

如何提高模块化建设的工厂化预制水平

陈英杰 张宝生

中国石油大学(北京)工商管理学院, 北京 102249

摘要:模块化建设相比传统建设模式具有显著优点,模块化建设可以增强施工安全性、提高质量、缩短工期、降低工程成本,因而模块化的预制水平非常重要。为提高模块化建设的工厂化预制水平,通过分析整个模块化建设的执行过程,提出从模块化设计、设计原则和项目管理方面进行优化和提高。在分析过程中,详细阐述了模块化设计手段,明确了模块化设计方法;从现场需求和运输限制角度,讨论了模块化设计的原则;从项目管理角度,对设计、采购等文件提出了管理要求。模块化建设是一个系统工程,只有不断完善各方面的能力,才能不断提升模块化建设的工厂预制水平。

关键词:模块化;预制;三维设计;项目管理

DOI:10.3969/j.issn.1006-5539.2018.04.021

How to Improve Modular Prefabrication Efficiency

Chen Yingjie, Zhang Baosheng

School of Business Administration, China University of Petroleum, Beijing, 102249, China

Abstract: Compared with traditional construction model, the modularization technology can provide extremely prominent benefits. The promotion of prefabrication efficiency is very critical to enhance construction quality and safety with reduction of duration and capital expenditure. Through the analysis of the implementation process of the whole modular construction, the modular design measures are introduced, and the modular design methods are clarified firstly. Secondly, the principle of modular design is discussed from site requirements and transportation. Finally, from the perspective of project management, management requirements for design, procurement and document control are put forward. Modular construction is a systematic project, of which the prefabrication efficiency can only be upgraded with constant improvement of each aspect.

Keywords: Modularization; Prefabrication; 3D modeling; Project management

0 前言

模块化建设的工厂化预制,即在工厂内完成模块化装置的建造及单机试运等工作,预制内容涉及结构、管

道、设备、电、仪表、防腐等专业。模块化建设的工厂化预制具有以下优点:施工条件相对较好,安全性高;整体施工质量优于现场;赶工加班灵活,工期优势明显;充分利用(国内)工厂劳动力和资源优势节约成本;现场复装简单,

收稿日期:2018-06-08

基金项目:中国石油天然气集团公司“PKOP 奇姆肯特炼油厂现代化改造工程 15 000 t/a 硫黄回收装置”(Z 2014-014)

作者简介:陈英杰(1962-),男,北京人,博士研究生,研究方向为能源投资决策与项目管理。

施工周期大幅缩短。所以模块化装置工厂化预制越来越广泛,海内外工程项目越来越多采取这种建设模式^[1-3]。

模块化建设的工厂化预制改变了传统的现场施工方式,大量预制工作在工厂完成,减小了现场的施工量。如何从设计的角度提高模块化建设的工厂化预制水平,需从三方面进行优化和提高:影响预制水平的设计手段、设计深度、设计准确性和设计方法等^[4-5];设计观念的转变,即工厂需要做怎样的预制,设计就该做怎样的设计;设计文件、采购物资、文档共享和项目管理对模块化建设的工厂化预制的影响^[6-8]。

1 模块化设计

1.1 模块化设计手段

模块化详细设计阶段,采用 SmartPlant 3D 或 Plant Design Management System(PDMS)软件完成智能 PID,实现全专业三维协同设计。

配管专业采用三维设计主流的 PDMS 软件,该软件具有强大的数据库及信息管理功能,可以实现可见及可得 1:1 三维实体尺寸,工厂化预制也可借助于 PDMS 软件进行二次开发,直接读取三维数据,应用于工程加工设计和施工。

结构专业采用 TEKLA 软件,提高开料的准确性和全面性,在进行节点建模的同时,完善设计深度,对相应配件、紧固件等给出规格和数量并列入材料清单,通过对每个细节的把控,确保设计精度^[9]。

其他设计专业(如自控、电气专业等),在模块化三维设计详细设计阶段加强协同设计,进一步完善各部件安装设计,确保工厂化预制顺利实施。

1.2 模块化设计深度

为提高工厂化预制水平,施工图文件中,各专业设计文件应有深度,不仅要有施工技术要求,以及施工所需标准、规范、图纸等,同时应提供详细的施工参数,施工程序等,例如:管道预制程序、管道试压程序、螺栓拧紧程序、结构预制程序,结构组装程序等。现场和工厂施工界面也应体现在设计文件中,从而提高预制深度和精度。

1.2.1 管道布置专业

1)管道布置专业按阶段完成 60%、90% 模型设计,并发布成果文件。

2)根据已有图纸完成设备三维模型设计,无外形图或只有参考尺寸设备,模型建立后需标记备注,以便后期修改设备模型。

3)管道布置时应充分考虑仪电桥架、接线箱、控制柜的占位及检维修空间。

4)管道布置专业负责进行管道与其他专业(结构、

电气、仪表专业)之间的碰撞检查。

5)不随模块一起运输需拆卸的管道,提前策划管道预制深度,以及管道与管道、管道与结构之间拆分和复装顺序。

6)管道穿钢格栅板,开孔 \geq DN 100 时,需要提前将格栅板开孔图发给结构专业,以便对格栅板进行可拆分设计。

7)编制黄金焊口、管道防护等规定,避免管道在模块上重复安装和拆卸。

1.2.2 结构专业

1)结构专业可以在项目 PDMS 软件中进行建模,也可以通过外部软件(如 TEKLA 软件)建模然后导入到项目的设计平台,需要保证 PDMS 平台内的模型与图纸的版次保持一致。

2)对于焊接在钢结构上的管道支撑,尽量保证与结构框架一起出图,以确保与结构框架一起预制,避免破坏油漆。

3)对相应配件、紧固件等进行详细设计,规格、数量列入材料清单。

1.2.3 自控专业

1)自控专业应在 EDS 的协助下开展基础数据库的建设。

2)自控专业应与管道布置专业共同完成电缆桥架(包括分支电缆桥架)的三维布置设计。

3)工艺管道或设备上直接安装的温度/压力检测仪表、流量计、液位计、控制阀、分析小屋的三维布置设计,由管道布置专业完成,自控专业确认安装方位及高度是否合理,其他仪表的安装和布置由自控专业完成。

4)接线箱、电缆保护管及电缆的三维布置设计。

1.2.4 电力专业

1)在 EDS 的协助下建立电力专业三维设计基础数据库。

2)根据管道布置专业规划的路径,负责电缆桥架的三维布置详细设计。

3)完成工艺管架、平台照明布置,配电箱、操作柱等电气设备的布置。

4)根据项目实施情况,开展电缆敷设及电缆保护管的三维设计,所有电缆统一规划布置。

1.3 模块化设计准确性

各专业在详细设计阶段应确保各设备、材料的属性准确性。

1.3.1 管道布置专业

反应器:反应器外形、关键工艺管嘴和人孔、一般管嘴、直梯、平台、斜爬梯、用于吊装的高位吊杆、吊耳、保温。

容器:容器外形、关键工艺管嘴和人孔、一般管嘴、直梯、平台、斜爬梯、用于吊装的高位吊杆、吊耳。

换热器:换热器外形、关键工艺管嘴和人孔、一般管嘴、直梯、平台、斜爬梯、换热管束检修空间、保温。

贮罐:贮罐外形、关键工艺管嘴和人孔、一般管嘴、直梯、平台、斜爬梯、保温。

过滤器:过滤器外形/直梯、平台、斜爬梯、用于吊装的高位吊杆、吊耳、内件拆除的检修空间、快开盲板。

动设备:带有主要管嘴的设备外形、连接管嘴(辅助管线接口)、就地盘、开关等、应急件或备用件的外形、防护罩、检修空间、机组内供货商提供的管道。

管道:主工艺管线、一般工艺管线、公用工程管道、容器排净放空(包括仪表)、取样管、泵排净管、仪表排净管、工艺排净管、低点放空、蒸汽和导热油伴热、仪表空气、氮气、蒸汽及冷凝水回流分配管、消防管、加热炉周围的燃料油管线、管道仪表、喷淋冷却水管道及喷头、罐上的泡沫管线和喷头、支撑。

管件:特殊管件(比如过滤器)、取样冷却器、膨胀节、阀门延伸杆、普通管道支撑、特殊支架、仪表管口。

拆分设计:模块拆分点、可拆卸临时支架的设置。

1.3.2 结构专业

框架平台和系统管廊:框架平台及系统管廊上部结构、垂直支撑、直梯、斜梯、其他钢结构包括钢结构支架、框架平台及系统管廊基础、开孔等其他小项、吊装(检修)梁(若需要);**拆分设计:**模块结构、临时立柱、临时梁、模块拆分点、结构吊装点。

1.3.3 自控专业

主电缆及分支电缆桥架外形、接线箱、现场分析仪、流量计、控制阀、开关阀、液位仪表、温度、压力等其他仪表、分支电缆、主电缆、穿线管、可燃气体探测、火焰探测、按钮和报警器。

1.3.4 电力专业

主要电缆桥架外形、分支桥架外形、电缆敷设、穿线管、照明设施、光源、灯杆、操作柱、插销等及其支架、特殊照明(高灯杆)、接线箱、配电柜。

1.4 模块化设计方法

1.4.1 模块化三维设计方法

通过三维模型的全真实景模拟设计的方法,有效指导模块的碰撞检查、检维修设计、安全通道设计、人体工学设计,提供后续开展的预制、拆分、包装、运输、装卸和现场吊装、组装方案。采取多专业三维协同设计的方法,将设备、管道、电仪、钢结构、绝热及防腐等一体化集成,确保满足精准化预制、精细化安装的要求^[10]。

采用云技术,实现多专业异地三维协同设计、预制工厂和其他参建单位的异地协同沟通。通过数字化三

维模型,使数字化工厂提高设计与预制的整体效能。同时为运营单位建立数字化工厂全生命周期管理平台,提供数字化资产的基础条件。

1.4.2 模块总体布局设计方法

结合工艺流程做好模块布局和划分原则,根据操作特性相近和方便性,综合考虑模块化装置的构成,根据各单元装置工艺特点做好模块化设备布置。如:模块中电仪设备、电缆桥架等应与工艺设备及管道协调布置,操作维护方便,整齐美观。

1.4.3 模块划分设计方法

模块划分设计应结合工艺流程和操作要求,经济的运输限制条件和路径,设备和管道布置情况,以及现场机具吊装能力等。

1.4.4 模块钢结构及基础优化设计方法

钢结构整体性的优化设计,既需减少用钢总量,又需保证模块化装置的整体安全稳定性;减少钢结构基础的种类,简化混凝土基础施工,提高土建施工速度。如:模块钢结构优化设计后,为避免模块在吊装中发生变形,需采用必要的附加安全措施,增加临时梁柱,这些均应在模块钢结构设计时整体考虑。

1.4.5 模块拆分与复装设计方法

说明装置整体情况及安装内容,确定拆分点的方式和方法,明确管道、钢结构、仪表等复装顺序,提出吊装要求与专用工具^[11]。

1.4.6 模块安全稳定性评估方法

根据生产和操作需求,对模块化装置尤其多层结构的通道和安全撤离路线进行统一设计;根据HAZOP分析结果做好模块化装置的安全布局设计;进行结构、管系、模块运输整体安全稳定性分析。

2 模块化设计原则

2.1 基本原则

2.1.1 减少现场复位安装工作量

模块化工厂预制的主要目的就是尽最大可能减少现场复位安装的工作量,应完成每个单体模块内部的配管、结构、设备、自控、电气的全部建造及调试工作。现场复装工作包括钢结构(梯子、平台等)安装、单体模块的安装、自控设备及电缆的复位安装、电气设备及电缆的复位安装、单体模块间的钢结构、管道连接以及保温、电伴热、防火涂料等施工^[12]。

模块化工厂预制时应最大化地将现场建设模式的工作量在建造厂内完成,除完成安装工作,还应考虑钢结构、设备、管道的防腐工作,自控、电气的接线、调试工作。

2.1.2 模块化装置运输条件

模块化装置预制需满足“运得走”的要求,根据项目

所在地策划模块化装置的运输方案,负责模块化装置运输的承运方在项目最初阶段就应对运输路线进行调研,确定海运、河运、铁路运输,还是公路运输,在详细的运输方案中提出每个单体模块的极限尺寸和重量要求。

2.2 设计原则

在方案设计、初步设计及详细设计阶段,模块化装置涉及的各设计专业应充分考虑减少现场复位安装工作量和模块化装置运输条件的需求^[13]。

工艺、管道布置、结构专业在模块化装置方案策划中应体现主体作用,在初步设计阶段应对主要工艺设备、工艺管线及主体钢结构进行综合考虑,来满足减少现场复位安装工作量和模块化装置运输条件的需求,根据功能及运输限制条件将单元模块拆分为单体模块。

工艺专业在对工艺设备选型时,应尽量考虑选用卧式设备,可减少模块化装置工厂预制后的拆卸工作量、运输工作量及项目建设地的吊装工作量。

管道布置专业应充分考虑单体模块边界的管道拆分,合理的布置拆分法兰,对拆分法兰进行标示;在单管图中标示每个焊缝位置及编号、标示工厂内预制焊缝及现场焊缝。

结构专业在单体模块连接节点应尽量使用拆分、复装工作量较少的节点方式;对钢结构的固定梁柱、临时梁柱进行标示;对设备和管道的支持形式、要求进行统一考虑;对单体模块的包装、运输、吊装需求进行设计;对平台上可拆卸格栅板划分进行设计。

自控、电气专业应根据单体模块的划分界限和范围,充分考虑每个单体模块内的电缆铺设路由。在每个单体模块内设计相应的接线箱,并在出厂前完成仪表和接线箱的电缆铺设和调试工作,运输时尽量不拆卸单体模块内的自控、电气设备及电缆。

加工图设计必须与建造方案和各个工序工作包相契合,首先,加工设计顺序必须满足模块建造的顺序,按照模块建造顺序及时给出图纸和材料;其次,加工设计深度必须满足工作包要求,按照工作包进行结构片分层和管道分段。同一模块的不同管道,仪表、电气等专业工作包配套的支撑必须包含在相应工作包中,以便提前开展预制和安装工作,减少后期动火作业和补漆工作量。

3 模块化建设项目管理

3.1 设计文件

模块化建设的工厂化预制宜结合“边设计、边采购、边建造”的思路,最大限度地缩短建设工期,因此对设计文件成果的提交进度要有合理有效的进度要求。

详细设计阶段,工艺、设备、自控、电气等专业的长周期设备,关键设备的图纸、技术规格书及数据单等采

购文件应最先提交,实施采购,且要求各供货商立即返回相关资料,为后期设计提供设计输入条件。

工艺、自控、电气、结构、管道布置、管道材料等各专业的设备表、材料表及技术规格书数据表。

对于模块化装置预制的先后顺序,图纸提交顺序为:钢结构施工图、模块平面布置图、单管图、自控施工图、电气施工图。

3.2 采购物资

采购物资的到货顺序对模块化装置预制的进度有很大影响^[14-15],各专业物资应按以下顺序安排采购物资到货时间:

- 1) 钢结构型材、辅材、防腐材料。
- 2) 管道、管件、法兰,防腐材料等。
- 3) 工艺设备,如:塔、反应器、容器、换热器、贮罐、过滤器、动设备等。
- 4) 工艺阀门、自控阀门(切断阀、调节阀)、流量计等。
- 5) 自控设备材料,如接线箱、现场分析仪、液位仪表、温度、压力等其他仪表、电缆桥架、电缆、穿线管、可燃气体探测、火焰探测、按钮和报警器等。
- 6) 电气设备材料,如接线箱、配电柜、穿线管、照明设施、光源、灯杆、操作柱,电缆桥架、电缆等。

3.3 文件共享和管理

三维设计的三维模型、图纸等要给施工单位开通适当的权限,与施工单位共享文档,让施工单位可以提前参与三维模型的加工设计和三维审查,反馈三维设计存在问题。同时,设计人员完成设计后,文控要及时更新和分享文档状态,施工单位可以第一时间得知文档状态,及时下载施工图纸,缩短出图时间。

4 结论

模块化建设是一个系统工程,涉及到各个专业的深度交叉和各个部门的紧密配合,项目运行的各个方面都会对模块化建设的工厂预制水平产生影响。模块化设计手段、设计深度、设计准确性、设计方法、设计理念等直接决定模块化的预制水平,模块化建设的项目管理是项目成功实施的保障,决定是否可以满足预制的条件,只有不断提升各个方面的专业能力,才能进一步提高模块化建设工厂化预制水平,提高模块化建设的优势。

参考文献:

- [1] 张春燕,朱明高,刘承昭. 浅谈气田集输橇装模块化、标准化设计的优越性[J]. 天然气与石油,2009,27(6):10-11.
Zhang Chunyan, Zhu Minggao, Liu Chengzhao. Discussions on

- Superiority of Modularization and Standardization Design of Skid-mounted Oil & Gas Gathering and Transportation Equipment [J]. *Natural Gas and Oil*, 2009, 27 (6): 10-11.
- [2] 陈朝明,陈伟才,李安山,等.大型气田地面工程模块化建设模式的优点剖析[J].*天然气与石油*,2016,34(1):8-13.
Chen Chaoming, Chen Weicai, Li Anshan, et al. Analysis on Advantages of Large Gas Field Surface Engineering Modular Construction Mode [J]. *Natural Gas and Oil*, 2016, 34 (1): 8-13.
- [3] 孙峰.大型天然气处理厂模块化设计的质量控制和安装技术[J].*中国石油和化工标准与质量*,2016,36(3):13-15.
Sun Feng. Quality Control and Installation Technology for Modular Design of Large Scale Natural Gas Treatment Plants [J]. *China Petroleum and Chemical Standard and Quality*, 2016, 36 (3): 13-15.
- [4] 陈玉海,谢灿波,高光军,等.“模块化、橇装化、工厂化”集成技术在苏丹石油地面工程建设中的应用[J].*石油工程建设*,2013,39(5):33-37.
Chen Yuhai, Xie Canbo, Gao Guangjun, et al. Application of Modularization Integrated Technology in Sudan Petroleum Surface Engineering Construction [J]. *Petroleum Engineering Construction*, 2013, 39 (5): 33-37.
- [5] 郭超,李西明,谭传强,等.天然气MDEA脱硫装置的橇装化设计[J].*油气田地面工程*,2013,32(2):38-39.
Guo Chao, Li Ximing, Tan Chuanqiang, et al. Skid Packaging Design of MDEA Gas Sweetening Unit [J]. *Oil-Gas Field Surface Engineering*, 2013, 32 (2): 38-39.
- [6] 李庆,李秋忙,班兴安.中国石油地面工程推广模块化建设的策略[J].*天然气与石油*,2017,35(1):5-9.
Li Qing, Li Qiumang, Ban Xing'an. Strategy for Modularization Construction Promoted by PetroChina Surface Facilities [J]. *Natural Gas and Oil*, 2017, 35 (1): 5-9.
- [7] Connor J T O, Brien W J O, Choi J O. Industrial Project Execution Planning: Modularization Versus Stick-Built [J]. *Practice Periodical on Structural Design & Construction*, 2016, 21 (1): 04015014
- [8] 柳立,王健,刘晓天.浅谈工程项目管理中的现场管理[J].*天然气与石油*,2002,20(3):66-68.
Liu Li, Wang Jian, Liu Xiaotian. Discussions on On-Site Management in Project Management [J]. *Natural Gas and Oil*, 2002, 20 (3): 66-68.
- [9] 陈旭,许云川,付开伟,等.多层模块橇装一体化结构设计[J].*天然气与石油*,2016,34(2):100-104.
Chen Xu, Xu Yunchuan, Fu Kaiwei, et al. Structural Design for Multilayer Skid-mounted Integration [J]. *Natural Gas and Oil*, 2016, 34 (2): 100-104.
- [10] 陈朝明,马艳琳,李巧,等.安岳气田 $60 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$ 地面工程建设模块化技术[J].*天然气工业*,2016,36(9):115-122.
Chen Chaoming, Ma Yanlin, Li Qiao, et al. Modularization for Surface Engineering Construction of $60 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$ in the Anyue Gasfield, Sichuan Basin [J]. *Natural Gas Industry*, 2016, 36 (9): 115-122.
- [11] 郭弘翔.钢结构模块化设计初探——国际前沿的石化结构设计新思维[J].*建筑设计管理*,2013,30(6):65-67.
Guo Hongxiang. Preliminary Study on the Modular Design of Steel Structure: New Thinking on International Frontal Design of Petrochemical Structure [J]. *Architectural Design Management*, 2013, 30 (6): 65-67.
- [12] 闫红军.全面推行标准化设计模块化建设问题及对策探讨[J].*油气田地面工程*,2009,28(10):79-80.
Yan Hongjun. Discussion on the Countermeasures and the Way of Entirely Pushing Standardization Design and Modularization Build [J]. *Oil-Gasfield Surface Engineering*, 2009, 28 (10): 79-80.
- [13] 余庆军,潘思明,常亚楠.浅谈工程建设模块化施工[J].*中国高新技术企业*,2010,153(18):129-131.
Yu Qingjun, Pan Siming, Chang Yanan. Discussion on Modularization Pattern for Engineering Construction [J]. *China Hi-Tech Enterprises*, 2010, 153 (18): 129-131.
- [14] 肖广道.模块化建造对工程造价的影响[J].*工程建设*,2012,44(6):66-69.
Xiao Guangdao. Influence of Modular Construction on Engineering Cost [J]. *Engineering Construction*, 2012, 44 (6): 66-69.
- [15] 黄卫明.石油化工装置模块化施工[J].*化工设备与管道*,2013,50(1):37-41.
Huang Weiming. Modular Construction for Petrochemical Plant [J]. *Process Equipment & Piping*, 2013, 50 (1): 37-41.