



模块化管廊结构在危险品码头改造中的应用

张蕊, 于美玉, 冯浩

(中交第三航务工程勘察设计院有限公司, 上海 200032)

摘要: 为解决传统液体危险品码头改造中上部结构建设施工速度慢、施工质量难控制、施工安全风险高、经济性差等问题, 进行了模块化管廊结构关键技术研究, 首次将该结构应用于液体危险品码头改造中, 提炼出模块化管廊结构设计与装配化施工过程中的尺寸控制、限位措施以及检测和纠偏措施等关键技术, 并结合 BIM 技术进行施工过程管理。结果表明, 该结构的应用可大幅缩短工期, 减小施工期安全风险, 提高工程质量, 大大减小对已建码头营运影响, 提升经济效益。

关键词: 模块化; 装配式; 管廊; 危险品码头

中图分类号: U 656.1

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2023)05-0044-04

Application of modular pipe rack prefabricated structure in dangerous goods wharf renovation

ZHANG Rui, YU Meiyu, FENG Hao

(CCCC Third Harbor Consultants Co., Ltd., Shanghai 200032, China)

Abstract: To solve the problems of slow construction speed, difficult construction quality control, high construction safety risk and poor economy in the renovation of the upper structure of traditional liquid dangerous goods dock, the key technologies of modular pipe gallery structure are studied. The structure is applied in the renovation of liquid dangerous goods dock for the first time, and the key technologies such as size control, limit measures, detection and deviation correction measures in the structural design and assembly construction process of modular pipe gallery are extracted, and BIM technology is combined to manage the construction process. The results show that the application of this structure can greatly shorten the construction period, reduce the safety risk during the construction period, improve the quality of the project, greatly reduce the impact on the operation of the built wharf and improve the economic benefits.

Keywords: modularization; prefabricated; pipe rack; dangerous goods terminal

近年来, 随着国民经济和科技水平的不断发展, 国家高度重视基础设施建设过程中的资源能源消耗、施工环境污染、工程质量安全水平控制、劳动生产效率提升以及促进经济稳步快速发展等问题。2016年国务院办公厅印发的《关于大力发展装配式建筑的指导意见》中明确指出, 大力发展装配式混凝土建筑和钢结构建筑, 并以此来带动建造方式的重大变革, 同时将创新装配式建筑设计作为重点任务之一, 需要统筹建筑结构、机电设备、部品部件、装配施工、装饰装修, 推行

装配式建筑一体化集成设计, 引导企业研发适用技术、设备和机具, 提高装配式建材应用比例, 促进建造方式现代化。

本文通过分析传统液体危险品码头上部管架及管道结构在码头改造项目设计和施工中存在的问题, 首次将模块化管廊结构应用于危险品码头改造工程中, 并以典型工程为例, 提炼模块化管廊结构设计与施工中的关键技术问题, 可为类似工程的建设提供参考。

收稿日期: 2022-11-15

作者简介: 张蕊 (1985—), 女, 高级工程师, 从事港口工程设计工作。

1 传统液体危险码头改造中上部结构建设的现状

危险品货物通常具有易燃、易爆、有毒、污染等特点,危险性高。对于液体危险品码头通常采用管道敷设的方式,通过管架结构支撑将不同物料管道分层排布在码头结构上方。目前,液体危险品码头改造工程建设中主要存在以下问题:

1) 构件数量多、现场作业量大、作业人员数量多、施工速度慢。管廊结构通常由管架和管道两部分组成。管架分为立柱、多层纵梁和横梁,对于钢结构管架,常规做法是构件预制场预制、现场焊接;管道单根长度通常为6 m或12 m,同样运输至现场后焊接拼装。因此,传统的液体危险品码头上部结构建设具有构件数量多、现场焊接工作量大、作业人员数量多、施工速度慢的特点。

2) 高空焊接作业工作量大、质量难以控制。现有的液体危险品码头管架层数通常在2~6层,层高1.5~2.5 m,钢结构管架的现场高空焊接工作量大,质量检测难度高,焊接质量难以保证。

3) 高空作业人员数量多,事故风险高。现场管道安装时,为了确保进度以及焊接质量,常常十几个到几十个人同时作业,工人数量多,存在一定的安全隐患。液体危险品码头改造项目已有管道中的物料难以清空,加之工人长时间现场疲劳作业,一旦操作不规范极易出现安全事故。

4) 管线耐久性差、美观度低。现场穿管作业时,管道防腐涂层、绝热层易出现局部损坏、剥落,现场修补效果相对较差,耐久性和美观性都受到较大影响。

5) 经济性差。因装卸物料的特殊性质,液体危险品码头改造时,常常需要动火作业。而现行规范中

对于动火作业的等级、操作管理要求极为严格,规定动火作业应有专人监火,动火前应清除现场及周围易燃物,或采取其他有效的安全措施,配备足够适用的消防器材^[1]。因此老码头改造中,为了提高现场的安全性和加快施工进度,不得不牺牲一定的码头作业窗口期,因而带来一定的经济损失。

2 模块化管廊结构与施工

2.1 结构设计

造船行业的模块化有特定含义,即具有标准尺寸和标准件,且主要部位具有可选性的最终产品的预制单元。将船舶模块化设计中的基础研究方法引入码头模块化管廊结构设计中,液体危险品码头中所谓“模块化管廊结构”即工艺管道、钢管架以一定的单位量整体组装,包括钢立柱、分层钢管架纵梁、横梁以及各层管架上布设的管道等。

针对液体危险品码头改造项目,码头现场上方有已建的工艺管架,故在改造过程中模块划分的原则及控制要点包括:1) 根据已有管架和管道的布置方式,合理划分模块单元,将满足安装条件的所有管道、管架结构划分到1个单元内,管道分割点不能位于管架结构梁上^[2];2) 尺寸控制:为便于后期模块吊运后与已有结构可靠焊接,现场拼装前应针对与预制模块相对应的已建结构构件逐一现场测量,并对部分构件单元尺寸纠偏处理;3) 限位措施:为防止模块化吊运过程中管道滑落或滑动,需要在管架和管道间增设挡块等限位结构^[3];4) 根据不同模块化管道的质量进行吊运计算,在模块中增加吊耳结构。管架及管道整体模块三维模型见图1。

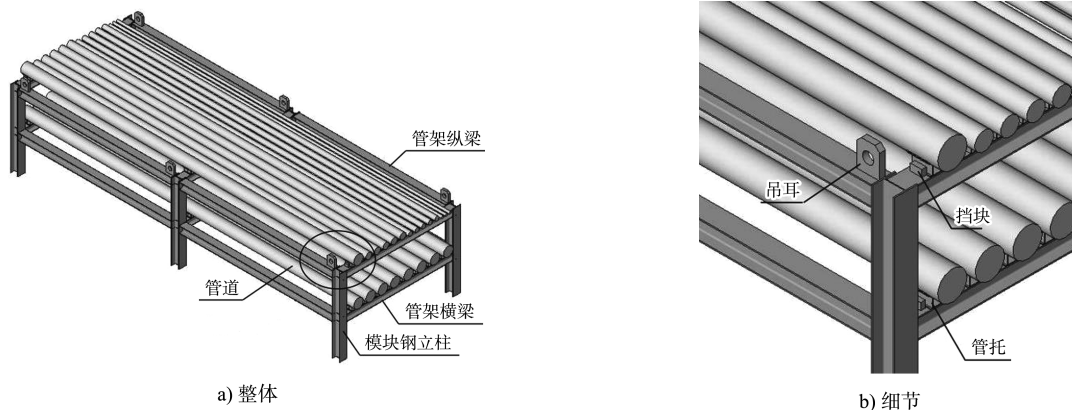


图1 模块化管廊结构三维模型

2.2 结构施工

2.2.1 施工流程

模块化管廊结构的管道、管架结构的施工流

程与装配式模块的施工流程紧密联系，管道、管架可在预制场预制，在施工现场进行拼装。模块化管廊结构施工流程见图2。

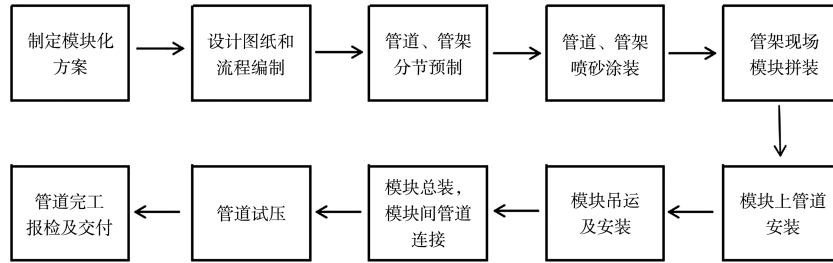


图2 模块化管廊结构施工流程

2.2.2 施工特点及关键技术

传统的施工过程是将管架和管道区分为2个逻辑单元施工，即在管架施工过程中，以管架的横梁、纵梁为逻辑顺序，逐层、逐榀进行施工，管道施工则以单根管道作为单元开展施工，每根管道从头到尾通过多根管道拼装串联施工。模块化管廊结构与传统的工艺管道施工方式不同，它是将一定范围内的管道、管架整体作为一个单元，进行分区划分，每个单元包含了整个分段内的所有管架和管道结构。这种施工方式的特点：1) 便于施工组织，整体吊运，作业效率高；2) 装配式模块制作与吊运可以同步进行，施工连续性强，最大化实现并行建造，突出模块建设工期优势；3) 工序少，只需在关键环节设置操作人员，高空作业人员少，施工安全性高；4) 模块一经制作返工难度大，前期需要充分研究，合理安排工艺流程；5) 模块间的管道精度控制要求高，需严格尺

寸控制；6) 施工过程中须同步检测和管道校核（包括管道位置以及安装精度），并及时采取纠偏措施。

3 工程实例

3.1 工程概况

3.1.1 已建工程

工程已建4个5万吨级液体化工泊位，码头通过2座引桥与陆域连接。所有工艺管线沿引桥面、码头面管架明敷至每个装卸区，与码头前沿装卸臂连接实现液体化学品、液化烃的装卸船作业。引桥管架宽6.5m，码头管架宽5.5~6.0m，管架层数为3~4层。管架分为高、低2种形式，其中引桥低管架底层距引桥面0.5m，码头低管架距码头面2.5m，高管架根据车辆和管线补偿要求，底层距码头面和引桥面净空 $\geq 5\text{m}$ ^[4]，已建管架均为钢管架，具体尺寸见表1。

表1 管架尺寸

区域	宽度/m	层数	高管架底层高度/m	高管架层间距/m	高管架总高度/m	低管架底层高度/m	低管架层间距/m	低管架总高度/m
1#泊位	6.0	3	5.5	2.0	9.5	2.5	2.0	6.5
2#泊位	5.5/6.0	4	5.5	1.8/2.0	11.3	2.5	1.8/2.0	8.3
3#、4#泊位	5.5	4	5.5	1.8/2.0/3.0	11.3/12.3	2.5	1.8/2.0	8.3
1#引桥	6.5	4	5.5/5.7	1.8/2.0	11.3/11.5	0.5/1.7	1.8/2.0	6.3/7.5
2#引桥	6.5	4	5.5/5.7	1.8/2.0/3.0	12.3/12.5	0.5/1.7	1.8/2.0/2.5	6.8/8.0

3.1.2 本次改造需求

根据吞吐量需求，需在已建码头新增管架及工艺管道，其中1#引桥管架增加1层，工艺管道

增加10根(图3)；1#、2#泊位管架增加2层，工艺管道增加22根(图4)^[5]。

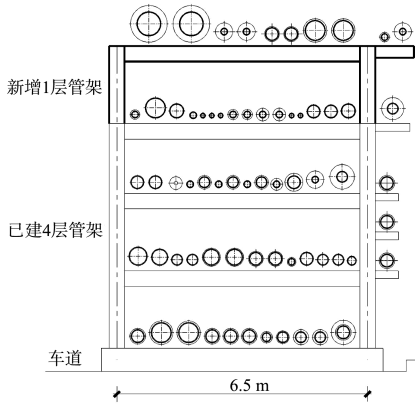


图 3 1#引桥低管架断面

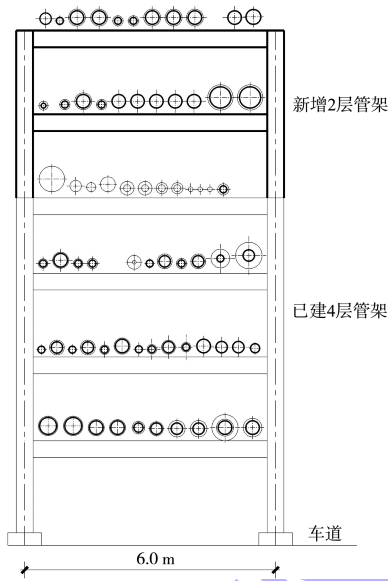


图 4 码头低管架断面

3.2 模块化管廊结构施工难点及应对措施

1) 本工程码头为大型炼化一体化项目配套码头, 主要承担后方炼厂的产品出运任务, 船舶靠泊频次高。已建码头管道不能确保清空, 管道内物料均为易燃、易爆危险化学品, 施工焊接工作若违规操作, 极有可能造成重大安全事故。大量动火作业需要在无船舶靠泊的窗口期实施, 可施工时间大大缩短。为此, 采用模块化管廊结构, 模块的拼装在码头后方临时预制场进行, 大大减少了码头现场施工时间, 有效解决码头营运与改造施工的时间冲突问题。

2) 已建码头管架宽度不同、管架局部高度不同(垂直管道补偿方式导致)、改造项目位置不同、新增管廊层数不同等问题均为模块划分带来一定难度; 且管道数量多, 模块划分过大将使模

块总质量增大, 为模块吊运带来困难。为此, 模块划分中采用差异化模块设计, 码头及引桥区总计划分管廊模块单元 31 个, 共计 23 种, 最大平面尺寸 34 m×6 m, 最大模块总质量 122 t。

3) 已建管架为传统施工方式, 即管架柱、梁是在码头现场吊装、焊接而成, 存在一定的施工误差, 导致按标准尺寸制作的模块化管廊与已建管架尺寸精度控制难度大。为此需要在模块单元划分前对码头所有已建管架进行测量, 模块预制时通过合理划分模块、设计中微调梁柱尺寸等方式, 确保加层模块与下部已建管架准确对位焊接。

4) 本工程码头装卸货种多(共 54 种), 管道采用专管专用, 管道及装卸作业点多, 管道走向极为复杂, 给改造工程施工增加了难度。借助 BIM 三维可视化设计软件, 通过直观的三维模型及管道轴测图, 极大方便了现场施工, 且增加了管道对接的准确度。

3.3 成效分析

1) 本工程通过采取管道、管架整体模块化预制、装配式施工的方式, 实现了多模块拼装预制与装配化施工并行, 较传统作业方式施工工期缩减约 2/3, 为工程建设有序进行提供了进度保证。

2) 大部分管道、管架的拼装、焊接工作在模块化制作过程中完成, 工序更顺, 投入劳动量较少, 施工安全性大幅提升。传统施工方式中因管道、管架焊接量大, 作业高峰期每根管道上需同时有多人开展施工作业, 施工安全问题突出。采用模块化装配式施工后, 高空焊接作业量大大减少, 仅在模块化拼装的关键节点配备 2~3 人即可完成吊运对点和拼装工作, 为施工安全提供了有力保障。

3) 在临时预制场地完成模块化制作, 对所有模块化的管道采用射线探伤检测, 有效提高了工程质量。

4) 充分利用模块化吊运、安装速度快的特点, 配合码头营运时间, 未因施工需要减少泊位的船舶停靠, 最大程度地减小对已建码头营运的影响, 经济效益显著。