

## 公示材料

一、基本信息			
项目名称	中文	石化关键高温过程装备精准检测及可靠性评估技术	
	英文	Accurate inspection and reliability based assessment technology for high-temperature process equipment in petrochemical industries	
成果申报等级		<input checked="" type="checkbox"/> 一等奖 <input type="checkbox"/> 二等奖 <input type="checkbox"/> 三等奖	<input checked="" type="checkbox"/> 是否同意调级
主要完成人		韩志远、曹遵炜、吴斌、王辉、银建中、李志峰、史进、臧庆安、杜晨阳、胡振龙	
主要完成单位		中国特种设备检测研究院、北京工业大学、大连理工大学	
推荐单位(盖章)		中国特种设备检测研究院	
奖项的主要项目来源		<input type="checkbox"/> 国家级 <input checked="" type="checkbox"/> 省部级 <input type="checkbox"/> 其他	
具体计划、基金的名称和编号：国家质量监督检验检疫总局科技计划项目“基于超声透射及磁性分析的炉管复合损伤检测及寿命评价技术研究”2015QK256 国家质量监督检验检疫总局科技计划项目“基于可靠度的安全评定分安全系数设计方法研究”2015QK244			
成果的主要项目起止时间		起始： 2015-6	完成：2017-12
组织验收/鉴定单位		国家质量监督检验检疫总局	
成果登记号	G2019-147；G2019-148	成果登记时间	2019年2月28日；2019年2月28日

## 二、奖项简介

千万吨炼油、百万吨乙烯等大型石化装置是保障我国经济持续发展和能源安全的重要基础设施，其中高温工艺过程装备承担着反应、合成等核心工艺，是装置必不可少的关键装备。另一方面，这些高温设备也承受着严苛的载荷和环境条件，极易产生蠕变、热疲劳、热冲击、材质劣化等高温损伤和失效，而且一旦发生破坏，不仅会导致装置的非计划停车，还会存在严重的安全事故风险，因此对这些高温设备进行安全性的精准检测和评价具有重要意义，也是企业最为关心的问题。然而，要准确评估这些高温设备的安全状态仍存在技术瓶颈，包括：1) 评价参数及准则缺失，“温度-应力-介质”的交互作用规律及耦合损伤机理仍有待深入研究；2) 检测评价精度不足，长期高温服役影响因素复杂，亟需精准有效的检测技术支撑；3) 评估安全裕度不清，长期服役过程温度、压力等工况偏离设计条件且存在分散性，评估可靠性和安全裕度亟需明确。

针对以上问题，本项目以焦炭塔、转化炉、裂解炉等关键高温装备为研究对象，建立了包含“损伤演化预测-损伤精准检测-基于检测结果的寿命评价-可靠性评估”的高温设备精准检测及可靠性评估技术体系，解决了以往高温设备安全评价精度不足、安全裕度不清的难题，主要创新成果如下：

1) 突破基于三维激光扫描检测的焦炭塔热机械疲劳损伤安全评价技术。国内首次提出并应用了焦炭塔鼓胀变形损伤的三维激光扫描检测技术，攻克点云检测数据重构建模及瞬态耦合应力分析技术，结合局部应变失效准则，建立基于形变检测结果的焦炭塔寿命预测和损伤分级方法，较传统方法精度提高近 **20%**，成果被 GB/T 30579 采纳，实现焦炭塔热机疲劳的快速、精准检测和寿命预警。

2) 攻克基于爬壁超声透射检测的制氢转化炉炉管蠕变损伤寿命评估技术。研发多通道、可变角度水浸超声式炉管爬壁自动检测系统，将高速爬行下蠕变裂纹检出精度提升至 **2mm**，检测范围实现 **360°**全覆盖。建立高铬镍炉管材料材质劣化、蠕变损伤与超声衰减的定量关系，提出基于超声检测及外壁金相分级结果的寿命综合评估方法，形成 NB/T 10617 标准，提高炉管的检测精度和可靠性。

3) 建立基于磁多参数及碳化物特征的乙烯裂解炉炉管渗碳损伤量化分级技术。揭示炉管材料高温服役后碳化物平均宽度与炉管脆化程度的演化规律及定量关系，提出脆化程度定量分级评价方法；建立基于磁矫顽力、磁场扰动及电磁应力测量的渗碳层厚度快速检测方法，解决以往单一磁参数检测误差大的缺点，检测误差小于 **5.1%**，形成 GB/T 33578.1 标准，为 NB/T 10618 提供重要支撑。

4) 提出典型损伤的可靠性评估方法及分安全系数设定方法。结合载荷-抗力干涉模型，建立基于  $Z$  参数的炉管蠕变损伤极限状态方程及可靠性评估方法，给出不同损伤级别炉管的  $Z$  参数分布规律；建立适用于我国评价标准和材料的安全评价分安全系数设定方法，为 GB/T19624 中安全系数科学调整提供重要支撑，推动承压设备安全评价由“确定性评价”向“可靠性评价”技术进步。

本项目成果形成 1 项国家/行业标准，并被其他 3 项标准采用，授权发明专利 6 项，实用新型专利 1 项，软件著作权 2 项，发表论文 34 篇（SCI/EI 论文 14 篇）。成果整体达到国际先进水平，部分成果达到国际领先水平，解决了石化企业大型成套装置长周期运行的瓶颈难题，为关键高温装备的精准检测和可靠评估提供了有力支撑。项目成果已产业化应用，发现上百处安全隐患，近三年取得直接经济效益超过 3.5 亿元，间接经济效益和社会效益显著。