

分布式天然气制氢系统工艺设计与调试技术研究

单晓明

申瑞环能科技(上海)有限公司 上海 201600

摘要: 分布式天然气制氢系统在能源结构转型中占据重要地位,本文围绕工艺设计与调试技术展开深入研究,系统阐述原料预处理、核心反应及产物分离提纯等工艺单元的设计方法,分析辅助工艺集成方案与系统紧凑化布局策略,探讨调试前期准备、单元调试及联动调试的技术路径,研究设计参数与调试标准的适配机制及双向反馈调整方法,为分布式制氢系统的高效运行提供技术支撑与工程参考。

关键词: 分布式天然气制氢; 工艺设计; 调试技术; 系统集成; 能量梯级利用

引言: 随着氢能产业快速发展,分布式制氢因具有灵活性高、占地面积小、适配场景广等优势,成为满足局部氢能需求的重要方式。天然气作为储量丰富、清洁高效的原料,其制氢技术已日趋成熟,但分布式场景对系统紧凑性、稳定性及节能性提出更高要求。当前,分布式天然气制氢系统在工艺单元衔接、参数匹配及调试效率等方面仍存在不足,影响系统整体运行性能。为此,开展系统工艺设计与调试技术研究,优化各工艺单元配置及调试流程,对提升制氢效率、降低能耗、保障系统稳定运行具有重要意义。

1 分布式天然气制氢系统工艺单元设计

1.1 原料预处理工艺设计

原料气杂质脱除工艺聚焦天然气中有机硫、无机硫及固体杂质的高效脱除,选用钴钼加氢串联氧化锌脱硫工艺,在350至400℃、3.0至4.0MPa条件下,有机硫如甲硫醇(CH_3SH)、二甲基硫醚($(\text{CH}_3)_2\text{S}$)经Co-Mo/ Al_2O_3 催化剂加氢转化为硫化氢,随后通过氧化锌吸附去除, $\text{ZnO}+\text{H}_2\text{S}\rightarrow\text{ZnS}+\text{H}_2\text{O}$,硫化氢出口浓度可降至0.1ppm以下,同时配置精度5 μm 的专用过滤装置清除固体颗粒,避免杂质导致后续镍基催化剂中毒失活^[1]。原料气预热与压力调节工艺结合后续反应需求,采用热交换方式实现原料气温度调控,搭配适配的压缩机完成压力调节,合理确定压缩级数以保障压缩效率,为核心反应提供适宜的温度与压力条件。原料气流量匹配工艺根据核心反应的物料需求,设计精准的流量调控机制,协调原料气与后续工艺介质的供给节奏,确保原料气供给稳定且与反应负荷精准适配,规避流量波动对反应过程造成的不利影响。

1.2 核心反应工艺设计

反应方式选择结合分布式系统的运行特点,优先选用技术成熟的水蒸气重整方式,兼顾反应效率与系统紧

凑性,同步完成工艺参数的精细化设计,合理设定反应温度、压力及水碳比,平衡反应转化率与能耗。反应设备结构与流程设计围绕反应方式优化设备内部结构,选用适配分布式场景的小型化反应器,优化反应器内部流道布局,设计简洁流畅的反应流程,减少物料滞留与能量损耗。反应过程物料与能量传递工艺重点优化反应体系内的物料流动路径,强化热量传递效率,通过合理的换热结构设计,回收反应过程中产生的热量并实现循环利用,缓解强吸热反应的热量需求,保障物料转化与能量利用的高效性。

1.3 产物分离与提纯工艺设计

氢气与副产物分离工艺依据反应产物中各组分的物理化学性质差异,选用针对性的分离技术,实现氢气与二氧化碳、一氧化碳等副产物的有效分离,减少副产物对氢气纯度的影响,同时为副产物的后续收集提供便利。氢气提纯工艺路径设计优先采用变压吸附技术,搭配高效吸附剂,利用不同压力下吸附剂对杂质组分的吸附能力差异,设计合理的提纯流程,保障氢气纯度满足应用需求,同时兼顾提纯效率与系统能耗。分离提纯设备集成设计立足分布式系统的小型化、紧凑化需求,将分离与提纯设备进行一体化集成,优化设备连接方式,缩短管路长度,提升设备空间利用率,同时保障设备运行的稳定性与操作便捷性。

2 分布式天然气制氢系统辅助及集成工艺设计

2.1 辅助工艺设计

2.1.1 余热回收工艺设计

余热回收工艺设计聚焦系统运行过程中各类余热的高效回收与合理利用,针对核心反应单元排出的高温烟气及工艺介质余热,选用高效管壳式换热设备构建分级余热回收体系,优化换热流程与换热面积分配,提升余热回收效率^[2]。回收的余热可用于原料气预热、系统伴热

及辅助设备保温等工序,有效降低系统对外界能源的依赖,实现能量梯级利用,契合分布式系统节能降耗的核心需求。通过余热回收流程的优化设计,可进一步提升系统能量利用效率,降低单位制氢能耗,适配分布式场景的节能需求。

2.1.2 废水、废气处理工艺设计

废水处理工艺设计针对系统运行中产生的含微量杂质废水,采用混凝沉淀、超滤等物理化学处理结合深度过滤技术,精准去除废水中的悬浮杂质、溶解性污染物及微量有害组分,确保处理后废水达到工业循环利用或达标排放标准。废气处理工艺针对尾气中的微量有害气体,采用活性炭吸附与催化转化相结合的处理方式,选用高效催化剂强化污染物转化效率,精准去除废气中的有害组分,避免废气排放对周边环境造成影响,保障系统环保合规运行,适配分布式系统的环境友好型设计需求。

2.1.3 系统管路及接口工艺设计

系统管路及接口工艺设计结合各工艺单元的物料特性与压力需求,选用不锈钢、耐腐蚀合金等适配材料,兼顾材料耐高温、耐腐蚀性能与经济性,优化管路走向以减少流动阻力和能量损耗,降低管路沿程压力损失。接口设计采用标准化密封结构,搭配适配的密封件提升接口密封性与适配性,杜绝物料泄漏隐患,同时兼顾管路与设备的连接便捷性,简化安装流程,为系统后续维护与检修提供便利,保障管路系统长期稳定运行。

2.2 系统整体集成设计

2.2.1 各工艺单元衔接设计

各工艺单元衔接设计围绕原料预处理、核心反应、产物分离提纯及辅助工艺的协同运行,优化单元间的物料输送与能量传递路径,设计适配的缓冲装置与流量调控组件,确保物料在各单元间平稳输送,能量传递高效顺畅。通过衔接流程的精细化设计,规避单元间物料滞留、能量损耗及参数不匹配等问题,避免衔接不畅导致的系统运行波动,保障各工艺单元形成有机整体,提升系统运行协调性。

2.2.2 系统紧凑化布局设计

系统紧凑化布局设计立足分布式系统占地面积小、灵活性高的特点,结合各工艺单元的功能需求与设备尺寸,采用模块化布局思路,合理规划各单元空间位置,实现设备与管路的集约化布置。优化设备间距与管路走向,减少空间浪费,同时保障操作通道畅通,兼顾系统运行效率与操作便捷性,适配分布式场景的空间限制需求。通过布局优化进一步缩短物料输送距离,降低能量

损耗,提升系统整体运行效率。

2.2.3 工艺稳定性保障设计

工艺稳定性保障设计通过优化工艺参数调控机制,配置高精度在线监测仪器,实时捕捉系统运行过程中的温度、压力、流量等关键参数变化,及时调整运行状态,维持参数稳定。优化设备运行负荷分配,采用渐进式负荷调节方式,减少设备频繁启停带来的机械损耗,延长设备使用寿命^[3]。构建完善的异常预警机制,针对参数异常、设备故障等潜在风险设置预警阈值,提前规避工艺波动风险,保障系统长期稳定、连续运行,适配分布式系统的可靠运行需求。

3 分布式天然气制氢系统调试技术

3.1 调试前期准备与单单元调试

设备检查与调试准备聚焦系统各设备的运行适配性,对核心反应、分离提纯及辅助设备的安装精度、部件完整性进行全面检查,排查设备安装偏差、部件松动等问题,同时完成调试所需仪器仪表的校准,确保监测数据精准可靠,为后续调试工作奠定基础。工艺管路密封性调试准备围绕各工艺管路及接口,采用气压试验方式检测密封性,排查管路焊接、接口密封等环节的潜在泄漏隐患,对检测出的问题及时处理,杜绝调试过程中物料泄漏引发的安全风险与调试偏差。各单工艺单元逐一调试按照原料预处理、核心反应、产物分离提纯及辅助工艺的顺序,依次启动各单元设备,调控单元内工艺参数,观察设备运行状态与物料处理效果,优化单元内参数设置,确保每个工艺单元单独运行达到设计要求,为系统联动调试提供保障。

3.2 系统联动调试与故障处理

各单元协同运行调试在各单元调试合格基础上,启动全系统设备,协调各工艺单元的运行节奏,重点关注单元间物料输送、能量传递的协调性,优化单元间衔接流程,解决协同运行中出现的物料滞留、参数不匹配等问题,保障全系统高效协同运行。工艺参数联动调节技术根据系统整体运行需求,设计精准的参数联动调控逻辑,针对调试过程中出现的参数波动,联动调节相关工艺单元的运行参数,维持系统整体参数平衡,兼顾运行效率与能耗控制。调试过程各类故障处理针对调试中可能出现的设备运行异常、管路泄漏、参数失控等故障,结合故障表现精准定位故障原因,采用针对性处理措施,快速解决故障并恢复系统运行,同时记录故障类型与处理方法,为后续系统运维提供参考。

3.3 调试后期优化

工艺参数微调技术在系统稳定运行基础上,结合调

试过程中积累的运行数据,对各工艺单元的关键参数进行精细化微调,优化参数匹配度,进一步提升系统制氢效率、降低能耗,使参数设置更贴合分布式系统的运行特性^[4]。设备运行状态优化针对调试中发现的设备运行短板,调整设备运行负荷与运行模式,优化设备润滑、冷却等辅助环节,减少设备运行损耗,提升设备运行稳定性与使用寿命。系统运行连贯性优化聚焦各单元衔接与系统整体运行流畅性,排查并解决运行过程中出现的卡顿、波动等问题,优化物料输送与能量传递流程,确保系统长期连续稳定运行,满足分布式制氢系统的实际应用需求。

4 分布式天然气制氢系统工艺设计与调试的协同

4.1 设计参数与调试标准的适配

设计参数与调试标准的适配核心是实现工艺设计参数与调试标准的精准对应,基于工艺设计确定的温度、压力、流量等核心参数,制定适配的调试标准,明确各参数的调试允许范围与调控精度。结合分布式系统的小型化、灵活化运行特点,优化调试标准的设定逻辑,避免调试标准与设计参数脱节,确保调试工作围绕设计目标展开。通过参数与标准的双向适配,使调试过程能够精准验证设计参数的合理性,同时让设计参数通过调试得到有效落地,为系统高效运行筑牢基础,避免因适配不当导致设计目标无法实现或调试工作失去方向。

4.2 调试过程对设计的反馈与调整技术

调试过程对设计的反馈与调整技术聚焦调试过程中发现的设计短板,通过实时监测调试数据,捕捉设计参数与实际运行需求的偏差,形成精准的反馈信息。针对反馈的设计问题,采用针对性的调整技术,优化工艺设计中的参数设置、设备结构或流程布局,解决设计中存在的不合理之处。调整过程中兼顾设计的整体性与稳定性,避免局部调整对其他工艺单元造成不利影响,确保调整后的设计方案更贴合实际运行工况,提升设计方案的可行性与适配性,实现设计与实际运行的精准契合。

4.3 工艺与调试的协同优化

工艺与调试的协同优化立足系统整体运行目标,将工艺设计与调试工作深度融合,构建协同优化机制。在工艺设计阶段预留合理的调试调节空间,为调试过程中的参数微调与结构优化提供便利,避免设计固化导致调试无法灵活调整。在调试过程中结合运行数据,反向优化工艺设计细节,进一步提升工艺设计的科学性与合理性^[5]。通过协同优化,平衡工艺设计的先进性与调试的可行性,优化物料传递与能量利用效率,减少系统运行损耗,提升系统整体运行性能,同时缩短调试周期,降低调试成本,保障分布式天然气制氢系统长期稳定、高效运行。

结束语

分布式天然气制氢系统的工艺设计与调试,是一项涵盖多单元协同的系统工程。通过原料预处理、核心反应、产物分离提纯及辅助工艺的精细化设计,结合紧凑化布局与模块化集成思路,可有效满足分布式场景对系统小型化与高效化的要求。调试技术从单单元验证到全系统联动,再到后期参数微调,可形成完整的技术闭环。设计与调试的深度协同能确保工艺参数精准落地,及时修正设计偏差,可显著提升系统运行效率与稳定性。

参考文献

- [1]宋鹏飞,张超,肖立,等.站内小型撬装天然气制氢技术及安全设计[J].油气与新能源,2023,35(3):48-53.
- [2]燕巍.天然气制氢装置的自控设计与实现[J].科技创新,2022(24):8-11.
- [3]刘京京,何宏凯.混氢站内天然气掺氢工艺及其安全控制研究[J].天然气与石油,2023,41(3):36-40.
- [4]刘旭,赵雨桐,周毅昕.天然气转化制氢工艺技术研究[J].中国仪器仪表,2024(5):90-92,96.
- [5]杨凯鹏.天然气制氢变换气热量回收过程模拟优化研究[J].山东化工,2024,53(11):58-60.