

加热炉辐射段模块化工艺流程及安装方法分析

俞华 陈明 马栋栋

(上海宝冶集团有限公司 上海 宝冶 201999)

摘要: 加热炉是石油化工装置中的主要设备。近年来,随着时代发展和技术进步,加热炉尺寸逐渐增加,炉体大型化,安装模块化。本文以国外项目加热炉为例,主要讨论模块化中安装流程及应注意的问题。

关键词: 加热炉辐射段模块化; 施工工艺; 辐射段

0 引言

随着工业进步,石油化工行业生产需求也日益增大,各类炼油工艺和生产装置逐步发展,各设备的结构、材料、尺寸也不断更新换代。所以对加热炉制作、运输、安装也带来了极大的挑战,对于超大型及结构较为复杂、尺寸庞大的炼化设备,采用模块化制造和安装的方式是目前最佳的解决方案,目前,国际上采用模块化方式建造已经非常普遍。

1 研究依据

项目是由全球工程公司日式日挥株式会社(JGC Corporation)承包的大型炼油厂升级项目,其建设地点位于伊拉克最大的巴士拉港口,包括安装流体催化裂化(FCC)装置、减压蒸馏装置和柴油脱硫装置。炼油厂升级项目中,其中5台加热炉(其中1台为圆形炉,4台为方形炉)。

2 辐射段模块化结构

方形炉辐射段模块结构:辐射段模块结构大体分为三个部分,钢结构壳体、内部管道及支撑架、其他(耐材、锚固件、烧嘴等)。其中钢结构壳体由底板、墙板、顶板等片状钢结构组成。内部管道为方便焊接及快速安装,先进行管片预制,然后进行拼装^[1]。上述构件需完成模块化前的所有工序,并经检验合格,方能进行下一步模块化工作。同时由于模块内部连接较为复杂,为避免返工,模块化前需明确各构件的安装顺序,实现一次到位。方形炉模块结构如图1所示。

圆形炉辐射段模块结构:其由辐射段水平支撑结构、内部管道、管道支撑架及钢结构壳体组成。同

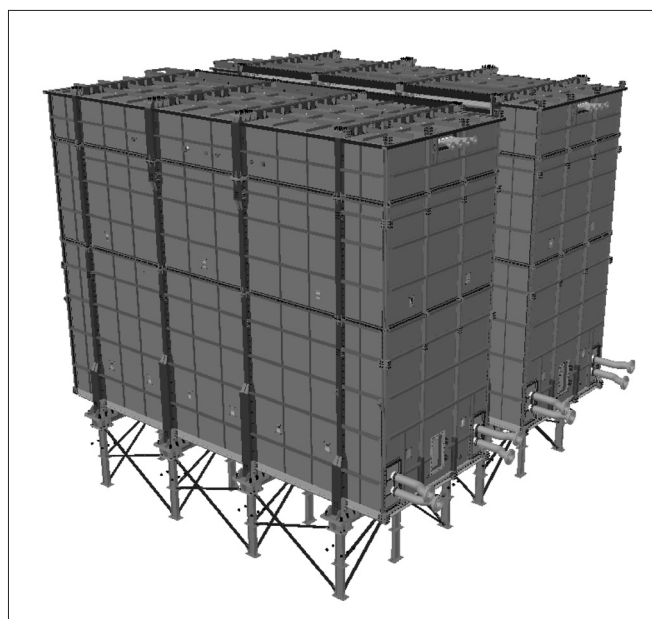


图1 方形炉模块结构

时壳体内部在安装管道之前需要安装陶瓷纤维毯等耐材(顶板和墙板安装陶瓷纤维毯)。

3 模块化施工重难点分析

3.1 安装要求高

由于参考项目执行美国ASME标准和业主提供的其他技术标准,这些标准文件对施工精度要求是非常高的。

对于方形辐射段模块本身,其由两块左右相同的子模块通过转换管道连接而成。模块整体尺寸较大,预制的管片由于其自身的形状特性,吊装时容易产生变形,因此对吊装方式提出了较高的要求。

由于左右两个子模块和转换管道最终会组装在一起形成一个完整的系统,因此为保证各模块能够顺利组装,在其安装过程中必须严格对照图纸施工,

位置误差、形状误差均要求过高。

对该步施工采取如下措施：

(1) 熟悉 ASME 标准及业主的技术要求，在施工过程中严格按照规范要求施工，质量第一，同时建立完善的质量控制体系，安排熟悉该标准的工程师作为项目质量经理，对项目进行全过程质量管控。

(2) 严格实行过程管控，看一步，做一步，查一步，改一步。

(3) 预制管片安装过程中，使用多点起吊的方式，同时用橡胶板隔离或使用呢绒吊带等专用锁具以避免钢丝绳与管道直接接触造成损坏。

(4) 对零部件进行试装配，模块与模块之间的试装配，将问题消化在预组装期间，保证最终模块的精准对接。

3.2 管道材质特殊，焊接要求高

由于管道使用的材质较为特殊，因此对焊接工艺和焊工的技能水平都提出了非常高的要求。

采取措施：

在项目开工之前采集同材质样品，由焊接工程师进行焊接工艺评定，然后焊接工程师根据确认正确的工艺编制焊接工艺指导书对焊工进行培训，在焊工取得相应证书后上岗作业。

3.3 室外作业，施工过程受环境影响大

该工程项目位于张家港码头，夏季高温以及码头季风气候对结构和管道焊接影响较大，露天雨季对于炉内耐材施工影响较大，同时上述不利天气因素会影响整体项目进度。

采取措施：

(1) 焊接作业时通过外部设施如篷布等进行挡风，减少对管道焊接的影响。

(2) 施工作业时避开高温时间段，并准备防暑降温药品以及相应的应急预案，在避免突发情况的同时保证能及时应对施工人员中暑等突发情况。

(3) 模块顶部做好防雨措施，避免雨水对模块内部耐材造成影响。

4 辐射段模块施工程序

方形炉模块。方形炉施工工艺程序，首先模块场地地基铺设并且找平。安装辐射段立柱，安装辐射段炉底板，安装辐射段墙板及炉体框架结构，最后安装辐射段炉顶板，安装完毕后开始对炉内耐材进行施工。

4.1 立柱安装

立柱安装前准备工作：

(1) 必须地面垫板铺设并利用水准仪找平，基础外形尺寸、中心线、标高和基础中心间距测量记录，垫板标高和立柱间中心位移测量记录，并且控制误差在允许的范围内。

(2) 吊装、找正和固定。利用钢板在地面组成拼装平台，立柱在地面组装成门型架，最重约为 2t，主要采用 25t 履带吊吊装，吊装时用钢丝绳兜吊在临时支撑结构位置。立柱起吊，就位后，利用经纬仪对立柱两个方向进行垂直度检查，检查合格后用缆风绳进行固定。

立柱安装步骤：

(1) 立柱的安装，按照轴线顺序，每条轴线的三根中心柱及斜撑统一在地面组装好后，然后进行吊装，并拉设安全抗风绳，安全抗风绳按三等分均步拉设，钢丝绳采用 $6 \times 27 + FC22\text{mm}$ 。立柱组装后总重 2t 左右。

(2) 其余轴线均以此方法安装，找正完成后装柱间支撑固定。

(3) 安装立柱之间的斜撑、横梁。

立柱组队检查内容：

在安装立柱之间的斜撑、横梁。辐射段立柱组对几何尺寸偏差应符合项目要求。将立柱、横梁和斜拉撑吊装在胎具架上。然后，进行高强度螺栓连接和几何尺寸调整，尺寸调整合格后，进行高强螺栓紧固。紧固高强螺栓时先用电动扳手，以扭矩值的一半进行高强螺栓初次紧固，然后用扭力扳手进行高强螺栓二次紧固，美标高强度螺栓扭紧力矩值根据厂家提供的参数进行紧固^[2]。高强螺栓连接构件的结合面，在制造厂已经进行了喷砂处理，现场不得进行防腐刷油。墙板焊接时，应采取对称焊、分段焊、加设防变形板、焊接采用小电流等方法防止焊接变形。

4.2 辐射段底板安装

底板安装时要根据辐射段模块化吊装方案，根据底板重量，选择相应的吊车，以伊拉克项目为例，底板重约 6.5t，作业半径约为 9m，55t 履带吊主臂长为 25m，作业半径 10m 的工作参数下，起重量达到 $14.2\text{t} > 1.2 \times 6.5\text{t}$ ，所以满足吊装要求。根据钢丝绳长度（不小于 60° ，在 60° 时受力最大）进行受力分析，每根钢丝绳受力约 4t，根据 GB/T 20118-

2006《一般用途钢丝绳》，在安全系数取5的情形下，要满足最小破断拉力，选取的钢丝绳规格不得小于 $6 \times 37 \phi 19$ 钢丝绳，卸扣选择5t卸扣。炉底板三维图如图2所示。

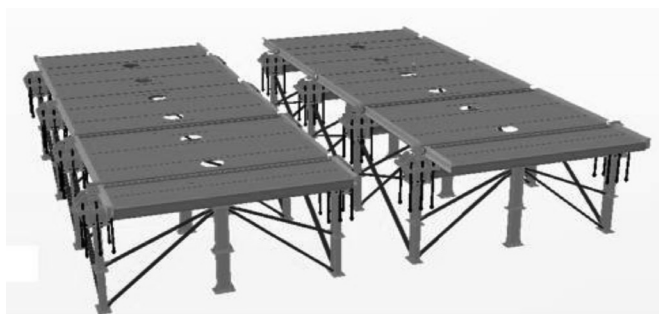


图2 炉底板三维图

4.3 辐射段墙板及炉体框架结构安装：辐射段墙板分两层组成

为了减少高空作业，采取墙板地面试装配，分片安装工艺。在墙板进行安装之前，墙板与墙板之间在地面进行试装配，对发现螺栓不能顺利穿入的问题在地面及时处理，减少高空处理问题及风险。墙板组装过程中，在其上部就设置好安全爬梯、生命绳、防坠绳以及缆风绳。

(1) 依据转化炉辐射段炉墙板三维图，现场进行如下安装：

① 每面两层墙板于安装之前在地面进行试装配，并在地面处理好配对螺栓孔问题。

② 第一层墙板先安装 0° 方向上的炉墙板，再从 0° 至 270° 方向依次安装炉墙板；所有的炉墙板之间没有独立的墙板立柱，均由片状墙板组成。在安装一层的 0° 与 90° 墙板时，需要添加外部临时支撑，具体为利用槽钢在墙板外则分段等间距，且与墙板成一定角度设立支撑；以及设立内部临时支撑，内部支撑的设立同外部支撑。第二层墙板的安装顺序同第一层墙板。

(2) 根据辐射段模块吊装方案GYGC/YLK-2022-005，55t履带吊，作业半径10m，主臂长28m，起重量为14t，大于 $1.2 \times 11t$ ，满足起重要求，同时考虑25t履带吊作为辅助胎位吊机。最重墙板吊梁上方钢丝绳受力约为6.3t，选择钢丝绳不小于 $6 \times 37 \phi 36$ ，卸扣选择10t卸扣，吊梁下方连接墙板钢丝绳受力约为2.5t，选用 $6 \times 37 \phi 19$ 钢丝绳，卸扣选择5t卸扣。

(3) 炉墙板就位，调整好相对侧墙板之间的距离，

对准与炉底板连接的螺栓孔及与侧墙板连接的螺栓孔，然后进行找正。找正合格后，将与炉墙板之间的连接螺栓穿上拧紧。

(4) 吊装之前对辐射段墙板柱边设置两个爬梯，爬梯内设置防坠绳，每块炉墙板上设置缆风绳，防止吊装过程中墙板碰撞破损，墙板到位后锁住缆风绳。

(5) 对辐射段壳体和框架钢结构进行找正，找正合格后进行墙板密封焊接。

(6) 辐射段完毕后，等内部耐材施工完成后再安装观察孔及检修门。

(7) 进行墙板尺寸检查。

需要注意的事项：所有的炉墙板之间没有独立的墙板立柱，均由片状墙板组成。在安装第一层的 0° 与 90° 墙板时，需要添加外部临时支撑，具体为利用槽钢在墙板外侧分段等间距，且与墙板成一定角度设立支撑；以及设立内部临时支撑，内部支撑的设立同外部支撑（由于内部管道支撑位置不利于管道吊装，需要待管道安装完成后再行安装）。第二层墙板的安装顺序同第一层墙板。第一层炉墙板三维图如图3所示。

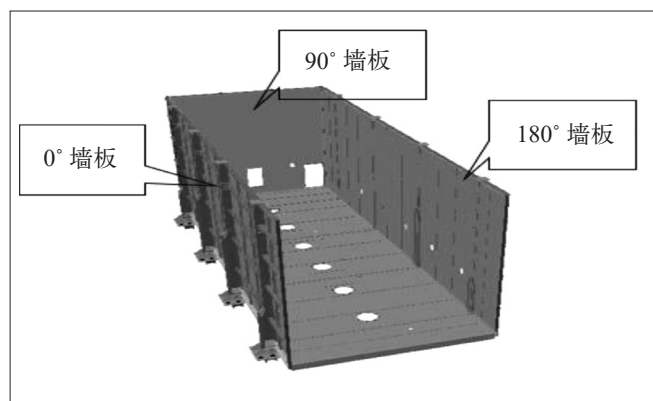


图3 第一层炉墙板三维图

4.4 辐射段炉顶板安装：炉顶板在模块化过程中共进行两次吊装

第一次吊装后临时固定，用于内部耐材施工的防水防雨，此次吊装为减少空中作业以及多进程同时施工缩短工期，可提前将一些安装项在地面安装完成；耐材施工完毕后需要拆卸顶板，用于墙板炉管吊装并且将内部炉管支撑架提前吊进炉内，与此同时，在第二次吊装前，将其余的安装项安装在顶板上，待墙板炉管安装完毕后，吊装顶板，对位找正后拧紧固定螺栓，最后将顶板内部与墙板的连接处进行密封焊。

(1) 第一次吊装前顶板在地面作业的提前安装项目如下:

① 顶板上的炉管吊钩上半部分的定位与安装, 吊钩在安装前需要拆分;

② 陶瓷纤维毯的铺设。

(2) 第二次吊装前顶板在地面作业的安装项目如下:

① 顶板预制的分片炉管;

② 将吊钩下半部分穿过炉管通过销轴与吊钩上半部分连接;

③ 安装最上层的横向固定桁架(最上层的支撑桁架通过螺栓与其他桁架连接, 可以在地面先行独立安装), 并用U形卡将炉管固定到桁架上。

根据吊装专项方案, 顶板选用130t履带吊, 主臂长34m, 吊装炉顶板作业半径12m, 起重量49t, 炉顶板最重约28t, $49t > 28t \times 1.2$, 同时顶板在起吊最高点处距离吊臂的水平距离大于6m, 超过顶板宽度的大小, 因此130t履带吊满足顶板吊装作业要求。

吊具选择: 顶板与吊梁之间的每根钢丝绳受力约为4t, 吊具选择用 $6 \times 37 \phi 19$ 钢丝绳, 卸扣选择5t卸扣。吊梁上方的钢丝绳, 受力约17t, 吊具选择 $6 \times 36 \phi 60$ 钢丝绳, 卸扣选择20t卸扣。

5 结语

国内大部分石油化工工业安装项目还是按照传统的方式去建造, 仅在特殊需求下实现了少量、局部设施的模块化制造, 如乙烯装置裂解炉对流段、催化裂化装置余热锅炉、大型塔器的整体制作等, 以及在现场二次组装形成简易功能组件的模块化制造, 如火炬塔架分段吊装、高大框架分段吊装、管道工厂化预制等, 全模块式的制造安装在国内还是没有得到应用^[3]。

国外模块化建造技术发展较早, 但是也只是在一些小型的项目中进行了尝试并积累了一定的经验, 随着模块化设计、制造以及运输设备的不断升级优化, 在国际石化行业, 大模块制造+整体运输这种模块化建造方式正被越来越多的投资方所接受和选择。

在当前国内工程建设新形势下, 先进的模块化协同制造, 现场组装的方式作为一种低成本、高效率、高质量的项目建造模式势必在工业安装领域占据一席之地。模块化供货能力已成为承担大型加热炉项目以及国际加热炉项目的核心竞争力。

想要在这一项目上拥有竞争力需要抓好设计源头, 项目方案的制定与实施要从设计源头出发, 充分分析客户的需求和自身的加工能力, 重视技术方案论证与多方案比较, 在设计阶段充分考虑模块化方案实施在设计—生产—运输—安装周期的影响因素, 重视细节控制。

同时需要在设计—生产—反馈中不断对方案进行调整与优化。项目实施在变形控制、精度保证、预组装方案以及运输吊装等方面与工作人员多方沟通协调, 将改进措施落实到设计方案中, 不断优化项目。

参考文献:

- [1] 张颖虹, 刘雁. 加热炉模块化方案选择及实施[J]. 工业炉, 2019, 41(04): 37-39+43.
- [2] 姚彬. 加热炉模块化吊装施工技术[J]. 石油化工建设, 2018, 40(02): 54-58.
- [3] 郭志鹏, 高田. 加热炉模块化设计制造技术探讨[J]. 石化技术, 2018, 25(09): 316+320.

作者简介: 俞华(1966.03-), 男, 汉族, 上海人, 本科, 高级工程师, 研究方向: 设备制造。