水冷壁气化炉与耐火砖气化炉对比5——耐火砖气化炉改造为水冷壁废锅气化炉

|  |
| --- |
| 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。 |

某厂煤制甲醇装置气化工段采用GE公司6.5MPa级水煤浆加压气化技术，气化炉为水煤浆耐火砖激冷炉型，两开一备设置，单炉生产能力为87000Nm3/h(CO+H2)。气化炉自2011年开车以来一直存在耐火砖维修费用较高，煤种适用范围窄，气化系统的热效率不高的问题。将其耐火砖气化炉升级改造为水冷壁废锅气化炉，可以增加气化炉灵活性，降低能量消耗和生产成本。本文从改造方案、可行性、风险分析和控制、投资和效益等方面对一台耐火砖气化炉升级改造为水冷壁废锅气化炉进行分析。

1 改造方案

1.1 总体方案

水煤浆制备和输送、粗煤气洗涤、灰/黑水处理、锁斗排渣、粗渣和细灰处理等工段维持现状不变，仅对气化炉进行改造升级。改造涉及气化炉装置改造及相关的公用工程和配套工程改造。

新气化炉在设备制造厂完成制造，在新气化炉进入施工现场后对施工现场的旧气化炉进行保护性拆除，清空施工现场后对新气化炉进行吊装及装配，并完成管线的改造工作，现场从旧的气化炉拆除开始到施工结束大约需要90天。

1.2 气化装置改造

（1）现场将φ3200 mm旧气化炉拆除，更换为一台φ3400x3800 mm水冷壁废锅气化炉，新气化炉的总长度约28650mm，比现有耐火砖气化炉高约10000mm；

（2）目前使用的耐火砖三通道烧嘴更换为四通道组合式工艺烧嘴；

（3）增加水冷壁汽包、废锅汽包和锅炉水循环泵以及相关管线；

（4）增加气化装置点火、烘炉燃料气和点火、烘炉氧气系统及针对目前的中心氧进料系统增加快速切断阀；

（5）取消气化炉现有的烧嘴冷却水系统，采用水冷壁给水系统对新组合式烧嘴进行保护；

（6）钢结构框架增高一层用以布置水冷壁汽包和废锅汽包；

（7）取消目前气化炉配套的激冷水过滤器、开工抽引器、烧嘴冷却水分离罐。

1.3 公用工程改造

（1）新增气化装置的锅炉给水系统，废锅汽包的锅炉水采用13.2MPa高压锅炉给水管线（51.5t/h），水冷壁汽包的锅炉水采用8.5MPa密封水管线（2.0t/h）。

（2）新增气化装置环腔保护气，环腔保护气的来源为变换气增压后提供（300Nm3/h）。

（3）新增气化炉辐射废锅副产的12.5MPa饱和蒸汽送往后系统进行过热利用（50t/h）。

（4）新增气化炉水冷壁副产的7.0MPa饱和蒸汽减压送蒸汽管网（2t/h）。

（5）点火烘炉用燃料气系统的改造，气化改造后对燃料气的压力要求为2.0MPa，需要对目前的燃料气系统进行改造。原始升温建议采用CNG供气，气化装置区域设置CNG接口。正常开车采用甲醇装置的驰放气升温。（燃料气热值>2500kcal/Nm3，甲醇驰放气2800Nm3/h）

1.4 配套工程改造

（1）锅炉系统的改造，气化辐射废锅副产的蒸汽送往锅炉系统进行过热。

2 改造可行性分析

耐火砖气化炉升级改造为水冷壁废锅气化炉已经有成功的应用案例，本改造项目可借鉴其相关经验。

阳煤丰喜肥业（集团）有限责任公司原3#气化炉为4.0MPa、φ2800x3200mm耐火砖-激冷型气化炉，投煤量500t/d，气化炉于2010年投产。为了节约每年更换耐火砖的费用，阳煤丰喜肥业（集团）有限责任公司决定将原3#耐火砖气化炉改造为水冷壁废锅气化炉。具体改造内容包括：老装置现场拆除，新气化炉安装，增加废锅水汽系统，拆除激冷水过滤器等设备，更换小流量激冷水泵；气化室由耐火砖改为水冷壁；预热烧嘴+工艺烧嘴改为单个组合烧嘴；气化装置由原始激冷流程改为废锅加激冷工艺。改造项目自2015年10月动工，2016年4月一次开车成功。

3 风险分析与控制

3.1 工程载荷风险

改造后的水冷壁废锅最大操作重量约475吨，原设计气化炉的操作重量为450吨，气化框架的支撑层载荷满足要求。汽包设备总重量大约60吨左右，满足改造要求。

3.2 改造后的工艺对前后工序的影响

气化炉改造完成后，气化单元煤耗和氧耗与改造前保持一致，煤浆和氧气负荷无变化，煤浆制备和输送利用原系统，对煤浆制备及煤浆输送系统无影响。

改造完成后闪蒸系统的热负荷与改造前相比降低，目前的闪蒸系统满足要求，针对闪蒸系统负荷低后除氧器可能出现温度降低的问题，建议通过调整低闪操作压力来平衡。

气化炉改造后气化装置出口的工艺气水气比经初步核算为1.018，经与变换设计单位初步核算满足生产要求。考虑特殊工况的需求，在变换工段的煤气预热器出口管线增加临时蒸汽管线（气化自产蒸汽）。

气化炉改造完成后每小时副产蒸汽大约50吨/小时，副产蒸汽送往两台240t/h锅炉进行过热，对锅炉的饱和蒸汽汽包出口进行局部改造，经锅炉专业技术人员分析核算，可通过调节减温喷水量和锅炉负荷的方式来消除气化副产蒸汽加入的影响。

3.3 安全的影响

改造完成后烘炉过程为正压烘炉，氧气和燃料气通过自控调节阀比例调节，整个烘炉过程中可通过火焰监测装置进行监测，烘炉过程更加安全。

改造完成后开车投料时炉内的燃烧反应情况可以通过火焰监测器进行观察，投料过程更加安全。

改造完成后气化炉燃烧室采用水冷壁结构作为隔热保护取代现有的耐火砖隔热保护，气化炉壳体温度比现有的装置低大约100℃，不存在串气超温风险，气化炉运行更加安全。

此次改造仅对气化炉内件进行升级优化，不改变主工艺流程，不会影响原气化装置的安全评价。

3.4 环境的影响

改造完成后气化炉内无耐火砖衬里，水系统及灰渣无六价铬，对环境更加友好。

改造完成后气化炉的烘炉时间为2-3小时，比改造前的时间更短，烘炉烟气通过洗涤塔去往火炬对环境更加友好。

改造完成后灰渣的量无变化，对环境影响不变。

此次改造仅对气化炉内件进行升级优化，不改变主工艺流程，不增加三废排放，不会影响原气化装置的环境评价。

4 投资和效益

4.1 投资估算

本次改造项目仅对气化炉升级改造，磨煤和灰/黑水处理工段均维持原系统不变，做到投资最小化。表1为本次升级改造的投资估算。

表 1 总投资估算

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 费用名称 | 价格（万元） | 备注 |
| 一 | 工程费用 |  |  |
| 1 | 设备费用 | 3643 | 含拆除 |
| 2 | 电气仪表费用 | 620 |  |
| 3 | 框架加高及土建费用 | 200 |  |
| 4 | 管材及安装 | 170 |  |
| 二 | 大型机具吊装费用 | 100 | 预估 |
| 三 | 无形资产费用 |  |  |
| 1 | 专利费用 | 1000 |  |
| 2 | 工程设计费用 | 100 |  |
| 合计 |  | 5833 |  |

注：不含配套的锅炉改造投资费用

4.2 经济效益

4.2.1 节省耐火砖更换费用

改造前气化炉的耐火砖具有一定的使用寿命，需要定期更换。单台气化炉向火面砖和拱顶砖每年的更换费用为150万元，渣口砖每年的更换费用为30万元，单台气化炉向火面砖及拱顶砖以及渣口砖等耐火材料的更换费用（材料费+施工费）为每年180万元左右。

改造前气化炉全面更换耐火砖约需30天，改造后无需更换耐火砖，直接节省备炉时间。

4.2.2 开车费用降低

改造前气化炉单次运行时间80天，按照每年保证8000小时的运转时间计算，每年需要倒炉4.16次。改造前气化装置单次倒炉需要消耗燃料气8000Nm3，单次倒炉需要消耗S4蒸汽150吨。因此改造前因倒炉每年需要消耗燃料气为33280Nm3，每年需要消耗S4蒸汽624吨。如果考虑每年需要1次原始烘炉，那么改造前，因倒炉和原始烘炉每年需要消耗燃料气（天然气）量为59280Nm3，因倒炉和原始烘炉每年需要消耗S4蒸汽为1000吨。天然气价格按照3.5元/Nm3，S4蒸汽价格按照100元/吨，每年烘炉费用为30.7万元。每次投料费用约5万元，每年4.16次倒炉的投料费用大约为20.8万元。综上所述，改造前耐火砖气化炉每年开车费用合计为51.5万元。

改造后气化炉单次运行时间120天，按照每年保证8000小时的运转时间计算，每年需要倒炉2.77次。改造后气化炉的单次烘炉燃料气（驰放气）消耗大约为3500Nm3，单次倒炉需要消耗S3蒸汽2吨。因此晋华炉因倒炉每年需要消耗燃料气（驰放气）为9695Nm3，每年需要消耗S3蒸汽5.54吨。驰放气价格按照0.8元/Nm3，S3蒸汽价格按照100元/吨，每年烘炉费用约8310元。晋华炉每次投料费用按照与改造前相同的煤浆和氧气消耗量计算，每年投料费用为13.9万元。综上所述，改造后气化炉每年开车费用合计为14.7万元。

由于改造后气化炉年停车次数减少，每次烘炉时间短消耗少，开车费用显著减低。每年开车费用预计从改造前的51.5万元降低至14.7万元，每年可节约开车费用约37万元。

4.2.3 设备维护费用降低

改造前气化炉为水激冷流程，包含激冷环、下降管和激冷水过滤器等设备。激冷环和激冷水过滤器易结垢堵塞、下降管受高温合成气冲刷需定期更换，均需要定期维护。单台气化炉每年激冷水过滤器的检修材料费用为1万元，激冷环的维修备件费用为10万元，下降管的维护备件费用为25万元。此外，每年需要更换烧嘴约4.16次，烧嘴单次维修备件费用为10万元，烧嘴每年更换维修备件费用为41.6万元。改造前燃烧室高温热电偶为易损件，每次停车更换2只，每只价格1.5万元，每年因更换热电偶12.4万元。综上所述，改造前每年因激冷环、下降管、激冷水过滤器、烧嘴、热电偶维护的费用为90万元。

改造后气化炉取消了激冷环、下降管、激冷水过滤器等设备，气化炉的检修时不用清洗激冷环、激冷水过滤器，检修工作量降低，不必定期更换激冷环下降管内件，无此项备品备件的费用。气化炉无需更换热电偶，无此项备品备件的费用。气化炉烧嘴单次维修费用为10万元，每年需要更换烧嘴约2.77次，烧嘴每年更换维修费用为27.7万元。

改造后，因气化炉设备维护量较少，设备维护费用降低。每年设备维护费用预计从改造前的90万元降低至27.7万元，每年可节约设备维护费用约62万元。

4.2.4 副产蒸汽效益

将原耐火砖气化炉改造后，水冷壁副产7MPa饱和蒸汽2t/h，废锅副产12.5MPa饱和蒸汽50t/h，按照年运行8000小时计算，每年可副产蒸汽41.6万吨。按照蒸汽价格100元/吨计算，副产蒸汽的经济效益可达每年4160万元。

此外，每年副产的蒸汽折节省标煤3.8万吨，折每年减少二氧化碳排放10.5万吨。折算到甲醇产品计算，折每吨甲醇产品节省标煤117kg，减少二氧化碳排放325kg。

4.2.5 运行时间的增产效益

改造前耐火砖气化炉每年的运转时间一般为300天，改造后气化炉单炉年运转时间可以达到330天。

4.2.6 原料煤效益

耐火砖气化炉改造成水冷壁气化炉后能够消化“高灰高灰熔点”的煤，可以拓展原料煤采购渠道，节约原料煤成本。

4.2.7 小结

将原耐火砖气化炉改造为晋华炉后，因节省耐火砖更换费用、开车费用降低、设备维护费用降低和副产蒸汽效益，每年可产生经济效益不低于4439万元，经济效益显著，见表2所示。

表 2 改造后经济效益小结

|  |  |
| --- | --- |
| 项目 | 经济效益（万元/年） |
| 耐火砖更换综合费用 | 180 |
| 开停炉燃料气及蒸汽消耗费用 | 37 |
| 设备维护费用降低 | 62 |
| 副产蒸汽效益 | 4160 |
| 合计 | 4439 |

4.3 操作运行效益

晋华炉采用启动、工作双功能组合工艺烧嘴，代替现有耐火砖气化炉点火升温和运行的两个独立烧嘴，在一个烧嘴中完成气化炉的点火、升温和投料全过程，避免了热态烧嘴更换操作和耐火砖气化炉热惰性带来的启停速度慢问题，在3个小时内实现气化炉从冷态到满负荷运行。改造后气化炉启动过程的操作更加简便安全。

在气化炉上设置了可视化摄像头用于监控燃烧室内燃烧情况，充分保障了点火投料的安全可靠。

晋华炉钢壳外壁温度100摄氏度，比耐火砖炉壁温度低150摄氏度，不会发生气化炉外壳超温、鼓包、爆炸事故。改造后气化炉操作安全性好。

改造后的晋华炉取消了激冷环、下降管，激冷水过滤器等设备，气化炉的检修时不用清洗激冷环、激冷水过滤器，检修工作量大大降低。

4.4 环境效益

气化炉耐火砖中含有六价铬重金属，耐火砖使用过程中进入气化水系统和灰渣，外排后造成环境污染。气化炉改造为晋华炉后，不使用耐火砖衬里，水系统及灰渣无六价铬，对环境更加友好。

耐火砖气化炉烘炉时间约为72小时，改造后晋华炉的烘炉时间为2~3小时，烘炉时间大大缩短，因而烘炉过程产生的废气量也极大减小，烘炉期间的废气量减少96%。而且改造后，烘炉烟气通过洗涤塔去往火炬对环境更加友好。

5 总结

某厂甲醇装置自2011年投产以来，水煤浆耐火砖激冷气化炉呈现耐火砖的维修费用较高、煤种适用范围窄、气化系统的热效率不高的问题。将其中一台耐火砖气化炉改造为成熟先进的水冷壁废锅气化炉，避免昂贵耗时的耐火砖更换需求，副产高品质蒸汽送锅炉过热后利用，可以极大降低能量消耗和生产成本。

气化装置改造工程载荷满足要求，改造后对前后工段和公辅工程影响较小，不影响原气化装置的安全评价和环境评价，总体风险可控。气化装置改造后操作运行更加安全便捷、环境更加友好。

气化装置设计改造总投资5833万元，通过节省耐火砖更换费用、降低开车费用、降低设备维护费用、副产蒸汽效益，每年可产生经济效益不低于4439万元。年副产高品质蒸汽41.6万吨，折每吨甲醇产品节省标煤117kg，减少二氧化碳排放325kg。气化装置升级改造不仅对节能降耗具有重要作用，而且对降低生产成本，保持产品竞争力，扩大企业生存空间，具有重要的意义。

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，长期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