

52 高炉鼓风除湿节能技术

一、技术名称：炼铁高炉鼓风除湿节能技术

二、技术所属领域及适用范围：钢铁行业

三、与该技术相关的能耗及碳排放现状

炼铁工序是我国钢铁工业节能的重要环节，重点钢铁企业入炉焦比低于390kg/tFe，但一些中小钢铁企业入炉焦比较高，有的甚至达到488kg/tFe，燃料比在560kg/tFe左右。目前该技术可实现节能量38万tce/a，减排约100万tCO₂/a。

四、技术内容

1.技术原理

采用冷凝法除湿，入热风炉的空气采用脱湿技术工艺，将进入鼓风机之前的湿空气先行预冷，接着将预冷后的湿空气通过表冷器冷却，使其温度降低到空气含湿量对应的饱和温度以下，湿空气中的多余饱和量的水份凝结析出，再经过除水器排出，使空气中含水量降低。

2.关键技术

采用冷凝方式在热交换器中将空气降温，使之低于露点，除去饱和水。其特点为：

(1) 采用制冷剂直接蒸发冷却空气，效率高，可增加鼓风质量流量5%-15%，或保持不变（13.8%），减少鼓风机轴功率5%-15%；

(2) 脱湿装置双层布置，设备紧凑，管道短，占地少；

(3) 完全清除吸入空气中残存灰尘，解决了风机叶片、叶轮磨损问题，出口气体含尘量1mg/m³。

3.工艺流程

高炉鼓风除湿系统工艺流程见图1。

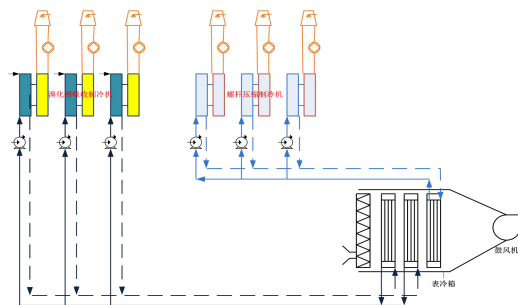


图1 高炉鼓风除湿系统工艺流程图

五、主要技术指标

高炉鼓风含湿量每降低 $1\text{g}/\text{m}^3$ ，综合焦比降低 $0.7\text{kg}/\text{tFe}$ ，折合 $0.68\text{kgce}/\text{tFe}$ ；高炉鼓风含湿量每降低 $1\text{g}/\text{m}^3$ ，增加喷煤 $2.23\text{kg}/\text{tFe}$ ；高炉鼓风含湿量每降低 $1\text{g}/\text{m}^3$ ，由于高炉顺行增加产能约 $0.1\%-0.5\%$ 。

六、典型应用案例

典型用户：秦皇岛首秦金属材料有限公司、江苏永联钢铁集团有限公司

技术提供单位：山钢集团莱芜钢铁集团有限公司

1. 秦皇岛首秦金属材料有限公司。主要技改内容：对 2#、3#高炉鼓风机组进行改造，安装高炉鼓风除湿设备，对高炉鼓风进行制冷除湿。节能技改投资额 3000 万元，建设期 6 个月。年节能 14000tce，取得节能经济效益 1500 万-2000 万元，投资回收期 2 年。

2. 江苏永联钢铁集团有限公司。主要技改内容：对 1-7#高炉鼓风机组进行改造，安装高炉鼓风除湿设备，对高炉鼓风进行制冷除湿。节能技改投资额 6000 万元，建设期 12 个月。年节能 60000tce，取得节能经济效益 3000 万-4000 万元，投资回收期 2 年。

七、推广前景及节能减排潜力

华南、华东地区以及沿海湿度绝对值较大地区的钢铁企业对炼铁高炉鼓风除湿技术的市场需求很大。北方地区随着气候的变化，空气中含湿量的季节波动和昼夜波动也较大，大型高炉也可考虑采用鼓风除湿技术。预计未来 5 年，该技术在行业内的推广潜力可达到 10%，预计投资总额 15 亿元，节能能力 75 万 tce/a，减排能力 183 万 tCO_2/a 。

53 螺杆膨胀动力驱动节能技术

一、技术名称：螺杆膨胀动力驱动节能技术

二、技术所属领域及适用范围：钢铁行业 工业低品位余热资源回收利用

三、与该技术相关的能耗及碳排放现状

目前，我国工业领域存在大量余热资源未加利用，在能耗较高的钢铁、建材、石化等行业尤其如此。

在钢铁行业，钢铁厂炼铁、炼钢工序环节会产生大量含有余热的废气，如高炉废气、转炉烟气等，具有很高的利用价值。

在水泥行业，我国新型干法水泥生产技术的普及率已达 70%以上，产生的烟气为中低温烟气，一般在 400℃ 以下，通过配套建设相应的余热发电装置，可回收的低温余热折合 100 万 tce 以上。

在石化行业，低温余热一般是指温度低于 130℃ 的物流所携带的热量，其在炼厂总能耗中占有相当大的比例，有的高达 60%。低温余热产生的环节一般为常减压装置中抽出产品的冷却热量等，可利用的余热资源量十分可观。

在有色行业，铝冶炼过程因受工艺技术条件的限制，有些氧化铝厂煤气发生炉生产出的 350-550℃ 高温煤气，必须经过循环水喷淋、洗涤塔洗涤降温到 35℃ 后才能供生产使用，产生大量余热资源，可采用适当的余热回收技术对其进行回收利用。

目前应用该技术可实现节能量 4 万 tce/a，减排约 11 万 tCO₂/a。

四、技术内容

1. 技术原理

该技术是一种新型的低品质能源动力机。热流体（蒸汽、热液或汽液两相流体）进入螺杆齿槽，热流体能量推动螺杆转动旋转，齿槽容积增加，流体降压膨胀做功，最后排出，实现能量转换。其功率从主轴阳螺杆输出，驱动发电机发电或驱动负载节电。

2. 关键技术

(1) 对做功热介质适应性强，无特殊要求。该技术可同时适用于过热蒸汽、饱和蒸汽、汽液两相和较高温度热水；也适合于高盐分和结垢的介质状态。

(2) 对负荷变化和进排汽参数变化，适应性很强。即：允许负荷和参数在大范围

内波动变化，而驱动工作效率降幅很小，与设计值接近，并能维持稳定的高效率，运转平稳、安全、可靠。

3.工艺流程

设备结构如图 1:

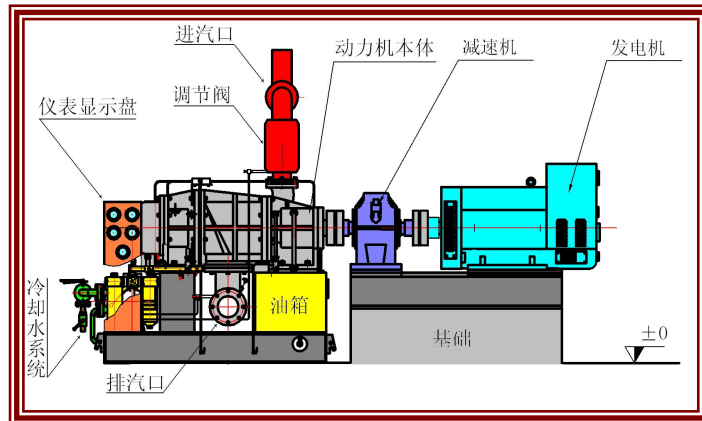


图 1 螺杆膨胀动力机结构简图

工艺流程见图 2:

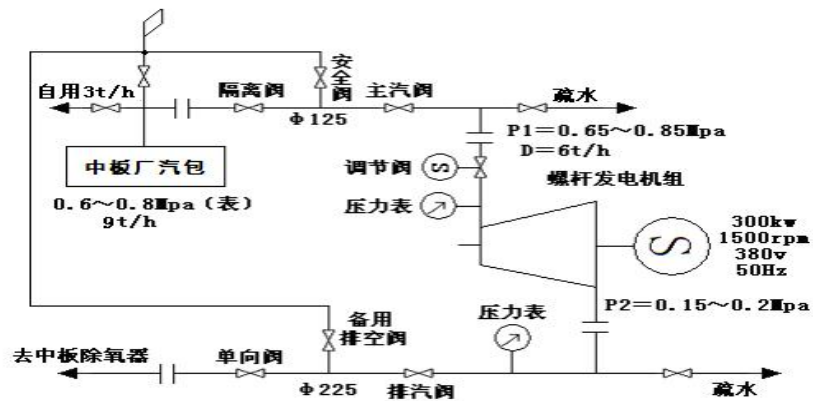


图 2 应用螺杆膨胀机的系统工艺流程图

五、主要技术指标

动力机内功率：65%-80%；

运行功率范围：30%-100%；

进口介质压力：0.3 MPa -3.0MPa；

进口介质温度：120-300℃；

做功介质类型：过热蒸汽、饱和蒸汽、湿蒸汽、热水、含盐污染热源介质和其他

化工物质；

机组转速：1000-3000rpm；

拖动负载：发电机直接发电、其他转动设备，如水泵等；

冷却水要求：流量 $\geq 2\text{t/h}$ ，无杂质和腐蚀的工业水。

六、技术鉴定、获奖情况及应用现状

螺杆膨胀动力机已通过了一系列国家级、部委级的技术评审和鉴定，主要包括：国家“八五”科技攻关大试；获江西省科学技术厅“江西省重点新产品技术鉴定证书”；获江西省机械厅“新产品新技术鉴定验收证书”；获第八届中国国际高新技术成果交易会自主知识产权证书；获联合国工业发展机构 2006 年“蓝天奖”提名奖第一名；获国家知识产权局颁发的发明专利证书。

目前已广泛应用于电力、化工、石油、冶金、轻工、建材、纺织等工业领域，国内市场产品销售已达 230 多台。

七、典型应用案例

典型用户：西藏羊八井、新余钢铁厂、九江电厂、中石油银川炼化厂、广东造纸厂、华能北京、山东胜利发电厂、江苏南通唐闸热电厂、沙湖纸业、江苏天生港发电厂

典型案例 1：新钢厚板厂

技术提供单位：江西华电电力有限责任公司

建设规模：装机 300kW 加热炉放散蒸汽发电。主要改造内容：安装 1 台螺杆膨胀动力机，直接从放散口将蒸汽引入动力机，蒸汽做功发电。节能技改投资额 260 万元，建设期 3 个月。年发电 150 万 kWh，相当于年节能 525tce，投资回收期 4 年。

典型案例 2：国电九江电厂

技术提供单位：江西华电电力有限责任公司

建设规模：装机 300kW 锅炉排污水发电项目。主要改造内容：将排污水经调压后引入动力机，排污水做功发电后加热冷水利用。节能技改投资额 260 万元，建设期 3 个月。年发电 170 万 kWh，供热水 18 万 t，相当于年节能 2066tce，投资回收期 1.5 年。

八、推广前景及节能减排潜力

目前该技术在各行业都有应用，但推广比例还较小，基本在 1% 以下，预计近几年将得到广泛推广。以钢铁和石化行业为例，预计未来 5 年，该技术在行业内的推广潜力

可达到 80%，预计投资总额 25 亿元，节能能力 67 万 tce/a，减排能力 177 万 tCO₂/a。

54 电炉余热和加热炉余热联合发电技术

一、**技术名称：**电炉余热和加热炉余热联合发电技术

二、**技术所属领域及适用范围：**钢铁行业 电炉炼钢

三、**与该技术相关的能耗及碳排放现状**

当前，中国钢铁工业能耗总量占全国能耗总量的 12%-15%，其中，电炉炼钢占全国钢铁产量的 10%。电炉炼钢过程中会产生大量的高温含尘烟气（约 1000-1400℃），烟气显热占电炉炼钢总能耗的 10%以上。目前国内对烟气冷却方式主要为水冷方式，即冶炼所产生的一次烟气从其第四孔抽出，经水冷弯头、水冷滑套、燃烧沉降室、水冷烟道冷却后，再经空冷器或喷雾冷却塔降到约 350℃，最后与来自大密闭罩及屋顶除尘罩温度为 60℃的二次废气相混合，混合后的废气温度低于 130℃，进除尘器净化，并经风机排往大气。该方式实现了烟气降温除尘的目的，缺点是：一方面消耗大量的电能和水，另一方面大量高温烟气的热量没有得到回收利用。目前该技术可实现节能量 20 万 tce/a，减排约 53 万 tCO₂/a。

四、**技术内容**

1. 技术原理

电炉第四孔的炉气，经炉盖弯管和移动弯管烟道之间的间隙，进入移动弯管烟道，同时抽入一定量的炉外空气，以燃烬炉气中的CO等可燃气体形成高温烟气，高温烟气依次经过沉降室、汽化烟道、余热锅炉及节能器生产一定压力的蒸汽供生产生活使用，同时经余热利用系统后的烟气温度降到约250℃，与来自大密闭罩及屋顶除尘罩温度为 60℃的二次废气相混合，混合后的废气温度低于130℃，进除尘器净化，并经风机排往大气。

2. 关键技术

根据系统所处工况的不同，工艺系统可分别采用低压强制循环汽化冷却系统、中压强制循环汽化冷却系统、中压自然循环汽化冷却系统及直流系统，最大限度回收烟气余热，同时综合考虑系统安全可靠、经济运行、延长系统使用寿命及降低投资等因素。

余热锅炉设备的关键技术为：合理的烟气量、汽化冷却方式和强制循环倍率的选择，受热面的形式选择及对烟气中的粉尘适应性（含耐磨性和粘结性），合理的烟道流

速选择。

3. 工艺流程

工艺流程见图 1。

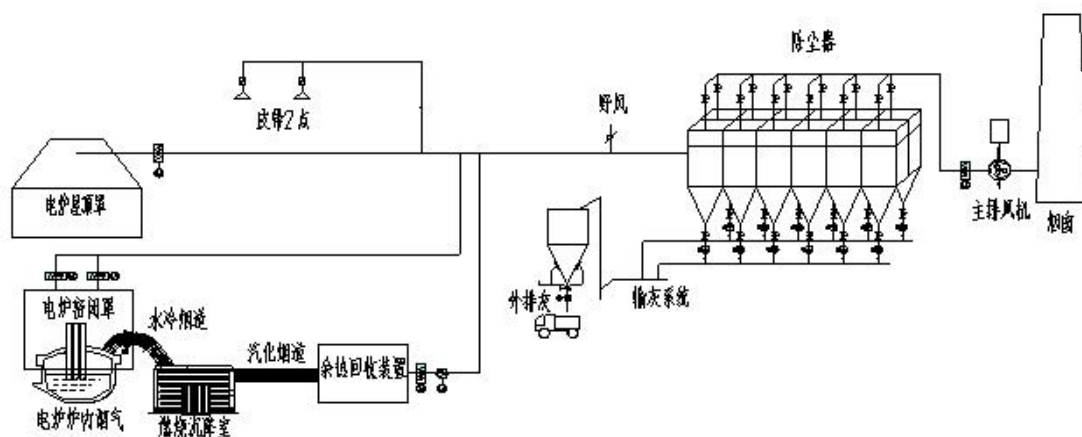


图 1 电炉烟气余热回收利用系统工艺流程图

五、主要技术指标

- 1.回收蒸汽量：每吨钢 140-200kg；
- 2.余热利用系统排烟温度： $\leq 250^{\circ}\text{C}$ 。

六、技术鉴定、获奖情况及应用现状

目前，欧洲及俄罗斯部分钢铁厂的电炉烟气余热利用已经实现了汽化冷却产生蒸汽供钢铁厂生产生活使用，这样可大大降低除尘系统运行的电耗，降低炼钢成本，是电炉烟气冷却除尘的最佳工艺方向。但国内电炉烟气冷却除尘处理还一直停留在水冷方式上，在生产蒸汽方面尚无成熟的技术。本技术在河北邢钢集团邢台不锈钢有限公司进行了首台示范应用。

七、典型应用案例

典型用户：河北邢钢集团邢台不锈钢有限公司

技术提供单位：山东省冶金设计院股份有限公司

建设规模：50t 电炉。主要技改内容：电炉烟气余热回收利用系统，主要设备为移动转弯烟道、固定斜烟道、沉降室、水平烟道、除尘器、余热锅炉本体、节能器及相关辅机。节能技改投资额 1286 万元，建设期 9 个月。年回收蒸汽量 5.0929 万 t；折合 5600tce/a，年节约 830 万元，投资回收期 2.3 年（含建设期）。

八、推广前景及节能减排潜力

按照目前电炉钢比例计算,预计未来 5 年,该技术在行业内的推广潜力可达到 90%,
预计投资总额 25 亿元,节能能力 44 万 tce/a,减排能力 116 万 tCO₂/a。

55 矿热炉烟气余热利用技术

一、技术名称：矿热炉烟气余热利用技术

二、技术所属领域及适用范围：钢铁行业 硅系铁合金冶炼、化工电石行业等

三、与该技术相关的能耗及碳排放现状

2008 年我国各类铁合金产量 1900 万 t，耗电量约为 1100 亿 kWh。目前该技术可实现节能量 53 万 tce/a，减排约 140 万 tCO₂/a。

四、技术内容

1. 技术原理

通过余热回收装置，利用生产过程中产生的高温烟气及辐射热量，进行二次回收利用，在余热锅炉内产生中低压蒸汽，进而推动发电设备进行发电。

2. 关键技术

矿热炉高温烟气导入余热锅炉，蒸汽驱动汽轮机组从而带动发电。

当余热发电设备出现故障或进行正常维修时进行烟气导出转换，恢复现有除尘状态。

3. 工艺流程

具体工艺流程见图 1。

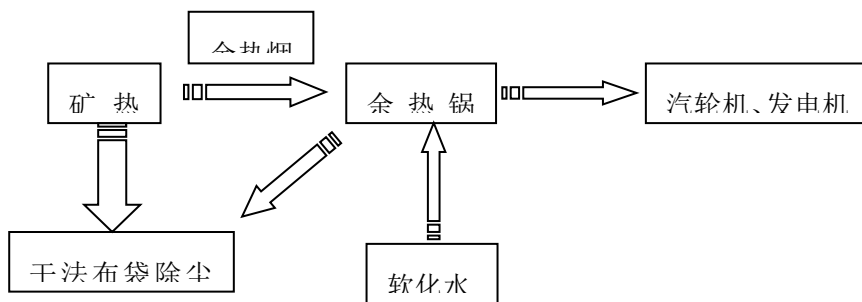


图 1 硅系铁合金冶炼矿热炉烟气余热利用系统示意图

五、主要技术指标

16 台 14000kVA 矿热炉余热利用系统，年发电量可达 1.92 亿 kWh。

六、典型应用案例

典型用户：青海百通高纯材料开发有限公司

技术提供单位：青海百通高纯材料开发有限公司

建设规模：8 台 13t 余热锅炉，24000kW 余热发电机组及配套设施，设计年发电量为 1.92 亿 kWh。主要技改内容：将原来的烟气净化空冷却器全部拆除，安装 8 台 13t 余热锅炉及相关配套管网，安装 24000kW 蒸汽发电机及配套余热锅炉和输电设备，改造硅铁矿热炉烟罩，建冷却池、冷却塔、化学水处理、给排水及相应土建工程。主要设备为 16 台 14000kVA 矿热炉烟罩、8 台 13t 余热锅炉和 24000kW 余热发电机组及配套设施。节能技改投资额 1.71 亿元，建设期 18 个月。每年可节约 67200tce（按年发电量 1.92 亿 kWh 计算），年节能经济效益 6144 万元，投资回收期 2.5 年。

七、推广前景及节能减排潜力

预计未来 5 年，该技术在行业内的推广潜力可达到 80%，预计投资总额 110 亿元，节能能力 105 万 tce/a，减排能力 277 万 tCO₂/a。

56 非稳态余热回收及饱和蒸汽发电技术

一、**技术名称：**非稳态余热回收及饱和蒸汽发电技术

二、**技术所属领域及适用范围：**钢铁行业 钢铁、有色金属、石化等行业生产过程产生的不稳定、不连续余热资源回收

三、**与该技术相关的能耗及碳排放现状**

该节能技术主要应用于非稳态余热资源的回收利用。由于这类余热热量和参数不稳定、波动大导致回收困难，因此目前多数不稳定余热直接排放到环境中，未能得到有效利用。据不完全统计，仅在钢铁、有色冶炼行业，全国有至少有 300 万 tce 以上非稳态余热资源未得到充分利用。目前该技术可实现节能量 8 万 tce/a，减排约 21 万 tCO₂/a。

四、**技术内容**

1.技术原理

非稳态余热经高温除尘，余热锅炉将热量传递给循环工质，循环工质吸收热量后变为蒸汽进入储热器。储热器的作用是将非稳态的工况转化为稳态。稳态蒸汽进入汽轮机内除湿再热后，经饱和蒸汽轮机做功，乏汽进入凝汽器，在其内凝结为水，并经除氧后返回余热锅炉开始下一个循环，从而将非稳态余热资源转化为电能高效利用。

2.关键技术

- (1) 非稳态热源余热回收及高效蓄能稳流技术；
- (2) 饱和蒸汽汽轮机去湿再热技术的改进和优化；
- (3) 空气直接凝汽新技术；
- (4) 高温除尘技术；
- (5) 余热发电系统集成与优化。

3.工艺流程

该技术的工艺流程见图 1。

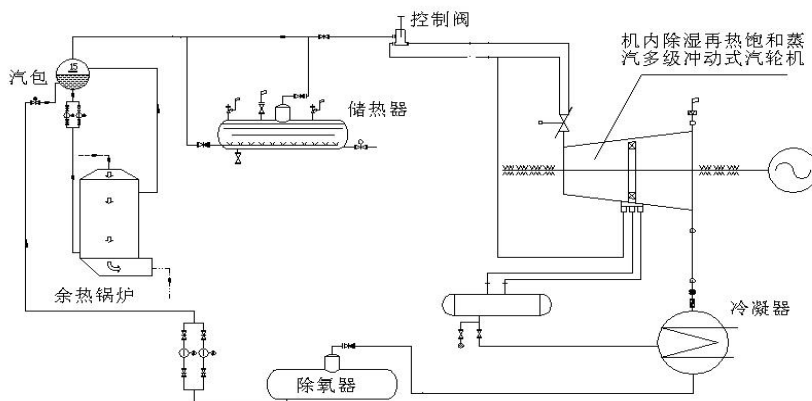


图 1 非稳态余热回收及饱和蒸汽发电技术系统流程图

五、主要技术指标

1.可回收温度在200-1000℃，波动范围达80%、流量波动达3倍的烟气余热资源；

2.系统发电效率15%以上。

六、技术鉴定、获奖情况及应用现状

该技术已经应用于多个工程项目。2009年，采用该技术的珠钢电炉烟气利用项目被中国节能服务产业委员会授予“中国节能服务产业优秀示范项目”。

该技术已经先后对钢铁的转炉饱和蒸汽、电炉饱和蒸汽、铅锌冶炼的饱和蒸汽及铜冶炼的饱和蒸汽进行利用，各实施案例均运行良好，技术比较成熟。

七、典型应用案例

典型案例 1：济南钢铁股份有限公司

技术提供单位：北京世纪源博科技有限责任公司

建设规模：济南钢铁股份有限公司（济钢）一炼钢转炉饱和蒸汽 4.5MW 余热电站。主要技改内容：对转炉蓄热器进行改造，新建汽轮发电机，主要技改设备包括蓄热器、汽轮机和发电机。节能技改投资额 3500 万元，建设期 10 个月。每年可节能 11500 tce，年节能经济效益 874.8 万元，投资回收期 4 年。

典型案例 2：陕西东岭锌业有限责任公司

技术提供单位：北京世纪源博科技有限责任公司

建设规模：陕西东岭锌业 13MW 饱和蒸汽余热发电工程。主要技改内容：对产生的饱和蒸汽进行收集，处理后，建设饱和蒸汽发电机组。主要技改设备包括蓄热器、汽轮机和发电机。节能技改投资额 9000 万元，建设期 1 年。年可节

能 33200tce，年节能经济效益 2525 万元，投资回收期 3.6 年。

八、推广前景及节能减排潜力

在工业生产中，根据工艺流程的需要，很多情况下会生产不连续、不稳定的蒸汽或饱和蒸汽，如钢铁行业的炼钢转炉、炼钢电炉，炼锌的沸腾炉、漩涡炉，以及烟化炉等。这些蒸汽的参数较低，品质较差，采用常规的汽轮机效率很低，且容易发生水蚀；如果采用饱和蒸汽汽轮机结合蓄热式饱和蒸汽稳流系统技术，可以使发电系统正常运行，不受末级叶片水蚀和干度的限制，可充分利用非稳态的余热资源。预计未来 5 年，该技术在行业内的推广潜力可达到 20%，预计投资总额 7.5 亿元，节能能力 30 万 tce/a，排能力 79 万 tCO₂/a。

57 加热炉黑体技术强化辐射节能技术

一、**技术名称：**加热炉黑体技术强化辐射节能技术

二、**技术所属领域及适用范围：**钢铁行业 各种加热炉

三、**与该技术相关的能耗及碳排放现状**

目前，各种工业炉窑均在采用多项节能技术来提高锅炉效率，如加热炉筑炉材料的优化（轻型）、炉膛结构的改动（诸如降低炉膛高度、增设炉膛内隔墙、以期增加气流扰动）、采用蓄热式燃烧技术、涂料技术、预热利用技术等，虽然也取得一些节能效果，但其效果均有限，要达到10%左右均比较困难。目前该技术可实现节能量83万tce/a，减排约219万tCO₂/a。

四、**技术内容**

1.技术原理

根据红外物理的黑体理论及燃料炉炉膛传热数学模型，制成集“增大炉膛面积、提高炉膛发射率和增加辐照度”三项功能于一体的工业标准黑体--黑体元件，将众多的黑体元件安装于炉膛内壁适当部位，与炉膛共同构成红外加热系统；既可增大传热面积，又可提高炉膛的发射率到0.95（1002℃），同时能对炉膛内的热射线进行有效调控，使之从漫射的无序状态调控到有序，直接射向钢坯，从而提高炉膛对钢坯辐射换热效率，取得较好的节能效果。

2.关键技术

（1）高辐射系数黑体元件；

（2）黑体元件安装技术。

3.工艺流程

通过设计将一定数量高辐射系数（0.95以上）的黑体元件，安装在轧钢加热炉内炉顶和侧墙，增加辐射面积，增加有效辐射，提高加热质量，降低燃料消耗。黑体元件布置示意图见图1。其工艺流程为：施工准备→炉衬清理及局部修补→黑体元件布置划线→炉衬工艺小孔加工→黑体元件安装→对炉衬做保护性处理和红外涂装→施工现场清理→正常烘炉→测试及验收。



图 1 黑体元件布置示意图

五、主要技术指标

- 1.黑体原件辐射系数大于0.95;
- 2.寿命大于5年;
- 3.节能率10%-20%。

六、技术鉴定、获奖情况及应用现状

该技术已于 2011 年 8 月通过中国资源综合利用协会组织的技术鉴定。黑体技术已被成功应用改造上百台各种类型的加热炉、热处理炉，均取得了较好的节能效果，并受到国内多家大型钢铁企业的高度评价。目前已在首秦、沙钢、淮钢、莱钢、首钢迁钢、德胜钢铁、福建三钢、亿鑫钢铁等钢铁企业应用。

七、典型应用案例

典型案例 1：秦皇岛首秦金属材料有限公司

技术提供单位：浙江西华节能技术有限公司

建设规模：150 万 t 中厚板轧钢加热炉。主要技改内容：在炉膛内增加 17000 个黑体元件及红外加热系统，主要技术设备包括黑体元件和红外加热系统。节能技改投资额 350 万元，建设期 18 天。每年可节能 9817tce，年节能经济效益 825.8 万元，投资回收期约 5 个月。

典型案例 2：首钢迁钢热轧部 2160 热轧 3#炉

技术提供单位：浙江西华节能技术有限公司

建设规模：135 万 t 热轧带钢加热炉。主要技改内容：在加热炉内壁炉顶的预热段、加热段等部位安装 15240 个黑体元件及红外加热系统，主要技术设备包括黑体

元件和红外加热系统。节能技改投资额 380 万元，建设期 9 天。每年可节能 6650tce，年节能经济效益 465.7 万元，投资回收期约 10 个月。

八、推广前景及节能减排潜力

黑体强化辐射传热技术是提高加热炉热效率、获得节能效益的有效途径之一，也是高能耗加热炉群装备实现技术进步的重要手段之一。黑体技术是采用“黑体强化辐射传热节能”的节能机理，在加热炉热流的源头，对热射线进行有效调控，提高其加热能力和加热质量，降低能源消耗和钢坯氧化烧损，从而改善工业炉窑多项使用性能，可以使消耗各种能源（电、气、油、煤）的加热炉在现有的基础上再节约 10%-15%。预计未来 5 年，该技术在行业内的推广潜力可达到 40%，预计投资总额 12 亿元，节能能力 220 万 tce/a，减排能力 581 万 tCO₂/a。

58 棒材多线切分与控轧控冷节能技术

一、**技术名称：**棒材多线切分与控轧控冷节能技术

二、**技术所属领域及适用范围：**钢铁行业 小规格螺纹钢轧制

三、**与该技术相关的能耗及碳排放现状**

目前，国内轧钢企业轧制小规格螺纹钢的能耗为每吨钢 53kgce；主要生产 II 级螺纹钢，我国建筑领域今后将要求使用 III 级或以上等级螺纹钢，所以提高螺纹钢强度及降低生产能耗是小规格螺纹钢的主要发展方向。目前应用该技术可实现节能量 3 万 tce/a，减排约 8 万 tCO₂/a。

四、**技术内容**

1. 技术原理

多线切分技术是在型钢热轧机上利用特殊轧辊孔型和切分导卫装置将一根轧件沿纵向切成多根轧件，进而轧制出多根成品轧材。其中四/五切分导卫装置采用前后两组切分轮，前切分轮将多联钢坯外侧的两条钢先分离，后切分轮将中间的两联或三联钢坯再分离，从而实现四/五切分轧制。

控轧控冷技术是在热轧过程中，通过对轧材的变形控制和在机架间及成品后安装一种专门的水冷装置，让轧件在常温的水中穿过，对轧件进行快速冷却，从而达到提高钢材组织和性能的目的。

2. 关键技术

(1) 多线切分技术

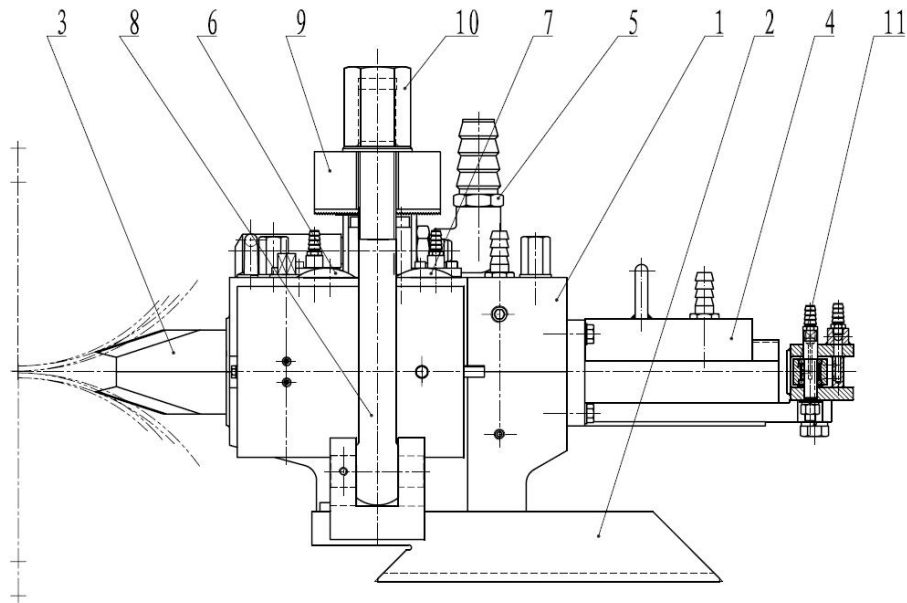
在多线切分装置前端设计了铲嘴和铲尖，解决了轧件缠辊及精确对中问题；采用蜗轮蜗杆无级调节技术；分料箱内采用滚动摩擦，保证轧件不易堵钢；开发了高耐磨、不粘钢，耐冲击，耐高温等关键零部件所需要的新材料；根据装备条件设计了相匹配的特殊的四/五切分孔型系统和相应的自动化控制系统。

(2) 控轧控冷技术

采用特殊的纹式管，让轧件在穿水装置中运行更流畅，降低堵钢机率；关键零部件采用高耐磨的新材料；根据轧件速度、温度等对水流量、压力实现自动调节与控制。

3. 工艺流程

多线切分装置和控轧空冷装置的基本结构见图 1、2。



1 箱体 2 底座 3 铲嘴 4 分料槽 5 水嘴 6 前切分轮组 7 后切分轮组
8 拉杆 9 压紧装置 10 螺栓 11 分料辊

图 1 多线切分装置结构简图

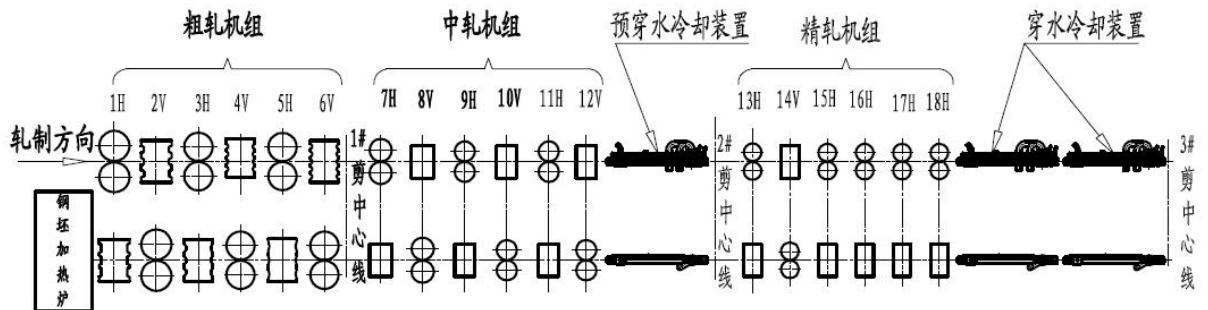


图 2 控轧空冷装置结构简图

五、主要技术指标

1. 减少加热炉待温时间，与两切分相比缩短约 20s/t 钢坯；
2. 提高轧制效率，与两切分相比提高 185%以上；
3. 节能率 10%以上；
4. 螺纹钢质量可提高 1-2 个等级，生产小规格产品可代替大规格产品，节约钢材 12%左右。

六、技术鉴定、获奖情况及应用现状

该技术 2008 年获得安徽省科技进步二等奖，相关技术与装备已获得国家专利。

目前，多线切分技术已成功运用于酒钢集团翼城钢铁公司、武钢玉溪钢铁公司、红河钢铁公司、江西萍钢集团、山东石横特钢集团、首钢长冶钢铁公司、水城钢铁公司等。控轧控冷技术已成功运用于酒钢翼城钢铁公司、愉中钢铁公司；武钢玉溪钢铁公司、红河钢铁公司等，技术成熟可靠。

七、典型应用案例

典型用户：昆钢集团、晋城福盛钢铁有限公司、萍钢集团等

典型案例 1

技术提供单位：合肥东方节能科技股份有限公司

建设规模：年产 80 万 t 螺纹钢轧钢线。主要技改内容：对原有用于轧制单线产品的生产线，改造为多线切分及控轧控冷轧制的生产线。主要设备增加多切分轧制设备，改造活套、导槽等辅助设备；增建轧机间的控轧控冷轧制设备，增加精轧成品后的控轧控冷轧制设备等。节能技改投资额 1000 万元，建设期 2 个月。每年可节能 4165tce，年节能经济效益为 620 万元，投资回收期约 1.5 年。

典型案例 2

技术提供单位：合肥东方节能科技股份有限公司

建设规模：年产 80 万 t 螺纹钢二切分轧制生产线改造。主要技改内容：轧制产品进行多线切分改造，对轧制过程进行控轧控冷技术改造，主要设备包括对轧制工艺进行修改，增加四/五切分轧制设备，按四/五切分要求改造活套、导槽等辅助设备；增建轧机间的控轧控冷轧制技术设备，增加精轧成品后的控轧控冷轧制技术设备。节能技改投资额 900 万元，建设期 1.5 个月。每年可节能 4080tce，年节能经济效益 600 万元，投资回收期 1.5 年。

八、推广前景及节能减排潜力

据统计，2011 年我国螺纹钢总产量 1.66 亿 t，其中 $\phi 10-12\text{mm}$ 螺纹钢产量 1374 万 t， $\phi 14\text{mm}$ 螺纹钢产量约 2500 万 t，占国内钢筋总产量的 23.3%。由于高强度钢筋具有强度高、节材、可降低混凝土的排筋密度等一系列特点，国家将加大 400MPa 及以上高强度钢筋的推广使用力度。预计未来 $\phi 10-\phi 14\text{mm}$ 钢筋消费量将有所增长，棒材多线切分与控轧控冷节能技术不仅节能节材，而且还可提高小规格螺纹钢的轧制强度，具有较好发展空间。预计未来 5 年，该技术在行业内的推广潜力可达到 40%，预计投资总额 1.7 亿元，节能能力 11 万 tce/a，减排能力 29 万 tCO₂/a。

59 钢水真空循环脱气工艺干式（机械）真空系统应用技术

一、**技术名称：**钢水真空循环脱气工艺干式（机械）真空系统应用技术

二、**技术所属领域及适用范围：**钢铁行业 炼钢真空精炼技术领域的 RH、VD 及 VOD 工艺

三、**与该技术相关的能耗及碳排放现状**

目前，国内外的钢水真空循环脱气工艺（RH 工艺）所用真空系统均为湿式真空系统，即多级蒸汽喷射真空泵系统。近年来，国外 VD 及 VOD 工艺有较少部分采用干式机械真空系统，国内尚无先例。湿式真空系统的能耗和水耗约为干式机械真空系统的 10 倍。目前该技术可实现节能量 1 万 tce/a，减排约 3 万 tCO₂/a。

四、**技术内容**

1. 技术原理

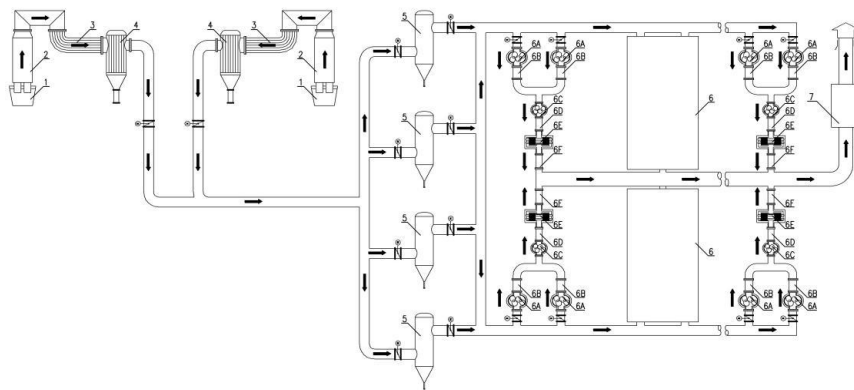
钢水真空循环脱气系统工艺（RH 工艺）是一种重要的钢水炉外精炼方法，具有脱气、脱碳、温度补偿、均匀钢水温度及成分、去除钢中夹杂物等功能。由于钢水真空循环脱气系统工艺要求的真空度高、废气量大，因此采用两级罗茨泵串联之后再与干式螺杆泵串联，组成真空泵组。该泵组是一种将罗茨泵与干式泵相结合的机械真空泵系统，利用罗茨泵的超高抽气能力对 RH 工艺废气“增压”来满足高抽气量的要求，利用干式螺杆泵的高压缩比将工艺废气“压缩”至大气压之上后排至大气，并满足快速抽真空的要求。

2. 关键技术

- （1）满足大型 RH 装置抽气能力的干式机械真空泵组的组态技术；
- （2）干式机械真空泵组安全运行技术；
- （3）适应 RH 高温、高 CO、含 O₂ 烟气过滤及除尘系统技术；
- （4）干式机械真空泵组与 RH 精炼模式的匹配控制技术。

3. 工艺流程

该技术的工艺流程见图 1。



1 钢水包 2 真空槽 3 水冷弯 4 气冷器 5 过滤器 6 真空泵组 6A 罗茨泵
6B 冷却器 6C 罗茨泵 6D 冷却器 6E- 螺杆泵 6F- 冷却器 7- 废气处理器

图 1 干式机械真空系统流程简图

五、主要技术指标

该技术的主要指标见表 1。

表 1 RH 干式机械真空系统主要技术参数

序号	工艺参数	单位	数据
1	RH公称钢水处理量	t	210
2	RH最大钢水处理量	t	230
3	RH最小钢水处理量	t	190
4	年处理钢水量	10 ⁴ t	220
5	真空系统抽气能力@67PaA	kg/h(20℃ 干空气)	800
6	极限真空	PaA	18
7	从大气到67 Pa 抽气时间	min	4.34
8	初始氢≤4 ppm 时脱氢能力		0.9
9	脱碳能力	ppm	10
10	脱氮能力		40
11	真空泵组数量	套	18
12	真空泵组总装设功率	kw	2, 610
13	真空泵组驱动方式	/	变频
14	真空泵组运行频率	Hz	5-60
15	真空泵组循环冷却水流量	t/h	234
16	真空系统用氮气流量	Nm ³ /h	565

17	吨钢耗电	kWh/t	2.15
18	吨钢耗氮气	Nm ³ /t	1.25
19	吨钢耗水	t/t	0.016
20	吨钢能耗折标煤	kgce/t	0.765

六、技术鉴定、获奖情况及应用现状

该技术已成功申请了 2 项发明专利及 13 项实用新型专利。2011 年，该技术获得中国钢铁协会和中国金属协会颁发的冶金科学技术一等奖，入选《世界金属导报》评出的“2011 世界钢铁工业十大技术要闻”。2012 年，该技术又入选了第十五届北京科博会、中国能源战略高层论坛暨第三届节能中国推介活动评选出的“2012 节能中国十大应用新技术”。

目前，210tRH干式机械真空系统已在重钢成功应用，投运以来，系统运行稳定、运行成本低，能耗、水耗较传统的多级蒸汽喷射泵真空系统降低约90%，吨钢节约约 9.34kgce。该技术的成功应用，原则上可以实现“取消综合蒸汽管网”，转炉产生的饱和蒸汽回收后可全部用于发电。2012年6月，山东莱芜钢铁公司也开始在其110tVD装置中采用干式机械真空系统。

七、典型应用案例

典型用户：重庆钢铁（集团）有限责任公司

典型案例 1

技术提供单位：北京世纪源博科技股份有限公司，重庆钢铁集团设计院有限公司

建设规模：与 210tRH 配套、在 67PaA 条件下抽气能力为 800 kg/h(20℃干空气)的干式机械真空系统。主要技改内容：新建干式机械真空系统，与传统的湿式真空系统相比，去掉了蒸汽供应系统（快烧锅炉或饱和蒸汽过热用燃气锅炉）、级间冷凝器、污水、污泥处理系统、庞大的循环冷却水系统。主要设备为气冷器 2 套、粉尘过滤器 4 套、真空泵组 18 套、氮气贮罐 1 台、氮气贮罐 1 台。节能技改投资额与传统的蒸汽喷射式真空系统相比增加 1750 万元，建设期 8 个月。每年可节能 20539tce，年节能经济效益为 1703 万元，投资回收期 1 年。

典型案例 2

技术提供单位：北京世纪源博科技股份有限公司，重庆钢铁集团设计院有限公司

建设规模：与 150tRH 配套，在 67PaA 条件下抽气能力为 507 kg/h(20℃干空气)的干式机械真空系统。主要技改内容：新建干式机械真空系统，主要设备包括气冷器 1 套；粉尘过滤器 3 套；真空泵组 14 套（13 用 1 备）；氮气贮罐 2 台；变频器 56 台；DCS 控制系统 1 套。节能技改投资额与传统的蒸汽喷射式真空系统相比增加 1562 万元，建设期 1 年。每年可节能 14207tce，年节能经济效益 1037 万元，投资回收期 1.5 年。

八、推广前景及节能减排潜力

RH 真空精炼装置是钢水二次精炼系统中最为复杂的装置，其废气成分复杂，含有高浓度的 O₂ 和 CO。截至 2011 年，我国 RH 二次精炼装置总装设台数约有 80 余台套，其中重点钢铁企业炉外精炼处理比例 71%。预计未来 5 年，该技术在行业内的推广潜力可达到 10%，预计投资总额 6.6 亿元，年节能能力 8 万 tce/a，二氧化碳减排能力 21 万 tCO₂/a。

60 炭素环式焙烧炉燃烧系统优化技术

一、**技术名称：**炭素环式焙烧炉燃烧系统优化技术

二、**技术所属领域及适用范围：**钢铁行业 炭素环式焙烧炉燃烧系统及炉盖节能改造

三、**与该技术相关的能耗及碳排放现状**

目前，我国大部分炭素企业采用环式炉进行生制品的一次焙烧。由于燃料由火井上部的煤气入口水平喷入，煤气和炉内产生的沥青烟燃烧不充分，沥青烟产生量大，炉盖漏风，保温性差，能耗高，废气净化难度大。据统计，目前国内炭素企业的平均焙烧能耗约 340kgce/t。目前该技术可实现节能量 7 万 tce/a，减排约 18 万 tCO₂/a。

四、**技术内容**

1. 技术原理

该技术采用新型的燃烧器，煤气自上而下进入火井，与自下而上的烟气及助燃空气混合，使燃烧更加充分，提高了燃烧效率；根据炉室温度和升温曲线自动调节煤气流量，使炉子温控更精确，减少燃料浪费；通过使更多的沥青烟参与燃烧，最大限度地节省燃料，减少沥青烟的产生和排放量；通过新型联通罩的自动调节，降低炉室负压，减少烟气量，降低烟气流速，提高传热效率，减少热损失；通过提高炉盖的密闭性和保温效果，减少热损失。

2. 关键技术

(1) 采用先进的煤气燃烧器、可移动式燃烧架和烟气联通罩，通过采集炉室温度和系统压力参数，自动调节煤气用量和烟气量，实现对炉室温度的精确控制，提高煤气及沥青烟的燃烧效率，提高产品成品率。

(2) 通过改变炉盖的部分结构及耐火材料，减轻了炉盖重量、提高保温和密封效果，延长使用寿命。

3. 工艺流程

炭素环式焙烧炉燃烧系统优化工艺流程见图1。

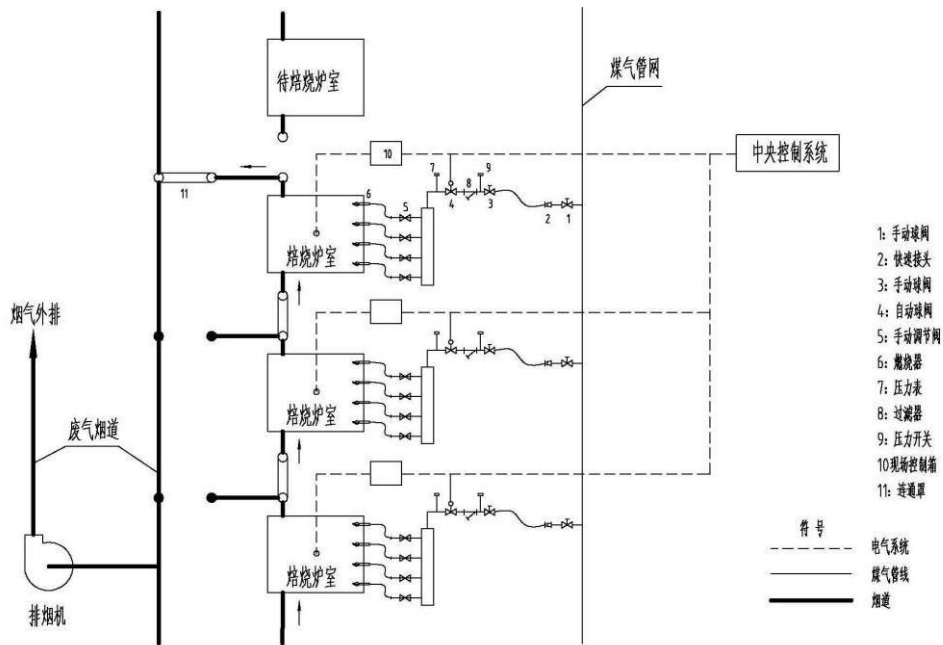


图 1 炭素环式焙烧炉燃烧系统优化工艺流程图

五、主要技术指标

焙烧品单位能耗（包括新增的蒸气及电力消耗）可降低约 39%。

六、技术鉴定、获奖情况及应用现状

该技术于 2010 年通过中国炭素行业协会组织的科技成果鉴定，目前已在国内 30 多台炭素环式焙烧炉上使用，能耗平均下降 30% 以上，节能效果显著。

七、典型应用案例

典型用户：中钢集团吉林炭素股份有限公司、河北联冠电极股份有限公司

典型案例 1

建设规模：年产 1.32 万 t 石墨电极焙烧品的新型炭素焙烧炉，建设条件为煤气热值大于 1200kcal/Nm³，煤气中粉尘、焦油含量小于 800mg/m³（粉尘、焦油含量为合测值），需蒸汽 1t/h。主要技改内容：拆除原有焙烧炉燃烧装置，对部分燃气管道进行改造，将原有固定式燃烧装置改造为可移动、自动控制的燃烧装置，新建计算机自动控制系统，改变炉盖的局部结构，更换耐火保温材料。主要设备包括 16 个可移动燃烧装置、16 个墙壁柜、64 个燃烧器、3 个联通罩、温度、压力测量仪表、计算机自动控制设施等。节能技改投资额 500 万元，建设期 3 个月。每年可节能 1950tce，年节能经济效益 310 万元，投资回收期 1.6 年。

典型案例 2

建设规模：年产 7.8 万 t 焙烧品的新型炭素一次焙烧炉，改造前使用天然气。主要技改内容：拆除原有焙烧炉燃烧装置，对部分燃气管道进行改造，将原有固定式

燃烧装置改造为可移动、自动控制的燃烧装置，制做新型炉盖，主要设备包括 48 个可移动燃烧装置、48 个墙壁柜、192 个燃烧器、12 个联通罩、75 个新型炉盖，以及温度、压力测量仪表、计算机自动控制设施等。节能技改投资额 2000 万元，建设期 6 个月。每年产量按 7.8 万 t 计，年可节能 10000tce（扣除新增用汽、用电），年节能经济效益 2887 万元，投资回收期约 8 个月。

八、推广前景及节能减排潜力

目前我国炭素行业有环式焙烧炉约 400 台，已完成节能技术改造的不足 10%。预计未来 5 年，该技术在行业内的推广潜力可达到 60%，预计投资总额 10 亿元，年节能能力 39 万 tce/a，减排能力 103 万 tCO₂/a。

61 环冷机液密封技术

一、技术名称：环冷机液密封技术

二、技术所属领域及适用范围：钢铁行业 烧结工序烧结矿冷却

三、与该技术相关的能耗及碳排放现状

我国现有烧结机 1200 余台，总面积约 110000m²。2011 年，我国粗钢产量为 6.83 亿 t，据此计算，冷却烧结矿所需电耗达到 50 亿 kWh。

目前，我国烧结矿冷却机绝大部分以鼓风冷却为主，以常温空气作为冷却介质，利用鼓风机的推动力，使常温空气持续穿过高温物料，并与其进行热交换，从而使高温物料快速冷却。经过破碎后的热烧结矿，其温度约 800℃，需将其冷却到 150℃ 以下供后续流程使用。目前国内外使用的环式冷却机主要采用橡胶件与环锥面接触密封，而环冷机的半径一般在 10-40m 之间，在制造及安装过程中，难以保证结构尺寸的精准，在长期运行过程中又不可避免地产生磨损和变形，导致密封效果下降，据统计，当前运行的环冷机漏风率平均为 30% 左右，导致配置的鼓风机装机容量偏大，且不利于冷却风余热利用。目前该技术可实现节能量 3 万 tce/a，减排约 8 万 tCO₂/a。

四、技术内容

1. 技术原理

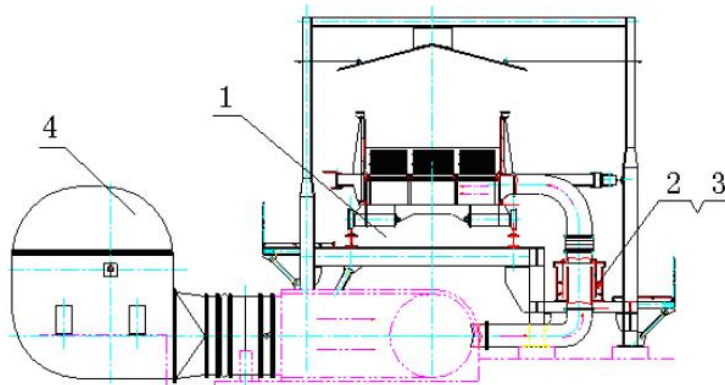
基于动密封机理、流体力学原理、气液两相动平衡密封原理，以及大型环状设备运动学和动力学，在高速气流的条件下，以水作密封介质构造液密封环冷机密封系统。

2. 关键技术

- (1) 气液两相动平衡密封技术；
- (2) 热工过程仿真分析及优化技术；
- (3) 环向气液密封技术；
- (4) 高效气固传热技术；
- (5) 气流均衡散料处理综合技术；
- (6) 以台车为单元的复合静密封技术；
- (7) 高温烟气循环区液体防汽化技术。

3. 工艺流程

环冷机液密封装置见图1。



1 双层台车 2 液密封环形风道设备 3 环形风道的环向密封装置 4 风机

图 1 环冷机液密封示意图

五、主要技术指标

1. 设备性能参数

- (1) 有效冷却面积：180-720m²；
- (2) 处理能力：360-1540t/h；
- (3) 有效冷却时间：35-75min；
- (4) 冷却矿温度低于120℃；
- (5) 吨烧结矿冷却风量：2100-2400m³/h；
- (6) 风机风压：4070-3648Pa。

2. 技术指标

总漏风率：<5%（其中：水密封漏风率约为0.5%；静密封漏风率<4.5%）。

3. 主要能耗指标

电耗：4.3kWh/t成品烧结矿。

六、技术鉴定、获奖情况及应用现状

该项技术于2011年通过湖南省科技厅组织的成果鉴定，技术达到了国际领先水平，是当前国内外烧结矿冷却技术及装备上的一次重大突破。

该技术可广泛应用于烧结冷却作业领域，新建和改造的环冷机均可采用，目前该技术已在国内多家烧结厂应用。

七、典型应用案例

典型用户：湖南华菱涟钢钢铁有限公司，南京钢铁股份有限公司，济南钢铁股份有限公司，陕西龙钢（集团）有限责任公司，安阳钢铁股份有限公司，唐钢集团燕山钢铁股份有限公司，攀钢集团西昌新钢业有限公司等

典型案例 1

技术提供单位：中冶长天国际工程有限责任公司

建设规模：420m² 烧结环冷机改造。主要技改内容：将传统环冷机改造为液密封环冷机，主要设备为液密封环冷机。节能技改投资额 2500 万元，建设期 6 个月。每年可节能 4500tce，年节能经济效益为 605 万元（仅考虑节约风机电耗），投资回收期约 4 年。

典型案例 2

技术提供单位：中冶长天国际工程有限责任公司

建设规模：228m² 烧结环冷机。主要技改内容：将传统环冷机改造为液密封环冷机，主要设备为液密封环冷机。节能技改投资额 1800 万元，建设期 6 个月。每年可节能 2100tce，年节能经济效益 298 万元（仅考虑节约风机电耗），投资回收期约 6 年。

八、推广前景及节能减排潜力

我国每年有近 10 亿 t 热烧结矿需通过环冷机进行冷却，总有效冷却面积达 7.6 万 m²，目前在运行的环冷机基本上为传统环式冷却机，改造潜力较大。预计未来 5 年，该技术在行业内的推广潜力可达到 10%，预计投资总额 10 亿元，年节能能力 10 万 tce/a，二氧化碳减排能力 26 万 tCO₂/a。

62 旋切式高风温顶燃热风炉节能技术

一、**技术名称：**旋切式高风温顶燃热风炉节能技术

二、**技术所属领域及适用范围：**钢铁行业 大型高炉的热风炉改造

三、**与该技术相关的能耗及碳排放现状**

据不完全统计，截止 2010 年 3 月，我国拥有高炉 1300 多座，其中 1000m³ 以上高炉 203 座。按国家钢铁产业发展政策的相关要求，以有效容积 1000m³ 作为高炉的准入条件，1000m³ 以下高炉将逐步淘汰，技术改造升级的市场潜力巨大。目前，我国 203 座 1000m³ 以上的高炉中，约有一半仍采用落后的传统内燃式热风炉，热风温度长期徘徊在 1100-1150℃，与国际先进水平相差约 100-150℃。目前该技术可实现节能量 74 万 tce/a，减排约 195 万 tCO₂/a。

四、**技术内容**

1. 技术原理

采用旋切顶燃式热风炉，使热风的风温提高近 100℃，降低高炉冶炼焦比，增加喷煤比。同时，采用不同方式的余热回收方式，使助燃空气预热到 180-600℃，煤气预热到 200℃，提高热风炉的理论燃烧温度和送风温度，降低烟气中热量的浪费。采用顶燃式热风炉散热面积小，废气排放温度低于 150℃，系统热效率相应提高 10%左右，大大降低热损失，节能效果明显。

2. 关键技术

- (1) 旋切式顶燃热风炉燃烧器；
- (2) 小孔径高效格子砖；
- (3) 多种孔型炉箅子；
- (4) 热风输送管道膨胀和拉紧装置；
- (5) 关节管、高热值煤气分时燃烧、数学模型控制等技术。

3. 工艺流程

旋切式高风温顶燃热风炉示意图见图1。

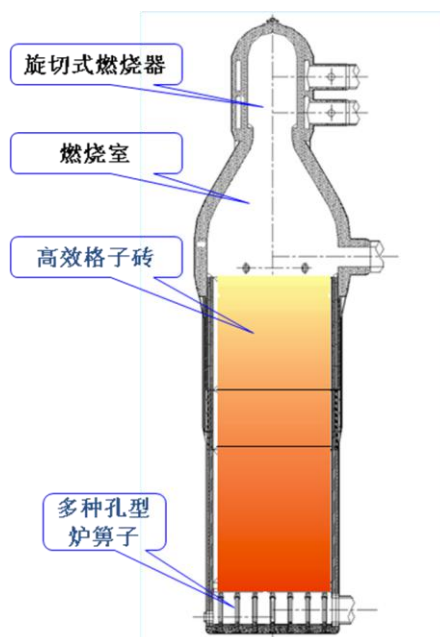


图 1 旋切式高风温顶燃热风炉示意图

五、主要技术指标

1. 单一高炉煤气，无附加热源，平均热风温度 $\geq 1200^{\circ}\text{C}$ ，比常规热风炉风温提高 50°C 以上，附加燃烧炉或煤气富化时平均热风温度 $\geq 1280^{\circ}\text{C}$ ；
2. 热风炉系统热效率 $\geq 85\%$ ，比其他热风炉提高 8%-12%，节省燃料 8%-12%；
3. 拱顶温度与热风温度的差值为 $100\text{-}140^{\circ}\text{C}$ ，比常规热风炉减小 $30\text{-}60^{\circ}\text{C}$ ；
4. 蓄热室下部冷风分配均匀度 $\geq 95\%$ ，比常规热风炉提高 5%-15%。

六、技术鉴定、获奖情况及应用现状

该技术已获得多项专利。利用该技术实施改造的宝钢集团八钢 2500m^3 高炉工程荣获冶建协会优秀设计二等奖；兴澄特钢 3200m^3 高炉工程荣获冶建协会优秀设计一等奖。目前已在我国推广约 130 座高炉，其中 1500m^3 以上高炉 29 座，并已应用到 3200m^3 大型高炉，同时已实现向印度、伊朗等国家的技术出口，在实际应用中的节能效果比较显著。

七、典型应用案例

典型用户：江阴兴澄特钢有限公司、本钢北台钢铁有限公司、宝钢新疆八一钢铁有限公司、宝钢宁波钢铁分公司、沧州纵横钢铁厂、湖北新冶钢铁有限公司、山东泰钢、攀钢西昌钢铁有限公司等。

典型案例 1

技术提供单位：中冶京诚工程技术有限公司

建设规模： 3200m^3 高炉，产能 260 万 t/a。主要技改内容：新建旋切式高风温顶

燃热风炉，主要设备包括旋切式顶燃热风炉燃烧器、小孔径高效格子砖、多种孔型炉算子、热风输送管道膨胀和拉紧装置、关节管等。节能技改投资额 14600 万元，建设期 11 个月。每年可节能 21000tce，年节能经济效益为 6491 万元，投资回收期约 2 年。

典型案例 2

技术提供单位：中冶京诚工程技术有限公司

建设规模：2500m³ 高炉，产能 200 万 t/a。主要技改内容：原有三座霍戈文内燃式热风炉技术改造，并新增一座旋切式顶燃热风炉。主要设备包括旋切式顶燃热风炉燃烧器、小孔径高效格子砖、多种孔型炉算子、热风输送管道膨胀和拉紧装置、热风管管道关节管、冷风分配装置、换热器气流分配装置。节能技改投资额 6000 万元，建设期 5 个月。每年可节能 20000tce，年节能经济效益 1292 万元，投资回收期约 4 年。

八、推广前景及节能减排潜力

我国 1000m³ 以上高炉中还有近 100 座高炉可以推广实施旋切式顶燃热风炉技术改造，预计未来 5 年，该技术在行业内的推广潜力可达到 80%，预计投资总额 108 亿元，年节能能力 118 万 tce/a，二氧化碳减排能力 312 万 tCO₂/a。

63 中低温太阳能工业热力应用系统技术

一、**技术名称：**中低温太阳能工业热力应用系统技术

二、**技术所属领域及适用范围：**钢铁行业 工业领域太阳能系统与燃煤、燃气、燃油工业锅炉结合使用

三、**与该技术相关的能耗及碳排放现状**

太阳能工业热力系统应用绿色清洁的太阳能，自身能源消耗低，可大量节约化石能源。该技术的核心部件-中温太阳能集热器，其集热效率约比普通集热器高10%左右，且能够满足太阳能工业热力系统通常需要的100℃以上的工作温度，而普通集热器一般在80℃以下。该技术的生产综合能耗与普通集热器相同，为每台集热器4.45kgce/m²，其成本与普通集热器相当，投资回收期更短，目前已可在全国推广应用，应用该技术可实现节能量7万tce/a，减排约18万tCO₂/a。

四、**技术内容**

1.技术原理

自来水经过软化处理后进入冷水箱，通过循环泵进入中温集热器，太阳照射到中温集热器上，由中温真空管将太阳辐射转化为热能，再由真空管内的铜管把热能传递给冷水，将水加热，热水通过循环泵输送到储热水箱，再经过蒸汽锅炉加热成高温蒸汽输送到厂区热力管网。

2.关键技术

(1) 高效的太阳能集热技术。该技术的核心部件-中温太阳能集热器，具有真空管集热性能优、热量损失少、产生能量多、产品寿命长等特点，与普通集热器相比，太阳热能利用效率更高；

(2) 合理的能量传输阵列技术。作为大规模安装的太阳能工业热力系统，通过集热器阵列布置和管路系统的分配技术，达到将热能全部传输至锅炉水箱使用，避免热量在集热器内的损失；

(3) 系统节能控制技术。通过温度、压力的多点分布式监测和采集分析，实现系统节能运行，减少系统运行的能耗，并将太阳能量及时转移至使用或存储终端。

3.工艺流程

中低温太阳能工业热力应用系统技术流程见图1。

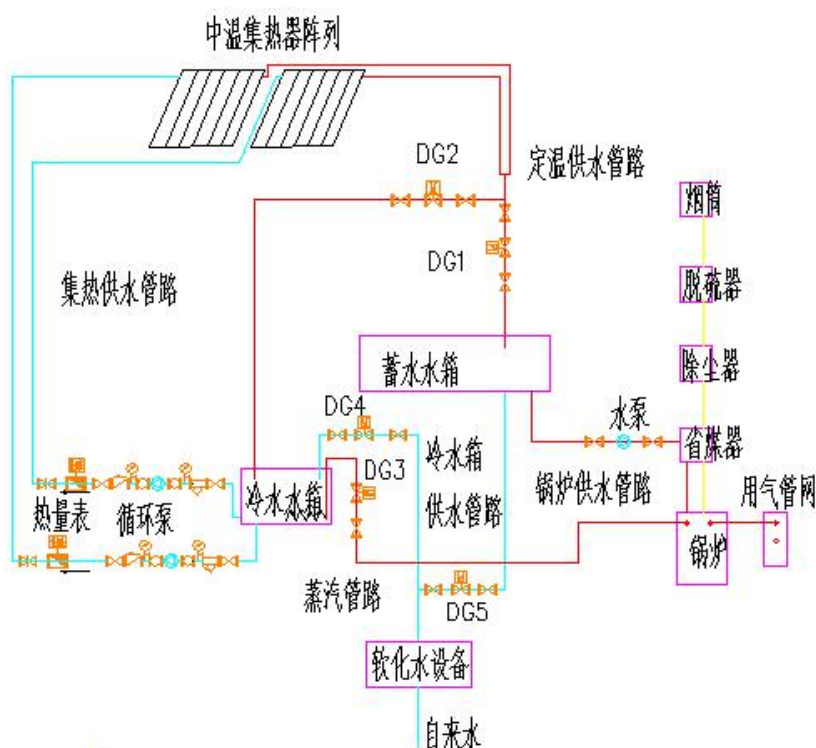


图 1 中低温太阳能工业热力应用系统技术流程图

五、主要技术指标

1. 中温太阳能集热器瞬时效率截距达到 0.691，高于普通集热器 8%，150℃时瞬时效率高于普通集热器 20%左右；
2. 整体节能量高于普通集热器 15%；
3. 系统日有用得热量 7.7MJ/m²，高于同类国标技术要求 10%。

六、技术鉴定、获奖情况及应用现状

该技术已经获得 3 项国家发明专利。2012 年 2 月，获得了由中国可再生能源学会颁发的科学技术一等奖。随着国家节能减排政策的推进，太阳能在工业领域的热利用已越来越受到重视，国内太阳能热水器生产企业也逐渐将重点从太阳能家用市场转移到太阳能工业应用领域，其中 80-250℃中温工业应用领域与太阳能结合的技术，将是未来太阳能热利用领域发展的主要趋势。

七、典型应用案例

典型用户：济南永宁制药股份有限公司、上海青浦热电厂、荣城海之宝公司、平邑天宝化工、山东东平油脂厂、山东青年政治学院等。

典型案例 1

技术提供单位：山东利诺瑞特新能源有限公司

建设规模：10t/h 太阳能综合利用锅炉，共安装中温集热器 5870m²。主要改造内

容：利用中温真空管太阳能集热器及储热水箱组成的 5870m² 总面积的太阳能集热系统，向 10t 燃煤锅炉提供 95℃ 左右的热水，经锅炉再加热成高温蒸汽，进入厂区蒸汽管网。主要设备包括中温太阳能集热系统、30t 冷水箱，100t 储热水箱，2 备 2 用共 4 台高温高压水泵，2 台控制柜等。节能技改投资 420 万元，建设期 1 个月。年可节约标煤 875tce，年节能经济效益 116 万元。投资回收期约 3.6 年。

典型案例 2

技术提供单位：山东利诺瑞特新能源有限公司

建设规模：60t/h 热电锅炉，安装太阳能集热器总面积 3557m²。主要改造内容：利用太阳能将进锅炉的软化水升温后进入除氧设备，然后利用锅炉高温增压水泵将高温水泵入锅炉，再利用煤进行二次升温，加热至饱和蒸汽后输送到热力管网的系统。主要设备包括中温太阳能集热器及安装支架 1200 套，控制系统一套，循环泵 3 台，换热器 3 台等。节能技改投资 200 万元，建设期 25 天。年可节约标煤 328tce，年节能经济效益 46 万元。投资回收期约 4.3 年。

八、推广前景及节能减排潜力

目前，我国工业用热温度大部分在 80-250℃ 之间，该技术比较适宜在此温区应用，若能得到全面推广，将能大大促进太阳能工业热利用的发展。预计未来 5 年，该技术在行业内的推广潜力可达到 10%，预计投资总额 50 亿元，年节能能力 71 万 tce/a，二氧化碳减排能力 187 万 tCO₂/a。

64 燃气轮机值班燃料替代技术

一、技术名称：燃气轮机值班燃料替代技术

二、技术所属领域及适用范围：钢铁行业 CCPP 应用领域

三、与该技术相关的能耗及碳排放现状

近年来，燃气-蒸汽联合循环发电机组（CCPP）在钢铁企业得到广泛的应用。通过燃用中、低热值煤气（以高炉煤气为主，掺入部分焦炉煤气和转炉煤气），将副产放散的工业煤气转化为电能，具有显著的高效节能和环保效果。

目前，国内钢铁企业在运的 50MW 级别燃气-蒸汽联合循环发电机组（CCPP）的热电转化效率普遍较低，其中 GE50MW 级别机组热电转化效率约 30%，三菱 50MW 级别机组热电转化效率约 37.6%。国内大部分企业在运的机组效率还不能达到以上标准。

CCPP 对燃料热值及质量要求较高，不能单独使用低热值的高炉煤气作为燃料，必须掺烧热值相对较高的焦炉煤气或转炉煤气等。一方面，焦炉煤气价格远高于高炉煤气，造成燃料成本居高不下。一般情况下，装机 50MW 的燃气轮机，作为值班燃料的焦炉煤气平均消耗量约为 1000-1200m³/h，如果年运行小时按 8000 小时计算，每年值班燃料消耗量约为 800-960 万 m³，造成优质能源的大量浪费；另一方面，焦炉煤气由于其自身特性，品质难以达到燃气轮机的燃料规范，很容易致使燃气轮机排气 SO₂ 超标，不仅达不到环保要求，而且会引起余热锅炉烟道酸露腐蚀，出现频繁爆管的现象。目前该技术可实现节能量 3 万 tce/a，减排约 8 万 tCO₂/a。

四、技术内容

1. 技术原理

该技术通过对燃气轮机燃烧室流体预混、扩散燃烧进行研究，建立燃烧计算模型，模拟燃烧室工况，调整过量空气系数，按《燃气轮机排放标准》计算燃料更改后燃烧室燃烧温度，确保最佳过量空气系数，降低燃烧温度以及 NO_x、SO₂ 的生成量；同时，通过焦炉煤气（COG）及高炉煤气（BFG）联动逻辑系统研究，将值班燃料切换过程中及切换后的燃烧波动偏差控制在合理范围之内，实现对热值范围的相应修改，增强燃气轮机对燃料的适应性，增加高炉煤气用量，提高联合循环发电机组出力。在极限

工况下，如燃气轮机负荷小于 5MW，热值低于 2990kJ/Nm³-wet，大气温度低于-12℃等情况下，需增加相应保护连锁，防止回火、熄火等事故发生，保证安全运行。

2.关键技术

- (1) 基于燃烧及流场分析的建模技术；
- (2) 燃气轮机燃烧稳定技术；
- (3) 燃气轮机低氮燃烧技术；
- (4) 焦炉煤气（COG）及高炉煤气（BFG）联动系统技术；
- (5) 变几何低氮燃烧技术；
- (6) 燃烧室压力波动及加速度监测技术。

3.工艺流程

燃气轮机值班燃料替代技术的工艺流程见图 1 和图 2。

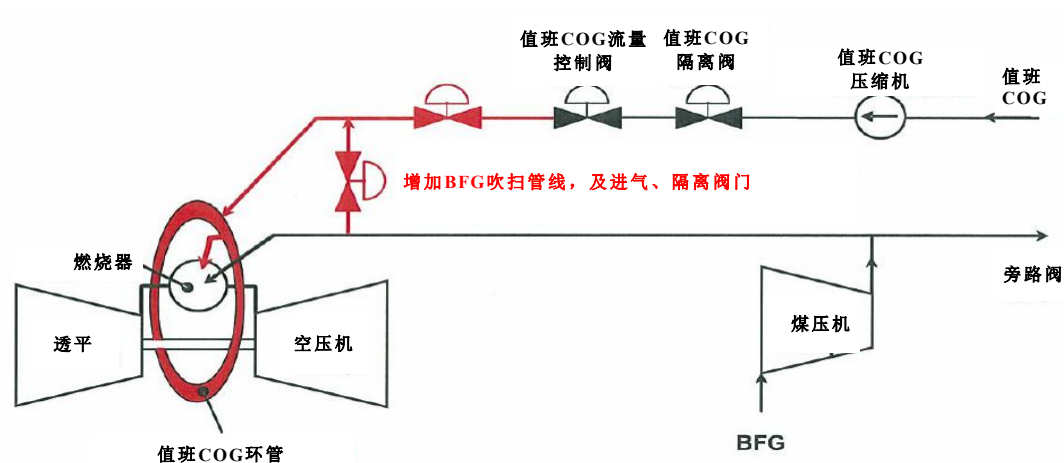


图 1 燃气轮机值班燃料替代技术工艺流程图

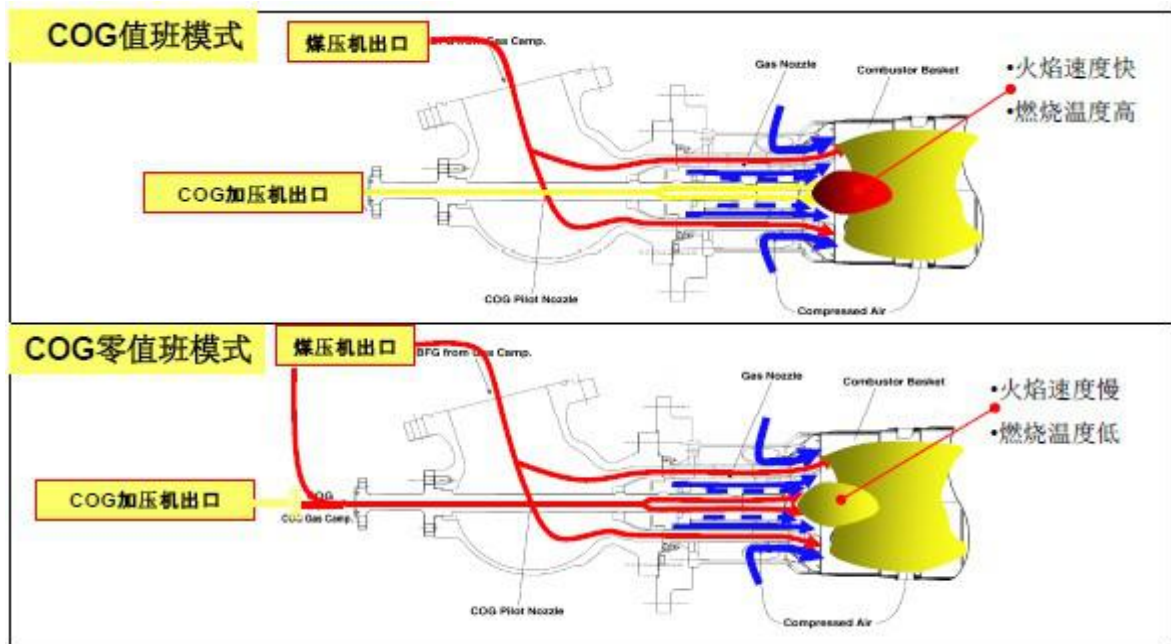


图 2 值班燃料替代技术对比图

五、主要技术指标

按单套 50MW 联合循环 CCGP 计算：

- 1.联合循环效率提高 0.5%，增加发电量 1200 万 kWh；
- 2.提高了燃气轮机燃料热值允许范围，从 3090-3650 kJ/Nm³-Wet 改为 2890-3770 kJ/Nm³-Wet；
- 3.减少氮气消耗 1600 万 m³；
- 4.平均减少燃气轮机非计划停机 60 次/年，年利用小时数超过 8000 小时；
- 5.减少厂用电消耗 568 万 kWh。

六、技术应用及产业化情况

近年来，新型高效的燃气-蒸汽联合循环发电技术（CCPP）广泛应用于各大型钢铁企业，因其热效率高、节能环保效果显著，受到各钢铁企业的青睐，目前全国大型钢铁企业的 CCGP 数量已达约 30 余台套。CCPP 发电厂虽工艺先进、热效率高，但生产、维护费用高，且对系统要求苛刻，常常制约自备电厂的稳定运行。其中，最大的制约因素就是煤气质量，尤其是焦炉煤气质量达不到燃气轮机的要求，导致设备事故频繁发生。燃气轮机值班燃料替代技术从根本上解决了焦炉煤气质量差引起设备事故的问题，可保证系统稳定、高效运行。目前，已经在涟钢、沙钢等得到应用。

该技术获得国家发明专利 1 项，并于 2013 年 2 月获得“中国资源综合利用协会”科学技术二等奖。

七、典型应用案例

典型用户：涟钢动力厂、沙钢能源中心、太钢热电厂。

典型案例 1

案例名称：涟钢燃气-蒸汽联合循环发电项目燃机值班燃料技术改造

技术提供单位：重庆中节能三峰能源有限公司、中节能工业节能有限公司

建设规模：4×50MW 燃气-蒸汽联合循环发电机组改造。建设条件：具备燃气-蒸汽联合循环发电机组。主要技改内容：取消值班燃料，应用零值班燃料技术。主要设备为吹扫 BFG 供应阀、吹扫 BFG 切断阀、高压氮气密封阀、吹扫过滤器、差压变送器。技改投资额 1080 万元，建设期 2 个月。年节能量 19605tce/a，年减排量 51757tCO₂/a，年增加发电经济效益 2566 万元，投资回收期约 4 个月。

典型案例 2

案例名称：沙钢燃气-蒸汽联合循环发电项目燃机值班燃料技术改造

技术提供单位：重庆中节能三峰能源有限公司、中节能工业节能有限公司

建设规模：3×50MW 燃气-蒸汽联合循环发电机组改造。建设条件：具备燃气-蒸汽联合循环发电机组。主要技改内容：取消值班燃料，应用零值班燃料技术。主要设备为吹扫 BFG 供应阀、吹扫 BFG 切断阀、高压氮气密封阀、吹扫过滤器、差压变送器等。技改投资额 870 万元，建设期 2 个月。年节能量 14704tce/a，年减排量 38818 tCO₂/a，年增加发电经济效益 1900 万元，投资回收期约 5 个月。

八、推广前景及节能减排潜力

预计未来 5 年，预期推广比例可达 40%，可形成年节能能力 20 万 tce，碳减排潜力约 53 万 tCO₂。

65 冶金余热余压能量回收同轴机组应用技术

煤气透平与电动机同轴驱动高炉鼓风机技术（BPRT 技术）

一、技术名称：煤气透平与电动机同轴驱动高炉鼓风机技术

二、技术所属领域及适用范围：钢铁行业 冶金行业余热余压能量回收

三、与该技术相关的能耗及碳排放现状

据统计，2013 年上半年我国重点钢铁企业炼铁工序能耗均值为 399.96kgce/t，但不同企业之间炼铁工序能耗最高值(474.22 kgce/t)与最低值(325.51 kgce/t)相差悬殊，企业间技术发展不平衡，还有很大的节能潜力。因炼铁工序能耗约占钢铁联合企业总能耗的 49.4%，对吨钢综合能耗有较大的影响，因此降耗、减排、节能、环保已经成为国家产业政策的基本原则。目前该技术可实现节能量 54 万 tce/a,减排约 143 万 tCO₂/a。

四、技术内容

1.技术原理

高炉鼓风机组是为高炉冶炼提供动力风源的核心机组，高炉煤气能量回收发电机组（TRT）是回收高炉煤气余压、余热的能量回收机组，早期国内外将这两类机组安装在不同厂房，独立配置，自成系统。

煤气透平与电动机同轴驱动高炉鼓风机技术（BPRT）创新性地提出了煤气透平和高炉鼓风机同轴的技术解决方案。由于煤气透平和高炉鼓风机都是旋转机械，用煤气透平直接驱动高炉鼓风机，将两台旋转机械装置组合成一台机组，既能向高炉供风，又能回收煤气余压、余热。BPRT 机组兼备两套机组的功能，又使原有的庞大系统简化合并，取消发电机，合并自控、润滑油、动力油系统等，并将回收的能量直接补充到轴系上，避免能量转换的损失，可提高装置效率，减少环境污染和能量浪费，稳定炉顶压力，改善高炉生产条件，降低产品成本。

2.关键技术

（1）煤气透平、鼓风机、电动机串联及同轴的优化设计

在冶金高炉动力系统中，首次将高炉鼓风的主流程与煤气能量回收的辅流程合并为一个流程进行优化控制。技术核心包括：五段长轴系的分析计算、两套机组的联合工况集中控制、电动机与煤气透平驱动切换的专用技术等；

(2) 系统合成与功能优化配置

取消发电机，取消高压发配电系统，将煤气回收的能量直接作为旋转机械能补充在轴系上，同机同轴驱动鼓风机，避免机械能转电能及电能转机械能的二次效率损失。润滑油站、动力油站均进行合并；一套自控系统可控制二套机组；

(3) 将纯电动机拖动高炉鼓风机模式，改为电动和煤气透平联合驱动的双能源驱动的高炉鼓风机。由单驱动改为双驱动，提高了机组运行的可靠性；

(4) 应用离合器在线啮合与脱开功能增强机组安全裕度。当高炉顺行时，离合器啮合，把透平回收的功率传递给高炉鼓风机；当透平机本身有故障，或炉况不顺、休风、煤气量小时，离合器自动将高炉煤气透平在线脱开，保证高炉正常的安全生产。

3. 工艺流程

机组主要由电动机、齿轮箱、轴流压缩机、变速离合器、煤气能量回收透平及辅助同组成。其中，轴流压缩机由电机通过齿轮箱驱动，为高炉提供风源；当高炉正常运行后，把煤气导入透平膨胀机中膨胀做功，由透平膨胀机和电动机共同驱动高炉鼓风机，从而降低电动机输出功率，实现对高炉煤气能量的直接回收利用，达到节能目的。

高炉鼓风机作为一个独立的系统来设计，可以保证鼓风机不论在什么情况下都可以在包括最大工况内的各种工况下运行，不影响高炉的正常生产。当高炉正常运行后由煤气透平和电动机共同驱动高炉鼓风机，可有效降低电动机的输出功率。同时，对高炉顶压的稳定主要靠煤气透平的静叶调节来实现，控制系统能够发出完整的控制信号，包括转速调节、负荷调节、自动升速、自动停机以及与高炉减压阀组的切换等所有的功能，确保任何情况下高炉顶压的稳定，不影响高炉正常生产。该技术的工艺流程见图 1。

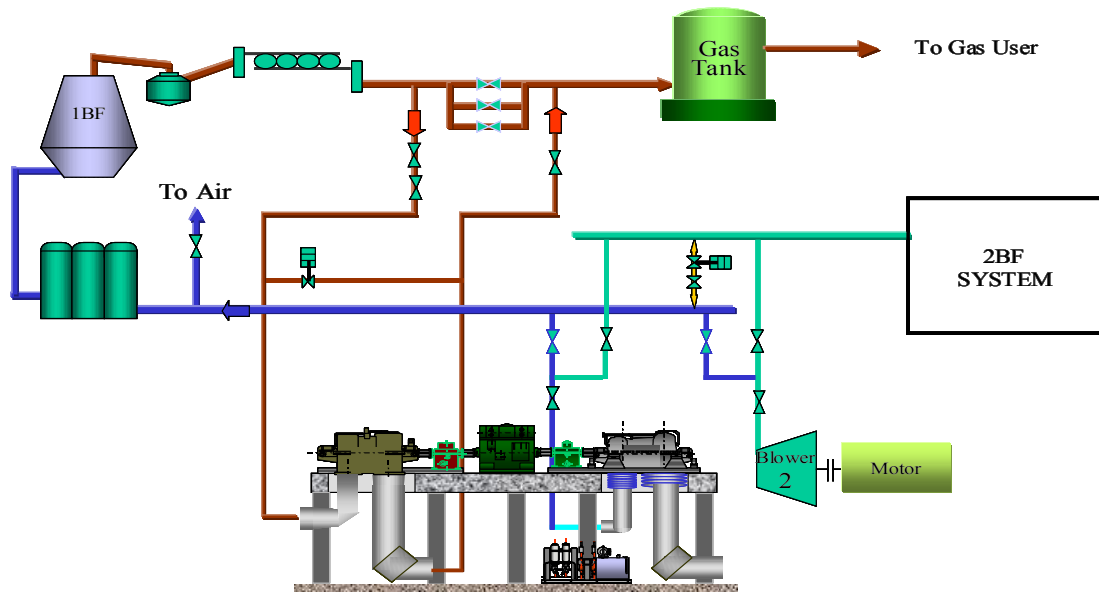


图 1 BPRT 机组工艺流程图

五、主要技术指标

- 1.高炉煤气流量：50 万 Nm³/h；
- 2.进口压力：150kPa；
- 3.煤气透平转速：3000-3600rpm；
- 4.输出功率：100MW。

六、技术鉴定、获奖情况及应用现状

BPRT 技术在 2005 年通过了陕西省的科技成果鉴定，2009 年荣获陕西省科学技术一等奖，拥有 3 项实用新型发明专利，作为能量回收透平发电装置技术的延伸和升级，填补了国内的技术空白。目前，BPRT 机组已有 150 多个应用案例，适用范围已从 450m³ 高炉发展到 2300m³ 高炉，正在向系列化、标准化、国产化、大型化的方向发展，具有非常广阔的市场推广前景。

七、典型应用案例

典型用户：霸州新利钢铁有限公司、威远钢铁有限公司等。

典型案例 1

案例名称：霸州新利钢铁有限公司项目

技术提供单位：西安陕鼓动力股份有限公司

建设规模：新建 1060m³ 高炉（2 座），高炉年产 130 万 t。主要技改内容：采用 BPRT 机组，鼓风机为 AV63-13，电机功率 19000kW/10kV，透平回收功率 8400kW。主要设备为高炉鼓风机、变速离合器、透平膨胀机、电动机/汽轮机、大型阀门、润滑油站、动力油站等。技改投资额约 3000 万元，建设期 2 年。项目建成后，每年按 8000

小时运行时间计算，年可回收电能 6720 万 kWh，年节约 27149tce，年减排量 67682tCO₂/a，节能经济效益 3360 万元，投资回收期约 1 年。

典型案例 2

案例名称：威远钢铁有限公司项目

技术提供单位：西安陕鼓动力股份有限公司

建设规模：新建 1750m³高炉（2 座）。主要技改内容：采用 BPRT 机组，鼓风机为 AV71-16，电机功率 27000kW/10kV，透平回收功率 14200kW。主要设备为高炉鼓风机、变速离合器、透平膨胀机、电动机/汽轮机、大型阀门、润滑油站、动力油站等。技改投资额约 4800 万元。项目建成后，每年按 8000 小时运行时间计算，年可回收电能 11360 万 kWh，年节约 45894tce，节能经济效益 5680 万元，投资回收期约 1 年。

八、推广前景及节能减排潜力

BPRT 技术节能效率高，建设投资及人员少，具有显著的经济、环境及社会效益。在国内，随着国家对重大技术装备国产化的支持，BPRT 必将以其独特的优势得到广泛应用，而且必将向全面、大型化趋势发展。BPRT 技术提高了机组运行的安全可靠性和增强机组的安全可靠度，提高了整机效率，减少效率转换损失，可广泛适用于钢铁、有色金属、化工等各个不同工业领域中。预计未来 5 年，该技术在行业内的推广潜力可达到 50%，预计投资总额 18 亿元，年节能能力 90 万 tce/a，二氧化碳减排能力 288 万 tCO₂/a。

烧结合余热能量回收驱动技术（SHRT 技术）

一、技术名称：烧结合余热能量回收驱动技术

二、技术所属领域及适用范围：钢铁行业 冶金行业余压余热能量回收

三、与该技术相关的能耗及碳排放现状

冶金流程的烧结工序能耗约占吨钢能耗的 10%以上，冷却机排出的废气带走的热量，其热能大约为烧结矿烧成系统热耗量的 35%，烧结工序能耗约占冶金总能耗的 12%，是仅次于炼铁的第二大耗能工序。在钢铁企业烧结流程中，烧结主抽风机容量占到总装机容量的 30%-50%。由于烧结生产中部分附属设备运转率低，且选择的电机容量偏大，主抽风机耗电量占到 50%-70%。同时，我国烧结工序余热利用率还不足 30%，与发达国家相比差距非常大，每吨烧结矿的平均能耗要高 20kgce。目前该技术可实现节能量 6 万 tce/a，减排约 16 万 tCO₂/a。

四、技术内容

1、技术原理

将烧结合余热能量回收发电技术与电动机拖动的烧结主抽风机驱动系统集成配置，使得烧结合余热汽轮机、烧结主抽风机以及同步电动机同轴串联布置，形成烧结合余热与烧结主抽风机能量回收三机组（SHRT）。

2.关键技术

（1）烧结合余热产生的废热通过余热锅炉产生蒸汽，再通过汽轮机转换为机械能，直接作用在轴系上，与电动机同轴驱动烧结主抽风机，提高能源利用效率；

（2）机组采用大型变速离合器，能够使烧结合汽轮机与机组实现在线啮合、在线脱开。主要关键技术包括三机联合机组软件设计及组态、轴系稳定性计算等。

3.工艺流程

一般烧结合厂烧结合烟气平均温度 $\leq 150^{\circ}\text{C}$ ，机尾温度达 300-400 $^{\circ}\text{C}$ 。烧结合机尾风箱及冷却机密闭段的烟气除尘后，加热余热锅炉以回收低品位余热，产生过热蒸汽推动汽轮机做功，汽轮机通过变速离合器与双出轴驱动的烧结主抽风机连接，烧结主抽风机的另一侧与同步电动机连接。机组中余热汽轮机及同步电动机同轴驱动烧结主抽风机做功，降低电机电流从而达到节能的目的。该技术系统的工艺流程见图 1。

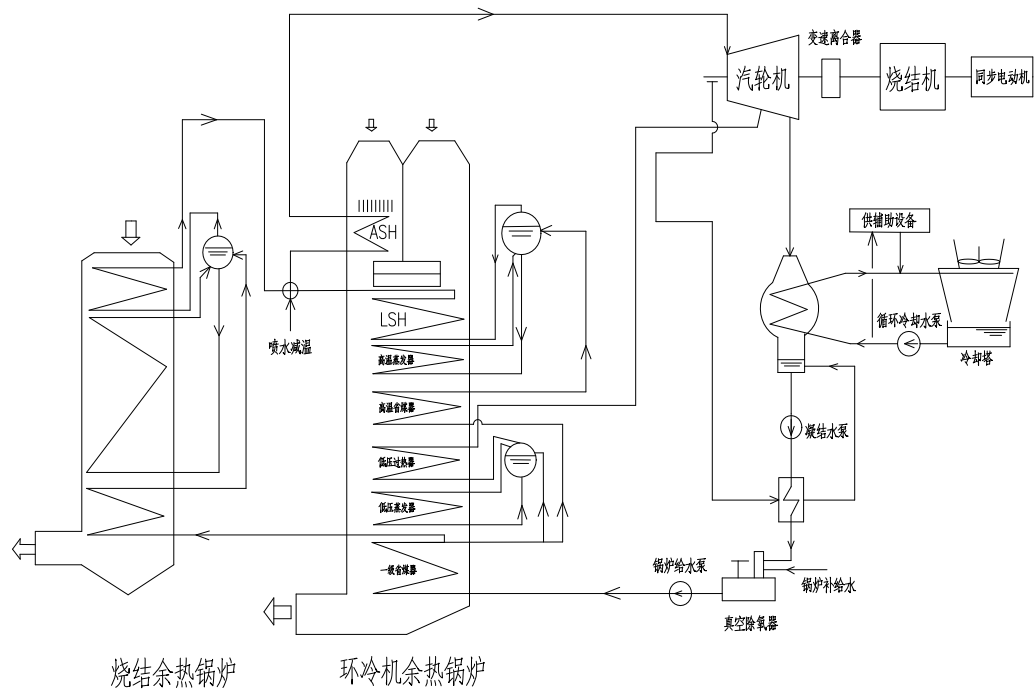


图 1 SHRT 技术系统工艺流程图

五、主要技术指标

1. 烧结环冷系统：220m²；
2. 配套余热回收汽轮机：5000kW；
3. 烧结主抽风机：SJ22000；
4. 电机：8000kW，余能利用效率提高 5%。

六、技术鉴定、获奖情况及应用现状

该技术已获得 2 项目实用新型专利。自 2010 年开展研究以来，到目前已成功完成机组系统技术及关键技术的研究，先后完成江苏滨鑫、山西通才、联鑫钢铁等 6 个项目的技术设计，以及山西通才 SHRT 机组、盐城市联鑫 SHRT 机组的现场调试及投运，节能效果显著。

七、典型应用案例

典型用户：山西通才工贸有限公司、盐城市联鑫钢铁有限公司

典型案例 1

案例名称：山西通才工贸有限公司项目

技术提供单位：西安陕鼓动力股份有限公司

建设规模：328m² 冶金烧结等低品位热能回收及烧结主抽风机，回收功率 5000kW。主要建设内容：SHRT 机组、汽轮机、变频离合器、烧结主抽风机、

同步电动机、润滑调节油站、余热回收系统、土建、厂房、工艺管道等。项目投资额 5000 万元，建设期 1.5 年。机组投运后，电动机电流可从 380A 降至 200A，回收余热能量为 3200kW。当蒸汽正常后，可回收余热能量 5400kW，年节能量达 13824tce，年碳减排量 36495tCO₂，投资回收期约 1 年。

典型案例 2

案例名称：盐城市联鑫钢铁有限公司项目

技术提供单位：西安陕鼓动力股份有限公司

建设规模：220m²冶金烧结等低品位热能回收及烧结主抽风机，回收功率 4350kW。主要建设内容：SHRT 机组、汽轮机、变速离合器、烧结主抽风机、同步电动机、润滑调节油站、余热回收系统、土建、厂房、工艺管道等。项目投资额 5000 万元，项目建设期 1.5 年。机组投运后，SHRT 将烧结合余热能量回收直接作用在轴系上，驱动烧结主抽风机运行，降低电动机功率约 62%，年节约标准煤 10240t，年碳减排量 27033tCO₂，投资回收期约 1 年。

八、推广前景及节能减排潜力

预计未来 5 年，该技术在行业内的推广潜力可达到 20%，预计投资总额 20 亿元，年节能能力 40 万 tce/a，二氧化碳减排能力 293 万 tCO₂/a。

66 全密闭矿热炉高温烟气干法净化回收利用技术

一、**技术名称：**全密闭矿热炉高温烟气干法净化回收利用技术

二、**技术所属领域及适用范围：**钢铁行业 铬、硅、锰系等铁合金冶炼烟气净化回收与综合利用

三、**与该技术相关的能耗及碳排放现状**

铬、硅、锰系等铁合金冶炼行业的矿热炉在冶炼过程中会产生大量烟气，温度通常在 400°C 左右，含有大量热量。按生产 75%硅铁矿热炉为例，烟气中的热量约为总输入能量的 50%。矿热炉冶炼铬铁时，生产 1t 铬铁约产生 780Nm³ 的煤气。目前，我国铁合金冶炼行业对冶炼烟气的利用普遍不足，大量的能量被烟气带走，不仅生产污染严重，治理任务艰巨，而且能源利用率低，造成了能源浪费、环保压力大、企业生产成本过高等行业共性问题。冶炼烟气若能有效利用，将具有较大的节能潜力。目前该技术可实现节能量 9 万 tce/a，减排约 24 万 tCO₂/a。

四、**技术内容**

1. 技术原理

该技术的关键是高温烟气的除尘净化技术，也是后续烟气发电和铬粉矿煤气烧结（预处理）的基础。主要技术原理是采用全封闭矿热炉冶炼和控制技术，将冶炼所产生的高温烟尘通过 FeAl 非对称过滤器进行干法净化，并将净化后的烟气输送到煤气柜中储存，用于发电和铬粉矿煤气烧结，起到节能效果。

2. 关键技术

（1）新型过滤材料制备技术

针对冶炼烟气干法除尘，首次提出了选择 FeAl 金属间化合物作为过滤净化滤芯材料的新理论，成功解决了冶金行业 550°C 以上高温气体过滤技术难题。

（2）自动控制系统应用技术

冶炼工艺采用全封闭式 25500kVA 大型矿热炉冶炼高碳铬铁，炉体组合把持器系统是国内先进的技术设备，整个生产过程自动化控制，并可实现对整个电炉系统的运行状况进行动态监视与控制。

（3）铬铁冶炼高温烟气干法除尘净化技术

除尘效率可达 99.99%以上，可满足化工制取甲醇的要求。同时，加装化学分离设备后可达到一氧化碳与甲醇反应制取醋酸的工艺要求。

(4) 铬铁冶炼高温烟气综合利用技术

冶炼副产高温烟气除尘净化后，可作为优质燃料综合利用。采用该技术回收的煤气热值高达 13.17MJ/Nm³，约为天然气热值的 37%，可满足铬铁生产线原矿烧结预处理、焦炭烘干及尾气发电机组燃料需要。

3. 工艺流程

该技术的工艺路线图见图 1。

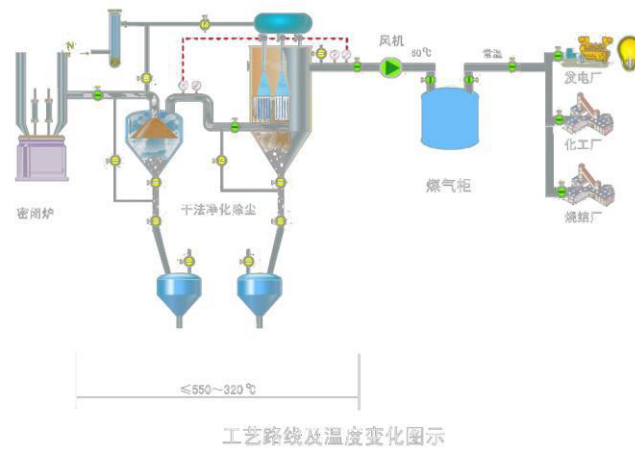


图1 全密闭矿热炉铬铁冶炼高温烟气干法净化回收利用技术

冶炼烟气净化系统分为过滤系统、反吹系统、防结露系统、排灰系统和控制系统等五个子系统，其结构示意图见图 2。

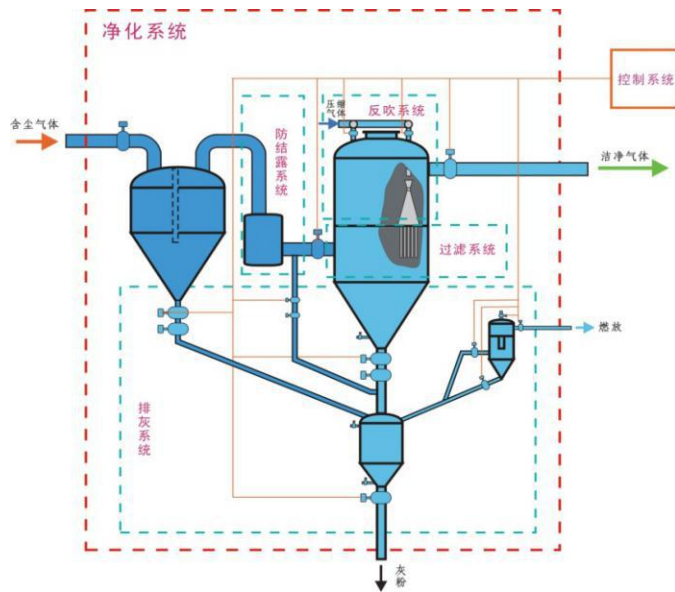


图2 冶炼净化系统示意图

五、主要技术指标

1. 25500kVA 全封闭式矿热炉冶炼吨铁电耗 2870kWh;
2. 工作温度：200-550℃（最大耐高温度 800℃）；
3. 过滤效率：99.99%；
4. 出口粉尘含量：≤10mg/Nm³；
5. 烟气除尘净化量：6500Nm³/h 台；
6. 连续运行 1 年无需更换滤材。

六、技术鉴定、获奖情况及应用现状

该技术于 2013 年通过青海省新产品新技术鉴定，2014 年通过青海省科技技术成果鉴定，并已获得 4 项国家专利。2013 年，采用该技术的两台 25500kVA 全封闭式高碳铬铁冶炼矿热炉成功投入运行，不仅通过铁铝金属间化合物非对称膜滤芯对高温冶炼烟气除尘净化回收后进行综合利用，并把铬铁合金冶炼单位电耗控制在 2800kWh 左右，粉尘回收利用率、水资源重复利用率、烟气回收率均达到了国家铁合金行业清洁生产一级标准。该技术可广泛应用于硅系、锰系、铬系等大宗铁合金产品生产及铬、硅、锰系等铁合金冶炼行业。

七、典型应用案例

典型用户：青海际华江源实业有限公司

典型案例 1

案例名称：青海际华江源实业有限公司铬铁冶炼及烟气综合利用项目

技术提供单位：青海际华江源实业有限公司

建设规模：年产铬铁 10 万 t。主要技改内容：①全密闭式矿热炉的冶炼和自动化控制系统的改造；②高温烟气除尘净化过滤系统的主要过滤元件滤芯的选择；③冶炼高温炉气除尘净化装置及输送系统的改造；④铬铁冶炼烟气净化系统与煤气系统的改造；⑤高温煤气综合利用技术的研究探索、并完成发电系统、烘干系统、烧结系统等新建等。主要设备为 3000kW 发电机组 1 台及输变电设备、2 套高温烟气干法除尘净化回收装置、1 套密闭式炉盖。技改投资额 7600 万元，建设期 2 年。该项目建成后，年节能量 4.3 万 tce，年碳减排 11.4 万 tCO₂。每年可获得经济效益 2593 万元，投资回收期 5.4 年（含 2 年建设期）。

典型案例 2

案例名称：年产 15 万 t 富钛料冶炼电炉尾气回收利用项目

技术提供单位：青海际华江源实业有限公司

建设规模：15 万 t/a 富钛料生产线。建设条件：密闭电炉熔炼尾气温度低于 550℃。主要技改内容：新增 2500Nm³电炉煤气净化回收系统 2 套，配套高温重力除尘器、净气冷却器、煤气引风机等设备，对原有电炉除尘系统的改造等。节能技改投资额 1400 万元，建设期 9 个月。每年可节能 1.0 万 tce，年减排 2.7 万 tCO₂。年节能经济效益 812 万元，投资回收期约 1.8 年。

八、推广前景及节能减排潜力

目前，我国铬铁产量约 380 万 t，预计未来 5 年全国铬铁生产可达 900 万 t。若该技术在行业内的推广比例按 30%计算，其推广总投入达 22.8 亿元，可形成年节能能力 129 万 tce，年碳减排能力 340 万 tCO₂。

67 大型焦炉用新型高导热高致密硅砖节能技术

一、**技术名称：**大型焦炉用新型高导热高致密硅砖节能技术

二、**技术所属领域及适用范围：**钢铁行业 焦化行业大型焦炉

三、**与该技术相关的能耗及碳排放现状**

钢铁行业是高能耗高污染行业，其中焦化工序能耗约占钢铁联合企业总能耗的15%左右。2013年，我国重点钢铁企业焦化工序能耗为100.50kgce/t，企业先进值与落后值的差距高达95kgce/t，焦化工序水平差异明显。目前，国内焦炉存在成焦率提高慢、燃料使用量大、保温效果差、使用寿命短、密封不严、烟气（硫、苯、以及一些其它化合物等）外溢、污染严重等问题。随着焦炉炉型日益大型化和环保化的发展要求，开发密封性好、导热性能高、保温效果好、使用寿命长的新型环保节能耐火材料，已成为新型焦炉的发展方向。目前该技术可实现节能量19万tce/a，减排约50万tCO₂/a。

四、**技术内容**

1. 技术原理

焦炉炭化室传统采用硅质材料，该技术采用高导热硅砖替代传统的硅砖耐火材料，将焦炉炭化室用硅质材料导热率由传统的1.85-1.90W/(m·K)提高到2.33W/(m·K)以上，焦炉燃烧室的热量通过硅砖炉墙传导到炭化室中，在相同触煤面面积、相同的时间内、燃烧室火焰温度不变的情况下，增加高导热硅质材料传递的热量，降低炼成吨焦所需燃料量，起到节能效果。同时，改变焦炉炉门传统用粘土砖尺寸，将单块小砖逐块砌筑改成采用耐磨隔热耐火材料整体预制成型，有效降低热辐射，减少热量损失。此外，该技术可显著提高焦炉的密封性，减少排放到大气中的NO_x气体，在节能的同时也起到了环保的作用。

2. 关键技术

(1) 高导热硅质材料制备技术

该技术通过选择合适的原料，引入减水剂、矿化剂以及少量的添加剂，不仅能够减少水分的引入，降低成品孔隙度，同时增加的玻璃相能够有效地缓解由于晶型转变过快而引起的应力释放，并对制品内的孔隙起到了填充作用，使得主晶

相与基质间结合得更紧密，这也为热导率的提高提供了基础条件。

(2) 挂釉预制材料制备技术

该技术采用低导热、低膨胀率和热震稳定性极好的堇青石和莫来石材质，引入减水剂和纳米级矿化剂，通过振动减压成型方式和特定的烧成工艺，在制品表面附着高性能微晶陶瓷耐火釉料，实现耐材制品与陶瓷釉料间的一次同步复合，使耐材制品表面致密化，从而提高制品的强度及耐磨性和抗渗透侵蚀性能，解决了碳素和焦油沉积和化学物质渗透，大大提高了使用效果和寿命，提高了焦炉的生产率，降低了污染。

3. 工艺流程

高导热硅工艺流程：配料按照配方，添加剂、颗粒料和结合剂混合后加入到湿碾机内混练，400t摩擦压砖机，冲压6次成型，温度100℃×24小时干燥，1450℃×30小时烧成。采用高导热硅砖的焦炉炭化室示意图见图1。



图1 采用高导热硅砖的焦炉炭化室

挂釉炉门预制材料工艺流程：自动配料→混合→减压成型→中温烘烤→机械喷釉→高温釉化烧成→出检→包装。挂釉炉门示意图见图2。



图2 挂釉焦炉炉门

五、主要技术指标

1. 高导热硅砖主要技术参数：导热系数 $2.4\text{W/m}\cdot\text{K}$ (1100°C)；
2. 挂釉炉门预制件主要技术参数：釉面厚度 $1.0\text{m}-2.0\text{m}$ ，长期使用温度 $1100-1300^\circ\text{C}$ 。

六、技术应用情况

该技术于 2010 年 9 月通过河南省科技厅组织的科技成果鉴定，并获得国家发明专利 1 项，实用新型专利 2 项。目前已为宝山钢铁股份有限公司、梅山钢铁公司、马鞍山钢铁股份有限公司和日本新日本制铁株式会社等供货 2000t，性能稳定，环保节能效益良好。

七、典型应用案例

典型用户：日本新日本制铁株式会社、宝山钢铁股份有限公司、梅山钢铁公司和马鞍山钢铁股份有限公司

典型案例 1

案例名称：宝山钢铁焦炉改造项目

技术提供单位：中钢集团耐火材料有限公司

建设规模：1 座 7m 焦炉。建设条件：适用于焦炉炭化室。主要技改内容：大焦炉炉门采用挂釉预制件，炭化室用高导热硅砖取代普通硅砖，主要设备为挂釉预制件炉门和高导热硅砖。技改投资额 1800 万元，建设期 5 个月。由于节省焦炉煤气，实现年节能量 4.81 万 tce，年碳减排量 12.7 万 tCO_2 。年节能经济效益 4138 万元，投资回收期约 5 个月。

典型案例 2

案例名称：日本新日铁住金株式会社焦炉改造项目

技术提供单位：中钢集团耐火材料有限公司

建设规模：1 座 68 孔 6m 焦炉。建设条件：适用于各种大中小型焦炉炉门、上升管、烟囱等易结焦部位。主要技改内容：本项目产品主要是对焦炉炉门进行改造，主要设备为挂釉炉门预制材料 300t。技改投资额 330 万元，建设期 2 个月。年节能量 2740tce，碳减排量 7234 tCO_2 。年节能经济效益 236 万元，投资回收期 1.4 年。

八、推广前景及节能减排潜力

高导热硅砖和焦炉炉门挂釉预制件的应用对降低焦炭企业能耗、减少污染、节约成本、提高效益具有重要的作用。预计未来 5 年，该技术在全国推广比例可达 15%，项目总投资额 3.6 亿元，可形成的年节能能力 96 万 tce，年碳减排能力 253 万 tCO₂。

68 高炉冲渣水直接换热回收余热技术

一、**技术名称：**高炉冲渣水直接换热回收余热技术

二、**技术所属领域及适用范围：**钢铁行业 冶金行业炼铁、炼铜等生产过程高炉冲渣水余热回收利用

三、**与该技术相关的能耗及碳排放现状**

高炉炼铁熔渣经水淬后产生大量 60-90℃ 的冲渣水，其中含有大量悬浮固体颗粒和纤维。目前，我国高炉冲渣水余热主要采用过滤直接供暖及过滤换热供暖方式进行利用，但存在容易在管道或换热设备内发生淤积堵塞、过滤反冲频繁取热量少、产生次生污染等问题，无法长时间使用，因此多年来冲渣水余热未得到全面有效利用。按照我国钢铁生产产量 8 亿 t，按 350kg 渣比计算，由冲渣水带走的高炉渣的物理热量约占炼铁能耗的 8% 左右，能源浪费巨大。该技术自 2013 年推广至今，已实施 26 座高炉，总供暖面积达 1400 多万平米，实现节能量 20 万 tce/a，CO₂ 减排约 52 万 t/a。

四、**技术内容**

1. 技术原理

高炉炼铁冲渣水含有大量 60-90℃ 低品位热量，该技术采用专用冲渣水换热器，无需过滤直接进入换热器与采暖水换热，加热采暖水，用于采暖或发电，从而减少燃煤消耗并减少污染物的排放，达到节能减排的目的。冷却后的冲渣水继续循环冲渣，对于带有冷却塔的因巴等冲渣工艺，可以关闭冷却塔进一步节约电能消耗；而对于没有冷却塔的冲渣工艺，冲渣水降温后减少了冲渣水蒸发量，进一步减少水消耗。采用该技术，无需过滤，工艺流程短，运行及维护成本低，取热过程仅仅取走渣水热量，不影响高炉正常运行，无次生污染，整体运行可靠，适宜于长周期运行。

2. 关键技术

(1) 直接换热技术。开发了专用冲渣水换热器，解决了纤维钩挂堵塞和颗粒物淤积堵塞问题，冲渣水无需过滤即可直接进入换热器与采暖水进行换热。

(2) 抗磨损技术。冲渣水含有大量固体颗粒物，不仅容易淤积堵塞，而且极易磨损，该技术通过板型、材质、结构、流速等方面的控制解决了磨损问题。

(3) 自动运行控制技术。根据高炉规模和冲渣工艺的不同特点，研发了系列工艺流程与之配套，大型高炉两侧冲渣的切换技术以及可靠的直接换热技术保证了自动运行的可实施性。

3. 工艺流程

高炉容积不同，冲渣工艺不同，以底滤法为例，其工艺流程如图 1 所示。

由高炉冲渣水泵出口管道处设置阀组提取冲渣水，取出的冲渣水流经冲渣水换热器取热降温后引回原管路继续冲渣；采暖水回水流经冲渣水换热器加热升温后，供采暖；系统安装自动控制包含 PLC 控制系统及温度、压力、热量计量等控制系统。

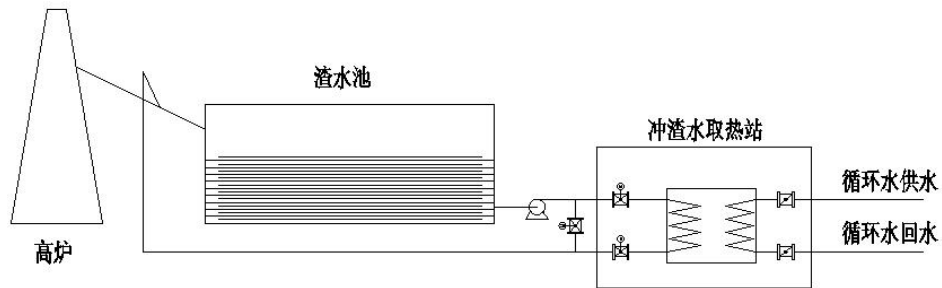


图 1 高炉冲渣水直接换热余热回收流程图

五、主要技术指标

1. 100%全水量取热，回收热量大，年产吨铁可配置采暖面积 0.4-0.6m²，节能 5-7.5kgce，节水 40-57kg；

2. 直接换热技术，无需过滤、不堵塞，可实现一个采暖季连续不停车运转；

3. 大型高炉的因巴等冲渣工艺，冷端温差小于 5℃，可将冲渣水由 85℃降至 55℃以下；小型高炉的底滤等冲渣工艺，热端温差小于 2℃，可将采暖水加热至 65℃以上；

4. 冲渣水换热器技术指标：

单台最大换热器面积 1200m²；

单台最大换热负荷 1.7×10⁷kcal/h；

单台最大冲渣水处理量 1500m³/h（底滤法）、1200m³/h（因巴法）；

换热器单平米供暖面积 175-500m²。

六、技术鉴定、获奖情况及应用现状

该技术共获得国家专利 9 项，其中 2 项发明专利。2015 年、2016 年，该技术分别通过天津市、山西省组织的科学技术成果鉴定。2015 年 5 月入选中国“双十佳”项目“十大节能技术”，同时入选国际能效合作伙伴关系 IPEEC 组织“十大节能技术”。2015 年获得天津市科学技术进步奖二等奖。

目前，已在北方 20 座高炉的冲渣水余热回收项目中推广实施，用于城市供暖，其中 19 座炼铁高炉，1 座铜冶炼高炉，供暖面积累计达 1100 万 m²，取得良好的经济和社会效益。

七、典型应用案例

典型用户：天津铁厂、山西太钢不锈钢股份有限公司、安阳钢铁股份有限公司、津西钢铁公司、万通钢铁公司、迁西和然节能科技有限责任公司等。

典型案例 1

案例名称：太钢 5#高炉冲渣水余热供暖项目

技术提供单位：天津华赛尔传热设备有限公司

建设规模：高炉炉容 4350m³，冲渣工艺环保因巴，为太原市 220 万 m² 城区建筑集中供暖；建设条件：具有足够供暖面积需求，冲渣水温度大于 60℃；本项目冲渣水温度周期变化，最高温度 95℃，冷却至 60℃以下，冲渣水流量 2400t/h，两套冲渣系统交替冲渣。主要技改内容：建设两套冲渣水取热站，各 6 台冲渣水换热器；建设配套采暖水泵站实现采暖水输送和调峰补热功能；相应连接管道、切换系统及控制系统。节能投资额 5200 万元，建设期 6 个月。年节能量 2.85 万 tce，年减排量 7.53 万 tCO₂。年节能经济效益为 1207 万元，投资回收期约 4 年。

典型案例 2

案例名称：安阳钢铁 1#高炉冲渣水余热回收东线供暖改造项目

技术提供单位：天津华赛尔传热设备有限公司

建设规模：高炉炉容 2200m³，冲渣工艺热因巴，全水量部分取热。建设条件：具有足够供暖面积需求，冲渣水温度大于 60℃。主要技改内容：于冲渣水流经管道附近安装冲渣水专用换热器；从原冲渣管道处截断管道安装阀门管道，提取冲渣水；取出的冲渣水流经安装好的换热器后，由安装管道阀门接引回原管路继续冲渣；于原采暖回水管道安装采暖水管道阀门，提取采暖水，取出的采暖

水流经安装好的换热器后，由安装管道阀门接引回原采暖系统。主要设备为专用冲渣水换热器 1 台及附属设备 1 套。技改投资额 400 万元，建设期 2 个月。年节能 3378tce，减排 8918tCO₂。年节能经济效益 348 万元，投资回收期 1.2 年。

八、推广前景及节能减排潜力

随着高炉冲渣水直接换热余热回收技术的成熟，在有集中供暖需求的北方将得到进一步发展应用。预计未来 5 年，该技术的推广比例可达 10%，项目总投入 5200 万元，可形成的年节能能力为 143 万 tce，年碳减排能力为 378 万 tCO₂。

69 焦炉炭化室荒气回收和压力自动调节技术

一、**技术名称：**焦炉炭化室荒气回收和压力自动调节技术

二、**技术所属领域及适用范围：**钢铁行业 钢铁和化工行业焦炉

三、**与该技术相关的能耗及碳排放现状**

以2×60孔6m顶装焦炉(年产焦炭120万吨)为例，采用焦炉炭化室压力自动调节煤气增收技术，可回收荒煤气量约为477万m³/a，则增收荒煤气为4m³/tJ。按其煤气热值折合成标准煤，相当于节约标准煤2917t/a、减排7700tCO₂/a。

四、**技术内容**

1. 技术原理

根据每孔炭化室煤气发生量变化，实时调节桥管水封阀盘的开度，实现整个结焦周期内炭化室压力调节，避免在装煤和结焦初期因炭化室压力过大产生煤气及烟尘外泄，并大量减少炭化室内荒煤气窜漏至燃烧室，实现装煤烟尘治理和焦炉压力稳定。

2. 关键技术

桥管阀体的研制；抗堵塞取压探头的研制；执行机构的选择与安装；控制系统的开发；负压集气管的压力调节与粉尘控制；炭化室底部压力的控制。

3. 工艺流程

在装煤过程中，该炭化室的桥管水封阀完全打开，由于集气管内为负压使装煤时产生的荒煤气和烟尘大量导入集气系统而不外泄，回收了荒煤气并实现了对装煤烟尘的高效治理，装煤烟尘治理可取消传统的装煤除尘或配合现有装煤除尘。装煤后进行炭化室压力单独调节，使炭化室在结焦全过程压力稳定，避免结焦末期集气管内荒煤气向炭化室倒流，防止炭化室底部出现负压和炉墙窜漏、冒烟、冒火现象发生，有利于焦炉稳定生产，对延长焦炉寿命具有重要作用。

五、**主要技术指标**

主要技术指标参见下表。

技术参数	设计指标	生产指标	单位
集气管压力	-150-250	-150-250	Pa
加煤初期桥管压力	70	70±10	Pa
加煤中期桥管压力	120	120±10	Pa
加煤后期桥管压力	135	135±10	Pa
炭化室底部压力	≥5	≥5	Pa
执行机构气源压力	0.6	≥0.4	MPa
测压装置气源压力	20	10-30	kPa

六、技术鉴定、获奖情况及应用现状

1. 技术鉴定及获奖情况

2012年11月该技术通过中冶集团技术成果鉴定，技术创新水平达到国际先进；专利名称：一种焦炉炭化室压力自动调节装置，专利号：ZL 200920008067.4；2012年11月该技术通过中冶集团技术成果鉴定，技术创新水平达到国际先进。

2. 目前技术应用现状及产业化发展情况

该技术现已在济钢8、9号焦炉和芜湖1、2号焦炉投产使用，用户反馈使用状况良好，经济效益显著。淮北焦化5、6、7、8号焦炉正在建设施工阶段。

七、典型应用案例

典型案例 1

典型案例应用单位：山东钢铁集团济南分公司

项目名称：济钢8、9号焦炉炭化室压力自动调节煤气增收技术项目

技术提供单位：中冶焦耐（大连）工程技术有限公司

建设规模：2×60孔6m顶装焦炉。主要技改内容：8、9号6m焦炉2×65孔，在新建时配套改造了水封阀、桥管、压力检测装置、气动执行机构，并配置了计算机控制系统。项目投资额约900万元，建设期为12个月，每年可实现节能量1436tce，减排3799tCO₂。投产后每年的经济效益383万元，项目的静态投资回收期为2.35年。

典型案例 2

典型案例应用单位：芜湖新兴铸管有限责任公司

项目名称：芜湖新兴铸管有限责任公司 1、2 号焦炉炭化室压力自动调节煤气增收技术项目

技术提供单位：中冶焦耐（大连）工程技术有限公司

建设规模：2×58 孔 6m 顶装焦炉。主要技改内容：1、2 号 6m 焦炉，配套改造了水封阀、桥管、压力检测装置、气动执行机构，并配置了计算机控制系统。项目改造的投资额约 870 万元，建设期为 12 个月，回收荒煤气的总量为 459 万 m³/a，投产后每年的经济效益按照 370 万元考虑，项目的静态投资回收期为 2.35 年。

八、推广前景及节能减排潜力

目前该技术市场推广率不足 2%，随着节能减排要求及企业降本增效，特别是对焦炉装煤实现达标排放具备较大的市场推广潜力。未来 5 年，该技术的推广比例将达到 20%，预计到 2020 年投入资金 6.5 亿元，预计形成的节能能力约 10 万 tce/a，减排约 26 万 tCO₂/a。

70 冷捣糊整体优化成型筑炉节能技术

一、**技术名称：**冷捣糊整体优化成型筑炉节能技术

二、**技术所属领域及适用范围：**钢铁行业 钢铁、有色、化工行业 适用于铁合金、黄磷、稀土金属等冶炼电炉

三、**与该技术相关的能耗及碳排放现状**

目前，我国铁合金年产量约 7000 万 t，黄磷年产量约 400 万 t。铁合金生产综合电耗约为 4200kWh/t，每年电耗约 2940 亿 kWh，黄磷冶炼电耗为 14000kWh/t，每年电耗约 560 亿 kWh，能耗巨大。传统的铁合金炉和黄磷炉是用碳砖砌筑而成，碳砖之间用电极糊连接，因碳砖与连接糊的质量和材料性质差异及碳砖规格本身的局限性，施工过程相对复杂，且连接糊薄弱处易破损，电流分布不均匀，导致电炉电耗高、寿命短。冷捣糊整体优化成型筑炉技术采用先进的筑炉工艺，可有效降低加工电耗，延长炉体的使用寿命，实现节能。

四、**技术内容**

1.技术原理

采用冷捣糊进行整体筑炉，材料质量均匀结构致密，可筑成所需的各种结构，不同材料能无缝粘接，可避免传统筑炉工艺连接糊易破损及电流分布不均匀的问题，同时可增强炉体的保温性能，改善电炉的热平衡，有效降低加工电耗，并延长炉体的使用寿命。

2.关键技术

(1) 冷捣糊制备技术

采用石墨化无烟煤和复合粘结剂，按照特定比例配料、混捏、凉料，制成专门用于电炉高温内衬的筑炉冷捣糊材料。

(2) 整体筑炉技术

将冷捣糊材料按照一定的压缩比，利用高速振动机械对分层铺设的冷捣糊进行捣筑成型，通过层层复压，形成糊料的无缝捣筑并使冷捣糊捣固体获得较高的体积密度，使电炉高温内衬部分的炉底、炉壁成为一个整体。

(3) 烘炉技术

采用高温结焦及电极焙烧方式，对冷捣糊整体成型筑炉的电炉进行烘炉处理。

3. 工艺流程

该技术的工艺流程图见图 1。

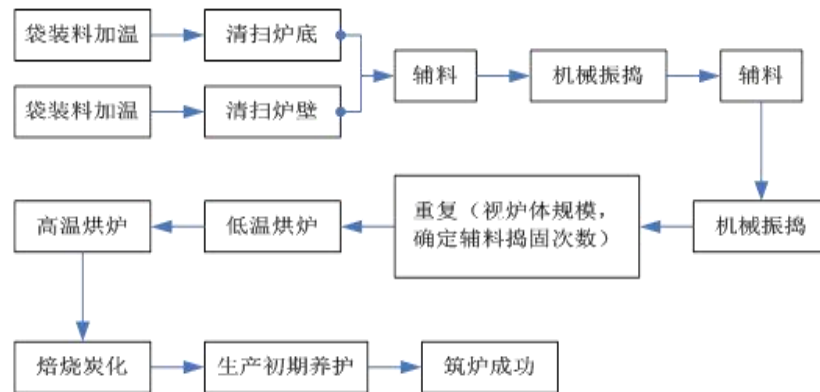


图 1 冷捣糊整体成型优化筑炉技术工艺流程图

五、主要技术指标

1. 降低电炉电耗：3.5%-8%；
2. 电炉使用寿命： ≥ 3 年。

六、技术鉴定、获奖情况及应用现状

该技术于 1999 年通过由贵州省化工厅和贵州省磷化工协会组织的工业化成果鉴定，并于同年获得贵州省科技进步三等奖。该技术还获得国家发明专利 1 项，实用新型专利 2 项。目前，已在全国推广使用十余年，广泛用于铁合金、黄磷、稀土、铝电解等行业，用户数量达 100 多家。

七、典型应用案例

典型用户： 邦泰铁合金集团、中国五矿集团贵州铁合金公司等

典型案例 1

案例名称：邦泰（贵州）铁合金有限公司麻尾分公司 2#电炉筑炉技改项目

技术提供单位：贵州康格力炭素材料有限公司

建设规模：6300kVA 电炉筑炉，冷捣糊用量 70t。建设条件：利用电炉大修

进行技术改造。主要技改内容：对电炉高温炭砖碳质内衬进行更换，用冷捣糊整体成型技术筑炉，其它工艺条件不做改变。主要设备为空压机、振动设备。项目技改投资约 26 万元，建设期 20 天。项目年节能量 1037tce，年碳减排量约 2737tCO₂。年节能经济效益约 162 万元，投资回收期为 2 个月。

典型案例 2

案例名称：中国五矿清镇铁合金公司的 4 号炉筑炉技改项目

技术提供单位：贵州康格力炭素材料有限公司

建设规模：12500kVA 硅锰合金电炉，冷捣糊用量 123t。建设条件：利用电炉大修进行技术改造。主要技改内容：对电炉原有内衬进行更换，用冷捣糊整体成型技术筑炉。主要设备为空压机、振动设备。项目技改投资约 35 万元，建设期 1 个月。项目年节能量 1467tce，年碳减排量约 3873tCO₂。年节能经济效益 230 万元，投资回收期 2 个月。

八、推广前景及节能减排潜力

目前我国铁合金、黄磷、铝电解等行业的电炉以及其它特种电炉都需要大量的碳素材料作内衬，冷捣糊整体成型筑炉技术具有广阔的推广前景。预计未来 5 年，该技术在铁合金和铝电解等行业的推广比例将达到 40%，项目总投资约 2 亿元，可形成的年节能能力约 80 万 tce，年碳减排能力约 210 万 tCO₂。

71 烧结废气余热循环利用工艺技术

一、技术名称：烧结废气余热循环利用工艺技术

二、技术所属领域及适用范围：钢铁行业 烧结

三、与该技术相关的能耗及碳排放现状

截止2014年，我国大中型烧结机共约600台，年产烧结矿约8亿t，烧结工序的平均能耗为55kgce/t。烧结废气余热循环利用可节省烧结能耗5%以上，减少烧结CO₂排放以及废气排放总量20%以上。从2012年起，宝钢、宁波钢铁、沙钢等烧结机废气循环改造工程已陆续建成投运。

四、技术内容

1. 技术原理

烧结低温废气自烧结支管风箱/环冷机排出后，再次被引入、通过烧结料层时，因热交换和烧结料层的自动蓄热作用，可以将其中的低温显热供给烧结混合料，与此同时热废气中的二噁英、PAHs、VOC等有机污染物在通过烧结料层中高达1200℃以上的烧结带时被激烈分解，NO_x在通过高温烧结带时亦能够通过热分解被部分破坏，尽管二噁英、PAHs、VOC等有机污染物在烧结预热带又可能重新合成，但废气循环烧结仍然可以显著减少有机污染物的排放，并大幅度削减废气排放总量。烧结废气余热循环利用可以富集SO₂，提高脱硫效率，并使NO_x被降解、二噁英在高温下热解、粉尘被吸附并滞留于料层，减少排入大气的烟气量，降低废气净化装置及运行成本，并提高已有烧结机的产能。

2. 关键技术

(1) 烧结低温余热利用、废气减量、污染物同步脱除的方法、工艺和装置；

(2) 循环烧结系统在线控制技术

包括循环烟温和氧含量调控、烟道防结露、循环风箱组合优化、循环烧结工艺与主工艺衔接等技术；

(3) 循环烧结过程仿真模型

包括烧结终点温度控制、风氧平衡、烧结质量预报与控制、循环烧结传热、

节煤量实计、管路优化等子模型；

(4) 循环烧结条件下配矿结构优化和提产增效技术

包括提高废气循环烧结利用系数及烧结矿转鼓强度的方法，提高烧结铁精矿用量和生产率的矿料使用方法等。

4.工艺流程

烧结废气余热循环利用工艺流程图见图1。

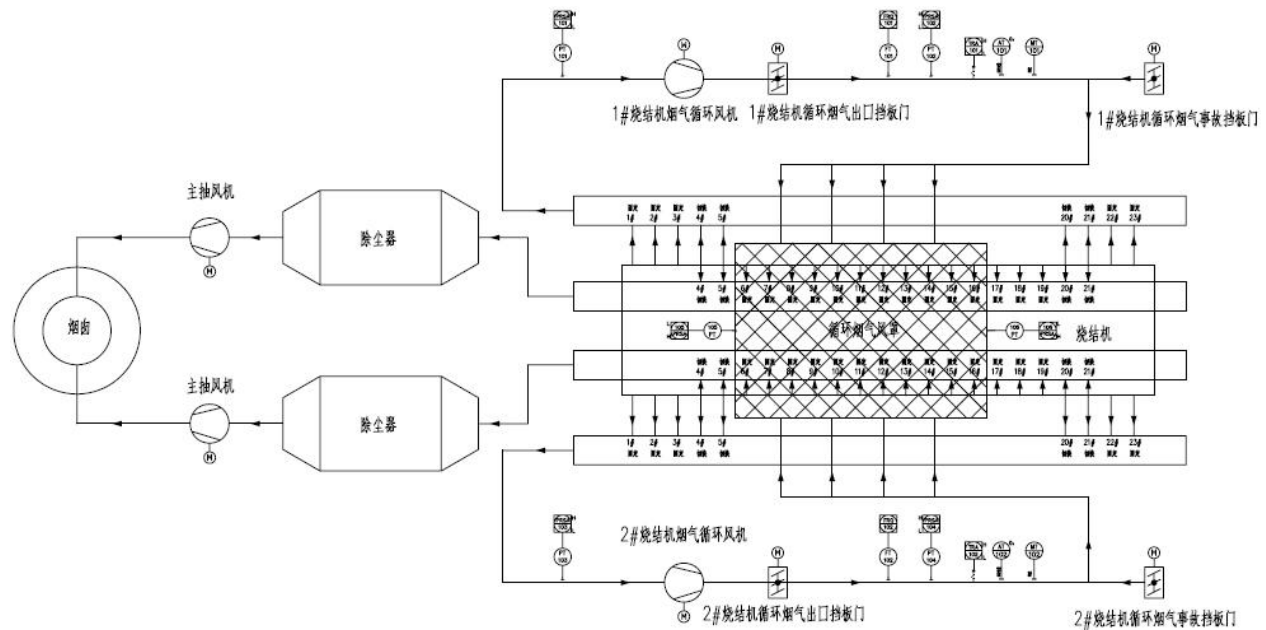


图1烧结废气余热循环利用工艺流程图

五、主要技术指标

1. 烧结工艺节能5%以上；
2. 烟气总量减排20%以上；

六、技术鉴定情况

本技术已申请 30 余项相关专利，目前已授权 10 项。2014 年 11 月，在宁钢循环烧结示范工程作为首批低碳技术创新和产业化示范工程通过了国家发改委工程验收组的项目验收。

七、典型应用案例

典型用户：宝钢、沙钢、宁钢等。

典型案例 1

案例名称：宁波钢铁 2#烧结机废气循环示范工程

技术提供单位：宝钢集团中央研究院

建设规模：430m² 烧结机（烟气循环量 90 万 m³/h）。建设条件：钢铁烧结工艺。主要建设内容：新建烟道、烧结机烟气循环风机、烧结机烟气循环风机出口挡板门、循环烟气事故挡板门、循环烟气风罩、除尘器及气力输灰系统、仪电控制系统等。主要设备为烟气循环风机、除尘器等。项目总投资 4500 万元，建设期为 12 个月。年节能量 8173tce，减排量约 18000tCO₂。年节能经济效益 1936 万元，投资回收期约 2.5 年。

典型案例 2

案例名称：宝钢不锈钢有限公司 2#烧结机废气循环工业试验装置

技术提供单位：宝钢集团中央研究院

建设规模：132m² 烧结机（烟气循环量 20 万 m³/h）。建设条件：已建钢铁烧结工艺。主要建设内容：该装置由烧结废气循环系统、环冷废气循环系统、烟气混合器、循环烟罩及相应的控制系统、管路等构成。烧结废气循环量 11-17 万 m³/h，温度约 200℃，环冷废气循环量 15-20 万 m³/h，温度约 235℃。项目总投资 1100 万元，建设期为 12 个月。年节能量 2730tce,年减排量约 6000tCO₂。年节能经济效益 557 万元，投资回收期约 2 年。

八、推广前景及节能减排潜力

预计未来 5 年，该技术在钢铁行业烧结工艺中的推广比例可达 30%，可形成年节能能力为 42 万 tce，年碳减排能力 92 万 tCO₂。

72 无引风机无换向阀蓄热燃烧节能技术

一、**技术名称：**无引风机无换向阀蓄热燃烧节能技术

二、**技术所属领域及适用范围：**冶金行业 钢（铁）包、中间包烘烤器；加热炉、退火炉、淬火炉等；石油化工、电力行业 火焰燃烧节能应用领域

三、**与该技术相关的能耗及碳排放现状**

传统蓄热燃烧技术主要设备包括引风机、助燃风机、换向阀、燃料系统和蓄热系统等，存在耗电量和耗气量大、结构工艺复杂、换向阀寿命低、设备维护工作量大等问题，导致传统蓄热燃烧技术能源利用效率比较低。据统计，仅烘烤设备的耗能约占冶炼行业用能的 15%-20%。该技术的主要设备包括助燃风机、燃烧系统和蓄热系统，去掉了引风机和换向阀，不仅使助燃风机功率降低，蓄热体寿命增加，燃烧更充分，大量节能电能和燃气，而且使设备维护工作简单，维护周期增加，从而有效提高能源利用效率，环保效益好，节能潜力巨大。

四、**技术内容**

1. 技术原理

通过采用自吸式燃烧技术，显著降低助燃风机功率并提高燃烧器效率；采用新型双通道蓄热体实现无换向阀蓄热烘烤，热废气体的排烟温度显著降至 100°C 以下，节约燃气。同时，通过热废气进口（高温区）和排烟口（常温区）所造成的温度差，形成一定压力变化实现自动引风，并分出助燃风机的部分风量作为动力源形成的引力，实现无引风机蓄热加热，节约电能。

2. 关键技术

（1）无换向阀技术

通过新型双通道蓄热体，让热废气和需要加热的助燃空气分别通过各自的固有通道，实现无换向阀加热。

（2）无引风机技术

通过热废气的进口（处于高温区和主火焰的外焰区）和排烟口（处于常温区）所造成的温度差来形成一定压力变化，实现把热废气从进气口自动引入，通过蓄热体从排烟口排出。

(3) 低热值气体的自动点火技术

采用催化剂来提高燃气的热值来实现低热值气体的自动点火。

(4) 自吸式燃烧器技术

通过燃气流速的变化实现自动吸入等比例空气的新型燃烧技术，获得燃气的差压最小，燃烧器的效率最高，同时排烟温度的降低也有利于来节约燃气。

(5) 助燃风机功率大幅度降低技术

利用自吸式燃烧技术和新型蓄热体来降低热气体的阻力，可使助燃风机的功率显著降低来进一步节约电能。

3. 工艺流程

燃气通过管路进入自吸式燃烧器，被吸入的空气通过双通道蓄热体加热后进行燃烧，形成稳定火焰对加热对象进行烘烤。同时，热废气通过两个紧邻主火焰的外焰进口（温度高）进入，经过双通道蓄热体（对蓄热体进行加热用）后由热废气排出口排出，从而省去了换向阀装置和引风机。具体结构见图 1。

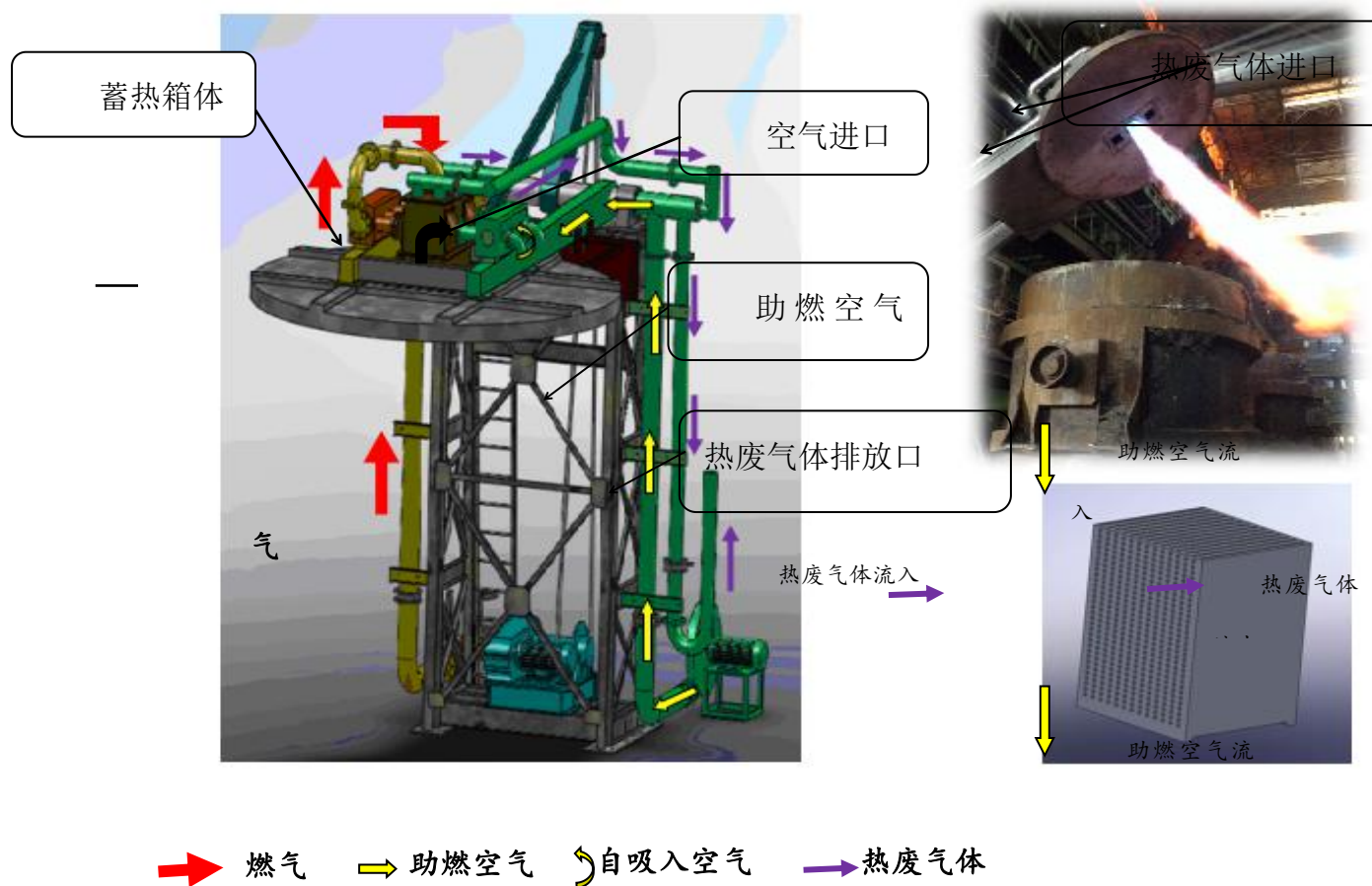


图 1 无引风机、无换向阀蓄热烘烤装置

五、主要技术指标

1. 与原设备相比，节电量平均在 50%以上；
2. 与原烘烤设备相比煤气节约率 20%-50%；
3. 烟气排放温度低于 100°C；
4. 设备维护周期由原来的 6 个月延长到了 18 个月以上；
5. 获得的火焰温度比传统蓄热加热提高了 100°C 以上。

六、技术鉴定、获奖情况及应用现状

该技术获得 4 项国家发明专利和 16 项实用新型专利，在国内首次应用于钢（铁）包、中间包加热领域。目前，已在上海宝钢、江苏沙钢、江阴兴澄特钢等钢铁企业成功应用，节能效果显著。

七、典型应用案例

典型用户：上海宝钢、江苏沙钢、江阴兴澄特钢、河北敬业钢铁、广西盛隆冶金公司、湖南华菱涟钢等

典型案例 1

案例名称：江阴兴澄特种钢铁有限公司

技术提供单位：洛阳沃达节能科技有限公司

建设规模：一分厂（100 吨钢包一台）、二分厂（100 吨钢包一台）、特板分厂（150 吨钢包一台），共计 3 台无引风机无换向阀蓄热烘烤器。建设条件：燃气为转炉煤气和天然气；主要技改内容：对原有设备进行去掉引风机和换向阀；助燃风机功率从 18.5kW 降低至 11kW；去掉天然气消耗，用转炉煤气取代天然气做为常明火；更换加热系统；控制系统升级改造。主要设备为燃烧系统、控制系统和管路系统。节能技改投资额 115 万元，建设期 2 个月。每年可节能 1142tce，碳减排量 3015tCO₂，年节能经济效益为 773 万元，投资回收期约 2 个月。

典型案例 2

案例名称：河北敬业钢铁有限公司第二炼钢事业部钢包蓄热改造项目

技术提供单位：洛阳沃达节能科技有限公司

建设规模：13 台无引风机无换向阀 150 吨钢包蓄热改造。建设条件：燃气为转炉煤气。主要技改内容：对原有设备的助燃风机利旧，引风机去掉，更换加

热系统，控制系统升级改造，主要设备为燃烧系统、控制系统和管路系统。节能技改投资额 190 万元，建设期 3 个月。每年可节能 2689tce，碳减排量 7100tCO₂，年节能经济效益为 546 万元，投资回收期约 3 个月。

八、推广前景及节能减排潜力

无引风机无换向阀蓄热加热技术可广泛应用于冶金、石油化工等行业。随着我国环境约束日趋突出和经济转型升级要求日益迫切，该技术具有较大的发展空间。未来 5 年，仅在钢（铁）包、中间包加热领域可推广 30%，项目总投资约 6.2 亿元，可形成的年节能能力约 94 万 tce，年碳减排潜力 247 万 tCO₂。

73 焦炉荒煤气显热回收利用技术

一、**技术名称：**焦炉荒煤气显热回收利用技术

二、**技术所属领域及适用范围：**钢铁、焦化行业 焦炉荒煤气余热回收

三、**与该技术相关的能耗及碳排放现状**

据统计，在我国钢铁和焦化行业，从焦炉炭化室出来的 650℃-800℃ 荒煤气带出的余热约占焦炉热量损失的 36%，相当于 39kgce/吨焦。目前，传统的焦炉荒煤气冷却工艺采用喷洒大量 70℃-75℃ 的循环氨水冷却高温荒煤气，荒煤气温度降低后，进入煤气初冷器，再由循环水和低温冷却水进一步降低温度到 21℃ 左右，而高温荒煤气带出的余热无法利用。该工艺流程不仅浪费了大量的荒煤气余热，而且消耗大量氨水，浪费大量的水资源和电力。

四、**技术内容**

1. 技术原理

通过上升管换热器结构设计，采用纳米导热材料起导热作用，并防止荒煤气腐蚀和焦油附着，采用耐高温耐腐蚀合金材料最大限度地适应了荒煤气运行的恶劣工况。特殊的几何态构体结构，合理地将换热和稳定运行有机结合，将焦炉荒煤气利用上升管换热器和除盐水进行热交换，产生饱和蒸汽，将荒煤气的部分显热回收利用，实现节能。

2. 关键技术

(1) 换热器防漏水技术

采用纳米导热层、耐磨耐腐耐高温合金层、金属导热层（无缝钢管）的三层保护结构材料，与荒煤气接触部分无任何焊缝，保证换热水不会漏入上升管内部，确保工艺安全。换热器换热结构采用自行研发的几何态换热结构形式，将水封闭在三层以外的密闭空间进行换热。

(2) 换热器防堵塞技术

在结焦过程中，特别是存在大量荒煤气的阶段，可实现荒煤气出口温度与进水流量的全自动控制调节，将荒煤气出口温度控制在 450℃ 以上。同时，上升管换热器的内壁采用耐高温进口纳米导热材料，耐热温度为 1800℃，经过 500℃

高温后内表面形成均匀光滑而又坚固的釉面，不易造成焦油凝结，即使结焦也不易附着，便于清除。

3. 工艺流程

除盐水经过除氧后通过给水泵送入汽包，汽包底部的强制循环水泵将一定压力的除氧水送入上升管换热器，在上升管换热器内的除氧水经换热后，返回汽包，在汽包内进行汽液分离，饱和蒸汽根据用户需求条件，通过管道供给用户。用户产生的冷凝水集中收集，返回系统重复使用。如果客户需要过热蒸汽，将分汽包内的饱和蒸汽引入其它上升管继续加热到规定温度，过热后的蒸汽送用户使用，冷凝水返回系统重复使用。工艺流程图见图1和图2。

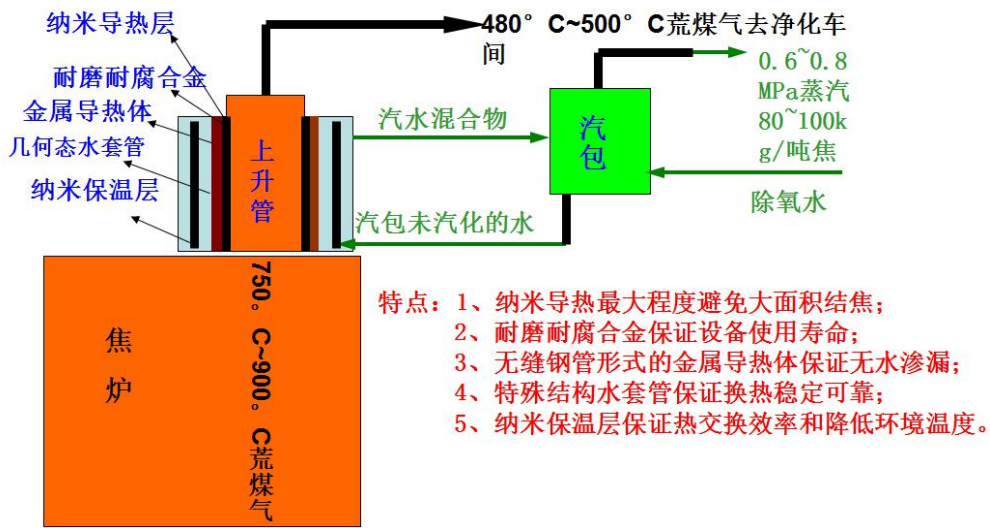


图1 焦炉上升管换热器结构示意图

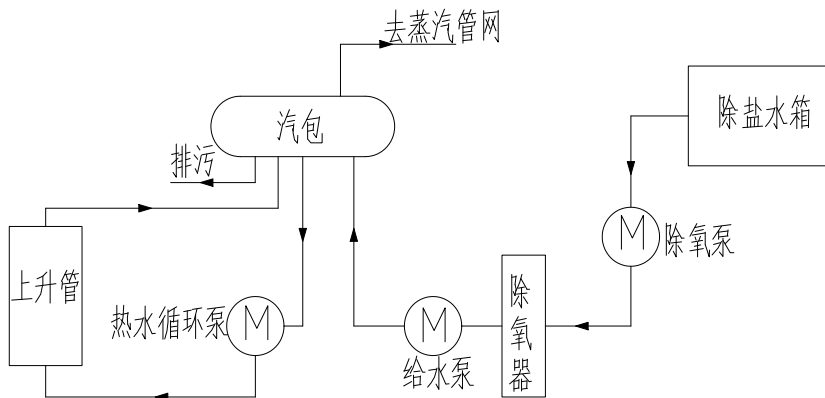


图2 焦炉荒煤气显热回收利用技术工艺流程图

五、主要技术指标

1. 产生饱和蒸汽量（0.6MPa）：75-110kg/tJ；
2. 降低工序能耗：8-10kgce/tJ；
3. 上升管换热器内无结焦、不漏水；
4. 余热回收系统运行平稳。

六、技术鉴定、获奖情况及应用现状

该技术获得国家发明专利1项，实用新型专利8项，并于2016年11月通过河北省焦化行业协会组织的成果鉴定。目前，该技术已应用于河北邯钢2座6m焦炉，运行状况良好。此外，安阳钢铁2座6m焦炉和邯宝焦化4座7米焦炉的焦炉荒煤气显热回收利用项目正在实施中。

七、典型应用案例

典型用户：河钢集团邯郸分公司

典型案例

案例名称：河钢集团邯郸分公司焦化厂焦炉荒煤气显热回收利用工程

技术提供单位：常州江南冶金科技有限公司、北京动力源科技股份有限公司

建设规模：2×45孔6m焦炉，年产0.6MPa饱和蒸汽9.08万吨。建设条件：邯钢2×45孔6m焦炉，现场具备安装空间。主要技改内容：新建余热利用系统和设备，替换原有上升管为上升管换热器，并配套建设汽包、水泵、管路及控制系统。主要设备：90个上升管换热器，以及配套的汽包、水泵等。节能技改投资额为2800万元，建设期12个月。每年可节能8569tce，碳减排量22625tCO₂。年节能经济效益为800万元，投资回收期约3.5年。

八、推广前景及节能减排潜力

焦炉荒煤气显热回收利用的经济效益十分显著，既能利用荒煤气的余热产生饱和或过热蒸汽，又能减少循环氨水的使用量和循环泵电力消耗，焦油和粗苯产率也略有提高。未来5年，预计焦化行业推广比例可达50%，项目总投资为50亿元，可形成的年节能能力达185万tce，年碳减排潜力488万tCO₂。

74 大型高效充气机械搅拌式浮选机

一、**技术名称：**大型高效充气机械搅拌式浮选机

二、**技术所属领域及适用范围：**有色金属行业 矿产资源行业于大、中型选矿厂，对有色金属、黑色金属、非金属矿产资源采用浮选方法进行综合回收

三、**与该技术相关的能耗及碳排放现状**

目前该技术可实现节能量 18.8 万 tce/a，减排约 49.6 万 tCO₂/a。

四、**技术内容**

1.技术原理

浮选机叶轮旋转时，槽内矿浆与鼓风机给入的低压空气，在叶轮叶片间进行充分混合并在叶轮上半部周边排出，由定子稳定后进入弥散到整个槽子中，矿化气泡背负有价矿物上升到槽子表面形成泡沫层，泡沫采用自溢或机械排出的方式进入到溜槽，实现对目的矿物的有效富集。

2.关键技术

(1) 采用高比转数后倾叶片叶轮，循环量大、压头低点，保证了矿浆充分悬浮、矿粒分布均匀，可显著降低浮选机的功率强度；

(2) 采用低阻尼直悬式定子，定子悬空区域大，降低了运转功耗；

(3) 进一步验证了我国独立提出的浮选机大型化相似放大和设计理论。

3.工艺流程

(1) 在保证大型浮选机的搅拌雷诺数与中小型设备基本相等的前提下，通过优化核心部件即叶轮-定子系统的结构形式与运转参数，在保证矿浆悬浮状态不恶化、矿粒和空气分散度不降低、分选指标不降低的前提下，实现了单位容积运转功耗的降低。

(2) 配置了矿浆液位、充气量的自动控制系统，保证矿浆液面维持在设定值，有效地提高了选别指标，减少了矿浆短路现象。

五、**主要技术指标**

单槽有效容积：40、50、100、160m³；

安装功率：55、75、132、160kW；

实际消耗功率：安装功率的 60%-75%W（因矿石性质及浮选工艺不同略有波动）；

充气量：0-1.5m³/m²·min；

与中小型浮选机相比，单位浮选容积的功率强度降低 20%-30%；

填补了我国大型选矿设备研究及应用的空白，选别指标与综合技术性能达到国际先进水平。

六、技术鉴定及应用情况：

国家“十五”科技攻关项目，国家“十一五”支撑计划项目；50m³和 160m³浮选机分别于 2001 年和 2005 年通过中国有色金属工业协会技术鉴定，鉴定结果为国际先进水平。

截止 2006 年 12 月底，该技术已在国内几十家矿山选矿厂应用，总台数近 2000 台。

七、典型应用案例

技术提供单位：北京矿冶研究总院

1.中国黄金集团公司乌努格吐山 4 万 t 铜钼矿项目将采用 32 台 160m³浮选机，预计 2008 年投产。

2.中铝中州分公司 2002 年在新建铝土矿选矿厂中选用 46 台 40m³浮选机，当年投产，当年达标。据不完全统计，与小型浮选机相比因节能带来的年经济效益 600 万元，并有效解决了低铝硅比铝土矿分选存在的技术难题，保证了氧化铝选矿拜耳法新技术的实施。

3.澳大利亚独资的贵州锦丰矿业公司采用了 9 台 100m³、12 台 50m³、40m³浮选机，2007 年已投入生产。

4.金川集团公司在 6000t/d 扩能工程中选用 24 台 50m³的浮选机，2003 年 4 月全面投产，设备已正常运转逾 4 年，因节能每年直接经济效益 400 万元。

八、推广前景及节能减排潜力

我国矿产资源由于多年高强度消耗和粗放型开发利用，易处理、高品位资源逐步枯竭，贫、细、杂难处理资源开采量大大增加，新建选矿项目日的处理能力频创新高，甚至高达 10 万 t/d，对大型浮选设备的需求十分迫切，大型浮选设备的应用前景非常广阔。

预计未来 5 年，该技术在行业内的推广潜力可达到 80%，预计投资总额 24

亿元，节能能力 50 万 tce/a，减排能力 95 万 tCO₂/a。

75 氧气底吹熔炼技术

一、技术名称：氧气底吹熔炼技术

二、技术所属领域及适用范围：有色金属行业 有色金属行业铅冶炼企业，规模 5-20 万 t/a 均可，亦适用于铜及其它硫化矿物的提取冶金企业

三、与该技术相关的能耗及碳排放现状

氧气底吹熔炼技术在不断完善与提升，已取得一系列的技术进步。铅冶炼“氧气底吹熔炼-液态铅渣直接还原”取代“氧气底吹熔炼-鼓风炉还原”，吨粗铅综合能耗由 360kgce 降至 200kgce，吨粗铅减排 422.4kgCO₂。液态铅渣直接还原升级改造投资约 4000 万。氧气底吹炼铜技术工业化应用以来，吨粗铜综合能耗降至 120-140kgce，比 2012 年全国粗铜平均能耗 261.84kgce 低很多。采用氧气底吹炼铜工艺投资比采用其他炼铜工艺投资省至少 10%。目前该技术可实现节能量 6 万 tce/a，减排约 16 万 tCO₂/a。

四、技术内容

1.技术原理

氧气底吹炼炉为一卧式圆柱体，支撑于设于碇基础的托辊之上，炉体通过齿轮转动，可绕水平轴左右转动。

炉体下部设有氧枪或还原枪，用于氧化硫化矿或还原氧化物。由于氧气浓度高，烟气量少，炉内衬耐火材料，无冷却水套，热损失少。铅精矿或铜精矿均可不加任何燃料，实现自然熔炼。且系统设有烟气余热锅炉生产蒸汽发电，热能利用率高。故氧气底吹炼铅或炼铜，目前均为世界上所有炼铅炼铜工艺中能耗最低的技术。

2.关键技术

氧气底吹熔炼-液态铅渣直接还原炼铅工艺、氧气底吹熔炼-氧气底吹连续吹炼炼铜工艺、熔炼炉、还原炉、底吹连续吹炼炉、氧枪、余热锅炉等与该工艺配套的技术装备。

3.工艺流程

铅硫化矿物、二次铅原料（铅膏、含铅玻璃、锌厂铅银渣、钢厂烟灰等）、

熔剂及烟尘返料经配料制粒后，直接进入氧气底吹熔炼炉中进行熔炼，产出的高温 SO₂ 烟气经余热锅炉回收余热和电收尘器收尘后送两转两吸制酸；产出的一次粗铅送精炼；产出的熔融铅氧化渣直接流入还原炉。

熔融铅氧化渣与配入的熔剂、碎煤在还原炉内进行还原熔炼，也可以配入适量的铅氧化矿，产出的高温烟气经余热锅炉回收余热和收尘器收尘后送尾气脱硫；产出的二次粗铅送精炼；产出的还原炉渣直接流入烟化炉。

铜硫化矿物经氧气底吹熔炼产出铜锍，铜锍经氧气底吹连续吹炼产出粗铜，粗铜送精炼炉，熔炼阶段可加入自产的冷料，吹炼阶段可加入残极、外购废杂铜等冷料。

五、主要技术指标

吨铅电耗约 90kWh；吨铅煤耗 120-140kg；吨铅氧耗 300-400Nm³；吨铅产饱和蒸汽 1.5-2.0t (4.0MPa)；吨粗铅综合能耗 200kgce。

吨铜电耗约 1000kWh；吨铜氧耗 1200-1300Nm³；吨粗铜综合能耗 180-220kgce。

六、技术鉴定、获奖情况及应用现状

经专家鉴定，该技术处于国际领先水平。该技术获得了中国有色金属工业科学技术一等奖、国家科技进步二等奖。

氧气底吹熔炼技术自 2002 年第一条生产线投产以来，不断完善和提升，在原料适应性、节能减排、清洁生产等方面取得了显著的成绩，吨粗铅综合能耗降至 180-220kgce，与 QSL、Kivcet、Ausmelt/ISA 等国外工艺相比，氧气底吹熔炼-液态铅渣直接还原工艺处于国际领先水平。

氧气底吹炼铜技术投产以来受到了广泛关注，特别是双底吹连续炼铜技术的投产在世界炼铜史上具有里程碑意义，将开启炼铜技术的新纪元。氧气底吹熔炼技术安全可靠，历经十余年的市场检验，铅冶炼采用氧气底吹熔炼技术的生产线有 40 余条，其中氧气底吹熔炼-液态铅渣直接还原生产线 30 余条，使用年限超过 5 年的有 13 条生产线。氧气底吹炼铜熔炼技术已投产 6 条生产线，在建和在设计还有 10 余条，氧气底吹连续炼铜工艺投产以来已稳定运行半年多。

七、典型应用案例

案例应用单位：河南金利金铅有限公司

技术提供单位：中国恩菲工程技术有限公司

改造内容：取消铸渣机及鼓风机，在氧气底吹熔炼炉渣口端附件新建液态铅渣直接还原炉，采用余热锅炉回收余热。改造前按当量值计算产品单耗为 351.33kgce/tPb，按等价值计算产品单耗 380.89kgce/ tPb；改造后按当量值计算产品单耗为 154.93kgce/tPb，按等价值计算产品单耗 174.37kgce/tPb。分别降低了 55.9%和 54.22%，节能效果显著。改造投资额 5100 万元，投资回收期约 3 年。

八、推广前景及节能减排潜力

氧气底吹熔炼技术推广前景广阔，铅冶炼预计氧气底吹熔炼-液态铅渣还原技术将占全国矿铅冶炼市场份额的 90%，即约有 125 万 t 铅产能将采用氧气底吹熔炼-液态铅渣直接还原进行技术升级改造，预计投入约 12.35 亿，预计可形成的总节能量 20 万 tce、减排 52.8 万 tCO₂；氧气底吹炼铜技术作为具有自主知识产权的技术，若推广至 300 万 t/a 产能，预计投入 600 亿，预计可形成的总节能 36 万 tce、减排 95 万 tCO₂。

预计未来 5 年，该技术在行业内的推广潜力可达到 45%，预计投资总额 6 亿元，节能能力 10 万 tce/a，减排能力 26 万 tCO₂/a。

76 铝电解槽新型阴极结构及焙烧启动与控制技术

一、**技术名称：**铝电解槽新型阴极结构及焙烧启动与控制技术

二、**技术所属领域及适用范围：**有色金属行业 有色金属行业电解铝企业

三、**与该技术相关的能耗及碳排放现状**

传统铝电解槽技术直流电耗 13000-13500kWh/t-Al，其中 2008 年全国产铝 1318 万 t，平均直流电耗 13260 kWh/t-Al，综合交流电耗 14323 kWh/t-Al，吨铝生产排放 10.82tCO₂，铝电解槽大修投资约 80 元/t-Al（依据电解槽容量大小、槽寿命长短）。目前该技术可实现节能量 93 万 tce/a，减排约 246 万 tCO₂/a。

四、**技术内容**

1.技术原理

电解铝生产采用熔盐电解法，即将氧化铝、冰晶石、氟化铝等加入电解槽中，在直流电作用下，电解质在电解槽内发生电化学反应，在阴极上析出铝液，阳极上析出 CO₂ 和 CO，铝液用真空抬包抽出铸造成铝锭，阳极逐渐消耗定期更换。本技术的技术原理是：（1）采用其阴极表面带有凸起结构的铝电解槽新型阴极技术，将现行电解槽的阴极结构改变为新型的电解槽阴极结构和内衬结构，上限减少阴极铝液波动，提高阴极铝液面稳定性，从而提高电流效率，降低槽电压，降低电耗；（2）应用国际上通用的以电解槽阴极表面温度分布和垂直分布情况判定电解槽焙烧质量的方法，以电解槽阴极和电解质温度为控制中心，利用火焰焙烧，取代传统的铝液焙烧和焦粒焙烧，利用燃气量和风量控制火焰温度和燃烧热量，实现焙烧温度与升温速度的控制，通过合理地设置燃烧器，达到温度均匀的目的，最终得以提高电解槽的焙烧质量，节省能耗。

2.关键技术

（1）新型阴极结构电解槽的关键技术是在炭阴极表面设计和构建凸起结构，这种凸起结构具有阻流和铝液波动，提高铝液的电磁流动动力学稳定性的作用。新型阴极结构电解槽的阴极结构如图 1、2、3 所示，图 4 是由计算机根据电磁流体动力学理论计算出来的新型阴极结构电解槽与传统阴极结构电解槽的阴极铝液面波动高度的比较。由图 4 可以看出，铝电解使用新型阴极结构电解槽，可使

槽中铝液面波动减少 2cm 左右，从而实现了电解槽阴极铝液面稳定性提高，这为电解槽电流效率的提高和极距与槽电压的降低提供了技术保障，这也是新型阴极结构电解槽的关键技术所在。

(2) 采用二段焙烧技术，提高焙烧质量，缩短焙烧周期，使电解槽快速转入正常生产。

3.工艺流程



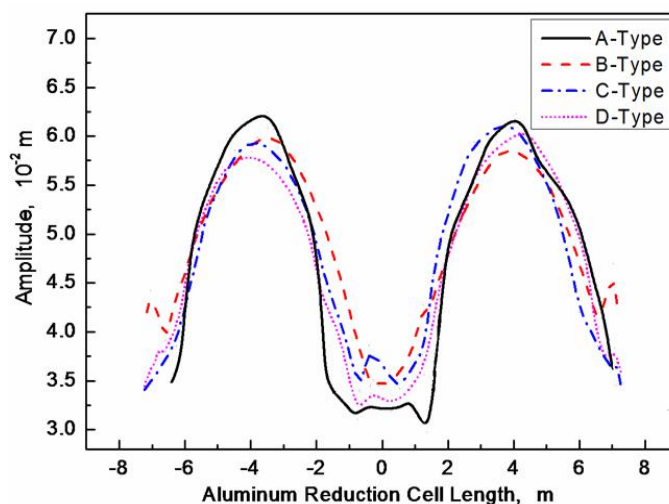
图 1 阴极碳块表面的纵向方向具有 2 个凸起结构的电解槽



图 2 阴极碳块的上表面具有相互交错的横向凸起的电解槽



图3 阴极碳块上表面具有交错的柱状凸起结构的电解槽



铝液最大波动幅度：A-普通平底电解槽: 3.55cm，B-长凸起电解槽: 2.98cm
C-方形凸起电解槽: 2.73cm，D-圆柱凸起电解槽: 2.76cm

图4 新型阴极结构电解槽的铝液波动

五、主要技术指标

新型阴极结构电解槽槽电压 3.7-3.85V，电流效率 92%-95%，直流电耗 11900-12500 kWh/t-Al。所替代的传统电解槽的主流技术指标：槽电压 4.1V，电流效率 92%，直流电耗 13300kWh/t-Al。本技术直流电耗降低 700-1400 kWh/t-Al。

六、技术鉴定、获奖情况及应用现状

本技术首先在重庆天泰铝业工业电解槽上应用，2008 年通过中国有色金属工业协会组织的专家鉴定，结论为“该项目属国内外首创，整体技术达到国际领先水平。建议尽快扩大工业试验规模，为推广积累经验”。

本技术优化后在浙江华东铝业 200kA 电解槽全系列得到应用，2010 年，中

国有色金属工业协会组织专家鉴定，结论为“该项目经济和社会效益显著、节能减排效果明显，整体技术达到国际领先水平。该项目易在现有电解槽上实施，综合投资低，建议加快推广应用”。

目前，应用新型阴极结构电解槽技术的铝电解厂超过 20 家。新型阴极结构电解槽有的槽龄已超过 4 年，而且运行稳定，节能减排效果显著，其技术的可靠性和节能效果得到了时间的考验。

七、典型应用案例

典型用户：中国铝业兰州分公司、重庆天泰铝业公司、青铜峡铝业集团有限公司 350kA 系列、浙江华东铝业股份有限公司、河南浙川铝业（集团）有限公司、河南神火集团有限公司、湖南创元铝业公司

技术提供单位：东北大学

典型案例 1：中国铝业兰州分公司

主要技改内容：采用新型湿法焙烧启动技术改造 80 台 350kA 电解槽。相对于传统的焙烧启动技术，每台电解槽平均可节电 8 万 kWh，折合 28tce，全系列启动一次节能 6384tce。每台 350kA 电解槽在焙烧启动期间可创造节能经济效益 5.2 万元，对于一个标准的 288 台 350kA 电解槽系列来说，可创造节能经济效益 1500 万元。

典型案例 2：重庆天泰铝业公司

建设规模：年产 6 万 t170kA 新型阴极结构铝电解系列。主要技改内容：（1）新型阴极电解槽阴极碳块制作与加工 （2）阴极结构改造 （3）电解槽内衬结构改造 （4）焙烧方法的技术升级 （5）电解槽工艺与操作技术的改造 （6）电解槽控制系统升级改造。节能技改投资额 11300 万元，建设期 6 个月，按节电 1100kWh/T-Al 计，年可节电 6600 万 kWh，折合 2.31 万 tce/a；节煤 3000t/a。按电价 0.45 元/度计算，年节电经济效益 3000 万元，投资回收期 3.8 年。

典型案例 3：浙江华东铝业

建设规模：年产 15 万 t 新型阴极结构铝电解系列。主要技改内容：在原 200kA、240kA 电解系列上进行新型阴极结构高效节能铝电解槽技术改造。（1）新型阴极电解槽阴极碳块制作与加工 （2）阴极结构改造 （3）电解槽内衬结构改造 （4）焙烧方法的技术升级 （5）电解槽工艺与操作技术的改造 （6）电解槽控制系统升级改造。节能技改投资额 40000 万元，建设期 6 个月。按节电

1100kWh/T-Al 计，年可节电 16500 万 kWh，折合 5.78 万 tce。按电价 0.45 元/度计算，年节电经济效益 7425 万元，投资回收期 5.4 年。

八、推广前景及节能减排潜力

本技术于 2008 年在工业铝电解槽上成功试验。其后，国内外铝电解企业利用电解槽大修机会，积极使用该技术。至 2013 年底，应用本技术进行铝电解生产的规模已超过 400 万 t/a。据中国有色金属工业协会统计，我国 2013 年铝电解产量 2194 万 t，占全球总产铝量 47.2%。

预计未来 5 年，本技术在行业内推广达 1200 万 t/a，可形成 84 亿 kWh/a 节能量，节能能力 280 万 t/a，减碳量达 1490 万 tCO₂/年（含减排 PFC 折合量）。

77 流态化焙烧高效节能炉窑技术

一、技术名称：流态化焙烧高效节能炉窑技术

二、技术所属领域及适用范围：有色金属行业 有色金属等行业的焙烧工序

三、与该技术相关的能耗及碳排放现状

目前氧化铝工业焙烧 80%以上产量采用 GSC 炉及相关技术，世界水平为 TAO 能耗 3.1-3.3GJ。国内一般能耗水平在 3.5GJ 左右，能耗水平偏高、炉衬磨损严重， Al_2O_3 质量受到影响。目前该技术可实现节能量 13 万 tce/a，减排约 34 万 tCO₂/a。

四、技术内容

1.技术原理

GSC 炉衬从原料选用到制造全部国产化。以热能工程学理论优化和改造焙烧炉耐火炉衬材料及结构设置，优化和完善现有施工技术、烘炉技术、初投运技术。

2.关键技术

通过优化炉衬结构设计、优化施工、烘炉、初投运工程化技术及炉衬维护修理技术，实现节能、减排、降耗、高产的焙烧目标。

5.工艺流程

工艺流程如表 1 所示。

表 1 工艺流程图

800t/d-1850t/dG SC 炉焙烧工艺参数、 GSC 炉结构、炉衬高 效、节能整体技术	在已应用的焙烧 炉“耐材”基础上筛 选，组合，研发炉衬 材料	有限元计算炉 衬力学结构，完成 整体耐火材料炉衬 结构设计	施工工程技 术，膨胀预留， 各种材料过渡， 优化施工方案
设计书、任务书	优化炉衬耐材配 置	优化耐材炉衬 结构设计	优化工程设 计、施工、烘炉 技术

<p>明确冶金工艺、焙烧原理、焙烧温度、介质、流速等关键参数、解决 GSC 炉对象问题</p>	<p>优化、“研发”应用定型制品、不定形耐火材料、保温耐火材料及辅材、锚固件等</p>	<p>节点、圈梁、拱角、平、斜顶、过渡段设计、锚固、吊挂、复合炉墙等专利技术应用</p>	<p>烘炉工程技术、实施全过程闭环、控制、检测、记录、分析、烘炉试样检验制度等</p>
---	---	--	---

五、主要技术指标

GSC 炉用新型耐磨耐火浇注料系列，热震稳定性>40(次)(1100℃水冷)，耐磨性 2.98cm³，烧后线变化率 0%-0.2%。烘干、烧后耐压强度>100MPa，烘干、烧后抗折强度 10-15MPa，各项理化指标均超过进口浇注料。最突出的特色是导热率<1.26W/mk。

六、技术鉴定、获奖情况及应用现状

该技术通过中国有色金属工业协会鉴定，已先后在我国最大的 1850t/d 及 1400t/d、1300t/d、180t/d 等不同类型的 GSC 炉推广。

七、典型应用案例

典型用户：中国铝业河南分公司、洛阳香江万基铝业公司、中铝中州分公司、广西分公司、贵州黄果树铝业有限公司等。

典型案例 1：中铝河南分公司

建设规模：年产 65 万 tAl₂O₃（1850t/d）气态悬浮焙烧炉。主要改造内容：

（1）国产化 GSC 炉耐火材料设置（定型、不定形、保温耐火材料）（2）GSC 炉炉衬耐火材料结构设计（3）优化工程施工、烘炉、初投运、维护工程技术及标准化。节能技改投资额约 740 万元，建设期约 2 个月。项目年节能 22162tce，取得节能经济效益 2550 万元，提高产能 11 万 tAl₂O₃，增加产值 4.18 亿元（07 年不变价），投资回收期约 4 个月。

典型案例 2：洛阳香江万基铝业公司

建设规模：40 万 tAl₂O₃（1400t/d）气态悬浮焙烧炉。主要改造内容：（1）国产化 GSC 炉耐火材料设置（定型、不定形、保温耐火材料）（2）GSC 炉炉衬耐火材料结构设计、优化工程施工、烘炉、初投运、维护工程技术及标准化。节能技改投资额约 480 万元，建设期约 2 个月。年节能 13638tce，取得节能经济

效益 1568 万元，提高 10 万 tAl₂O₃ 产能，增加产值 38000 万元（07 年不变价），投资回收期约 1 年。

八、推广前景及节能减排潜力

预计未来 5 年，该技术在行业内的推广潜力可达到 30%，预计投资总额 1.2 亿元，节能能力 40 万 tce/a，减排能力 106 万 tCO₂/a。

78 精滤工艺全自动自清洁节能过滤技术

一、**技术名称：**精滤工艺全自动自清洁节能过滤技术

二、**技术所属领域及适用范围：**有色金属行业 有色金属行业、化工行业的精滤工序

三、**与该技术相关的能耗及碳排放现状**

目前在氧化铝厂精滤工序通常在过滤工序使用凯利叶滤机（双筒叶滤机），每年刷车进入流程中的水量约 60000m³，消耗蒸汽约 24000t，水及蒸汽的耗量大，滤布寿命短，同时操作不方便，运行费用高。不仅浪费能源，而且影响经济效益。目前该技术可实现节能量 27 万 tce/a，减排约 71 万 tCO₂/a。

四、**技术内容**

1.技术原理

利用高位槽与过滤机壳体的液位差，高效自清洁反冲卸饼，滤后精液反向清洗滤布，水耗为零，有效降低蒸发工序负荷。

2.关键技术

（1）采用先进的控制技术，设备全自动运行，降低劳动强度，操作更方便。独有三重机内压力过载保护，确保安全可靠；

（2）工作周期短，辅助工作时间仅 1-2 分钟，设备效率高；

（3）配备隔离阀，各滤片能单独控制，发现异常立即隔离；

（4）针对不同工序，气动阀门适合氧化铝物料高粘度易结疤的特性，保证长期可靠运行。

3.工艺流程

赤泥沉降槽的溢流通过叶滤机，将浮游物控制在 <15mg/L 后进入分解工序，然后卸下滤饼返回赤泥沉降槽。该技术全过程由计算机自动控制，每一循环包括：进料阶段、挂泥阶段、正常过滤阶段、卸压排泥阶段、液面调整阶段。

全自动自清洁过滤技术工艺流程见图 1。

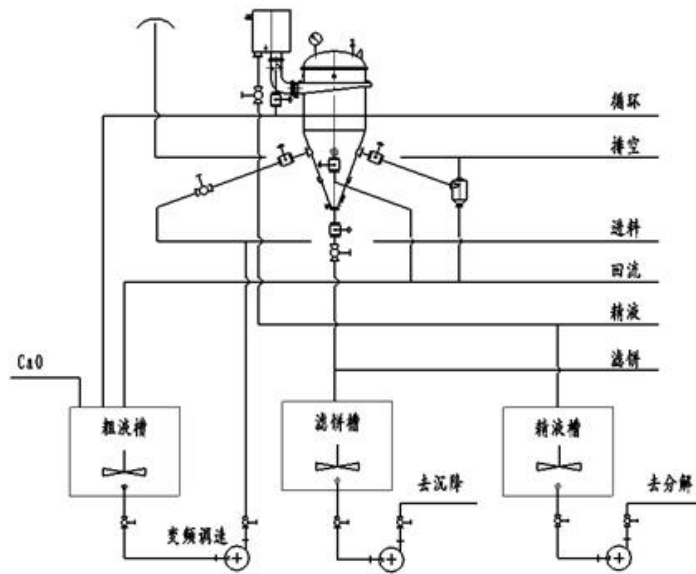


图 1 全自动自清洁过滤技术工艺流程图

五、主要技术指标

1. 铝酸钠粗液精制工序：

设计产能： 1.2-2.0m³/m²h； 精液浮游物： ≤10 mg/L；

滤布寿命： 约 90 天； 工作压力： 0.39MPa（叶滤机壳顶压力）

2. 种分母液回收工序：

设计产能： 2.0-3.0m³/m²h； 精液浮游物： ≤15mg/L；

滤布寿命： 约 90 天； 工作压力： 0.39MPa（叶滤机壳顶压力）

六、技术鉴定、获奖情况及应用现状

该技术已通过中国有色金属工业协会组织的科学技术成果鉴定，并荣获中国有色金属工业科学技术二等奖。截止 2008 年 12 月底，该技术已在国内几十家氧化铝厂应用，总台数近 200 台，还远销到台湾某氧化铝厂。目前已投运的设备均运行良好，节能降耗高质提产效果突出，每台立式叶滤机每年比原有老式凯利叶滤机平均节约费用近 200 万元。其中，中铝山东分公司 80 万 t 拜尔法氧化铝生产已采用 10 台 226m²和 3 台 150m²全自动自清洁立式叶滤机，综合效益约 3500 万元（其中经济效益 2800 万元，投资效益 700 万元）；中铝山东分公司还在母液浮游物回收、微粉氢铝母/洗液浮游物回收、沸石、分子筛生产线等方面采用了该技术，取得良好节能效果。

七、典型应用案例

典型用户：中铝山东分公司、中铝中州分公司、贵州分公司、平果分公司、中州分公司、河南分公司、山西分公司

典型案例 1：中铝山东分公司。

建设规模：80 万 t 拜尔法氧化铝生产。主要改造内容：拆除原凯利叶滤机，改造厂房，安装全自动立式叶滤机及其控制系统。节能技改投资额 2000 万元，建设期 6 个月。每年立式叶滤机工序总节能约 2.6 万 tce，节能经济效益 2800 万元，投资回收期 1 年。

典型案例 2：中铝山东分公司化学品氧化铝厂。

建设规模：10 万 t4A 沸石生产线/2 万 t 微粉氢铝生产线。主要改造内容：采用新型立式叶滤机节能系统，以实现低能、高效和全自动化操作，10 万 t4A 沸石生产线安装 2 台 306m² 立式叶滤机，2 万 t 微粉氢铝生产线安装 2 台 60m² 全不锈钢立式叶滤机。节能技改投资额 600 万元，建设期 6 个月。每年在立式叶滤机工序总节能约 12000tce，取得节能经济效益 800 万元（不含投资节约效益），投资回收期 1 年。

八、推广前景及节能减排潜力

该技术可用于湿法冶金中固液分离后的精滤处理及化工生产中的精过滤处理，有较大的推广市场，节能潜力巨大。单就氧化铝生产而言，预计未来 5 年，该技术在行业内的推广潜力可达到 25%，预计投资总额 3.7 亿元，节能能力 45 万 tce/a，减排能力 119 万 tCO₂/a。

79 铅闪速熔炼炉蓄热式燃烧技术改造

一、技术名称：铅闪速熔炼炉蓄热式燃烧技术改造

二、技术所属领域及适用范围：有色金属行业 铅熔炼

三、与该技术相关的能耗及碳排放现状

2009 年我国粗铅冶炼综合能耗 332kgce/t-Pb，铅冶炼综合能耗 475kgce/t-Pb。

目前该技术可实现节能量 5 万 tce/a，减排约 13 万 tCO₂/a。

四、技术内容

1. 技术原理

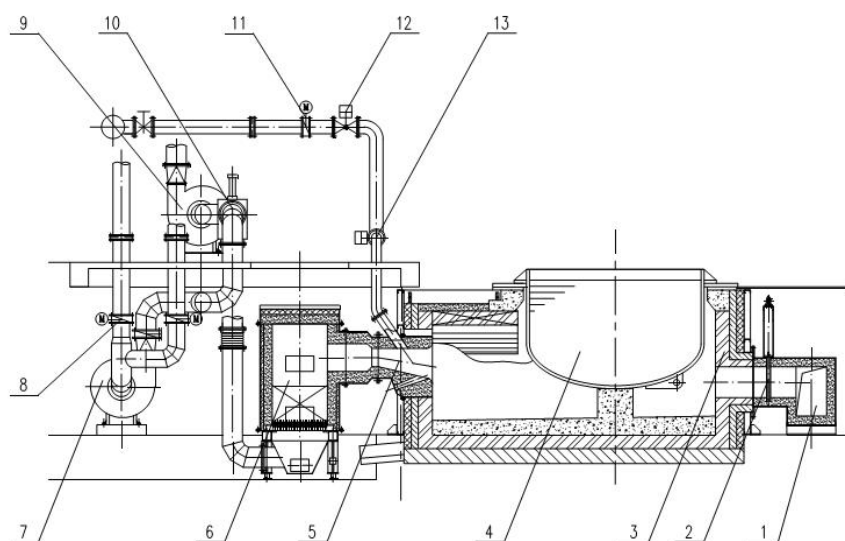
铅熔炼节能技术是在蓄热式燃烧技术基础上再次改进的技术，主要通过调节预热空气结合炉内低氧含量创造特殊的燃烧环境，使炉内弥散充满（火焰）热量，其烟气余热采用蓄热体交换高温预热后再次对烧嘴助燃，采用该技术大大降低能耗 50%以上，从而达到节能减排的目的。

2. 关键技术

铅熔炼节能技术基于 HTAC 高温空气蓄热燃烧技术，其核心为低氧燃烧气氛的形成与控制，使火焰均布整个炉膛。

3. 工艺流程

工艺流程见图 1。



1-辅助排烟道 2-电动烟道闸板 3-炉体 4-坩埚 5-蓄热式烧嘴 6-蓄热体 7-鼓风机 8-空气电动调节阀 9-引风机 10-三通阀 11-燃气电动调节阀 12-燃气切断阀 13-燃气换向阀

图 1 铅熔炼节能技术结构示意图

五、主要技术指标

与替代的技术相比，烟气中 CO 低于 200ppm，CO₂ 减少 50%，NO_x 排放浓度低于 50ppm。热效率从 10%提高至 50%以上，坩埚使用寿命从改前 3 个月左右延长至 2 年以上。节能显著，燃气节约率达 30%-60%。

六、技术鉴定、获奖情况及应用现状

改前一般为吨铅耗能 50kgce 左右，若用低热值煤气，可节约 25-30kgce/tPb，CO₂ 减排 40.65-49.5kg/tPb。如是改成天然气，则节能达 35-40kgce/Pb，CO₂ 减排 57.05-65.2kg/tPb，节能效果显著。该技术适用于>10000t/a 的铅熔炼项目，单台炉投资约 120 万元左右，如基础条件好，节能技改投资可低至 70 万元左右。

该技术产品已由国家科技部火炬计划立项支持(2010GH051485)。项目与中南大学产学研合作开发，同时通过中南大学，与瑞典的皇家工学院开展国际合作。

自国内首台熔铅炉在株冶集团使用以来，在国内已推行上百个高效节能熔铅炉项目。国内市场占有率约 15%左右，较传统的铅熔炉比，铅锅寿命从原来 3 个月增加到 3 年以上，无投诉、无维修、无返修记录。

七、典型应用案例

案例应用单位：株冶火炬集团公司

改造前吨电铅冷煤气单耗约为 220-260m³，铅锅热效率仅 10%；使用寿命 3-6 个月；节能改造内容：将原 85t 老式电铅炉改造为 85t 高效熔铅炉。

节能改造经济效益：用“低空气过剩系数+完全燃烧+预热空气及低温排烟”的高效节能型蓄热式燃烧熔铅炉装置替代原来“大空气过剩系数+不完全燃烧+高中温排烟”的老式低效熔铅炉装置，有较明显的节能效益。项目实施年节能 1394.4tce，实现了企业“十二五”节能任务的 1.518%。阳极铅锅装置使用寿命由原来的 0.5 年延长 3 年。项目火炬工业炉投资 119.97 万元，新增销售产值 94.6 万元/年、新增税收 13.42 万元/年，约 1.5 年收回投资。株冶减少能源成本 319.4 万元/年。项目投资比：每 1tce 860 元（1199779 /1394）。

八、推广前景及节能减排潜力

根据现有客户数据分析，铅熔炼节能技术具有很好的推广潜力，按国家工信部《有色金属工业“十二五”发展规划》铅产能及对应的精铅熔炼、提纯、铸造、铅合金、再生铅等计算，预计未来 5 年，至少需投入 2.4 亿元，预期可产生 23 万 tce/a 的节能量，可减排 37 万 tCO₂/a。

80 氧气侧吹熔池熔炼技术

一、**技术名称：**氧气侧吹熔池熔炼技术

二、**技术所属领域及适用范围：**有色金属行业 铜冶炼、铜镍冶炼、镍铁冶炼、锑冶炼、铅冶炼以及有色金属综合回收。

三、**与该技术相关的能耗及碳排放现状**

在我国已经有 5 家铜冶炼企业采用氧气侧吹熔池熔炼技术熔炼铜精矿，有 1 家企业采用氧气侧吹熔池熔炼技术熔炼铜镍精矿。铜冶炼企业铜精矿至粗铜工艺能耗： $\leq 300\text{kgce/t}$ ，回收率： $\geq 98.5\%$ 。镍冶炼企业镍精矿至高冰镍工艺能耗： $\leq 680\text{kgce/t}$ 。氧气侧吹用于铅冶炼领域，粗铅工艺能耗 $\leq 230\text{kgce/t}$ ，目前投入生产的企业，氧化段煤率约 3%，还原段煤率约 8%，氧气侧吹还原替代了以焦炭为燃料的鼓风炉还原熔炼，直接液态高铅渣还原，降低能耗。目前该技术可实现节能 2 万 tce/a，减排约 5 万 tCO_2/a 。

四、**技术内容**

1. 技术原理

氧气侧吹熔池熔炼技术采用工业氧进行强化熔炼，物料通过加料系统从炉顶加料口连续加入至炉内，富氧空气从炉身两侧一次风口鼓入炉内熔体中，从炉顶加入的物料在强烈搅动的熔体中快速熔化完成化学反应，以硫化铜镍精矿为例，铜镍精矿在炉渣中快速完成熔化及各类化学反应生成低冰镍（铜镍铋），由于比重差，低冰镍下沉至炉缸，炉渣在虹吸室进一步澄降分离，低冰镍送吹炼系统，熔炼高温烟气进入余热锅炉回收余热，经电除尘最后送制酸系统。

2. 关键技术

氧气侧吹熔池熔炼技术及其核心装备（氧气侧吹炉）

3. 工艺流程

铜冶炼工艺流程，主要包括配料系统、氧气侧吹熔炼、冰铜吹炼、阳极精炼、电解等过程；

铅冶炼工艺流程，主要包括配料系统、氧化熔炼、高铅渣还原熔炼及烟化炉吹炼。

五、主要技术指标

氧气侧吹炼铜，铜精矿至粗铜工艺能耗： $\leq 300\text{kgce/t}$ ，回收率： $\geq 98.5\%$ 。

六、技术鉴定、获奖情况及应用现状

研发出富氧侧吹熔池熔炼技术及其装备，各项技术经济指标先进，在采用富氧侧吹技术处理铜镍混合矿领域，总体技术达到国际领先水平。喀拉通克矿业有限公司采用氧气侧吹熔池熔炼技术炼铜镍项目于 2010 建成投产，运行至今各项技术经济指标先进，技术成熟可靠。国内首次采用氧气侧吹熔池熔炼技术处理铜镍混合矿并实现工业化生产，提高了铜、镍的回收率，降低了单位产品能耗。富氧侧吹熔池熔炼炉密封性好，劳动强度低、现场工作环境好。该技术的成功应用为我国铜镍冶炼行业发展提供了一条有效途径，具有良好的经济效益、环境效益和社会效益。

七、典型应用案例

案例应用单位：新疆喀拉通克矿业有限责任公司

技术提供单位：长沙有色冶金设计研究院

节能改造前情况：2008 年 4 月新疆新鑫矿业股份有限公司喀拉通克铜镍矿委托长沙院进行冶炼扩建工程。建设规模：生产规模为水碎金属化高冰镍镍金属量 8kt/a 。节能改造内容：（1）采用节能的氧气侧吹炼镍新工艺，进行富氧空气熔池熔炼，产出低冰镍镍的自热熔炼过程，只需补充少量煤或碎焦。可大幅度节省燃料。（2）本工程实现“以热定电、余热利用”对氧气侧吹炉、转炉和贫化电炉烟气中的余热回收发电，年发电量 1944 万 kWh,全年可节约 6804tce。（3）提高水的循环利用率，最大限度地使用循环水，根据生产工艺对循环水用水的要求，本设计将循环给水分为侧吹炉、贫化电炉、转炉密闭烟罩循环水、汽轮机循环水、制氧站循环水、硫酸循环水、空压机循环水和高冰镍冲渣循环水六个系统，循环利用率为 97.1%。（4）采用电力节能措施。建设期 16 个月。

节能改造经济效益：本项目采用氧气侧吹熔池熔炼技术取代原有的鼓风炉熔炼，原有鼓风炉熔炼能耗高，并且需要焦炭作为燃料。氧气侧吹熔池熔炼技术只要补充少量碎煤即可，富氧强化熔炼，熔炼效率高，产能由原来的年产高冰镍镍金属 3000t 扩到 8000t，烟气二氧化硫浓度高，烟气全部制酸，生产 98%硫酸 203557.03t/a。高冰镍单位产品综合能耗 665.2kgce/t 。本项目为改扩建，采用氧气侧吹熔池熔炼技术熔炼铜镍矿。每年减少焦炭消耗 35125t/a。仅此一项减少生

产成本约 5620 万元/年，也即为企业增加经济效益 5620 万元/年。

八、推广前景及节能减排潜力

预计未来 5 年，该技术在行业内的推广潜力可达到 10%，预计投资总额 10 亿元，节能能力 20 万 tce/a，减排能力 53 万 tCO₂/a。

81 双侧吹竖炉熔池熔炼技术

一、技术名称：双侧吹竖炉熔池熔炼技术

二、技术所属领域及适用范围：有色金属行业 该炉型及工艺适用于各个地区的 10-20 万 t 规模的铜、铅、镍火法冶炼之熔炼工序。

三、与该技术相关的能耗及碳排放现状

在原料为 90%硫化矿和 10%氧化矿的情况下，吨粗铜综合能耗（余热回收蒸汽按发电折算）为 266.3kgce/t 粗 Cu，电耗 823.5kWh/t 粗 Cu。按相同原则计算，2011 年原料为 100%硫化矿的情况下，吨粗铜综合能耗为 213.9kgce/t 粗 Cu，电耗 652kWh/t 粗 Cu（以上按蒸汽发电计算）。2013.12 月开始采用 Fe/SiO₂ 为 1.5-1.8 渣型进行熔炼，拆除贫化电炉，熔炼渣全部选矿贫化，综合能耗计算采用按余热产出蒸汽热量计 2014 年 1 月-5 月平均 120.35 kgce/t 粗 Cu。目前该技术可实现节能 12 万 tce/a，减排约 32 万 tCO₂/a。

四、技术内容

1.技术原理

通过双侧、多风道将 50%-90%浓度的富氧空气吹入熔炼炉内的熔渣和新入炉物料的混合层，在强烈而均匀的搅拌和高温作用下，氧化反应更迅速、更均匀，不但使熔炼效率更高；且降低了熔渣含铜。同时鼓风压力更低，更节能。

2.关键技术

- (1) 双侧、多风道送风：熔渣磁铁含量少，使渣含铜低；
- (2) 吹混合层：氧化传质过程缩短，减少铁的过氧化。吹风压力低；
- (3) 炉墙关键部位采用铜水套挂渣保护技术、不锈钢和紫铜复合材料风嘴；
- (4) 与余热锅炉连接烟道采用特殊耐火材料浇注，安全生产、避免粘结；
- (5) 倒梯形炉体结构，进料口不粘结，快速捕集铜精矿；
- (6) 生产负荷调节范围较大：调节范围可达 50%-100%，生产灵活；
- (7) 采用节能型贫化电炉。吨渣电耗低，弃渣含铜低。

3.工艺流程

工艺流程如图 1 所示。

典型案例 1

案例应用单位：赤峰金峰铜业有限公司

技术提供单位：赤峰云铜有色金属有限公司

建设规模：赤峰金峰铜业有限公司 10 万 t 铜冶炼技术改造项目，建设条件：原有厂房、转炉、精炼炉、烟气及污水处理系统等配套设施不变，只增加制氧能力。主要改造内容：用金峰炉代替密闭鼓风机，增建节能型贫化电炉、转炉渣选厂、7000m³/h 制氧站、增添余热锅炉、发电站、改建配供料系统。主要设备：金峰双侧吹熔池熔炼炉、节能型贫化电炉、中压余热锅炉，变压吸附法制氧机、氧压机，6000kWA 汽轮机及发电机，配料供料及仪控系统。节能技改投资额 12 亿元，建设期 2 年，节能量：按 2013 年粗铜产量（96522t）计算，金峰炉工艺比密闭鼓风机熔炼工艺可节约标煤 45153t，按 2013 年产量（96522t）计算，年可产生节能经济效益为 4515 万元。

典型案例 2

案例应用单位：广西南国铜业有限公司

技术提供单位：赤峰云铜有色金属有限公司

建设规模：广西南国铜业有限公司 20 万 t 铜冶炼新建项目。建设条件：广西扶绥县新建金峰熔池熔炼炉、吹炼、阳极炉精炼、电解铜、硫酸、熔渣缓冷浮选设施、制氧站、供配电系统及附属设备，计划在 2016 年 6 月完成。主要改造内容：新建金峰熔池熔炼炉、PS 转炉、回转式阳极炉、电解铜系统、硫酸系统、熔渣缓冷浮选设施、2.8 万 Nm³制氧、供配电系统及附属设备。主要设备：46.8m²金峰熔池熔炼炉、180T PS 转炉 3 台、200T 回转式阳极炉 2 台、60 万 t 熔渣缓冷浮选设施、84 万 t 硫酸、2.8 万 Nm³/h 制氧站等。。节能技改投资额 20 亿元，建设期 3 年，节能量：吨粗铜综合能耗为 266.3kgce/tCu，比行业标准 530 kgce/tCu 节约 263.7kgce/tCu，年产粗铜 20 万 t，年节能量为 52740tce。节能经济效益：每吨标煤的市场价格为 1000 元，年经济效益为 5274 万元。

八、推广前景及节能减排潜力

与其他熔炼法比，整体投资低 20%-30%，吨粗铜综合能耗低 100-130kg，弃渣含铜低 0.3-0.4 个百分点，熔矿成本低 100-500 元/tCu，总硫回收利用率高 0.5 个百分点，比引进的顶吹炉年效益增加 5000-8000 万元。该炉型及工艺技术在黄金及复杂矿的冶炼、镍精矿、铅精矿、锡精矿的冶炼也有很好的前景。预计未来

5 年，该技术在行业内的推广潜力可达到 8%，预计投资总额 40 亿元，节能能力 33 万 tce/a，减排能力 87 万 tCO₂/a。

82 有色冶金高效节能电液控制集成创新技术

一、技术名称：有色冶金高效节能电液控制集成创新技术

二、技术所属领域及适用范围：有色金属行业 有色金属行业 铜、铅、锌等采用湿法冶金年产 5 万 t 电解精金属规模以上企业

三、与该技术相关的能耗及碳排放现状

冶炼是有色金属生产中耗能最大的环节。目前，我国有色行业能耗指标与国际先进水平相比，仍有较大差距。例如，国内的铜冶炼能耗先进水平为 366kgce/t，而世界先进水平为 300kgce/t；国内的铅冶炼能耗先进水平为 470kgce/t，而世界先进水平为 350kgce/t。目前该技术可实现节能量 1 万 tce/a，减排约 3 万 tCO₂/a。

四、技术内容

1.技术原理

采用虚拟样机、半实物联合仿真及电液比例伺服集成控制等现代设计及控制技术，自主创新研发电解精炼过程中的关键技术装备，实现了系列装备的大型化、高速化、连续化、自动化及节能化，以提高电解效率，降低电耗，达到高效节能的目的。

2.关键技术

- (1) 智能化电液集成控制技术；
- (2) 虚拟样机及半实物仿真；
- (3) 设备状态监测及控制；
- (4) 纯水液压传动。

3.工艺流程

电液控制铜电解阳极自动生产线工艺流程见图1。

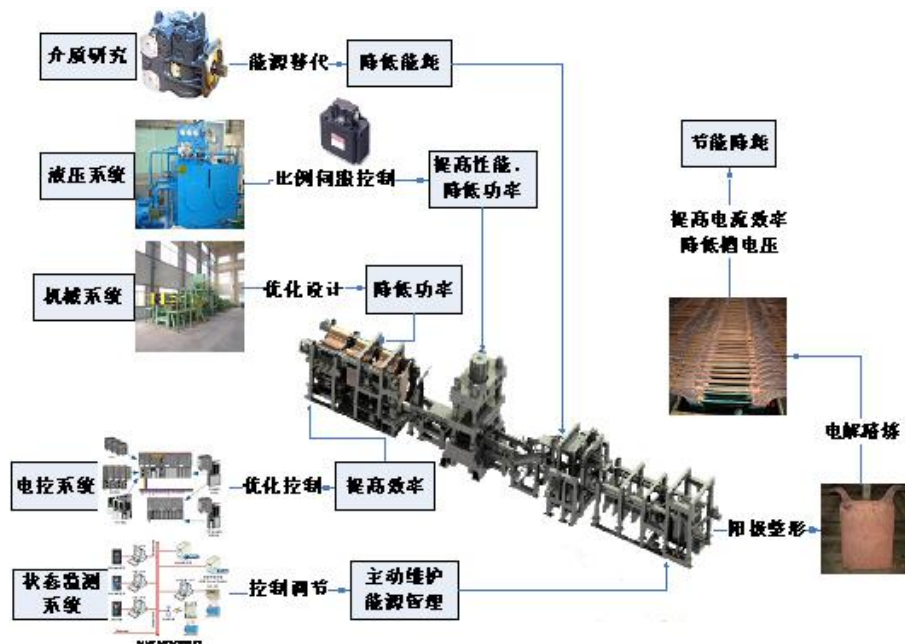


图 1 电液控制铜电解阳极自动生产线简图

五、主要技术指标

1. 智能化电液控制铜电解阳极自动生产线：

- (1) 电解短路率降低 80%；
- (2) 电耗降低约 2.8kWh/tCu；
- (3) 电解效率提高 3%。

2. 电液控制铅电解精炼生产线：

- (1) 电解短路率降低 80%；
- (2) 电耗降低 35-40kWh/tPb；
- (3) 电解效率提高 5%。

六、技术鉴定、获奖情况及应用现状

该技术获 2009 年国家科技进步二等奖；2008 年获云南省科技进步一等奖；2005 年获云南省科技进步三等奖。智能化电液控制铜电解阳极自动生产线已制作完成 5 套，先后在大云南铜业集团公司、安徽铜陵有色金属集团公司、山东金玺铜业有限公司等企业投产，并出口中亚的哈萨克斯坦等国，最长已使用近 10 年。电液控制铅电解精炼生产线中的残极洗刷机组、阴极抽棒洗涤机组、阴阳极旋转吊具等技术成熟度较高，技术风险较低，已先后在云南驰宏锌锗股份有限公司、云南锡业股份有限公司、山东恒邦冶炼股份公司等企业投产，节能效果较好。

七、典型应用案例

典型用户：云南驰宏锌锗股份有限公司、云铜集团公司

典型案例 1

技术提供单位：昆明理工大学

建设规模：年产 10 万 t 电铜生产线。主要技改内容：采用该类技术装备对铜阳极进行制备，改善阳极品质，提高电效，降低能耗，提高技术装备水平，主要设备为智能化电液控制铜电解阳极自动生产线。节能技改投资额 650 万元，建设期 2 年。每年节约 841tce，年节能经济效益约为 642 万元，投资回收期约 1 年。

典型案例 2

技术提供单位：昆明理工大学

建设规模：年产 10 万 t 电铅生产线。主要技改内容：采用大极板电解工艺及大型自动化生产线，改善阴阳极品质，提高电效，降低能耗，降低工人劳动强度，提高技术装备水平，主要设备为电液控制铅电解精炼生产线。节能技改投资额 1700 万元，建设期 2 年。每年可节约 3313tce，年节能经济效益约为 1656 万元，投资回收期约 1 年。

八、推广前景及节能减排潜力

预计未来 5 年，该技术在行业内的推广潜力可达到 10%，预计投资总额 3.4 亿元，年节能能力 12 万 tce/a，减排能力 32 万 tCO₂/a。

83 铝酸钠溶液微扰动平推流晶种分解节能技术

一、**技术名称：**铝酸钠溶液微扰动平推流晶种分解节能技术

二、**技术所属领域及适用范围：**有色金属行业 氧化铝冶炼

三、**与该技术相关的能耗及碳排放现状**

拜耳法生产氧化铝过程中，晶种分解是决定氧化铝质量和能耗的关键环节之一。目前全世界范围内的氧化铝厂采用的技术主要包括：（1）喷射压缩空气整体翻料式氧化铝晶种分解工艺技术及其种分槽，每台种分槽需喷射压力为500kPa的压缩空气量约200m³/h；（2）平底机械搅拌全混流氧化铝晶种分解工艺技术及其种分槽，每台种分槽配置功率75kW电机一台，直接消耗电能65.7万kWh/a。我国现有各类氧化铝种分槽约1300余台，均属于高能耗装备。目前该技术可实现节能2万tce/a，减排约5万tCO₂/a。

四、**技术内容**

1.技术原理

采用基于过程特征的方法，通过研究过饱和铝酸钠溶液晶种分解反应的动力学过程和铝酸钠溶液浆料固-液两相流的流动与传输特性，根据铝酸钠溶液结晶反应动力学进程的需要，结合流体特性，合理分配机械能，采用微扰动与平推流结合方式，合理使用搅拌，消除多余搅拌无效能耗，实现氧化铝生产种分过程的大幅降耗。

2.关键技术

- （1）针对目前不同类型的种分槽实现微扰动与平推流结合的设计技术；
- （2）种分槽内利于浆料流动反应的特殊空间结构；
- （3）N台种分槽实现串联生产的组合匹配。

3.工艺流程

该技术的工艺流程和装置结构见图1、图2。

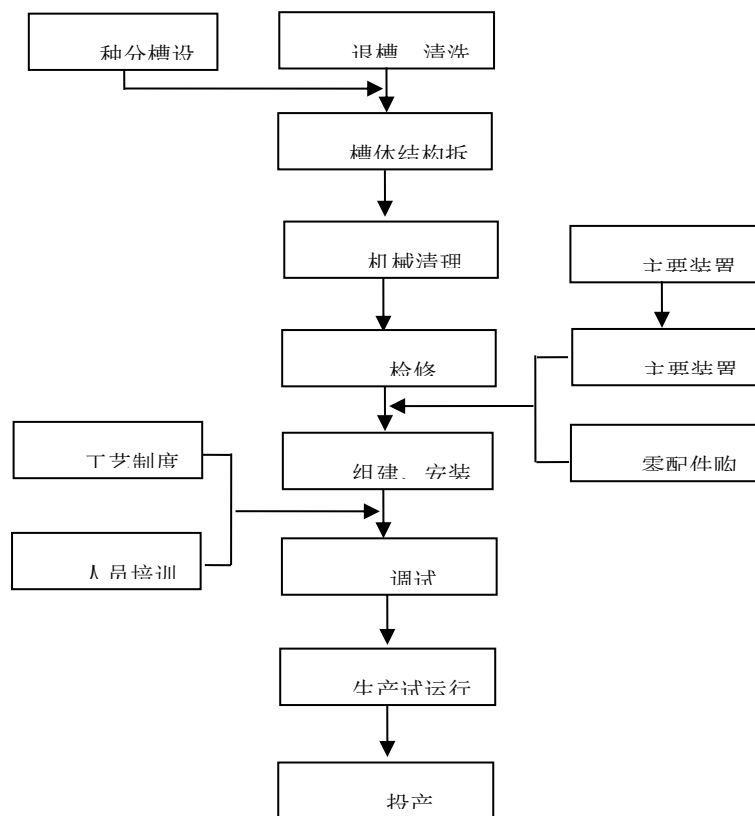
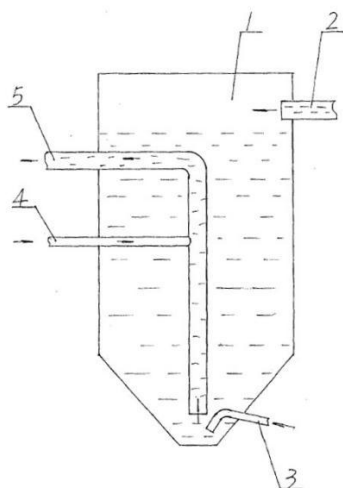


图 1 酸钠溶液微扰动平推流晶种分解技术流程图



1-分解反应槽 2-进料槽 3-扰动风管 4-提料风管 5-出料管

图 2 锥形底微扰动平推流氢氧化铝晶体结晶反应装置结构简图

五、主要技术指标

1.主要技术参数：

(1) 种分槽容积 (m³): 1329-4500;

- (2) 单槽日处理能力 (m³): 7000 以上;
- (3) 压缩空气耗量(m³/h): 25-30;
- (4) 承受最低风压 (kPa): 460;
- (5) 分解率 (%): 47-55。

2.适用外部条件参数:

- (1) 使用环境温度 (°C): -30-60;
- (2) 抗风压波动 (kg): ±1.5;
- (3) 最长允许停风时间 (h): 0.5。

六、技术鉴定、获奖情况及应用现状

2011 年 5 月“铝酸钠溶液微扰动平推流晶种分解技术及其装备”通过了中国有色金属工业协会组织的科技成果鉴定。目前, 该项技术已在中国铝业股份有限公司贵州分公司 40 万 t 喷射压缩空气整体翻料式晶种分解生产线进行了应用, 压缩空气消耗量同比减少 92.78%。同时由φ14m×35m 平底机械搅拌全混流种分槽组成的 80 万 t 氧化铝生产线上也投入了使用, 取得节约直接电耗 40%的良好效果。

七、典型应用案例

典型用户: 中国铝业股份有限公司贵州分公司、中国铝业股份有限公司河南分公司

典型案例 1

建设规模: 40 万 t/a 氧化铝种分生产线节能技术改造。主要技改内容: 喷射压缩空气整体翻料式氧化铝晶种分解槽按照微扰动平推流技术设计、制作、安装, 主要设备为晶种分解槽。节能技改投资额 500 万元, 建设期 3 个月。每年可节能 7704tce, 年节能经济效益为 916 万元, 投资回收期约 6 个月。

典型案例 2

建设规模: 100 万 t/a 氧化铝种分生产线节能技术改造。主要技改内容: 喷射压缩空气整体翻料式氧化铝晶种分解槽按照微扰动平推流技术设计、制作、安装; 主要设备为晶种分解槽。节能技改投资额 1000 万元, 建设期 6 个月。每年可节能 2 万 tce, 年经济效益为 1909 万元, 投资回收期约 6 个月。

八、推广前景及节能减排潜力

预计未来 5 年，该技术在行业内的推广潜力可达到 30%，预计投资总额 7 千 5 百万元，年节能能力 10 万 tce/a，减排能力 26 万 tCO₂/a。

84 低温低电压铝电解新技术

一、技术名称：低温低电压铝电解新技术

二、技术所属领域及适用范围：有色金属行业 电解铝生产企业

三、与该技术相关的能耗及碳排放现状

我国是世界铝工业生产第一大国。2011 年全国原铝产量 1806 万 t，产量和消费量均约占全球的 40%。目前，尽管我国铝工业节能减排达到了国际先进水平，但 2011 年我国吨铝综合平均电耗为 13913kWh，而理论上只需要 6330kWh，因此仍具有较大的节能减排潜力。目前该技术可实现节能量 25 万 tce/a，减排约 66 万 tCO₂/a。

四、技术内容

1.技术原理

该技术主要对低极距型槽结构与优化、低温电解质体系及工艺、过程临界稳定控制、节能型电极材料制备等方面进行集成创新应用。在 200kA 以上铝电解系列上集成推广应用该技术，实现了铝电解生产直流电耗由 2011 年平均 13100kWh/t 左右降低到 12500kWh/t 以下，减少碳氟化合物排放量约 50%。

2.关键技术

- (1) 低温低电压条件下铝电解槽高效稳定运行技术；
- (2) 电解槽在低温低电压下稳定运行的槽结构与母线优化配置；
- (3) 维持电解槽在低温低电压下稳定运行的铝电解过程优化控制技术。

3.工艺流程

低温低电压铝电解技术流程见图1。

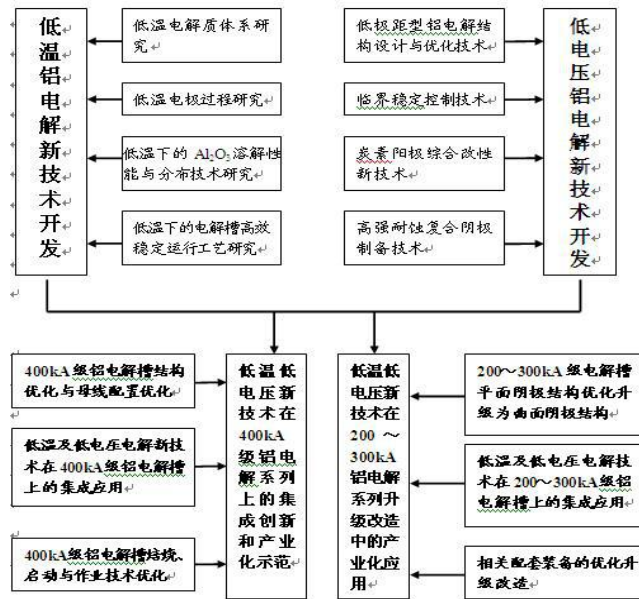


图 1 低温低电压铝电解技术流程图

五、主要技术指标

1. 槽电压3.70-3.88V;
2. 阳极效应系数 ≤ 0.02 次/槽日;
3. 电流效率 $\geq 93.0\%$;
4. 直流电耗 ≤ 12500 kWh/t-Al;
5. 槽寿命 ≥ 2500 天。

六、技术鉴定、获奖情况及应用现状

该技术于2012年3月通过了中国有色金属工业协会组织的技术成果鉴定。目前，该技术已在云南铝业股份公司80台240kA铝电解槽上成功应用，吨铝直流电耗降低到12000kWh以下，达到国际领先水平；同时，河南中孚实业股份公司林丰铝电公司也对222台400kA铝电解槽开始进行节能技术改造。

七、典型应用案例

典型用户：河南中孚实业股份有限公司林丰铝电公司、云南铝业股份有限公司

典型案例

建设规模：80台240kA铝电解槽。主要技改内容：阴极改造、工艺优化与控制技术升级，主要设备包括电解槽、智能多环协同优化与控制系统。节能技改投资额15730万元，建设期8个月。每年可节能5.67万tce，年节能经济效益8100万元，投资回收期个2年。

八、推广前景及节能减排潜力

目前，该技术在全国全面推广应用的比例不足 5%，预计未来 5 年，该技术在行业内的推广潜力可达到 50%，预计投资总额 70 亿元，年节能能力 245 万 tce/a，减排能力 647 万 tCO₂/a。

85 粗铜自氧化还原精炼技术

一、**技术名称：**粗铜自氧化还原精炼技术

二、**技术所属领域及适用范围：**有色金属行业 铜冶炼

三、**与该技术相关的能耗及碳排放现状**

传统火法精炼工艺表明，当深氧化作业将硫降到 0.005%以下时，铜液含氧量高达 0.8%-1.5%，而且铜液上面有大量以 Cu_2O 为主的渣层，必须用大量还原剂深还原将氧降到 0.2%以下。而在还原作业时，因还原剂在铜液停留时间很短，还原效率极低，即使还原效果最好的天然气其还原效率也不超过 40%，大量没有反应的炭黑溢出铜液进入大气，造成对环境的严重污染。目前该技术可实现节能量 22 万 tce/a，减排约 58 万 tCO_2/a 。

四、**技术内容**

1.技术原理

取消了火法炼铜生产工艺的氧化和还原两个作业过程，通过鼓入惰性气体搅拌铜液，创造良好的反应动力学条件，利用铜液中自身的氧和杂质反应，达到一步脱杂除氧的目的；实现了还原剂(天然气)的零消耗，不仅节约了能源，而且从根本上解决了粗铜火法精炼普遍存在的黑烟污染和二氧化碳排放问题。

2.关键技术

- (1) 吹炼炉粗铜终点控制技术；
- (2) 惰性气体搅拌传质传热技术。

3.工艺流程

传统粗铜精炼技术与粗铜自氧化还原精炼技术的工艺流程对比见图 1、图 2。

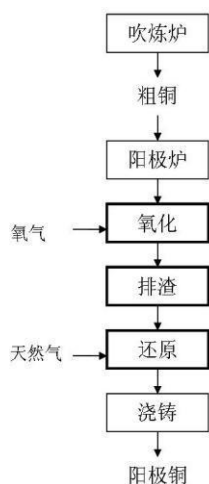


图 1 传统火法精炼工艺流程图

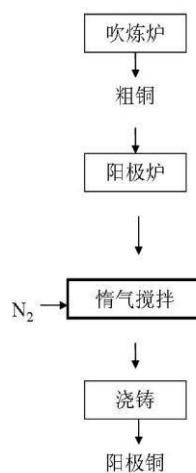


图 2 新火法精炼工艺流程图

五、主要技术指标

- 1.产出的阳极板 $\text{Cu} \geq 99.5\%$ 、 $\text{S} \leq 0.005\%$ 、 $\text{O} \leq 0.2\%$;
- 2.火法精炼时间由原来的 10h 以上降至 1h 以内;
- 3.还原天然气消耗量为 0。

六、技术鉴定、获奖情况及应用现状

该技术已获得国家发明专利 3 项，并通过国家重有色金属质量监督检验中心检测，产品质量符合国家标准；技术成果于 2008 年 2 月应用于山东省重点工程-祥光铜业有限公司。目前，已与中国黄金集团公司、加拿大艾丰豪公司等多家国内外大型铜冶炼企业签订了技术转让合同。

七、典型应用案例

典型用户：阳谷祥光铜业有限公司、中国黄金集团公司、加拿大艾丰豪公司等。

典型案例 1

案例名称：阳谷祥光铜业有限公司阳极炉节能技术改造项目

技术提供单位：阳谷祥光铜业有限公司

建设规模：年产 50 万 t 阴极铜工程。要技改内容：主要对 2 台 630t 阳极炉进行工艺和风口改造。工艺改造包括惰性气体搅拌作业、自氧化还原作业；风口改造为开发新型风口，包括调整风口的位置和数量、改进风口角度、风口砖结构改进。主要设备为 2 台阳极炉和 2 台圆盘浇铸机等。技改投资额 1200 万元，建设期 1 年。以年产 40 万 t 阴极铜企业规模计，年节能量为 39393tce，年 CO_2 减排量约 70000t，投资回收期约 3 个月。

典型案例 2

案例名称：中国黄金集团公司河南中原黄金冶炼厂整体搬迁升级改造项目

技术提供单位：阳谷祥光铜业有限公司

建设规模：年产阴极铜 20 万 t、黄金 60t。主要技改内容：建造符合自氧化还原工艺要求的阳极炉及配套设施，采用自氧化还原工艺作业制度。主要设备为 1 台阳极炉和 1 台圆盘浇铸机等。项目投资额 1200 万元，建设期 2 年。与采用传统氧化还原工艺技术相较，年节能量 22000tce，年减排量 58080tCO₂，投资回收期约 5 个月。

八、推广前景及节能减排潜力

预计未来5年该技术推广比例可达50%，涉及粗铜的产能500万t，总投资额约1.9亿，形成的年节能能力为54万tce，年减排能力为143万tCO₂。

86 复式反应新型原镁冶炼技术

一、技术名称：复式反应新型原镁冶炼技术

二、技术所属领域及适用范围：有色金属行业 镁冶炼

三、与该技术相关的能耗及碳排放现状

目前，镁冶炼行业普遍采用横罐还原炉技术，其能耗指标为 3.0tce/t 结晶镁（还原工序），碳排放指标为 7.92tCO₂/t 结晶镁。我国镁冶炼企业单位产品能耗限额限定值为 8.3tce/t 镁，先进值为 4.9tce/t 镁。目前该技术可实现节能量 2 万 tce/a，减排约 5 万 tCO₂/a。

四、技术内容

1. 技术原理

复式反应新型原镁冶炼技术从基础理论研究入手，建立了“微元料球”模型，从冶金化学反应的机理、速率考虑，进行了近千次热物理、热化学和耐热材料高温性能三方面的基础实验研究，找到了煅烧、还原反应的机理、掌握了上述反应的速率，创建了镁结晶、镁还原、还原渣传热、还原炉燃烧四个大型数理模型并进行上百次数值计算和多次仿真运行，大量完善、补充、修正了国内外现有热法炼镁的基础理论，形成了从煅烧、制球、还原到精炼较为完善的全套热法炼镁理论体系。

2. 关键技术

（1）根据多相热物理理论，运用尺度趋于零的“微元”料球模型，提出了普遍适用于各种固相反应的“层移反应”原理并建立了相应的数学物理模型；

（2）对白云石煅烧、煅白还原、低熔点复合氧化物生成等热化学反应，进行系统实验研究，发现了煅烧结焦、还原球团粘结等现象的热化学反应和生成物；

（3）对反应器（还原罐）材料进行连续 3 个月不间断高温蠕变试验，在应力-应变分析基础上，推导出了一套反应器（罐）结构布置和尺寸计算的设计公式；

（4）基于对还原器材料高温蠕变性能的实验和认识，原创设计了一种连续工作寿命长、装料多的大型、新型复式还原器；

（5）综合燃烧学、传热学、热力学、流体力学等知识，用数值计算方法，

原创设计了新型、大型、连续出镁复式反应炉；

(6) 采用目前可行的结晶器-数学建模和数值计算，原创设计了一种新型、大型、复式镁结晶器和蒸汽发生器计算方法；

(7) 采用还原渣传热计算方法-数学建模和数值计算，原创设计了一种可将还原渣降温至 200℃左右的还原渣余热蒸汽回收器；

(8) 开发了一种计算机自动控制系统，使原镁反应炉单班炉前操作工大大减少，且没有重体力劳动，实现了还原车间无烟、无尘、无明火的“洁净生产环境”。

3.工艺流程

该技术工艺流程见图 1。

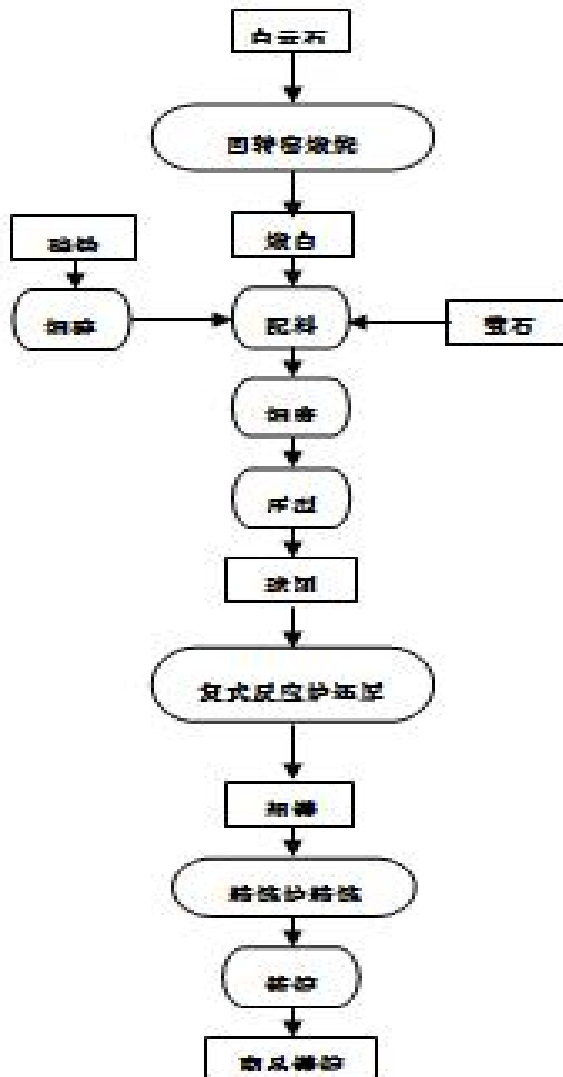


图 1 复式反应新型原镁冶炼工艺流程图

五、主要技术指标

1.与皮江法竖罐（或横罐）技术相比：

（1）复式反应技术万吨产能建设占地 40-50 亩，约为横罐技术的 1/10，约为竖罐技术的 1/5；

（2）复式反应技术万吨产能全厂定员约 100 人，约为横罐技术的 1/5，约为竖罐技术的 1/3；

（3）复式反应技术吨镁全厂（煤/水/气/电）综合能耗 3tce，约为横罐（竖罐）技术的 1/2；

（4）复式反应技术还原周期不超过 6h，约为横罐（竖罐）技术的 1/2；

（5）复式反应器工作寿命约 1.0 年，是横罐（竖罐）技术的 2 倍；

（6）复式结晶器单台次出镁 150-200kg，是横罐技术的 8 倍，约为竖罐技术的 5 倍；

（7）复式还原器单台日产镁 0.8-1.0t，是横罐技术的 15 倍，约为竖罐技术的 8 倍；

（8）复式反应炉单台日产镁 40-50t，是横罐技术的 40 倍，约为竖罐技术的 20 倍；

（9）复式反应炉连续出镁，无须“清罐”，高湿季节可正常生产；

（10）复式反应技术机械化生产，无重体力劳动，还原车间无烟、无尘、无明火。

2.可完全替代竖罐技术（新型蓄热竖罐还原炉炼镁技术），其应用模式体现在以下三个方面：

（1）“复式反应器”，可完全替代“竖罐”，且前者产量更大、排渣更顺利、寿命更长，操作更安全；

（2）“复式反应炉”，可完全替代“竖罐”还原炉，且前者能耗更低、产能更大、操作更简单；

（3）应用复式反应新型原镁冶炼技术，可对竖罐技术及横罐技术生产线的煅烧、制球、还原、精炼、余热利用等全系统进行升级改造，实现节约能耗、减少污染、系统机械化、降低成本的目的。

六、技术鉴定、获奖情况及应用现状

复式反应技术及全套工艺装备，不论是和横罐技术现有最好水平相比，还是

和国内新近开发出的竖罐技术最好水平相比，包括和国内外最先进的挪威“诺斯克”电解法相比，均大幅度降低了镁冶炼的能耗和污染，显著降低劳动强度并改善劳动环境，显著提高劳动生产率，产品成本明显降低；大幅节约建设用地和标准模块化连续生产线的工艺特点，使每条生产线由目前普遍年产不足 3000t 规模提高到 1.25 万 t 以上，可显著促进规模化的实现和产业集约度的提高。

复式反应技术及其装备在技术工艺变革方面，源于对热法炼镁的热化学、热物理及材料高温性能三个方面基础研究的突破，是从局部到整体、工艺到装备、技术到经济的系统性、综合性全面提升，而不是仅对现有技术进行单一、局部的性能改进，实现了以往历次皮江法技术改造都未能实现的综合技术进步。因此专家认为复式反应炉技术是自热法炼镁技术诞生以来，最具革命性的一次工艺变革，必将全面取代当前炼镁工艺而成为最具经济社会价值的、国内领先的主流炼镁技术。

七、典型应用案例

典型案例用户：开泰镁业有限公司

技术提供单位：宁夏三新镁业科技有限公司

复式反应技术原镁冶炼生产线，已运行一年有余。机制目前，经统计已实现的节能量已超过 20000tce。若按该生产线运行 10 年测算，一条生产线的节能量则超过 20000tce。

八、推广前景及节能减排潜力

预计未来 5 年，该技术在行业内的推广潜力可达到 33%，投资总额 6 亿元，节能能力 38 万 tce/a，减排能力 99 万 tCO₂/a。

87 高电流密度锌电解节能技术

一、技术名称：高电流密度锌电解节能技术

二、技术所属领域及适用范围：有色金属行业 锌湿法冶金电解工序

三、与该技术相关的能耗及碳排放现状

湿法炼锌产量占世界锌总产量的80%以上，目前国内锌电解多采用低酸低电流密度（300-400A/m²）生产。低电流密度电解技术的锌电解工序能耗高，直流电耗约3250kWh/t锌，直流电耗对应的碳排放量为2.27tCO₂/t锌。2013年，我国精锌产量为530.2万吨，按电解锌占80%计算，约生产电解锌424.2万吨，电解锌直流电耗约为137.9亿kWh，排放量约960.9万吨CO₂。降低锌电解工序能耗对于锌冶炼行业的节能具有重要作用。目前该技术可实现节能量0.2万tce/a，减排约0.5万吨CO₂/a。

四、技术内容

1. 技术原理

该技术围绕电解前端工序的电解液质量、电解槽结构及槽电压分布、极板类型结构及沉积机理、硅整流供电系统供电效率等方向，通过电解整流系统非同相逆并联谐波抑制技术、深度净化技术和ASEP阳极板技术的集成创新应用，可实现谷电期按600-800A/m²高电流密度的生产常态化，改变传统只能采用低电流密度（300-400A/m²）的生产工艺，使整流和电解系统关键节能指标得到进一步优化，提升硅整流效率，降低直流电耗，最终降低吨锌综合能耗。

2. 关键技术

锌电解高电流密度节能技术通过硅整流系统扩容升级、新型特型尺寸极板和电解配套设施的集成优化，突破电流密度和电流效率相互制约的技术瓶颈，提高电解电流密度及硅整流效率，使整流和电解系统关键节能指标得到进一步优化。其主要的关键技术如下：

（1）电解整流系统非同相逆并联谐波抑制技术。将电流相等、方向相反的两个导电臂靠拢，达到交变磁场相互抵消、减小导电母排压降、提高功率因数、消除柜体涡流；

（2）电解液深度净化技术。SZP（Subside Zine Process）优先沉锌技术和超

细金属锌粉置换技术。SZP 优先沉锌技术是以焙砂或石灰石作为沉锌剂保持系统水平衡，控制 F、Mg、Mn、Cl、K、Na 等杂质的深度净化技术；超细金属锌粉置换技术是避免杂质带入系统、提高浸出液除杂效率的深度置换净化技术；

(3) ASEP(Anode Surface Embossing Plate)阳极板技术。一种合金成分优化、金相组织致密的、适用于在高电流密度条件下长周期使用的波纹阳极板压延工艺技术。

3. 工艺流程

锌电解高电流密度节能技术指在电解过程中，采用 $800-1000\text{A}/\text{m}^2$ 的阴极电流密度，以此强化生产，减轻工人劳动强度，适当增加产量。生产过程中采用一种特型尺寸 ($1.2-1.5\text{m}^2$) 的锌电解极板和相配套玻璃钢材料的电解槽，通过特有的压延表面极板结构，便于电解体系中的 MnO_2 在阳极板上沉积，快速形成阳极板板面保护层的阳极板。同时，采用一种二段中和的 SZP (优先沉锌) 方法，把锌冶炼系统的 Mg、Cl、F 形成开路，Mg 去除率 95% 以上，Cl、F 去除率 50% 以上，提高硫酸锌溶液的质量；利用含铅 (Pb: 1.1%-2.0%) 电炉锌粉和超细 (800-400 目) 金属锌粉深度净化硫酸锌溶液，在此基础上实现锌电解体系超高电流密度 ($600-800\text{A}/\text{m}^2$) 的产业化错峰生产。该技术的工艺流程如图 1 所示。

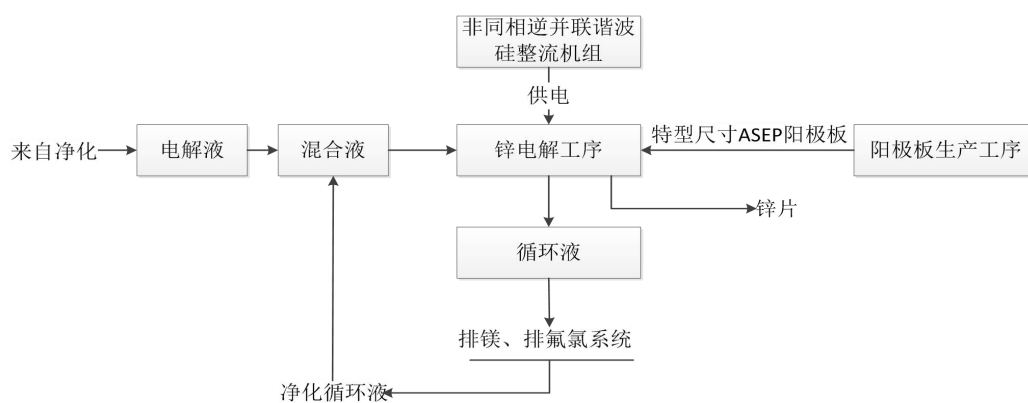


图 1 锌电解高电流密度节能技术工艺流程

五、主要技术指标

1. 谷电期电流密度达到 $600-800\text{A}/\text{m}^2$ ，高峰期电流密度 $300-450\text{A}/\text{m}^2$ ，代替传统的谷电期、高峰期电流密度均为 $300-450\text{A}/\text{m}^2$ 的电解工艺；

2. 生产阶段直流电耗下降到 $2900\text{kWh}/\text{t}\cdot\text{Zn}$ 片；

3. 吨锌综合能耗下降到 $1095\text{kgce}/\text{t}\cdot\text{Zn}$ 锭以下。

六、技术鉴定、获奖情况及应用现状

本技术于 2014 年通过云南省科技厅组织的成果鉴定，并获得国家发明专利 1 项。目前，该技术已在云南云铜锌业股份有限公司生产运用，节能效果显著，经济和社会效益好，并正在向同行业其他厂的锌湿法冶金电解工序推广应用。

七、典型应用案例

典型用户： 云南云铜锌业股份有限公司

典型案例 1

案例名称： 云铜锌业超高电流密度电解锌产业化一期项目

技术提供单位： 云南云铜锌业股份有限公司

建设规模： 5 万 t/a。建设条件： 对原电解系统进行升级改造后并按谷电期按 600-800A/m² 高电流密度、峰电期 300-450A/m² 的低电流密度组织生产。主要技改内容： 锌电解系统进行改造，通过集成运用电解整流系统非同相逆并联谐波抑制技术、排镁、排氟氯和采用高品质置换锌粉的电解液深度净化技术和 ASEP 阳极板技术，实现谷电期以 600-800A/m² 的高电流密度代替传统的 300-450A/m² 低电流密度电解工艺。主要设备为 2 套硅整流机组的升级改造，采用一种特型尺寸（1.2-1.5m²）的锌电解极板和相配套玻璃钢材料的电解槽。节能技改投资额 2950 万元，建设期 9 个月。每年可节能 1918tce，减排 5064tCO₂。年节能经济效益为 1336 万元，投资回收期约 2.8 年。

典型案例 2

案例名称： 云铜锌业超高电流密度电解锌产业化二期项目

技术提供单位： 云南云铜锌业股份有限公司

建设规模： 2.5 万 t/a。建设条件在项目一期升级改造基础上，进行锌电解工序错峰生产扩容 2.5 万 t/a，达到原设计产量 7.5 万 t/a，并按谷电期按 600-800A/m² 高电流密度、峰电期 300-450A/m² 的低电流密度组织生产。主要技改内容： 锌电解系统进行改造，通过集成运用电解整流系统非同相逆并联谐波抑制技术、排镁、排氟氯和采用高品质置换锌粉的电解液深度净化技术和 ASEP 阳极板技术，实现谷电期以 600-800A/m² 的高电流密度代替传统的 300-450A/m² 低电流密度电解工艺。主要设备为新增 1 套硅整流机组的升级改造，采用一种特型尺寸（1.2-1.5m²）的锌电解极板和相配套玻璃钢材料的电解槽。节能技改投资额 1250 万元，建设

期 3 个月。每年可节能 959tce，减排 2530tCO₂。年节能经济效益为 668 万元，投资回收期约 2.6 年。

八、推广前景及节能减排潜力

2013 年，我国锌湿法冶金电解锌年产量约 420 万 t，按电解锌年产量增长 5% 计算，预计未来 5 年，电解锌年产量可达 600 万 t，该技术在我国锌湿法冶金电解行业的推广比例可达 75%，总投资额约 25 亿元，可形成的年节能能力为 17 万 tce，年碳减排能力 45 万 tCO₂。

88 旋浮铜冶炼节能技术

一、技术名称：旋浮铜冶炼节能技术

二、技术所属领域及适用范围：有色金属行业 闪速炉冶炼领域

三、与该技术相关的能耗及碳排放现状

目前，全世界火法炼铜的工厂约 110 家，其中采用闪速熔炼的工厂约 40 多家，产铜量占总产量的 60%以上。闪速冶炼以其节能高效环保的技术特点，成为世界先进、主流的铜冶炼工艺。我国铜冶炼综合能耗额一般在 300-350kgce/t 之间。与闪速冶炼技术相比，旋浮铜冶炼技术具有生产能力大、反应充分、烟尘率低、自热冶炼（可处理大量吸热原料如氧化矿等）、原料适应性强（可处理高杂质铜精矿）等优点，已被纳入《铜冶炼行业规范条件》。该技术适用于铜、镍、铅、金等有色金属冶炼工艺，在新建生产线和旧有生产线改造均可进行推广应用，前景十分广阔。

四、技术内容

1.技术原理

闪速冶炼反应机理为反应塔内氧气和物料颗粒间发生反应，以熔炼为例，主要反应： $\text{CuFeS}_2 \rightarrow \text{FeS} + \text{Cu}_2\text{S}$ ； $\text{FeS} + \text{O}_2 \rightarrow \text{FeO} + \text{SO}_2$ ； $\text{FeO} + \text{O}_2 \rightarrow \text{Fe}_3\text{O}_4$ （过氧化反应）； $\text{Cu}_2\text{S} + \text{O}_2 \rightarrow \text{Cu}_2\text{O} + \text{SO}_2$ （过氧化反应）。闪速冶炼对物料的分散采取的是用水平方向的分布风打散垂直下落的物料，当投料量大时，易出现反应偏析、下生料、烟尘率高、炉况波动等问题。

旋浮冶炼除了具有同闪速冶炼相同的反应塔上部反应机理外，还独创了反应塔下部过氧化物料颗粒和欠氧化物料颗粒间的碰撞反应机理。以熔炼为例，反应塔下部的主要反应： $\text{Fe}_3\text{O}_4 + \text{FeS} \rightarrow \text{FeO} + \text{SO}_2$ ； $\text{Cu}_2\text{O} + \text{FeS} \rightarrow \text{FeO} + \text{Cu}_2\text{S}$ ； $\text{FeO} + \text{SiO}_2 \rightarrow \text{Fe}_2\text{OSiO}_4$ 。旋浮冶炼采用“风内料外”的供料方式，对物料的分散模拟了自然界龙卷风高速旋时转具有极强扩散和卷吸能力的原理，物料颗粒呈倒龙卷风的旋流状态分布在反应塔中央，在龙卷风旋流体中间增加中央脉动氧气，改变物料颗粒的运动，实现物料颗粒间脉动碰撞、传热传质以及化学反应的强化，使

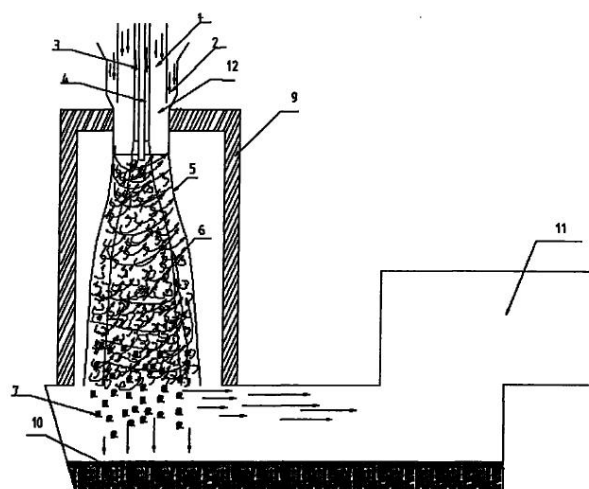
整个熔炼和吹炼过程的化学反应能够充分完全的进行。

2.关键技术

- (1) 超强化旋浮熔炼和旋浮吹炼技术；
- (2) 新型脉动旋流型喷嘴；
- (3) 旋浮冶炼在线控制技术；

3.工艺流程

旋浮铜冶炼工艺及装置示意图见图1，脉动旋流喷嘴原理示意图见图2。



1-富氧空气，2-粉状物料，3-脉动氧气，4-脉动燃料枪，5-高旋流体，6-脉动紊流，7-分离出的液滴，8-高温烟气，9-反应器，10-熔池，11-排烟道，12-脉动旋流喷嘴

图 1 旋浮铜冶炼工艺及装置示意图

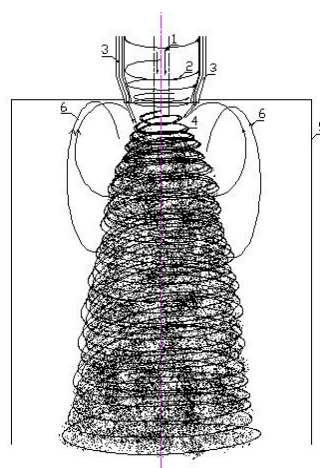


图 2 脉动旋流喷嘴原理示意图

五、主要技术指标

1. 投料量由 200t/h 提高到 350t/h;
2. 单台炉的年产能最大可提高到 50 万 t;
3. 反应塔热负荷 2600-2900MJ/m³·h;
4. 熔炼炉作业率 98%，吹炼炉作业率 97%;
5. 粗铜综合能耗 150kgce/t;
6. 铜铈品位可达 70%。

六、技术鉴定、获奖情况及应用现状

该技术获得国家发明专利 6 项、实用新型专利 7 项。2011 年通过山东省科技厅组织的科技成果鉴定；2012 年获得中国有色金属工业协会科学技术一等奖、二等奖各 1 项；2013 年获得国家科学技术进步二等奖；2014 年获得中国专利金奖。该技术已于 2009 年在山东省重点工程祥光铜业铜冶炼项目中实施应用，目前已在中国黄金集团、紫金铜业有限公司进行了推广。

七、典型应用案例

典型用户：阳谷祥光铜业有限公司、中国黄金集团—河南中原黄金冶炼厂有限责任公司、紫金铜业有限公司等。

典型案例 1

案例名称：阳谷祥光铜业有限公司年产 20 万 t 阴极铜节能改造项目

技术提供单位：阳谷祥光铜业有限公司

建设规模：年产 20 万 t 阴极铜工程，建设条件：闪速炉铜冶炼工艺改造。

主要技改内容：用旋风脉动型精矿喷嘴和冰铜喷嘴替代了旧有的中央扩散型精矿喷嘴和冰铜喷嘴。主要设备包括旋风脉动型精矿喷嘴和旋风脉动型冰铜喷嘴各一台、冰铜干法粒化装置和吹炼渣干法粒化装置各 1 套。节能技改投资额 3000 万元，建设期 12 个月。每年可节能 95000tce，减排 155000tCO₂。年节能经济效益为 18572 万元，投资回收期约 0.2 年。改造后产能由原来的 20 万 t/a 提升为 50 万 t/a。

典型案例 2

案例名称：河南中原黄金冶炼厂有限责任公司年产 10 万 t 阴极铜改造项目

技术提供单位：阳谷祥光铜业有限公司

建设规模：年产阴极铜 10 万 t，建设条件：吹炼工艺采用旋浮闪速吹炼炉。
主要技改内容：建造旋浮闪速吹炼炉及配套设施，采用旋浮吹炼工艺进行改造。
主要设备旋浮闪速吹炼炉 2 台；冰铜干法粒化装置和吹炼渣干法粒化装置各 1 套。节能技改投资额 3000 万元，建设期 24 个月。每年可节能 19000tce，减排 30970tCO₂。年节能经济效益 3700 万元，投资回收期约 1 年。

八、推广前景及节能减排潜力

预计未来 5 年，该技术在行业内规模以上企业（产能 20 万 t/a 以上）中推广比例将达到 80%；预计总投入约 2 亿元，按照中国年铜产量 800 万 t 计算，可形成的年节能能力约为 150 万 tce，年减排能力为 250 万 tCO₂。

89 大型高效无传动浮选技术

一、技术名称：大型高效无传动浮选技术

二、技术所属领域及适用范围：有色金属行业 有色金属、钢铁、非金属等资源加工行业

三、与该技术相关的能耗及碳排放现状

我国贫矿资源所占比例较大，随着资源逐年开发利用，富矿资源量越来越少，需迫切解决贫矿资源的高效选矿问题。目前，我国广泛使用的传统机械搅拌式浮选机存在占地面积大、能耗高、分选效果不佳等缺点；而浮选柱法虽然是浮选装备节能降耗的发展方向之一，但也存在粗粒难以上浮、磨损严重等缺点。与采用传统机械搅拌式浮选机相比，大型高效无传动浮选装备在实际工业生产中浮选作业单位电耗可下降约10kWh/t原矿。

四、技术内容

1.技术原理

无传动浮选槽的整个槽体无任何传动装置，其上部为圆柱形，下部为圆锥形，浮选槽锥形下部开有底流出口，泡沫槽的下端开有泡沫出口。浮选槽的工作原理为：矿浆从给料管进入分配系统，然后由分配系统分配到各矿化系统。空气从进气口压入矿化系统，在矿化系统内，高速流动的矿浆将空气打碎成微气泡并与矿浆形成含有大量微细气泡的气、固、液三相体系，在高紊流状态下实现气泡与矿浆的高效矿化。矿化系统与矿化喷头之间由矿化管连接，含有大量微气泡的三相体系在矿化管内二次混合并高度紊流矿化，然后仍保持较高能量状态进入矿化喷头，由矿化喷头上的喷嘴喷射入浮选槽内，在浮选槽内形成大量分散性能良好的微泡。整个浮选过程没有机械搅拌和传动装置，可有效降低选矿过程的能耗。

2.关键技术

无传动浮选槽是一种适应矿物浮选的装备技术，具有处理量大、富集比和分选效率高、适应范围广、节能且智能控制等优点，其主要的关键技术如下：

- (1) 多级高效矿化技术
- (2) 粗粒闪浮技术

- (3) 细粒高效微泡浮选技术
- (4) 双向协同液面控制技术
- (5) 高浓度浮选技术
- (6) 全浮选槽技术

3.工艺流程

无传动浮选槽结构示意图如图 1 所示，主要由矿浆分配器、发泡器、充气环管、矿化管、喷头、分选槽筒体、泡沫收集槽、中矿管、底流管等组成。

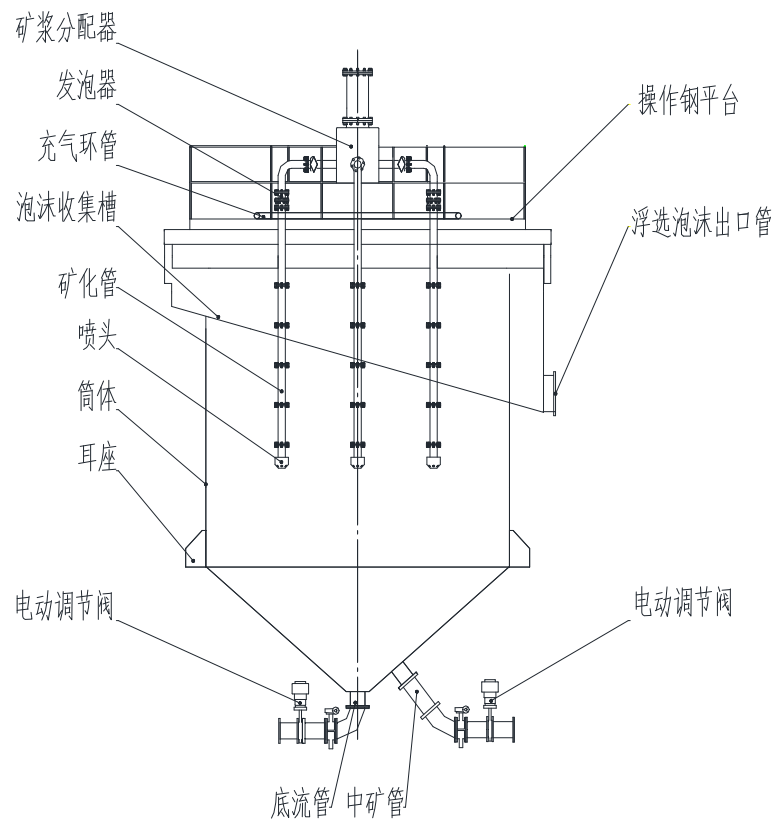


图 1 无传动浮选槽结构示意图

无传动浮选槽装备技术对铝土矿浮选脱硅和浮选脱硫通常采用简单的一粗一精一扫短流程工艺，具体工艺流程图见图 2。浮选脱硅也可采用一粗两扫工艺流程，根据不同矿石对磨矿粒度的要求，在上述工艺流程中也可增加分级和二段磨矿工艺。

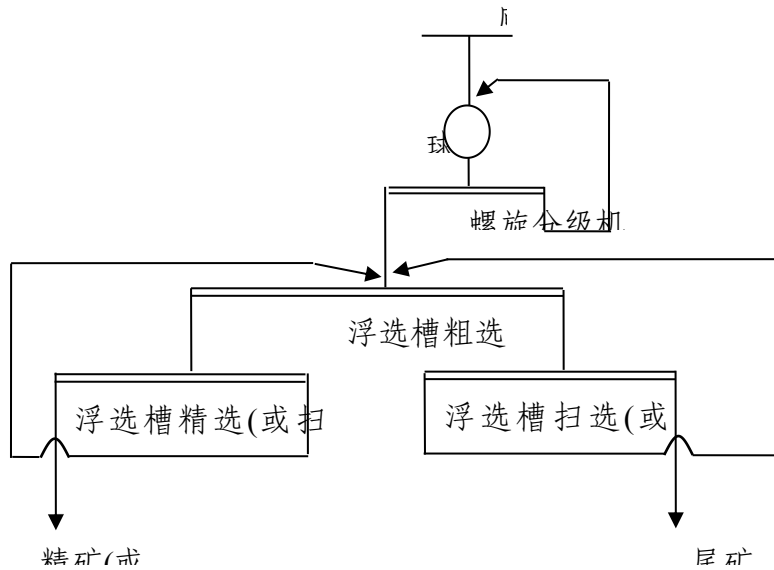


图2 一粗一精一扫工艺流程图

原矿经过一段磨矿分级后，溢流产物与扫选泡沫（或底流）及精选底流（或泡沫）混合到一起进入浮选槽粗选作业，粗选泡沫经过一次精选（或扫选）作业后获得泡沫精矿（或尾矿），粗选底流进入扫选（或精选）作业，扫选（或精选）泡沫返回粗选作业，扫选（或精选）底流直接作为尾矿（或精矿）。

五、主要技术指标

1.经工业试验及生产实践证明，与传统机械搅拌式浮选机相比，铝土矿选矿采用无传动浮选工艺节省药剂用量约 30%，电耗降低约 30%（10kWh/t 原矿）。

2.工业生产浮选脱硫成本每吨原矿 60 元，较机械搅拌式浮选机传统浮选脱硫成本每吨原矿降低 15 元；工业生产浮选脱硅成本每吨原矿 58 元，较传统机械搅拌式浮选机脱硅成本每吨原矿降低 7 元。

六、技术鉴定、获奖情况及应用现状

该技术获得国家发明专利 3 项，实用新型专利 2 项。2011 年通过中国有色金属工业协会组织的科技成果鉴定；2013 年获中国循环经济协会科学技术奖一等奖。目前，该技术已在开曼铝业（三门峡）有限公司、山西道尔投资有限公司、鲁山县冠华实业有限公司、中国铝业遵义氧化铝有限公司等企业成功应用。

七、典型应用案例

典型用户：开曼铝业（三门峡）有限公司、山西道尔投资有限公司、鲁山县冠华实业有限公司等

典型案例 1

案例名称：开曼铝业（三门峡）有限公司 120 万 t/a 选矿脱硫项目

技术提供单位：中国铝业郑州有色金属研究院有限公司

建设规模：120 万 t/a 选矿脱硫项目浮选生产线，给料控制系统的压力为 0.08-0.2MPa，气量控制系统的压力控制为 0.1-0.6MPa。主要建设内容为流程改造、中矿循环系统改造、矿浆分配器及新型矿化系统改造更换、自动控制系统安装等。主要设备：Φ3000 无传动浮选槽、渣浆泵、智能自控系统等。节能技改投资额 1000 万元（包括设备购置、流程改造及安装工程费用），建设期 6 个月。相比传统浮选机每年可节能 3840 tce/a，年碳减排量为 9000tCO₂。年节能经济效益 600 万元，投资回收期约 2 年。

典型案例 2

案例名称：山西道尔投资有限公司 120 万 t/a 选矿脱硅项目

技术提供单位：中国铝业郑州有色金属研究院有限公司

建设规模：120 万 t/a 选矿脱硅项目浮选生产线，给料控制系统的压力为 0.08-0.2MPa，气量控制系统的压力控制为 0.1-0.3MPa。主要建设内容为低品位铝土矿浮选脱硅生产线改造。主要设备为Φ4500 无传动浮选槽、渣浆泵、智能自控系统等。节能技改投资额 1040 万元（包括设备购置、流程改造及安装工程费用），建设期 6 个月。相比传统浮选机每年可节能 3072tce/a，年碳减排量为 7200tCO₂。年节能经济效益 538 万元，投资回收期约 2 年。

八、推广前景及节能减排潜力

与传统机械搅拌式浮选机相比，对于同规模的选矿厂，该技术具有投资更少、流程更短、能耗更低的特点，且平均节能能力可达 3.2tce/kt 原矿。预计未来 5 年，可在铝土矿、煤矿、磷矿、铜矿、铁矿等选矿领域的推广比例将达到 10%，选矿总产能可达 200000kt/a。形成的年节能能力约为 64 万 tce，形成的年碳减排能力约 150 万 tCO₂。

90 双炉粗铜连续吹炼节能技术

一、**技术名称：**双炉粗铜连续吹炼节能技术

二、**适用范围：**有色金属冶炼及压延加工业 铜精矿冶炼工艺的吹炼工序

三、**与该节能技术相关生产环节的能耗现状**

依据国家标准GB 21248-2014《铜冶炼企业单位产品能耗消耗限额》中对粗铜工艺综合能耗（铜精矿-粗铜）限定值的规定，现有铜冶炼企业 $\leq 300\text{kgce/t}$ ，新建铜冶炼企业 $\leq 180\text{kgce/t}$ ；并规定粗铜工艺综合能耗的先进值为 $\leq 150\text{kgce/t}$ 。目前我国铜冶炼（铜精矿冶炼工艺）生产企业因原料、工艺及装备存在差异，能耗水平不尽相同，粗铜产品综合能耗在 $150\text{-}300\text{kgce/tCu}$ 范围，节能潜力较大。

四、**技术内容**

1. 技术原理

该技术将铜精矿冶炼工艺中吹炼环节的造渣期和造铜期由传统间歇式 P-S 转炉吹炼工艺（在一个吹炼空间分先后间断进行），改为分置到两个独立固定的吹炼空间（造渣炉和造铜炉）前后连续进行，造渣炉与造铜炉之间用溜槽连接。该工艺连续进料，充分利用熔炼炉所产生的冰铜显热，可避免转炉吹炼需等料而导致鼓风机空吹带来的电力消耗；该工艺运行下烟气温度高、烟气量小、烟气连续稳定，同时设置中压余热锅炉，通过回收余热生产中压饱和蒸汽发电，实现节能。

2. 关键技术

该工艺技术是一种主要由造渣炉、造铜炉以及连接前、后端装备的溜槽优化组合而成高效的铜精矿冶炼工艺的吹炼设备，其主要关键技术如下：

（1）吹炼造渣和造铜期分置空间反应技术

将粗铜吹炼所必须经过的造渣和造铜两个阶段，依次分置在两个吹炼空间，即冰铜在造渣炉内完成造渣吹炼，脱出冰铜中的Fe，产出含Fe很低的白冰铜；白冰铜在造铜炉内完成造铜吹炼，脱出白冰铜中的S及其它杂质，产出优质粗铜。

（2）液态冰铜、白冰铜及粗铜溜槽转送技术

熔炼炉与造渣炉、造渣炉与造铜炉、造铜炉与阳极炉之间的液态铜均通过炉窑之间的溜槽进行转送，而不用冶金包进行熔体的转移，也无需在冶炼厂房内设置大吨位冶金吊车。

(3) 连续生产技术

熔炼炉产出冰铜连续流入造渣炉，在造渣炉发生氧化反应产出白冰铜并连续流入造铜炉，白冰铜在造铜炉发生氧化反应连续产出粗铜。

(4) 铜水套冷却挂渣保护技术

造渣炉和造铜炉的关键部位均设置采用了铜水套冷却挂渣保护技术，从而有效延长炉窑的使用寿命。

(5) 残阳极加料技术

采用自主研发的残阳极加料技术，将电解工序返回的残阳极直接通过链式残阳极加料装置送入造铜炉。

(6) 环集烟气收集技术

在熔炼炉、造渣炉和造铜炉的排铜、排渣口均设置自主研发的环境烟气集烟罩，对环集烟气统一收集并汇入制酸系统回收有价元素，同时确保了连续生产过程中无烟气逸散和低空污染。

3. 工艺装备及流程

双炉粗铜连续吹炼工艺的技术装备及工艺流程见图1和图2。

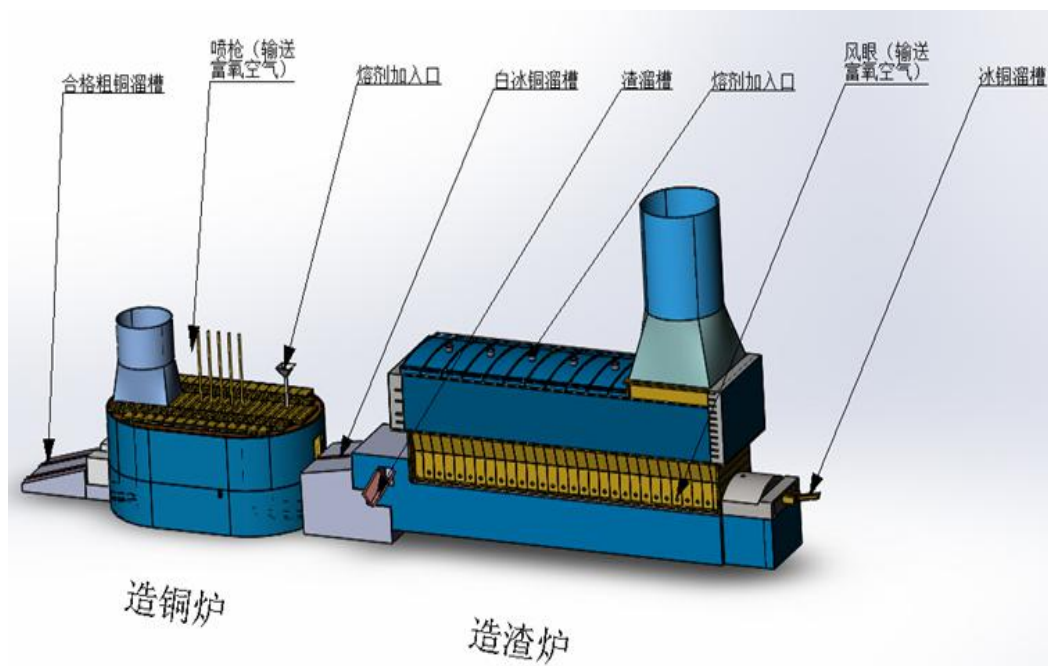


图 1 双炉粗铜连续吹炼炉装备图

工艺流程描述如下：

(1) 造渣吹炼：熔炼炉产出含铜品位为 55%的冰铜，通过溜槽连续流入造渣炉，按优化设定的氧料比和熔剂加入量，通过 DCS 集散控制系统控制供风设备和熔剂加入

设备，向熔池中鼓入富氧空气，并通过炉顶加料口向熔池内加入熔剂；同时根据炉温，调节富氧浓度及适量向炉内加入造铜炉渣和火法精炼渣等低品位含铜冷料；吹炼形成的渣浮在熔池上面，经沉淀分离后连续从溢流口排出进入渣包后运到渣缓冷场，进行浮选贫化处理；吹炼形成的白冰铜沉入熔池下部，从虹吸口连续排出并通过溜槽进入造铜炉；造渣吹炼产生的烟气经出口烟道进入余热锅炉，降温后进入冶炼烟气除尘、脱硫处理系统。

(2) 造铜吹炼：白冰铜进入造铜炉后，按优化设定的氧料比和熔剂加入量，通过DCS集散控制系统控制供风设备和熔剂加入设备，向熔池中鼓入富氧空气，并通过炉顶加料口向熔池内加入熔剂；同时根据炉温的高低，适量向炉内加入残阳极等高品质含铜冷料和调节富氧浓度来控制炉温；通过炉顶的熔剂加入口加入少量熔剂；由于造铜期的渣量很小，因此采用间断放出的操作模式（约12小时放一次渣）；间断放出的造铜期渣通过渣包倒入渣冷却场，自然冷却破碎后均匀返回造渣炉；造铜炉产出的合格粗铜间断或连续通过溜槽排入阳极炉；造铜吹炼烟气经烟道出口进入余热锅炉，降温后进入冶炼烟气除尘、脱硫系统。

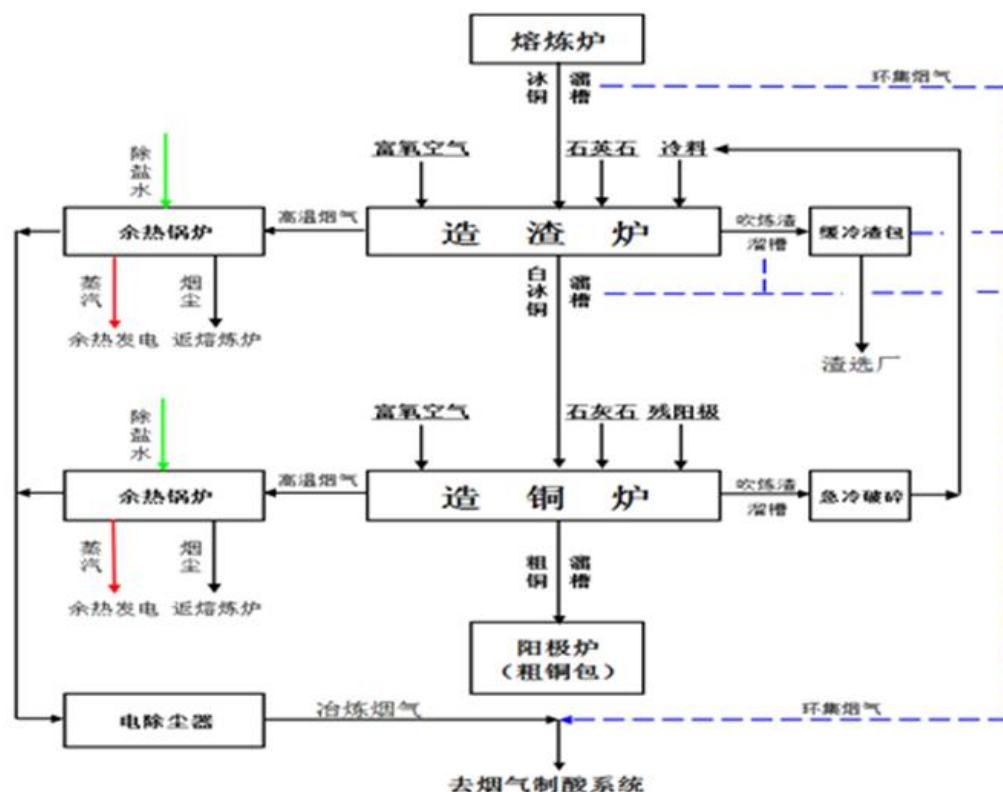


图 2 双炉粗铜连续吹炼工艺流程图

五、主要技术指标

1. 粗铜综合能耗指标 $\leq 110\text{kgce/t}$;

2. 粗铜平均品位 98.8%-99.1%;
3. 粗铜含硫 $\leq 0.03\%$;
4. 冰铜至粗铜吹炼直收率为 98.39%;
5. 送风时率（作业率）达 99%;
6. 较转炉时期产能提高 30%;
7. 吨粗铜烟气量 $\leq 4000\text{Nm}^3$;
8. 硫回收率 $\geq 98.4\%$;
9. 硫捕集率 $\geq 99.8\%$ 。

六、技术应用情况

该技术获得国家发明专利 1 项，实用新型专利 1 项，并于 2015 年 4 月通过中国有色金属工业协会组织的科技成果鉴定。2014 年 9 月，首套粗铜连续吹炼工艺技术在赤峰云铜年产 13 万 t 阴极铜铜冶炼项目中投入工业化生产，此外还成功应用于广西南国铜业有限责任公司年产 20 万 t 的阴极铜铜冶炼项目，节能效果显著。

七、典型用户及投资效益

典型用户：赤峰云铜有色金属有限公司、广西南国铜业有限责任公司。

典型案例 1

项目名称：赤峰云铜粗铜连续吹炼工艺技术节能改造项目

技术提供单位：赤峰云铜有色金属有限公司、赤峰金峰冶金技术发展有限公司

建设规模：生产线规模 12.5 万 t。建设条件：与前端的金峰熔炼炉及后端阳极精炼炉产能匹配。主要技改内容：以双炉粗铜连续吹炼工艺技术取代传统 PS 转炉吹炼技术，主要设备为增加造渣炉和造铜炉各 1 台。节能技改投资额 4130 万元，建设期 4 个月。每年可节能 4822tce，碳减排量约 15800tCO₂。年节能综合经济效益为 3350 万元，投资回收期约 1.3 年。

典型案例 2

项目名称：广西南国铜业有限责任公司年产 20 万吨高纯阴极铜项目

技术提供单位：赤峰云铜有色金属有限公司、赤峰金峰冶金技术发展有限公司

建设规模：年产 20 万 t 高纯阴极铜。建设条件：有足够的建筑面积，前后端工序设备产能匹配。主要建设内容：以新建双炉粗铜连续吹炼工艺系统取代建设传统 PS 转炉吹炼系统，主要设备为造渣炉和造铜炉各一台。节能技术建设投资额 8036 万元，建设期 6 个月。每年可节能 7716tce，碳减排量 25301tCO₂。年节能经济效益 5545 万

元，投资回收期约 1.5 年。

八、推广前景和节能潜力

对于生产规模达到 10 万吨以上的现有铜冶炼厂，不论采用何种熔炼工序，只要场地条件具备，都可以采用双炉粗铜连续吹炼工艺进行技术改造，从而淘汰高能耗、高污染的 P-S 转炉间歇吹炼工艺；对于新建铜冶炼厂，无论是从环保角度考虑，还是从经济效益角度考虑，均不会再使用 P-S 转炉，而会采用低能耗、低污染的连续吹炼工艺技术，因此该技术具有较大的推广前景。预计到 2020 年，该技术在铜冶炼行业的推广比例可达 30%，项目总投资 9 亿元，可形成的年节能能力为 12 万 tce，碳减排能力为 38 万 tCO₂。

91 节能高效强化电解平行流技术

一、**技术名称：**节能高效强化电解平行流技术

二、**适用范围：**有色金属行业 电解精炼工序

三、**与该节能技术相关生产环节的能耗现状**

世界铜电解工艺自问世以来，已有140多年历史，现有常规电解工艺主要采用始极片电解和永久不锈钢阴极电解两种方式，是典型的高能耗行业。最早采用传统的始极片工艺生产电解铜，其电流密度一般在 $250\text{A}/\text{m}^2$ 以下。此后，不锈钢阴极及专用机组的应用可以使电流密度提高到 $280\text{-}330\text{A}/\text{m}^2$ 。虽然较低的电流密度降低了铜冶炼的电能消耗，但蒸汽消耗量巨大，存在生产效率低、综合能耗高、生产成本大等问题，电解工序综合能耗普遍在 $100\text{-}140\text{kgce}/\text{t}$ 。而高效强化电解平行流技术有效解决了高电流密度下浓差极化和阳极钝化等技术难题，并于2011年6月应用生产，电流密度可稳定在 $420\text{A}/\text{m}^2$ 以上，节能效果显著。

四、**技术内容**

1. 技术原理

电解液以 $0.5\text{m}/\text{s}\text{-}2.5\text{ m}/\text{s}$ 高速度在靠近阴极板侧下部强制平行喷射进入阴阳极板间，给电解液提供动能，阴极表面电解液向上运动，阳极表面电解液向下运动，电解液在阴极和阳极之间形成“内循环”，消除浓差极化，同时带动阳极板表层阳极泥快速沉降，打破阳极钝化相膜，消除阳极钝化，从而实现高电流密度生产。高电流转化的热能可满足电解液热平衡，加热蒸汽消耗降低约 85%，节能效果显著。

2. 关键技术

(1) 平行流电解精炼新工艺技术

通过对电解反应机理研究及计算机仿真，开发出具有自主知识产权的平行流电解新工艺，解决了高电流密度下电解浓差极化这一世界难题，生产效率和电解产能提高 50%。

(2) 高杂阳极铜的射流电解精炼新技术

通过对阳极铜中杂质元素在电解过程中反应行为研究及试验，开发出具有自主知识产权的射流电解精炼新技术，解决了阳极泥漂浮和阳极钝化难题，实现高电流密度条件下处理高杂阳极铜的突破，A 级阴极铜率100%。

(3) 平行流电解工艺成套装备系统技术

根据新工艺技术原理及特点，开发出平行射流技术装备PFD/PFP；开发出采用变频泵直接供液的成套循环系统装备；开发出平行射流互联网+智能化控制系统配套平行流电解工艺，首次实现高电流密度的智能化铜电解大工业生产。

3. 工艺流程

采用电解液由循环槽经变频泵直接给电解槽供液，取消了传统电解循环系统中的高位槽，电解槽供液采用侧面给液方式或采用两侧给液方式通过进液装置的喷嘴流出，由槽面两端溢流出的电解液汇总后返回循环槽。同时在出装槽作业时，利用变频泵与循环电解液的压力联锁，调节对电解槽的给液量，实现对电解槽给液的自动调节。通过平行流装置对阴极板的准确定位，电解装槽过程中加上全自动电解装用吊车与电解槽间的准确定位，带有阴极定位器的平行流装置对电解系统实现了全自动生产。传统电解工艺与新型平行流电解工艺流程图分别见图 1 和图 2。

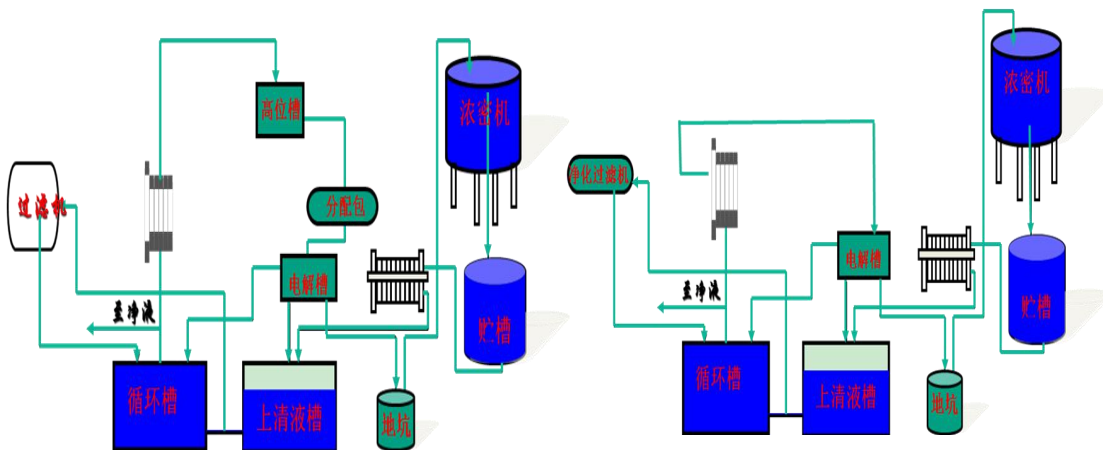


图 1 传统电解工艺流程图

图 2 平行流电解工艺流程

图

五、主要技术指标

1. 电流密度：420A/m²；
2. 电流效率：98%；
3. 蒸汽单耗：0.11t/t 铜；
4. 产能：同等装备情况下，产能提高 50%。

六、技术应用情况

该技术已获得国家发明专利 2 项，实用新型专利 8 项，参与制定国家标准 2 项，并于 2015 年 8 月通过中国有色金属工业协会组织的科技成果评价，于 2016 年获得中

国有有色金属工业科学技术奖一等奖。目前，该技术成果已在山东阳谷祥光铜业、中国黄金集团河南中原黄金冶炼厂等先后应用，并在西班牙、奥地利等国的铜业生产线上推广使用。

七、典型用户及投资效益

典型用户：阳谷祥光铜业有限公司、西班牙大西洋铜业冶炼厂等

典型案例 1

项目名称：阳谷祥光 50 万 t 电解阴极铜工程项目

技术提供单位：阳谷祥光铜业有限公司

建设规模：年产 50 万 t 阴极铜工程。建设条件：采用永久不锈钢阴极工艺及装置基础上，在电解槽安装平行流装置，配套高电解液循环装置组织生产。主要技改内容：项目主要在原有 1440 个电解槽上安装平行流装置，由循环槽经变频泵直接给电解槽供液，取消了传统电解循环系统中的高位槽。主要设备为 1440 套平行流装置 PFD 和 4 套电解液循环装置。节能技改投资额 11200 万元，建设期两年。每年可节能 28500tce，碳减排量 75240 tCO₂。年节能经济效益为 3600 万元，投资回收期约 4 年。

典型案例 2

项目名称：西班牙大西洋铜业 26 万 t 电解阴极铜工程项目

技术提供单位：阳谷祥光铜业有限公司

建设规模：年产 26 万 t 阴极铜工程，建设条件：采用永久不锈钢阴极工艺及装置基础上，在电解槽安装平行流装置，采用配套的高电解液循环装置组织生产。主要技改内容：在 720 个电解槽内安装平行流装置，采用平行流电解精炼工艺作业制度。主要设备为 720 套平行流装置 PFD 和 2 套电解液循环装置。节能投资额 5600 万元，建设期两年。每年可节能 15000tce，碳减排量 39600 tCO₂。年节能经济效益 1900 万元，投资回收期约 3 年。

八、推广前景和节能潜力

高效强化平流技术不仅适用于铜电解行业，可推广到其他有色金属电解精炼行业。预计到 2020 年，该技术可在有色金属冶炼行业推广到 50%，项目总投资 18 亿元，可形成的年节能能力可达 46 万 tce，碳减排潜力约 120 万 tCO₂。

92 油田机械用放空天然气回收液化工程

一、技术名称：油田机械用放空天然气回收液化工程

二、技术所属领域及适用范围：石化行业 石油行业、大中型油田

三、与该技术相关的能耗及碳排放现状

目前该技术可实现节能量 54 万 tce/a，减排约 143 万 tCO₂/a。

四、技术内容

1.技术原理

用制冷设备将油田放空天然气井的伴生放空天然气液化，供油田机械使用。

2.关键技术

(1) 采用俄罗斯深冷机械制造股份公司的设备和技术-高压节流 LNG 生产装置；

(2) 柴油机改烧天然气技术。

3.工艺流程：天然气→净化处理→增压→液化→液化天然气（LNG）。

五、主要技术指标

日产液化天然气（LNG）11.4 万 m³，折合 86.4t/d；年生产天数>350 天。

六、技术鉴定、获奖情况及应用现状

高压节流 LNG 生产装置，是新捷燃气公司研发中心根据俄罗斯在圣彼得堡高压节流 LNG 生产装置进行的联合实验装置提出的设计，在部份液化的基础上进行完善，是一种天然气循环液化生产装置，液化率接近 100%，该工艺得到俄罗斯深冷公司的认可。所使用的设备为俄罗斯深冷机械制造股份公司的小型撬装 LNG 生产装置，该装置为模块化设备，灵活易拆迁，适合放空天然气回收项目地点多变的特点。

七、典型应用案例

新疆油田投资 10250 万元，可回收天然气 4890 万 m³/a，其中，3990 万 m³/a 用于油田机械燃料改装，其余 900 万 m³/a 用于生产发电。可节约能源 65000tce/a。

八、推广前景及节能减排潜力：

凡有伴生气的油田都可采用此项技术，俄罗斯深冷机械制造股份公司生产的小型撬装 LNG 生产装置，灵活易拆迁，适用于野外油田地点多变的特点，各地油田都可使用。预计未来 5 年，该技术在行业内的推广潜力可达到 60%，投资总额 10 亿元，节能能力 65 万 tce/a，减排能力 172 万 tCO₂/a。

93 变换气制碱及其清洗新工艺技术

一、技术名称：变换气制碱及其清洗新工艺技术

二、技术所属领域及适用范围：化工行业 联合法制碱企业

三、与该技术相关的能耗及碳排放现状

目前联碱法生产纯碱的生产企业 30 家，总产量已超过 1 千万 t，其中采用变换气制碱技术的企业 12 家，总产量达 240 万 t。与目前的浓气联合制碱技术比较，变换气制碱技术单位产品节能 25kgce。按照上述浓气制碱产量，比采用变换气制碱法全国年耗能额外消耗 21.5 万 tce。目前该技术可实现节能量 5 万 tce/a，减排约 13 万 tCO₂/a。

四、技术内容

1. 技术原理

变换气制碱技术将合成氨生产中的变换气直接送入联碱碳化塔，在脱除变换气中二氧化碳的同时，又生成碳酸氢钠。这是我国继侯德榜发明联合制碱法后又一次在世界上首创新的纯碱生产工艺。变换气制碱将纯碱生产与合成氨生产进一步联合起来，纯碱的碳化工序同时又是合成氨的脱碳工序，它省掉了合成氨生产中的脱碳工序、联碱生产的 CO₂ 压缩工序，同时还节省了合成氨脱 CO₂ 溶液再生需要消耗的能量，节能效果和经济效益均十分显著。

变换气制碱清洗新工艺采用对 NaHCO₃ 不饱和的母液和部分出塔尾气加压后进清洗作业的碳化塔以增大塔内物料的搅动、加快塔内溶疤速度的清洗方法，实现了碳化塔和外冷器同时清洗，不但避免了洗水排放造成污染，而且使碱疤溶入母液、回到生产系统中，减少了物料损失，降低了消耗。

2. 关键技术

低温变换气制碱技术；变换气制碱清洗流程；高效外冷碳化塔。

3. 工艺流程

联碱生产过程中的氨母液 II 经泵送入碳化塔（清洗），在清洗碳化塔内，以增压后的碳化尾气为清洗介质进行搅动，热氨母液 II 自上而下流经塔内，溶解碱疤并吸收从塔底而上气体中的 CO₂（称清洗或预碳酸化过程），然后从碳化塔（清洗）底部取出，称碳氨母液 II，再经泵将其送至各碳化塔（制碱）顶部，与塔底通入来自合成氨装置的变换气逆流接触吸收其中的二氧化碳，生成碳酸氢钠的悬浮液，出碱液靠液位差自

压出碱槽后进行固液分离。

碳化塔反应热和结晶热通过母液自然循环至各外冷器利用冷却水将热量移出。

制碱塔尾气和清洗塔尾气合并进入碳化尾气洗涤塔，用软水进一步洗涤净化尾气中的 NH_3 和 CO_2 ，净氨后的碳化尾气（称脱碳气）符合合成氨系统的原料气含微量 CO_2 和 NH_3 的要求，返回合成氨装置，其中部分碳化尾气进入增压机，加压后送至碳化清洗塔作为清洗气用。工艺流程如图 1 所示。

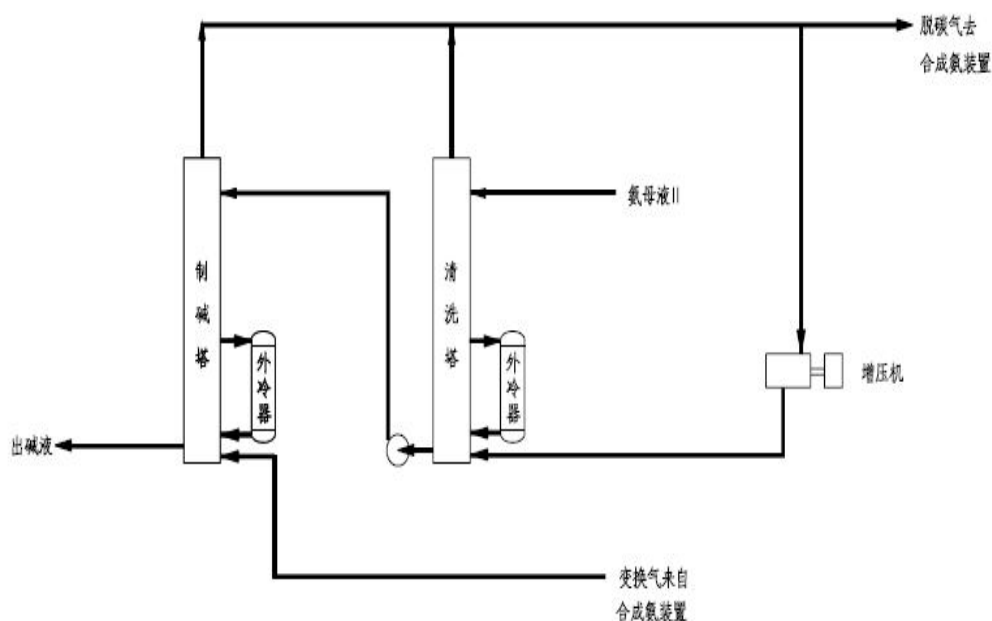


图 2 环保型变换气制碱外冷碳化塔清洗新工艺流程示意图 (无角网流程)

图 1 工艺流程图

五、主要技术指标

出碳化塔尾气 $\text{CO}_2 < 0.2\% \text{vol}$ ；碳化塔系统压降 $0.32-0.35 \text{MPa}$ ；碳化塔进出母液 CNH_3 增量 $42\text{t} - 50\text{t}$ ；结晶平均粒径 $> 120\mu\text{m}$ ；碳化塔作业周期一年。

六、技术鉴定、获奖情况及应用现状

1999 年通过国家石油和化学工业局技术鉴定；高效自然循环外冷式碳化塔取得实用新型专利，2000 年和 2007 年分别取得 2 项发明专利证书，至今采用本技术的制碱已经有 200 万 t 以上产能业绩，技术成熟可靠。

与目前的浓气联合制碱技术比较，变换气制碱较浓气制碱技术单位产品节电约 75kWh ，折算单位产品节能 25kgce 。比采用变换气制碱法全国年耗能额外消耗 21.5 万

tce。按照电力 CO₂ 的排放系数 0.697kg/kWh 计，每年额外排放 CO₂ 的量约 45t。

七、典型应用案例

应用单位：江苏华昌化工股份有限公司联碱项目

技术提供单位：中国成达化学工业公司

节能改造情况：江苏华昌化工股份有限公司 20 万 t/a 联碱项目，建设周期约一年，主要是取消了原有流程中的角阀，既节省设备投资，又免除了角阀的日常操作和维修工作量，同时也排除了因此项维修对生产的影响；改变了碳化塔清洗方式：由只是定时轮洗外冷器、定期煮洗碳化塔，改为同时定时轮洗整个碳化塔组（碳化塔与附属的外冷器同时轮洗）。

节能效果：由于碳化塔不再定期停塔煮洗，多台塔组的装置实现了真正的全年连续运行，提高了装置的有效生产率，年节约标准煤 5000t。

经济效益：（1）外冷碳化塔系统工艺清洗液零排放（2）煮塔洗水零补充（3）根治联碱废水排放，真正实现废水零排放（4）以 20 万 t/a 联碱生产规模为例，运行费用节约-1100 万元/a；设备投资费节省约 934 万元；占地面积节省 560m²。

八、推广前景及节能减排潜力

预计未来 5 年，该技术在行业内的推广比例可达到 35%，总投入 20 亿元，节能能力 9 万 tce/a，减排能力 23tCO₂/a。

94 矿或冶炼气制酸低温热回收技术

一、技术名称：矿或冶炼气制酸低温热回收技术

二、技术所属领域及适用范围：化工行业 矿或冶炼气制酸

三、与该技术相关的能耗及碳排放现状

现有矿或冶炼气制酸装置一次转化的工艺气体都是送入一吸塔一般采用低温吸收，由于材质限制，现有矿或冶炼气制酸干吸循环酸系统中酸的温度只能控制在100℃左右。由于酸温度较低，无法有效回收吸收反应的热量，通常采用循环冷却水将热量释放到大气中。以12万t/a矿制酸装置为例，每年需循环水630万t，折合消耗标煤880t。通过循环水移至大气中的热量折合标煤10300t。12万t/a矿制酸建设循环水站及酸冷却系统投资约140万元。目前该技术可实现节能量6万tce/a，减排约16万tCO₂/a。

四、技术内容

1.技术原理

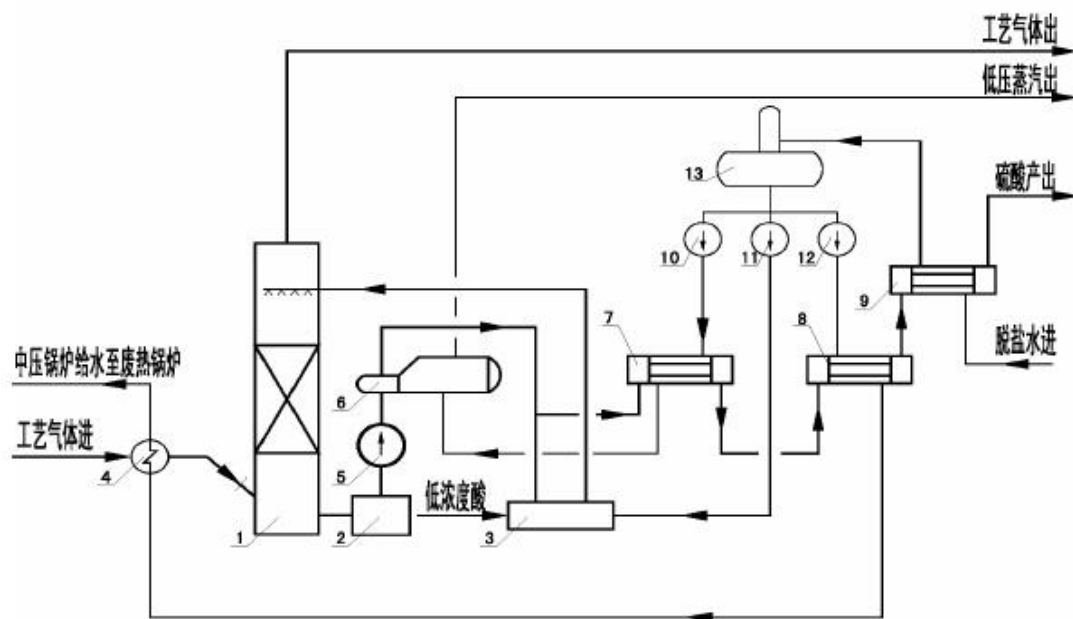
矿或冶炼气制酸低温回收技术是通过提高吸收工序的循环酸温，用高温浓硫酸在蒸汽发生器中产生低压蒸汽的能量回收技术。低温回收的方法是在硫酸装置第一吸收塔前并联一台热回收塔，通过大幅度提高循环酸温度，以蒸汽发生器代替酸冷却器产生低压蒸汽，并在蒸汽发生器出口设置了蒸发器给水加热器、废热锅炉给水加热器和脱盐水加热器以进一步利用低温回收装置产酸的热量，提高热回收率。在蒸汽发生器后专门设置了硫酸混合器，以便水与高温浓硫酸的充分混合。由于水与浓硫酸的反应十分剧烈，且因为水的加入腐蚀性特别严重，因此混合器的设计和材料的选择要求十分严格，既要保证加入的水能够分散均匀，又要求在高温下有很好的耐腐蚀性能。

2.关键技术

矿或冶炼气制酸低温热回收技术采用高温吸收代替低温吸收，用蒸汽发生器代替传统循环水冷却器产生低压蒸汽，在用低温热装置高温产酸加热中压锅炉给水、蒸发器给水和脱盐水，采用装置产酸加热混合器串酸。以上几点都是本装置工艺系统的关键技术。在矿或冶炼气制酸系统采用蒸发器为国内首次成功使用，而采用高温产酸加热中压给水在国内外也是首次成功使用。

3.工艺流程

矿或冶炼气制酸低温热回收流程如图1所示：



1-高温吸收塔，2-高温循环槽，3-混合器，4-省煤器，5-高温循环泵，6-蒸发器，7-蒸发器给水加热器，8-中压废热锅炉给水加热器，9-脱盐水加热器，10-低压给水泵，11-喷射水泵，12-中压给水泵，13-除氧器，14-废热锅炉

图 1 矿或冶炼气制酸低温热回收流程

五、主要技术指标

采用本技术可使矿或冶炼气制酸装置每生产 1t 酸低压蒸汽折合回收量达到 0.45t 采用本技术可替代目前矿或冶炼气制酸装置的一吸酸冷却器，减小 60%左右的循环冷却水用量，从而也减少了循环水站的动力消耗及循环水的蒸发量。每产出 1t 硫酸折合节约标煤 0.062tce。

六、典型应用案例

应用单位：山东明瑞化工集团有限公司老城分公司

技术提供单位：南京海陆化工科技有限公司

节能改造情况：在原有矿制酸装置基础上建成了一套低温热回收装置。

节能效果：该低温热回收装置每小时产汽 7t，装置年运行小时数 8000 小时，每年产汽 5.6 万 t，每年减少循环水用量 380 万 t，可节约标准煤 7440t，减排 19642tCO₂。

经济效益：该项目投资 1200 万(含对原有装置改造及独立设置的 DCS 系统)。按蒸汽销售单价每吨 150 元计，每年收益 1030 万元，静态投资回收期 1.98 年。

七、推广前景及节能减排潜力

预计未来5年按可推广600万t规模计算,该技术在行业内的推广比例可达到30%,总投资额6亿元,节能能力37万tce/a,减排能力98万tCO₂/a。

95 节能环保型密闭电石生产技术

40.5MVA 环保节能型密闭电石生产技术

一、技术名称：节能环保型密闭电石生产技术之一：40.5MVA 环保节能型密闭电石生产技术

二、技术所属领域及适用范围：石化行业 电石行业

三、与该技术相关的能耗及碳排放现状

小容量开放或半密闭炉型较多，平均电耗3250kWh/t，综合能耗1.1-1.2tce/t。目前该技术可实现节能量44万tce/a，减排约116万tCO₂/a。

四、技术内容

1.技术原理

采用密闭电炉技术，实现电石冶炼副产煤气回收。用于电石原料石灰的煅烧或发电。同时，通过电极及短网技术改进，减少电炉散热，提高自动化配置水平等方法降低冶炼电耗。达到降低电石生产综合能耗的目的。

2.关键技术

(1) 电极自动化控制技术；

包括“组合把持器电极自动压放”和“电极自动控制”技术。通过电阻和电流自动操作电极升降，控制电极位置，结合计时压放，实现电极自动化控制。减少电极事故，提高作业率，降低电耗。

(2) 电石炉密闭技术

电石炉采用全密闭技术，炉盖设有安全阀、检修孔、电极孔及烟道孔。炉盖采用6瓣18边形拼接。瓣间采用耐高温云母绝缘材料，及耐火陶瓷纤维扭绳双绳缠绕密封。实现全密闭冶炼操作，降低热损耗，炉气品质好，回收率高。

(3) 电炉自动上料技术

系统采用静态称量配料，高精度配料降低电耗指标。自动启动加料设备。环形加料机设缓冲装置和辅助托轮组。确保设备使用可靠性，且料盘全部封闭利于除尘，环保效果明显。

3.工艺流程

炉料→提高炉料比电阻装置→干燥→电石炉→电石。

五、主要技术指标

- 1.单位产品综合能耗 $<0.9\text{tce/t}$ ，替代主流技术 $<1.1\text{tce/t}$ ；
- 2.单位产品工艺电耗 $\leq 3150\text{kWh/t}$ ，替代主流技术 $\leq 3250\text{kWh/t}$ ；
- 3.单位产品炭材消耗 $\leq 0.58\text{t/t}$ ，替代主流技术 $\leq 0.60\text{t/t}$ 。

六、技术鉴定、获奖情况及应用现状

该技术荣获大连市优秀新产品二等奖，获辽宁省名牌产品奖，获机械工业学会科技进步三等奖，获电石工业协会行业贡献奖等。

目前技术应用现状及产业化发展情况

七、典型应用案例

技术提供单位：中国电石工业协会

新疆中泰化学公司，原有 30MVA 内燃式电石炉 4 台，于 2003 年投运，综合能耗 1.1tce/t，排放量 57 万 tCO₂/a，投资 2 亿元。

新疆天业集团公司，5 台 30MVA 内燃式电石炉，于 2007 年投运，综合能耗 1.15tce/t，排放量 75 万 tCO₂/a，投资 3.5 亿元。

内蒙古双欣化工，6 台 25.5MVA 开放式电石炉，于 2000 年投运。综合能耗 1.1tce/t，排放量 86 万 tCO₂/a，投资 2.5 亿元。

八、推广前景及节能减排潜力

预计未来 5 年，我国电石实际产量 2700 万 t。技术推广比例可达到 40%，节能能力 70 万 tce/a，减排能力 186 万 tCO₂/a。

63MVA 环保节能型密闭电石生产技术

一、技术名称：环保节能型密闭电石生产技术之二：63MVA 环保节能型密闭电石生产技术

二、技术所属领域及适用范围：化工行业 大型电石生产装置

三、与该技术相关的能耗及碳排放现状

目前该技术可实现节能量 8 万 tce/a，减排约 21 万 tCO₂/a。

四、技术内容

1.技术原理

通过对炉料进行特殊处理，提高炉料的比电阻，从而提高电石炉的自然功率因数，从而大大节约电能。

2.关键技术

- (1) 炉料比电阻提高技术；
- (2) 空心电极技术；
- (3) 炉气净化技术；
- (4) 短网结构技术；
- (5) 连续出炉技术。

3.工艺流程

炉料→提高炉料比电阻装置→干燥→电石炉→电石。

五、主要技术指标

- 1.电石产量 10 万 t/a；
- 2.耗电量 32000 万 kWh/a；
- 3.电石单位产品综合能耗<1.20tce/t 电石。

六、技术鉴定、获奖情况及应用现状

目前国内最大电石炉为贵州有机化工厂引进的日本 35000kVA 电石炉，自然功率因数只能达到 0.70。本项目采用新技术后，自然功率因数可达 0.83-0.88 左右。

七、典型应用案例

技术提供单位：中国电石工业协会

青海东胜化工有限公司，投资 10300 万元，可使电石单位产品综合能耗指标降低 20%-25%达到小于 1.20tce/t 电石。

八、推广前景及节能潜力：

单台年产 10 万 t (55000kVa) 密闭环保节能型电石炉，集国内外最先进的技术，其电石容量及产量均为我国目前最大密闭型电石炉的两倍，其电石单位产品综合能耗较国内现有水平下降 20%-25%。预计未来 5 年该技术在行业内的推广比例可达到 12%，总投资额 22 亿元，节能能力 25 万 tce/a，减排能力 67 万 tCO₂/a。

96 合成氨节能改造综合技术

一、**技术名称：**合成氨节能改造综合技术

二、**技术所属领域及适用范围：**化工行业 中小型氮肥装置

三、**与该技术相关的能耗及碳排放现状**

目前该技术可实现节能量 114 万 tce/a，减排约 301 万 tCO₂/a。

四、**技术内容**

1.技术原理

(1) 吹风气余热回收副产蒸汽及供热锅炉产蒸汽，先发电后供生产用汽，实现能量梯级利用；

(2) 采用国内先进成熟、适用的工艺技术与装备改造的装置。

2.关键技术

(1) 余热发电；

(2) 降低氨合成压力；

(3) 净化生产工艺；

(4) 低位能余热吸收制冷；

(5) 变压吸附脱碳；

(6) 涡轮机组回收动力；

(7) 提高变换压力；

(8) 机泵变频调速。

3.工艺流程

在原有工艺流程的基础上实施综合性改造，也可单项局部进行改造。

五、**主要技术指标**

节电 200-400kWh/t 氨。

六、**典型应用案例**

技术提供单位：中国氮肥工业协会

河南心连心，山东海化盛兴，投资 2100 万元，改造变压吸附装置，年节资金 330 万元/年，投资回收期 6 年。

七、**推广前景及节能减排潜力**

年产 10 万 t 合成氨企业投资 3000-6000 万元，年可节电 2000-4000 万 kWh，投资回收期 3-5 年，增产 6000t/a 氨，创利 600 万元/年。各氮肥企业也可采用其中几项节能措施进行改造。全国如半数企业实施本工程可节电 80 亿 kWh/a。预计未来 5 年该技术在行业内的推广比例可达到 70%，总投资额 62 亿元，节能能力 160 万 tce/a，减排能力 422 万 tCO₂/a。

97 燃煤催化燃烧节能技术

一、**技术名称：**燃煤催化燃烧节能技术

二、**技术所属领域及适用范围：**化工行业 各种工业用燃煤锅炉

三、**与该技术相关的能耗及碳排放现状**

目前该技术可实现节能量 9 万 tce/a，减排约 24 万 tCO₂/a。

四、**技术内容**

1. 技术原理

游离基机理、催化机理及扩散燃烧机理。

2. 关键技术

产品通过提高炉内燃煤燃烧速率，使燃烧更充分，达到节能目的（节煤率 2%-3%）；优化燃煤颗粒的表面性能，促进煤中灰分与硫氧化物反应，达到脱硫作用（二氧化硫减排率大于 25%）；有效减少燃煤锅炉焦垢的生成并除焦、除垢，改善燃烧器工作状况。

3. 工艺流程

使用时，用专用泵喷出与粉煤混合。地点可以选在进料口的输粉管道处，或在输送带输送燃料到锅炉时向煤喷洒，或在称重处向胶带输送机上喷洒。人工/自动控制定速度量供给。

五、**主要技术指标**

添加比例：每 5-6t 煤添加煤燃烧催化剂约 1 升；

节能减排效果：平均节煤率 2%-3%；二氧化硫减排 25%以上。

六、**典型应用案例**

重庆某公司 75t/h 循环流化床，采用 2.5L/h 喷雾计量系统，投资 2 万元（不含燃煤催化剂费用），年节煤约 2000t，二氧化硫减排约 200t。节能经济效益约 100 万元；四川某热电公司 2 台 75t/h 煤粉炉，采用 5L/h 喷雾计量系统，投资 2 万元（不含燃煤催化剂费用），年节煤约 4000t，二氧化硫减排约 400t。节能经济效益约 200 万元。

七、**推广前景及节能减排潜力**

该产品可应用于各种工业用燃煤锅炉。预计未来 5 年该技术在行业内的推广比例可达到 3%，总投资额 75 万元（不含燃煤催化剂费用），节能能力 27 万 tce/a，减排能力 71 万 tCO₂/a。

98 先进煤气化节能技术

粉煤加压气化技术

一、技术名称：粉煤加压气化技术

二、技术所属领域及适用范围：化工行业电力行业（IGCC）、城市煤气等

三、与该技术相关的能耗及碳排放现状

同等产量条件下常压固定床技术：比氧耗 $380 \text{ Nm}^3\text{O}_2/\text{kNm}^3(\text{CO}+\text{H}_2)$ ；有效气成分 $\text{CO}+\text{H}_2$ ，含量 60%-70%；碳转化率 78%；年消耗 71 万 tce。目前该技术可实现节能量 98 万 tce/a，减排约 259 万 tCO_2/a 。

四、技术内容

1.技术原理

粉煤加压气化技术通过将煤炭磨制成干燥的煤粉，用惰性气体连续送入带有水冷壁的气化炉，在 4-6.5MPa 压力和适当的温度条件下，通过精确控制煤、氧和水蒸气等原料的比例、分布等参数，经过一系列的物理化学反应生成以氢气和一氧化碳为主要成分的高温合成气及灰分熔渣，然后，经过激冷、分离、洗涤等工艺过程，分离出熔渣，得到纯净的饱和态合成气体。

2.关键技术

- (1) 干煤粉水冷壁气化加水激冷工艺技术；
- (2) 粉煤浓相加压输送技术；
- (3) 多路煤粉进料、多层冷却结构的单烧嘴顶烧组合燃烧器技术；
- (4) 气化炉设计技术；
- (5) 炉壁测温技术；
- (6) 气化炉炉膛火焰监测系统
- (7) 控制及安保软件系统。

3.工艺流程

固体煤炭-粉煤-加压输送至气化炉- $\text{CO}+\text{H}_2$ 混合气。

五、主要技术指标

比氧耗： $300-360 \text{ Nm}^3\text{O}_2/\text{kNm}^3(\text{CO}+\text{H}_2)$ ；

有效气成分 $\text{CO}+\text{H}_2$ 含量： 89%-91%；

碳转化率：>99%；

冷煤气效率：80%-83%；

煤气化热效率：95%。

六、技术鉴定、获奖情况及应用现状

获国家发明专利，已在河南濮阳龙宇化工 20 万 t/a 甲醇工业示范项目、安徽临泉化工 20 万 t/a 甲醇工业示范项目开车成功，正在实施山东瑞星化工 90 万 t/a 合成氨原料路线技改等项目。

七、典型应用案例

典型用户：山东瑞星化工 90 万 t/a 合成氨项目、河南濮阳龙宇化工 20 万 t/a 甲醇工业示范项目、安徽临泉化工 20 万 t/a 甲醇工业示范项目

技术提供单位：航天长征化学工程股份有限公司

典型案例 1：山东瑞星化工有限公司

建设规模：90 万 t/a 合成氨一期 30 万 t 项目。主要改造内容：采用先进的粉煤加压气化技术改造原有的常压固定床煤气化装置。节能技改投资额 1.6 亿元，建设期 3 年。年节能 6.5 万 tce，取得节能效益 7800 万元，投资回收期 2 年。

典型案例 2：河南濮阳龙宇化工有限公司：

建设规模：20 万 t/a 甲醇工业示范项目。主要改造内容：采用先进的粉煤加压气化技术改造原常压固定床煤气化装置。节能技改投资额 1.6 亿元，建设期 2 年。年节能 4.2 万 tce，取得节能效益 6000 万元，投资回收期 3 年。

八、推广前景及节能减排潜力

预计未来 5 年，该技术在行业内的推广潜力可达到 60%，预计投资总额 160 亿元，节能能力 390 万 tce/a，减排能力 21030 万 tCO₂/a。

非熔渣-熔渣水煤浆分级气化技术

一、技术名称：非熔渣-熔渣水煤浆分级气化技术

二、技术所属领域及适用范围：化工行业 煤制合成气

三、与该技术相关的能耗及碳排放现状

同等产量条件下常压固定床技术：比氧耗 $380\text{Nm}^3\text{O}_2/\text{kNm}^3(\text{CO}+\text{H}_2)$ ；有效气成分 $\text{CO}+\text{H}_2$ 含量 60%-70%；碳转化率 78%；年消耗 71 万 tce。

四、技术内容

1.技术原理

制浆用级配技术，使煤浆浓度比现有技术提高 3%-5%；气化采用非熔渣-熔渣分级气化技术；洗气塔内件改造以减小系统压差；黑水闪蒸系统蒸汽综合利用。

2.关键技术

把一次给氧的连续气化过程分解为两次或多次给氧的气化过程，可改善炉内温度场分布和气化反应条件，提高煤种的适应性；进行全系统技术优化集成，在操作稳定性和装置投资经济性上都具有明显竞争优势。

3.工艺流程

原料通过给料机和燃料喷嘴进入气化炉的第一段，采用纯氧作为气化剂，采用其它气体（如与氧气以任意比混合的二氧化碳，氮气，水蒸汽等）作为预混气体，调节控制第一段氧气的加入比例，使第一段的温度保证在灰熔点以下；在第二段再补充部分氧气，使第二段的温度达到煤的灰熔点以上，并完成全部气化过程。

该技术的要点是：（1）氧气的分级供给，气化炉主烧嘴和侧壁氧气喷嘴分别加氧，使气化炉主烧嘴的氧气量可脱离炉内部分氧化反应所需的碳和氧的化学当量比约束；

（2）由于氧气分级供给，可以采用氧含量从 0%-100% 的不同气体作为主烧嘴预混气体，调整火焰中心的温度和火焰中心的距离，降低气化炉主烧嘴端部的温度。

具体工艺流程见图 1。

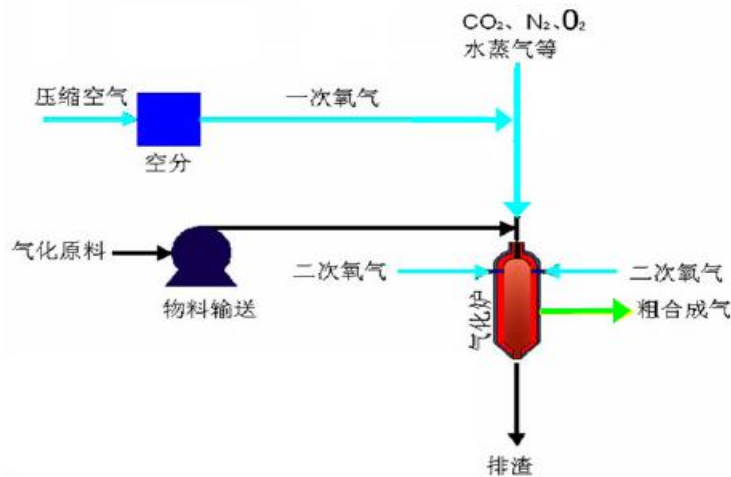


图 1 非熔渣-熔渣水煤浆分级气化技术工艺流程图

五、主要技术指标

比氧耗：361Nm³O₂/kNm³(CO+H₂)；

比煤耗：548Nm³ce/kNm³(CO+H₂)；

碳转化率≥97.5%；

1Nm³ (CO+H₂) 能耗降至 13MJ 以下。

六、技术鉴定、获奖情况及应用现状

2007 年 12 月，该技术通过中国石油和化学工业协会组织的技术鉴定，已在山西喜丰肥业集团公司 10 万 t/a 甲醇生产线上应用，取得良好节能效果。

七、典型应用案例

典型用户：山西阳煤丰喜肥业（集团）股份有限公司

典型案例 1：

建设规模：20 万 t/a 甲醇气化装置。主要改造内容：采用级配磨煤技术、水煤浆分级气化和高压闪蒸蒸汽综合利用。节能技改投资额 1.5 亿元，建设期 2 年。年节能 6 万 tce，与固定床相比年增节能效益 6000 万元，投资回收期 3 年。

典型案例 2：

建设规模：18 万 t/a 合成氨装置。主要改造内容：采用级配磨煤技术、水煤浆分级气化和高压闪蒸蒸汽综合利用。节能技改投资额 1.5 亿元，建设期 2 年。年节能 5.7 万 tce，与固定床相比年增节能效益 5400 万元，投资回收期 3.5 年。

八、推广前景及节能减排潜力

2008 年我国合成氨产量约 5000 万 t，甲醇产量约 1100 万 t，两者折合总氨产品产

量已超过 6000 万 t，消耗能源 1.1 亿-1.2 亿 tce。在这些总氨产品产量中，约 75% 的产量以煤气化为源头，其中约 50% 采用常压固定床煤气化技术。预计未来 5 年可通过技术改造，使先进煤气化技术推广率达到本行业的 30%（共推广 1800 万 t/a 总氨能力规模）。如果其中 1/3 采用非熔渣-熔渣水煤浆分级气化技术，则届时可形成 130 万 tce/a 的节能能力，减排量 343 万 tCO₂/a。

多喷嘴对置式水煤浆气化技术

一、技术名称：多喷嘴对置式水煤浆气化技术

二、技术所属领域及适用范围：化工行业 煤制合成气

三、与该技术相关的能耗及碳排放现状

同等产量条件下常压固定床技术：比氧耗 $380\text{Nm}^3\text{O}_2/\text{kNm}^3(\text{CO}+\text{H}_2)$ ；有效气成分 $\text{CO}+\text{H}_2$ 含量 60%-70%；碳转化率 78%；年消耗 71 万 tce。

四、技术内容

1.技术原理

水煤浆、氧气进入气化室后，相继进行雾化、传热、蒸发、脱挥发分、燃烧、气化等 6 个物理和化学过程，煤浆颗粒在气化炉内经过湍流弥散、振荡运动、对流加热、辐射加热、煤浆蒸发与挥发份的析出和气相反应等，最终形成以 CO 、 H_2 为主的煤气及灰渣。产生的合成气经分级净化达到后序工段的要求，同时采用直接换热式渣水处理系统。

2.关键技术

多喷嘴对置式水煤浆气化技术采用四喷嘴撞击流、预膜式喷嘴，加强混合，强化热质传递。关键技术设备包括：

- (1) 由喷淋床与鼓泡床组成的复合床高温煤气洗涤冷却设备；
- (2) 合成气“分级”净化。由混合器、分离器、水洗塔组成的高效节能型煤气初步净化系统；
- (3) 直接换热式含渣水处理系统；
- (4) 预膜式长寿命高效气化喷嘴；
- (5) 结构新颖的交叉流式洗涤水分布器；
- (6) 国内首次成功实施停运气化烧嘴在线带压投料的操作技术。

3.工艺流程

通过喷嘴对置、优化炉型结构及尺寸，在炉内形成撞击流，以强化混合和热质传递过程，并形成炉内合理的流场结构。主要包括煤浆制备、输送单元，多喷嘴对置式水煤浆气化单元，煤气初步净化单元和含渣水处理单元，其中关键单元为气化、煤气初步净化和含渣水热回收。具体工艺流程见图 1。

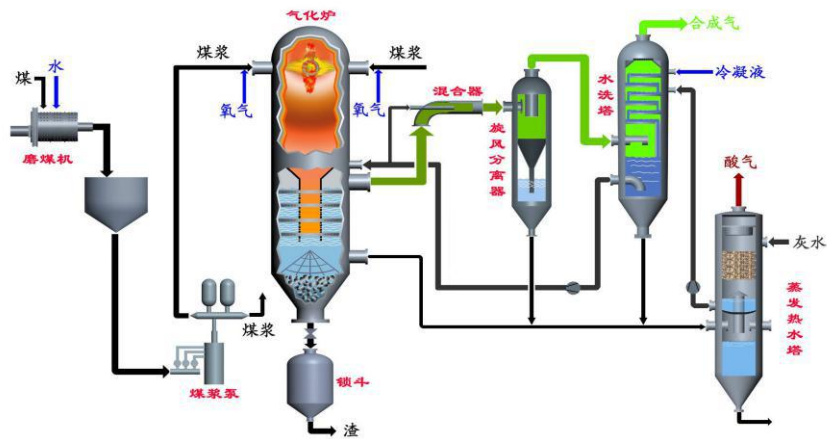


图 1 多喷嘴对置式水煤浆气化工序流程图

五、主要技术指标

与引进的水煤浆气化技术相比，采用该技术可使比氧耗降低 7.9%，比煤耗降低 2.2%。

以北宿煤为原料，合成气有效气成分(CO+H₂)含量 84.9%，比氧耗 309Nm³O₂/1000Nm³(CO+H₂)，降低 7.9%；比煤耗 535kg/1000Nm³ (CO+H₂)，降低 2.2%；碳转化率 98.8%，提高 2%-3%；产气率 2.20Nm³/kg；有效气成分提高 2%-3%；CO₂ 含量降低 2%-3%。

六、技术鉴定、获奖情况及应用现状

2005 年通过中国石油和化学工业协会组织的工业示范装置现场 168 小时连续满负荷运行考核，2007 年获国家科技进步二等奖，并拥有多项专利，具有完全自主知识产权。目前已推广至国内 13 家企业，共 35 台气化炉。与引进的气化技术相比，氧耗节约 7%，煤耗节约 2.2%，有效气成分提高 2%-3%。2008 年 7 月与美国 Valero 公司签订技术许可合同，实现了国产化煤气化技术的首次技术输出。

七、典型应用案例

典型用户：兖矿国泰、兖矿鲁化、华鲁恒升、神华宁煤、江苏索普、江苏灵谷、安徽华谊、滕州凤凰等。

典型案例 1：兖矿国泰化工有限公司：

建设规模：两台日处理 1150t 煤多喷嘴对置式水煤浆气化炉。主要改造内容：配套新建 24 万 t/a 甲醇的煤气制备，节能技改投资额 25000 万元，建设期 2 年。年节能 5.3 万 tce，年节氧、节煤经济效益约 5900 万元，投资回收期 4 年。

典型案例 2：兖矿鲁南化肥厂：

建设规模：一台日处理 1150t 煤多喷嘴对置式气化炉。主要改造内容：配套新建 24 万 t/a 合成氨的煤气制备。节能技改投资额 12000 万元，建设期 2.5 年。年节能 2.4 万 tce，年节氧、节煤经济效益约 3200 万元，投资回收期 4 年。

八、推广前景及节能减排潜力

据统计我国合成氨产量约 5000 万 t，甲醇产量约 1100 万 t，两者折合总氨产品产量已超过 6000 万 t，消耗能源 1.1 亿-1.2 亿 tce。在这些总氨产品产量中，约 75% 的产量以煤气化为源头，其中约 50% 采用常压固定床煤气化技术。预计未来 5 年可通过技术改造，使先进煤气化技术推广率达到本行业的 30%（共推广 1800 万 t/a 总氨能力规模）。如果其中 1/3 采用多喷嘴对置式水煤浆气化技术，则届时可形成 130 万 tce/a 的节能能力，减排量 343 万 tCO₂/a。

99 新型高效节能膜极距离子膜电解技术

一、技术名称：新型高效节能膜极距离子膜电解技术

二、技术所属领域及适用范围：化工行业 氯碱生产

三、与该技术相关的能耗及碳排放现状

2008 年我国烧碱产量（折 100%，下同）为 1852 万 t，居世界第一位。我国烧碱消费以轻工、化工、纺织行业为主，预计今后几年，我国烧碱市场需求将保持继续增长的态势。目前我国烧碱生产工艺主要有两类：离子膜法工艺和隔膜法工艺。其中，单位产品隔膜法烧碱的电和蒸汽消耗量要高于离子膜法烧碱。目前该技术可实现节能量 45 万 tce/a，减排约 119 万 tCO₂/a。

四、技术内容

1. 技术原理

离子交换膜法制氢氧化钠和氯气、氢气的电解原理：电解反应方程式：



2. 关键技术

离子膜法制烧碱技术经历了从普通强制循环到高电流密度自然循环两个阶段。为了进一步降低电耗，目前国内外均已研发出的膜极距离子膜电解槽技术，通过减小极间距达到降低电耗的目的。关键技术为电解槽设计制造技术、电极制造技术。

3. 工艺流程

离子交换膜法制烧碱的工艺流程主要包括 3 个工序：（1）二次盐水精制工序；（2）电解工序（电解和电解液循环）；（3）淡盐水脱氯工序。

五、主要技术指标

设计电流密度（kA/m²）：6.0；

运行电流密度（kA/m²）：5.5；

单元槽电压（V）2.98；

直流电耗（DC-kWh/MT）：2080；

烧碱浓度（Wt%）：32。

六、技术鉴定、获奖情况及应用现状

2008 年，该技术通过中国石油和化学工业协会组织的行业专家评定。引进的膜极

距离子膜电解装置在国内部分氯碱企业已投入运行，利用国内自主开发技术新建或改造现有装置的一些企业正在开展项目前期工作。江苏安邦电化有限公司 20 万 t/a 新型膜极距离子膜法替代原隔膜法烧碱节能改造项目已获中国化工集团批准立项。巴陵石油化工有限责任公司、上海天原华胜化工有限、浙江善高化工有限公司、河南焦作宇航化工公司均在开展试验工作。

七、典型应用案例

典型用户：江苏安邦电化有限公司、河北冀衡化学股份有限公司、宁波东港电化有限责任公司、河北黄骅氯碱责任有限公司

技术提供单位：蓝星（北京）化工机械有限公司

建设规模：20 万 t/a 新型膜极距离子膜法替代原隔膜法烧碱节能改造项目。主要改造内容：对原有 16 万 t/a 隔膜法烧碱生产装置改造成膜极距离子膜烧碱装置，具体改造内容包括：整流、盐水精制及电解、氯氢处理、氯气液化及包装、合成盐酸、蒸发固碱、卤水脱硝、变配电及配套公用工程。节能技改投资额 50270 万元，建设期 2 年。与隔膜法烧碱相比，每年可节能 6.8 万 tce，取得节能经济效益 8046 万元，投资回收期 5.4 年。

八、推广前景及节能减排潜力

目前国内隔膜法烧碱产能约为 800 万 t/a，预计未来 5 年，该技术在行业内的推广潜力可达到 50%，投资总额 26 亿元，节能能力 90 万 tce/a，减排能力 238 万 tCO₂/a。

100 大型高参数板壳式换热技术

一、**技术名称：**大型高参数板壳式换热技术

二、**技术所属领域及适用范围：**石化行业

三、**与该技术相关的能耗及碳排放现状**

目前，以波纹板片作为传热元件的热交换设备代表了换热设备的发展主流方向，愈来愈多的管壳式换热器将被板式换热器或板壳式换热器所替代。现有的板壳式换热器，其板束中截面较大的结构件与较薄的波纹板片传热件之间存在较大的热容差，温度响应速度不一致，由于温度波动大，将产生较大的热膨胀差，因此，在操作时升降温速度必须严格限制。如果非正常开停车，极易造成设备损坏，这种缺陷影响了热交换与热回收设备运行的可靠性，限制了板壳式换热器的使用范围。以 80 万 t/a 连续重整装置进料换热器为例：单台设备回收热负荷达 $3.29 \times 10^7 \text{kcal/h}$ ，传统管壳式换热技术已无法胜任。目前该技术可实现节能量 38 万 tce/a，减排约 100 万 tCO₂/a。

四、**技术内容**

1. 技术原理

采用波纹板片作为传热元件，全焊接式板束装于压力壳内。波纹板片能在较低的雷诺数下形成湍流，且污垢系数低，传热效率为管壳式换热器的 2-3 倍。

2. 关键技术

专用板型；板束进料分配器；大尺寸板片成型；板束焊接；热膨胀结构。

3. 工艺流程

在重整、芳烃、乙烯等装置中，高温反应出料与低温反应进料在进料换热器中换热，从而达到回收大量反应热及节能的目的。换热器原理图及工艺流程图见图 1、图 2。

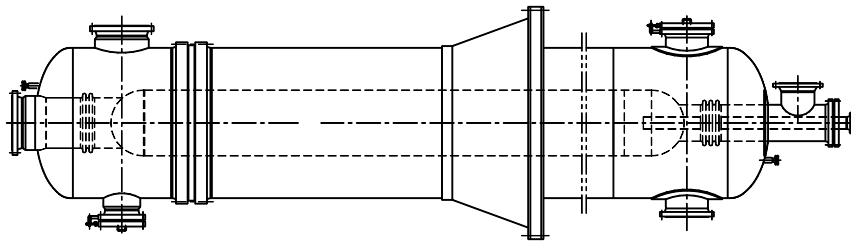


图 1 板壳式换热器原理图

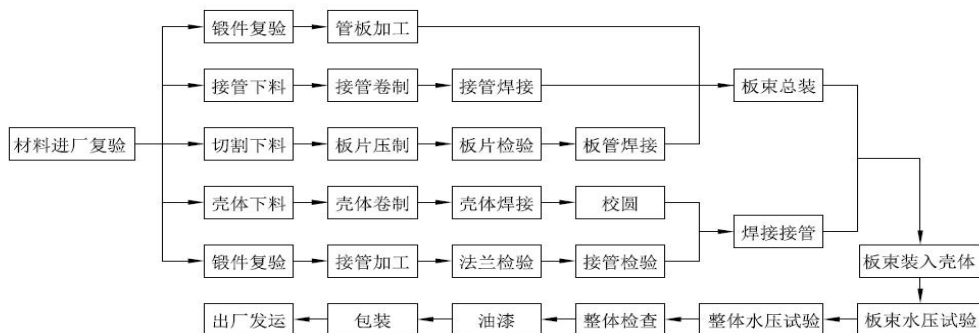


图 2 板壳式换热器工艺流程图

五、主要技术指标

操作压差 $\leq 1.6\text{MPa}$ ，设备总压降 $\leq 71\text{kPa}$ ；操作温度 $\leq 550^\circ\text{C}$ ；单台面积 $50\text{-}10000\text{m}^2$ 。

六、技术鉴定、获奖情况及应用现状

3000m^2 大型板壳式换热器于 2003 年通过专家技术鉴定，鉴定结论达到国际先进水平。 5000m^2 以上级的超大型板壳式换热器计划于 2009 年通过鉴定。板壳式换热器已应用于乌鲁木齐石化、华北石化、抚顺石化、锦西石化、金陵石化、福建炼化、上海石化、和邦化学有限责任公司等多家石化企业，并外销国际市场。目前已累计实现产量 15万 m^2 。

七、典型应用案例

典型案例 1：乌鲁木齐石化公司

建设规模：40 万 t/a 催化重整装置。主要改造内容：以大型板壳式换热器替代原管壳式换热器。节能技改投资 440 万元，建设期 3 个月。按换热器热负荷 $1.85 \times 10^7\text{kcal/h}$ 时计算，每年可节能 21208tce。与同工位管壳式换热器相比，年均可节约燃料油 688t、加热炉操作费用 34 万元、后端空冷器用电量 52.6MWh，折合 1000tce，投资回收期约 2.5 年。

典型案例 2：上海高桥石化公司

建设规模：80 万 t/a 连续重整装置。主要改造内容：以超大型板壳式换热器替代原管壳式换热器。节能技改投资额 1150 万元，建设期 3 个月。与同工况管壳式换热器相比，年均可节约燃料油 2036t，折合 2900tce，投资回收期约 2 年。

八、推广前景及节能减排潜力

近年来，随着国家节能减排政策的日趋严格，迫切需要推出新型高效换热器以满足节能增效及装置大型化的要求。在炼油化工中乙烯、重整、芳烃等装置上，传统管式换热器已无法满足要求，须全部采用板式进出料换热器。与管壳式换热器相比，该技术可将传热效率提高 2-3 倍，多回收 3%-5% 的热量，节省操作费用 30%-50%。应用该技术生产的国产板壳式换热器可摆脱同工位换热器对进口的依赖。板壳式换热器还可广泛应用于冶金、电力、航天、轻工食品、交通运输、城市建设等领域的热交换场合，市场前景巨大。预计未来 5 年，该技术在行业内的推广潜力可达到 80%，预计投资总额 30 亿元，年节能能力 75 万 tce/a，减排能力 198 万 tCO₂/a。

101 炭黑生产过程余热利用和尾气发电（供热）技术

一、**技术名称：**炭黑生产过程余热利用和尾气发电（供热）技术

二、**技术所属领域及适用范围：**化工行业 炭黑生产

三、**与该技术相关的能耗及碳排放现状**

炭黑生成反应后的烟气温度约 1050℃，而炭黑收集滤袋的可承受温度约为 280℃，烟气余热利用的空间较大。原有炭黑生产过程采用 650℃空气预热器，回收 750-530℃区间烟气余热以加热助燃空气，而 1050-750℃和 530-350℃温度区间则采用喷水降温，不仅余热未得到充分利用，而且浪费了大量宝贵的水资源，同时加大了后部设备负荷和酸雾腐蚀，降低了炭黑尾气热值，不利于其综合利用。目前该技术可实现节能量 53 万 tce/a，减排约 140 万 tCO₂/a。

四、**技术内容**

1.技术原理

采用 850℃空气预热器回收高温烟气余热，回收烟气温度区间为 950-630℃。因空气预热器烟气出口温度较高，同时配套余热锅炉回收中温烟气余热，回收烟气温度区间为 600-350℃，可使有效余热利用率从 33.8%提高到 87.6%。提高助燃空气温度可减少燃料消耗，提高装置产能，增设余热锅炉所产蒸汽可满足炭黑装置用汽需求，减少燃煤消耗。

2.关键技术

炭黑烟气的特点是，生成反应终止后的烟气温度仍高达 1000℃，烟气中含有 H₂、CO 等可燃气体，烟气中的炭黑含量约为 100-150g/m³，因此，余热回收设备要安全可靠运行，必须解决冷热介质间温差大造成的热应力问题，防止烟气泄漏燃烧的密封问题，以及炭黑易附壁沉积造成堵管等问题。

850℃空气预热器的关键技术是：新型热膨胀应力补偿和密封结构、阻燃气体隔断空气泄漏以及换热管单管填料密封等创新技术。

在线余热锅炉的关键技术是：新型弧形薄管板结构；管口防冲刷结构；脉冲防堵系统；液位稳定检测系统等创新技术。

3.工艺流程

炭黑反应系统→空气预热器→在线余热锅炉→炭黑收集系统→造粒和包装系统。

经空气预热器与高温烟气换热、温度达到 850℃的助燃空气，进入炭黑反应系统与燃料完全燃烧，提供原料油裂解生成炭黑的高温（1700-1900℃）气体；余热锅炉进一步回收热能产生蒸汽（回用于炭黑生产装置）；之后，通常采用原料油预热器在回收低温热能的同时，满足后部收集滤袋的使用温度要求。

五、主要技术指标

850℃空气预热器：烟气入口温度 950℃，空气预热温度 850℃，空气压力 80kPa。
余热锅炉：设计压力 1.75MPa，烟气入口温度 600℃，烟气出口温度 350℃。

六、技术鉴定、获奖情况及应用现状

该技术获 3 项实用新型专利。余热利用设备已形成系列产品，可满足 1.5 万-4 万吨规模的炭黑装置，已在业内推广 16 套（其中在建 6 套）。

七、典型应用案例

典型用户：中橡集团炭黑工业研究设计院、山西焦化集团有限公司、山西远征化工有限公司、山西宏特煤化工有限公司、云南曲靖众一煤化公司、上海立事化工公司、河北龙星化工集团有限责任公司、河北大光明实业集团有限公司、茂名永业（集团）股份有限公司等。

典型案例 1：中橡集团炭黑工业研究设计院生产基地

建设规模：3000kW 炭黑尾气发电装置。主要改造内容：炭黑尾气集输系统，炭黑尾气专用锅炉。节能技改投资额 1500 万元，建设期 1 年。年节能 8400tce，取得节能经济效益 675 万元，投资回收期 2.5 年。

典型案例 2：河北龙星化工集团有限责任公司炭黑厂：

建设规模：6000kW 炭黑尾气发电装置。主要改造内容：炭黑尾气集输系统，炭黑尾气专用锅炉。节能技改投资额 2900 万元，建设期 1 年。年节能 16800tce，节能经济效益 1485 万元/年，投资回收期 2.5 年。

八、推广前景及节能减排潜力

预计未来 5 年，该技术在行业内的推广潜力可达到 80%，预计投资总额 10 亿元，年节能能力 85 万 tce/a，减排能力 224 万 tCO₂/a。

102 顶置多喷嘴粉煤加压气化炉技术

一、技术名称： 顶置多喷嘴粉煤加压气化炉技术

二、技术所属领域及适用范围： 化工行业 适用于化肥、煤化工、电力（IGCC）、民用（城市燃气）等

三、与该技术相关的能耗及碳排放现状

据统计,我国化工行业生产每年的能源消耗量约占全国能源消费总量的10%左右,其中合成氨行业的能源消耗量约占我国化工行业能源消费总量的25%。以年产30万t合成氨项目为例,采用传统的常压固定床气化技术,比氧耗约为 $380\text{Nm}^3/\text{kNm}^3(\text{CO}+\text{H}_2)$,其中有效气($\text{CO}+\text{H}_2$)含量约60%-70%,碳转化率为78%,年消耗能源约71万tce,是我国化工行业的重点节能领域。该技术通过采用煤粉高压密相输送技术、顶置煤烧嘴及点火烧嘴设计技术、水冷壁式气化炉反应器设计技术、多级闪蒸能量回收技术等,可显著提高合成氨的气化效率和粗合成气中有效气($\text{CO}+\text{H}_2$)的含量。同时,与传统固定床气化合成氨技术相比,具有煤种适应范围广、工艺指标先进、装置稳定可靠、负荷调节范围宽、自动化程度高、建设投资及操作成本低等特点,可为我国劣质煤的清洁高效利用提供可借鉴的解决方案。

四、技术内容

1. 技术原理

原料煤经磨煤干燥单元制备煤粉,密相输送系统将煤粉输送至气化炉顶部的三个煤粉烧嘴内,在烧嘴头部充分均匀混合并保证特有的旋转场,使气化炉内燃烧温度均匀分布,减少热损失,提高气化效率,粗合成气中的一氧化碳和氢气占比可达到90%以上,冷煤气效率可达80%以上,相比传统固定床气化技术进行合成氨生产实现节能。

2. 关键技术

(1) 煤粉高压密相输送技术

通过特殊设计的流化盘和通气锥设备,使用氮气或二氧化碳气体将固体粉煤进行平稳流化。在此基础上,通过特殊设计的角阀,在压差的推动下,获得固体粉状物质连续稳定的高密度输送。

(2) 顶置煤烧嘴及点火烧嘴设计技术

通过特殊的通道和夹层设计,使不同物料在各自通道中以不同的速度和旋转角度

进行输送。特有的出口设计使不同物料在烧嘴头部进行充分均匀混合并保证特有的旋转场，使煤粉气化时能够拥有稳定的燃烧流场和回流场，保证气化炉内燃烧温度的分布均匀性。同时，通过通道和出口孔径数量的设计，使得点火烧嘴能够在常压到高压（4MPa）区间任意进行点火燃烧。

（3）水冷壁式气化炉反应器设计技术

通过盘管环绕方法设计制造气化炉反应器。反应器由水冷盘管构成并涂有耐火泥，外部承压设备为耐压的钢板壁。为达到水冷反应器内外压差一致，在反应器与承压外壳之间设有环形空间，通过特殊的通道设计使反应器与环形空间压力平衡。顶部的特殊对称多通道设计，确保煤粉烧嘴和点火烧嘴的摆放和工作，并保证反应器整体的密封性。

（4）多级闪蒸能量回收技术

使用三级闪蒸设计技术，将带有固体颗粒的高温黑水降温，并将固体物质絮凝沉降，净化黑水使其变成可回用的灰水。在此过程中，将释放的热能通过直接与回用灰水的直接和间接多阶段换热进行回收利用。通过上述方法，保证系统和工艺用水最高效的能量使用。

3. 工艺流程

顶置多喷嘴粉煤加压气化炉技术的工艺流程中包含磨煤干燥系统、煤粉加压输送系统、气化与激冷系统、合成气洗涤系统、排渣系统及黑水处理系统。气化炉顶置多烧嘴结构见图 1，工艺流程见图 2。

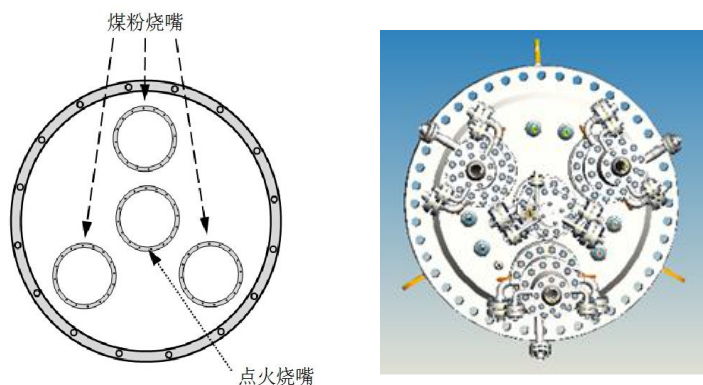


图 1 气化炉顶置多烧嘴分布图

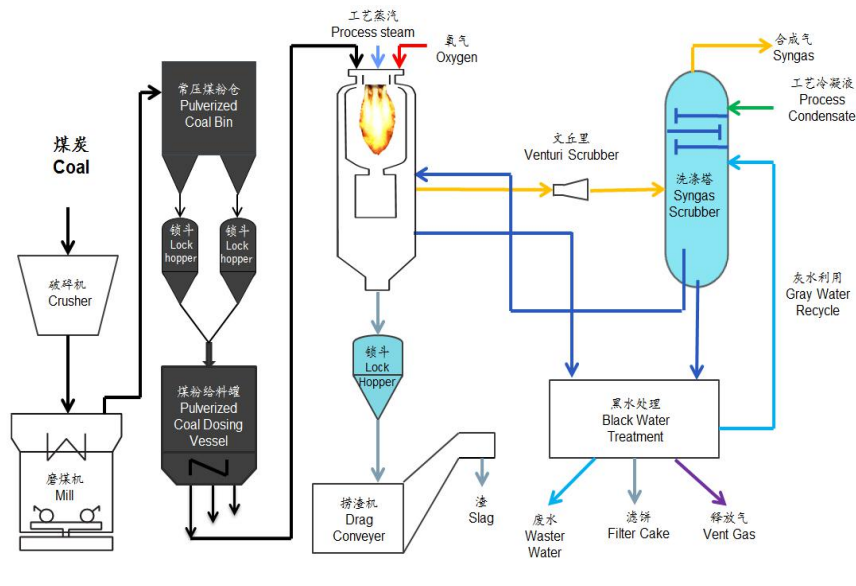


图 2 顶置多喷嘴粉煤加压气化炉技术工艺流程简图

五、主要技术指标

1. 合成气有效气成分(CO+H₂)含量：88%-92%；
2. 比氧耗：310-350Nm³/kNm³(CO+H₂)；
3. 比煤耗：510-580kg/kNm³(CO+H₂)；
4. 碳转化率：96%-99%；
5. 冷煤气效率：78%-82%。

六、技术鉴定、获奖情况及应用现状

该技术已获得国家发明专利 3 项，实用新型专利 3 项。目前已在贵州开阳化工有限公司 50 万 t 合成氨项目成功应用。

七、典型应用案例

典型用户：贵州开阳化工有限公司

典型案例 1

案例名称：贵州开阳化工有限公司 50 万 t 合成氨项目

技术提供单位：科林未来能源技术（北京）有限公司

建设规模：建设 50 万 t/a 合成氨装置。建设条件：采用当地多种“三高”无烟煤（高灰、高灰熔点、高硫），原料煤灰含量在 20%-35%，灰熔点（T₄）在 1300-1560℃，硫含量在 2%-6%。主要技改内容：项目采用 CCG 顶置多烧嘴粉煤气化炉技术，建设 2

套粉煤气化装置，代替传统固定床气化技术。主要设备为粉煤气化炉、粉煤锁斗、粉煤加压给料灌、合成气洗涤塔、渣锁斗等。项目总投资约 25 亿元，比采用传统固定床气化技术增加技改节能投资 5 亿元，建设期 2.5 年。每年可节能 5 万 tce，碳减排 13.2 万 tCO₂，年节能经济效益为 25200 万元，投资回收期约 2 年。

八、推广前景及节能减排潜力

根据中国氮肥工业协会统计，目前固定床常压间歇气化工艺的合成氨产量约 3400 万 t。根据国家现有的产业政策，到 2020 年，以先进煤气化技术替换常压气化 50%产量计算，项目总投资约 825 亿元，可形成的年节能能力约 165 万 tce，年碳减排潜力约 436 万 tCO₂。

103 模块化梯级回热式清洁煤气化技术

一、技术名称：模块化梯级回热式清洁煤气化技术

二、技术所属领域及适用范围：化工行业 煤气化领域

三、与该技术相关的能耗及碳排放现状

目前，国内的建材、冶金、化工等行业广泛的煤气化工艺是固定床煤气炉。传统固定床气化工副产蒸汽的同时，会产生大量容易堵塞设备与管道的焦油，导致生产过程中的余热难以回收利用，碳转化率只有 70%~80%，冷煤气效率只有 60%~70%，大量的热能通过未转化的碳和散热损失等形式排放至环境中，造成大量能源浪费。该技术通过采用梯级余热回收利用、强制循环和耦合气化等技术，不仅有效提升了系统的热效率和冷煤气效率，而且可避免产生黑水，具有良好的环境效益。

四、技术内容

1. 技术原理

在循环流化床气化原理的基础上，优化换热过程，通过一级高温余热回收预热高温气化剂、二级中温余热回收产生气化所需水蒸汽、三级低温余热回收产生热水，实现煤气的梯级余热回收利用与干法降温，并避免湿洗所产生的黑水问题。

2. 关键技术

(1) 梯级余热回收技术

基于对能量品位分级引导梯度划分，使高、中、低温余热回收的冷热流得到合理匹配，降低温度错配造成的不可逆损失，在系统内实现全逆流换热与蒸汽自平衡，使系统冷煤气效率从60%-70%提升至70%-80%，解决了余热利用率低的行业难题。

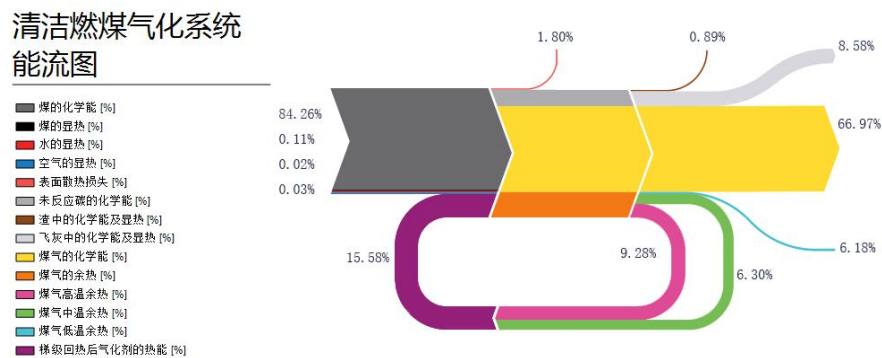


图1 清洁煤气化系统能流图

(2) 基于气力输送的强制循环技术

依据对粉煤反应活性及飞灰形成机理，在旋风自然循环流化床气化炉的基础上，增加飞灰气力输送强制循环模块，可针对原料的特性对气化系统的循环倍率进行优化，将飞灰的产量和含碳量控制在合理范围，解决循环倍率的控制问题。

(3) 耦合气化技术

利用流化床与气流床的互补特性，流化床为气流床提供品质稳定的“干燥粉”——含碳飞灰，气流床为流化床消化带出物，并产生额外的煤气和蒸汽。两者结合可将碳转化率从传统流化床技术的 85%-90%提升至 95%-99%，系统冷煤气效率进一步提升至 80%-90%，加上外供的蒸汽，整体热效率高达 95%以上，解决流化床飞灰残炭问题。

(4) 系统模块化技术

按功能类别将工艺流程划分为多个易于进行标准化、系列化设计且能根据需要进行配置增减的系统级模块，形成以“梯级回热式气化模块”为核心，备煤、除尘、灰输送、渣输送、脱硫、加压、空分、残炭热风炉、残炭锅炉、耦合气化炉等模块为备选配置的系列。通过模块的选择和组合，可以构成从最简配热煤气流程到最高配耦合气化流程系列，满足不同领域适用需求。

3. 工艺流程

该技术的典型工艺流程见图2。

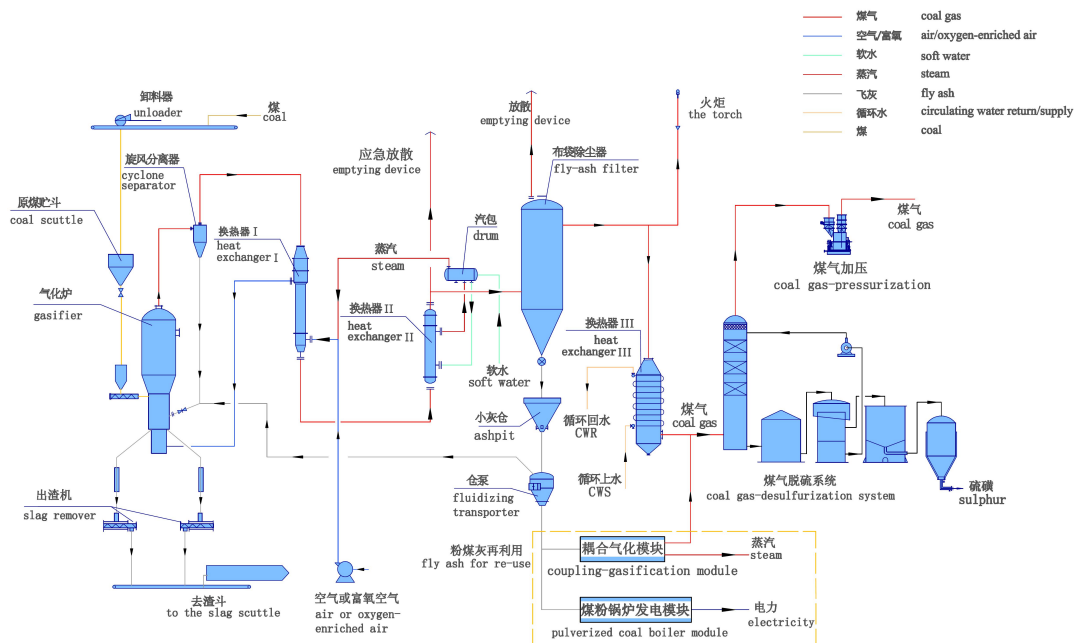


图2 梯级回热式清洁煤气化典型工艺流程图

原煤经破碎处理成10mm以下煤颗粒，通过皮带运至煤斗，由螺旋给煤机送入流化床气化炉，在流化状态下与气化剂在950℃左右发生反应，生成粗煤气从炉顶进入旋

风分离器，大颗粒飞灰被分离后经返料管回到炉内继续反应，渣从炉底排出并输送至渣斗。粗煤气经旋风分离器进入高温换热器与气化剂热交换，温度降至450℃左右，并将气化剂预热至750℃。粗煤气进入余热锅炉与软水进行气水换热，生成饱和蒸汽与空气混合作为气化剂进入高温换热器；粗煤气经余热锅炉温度降至180℃左右，进入布袋除尘器过滤，收集的飞灰部分强制循环回到流化床，部分输送至气流床模块或粉煤锅炉。过滤了飞灰的煤气经省煤器冷却至脱硫温度后进入脱硫系统，除去H₂S后，由加压风机输送至下游用户。

五、主要技术指标

1. 一次碳转化率：85%~90%；
2. 一次冷煤气效率：70%-80%；
3. 综合碳转化率：95%~99%；
4. 综合冷煤气效率：80%~90%；
5. 热效率：≥90%。

六、技术鉴定、获奖情况及应用现状

该技术已获得授权专利 55 项，其中国家发明专利 10 项，国际 PCT 专利 4 项，其中“循环煤流化床煤气化煤气发生炉系统”荣获中国专利优秀奖。同时，该技术于 2009 年通过广东省经济贸易委员会组织的新产品新技术鉴定，2015 年通过工业和信息化部组织的科技成果鉴定。目前，该技术已在沈阳、广西、山西、贵州等地 170 多套清洁煤气化系统上成功应用，效果良好。

七、典型应用案例

典型用户：沈阳科达洁能燃气有限公司、广西信发铝电有限公司、山西信发化工有限公司、山东东岳能源交口肥美铝业有限责任公司等

典型案例 1

案例名称：沈阳市法库陶瓷工业园集中供气项目

技术提供单位：安徽科达洁能股份有限公司

建设规模：清洁工业燃气产量 220kNm³/h，年产 14.26 亿 Nm³ 清洁工业燃气，煤气热值≥1600kcal/Nm³，煤气压力-40kPa。建设条件：原料煤炭来源充足。主要技改内容：新建模块化梯级回热式清洁燃煤气化系统及输气管网，替代工业园各陶瓷企业原有固定床煤气发生炉，包括备煤系统、流化床气化系统、脱硫系统、水处理系统、气力输送系统、制氧系统、煤气加压系统、气流床气化系统、DCS 控制系统等，并铺设

煤气管网。主要设备为球形煤仓、气化炉、脱硫塔、精馏塔、加压风机等。项目投资额 35000 万元，项目建设期 8 个月。每年可节能 11.2 万 tce，碳减排量 29.5 万 tCO₂。每年可节省直接成本 6732 万元，总投资回收期 5.2 年。

典型案例 2

案例名称：广西信发铝电有限公司清洁煤气化系统投建项目

技术提供单位：安徽科达洁能股份有限公司

建设规模：清洁工业燃气产量 200kNm³/h，对应年产 14 亿 Nm³ 清洁工业燃气，煤气热值≥1250kcal/Nm³，煤气压力-30kPa。建设条件：原料煤炭来源充足，外围管道等配套齐全，且有自备电厂锅炉。主要技改内容：新建模块化梯级回热式清洁煤气化系统替代氧化铝厂内原有固定床煤气站，包括备煤系统、流化床气化系统、脱硫系统、水处理系统、气力输送系统、煤气加压系统、DCS 控制系统等，并铺设煤气管网。主要设备为破碎机、气化炉、脱硫塔、仓泵、加压风机等。项目投资额 22600 万元，项目建设期 8 个月。每年可节能 14 万 tce，碳减排量 37 万 tCO₂。每年可节省直接成本 2.4 亿元，投资回收期约 1 年。

八、推广前景及节能减排潜力

目前，清洁煤气化系统已在国内陶瓷、氧化铝等行业成熟应用，可进一步拓展至金属深加工、造纸、纺织等行业以及集中供燃气的工业园区，具有较好的发展前景。预计到 2020 年，该技术的推广比例可达 10%，项目总投资约 60 亿元，可形成的年节能能力约 195 万 tce，年碳减排潜力 516 万 tCO₂。

104 玻璃板式换热器余热回收技术

一、**技术名称：**玻璃板式换热器余热回收技术

二、**技术所属领域及适用范围：**石化行业 加热炉、锅炉等烟气余热回收

三、**与该技术相关的能耗及碳排放现状**

在石化、电力和化工等行业，加热炉的排烟温度通常在 140℃左右，烟气直接排放到大气中会带走大量的热量，导致系统的热效率降低。如果对加热炉排出的高温烟气进行余热回收，当烟气温度低于露点时，会因腐蚀而损坏设备，缩短设备的使用寿命，因此传统余热回收将排烟温度控制在露点以上。在高的排烟温度下，不仅高温烟气会带走大部分热量，而且烟气中的水蒸气也因不能被冷凝释放出潜热，随烟气一起排放。玻璃板式换热器余热回收技术不仅可降低排烟温度，回收烟气中的热量，而且可将烟气中的水蒸气冷凝，回收冷凝水释放的潜热，同时解决设备露点腐蚀问题，可对 120~200℃的低温烟气进行深层次余热回收，从而提高加热炉的效率。目前，采用热管式空气预热器的加热炉效率约 92%，而采用新型玻璃板式换热器技术，加热炉效率可提高至 95%左右，具有较大的节能潜力。

四、**技术内容**

1. 技术原理

采用耐热玻璃作为换热元件，解决烟气对设备的露点腐蚀问题，降低排烟温度，并实现烟气冷凝，回收冷凝水潜热；采用板式换热结构，提高流膜传热系数；采用弹性良好的支撑和密封材料，大大减少板片间的压差和泄漏量。该技术可对 120℃-200℃的低温烟气进行深层次余热回收，与传统管式加换热器相比，节能效果良好。

2. 关键技术

(1) 换热器防腐技术

采用耐热玻璃作为换热元件，可抵抗除氢氟酸外其他所有酸性物质的腐蚀，抗腐蚀性能优异，解决了烟气露点腐蚀问题，使烟气冷凝换热器成为现实。

(2) 高效换热技术

采用板式结构，气-气换热，玻璃表面光滑，对流膜传热系数高，传热效率较管式换热器高 20%，且压降阻力低。

(3) 高密封性技术

采用多重密封材料混合密封，板片间的压差小于 10kPa，泄漏量小于 0.3%。

(4) 玻璃防破裂技术

采用弹性良好的支撑和密封材料，具有减震和柔性支撑功能，板片可在刚性框架内自由涨缩，应力变形破坏小，很难出现失效破裂，可在-40℃~250℃之间使用。

(5) 在线清洗技术

采用在线水洗装置，在不拆卸模块的条件下，进行清洗，防止结垢和堵塞。

3. 工艺流程

玻璃板式换热器余热回收流程图见图 1。

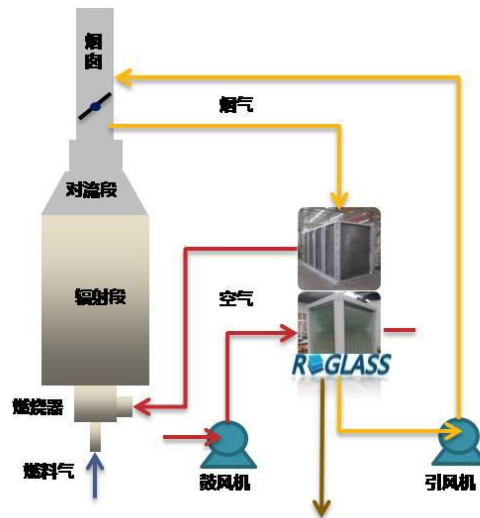


图 1 玻璃板式换热器余热回收流程图

玻璃板式换热器外观见图 2。



图 2 玻璃板式换热器

五、主要技术指标

1. 和管式换热器相比，将排烟温度降到露点以下，可使加热炉效率提高 2%~3%；
2. 使用压力 $\leq 10\text{kPa}$ ，温度为-40℃~250℃，预期使用寿命 20 年；
3. 传热效率较管式换热器提高 20%以上；

4. 冷凝液可吸收烟气中 50%的 PM_{2.5} 以下烟尘、90%的 SO_x 和大量 NO_x。

六、技术鉴定、获奖情况及应用现状

该技术已获得国家发明专利 4 项，实用新型专利 2 项，外观专利 1 项，注册商标 1 项，并于 2014 年通过河南省科学技术厅的科技成果鉴定。目前，已在山东恒源、中石化茂名分公司、乌鲁木齐石化等 10 家企业成功应用。

七、典型应用案例

典型案例 1

案例名称：茂名石化 240 万 t 渣油加氢加热炉板换余热回收项目

技术提供单位：洛阳瑞昌石油化工有限公司

建设规模：240 万 t 渣油加氢装置空气预热器。建设条件：烟气入口 175℃，出口 98℃；空气入口 25℃，出口 101℃。主要技改内容：渣油加氢装置原有一台热管式空气预热器来进行余热回收，排烟温度 110℃左右，有严重的堵塞、低温腐蚀现象，热管失效严重，设备维护费高。在不改动风机、烟道的情况下，选用玻璃板式空气预热器替代原有的热管式空气预热器，对烟气余热回收系统进行改造，排烟温度降至 97℃。主要设备：玻璃板式空气预热器。项目投资额 90 万元，建设期 12 个月。每年可节能 1343tce，碳减排 3546tCO₂，年节能经济效益为 220 万元，投资回收期约 5 个月。

典型案例 2

案例名称：山东恒源石化 1.5 万标立/小时制氢加热炉烟气余热回收项目

技术提供单位：洛阳瑞昌石油化工有限公司

建设规模：1.5 万标立/小时制氢加热炉烟气余热回收系统。建设条件：烟气入口 680℃，出口 560℃，空气入口 280℃，出口 460℃。主要技改内容：1.5 万 Nm³/h 制氢加热炉烟气余热回收系统采用金属板式空气预热器对高温烟气进行余热回收，使高温烟气由 680℃降低至 560℃，同时将空气由 280℃升温到 460℃,回收利用热量 1.8MW。主要设备：非焊接金属板式空气预热器。项目投资额 90 万元，建设期 6 个月。每年可节能 1937tce，碳减排 5114tCO₂，年节能经济效益 320 万元，投资回收期约 4 个月。

八、推广前景及节能减排潜力

玻璃板式换热器具有热回收效率高、防露点腐蚀等优点，在石化、电力和化工等行业具有广阔的推广前景。预计未来 5 年，该技术的推广比例可达 20%以上，项目总投资 1.5 亿元，可形成的年节能能力约 16 万 tce，年碳减排能力约 42 万 tCO₂。

105 封闭直线式长冲程抽油机节能技术

一、**技术名称：**封闭直线式长冲程抽油机节能技术

二、**技术所属领域及适用范围：**石化行业，石油开采

三、**与该技术相关的能耗及碳排放现状**

目前，我国约有 22 万口油井，绝大部分采用传统游梁式抽油机，初步估算每天耗电量约为 1.06 亿千瓦时，能耗巨大。该技术克服了游梁式抽油机存在的平衡效果差、曲柄净扭矩脉动大、存在负扭矩、载荷率低和能耗大等缺点，采用塔架式全封闭布置、直线运动、平衡配重和高效变速传动等技术，具有长冲程、低冲次、悬点负荷大等特点，可提高抽油产量 15%以上，大大降低生产能耗，节能效果显著。

四、**技术内容**

1. 技术原理

采用定滑轮原理，抽油机的天轮一侧连接抽油杆，另一侧连接配重箱，两侧平衡度较高且便于调节，使抽油机平稳运行，且载荷在大部分时间相对恒定，其波峰和波谷的载荷变化波动范围很小，使电动机有效运行；采用封闭箱内双循环链条传动，可靠性强；采用扇形传动原理，使半径不同的主、从循环链轮，形成一个扇形结构，使上下直线运行的抽油杆可在运行中变速，延长油杆在顶端停留的时间，提高抽油泵的充满度系数和排量系数，进而提高泵效，增加产量。与传统游梁式抽油机相比，节能效果显著。

2. 关键技术

(1) 定滑轮技术

基于定滑轮原理，抽油机的天轮起到定滑轮的作用，一侧连接抽油杆，另一侧连接配重箱，两侧平衡度较高且便于调节，经过调节后其平衡率最高可达到 98%，从根本上解决了传统游梁式抽油机平衡不好、大马拉小车的问题。

(2) 对称循环链条抽油机传动技术

采用封闭箱内双循环链条传动，换向轴两端分别与两条链固定连接，双链条拖动循环换向轴带动配重箱竖直运行，运行平稳，受力均衡，杜绝了其他类似直线式抽油机单排链与悬臂轴连接方式易发生损毁事故的情况。同时，链条下端浸入底部油池，换向轴循环一次浸油一次，保证润滑，提高传动效率，部件寿命长。

(3) 沿扇形边沿传动链条与井杆运动抽油技术

采用半径不同的从循环链轮和主循环链轮，形成一个扇形结构，当循环轴运行到主循环链轮时行走路径较长，实现上下直线运行的抽油杆在运行中变速，相应抽油杆在顶端停留的时间较长，不仅降低了抽油杆柱的相对变形值，也减少了抽油泵柱塞的冲程损失，提高抽油泵的充满度系数和排量系数，进而提高泵效，使增加产量。

(4) 封闭箱体抽油机的悬绳器技术

采用悬绳器装置，通过拧动调节螺母调节固结在调节螺栓中心孔的悬绳来调整悬绳架的平行位置，并调节固定在悬绳架上的井杆位置，保证井杆垂直投进油井中。

(5) 托轮移位装置的橡胶托轮技术

装置以托轮、橡胶环、轴承和托轮轴所组成。托轮顶部的圆环沟槽装入橡胶环、轴承装入在托轮两侧的凹形圆窝内，托轮轴装入在轴承的中心孔中，托轮轴是封闭箱体抽油机托轮移位装置的配套产品，由于钢丝绳在环形橡胶的沟槽内运行，减少钢丝绳的磨损，延长钢丝绳的使用寿命，同时由于环形橡胶的弹力作用，使井杆在运行至上止点时停留时间增大，导致石油受压缩的能量得到充分释放，使采油产量的增加。

(6) 悬绳连接器装置技术

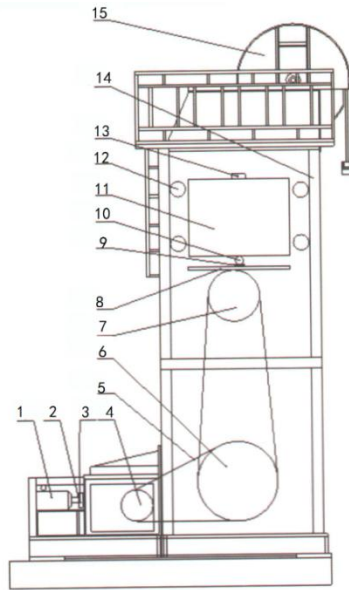
悬绳连接器装置由配重箱、钢丝绳和井杆之间的连接器组成，拧动任意一个调节螺母，可以调节任意一个钢丝绳的长度，技术维修方便，省时间，省费用。

(7) 配重箱体装置技术

在装置中，配重箱体两侧上端和下端固结着箱耳，箱耳的孔内装入滚动轴，滚动轴装入在滚动轮孔内，滚动轮顶部与滑道相接触、滚动轮和滑道是滚动摩擦，配重箱体底部固结着上滑道和下滑道，循环轴轮装在其中，循环轴装入在循环轴轮中心孔内，以滚动轴、滚动轮、循环轴、循环轴轮均是滚动运动，比滑动摩擦减少摩擦力。

3. 工艺流程

该技术主要装备的结构简图见图 1。



1. 电机 (380V/7.5kW) 2. 制动器 3. 联轴器 4. 传动装置 5. 链条 6. 大链轮
7. 中链轮
8. 滑道 9. 滑块 10. 换向轴 11. 配重箱 12. 导轮 13. 悬绳器 14. 箱体 15. 大天轮

图 1 封闭直线式长冲程节能型抽油机示意图

五、主要技术指标

1. 悬点载荷：100kN-140kN；
2. 电动机功率：7.5kW-22kW；
3. 扭矩：17.4kN·m-25kN·m。

六、技术鉴定、获奖情况及应用现状

该技术已获得国家实用新型专利 7 项，并于 2011 年 12 月获得国家质量监督总局颁发的全国工业产品生产许可证，以及国家石油天然气股份有限公司油田节能监测中心等机构出具的检测检验报告。目前，该技术已在中国石油辽河油田高升采油厂、锦州采油厂应用 8 台，连续运行 7 年以上，实际运行稳定可靠，节能效果显著。

七、典型应用案例

典型用户：中国石油辽河油田高升采油厂、辽河油田公司锦州采油厂

典型案例 1

案例名称：辽河油田高升采油厂示范工程项目

技术提供单位：辽阳市天明机械制造有限公司

建设规模：7 台封闭直线式长冲程节能抽油机。建设条件：更换原有抽油机，无

其他限制条件。主要建设内容：将原有游梁式抽油机拆除后，更换为封闭直线式长冲程节能抽油机。主要设备为封闭直线式长冲程抽油机。项目总投资 200 万元，项目建设期 2 个月。项目年节能量约 107tce，碳减排量 252tCO₂。年经济效益 450 万元，投资回收期约 6 个月。

典型案例 2

案例名称：辽河油田锦州采油厂示范工程项目

技术提供单位：辽阳市天明机械制造有限公司

建设规模：1 台封闭直线式长冲程节能抽油机。建设条件：更换原有抽油机，无其他限制条件。主要建设内容：将原有游梁式抽油机拆除后，更换为封闭直线式长冲程节能抽油机。主要设备为封闭直线式长冲程抽油机。项目总投资 30 万元，项目建设期 15 天。项目年节能量约 12tce，碳减排量 29tCO₂。项目年经济效益 135 万元，投资回收期约 3 个月。

八、推广前景及节能减排潜力

该技术可以替代传统游梁式抽油机，用于新建常规油井、深井、稠油井、高凝井、低渗透油井等，应用空间广阔。预计至 2020 年，该技术可在行业内的推广比例可达 5%，总投入约 30 亿元，可形成的年节能能力约 18 万 tce，年碳减排潜力约 42 万 tCO₂。

106 热超导陶瓷涂层节能技术

一、**技术名称：**热超导陶瓷涂层节能技术

二、**适用范围：**电力、石化等行业 锅炉、炉窑等热工设备

三、**与该节能技术相关生产环节的能耗现状**

在我国工业领域中，炼钢熔炼炉、电站锅炉、石化炼化炉、余热利用炉、电发热元件等热工设备使用非常广泛，其中保温材料的性能是决定这些热工设备能耗高低的重要因素之一。利用高性能保温材料对工业窑炉等进行改造，是减少热工设备的热损失、提高能源利用效率的重要措施之一。该技术通过采用在工业炉窑受热面表面喷涂一层热超导陶瓷涂层，提升受热面的辐射换热能力及耐腐蚀、耐磨损性能，施工简单可靠，节能效果良好。

四、**技术内容**

1. 技术原理

采用常温喷涂的方法，在炉窑等受热面喷涂一种纳米级的热超导浆料，经常温干燥固化和随炉升温烧结后，在受热面表面形成一层超薄的高发射率涂层，同时具有导热性好、耐高温腐蚀、抗沾污结渣、自清洁度高、抗热震性强等特点，不仅提升了受热面的辐射换热能力，而且可解决锅炉在高温条件下因复杂燃料燃烧产生的腐蚀及结渣问题，实现节能。

2. 关键技术

(1) 纳米微粒子技术

涂层填料的微纳米化，有利于粉料与基材结合和渗透，表面平整，为宽波段的热反射提供基础保障，可以提高涂层的致密性，有利于涂层保护基材，起到抗沾污结渣作用。

(2) 复合发射剂技术

不同材料在不同温度范围内发射率不同，不同材料的复合可提高在宽波段范围内的发射率，并保持不衰减，提高换热效率。

(3) 系统粘结剂技术

调节不同粘结剂比例复合搭配，适用于不同基材不同温度高强度粘接，确保涂层与基材粘结可靠性。

3. 工艺流程

涂料制备工艺路线图见图1。

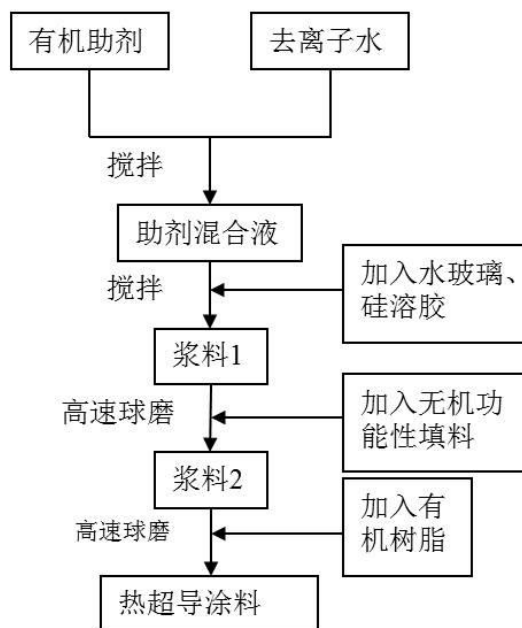


图1 热超导涂料制备工艺流程图

热超导陶瓷涂层的制备工艺路线图见图2。

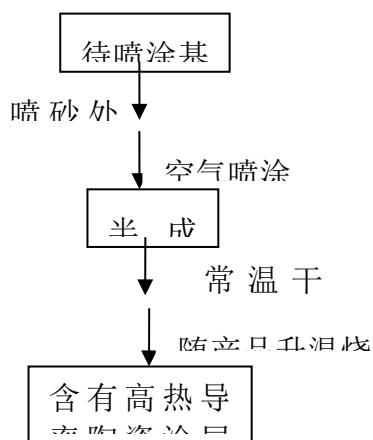


图2 热超导陶瓷涂层制备工艺路线图

五、主要技术指标

1. 陶瓷涂层喷涂厚度：0.02mm~0.10mm；
2. 陶瓷涂层热导率：6W/m·K~15W/m·K；
3. 陶瓷涂层发射率：0.90~0.95；
4. 陶瓷涂层耐用温度：200℃~1900℃。

六、技术鉴定与应用情况

该技术已获得国家发明专利2项。于2012年通过中国石油化工股份有限公司的科

技成果评定，2016 年通过工信部的科技成果鉴定及中国电力企业联合会的科技成果评审；2015 年先后获得中国计量科学研究院和国家耐火材料质量监督检验中心出具的测试报告。目前，该技术已在陕煤集团、李锦记（新会）食品有限公司、株洲冶炼集团等 30 多个工程项目上实施应用。

七、典型用户及投资效益

典型用户：陕煤集团神木张家峁煤矿、李锦记（新会）食品有限公司、株洲冶炼集团股份有限公司、佛山索奥斯玻璃有限公司、大唐耒阳电厂等

典型案例 1

案例名称：陕煤集团神木张家峁煤粉锅炉节能改造项目

技术提供单位：广东华材实业股份有限公司

建设规模：两台 20t/h 煤粉锅炉改造。建设条件：煤粉锅炉改造。主要技改内容：通过在辐射换热面（金属和非金属基质）表面喷涂 0.05-0.1mm 厚的热超导陶瓷涂层。主要设备：锅炉耐火衬里、过热器。节能技改投资额 64 万元，建设期为 1 个月。项目年节能量约 1992tce，碳减排量约 5258tCO₂。年节能经济效益约 60 万元，投资回收期约 7 个月。

典型案例 2

案例名称：株洲冶炼集团阴极熔炼炉节能改造项目

技术提供单位：广东华材实业股份有限公司

建设规模：1 台熔铅阴极熔炼炉,产量 1 万 t/年。建设条件：对现有冶炼锅炉进行改造。主要技改内容：在阴极熔炼炉的铸锅向火面喷涂热超导陶瓷涂层，解决铅锅长期高温下因燃料中硫份因素引起的锅底表面结焦、腐蚀换热效率低的问题。主要设备：锅炉耐火衬里。节能技改投资额 15 万元，建设期为 7 天。项目年节能量约 39tce，碳减排量约 102tCO₂。年节能经济效益约 15 万元，投资回收期约 13 个月。

八、推广前景和节能潜力

热超导陶瓷涂层具有较高的热导率和发射率，较强的自洁性能，在解决燃煤锅炉结焦结渣、高温腐蚀，提升锅炉效率方面作用明显，具有广阔的应用前景。预计到 2020 年，该技术的市场推广比例可达 3%，项目总投资约 2.7 亿元，可形成的年节能能力约 90 万 tce，年碳减排潜力 238 万 tCO₂。

107 乏汽与凝结水闭式全热能回收技术

一、技术名称：乏汽与凝结水闭式全热能回收技术

二、技术所属领域及适用范围：石化行业 使用蒸汽进行间接加热的热交换系统

三、与该技术相关的能耗及碳排放现状

目前我国 60% 的乏汽与凝结水未被回收，每年被作为废汽/水排放的乏汽与凝结水总量约为 4.5 亿 t。目前该技术可实现节能量 18 万 tce/a，减排约 48 万 tCO₂/a。

四、技术内容

1. 技术原理

将蒸汽放热后形成的凝结水收集至集水罐进行汽水分离后，采用由 PLC 控制的离心泵以全密闭方式自动加压输送至规定位置，对其余热余压进行回收再利用。产品由多路共网器、集水罐、离心泵、自控柜、PLC 控制器及通用阀门等构成。

2. 关键技术

凝结水回收过程中汽水分离、消除汽蚀、多路共网、自力增压、自动感应、数字控制技术；乏汽回收热交换过程中乏汽瞬时液化连续控制技术。

3. 工艺流程

蒸汽凝结水闭式回收装置主要由闪蒸罐、多路共网器、自力增强器、喷吸器、集水罐、管道元件、电动泵、电控等组成。具体见图1、图2。

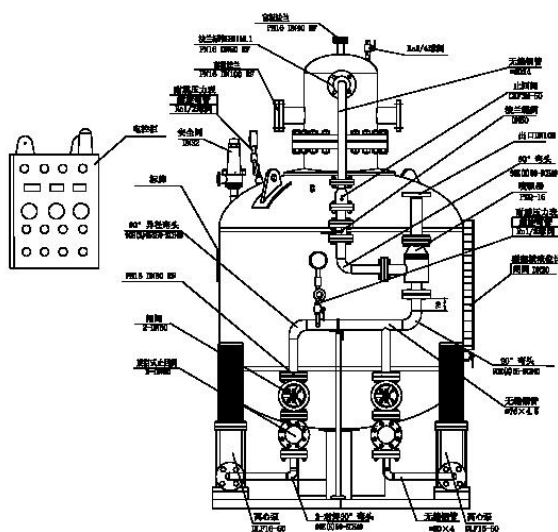


图 1 凝结水闭式全热能回收装置设备结构简图

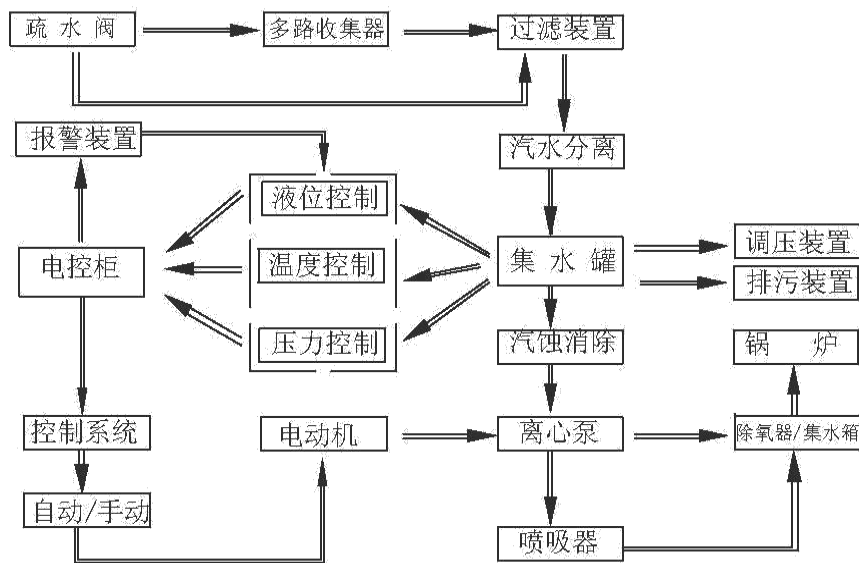


图 2 凝结水回收过程工艺流程图

五、主要技术指标

最大回收量 5-300t/h，最高工作压力 1.6MP，最高回收凝结水温度 170℃。

六、技术鉴定、获奖情况及应用现状

该技术经甘肃省科技厅组织的科技成果鉴定，认为达到国内领先水平。该技术已应用于内蒙古天野化工(集团)有限责任公司甲醇车间凝结水回收系统改造、吉林石化公司丙烯腈厂第一、二套丙烯腈装置改造等项目。

七、典型应用案例

典型用户：吉化、广州石化。

典型案例 1：吉林石化公司丙烯腈厂：

主要技改内容：四套凝结水回收装置。节能技改投资额 600 万元，建设期 6 个月。年节能量 8847tce，节能经济效益 708 万元，投资回收期 1 年。

典型案例 2：广州石化：

建设规模：500 万 t 炼油。主要技改内容：裂解装置安装 6 套凝结水回收装置。节能技改投资额 800 万元，建设期 4 个月。年节能 13000tce，节能经济效益 1040 万元，投资回收期 1 年。

八、推广前景及节能减排潜力

以石化和化工行业为例，预计未来 5 年，该技术在行业内的推广潜力可达到 50%，投资总额 29 亿元，节能能力 90 万 tce/a，减排能力 238 万 tCO₂/a。

108 纳米陶瓷多空微粒绝热节能材料涂层技术

一、技术名称：纳米陶瓷多空微粒绝热节能材料涂层技术

二、技术所属领域及适用范围：石化行业 通用于油气储存设备、运输设备、生产设备等

三、与该技术相关的能耗及碳排放现状

油品储存温度愈高，且罐内温差愈大时，油料蒸发愈严重。在相同温度和密封条件下储存同一种汽油，装油量为油罐容积 20% 时的蒸发损失比装油量为油罐容积 95% 时大 8 倍；油罐的密封程度对蒸发损耗也有影响，一座 5000m³ 油罐，因孔盖不严密引起自然通风，一个月内可损失汽油 5.3×10⁴kg，损失原油 2.8×10⁴kg；储油罐大小呼吸损耗，大呼吸次数愈多，油料蒸发损耗愈大。在蒸发损耗中，小呼吸损失约占 10%。有关资料表明：一座 10000m³ 地上金属罐储存汽油，每年小呼吸损失可达 117t，损失率为 1.7%。目前该技术可实现节能量 4 万 tce/a，减排约 11 万 tCO₂/a。

四、技术内容

1. 技术原理

采用纳米级的多空陶瓷微粒为主要原料，该产品具有低导热系数（ $k=0.015$ ）及高辐射率（88%）、高反射率（97%）等特点。将该产品喷涂到设备表面，使设备表面热辐射及红外温度迅速反射及辐射掉，不会或减低形成温度场。

2. 关键技术

纳米陶瓷多空微粒绝热技术、附加复合防腐性能设计、水性环保涂料工艺、超长耐老化及使用年限、具有耐高温性能及防静电设计等。

3. 工艺流程

设备表面处理清洁后，直接将该产品按 0.25mm 厚度用无空气喷涂机按序喷涂，喷涂两遍后喷涂保护面漆，使得设备表面长时间洁净，降低表面温度。

五、主要技术指标

导热系数：0.110W/mk，耐酸性（53% HCl 溶液）：168 小时无异常；耐碱性（20% NaOH）：300 小时无异常；防水性：（0.3MPa，0.5h）：不透水；环保：不含可溶性铅、镉、铬、汞等重金属，不含苯，游离甲醛含量低于指标要求；抗老化：有超常使用年限。

六、技术鉴定、获奖情况及应用现状

该技术通过国家建筑科学院建筑材料鉴定中心的全项检测,已在我国塔里木油田、吐哈油田野营房和储油罐、中东地区 80% 的油罐及相关油田设备上得到推广应用。

七、典型应用案例

典型用户：塔里木油田、吐哈油田油气储罐及野营房

典型案例 1

建设规模：超过 8 万 m² 储罐及设施绝热改造。主要改造内容：95 套原油、成品油等储罐及设施采用 0.6mm 厚的涂料涂层,将环境中的大部分日照热量反射或辐射出去,降低罐体表面温度,减少“呼吸”现象所逸出的油气。节能技改投资额 1865 万元,建设期 4 个月。节能量：1 万 m² 原油储罐（环境温度 31.5℃ 时）减少损耗 0.113t/d, 500 m² 溶剂油储罐（环境温度 21℃ 时）减少损耗 0.015t/d, 2000 m² 石脑油储罐（环境温度 20.7℃ 时）减少损耗 0.15t/d, 250 m² 柴油储罐（环境温度 21℃ 时）减少损耗 0.0005t/d。每年总计可减少 2596t 原油、52t 凝析油、434t 汽油和 46t 溶剂油的损耗,折合 4484tce, 取得节能经济效益 708 万元,投资回收期 2.5 年。

典型案例 2

建设规模：8 套、264 间野营房绝热改造。主要改造内容：对钻井队的 8 套共 264 间生活营房喷涂绝热保温涂料以降低夏季室内温度。节能技改投资额 500 万元,建设期 3 个月。全年可节电 370 万 kWh,折合 1235tce,取得节能经济效益 220 万元,投资回收期 2.5 年。

八、推广前景及节能减排潜力

该技术在石油石化工业、海上采油设备的绝热、防腐、防盐雾等方面的应用可取得显著节能效果,油田装备、野营房、石油/天然气管道、铁路/公路油料运输车,采油场温度敏感设备器材等均是该产品的潜在市场,应用领域广泛。预计未来 5 年,该技术在行业内的推广潜力可达到 30%,投资总额 4 亿元,节能能力 10 万 tce/a,减排能力 26 万 tCO₂/a。

109 油田采油污水余热综合利用技术

一、**技术名称：**油田采油污水余热综合利用技术

二、**技术所属领域及适用范围：**石化行业 油田、化工等行业

三、**与该技术相关的能耗及碳排放现状**

原油中含有约 85%的污水需降温后回灌，而在生产和生活中需要的中温热水主要依靠直接燃烧油气获得，能耗大，能效低。国内原油产量近 2 亿 t，如果陆上生产的原油按 1.5 亿 t 计算，采油过程中将产生 8.5 亿 t 温度约为 50℃的采油污水。目前该技术可实现节能量 2 万 tce/a，减排约 5 万 tCO₂/a。

四、**技术内容**

1.技术原理

利用油田伴生气或者原油作为驱动热源，采用直燃式热泵技术，回收污水中的热量制取中温热水，用于外输原油加热器和油管道伴热，或者采油区的生活供暖。

2.关键技术

- (1) 系统优化设计技术；
- (2) 低温热水余热回收技术；
- (3) 高效传热传质技术；
- (4) 高真空技术；
- (5) 发生器结构技术；
- (6) 屏蔽泵变频技术；
- (7) 智能控制技术。

3.工艺流程 具体工艺流程见图 1。

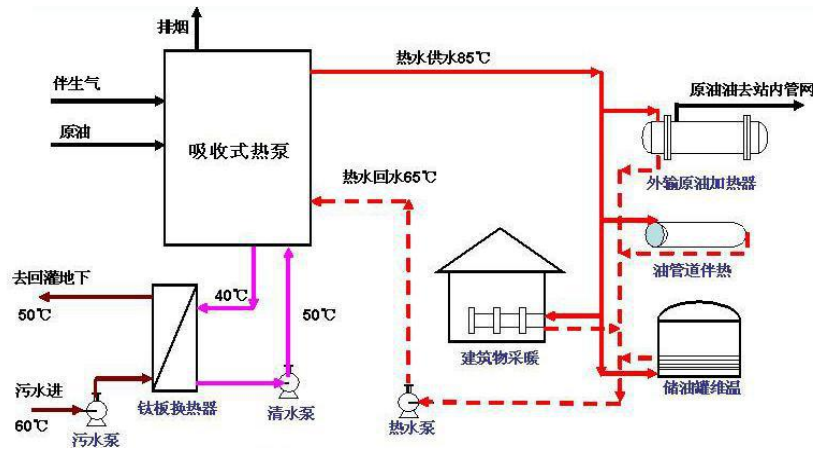


图1 油田采油污水余热综合利用工艺流程图

五、主要技术指标

采油废水余热利用率达到 30%，直燃式热泵的 COP 为 1.7。

六、技术鉴定、获奖情况及应用现状

2010年5月通过江苏省经济和信息化委员会和无锡市科技局联合组织的新产品和科技成果鉴定，鉴定结论为主要性能指标达到国际先进水平。拥有全部自主知识产权，已在华北油田采油厂成功实施，节能效果显著。

七、典型应用案例

典型用户：华北油田公司第一采油厂

技术提供单位：双良节能系统股份有限公司

建设规模：2×2910kW 油田污水余热综合利用系统。主要技改内容：增设采油污水余热利用系统及相关优化控制设备。节能技改投资额 800 万元，建设期 9 个月。每年可节约 2257tce，年节能经济效益 230 万元，投资回收期 3.5 年。

八、推广前景及节能减排潜力

该技术节能效果明显，如果在油田开采、化工等行业广泛应用，可大幅降低能耗水平。预计未来 5 年，该技术在行业内的推广潜力可达到 30%，投资总额 13 亿元，节能能力 35 万 tce/a，减排能力 92 万 tCO₂/a。

110 换热设备超声在线防、除垢技术

一、**技术名称：**换热设备超声在线防、除垢技术

二、**技术所属领域及适用范围：**石化行业 换热设备

三、**与该技术相关的能耗及碳排放现状**

我国石化行业现存的换热设备超过30万台，长期以来这些设备的防垢、除垢问题一直没有很好的解决办法，换热设备普遍在带垢0.2-10mm厚度之间的状态下运行。垢的导热系数(一般均在 $1 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ 左右)仅为换热器金属管壁的几十分之一。据行业统计，垢质每年在换热设备和管道中的沉积厚度约为4mm，换热设备积垢每增加1mm，传热系数下降9%-9.6%，能耗和排放将增加10%以上，同时带来生产效率下降、垢下腐蚀缩短设备寿命、安全隐患等一系列问题。目前该技术可实现节能量1万tce/a，减排约3万tCO₂/a。

四、**技术内容**

1.技术原理

超声脉冲振荡波在换热器管、板壁传播，在金属管、板壁和附近的液态介质之间产生效应，破坏污垢的附着条件，防止换热设备在运行过程中结垢，提高换热设备传热能力，降低达到同样工艺要求所需的能耗量，实现节能目的。

2.关键技术

- (1) 强磁致伸缩新型换能器技术；
- (2) 超声波声学参数调测和数字控制技术；
- (3) 不同应用环境超声波声学参数定向设计技术。

3.工艺流程

- (1) 超声波防垢原理见图 1

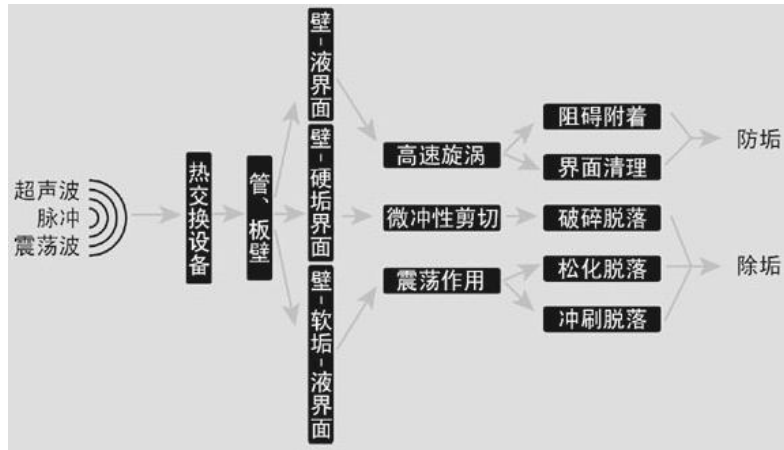


图 1 超声波防垢原理图

(2) 超声波防垢机理

高速微涡效应：

由于超声波频率很高，在管、板壁传播时形成很高的加速度，作用于与管、板壁直接接触的流体介质时，会出现一个微小的真空区域。真空区域刚一形成，附近介质在压力的作用下就会迅速涌向这一区域来填补真空，形成许多微小的涡流，这些涡流与生产同时进行，对壁面形成不间断的冲刷，这就是高速微涡效应。这一效应相当于介质随时都在对壁面进行清洗，可有效防止污垢的粘附。

剪切应力效应：

壁面振动会带动其上的垢层一起振动，从而在壁面和垢层之间产生剪切力和推斥力，对于已有垢层，剪切力和推斥力会使其疲劳、裂纹、疏松、破碎而脱落；对于即将粘附的污垢成分，刚一接触壁面即被排开，无法稳定停留在壁面上。无论哪种情况，污垢都会随着介质的流动被带走，这就是剪切应力效应。剪切应力效应起到了除垢作用。

此外，介质流动时，由于与固体壁面有摩擦力，会在近壁区域而形成滞流层，也叫边界层。这一区域的传热过程为滞流介质的导热过程而不是对流换热过程，而介质的导热系数较对流换热系数要低得多，因此滞流层的存在会降低传热系数。当有超声波作用时，超声波引起的高速微涡可有效破坏滞流层，起到强化传热的作用。

五、主要技术指标

平均提高换热设备传热系数21%，降低换热设备污垢热阻55%；石化行业换热设备平均节能率为9.1%。

六、技术鉴定、获奖情况及应用现状

2010年通过中国石油化工集团公司科学技术成果鉴定，目前已在石油、石化、化工行业众多企业应用。该技术在应用环境声学参数定向设计、减少超声波衰减和抗畸变方面具有新颖性，整体技术达到国际先进水平，具有显著的节能效益。

七、典型应用案例

典型案例1：中石化上海高桥分公司

技术提供单位：北京中环信科科技股份有限公司

建设规模：在炼油3部3#800万t常减压蒸馏装置换热网络超声波防、除垢技术改造。主要技改内容：炼油3部3#常减压蒸馏装置换热网络21台换热器上安装超声波防、除垢装置。节能技改投资额985万元，建设期2个月，年节能量7272tce，年节能效益为582万元，投资回收期20个月。

典型案例2：中石化四川维尼纶厂

技术提供单位：北京中环信科科技股份有限公司

建设规模：在四川维尼纶厂发电车间、乙炔车间、PVA车间的14台换热设备上应用超声波防垢技术。主要技改内容：在乙炔车间提浓装置E0401、E0442、E451\A\B\C、E455\A\B、V0601共8台换热器，聚乙烯醇车间E598、E590、E622、2H443、2H445共5台换热器，发电车间1#机组凝汽器，合计14台换热器上安装超声波防、除垢装置。节能技改投资额210万元，建设期1个月，年节能2396tce，年节能效益为192万元，投资回收期13个月。

八、推广前景及节能减排潜力

石化行业的换热设备数量超过30万台，如果采用超声波防垢技术解决污垢问题，可降低全行业换热设备能耗约9%。预计未来5年，该技术在行业内的推广潜力可达到40%，预计投资总额8亿元，节能能力55万tce/a，减排能力145万tCO₂/a。

111 氯化氢合成余热利用技术

一、**技术名称：**氯化氢合成余热利用技术

二、**技术所属领域及适用范围：**石化行业 现有或新建氯碱企业的氯化氢或盐酸合成炉新建或改造

三、**与该技术相关的能耗及碳排放现状**

对于氯化氢合成中的热能利用，国内主要有两种方法：一种是使用钢制水夹套氯化氢合成炉副产热水。这种钢合成炉在炉顶部和底部容易受腐蚀，使用寿命短，副产的热水应用范围有限；另一种是使用石墨制的氯化氢合成炉副产热水或 0.2-0.3MPa 压力的蒸汽。由于石墨是非金属脆性材料，受强度和使用温度的限制，在副产蒸汽时石墨炉筒作为产汽的受压部件，安全上存在一定隐患，采用该方法副产热水或低压蒸汽热能利用只能达到 40%，应用范围同样有限。目前该技术可实现节能量 2 万 tce/a，减排约 5 万 tCO₂/a。

四、**技术内容**

1. 技术原理

氯气与氢气反应生成氯化氢时伴随释放出大量反应热，完全可以用来副产蒸汽。副产中压蒸汽合成炉在高温区段，使用钢制水冷壁炉筒；在合成段顶部和底部钢材容易受腐蚀的区段，采用石墨材料制作。采用这种方法既克服了石墨炉筒强度低和使用温度受限制的缺点，又克服了合成段的顶部和底部容易腐蚀的缺点，从而使氯化氢合成的热能利用率提高到 70%，副产蒸汽压力可在 0.2-1.4MPa 间任意调节，可并入中、低压蒸汽网使用，使热能得到充分利用。

2. 关键技术

自循环换热蒸汽发生技术；腐蚀控制技术；生产运行自动控制技术。

3. 工艺流程

具体工艺流程见图 1、图 2。

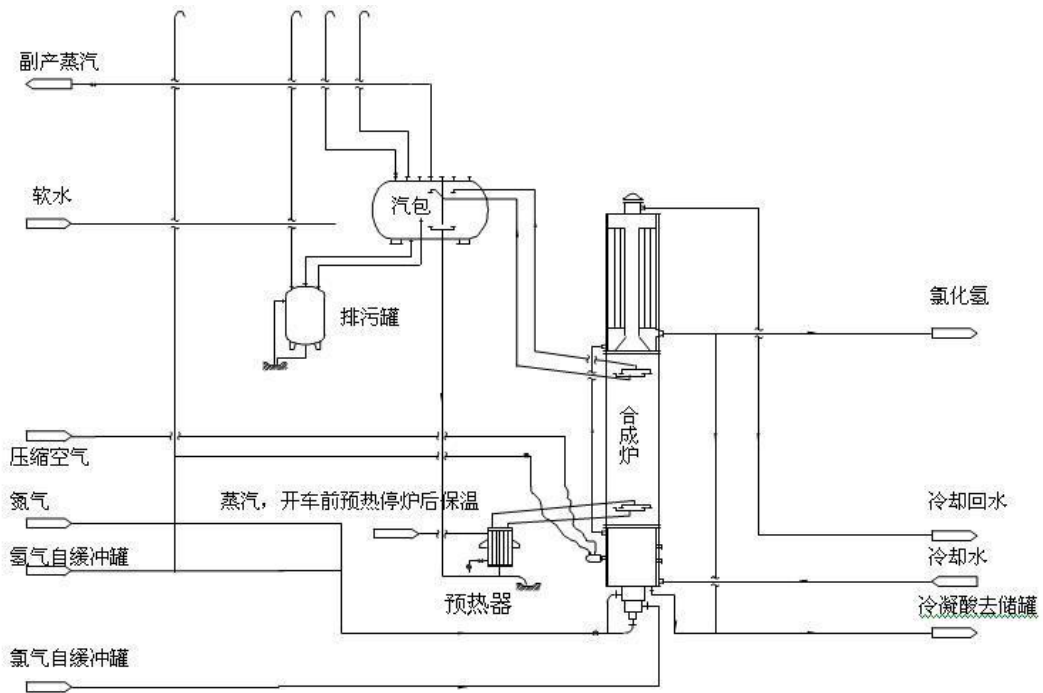


图 1 氯化氢合成余热利用技术图

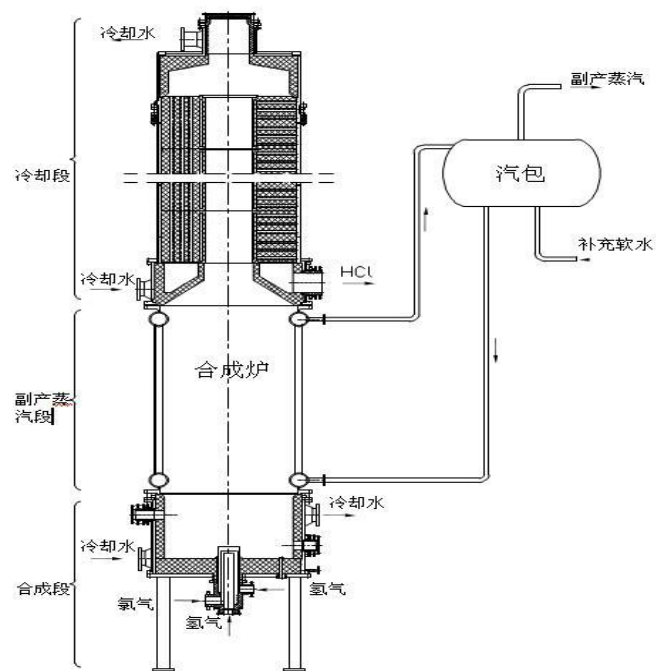


图 2 氯化氢合成余热利用技术设备图

五、主要技术指标

每合成生产 1t 氯化氢可副产 0.8-1.4MPa 中压蒸汽 0.7t。

六、技术鉴定、获奖情况及应用现状

该技术已在部分化工行业推广应用，使氯化氢合成的热能利用率提高到 70%，节能效果显著。

七、典型应用案例

典型用户：浙江巨化股份有限公司电化厂、江苏大和氯碱化工有限公司、重庆三阳化工有限公司

典型案例 1：浙江巨化股份有限公司电化厂：

建设规模：08-140-84 型副产蒸汽氯化氢合成炉一套，日产氯化氢 140t，副产 1.2MPa 蒸汽 84t。主要技改内容：拆除原水套式石墨氯化氢合成炉，利用原厂房框架新上一套副产蒸汽氯化氢合成炉。主要设备包括副产蒸汽氯化氢合成炉、汽包、预热器和排污罐。节能技改投资额 400 万元，建设期 2 个月。每年可节能 3780tce，年节能经济效益 448 万元，投资回收期 1 年。

典型案例 2：江苏大和氯碱化工有限公司：

建设规模：09-150-30 型副产蒸汽盐酸合成炉一套，日产高纯盐酸 150t，副产 1.2MPa 蒸汽 30t。主要技改内容：拆除原水套式石墨氯化氢合成炉、石墨降膜吸收器、尾气塔，利用原厂房框架新上一套副产蒸汽四合一盐酸合成炉，主要设备包括副产蒸汽四合一盐酸合成炉、汽包、预热器和排污罐。节能技改投资额 200 万元，建设期 2 个月，年节能 1350tce，取得节能经济效益 160 万元，投资回收期 16 个月。

八、推广前景及节能减排潜力

该项技术具有很好的经济效益和社会效益，目前，全行业氯化氢合成炉生产氯化氢的产能约 600 万 t。预计未来 5 年，该技术在行业内的推广潜力可达到 20%，投资总额 5 亿元，节能能力 35 万 tce/a，减排能力 81 万 tCO₂/a。

112 节能型尿素生产技术

一、技术名称：节能型尿素生产技术

二、技术所属领域及适用范围：石化行业 水溶液全循环尿素生产装置改造或新建

三、与该技术相关的能耗及碳排放现状

目前,我国氮肥行业的吨尿素产品单耗为:氨 580 kg、蒸汽 1250 kg、循环水 140m³、电 140kWh, 合成转化率 65%。应用该技术可实现节能量 4 万 tce/a, 减排约 11 万 tCO₂/a。

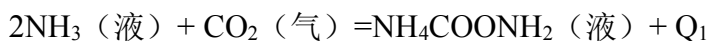
四、技术内容

1. 技术原理

(1) 高压合成工序:

来自氨库的原料液氨, 经液氨泵加压到 20-23MPa 后送往液氨预热器, 被加热到 70℃分为两路, 一路约为总量 80%的 NH₃、103℃甲铵液和来自 CO₂ 压缩机 20-23MPa 的 CO₂ 一起进入合成塔塔顶分布器; 另一路约 20% 的 NH₃ 通过尿素合成塔底部进入, 在塔内完成等温高压合成反应, 反应产物从塔的顶部出来。

工业生产尿素的反应分两步进行, 第一步由氨和二氧化碳反应生成中间产物氨基甲酸铵 (简称甲铵), 其反应式为:



第二步由甲铵脱水生成尿素, 其反应式为:



第一步反应是一个可逆的强放热反应, 生成氨基甲酸铵的反应速度比较快, 容易达到化学平衡, 且达到化学平衡后二氧化碳转化为氨基甲酸铵的程度很高。第二步反应是一个可逆的微吸热反应, 需要在液相中进行, 反应速度慢, 需要较长时间才能达到化学平衡, 即使达到化学平衡也不能使全部氨基甲酸铵都脱水转化为尿素。

(2) 循环回收工序

从合成塔出来的反应混合物先后经过中压分解吸收 (压力 1.7MPa) 和低压分解吸收 (压力 0.3MPa) 后, 尿素浓度达到 67%左右, 温度为 140℃, 然后送入蒸发系统; 尿素尾气通过高效安全的尾气净氨处理后 (氨含量小于 1%) 放空。

(3) 蒸发工序

从低压循环系统来的尿素溶液送入逆流降膜式预浓缩器，以中压分解气作热源进行预浓缩，将尿液浓度从 67%提高到 85%；用膨胀蒸汽和蒸汽冷凝液作热源对 85% 尿液进行两段加热进行再浓缩，使尿液浓度从 85%提高到 95%，完成对尿素的一段蒸发。出一段蒸发器的尿液再经过二段蒸发加热器，浓缩至 99.6%左右，送至尿素造粒塔进行造粒。

(4) 解吸、水解工序

碳铵液由解吸泵送至解吸水解系统，采用蒸汽加热气提，使塔底排出的解吸净水中尿素及氨含量 $\leq 5\text{ppm}$ ；解吸水解塔底出来的 188°C 解吸净水、解吸水解塔顶出来的 160°C 的解吸气分级利用于尿素分解工序，利于节省蒸汽、维持系统水平衡。

2. 关键技术

- (1) 液相逆流换热式等温合成塔和尿素合成塔的优化运行；
- (2) 二次加热-降膜逆流换热应用于中压分解工艺；
- (3) 三段吸收-蒸发式氨冷-低水碳比尿素中压回收工艺；
- (4) 一段蒸发系统低位能热的利用；
- (5) 尾气净氨新工艺；
- (6) 高效尿素低压分解回收新工艺；
- (7) 节资-节能型尿素废水处理系统。

3. 工艺流程

工艺流程见图 1。

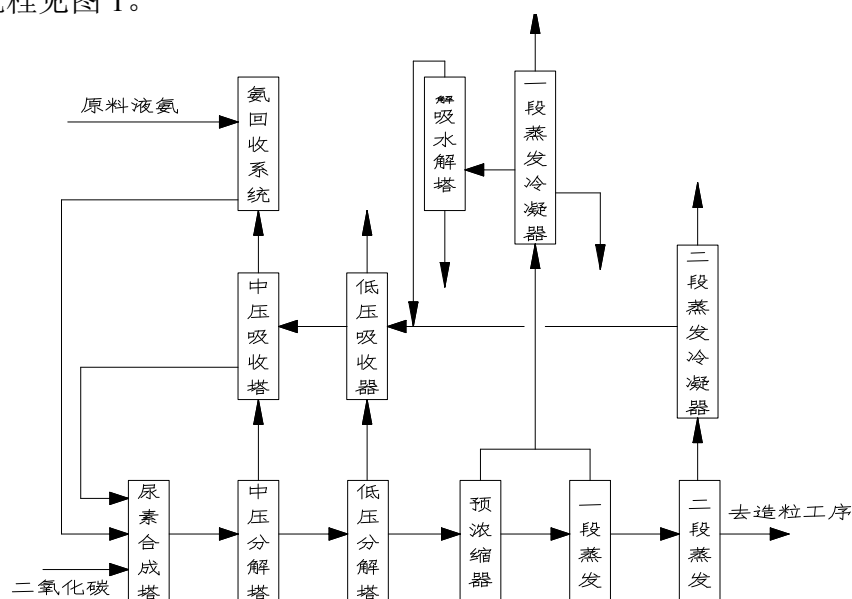


图 1 水溶液全循环节能尿素生产工艺流程图

五、主要技术指标

- 1.吨尿素单耗：氨570kg、蒸汽905kg、循环水77m³、电125kWh；
- 2.合成二氧化碳转化率 72%；解吸后净水中氨和尿素含量<5ppm。

六、技术鉴定、获奖情况及应用现状

该技术已通过四川省科技厅的技术鉴定，并成功应用于 1000t/d 尿素生产装置，节能效果显著，安全环保，生产设施先进。

七、典型应用案例

典型用户：四川金象化工产业集团股份有限公司

技术提供单位：四川金象赛瑞化工股份有限公司

典型案例 1

建设规模：400t/d 尿素生产装置的技术改造

主要技改内容：利用节能型尿素生产技术对日产 400t 尿素装置中低压分解回收等系统进行节能改造，主要技改设备包括精洗器、预蒸发器和外冷器等。节能技改投资额 960 万元，建设期 6 个月。年节能 9145tce，年节能经济效益 799 万元，投资回收期约 1.2 年。

典型案例 2

建设规模：1000t/d 尿素生产装置新建项目

主要技改内容：新建 1000t/d 尿素水溶液全循环生产装置，主要设备包括液相逆流换热式尿素合成塔、尿素中压吸收塔、卧式浸没式尾气吸收器、蒸发式冷凝器和解吸水解塔等。节能技改投资额 15437 万元，建设期 1 年。年节能 2.1 万 tce，节能经济效益 2310 万元，投资回收期 4 年。

八、推广前景及节能减排潜力

水溶液全循环节能尿素生产技术适合新建尿素生产装置和对现有水溶液全循环装置进行节能增产改造，改造工作量小，投资较低，生产能力有较大提高，并可大幅度降低原材料消耗、消除环境污染，经济效益和环保效益显著。在国内水溶液全循环尿素生产企业进行节能增产改造，有广阔的推广前景。

目前我国尿素产能约 6500 万 t/a。预计未来 5 年，该技术在行业内的推广潜力可达到 40%，投资总额 33 亿元，节能能力 47 万 tce/a，减排能力 128 万 tCO₂/a。