

# 催化裂化装置富气压缩机控制系统节能优化研究

CCC 压缩机控制系统在催化裂化装置的富气压缩机组的应用——本文分别从压缩机控制系统的改造方案、工艺流程优化和投用后的节能效果等方面进行详细的介绍和深入的研究。

文 / 常青

## PROCESS-Tip

\* 更多信息请扫描二维码:



chem.vogel.com.cn

\* 反馈编码: A220826

## 改造前现状及存在的问题

某公司催化裂化装置的富气压缩机为沈阳鼓风机厂提供的2MCL526 离心式气体压缩机,用3.5 MPa 蒸汽推动汽轮机工作,由汽轮机拖动离心机工作,因此蒸汽的节能方面可以充分利用。原压缩机控制系统采用TS3000,富气从入口缓冲罐来,经压缩机一段压缩后由中间冷却器进入分液

本文作者供职于山东华星石油化工集团有限公司。

罐进行气液分离,气相经压缩机二段压缩去稳定塔再吸收。压缩机设置一个防喘振回路,由压缩机出口经防喘振阀返回分馏塔顶入口冷却器前。富气压缩机改造前如图1所示,原富气压缩机运行中存在的问题如下。

1. 运行过程中需要通过反飞动阀 FV-1501 手动调整分馏塔顶压力,压缩机回流阀开度大,平均开度大约在 30% ~ 62%,从而导致压缩机运行的能耗过高。

2. 固定转速控制,转速控制在 7 047 r/min 左右。恒定机组转速,通过调节防喘振阀开度控制分馏塔顶压力,控制精度不高调节频繁,分馏塔塔顶压力波动大。

3. 装置开工压缩机起动过程中,需手动操作防喘振阀进行并机操作,人员技术水平要求高,操作难度大。

4. 反应再生系统压力波动,易造成机组喘振切除系统导致富气放火炬,严重情况装置生产

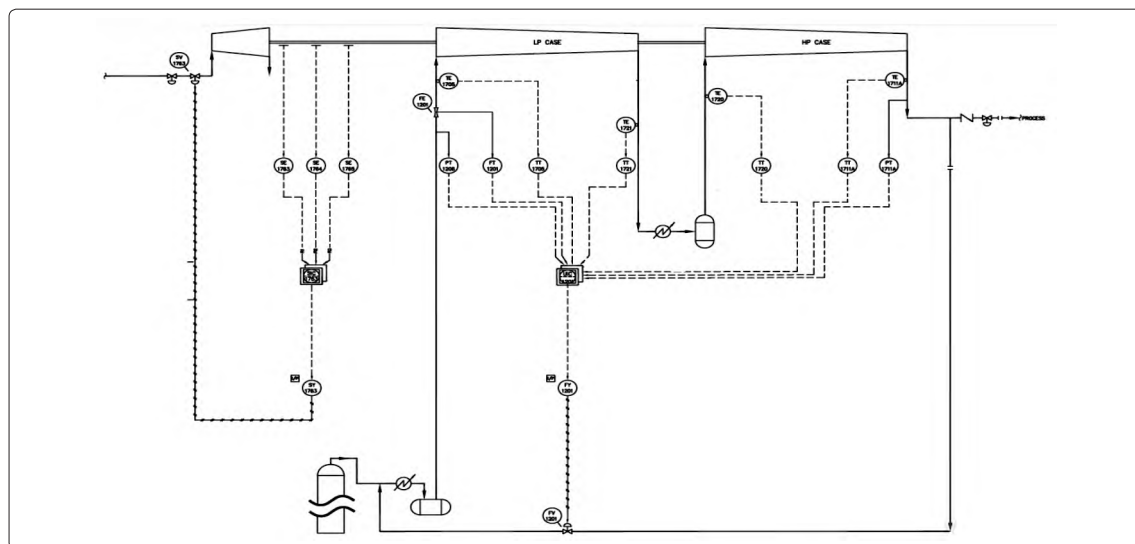


图1 富气压缩机改造前 CSD 图

中断。

5. 压缩机二段的分子量和流量变化很大,一段出口气液分离器有凝缩油排出,二段入口没有流量测量元件,无法对压缩机二段进行有效的防喘振保护。

6. 原控制系统没有压缩机性能调节回路,操作人员通过调整防喘振阀调节分馏塔压力,造成能量浪费并增加操作员工作强度,也使装置整体稳定性下降、能耗增加。

## 系统改造的理论依据

### 通过减少回流量达到节能效果

依据现在的压缩机性能曲线、数据表及压缩机的运行数据记录,初步保守地估算在 100% 的压缩机负荷下可以将一段及二段反飞动阀基本关闭或关到很小,实现压缩机性能优化及变转速控制,最终达到节能目的。

### 通过减少维护量降低维护成本

喘振可造成压缩机密封的损害,并且更严重的可造成轴瓦及转子的损伤,造成压缩机效率下降,防止喘振的发生意味着减少检修工作量及减少压缩机的内部泄漏。目前没有办法量化维护成本的降低,但应当考虑由于使用 S5 系列 Vanguard 冗余控制系统而实现维护成本的降低。

### 提高工艺控制质量

CCC 压缩机解决方案将包括解耦、压力超驰控制 (POC)、压缩机性能优化控制等关联控制技术,从而可以降低控制回路间的相互关联,优化压缩机及工艺网路的响应时间。这意味着工艺扰动对压缩机的影响降至最小,并且控制系统可以很快地对这些扰动做出响应并帮助工艺消除这些扰动。

降低工艺扰动意味着减少下游控制设备的损耗和异动,下游

设备相关成本的降低,包括维修成本和设备更换成本。

### 快速可靠的压缩机起机、停机程序

CCC 专门开发的压缩机起机、停机程序使压缩机起动和停机变成一个平稳可重复的过程。大大减少了开停机所需时间,并且避免了开机过程造成的停车,为生产装置的迅速恢复或开工创造条件。

### 减少操作人员的操作

CCC 的压缩机控制解决方案,使压缩机的起停机、正常运行实现完全自动化,操作人员只需设定分馏塔塔顶压力目标值即可,其他操作全部由控制系统安全可靠地完成,极大地降低了操作人员的劳动强度。

CCC 压缩机控制系统允许压缩机在更靠近机械、工艺限制区域内安全运行。此安全操作区域由压缩机喘振线和限制变量(例如:与工艺有关的限制变量,如最大出口压力、最小入口压力等)来决定。同时,实现自动的起机、停机操作,并且能够优化压缩机和工艺操作。通过使压缩机在贴近这些限制条件的区域操作,可以获得很多经济收益。

## 控制系统改造总体方案

整体拆除原压缩机控制系统,新上 CCC S5 Vanguard 控制系统一套,机组的调速、喘振和分馏塔顶压力控制均在新系统内实现,并在系统中增加约束控制和压力超驰控制(POC)等手段,实现喘振预估、防止入口抽空和出口压力超限。

### 控制目标

1. 喘振控制投入自动,通过对压缩机现场进行喘振试验精确定义一段、二段喘振曲线,从而

尽量关小或完全关闭防喘振阀,减小回流量。

2. 加入性能控制,帮助降低入口压力的波动,稳定工艺。

3. 防喘振控制由一、二段总的防喘振回路变为一段、二段两个防喘振控制回路分别控制。

4. 通过加入约束控制和 POC (压力超驰控制)控制,实现喘振预估、使得入口不会抽空/出口不会超压,避免设备和工艺风险的同时,消除放火炬。

5. 提高自动化操作水平,全自动控制缩短开工时间,所有控制回路投入全自动,并且提供自动加载/卸载功能,使操作人员工作量最小,缩短压缩机和装置开工的时间。操作人员只需设定分馏塔顶压力性能控制器目标值,实现卡片操作。

6. 结合现场回路诊断和退守策略,大大提高控制系统的可靠性,降低故障停机率。

### 具体改造方案

1. 用 CCC 最新 1 套 S5 冗余 Vanguard 系统构成的 CCS 替代现有的控制系统中的转速控制、喘振控制,提高控制精度和水平。现有系统中联锁保护、逻辑控制和一般监测控制功能分别由 SIS 系统和 DCS 系统实现。

2. 将原来一个总的喘振控制回流改为各段回流,即一段出口回一段入口,二段出口回二段入口。控制上采用两个喘振控制回路。原调节阀 FV-10501 废弃,重新采购两台调节阀,其中一台调节阀用于二段防喘振,由二段出口回到段间冷却器之前。另外一台用于一段防喘振,由一段出口回到分馏塔后冷却器之前。一段、二段回流管线之间安装单向阀。

3. 分别增加一段出口、二段

入口两台压力变送器，接入到 S5 Vanguard 系统内。

4. 增加分馏塔塔顶压力控制方案，实现机组入口压力自动控制，并与喘振控制之间协调动作。

5. 将参与喘振控制、分馏塔顶压力控制和速度控制的信号由原来系统机柜端子通过一入二出安全栅分一路接到 CCC 系统中。

6. CCC 控制系统设置 1 个机柜，置于现场机柜间内。中心控制室设置 1 台操作站和 1 台工程师站（兼操作站），中心控制室内的操作站和工程师站通过以太网与控制器连接；CCC 控制系统及 SIS 系统之间的停机、系统故障、允许启动等信号通过硬接线连接。

7. 在重新计算的基础上现场进行喘振测试，重新标定一段、二段喘振曲线和性能曲线。改造后的管线修改方案流程，如图 2 所示。

投用后节能效果

实现机组转速根据工艺要求自动调节、防喘振，性能控制均处于全自动的位置，有效地克服大幅度的工艺干扰，稳定性大大优于操作人员的手动操作。

表 1 3.5MPa 蒸汽耗用对照表

| 改造前         |            |            |             |    |
|-------------|------------|------------|-------------|----|
| 日期          | 处理量 (t)    | 月用量蒸汽 (t)  | 月吨能耗 (kg/t) | 备注 |
| 2019 年 1 月  | 84 155.68  | 22 766.90  | 22.72       |    |
| 2019 年 2 月  | 84 453.29  | 22 192.90  | 23.21       |    |
| 2019 年 3 月  | 97 828.57  | 24 913.90  | 22.06       |    |
| 2019 年 4 月  | 95 606.54  | 25 175.90  | 23.17       |    |
| 2019 年 5 月  | 94 803.74  | 23 763.20  | 22.41       |    |
| 2019 年 6 月  | 101 148.01 | 26 673.20  | 23.12       |    |
| 2019 年 7 月  | 99 773.41  | 25 757.80  | 23.81       |    |
| 改造后         |            |            |             |    |
| 日期          | 处理量 (t)    | 月用量蒸汽 (t)  | 月吨能耗 (kg/t) | 备注 |
| 2019 年 10 月 | 68 376.22  | 205 814.34 | 22.99       |    |
| 2019 年 11 月 | 98 704.44  | 23 640.30  | 21.08       |    |
| 2019 年 12 月 | 107 111.71 | 25 372.60  | 20.85       |    |
| 2020 年 1 月  | 91 046.76  | 22 061.20  | 21.32       |    |
| 2020 年 2 月  | 93 553.20  | 22 528.90  | 21.19       |    |
| 2020 年 3 月  | 99 739.19  | 23 605.70  | 20.83       |    |
| 2020 年 4 月  | 99 812.32  | 24 131.90  | 21.28       |    |

在保证压缩机不会出现喘振危害的前提下，压缩机通过关闭防喘振阀、实施调节转速和通过压缩机性能优化后的卡边操作等手段节省了 3.5 MPa 蒸汽的用量，从而实现节能的目的，见表 1。

改造前：2019 年 1~7 月吨能耗平均在 22.92 kg/t。每小时耗蒸汽量 33 ~ 34 t/h 之间，平均耗

蒸汽量 33.5 t/h。  
改造后：2019 年 10 月~2020 年 4 月份吨能耗平均在 21.36 kg/t。每天耗蒸汽量在 32 ~ 33 t/h，平均耗蒸汽量 32.5 t/h。

改造后平均每小时节约蒸汽 1 t，中压蒸汽价格为：135 元/t，则一年运行 8 400 h，估计效益约为 135 × 8 400 × 1=113.4 万元。

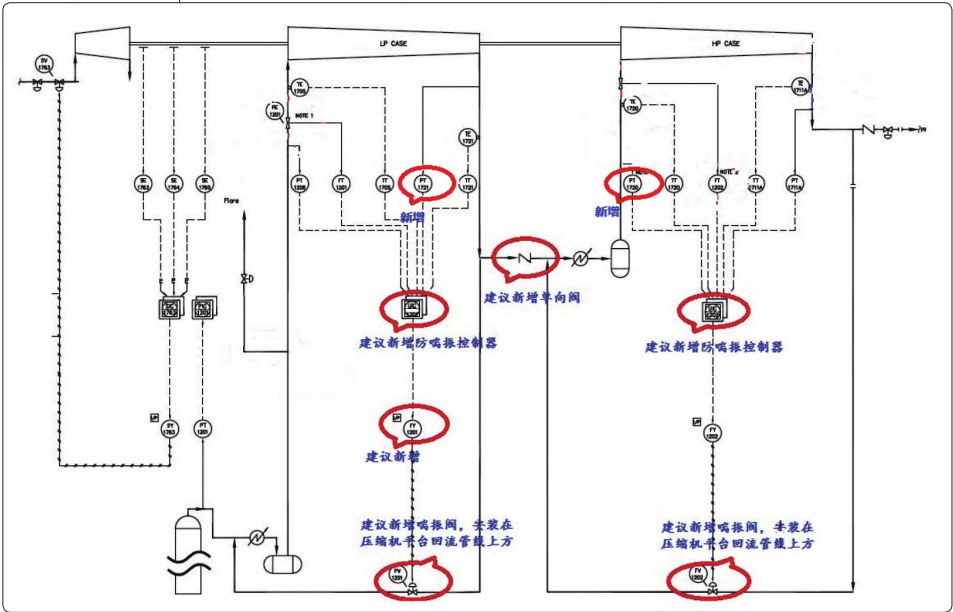


图 2 改造后的管线修改方案流程图 (P&ID)

小结

该项目于 2019 年 8 月开工建设，历时 60 天于 10 月 8 日投用，项目运行后在保证压缩机不会出现喘振危害的前提下，压缩机通过关闭防喘振阀、实施调节转速和通过压缩机性能优化后的卡边操作等手段使汽轮机耗用 3.5 MPa 蒸汽降低 1 t/h，以每吨中压蒸汽 135 元计算，每小时增加效益 1 × 135=135 元，按年运行 8 400 h 估计节能效益约为 135 × 8 400 × 1=113.4 万元，预计 2 年内能收回投资成本，节能收益比较明显。