**水煤浆水冷壁气化和固定床气化的对比分析**

清华大学煤燃烧工程研究中心 王帅 李相军

  目前，我国固定床间歇气化在国内的煤气化行业占有率在60%以上，近几年，固定床气化的技术水平也得到了较快的发展，富氧连续气化、纯氧连续气化等技术也不断完善，但原料的来源问题和安全、环保的问题一直不能很好的解决，也制约了固定床气化的发展。

  水煤浆水冷壁气化是清华大学开发的煤气化技术，2011年在山西阳煤丰喜一次开车成功，由于其煤种适用性强，运行安全、稳定，对环境友好，近几年应用业绩较多，为煤化工的主要选择炉型。以下对采用固定床和水煤浆水冷壁气化的合成氨装置进行全流程比较。

一、两种气化技术主要特点

1、固定床气化的流程特点

  固定床气化一般采用晋城、阳泉、河南焦作的无烟块煤、焦炭或型煤，气化温度一般在1200℃左右，固态排渣，利用空气作为气化剂，常压间歇运行，并配套建设有吹风气回收装置，副产的蒸汽可以满足固定床气化的正常使用。固定床气化必须配套有气柜。

2、水煤浆水冷壁气化技术特点

  水煤浆水冷壁采用水煤浆进料，对煤的粒度没有要求，纯氧气化，气化温度一般比煤的灰熔点高50℃左右，液态排渣，连续气化。水煤浆气化不需要配备气柜。

二、使用煤种的区别

1、常压固定床对煤种的要求

 （1）煤种：必须采用无烟煤或焦炭；

 （2）粒度：煤的粒度必须大于6mm，必须使用块煤或型煤；

 （3）热稳定性：要求TS+6＞60%；

 （4）煤的软化温度：T1＞1250℃

2、水煤浆水冷壁气化炉对煤种的要求

 （1）粒度：采用水煤浆进料，对煤的粒度没有要求；

 （2）挥发分：在点火阶段采用燃料气直接点燃煤浆，对挥发分没有要求；

 （3）热稳定性：因为是液态排渣，对热稳定性没有要求；

 （4）灰熔点：越低越好，灰熔点高炉温会相应提高，煤耗、氧耗会提高；

 （5）成浆性：越高越好，煤的成浆性越高，煤耗、氧耗越低。

3、晋华炉目前使用过的煤种

 （1）低灰熔点煤

  低灰熔点煤是水煤浆最常用的原料，水煤浆水冷壁气化炉使用的煤灰熔点最低1180℃，灰分最低5%，最高28%。

 （2）高灰熔点煤

  2012年，晋华炉进行考核验收，按照石化联合会的要求，在山西阳煤丰喜采用阳泉白煤和神木煤的混煤，最高掺混比例60%左右，经过在煤浆槽连续取样，在连续三天的考核中，灰熔点均大于1520℃。

2015年，阳煤集团朔州公司在阳煤丰喜临猗公司对朔州煤进行试烧经济性评价，朔州煤灰熔点＞1550℃，阳煤朔州公司用5000吨煤，经过60%、80%、100%朔州煤运行，证明水煤浆水冷壁气化炉可以使用100%朔州煤进行气化。

目前使用水煤浆水冷壁气化炉的山西阳煤平定乙二醇项目，山西阳煤寿阳乙二醇项目，山西南耀20万吨甲醇项目均使用当地高灰熔点煤作为原料。

 （3）半焦气化

  目前煤炭提质利用过后，大量半焦如何使用成为一个问题，神华集团北京低碳研究所承担的国家863项目，“低阶煤热解半焦制浆及气流床半焦气化研究”2015年在山西阳煤丰喜临猗公司的水煤浆水冷壁气化炉进行试烧，经过中国煤炭工业协会组织专家现场考核，证明水煤浆水冷壁气化炉可以利用半焦进行气化且运行数据良好。

 （4）焦炭气化

  焦炭和半焦气化一直是水煤浆气化的一个禁区，因为原来的水煤浆气化多采用耐火砖形式，耐火砖气化炉采用蓄热式点火，气化炉必须先用预热烧嘴将炉温升至800℃，然后更换为工艺烧嘴投煤浆，水煤浆进入气化炉后，首先脱水分和挥发分，然后利用耐火砖的蓄热将挥发分点燃，然后将煤点燃，所以耐火砖型气化炉要求煤的挥发分＞20%。

  水煤浆水冷壁气化炉采用一个组合烧嘴进行点火，先用燃料气将气化炉炉温升至800℃，然后在常压下直接投煤浆，燃料气和煤浆、氧气一起从烧嘴口喷出，利用燃料气放出的热量实现水分的蒸发和挥发分析出，直接将煤点燃，所以可以使用焦炭气化。

  新疆天业将电石剩余的焦末直接制浆然后和煤混合进行气化，装置运行稳定。

 （5）褐煤

  褐煤因为其内水含量较高，成浆性较差，一直是水煤浆气化的禁区，2009年，清华大学承担了大唐呼伦贝尔化肥项目的低浓度水煤浆气化项目，煤浆浓度46~50%，目前运行稳定，这是世界上唯一的低浓度水煤浆气化装置，由于水煤浆浓度较低，煤耗和氧耗较高，但由于煤价也较低，单位尿素的成本也较低。

 （6）高碱性渣煤

  在我国新疆及其他一下地方，煤的灰组分中Na2O和K2O的含量较高，有的煤灰分中，Na2O+K2O＞4%，在新疆广汇、新疆庆华和大唐克旗项目中均出现了碱渣的腐蚀，水煤浆耐火砖气化炉使用高碱渣煤也造成耐火材料大量侵蚀的问题。水煤浆水冷壁气化炉在新疆天业的项目中使用当地的高碱渣煤，可以稳定运行，没有发生任何腐蚀现象。

三、气化反应原理和气体成分

1、固定床气化

  固定床间歇气化采用空气、蒸汽作为气化剂进行气化，气化过程分为吹风、上吹、下吹、二次上吹、吹净几个工序。在吹风阶段，向炉内通入空气，空气中的氧气和煤中的碳进行燃烧反应，放出的热量积蓄在燃料层，为水蒸气和碳的反应提供热量，在制气阶段通入蒸汽，蒸汽和灼热的碳反应，生成氢和一氧化碳。

  固定床纯氧连续气化采用氧气和蒸汽作为气化剂进行气化，从炉底连续加入氧气和蒸汽进行连续气化，氧气主要和煤发生燃烧反应，为碳和水蒸气的反应提供热量，同时部分水蒸气和一氧化碳在炉内发生变换反应，生成二氧化碳和氢气。

气体成分：（无烟煤）

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 气体成分 | CO | H2 | CO2 | CH4 | N2 | O2 | 备注 |
| 组成% | 31 | 41 | 8 | 0.2 | 19.6 | 0.2 | 常压间歇气化 |
| 组成% | 45 | 35 | 19 | 0.5 | 0.5 | 0 | 纯氧连续气化 |

2、水煤浆水冷壁气化

  水煤浆水冷壁气化采用水煤浆和纯氧进行气化，氧气和煤浆从一个烧嘴口混合后喷出，进入气化炉后，煤浆首先进行脱水分、挥发分，然后煤中的碳和氧气发生燃烧反应，将气化炉温度提高至煤的灰熔点以上，高温的碳和煤浆中的水蒸气发生气化反应，生成一氧化碳和氢气，同时部分一氧化碳和水蒸气在高温下发生变换反应，生成二氧化碳和氢气。

气体成分：（神木煤）

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 气体成分 | CO | H2 | CO2 | CH4 | N2 | O2 |
| 组成% | 45 | 35 | 19 | 0.5 | 0.5 | 0 |

四、气体的净化工段的比较

1、 固定床气化的气体净化

  固定床气体净化一般流程为，出气柜的气体先经过洗气塔降温、洗涤、分离后进入罗茨风机，加压后的气体先进入静电除焦工段，除去煤气中含有的煤焦油，然后进入湿法脱硫工段，出脱硫工段的气体经过压缩机加压后进入变换工段。

  目前和固定床间歇气化配套的变换工段，压力为0.8MPa的居多，也有采用1.4MPa和2.0MPa的，出变换的气体经过变换气脱硫工段后进入脱碳工段。

  固定床气化一般采用两级湿法脱硫，一级为常压脱硫，另一级为变换气脱硫，两级脱硫一般均采用纯碱脱硫，利用纯碱和硫化氢进行反应生成硫氢化物，再借助溶液中的栽氧体（催化剂）的氧化作用，将硫氢化物氧化成单质硫，同时获得副产品硫磺，然后还原栽氧体，再用空气将栽氧体氧化为氧化态，使脱硫溶液循环使用。根据栽氧体的不同，脱硫方法分为栲胶、DDS、888等好多种。

  进入变换工段的粗煤气为常温，所以变换工段必须外加蒸汽以满足变换反应的需要。

  固定床气化配套的脱碳工艺主要有碳酸丙烯酯脱碳、NHD脱碳、MDEA脱碳和PSA脱碳，其中NHD脱碳属于低温脱碳，其余均为常温脱碳。

  近年也有固定床气化配套低温甲醇洗脱硫脱碳的项目，但较少。

2、水煤浆气化的气体净化

  由于水煤浆气化的压力较高，出气化工段的粗煤气温度较高，为了更好的利用粗煤气含有的热量，一般采用耐硫变换，粗煤气中含有的水蒸气可以满足变换反应的需要，即使是生产合成氨，也不用外加蒸汽

  水煤浆气化的脱硫和脱碳按照气化压力的高低和规模大小，主要采用NHD脱硫脱碳、MDEA脱硫脱碳和低温甲醇洗脱硫脱碳，一般压力较高、规模较大的装置采用低温甲醇洗脱硫脱碳。

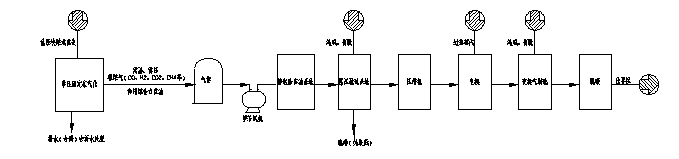
  对于常压固定床气化和水煤浆气化的净化工段，区别较大的工段为变换工段和压缩工段的区别，其余工段区别不大。

  变换工段的主要区别是由于两者进入变换工段的硫含量、气体温度和汽气比不同，所以变换催化剂选型和消耗不同。常压固定床气化配套的变换工段一般吨氨需要添加0.5吨蒸汽，水煤浆气化配套的变换工段一般吨氨可以副产1.8吨蒸汽。

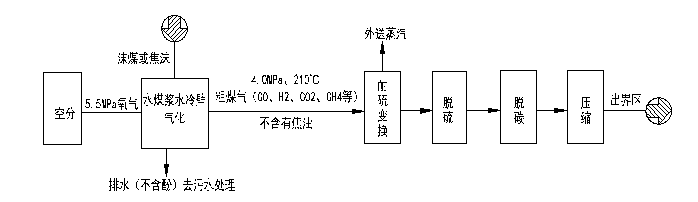
  压缩工段的区别更大，固定床气化一般采用罗茨风机和多段往复式压缩机，吨氨压缩耗能较高。水煤浆气化由于气化压力较高，压缩机进口压力较高，气体净化度较高，一般采用离心式压缩机，如果气化4.0MPa的水煤浆气化，压缩电耗和常压固定床相比，吨氨可以节约电耗400度，如采用6.5MPa的水煤浆气化，压缩工段的耗能更低，同时低温甲醇洗工段的能耗也更低。

五、投资和占地

常压固定床间歇气化主要流程



水煤浆气化主要流程



主要投资对比表

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 项目 | 常压固定床间歇气化 | 水煤浆水冷壁气化 |
| 1 | 空分 | 不需要 | 需要 |
| 2 | 气化 | 常压气化投资低，  气化炉数量多 | 加压气化投资高，  气化炉数量少 |
| 3 | 气柜 | 需要 | 不需要 |
| 4 | 静电除焦 | 需要 | 不需要 |
| 5 | 罗茨风机 | 需要 | 不需要 |
| 6 | 变换 | 变换压力低投资大 | 变换压力高投资低 |
| 7 | 脱硫 | 常压湿法脱硫+变换后脱硫 | 变换后脱硫 |
| 8 | 脱碳 | 投资相同 | 投资相同 |
| 9 | 压缩 | 进口压力低  投资高 | 进口压力高  投资低 |

  从以上比较可知，常压固定床比水煤浆气化多投资的工段为气柜、静电除焦和罗茨风机；水煤浆气化比常压固定床多投资的工段为空分；变换、脱硫和压缩机的投资常压固定床比水煤浆气化略高。

  整体比较，对于规模相同的装置，水煤浆水冷壁气化加上变换工段和净化工段和常压固定床气化加上变换工段和净化工段投资基本相当，使用水煤浆水冷壁气化比固定床气化投资大致高一套空分的价格。

  常压固定床气化由于多采用常压设备，而且有气柜、罗茨风机等设备，占地面积要比水煤浆气化大。

  纯氧固定床连续气化和水煤浆水冷壁气化相比，投资略低，主要是其配套的空分投资较低。

六、成本比较

以下就以4.0MPa的水煤浆气化和常压固定床气化的成本进行比较，为了便于比较，消耗相近的脱硫、脱碳工段不做比较。

