

# 石油化工机电设备管道安装工程模块化施工技术与实践

赵湘豫

中国机械工业机械工程有限公司 河南 郑州 450000

**摘要:** 石油化工机电设备管道安装工程面临技术复杂、环境恶劣等挑战,模块化施工优势显著。本文阐述其关键技术体系,包括模块划分与设计优化、预制化施工工艺、模块运输与安装技术、数字化施工管理平台。介绍应用流程与管理体系,涵盖项目前期策划、设计与预制、运输与现场施工、验收与交付阶段。结合大型炼油厂案例分析,验证模块化施工可提升效率、质量和安全性,降低成本,为石油化工管道安装提供参考。

**关键词:** 石油化工;管道安装;模块化施工

引言: 石油化工行业作为国家能源与化工产业的重要支柱,其机电设备管道安装工程至关重要。传统施工模式在应对复杂管道系统时,面临技术难度大、施工周期长、质量管控难等诸多问题。模块化施工作为一种创新模式,凭借其工厂预制、现场拼装的特点,能有效解决传统施工痛点。本文深入探讨石油化工机电设备管道安装工程模块化施工技术与实践,为行业发展提供理论支持与实践借鉴。

## 1 石油化工管道安装工程特点与模块化施工需求

### 1.1 管道安装工程核心挑战

石油化工管道安装工程面临多重核心挑战:其一,技术复杂度高,管道规格型号繁多,接口形式多样(焊接、法兰连接等),部分管道需承受极端工况,对焊接工艺、热处理技术等要求严苛,易出现焊接缺陷、应力腐蚀等问题;其二,现场施工环境恶劣,多为露天或半封闭空间作业,受风雨、温差等自然因素影响大,且高空作业、动火作业频繁,安全风险防控压力巨大;其三,协同协调难度大,工程涉及设计、采购、施工、监理等多个参建方,各专业交叉作业密集,管道与设备、结构件的衔接精度要求高,易出现衔接冲突;其四,质量管控难度大,传统现场施工分散,工序衔接不规范,焊接质量、管道坡度、密封性等关键指标的检测与控制难度大,易留下安全隐患。

### 1.2 模块化施工的适用性分析

石油化工管道安装工程的特性与模块化施工的优势高度契合,具备极强的适用性。从工程特性来看,石油化工管道系统具有一定的标准化和重复性,多数管道布置遵循既定规范,便于拆解为统一规格的模块,满足模块化预制的基础条件;同时,工程对施工效率、质量和安全的高要求,与模块化施工“工厂预制、现场拼装”的核心模式高度匹配<sup>[1]</sup>。从模块化优势来看,工厂预制环境

稳定,可实现流水线作业,有效提升焊接质量、管道组装精度,减少现场天气等因素的影响;现场吊装作业周期短,能大幅减少高空作业和交叉作业,降低安全风险;模块化施工可实现设计、预制、运输、安装的并行作业,缩短整体工期,缓解工程进度压力;此外,模块在工厂集中加工,能减少现场材料浪费,降低施工对周边环境的影响,契合绿色施工理念。从实际应用来看,模块化施工已在大型炼油、化工、天然气处理等项目中广泛应用,有效解决了传统施工的诸多痛点,验证了其在石油化工管道安装工程中的适用性和可行性。

## 2 石油化工机电设备管道安装工程模块化施工关键技术体系

石油化工机电设备管道模块化施工关键技术体系是保障工程质量与效率的核心,涵盖模块划分与设计优化、预制化施工工艺、模块运输与安装技术、数字化施工管理平台四大核心环节,各技术环节相互衔接、协同作用,构成完整的技术支撑体系。

### 2.1 模块划分与设计优化

模块划分与设计优化是模块化施工基础,影响后续效率与质量。划分遵循“功能完整、尺寸合理、重量可控、便于运输安装”原则,结合管道系统特性,用功能分区或单元划分法拆解为独立模块。划分时要考虑运输、吊装条件,控制尺寸重量,确保功能完整、配套组件齐全,减少现场衔接工作。设计优化上,用三维建模技术可视化设计,优化管道布置,避免干涉冲突;通过有限元分析验算结构强度,保证运输吊装稳定;统一接口标准,提高通用性与互换性;结合后续环节要求优化设计,实现无缝衔接,提升整体施工效率。

### 2.2 预制化施工工艺

预制化施工工艺是模块化施工核心技术,决定模块加工质量与精度,涵盖预制准备、管道加工、组装焊接、检

测试等工序。预制准备要建标准化车间，配专业设备，制定方案与标准，采购检验材料。管道加工用数控设备保证切割和坡口精度，弯曲管道控制弯曲半径与角度<sup>[2]</sup>。组装焊接采用分组装配、流水线作业，选合适焊接工艺与自动化设备，严格管理焊接工艺与焊工资质。检测试验对焊接接头无损检测，做压力与密封性试验，复核关键指标，确保符合设计要求。

### 2.3 模块运输与安装技术

模块运输与安装技术保障模块安全精准就位。运输时，依模块特性、现场条件选运输方式与设备，加固模块防变形损坏，勘察运输路线，必要时改造，配备专人监护。安装方面，根据吊装条件与模块重量选吊装设备与方案，用三维坐标测量技术定位，设临时支撑固定，高精度控制接口对齐，按要求焊接，安装后复核位置等指标，拆除临时支撑并固定，确保符合要求与安全。

### 2.4 数字化施工管理平台

数字化施工管理是模块化施工全流程管控核心支撑，基于BIM等先进技术构建。设计阶段集成BIM实现三维可视化设计，碰撞检测与优化，生成图纸与清单；预制阶段用物联网实时采集监控设备、进度、质量数据；运输阶段利用GPS跟踪模块位置状态；安装阶段融合BIM与现场数据精准定位指导，记录分析进度、质量、安全数据；验收阶段建立数字化档案，整合全流程数据。通过该平台实现数据集成共享，提升管理效率，保障工程质量与进度。

## 3 石油化工机电设备管道模块化施工应用流程与管理

石油化工机电设备管道模块化施工应用流程与管理是确保模块化施工有序推进的重要保障，涵盖项目前期策划阶段、设计与预制阶段、运输与现场施工阶段、验收与交付阶段四个关键阶段，每个阶段均制定明确的工作内容、管理要求和控制要点，形成全流程闭环管理体系。

### 3.1 项目前期策划阶段

项目前期策划阶段是模块化施工顺利实施的基础，主要包括项目调研、方案制定、资源配置、风险评估等核心工作。项目调研阶段，组织专业团队对项目规模、工艺要求、现场条件、周边环境等进行全面调研，明确工程核心需求和技术难点；结合项目特点，分析模块化施工的可行性，确定模块化施工的范围和规模。方案制定阶段，编制详细的模块化施工总体方案，明确模块划分原则、设计标准、预制工艺、运输方案、安装流程、质量安全管控要求等；制定项目实施计划，明确各阶段的工作内容、

时间节点和责任人，确保各环节有序衔接。资源配置阶段，根据施工方案要求，落实预制车间、吊装设备、运输车辆、施工人员、材料设备等资源，确保资源满足施工需求；建立专业的管理团队和施工队伍，明确各参建方的职责分工，签订合作协议，规范各方行为。风险评估阶段，识别模块化施工过程中可能面临的技术风险、安全风险、进度风险、成本风险等，制定相应的风险防控措施和应急预案，为项目实施提供风险保障。

### 3.2 设计与预制阶段

设计与预制阶段是模块化施工的核心环节，直接影响工程质量和进度，主要包括模块设计、材料采购、工厂预制、质量检测等工作。设计阶段，以模块化施工总体方案为依据，采用BIM技术进行模块三维设计，完成模块划分、管道布置、接口设计等工作；组织设计交底和图纸会审，邀请施工、监理等参建方参与，及时解决设计图纸中的问题；优化设计方案，确保模块设计符合预制、运输、安装等后续环节的要求<sup>[1]</sup>。材料采购阶段，根据设计图纸和物料清单，制定采购计划，选择具备相应资质的供应商；对采购的管材、阀门、连接件等材料进行严格检验，确保材料质量符合设计标准和规范要求。工厂预制阶段，按照预制工艺方案组织施工，严格执行操作规程，控制管道切割、坡口加工、组装焊接等关键工序的质量；加强预制过程中的质量巡检和旁站监督，及时发现和整改质量问题；对预制完成的模块进行压力试验、密封性试验和无损检测，确保模块质量合格。

### 3.3 运输与现场施工阶段

运输与现场施工阶段是实现模块从工厂到现场精准就位的关键，主要包括模块运输、现场准备、模块安装、接口衔接等工作。模块运输阶段，按照运输方案组织运输，做好模块的加固、防护措施，确保模块在运输过程中不受损坏；实时跟踪运输进度，及时协调解决运输过程中出现的问题，确保模块按时到达现场；模块到场后，组织各方进行验收，核对模块型号、规格、质量证明文件等，确认无误后办理交接手续。现场准备阶段，清理施工现场，平整场地，修建运输道路和吊装场地，确保满足运输车辆和吊装设备的作业要求；安装好临时水电、照明等设施，为现场施工提供保障；对现场吊装设备进行调试和检验，确保设备性能良好。模块安装阶段，按照安装方案和吊装计划，组织模块吊装作业，采用高精度测量仪器控制模块安装位置和标高，确保安装精度符合设计要求；设置临时支撑和固定装置，防止模块移位或倾倒；模块对接时，严格控制接口对齐精度，按照焊接工艺要求进行接口焊接，确保焊接质量。接口衔接阶

段,完成模块与设备、模块与模块之间的管道衔接,对接部位进行密封性试验和压力试验,确保无泄漏;清理模块内部杂物,检查管道坡度、流向等是否符合设计要求,确保管道系统正常运行。

### 3.4 验收与交付阶段

验收与交付阶段是模块化施工的收尾环节,主要包括分项验收、系统调试、竣工验收、资料交付等工作,确保工程符合设计要求和标准。分项验收阶段,对模块预制、运输、安装等各分项工程进行质量验收,核查施工记录、检测报告等资料,对关键部位进行抽样检测,确保分项工程质量合格;对发现的问题及时整改,直至验收合格。系统调试阶段,组织专业人员对管道系统进行全面调试,包括压力调试、密封性调试、介质输送调试等,检查管道系统的运行状态,确保各项性能指标符合设计要求;对调试过程中发现的问题及时处理,确保系统运行稳定可靠。竣工验收阶段,汇总各分项验收和系统调试资料,组织建设、设计、施工、监理等参建方进行竣工验收,对工程质量、进度、安全等情况进行全面评估;验收合格后,签订竣工验收报告,明确工程交付时间和后续保修责任。资料交付阶段,按照档案管理要求,整理完善工程技术资料,包括设计图纸、施工方案、质量检测报告、验收记录等,编制完整的工程档案,移交给建设单位存档;同时,向建设单位提供模块维护保养手册等相关资料,做好技术交底工作,确保建设单位能够正确使用和维护管道系统。

### 4 典型工程案例分析

大型炼油厂催化裂化装置是炼油厂的核心装置之一,该装置管道系统复杂,涉及高温、高压管道近千根,管道材质以合金钢管为主,施工周期紧张,安全质量要求极高。为解决传统施工效率低、质量管控难等问题,项目采用模块化施工模式。在模块划分与设计阶段,结合装置工艺特点,将管道系统按反应再生、分馏、吸收稳定

等功能区域划分为28个模块,采用BIM技术进行三维设计和碰撞检测,优化模块布置和接口设计,确保模块尺寸和重量符合运输与吊装要求。预制阶段,建立标准化预制车间,配备自动化焊接设备和无损检测设备,实现模块流水线作业,焊接一次合格率达到99.2%,较传统施工提升8个百分点。运输阶段,采用大型平板拖车运输,对模块进行加固防护,选择夜间运输避开交通高峰,确保模块安全按时到场<sup>[4]</sup>。安装阶段,采用2台500吨履带吊进行吊装作业,通过BIM技术精准定位,模块安装精度误差控制在3mm以内,现场施工周期较传统施工缩短40天,高空作业量减少60%,安全事故发生率为零。竣工验收时,管道系统压力试验、密封性试验均一次性合格,各项指标符合设计要求,项目提前15天交付使用,累计节约施工成本约1200万元,验证了模块化施工在大型炼油装置管道安装中的显著优势。

### 结束语

石油化工机电设备管道安装工程模块化施工技术,通过关键技术体系构建、完善的应用流程与管理体系,以及实际工程案例验证,展现出提升施工效率、保障质量安全、降低成本等显著优势。随着行业不断发展,模块化施工将进一步完善与推广,为石油化工工程建设提供更高效、优质的解决方案,推动行业向智能化、绿色化方向持续迈进。

### 参考文献

- [1]司才强.石油化工工程中机电安装要点及注意事项[J].造纸装备及材料,2023,52(03):35-37.
- [2]杨建伟.石油化工业中机电安装存在的问题及现场管理措施[J].造纸装备及材料,2023,52(03):38-40.
- [3]张立震.石油化工工程项目模块化工作指南[J].化工设计,2022,32(03):45-50+2.
- [4]张维光.石油化工建设项目模块化施工技术的研究[J].产业创新研究,2024,(12):135-137.