

Digital Construction of Steel Structure of Space Frame System

Weilong Shi

China Railway Tunnel Group Electromechanical Engineering Co., Ltd., Zhengzhou, Henan, 450000, China

Abstract

With the continuous development of modern architecture, steel structures stand out due to their lightweight and easy to shape characteristics. The novelty and artistic presentation of the shape cannot be separated from good installation methods. The rationality of steel structure installation methods is related to the control of installation accuracy and factors such as safety, quality, and economic benefits. The application of modern building BIM technology and digital construction technology is crucial for the deepening design of steel structures. The integration of overall construction organization has a good guiding role.

Keywords

spatial steel pipe truss; steel structure; intersecting nodes; hoisting; digital construction

空间桁架体系钢结构数字化建造

石伟龙

中铁隧道集团机电工程有限公司, 中国·河南 郑州 450000

摘要

随着现代建筑的不断发展, 钢结构以其轻量化便于造型等特点脱颖而出, 造型的新颖性、艺术性的展现离不开好的安装方法, 钢结构安装方式的合理性关系到安装精度的控制和安全、质量、经济效益等因素, 现代建筑BIM技术及数字化建造技术的应用, 对于钢结构的深化设计、整体施工组织的集成化具有很好的指导作用。

关键词

空间钢管桁架; 钢结构; 相贯节点; 吊装; 数字化建造

1 引言

苏埃通道南北岸风塔位于广东省汕头市濠江区、龙湖区, 两塔结构形式均为钢结构与混凝土核心筒组合形式, 风塔总高度 64.3m, 钢结构采用空间钢管桁架体系, 桁架节点采用钢管之间相贯焊接节点, 钢结构杆件管壁薄、节点处钢结构杆件众多, 非常复杂, 现场场地狭小, 采用 BIM 技术作为施工安装的核心技术点, 能够使钢结构材料加工、拼装安装等施工组织更加具有条理性, 从技术层面提前考虑施工过程的风险点, 并提出解决措施, 为安全施工保驾护航。

2 钢结构施工特点

南北岸风塔钢结构围绕混凝土核心筒安装, 北岸风塔表皮为铝板幕墙, 南岸风塔表皮为玻璃幕墙, 钢结构主要作用为幕墙的支撑骨架, 因此, 钢结构造型应与幕墙造型相匹

配, 精度要求极高, 以免影响幕墙装饰效果。钢结构内部为混凝土核心筒, 主桁架最大悬挑宽度为 3.800m, 钢桁架与混凝土筒体或底板采用外露式铰接节点。钢结构杆件类型共有 5 种, 分别为 $\phi 89 \times 4\text{mm}$ 、 $\phi 102 \times 4\text{mm}$ 、 $\phi 121 \times 4\text{mm}$ 、 $\phi 140 \times 5\text{mm}$ 、 $\phi 152 \times 5\text{mm}$, 焊缝等级二级^[1]。

每个节点处钢结构杆件众多, 最少 3 根, 最多 12 根, 钢结构节点处杆件形状各异, 加工精度要求高, 拼装精度要求高, 管壁比较薄, 焊缝数量多焊接难度大。

3 建模深化, 组建数据库

由专业化设计人员根据设计院出的施工图, 进行建模, 建模流程主要包括:

- ①根据现场测量交桩点位坐标及设计图纸坐标在模型空间中进行定位并建立轴网。
- ②根据每层层高确定标高, 根据每层平面图确定节点坐标。
- ③定位构件, 对构件进行编码。
- ④输入构件钢材类别、截面尺寸、表面处理工艺等信息。
- ⑤构件连接节点、焊接工艺输入, 并进行微调。
- ⑥完成建模。

【作者简介】石伟龙(1989-), 男, 中国河南商水人, 本科, 工程师, 从事建筑机电安装、装修工程及钢结构施工技术研究。

4 通过模型分析，进行施工组织

建立模型对风塔钢结构形态有一个整体认知，分析钢结构层高及平面关系和钢结构的重心和受力体系。根据钢结构受力体系初步将钢结构分为 11 节，45 个单元块。

再通过 BIM 软件对钢结构的单元块的受力体系、吊装稳定性、杆件吊装受力变形量进行分析，均符合要求。充分考虑施工效率影响，将部分杆件从单元块拆出作为散件单独吊装，能够使单元块能够批量化生产、方便拼装，形成流水化施工来提高安装效率^[2]。

由于钢结构呈扭曲向上的异形空间结构，每层的单元块重心点不一致，根据模型分析考虑采用不同长度钢丝绳进行三点式吊装。将现场平面数据反馈进模型中，通过施工模拟分析，确定吊车站位及行走路线，并对相应位置进行场地硬化，保证承载力符合要求。并根据单元块理论重量、吊装高度、吊装半径进行吊车选型，照顾到吊车使用方案经济适用的同时又具备一定的安全冗余量。

根据南塔钢结构特性，钢结构每层扭转 4.5°，总共扭转 90°，所以钢结构整体呈螺旋上升状，所有钢结构立柱为空间曲线，每一节的四个单元块是一块压一块的状态，由于风塔钢结构一面临海，一面靠近道路，为保证施工安全，根据钢结构形式和吊装难度，将钢结构单元块按照顺时针方向进行吊装，编排序号为一至四，从海边开始到海边结束。

5 深化下料相结合，材料到货可视化

由于风塔钢结构杆件数量较多，且各杆件连接节点为相贯节点，节点处杆件最多有 13 根，杆件节点处相贯线特别复杂，采用传统方式下料会导致相贯线表达不清晰，容易发生错误，由 SinoCAM 数字化加工软件直接在 BIM 模型中提取杆件及相贯线的加工信息，进行排版套料，并将相应信息输入数控相贯线切割机进行切割加工^[3]。

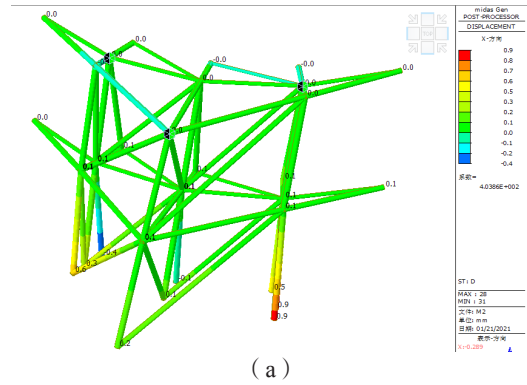
钢结构杆件到货一般考虑到打包、方便运输等因素影响，往往会将长度差不多的杆件打包一起，过长及过短杆件则比较零散，杆件会存在比较混乱的现象，导致现场大量堆积，又不好查找。

根据钢结构杆件编号及条码，对钢结构杆件进行入库管理，根据现场已布置好的材料堆放区对不同类型杆件、不同单元块的杆件分类进行堆放，方便单元块拼装时调取。将到货清单反馈进模型数据库，现场可根据模型清楚材料到货情况，有效避免到货材料到货后无法安装，急需材料没到货等现象。

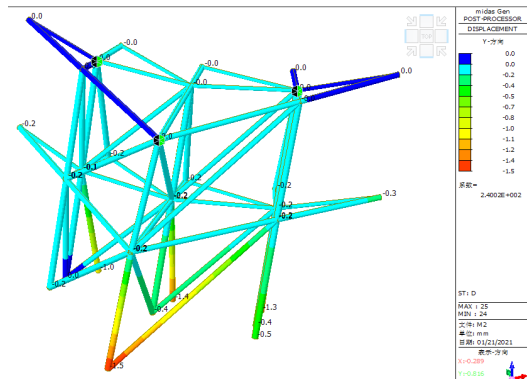
6 钢结构施工模拟

根据模型分析，风塔钢结构共计可分为 11 节，每节可分为 4 个单元块。根据现场条件及软件模拟情况，可在现场设置两个吊装区用于钢结构单元块的吊装，能够满足钢结构实体吊装需求。在现场设置三个拼装区、多个材料堆放区，便于单元块的拼装。

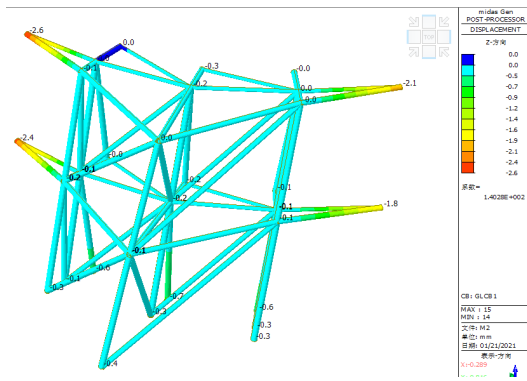
吊装情况分析是钢结构施工中的重点，南塔钢结构根据划分好的单元块分别对 X、Y、Z 轴三个方向进行应力分析并选择吊装点，具体分析情况如图 1 所示。



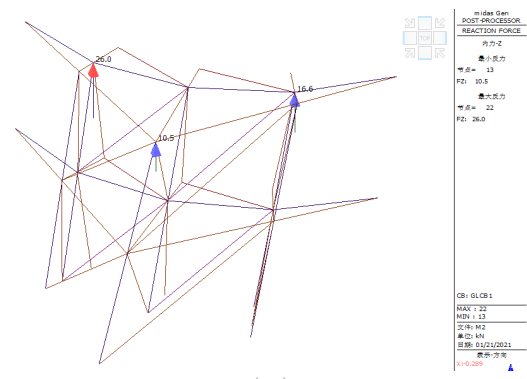
(a)



(b)



(c)



(d)

图 1 吊装点选择与应力分析

利用 BIM 软件结合吊车吊装性能、单元块重量、作业半径、角度、吊车臂长等因素进行吊装工况分析, 15m 以下采用 25t 汽车吊, 15~35m 采用 50t 汽车吊, 35~45m 采用 80t 汽车吊, 45~65m 采用 130t 汽车吊, 顶盖吊装采用 400t 汽车吊。图 2 为钢结构吊装模拟分析。

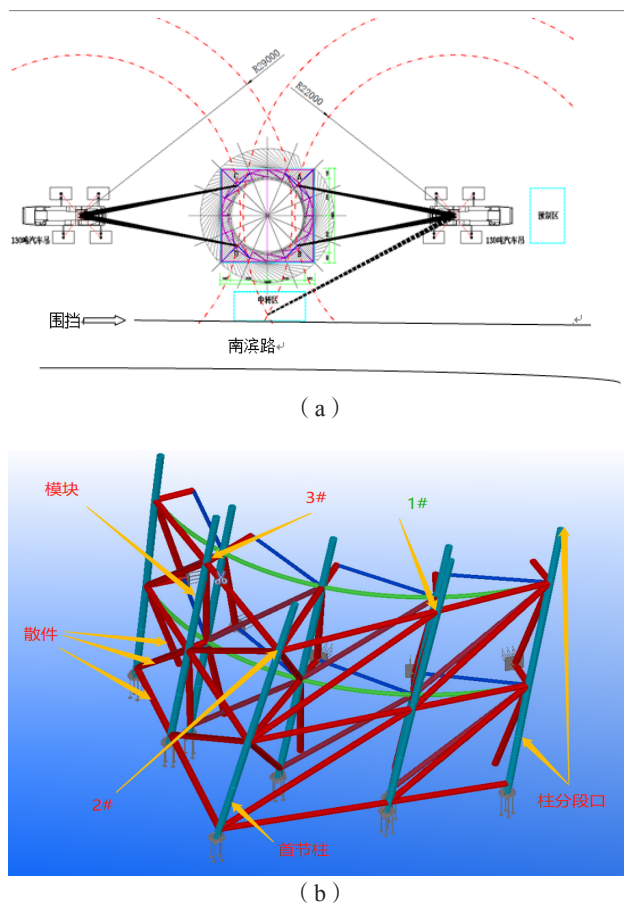


图 2 钢结构吊装模拟分析

7 钢结构安装过程数字化

7.1 工艺流程

单元块拼装→单元块吊装与定位→散件安装→检测验收。

7.2 操作要点

7.2.1 单元块拼装

钢结构单元块拼装时可根据杆件编号或者条形码, 通过三维视图区分对应位置, 杆件拼装顺序为先定位竖向杆件, 再拼装横向杆件, 最后拼装斜向杆件, 拼装完成后要检查各杆件位置、拼装角度, 焊缝尺寸, 空间坐标, 在节点处贴上反射片, 确保单元块安装精度。

7.2.2 单元块吊装与定位

钢结构单元块吊装前应进行安全检查, 单元块安全施验收, 单元块吊装过程中应先将单元块调至相应位置, 在不松钩的情况下, 为保证两节钢结构杆件对接精准, 需采用倒链拉近杆件, 采用肋板将两节钢结构逐步压紧拼接对齐, 通过全站仪测量单元块坐标符合要求后, 再将钢结构纵向杆件焊接牢固, 横向连墙杆件焊接牢固, 吊车松钩。

每吊装完成一个单元块在模型数据库中进行动态更新, 每吊装完成一节在模型数据库中更新相应位置, 实际吊装的钢结构节点坐标、标高与设计坐标标高进行对比, 超出规范要求值要进行调整纠偏, 避免累积误差过大^[4]。

7.2.3 散件安装

每一节钢结构单元块吊装完成后, 在进行两节中间散件的拼装, 散件拼装时应将散件吊运至钢结构平台上, 在由内至外, 逐根拼装。减少钢结构高空作业量。

由于散件安装比较零散, 易漏装错装, 通过 BIM 模型可对累计安装数据和总安装数据进行比对, 可以反馈未安装构件数量及区域, 起到查漏补缺的作用, 避免二次返工。

7.2.4 检测验收

钢结构焊接完成后, 先对钢结构进行测量, 根据规范验收安装精度, 再请第三方检测单位对钢结构焊缝进行无损探伤检测。

8 过程存在的问题

①图纸深化到加工阶段还需进一步研究, 由于各软件特性等原因, 过程对接存在问题需进行解决, 可探寻更优解决方式。

②数字化建造过程监控需技术人员不断更新, 集成化程度不高, BIM 技术与现场配合还存在一定问题。

9 结语

现代建筑行业不断朝向智能化、装配式发展, 数字化在各领域已逐步发展, 钢结构在现代建筑工程中的应用越来越多, 造型复杂钢结构应用 BIM 技术与数字化技术进行生产加工、安装已逐步成为发展趋势^[5]。

参考文献

- [1] 丁烈云. BIM应用施工[M].上海:同济大学出版社,2015.
- [2] 陈科,唐华,罗家望.复杂钢结构体高空吊装定位技术研究[J].重庆建筑,2010,9(7):3.
- [3] 龚建,房震宸.数字化施工[M].北京:中国建筑工业出版社,2019.
- [4] 李红豫,李恒,张璐. BIM模型与结构分析平台的信息转换关键技术研究[J].建筑结构,2020(S1):30-37.
- [5] 袁烽,孟媛.基于BIM平台的数字模块化建造理论方法[J].时代建筑,2013(2):30-37.