排潜力约 105660tCO₂。

准干式金属切削系统

一、技术名称：准干式金属切削系统

二、技术类别：减碳技术

三、所属领域及适用范围：机械行业，适用于金属切削过程。

四、该技术应用现状及产业化情况

基于 MQL 微量润滑和增效微量润滑技术，成功开发出功能先进的纯油雾和复合微量润滑两大系列产品，用于机加工生产。产品广泛应用在滚齿、插齿、车床、铣床、加工中心等机床设备。

微量润滑具有降低加工油烟，提高刀具寿命，扩大干切机床加工模数范围，降低二氧化碳排放等优异性能。有助于推动传统齿轮行业升级改造和新型准干式切削机床开发。

五、技术内容

（一）技术原理

微量润滑 (Minimal quantity lubrication, MQL) 技术是将压缩空气与极微量润滑液混合气化后，高速喷射到加工区，从而使刀具/切屑接触区得到冷却和润滑，显著降低切削油（液）用量，减少二氧化碳排放。

（二）关键技术

微量润滑 (MQL) 和增效微量润滑技术。

准干式金属切削系统在国内首创数字化精确油量供给，控制

精度可达 $1 \text{ ml} \cdot \text{h}^{-1}$ 。在国内率先研发成功单通道独立供给切削油和冷却液，显著提升微量润滑性能。

滚齿机加工范围突破达到模数 M1-M30。

（三）工艺流程

1、传统机床冷却润滑方式：确定切削液型号-采购-存储（量大占地多添加到机床冷却箱（几百升）-浇注式冷却润滑应用（烟气污染-地面污染）-废液回收处理（危险废弃物）。

2、微量润滑技术冷却润滑方式：确定切削液型号-采购-存储（量很少占地少）-添加到微量润滑设备小油箱（4 L）-浇注式冷却润滑应用（无烟气污染-无地面污染）。

3、环保型微量润滑油使用量是原切削液的约万分之一，而且不需要回收处理，减少使用量的同时，也降低了切屑和切削液的后处理成本。

（四）主要技术指标

一般金属切削加工行业可延长刀具使用寿命；切削（油）液的使用量可减少 95%以上，显著降低碳排放量。

六、典型案例及投资效益

典型案例：浙江双环环境改善及减碳设备改造项目

建设规模：在原滚齿机、插齿机设备增加微量润滑及机床防护设备。项目总投资 100 万元，建设期 1 年，减排量为每年 500 tCO₂，

可形成年经济效益 150 万元，项目投资回收期 8 个月。该技术大幅度降低油烟等排放，减少大气污染。降低厂区现场地面油污，减少切屑中含油，含废水所需的固体废物处理费用。通过减少切削液使用量和后处理，大幅度减少碳排放量。项目实施后，工厂现场环境得到显著改善。

其他典型案例：一汽解放传动事业部环境改善及减碳设备改造项目。

七、推广前景和减排潜力

该滚齿机年消耗 600 kg 润滑冷却油，每年可减少用油量 588 kg，年度减少二氧化碳排放量 2.21tCO₂。

目前全国已推广比例为 1%，2025 年预期推广比例为 5%，预期投资总额为 0.2 亿元，可形成年二氧化碳减排约 50000 tCO₂。

高炉富氢低碳冶炼技术

一、技术名称：高炉富氢低碳冶炼技术

二、技术类别：减碳技术

三、所属领域及适用范围：钢铁行业，适用于钢铁企业高炉炼铁工艺。

四、该技术应用现状及产业化情况

高炉富氢低碳冶炼技术适用于新建、改建高炉(450-6000m³)富氢冶炼技术的设计及运行，高炉喷吹富氢气体也可参照执行。目前，该项技术在河北省、山西省等已投入应用，在河北省内有1个应用案例，省外有3个应用案例。

五、技术内容

(一) 技术原理

通过高炉风口或炉身下部向炉内喷吹氢气，利用氢代替碳作为炼铁过程还原剂及燃料，降低了高炉炼铁工序的碳质燃料消耗，减少碳排放。

(二) 关键技术

该技术基于冶金环境下氢能利用的人-机-环境的本质化安全原理、氢能制储用等关键环节的界面链接技术、碳冶金到氢碳冶金高炉冶炼过程中的质能转变规律，研发了冶金用储输一体化大规模供氢系统、高炉多模式喷氢装备及高炉富氢冶炼操作工艺制度及系统，解决了氢气储输—富氢冶金—碳捕集循环的全链条工

序环节安全规模化用氢、稳定高效化富氢及绿色经济化制氢的氢冶金关键共性问题。

(三) 工艺流程

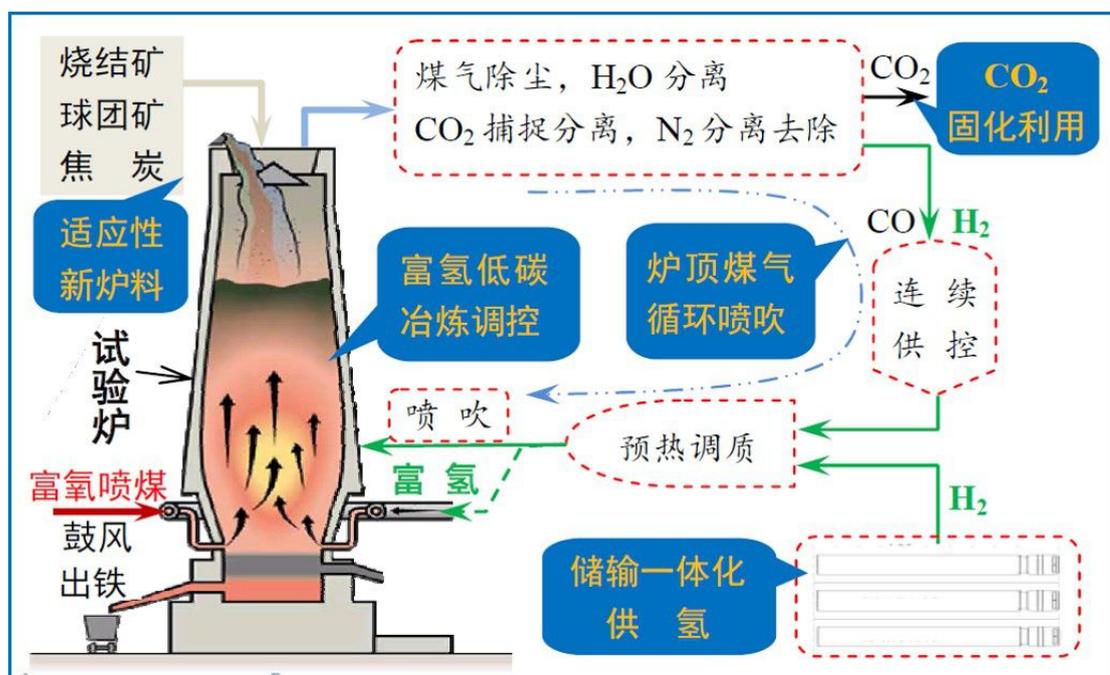


图8 工艺流程图

(四) 主要技术指标

纯氢最大喷吹量为 $250\text{m}^3 \cdot \text{t}^{-1}$;

氢气的一次利用效率大于 30%;

焦比降低 10%以上, CO_2 排放量减少 10%以上, 铁产量增加 13%以上。

六、技术鉴定情况

申请相关发明专利 9 项, 授权 6 项; 软件著作权 2 项; 团体标准 3 项。

七、典型案例及投资效益

典型案例 1: 30 万 $\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$ 绿电电解水制氢-450 m^3 高炉富氢冶炼-炉顶煤气循环工业化应用示范项目

建设规模: 该项目利用光伏发电等绿色能源, 建设制氢设备设施、储罐、减压阀组、输气管道及支架、工艺控制系统、安防控制系统、电气配套系统设施等。项目建成后单日可产氢 30 万 m^3 , 并可产出氧气 15 万 m^3 , 用于 450 m^3 高炉富氢低碳冶炼。该项目总投资 17985 万元, 建设期 1 年。项目年减排量为 11.5 万 tCO_2 , 碳减排单位成本为 156.39 元 $\cdot \text{t}^{-1} \text{CO}_2$ (十年平摊)。

经济效益计算: 电解水制氢及高炉喷氢后的经济效益变化包括: (1) 喷氢后焦比降低, (2) 产量提高, (3) 吨铁碳排放量减低所产生的碳税, (4) 电解水制氢制氧过程成本, (5) 制取氧气售卖效益, (6) 高炉炉顶煤气热值及量的变化带来的发电量变化。结合实际高炉采用富氢低碳冶金技术后运行数据及各类物料市场价格, 高炉在喷氢量为 200 $\text{m}^3 \cdot \text{t}^{-1}$ 时, 一座 450 m^3 高炉的年经济效益为 4831.40 万元。

八、推广前景和减排潜力

预计 5 年内该技术在河北省内推广比例达 15%, 总投资额约为 200 亿元, 每年节约焦炭实物量 267 万 t, 年减碳量 690 万 tCO_2 。

发泡炉尾气处理及余热回收利用装置

一、技术名称：发泡炉尾气处理及余热回收利用装置

二、技术类型：减碳技术

三、所属领域及适用范围：化工行业，适用于橡塑绝热保温材料发泡生产工艺。

四、该技术使用现状及产业化情况

该技术可用于橡塑绝热保温材料发泡生产工艺。目前，该技术在河北省内已有 2 个应用案例。

五、技术内容

（一）技术原理

将生产过程产生的发泡炉尾气所含烷烃可燃物进行高温裂解燃烧，产生的高温气体用于预热发泡炉发泡热风，既减少尾气纯燃烧消耗燃气，同时减少发泡炉电加热过程用电。

（二）关键技术

1、**有机尾气裂解燃烧技术**：将生产过程产生的发泡炉烟气进入高温燃烧室对所含可燃物质进行高温裂解燃烧，产生的热量进行发泡炉循环风预热，用于橡塑发泡产品进行工艺加热。

2、**热风循环技术**：按发泡炉发泡工艺要求，在发泡炉不同的发泡区域分段进行温度调控，热风循环满足不同阶段发泡温度需要。

3、**尾气余热回收利用技术**：经裂解燃烧热交换后的尾气，通过高压离子净化后还可将余热通过热交换器回收，用于洗浴、取

暖等。

（三）工艺流程

烟气高温裂解燃烧—预热升温发泡炉入炉气体—发泡炉分段热风循环—尾气净化排放。

主要技术指标

燃烧室温度大于 600℃，热交换后热风温度大于 200℃，尾气排放温度小于 80℃。

六、技术鉴定情况

该技术获得实用新型专利 1 项。

典型用户及投资效益

典型案例：华美节能科技集团有限公司尾气治理升级改造项目

建设规模：3 台发泡炉的尾气治理技术改造。主要改造内容：改造原尾气焚烧装置，增加裂解燃烧室，增加循环风预热系统及自动调控装置。项目总投资 300 万元，建设期 3 个月。单台发泡炉年减少用电消耗 120 000kwh，减少天然气消耗 60 000m³，减碳 182.1tCO₂，该项目 3 台发泡炉进行尾气治理技术改造后，年减碳量为 546.3tCO₂。

推广前景和减排潜力

目前，公司在河北省内的生产企业现有发泡炉 27 台（套），预计未来 2 年，27 台发泡炉全部使用该技术后，总投资额约为 2700 万元，年节约电力 324 万 kwh，年节约天然气 162 万 m³，年减碳量 4917tCO₂。

热泵烘干机控制节电技术

一、技术名称：热泵烘干机控制节电技术

二、技术类别：减碳技术

三、所属领域及适用范围：粮食、食品加工行业，适用于食用菌、果蔬、药材、粮食等烘干工艺。

四、该技术应用现状及产业化情况

该技术应用于食用菌烘干领域。目前，该技术在内蒙古、河北省已投入应用，推广比例约 9%。

五、技术内容

（一）技术原理

空气能热泵系统是一种高效、节能技术，通过吸收空气中的低端热能，压缩后转化为高端热能，为使用端提供热能。

（二）关键技术

将密闭空间内的热风温度和流量通过检测装置传输到控制系统，控制系统根据预设的工艺指标对设备进行控制，实现对设备运行的智能调节。

根据被烘干物的物理特性设置低温加热段、高温加热段、排湿段等段位的温度需求值。利用该技术，能够将烘箱内的实际温度准确反馈到控制系统，在减少设备无用做工同时，保证各段位的需求温度，在运行过程中节约电能，保证烘干物的色泽和品相。

（三）工艺流程

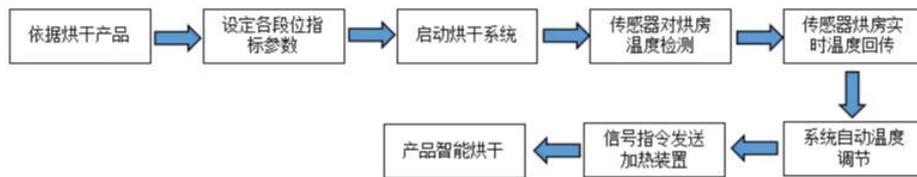


图 9 工艺流程图

(四) 主要技术指标

额定功率 11kw，COP ≥ 2.05。

六、技术鉴定情况

该技术获得软件著作权 1 项。

七、典型案例及效益

典型案例：河北燕塞生物科技有限公司热泵烘干机控制节电技术项目

建设规模：该项目总投资 122 万元，安装 12 台 15 匹热泵烘干机。其中，节电技术装置投资 6 万元，建设期 3 个月。项目年节省电能 57024 kwh，年减排 32.5 tCO₂，碳减排单位成本 153.8 元/tCO₂。

八、推广前景和减排潜力

目前，该技术在河北省推广比例为 9%左右，预期 5 年内在河北省推广比例达 55%左右，总投资额 0.03 亿元，节省电能总量为 1088199.2 kwh，减排量为 620.6tCO₂。

富氧燃烧废钢预热节能技术

一、技术名称：富氧燃烧废钢预热节能技术

二、技术类别：减碳技术

三、所属领域及适用范围：钢铁行业，适用于钢铁企业炼钢工艺。

四、该技术应用现状及产业化情况

该技术可广泛用于炼钢行业废钢预热，适用于新建钢厂或者钢厂废钢预热改造项目，目前在河北省已有 2 个应用案例，省外有 20 余家应用案例。

五、技术内容

（一）技术原理

1、高效燃烧理论

焦炉煤气采用富氧燃烧可一定程度解决空气混合燃烧的问题，利用焦炉煤气的成分和燃烧方程式计算得到焦炉煤气和富氧气的配比，通过各成分最大限度地充分燃烧来实现最佳的燃烧效果。

2、富氧燃烧技术理论

富氧燃烧技术是一种低 NO_x 节能减排燃烧新技术，与常规燃烧相比，富氧燃烧可提高火焰燃烧温度，达到 2700 °C 以上，比焦炉煤气的常规燃烧温度高出约 1100 °C，节能效果较明显，降低烟气排放量，减少空气中无用的氮气成分，从而减少烟气带走的热量，大大提高燃烧效率。

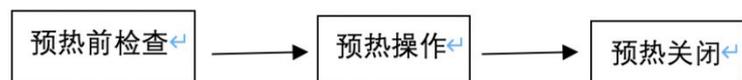
（二）关键技术

1、通过设计预热氧枪布置方式，由布置 3 根氧枪改为 4 根（中心位置增加 1 根），四支喷枪等面积的温差小，热传递时形成互补，使废钢预热更均匀，避免了钢包内不同位置温差过大的问题。

2、设计动态氧枪检测装置，通过采用编码器和高清视频监控来监测氧枪位置，可完成一键自动烘烤模式，随着钢包内废钢料面高度不断下降，氧燃烧喷枪随之不断下降，保持高度在 700~1000mm，提高预热效果，避免造成过氧化。

3、选用自产板边废钢，表面铁锈少，长度 $\leq 1.0\text{m}$ ，堆比重小，富氧燃气易于穿透，形成蜂窝状燃烧，温度相对均匀。采用磁盘钩机实现快速添加废钢，不影响钢包正常周转。在废钢烘烤期间增加底吹氩气，解决废钢预热后钢包透气性差的问题。

（三）工艺流程



（四）主要技术指标

实际使用过程中，预热废钢 10.1 t，预热时间 $\leq 10\text{ min}$ ，平均氧耗 $22.78\text{ m}^3 \cdot \text{min}^{-1}$ 、燃气耗 $28.17\text{ m}^3 \cdot \text{min}^{-1}$ 、升温速率 $112.37\text{ }^\circ\text{C} \cdot \text{min}^{-1}$ ，废钢表面烘烤温度均可达 $1000\text{ }^\circ\text{C}$ 以上。

六、技术鉴定情况

该技术授权实用新型专利 5 项。

七、典型案例及投资效益

典型案例 1：超高功率富氧燃废钢预热系统项目

建设规模：该项目安装废钢加热主体设备 2 套；钢包加、揭盖装置 2 套；配套的动力介质管线（焦炉煤气、氧气、净环水、氮气）和供电线路；以及相关配套土建基础。该项目总投资 713 万元，建设期 2.5 个月，减排量每年 151584.1tCO₂，可形成年经济效益 2210 万元，预期投资回收期为 4 个月。

富氧燃烧可以降低烟气排放量，减少空气中无用的氮气成分，从而减少烟气带走的热量，大大提高燃烧效率，有利于降低污染和能源消耗。

典型案例 2：废钢加热富氧燃烧装置项目

建设规模：该项目共建设 5 套纯氧燃烧预热废钢设备，氧燃枪直径达 426 mm，长度 12 m。该项目总投资 1040 万元，建设期 5 个月，年减排量为 101208 tCO₂，可形成年经济效益 1668 万元，预期投资回收期为 7.5 个月，减碳成本 102.76 元/tCO₂。

八、推广前景和减排潜力

目前，该技术在河北省推广比例约为 10%，预计 5 年内该技术在河北省内推广比例达到 30%，预期 5 年内总投资额 5008 万元，年减碳量 391.65 万 tCO₂，5 年总减碳量为 1958.25 万 tCO₂。

全氧窑炉综合减碳技术

一、技术名称：全氧窑炉综合减碳技术

二、技术类别：减碳技术

三、所属领域及适用范围：建材行业，适用于玻璃棉生产企业玻璃窑炉生产工艺。

四、该技术应用现状及产业化情况

该技术应用于玻璃窑炉制造拉丝工艺。目前，该技术在河北省、江西省等已投入使用，推广比例约 1%。

五、技术内容

（一）技术原理

1、通过设计换热器通路结构和改变换热管材质，利用双级进风实现不锈钢耐高温 1100℃。

2、离心机通过多路水循环系统，提高水流速度、温度等参数达到离心机轴承使用的稳定性、火口间隙的精准度，大幅提升离心机的稳定性能，提高了玻璃丝拉伸过程中玻璃的粘度，玻璃配方中降低纯碱用量 $40 \text{ kg} \cdot \text{t}^{-1}$ 。

（二）关键技术

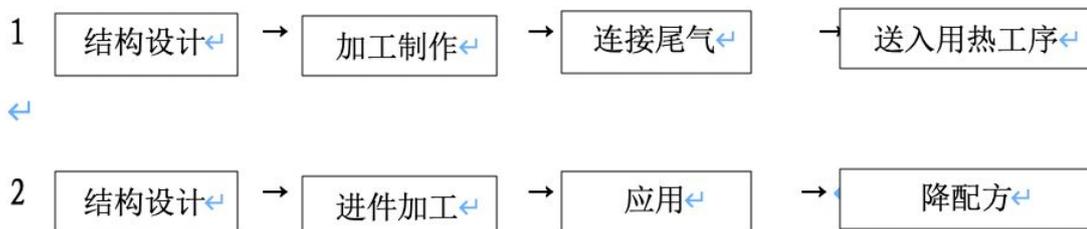
1、不锈钢材质换热器达到 1100-800℃的稳定性

2、离心机的结构与制造

离心机内外火口循环水，改变管路中通路直径。

单路进水变多路进水。

(三) 工艺流程



(四) 主要技术指标

离心头的限速度每秒 $62.8 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ 。

六、典型案例及投资效益

典型案例：河北格瑞玻璃棉制品有限公司 2023 年全氧窑炉综合减碳技术项目

建设规模：项目共包括 2 台高温换热器、2 台低温换热器、1 台 75 kW 风机、5 台离心机，项目总投资 86.3 万元，建设期 1 年。项目年节约天然气 28.8 万 m^3 ，年减排量 1317 tCO_2 ，碳减排单位成本为 109 元/ tCO_2 。

七、推广前景和减排潜力

河北省现有玻璃棉窑炉 8 台，预计 5 年内该技术在河北省推广比例达到 100%，所有设备全部投入应用后总投资额为 690.4 万元，每年节约天然气实物量 230.4 万 m^3 ，可形成年碳减排能力 1.05 万 tCO_2 。

混凝土路面、墙体建筑垃圾代替石碴生产建筑材料工艺

一、技术名称：混凝土路面、墙体建筑垃圾代替石碴生产建筑材料工艺

二、技术类别：减碳技术

三、所属领域及适用范围：建材行业，适用于混凝土路面、墙体建筑垃圾等资源化利用。

四、该技术应用现状及产业化情况

该项技术应用于混凝土路面、墙体建筑垃圾代替石碴生产新型建筑材料，目前在北京、河北、山东、河南、山西、安徽等地已投入应用。

五、技术内容

（一）技术原理

将可利用的混凝土路面、墙体建筑垃圾粉碎成建筑垃圾再生骨料，添加水泥、水、苯板等材料，使用专业成型机生产线，生产出高精度、高强度的轻集料混凝土小型空心砌块、复合自保温砌块、灌孔混凝土装配砌块等不同规格型号的建材产品。

（二）关键技术

1、砌块成型机专用设备

（1）利用控制液压系统的流量压力，使用电机带动振动器，借助振动器与模具的悬挂式连接方式，完成垂直同步振动。设备

激振力强大、噪音低，可确保生产的砌块高度一致、密度均匀，产品密实度和模具的使用寿命得到有效提升。

(2) 采用强制式快速布料装置，根据不同模具型腔的排布，在基料料车中装有多排耙料轴和耙料杆，可大大改善布料效果，解决了快速生产薄壁高砖的技术难题。

(3) 采用先进的机电液一体化控制技术，分别控制布料和加压振动成型，布料均匀，提升砌块成型效果。

2、根据建筑垃圾再生砌块原料的组成、密度及吸收率等参数，通过计算建筑垃圾再生原料和混凝土的配比及设备的技术改进，实现每台砌块成型机每年消耗建筑垃圾 120000m³，实现建筑垃圾的固废利用。

(三) 工艺流程

将混凝土路面、墙体建筑垃圾通过建筑垃圾破碎站进行破碎、筛选，可用的骨料与水泥混合搅拌，经过砌块成型专用设备，振动成型。

(四) 主要技术指标

1、成型机架振幅 $\leq 0.145\text{mm}$ (标准值: 加速 $>8\text{g}$, 机架振 $\leq 0.10\text{Ap}=1.190\text{mm}$);

2、振动频率达到 65–75Hz (交流电 50Hz, 通过变频器调整达到 49–56Hz, 再通过电机大皮带轮 ($\phi 160\text{mm}$) 带动振动器小皮带轮 ($\phi 120\text{mm}$), 达到 65–75Hz);

3、成型周期达到 15–18 s;

4、定高装置确保产品的规格误差不大于 $\pm 0.5\text{mm}$ 。

六、技术鉴定情况

该技术获得发明专利 1 项，实用新型专利 6 项，生产的再生产品普通混凝土小型空心砌块、复合保温砌块通过绿色建材认证。

七、典型案例及投资效益

典型案例：河北金吉御建材制造有限公司年消纳 3000000 m^3 建筑垃圾项目

建设规模：该项目占地 70 亩，总建筑面积约为 12000 m^2 。2020 年建成投产，投入使用破碎生产线 1 条，建筑垃圾自动化砌块成型生产线 2 套，具备年处理建筑垃圾 3000000 m^3 能力。项目总投资 7000 万元，建设期 2 年。年减排量 855.5 tCO_2 ，可节约成本 600 万元，实现年产值 8600 万元，预期投资回收期为 5 年，减碳单位成本为 5455 元/ tCO_2 。

其他典型案例：衡水新伟建材有限公司年消纳 3200000 m^3 建筑固废项目

八、推广前景和减排潜力

目前，河北省推广比例约为 5%，到 2029 年，预期推广比例为 6%左右，预计总投资额 10 亿元。混凝土路面、墙体建筑垃圾可替代石渣生产建筑材料，按照开采每吨矿石需要耗费 0.5 度电计算，年消纳 1000 万吨建筑垃圾，每年可减排 2852 tCO_2 。

【储碳类技术】

燃煤锅炉烟气碳捕集与利用技术

一、技术名称：燃煤锅炉烟气碳捕集与利用技术

二、技术类别：储碳技术

三、所属领域及适用范围：化工行业，适用于化工、煤电企业燃煤锅炉二氧化碳捕集与利用。

四、该技术应用现状及产业化情况

该技术可应用于电力、钢铁、化工等行业，目前在河北省内有 1 个应用案例，省外有 1 个应用案例。

五、技术内容

（一）技术原理

利用相变吸收技术捕集燃煤锅炉烟气中的 CO_2 ，直接用于醋酸生产工艺，显著减少了燃煤锅炉 CO_2 排放。

（二）关键技术

吸收剂采用双相分离（相变）有机胺溶剂，降低反应过程中水分导致的潜在能量损失，大幅降低运行成本。

（三）工艺流程

烟气经鼓风增压后进入水洗单元，脱除烟气中较低浓度的 NO_x 和 SO_x 。脱除后的烟气进入 CO_2 吸收塔，采用复合有机胺溶液做吸收剂，通过与烟气在吸收塔内逆流接触达到吸收脱除 CO_2 的目的。

吸收后的富液经泵和中间换热后进入再生塔中解吸。解吸完成的贫液经换热降温后回到吸收塔循环使用，再生塔塔顶获得 CO₂ 产品气。

(四) 主要技术指标

CO₂ 年捕集量：2 × 10⁵t；

CO₂ 捕集率：≥90%；

年运行时间：8000h；

捕集 CO₂ 纯度：99.9% (干基)。

六、典型案例及投资效益

典型案例：燃煤锅炉烟气碳捕集与利用项目

建设规模：对锅炉治理后的烟气进行 CO₂ 捕集，将捕集的 CO₂ 回用于 CO 生产系统，用以供给醋酸生产使用。项目规划占地面积约 2100 m²，采用先进工业烟气减污降碳技术，主要建设预洗涤系统，CO₂ 吸收系统，CO₂ 解吸系统，尾气处理系统，热交换及冷却系统和胺净化单元。该项目总投资 19457 万元，建设周期 12 个月，设计烟气处理能力 1.2 × 10⁵ Nm³/h，年捕集量 2 × 10⁵ tCO₂。

环境效益：该项目捕集后的 CO₂ 可在企业内部直接管道输送至下游工艺，代替原有液态 CO₂ 外购方式，节省了压缩与气化过程设备投资与能耗，同时每年减少近 4000 辆重型大卡运输液态 CO₂ 带来的污染排放。碳捕集过程对多种污染物有进一步净化作用，主要污染物排放水平显著低于国家排放标准。

社会效益：该项目对燃煤锅炉烟气多污染物深度净化后进行

CO₂高效捕集，用作醋酸生产原料，实现了 CO₂高值化循环利用；该项目首次建成相变吸收耦合催化解析碳捕集示范工程，应用多种新型装备与工艺实现清洁高效烟气碳捕集。

七、推广前景和减排潜力

预计 5 年内该技术在行业内的推广比例达到 10%，预期 5 年内的总投资可达 19.457 亿元，年减排能力 1371319.4 t CO₂。

水泥窑尾气捕集提纯食品级 CO₂（干冰）技术

一、技术名称：水泥窑尾气捕集提纯食品级 CO₂（干冰）技术

二、技术类别：储碳技术

三、所属领域及适用范围：建材行业，适用于新型干法水泥熟料生产线。

四、该技术应用现状及产业化情况

该技术可应用于新型干法水泥生产线。目前，该技术在河北省外有 1 家应用案例。

五、技术内容

（一）技术原理

将水泥窑尾气中的 CO₂ 从 20% 捕集提浓到 95% 以后，再采用吸附精馏法 CO₂ 提纯液化系统，生产出液态食品级 CO₂ 产品，再进一步可生产固态干冰产品。

（二）关键技术

捕集提浓。

吸附精馏。

（三）工艺流程

1、捕集提浓工序

含有二氧化碳浓度为 20% 左右的高温水泥窑炉尾气，首先进入水洗塔降温，经脱硫液洗涤后，除去其中的二氧化硫，然后由引风机送入吸收塔，混合气中的二氧化碳被化学吸收液吸收，吸收

二氧化碳后的富液经热交换器后进入再生塔，经过塔底加热解吸排出再生塔，再冷却后得到 95%左右浓度的二氧化碳气体，进入缓冲罐。

2、吸附精馏工序

提浓后的二氧化碳原料气体进入压缩机增压后进入脱硫塔、干燥塔、吸附塔脱除各种杂质后进入冷凝器中被冷冻机降温液化，二氧化碳由气态变成液态，再进入精馏塔中，轻组分氢气、氮气等杂质全部从塔顶除去，塔底得到纯度为 99.9%以上的食品级二氧化碳产品，进入球罐中储存待售或者制干冰。

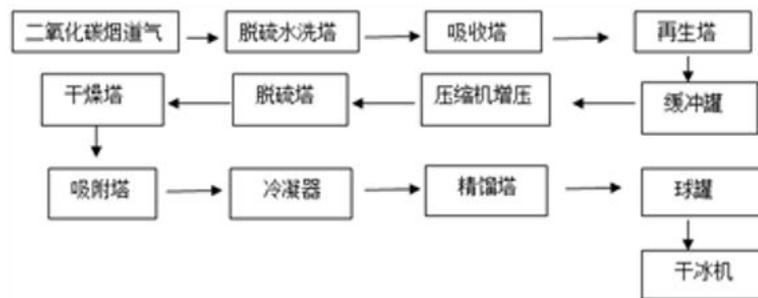


图 10 工艺流程图

(四) 主要技术指标

窑炉尾气处理量：50000 Nm³·h⁻¹；

新鲜水：17070 m³·a⁻¹；

电：4039.2 万 kW·h·a⁻¹。

六、技术鉴定情况

该项技术使用了以下两项专利：回收混合气体中二氧化碳的复合脱碳溶液 专利号：ZL200710011329.8；吸附精馏技术提纯二氧化碳装置 专利号：ZL200810010905.1。

七、典型案例及投资效益

典型案例：唐山市燕南水泥有限公司水泥窑尾气捕集提纯食品级 CO₂（干冰）环保科技项目

建设规模：该项目总投资 11031.51 万元，建设期 18 个月，预期投资回收期为 3.24 年，储碳单位成本为 91.9 元/tCO₂。

八、推广前景和减排潜力

目前，该技术在河北省首次被应用。预计未来 5 年，推广比例将达到 8%左右，总投资额约为 10 亿元，年碳减排潜力约为 64 万 tCO₂。

【零碳类技术】

村镇污水生态治理及减碳增汇资源化利用技术

一、技术名称：村镇污水生态治理及减碳增汇资源化利用技术

二、技术类别：零碳、储碳技术

三、所属领域及适用范围：环保行业，适用于黑臭水体处理、农村生活污水处理及废物利用。

四、该技术应用现状及产业化情况

该技术已在多个项目示范应用，处于小规模产业化阶段。

五、技术内容

（一）技术原理

采用生态学方法，构建稳定的污水-藻类-鱼类生态系统，对污水进行治理的同时充分利用水中的营养物，养殖藻类和鱼类，达到治污、减碳和储碳的目的。

（二）关键技术

菌藻蚤平衡+人工智能管控。

（三）工艺流程

来水→初沉池→初级生化→景观瀑布→生态湿地→高级生化池→生态养殖池。

（四）主要技术指标

出水水质满足类地表水IV类水质要求，每亩水面每年可固碳50-100t。

六、典型案例及投资效益

典型案例：保定市高阳县小王果庄镇西留果庄村污水生态治理及减碳增汇资源化利用项目

建设规模：该项目利用农村原有坑塘，对坑塘进行基础整形、护坡加固、防渗处理，增加污水处理设施，并构建水生植物—藻类—鱼类生态系统。项目投资50万元，建设期3个月，可形成年经济效益3-5万元，预期投资回收期为10年。实现年固碳200 tCO₂左右。

其他典型案例：高阳县西演镇布里村污水治理及减碳增汇资源化利用项目

七、推广前景和减排潜力

淡水藻具有较强的固碳能力，每亩水塘形成菌-藻-植-鱼的水生生态系统后可实现78吨/年的固碳量，该值明显高于一亩森林的固碳量20-50吨/年。

以高阳县为例，现推广比例为2.7%，到2025年预期推广比例为30%左右。该技术预计总投资额1.1亿元，2025年预计可形成年固碳60000 t（800亩）的年碳减排潜力。