

# Installation Technology of Regular Packing in Tower Equipment

Yi Huang

China National Petroleum Corporation Sixth Construction Co., Ltd., Guilin, Guangxi, 541004, China

## Abstract

As the core internal component of modern towers, the installation quality of regular packing directly affects the separation efficiency and operational stability. This article focuses on the difficulties of insufficient positioning accuracy, uneven stress, and weak monitoring in installation. It systematically explores the installation process, focusing on pre assembly accuracy control, modular lifting micro stress introduction, online evaluation of installation quality, and standardized process reconstruction. Based on the characteristics of the packing material and the installation environment, a technical system of “positioning benchmark strengthening lifting stress release process monitoring quality quantification evaluation” is proposed to improve the uniformity of the packing layer, reduce the risk of damage, and provide technical support for the efficient operation of large-scale chemical plants.

## Keywords

regular packing; Installation technology; Tower equipment; quality control

# 塔器规整填料的安装技术谈论

黄翼

中国石油天然气第六建设有限公司，中国·广西桂林 541004

## 摘要

规整填料作为现代塔器的核心内件，其安装质量直接影响分离效率与运行稳定性。本文针对安装中存在的定位精度不足、应力不均、监控薄弱等难点，系统探讨安装工艺，聚焦预装配精度控制、模块化吊装微应力导入、安装质量在线评价及标准化流程重构。结合填料特性与安装环境，提出“定位基准强化-吊装应力释放-过程监控-质量量化评价”技术体系，提升填料层均匀性，降低损伤风险，为大型化工装置高效运行提供技术支撑。

## 关键词

规整填料；安装技术；塔器；质量控制

## 1 引言

塔器在化工分离过程中地位关键。规整填料因高通量、低压降、高分离效率优势成为主流选择，但其复杂几何构型、薄壁材质及大型化安装精度要求，使安装成为性能瓶颈。实践中，定位偏差、应力损伤、密封缺陷等问题频发，严重削弱了规整填料的理论性能优势。因此，开展针对规整填料安装全过程的技术探讨，突破现有安装方法的局限性，实现安装精度与效率的协同提升，对确保塔器达到设计分离指标、延长设备运行周期、降低装置运行能耗与物耗具有极为重要的工程价值。本文旨在系统论述安装技术难点与对策，为工程实践提供指导。

## 2 规整填料安装的核心技术难点

### 2.1 填料结构与安装精度的矛盾诉求

规整填料普遍具有多孔薄壁、规则波纹或复杂三维网格的特征几何拓扑结构，以实现最大化比表面积和可控的流体通道，其对单元间相对位置的精确对位具有极高敏感性。理论上，填料的分离性能源于设计好的规则气液接触界面，任何微小的安装错位都会破坏这种规则性，导致局部流通面积增大或变小，诱发流动偏析形成沟流或短路<sup>[1]</sup>。同时，薄壁金属如不锈钢、钛材及特种合金，其屈服强度与弹性模量限制了安装允许施加的外力边界，在安装夹具夹紧、螺栓紧固等操作中极易产生表面压痕、涂层剥落或局部塑性形变，破坏填料表面的亲液或疏液特性。这种对几何精度的高要求与材料物理易损性之间的矛盾，要求安装过程必须实现微米级定位精度与毫牛级接触应力的协同控制，传统依靠目测和手动调节的粗放安装方式难以满足。此外，填料单元数量众多，累积误差效应显著，确保数以万计单元的整体安装平面度、垂直度和间隙均匀性成为巨大挑战。

**【作者简介】** 黄翼（1997-），男，瑶族，中国广西桂林人，本科，助理工程师，从事动静设备安装研究。

## 2.2 安装场域条件对工艺的刚性约束

塔器内部属典型受限空间作业环境，光照不足、空间狭窄、构件干涉点多，操作人员可施展范围极其有限，极大制约了视觉定位、工具使用和精细操作。大型塔器安装高度常达数十米，作业平台稳定性差、高空风力影响显著，给精密测量仪器的使用带来严峻挑战。同时，现场环境温湿度波动、粉尘污染等因素不容忽视，尤其对于特定材质如陶瓷或表面特殊涂层的填料，环境污损或不当清理可能造成永久性失效。这种特殊场域条件迫使安装技术方案必须具备高度适应性，常规厂房内的精装工艺无法直接平移。它要求发展小型化、高鲁棒性的专用安装工装；开发低照度、抗振动干扰的视觉或光学辅助定位系统；制定严格的环境洁净度控制与材料防护规范，并对作业流程进行特殊化重组以适应狭窄空间的流水化作业需求。

## 2.3 安装团队专业素质依赖性强

规整填料安装是一项融合精密机械操作、材料力学认知、测量技术和流程管理的高技能作业。操作人员对填料结构力学特性缺乏理解易造成野蛮操作，如过度撬动用硬物敲击强行归位等，直接造成材料不可逆损伤。对专用工具如激光投线仪、扭力扳手、定力弹簧吊具等的操作熟练度不足，则无法发挥工装效能，甚至错误操作引发事故。解读安装图纸理解设计要求与装配序列的能力不足，可能导致工序颠倒或关键质量控制点遗漏。更为关键的是，预见潜在风险的能力，如识别安装应力积聚点、判断材料临界变形状态的敏锐度，往往依赖经验积累。当前现场安装人员流动性大、培训体系不健全、技能水平参差不齐的现实，成为实现高稳定性、可重复性安装质量的深层制约。降低安装质量对个体经验的过度依赖，建立标准化、程序化、可视化的操作指令体系，并通过严格资质认证提高团队整体专业度是迫切需求。

# 3 提升规整填料安装质量的关键策略

## 3.1 高精度定位与紧固技术的迭代应用

克服累积误差的关键在于建立可靠的基准传递链和智能化的过程微调体系。在塔器壳体内部主支撑环上预设高精度、不易变形的永久基准点，如不锈钢嵌块基准十字线或光学靶点更为可行。大型填料层安装初期，采用高分辨率激光跟踪仪实现填料基准面与塔壁基准点的刚性传递，首次精确找平奠定全局精度基础。实施模块化分段安装策略，将每层或特定块数填料组合为可独立定位的安装单元。单元内部填料块间的定位，推广应用具有物理止口与精密导销设计的定位装置，实现径向与周向双重约束，其插销间隙需控制在亚毫米级以减少手动调整依赖。紧固环节摒弃“凭手感”拧紧螺母的传统方式，严格采用经校准、量程合适的数显定扭矩扳手施力，根据填料材质、厚度、片数及设计规定的压紧力范围，逐层设定并记录扭矩值，确保轴向压紧力均匀可控分布在设计范围上限附近，既能抵抗气流冲刷又避免压溃结构

<sup>[2]</sup>。对于大面积波纹规整填料，优化压圈结构如分段挠性压圈或带液压补偿的浮动压紧系统可有效吸收局部不平度、分散应力。

## 3.2 大型模块化吊装微应力导入工艺

针对超大型规整填料模块，传统钢索吊装产生的局部集中应力是致命威胁，设计多点协同、应力可控的吊装系统至关重要。开发专用“蜘蛛式”吊架结构，多点连接于填料模块预设的增强受力点或主承重骨架结构。每个吊点均集成柔性弹簧缓冲器和高精度力学传感器，实时显示各点载荷分布，确保在起吊、平移、下放全过程中，各吊点负荷偏差小于预设安全阈值。在微调落位阶段，引入精密微动顶升机构或气浮滑移装置辅助定位。填料临近支撑梁或下层表面时，由安装人员手动辅助或利用可编程导引系统实现缓慢滑入而非硬性撞击接触。整个过程需严格监控模块姿态水平度变化，采用高精度电子水平仪或激光平面扫描配合控制系统实时反馈调整各点高度差不超过0.1毫米。此工艺核心目标是在整个吊装过程创造“类悬浮”状态，最大限度消解自重引发的局部弯曲或屈曲变形应力。

## 3.3 安装过程可视化与量化评价融合

突破传统人工检查的模糊性与局限性，构建多维度量化监测体系。关键位置安装关键点如填料单元边缘对缝间隙值、压圈平行度、支撑环水平度等安装过程中同步采集。应用高分辨率工业内窥镜配合图像识别分析技术，在安装间隙难以直接目测处获取图像并自动识别测量缝隙宽度是否超限。分布式应力传感器集成于专用安装工具或临时附着于关键受力点位置，实时感知并记录压紧过程中接触面压力波动。数据统一传输至中央处理终端进行在线统计过程控制，形成动态波动监控图。系统预设关键指标的临界阈值，一旦某参数偏离设定范围即触发警报。安装完成验收阶段，推广高精度三维激光扫描对整个填料层上表面进行面扫描点云分析，生成精确的平面度、波纹倾角分布云图及数据报告，并与理论设计模型进行比对。可视化工具如增强现实眼镜可叠加显示关键间隙测量点，指导工人有的放矢进行精细微调，减少盲目操作提升效率。

# 4 标准化安装流程重构与保障体系

## 4.1 工前准备标准深度强化

成功的安装始于严谨的准备活动。建立安装空间准入制度，在人员设备进入塔内前严格执行环境指标检测，包括温度限制以减少热膨胀影响、湿度上限防止结露与氧化风险、降尘至规定等级避免微粒污染。安装所需工器具如定扭工具、激光设备、吊具模块须经计量合格并粘贴有效状态标识后才允许入场。作业平台搭设要求牢固稳定无晃动，具备足够覆盖范围与安全防护措施。详细拆解图纸技术参数要求，为每个安装单元编制专属的装配任务清单包含基准点信息、扭矩设定值序列、吊装路径规划图以及关键质量控制要

点预警图表，所有参与人员必须接受工前技术交底并通过要点考核确认理解无误<sup>[3]</sup>。准备工作的深度决定了安装过程的可控度。

#### 4.2 环境敏感型防护操作规范

不同类型填料对应差异化的防护要求制定明确规程。精密表面如亲水涂层或不锈钢丝网构件使用棉质防静电手套直接接触表面以避免汗渍或油污污染带来润湿失效风险。需要转移操作时，必须应用定制防护套件将单元完全包裹严密隔绝外部粉尘进入通道内部。现场搬运利用带有缓冲垫层的专用手推车进行地面移动，严格禁止随意在粗糙地面拖移造成磕碰划痕。塔内保持相对正压状态降低灰尘侵入概率，同时有专职清洁人员在非作业时段定时用无油压缩空气或静电吸尘装置清理作业层平台防止落尘污染未安装部件表面。针对陶瓷或特殊合金材料还应限制温差变化速率避免热冲击裂纹产生。这些规范性要求旨在主动抵御外部环境因素对安装件物理状态造成不可控干扰。

#### 4.3 数字辅助引导技术应用

积极融合数字化工具降低人工操作复杂度与判断错误概率。开发安装作业辅助系统，利用轻便可穿戴设备如工业平板电脑或AR眼镜实时加载三维作业引导画面。辅助系统在关键步骤自动提示操作员当前目标扭矩值要求并验证是否施加到位提供视觉反馈，显著降低人为遗忘或疏忽风险。在狭窄空间进行多重单元定位对位操作时，系统根据预设相对位置模型自动标识相邻单元理想对合参考线投影至操作者视野内，消除人眼视角误差引导进行精准微调缩短手动装配时间<sup>[4]</sup>。每次操作完成的安装位置和施力信息将被自动获取形成结构化日志。该数字日志不仅是实时作业指导依据也为后续安装质量追溯提供完整可靠原始数据支撑，替代传统人工填写记录方式。

#### 4.4 工序流重构提升集成协同

重新审视传统顺序作业模式效率瓶颈，将互不干扰环节并行化实施加速整体进度。典型策略如塔内某一层安装作业同时于塔外另一层组块进行预组合准备同步进行。大型组块的吊装安装阶段安排专业吊装指挥小组集中管理所有起吊运输操作；与此同时质量数据记录小组同步进行已完成区域的测量检测任务；工具管理人员则专责为下一轮安装准备物资避免工序间隙出现等待时间浪费。不同技术分工小组围绕统一安装计划调度实现高度协同。过程中明确各工序交接点设置确认环节和清晰的移交责任边界，关键质量控制节点设控制卡并需多角色联合签字确认方能进入下一环节。流程重构显著压缩非有效作业时间，大幅提高人员及设备利用率。

#### 4.5 多维协同培训与资质认证体系

构建超越传统模式的综合技能传递机制。常规理论讲授结合增强现实进行失效场景模拟演练，在虚拟环境中让受训人员体验不当操作引发填料结构塌陷连锁反应后果深刻理解正确方法的重要性。实际操作阶段应用高仿真度培训设备模拟塔内安装环境和力学反馈效果。设置阶梯式资格认证制度，人员必须完成基础认知模块、工具操作模拟模块、完整安装流程仿真模块考核后方有资格进入实际作业现场。作业过程实行新老搭配原则执行新员工作业仅允许在高级别监督指导下实施有限范围操作<sup>[5]</sup>。培训强化对关键力学概念如材料刚度与柔度特性、预应力效应边界条件的形象化理解深度，提升一线人员判断能力避免盲目性操作造成结构破坏难以挽回损失。持续技能更新是保持队伍专业水准的基础保障。

### 5 结语

塔器规整填料的高质量安装是实现高效气液传质过程的基础保障。面对填料自身精密脆弱特性与现场复杂安装条件的严峻挑战，本文系统分析了定位精度控制、材料应力防护及流程协同优化的技术难点与解决路径。高精度定位与可控紧固技术是确保填料几何规则性的前提，大型模块微应力吊装工艺有效防止了材料损伤，过程可视化与量化评价则显著提升了质量监控的可信度。更为重要的是，通过深度强化工前准备、制定环境敏感操作规范、应用数字化辅助引导、重构工序流程并建立多维协同培训认证体系，形成了一套标准化、低依赖性的安装保障框架。实践表明，严格遵循上述技术策略能显著提升规整填料安装的整体规整度与均匀性，有效克服沟流与局部干区缺陷，保障塔器达到设计分离效率并实现长周期稳定运行。未来安装技术将进一步融合自动定位机器人、人工智能实时决策分析以实现更高精度与智能化水平，推动化工分离技术持续进步。

#### 参考文献

- [1] 温泉.化工塔器安装过程中常见质量问题及预防措施[J].中国石油和化工标准与质量, 2025, 45(4):13-15.
- [2] 张峰斌.大型塔器现场分段交叉安装技术[J].河南化工, 2025, 42(6):42-44.
- [3] 包春凤, 李瑜哲, 周帼彦.规整填料塔专用耐腐蚀支撑装置结构设计及有限元模拟[J].化工机械, 2022(001):049.
- [4] 郑一鸣.填料塔新型分布器安装结构设计[J].化工设计通讯, 2025, 51(1):29-31.
- [5] 丘建晖, 杨用龙.碳捕集塔填料的研究现状及发展趋势[J].低碳世界, 2025, 15(3):28-30.