

油气储运系统中氢能化改造变换串联集成应用技术研究

杜世成 刘慧

山东金岛勘察设计有限公司

摘要: 为提升化工制氢装置运行的灵活性与系统可靠性, 本文围绕 705A 与 705B 变换装置工艺气(含氢组份较高)管线的串联改造展开研究。通过合理设计管线连接结构、优化阀门布局与隔离策略, 实现了两套变换系统间的互通与负荷共享, 解决了原系统独立运行带来的检修风险与调节瓶颈。论文详细阐述了改造目标、技术路径、材料选型与施工组织方案, 并从系统联通性、负荷调节能力与经济效益等方面进行了效果分析。

关键词: 变换装置; 工艺气管线; 系统串联; 负荷调节

在现代化工生产体系中, 装置的稳定运行与灵活调控能力直接影响企业的经济效益与安全保障水平。以某大型化工氢能装置企业为例, 其 705A 与 705B 两套变换装置分别对应 706A 与 706B 两套净化装置独立运行, 虽然具备良好的运行隔离性, 但在实际运行过程中却存在联通性不足、装置检修影响范围大、系统调节能力受限等问题^[1]。为保障单套装置检修期间的系统连续供气能力, 提升整体装置的灵活运行水平, 项目团队借助年度大修窗口期, 提出对 705A 与 705B 装置的工艺气管线进行串联改造的技术方案。通过科学设计管线连接结构、合理配置阀门隔离单元, 并结合系统运行工况进行优化配置, 本次改造不仅为装置实现跨系统的负荷调节与应急切换提供了技术支持, 也为类似化工装置的系统优化改造积累了宝贵经验^[2]。

1 改造总体思路

1.1 改造目标与原则

本次改造的核心目标是通过增设

工艺气管线连接通道, 实现 705A 与 705B 变换装置之间的气源共享与系统互通。具体目标包括: 1) 保障任一装置检修期间系统供气不中断; 2) 增强两套系统之间的运行调节能力, 提高负荷响应速度; 3) 降低因单装置停运带来的产能损失与运行风险。改造设计坚持“安全优先、兼容性强、操作简便、结构紧凑”的技术原则, 结合原有装置布置基础进行局部优化, 避免大规模调整带来的施工难度与生产干扰。同时, 方案中充分考虑了检修操作的可达性、运行中的隔离性与后期维护的便捷性, 力求实现结构与功能的最优平衡, 确保新建管线系统与现有设备之间形成有机集成^[3]。

1.2 系统运行优化需求分析

在正常生产状态下, 705A 与 705B 装置分别独立供气, 缺乏互通路径, 使得在运行负荷波动、突发故障或计划性检修等情形下, 无法实现资源共享与流量平衡调节, 容易造成某一系统过载或供气不足, 影响下游净化装置与后续工段的稳定运行。同时, 单

一运行模式下的系统弹性较低, 一旦某套装置异常停运, 将导致对应净化单元停摆, 影响整个工艺链条^[4]。因此, 建设一套灵活可控的串联连接系统, 满足系统压力均衡、流向调节与隔离切换的多样化运行需求, 成为提升系统稳定性的关键。通过构建串联通道, 在系统间实现“互为备份”, 不仅提高了运行的冗余度, 也在长期运行中优化了生产组织调度, 显著增强了装置的整体应变能力与运维效率。

2 串联改造技术方案设计

2.1 改造管线布置结构

在本次改造中, 设计团队结合现有 705A 与 705B 装置的布置结构与管道走向, 采用“局部三通+短距联通+设置盲板及阀门”的策略进行管线布置。具体做法是在 705A 与 705B 的变换气出口和未变换气出口主管上分别设置等径三通管件, 形成两个互通甩头, 再通过新增管线实现两者连接^[5]。由于原系统布置紧凑, 新增管线需避让原有支架、电缆桥架及其他附属设

施, 因此所有连接管段均采用最短路径设计, 尽量减少弯头数量以降低压降。同时, 考虑后期检修与维护需求, 在管线适当位置预留法兰连接接口与检修口, 方便后期拆装操作。改造流程和改造单线图如图 1、图 2 所示, 整体布线坚持“结构紧凑、路径清晰、接口明确”的设计原则, 确保改造实施效率与后期运行安全。

2.2 串联连接方式与阀门布置

为实现系统串联后的灵活控制与精准隔离, 改造方案在每条新增连接管线上均设置手动闸阀, 并在原有装置出口处增设界区阀, 便于实现单侧停运时的系统隔离。所有阀门均选用耐腐蚀性强、启闭灵活的高等级不锈钢材质产品, 压力等级统一采用 600LB, 确保系统密封与耐压性能。在工艺管线连接方式上, 新增段落均采用法兰连接, 便于施工现场的对口调整与后续拆装维护, 同时采用 8 字盲板实现临时封堵需求。在整体布置上, 705A 装置侧的连接管段略高, 705B 装置侧的连接管段略低, 以利于检修排凝操作和系统重力排空。通过科学布置阀门与连接方式, 既保障了系统运行过程中的气体流向控制, 也为装置运行过程中不同工况下的操作灵活性提供了支撑。

2.3 检修隔离与运行切换策略

系统串联后, 为应对单套装置检修或停运情况下的运行切换需求, 设置了完善的阀门隔离与流向调节策略。在 705A 与 705B 各自的变换气与未变换气出口处设置两道界区阀, 确保当其中一套装置停运时, 另一路系统仍能通过连接管线为下游提供工艺气。此外, 在新增连接管线上亦设置独立闸阀, 可根据系统运行状态进行快速切换, 避免串流、倒灌或系统压差过大等风险。在操作规程设计方面, 制定了检修状态下的标准切换流程与管道置换清洗规程, 确保操作人员能快速、安全地完成气源切换与系统隔离。

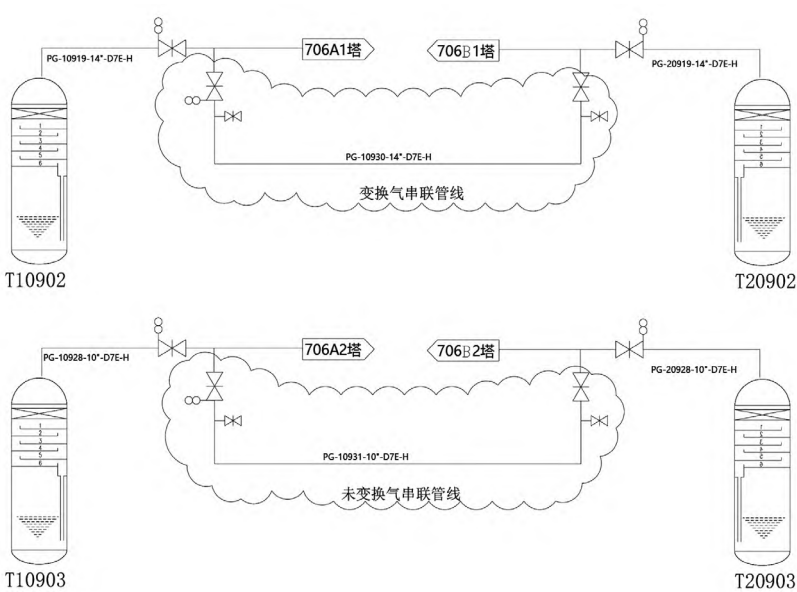


图 1 改造流程图

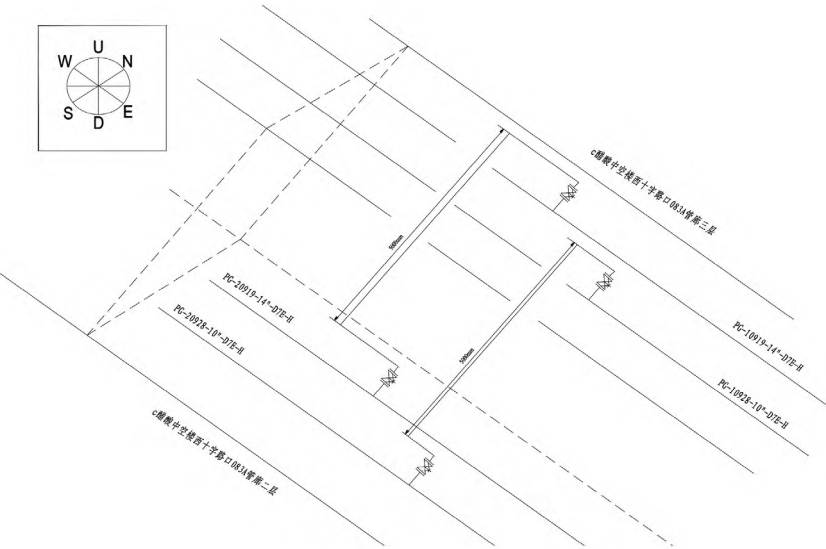


图 2 改造单线图

在长期运行中, 该策略可有效提高设备的检修效率与安全性, 同时避免生产波动对整体装置带来的不利影响。

3 材料配置与设备选型

3.1 管件与阀门规格

为保障新建管线的耐压、耐腐蚀性能与系统兼容性, 本次改造所选管材均采用 304 不锈钢无缝钢管, 规格涵盖 14" 与 10" 两种直径, 压力等级按照 SCH80S 标准设计, 以适应高温高压工况。弯头、三通等配件亦统一采用同规格材质与厚度, 确保连接强度

与流体阻力控制效果。阀门方面, 主干线及关键隔离位置选用 14" 与 10" 口径的 600LB 等级闸阀, 材质为 CF8/HF 复合型不锈钢, 具备良好的密封性能与启闭可靠性。在支线与盲板设置处, 配置 1" 口径的小型阀门和 8 字盲板, 实现小流量放空、排凝及临时隔断功能。所有管件与阀门均依据装置实际运行参数进行选型, 确保结构匹配、性能可靠、使用寿命长, 满足长期稳定运行的需求。

3.2 法兰、垫片及紧固件明细

变换装置出口串联材料见表 1, 在

法兰连接部分，本次选用 WN 型对焊法兰，等级为 600LB，压力密封性能优异，常用于高温高压工况下的连接要求。根据管道口径设置了 WN350-600、WN250-600 与 WN25-600 三种规格，材质为 304 不锈钢，与管道、阀门材质保持一致，以提升系统兼容性与抗腐蚀能力。垫片采用 2424 型金属缠绕垫，具有良好的弹性与密封性，在多次启停工况下亦可保持密封效果稳定。紧固件方面，主要采用 M36、M33 等规格的全螺纹螺柱与螺母，材质为 35CrMo 与 30CrMo 高强度钢，结合使用以提升抗拉强度与连接可靠性。根据法兰连接数量合理配置配套件，施工前完成编号与分区摆放，确保现场装配效率与连接精度，为整体系统的密封性与抗震性提供硬件保障。

3.3 材料选型合理性分析

考虑到改造系统处于变换工艺气出口区域，长期运行条件为高温、高压、含水、高腐蚀性气体环境，材料选型需重点满足耐腐蚀性、结构强度与工艺兼容性要求。管材与配件统一采用 304 不锈钢，可有效抵抗 CO、H₂、CO₂ 等气体成分的化学腐蚀，延长系统使用寿命。阀门选择 CF8/HF 材质，兼具结构强度与介质适应性，尤其在多次启闭循环中表现出优异的稳定性。密封垫片选用金属缠绕结构，适应热胀冷缩与多次拆装要求，提升接口密封可靠性。紧固件则优先考虑高强度钢方案，以提高管系在动态载荷下的连接强度与结构稳定性。整体材料配置方案充分结合系统实际工况参数与长期运行可靠性需求，在满足技术条件前提下兼顾经济性与维护便利性，具备良好的综合应用价值。

4 改造效果分析

4.1 系统联通性与检修保障提升

本次工艺气管线串联改造完成后，705A 与 705B 装置间首次实现了工艺

表 1 变换装置出口串联材料表

序号	材料名称	规格	材质	单位	数量
1	无缝钢管	14", SCH80S	304	m	20
2	无缝钢管	10", SCH80S	304	m	20
3	90° 弯头	14", SCH80S	304	个	6
4	90° 弯头	10", SCH80S	304	个	6
5	闸阀	14", 600LB	CF8/HF	台	3
6	闸阀	10", 600LB	CF8/HF	台	3
	闸阀	1", 600LB	F304/HF	台	4
7	法兰	WN350-600, WN-RF	304	片	6
8	法兰	WN250-600, WN-RF	304	片	6
	法兰	WN25-600, WN-RF	304	片	8
9	缠绕垫	D350-600	2424	片	8
10	缠绕垫	D250-600	2424	片	8
	缠绕垫	D25-600	2424	片	10
11	等径三通	14" × 14" × 14" SCH80S	304	个	2
12	等径三通	10" × 10" × 10" SCH80S	304	个	2
13	8 字盲板	14", BLF1-10.0	304	片	2
14	8 字盲板	10", BLF1-10.0	304	片	2
15	全螺纹螺柱 / 螺母	M36 × 250	35CrMo/30CrMo	套	100
16	全螺纹螺柱 / 螺母	M33 × 235	35CrMo/30CrMo	套	80
17	全螺纹螺柱 / 螺母	M36 × 303	35CrMo/30CrMo	套	30
18	全螺纹螺柱 / 螺母	M33 × 278	35CrMo/30CrMo	套	20
	全螺纹螺柱 / 螺母	M16 × 105	35CrMo/30CrMo	套	35

气资源的互联互通，突破了原有系统间运行割裂、孤立的结构限制。在任一变换装置计划或突发停运的情况下，另一套系统可通过串联系统承担双负荷运行，从而保障净化装置与下游工序的持续供气。通过两套装置气源的跨系统互备，显著增强了全系统在检修、切换、负荷波动等复杂工况下的应对能力。尤其在装置单侧突发跳车的情况下，新系统能在短时间内通过阀门调节实现应急切换，避免连锁触发与工艺中断，有效延长系统稳定运行时长。此外，该改造提升了系统的运维便利性，方便调度中心根据运行实际灵活进行流量分配，实现更安全、经济的生产组织结构。

4.2 负荷调整灵活性对比分析

原系统下，两套变换装置互不联通，在运行负荷调整方面局限明显。一旦某套装置负荷降低或出现系统不平衡，无法通过跨系统协调来实现均

衡运行。改造后，串联通道为系统间负荷调节提供了物理基础，在气量富余一侧可通过开启连接阀门为负荷不足侧提供补充，实现全厂范围内的负荷优化与产能调节。运行数据显示，系统总气量调节响应时间缩短 40% 以上，有效缓解了单侧工况波动对系统的冲击。

同时，管道布置合理，阀门控制精确，可支持运行人员根据 DCS 数据实时进行联调操作，提高调控效率与响应灵敏度。改造后装置整体运行压力波动范围缩小 15%，为装置在多种生产负荷组合下保持稳定运行提供了保障，体现出极高的运行柔性调度效率。

4.3 经济与运行效益评估

从经济角度评估，该改造方案在一次性投入方面主要包括管材、阀门、人工、检测与调试费用，总投资较小，但带来显著回报。首先，在大修期间

实施本次串联系统改造,有效节约了后续独立施工所需的停产成本。其次,改造后系统具备负荷自动调节与检修互备功能,可在每次单装置停运时保障全系统连续生产,预计每年可减少产能损失近 500 万元。同时,系统运行更为稳定,减少了因压力波动、跳车带来的设备损耗与能耗波动,间接降低了维保与能耗成本。在综合运行效益方面,串联系统提高了装置的整体利用率与管理弹性,提升了设备平均无故障运行时间(MTBF)约 18%,运行组织更加高效有序。

综上所述,本次改造不仅技术可行,经济上亦具良好投入产出比,具备显著的推广与复制价值。

5 结语

通过对 705A 与 705B 变换装置工艺气管线的串联改造实践,可以看出在不改变既有系统结构的前提下,通过合理设计与科学施工组织,即可实现系统间的有效联通与运行优化。

此次改造,不仅增强了两套变换系统的互为冗余能力,也显著提升了系统在复杂工况下的应急响应效率与调节弹性。从改造后运行数据看,系统运行稳定性提升明显,产能利用率更高,运维成本有效降低,具备较强的技术推广与经济复制价值。

参考文献:

[1] 张颂,王磐,郭大方.合成气制甲醇

合成系统工艺优化[J].山西化工,2025,45(03):135-136+202.

- [2] 程佳,李开冉,吴彬.超临界CO₂流化床换热器优化设计研究[J].流程工业,2025(01):78-81.
- [3] 党伟.空分装置贫氮氩液氧系统工艺流程简述及调试总结[J].低温与特气,2024,42(05):41-42+45.
- [4] 罗鹏,梁锋,李斌.氯气吸收系统的工艺改造与设计[J].氯碱工业,2024,60(10):22-24.
- [5] 任莉.“反渗透+离子交换”脱盐水处理系统的处理工艺及实用性验证[J].纯碱工业,2024(05):6-9.

(上接第21页)

技术(红外+电化学)复合检测模式,提高抗干扰能力和精准判断水平。

5 检测优化与环保融合策略

5.1 检测系统布点优化与多技术融合

为提高硫化氢泄漏检测的准确性与响应效率,有必要对现有监测系统布点进行布点优化与技术融合。首先,在气体可能积聚的低洼区、风向下风侧、设备密集处应设立重点监测点,合理布设不同高度的多层检测节点。

其次,采用红外光谱与电化学传感器复合应用模式,可增强系统对 H₂S 的识别灵敏度与抗干扰能力。此外,针对复杂场景还可引入激光遥感扫描技术或便携式监测设备,用于应急响应与区域补测。通过统一系统平台管理各类传感器数据,可实现报警联动与智能诊断,为快速决策提供支持。

5.2 泄漏吸收与尾气处理装置配置建议

在硫化过程中,除提升检测水平外,还应强化对硫化氢等有害气体的吸收与处理。针对装置中可能出现的微量泄漏或排放点,建议安装碱液吸收塔、小型

碳滤塔或尾气洗涤装置,对排出气体进行就地净化。同时,可设置局部抽风罩,配合负压引流系统,将反应区尾气导入中和处理模块。针对 H₂S 因高挥发性带来的二次污染风险,也应设专用收集与冷凝回收系统,减少其进入大气的概率。通过治理设备的模块化部署,可在不大幅增加改造成本的前提下有效提升环保控制能力。

5.3 数据平台联动与实时监测预警系统设计

实现对 H₂S 泄漏的全周期风险管理,需构建覆盖装置区域的实时监控与智能预警系统。建议部署一套具备数据采集、动态评估、风险研判功能的数字平台,集成各点位气体检测数据、风速气象数据与工况信息,形成三维可视化监控画面。当某点气体浓度接近预警阈值时,系统可自动发出声光报警,并联动通风、切断等应急装置启动。

6 结语

石化行业在追求生产高效与安全

运行的同时,必须高度重视特殊工艺阶段中的环境风险与泄漏隐患。本文围绕催化剂硫化工艺中氢气与 CS₂ 联合应用的可行性,从装置施工、泄漏影响因素到环保融合进行了全流程研究。实践表明,通过优化管线布局、精准控制注入节奏、强化泄漏监测系统建设,能够有效提升预硫化过程的安全性和环保水平。

参考文献:

- [1] 陈晓丹,刘艺璇.强化责任勇担当凝心聚力铸精品[N].克拉玛依日报,2025-01-08(009).
- [2] 王永嘉.石化企业重质油储运过程中的安全与环保管理[J].石化技术,2024,31(12):342-344.
- [3] 刘守瑜.数字化技术赋能石油石化安全环保技术服务研究[J].石化技术,2024,31(11):348-350.
- [4] 全力以赴为美好生活“加油”——中石化济宁石油分公司安全环保这样干[J].中国环境监察,2024(10):95-98.