

大跨度钢桁架分段吊装施工技术研究

姜如英

上海建工集团股份有限公司

摘要：某大型项目中心屋顶为钢结构屋盖，屋面层钢桁架跨度大，最大跨度47.5m，构件安装难度大。采用大跨度钢桁架分段吊装技术，确保安全的情况下将构件精准地安装到位，取得了良好的施工成果及社会效益，为之后的类似工程提供参考。

关键词：钢结构；钢桁架；吊装

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2024.23.016

一、研究背景

随着钢结构技术的发展，大跨度桁架在空间结构中的应用变得越来越广泛^[1]，尤其在会展中心、体育馆、机场、火车站等公建项目应用较多，而此类项目的结构造型新颖奇特、节点构造复杂，这些空间节点定位精度要求高，焊接技术要求强，同时现场安装以及吊装施工也相对困难^[2-6]。如何在保证施工安全的前提下，将钢桁架等大跨度构件快速而又精准地安装到位，已成为目前最主要的问题。

国内大跨度钢桁架施工主要可采用以下三种方法：高空散装法、液压整体提升法和分段吊装法^[7]。高空散装法适用于施工工期较长的项目，且施工交叉作业难度大，项目管控难；液压整体提升法要求具备高素质的施工操作人员，技术实施难度大；相对而言，分段吊装法在施工安全、节点工期、费用和技术能力要求等方面，较另外两种方法更具有优势。分段吊装法在技术实施上易于操作，比较安全，节点工期也能够得到保证，因此大跨度钢桁架施工一般优先考虑分段吊装法^[8]。

本文结合某大型项目中心屋面桁架的施工项目，对大跨度桁架分段吊装施工技术进行初步探讨，为类似工程提供参考。

二、项目概况

项目地上钢结构主要分为外框钢结构（钢柱，钢梁）和桁架钢结构。屋面层桁架最长跨度47.5m，高4m，横向4榀纵向7榀，共11榀桁架，字母轴主受力多跨连续桁架共4榀桁架，分别为HJ-C、HJ-D、HJ-E和HJ-F，各榀桁架跨度均有两个大跨度，分别为

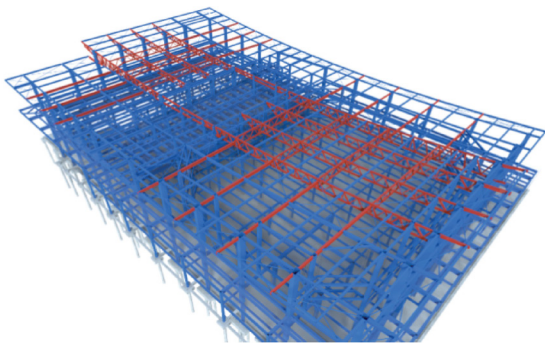


图1 项目屋面桁架示意图

33.6m和47.5m，各榀桁架间距为8400mm，桁架高度为1.8m~2.5m。屋面层数字轴桁架共7榀，西侧3榀桁架跨度25.2m，东侧4榀桁架跨度25.2m，桁架杆件均为H型构件。

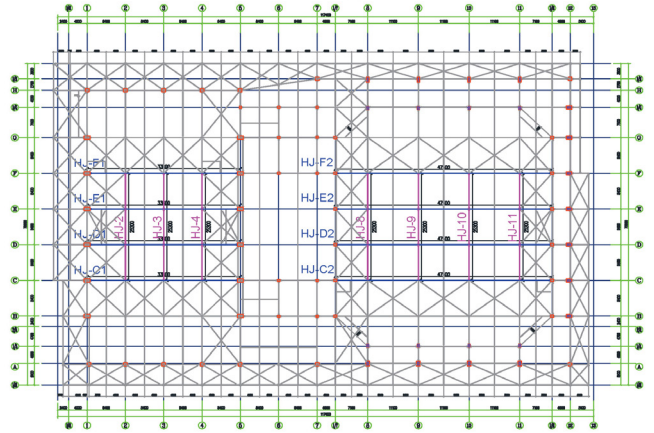


图2 项目屋面桁架平面布置图

三、施工工艺流程及总体技术路线

钢结构深化设计→方案设计、论证→构件工厂加工→运输进场→现场拼装→搭设临时支撑→分段吊装→卸载、支撑拆除。

在对结构的组成进行充分认识后，综合考虑经济性和安全性等因素，根据工程场布情况，采取以下施工安排：采用钢结构塔吊STT553B作为构件卸车机械。屋面桁架采用STT553B塔吊作为构件吊装机械，STT553B塔吊采用性能：L=64m，R=64m，Q=5.3t。场内临时道路进行构件运输，构件堆场在机械覆盖范围内。

在相邻两榀主桁架完成吊装作业后，立即开展主桁架之间的次桁架吊装工作，使主次桁架形成稳定的单元确保结构安全。

四、钢结构安装工艺

（一）字母轴主受力多跨连续桁架安装

1. 桁架分段

项目屋面桁架设计采用大跨度桁架，最大跨度可达47.5m，已经超过一般运输车辆长度，项目实施中采取分段运输方式。考虑到本项目存在施工工期紧、吊装难度大的特点，最终决定采取模拟预拼装技术，结合BIM模型，保证桁架加工的精确度和分段运输至现场安装的效率。加工厂基于BIM模型控制节点节点的加工过程精度，进而保障安装后整体精度，通过三维整体预拼，降低现场修整概率，保障施工工期^[9]。

F轴西侧桁架分三段进行吊装，东侧桁架分三段进行吊装，其中最东侧一段桁架由于高度原因运输条件限制需要现场地面拼装总重10.2t，拼装完成后进行

吊装, 以上, 由西到东分段重量分别为5.1t、5.4t、4.5t、9.1t、9.9t、10.2t。

D、E轴西侧桁架分两段进行吊装, 东侧桁架分三段进行吊装, 由西到东分段重量为5.2t、5.3t、4.5t、7.1t、7.4t、6.8t。

C轴西侧桁架分三段进行吊装, 东侧桁架分三段进行吊装, 其中最西侧一段桁架由于高度原因运输条件限制需要现场地面拼装总重6.8t, 拼装完成后进行吊装, 以上, 由西到东分段重量为6.8t、4.8t、4.2t、7.4t、7.8t、7.0t。

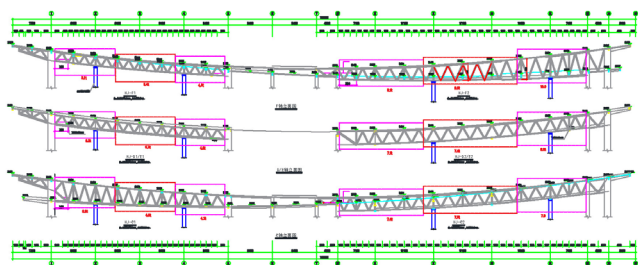


图3 屋面桁架分段立面示意图

桁架按照设计图纸要求数值在加工厂完成预起拱, 构件进场后, 在拼装阶段测量检验起拱度, 不足部分在拼装胎架支点出将起拱值加大到设计要求。

2. 设置拼装胎架

钢桁架胎架设置的关键是要满足稳定性和强度要求, 并需要适合于施工现场的拼装工况^[10], 根据不同拼装方式(竖拼或卧拼)进行调整。为了避免二次搬运构件情况的发生, 拼装场地设置应当在不影响桁架吊装作业的前提下, 尽可能靠近吊装点位。实施过程中考虑到采用卧拼的方式时, 桁架受自重的影响可能会有所偏移, 质量控制要求较高, 综合考虑后, 决定桁架拼装采用竖拼的方式。

3. 桁架拼装

桁架拼装流程如下: 1) 弦杆制作。拼制完成上下弦杆本体后, 根据构件制作定位线将上下弦杆划线定位, 并对加劲板进行划线定位, 加劲板在焊到弦杆上需及时矫正合格。2) 地样线及胎架设置。按整体放样图放样地样线, 桁架组装时将上下弦杆按地样线位置定位在胎架上。3) 零构件装配焊接。依次装配竖腹杆、斜腹杆、牛腿及其连接板和其他剩余零件。固定牢固腹杆与上下弦杆后, 最后完成正面上弦杆翼板与下侧牛腿的焊缝。

在对桁架各节点进行定位的时候, 需要运用全站仪等仪器设备来进行定位, 避免各段桁架之间产生过大的误差, 导致最终整体拼装失败^[11]。焊接桁架过程一定要按照合理的焊接顺序来进行, 避免由于错误的焊接次序导致焊接点应力集中出现焊点变形。在完成桁架整体拼装之后, 为了确保最终尺寸测量的准确, 需要将桁架上面全部的定位点全部去除, 从而保证其自由状态。

4. 桁架临时支撑布置

屋盖桁架采用分段吊装工艺, 在2轴线、4轴线、9

轴线和11轴线设置临时支撑, 临时支撑采用钢管, 截面为P609×12mm, 材质为Q235。

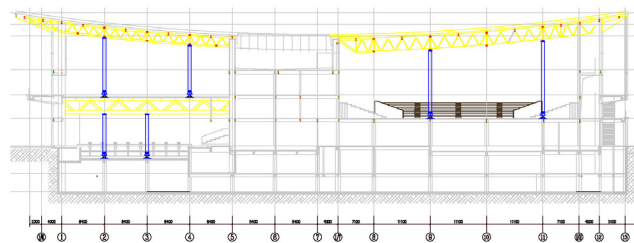


图4 临时支撑总体布置图

2轴线和4轴线处的临时支撑底部位于三层楼面上, 由该楼面的钢桁架支承, 临时支撑的高度约10.5m; 9轴线和11轴线处的临时支撑底部位于二层楼面上, 直接由框架柱支承, 临时支撑的高度约15.5m。609钢管支撑底部沿端板边缘与下部结构焊接, 单边角焊缝现场施焊。同时加设四根8#槽钢斜撑于相邻钢梁表面, 以保证支撑稳定性。

(二) 数字轴联系桁架安装

在横向(东西向)桁架全部吊装完毕后, 安装横向桁架间的纵向(南北向)桁架, 屋面层纵向(南北向)桁架共7榀, 西侧3榀桁架跨度25.2m, 通过一台STT553B塔吊进行吊装, 东侧4榀桁架跨度25.2m, 通过一台STT553B塔吊进行吊装。

由于桁架形状较规则, 分段长度控制在7m, 分段重量不超过3.5t, 满足吊装要求。关于横向桁架与纵向桁架交汇处处理方式, 横向桁架节点处设置牛腿, 保证纵向桁架段落与之连接。

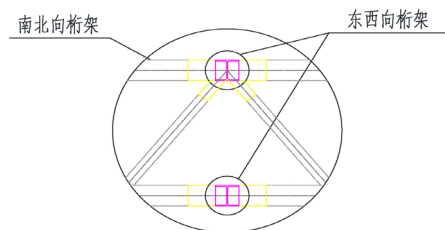


图5 桁架交汇处示意图

(三) 吊装工况及安装矫正措施

吊装范围如图所示, 均位于塔吊覆盖范围30m半径内, 根据STT553B塔吊采用性能: L=64m, R=64m, Q=5.3t起重载荷表, 30m半径内起重重量约14.17t, 屋面桁架最重分段约10t, 满足吊装要求。

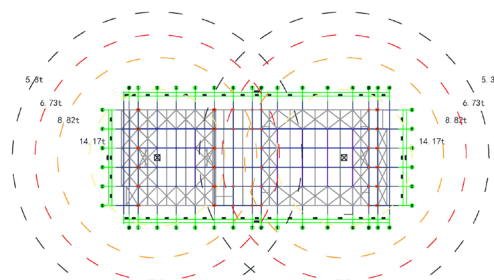


图6 吊装参数分布示意图

(1) 安装前对桁架跨距标高进行一次检测,一般在插完柱浇注完毕后进行定位尺寸的自检以便发现偏差和可以及早调整。

(2) 桁架在出厂前和进场后必须对连接件以及钢梁进行预检。预检内容包括桁架长度、剖口要求、螺栓孔尺寸位置、桁架的挠曲情况、预起拱量以及埋件的平整度。

(3) 桁架安装到位后,临时支撑上端头设置型钢H400×400×18×21并切割调整高度以顶紧桁架下弦杆,在连接处施焊(焊缝长度≥10cm),桁架对准钢柱或两侧桁架对接位置,对桁架上弦杆上下翼缘施焊(焊缝长度≥10cm)。临时固定按上述要求完成后,方可拆除吊索具。

(4) 构件当天应形成稳定空间。稳定空间单元内的构件应在就位临时固定后,立即进行校正,并随即永久固定。不应采用所有构件临时连接再永久固定的做法,这使得该单元内构件在其他构件安装时会产生变动,安装质量难控制。

(5) 焊接控制。为了减小焊接过程中的残余应力,避免产生明显的焊接变形,需要选择合理的焊接顺序、优化焊接参数和焊接流程(焊前预热、焊后热处理)、调整坡口角度。本项目实施中采用多层多道焊焊接方式,每层(每道)焊缝由两名焊工从两侧对角线位置按照相同的方向(顺时针或逆时针)同时对称焊接,且上下两层(两道)焊缝的焊接方向相反。为了改善焊接残余应力,适当减小焊口坡口角度。

(四) 临时支撑拆除

通过分不同行程的切割方式,进行临时支撑的卸载。根据现场施工预起拱的设置,每个切割行程均为400mm×400mm。

临时支撑拆除:(1) 支撑卸载完成后,使用STT553B塔吊挂勾吊住顶节609支撑段,操作人员利用抱柱脚手拆卸销轴螺栓,与下部支撑段脱离后拆除周围脚手并撤离人员,将顶层支撑段吊到地面;(2) 按照(1)的拆卸步骤逐层拆卸标准节地面。

五、效益分析

(一) 工期效益

采用了分段吊装法作业方法,降低了大跨度钢桁架的安装施工难度,作业效率显著提高,支撑体系采用单管临时支撑的形式,相比传统钢管扣件式支撑体系、碗扣架支撑体系、盘扣架支撑体系等支撑体系^[12-13],搭设体量减少,租赁费用显著降低,以大跨度钢桁架支撑为例,钢管扣件式支撑体在考虑塔吊负荷及正常流水作业的前提下,搭设需要10天左右。单管支撑仅需要2天完成同样工程量。单管支撑施工、拆除均快捷方便,场地利用率高,有效缩短了关键线路工期。

(二) 经济效益

单管支撑体系在满足钢桁架的承载力要求的前提下降低了构造措施的用钢量,单管支撑材料可重复利用、多次周转。分段吊装的作业形式充分利用塔吊等垂直运

输机械的性能与负荷极限,避免闲置提高了塔吊的利用率,带来了很好的经济效益。

(三) 社会效益

分段吊装后钢桁架受力性能完好,焊缝质量全部通过检测,观感质量良好,实践证明,采用本文论述的施工工艺及施工方法进行吊装作业安装速度快,施工质量一次成优,为类似大跨度钢桁架工程施工提供很好的借鉴,受到了业主、监理及行业人士的一致好评。

结语

本项目屋面吊装项目桁架跨度大、施工难度大,施工精度要求高。目前,在本文论述的大跨度钢桁架分段吊装工艺指导下,桁架加工、吊装、矫正、临时支撑拆除等一系列问题和难点得到有效解决,吊装作业已经圆满完成。本技术社会效益明显,进度方面亦节省了施工工期,获得了业主及设计的一致好评,经过实践证明,本技术方案行之有效,可供同类项目参考。

参考文献

- [1] 严擒龙, 苏海森, 胡海国等. 北京大兴国际机场南航机库大门桁架复杂节点的深化、制造及质量控制技术[J]. 建筑施工, 2020, 42(04): 474-477.
- [2] 陈思, 葛银萍, 吕航光. 大跨度钢结构吊装及安装关键技术[J]. 施工技术(中英文), 2022, 51(08): 26-30.
- [3] 吴晨辰, 徐柯. 九棵树(上海)未来艺术中心大跨度钢桁架施工技术研究[J]. 建筑技术开发, 2019, 46(16): 100-101.
- [4] 杨佳林. 体育场大悬挑钢桁架屋盖吊装施工技术[J]. 建筑施工, 2020, 42(07): 1149-1151.
- [5] 孙雁斌. 大跨度钢桁架分段吊装施工技术要点研究[J]. 四川建材, 2022, 48(07): 186-187.
- [6] 张青山, 张永坡, 刘杰. 大跨度钢桁架分段吊装施工工艺的研究[J]. 天津建设科技, 2021, 31(01): 66-68.
- [7] 郑海波, 梁琪. 大跨度钢桁架分段吊装施工技术[J]. 铁路技术创, 2015, (05): 52-54.
- [8] 陈示光. 大跨度钢桁架桥分段吊装技术[J]. 施工技术(中英文), 2022, 51(24): 60-64.
- [9] 高学岩, 孙宇, 张志福等. 大跨度多层跌级钢桁架安装技术研究[J]. 中国建筑金属结构, 2022, (10): 8-10.
- [10] 罗岗, 王恒, 刘京城等. 大跨度钢桁架安装施工技术[J]. 建筑技术, 2022, 53(07): 809-811.
- [11] 戚怀龙, 张凤龙, 高友谊. 大跨度钢桁架结构分段吊装技术研究[J]. 中国建筑金属结构, 2021, (10): 140-141.
- [12] 朱苓. 大跨度钢桁架施工的研究[D]. 吉林大学, 2018.
- [13] 张磊. 超长钢桁架设置临时支撑进行分段拼装的施工技术研究[J]. 建筑施工, 2019, 41(01): 75-77+81.