

编者按：科技创新振兴了中国，也振兴了东北的老工业基地。本期科技专题介绍由中国石油工程建设协会推荐的大庆石化乙烯改扩建工程，该工程通过管理创新和技术创新，提升了项目管理水平和科技含量。专题中详细介绍了自主研发的15万吨/年乙烯裂解炉、急冷系统计算模型、乙烯分离流程、系统集成方法等技术创新成果以及大庆乙烯改扩建工程七项优化施工技术，为提升我国大型乙烯装置的建造水平提供了可借鉴的经验。

# 强化创新驱动发展能力 建设一流石油化工工程

## ——大庆石化乙烯改扩建工程创精品工程、优质工程纪实

宗义山 李龙江 郑建文 吕勃 车宝华

(中国石油天然气股份有限公司大庆石化分公司 大庆 163714)

大庆石化乙烯改扩建工程是振兴东北老工业基地，保证大庆资源型城市可持续发展的重点工程，是中国石油加快自主创新步伐的示范项目和国家科技部“十二五”科技支撑计划重点攻关项目。项目批复概算86.9亿元。该工程实现了国内首套大型乙烯装置工艺技术国产化。

项目以强化创新驱动发展能力、建设一流化工装置工程为目标，创精品工程、优质工程，科技、管理创新成效显著。“大型乙烯装置工业化成套技术开发”技术成果，2015年荣获“中国石油天然气集团公司科学技术进步特等奖”，大型乙烯装置成套工艺技术、关键设备与工艺应用，2016年荣获“国家科技进步二等奖”。项目荣获了“石油工程优秀设计一等奖，2017年度石油优质工程金奖”等行业（省部级）奖项，2017年申报了“国家优质工程奖”。项目拥有专利技术26项，其中发明专利8项。

### 工程概况

大庆石化乙烯改扩建工程以炼

油厂石脑油、加氢尾油等为原料，通过蒸汽裂解生产基本化工原料——乙烯、丙烯、丁二烯等，继而深加工生产聚乙烯、聚丙烯、顺丁橡胶、丁辛醇等石化产品的大型石油化工项目。项目共有47个单项工程，主要包括新建60万吨/年乙烯装置、25万吨/年全密度聚乙烯装置、30万吨/年全密度聚乙烯装置、50万吨/年裂解汽油加氢装置、40万吨/年芳烃抽提装置、20吨/小时废碱液湿式氧化装置等生产装置，并配套新建和改造公用工程与辅助设施。工程建设以乙烯装置为主线，主体装置于2009年9月29日开工建设，2012年10月5日产出合格产品。2013年5月其他装置陆续投产运行。

### 管理创新，为创精品工程、优质工程提供保障

#### 创新项目管理模式

根据工程建设实际，项目管理采取了“业主+监理+EPC（E+PC）”项目实施组织方式，依据EPC和PC项目的管理特点，建立了完善的项目

管理体系，颁发和实施了项目各项管理办法。业主单位编制了创优规划，各参建单位编制了创优计划，提出了创“精品工程、绿色工程、优质工程、阳光工程”的总体目标，开展了全过程质量控制活动，促进了项目管理的标准化、程序化和集成化。

#### 建立完善的项目质量管理体系：

制定并颁发了质量管理制度、办法18项，保证了工程质量的持续改进。严格施工图设计程序管理，保证了工程设计的质量；严格物资采购程序管理，实施设备材料进场报验制度和重要设备驻场监造，保证了工程物资的质量；严格施工全过程质量检查与监督，推行“首件必检、样板起步”，对关键工序进行重点监控，排查消除质量隐患，精心做好开车准备，保证了工程质量。

#### 建立完善的项目HSE管理体系：

制定并颁发了HSE管理制度48项，构建了业主、监理、总承包商和施工单位四级HSE管理体系，树立“从严要求、预先防控、标本兼治”的安全理



念,编制HSE管理模式框架,完善了安全管理流程,坚持日检查、周预报的监管模式,采取“旁站式”安全监督,推行“可视化”的现场标准化管理,实现全天候、全过程管理,取得了5940万安全人工时的良好业绩。

**建立进度控制保证体系:**项目建立了总体目标计划、控制计划、详细进度计划、承包商实施计划的“四级计划”进度控制体系,明确了责任单位。进行了WBS工作分解,细化工作内容,根据现场实际情况和设备材料到场情况适时进行计划调整。运用P6软件建立项目实施分析模型,分析监控计划执行情况,优化关键路径和设备、人力资源配置,保证了设计、采购、施工、试车按计划完成,工程进度总体受控。

**建立投资控制保证体系:**项目建立了建设单位、监理、承包商三位一体的投资控制保证体系,通过优化设计和严格设计审查、按程序组织建设队伍和物资采购招投标、优化实施方案、统筹利用各类资源、严格设计变更、开展费用全过程动态控制和严格结算程序管理,实现了投资控制受控的目标。

**工程建设实现了保障体系集约化**

项目组建了以公司主要领导为指挥的工程建设和创优组织机构,发挥大庆石化公司工程建设的优势,各相关二级单位成立生产准备办,为工程建设提供技术支持并做好生产准备工作。财务、审计、外事、监察等机关部门派驻指挥部实施延伸管理,全力配合工程建设。形成了以业主为主、监理和承包商共同参与的集群项目管理体系,保证了项目优质高效、顺利实施。

制定并严格执行《项目管理手册》,规范体系运行、理顺工作流程。实现了投资控制精细化、物资采购程序化、施工统筹一体化、承包商管理规范化、进度管理系统化、安全管理常态化、质量管理严格化。

上述管理创新和精心组织,为项目的顺利实施、创精品工程和优质工程,提供了组织保障。

### 技术创新,用心打造精品工程、优质工程

**设计创新**

**优化平面布局和工艺流程:**结合大庆石化的实际情况,优化装置平面布局,设备及管道布置紧凑;选用优质的绝热材料,减少热、冷损失和压力损失;优化工艺流程,合理配置各工艺装置的进料组成,提高产品收率,降低损耗。

**实现了国内首套大型乙烯装置工艺技术国产化:**自主研发并应用15万吨/年乙烯裂解炉,首创急冷、脱丙烷、脱甲烷“三黄金分割”技术,形成了乙烯装置关键工艺技术、关键工程技术、关键装备国产化和石油烃裂解产物预测软件国产化等四大技术成果,成为继美国、德国和法国后第四个拥有乙烯成套技术的国家。经满负荷运转考核,自主研发的乙烯装置运行平稳、各项指标正常、产品质量合格、能耗和物耗均优于计划目标和设计要求,达到国际先进水平。

**50万吨/年裂解汽油加氢装置,综合能耗指标先进:**裂解汽油加氢装置采用成熟的两段加氢工艺技术,原料为来自上游新、老乙烯装置的裂解汽油馏分。装置采用了7项创新技术(见表1),尽量扩大对原料的适应

范围,减少外排废气,使装置工艺流程和设备设计标定综合能耗低于设计标准,达到国内先进水平。

表1 裂解汽油加氢装置创新技术

序号	技术创新点
1	设置原料过滤器和聚结器
2	采用炉前混氢流程
3	低温部位采用注水措施
4	催化剂预硫化采用湿式预硫化
5	一段反应器采用镍系催化剂
6	采用高效的一段和二段反应器内件结构
7	回收中压蒸气凝结水闪蒸生产低压蒸汽

**全密度聚乙烯装置运行高效:**

采用目前国际先进成熟的低压气相流化床聚合工艺。对N<sub>2</sub>精致系统工艺进行了优化,采用新开发的脱氧催化剂。对关键设备采用仿真设计、振动分析、质量流量和疲劳分析,采用CAESARII应力及振动分析、SIL(安全完整等级)研究分析和Hazop(危险与可操作性)研究等措施,使装置更加高效,经济更加合理。

**芳烃抽提装置设计先进:**采用北京金伟晖工程技术有限公司的SU-PER-SAE-II苯抽提专有工艺技术,具有回收塔正压操作、无工艺污水排放技术特点。

**储运系统储罐设计的安全可靠:**

应用气动或电动控制、压力自动预警等多项自动化控制技术,通过优化设计,提高了储罐安全性。

应用专有技术和专利技术,即储运系统球罐设计采用了“凸缘的优化设计与球罐凸缘的标准系列”标准图集专有技术、“球型储罐的上支柱长圆形连接结构”和“一种居中连接的可调式挠性拉杆结构”两项自主专利技术。高强度球罐用钢,保证了安全运行,降低了投资。

# 技术创新在大庆石化改扩建工程中的应用

中国石油天然气股份有限公司大庆石化分公司

**摘要:** 本文以大庆石化乙烯改扩建工程乙烯装置建设为例, 概要介绍了自主研发的15万吨/年乙烯裂解炉、急冷系统计算模型、乙烯分离流程、系统集成方法等技术创新成果, 为提升我国大型乙烯装置的建造水平提供了可借鉴性经验。

**关键词:** 乙烯装置 国产化 裂解炉 计算模型 分离流程 系统集成

**中图分类号:** T-19 **文献标识码:** B **文章编号:** 1002-3607 (2017) 12-0014-02

## 1 项目简介

大庆石化乙烯改扩建工程是国家重点工程建设项目, 其中: 60万吨/年乙烯装置由原料预处理、裂解、急冷、压缩、冷分离、热分离、火炬系统及相关辅助设施组成。

乙烯装置成套技术采用了由中国寰球工程有限公司和大庆石化公司联

合开发的中国石油重大科技专项《大型乙烯装置工业化成套技术开发》的技术成果。该成果荣获中国石油天然气集团公司科技进步特等奖、国家科技进步二等奖。

## 2 乙烯改扩建工程技术创新成果

### 2.1 自主研发并应用了15万吨/年乙

### 烯裂解炉

2.1.1 首次开发出“石油烃裂解产物预测系统”软件

计算重质原料等效组成, 基于自由基热裂解反应原理, 构建和优化了4694个自由基反应, 准确预测裂解气组成分布, 用于裂解炉设计。计算模型适应于乙烷、丙烷、液化气、石

### 优化施工技术

在大庆石化乙烯改扩建工程建设中, 施工单位通过优化施工技术, 保证了工程质量和装置工程的本质安全。

一是优化模块化施工技术, 包括: 大型乙烯装置裂解炉模块施工技术和工艺管道工厂化预制、模块化安装技术; 二是优化大型塔器安装与吊装技术; 三是优化大型反应器施工技术; 四是优化大型钢结构施工技术; 五是优化低温环境下塔器焊接技术; 六是优化大型机组安装技术; 七是优化大体积混凝土基础施工技术。

通过优化施工技术, 提升了工程质量的保证能力。单位工程一次验

交合格率、管线试压合格率均实现了100%, 实体质量优良。焊接一次合格率达到98.85%, 其中乙烯装置焊接一次合格率99.15%, 炉管、SHA级管道达到99.6%, 工艺管线及现场组焊设备达到98.92%, 焊接质量优良。实现了“全面投料试车一次成功、产品一次合格、环保一次达标、考核一次通过”的总体试车目标。

通过设计创新、优化施工技术, 并有效组织实施与监控, 为打造精品工程、优质工程提供了保证。项目投产后实现了安全、环保、长周期平稳运行。

### 创新成效显著

大庆石化乙烯改扩建工程通过

管理创新和技术创新, 提升了项目管理水平和科技含量, 保证了项目建设的成功。项目投产后, 大庆石化公司乙烯生产能力达到120万吨/年, 生产装置达到经济规模, 产品结构合理, 产品质量高、规格齐全, 形成了上下游一体化的炼化产业带。原料消耗、乙烯收率和产品指标达到世界先进水平, 各项公用工程消耗达到国内领先水平, 三废排放指标符合国家规范要求。2016年实现销售收入92.2亿元, 利润12.9亿元, 经济效益显著。同时带动了地方经济的发展, 社会效益显著。

脑油、加氢尾油等气体和液体原料。

### 2.1.2 首创耦合传热技术

将炉管内反应吸热与炉膛燃烧、辐射段与对流段传热进行耦合计算，精准控制沿炉管的热通量，得到过渡段最佳临界温度，轻烃原料排烟温度96℃，主要产品收率高，能耗低，技术指标优于国外技术（见图1）。

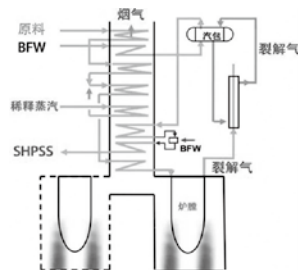


图1 耦合传热示意图

### 2.1.3 首创辐射段炉管的强化传热元件及加工工艺

破坏沿管壁的气体滞流层，缓解结焦生成，提高传热效果，降低炉管表面温度10℃以上，清焦周期达93天，比国外技术延长50%。

### 2.1.4 研发了小口径双套管裂解气急冷换热器

将860℃高温裂解气快速冷却至350℃，减少二次反应，回收高温裂解气热量，实现高温高压下安全运行。

### 2.1.5 开发出裂解炉抗火钢结构的设计方法

开发出大型裂解炉炉体钢结构复杂力学计算模型，创新了裂解炉抗火钢结构的设计方法，使极端情况下的倒塌得到控制。

### 2.2 开发了急冷系统计算模型

裂解气组成极为复杂，经过急冷换热器冷却后，形成了气、液、固的混合物，从最轻的确定组分氢气到沸点超过700℃的不确定组成的石油馏分，还有固体焦粒。经查找资料、利用工程数据

回归以及通过实验室分析等多种方法，补充完善了计算程序，形成了适用于这些组分的计算标准程序。经过优化热回收系统，工艺余热得到充分利用，大大降低了装置能耗（见图2）。

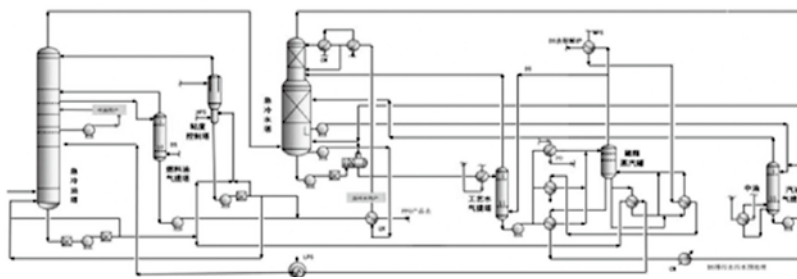


图2 优化后的热回收系统，大大降低了装置能耗

### 2.3 开发高效的乙烯分离流程

首创三黄金（TGF）分割乙烯分离技术。开发出国际领先的高效分离流程和超低温甲烷吸收乙烯工艺。提高热回收率，实现长周期运行，尾气中乙烯由国际先进的500ppm降至150ppm。

### 2.4 创新系统集成方法，实现乙烯成套技术工程应用工艺

#### 2.4.1 创新了全过程及安全智能控制的集成系统

针对自主工艺技术，集成开发了各单元的分散性控制系统，以及整套装置的安全联锁控制系统，确保装置高效、精准、稳定和长周期安全运行。

#### 2.4.2 开发出能量集成分析计算技术

建立了覆盖全装置的换热网络分析模型，根据分析结果，对工艺流程进行了优化改进，实现了系统能量的最佳利用。

#### 2.4.3 创新开发了大型设备关键技术

急冷水塔釜油水分离技术，实现油水界面自动平衡，提高了分离效率，简化了工艺流程。

#### 2.4.4 开发出高低温、大口径复杂管系应力分析技术

对280多个高低温、大口径复杂

管系进行应力分析和优化设计，满足了裂解炉高温大集管、大型压缩机组、冷箱连接等关键管系的特殊应力要求，实现全装置无膨胀节，保证了本质安全（见图3）。

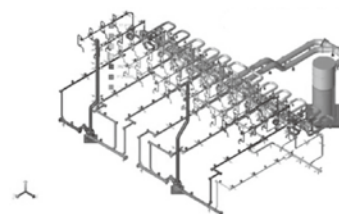


图3 急冷油和急冷水塔管系

### 2.5 环保设计

裂解炉采用先进的低NO<sub>x</sub>烧嘴，将烟气返回炉膛和旋风分离式清焦罐，减少了排放气中氮氧化物和固体颗粒的含量。所有放空均排至密闭系统送火炬燃烧，并回收火炬气做燃料，急冷油过滤器废渣送锅炉作燃料，全面实现节能减排、废物利用。

### 3 取得的成果

乙烯装置经过连续72小时的满负荷运转考核试验，考核平均值为：双烯收率47.29%；乙烯回收率99.63%；装置综合能耗593.67千克标油/吨乙烯。考核证明：利用自有技术建设的乙烯装置运行平稳、各项指标正常、产品质量合格、能耗和物耗均优于计划目标和设计要求，达到国际先进水平。■

# 大庆乙烯改扩建工程七项优化施工技术

中国石油天然气股份有限公司大庆石化分公司

大庆石化乙烯改扩建工程施工建设具有大型装置多, 钢结构多, 设备多, 交叉施工多, 工艺和电仪安装量大, 土建工程量大和有效施工工期短等特点。客观上要求施工组织必须严密, 施工技术必须可靠, 从而保证工程的实体质量。施工单位通过优化施工技术, 精心组织施工, 保证了工程按期、优质完成。

## 优化模块化施工技术

**大型乙烯装置裂解炉模块施工技术:** 使用多台大型履带吊车完成裂解炉分部整体吊装、就位, 对辐射段、对流段、辐射炉管、汽包、SLE (急冷换热器) 等设备实施模块化安装, 保证了施工质量, 提高了安装效率, 保证了作业。大型乙烯裂解炉模块化施工工法, 被评为国家一级工法。

**工艺管道工厂化预制、模块化安装技术:** 根据装置工艺管道工程量大的特点, 施工中采用了“工厂化预制、现场模块化安装技术”。对管道精细计算下料, 进行组焊、检测、涂漆、预组装, 现场按模块进行有序安装, 节省了现场作业时间, 保证了施工质量, 提高了劳动效率, 保证了工期。

## 优化大型塔器安装与吊装技术

在每台塔分段处增加临时组对平台; 分段塔吊装前以塔方位 $0^{\circ}$ 起, 外侧每隔500mm对称焊接定位块, 并用专用工卡具块固定; 焊接时采取焊工均匀对称分布, 同方向施焊, 焊后进行无损检测和热处理, 提高了组

对安装效率。

吊装前将附塔管线、梯子平台、电气仪表系统及部分塔内件等安装就位, 采取“整体制造、整体吊装”或“分段制造、分段吊装、空中组焊”的安装与吊装工艺, 保证了大型塔器的工程质量 (见图1)。



图1 大型塔器的安装与吊装

## 优化大型反应器施工技术

采用了远红外履带式电加热、整体预组装、焊缝同时施焊的焊接方法, 应用了立式内燃法进行整体热处理, 下封头上下两段分别进行热处理的施工方法, 解决了超限设备焊接和热处理难度大的问题。

通过论证确定了地基处理方式及深度, 经吊装载荷、风载荷、吊装角度和吊装距离等核算验证, 确定了设备、吊车行走路线及吊车站位, 采取了“整体制造、整体吊装”的吊装工艺, 吊装作业一次成功。

## 优化大型钢结构施工技术

采取地面成框预制法, 分段进行吊装。对十字形钢 (用钢板焊制) 立柱, 四个作业面4名焊工沿一个方向同时施焊, 并进行消应力处理; 使钢结构最大垂直度为10mm, 远远低于

规范不大于50mm的要求 (见图2)。



图2 大型钢结构施工现场

## 优化低温环境下塔器焊接技术

针对冬季室外低温的环境, 制定了低温环境焊接工艺规程, 优化焊接参数, 对乙烯装置急冷油塔和急冷水塔环缝组焊, 采用磁吸附式电加热片形式, 对焊缝进行焊前预热、控制层间温度, 采取后热缓冷控制措施, 用红外线测温仪进行监控, 避免了焊接冷裂纹的产生, 保证了焊接质量。

## 优化大型机组安装技术

压缩机轴系对中, 安装精度要求较高。机组安装采用高精仪器、进行机组联轴器的对中找正, 保证了设备装配的精确性。设备进出口连接管道精确预制, 实现无应力组焊, 机组试运均一次成功。

## 优化大体积混凝土基础施工技术

对于大体积混凝土基础, 施工中采取降低水泥水化热、基础中埋设降温水管、降低混凝土入模温度、在表面附加双向防裂钢筋、表面保温养护, 控制基础内外温度差等系列保证措施, 保证了大体积混凝土工程的施工质量。 ■