模块化吊装的条件与优势

于宗堂　张　喆　吴国虎（中化泉州石化有限公司，福建　泉州　362103）

摘　要：2021 年，国内原油表观消费量高达 7.07 亿 t，预计 2022 年将达到 7.38 亿 t，同比增长 3.6%。随着人们对石油及其加工产品需求的日益增长，这一数字还在逐年递增。“十三五”期间，中国石油化工行业以炼化一体化开启产业升级，国家发改委重点规划发展了七大石化产业基地，仅 2020 一年时间就有 10 个以上新建及改扩建千万吨炼油企业中交投产，累计将新增炼油能力 1.2 亿 t/a。炼化一体化项目的大力建设，生产规模不断扩大，促使工程建设期加快、提效增速。为炼化企业带来更大效益与机会的同时，如何增效保质，安全可靠竣工，成为炼化项目建设发展方向新课题，而安装阶段作为项目建设的主体，大件分段设备安装和高层钢结构框架安装时采用模块化吊装对项目建设提速的优势显得尤为关键。

关键词：炼化一体化；工程安装；钢结构框架；吊装；模块化吊装；条件；优势；安全管理；质量管理

0 引言

在传统项目建设工程安装中，超限设备、超高钢结构框架采用分段焊接、高空组片等安装方式，需要大量人员、机具参与配合，高空作业存在较大安全风险，而且安装效率也不高，施工进度缓慢。但近年来，随着千吨级大型吊车和大型液压吊装系统的普及，大型滚装式驳船、液压运输板车的完善，传统工程施工中主流的吊装方式、运输方式已然发生了改变，当前施工中采用模块化吊装的发展趋势越来越得到认可。工艺单元组装模块、设备撬块、钢结构框架模块、公共管廊模块等在设计、采购、施工等阶段就已经成为炼化工程建设重点选择之一，这也为建设工期进度加快得以稳定提速。

1 模块化吊装的条件

1.1 设计条件

能否进行模块化吊装，应该从设计阶段开始总体要求和规划，业主单位和施工单位的技术人员与设计院设计人员详细地沟通必不可少。在设计过程中不仅要考虑钢结构形式、设备本体、工艺单元模块的施工工艺和制造方案，也要考虑模块化吊装过程中模块组装的场地及大型吊装机械作业空间预留场地的布局，钢结构框架的安装形式，工艺单元的上下流程的衔接，以及开工生产运行条件，检维修预留空间条件等。设计人员借助计算机三维建模，将钢结构框架结构或者设备撬块等有二维平面绘制成可视化的三维模型，更直观的表现出模块的结构形式，也可以借助三维模型进行模块吊装的三维动画演示。

1.2 采购条件

在工艺包专利商要求许可内，对于中小型设备撬块、成熟的小型工艺单元在技术规格书、技术协议签署之前可以明确模块化制造供货，大型设备工艺单元模块可采用工厂分段或分区预制，到达安装现场后再拼装成整体的方式。钢结构模块多采用散片到货，现场组装预制模式。现场预制模式需要钢结构、设备、管道、保温材料等到货计划编排合理，及时到货，为整体模块化吊装提供保障。

1.3 运输条件

考虑设备外形尺寸、重量，一般采用海运与陆运结合的运输方式直达吊装现场。海上运输受天气影响较大，运输周期相对较长。海陆结合运输需要充分考虑卸船方式以及运输道路承载力、转弯半径、限高等问题，提前考察路况，做好运输方案的预留、除障等。设备到货的准时与否会为后续吊装节约大量时间且不易造成资源浪费。如果项目本地有制造资质及施工条件，可以优先考虑本地制造，可以大大减缓海运对设备到货的影响，同时也可以对设备制造加强监管。

1.4 吊装条件

因钢结构模块、超限设备、工艺单元模块等在现场组装完成后重量比较重、外形尺寸也比较大，需编制专项吊装方案，并经过专业技术人员和管理人员编制与审批，有些超规模的吊装方案还需要专家论证通过。在吊装前严格按照已审批方案再次确认吊装模块的重量和尺寸、吊装的高度、吊车站位角度和回转半径等，检查吊装用钢丝绳、吊环、

平衡梁等安全可靠。需要提前协调大型吊车进场组装，在正式吊装前进行试吊。

1.5 现场条件

吊车进场前，做好吊装场地预留，吊车站位的地基承载力试验及吊车行走路线的地基处理，满足起重机作业起吊、转杆、行走、就位的吊装全过程。设备基础、螺栓孔位匹配，螺栓质量达标，提前校核设备安装方位和尺寸。吊装所用的其他用具：平衡梁、卸扣、索具的准备也必不可少，根据现场作业环境，同时准备缆风绳。

2 模块化吊装的优势

图 1 为一反模块化吊装

以某化工项目 40 万 t/a HDPE 装置双环管反应器顶部钢结构框架吊装为例，由于设备本体、钢格栅、工艺管道分批到货影响，第一、第二环管反应器两次吊装采用不同模式进行。

第二环管反应器（后续简称二反）顶部钢结构框架采用地面主体钢结构焊接，750t 履带式吊车进行吊装，后续再进行工艺管道、钢格栅、梯子、保温等施工。

第一环管反应器（后续简称一反）则采用完整框架结构、梯子平台，设备、管道、电气仪表的地面组装，形成模块，900t 履带式吊车吊装。我们从安全、质量、进度，费用等多方面进行对比，模块化吊装的优势逐渐显现出来。

图 2 为二反主体框架吊装

2.1 降低安全风险

环管反应器钢结构平台安装高度在 65.5m。散片式高空组装，耗时长，进度慢，工程安装阶段需搭设超高脚手架，施工作业人员上下也不放方便，沿海作业环境不佳，常有大风影响。如果长期进行高空焊接作业，无疑在框架安装作业中带来了较大的安全隐患和施工难度。材料吊运也是棘手问题，无卸料平台，只能轻重量、反复吊运，同时增加了高空坠物风险，给安全风险管控带来了较大的压力。

而模块化组装在地面进行，将钢结构组装、工艺管道安装焊接、无损检测、水压试验等施工作业在地面上就可以完成。在组装模块时选用的吊车也比较小。避免了绝大部分高空作业工作量，降低了高空作业带来风险。

2.2 提升质量管理

模块化施工大部分的组装、焊接等工序在地面作业时质量检查更直观、为质量控制提供了保障。模块内钢结构安装尺寸、焊接质量方便进行校核，各级质量控制点也方便开展检查、检测和见证。而传统式吊装需要监理工程师、检测人员到高空框架进行验收，极大地增加了安全风险且不便于仪器操作和检验检测。吊装准备前对人员资质、机具、吊装方案、安全应急预案、吊装票据等详细检查确认。有效从作业环境的改变来提高质量控制，同时便于质量问题的及时发现与整改。提高了安装精度的同时，相对来讲降低了部分质量管理和控制措施的投入。

2.3 加快施工进度

在施工进度控制方面，高空钢结构模块化整体

吊装相比传统散片单件安装有明显优势。二反的吊装，从钢结构框架地面开始组装焊接，框架内部设备安装、工艺管道、钢格栅安装、梯子平台等安装完成，排除材料设备到货滞后、施工机具到场组装等因素影响，到高空吊装历时近 30 天。当地时常伴有 5~6 级大风，而二反平台需要先将格栅板逐一吊装、铺设，后续进行预制管道部件吊运至平台后组焊连接。重复多次的零部件吊装、环境因素是影响吊装进程的主要因素。而模块化吊装仅需要 10 天完成吊装，极大地加快了吊装安装进度。模块化的吊装过程相对复杂，吊装工艺对载荷、配重、吊臂长度、角度要精确计算，对指挥者要求较高。吊耳需要强度校核计算预制焊接；模块重心需要偏移计算，调整到位。安装螺栓孔尺寸提前校核，安装位置对接准确，避免长时间起吊后，找正、加固、焊接等工序。众多复杂计算、操作可从吊装开始前校核确认，不影响吊装总体进度。

2.4 降低施工费用

费用主要从人员、机具、措施以及耗材等方面考虑。

2.4.1 人员费用

模块化施工：人员施工集中，短时间需要焊工、管工、铆工等较多，集中安装，可多点进行。传统式施工：人员施工时间较分散，总施工时长较多，受作业环境影响较大。相比之下，模块化施工节省人工费用且避免了误工情况的发生模块化施工。具体劳动力安排见表 1。

表 1 劳动力安排记录

工种	一反模块化吊装	天数	二反主框架吊装	天数	二反框架内部安装	天数	一反模块化安装人工合计
管理	4 人	10	2 人	5	2 人	25	216 人
电工	2 人	10	1 人	5	1 人	25	
铆工	4 人	5	2 人	5	1 人	20	
钳工	6 人	5	3 人	5	1 人	20	
管工	6 人	5	0 人	0	2 人	20	二反传统式安装人工合计
焊工	4 人	5	2 人	5	1 人	25	317 人
起重工	4 人	5	2 人	5	2 人	25	
架子工	6 人	6	6 人	6	2 人	3	

2.4.2 机具费用

模块化施工：普遍采用多点预装、多模块集中吊装的计划编制，更加高效利用大型吊车优质资源。快速、集中完成多点超高钢结构安装，可以结合超限设备吊装，从而完成整个装置单元的吊装任务。集中的吊装编排弥补了大型吊车进场、组装等租赁花费，相比传统式长时间租赁大型、小型吊车结合的方案造价费用要节省许多。具体吊车使用记录安排见表 2。

表 2 吊车使用记录

吊车	一反模块化吊装	天数	二反主框架吊装	天数	二反框架内部安装	天数
25t 汽车吊	1 台	5	1 台	3		
50t 汽车吊					1 台	15
750t 履带吊			1 台	5		
900t 履带吊	1 台	5				

2.4.3 措施费用

安全方面、检测费用方面费用，一反模块化吊装相比二反主要从人员劳动力集中度及安全措施费用两个方面节约，集中吊装、检测节约劳动力成本，作业时间缩短。

2.4.4 耗材费用

二反吊装在地基处理、吊耳制作、配重、路基板吊运等方面相比一反模块化吊装虽然有所节约，但吊装施工主体费用在人员及吊车租赁费用占据绝大部分费用。

以上各方面的对比，都显现出模块化吊装优势良多，吊装时间集中，受吊装环境影响较小，可实施性增强，避免长时间机具人员的误工情况发生。在控制安全、质量、成本等方面表现优于传统式散片吊装。合理定的吊装计划编排，可以最大限度提高装置吊装效率，节省吊装成本。对超限设备、超过钢结构框架、工艺单元模块集中地面分块组装、组合排序进行集中吊装。既提高了长周期安装进度，又可以高效人员机具施工效率，从而加快整改项目建设的安装阶段总体进度。为高效优质，安全平稳的完成项目建设打下坚定基础。

3 总结

模块化吊装是项目建设采用的优势方法，尤其在国家提倡项目建设推广 EPC 建设模式后，设计、采购、施工等由总承包单位统筹考虑，模块化吊装的施工方法可以很大程度上缩短了施工周期，加快施工进度，节约施工成本，也能很好的控制施工质量和施工安全。在今后的炼化一体化项目、煤化工项目、核设施项目等建设项目模块化吊装会得到进一步的发展和推广。

参考文献：

[1] 谢忠武 . 石油化工设备安装施工手册 [M]. 北京：化学工业出版社 ,2012.

[2] 姜晨玉 . 石油化工装置模块化钢结构体系研究 [J]. 石油工程建设 ,2018,44(B09):4.