

热高分加氢裂化 REAC 实时诊断监管系统设计与实现

偶国富, 唐 萌, 王宽心, 金浩哲

(浙江理工大学多相流沉积-冲蚀实验室, 杭州 310018)

摘 要: 以某炼油厂加氢裂化反应流出物空冷器的流动腐蚀失效案例为研究对象, 设计完成一套适用于该装置的安全诊断与监管系统软件。首先构建了基于流动腐蚀预测的失效参数控制体系, 结合工艺仿真软件 Aspen 对控制体系参数进行建模仿真计算, 进而完成数据采集、状态监测和诊断监管等任务。该系统的实施运行表明, 能有效促进装置的安全稳定长周期运行。

关键词: 加氢裂化; 流动腐蚀; 失效控制参数; 数值模拟; 实时诊断监管

中图分类号: TE986 **文献标志码:** A

0 引 言

近年来, 随着中东高硫原油加工量的逐渐增加, 中国加氢反应流出物空冷器(REAC)系统的流动腐蚀失效现象日益突出, 许多 REAC 系统处于“等待泄露状态”。据文献报道, REAC 管道泄漏、爆管原因主要是由于管内介质的流动腐蚀作用^[1]。某石化加氢高压空冷器系统自 2005 年 1 月投用以来, REAC 管束先后 4 次发生泄漏事故。针对 REAC 及其相连管道腐蚀问题的严重性, 美国防腐工程师协会、环球油品公司(UOP)、美国石油协会(API)炼油设备、腐蚀和材料研究委员会等先后进行了大量的调研, 并对 REAC 管道系统的失效机理进行了系统研究^[2-3], 但迄今为止 REAC 腐蚀失效的问题仍未得到有效解决。因此, 开展加氢 REAC 管束的在线监测与诊断, 明确系统的安全状况, 采取行之有效的监管措施是 REAC 系统安全生产的重要保证。

本系统在前人研究^[4-11]的基础上, 特别是 API932-B、API571 的相关成果, 改变以往针对系统参数平均值、极限值的研究, 基于实际过程中系统参数的临界特性, 提出 REAC 综合失效控制体系, 在系统运行过程中, 实施在线监测与诊断, 指导系统优

化运行, 应用于加氢空冷新装置。

1 加氢裂化 REAC 工艺流程

某石油化工有限公司高压加氢裂化装置主要生产轻、重石脑油、航煤油和柴油, 生产规模为 140 万 t/a, 反应压力为 14.0 MPa, 采用热高压分离流程(如图 1)。反应流出物与原料油换热后进入高温高压分离器分离为气液两相, 气相经换热器换热后进入 A3101 空冷器, 将物流由 160℃ 冷却到 45℃ 后流入低温低压分离器, 空冷器共 8 台, 材质为 10# 碳钢, 采用平衡配管方式。

2 失效控制参数数理建模

对图 1 所示系统的工艺过程, 通过失效机理研究、仿真分析和实验研究发现, 该系统存在的主要流动腐蚀风险为铵盐沉积垢下腐蚀、多相流冲蚀、露点腐蚀。结合 API932-B 等相关标准, 提出“避免沉积, 控制冲蚀”的 REAC 防控策略, 建立包括流速、入口液态水、腐蚀因子(K_p)、pH 值、 NH_4HS 浓度、铁离子含量、 NH_4Cl 结晶温度、 NH_4HS 结晶温度在内的失效控制体系。根据各参数报警情况提出相应的包括调控进料量、循环氢量、注水量、注水温度、入

收稿日期: 2012-11-15

基金项目: 国家科技支撑计划(2012BAK13B03-02)

作者简介: 偶国富(1965-), 男, 浙江杭州人, 博士, 教授, 主要从事石化装备设计、运行安全及保障技术的研究。

通信作者: 偶国富, 电子邮箱: ougf@163.com

口温度、强化循环氢脱 H_2S 等一系列监控措施。各失效控制参数的具体建模过程如下。

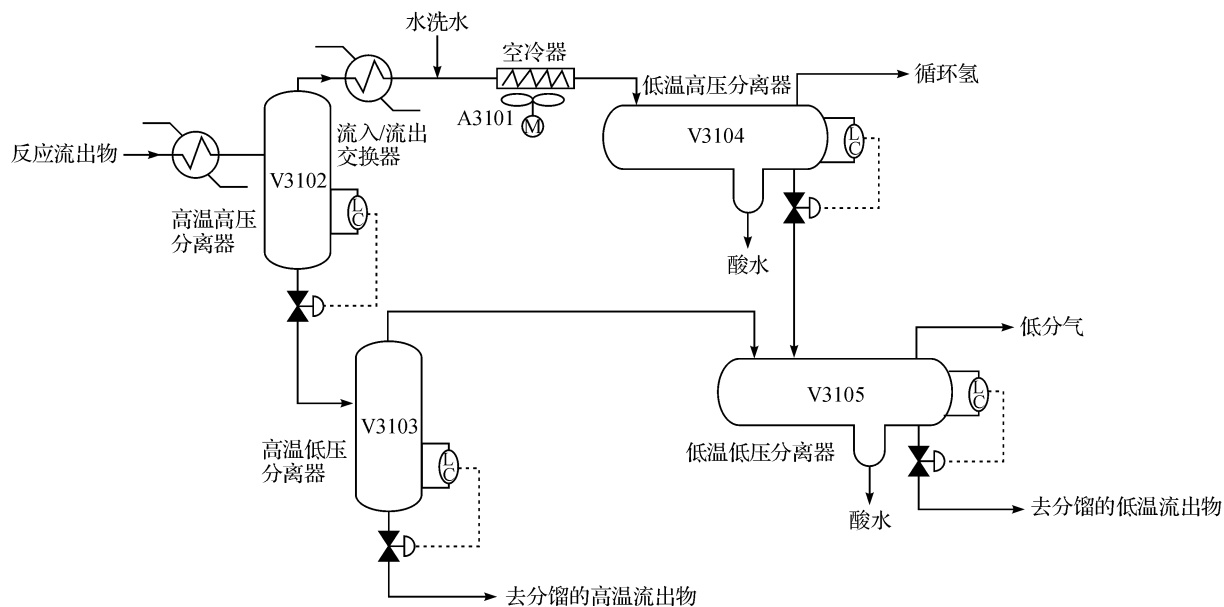


图1 加氢反应流出物冷却流程

2.1 腐蚀因子 K_p 值建模

K_p 值等于进入 REAC 干烃物流中 NH_3 的量分数与 H_2S 的量分数的乘积,干烃物流包括气相和液相的所有烃类。

首先通过企业的 DCS 控制系统数据库读取空冷器系统的原料进料量、循环氢流量;其次,根据原料的组分分析确定 H_2S 和 NH_3 的摩尔质量;而后,采用 ASPEN 建模仿真得到干烃物流的摩尔流量,确定加氢反应流出物系统的 K_p 值。

2.2 平均流速建模

REAC 系统由 8 台空冷器并联组成,每台空冷器分三管程,每一管程均由上下两排数量分别为 46、45 根,规格为 $25 \times 3 \text{ mm}$ 的翅片管构成。根据上述空冷器数量、分布方式、管束数量、管束内径以及原料油进料、循环氢流量、新氢流量、新氢平均分子量,采用 Aspen Plus 仿真计算得到循环氢平均分子量、加氢反应流出物密度,计算得到 REAC 管束平均流速。

2.3 NH_4HS 浓度的数学建模

REAC 反应过程中,原料中的 N 首先转化为 NH_3 ,随着反应继续, NH_3 和 H_2S 在高分水中进一步生成 NH_4HS , NH_3 、 H_2S 和 NH_4HS 的反应处于动态平衡状态。由于 H_2S 的量远大于 NH_3 ,反应会不断朝正反应方向进行,直至 NH_3 完全反应: $\text{NH}_3 + \text{H}_2\text{S} \rightleftharpoons \text{NH}_4\text{HS}$ 。

根据以上分析, NH_4HS 浓度的数学建模流程为:利用原料油进料量和原油 N 含量,结合脱氮率,

得到生成的 NH_3 质量,再利用化学反应方程式进一步计算生成 NH_4HS 的质量;最后结合注水量,确定该加氢反应流出物系统的 NH_4HS 浓度。

2.4 铵盐沉积温度的数学建模

根据原料油进料量及原油 N、Cl 含量,利用 ASPEN 建模计算气相中 NH_3 、 HCl 分压,将其与 NH_4Cl 结晶平衡常数 K 比较,若 $P_{\text{NH}_3} \times P_{\text{HCl}} > K$ 则说明在空冷器入口之前已经发生了 NH_4Cl 结晶沉积,此时直接输出空冷器入口温度,即为 NH_4Cl 沉积温度,同样方法也可获得 NH_4HS 的结晶沉积温度。

3 系统整体设计

本系统以 Visual Studio2008 为开发平台,采用面向对象编程语言 C#,结合 Mysql 作为数据库服务器,嵌入工艺仿真软件 Aspen 进行失效控制参数建模计算,可实现对超标参数的声光报警,并针对报警项目给出相应监管优化运行方法。系统同时具有控制参数历史记录查询及报警记录查询等功能。系统主要包括功能模块、数据库和安全性设计,完成了对流动腐蚀失效控制参数的监管,且人际交往界面友好。

3.1 系统模块设计与功能分析

根据系统需求,系统软件主要功能模块包括数据采集、Aspen 仿真、建模计算、实时显示、超标报警、数据存储、数据导出、监管机制、用户管理等。系统按照一定频率实时采集 DCS 控制系统中现场流量、温度、压力等基础工况数据及原料油、循环氢、低

分干气、低分油的化验分析数据,获取 REAC 系统的结构特性。结合多相流物性的 Aspen 仿真,进行各控制参数的建模计算;通过实时显示模块实现失效控制参数的实时状态监测;同时在超标报警模块中根据研究确定的失效控制指标对超标参数进行报警,为

现场操作人员提供可靠的运行工况及实时失效信息,针对超标参数提出相应的优化运行方法及工况调整措施,实现实时监测监管。整个 REAC 系统运行工况历史数据,可通过数据存储模块进行记录,并供现场操作人员查询。系统的功能模块如图 2 所示。

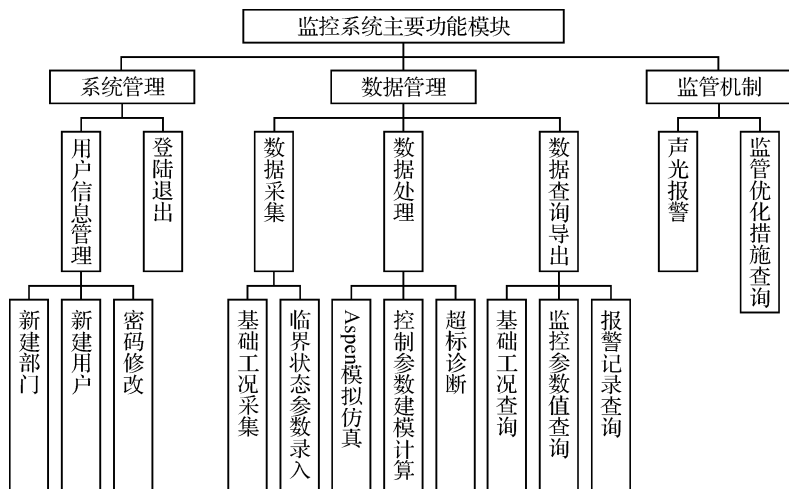


图 2 监控系统功能模块

3.2 数据库设计

根据系统需求,明确监控系统需存储的基础工况数据,存放建模计算所得到的监控参数、临界参数指标以及详细的用户信息等。设计数据库的核心表主要包括基础工况表 tb_BaseData,控制参数表 tb_Control,控制参数临界指标 tb_ParamThr,报警记录表 tb_Record,用户表 tb_User 等。

3.3 安全性设计

为确保系统的安全性,用户登陆或退出系统时均需经过身份验证;当主界面上出现参数超标报警时,系统生成的报警记录中会显示报警发生时的登陆用户,确认时间,参数恢复正常的时间,可有效监督操作人员,也便于在调查分析时查找原因。另外,系统根据用户的等级开放不同的操作权限,避免经

验不足者或恶意误操作,确保系统关键数据的安全性。

4 系统实现

4.1 嵌入工艺仿真软件

在数据采集的基础上,利用石油化工专业仿真软件 Aspen 对数据进行仿真分析;基于组件对象模型(COM)技术对 Aspen 进行二次开发^[12]。将采集的基础工况数据写入 Aspen,导入模拟计算建模图,并控制模拟的运行,最后从 AspenPlus 中读取包括 REAC 入口混合物密度、REAC 入口混合物流量实际值、REAC 入口气相百分比液态水量等模拟运算结果,并存入数据库中作为失效控制建模计算的基础数据;装置的 Aspen 工艺建模如图 3 所示。

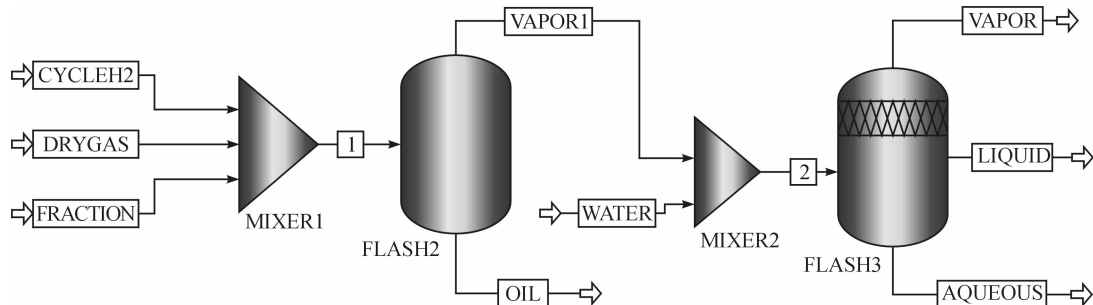


图 3 热高压分离工艺空冷器系统 Aspen 建模

4.2 系统监控主界面

用户通过密码验证登录后(如图 4)进入监控主界面(如图 5)。该界面模拟加氢空冷器工艺流程,并在相

应位置实时显示当前工况下的失效控制参数及状态;当发生参数超标时,对应参数前方绿色按钮转为红色进行光报警(也可选择开启声音报警功能);主界面下

方的功能按钮可用来实现其他相关功能界面的调用。



图4 系统登录界面

5 结 论

本系统以某加氢裂化 REAC 系统为研究对象,考虑化学因素和流动因素对加氢空冷系统的综合影响,提取关键的影响因子进行仿真分析建模,设计开发了一套加氢 REAC 诊断监管系统软件。目前,该系统已在某石化加氢裂化车间运行,运行结果表明该系统可有效地指导操作工调整系统输入,优化加氢裂化 REAC 系统运行,其应用能够延长 REAC 系统的使用寿命,避免事故发生,对安全生产意义重大。

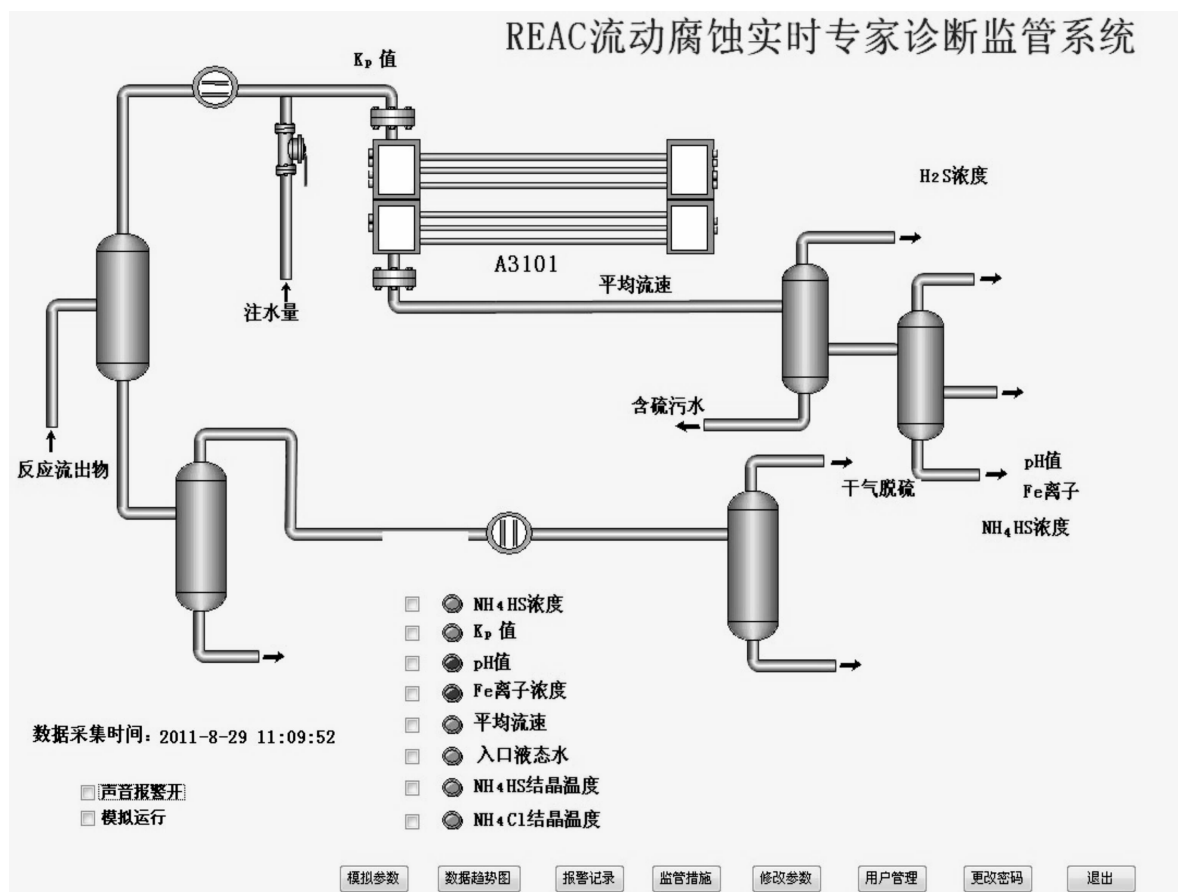


图5 系统监控主界面

参考文献:

- [1] 偶国富, 朱祖超, 杨 健, 等. 加氢反应流出物系统的腐蚀机理[J]. 中国腐蚀与防腐学报, 2005, 25(1): 61-64.
- [2] API 932-A A study of corrosion in hydroprocess reactor effluent air cooler systems[S].
- [3] API 932-B Design, materials, fabrication, operation and inspection guidelines for corrosion control in hydroprocessing reactor effluent air cooler (REAC) systems[S].
- [4] API 571 Damage mechanisms affecting fixed equipment in the refining industry[S].
- [5] Piehl R. Survey of corrosion in hydrocracker effluent air coolers[J]. Materials Performance, 1976, 15(1): 15-20.
- [6] Damin G, McCoy J. Prevention of corrosion in hydrodesulfurizer air coolers and condensers[J]. Materials Performance, 1978, 17(12): 23-26.
- [7] Harvey C, Singh A. Mitigate failures for reactor effluent air coolers[J]. Hydrocarbon Processing, 1999, 10(78): 59-72.
- [8] Ou Guofu, Zhu Zuchao, Gu Wangping, et al. Numerical simulation method for erosion failure prediction of hydrocracking REAC piping[C]//The 7th International Conference on Frontiers of Design and Manufacturing,

- Guangzhou, China, 2006: 96-102.
- [9] Mindaugas B, Rimantas D, Antanas Z. Pipe internal pressure calculation methods for pipe with corrosion flow, pite and crack[C]//2006 ASME Pressure Vessels and Piping Division Conference. Vancouver, British Columbia, Canada, 2006: 1259-1265.
- [10] 张海涛. 加氢装置设备腐蚀分析与安全防护[J]. 腐蚀与防护, 2007, 28(1): 42-44.
- [11] 陈孙艺. 流体对管件冲蚀的研究和防护[J]. 石油化工腐蚀与防护, 2003, 12(16): 55-59.
- [12] 耿大钊. 基于COM技术的MATLAB与AspenPlus接口及高级应用[J]. 计算机技术, 2006, 33(3): 30-34.

Design and Realization of REAC Real-time Diagnosis and Regulation System of High-temperature Separation Hydrocracking

OU Guo-fu, TANG Meng, WANG Kuan-xin, JIN Hao-zhe

(Lab of Multiphase Flow Deposition and Erosion, Zhejiang Sci-Tech University, Hangzhou 310018, China)

Abstract: With the flow corrosion failure case of air cooler of hydrocracking reaction effluent of an oil refinery as the research object, this paper designs a set of safety diagnosis and regulation system software appropriate for this device; establishes a failure parameter control system based on flow corrosion prediction research and conducts modeling and simulation calculation on parameters of the control system in combination with process simulation software Aspen and thus completes such tasks as data acquisition, state monitoring and diagnosis and regulation. Currently, this system has been put into operation, which effectively promotes the safe, stable and long-term operation of the device.

Key words: hydrocracking; flow corrosion; failure control parameters; numerical modeling; real-time diagnosis and regulation

(责任编辑: 张祖尧)