

200 万方/天原料气预处理塔器现场组对安装

刘春霖

上海华谊建设有限公司

DOI:10.32629/bd.v10i1.4595

[摘要] 天然气产业链持续完善背景下,LNG调峰储备库在区域能源保供体系中承担着不可替代的作用。原料气预处理环节关乎气质洁净度与后续系统运行寿命,大型塔器作为净化单元核心载体,受运输条件、现场工况与建设周期约束,分段制造、现场组对成为行业主流实施方式。西北干旱多风地带施工干扰因素密集,有限场地与多变气候叠加,让传统施工组织难以同时兼顾质量底线、安全红线与进度要求。塔器组对尺寸控制、吊装可靠性、配管接口应力以及多专业协同效率,共同决定装置落地成效,相关实践与技术思路对同规模LNG工程设备安装具备直接参考价值。

[关键词] 预处理塔器; 现场组对; 双机抬吊; 应力控制; 施工组织

中图分类号: TV512 **文献标识码:** A

2 million cubic meters/day on-site assembly and installation of feed gas pretreatment tower

Chunlin Liu

Shanghai Huayi Construction Co. Ltd.

[Abstract] Under the background of continuous improvement of natural gas industry chain, LNG peak-shaving storage plays an irreplaceable role in regional energy supply system. The pretreatment of feed gas is related to the cleanliness of gas quality and the service life of subsequent systems. As the core carrier of purification unit, large tower is constrained by transportation conditions, on-site working conditions and construction period, and segmented manufacturing and on-site assembly have become the mainstream implementation methods in the industry. The interference factors of construction in arid and windy areas in northwest China are dense, and the limited site and changeable climate overlap, which makes it difficult for traditional construction organizations to take into account the quality bottom line, safety red line and schedule requirements at the same time. The size control, hoisting reliability, piping interface stress and multi-discipline collaborative efficiency of the tower group jointly determine the landing effect of the device, and the related practice and technical ideas have direct reference value for the installation of LNG engineering equipment of the same scale.

[Key words] pretreatment tower; On-site pairing; Double-machine lifting; Stress control; construction organization

引言

国内天然气消费结构持续升级,调峰储备设施进入集中建设期,LNG项目整体朝着装置大型化、系统集成化、周期紧凑化方向推进。原料气预处理系统承担脱硫、脱碳、脱水等核心净化功能,内部塔器外形尺寸大、壳体壁厚、就位精度要求高,长期处于工艺安装管控核心位置。河西走廊地域开阔但风况频发,有效吊装与焊接窗口被大幅压缩,装置区平面布置密集,大型设备进场路径与吊车站位空间受限。组对、焊接、吊装、配管各工序相互约束,局部偏差极易传导至整体质量与工期目标。围绕大型塔器实施全过程细节管控,形成适配地域特征与项目条件

的施工路径,是保障装置按期投用、长期稳定运行的重要支撑。

1 大型塔器现场组对工艺与精度控制技术

1.1 塔器分段到货状态与现场布设方案

近年来行业内将大型塔器安装作业方法作为重点研究内容,有技术人员在经过理论以及实践研究后提出分段组对整体安装法,技术人员在经过大量工程试验后,认为分段组对整体安装法更具优势,因此该技术的研究力度也随之上升^[1]。西北偏远地区道路运输条件对超长超重设备形成硬性约束,整体出厂运输难以实现,瓜州LNG项目预处理塔器统一采用分段制造、现场组焊成型模式。段节划分以运输限界为底线,长度、重量、重心位置

表 1 瓜州 LNG 项目预处理塔器分段到货参数

塔器名称	总高度(m)	筒体直径(m)	分段数量	单段最大重量(t)	单段最大长度(m)
吸收塔	38.2	4.2	2	34.6	19.1
再生塔	35.7	4.0	2	31.2	17.8

均经过道路通过性验算,规避超限运输带来的安全隐患与审批成本。项目包含吸收塔、再生塔、重烃吸附塔、干燥塔四类核心设备,外形尺寸与结构荷载存在差异,分段数量与单节重量结合组对效率与吊装能力综合确定。

结合现场到货实际情况,二类核心塔器的关键参数统计如下表所示。

预处理装置区北侧开阔区域经场地平整、碾压密实与钢板覆盖,形成专用组对作业面。塔器分段沿组对顺序直线排布,下段靠近基础方向,中段与上段依次顺延,减少场内倒运与转向次数。组对平台中心与设备基础中心保持同轴布置,降低后期吊装对位难度。场地内部划分操作区、焊材存放区、检测区,各区域空间独立,交叉作业干扰降至最低。软弱区域提前换填处理,塔体放置阶段的不均匀沉降得到控制,为组对尺寸稳定性提供基础条件。现场还根据风向与日照角度微调场地朝向,尽量避开大风直吹与强光直射对测量、焊接作业的干扰,让连续施工的外部条件更稳定。

1.2 组对过程中的对口精度控制方法

塔器对口状态直接决定焊缝受力分布与长期服役安全性,错边超标、间隙不均、椭圆度偏差都会埋下结构风险。传统人工拉钢丝找正受风速、光照影响明显,尺寸稳定性不足,现场借助激光跟踪仪与定位工装组合实现对位调整。筒体端口提前布设同材质定位构件,圆周方向均匀分布,焊接过程严控热输入,避免附加变形影响基准精度^[2]。下段塔体就位后完成水平校准,内壁标记纵向控制基准线。后续塔段吊装接近就位位置时,先与基准线完成初步对齐,再通过楔形工装完成周向与径向微调。激光跟踪仪实时采集对口截面数据,错边量与椭圆度同步修正,全周偏差保持均匀受控。对口间隙按照焊接工艺要求稳定控制,局部过大或过小带来的根部缺陷概率明显下降。全过程以实测数据为调整依据,粗放式经验判断被替代,组对一次合格率保持高位。对口参数同步记录,形成完整可追溯资料,支撑后续验收与质量核查。

1.3 组对焊接工艺与变形控制

塔器壳体采用低合金高强钢材质,大厚度长焊缝施工中,残余应力与变形管控难度突出。现场以氩弧焊打底配合自动焊填充盖面,焊缝熔透质量与成型效果更稳定。焊接材料与母材力学性能匹配,层间温度维持在合理区间,冷裂纹与组织脆化风险得到抑制^[3]。圆周方向焊缝采用对称分段退焊作业,多名焊工在对称位置同步施焊,局部集中过热现象得到缓解。筒体内侧按间距设置临时约束构件,截面椭圆化趋势被有效限制,焊接完成后缓慢拆除并打磨修复。焊后无损检测及时介入,缺陷在早期完成处置,避免问题带入下道工序。变形监测伴随焊接全过程,数据异常时立即暂停调整,小幅多次校正替代强力矫正,母材原有性能得到保护。西北昼夜温差较大,焊后采取保温缓冷措施,残余应力进一步释放,焊缝韧性与结构耐久性同步提升。

2 受限条件下塔器吊装方案设计与关键计算

2.1 吊装环境与设备选型分析

瓜州地区风况活跃,瞬时风速偏高,吊装作业对气象窗口依赖度高,有效作业时长占比偏低。装置区平面布置紧凑,设备基础周边同步开展钢结构与管道支架施工,吊车站位空间、回转范围被大幅压缩。主吊只能沿北侧既有道路布置,作业半径固定,吊装高度与载荷均受现场边界限制。设备选型以项目内最重塔器为控制对象,综合荷载、作业幅度、有效高度、场地通过性确定配置。主吊选用大吨位全地面汽车式起重机,辅吊配合完成筒体翻身动作,两台设备额定性能均留有充足安全余量。吊耳形式、吊索规格、连接角度经过受力分析,与封头、支座位置匹配。吊装前完成地面承载力核验,支腿区域铺设路基箱,沉降风险得到控制。吊装路径提前清理,临时堆放物料全部移除,回转与变幅过程无遮挡,作业连续性得到保障。

2.2 双机抬吊塔器翻身与直立工艺

大型塔器翻身与直立依托双机抬吊实现,主吊承接上部荷载,辅吊托举下部筒体,协同完成姿态转换。吊耳与壳体焊接后经百分百磁粉检测合格,受力安全得到确认。翻身作业前开展试吊,筒体抬离支撑面后检查索具受力、设备制动状态与车身稳定性,确认无异常后进入正式工序^[4]。姿态转换节奏平缓,指挥信

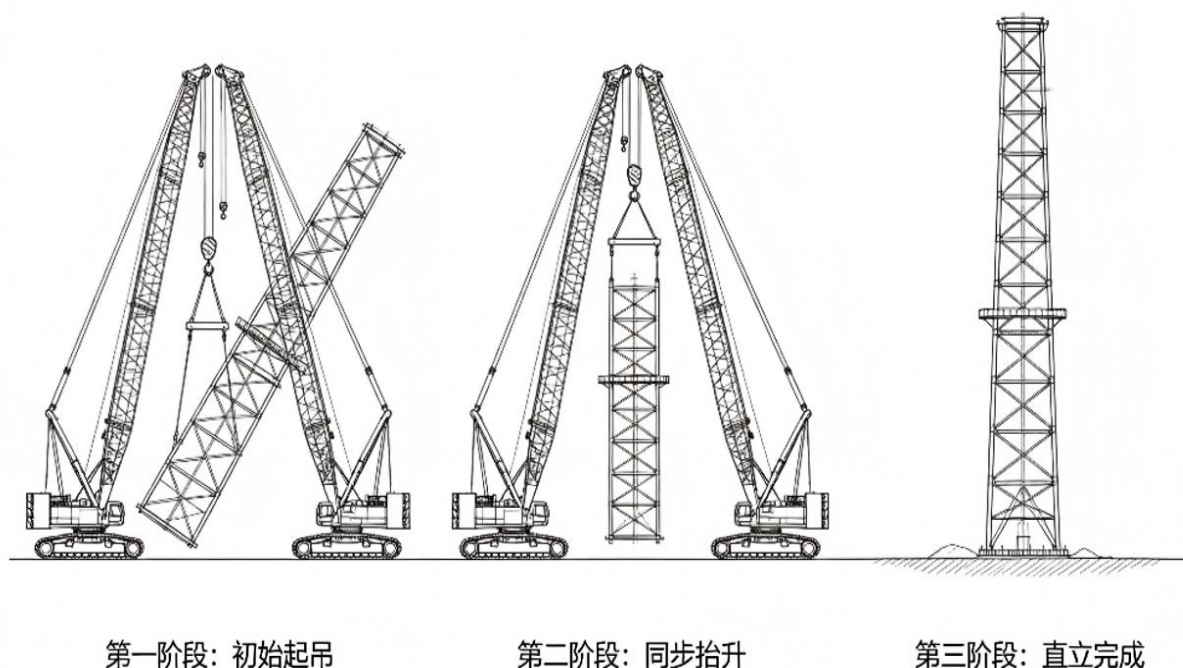


图1 双机抬吊塔器直立过程示意

号统一, 主辅吊升降速度保持同步。筒体接近直立角度时, 辅吊逐步卸载, 全部荷载转移至主吊。塔体提升至基础上方后缓慢回落, 地脚螺栓对位过程避免磕碰与强行就位。就位后借助经纬仪与水平仪完成垂直度校准, 通过地脚螺母微调至合格范围。多风环境下辅以缆风绳约束筒体摆动, 高空对位难度下降, 作业安全与就位精度同步提升。

2.3 吊装计算书关键参数与安全验算

吊装全过程以载荷核算为核心控制依据, 动载效应与不平衡受力均纳入计算范围。核心公式:

$$Q_j = K_1 \times K_2 \times Q$$

式中: Q_j 为计算载荷; K_1 为动载系数; K_2 为不平衡载荷系数; Q 为设备与吊具总重量。核算结果与起重机额定性能对比, 主辅吊实际受力均低于允许值, 安全储备充足。起升高度按照基础高度、设备高度、吊索长度与安全余量叠加计算, 起重臂长满足最高就位要求。稳定性校核结果满足规范要求, 支腿压力在地基承载力范围内。计算参数全部取自现场实际工况, 理论数值与现场条件高度贴合, 为现场指挥与安全管控提供清晰依据。双机抬吊的动作流程与受力状态可通过下图直观体现, 与现场实际作业步骤完全对应。

3 塔器关联管道安装应力控制与高效施工组织

3.1 塔器就位后管道接口应力管理

塔器管口与管道连接部位易产生附加应力, 强制对口会让接管承受持续弯曲力矩, 长期运行存在介质泄漏隐患。现场执行无应力配管原则, 管道预制完成后实现自由对位, 法兰面平行度与间隙均匀调整, 不依赖外力强行贴合。大口径管道配置可调式

支架, 小口径管道采用弹簧吊架吸收位移。配管过程中实时关注管口受力状态, 异常情况及时调整支架位置或管道走向。连接完成后按照规范开展压力试验, 密封点无泄漏, 接口应力维持在安全区间。高温差工况下预留合理膨胀间隙, 热胀冷缩带来的附加应力被消解, 系统长期运行稳定性得到提升。无应力配管在提升安装质量的同时, 降低管口疲劳失效概率, 为装置平稳运行提供保障。

3.2 塔器周边管道预制与安装效率提升措施

塔器区域管道密集、走向复杂, 现场分散施焊效率偏低, 质量波动难以控制。项目推行模块化预制思路, 相邻管线整合为独立模块, 在固定预制区域完成切割、焊接、检测与防腐作业, 现场仅开展整体吊装与对口连接。预制深度提升后, 现场焊接工作量明显下降, 作业环境更可控, 焊缝一次合格率稳步提高。三维模型提前完成深化设计, 管道、设备、钢结构之间的碰撞点在预制阶段全部消除, 现场返工现象得到杜绝。模块外形尺寸与重量适配现场吊装能力, 转运与就位过程顺畅。模块接口提前精加工, 现场对接精度高, 调整耗时大幅缩短。模块化安装让工序衔接更紧凑, 交叉作业秩序更清晰, 整体安装效率较传统方式实现提升, 为紧张工期提供支撑。

3.3 施工进度压缩下的组织协调实践

项目整体工期紧张, 塔器安装与上下游工序高度交叉, 组织协调效率直接影响节点目标实现。现场打破专业分隔, 组对焊接、管道预制、钢结构施工同步推进, 关键线路工序优先配置人力与设备资源。作业班次合理排布, 有效工作时长延长, 人员休息与作业安全得到兼顾。每日现场沟通机制快速化解界面矛盾、

设计疑问与资源缺口,设计变更响应效率提升,等待停滞时间被压缩。与监理、设计、供应商保持高频对接,设备到货、资料移交、工序验收形成无缝衔接。进度实施动态跟踪,偏差在早期完成预警与纠偏,关键节点按期落地,为后续系统调试留出缓冲空间。西北偏远地区物资运输周期较长,关键耗材与备件提前储备,物料短缺导致的停工风险得到控制,施工连续性得到保障。针对多专业交叉带来的工序冲突,现场采用分区错峰作业,同一时间段内同一作业面只保留主导工序,减少相互干扰,整体工效进一步提高。

现场还针对大风、低温等突发工况制定专项应对预案,关键工序提前储备作业窗口,焊接、吊装等高敏感环节避开极端天气影响。工序交接执行面对面确认制度,资料同步流转,避免因信息滞后造成等待。各类资源配置向关键线路倾斜,人力、机械、材料按需动态调整,整体施工节奏始终保持在可控区间。塔器安装完成后及时开展基础二次灌浆与设备找平复测,避免后期扰动影响管口与管线的相对位置。灌浆料养护期间做好防风防晒措施,强度达标后再开展后续配管作业,进一步稳定设备状态,降低管道接口受力风险。

4 结语

综上所述,瓜州LNG调峰储备库200万方/天原料气预处理工程实践,形成了大型塔器现场组对、受限场地吊装、管道配管应力控制与紧凑工期施工组织成套实施路径。组对尺寸与焊接

变形的精细化管控,为塔器结构质量与长期安全性筑牢基础。双机抬吊方案适配地域风况与场地局促条件,核心核算逻辑清晰,全过程安全可控。无应力配管与模块化施工兼顾安装质量与作业效率,降低装置运行风险。多专业协同组织模式有效破解交叉作业矛盾,适配西北地域特征与大型LNG项目建设节奏。相关技术与管理思路可为同类型工程塔器安装提供直接参考,也为能源化工设备现场安装的质量提升与效率优化提供可复制的实践经验。

[参考文献]

- [1]王博.大型塔器分段组对整体安装和分段安装对比分析[J].现代工业经济和信息化,2022,12(6):255-257.
- [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]王振.模块化预制安装技术在大型塔器装置改造中的应用[J].化工机械,2026,53(2):382-386.
- [4]丁然.浅谈大型塔设备吊装[J].化工设计,2021,31(5):23-29+1.

作者简介:

刘春霖(1989--),男,汉族,甘肃会宁人,兰州理工大学,本科,过程装备与控制工程专业,从事化工管道和设备安装工作十多年,参与多个石油化工和精细化工、煤化工施工工程管理工作。