

附表 2 工业领域煤炭清洁高效利用参考技术

序号	技术名称	技术内容	适用范围	适用条件	投资估算	节能减排效果
1	焦炉煤气制天然气技术	以焦炉煤气为原料，经加压预处理、精脱硫净化气，在甲烷化反应器中进行合成反应生成甲烷，得到天然气（SNG），通过深冷分离，得到液化天然气或冷却脱水、压缩，得到压缩天然气。	年产焦炭 100 万吨及以上独立焦化企业或钢铁联合企业内焦化分厂。	焦炉煤气 H ₂ S 含量 ≤250mg/Nm ³ ，富余焦炉煤气量 ≥2.28 万 Nm ³ /h。	100 万吨独立焦化企业富余焦炉煤气生产天然气需要建设投资 2.5 亿元。	单位焦炉煤气减排二氧化硫 300mg/m ³ 。
2	焦炉煤气制甲醇技术	以焦炉煤气和补炭气（高炉、转炉煤气等）为原料，进行加压混合（单一焦炉煤气不需要）、精脱硫、加热加氧转化、生成合成气，再将其加压加热合成粗甲醇，经气液分离、洗涤、精馏等，得到甲醇产品。	年产焦炭 150 万吨及以上独立焦化企业或钢铁联合企业内焦化分厂。	焦炉煤气 H ₂ S 含量 ≤250mg/Nm ³ ，富余焦炉煤气量 ≥3.4 万 Nm ³ /h。	150 万吨独立焦化企业富余焦炉煤气生产甲醇需要投资 3.2 亿元。	单位焦炉煤气减排二氧化硫 300mg/m ³ 。
3	焦炉煤气高效发电技术	以焦炉煤气作为热源生产高温超高压蒸汽带动汽轮机发电和采用加压焦炉煤气与空气混合后进入燃烧室燃烧，产生高温、高压燃气通过透平机带动发电机组发电，高温废气进入余热锅炉，产生蒸汽后进入蒸汽轮机带动发电机组发电。	年产焦炭 200 万吨及以上独立焦化企业或钢铁联合企业内焦化分厂。	焦炉煤气 H ₂ S 含量 ≤250mg/Nm ³ ，富余焦炉煤气量 ≥4.5 万 Nm ³ /h。	200 万吨独立焦化企业采用高温超高压蒸汽发电，需投资 3.8 亿元。采用燃气轮机发电（CCPP）需投资 4.5 亿元。	比现有中温中压蒸汽发电效率提高 20% 以上，每立方焦炉煤气多发电 0.5kWh。

序号	技术名称	技术内容	适用范围	适用条件	投资估算	节能减排效果
4	焦炉煤气制合成氨技术	以焦炉煤气为原料，经变换冷却、净化（低温甲醇洗）、液氮洗精制、压缩机及高压合成，生产合成氨的技术。	焦炭生产规模200万吨及以上独立焦化企业或钢铁联合企业内焦化分厂。	焦炉煤气H ₂ S含量≤250mg/Nm ³ ，富余焦炉煤气量≥4.5万Nm ³ /h。	200万吨独立焦化企业富余焦炉煤气生产合成氨需要投资4亿元。	单位焦炉煤气减排二氧化硫250mg/m ³ 。
5	合成气无循环两段甲烷化制合成天然气技术	将煤气化制得的合成气通过脱硫脱碳后，无循环分两段进行甲烷化反应。第一段为配气甲烷化段，通过逐级配气调节CO浓度，控制反应温度在750℃以下，一段出口CO转化率为87%；第二段为补充甲烷化段，通过反应平衡逐级降温完成CO的完全甲烷化，CO转化率大于99%。甲烷化采用绝热轴径向甲烷化反应器。	煤制天然气或合成气制备行业的甲烷化工序	规模20亿Nm ³ /年以上的天然气装置	以40亿Nm ³ /年合成天然气装置为例，投资为12亿元，较传统流程降低20%	以20亿Nm ³ /年天然气装置为例，每年节能标煤14276.9吨，每年可以减排粉尘、二氧化碳、二氧化硫、氮氧化物分别为9708.3吨、35585.2吨、1070.8吨、535.4吨。

序号	技术名称	技术内容	适用范围	适用条件	投资估算	节能减排效果
6	粉煤气流床 加压气化技术	碎煤、石灰石在磨煤机内磨成煤粉，并由高温惰性气体烘干。采用锁斗来完成粉煤的加压和输送，煤粉经三路进入气化炉烧嘴的三个粉煤管。氧气经预热器加热后先在混合气内与一定量的蒸汽混合，然后按一定的比例进入烧嘴。煤粉在炉膛内高温部分氧化反应，生成的合成气主要成分为CO和H ₂ 。在激冷室，合成气被急冷，熔渣迅速固化。从气化炉急冷室和合成气洗涤塔底部来的灰水通过渣水处理系统回收热量、去除不凝气和固体颗粒，泵回气化系统重复使用。	适用于煤化工装置或IGCC发电装置。	煤种适应性较广，但需要对多种类型的煤进行配烧，调节固定碳、灰分、灰熔点在适当的范围。	20万t/年合成氨气化岛单位投资1000元/吨合成氨。	冷煤气效率在83%以上，对合成气中的污染物硫成分回收成单质硫磺或硫酸，废液处理后回收利用，废气经回收处理后优于达标排放。

序号	技术名称	技术内容	适用范围	适用条件	投资估算	节能减排效果
7	粉煤气流床常(低)压气化技术	采用粉煤常压或低压气化技术,磨煤系统来的粉煤由氮气或二氧化碳作为输送介质送至气化炉;与气化剂(蒸汽和富氧空气或纯氧)在气化炉内进行部分氧化还原反应,生成的合成气主要成分为CO和H ₂ 。气化反应中产生的渣以液态的形式向下流入渣池。生成的粗合成气余热回收、除尘、脱硫后供给用户使用。	连续生产企业大量使用气体燃料的工业行业	使用煤炭热值大于5000kcal。	单套装置产气能力介于10~40KNm ³ /h;每10KNm ³ /h产气能力投资介于2000万~2500万元。 年耗煤100万吨燃料的建材工业园区新建统一的煤制清洁煤气中心,配套硫回收装置,实现集中式制气和供气,投资约8~10亿元。	系统碳转化率达97%以上,较固定床水煤气技术高15%以上、节约用煤超过15%,无酚氰废水产生,出口煤气粉尘含量小于10mg/Nm ³ ;煤气中H ₂ S含量低于20mg/Nm ³ 。

序号	技术名称	技术内容	适用范围	适用条件	投资估算	节能减排效果
8	循环流化床煤气化技术	本技术由循环流化床（CFBC）燃烧技术发展而来，煤经破碎筛分送入气化炉底部，与气化剂反应生成湿煤气、粗渣和飞灰。湿煤气携带部分飞灰从气化炉顶部进入高温旋风分离器，进入高温换热器与气化剂换热后再经过余热回收器与来自汽包的软水进一步换热，经过除尘、降温、脱硫后经加压机送用户使用。	需要气体燃料的工业行业	使用燃料热值大于5200kcal。	单套装置产气能力介于20~40KNm ³ /h；每10KNm ³ /h产气能力投资介于1500~2000万元；年耗煤100万吨燃料的建材工业园区新建统一的煤制清洁煤气中心，配套硫回收装置，实现集中式制气和供气，投资约6~8亿元。	系统碳综合转化率超过95%，较固定床水煤气技术高15%以上、节约用煤超过15%，无酚氰废水产生，出口煤气粉尘含量小于10mg/Nm ³ ；煤气中H ₂ S含量低于20mg/Nm ³ ，冷煤气效率超过85%。
9	多喷嘴对置式水煤浆气化技术	水煤浆经隔膜泵加压，通过四个对称布置在气化炉中上部同一水平面的工艺喷嘴，与氧气一起对喷进入气化炉进行气化反应。气化炉的流场结构由射流区、撞击区、撞击流股、回流区、折返流区和管流区组成，通过喷嘴对置、优化炉型结构及尺寸，在炉内形成撞击流，强化混合和传质传递过程，形成炉内合理的流场结构，达到良好的工艺与工程效果。	适用于煤化工装置、IGCC发电装置。	适宜长焰烟煤，单炉最大处理能力3000吨/天。	45万吨/年合成氨气化岛（一开一备）单位投资900元/吨合成氨。	碳转化率达99%，有效气成分高于80%，煤炭能量利用率达98%。

序号	技术名称	技术内容	适用范围	适用条件	投资估算	节能减排效果
10	水煤浆水冷壁气化技术	通过热能和化工的结合,突破了现有水煤浆+耐火砖保护和干粉+水冷壁的传统概念,实现了新的水煤浆+水冷壁气化工艺。彻底解决了现有耐火砖气化炉的煤种灰熔点限制问题,采用了点火预热和工艺烧嘴组合喷嘴,冷态启动时间不到现有耐火砖气化炉的十分之一,启动迅速灵活;喷嘴使用寿命长,单炉可用率达8000小时/年。	适用于以CO和H ₂ 为主的合成气生产装置。也可以作为燃料气和还原气。	适用于褐煤、烟煤到无烟煤全煤阶的水煤浆气化工业,要求原料煤成浆浓度≥50%,干基灰分≤20%。	新建一条处理煤2000吨(干煤)/天的生产线,总投资约1.5亿元。	新建一条处理煤2000吨(干煤)/天生产线,与现有同类装置相比,每年节能约11000tce,减排二氧化碳约28000吨,减排氮氧化物约130吨,减排硫化物约100吨,减少灰渣排放1800吨。
11	新型高效煤粉锅炉系统技术	新型高效煤粉锅炉系统采用煤粉集中制备、精密供粉、空气分级燃烧、炉内脱硫、锅壳(或水管)式锅炉换热、高效布袋除尘、烟气脱硫和全过程自动控制等先进技术,实现了燃煤锅炉的高效运行和洁净排放。	煤炭行业生产用蒸汽、供暖。	适宜燃烧优质褐煤、长焰煤,无烟煤、贫煤及一般烟煤均不适宜。	单位投资35万元/t/h。	煤粉燃尽率98%以上,热效率88%以上,与传统工业锅炉相比,节能35%以上。净化处理后,外排的烟气含尘低于25mg/Nm ³ 、二氧化硫低于100mg/Nm ³ 、氮氧化物低于150mg/Nm ³ 。

序号	技术名称	技术内容	适用范围	适用条件	投资估算	节能减排效果
12	大功率可调节等离子点火技术	采用航天大功率可调节等离子喷枪，喷枪输出功率 100~500kW，解决贫煤的点燃问题；阴极使用寿命提高到 200 小时，不仅可以点火，也可以在煤品变化时进行稳燃、助燃，真正实现无油点火、助燃；喷枪功率大小可随时调节，有效降低能耗，提高设备使用寿命；先进的 IGBT 晶体管整流和高频起弧装置，大幅度提高整流功率因数与起弧成功率；优化流场设计的点火煤粉燃烧器，保证点火燃烧的稳定性与可靠性。	210-3000 吨/小时工业煤粉锅炉	适宜燃煤锅炉采用褐煤、烟煤、贫煤等煤种。	1097 吨/小时及其以下燃煤锅炉费用为 350 万元；1097-3000 吨/小时燃煤锅炉费用为 350-700 万元	每次起停 1097 吨/小时燃煤锅炉、2100 吨/小时燃煤锅炉、3000 吨/小时燃煤锅炉可以减排粉尘分别为 43.6 吨、62.3 吨、93.5 吨，减排硫化物分别为 4.3 吨、6.14 吨、9.2 吨；节油分别为 100 吨、180 吨、260 吨，形成可观的经济效益。
13	蓄热式电石生产新工艺	以中低阶煤炭和生石灰为原料，采用蓄热式旋转床热解——热装电石炉双联工艺生产电石，原料适应性广，系统能耗低，副产高附加值的油气资源。	电石行业	适用于密闭式电石炉，入炉原料要求：空干基碳材固定碳 $\geq 81\%$ ，石灰氧化钙含量 $\geq 90\%$	新建一条年产 10 万吨电石生产线投资约 1.8 亿元；改造一条年产电石 10 万吨的生产线投资 1.2 亿元	实现碳材和生石灰原料 100%利用，吨电石节电量 $\geq 400\text{kwh}$ ；以年产 10 万吨电石生产线为例，年节能约 16000 吨标煤，减排二氧化碳约 38400 吨，减排氮氧化物约 112 吨，减排二氧化硫约 384 吨。

序号	技术名称	技术内容	适用范围	适用条件	投资估算	节能减排效果
14	中低阶煤炭分质梯级利用新技术	以挥发分高、直接利用难度大的低变质煤为原料,采用无热载体蓄热式旋转床煤热解技术,通过热解提质提取其中的油气资源,生产高附加值的气体和液体燃料,剩余的固体产品提质煤可作为燃料或优质煤化工原料。本技术采用蓄热式燃烧——辐射管加热技术,热效率高达90%以上;无热载体,油气品质纯、质量好;旋转床关键技术成熟,易实现单炉能力扩大,单台装备处理量可达100万吨/年。	煤化工行业	褐煤和高挥发分烟煤	新建单系列年处理煤100万吨(干煤)生产线投资约5.8亿元	新建单系列年处理煤100万吨(干煤)生产线,与现有同类装置相比,每年节能约127200吨标煤,减排二氧化碳约305280吨,减排氮氧化物约890吨,减排二氧化硫约3053吨,减少水耗约120000吨。
15	多通道喷煤燃烧技术	利用大速差原理和浓缩燃烧技术,采用多通道、大推力的燃烧器。	建材(水泥)、冶金、有色行业大中型回转窑新建或改造,尤其适用于水泥行业。	燃料为一般普通烟煤、热值大于4500kcal煤。	改造单台5500t/d(2500t/d)水泥回转窑需要总投资80(60)万元。	改造单台5500t/d(2500t/d)水泥回转窑,年节能量1300(600)tce。
16	富氧燃烧技术	用富氧代替空气助燃,可改善产品质量、降低能耗、减少污染	建材、轻工等行业工业窑炉(以浮法玻璃熔窑为例)	500t/d 浮法窑	100万元	节能3-5%,年节约1000t重油。

序号	技术名称	技术内容	适用范围	适用条件	投资估算	节能减排效果
17	解耦燃烧技术	该燃烧方式可有效抑制氮氧化物的生成,是一种在燃烧过程中减少污染物的清洁燃烧技术。通过控制燃料中的硫含量以及抑制燃烧过程中的氮氧化物生成,实现整个燃烧过程的清洁化。煤炭燃料定时加入解耦燃烧炉,燃烧氧气经一次风和二次风送入炉内,燃烧烟气热量加热窑炉物料或锅炉水,烟气热量被利用,然后烟气进入脱硫除尘净化,达到燃气锅炉燃烧排放标准后,最终排入大气。	市政用锅炉、中小工业锅炉、工业窑炉。	不能使用原煤作为燃料,所用的燃料是专用的煤基清洁固体成型燃料(俗称兰炭)。	一台年耗10万吨标准煤的锅炉,总投资2000万元。	燃烧过程生成的氮氧化物烟气中的浓度低于200mg/Nm ³ ,二氧化硫在烟气中的浓度低于100mg/Nm ³ ,以及烟气粉尘浓度均达到天然气锅炉标准;燃烧效率99%以上、锅炉热效率超过90%,达到天然气锅炉标准。

序号	技术名称	技术内容	适用范围	适用条件	投资估算	节能减排效果
18	工业锅炉烟气余热利用技术	根据锅炉类型和用户需求,采用尾部节能装置回收烟气余热,并采用强化传热技术和耐腐蚀技术提高换热能力和耐腐蚀性。	工业生产用蒸汽、热水系统	适用于排烟温度高于120度的工业锅炉回收烟气余热。	一台35吨工业锅炉,总投资约60万。	排烟温度每降低15度,效率增加1%。燃气工业锅炉效率可提高5~10个百分点,投资回收期0.5年~1年。燃煤工业锅炉效率可提高3个百分点,投资回收期2年。
19	工业锅炉控制系统技术	按负荷要求,实时调节给煤量、给水量、鼓风量和引风量,实施燃烧自动调节,包括电动机的变频调速,装设烟气氧量监测仪表,配以先进的调风装置,大幅提高燃烧效率。	工业锅炉	适用于燃煤锅炉节能改造	一10吨燃煤工业锅炉,总投资约20万。	提高效率2~5个百分点,投资回收期一般2~3年
20	液烃汽化技术	将常压液态的轻烃油分子瞬间震荡成为微小活泼的汽态油分子,变成可燃气体,并以低压安全的稳定输出,在管道输不到的场所用于终端设备。	需要气体燃料的工业行业。	原料(如油气伴生副产品)的价格关系到本技术的经济性	供应240万大卡燃料,需投资100万元	燃烧效率达90%以上。因气体油分子小能够完全燃烧,大幅减低空气污染。

序号	技术名称	技术内容	适用范围	适用条件	投资估算	节能减排效果
21	太阳能中温集热技术	通过高效太阳能中温集热技术、太阳能中温利用热源技术、多能互补的太阳能中温利用集成技术及多参数耦合优化、太阳能中温利用集成系统控制技术、太阳能系统热能输配管网优化技术实现太阳能中温热的回收利用。	纺织、印染、食品等行业。	适用于太阳能资源丰富地区、具有安装集热器的场地条件	集热器单位投资 3000 元/m ²	能够回收 80-250℃ 热能替代工业用热等领域的燃煤消耗