

文献标识码: B 文章编号: 1003-0492 (2021) 06-082-05 中图分类号: TP29

和利时OTS仿真平台在科林煤气化技术 (CCG) 的应用

Application of Hollysys OTS Simulation Platform in Choren Coal Gasifier (CCG)

★李怀参, 田友 (杭州和利时自动化有限公司, 浙江 杭州 310018)

★王国营 (北京和利时工业软件有限公司, 北京 100176)

★王爽 (科林能源技术 (北京) 有限公司, 北京 100004)

摘要: 现代煤化工的迅速发展, 造成了工艺操作技术人员短缺。气化炉是煤化工的源头工序, 控制联锁复杂, 其操作的平稳性直接影响着整个工厂的效益, 和利时OTS仿真平台具有工艺机理模型、任意分组、故障演练等功能, 可实现虚拟工厂与真实DCS操作相结合, 为现代煤化工工艺技术培训提供一体化解决方案, 提升操作水平, 推动行业人才发展。

关键词: 科林煤气化技术; OTS; 和利时

Abstract: With the rapid development of modern coal chemical industry, there is a shortage of technical personnel in process operation. The gasifier is the source process of coal chemical industry, the control interlock is complex, and its operation stability directly affects the benefit of the whole plant. Hollysys OTS simulation platform has the functions of process mechanism model, arbitrary grouping, fault drill, etc. It can combine virtual factory with real DCS operation, provide integrated solution for modern coal chemical technology training, improve operation level and promote the development of industry talents.

Key words: Choren Coal Gasifier (CCG); OTS; Hollysys

1 引言

长久以来煤炭是我国的主体能源, 约占一次能源消费总量近70%。我国资源的特点是“富煤、缺油、少气”, 且煤炭资源分布不均, 将富煤地区的煤炭资源就地转化利用, 可缓解能源分配问题。现代煤化工是以煤气化为龙头, 以一碳化学为基础, 制取主要替代石油或

石油化工产品的化工产业。发展先进现代煤化工可以推动国家能源战略的实施, 保障我国的能源安全, 实现能源多样化, 促进后石油时代化学工业的可持续发展。

“十三五”末, 已建成8套煤制油、4套煤制天然气、32套煤 (甲醇) 制烯烃、24套煤制乙二醇示范及产业化推广项目, 产业示范取得阶段性成果, 逐渐形成了内蒙古鄂尔多斯、陕西榆林、宁夏宁东、新疆准东四大煤化工示范基地。规模化的煤化工发展的同时, 选择合适的煤气化工艺成为企业盈利的关键条件, 煤气化装置控制联锁逻辑复杂, 对操作人员要求较高, 传统培训和现场实习均为理论培训, 不能上机实操, OTS操作员仿真培训系统应运而生, 为企业解决了培养操作技术人员的难题。

2 科林煤气化技术

科林粉煤气化炉简称CCG炉 (Choren Coal Gasifier), 该技术起源于前东德黑水泵工业联合体下属的燃料研究所, 于上世纪70年代石油危机时期开始开发, 目的是利用当地褐煤提供城市燃气。2012公司重组, 成立科林未来能源技术 (北京) 有限公司 (该公司已于2020年12月16日更名为科林能源技术 (北京) 有限公司), 由中方资本控股的德国技术公司为客户提供技术许可、工艺包设计、项目融资、关键设备供货、

技术培训和技术服务、现场运营等综合服务。

科林粉煤气化技术 (CCG) 采用干法粉煤加压进料, 以氧气作为氧化剂并通过液态排渣的气流床粉煤加压煤气化技术。该技术工艺包括: 粉煤制备系统、粉煤输送系统、气化与激冷、合成气净化系统及黑水处理等单元, 如图1所示。经此工艺, 可以把价格低廉、直接燃烧污染较大的煤、石油焦、垃圾等原料转化为清洁的、高附加值的合成气。

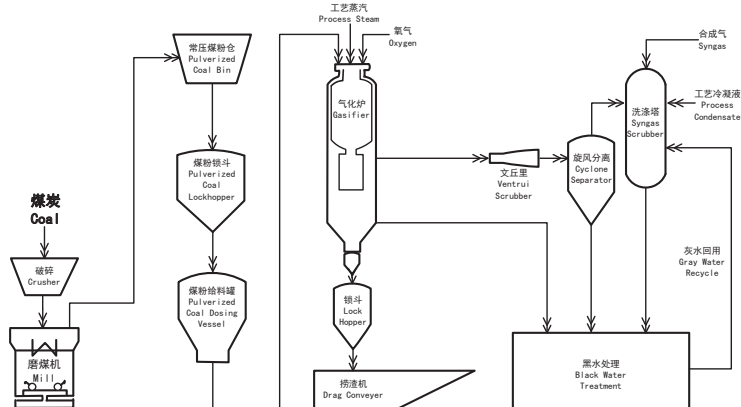


图1 CCG技术工艺

科林粉煤气化技术在贵州开阳项目成功应用, 对贵州当地乃至全国“三高”劣质煤的综合高效利用提供了先例, 科林气化技术对煤种较广的适应性、安全环保性能好, 得到了业界的广泛认可。

3 和利时OTS仿真

和利时OTS仿真系统主要由模型服务组件、虚拟DPU组件、教练员站组件、工程师站组件、学员站组件几部分构成。

(1) 模型服务组件: 基于物性数据库、化工原理、化工热力学、质量守恒、能量守恒、动量守恒、传质、传热、流体力学等机理平台; 平台目前有几千种纯组物性库、十几种物性方程, 同时该平台还支持对模型库进行修改和扩充, 以满足用户特殊的需求。

工艺流程搭建采用图形化、模块化设计, 方便的图形编辑环境, 泵、阀、塔、换热器、反应釜、精馏塔、锅炉等常见设备模块化设计, 通过修改参数, 即可提高建模组态、调试效率。如图2所示。

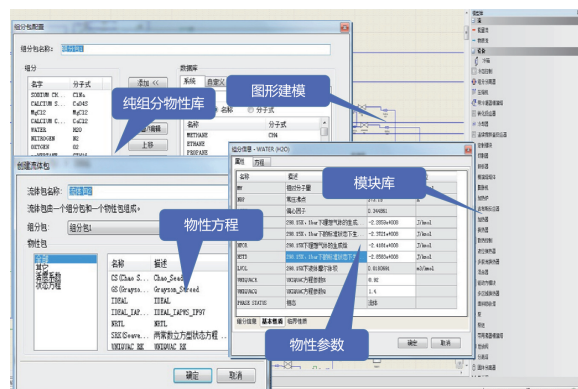


图2 工艺流程搭建

(2) 虚拟DPU组件: 将DCS现场控制站的主要功能移植到通用计算机平台。是虚拟DCS的核心, 能够读取下装文件的组态策略, 并根据控制策略来控制被控对象。和利时虚拟DPU软件的控制逻辑运算功能及通讯功能与真实主控完全一致, 支持冗余。

(3) 教练员站组件: 教练员主要进行工况管理、故障管理和评分管理。

工况管理主要功能包括: 初始工况设定, 运行、冻结、存储、调取工况, 外部参数控制, 模型加减速设置, 操作记录查看等;

· 故障管理主要功能包括: 故障程度设置、组故障设置、触发故障、解除故障等;

· 评分管理主要功能包括: 试题选择、自动评分、考试记录等。

(4) 工程师站组件: 采用与现场一致的DCS工程师软件, 主要完成软件组态即控制逻辑组态、流程图画面组态、报警组态、操作分组、数据库管理、操作权限管理、在线下装等。

(5) 学员站组件: 采用与现场一致的DCS操作员站软件, 主要为流程图、工艺参数监视、设备操作、PID整定等功能。

和利时OTS仿真平台架构如图3所示。虚拟DPU站与模型服务器通过OPC协议通讯, 教练员站、工程师站、操作员站通过和利时私有协议进行通讯。真实DCS+虚拟DPU+模型服务的架构除了可以实现工艺培训、技能鉴定外, 还可以完成实现开车前逻辑验证、控制方案优化、工艺参数验证、开停车方案验证等, 为工厂培训技能熟练的操作人员的同时, 缩短开车周期、减

少原料、燃料浪费，为企业创造效益。在实际项目中，工程师站、教练员站、虚拟DPU站、模型服务、操作员站均可安装在一台工作站，根据实际需求安装组件。

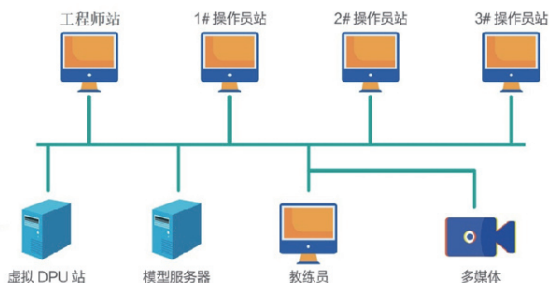


图3 和利时OTS仿真平台架构

4 科林煤气化技术仿真

和利时与科林根据双方优势，在和利时北京基地成立科林&和利时培训示范中心，示范中心以和利时OTS仿真系统作为虚拟数字工厂，承担产品展示、操作仿真及培训、工艺及控制方案优化、APC优化控制、远程数据监控及运维等功能。

4.1 项目配置

该项目配置1台工程师站，1台模型服务站、1台教练员站、24台学员站、1台APC站、1台远程数据服务器、2台远程数据监控终端。如图4所示。

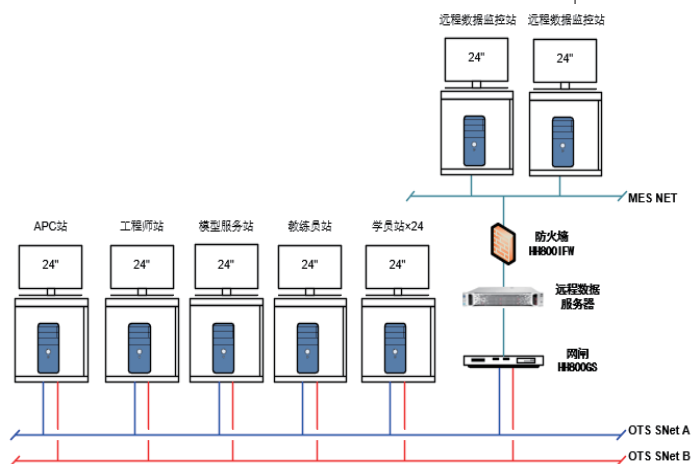


图4 项目配置示意图

4.2 仿真对象及内容

(1) 装置模型:

磨煤干燥、粉煤加压输送、气化与激冷、排渣、合成气洗涤、辅助系统等。

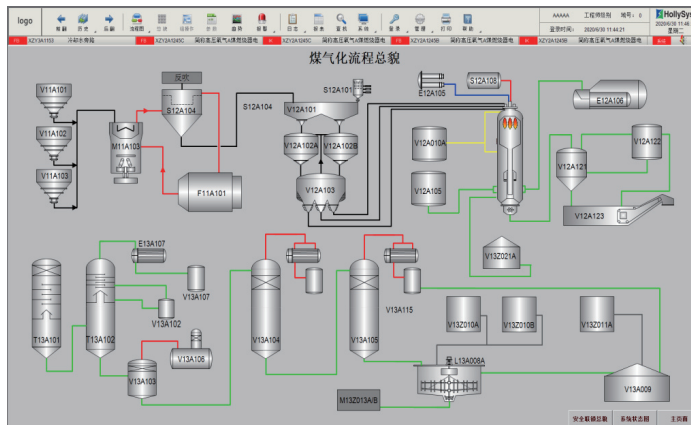


图5 煤气化流程图

(2) 控制系统：虚拟DPU、真实DCS控制系统，支持APC控制。

- 全流程物料与热量动态衡算；
- 全流程工艺模拟与数学模型开发；
- 安全仪表系统（SIS）模拟开发；
- 现场操作模拟系统开发；
- 过程操作指导及评价系统开发；
- 事故案例与组合培训项目开发。

4.3 项目目标

本项目建成后主要实现的功能有：操作培训、事故演练、技能鉴定、仪表工培训、控制方案验证与优化、工艺学习及优化。

4.4 模型服务

模型服务为本项目的基础支撑，弄清楚煤气化的物性特征、反应原理及传质传热是本项目成功的关键。

4.4.1 气化反应模拟

煤气化的原料为煤，科林CCG气化技术对煤种的适应性比较广。煤的组分比较复杂，工业上通常通过水分、灰分、挥发分和固定碳四项来确定煤的质量、工艺性能及特点；煤中存在的元素有数十种之多，主要由碳、氢、氧、氮、硫五种元素。科林CCG煤气化属于气流床干粉加压气化技术，煤在气化炉中经历干燥、热解及化学反应，生产主要成分为CO、H₂、CO₂的粗合成气。气化过程中主要化学反应是比较复杂的过程，包括燃烧反应、气化反应、甲烷化反应、变换反应以及其他反应。煤气化流程图如图5所示。

燃烧反应：煤中的碳、氢经过氧化燃烧放热并生成CO₂、CO和H₂O，该反应仅限于提供气化反应所必需的热量。

气化反应：这是气化炉中最重要还原反应，C与CO₂反应生产CO，C与H₂O反应生成CO和H₂。

甲烷化反应：当气化炉中温度在700~800℃时，伴随甲烷化反应。

变换反应：气化炉中随着参加反应的水蒸气的浓度增加，伴随水煤气平衡反应，也称为变换反应。

其他反应：煤中含有微量的N和S，在气化过程中会同时发生反应。

上述反应体系中包含的反应互相间并不独立。在m个同时发生的反应中，若每一个反应的计量方程都不能由其他反应的计量方程线性组合得到，则称这m个反应是独立的。

如果已知所有反应的反应速率，则反应体系中的反应可以不是独立的，可以求出唯一的平衡状态。如果仅知反应前后的组分变化情况，则在反推每个反应的反应速率时需要确保反应间是相互独立的，否则会出现多种反应速率组合均可以满足物质变化情况，无法获得在工程上可用的每个反应的反应速率。

利用化学计量系数矩阵法判断上述气化炉中的反应体系是否独立。反应体系中一共有7种物质，11个反应，通过分析，反应的行列式的秩为4，即上述反应中只有4个反应为独立反应。此外，利用原子矩阵法也可以得出，上述7种组分的原子矩阵秩为3，反应体系中的独立反应数为7-3=4。

选取如下四个反应进行建模：

C燃烧反应： $2C+O_2 \rightarrow 2CO \Delta H_{25} = -221180 \text{ KJ/Kmol}$

CO燃烧反应： $2CO+O_2 \rightarrow 2CO_2 \Delta H_{25} = -566400 \text{ KJ/Kmol}$

C与水反应： $C+H_2O \rightarrow CO+H_2 \Delta H_{25} = 131224 \text{ KJ/Kmol}$

甲烷化反应： $CO+3H_2 \rightarrow CH_4+H_2O \Delta H_{25} = -206124 \text{ KJ/Kmol}$

气化炉上部和中部主要发生C燃烧反应和少量的C与水反应，这是因为进料的C过量而水蒸气的量较少。合成气进入激冷室后，少量未反应的高温C和激冷水接触后发生C与水1:1反应生成氢气和一氧化碳。

点火烧嘴中发生的燃烧反应为甲烷燃烧反应：

$CH_4+2O_2 \rightarrow CO_2+2H_2O \Delta H_{25} = -802518 \text{ KJ/Kmol}$

C燃烧反应速率比C与水反应速率快，在进入激冷室前，气体中氧气和水蒸气含量几乎为0（PPM级别）。

气化反应后的高温CO与激冷室中大量的低温黑水发生反应，生成CO₂和H₂，快速降低激冷室温度。

4.4.2 气固输送模拟

根据密度计算公式 $\rho=m/V$ ，以及理想气体状态方

程 $PV=nRT$ ，假设气体输送粉煤时达到理想的流化状态，然后进行计算。

从模型中可以读取粉煤输送管道气体以及粉煤的单位时间内摩尔流量，摩尔分数经过计算得到气体和粉煤的质量。

$maco_2 = \text{strm}[\text{LINE530V}].\text{fm} \times \text{strm}[\text{LINE530V}].\text{mw} + \text{strm}[\text{LINE533V}].\text{fm} \times \text{strm}[\text{LINE533V}].\text{mw};$

$mac = \text{strm}[\text{LINE530}].\text{fm} \times \text{strm}[\text{LINE530}].\text{mw} + \text{strm}[\text{LINE533}].\text{fm} \times \text{strm}[\text{LINE533}].\text{mw};$

计算气体的体积：

$Vaco_2 = \text{strm}[\text{LINE530V}].\text{fm} \times 8.314 \times \text{strm}[\text{LINE530V}].\text{ss}[0].\text{t} / (\text{strm}[\text{LINE530V}].\text{pto} + \text{strm}[\text{LINE530V}].\text{pfr} + 1e-16) \times 2$

计算气体以及固体单独的密度，此时假设粉煤堆积密度为550；

$daco_2 = maco_2 / (Vaco_2 + 1e-16);$

$dac = 550;$

$Vac = mac / (dac + 1e-16);$

计算粉煤输送管道气固混合物的密度以及流速；

$\text{pmag}[\text{DI2A1202A}].\text{pv} = \text{daz} = (maco_2 + mac) / (Vaco_2 + Vac + 1e-16);$

$\text{pmag}[\text{DI2A1201A}].\text{pv} = \text{daz} = (maco_2 + mac) / (Vaco_2 + Vac + 1e-16);$

$\text{pmag}[\text{SI2A1202A}].\text{pv} = (maco_2 + mac) / 11.95 / (\text{pmag}[\text{DI2A1202A}].\text{pv} + 1e-16);$

$\text{pmag}[\text{SI2A1201A}].\text{pv} = (maco_2 + mac) / 11.95 / (\text{pmag}[\text{DI2A1201A}].\text{pv} + 1e-16);$

11.95为实际工艺仪表换算系数。

以上就是对于密度以及流速的计算方法。

4.5 控制连锁逻辑组态

本项目软件采用和利时MACS V6.5.4，硬件采用K-CU03控制器。科林CCG气化控制方案包括以下几部分：

- 传感器回路；
- 复杂控制回路；
- 顺控回路；
- 一般连锁回路；
- 安全连锁回路；
- 执行器回路。

通过分析，将这些回路可分为三个部分：输入、中间逻辑运算、输出。组态中信号流如图6所示。根据

此信号流去组态清晰明了。

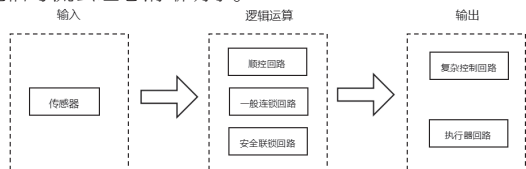


图6 科林CCG气化组态信号流

组态完成后,先通过MACS V6.5.4的仿真启动管理组件,进行控制站、操作员站仿真调试,如图7所示。通过离线测试,可发现90%以上的组态错误,大大缩短现场调试工期,提高效率。



图7 和利时MACS V6.5.4仿真启动管理

4.6 DCS/SIS与模型服务冷态调试

和利时OTS仿真系统是真实DCS/SIS+虚拟DPU+模型服务的架构,DCS/SIS组态需下装至虚拟DPU,虚拟DPU与模型服务采用OPC通信。在组态前期,需确定所有点位的位号,之后DCS/SIS与模型组态可同步进行。

DCS/SIS与模型服务调试相当于控制系统的现场调试,不同的是采用的虚拟控制器和装置。通过冷态调试检查组态及DCS/SIS与模型服务信号对点是否正确,为后续模型开车做准备。

4.7 模型服务开车调试

开车调试需要工艺操作人员一同调试,根据装置开车规程进行装置冷态开车,通过调整介质流速、反应速率、热交换效率等参数,使装置模型与实际装置仿真度最大化。在开车过程中,可根据关键节点保存工况。

4.8 评分、故障仿真

该项目故障模拟包括停水、停电、氧煤比异常、氧燃比异常、急冷水液位低、环腔温度高等26个故障,教师可以通过仿真机触发事故,学员根据现象去判断事故

原因以及如何解救。锻炼操作员的应急解救能力和事故判断能力。积累工艺经验和故障诊断经验,提高操作员处理紧急状况或异常工况的能力,因而能提高装置安全度,延长装置实际运行时间。

4.9 气化炉模拟结果

气化炉中上部温度为1200~1300℃之间,气化炉运行压力为4.2~4.5MPa,气化炉负荷可在60~110%范围调整。实际模型水洗塔出口粗合成气中CO:33.30vol%,CO₂:1.93vol%,H₂:12.84vol%,如图8所示。PFD中理论情况下水洗塔出口粗合成气中CO:33.26vol%,CO₂:2.9vol%,H₂:15.35vol%。实际模型合成气的组分与理论相差不大,完全满足培训精度的要求。

CO	33.30 vol%
H2	12.84 vol%
CO2	1.93 vol%
CH4	0.0031 vol%
O2	0.00 vol%

图8 实际模型稳态时合成气成分

5 结论

通过模型优化,和利时OTS仿真系统能够较好地科对科林CCG气化工艺进行仿真,可满足操作培训、事故演练、技能鉴定、仪表工培训、控制方案验证与优化、工艺学习及优化等功能。和利时可为工厂工艺技术人员培训提供完备的解决方案。AP

作者简介:

李怀参(1985-),男,河南濮阳人,工程师,学士,现就职于杭州和利时自动化有限公司,研究方向为自动化。

田友(1981-),男,河北保定人,学士,现就职于杭州和利时自动化有限公司,研究方向为自动化。

王国营(1989-),女,陕西咸阳人,中级工程师,学士,现就职于北京和利时工业软件有限公司,研究方向为化学工程与工艺。

王爽(1983-),女,山东巨野人,硕士,现就职于科林能源技术(北京)有限公司,研究方向为化学工程与技术、无机非金属材料。

参考文献:

- [1] 朱妍. 现代煤化工“十四五”该如何定位[N]. 中国能源报, 2020.
- [2] 科林能源技术(北京)有限公司网站粉煤气化介绍[Z].
- [3] 唐宏青. 现代煤化工新技术(第二版)[M]. 北京: 化学工业出版社, 2016.
- [4] 王常力, 罗安. 分布式控制系统(DCS)设计与应用实例[M]. 北京: 电子工业出版社, 2016.