

连续重整装置外购氢气开工实践与经济效益评估

刘宝旗 (中海油舟山石化有限公司, 浙江 舟山 316000)

摘要: 提出了中海油舟山石化 80 万吨 / 年连续重整装置, 检修后初次开工不开甲醇制氢, 采用外购氢开工的思路, 并对甲醇氢和外购氢各自的优缺点进行了比较, 经过实践证明缩短了开工时间, 解决了舟山石化重整开工的氢源问题。

关键词: 甲醇氢; 电解氢; 预加氢; 四合一炉活化

中海油石油舟山石化 25 万吨 / 年芳烃项目, 是由镇海石化工程有限责任公司设计, 该项目主体装置为 170 万吨 / 年馏分油加氢装置、240 万吨 / 年重油裂解装置、80 万吨 / 年连续重整装置、25 万吨 / 年芳烃抽提装置, 由于舟山石化无制氢装置, 为了解决装置开工氢源, 特委托上海胜帮石油化工有限公司设计并施工建造了 1000Nm³/h 甲醇裂解和 3000Nm³/h 低分气变压吸附提纯氢联合工艺装置, 装置开工前先开甲醇制氢和 PSA 装置, 待产出合格氢气后, 供预加氢充压置换开工, 最后供重整临氢系统置换开工总体思路。2008 年 4 月新装置建成投产完全按照上述思路进行, 作为芳构化装置开工的关键辅助系统, 该联合装置于 2008 年 3 月 29 日投产, 至 4 月 19 日甲醇裂解部分停车, 共累计联合运行 21 天, 所产氢气分别提供给预加氢、后加氢进行置换、催化剂预硫化、生产精制油以及供重整反再系统开工置换用, 如果不包括产氢供预加氢系统置换、后加氢系统置换、生产精制油的时间, 仅仅重整反应系统置换开工的时间为 5 天 (包括甲醇装置开工), 由此我们看出该套开工方案, 开工时间长, 工序繁琐、成本高, 在一定程度上影响装置开工进度。为此我们根据 2008 年开工的实际情况, 提出了不开甲醇制氢装置, 采用外购氢气进行了开工的方案。

1 实施方案的可行性分析

采用外购氢源开工, 我们从经济性、可操作性和风险性以及计划性等几个方面出发, 对连续重整装置检修后开工氢源的设置策略进行分析。

1.1 计划性

众所周知连续重整催化剂属于贵金属, 为防止催化剂被污染, 对于开工氢气的质量有着严格的要求, H₂>75V%、CO<10ppm、CO₂<10ppm、H₂O<600ppm, 而对于普通的电解高纯氢, 纯度在 99.99% 以上, 完全可以满足生产的需要。而开工一次用氢量 6000Nm³左右, 若采用采用容量为 30Nm³H₂/ 辆的高压槽车运输,

只需加压到 10Mpa, 两辆槽车即可满足。计划性明显, 紧迫性突出, 开工氢气供应越及时, 氢气纯度越高, 装置开车就越快, 公司成本费用就越小。以大检修为目标的全面停工, 包括预加氢、后加氢在内的总开工用氢量在 10000Nm³左右, 考虑到重整进油后装置产氢, 预加氢后加氢可以在重整产氢后开工, 这样重整开工氢气只需 6000Nm³就可满足, 由此可以看出采用外购氢气体积、质量明确, 但是对于开工氢气的供应要求较高, 必须按时到货。

1.2 可操作性

外购电解氢的主要运作环节是在公路运输方面, 其最大的优点是, 需要我公司执行的实际操作较少, 可以节约更多精力和人力, 以投入到主装置检修和开停工方面, 缺点是订货周期相对较长, 但是对于计划性的检修, 提前订货完全可以做到。如果我们采用甲醇制氢的氢源开工, 需要我们对甲醇制氢装置的启用, 则需要提前做好各项准备, 并要在主装置检修前完成甲醇制氢、PSA 装置的检修, 开工后投入相当的人力和精力才能确保氢气纯度尽快合格, 操作难度和精神压力较大, 主要优点是: 自主性强, 不存在受制于人的问题, 运用比较灵活。

1.3 风险性

外购电解氢的主要风险在于能否按照公司要求准时运抵现场, 以及由于开工出现临时意外需要增加氢气用量, 而此时现场又无可备用的氢源, 将严重影响开工进度。对于前一种风险可以采用提前运抵现场等候装置开工的方式予以消除, 对于第二种风险虽然能够通过提前放大采购数量的方式予以消减, 但并不能彻底消除, 两种风险应对措施都要相应的增加一些成本。

甲醇氢存在的主要风险在于能否准时平稳的提供合格纯氢, 此种风险同样只有通过充分准备、提前投产、延长调试摸索时间等手段予以消减, 但尚不能保

证彻底解决。

1.4 经济性

电解氢：由于运输所费精力巨大，较为合理的采购数量应当按照满足装置需要，给够余量，充份利用运输设施的方式来确定。结合装置开工耗氢量，拟定的采购数量和所需费用为：

全面停工检修 6000Nm^3 (2 辆车) $\times 12$ 元 / $\text{Nm}^3 = 72000$ 元；

甲醇氢：甲醇制氢成本主要是原料消耗率、综合能耗等，另外由于该装置属于短期临时运行，因此在综合上次开工的原料消耗以及提前开工、设备检查、能耗、物耗等因素，来估算满足芳构化一次开用氢所需费用（见表 1）。

如果甲醇制氢装置调试 24 小时产出合格氢气，生产 6000Nm^3 大约需要 10 小时，总计 20 小时。则根据以上数据，计算一次开工制氢的基本成本为：

动力消耗（电、软化水、循环水、仪表风、蒸汽）+ 检修费用 = $2336.71 \times 34 + 40000 = 119448.14$ 元

1.5 综合性对比

经过以上的各项分析可以得到关于两种氢源的适用性对比（见表 2）。

通过对比可以发现，电解氢和甲醇制氢这两种开工氢源都各自具备相为互补的优点和缺点。作为电解氢的缺点，我们可以在停车前订购数量充足的电解氢作为主氢源，并尽可能的提早运抵现场，以节约精力，同时可以防止由于单独使用甲醇氢而带来的氢气不纯的后顾之忧，其次，在停车前将甲醇制氢装置调整到随时可以启动的备用状态，以防止外购电解氢不能准时到达、数量不足或其它的意外。

2 运行四部 80 万吨 / 年连续重整装置外购氢气开工实践

运行四部装置检修是 6 月 5 日全面完成，装置进

表 1 甲醇制氢装置开工物耗表

	项目	单位	数量	费用（元）
价格	软化水	元 / 吨	2.6	——
	循环水	元 / 吨	0.5	——
	电价	元 / kWh	0.83	——
	甲醇	元 / 吨	2000	——
	净化风	元 / Nm^3	0.30	——
	氮气	元 / Nm^3	0.579	——
	中压蒸汽减至低压蒸汽	元 / 吨	17	——
	导热油	元 / 吨	9000	——
	检修费用	元	按 4 万元估算	——
消耗量	电耗	kW/h	160	132.8
	循环水	T/h	50	25
	软化水	T/h	0.35	0.91
	蒸汽	T/h	32.5	552.5
	净化风	Nm^3/h	120	36
	氮气	$\text{Nm}^3/\text{次}$	500 (置换一次)	289.5
	甲醇	T/h	0.65	1300
	合计			2336.71

表 2 甲醇氢与电解氢综合比较表

项目	使用范围	可操作性		风险性	经济性
		优点	缺点		
电解氢	检修停工	省力、省时	被动	氢气数量不足的风险，不能彻底消除	低
甲醇氢	检修停工 局部停工	耗费精力	自主灵活	消减氢气质量无法满足指标要求的风险，需要较长时间	高

入气密置换、装剂工序，公司计划6月11日重整装置投料产氢供加氢装置催化剂预硫化。

2.1 重整临氢系统的置换

外购电解氢两辆槽车于6月9日到达装置现场，槽车储罐体积 23.6Nm^3 ，压力 18.0Mpa ，分，经过化验部分采样分析氢纯度 99.99% ，CO和 CO_2 未检出，氢气质量负荷重整用氢要求，随时可供装置开工使用。装置于6月10日16:00对重整临氢系统、再接触系统氮气环境进行采样分析，氧含量小于 $0.5\text{V}\%$ 符合要求，部门决定对重整临氢引氢气置换。由于槽车储罐的压力为 18.0Mpa ，而我们重整临氢系统需要从微正压充至 0.2Mpa ，为防止在充压过程中发生以外危险，我们在充压口安装减压装置，可将压力从 18.0Mpa 减压至 2Mpa ，开始充压，当压力充至 0.2Mpa ，用时仅为10分钟，置换2次后于17:30启动重整循环机C3201，18:00启动重整增压机C3202，四合一炉点火升温。两台压缩机均启动后，我们边循环边对重整反应系统和再接触系统进行置换，置换结束后总共耗氢 3300Nm^3 ，20:00我们采样分析氢纯度 97% ，完全符合重整开工的要求。由于循环机、增压机启动后，干气密封的 N_2 会漏入系统造成氢气纯度下降，6月11日5:00重整氢纯度在线仪表显示氢纯度仅为 56% ，已经不能满足开工需要，遂又将剩余的氢气使用 3000Nm^3 用于置换，至此重整临氢系统置换总共耗氢 6300Nm^3 。装置于6月11日10:30分升温至 370°C 开始进油产氢。

2.2 预加氢、后加氢临氢系统状态

由于是检修后开工，开工前已经储备足够的精制油，本次开工思路是先开重整，待重整产氢后，供预加氢、后加氢催化剂预硫化。重整产氢前，预加氢临氢系统、后加氢临氢系统处在氮气环境，随时具备氢气置换条件，分馏系统热油单塔循环。

2.3 预加氢催化剂活化、开工

运行四部6月11日10:30重整进油产氢后，调整增压机转速，并将产氢全部送加氢装置，12:00引再接触氢气预加氢临氢系统置换，18:00采样分析氢纯度 86% ，符合预硫化氢气的要求，开始点加热炉F3101升温预硫化，装置于20:00引石脑油预硫化，6月12日14:00完成预硫化工作，石脑油进塔，至此重整装置全流程打通。

由以上可以看出采用外购氢开工从开始重整引氢气置换、产氢到预加氢催化剂预硫化结束，全流程打

通用时仅为46小时，开工时间短，比装置初次开工，先开甲醇制氢PSA，产氢后供预加氢活化、重整系统置换开工的思路缩短了3天的时间。

表3 外购氢与甲醇氢开工时间对比表

方案	甲醇制氢开工	置换时间	总计耗时
甲醇氢	24小时	10小时	34小时
外购氢	-----	1小时	1小时

3 经济效益评估

第一、从重整临氢系统氢气置换至重整进料产氢仅用时18小时，如果按照重整向 370°C 升温控制在8小时以内，从氢气置换至进油产氢完全可以控制在10小时以内。比开甲醇制氢装置缩短了33小时的时间。

第二、采用外购氢开工具有一定的弹性，如果加氢装置条件不具备，重整装置可以不置换，不点炉，在一定程度上避免氢气排放，具有较大的经济效益。

第三、为公司的今后各装置开工顺序明确了方向。先开重整装置，重整装置以 45% 低负荷维持生产，供加氢催化剂升压，预硫化的开工思路。

4 方案创新与改进

不管是甲醇氢还是外购氢开工，都具有一定的缺点，现提出以下开工方案：①重整反应系统氮气工况下开工。该方案理论上可行，当重整反应温度达到 370°C 缓慢进油，进油后温度升至 400°C – 410°C ，运行一段时间，待氢纯度升至 80% 以上时，反应温度升至 480°C ；②装置新上制氢反应器，与预加氢反应器并联运行，待产氢后供重整装置置换开工。

5 结论

采用外购氢开工时间短，人员投入少，经济低，操作弹性大，可以与加氢装置很好的配合，减少重整氢放火炬损失，较正常开工时间缩短33小时，既提高了经济效益又达到了环保目的。

参考文献：

[1] 寿建祥. 连续催化重整装置大型化探讨 [J]. 石油炼制与化工, 2020(06)

[2] 代丹, 黄荣升. 90万吨/年连续重整装置非氢气环境开工论述 [J]. 当代化工研究, 2022(05):69-71.

[3] 宋春, 许可. 连续重整装置氢增压机防喘振及压力控制系统的改进 [J]. 石油和化工设备, 2020, 23(09):52-55.

[4] 张士元, 李亮, 吴斌超. 氢压缩机过滤器压差高的原因分析及对策 [J]. 炼油与化工, 2020, 31(04):26-29