

数字孪生系统在天然气管道脱烃工艺应用中的 经济性提升策略

张 伍 (中海石海深海开发有限公司, 广东 深圳 518000)

摘要: 为了进一步提高我国的生态环境质量, 必须提高天然气的利用效率, 提升液态产品回收率并降低装置能耗, 从而提升生产装置的经济性。因此, 本文通过对数字孪生系统在天然气处理厂脱烃工艺中的应用情况进行分析, 在此基础上提出了相应的天然气脱烃装置生产装置经济性提升的优化策略, 以便为我国能源的有效利用提供一定借鉴。

关键词: 天然气; 液态产品回收率; 装置能耗

天然气是我国重要的清洁能源, 广泛用作城市燃气事业和工业燃料。在天然气的开采及处理过程中, 出于经济性考虑, 常常会将天然气中 C3 以上的重组分进行分离并回收, 产生液化石油气及稳定轻烃等多种液态衍生产品用于生活领域。如不对重组分进行分离回收, 将导致大量的资源浪费。通过数字孪生系统对天然气脱烃工艺关键参数及经济性的优化, 可以实现对天然气中 C3 以上组分的高效脱除并降低装置能耗, 产生较大的经济效益和社会效益。

1 天然气处理厂及脱烃工艺概述

1.1 天然气处理厂

天然气处理厂是一种对天然气进行净化并将其中的重组分分离回收的地点。一方面, 对天然气进行净化处理, 使其符合使用标准。另一方面, 为实现资源利用最大化, 需要在天然气处理厂中将天然气中重组分分离回收, 生成液化石油气、稳定轻烃等液态衍生产品, 再将各产品通过管道输、装车、装船运输的方式销售到下游企业^[1]。

1.2 天然气脱烃工艺

我国天然气的脱烃使用了油吸收法、吸附法和冷凝分离法等方式。例如某天然气处理终端使用 DHX 制冷工艺, 采用深冷分离法, 利用相同压力条件下天然气中各组分的沸点不同, 将天然气中 C₃ 以上重组分冷却至露点温度以下, 转化成液态, 从气态天然气中分离出来, 达到回收液态产品的目的。

2 天然气处理厂中数字孪生系统的应用

2.1 主要建设内容

某石油公司旗下某天然气处理厂投运后整体工艺系统运行平稳, 但在长时间运行过程中发现系统存在

人为干预系统控制多、工艺参数优化过度依赖操作经验、部分自动阀门仍处于手动控制状态、液态产品回收率未达设计值还有提升空间的问题。为解决以上问题, 搭建了一套大型天然气处理装置数字孪生项目, 通过搭建一套天然气处理工艺数字孪生系统, 包括设备动态监控、工艺系统先进控制和参数线上计算实时优化 (APC 及 RTO 系统), 搭建三维可视化模型三个部分。

2.2 具体应用范围

数字孪生项目进行的工艺孪生为该天然气处理厂的核心操作单元 (制冷和分馏), 这两个单元是影响液态产品回收率及经济效益的关键。

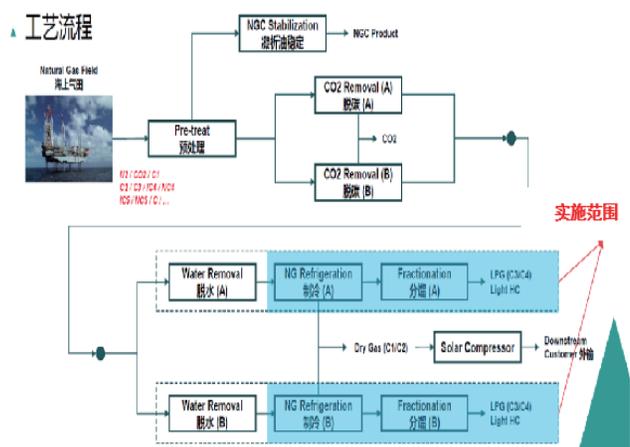


图 2.1 数字孪生项目在工艺系统中实施范围示意图

3 数字孪生项目在天然气脱烃工艺应用中的经济性提升优化

数字孪生系统以装置效益为目标, 应用实时优化 (RTO) + 先进控制 (APC) 技术, 同时选用采用 APR for Natural Gas 2 严格热力学方法与天然气处理工艺相结合。经实践, 可以在一下几个方面实现装置提

效和智能操作。

3.1 稳定关键控制参数，增加液态产品回收率提升效益

APC 先进控制系统采用开环操作，同时制定卡边条件，对调整参数进行设定上下限进行控制。设计整个优化系统的开/关设置以及单个优化变量的开/关设置。一旦系统不满足投运条件，可以将实时优化系统切开，确保装置稳定运行。

该处理厂是采用冷凝分离法进行液态产品回收，即利用相同压力条件下天然气中各组分的沸点不同，将天然气中 C₃ 以上重组分冷却至露点温度以下转化为液态从而将重组分从天然气中分离出来。因此天然气冷凝温度及重组分离温度参数的稳定性尤为重要。可利用 APC 系统控制整定关键温度参数，增加参数稳定性，以实现提升液态产品回收率的目的。

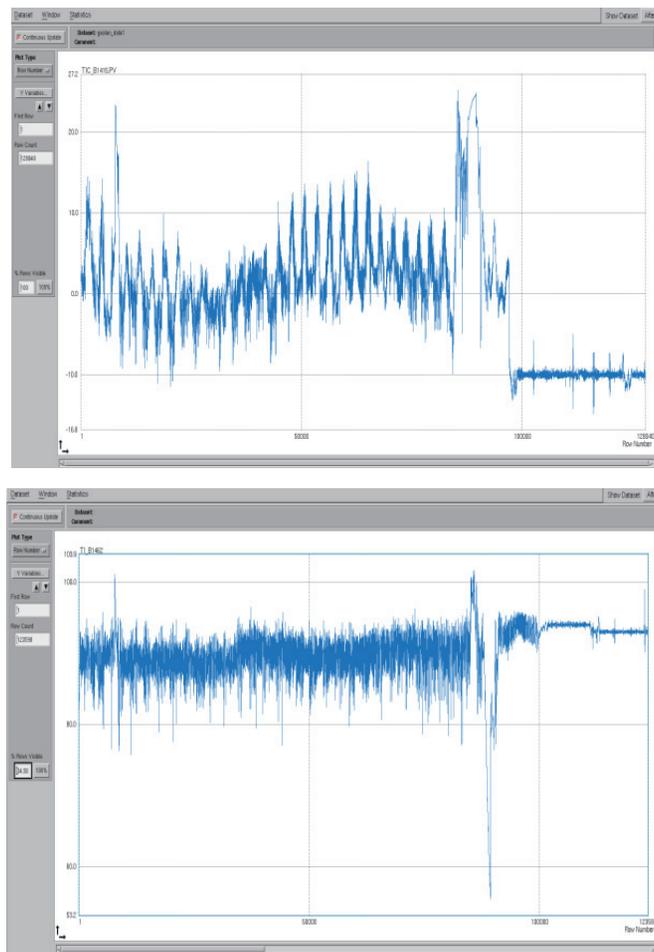


图 3.1 某处理厂温度参数整定前后稳定性对比

APC 系统投用后，经测试，该天然气处理厂脱烃单元液态产品回收率由 94.57% 提升至 95.34%，提升幅度为 0.77%，依据该处理厂年度液态产品产量及液态产品单价，约合产生经济效益 874 万元。

表 3.1 投用 APC 系统后天然气组分采样及液态产品回收率数据对比

空白测试			APC 投用后测试		
C3+ 组分	制冷单元入口天然气组分 (%)	制冷单元出口天然气组分 (%)	C3+ 组分	制冷单元入口天然气组分 (%)	制冷单元出口天然气组分 (%)
C6	0.062	0.056	C6	0.121	0.041
C3	2.136	0.127	C3	2.124	0.119
IC4	0.408	0	IC4	0.407	0
C4	0.482	0	C4	0.485	0
IC5	0.182	0	IC5	0.187	0
C5	0.098	0	C5	0.109	0
累计	3.368	0.183	累计	3.433	0.16
C3+ 回收率	94.57%		C3+ 回收率	95.34%	

3.2 利用热力学模型，动态调整关键参数控制点，提升液态产品回收率提升效益

在实时优化系统 (RTO) 的使用方面，可利用 symmetry、hisys 等模拟软件，选取适合天然气处理工艺的热力学模型，深入对接现场工艺，定制合适工艺模型，确保模型可靠性和稳定性，提高工艺流程模拟精度，保证产品质量。需要在项目建设阶段提前开展调研，详细掌握工艺流程、工况运行及现场设备状况，不断根据实际生产情况优化，同时设置卡边条件，做到精确模拟，产品合格。

在建模期间，由于数字模型与实际工况存在偏差，需注意结合现场取样检测结果，调整优化数字模型，达到数字模型与现场实际工况匹配，指导现场生产的目。在日常生产运营过程中，由于天然气组分会根据开发周期动态变化，因此需定期 (1 季度或半年) 根据取样结果调整数字模型。为降低成本，该天然气处理厂考虑选取 6 处关键温度参数为控制点，且为手动开环操作，操作人员将优化建议值手动输入 APC 系统，控制 DCS 参数。后期运行稳定后，可实现闭环上线操作，但出于安全考虑，需增设安全逻辑，在变送器、设备出现异常工况时，切出闭环控制系统，保障工艺装置安全平稳运行。

RTO 系统投用后，经测试该天然气处理厂脱烃单元液态产品回收率由 95.34% 提升至 95.7%，依据该处理厂年度液态产品产量及液态产品单价，约合产生经济效益 226 万元。

3.3 利用热力学模型，减少生产装置能源消耗

数字孪生热力学模型可以实现以装置低能耗为目的，推荐关键参数设定值。建议结合产品价格及消

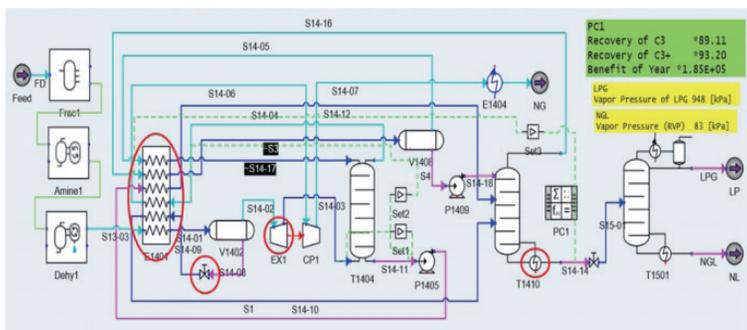


图 3.2 数字模型示意图 (symmetry 软件模拟)

表 3.2 投用 RTO 系统后天然气组分采样及液态产品回收率数据对比

APC 投用后测试			APC 投用后测试		
C3+ 组分	制冷单元入口天然气组分 (%)	制冷单元出口天然气组分 (%)	C3+ 组分	制冷单元入口天然气组分 (%)	制冷单元出口天然气组分 (%)
C6	0.121	0.041	C6	0.142	0.069
C3	2.124	0.119	C3	2.13	0.082
IC4	0.407	0	IC4	0.435	0
C4	0.485	0	C4	0.492	0
IC5	0.187	0	IC5	0.182	0
C5	0.109	0	C5	0.127	0
累计	3.433	0.16	累计	3.508	0.151
C3+ 回收率	95.34%		C3+ 回收率	95.7%	

耗能源价格(包括电力、燃料气等),以产品综合经济性提升为目的,建立热力学模型,并根据实际工况取样结果定期动态调整数字模型,实现产品综合经济性提升。具体实例为可通过装置优化,保障系统稳定,降低脱乙烷塔底重沸器温度,减少热媒炉燃料气消耗。

3.4 主要效益

①经济效益:数字孪生项目在该天然气处理厂投用后,液态产品回收率上升约1%,结合该天然气处理厂度液态产品产量及液态产品单价,约合产生经济效益共计1100万元/年。同时,数字孪生可实现效率提升:实现关键参数自动调整、设备运行情况实时监控,多参数协同配合稳定工艺系统,有效减少人员流程调整及巡检时间,解放人力。②社会效益:投用数字孪生项目,在产生经济效益的同时,提升工艺系统稳定性,保障该天然气处理厂安全运行,提升资源利用率的同时也为冬季中国北方天然气供应提供良好基础。

3.5 可推广性

①石油、化工、加工处理等高风险行业工艺系统精细化控制及产量提升:实现关键参数自动调整、设备运行情况实时监控,多参数协同配合稳定工艺系统,提升系统整体运行效率,有助于产量提升。②增加系统一体化联动及应急指挥能力:数字孪生系统可以还原工艺系统实时状态及预警监测,全方位把控天然气生产过程的各个环节,实现生产运营实时监控、工艺

优化辅助决策、生产工艺预警诊断、应急指挥快速处置等。③助力节能环保降碳目标实现:数字孪生在提高系统稳定性同时降低系统能量消耗,同时数字孪生可以部署在脱碳、脱硫等系统,在以节能环保降碳为目标的前提下,保障工艺系统安全平稳运行。④建立数字化、智能化、少人化的智慧工厂:数字孪生系统投用,实现系统智能控制,减少人员流程调整及巡检时间,解放人力,推动建设数字化、智能化、少人化的智慧工厂。

4 结语

总之,提升数字孪生在天然气脱烃工艺中应用时产品经济性的是一项繁重而又漫长的工程,必须根据设备管理要求的变化以及信息技术的发展,不断地改进和优化,在未来的智慧工厂建设规划中,我们会对通过数字模型线上闭环控制等手段,让天然气液态产品回收率及产品经济性得到进一步的提高,从而达到实现天然气处理厂的数智化管理与服务的目的。

参考文献:

[1] 张项博,苗月琦,折小江.天然气处理厂中天然气净化工艺技术的优化研究[J].中国石油和化工标准与质量,2022,42(19):180-182.

作者简介:

张伍,男,广东深圳人,工程师,主要从事石油与天然气处理工作。