

石油化工管廊建设工程中大跨距钢结构桁架安装技术分析

王友军（中石化扬子石油化工有限公司，江苏 南京 210048）

摘 要：大跨距钢结构桁架在市政桥梁、石化管廊建设工程中日趋常见。根据标准化设计、标准化采购、模块化建设要求，笔者根据自身项目实践经历，以石油化工管廊建设工程中大跨距钢结构桁架安装为例，对钢结构桁架常见安装方法进行原理分析、综合效益比选，提出整体吊装技术在大跨距钢结构桁架安装中应用的控制要点、适用范围。

关键词：石油化工；管廊建设工程；大跨距钢结构桁架；整体吊装；控制要点

0 前言

大跨距钢结构桁架（以下简称：大跨桁架）在管廊建设工程中得到了越来越广泛的应用，尤其是在石化装置区内新建工艺及公用工程管廊。呈现出跨度长、高度高、质量重、施工影响区域大等特点，对整个管廊建设工程增加了很大难度。如何确保大跨桁架安装实体质量、安全的同时，提高项目进度、成本等综合效益，是整个管廊建设工程管控的最终目的。

本文结合扬子石化码头扩建项目新建管廊大跨桁架整体吊装实践经历，通过介绍大跨桁架安装方法分析、比选过程，提出整体吊装技术应用控制重点，供后续同类工程实施参考。

1 管廊建设工程概况

扬子石化码头扩建项目中新建管廊从沿江东路至江边罐区，沿线里程为 1.21km。管廊建成后将在管廊上新铺设成品油、C₃、C₄ 等物料管线二十多条，输送能力与改造前相比提高一倍。是码头扩建项目的重要组成部分。项目完成后将解决企业产销的输送瓶颈问题，极大提高企业的产能与效益。该管廊铺设管线输送介质为易燃易爆物料，设计中管线的位置间距较大。且在管廊上要设置膨胀弯为防止物料输送中发生水锤。

故整体管廊设计尺寸较大。管廊设计为工厂化预制，现场安装。管廊主要结构类型为：上部采用高强螺栓连接的钢柱钢梁钢桁架结构，下部采用钢筋混凝土预制柱^[1]。其中钢结构总量 1500 吨，高强螺栓 44000 余套。

项目涉及十处大跨距桁架，本文重点以 J75-76 轴线大跨桁架安装过程为例进行介绍。桁架参数：几何尺寸 32*9*4m、净重 37.43t、三层两榀、下层横梁顶标高 22m、上层横梁顶标高 26m，桁架结构示意图见图 1^[1]。

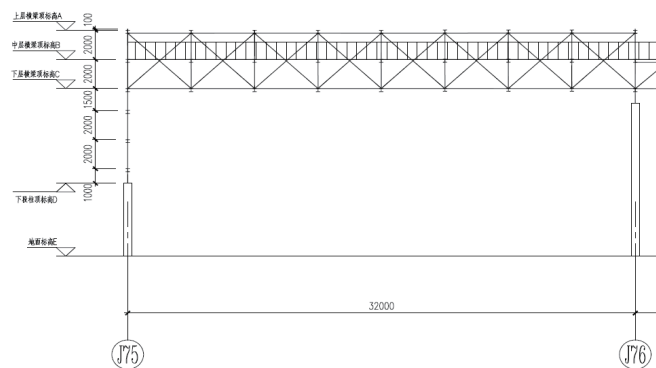


图 1 J75-76 桁架结构示意图

2 难点分析

2.1 地形复杂、场地受限

该项目选址特殊，途径边防站、油品 / 码头作业区，紧邻社会道路，运输道路沿线限高限宽设施多。此外，大跨桁架均涉及跨老管廊、跨社会道路安装。为现场施工造成极大困难：

I：边防区域不允许长时间堆放材料及吊车等施工机具占用，现场条件不允许采用散件拼装工艺。

II：生产区域，申报作业需要协调多部门，流程复杂。

III：紧邻 / 跨越社会道路区域，施工造成社会道路完全封闭，施工难度大。

IV：整体桁架宽 9m、高 4 米，受运输沿线障碍物限制，场外预制组装、整体运输入场无法实现，经反复勘查、测算，仅主桁可以拼装后分片入场，上下弦梁、悬挑梁只能现场拼装。

2.2 多属高空作业、安全风险大

本项目涉及大跨桁架安装均属高空作业，最高净空尺寸达 26m，施工作业安全风险大，尤其高强螺栓紧固，作业点数量多，需要二次紧固且螺栓紧固对作业平台要求高。此外，涉及跨社会道路大跨桁架安装，因不允许长时间占道，无法进行落地脚手架搭设，导

致构件高处拼装、节点螺栓紧固等作业无法实施。

2.3 尺寸偏差控制难度大

根据钢结构自有特性和有关设计要求,需对桁架进行预起拱以抵消桁架贯通完成后产生的自然挠度。根据结构设计总说明规定,跨度大于 18m 的桁架均需起拱,拱度为跨度的 1/400^[1]。本项目 J75-76 轴线桁架跨距达 32m,需工厂化预起拱高度 80mm,现场拼装成形后拱度保证对拼装工艺的合理性要求很高,否则桁架起吊后很难顺利就位。

3 大跨桁架安装方案比选

一般情况下,钢结构安装多采用高空散件拼装法。然而,随着结构形式不断复杂深入、大跨距桁架结构设计的不断引入,国内相继出现并逐步被采用的还有整体吊装法、整体提升法、滑移法等^[2]。以上安装方法原理介绍如下:

3.1 高空散件拼装法

该方法根据结构特点,选择合理的吊装顺序,利用自身结构刚度形成稳定性单元,通过不断扩大单元进行拼装,最后形成整体结构。

3.2 整体吊装法

该方法现场搭设桁架组装支撑平台,地面组装、验收完成后,通过大型吊装设备一次性起吊、就位至设计指定位置。

3.3 整体提升法

地面完成桁架组装验收工作,通过有限元软件模拟提升过程,计算出各作业点提升力的要求,利用结构柱作为临时支撑结构将若干液压千斤顶、液压阀组、泵站等组合成液压提升设施组群进行安装,该技术关键是要保证桁架结构在移动或提升过程中稳定性^[2]。

3.4 滑移法

利用能够控制同步的牵引设备,将分成若干个稳定的结构沿着设定的轨道,从拼装位置水平移动到设计位置的施工工艺,该方法要求桁架外廓构件刚度大,需要根据桁架安装位置坐标设计铺设轨道,桁架跨距两端要有建筑物作为构件拼装平台,多点牵引滑移时,牵引过程各作用点同步受力控制尤为重要^[2]。

本项目总体目标能否实现,大跨桁架安装工艺选取是关键所在。综合考虑本项目大跨桁架安装难点,力求确保工程质量、安全受控的前提下场内外同步施工,最大限度缩减进度目标偏差,是本项目大跨桁架安装具体方案选取时的初步设想。为此,现场结合 J75-76 轴线大跨桁架安装实际情况对不同安装工艺安

全风险、质量受控性、工期、成本以及实用性等指标进行分析比较。

得出结论:整体吊装技术在大跨桁架安装中的应用成本相对较高,但质量安全风险相对较低,且工期短,符合本项目最初对于大跨桁架安装方案选择的设想,有利于实现项目总体目标。最终,廊钢结构大跨桁架安装采用了整体吊装技术。

4 应用实践控制

采用整体吊装技术为实现大跨桁架一次顺利整体吊装就位,确保起拱度、整体水平/垂直度等尺寸偏差在设计图纸及规范允许范围内,必须对现场混凝土柱顶螺栓预埋、构件场外预制、现场拼装、起吊过程等施工环节进行全过程控制,具体控制要点归纳如下:

4.1 螺栓预埋及复测

整个管廊施工由上部钢结构及下部混凝土立柱构成,两者通过柱顶螺栓进行连接。混凝土柱顶螺栓的预埋就显得极为关键,螺栓定位、垂直度等数据准确度直接影响后期桁架就位能否顺利进行及工程实体质量。

4.1.1 预埋定位要准

现场根据设计坐标制作螺栓上部限位钢板、下部限位箍筋,帮助预埋螺栓正确定位,避免混凝土建筑过程对螺栓预埋位置造成偏移影响。此外,在限位钢板设计时必须考虑振捣及排气孔洞预留。限位模板构造见图 2^[1]。

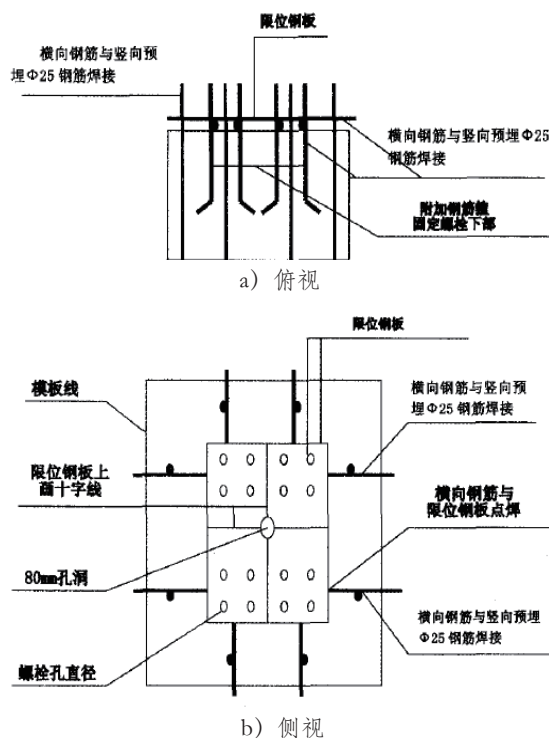


图2 限位模板构造示意图

4.1.2 及时复测、纠偏

复核螺栓尺寸如存在偏差,及时对构件柱脚螺栓孔进行修正。重点对跨距两端混凝土立柱安装就位后两跨度间立柱顶部螺栓间距、垂直度等数据进行仔细复核。便于场外进行桁架预组装后尺寸复核、纠偏。经过严格控制,螺栓偏差控制在标准要求的规范内。

4.2 尺寸偏差控制

①下料尺寸。必须充分考虑切割分段、焊缝收缩、起拱、装配间隙等尺寸预留。上下弦下料时,在设计长度基础上为起拱预留 20mm^[1]。

②材料延展特性。主桁横梁预起拱烘烤过程中,必须考虑热胀冷缩因素,预留冷却后收缩余量。一般在设计拱高基础上预留 5mm 冷却收缩量。

③选择合理的拼装工艺。先进行下弦预起拱,然后进行上弦预起拱,随后进行腹杆拼装,工厂内预组装检查合格后,定位标识编号后送达现场。现场按照标识顺序,在预先搭设的组装平台上进行构件拼装。

④场外预起拱。构件起拱度偏小时,安装后梁下挠;起拱度过大时,易导致挤面标高超标。为确保桁架安装整体质量,必须严格按照设计要求进行构件预起拱,严格按照构件制作允许偏差进行各步检验,本项目最终桁架吊装就位后整体水平度符合规范要求。

4.3 全过程测量控制

桁架现场拼装、吊装就位过程采用全站仪进行实时跟踪测量。现场在控制基点上架设全站仪,进行钢柱坐标数据的自动采集,计算该点实际坐标和理论坐标的差值,即为该点的校正值。控制好校正值即可控制好桁架水平度。

4.4 构件变形控制

①构件翻身施焊或拼装前要进行加固,构件翻身也应进行找平,否则构件拼装后无法矫正。尤其是主桁架翻立和吊装时侧向刚度差易产生弯曲变形,主桁架吊装和翻立前,必须在其腹杆上采取通长加固措施,以增强桁架侧向刚度。此外,桁架整体起吊前,必须对钢丝绳与桁架梁 H 型钢接触锐角处设置保护措施,例如半圆保护管等;

②主桁成片运输入场过程中,必须以加工胎具同水平度工装进行构件运输途中支撑保护。

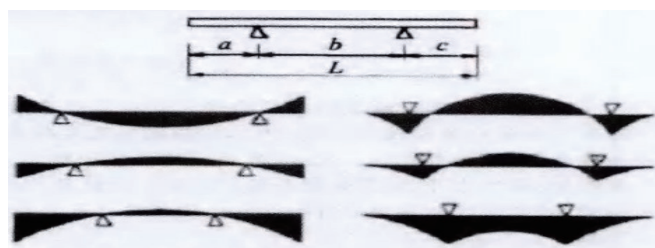
4.5 合理选择吊点

桁架起吊后,上下主梁需落位至轴线钢柱牛腿支座上,以高强螺栓连接。因此,吊点的选择和分布要保证起吊后梁在自重作用下两端的轴向相对变形为零

或接近于零,这样吊装至设计位置的梁才能顺利就位、螺栓自由穿入。吊点选择应满足:吊件变形和弯矩分布均匀,且数值较小原则。

吊装前,现场通过 MIDS 有限元软件模拟了桁架整体吊装过程,将桁架跨度 L (32m) 以 4m 等距划分,根据模拟演示:得知其中 $1/4L$ 及 $3/4L$ 处设吊点时,桁架变形及弯矩分布均匀且数值最小,分布合理。如图 3^[3]。

按照模拟数据安排起吊点实施吊装作业一次合格。



a) 变形 b) 弯矩

图 3 不同吊点位置的变形和弯矩

5 应用成果

通过整体吊装技术的合理计算、控制及实施,本次大跨桁架安装质量、安全得到良好控制。桁架拼装后起拱度实测拱高较设计值最大偏差为 1.9mm,桁架起拱、整体起吊就位后实测数据均在规范允许偏差范围内。整体安装效果良好,工期得到明显缩减。轴线大跨桁架一次吊装顺利就位。

6 总结

通过本次项目实践验证,整体吊装技术在大跨桁架安装施工中应用成效显著,利于施工安全及实体质量控制、工期短、适用性强,是一种成熟、实用的安装工艺,适于在石油化工装置区域场地受限情况下,大跨距钢结构桁架的安装。在今后化工建设项目中,尤其涉及跨路、跨老管廊频繁,场地受限、工期紧迫等情况,应用此安装工艺将会高效、快速、节约的完成项目建设。

参考文献:

- [1] 扬子石化码头扩建项目-后方配套工程设计资料、J75-76 轴线桁架安装过程数据、图片资料 [Z].2016 年 7 月.
- [2] 朱江.大跨度管桁架钢安装施工技术 [J].江苏钢结构, 2011(05):174-175.
- [3] B50205-2001. 钢结构工程施工质量验收规范 [S]. 北京: 中华人民共和国住建部,2011.