

基于 Unisim Design 的 6.5MPa 四喷嘴水煤浆气化工艺全流程 模拟仿真实践应用

王佳洋¹ 顾丹萍²

1. 宁波经济开发区安全生产管理服务中心 浙江 宁波 315800

2. 海曙区西门卫生服务中心 浙江 宁波 315800

【摘要】：本文主要阐述一种基于 Unisim Design 的四喷嘴水煤浆气化工艺的模拟仿真模型（简称 OTS）的建立过程和主要实施策略，为化工装置技术改造升级、产能瓶颈识别和人员能力再造培训提供了虚拟与现实融合的平台。同时，为专家诊断和自动化升级提升，如 APC 融合提供了实际的载体模型测试验证平台。

【关键词】：Unisim Design；OTS；6.5MPa；四喷嘴；水煤浆气化

DOI:10.12417/2705-0998.25.19.072

1 OTS 介绍

1.1 OTS 概念及功能介绍

Operator Training System 操作员模拟操作系统简称 OTS（操作员仿真培训系统），是利用过程动态模拟技术开发相应装置的操作员仿真培训系统，主要用作提高员工的综合操作技能水平、过程知识和经验，并将仿真培训系统用于操作员职业技能等级鉴定、考核及技术比武，万华化学采用的是基于虚拟云平台的 Unisim Design 仿真系统。

OTS 的主要通过流程模拟装置生产工艺模拟、控制模拟、事故模拟、多工况研究四方面着手从而实现人员培训、考核、测试和工艺优化的四大功能。主要可以在化工装置的生产准备、生产运行和优化改造三个阶段使用，具体应用需要结合装置实际出发点考虑，在当前化工装置数字化交付大背景下，特别是一些大型装置投产前选择在生产准备阶段就投入使用，在此基础上的模型仿真度较低，主要用于员工的生产准备阶段的工艺和单元操作的培训。

2 Unisim Design 介绍

2.1 Unisim Design 的基本情况

Unisim Design 是基于 ASPEN HYSYS 的技术演变而来，2004 年 Honeywell 收购 ASPEN HYSYS，2006 年经 Honeywell UOP 整合收购并于 2015 年整合 HTRI（美国传热研究公司）开发出基于 Unisim 的数字双胞胎在环球油品公司首先应用，并在此基础上不断丰富技术能力，在全球开发了 250 个以上的客户和 8000 个左右的用户使用。

该软件主要是用于流程工业模拟和设计，在石油、天然气行业应用较多。是集设计、操作、工艺优化于一体的多维套件组成，设计套件分别可用于项目可研、工艺包开发、工艺设计优化、工况研究和情景分析、设备设计和校核等；能力套件分别可用于控制策略开发、优化和验证，操作员培训、操作规程开发和优化、操作员技能资质认证；优化组件分别可用于基于

模型的先进控制测试、实时优化 RTO 及生产计划排程模拟。

2.2 Unisim Design 的应用范围与技术特点

Unisim Design 模拟仿真应用始终可贯穿于工艺装置的全生命周期^[1]，即可应用于项目规划、初步设计、详细设计、工厂设计、工厂建设、投产运行、正常生产、扩能改造等阶段。主要视各阶段的实际需求场景结合功能使用开展，如在项目规划阶段，Unisim 可用于可行性分析、方案评估、最优流程选择的场景应用；在过程设计阶段，Unisim 可发挥初步方案评估、设计参数优化、全流程工艺优化、基础设计、设备设计、控制方案测试等场景应用；在生产操作阶段，Unisim 主要可以应用于装置诊断、工艺的瓶颈分析、操作优化、节能降耗、在线监控优化、产品质量控制、提高产品收率、安全分析、计划优化等场景测试应用；在扩能改造阶段，Unisim 则可应用于改造瓶颈分析、改造方案选择等场景应用^[2]。

Unisim Design 包含精确的物性数据包和单元操作模型，可以进行工艺装置的物料、能量平衡计算，拥有超过 4000+ 的组分数据及 40+ 的工艺流体包（包含 Peng-Robinson、SRK 多相流体方程），包括反应器、换热器、塔器、管道、阀门等设备的设计与校核功能，并融入控制模块功能用于开展装置常规过程控制、顺序控制、逻辑联锁、先进控制测试，实现工艺装置的从“稳态”到“动态”模拟仿真，通过模型与 DCS\SIS 数据库建立直连互通模式，最终达到操作员模拟仿真即 OTS 的实际效果。

Unisim Design 可实现以下多类设备的组合式操作类模拟操作，诸如管路设备、转动设备、传热设备、塔器设备、反应器、炼油反应器、固体处理、逻辑单元操作等功能。

综上所述，基于 Unisim Design 以上的技术特点，因此，它不仅可以在其丰富的物性包基础上建立符合精度要求的模型，并可以在所建立的模型基础上针对性对装置生产过程中进行诊断分析、工艺优化、“瓶颈”识别、节能降耗分析、技改

方案选择方面发挥积极作用，且具有其他软件所未有的“动态”模拟工况，为适合实际工厂的模型数据指导装置技术与管理进一步提升。

3 基于 Unisim Design 的建模概述

3.1 Unisim Design 的建模步骤

涉及本文所述项目实施过程中的软件基础为 Unisim Design R451 版本，其建模的主要步骤总结为大致分为启动建模、选择单位集、添加组分、添加物性包、定义反应集、设定物流（画流程）、设定参数、运行模型验证是否收敛、查看结果表单（修正）。需要加以说明的是，添加组分、添加物性包和定义反应集在基础环境下进行，添加物流、设定参数及模型运行在软件模拟环境下进行，为确保模拟工作有效，不时进行模型保存以便丢失。关于具体的操作步骤本文不展开赘述，实际请结合软件进行操作，按以上步骤均能具体开展模型创建，在建模过程中，流体包选择的物性方法较为重要，并针对常见工艺进行推介，本文涉及项目过程的选用的物性包为煤气化工艺，详见表 3.1。

表 3.1 不同工艺装置的流体包物性方法推介表		
序号	加工装置	推荐物性包
1	乙烯装置	CHAO-SEA, GRAYSON PENG-ROB,RK-SOAVE
2	芳烃生产	WILSON,NRTL,UNIQUAC
3	取代烃装置 (VCM\氯乙烯\ 丙烯腈\乙腈)	UNIQUAC,NRTL
4	醚类生产装置	WILSON,NRTL,UNIQUAC
5	乙烯和苯乙烯装置	PENG-ROB,RK-SOAVE,WILSON,NRTL,UNIQUAC
6	共沸精馏-乙醇装置	WILSON,NRTL,UNIQUAC
7	合成氨装置	PENG-ROB,RK-SOAVE
8	煤气化、液化合成气 酸性气体脱除	PR,PR-BM,RKS-BM

4 仿真项目概况

4.1 万华化学水煤浆气化模拟仿真项目简介

本项目系统中使用真实 DCS 操作员站、工程师站软件,直接使用装置 DCS 控制策略组态数据及流程图画面组态文件，

最大限度地展示真实工厂的操作环境^[3]。

万华化学造气装置水煤浆气化制合成氨全流程项目耗时 1 年。项目范围主要包含造气装置的气化、净化、醇氨三个工序，涉及泵类、压力容器等各类设备。项目启动之前，经

相关技术交流，确定采用直连（全流程）+非直连（独立模型）连接方式。同步，确定了系统架构，以云端桌面系统，建立仿真中心、装置培训教室、信息服务器架构方式实施。前提是信息化条件具备的前提下开展，以此方式实施，可便于员工远程异地同步实施培训，以办公网+远程+仿真中心三方结合的培训方式。

项目前期准备了根据与霍尼方需求对接，编制工作计划，梳理阀门类、设备类、泵类、换热器、塔类等 12 大类项目数据；气化 915 个子项，净化 650 个子项、醇氨 435 个子项。

总体的项目实施路径确定为开工会、详细功能设计、模型开发、DCS/SIS 集成测试、工厂验收测试开展进行。包含造气装置全流程范围内的工艺流程的静态模型，并在此基础上，完成三个工序动态模型搭建。总共绘制画面气化 45 个、净化 36 个、醇氨 34 个。

4.2 万华化学水煤浆气化工艺概述与技术特点

万华化学四喷嘴对置的水煤浆气化工艺是以纯氧和水煤浆为原料，采用气流床反应器，在加压非催化条件下进行部分氧化反应，生成以 CO、H₂ 为有效成分的粗煤气，作为氨、甲醇等合成的合成气，或制氢(煤液化、燃料)的原料气、IGCC 发电的燃料气。压力为 6.5MPa，温度为 1300℃。在此高温下化学反应速率相对较快，而气化过程速率为传递过程控制。为此，通过喷嘴对置、优化炉型结构及尺寸，在炉内形成撞击流，以强化混合和热质传递过程，并形成炉内合理的流场结构，从而达到良好的工艺与工程效果：有效气成分高、碳转化率高、耐火砖寿命长。

万华化学水煤浆气化包括四个生产工序，主要任务是生产满足年产 20 万吨甲醇、8 万吨合成氨、60 万吨 MDI、36 万吨苯胺所需要的合成气。

产品名称及规模：日处理 1000×2 吨煤(干基，公称规模)，有效气 CO+H₂ 7000×2Nm³/h，年操作时间：300 天。本装置由煤储运(705)、水煤浆制备(706)、多喷嘴对置式气化及煤气初步净化(707)、渣水处理(708)、变换与未变换气（709）、锅炉给水（702）、凝结水处理(795)等组成。

4.3 万华化学水煤浆气化模拟仿真项目整体技术策略与实施路径

本项目采用三套 OTS 直连系统平台，实现 DCS/SIS/ESD 在线模拟，接近与真实操作工况，直连系统结构也可以称为“硬连接”，其中一套结构示意图如下，基本配置为：DCS 操作

员站(OSN)、现场操作员站兼 SIS 站、教员站、工艺模型站、DCS 工程师站(PPN)、DCS 模拟控制器(ASN)^[4]。主要技术策略见下图 1:

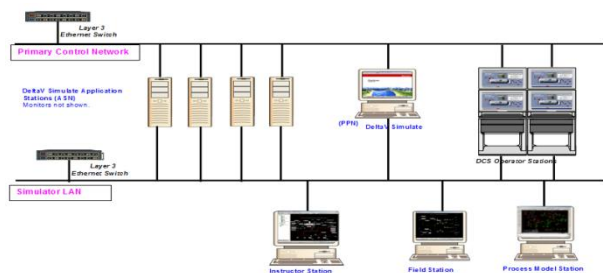


图 1 一种基于虚拟云平台的 OTS 仿真模型搭建技术策略

项目主要确认为 5 个阶段。根据 PID 划分确定细节,制定 FDS 详细功能设计说明。提供建模资料 9 大项 PSI 资料 29 小项资料。

开展静态建模,操作单元物性包选择 PR 方程,即选择与物料平衡参数偏差较小的物性包进行模拟化工单元操作,同时对模型进行收敛验收确认,确认并确定动态模拟可行性。

动态建模期间,开展全流股搭建模型,根据仿真范围对管线、仪表、调节阀门、设备行模型搭建,参数设定;对关键手阀设置进模型,其余不使用的阀门或功能重复的阀门取消模型设置。

模型验收,基于模型搭建的现场站操作站 HMI,进行开停车测试,利用 PI 取值历史最大稳定运行负荷工况和单台气化炉稳定运行负荷工况,近期 DCS 截图负荷工况,对模型数据进行对比。

现场验收阶段,利用 DeltaV 的界面进行开停车测试、故障变量和教员变量测试,组织具有丰富操作经验的骨干人员和

工程师同步验收。

4.4 万华化学水煤浆气化模拟仿真项目成果

基于 Unisim Design 的模拟仿真最终通过成果验收,实现了煤气化装置 14 万标方有效气的全流程模拟仿真率达到了 99%,SIS/DCS/ESD 等仪表联锁逻辑集成率达到了 100%,同时,实现评分集成了所有在岗 SOP 累计 72 个,实现了中控控制操作程序化评分,人员培训率达到 100%全覆盖,自投用以来累计培训 2300 人次,有效地缩短了控制室人员培训周期由 3 年缩短到了 1 年,为企业创造了人员培养收益,同时,为进一步研究煤气化装置的自动化控制率课题提供了方向和验证测试载体平台。

5 结语

基于虚拟运平台的模拟仿真技术的出现,并融合化工实际生产建立生产大模型提供了一种具体可行的操作思路,正在赋能和改变整个化工行业的业态,生产效率大幅得到提升,在此背景下,建立一种基于 Unisim Design 的模拟仿真模型不仅有助于提升实际应用研究的价值,也有助于用于提升化工从业者对化工装置实践操作能力的提升。模型不仅作为技术改造后对工艺包设计的物料平衡的再次验证,而且能充分发挥模型在对比实际生产工作中提供指导作用,用于产能瓶颈的识别和技术改造项目提供多方面的参考依据,同时也可以做专家远程诊断化工装置运行状态的数字化应用手段和积累了数字化的生产物料数据库,为化工生产装置的多种技术改造升级提供多维度的虚拟参考模型。有助于进一步提供专家和工程师在开展化工装置自动化提升的项目过程中提供更多的来源和实际参谋。这一新兴技术的出现改变了未来化工装置全生命周期的设计阶段的思路,也引领了化工装置融合数字化技术的进一步发展。

参考文献:

- [1] 潘琦琨,Unisim Design 流程模拟在加氢裂化装置的应用[J],中外能源.2017,22(01).
- [2] 费启智;林峰宝;陈泓辛;陈思诗,基于 UNISIM 的压缩机组动态仿真分析系统[J],科技与企业,2016-05-06.
- [3] 韦向攀;王剑峰;张东辉,基于 UniSim 对天然气脱酸工艺的模拟与研究[J],广东化工,2015-08-30.
- [4] 徐宝昌;叶昌燕,基于 UniSim 的天然气处理过程流程模拟与优化,化工自动化及仪表,2013-08-10.