

石化工程建设行业集成模块化预制

潘崇军

中石化第十建设有限公司, 山东 青岛 266000

[摘要]近年国内外石化建设领域发展迅速, 国内七大石化基地快马加鞭落实, 民营企业大炼化规划设计超前、建设工期之短屡创世界之最。早日建成投产见效益倒逼工期压缩, 工期紧、任务重、安全形势严峻呈“泰山压顶”之势, 成为工程建设行业急需克服的难题。普通的“塔器灯亮”、简单的结构框架模块化施工组织模式已经不能满足现代工业化工程建设, 大型集成模块已被越来越多的国内外工程采纳, 单纯考虑“降低工程建设成本”逐步被“早日投产见效益”的大收益理念代替。大型模块化施工模式所带来的工程进度、质量、安全、大成本等各方面综合效益明显, 必将成为国内外大型石化建设行业的发展新趋势。

[关键词]工程建设新模式; 模块化; 新趋势; 综合效益

DOI: 10.33142/aem.v1i1.791

中图分类号: TE65;TQ050.2

文献标识码: A

Integrated Modular Prefabrication in Petrochemical Engineering Construction Industry

PAN Chongjun

Sinopec 10th Construction Co., Ltd., Qingdao, Shandong, 266000

Abstract: In recent years, the development of petrochemical construction in China and abroad has been developing rapidly, and the rapid development of seven petrochemical bases in China has been implemented. The planning and design of large refining and chemical industry in private enterprises are ahead of time, and the short construction period has repeatedly created the most in the world. Early completion and production benefits and compression of backforce duration. The construction period is tight, the task is heavy, and the safety situation is grim, which becomes an urgent problem to be overcome in the engineering construction industry. The ordinary tower lamp and the simple modular construction organization mode of structural frame can no longer meet the needs of modern industrial engineering construction. Large-scale integrated modules have been adopted by more and more projects at home and abroad, and the concept of reducing project construction cost is gradually replaced by the idea of early production and benefit. The comprehensive benefits of large modular construction mode, such as project progress, quality, safety, large cost and so on are obvious, which will become a new development trend of large petrochemical construction industry at home and abroad.

Key words: new mode of engineering construction; modularization; new trend; comprehensive benefit

1 模块化施工的发展与现状

近年, “人民日益增长的美好生活需要”促使国内七大石化基地、民营企业大炼化项目立项建设呈井喷之势, 千万吨炼油、百万吨乙烯集中建设, 工期从5年缩短至3年、2年甚至更短, 石化装置场地布置越来越紧凑, 狭小空间下的作业造成不可避免的交叉作业越来越多, 紧张的工期使工序之间相互阻碍越来越严重, 紧张工期与质量安全之间的矛盾愈来愈突出, 大型国企始终坚守着安全底线不动摇, 部分民企为早投产见效益已经游走在安全底线边缘。大量的工作量积压在工程后期, 大干快上、抢工期要效益成了常态化, 全部都是关键路线, 被动的人海战术成了无奈之中的唯一选择, 资源消耗巨大、降效严重、效率低、安全质量多, 建设成本大幅度提升, 安全风险急剧加大。

国内石化建设行业安装施工从全部散件组装到组片分段安装用了50年, 从组片分段安装到塔器灯亮、结构成框的模块化用了20年时间。模块化施工从一定程度缓解了工程进度、安全、质量方面压力, 但在日益趋紧的工期面前摇摇欲坠。国内外工程建设行业开始探索新型的集成模块化施工模式, 将传统的土建工程留在现场施工, 把安装工程在加工厂内进行集成模块化预制, 待土建工程交安后, 搭积木一样把集成化模块组装。例如北京三元桥改造, 仅用43h完成, 震惊全球, 用的是深度模块化预制的施工方式; 巴斯夫上海漕泾基地42000t/a抗氧化剂装置模块化组装一座现代化工程仅用时5天, 为国内工程建设新模式树立了样板, 用的也是集成模块化的施工方式。集成模块化, 就是改变传统的作业顺序, 通过对整体工程深度设计, 把安装作业与土建施工同时进行, 使得装置安装工程预制深度达到90%, 钢结构、设备、管道、电仪预制成一个集成化的模块, 待土建具备安装条件时, 使用大型吊装设备如堆积木一样拼接, 快速完成安装工程施工, 大幅度提高工效、缩短工期, 有效避免高峰期的安全、质量隐患。

2 集成模块化预制的现实意义

集成模块化是钢结构、设备、管道、电仪桥架及电缆、保温、防火等按照工艺设计布局完成组装，模块化预制建造组装地在施工安装区域之外的加工厂等第二地点。可以把一个装置的管廊、框架等划分为若干个模块，通过特定的运输方式运输至项目施工现场进行拼装。

集成模块化预制，如同撬装设备的放大化，小如油站、仪表分析小屋、撬装除尘设备，大到工艺单元、裂解炉、海上作业平台，只要结构界面清晰，运输、吊装无碍，均可实现模块化预制。

2.1 集成模块化预制的诸多优点

集成模块化预制制造具有诸多优势和亮点，如时间短、施工效率高、质量可控性好、施工安全性更高、成本更低等优点。

首先是用时短。集成模块化方式深度预制建造大幅缩短了建设周期，可以使同规模生产装置建设时间缩短三分之一以上。传统建设工程需要先完成建筑工地土建，再进行上方工厂管道建设，建设周期长，工作界面多，协调困难。采用集成模块化预制后，由在异地的工厂化车间和场地预制，土建和结构、管道建设可以同时进行，因此能为项目节省大量时间。按照早投产早收益的生产组织理念，节省的时间为业主增加了产品盈利，产品盈利远超出建设期集成模块化成本，业主单位会为集成模块化吊装、运输成本买单。

其次，施工效率高、质量可控性能好。集成模块化预制采用的是异地车间预制，在厂房内进行，不受天气、环境等外界因素的影响，因此工人的工作效率显著提升，工程质量也更高。以工艺管道焊接为例，传统建设工程中，每个焊工一天焊接的平均吋径数为 15-20 吋，而厂房内制作焊接量达到平均每人每天 50-60 吋，管道初步预制采用自动埋弧自动焊能达到 200 吋左右，工效是传统安装方式的数倍。传统的装置建设往往在雨天、大风就必须暂停焊接工作，即使使用了挡风措施也仅能从一定程度上减少焊接缺陷的产生；厂房内则完全没有这些因素的干扰，温度、湿度、风速得到控制，这大大提高了焊接的质量。

第三，集成模块化制造施工安全性更高。由于是独立场地内施工，预制模块时是逐层积木式安装，避免了现场安装与土建专业的、结构与设备、结构与管道交叉作业的工作界面，规避了安全大风险。传统建设工程需配置固定脚手架，安全意识差的工人爬上爬下有不少潜在风险。集成模块化预制的模块高度远低于工程现场安装高度，高空作业安全风险大大减少。常规现场工程需要搭设大量的脚手架，约占工程直接费的 8%-10%；模块化预制由于模块高度降低，且逐层向上拼装，一般只使用移动脚手架、高空作业车即可满足。此外，车间内还能进行设置除烟、降噪设备，减少烟雾、噪音污染。

第四，节省了成本。由于不需要与土建作业交叉进行，不存在专业间交叉作业带来的降效。现场施工需要设置办公临设、职工宿舍营地、结构管道预制场地、物资供应库房等，一般通过租赁加自行建设方式解决，耗费大量的成本，约占工程施工费的 6%左右，且基本不可回收；而集成模块化制作完成的是同样的装置、同样的工程量，只需一次性建设和配置，可以长期使用，避免了成本浪费。现场安装使用的各类吊装设备资源、工机具、手段用料资源的投入，需要异地调遣、就地租赁或重新购置，调遣费用大、采购成本高，项目建设期项目周边的各类资源紧张价格大幅度上涨，远超正常市场价格水平，无形中加大了工程实施成本，且现场条件恶劣各类资源损坏率高、维修不便；而工厂集成模块化预制完全不用担心这些重复性投入，只需一次性投入长久使用，做好日常保养维护即可，手段用料尽可周转使用。现场工程施工的人力资源配置困难、流动率高，由于地方气候影响，炎热天气、寒冷天气、多雨多风、水土民情等自然人文环境造成工人流动性达到 300%以上；五湖四海临时汇集而来的工人搭组作业，磨合期一般在 15 天左右，无形中造成施工降效；人员频繁更替调遣成本高、不可避免的磨合期降效损失不可控。技能人员老龄化严重，80 后独生子女鲜有从事露天野外工程施工这种繁杂劳累的工作，压力管道焊接人工费已突破 500 元/工日关口，现场施工成本飙升，工程承包企业苦不堪言。而工厂集成化预制施工条件好、流水化作业，劳动强度低，无需迎风斗雪，家门口就业工价低，生活安逸工作稳定人心舒畅，作业人员稳定性高，管理成本大大较低。节省成本，避免浪费，就是增加效益。

2.2 模块化预制是提升行业形象的必要条件

自上世纪 90 年代以来，计算机信息技术发展迅速，制造业在计算机技术的发展引领下快速发展，模块化的施工理

念被引入建设行业生产组织中,为满足模块化施工的工程公司纷纷成立,各类三维设计软件、二次深化团队推陈出新,各类技术装备更新速度较快,我公司与徐工联合研发全球单体最大的 4000t 履带吊也应时而出,为模块化施工为产业结构升级形成强有力助推。根据公司国际化公司的定位,模块化施工组织模式在工程进度、安全、质量、成本等各方面带巨大的综合效益,这也是现代化石化工程建设行业全力追求的管理目标。大型集成式模块化施工必将提升整个行业的建设速度,是提升行业形象、占据市场主动权的必要条件。

2.3 模块化预制是施工企业持续深化标准化专业化的需要

模块化预制施工是标准化管理的延续,借鉴了工业化生产标准化形成的施工管理理念,将现场施工组织转移到工厂化深度预制的组织,加快了工程建设速度,减少了安全作业风险,降低了现场管理的复杂程度,提高了人工工效,使施工组织制度化、量化规范管理。模块化预制是基于标准化施工的基础上进一步的流程化、具体化、集成化,经验可复制、可延续,使石化工程建设呈搭积木的方式快速产出,为保质保量完成大型工程建设提供支撑,同时通过深化设计、施工物资及设备供应、施工程序优化、流水化作业、施工组织优化,业界强强联手,最终达到工程建设企业整体管理水平提升目标。集成模块化施工已经成为工程建设企业自我实现现代化科学管理和组织的需要,是企业持续深化标准化、专业化的需要,被国内外越来越多高瞻远瞩的 EPC 及施工企业认可和推行。

2.4 集成模块化管理是企业提质增效、占据市场的主动权的基础

近二十年工程建设项目开展迅速,市场劳动力资源潜力被挖掘一空,人海战术抢安装进度的时代已经面临终结,各类资源价格逐年大幅上升,常规意义模块化施工挖潜增效已几近瓶颈,利润空间被严重压缩,部分施工企业在巨大成本压力下破产,倒逼工程施工企业向大型模块化、自动化转型升级。

而集成模块化预制正是大型模块化的新趋势,将后续工期前置,解决了工程使用单位“早投产占据市场先机”的急迫需求,通过向管理要效益、降低各类重复配置和浪费成本、功效提升,以达到提质增效的目的;以效率换效益,不断提升管理水平,使施工企业向科技型创新施工企业转变,牢牢占据市场主动权和市场口碑。

3 石化工程建设行业集成模块化实施措施

石化工程建设行业的集成模块化预制,需要建设单位在项目实施阶段工程招标前完成策划,通过深度设计、物资设备采购前置、安装施工前置、物流系统做保障的综合型组织策划,需要工程设计、模块化施工制造与现场施工形成的整个团队戮力同心,才使得项目获得成功。主要采取以下几个方面进行实施。

3.1 建设单位改变思维,勇于创新是核心

集成模块化预制是一种站在行业前沿具有前瞻性的项目组织理念,业主的思想和理念的高度才是创新的核心。常规意的模块化施工仅是塔器灯亮、结构成框吊装,而费工耗时的工艺配管、电仪、保温还都处于散件单根制作的浅显预制阶段,根本未能实现集成式的模块化预制,体现的是施工企业局部资源可控条件下的工效提升。例如安装工程中耗费工时及成本最大的管道施工,预制量仅为 40%左右,仅实现了管道安装之前在加工厂内的简单焊接,大量的工时耗费在现场管道安装上;而电仪、保温等连 40%的预制量都不能满足,所以施工单位只能在使用机械化、提高劳动效率上下功夫,但提升空间有限。而集成模块化要解决的是将总体安装工程工期前置,把 90%的工作量在工厂内完成,剩余 10%的工作量在现场完成,减轻了现场施工压力,节约项目建设时间,快速产出实现大盈利,消除大成本。因此,作为建设使用方的业主单位是第一组织者,业主的理念决定了项目建设进度与建设水平,业主方改变思维、勇于创新集成模块化预制能否实现的核心。

3.2 集成模块化预制,设计是灵魂

由于集成模块是各个专业的集成预制组装,钢结构作为承重和保护框架,负责运输及吊装过程中对设备管道电仪等形成保护,一旦变形将造成模块无法组装,因此对设计的要求非常高,需要设计充分计算到各类影响因素对模块形状精度的影响,其三维建模精度直接影响到现场安装精度。由于模块化预制组装要与现场土建专业同步进行,因此边设计边施工的模式无法满足要求,必须要求安装工程的设计、物资采购前置,为模块化预制留足时间,同时对土建专业与安装专业各个环节的高校无缝对接提出较高要求。一个化工工艺装置区要分为若干个模块,需要设计、施工、模块制造企业多方协同,按照现场安装条件、大型机械吊装能力共同制定。其中,设计单位需要按照模块建造参数条件

对模块内的结构强度、设备支座、管道支架、电缆槽盒固定方式等做具体调整。只有设计完成集成模块的受力核算和调整，集成模块的材料采购、预制施工工作才能开展。因此，集成模块预制，设计是灵魂。

3.3 专业化团结协作是模块化实施的保障

集成模块化施工是设计单位、各类物资设备供应单位、预制单位、运输单位、施工单位的集成化作业，专业化合作形成的团结协作是实施的保障。施工及预制单位要加强开发新工艺方法、新技术应用，与科研机构、施工设备制造单位紧密合作；总包、模块预制、施工单位要加强与设备、材料供应单位的合作，使设备材料的制造按模块施工的工艺要求、进度加工制造；施工单位要加强与吊装资源供应单位的合作，以专业化吊装的组织模式，顺利完成集成模块的吊装；各方加强与工程设计单位的合作，在详细设计阶段做好集成模块化施工的准备，为实现模块化预制提供支持；施工建设单位应加强与业主方的沟通，协调好外部条件，为工厂化制造和模块化施工提供条件。各方还需与运输单位加强沟通，以保证模块能通过特定运输方式顺利抵达安装现场。通过专业化团结协作，使专业企业做专业的事，为工程建设顺利实施、集成模块化安装提升综合效益提供有力保障。

4 实施案例简介

4.1 珠海中海福陆集成模块预制

中海福陆重工有限公司为科威特 KIPIC-Alzour 炼油项目的模块制作项目，单个模块约 850t，模块内包含钢结构、设备、管道、电气、仪表、保温、防火等施工内容。海上作业平台模块单体重达上万吨。集成模块制作地点位于珠海高栏港经济开发区中海福陆重工制作厂内，厂内有完整的图纸深化设计部、材料防腐厂、结构加工厂、管道加工厂、集成模块组装区。

施工程序：结构及管道图纸深化设计→钢结构预制/管道初步预制→结构成片组对预制/管道二次深化预制→深度预制的结构/管道喷砂防腐防火→底层结构至模块组装区平台找平找正→底层设备安装→底层管道安装→检查验收→逐层安装上部结构与设备管道交替安装→模块封顶层结构、完成配管安装完成→支架检查→管道试压→电缆槽盒、灯具安装、电缆敷设接线→面漆防腐、色标标识→封装保护→装船运输。

图纸深化设计由福陆重工的设计团队实施，经其设计的结构、管道二次深化预制率达到工作量的 90%，集成模块化组装需要做的工作仅是使用吊车“垒积木”，把结构、设备和管道层层拼接；无法在预制阶段完成的管道试压、电仪施工在整体拼装完成后进行。项目总体预制深度达到 90%以上。如图 1 成型封装的集成模块运输装船。



图 1 成型封装的集成模块运输装船

4.2 巴斯夫中国漕泾化工基地 4.2 万吨/年抗氧化剂装置集成模块化安装

4.2 万吨/年抗氧化剂装置从项目批复到机械竣工仅用了 10 个月时间，整套装置共分为 10 个模块，所有模块内的

设备、管道、电气、仪表等均在钢结构框架内组装完成，装置整体预制深度 90%。预制完成的集成模块通过海运加陆运的方式运抵安装现场，使用大型吊装设备，按照模块顺序与公用工程设施对接拼装，完美诠释了模块化制造取代现场施工的内涵。如图 2 模块化预制中。



图 2 模块化预制中

5 集成模块化深度预制的制约因素

5.1 设计及二次深化设计制约

工业工程装置欲实现集成模块化，需要设计条件允许。想要进行模块化分段，要有足够集中、相对紧凑而独立的单元，与周界面可清晰划分，又能通过公用设施相连，例如裂解炉单体形成的模块。模块的重心设置很重要，偏心过大造成运输吊装过程失稳，造成安全事故。形成模块的钢结构框架作为模块的筋骨，应具备足够强度，以满足整体吊装、运输的要求。模块内的管道、设备、电仪等组件要设计可靠固定，避免运输吊装中位置发生变化，影响集成模块现场安装精度。集成模块化施工是工程后续工程的前置，需要给物资供应提供供货周期，给模块制作单位留足制作时间，要求施工图纸早提交，并尽量减少或者不出设计变更，对设计单位水平要求较高。建设单位应在详细设计前明确施工组织模式与思路，详细设计阶段要完成模块划分。

5.2 物资供应条件的制约

集成模块化施工将后续工作前置，需要提前组织模块内的设备、管道、电仪、保温材料提前到货，为集成模块化预制提供物资保障，为模块化制作留足时间。

5.3 吊装及运输条件的制约

集成模块化预制完成后，需要大型工程车辆或船只运输，需要大型吊装机械负责吊装，超出市场最大运输和吊装机械能力范畴的模块是毫无意义的。

结束语

集成模块化预制在进度、安全、质量、成本等方面显示出巨大优势，能让使用单位尽早产出产品获益，越来越多的建设单位、施工企业对集成模块化预制需求迫切，谁能率先开展模块化预制业务谁就能抢占市场竞争的制高点。工厂化制造和集成式模块化预制是施工组织变革的必然趋势，石化工程建设行业必将迎来广阔的发展前景。

[参考文献]

- [1] 李春田.《标准化概论》[D].北京:中国人民大学出版社,2005.
 - [2] 童时中.《模块化原理、设计方法及应用》[D].北京:中国标准出版社,2000.
- 作者简介:潘崇军,男,(1983.2-)汉族,工程师,所从石油化工安装工程。