

中华人民共和国生态环境部办公厅

环办科财函〔2023〕11号

关于印发《国家清洁生产 先进技术目录（2022）》的通知

各省、自治区、直辖市、新疆生产建设兵团生态环境厅（局）、发展改革委、工业和信息化主管部门，生态环境部、国家发展改革委、工业和信息化部有关直属单位，各国家环境保护工程技术中心和重点实验室、国家工程研究中心、全国性行业组织及有关单位：

为深入贯彻党的二十大精神，积极落实《中华人民共和国清洁生产促进法》《“十四五”全国清洁生产推行方案》有关要求，充分发挥清洁生产在深入打好污染防治攻坚战和推动实现碳达峰碳中和目标中的重要作用，生态环境部会同国家发展改革委、工业和信息化部征集并筛选了一批清洁生产先进技术，编制形成《国家清洁生产先进技术目录（2022）》，

现印发给你们，请结合实际加大清洁生产先进技术的推广应用力度。



(此件社会公开)

国家清洁生产先进技术目录（2022）

序号	技术名称	技术主要内容	工艺路线	适用范围	节能效果	节水效果	节材效果	减污效果		降碳效果	
								产生量	排放量	节能降碳	工艺降碳
1	多燃料多流程循环流化床锅炉的炉膛由单级变为三级，并将一级循环变为两级炉膛循环，加大了炉膛的有效燃烧行程，燃烧更充分，并可实现流化床气固中温分离，有利于降低灰中的碱金属粘附性，避免分离器结焦、积灰等问题。	燃料由料斗送入炉膛内，沿炉膛与物料进行混合，在主燃烧室内上升进入副燃烧室，一部分物料从一次物料循环入口返回主燃烧室形成第一级物料循环；另一部分物料从副燃烧室进入燃尽室，然后由分离器进行分离，并经料腿返回，形成二级物料循环。锅炉尾气经处理达标排放。	适用于生物质、生物残渣、煤炭、煤矸石等多种固体燃料的高效清洁燃烧，可用于城镇、工业园区和企业集中供热等。	以生产1吨工业蒸汽为例，综合能耗为0.102吨标准煤，实际热效率为88%~91%，根据《工业锅炉能效限定值及能效等级》（GB 24500-2020），达到一级能效标准。	以生产1吨工业饱和蒸汽为例，按最大2%计算，年排放废水量约144吨，技术应用至市政污水管网。应用该技术后，由于湿法脱硫系统补水量为57千克/吨蒸汽，年补水量需410吨左右，现锅炉排污水回收利用于脱硫补水，则年节约水量约为144吨。	/	/	/	采用该技术的锅炉每生产1吨蒸汽，相较于传统的工艺，节约标准煤0.0405吨，减少二氧化碳（CO ₂ ）排放量约0.1053吨。	该技术以生物质整体替代燃煤工艺，以原燃煤锅炉生产1.25MPa工业饱和蒸汽为例，需消耗标准煤0.1425吨，则生物质完全替代后，每生产1吨蒸汽减少CO ₂ 排放约0.3705吨。	

序号	技术名称	技术主要内容	工艺路线	适用范围	节能效果	节水效果	节材效果	减污效果		降碳效果	
								产生量	排放量	节能降碳	工艺降碳
2	工业复热交换技术	采用“初级过滤-滤网-丙纶短纤维工业滤布”三级过滤技术对高温废水进行处理，提高对废水的毛绒、纤维、小颗粒等污染物的过滤效果，降低废水中污染物对换热系统的不利影响（贴敷、板结、堵塞等）；采用两级板式换热与热泵技术相结合的分离多级高温废水中的余热，该技术可把工业废水从70~80℃降温至20~30℃排放，可回收废水中75%以上的热量，机组综合能效比达到15，回收热量可加热循环水至65~75℃供生产使用；同时产生的制冷量可以为生产车间降温，改善工作环境。	(1) 废水处理：收集热源，通过水泵将高温废水收集至污水箱。 (2) 热量交换：清水通过板换先后与热泵机组产生的热量和污水的热量进行交换，加热后的热水进入热水箱供生产使用。 (3) 冷量利用：热泵机组产生的冷量通过板式换热器由污水带走，或者通过新风机组供车间夏季降温，用于改善工作环境。 (4) 温度控制：清水的出水温度和污水的出水温度由可编程序控制器(PLC)控制电动调节阀的开度，调节出水量，达到设定的温度。	适用于印染、食品、啤酒、硅加工等具有高温排放废水且需要高温处理回流的领域。	以实施的工程项目为例，废水量300吨，工业废水温度由70℃降至20℃，回收热量可用于生产70℃热水280吨/日，每天节约标准煤2.75吨，年节能量约为1000吨标准煤。	/	/	年节能量约1000吨标准煤，可减少二氧化硫(SO ₂) 8.5吨，减少氮氧化物(NO _x) 7.4吨。	年节能量约1000吨标准煤，可减少CO ₂ 排放量约2600吨。	/	/

序号	技术名称	技术主要内容	工艺路线	适用范围	节能效果	节水效果	节材效果	减污效果		降碳效果		
								产生量	排放量	节能降碳	工艺降碳	
3	大型跨临界二氧化碳制冷技术	采用大功率二氧化碳压缩机多头并联技术,可实现2~13台压缩机并联运行,满足工业级大功率需求。单机采用大型80匹跨临界二氧化碳压缩机,制冷量200千瓦(kW)左右。采用大容量集中分油技术,实现常温分离,分油速度快,分离率90%以上。采用双级蒸发系统,组合调节减压,多级减压器组合节流装置,配合专用控制算法工具控制二氧化碳流量,实现对二氧化碳再热的高精度调节,以及制冷剂工作容量自动调节,油温智能控制。	(1)绝热压缩:电力驱动二氧化碳压缩机,将气态二氧化碳压缩升温至20℃左右,进入超临界状态,此时具有极高的热焓。 (2)等压冷却:超临界二氧化碳向需要加热的介质(如水、空气等其他热媒)快速放热,将介质加热的同时也降低二氧化碳的温度,实现制热过程。 (3)绝热膨胀:二氧化碳快速减压、膨胀、液化,恢复吸热能力;等温膨胀蒸发,液态二氧化碳从需要冷却的介质中快速吸热,使介质快速降温,实现制冷。	适用于化工、制药、矿山、电子、材料等领域有脱水、低温干燥、制冷、制热等需求的场合。	以某锂电池生产企业为例,单机改造前年耗电116.8万千瓦时,改造后年耗电55.8万千瓦时,年节能61.0万千瓦时,综合节电率52%。	循环冷却塔实际耗水率为2%~5%。以功率2500kW,风量为25000立方米/小时(m³/h)为例,年节约冷却水约40万吨。	/	/	以200台机组(功率2500kW,风量25000m³/h)为例,年可节约标准煤约3.7万吨,相应每年可减少CO ₂ 排放量约9.62万吨。	以200台机组(功率2500kW,风量25000m³/h)为例,年可节约标准煤约3.7万吨,相应每年可减少NO _x 减排约274吨。	节能降碳	工艺降碳

序号	技术名称	技术主要内容	工艺路线	适用范围	节能效果	节水效果	节材效果	减污效果		降碳效果	
								产生量	排放量	节能降碳	工艺降碳
4	基于生物质气化热解过程的衍生产品联产，生物质气化热解气（氧气）反应提供热量用于生物质气化，燃烧产生的烟气与热解气混合成为生物质燃气，挥发分析出后剩余的生物质低热值燃气稳定燃烧效率大于99%，燃气高效清洁燃烧与燃气联产过程的耦合，系统热效率≥85%。生物质原料水分≤30%，热值≥3000千卡/千克(kcal/kg)，颗粒度≤8厘米(cm)。	生产的原辅料包括生物质原料、电力、水、柴油等。本技术将生物质中的挥发分析出成为热解气，部分热解气与空气（氧气）反应提供热量用于生物质热解，燃气用于生物质燃气，燃烧产生的烟气与热解气混合成为生物质燃气，挥发分析出后剩余的生物质低热值燃气稳定燃烧效率大于99%，燃气高效清洁燃烧与燃气联产过程的耦合，系统热效率≥85%。生物质原料水分≤30%，热值≥3000千卡/千克(kcal/kg)，颗粒度≤8厘米(cm)。	适用于农林废弃物综合利用，替代燃煤、天然气等化石能源供热、发电。	单位蒸汽综合能耗0.08吨标准煤/稻壳炭综合能耗1.0吨标准煤。	/	/	稻壳炭产率约28%。	/	/	以2台DBXG-3000下吸式固定床气化炉为例，年消耗稻壳等2.4万吨，年供蒸汽量6.0万吨，年产生生物质炭0.72万吨，年替代标准煤1.08万吨，减少CO ₂ 排放量约2.81万吨。	

序号	技术名称	技术主要内容	工艺路线	适用范围	节能效果	节水效果	节材效果	减污效果		降碳效果	
								产生量	排放量	节能降碳	工艺降碳
5	具有自涂热的上升余热回收技术	开发了纳米涂层专用的清洗系统，在保障炉体稳定运行的基础上，取得了节能环保效益。	除盐水经热除氧产生的104℃除氧水送至汽包，水汽包与上升管换热器之间通过强制循环泵进行强制循环，并在上升管换热器内与炼焦生产过程中炭化室煤饼产生的高温荒煤气进行换热，所产生水汽混合物流经管道引回到汽包内进行水汽分离。产生的0.6~4.0 MPa 饱和蒸汽，其中一路经减压后送往除氧器除氧，另一路输送厂区蒸汽管网。	适用于焦化所有新建及改造的炉型，包括捣固顶装焦炉。	一套系统降低能耗，平均工序能耗小于10千克煤/吨焦。	水资源消耗量与产蒸汽量之比约1.05，若年产量在21.16万吨，节约冷却循环水量10~16吨/小时(t/h)，冷凝水可以全部回用，除盐水量可以减少90%。	/	以年产焦炭170万吨荒煤气余热回收项目为例，年节约513吨标准煤，可分别减少SO ₂ 、NO _x 、颗粒物的产排量（进行脱硫脱硝除尘前）10吨、6.6吨、4.7吨。	以年产焦炭170万吨荒煤气余热回收项目为例，一套余热回收系统产生0.6~0.8 MPa饱和蒸汽124千克/吨焦，相当于平均降低炼焦工序能耗12.13千克标准煤/吨焦，减排31.54千克二氧化碳/吨焦；该技术每年可减少氨水、循环水、制冷水的电力消耗约150万千瓦时，年节约457.5吨标准煤，折算减少CO ₂ 排放量约1189.5吨。	/	

序号	技术名称	技术主要内容	工艺路线	适用范围	节能效果	节水效果	节材效果	减污效果		降碳效果	
								产生量	排放量	节能降碳	工艺降碳
6	钢铁烧结内循环降污协同减碳技术	根据烧结风箱烟气排放特征（温度、氧含量、污染物浓度等）差异，选择特定风箱段的烟气循环回烧结台车表面，重新用于烧结。研发了烧结烟气内循环工艺体系，提出烧结过程多污染物协同减排，实现烧结烟气的总量减排，提高烧结废气余热利用效率，降低烧结生产过程的固体燃料消耗，优化烟气分配器和密封罩内的流场分布，开发了烟气内循环装备。	选择特定风箱段的烟气由烧结机风箱引出，经除尘系统、烟气分配器后通过密封罩，重新参与烧结过程。	适用于钢铁式烧结的烟气综合治理。	通过高温余热利用，降低废气循环回烧结，提高烧结固体燃料消耗5%以上，烧结体减少1.56克标准煤/吨铁。	/	/	降低烧结烟气产生总量20%以上。	降低NO _x 、一氧化碳（CO）等污染物排放量20%以上。	在烟气循环率25%时，节煤约2.5千克标准煤/吨烧结矿，减少CO ₂ 排放6.50千克二氧化碳/吨烧结矿。外排总烟气量降低20%，后续环保设备运行电耗降低约为1.28千瓦/吨烧结矿，折合吨烧结矿减少CO ₂ 排放量约1.02千克。	/

序号	技术名称	技术主要内容	工艺路线	适用范围	节能效果	节水效果	节材效果	减污效果		降碳效果	
								产生量	排放量	节能降碳	工艺降碳
7	亚硫酸法镀金无氰技术	采用亚硫酸盐镀金工艺体系，使用双配体辅助络合剂及具有协同效应的组合添加剂成分，大幅提高镀液的稳定性，改变黄金材料的晶粒结构，提升产品质量和应用范围，从源头上实现无毒、无害原料替代。镀液连续使用无金歧化析出，分散能力达75%，电流效率≥98%，镀金层硬度≤HV90，镀金层纯度约99.99%。	对镀件进行清洗、装挂、前处理、无氰镀金（以雷酸法制备亚硫酸金钠水作为镀液主料；使用辅助络合剂设计亚硫酸金钠镀液骨架型配方，稳定镀液；选择添加剂，调节镀液功能（性）、后处理、清洗完成电镀。	适用于软性和装饰性电镀。	与含氰镀金工艺对比，能耗降低约20%。	与含氰镀金对比，节水约80%。	黄金材料利用率达99.98%；无需氰化物处理设备处理废弃物及辅料。	相比含氰镀金技术，单位产品减少CO ₂ 排放20%。			

序号	技术名称	技术主要内容	工艺路线	适用范围	节能效果	节水效果	节材效果	减污效果		降碳效果	
								产生量	排放量	节能降碳	工艺降碳
8	包装印刷剂加工装备应用	采用无溶剂的聚氨酯胶粘剂，通过双组分胶精密混胶装置进行在线混配，实现胶粘剂在高速下精密涂布和不同功能基材的高精度复合，再将复合材料进行低温固化，实现复合工艺的节能减排。最大材料宽度 500~1300 毫米，最高生产速度 200~450 米/分钟，涂胶量 0.8~2.5 克/平方米，涂胶精度±0.1 克/平方米，混胶比精度±1%，成品率不低于 98%。	<p>(1) 放卷：在一定的张力控制下，将待复合基材平稳地展开。</p> <p>(2) 上胶：在一定温度下，将双组分胶粘剂按照一定比例进行均匀混合。</p> <p>(3) 涂胶：按照复合膜结构和使用要求，将混合胶粘剂适量地涂覆在基材上。</p> <p>(4) 复合：在适当的均匀的压力下，将已涂胶的基材与另一基材进行粘合。</p> <p>(5) 收卷：将粘合的复合膜在适当张力下进行卷取。</p> <p>(6) 固化：在一定温度的环境中进行充分反应和固化。</p>	适用于不同类别的塑料薄膜、镀膜、薄铝箔和纸、铝箔和阴阳膜的高速复合。	使用无溶剂复合设备（即最大幅宽 1300 毫米，最高机械速度 400 米/分钟），以年产能 3600 万平方米为例，全年可节约电约 38 万度，可节约标准煤约 115.9 吨。	/	使用无溶剂复合设备（即最大幅宽 1300 毫米，最高机械速度 400 米/分钟），以年产能 3600 万平方米为例，溶剂节约量约 144.5 吨/年；胶水节约量约 11 吨/年。	以年产能 3600 万平方米为例，在复合环节可从源头上减少挥发性有机污染物（VOCs）产生量约 149 吨/年。	以全年节电 38 万度计算，可节省约 115.9 吨标准煤，年减少 CO ₂ 排放量约 301.34 吨。	以 1 吨 VOCs 减少 CO ₂ 3.7 吨计算，年减少 CO ₂ 排放量约 551.3 吨。	

序号	技术名称	技术主要内容	工艺路线	适用范围	节能效果	节水效果	节材效果	减污效果		降碳效果	
								产生量	排放量	节能降碳	工艺降碳
9	硫化氢回收及循环利用技术	以苯胺、二硫化碳和硫磺为主要原料采用改进的溶剂法合成硫化促进剂 M，在合成工序采用高压反应釜，增加机械搅拌，改进温度测量系统，减少反应时间。萃取过程采用全封闭回收循环系统，与传统碱法工艺相比无废水产生。反应产生的硫化氢气体回收硫磺并作为原料重新进入系统内，实现完整的硫磺循环。同时，硫回收装置副产中压蒸汽，可作为其他装置热源使用。	硫化促进剂 M 采取“无水溶剂法”，主要工艺包括高压合成-萃取离心-烘干包装。高压合成产生的硫化氢气体，采用克劳斯炉装置进行处埋，在催化剂的作用下生成硫磺与水，硫磺作为硫化促进剂 M 的原料进行回收再利用。尾气经深冷回收有效成分后进入克劳斯炉装置燃烧回收热量。	适用于橡胶硫化促进剂生产，该类为噻唑类和胺类原料，用于浮选、树脂载体、化学电镀、金属防腐以及医药等领域。	传统碱法产品综合能耗为 580 千千瓦时/吨，蒸汽消耗 645.98 吉焦/吨，天然气消耗 5.12 吨（GJ/t），天然气的消耗 83.81 立方米/吨，综合能耗 470.84 千千瓦时/吨，降低产品能耗 109.16 千标准煤。	与传统碱法工艺相比，每吨产品可减少烧碱 1.3 吨，回收硫磺可满足生产需求，无需外购，溶剂甲苯除每吨产品 20~30 千克自然消耗外，全部回收利用，回收率达 99% 以上。	与传统碱法工艺相比，无废水产生。	与传统碱法工艺相比，无废水产生。	该技术与传统碱法工艺相比每吨产品降低能耗 109.16 千标准煤，可实现吨产品减少 CO ₂ 排放量约 283.81 千克。		

序号	技术名称	技术主要内容	工艺路线	适用范围	节能效果	节水效果	节材效果	减污效果		降碳效果	
								产生量	排放量	节能降碳	工艺降碳
10	联碱余热回收及工业烧碱回用节能装置	利用溴化锂装置制冷，代替氨压缩机制冷，消除重大危险源氨储罐，解决液氨制冷工艺带来的安全问题。回收煅烧系统余热，极大降低系统能耗。采用预冷析装置，将联碱法纯碱生产中氯化铵母液降温至结晶析出临界点以下，降低结晶段氯化铵母液冷冻负荷，同时解决母液温度过低容易结晶堵塞换热器的问	(1)溴化锂制冷：利用洗涤塔回收煅烧热量，通过热水泵送至溴化锂发生器，发生器的低温水再返回洗涤塔循环使用。溴化锂机组制冷出冻水用于冷析结晶，出水抽至溴化锂机组，循环使用。 (2)预冷析技术工艺流程：来自换热后的氨母液预冷析结晶，换热后的冷氨母液再溢流进冷析结晶器进一步降温，析出氯化铵结晶。盐析结晶器的母液溢流进外冷器管间与氨换热后，循环使用。	适用于联碱法纯碱生产，应用于纯碱行业的余热回收利用节能项目。	技术应用后联碱单位产品耗电分别为214千瓦时/吨碱、166千瓦时/吨碱，电耗单位产品下降48千瓦时/吨碱，以联碱年产60万吨纯碱为例，可节约新鲜水1000立方米/年。	以联碱年产60万吨纯碱为例，相比传统氨压缩机液氨制冷工艺，本技术可减少换热器水洗，可节约新水1200吨/年。	采用溴化锂制冷技术来代替氨压缩机冷技术，不产生废气、有害气体和固体废物。	减少无组织排放，如排油水、氨系统及冰机系统放空等，可减少外排水1200吨/年。	以联碱年产60万吨纯碱为例，全年节电量约为2880万千瓦时，每年减少CO ₂ 排放量约22838吨。	/	工艺降碳

序号	技术名称	技术主要内容	工艺路线	适用范围	节能效果	节水效果	节材效果	减污效果		降碳效果	
								产生量	排放量	节能降碳	工艺降碳
11	电石合成氯乙烯用型汞循环利用技术	通过煤改气、煤改电升级节能技术，采用DCS（分布式控制系统）自动控制氯化汞合成过程，提高氯化汞品质；应用纳米技术装备，实现四氯化汞（K ₂ HgCl ₄ ）覆盖膜负载，提高触媒活性；利用控制氯蒸馏，实现废汞触媒中汞的清洁回收。	对回收的废汞触媒进行预处理，反应合格后送至竖管蒸馏炉蒸馏，汞蒸气经冷凝回收绝大部分汞，金属汞与氯气反应得到产品氯化汞，通过氯化汞与活性炭浸渍反应得到纳米型低汞触媒，作为电石法生产聚氯乙烯的催化剂使用，失效后的废汞触媒再进行回收再利用，进一步提取汞。	适用于氯乙烯催化领域。	经计算，纳米型低汞触媒折合单位产品能耗为0.994吨，普通低汞触媒单位产品能耗折合单位产品能耗1.214吨，采用该技术低汞触媒单位产品能耗降低18.12%。	与传统的废触媒处理技术相比，在废触媒回收环节，本技术节约用水量25%。纳米型低汞触媒生产环节，水资源消耗量降低4%。	处置1吨废汞触媒，可节约石灰0.1吨、片碱0.015吨、节约工业水0.3吨，节约氯气0.013吨，节约汞0.002吨。	氯化汞生产环节减少废水300吨/年，触媒生产环节节约用水产生量减少96吨/年，在废汞触媒回收环节，减少废水产生量3507吨/年。	汞减排量约0.13千克/年，颗粒物减排量约0.35千克/年，SO ₂ 减排量约5.0千克/年，NO _x 减排量约16.0千克/年，氯气减排量约0.3千克/年。	单位产品综合能耗降低18.12%，降低值为0.22千克标准煤/吨，折合减少CO ₂ 排放量约0.572吨。	/

序号	技术名称	技术主要内容	工艺路线	适用范围	节能效果	节水效果	节材效果	减污效果		降碳效果	
								产生量	排放量	节能降碳	工艺降碳
12	活性染料萃水再生技术	针对活性染料染色液盐分高、色度高、降低难的问题，通过独立收集活性染料液，基于络合萃取原理，通过三相旋流萃取装置将染色液分成水相（水/盐和油相（萃取剂））和高浓度盐水经精制调节后，可回用至印染工序；油相中的染料经反萃浓缩，萃取剂实现再生，可实现95%以上染料分离和70%以上盐分回收利用，并减少废水有机污染物浓度和盐含量，降低处理难度。	染色液盐水回用系统由调酸、萃取、反萃、油水分离、盐水精制、调盐和浓缩液处理等7个子系统组成。染色液经独立收集并三相旋流萃取装置分离后，高浓度盐水经精制和调节后，回用至染色工序，反萃后得到的染料液经钙复配药剂沉淀无害化处理。该装置运行温度需在10℃以上；萃取过程中pH值2~3；三相旋流萃取装置气体压力为0.1~0.5MPa；浓缩液沉淀物在复配沉淀剂中自然固化时间为0.2~1.5h。	适用于棉染液、活性染料生产产生的染色液再生，亦可直接用于染色。酸性染料、羊毛、酸性染料、纶纤维等含阴离子染料的水处理。	实施过程中所需能源为电能，系统耗电约为7.2千瓦时/吨废水，实现染色液零排放。无染色液接入综合处理，综合需氧量（COD _G ）浓度和吨水降低均左右，污水处理综合能耗降低6%以上。	废水含盐量降低至2000mg/L，反渗透产水可回收至75%以上。	可对染色液中的盐进行回收利用，盐的回收率在70%以上。	可减少10%~15%废水产生量，棉染混合废水进水浓度可从8000mg/L降低至2000mg/L以下。	废水全盐量排放降低70%以上，综合废水处理系统的污泥量可减少50%左右。	混合印染废水处理电耗约为2.0千瓦时/吨废水，可减少电耗12.8千瓦时，折合可减排CO ₂ 约10.15千克；混合印染废水处理每吨药剂的消耗量约为聚合氯化铝400mg/L，聚丙烯酰胺2mg/L，脱色剂2mg/L，采用Gabi软件计算以上三种化学品的碳足迹约23.10千克CO ₂ 。合计减少CO ₂ 排放量约33.25千克。	工艺降碳

序号	技术名称	技术主要内容	工艺路线	适用范围	节能效果	节水效果	节材效果	减污效果		降碳效果	
								产生量	排放量	节能降碳	工艺降碳
13	中心烧嘴节能环保活性石灰窑	以高炉煤气等低热值煤气为燃料，采用中心烧嘴从里向外与炉墙侧烧嘴从外向里对烧，提供了充足的中火火焰，布料排料均匀可调，解决了竖窑大型化和中风的不足问题。废气回收系统采用高效换热器等余热回收利用装置，实现了能量回收利用。低温低空过剩系数石灰焙烧理论，减少热型NO _x 的生成条件，采用炉料运动“架桥理论”指导石灰窑的设计和生操作。	石灰窑工艺流程主要分为5大系统，即原料分级系统、上料系统、热煅烧系统、成品运输储存系统、窑体供风系统。	适用于高炉煤气、转炉煤气或发电炉烧石灰，还可应用于焙烧矾土、白云石、菱苦土等。	以4座150立方米立式180气烧竖窑改造为2座日产600吨的中心烧嘴节能环保活性石灰窑为例，采用低热值高炉煤气、转炉煤气或发生炉煤气等，在满足石灰产量及质量的前提下，技术应用前热耗约6GJ/t灰，电耗约45千瓦时/吨灰，技术使用后公斤灰热耗3.7~4.4GJ/kg灰，降低28%~38%，窑本体平均吨灰电耗约40千瓦时，降低11%。	以日产600吨的中心烧嘴节能环保活性石灰窑为例，仅风机电压站等冷却使用少量水，生产1吨石灰水量仅0.72吨，属循环水的补充水，消耗量不高于0.01吨/吨灰。	以日产600吨的中心烧嘴节能环保活性石灰窑为例，燃料同为高炉煤气，热值约为780千卡/标准立方米(kcal/Nm ³)，节省高炉煤气580Nm ³ /t灰；日节省石灰75吨左右，占总原料量的7%。	以日产600吨的中心烧嘴节能环保活性石灰窑为例，技术应用后废气排放量为：3648 Nm ³ /t灰，技术应废气排放量为2486 Nm ³ /t灰，废气排放量为2486 Nm ³ /t灰，减少排放量1162 Nm ³ /t灰，废气中SO ₂ ≤50毫克/立方米(mg/m ³)，NO _x ≤100mg/m ³ （基准氧含量10%），除尘灰等固体废物回收利用，无外排。	以年产40万吨石灰窑为例，每年节约标准煤25248吨，年减少CO ₂ 排放量约65644.8吨。	/	/

序号	技术名称	技术主要内容	工艺路线	适用范围	节能效果	节水效果	节材效果	减污效果		降碳效果	
								产生量	排放量	节能降碳	工艺降碳
14	真空耦合低温除尘技术	以三段式热管换热技术，及配套的封装技术，实现热管间工质互不相通的承载式换热模块，应用于基于大数据的运行状态在线监控系统，攻克热管原位在线制作及修复的关键技术，可确保真空热管换热装置长期高效运行，具有高效换热、冷却水零泄漏及确保除尘达标排放等优点，可实现燃煤电厂高效安全除电除尘。	真空热管换热装置一般设置在燃煤锅炉尾部的空预器与除尘器之间的烟道处。通过三段式热管换热装置及配套封装技术，将烟温从传统的130~160℃降低到85~110℃左右的低温状态，可降低粉尘比电阻和烟气处理量，有效提高电除尘器电场二次电压，充分发挥电除尘与收尘效率，大幅提高除尘效率。另外，低温状态下还可协同高效捕集三氧化硫(SO ₃)，从而避免因SO ₃ 逃逸带来的下游设备腐蚀及烟囱蓝烟等问题。	适用于燃煤及燃气工业锅炉配套余热回收除尘系统。	(1) 降温回收的烟气余热降低机组标准煤耗1~3克/千瓦时，一台660MW机组节约煤耗为2970~8910吨/年。 (2) 降温后除尘器的除尘效率、降低烟气流量，电除尘器及引风机耗电也随之降低，一台660MW机组年节约电耗约为257.3万千瓦时。	以660MW机组为例，脱硫吸收塔入口烟温降至95℃，可实现每小时节约44吨的脱硫工艺降温耗水量，按一台发电机组运行时间4500小时，年节水约19.8万吨。	以660MW机组为例，低温回收的烟气余热利用可为机组降低发电标准煤耗1~3克/千瓦时，节约煤耗为2970~8910吨/年。	降低颗粒物产生量，同时实现SO ₃ 、汞(Hg)等多污染物的协同治理；减少设备检修冲洗所产生的废水；不产生固体废物。	以660MW机组为例，满负荷运行时，年可减排155吨颗粒物，降低脱硫水的排放总量。	以660MW机组为例，降低标准煤耗量约1.64克/千瓦时，折算年节约标准煤量为4871吨，减少CO ₂ 排放量约12664.6吨/年，降低引风机等电耗每年为348.5万千瓦时，相应减少CO ₂ 排放量约2763.6吨/年，合计减少CO ₂ 排放量约1.54万吨/年。	工艺降碳

序号	技术名称	技术主要内容	工艺路线	适用范围	节能效果	节水效果	节材效果	减污效果		降碳效果	
								产生量	排放量	节能降碳	工艺降碳
15	大型锅炉节能降耗关键技术	采用独立分区层燃烟区托强化分区段燃烧、区域烟气循环、渗氮煤焦循环催化还原等技术，实现协同还原氮迁移调控、消减及催化还原机制的复合低氮燃烧，源头控制NO _x 削减效率25%~40%；结合成烟气选择性气固分离颗粒搅拌多场均混关键技术，煤焦与尿素混合热解循环技术的炉内中温制氨工艺，以及附加传热面温度调节技术的选择性催化还原法（SCR）脱硝工艺，实现层燃锅炉条件下NO _x 排放浓度15~30 mg/m ³ （基准氧含量6%）的超低排放系统高效稳定运行。	在锅炉炉内采用独立分区层燃燃烧技术，降低初始NO _x 产生量，再结合宽负荷SCR脱硝工艺实现超低排放。两个系统之间通过烟气选择性气固分离颗粒搅拌多场均混关键技术连接，通过均混关键装备进口的附加传热面温度调节技术，控制进入脱硝反应器的烟温处于催化剂允许范围，同时实现氨制备、流动、温度、浓度多场均匀功能。	适用于大型层燃炉NO _x 排放技术集成，在大型层燃炉NO _x 超技术改造。	与采用电厂锅炉脱硝工艺相比，可实现节能1.5%，提升能效折标煤622.08吨/年；采用电厂SCR脱硝工艺，需要消耗软化水2168吨/年，本技术地区部分大型热电厂采用SCR脱硝工艺，可减少尿素消耗171.4吨/年；减少喷入锅炉的尿素稀释放水1542吨/年。	以单台层燃锅炉70MW(100t/h)计，与采用电厂煤粉锅炉SCR脱硝工艺相比，节约尿素38.5m ³ ；消耗171.4吨/年；减少喷入锅炉的尿素稀释放水1542吨/年。	独立分区层燃烟气循环还原低氮燃烧技术削减25%~40%，再结合成烟气选择性气固分离颗粒搅拌多场均混关键技术，NO _x 排放浓度不超过30mg/m ³ （基准氧含量6%），NO _x 排放量不超过13.06吨/年，减排168.38吨/年。	以单台层燃锅炉70MW(100t/h)燃煤锅炉，年负荷率70%，运行180天计，采用本技术，实现NO _x 减排30%~100%条件下NO _x 排放浓度与SCR脱硝工艺相比，年节能折合712.98吨标准煤，年减少CO ₂ 排放量约1853.75吨。	节能降碳	工艺降碳	

序号	技术名称	技术主要内容	工艺路线	适用范围	节能效果	节水效果	节材效果	减污效果		降碳效果	
								产生量	排放量	节能降碳	工艺降碳
16	重污相法化技 型属矿 典金矿 泥重资 重处术	基于细颗粒相矿化调控分离重金属原理，以“水热解离-定向结晶-多级分离”的重金属回收方法，研制了污泥定向矿化反应器和后处理工艺，建成化工、冶炼、电镀等多种污泥转晶解毒与资源化工程，处理后有价元素铬、铜等回收率大于98.4%，砷等元素浸出毒性降低99.8%。	工艺流程包括原渣水化、水热矿化、洗涤和脱水、废水脱铬四部分。重金属污泥加水搅拌均匀，再加入特定的矿化剂。酸性矿化剂在水化分散后添加至晶化反应釜；碱性矿化剂在水化阶段加入搅拌均匀。产物采用一体化连续分离洗涤、循环洗涤。产物采用离心机脱水。含重金属的洗水直接回用至生产工艺，不可回用的废水采用还原沉淀法脱除重金属后，进入废水处理系统。	适用于冶金、化工等行业重金属危险废物的治理，与资源化、综合利用尤其适用于污泥、浸出渣、滤渣、细颗粒、高危险废物的处理。	处理每吨重金属综合电耗221千瓦时，常规模处理综合电耗1067.4千瓦时。两者相比，每吨含铬盐降低约79%。	处理每吨重金属污泥用水6立方米，其中实际固液分离率为75%，实际资源消耗量为2立方米/吨。与传统的湿法还原相比，用水量节约44%。	平均处理每吨重金属材料消耗约270千克，污泥消耗约30%~50%。	每吨重金属污泥处理产生的废水量不超过12吨，且75%的废水可回收利用；处理后危险废物转变为一般工业固废，重金属危险废物产生量减少95%。	本技术不可回用部分的水年排放量约8000立方米，经处理后达到排放标准；处理后重金属属危险废物排放量仅为传统的5%。	本技术平均处理每吨重金属综合电耗221千瓦时，折算标准煤为67.41千克，CO ₂ 排放量约175.25千克/吨；常规模处理每吨平均处理综合电耗1067.4千瓦时，折算标准煤为325.56千克，CO ₂ 排放量约846.448千克/吨。与常规模污泥相比，处理每吨重金属污泥减少CO ₂ 排放量约671.20千克。	/

序号	技术名称	技术主要内容	工艺路线	适用范围	节能效果	节水效果	节材效果	减污效果		降碳效果	
								产生量	排放量	节能降碳	工艺降碳
17	多元废物流动床高温气化燃烧技术	炉膛气化室采取“变截面”设计，多尺寸、多流态的床层叠加，湍流态化。分级给料、分级气化、分级燃烧、高温燃烧，满足系统对多元复杂有机废物同炉处理的适应性。气化室处于还原性气氛，中低温有效降低NO _x 、二噁英的初始生成量以及飞灰中碱金属含量，无需设置SCR系统即可实现污染物超低排放。系统燃烧效率高，能源利用能力覆盖50~500 t/d，同等规模和排放要求下，相比常规机械炉排炉焚烧技术，本系统初始投资低20%~30%，运行成本低10%~20%。	(1)可燃废弃物经过预处理满足入炉要求，通过分级给料设备送入湍流化床气化焚烧炉内，采用“中低温燃烧+高温燃烧+热量回收”工艺。 (2)燃烧产生的高温烟气通过余热锅炉进行能量回收，软化水循环使用。 (3)焚烧后产生的炉渣进入渣循环系统，进行冷却筛分，筛分出来的粗渣外送处理，细渣回送至焚烧炉内循环使用。 (4)烟气净化系统采用“炉内干法脱酸+SNCR(选择性非催化还原)脱硝+粗除尘+半干法脱硫+活性炭吸附+布袋除尘”工艺。	适用于造纸有机废弃物处理量	以造纸废弃物为燃料，综合平均热值按2500kcal/kg计算，通过焚烧发电，每焚烧1吨造纸废渣可发电216千瓦时。	/	在满足排放标准的前提下，炉排烟气净化减少气量相比烟气净化设备运行节省了相应的处理力、水等能源消耗。	每焚烧1吨废弃物，本技术可比循环流化床焚烧炉减少70千克灰量，比机械炉排焚烧炉减少10千克。	处理造纸废弃物的污染强度低于《生活垃圾焚烧污染物排放标准》(GB18485-2014)中规定的排放限制:CO降低38%，颗粒物降低50%，NO _x 降低80%，SO ₂ 降低56%，二噁英降低50%。	相比系统设备更少，用电功率更低，折算成吨蒸汽(1.3MPa饱和蒸汽)耗电量约为10千瓦时，相比其他炉型的吨蒸汽耗电量约为13千瓦时，每吨蒸汽省电3千瓦时，折合标准煤可减少0.915千克，减少CO ₂ 排放量约2.379千克。	本技术焚烧废弃物的造纸平均热值2500kcal/kg，低位发热量为10.45兆焦(MJ)，相当于0.357吨标准煤，每焚烧1吨造纸废渣，因燃煤产生CO ₂ 排放量约0.9282吨。

序号	技术名称	技术主要内容	工艺路线	适用范围	节能效果	节水效果	节材效果	减污效果		降碳效果	
								产生量	排放量	节能降碳	工艺降碳
18	分流微蒸汽回收技术	蒸汽经加热设备工艺换热后产生不同压力的冷凝水，冷凝水通过疏水阀后流至汽液分离器（微负压），进行汽液分离；分离后的冷凝水通过疏水阀加压输送至汽液回收设备，闪蒸汽则引射至闪蒸汽回收装置，吸收后进入冷凝水回收罐内，再经冷凝水回收设备加压泵送至锅炉房回用或其他用水用能点。	系统工作时，蒸汽通过汽液回收装置，进入汽液回收装置，该装置采用汽液分流方式将冷凝水和闪蒸汽分别输送至汽液回收设备，实现全凝水回收。为防止收集装置和回收设备的压力过高而导致系统背压过高影响设备疏水换热，采用自动调压装置对收集装置和回收设备进行压力恒定调节。	适用于钢铁、化工、烟铁、电力、烟草、医药、石化、电子、电镀等行业未被蒸汽污染的循环水回收利用，可直接用于锅炉补水。	以40t/h蒸汽锅炉为例，按每天运行24小时、年运行300天计，需回收冷凝水85%计算，节能率10.2%，闪蒸汽回收率95%，全年平温软化水按15℃计算，可回收的冷凝水32.3吨，每年回收的冷凝水32.3吨，相比传统技术设备，节能量为 1.15×10^{10} 焦/小时，换算标准煤392.2千克/小时，年节约标准煤2820吨。相比传统技术设备，节能效果提高约37%。	以40t/h蒸汽锅炉及闪蒸汽回收率为95%计，每小时可回收冷凝水32.3吨，每年回收的冷凝水23256吨。相比传统技术设备，冷凝水节水量提高11%。	以40t/h蒸汽锅炉为例，每年可减少软化水处理量232560吨，按每产1吨软化水消耗再生盐0.35千克计，每年可减少再生盐使用量100.8吨。	以40t/h蒸汽锅炉为例，年减少SO ₂ 产排量68吨，年减少NO _x 产排量21吨，年减少粉尘产排量564吨。	以40t/h蒸汽锅炉为例，年节约标准煤2820吨，减少CO ₂ 排放量约7332吨。		

序号	技术名称	技术主要内容	工艺路线	适用范围	节能效果	节水效果	节材效果	减污效果		降碳效果	
								产生量	排放量	节能降碳	工艺降碳
19	管式冷凝节水及污染物脱除技术	采用柔性凝水导流、波形凝聚增效、放电冷凝换热耦合技术，提升管式冷凝器的综合冷凝换热效果、多污染物协同脱除效率、收水效率。优化湿法脱硫-管式冷凝器紧凑型一体化装备工艺和结构参数，创新设计错位喷淋、壁流再分布、强化团聚、高效拦截细颗粒物捕集，降低系统运行阻力。构架水平衡分级测算及智能协同控制系统，实现多行业排放不同组分高温高湿烟气热量高效梯级回收和优化收水控污系统的设计和运行。	(1)高温高湿烟气进入管式冷凝装置与冷却水进行间接换热，烟气降温析出冷凝水，并与SO ₃ 气溶胶、石膏液滴、可溶性盐、细颗粒物等多污染物进行碰撞、团聚，烟气降温后进行排放。 (2)管式冷凝装置底部收集含多污染物的冷凝水，处理后的冷凝水可作为工艺用水循环利用。 (3)冷凝烟气的冷却水可使用循环水或低温除盐水，可实现余热回收或通过冷却塔进行散热。	适用于燃煤电厂、化工、水泥、高炉、转炉等领域。	以某4×750t/d垃圾焚烧炉烟气冷凝除湿项目为例，单台年可回收热量44.2万GJ（全年运行），折合标准煤1.2万吨/年。	以某2×1000MW机组烟气冷凝除湿项目为例，应用本技术后烟气温度从52℃（夏）/50℃（冬）降低至48℃（夏）/46℃（冬），可年回收102.4万吨低温水（两季分别运行4100小时和7100小时）。	/	以某2×1000MW机组烟气冷凝除湿项目为例，可年减少PM _{2.5} 约203.83吨、SO ₂ 约328.39吨。	以4×750t/d垃圾焚烧炉烟气冷凝除湿项目为例，单台年可回收热量44.2万GJ（全年运行），折合标准煤1.2万吨/年，年减少CO ₂ 排放量约3.12万吨。	/	

序号	技术名称	技术主要内容	工艺路线	适用范围	节能效果	节水效果	节材效果	减污效果		降碳效果	
								产生量	排放量	节能降碳	工艺降碳
20	合成DMF废水高馏级压耦合节能技术	采用两级蒸汽机械再压缩技术(MVR)压机串联与精馏工艺耦合技术,将含二甲胺、甲酰胺(DMF)废水精馏分离,废弃物经资源化处理后循环利用。含DMF废水浓度15%~30%,DMF回收率≥97.5%,外排水COD _{Cr} ≤300mg/L,氨氮≤10mg/L,总氮≤50mg/L,臭味指数(无量纲)≤2000,VOCs≤126 mg/m ³ 。	将含DMF废水送入进料汽化器进行气化,废水中的重组分与轻组分进行分离,重组分进入釜残蒸发器蒸发,形成含DMF蒸汽进入原水罐。轻组分以气态形式依次通过脱水塔、DMF精制塔、脱酸塔后产出合格的DMF产品。去除重组分和轻组分的废水经汽提塔处理合格后回用至合成企业,系统产生的废气、固废(釜残)及废液(二甲胺废液)送入“三废”综合治理系统,产生的蒸汽回用至精馏系统中。整个系统的热源来自两台串联的MVR系统,外界蒸汽作为补充。	适用于行业度高浓度DMF分离与回收治理。	行业内的精馏能源消耗蒸汽和电力,吨水消耗0.596吨,综合能耗折标煤为81.19千标准煤/吨之下,该技术主要能源消耗为电力和蒸汽,综合标准煤折标煤为51.61千标准煤/吨废水。	该技术回收DMF后的废水可回用至生产线上,按照DMF浓度20%计,能够回用的中水为处理水量的75%。	可根据DMF在园区集中处理装置,将釜残和尾气进行循环利用,减少精馏系统的精馏塔、换热器、泵阀、管道等材料。	废水可直接回用至整个合成生产线,也可纳入接管排放。采用低温负压精馏,降低DMF分解产生的二甲胺臭气进入危险废物综合处理系统。	传统技术将釜残(固体废弃物)交由专业第三方进行焚烧处理,釜残总量为所含DMF废水量量的0.35%。该技术将釜残送入精馏系统配套工艺无害化处理,产生的蒸汽还可返送至精馏系统,最终的残渣为处理总水量的0.1%外送填埋,减量71.4%。	/	合成DMF回收系统为技术,传统工艺每吨废水CO ₂ 排放量为0.196吨,该技术CO ₂ 排放量为0.121吨,降幅达38.26%。

注:

1. 消耗1千克(kg)标准煤二氧化碳排放按2.6千克计。
2. 电力(等价)折算标准煤系数按0.305千克标准煤/千瓦时(kgce/kWh)计。
3. 节能降碳为单位产品综合能耗、单机能耗等降低而减少的碳排放量,工艺降碳为工艺过程改进而减少的碳排放量。

抄 送：科技部办公厅。

部内抄送：水司、大气司、气候司、土壤司、固体司。

