水冷壁气化炉与耐火砖气化炉对比12——能效

|  |
| --- |
| 现代大型煤化工中普遍应用的水煤浆进料液态排渣气流床气化炉，根据气化炉隔热衬里的不同分为水冷壁气化炉和耐火砖气化炉。水冷壁气化炉以废锅流程为主，耐火砖气化炉几乎均为水激冷流程。本系列将从不同方面对水冷壁气化炉与耐火砖气化炉进行对比。 |

气化能效是衡量煤炭清洁利用水平和能源利用效率的重要指标。本文根据GB/T41038-2021规定的以煤、石油焦、半焦等为原料的气流床水煤浆气化单元的能效计算方法，计算并对比水冷壁气化炉和耐火砖气化炉的气化能效。

以煤制合成氨产品和6.5MPaG级气化为例，以下列出了包含变换单元在内的气化系统物料、能量的输入和输出情况。从表中可以看出，水冷壁气化炉废锅流程将高温煤气的显热回收，产生高品位蒸汽，水冷壁气化炉废锅流程能效为78.81%，耐火砖气化炉能效为72.17%，由于废锅副产蒸汽，水冷壁气化炉废锅流程能效比耐火砖气化炉高约6.64%。

水冷壁气化炉气化单元副产蒸汽1.36吨/吨氨，变换单元副产蒸汽1.48吨/吨氨，气化和变换单元共副产蒸汽2.84吨/吨氨。耐火砖气化炉气化单元无副产蒸汽，变换单元副产蒸汽1.82吨/吨氨，气化和变换单元共副产蒸汽1.82吨/吨氨。从气化和变换单元来看，水冷壁气化炉副产蒸汽比耐火砖气化炉多1.02吨/吨氨，且增加的蒸汽为高压蒸汽，易于利用。

从能量角度看，水冷壁气化炉气化和变换单元副产蒸汽回收的能量共7824MJ/吨氨，耐火砖气化炉气化和变换单元副产蒸汽回收的能量共5063MJ/吨氨。水冷壁气化炉气化和变换单元副产蒸汽回收的能量比耐火砖气化炉高约55%，即增加一半以上。

如果将水冷壁气化炉废锅副产蒸汽全部用于拖动空分汽轮机，可以降低空分制氧能量消耗。水冷壁气化炉废锅副产蒸汽产能3622.44MJ/吨氨，氧气耗能4514.40MJ/吨氨，水冷壁气化炉废锅副产蒸汽回收能量可覆盖约80%的空分制氧能耗，节能效果显著。

表 水冷壁气化炉与耐火砖气化炉能效对比

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 项目 | | 单位 | 水冷壁气化炉  （吨氨） | | 耐火砖气化炉  （吨氨） | | 能源折算系数 | | 能源折算系数来源 |
| 用量 | 能量MJ | 用量 | 能量MJ | 单位 | 数值 |
| 气化单元 | | | | | | | | | |
| 1 | 磨煤耗电 | kWh | 19.10 | 175.91 | 19.10 | 175.91 | MJ/(kWh) | 9.21 | 注1 |
| 2 | 煤输送耗电 | kWh | 4.65 | 42.83 | 4.65 | 42.83 | MJ/kWh | 9.21 | 注1 |
| 3 | 气化/灰水处理电耗 | kWh | 32.80 | 302.09 | 40.00 | 368.40 | MJ/kWh | 9.21 | 注1 |
| 4 | 煤耗 | kg | 1164.00 | 32527.98 | 1164.00 | 32527.98 | MJ/kg | 27.95 | 干基低位发热量 |
| 5 | 氧耗 | Nm3 | 760.00 | 4514.40 | 760.00 | 4514.40 | MJ/Nm3 | 5.94 | 注2 |
| 6 | 循环水 | t | 40.21 | 100.93 | 40.21 | 100.93 | MJ/t | 2.51 | 注1 |
| 7 | 104℃锅炉水 | t | 1.63 | 443.59 |  | 0.00 | MJ/t | 272.14 | 注1 |
| 8 | 新鲜水 | t | 0.40 | 2.51 | 0.40 | 2.51 | MJ/t | 6.28 | 注1 |
| 9 | 脱盐水(密封水) | t | 0.40 | 16.75 | 0.40 | 16.75 | MJ/t | 41.87 | 注1 |
| 10 | 外排污水 | t | 0.93 | 42.83 | 0.93 | 42.83 | MJ/t | 46.05 | 注1 |
| 11 | 7.0MPa蒸汽副产 | t | -0.03 | -83.14 |  | 0.00 | MJ/t | 2771.26 | 按蒸汽焓值折算 |
| 12 | 10.0MPa蒸汽副产 | t | -1.33 | -3622.44 |  | 0.00 | MJ/t | 2723.64 | 按蒸汽焓值折算 |
| 变换单元 | | | | | | | | | |
| 1 | 循环水 | t | 8.92 | 22.38 | 8.92 | 22.38 | MJ/t | 2.51 | 注1 |
| 2 | 脱盐水 | t | 1.23 | 51.50 | 2.28 | 95.46 | MJ/t | 41.87 | 注1 |
| 3 | 电耗 | kWh | 2.80 | 25.79 | 5.99 | 55.13 | MJ/kWh | 9.21 | 注1 |
| 4 | 3.8MPa蒸汽副产 | t | -0.80 | -2241.09 | -0.67 | -1872.15 | MJ/t | 2801.36 | 按蒸汽焓值折算 |
| 5 | 1.5MPa蒸汽副产 | t | -0.08 | -223.43 | -0.20 | -549.64 | MJ/t | 2792.88 | 按蒸汽焓值折算 |
| 6 | 0.5MPa蒸汽副产 | t | -0.60 | -1653.68 | -0.96 | -2641.21 | MJ/t | 2756.14 | 按蒸汽焓值折算 |
| 产品 | | | | | | | | | |
| 1 | 变换合成气H2 | Nm3 | -2021.17 | -21712.63 | -2021.17 | -21712.63 | MJ/Nm3 | 10.74 | 注1 |
| 2 | 变换合成气CO | Nm3 | -28.83 | -365.61 | -28.83 | -365.61 | MJ/Nm3 | 12.68 | 注1 |
| 3 | 变换合成气CH4 | Nm3 | -7.21 | -257.94 | -7.21 | -257.94 | MJ/Nm3 | 35.79 | 注1 |
| 能效结果 | | | | | | | | | |
| 能量输入 | | MJ |  | 38269.48 |  | 37965.51 |  |  |  |
| 能量输出 | | MJ |  | -30159.97 |  | -27399.18 |  |  |  |
| 能效 | |  |  | 78.81% |  | 72.17% |  |  |  |

注1：根据《GBT41038-2021气流床水煤浆气化能效计算方法》表A.1

注2：根据《GBT41038-2021气流床水煤浆气化能效计算方法》表B.1

注3：能量输入为正值，能量输出为负值

当水冷壁气化炉初始投料时，由于废锅内受热面洁净无沾灰，换热效率较高，废锅副产蒸汽量可能超过正常运行值，此时气化单元送至变换单元的合成气水气比降低，并且可能低于变换单元正常运行要求的水气比。在这种情况下，可以将废锅由于初始投料而多副产的饱和蒸汽加入至合成气中，既提高了合成气的水气比以满足变换要求，又使系统外送的废锅副产蒸汽维持稳定，避免了蒸汽管网的冲击。

在山东清河化工科技有限公司煤制氢项目中，气化单元采用水冷壁气化炉废锅流程，变换单元采用三级绝热变换，在变换单元的煤气预热器后配置有废锅副产饱和蒸汽管线与合成气混合，无需采用动力站的过热蒸汽。在运行过程中既满足了变换炉的水气比要求，又平衡了外送饱和蒸汽的量，山东清河化工煤制氢项目自2020年6月开车已稳定运行至今。

综上所述，以煤制合成氨产品和6.5MPaG级气化为例，水冷壁气化炉废锅流程能效为78.81%，比耐火砖气化炉高约6.64%。水冷壁气化炉可以将部分废锅副产蒸汽加入合成气，既满足变换单元水气比要求，又使系统外送的废锅副产蒸汽维持稳定。

作者简介：管清亮，男，1988年10月出生，博士研究生学历，高级工程师，2015年毕业于清华大学热能工程系，主要从事煤气化和煤炭清洁高效利用技术研究和开发工作。

撰稿 | 管清亮

编辑 | 李瑞丹

审核 | 岳军