

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清洁高效燃烧关键技术	多燃料多流程循环流化床锅炉的炉膛由单级变为三级，并将一级灰循环变为两级灰循环，加大了锅炉炉膛的有效燃烧行程，燃料适应性广，燃烧更为充分，并可实现流化床气固中温分离，有利于降低焚烧灰中的碱金属粘结性，避免分离器后结焦、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，在主燃烧室内循环上升进入副燃烧室，在副燃烧室底部分离。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，形成第二级物料循环。锅炉尾气经处理达标排放。	适用于生物质、生物质残渣、煤炭、煤矸石等多种固体燃料的高效清洁燃烧，可用于城镇、工业园区和企业的集中供热或用汽等。	以生产 1 吨 1.25 兆帕(MPa)工业饱和蒸汽为例，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，锅炉排污率按最大 2% 计算，年排放废水量约 144 吨，技术应用前直接排放至市政污水管网。应用该技术后，由于湿法脱硫系统补水量约为 57 千克工艺水/吨蒸汽，年补水量需 410 吨左右，现锅炉排污水回收用于脱硫补水，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 吨 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	工业用复叠式热泵换热技术	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，提高对废水的中绒毛、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双隔离多级换热技术回收印染高温废水中的余热，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、硅加工等具有高温废水排放且需要使用高温热流量废水降温处理及热量回收的领域。	以实施的工程项目为例，废水日处理量 300 吨，工艺废水温度由 70℃ 降温至 20℃，回收热量可用于生产 70℃ 热水 280 吨/日，每天节约 2.75 吨标准煤，年节能量约为 1000 吨标准煤。	/	/	年节能量约 1000 吨标准煤计，可减少二氧化硫（SO ₂ ）产排约 8.5 吨，减少氮氧化物（NO _x ）产排约 7.4 吨。	以年节能量约 1000 吨标准煤计，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热泵供技术	采用大功率二氧化碳压缩机多机头并联技术，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，多组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。	适合于化工、制药、电子、矿山、材料等领域中具有脱水、低温干燥、环保制冷、制热等冷热负荷需求的场合。	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，相应可减少SO₂产排约315吨，减少NOₓ产排约274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CO₂排放量约9.62万吨。	/	

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
4	基于生物质气化区域供能技术	基于生物质气化热解动力学研究和炭化过程中理化特性的衍变过程，实现燃气和高品质生物质炭的高效联产，生物质原料进行高效转化，生物质燃气热值大于 4800 千焦/标准立方米 (kJ/Nm ³)，固定碳转化为生物质炭的转化率大于 90%；实现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炭气联产过程的耦合，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灰分和固定碳转化成为生物炭，从而获得生物质燃气和生物质炭。焦油随生物质燃气直接送入燃气燃烧系统燃烧，进行供热、供汽、发电等，生物质炭可用于生产活性炭、机制炭、炭基肥等产品。	适用于农林废弃物综合利用，用于替代煤、天然气等化石能源供热、供汽、发电。	单位蒸汽综合能耗 0.08 吨标准煤，单位秸秆/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	具有纳米自洁涂层换热装备的焦炉上升管余热回收技术	开发了纳米涂层自清洁荒煤气专用的一系列换热器和智能控制系统，在保障焦炉稳定可靠运行的基础上，取得了较为明显的节水、节能及相关环境效益。	除盐水经热除氧产生的104℃除氧水送至汽包，水在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，所产生水汽混合物通过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。	适用于焦化行业内所有新建及改造焦炉的炉型，包括捣固焦炉和顶装焦炉。	一套系统平均降低炼焦工序能耗大于10 千克标准煤/吨焦。	水资源消耗量与产蒸汽量的比值约1.05，若年产饱和蒸汽量在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170万吨焦炉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170万吨焦炉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	钢铁烧结烟气内循环减污降碳协同技术	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，开发应用了烟气内循环装备。	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，引入烧结料层，重新参与烧结过程。	适用于钢铁行业带式烧结机的烟气综合治理。	通过高温废气余热的循环利用可降低烧结生产固体燃料消耗 5%以上，烧结生产固体燃料用量减少 1.56 千克标准煤/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 千瓦时/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	亚硫酸金钠法无氰镀金技术	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，大幅提高镀金液的稳定性，改变黄金材料的晶粒构相，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金液骨架型配方，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。	适用于功能性软金电镀和装饰性镀金。	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及辅料。	相比含氰镀金技术，减少污水产排量80%；无含氰废气及固体废物产生。	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	包装印刷无溶剂复合加工装备与应用技术	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，再将复合材料进行中低温固化，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%。	（1）放卷：在一定的张力控制下，将待复合基材平稳地展开。 （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。 （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。 （4）复合：在适当均匀的压力下，将已涂胶的基材与另一基材进行粘合。 （5）收卷：将粘合的复合膜在适当张力下进行卷取。 （6）固化：在一定温度的环境中进行充分反应和固化。	适用于不同类型的塑料薄膜、镀铝膜、薄纸、铝箔和阴阳膜的高速复合。	使用标准机型无溶剂复合设备（即最大幅宽 1300 毫米，最高机械速度 400 米/分钟），以年产能 3600 万米为例，全年可节电约 38 万度，可节标准煤约 115.9 吨。	/	使用标准机型无溶剂复合设备（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	硫化促进剂 M 清洁生产及硫化氢尾气回收利用技术	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，与传统酸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理，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。	适用于通用型橡胶硫化促进剂生产，该类促进剂为噻唑类和次磺酰胺类的母体原料，可用于矿物浮选、树脂载体、化学电镀、金属防腐与检验以及医药等领域。	传统酸碱法工艺单位产品综合能耗为 580 千克标准煤/吨，本技术电耗 645.98 千瓦时/吨，蒸汽消耗 5.12 吉焦/吨（GJ/t），天然气消耗 83.81 立方米/吨，综合能耗 470.84 千克标准煤/吨，每吨产品降低能耗 109.16 千克标准煤。	与传统酸碱法工艺相比，吨产品节约用水 20 吨。	与传统酸碱法工艺相比，每吨产品可减少烧碱 1.3 吨，硫酸 0.65 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，全部回收循环使用，回收率达 99%以上。		/	该技术与传统酸碱法工艺相比每吨产品降低能耗 109.16 千克标准煤，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	联碱工业余热回收利用节能及装置	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环保问题。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析出氯化铵堵塞换热器的问	(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。溴化锂机组制冷冰冻水用于冷析结晶，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技术项目。	技术应用前后联碱单位产品电耗分别为214千瓦时/吨碱、166千瓦时/吨碱，单位产品电耗下降48千瓦时/吨碱，以联碱年产60万吨纯碱为例，全年节电量约为2880万千瓦时，折合标准煤8784吨。	以联碱年产60万吨纯碱为例，相比于传统氨压缩机液氨制冷工艺，本技术可减少换热器水洗，可节约新鲜水1000立方米/年。	/	采用溴化锂制冷技术来代替氨压缩制冷技术，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。	/

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	电石法氯乙烯合成纳米型低固汞触媒循环利用技术	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，实现四氯汞钾（K ₂ HgCl ₄ ）覆膜固汞技术及汞的精准负载，提高触媒活性；利用控氧蒸馏，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固汞触媒，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。	适用于电石法氯乙烯合成氯化汞催化剂领域。	经计算，纳米型低固汞触媒单位产品折合标准煤能耗为 0.994 千克标准煤/吨，普通低汞触媒单位产品折合标准煤能耗 1.214 千克标准煤/吨，采用该技术低汞触媒单位产品的能耗降低 18.12%。	与传统的废触媒处理技术相比，在废汞触媒回收环节，本技术节约用水量 25%。纳米型低固汞触媒生产环节，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，触媒生产环节废水产生量减少 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	活性染料染色络合萃取盐水再生利用技术	针对活性染料染色残液盐分高、色度高、降解难的问题，通过独立收集活性染料的残液，基于络合萃取分离原理，通过三相旋流萃取装置将染色残液分成水相（水/盐）和油相（萃取剂），分离的高浓度盐水经精制调节后，可回用至印染工序；油相中的废染料经反萃浓缩，萃取剂实现再生，可实现 95%以上废染料分离和 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。	染色残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。染色残液经独立收集并经三相旋流萃取装置分离后，高浓盐水经精制和调节后，回用至染色工序，反萃后得到的废染料浓缩液经镁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 0.1~0.5 MPa；浓缩液沉淀物在复配沉淀剂中自然固化时间为 0.2~1.5 h。	适用于棉、染活性染料产生的染色残液盐水再生，亦可应用于直接染料染棉、酸性染料染羊毛、酸性染料染锦纶纤维织物等含大量阴离子染料的染色废水处理。	实施过程中所需能源为电能，系统电耗约为 7.2 千瓦时/吨废水，实现染色残液零排放。无染色残液接入综合印染废水处理，综合废水化学需氧量（COD _{Cr} ）浓度和吨水能耗均降低 30%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，反渗透产水可提高至 75%以上。	可对染色残液中的盐水进行回收循环利用，盐的回用率在 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，折合可减少 CO ₂ 排放约 10.15 千克；混合印染废水处理的药剂的每吨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。	/

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	中心烧嘴节能环保气烧活性石灰窑	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，提供了充足的中心火焰，布料排料均匀可调，解决了竖窑大型化和中风不足边风过剩的问题。废气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。低温低空气过剩系数石灰焙烧理论，减少热力型 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产操作。	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、热工煅烧系统、成品运输储存系统、窑体供风系统。	适用于低热值高炉煤气、转炉煤气或发生炉煤气焙烧石灰，还可应用于焙烧铝矾土、白云石、菱苦土等。	以 4 座 150 立方米内导式 180 气烧竖窑改造为 2 座日产 600 吨的中心烧嘴节能环保气烧活性石灰窑为例，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，技术应用后公斤灰热耗 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气烧活性石灰窑为例，仅风机、液压站等设备冷却使用少量水，生产 1 吨石灰耗水量 0.72 吨，属循环水的补充水，可循环使用，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气烧活性石灰窑为例，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；日节省石灰石 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气烧活性石灰窑为例，技术应用前废气排放量为：3648 Nm ³ /t 灰，技术应用后废气排放量为 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%），除尘灰等固体废弃物回收利用，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	真空热管耦合低低温电除尘技术	以三段式热管换热器及配套的封装技术，实现热管间工质互不相通的承载式换热模块，应用基于大数据方法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的长期高效运行，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节能及电除尘器安全可靠运行。	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，充分发挥电除尘荷电与收尘效率，大幅提高除尘效率。另外，低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。	适用于燃煤锅炉及工业窑炉配套烟气余热利用低低温电除尘系统。	（1）降温回收的烟气余热可为机组降低发电标准煤耗1~3克/千瓦时，一台660MW机组节约煤耗为2970~8910吨/年。 （2）降温后可提高电除尘器的除尘效率、降低烟气流量，电除尘器及引风机电耗也随之降低，一台660MW机组年节约电耗约为257.3万千瓦时。	以660MW机组电厂为例，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机组电厂为例，降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，同时对SO ₃ 、汞(Hg)等多污染物的协同治理；减少设备检修冲洗水；不产生固体废弃物。	以660MW机组电厂为例，满负荷运行时，年可减排155吨颗粒物的排放总量。	以660MW机组电厂为例，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。	/

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	大型层燃锅炉节能型NO _x 超低排放关键技术	采用独立分区层燃烟气循环燃烧系统，依托强化分区段燃烧、区域烟气循环、渗氮煤焦循环催化还原等技术，实现协同燃料氮迁移调控、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%；结合集成烟气选择性气固分离颗粒搅拌多场均混关键装备，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30%~100%宽负荷条件下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烟气循环复合低氮燃烧技术，降低锅炉初始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装备实现连接，通过均混关键装备进口的附加传热面烟温单向调节技术，控制进入脱硝反应器的烟温处于催化剂允许范围，同步实现氨制备、流动、温度、浓度多场均匀功能。	适用于供热、供汽大型层燃锅炉NO _x 超低排放技术集成，及在运大型层燃锅炉NO _x 超低排放技术改造。	与采用电厂煤粉锅炉SCR脱硝工艺相比，可实现锅炉能效提升1.5%，提升能效折合622.08吨标准煤；与采用电厂煤粉锅炉SCR脱硝工艺的层燃锅炉相比，可提升能效折合712.98吨标准煤。	以单台层燃锅炉70MW(100t/h)，年运行180天，负荷率70%计，采用10%尿素溶液脱硝剂，本技术消耗软化水626吨/年；采用电厂煤粉锅炉SCR脱硝工艺的层燃锅炉，需要消耗软化水2168吨/年，本技术较目前北方地区部分大型层燃锅炉供热企业采用的电厂煤粉锅炉SCR脱硝工艺节约用水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，节约催化剂38.5m ³ ；节约尿素消耗171.4吨/年；减少喷入锅炉的尿素稀释水1542吨/年。	独立分区层燃烟气循环复合低氮燃烧技术源头削减NO _x 25%~40%，再结合集成烟气选择性气固分离颗粒搅拌多场均混关键装备的宽负荷SCR脱硝工艺，锅炉综合NO _x 削减效率超过90%。	以容量70MW(100t/h)燃煤层燃锅炉，年负荷率70%，年运行180天计，采用本技术，实现锅炉30%~100%宽负荷条件下NO _x 排放浓度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)，年运行180天，负荷率70%计，本技术与采用电厂煤粉锅炉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。	/

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	典型重金属矿相资源化处置技术	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处理工程，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分散均匀，再加入特定的矿化剂。酸性矿化剂需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罐与污泥混合。产物采用一体化连续分离装备分离洗涤、循环洗涤。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。	适用于冶炼、化工等行业重金属危险废物的治理与资源化，尤其适用于重金属污泥、浸出渣、滤渣等细颗粒、高含水危险废物的处理。	处理每吨重金属污泥综合电耗221千瓦时，常规水泥窑处理每吨污泥综合电耗1067.4千瓦时。两者相比，每吨含铬盐泥能耗降低约79%。	处理每吨重金属污泥用水6立方米，其中水回收率为75%，实际固废处理水资源消耗量为2立方米/吨。与传统的湿法还原相比，用水量可节约44%。	平均处理每吨重金属污泥消耗材料约270千克，为传统湿法浸出的30%~50%。	每吨重金属污泥处理产生的废水量不超过12吨，且75%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；处理后重金属危险废物排放量仅为传统工艺的5%。	本技术平均处理每吨重金属污泥综合电耗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；常规水泥窑平均处理每吨重金属污泥综合电耗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。与常规水泥窑相比，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	多元有机废物湍动流化床清洁高效气化燃烧技术	炉膛气化室采取“变截面”设计，多尺寸、多流态的床层叠加，湍动流态化。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，中低温气化，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，能源利用效率高。单台处理能力覆盖 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动流化床气化焚烧炉内，采用“中低温热解气化+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，筛分出来的粗渣外运处理，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+半干法脱酸+活性炭吸附+布袋除尘”工艺。	适用于造纸有机废弃物高效处置与能量回收。	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。	/	在满足污染物排放标准的前提下，与常规炉排炉垃圾焚烧烟气净化工艺相比减少大量烟气治理设备，在项目运行过程中节省了设备处理耗材，电力、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飞灰量 70 千克，比机械炉排焚烧炉减少 10 千克。	处理造纸废弃物的污染物排放强度低于《生活垃圾焚烧污染物排放标准》（GB 18485-2014）中规定的排放限值：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 0.915 千克，减少 CO_2 排放量约 2.379 千克。	本技术焚烧的造纸废弃物按平均热值 2500kcal/kg，低位发热量 10.45 兆焦（MJ），相当于 0.357 吨标准煤，每焚烧 1 吨造纸废弃物可减少因燃煤产生的 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	汽液分流微负压蒸汽冷凝水回收技术	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缓冲罐（微负压）内，进行汽液分离；分离后的冷凝水通过疏水阀泵加压输送至冷凝水回收设备，闪蒸汽则引射至闪蒸吸收装置，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，蒸汽通过用汽设备换热后变成冷凝水，进入冷凝水收集装置，该收集装置采用汽液分流方式将冷凝水和闪蒸汽分别输送至冷凝水回收设备，实现全封闭回收。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、电力、烟草、食品、医药、石化、电子、印染、电镀等工业行业的未被污染的蒸汽冷凝水的回收循环利用，可直接用于锅炉的补充用水。	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%，冷凝水及闪蒸汽回收率 95%，全年常温软化水平均温度按 15℃ 计算，可回收的冷凝水 32.3 吨，冷凝水回收温度 100℃，节能量为 1.15×10^{10} 千焦/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 蒸汽锅炉为例，冷凝水及闪蒸汽回收率 95% 计，每小时可回收冷凝水 32.3 吨，每年可回收的冷凝水 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	管式冷凝节能节水及多污染物脱除技术装备	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、强化团聚及高效拦截细颗粒捕集，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备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)管式冷凝装备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4×750 t/d垃圾焚烧炉烟气冷凝除湿项目为例，单台年可回收44.2万GJ热量（全年运行），折合标准煤1.2万吨/年。	以某2×1000 MW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2×1000 MW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4×750 t/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	合成革DMF废水低温高效精馏与两级MVR压缩机耦合节能减排技术	采用两级蒸汽机械再压缩技术（MVR）压缩机串联与精馏工艺耦合技术，将含二甲基甲酰胺（DMF）废水精馏分离，废弃物经资源化处理循环利用。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罐蒸发，形成的含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革企业，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。	适用于合成革行业含高浓度DMF废水分离回收与综合治理。	行业内目前应用的精馏系统主要能源消耗蒸汽和电力，吨水低压蒸汽消耗0.596吨，电力消耗15千瓦时，综合能耗折算标准煤为81.19千克标准煤/吨废水。相比之下，该技术主要能源消耗为电力和蒸汽，综合能耗折算标准煤为51.61千克标准煤/吨废水。	该技术回收DMF后的废水可回用至合成革生产线使用，按照废水含DMF浓度为20%计，能够返回至生产线使用的中水为处理水量的75%。	可根据含DMF废水量在园区建设集中处理装置，将釜残和尾气进行资源化循环利用，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革生产线，也可纳管排放。采用低温负压精馏，降低DMF分解量，产生的少量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置，残渣进行填埋，釜残总量为所处理含DMF废水总量的0.35%。该技术将釜残送入精馏系统配套工艺无害化处理，产生的蒸汽还可以返送至精馏系统，最终的残渣为处理总水量的0.1%外送填埋，减量71.4%。	/	合成革含DMF废水精馏回收系统为系统性技术，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：
- 消耗1千克（kg）标准煤二氧化碳排放按2.6千克计。
 - 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。
 - 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。