

建筑钢桁架提升施工技术分析

文 / 张永斌 甘肃航润建筑劳务有限公司

摘要：钢结构建筑凭借其自重轻、强度高、施工快等优势在工程建设中得到广泛应用，钢桁架作为钢结构的关键受力构件，其安装质量直接关系到建筑安全。文章以某大型商业综合体钢桁架工程为研究对象，深入剖析了大跨度钢桁架的施工难点，提出了“分片吊装、高空散拼、整体提升”的创新施工工艺。通过优化临时支撑体系、开展精细化施工模拟分析、实施信息化质量安全管控等系列举措，实现了复杂钢桁架的精准高效施工，以为同类工程提供了可资借鉴的技术方案和管理经验。

关键词：建筑项目；钢桁架；施工技术

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2025.19.012

引言

近年来，随着钢结构设计理论与施工工艺的不断进步，大跨度钢桁架在现代建筑中的应用日益广泛。然而，钢桁架施工往往面临运输困难、高空作业、测量复杂、安全风险高等诸多挑战，如何在保证工程进度和施工安全的前提下，实现钢桁架的高精度装配，已成为工程建设的关键议题。基于此，文章以某大型商业综合体钢桁架工程为例，系统探讨复杂钢桁架从方案优化、技术创新到质量安全管控的系统解决方案，以为同类工程提供参考和启示。

一、钢结构桁架施工难点与重点分析

（一）桁架跨度大、吨位重，高空散拼难度大

钢结构桁架由于其跨度往往较大，自重较重，给施工带来了诸多挑战。桁架的尺寸动辄数十米，重量可达数百吨，完整运输困难，常需分解为多个构件进行运输。然而，将这些构件在高空进行组对和拼装，难度非常大。高空作业面临的安全风险、施工强度、技术要求都远高于地面作业。同时，高空散拼质量难以保证，构件之间的偏差累积会导致几何尺寸和空间位置偏离设计要求。因此，如何在保证施工安全和质量的前提下，实现超大型钢桁架的高效拼装，是施工单位必须攻克的难题。

（二）精确定位、高空组对存在安全隐患

钢桁架施工中，精确测量放线是确保构件空间位置和几何尺寸的基础。桁架跨度大，测量难度大，稍有偏差，在拼装中将被放大数倍。而高空测量作业，既面临测量精度难以保证的困境，又存在作业人员坠落、物体打击等安全隐患。桁架构件多为异型截面，形状不规则，高空组对需要借助多机具配合，如塔吊、施工升降机等，加大了交叉作业的安全风险^[1]。在狭小空间内，工人需要频繁攀爬、转移，体力消耗巨大，容易产生疲劳，进一步提高了人员安全隐患。因此，如何在保障人员安全的前提下，实现构件的高空测量、组对，考验着项目管理团队的水平。

（三）卸载均衡性、结构变形协调控制要求高

在钢桁架安装完成后，往往需要通过同步卸载将桁架转移至永久支座。而庞大的桁架体系，各构件之间的应力分布高度超静定，如果多点支撑的卸载不能同步，极易引起桁架局部应力集中，产生超出预期的变形甚至破坏^[2]。同时，桁架在自重作用下，上弦杆将产生压缩，

下弦杆产生拉伸，桁架跨中也将产生一定下挠。这些变形必须控制在设计允许范围内，并与两端支座的变形相协调，否则将引入附加应力。因此，对关键部位变形的监测分析和控制也至关重要。

二、某大型商业综合体钢桁架提升关键技术

（一）工程概况

1. 结构概况

某大型商业综合体项目位于城市核心区，总建筑面积达15万平方米，包含商业、办公、餐饮、会展等多种业态。该项目钢结构施工量大，尤其是大跨度钢桁架体系复杂，施工难度高。其中最大跨度达到54米，最重单榀桁架35吨，整个项目钢桁架用量高达2000吨。钢桁架需在50米高空散装，对施工工艺和安全管控提出了严峻挑战。

2. 中庭实腹桁架

项目中庭采用四榀实腹式钢桁架，呈正方形布置。单榀桁架长36米，高4.5米，由矩形钢管弦杆和H型钢腹杆组成，采用高强螺栓连接。桁架支承在钢筋混凝土柱钢梁托座上，与钢柱刚性连接。四榀桁架在空中通过纵横向次梁相连，形成稳定的整体桁架体系。考虑到桁架自重较大，为了避免运输困难和高空整体吊装的风险，拟采用分片吊装和高空拼装的施工方案，这对施工精度和安全管控提出了较高要求。

3. 入口空腹桁架

商业综合体入口厅设计了两榀空腹式桁架，采用型钢弦杆和圆钢管腹杆。桁架西端支承在钢筋混凝土框架上，东端与中庭实腹桁架连接。由于入口厅桁架跨度达54米，为整个项目最大跨度，同时考虑建筑造型要求，桁架采用非对称变截面设计。桁架在运输和吊装过程中极易产生变形。如何在确保几何尺寸和空间位置的前提下，高效完成桁架拼装和安装，是项目团队面临的一大技术难题。

4. 西南悬挑弧形桁架

项目西南角设有一个半圆形悬挑平台，采用弧形竖向桁架和水平桁架相结合的受力体系。其中竖向弧形桁架悬挑18米，桁架高6米，宽3米。竖向桁架底部固定在混凝土框架上，顶部通过圆环桁架连成整体。弧形桁架施工难点在于其异型曲面构件的加工制作和高空拼装定位。同时，由于悬挑结构自重较大，在脱离临时支撑

时，极易产生超出预期的变形。因此，在方案设计阶段就需要对此进行针对性的分析和应对。

(二) 提升施工方案

1. 临时支撑设计

针对钢桁架施工的特点，项目团队制定了“分片吊装、高空散拼、同步提升”的总体施工方案。其中临时支撑体系是确保施工安全和质量的关键。该项目采用钢管扣件式支撑体系，纵横向立杆间距不大于3米，水平剪刀撑间距不大于1.5米。临时支撑体系的主要构件规格和材质如表1所示。各杆件连接采用轧制法兰盘和高强螺栓，确保连接刚度和整体稳定性。支撑体系通过有限元建模，对不同施工阶段进行全过程受力分析，并进行了支撑整体倾覆验算、杆件强度和稳定性校核。

表1 临时支撑体系主要构件信息

构件名称	规格	材质
立杆	Φ609mm×12mm	无缝钢管
横杆	Φ609mm×12mm	无缝钢管
剪刀撑	双根 Φ48mm	螺纹钢
法兰盘	20mm厚	Q345B钢板

2. 格构式法兰支撑构造

该项目创新采用了格构式法兰盘作为支撑体系的核心构件。法兰盘由Q345B钢板切割加工而成，采用十字交叉布置。相邻法兰通过高强螺栓连接，支撑立杆与法兰盘焊接。格构式法兰布置增加了体系的空间刚度，有利于提高支撑的整体侧向稳定性。同时，采用法兰盘连接也便于支撑拆卸和周转使用。支撑顶部设置顶托结构，桁架通过短柱与顶托焊接。在桁架安装过程中，可通过千斤顶和顶丝调节桁架标高和空间位置，确保安装精度。

3. 临时支撑布置

桁架吊装施工采取地面散拼和分片提升的方式，拼装单元长度控制在12米左右，单件重量不超过15吨。临时支撑布置需要满足桁架高空拼装和焊接施工的要求，既要有足够的空间用于焊接作业，又不能布置过于稀疏影响体系整体稳定性。中庭实腹桁架和入口厅桁架在两端及1/4跨设置临时支撑，悬挑桁架每隔9米设置一道支撑。同时，在桁架节点处也布置了支撑，以提供拼装定位和焊接操作平台。通过全过程变形监测分析，优化支撑布置，既满足了施工要求，又确保了结构安全。

4. 分步卸载工艺

钢桁架在临时支撑上施工完成并经检验合格后，需要通过同步卸载，将荷载转移到永久支座上。该项目采用分步卸载的方式，每次卸载量控制在5mm左右。首先卸载非关键部位支撑，通过监测分析，确认桁架受力和变形满足要求后，再逐步卸载关键部位支撑。对于跨中变形和端部支座反力，采用同步千斤顶顶升的方式进行主动调节，确保桁架成型质量。卸载过程严格执行“测量放线-千斤顶顶升-支撑拆除-构件焊接”的操作循环，直至所有临时支撑拆除，桁架成功转移到永久支座。

(三) 计算分析

1. 提升平台荷载模拟验算

整体提升施工过程中，桁架自重和施工荷载全部由临时支撑体系承担，因此有必要对支撑进行详细的受力分析。项目采用有限元软件对钢支撑进行三维建模，考

虑了桁架自重、施工人员和设备的活荷载。将各工况荷载施加在桁架节点位置，通过变截面梁单元模拟桁架构件，协同模拟临时支撑与桁架的受力行为。分析结果表明，在各工况组合下，支撑体系最大挠度为38mm，满足规范要求，支撑杆件最大应力比为0.85，满足强度要求。同时，还对支撑体系进行了整体稳定性分析，考虑了水平风荷载，支撑整体安全系数达到3.5，满足规范要求。

2. 桁架仿真变形协调分析

在临时支撑拆除和荷载转移的过程中，桁架将产生一定的变形。为保证成型质量，需要对变形进行精确分析和控制。该项目采用有限元软件，建立了包含桁架及支座在内的三维实体模型，通过弹塑性材料本构、接触单元等，真实模拟了桁架在不同施工阶段的受力变形特征。分析表明，桁架在自重作用下，跨中最大挠度为跨度的1/300，远小于规范限值。同时，还对桁架安装的初始预拱度进行了优化分析，通过在桁架跨中预留50mm的预拱度，实现了成型后桁架跨中挠度近似为零，有效控制了成型质量。

3. 监测点位设置及预警值确定

为掌握钢桁架提升过程中的受力变形特征，指导施工控制，项目实施了桁架安装过程的监测。通过在关键部位布置静力水准仪和应变计等，对桁架的变形和应力进行了实时监测。通过对不同施工阶段的数据分析，与有限元模拟结果进行对比，及时优化调整施工方案，如图1所示。同时，基于变形协调分析的结果，制定了不同施工阶段的变形控制预警值。当实测变形超过预警值时，及时启动应急预案，对施工参数进行动态优化调整，确保桁架成型质量受控。监测数据也为后续类似工程提供了丰富的参考依据。

三、质量控制与安全管理

(一) 专项方案编制与交底培训

钢桁架提升施工涉及较多的高风险作业，必须高度重视施工安全管理。项目实施前，组织各参建单位进行了专项施工方案的编制和论证，形成了“总体施工组织设计、安全管理计划、吊装作业指导书、应急救援预案”等一系列文件。在现场施工前，项目总工主持对管理人员和操作工人进行了安全技术交底和岗位培训。通过学习桁架提升施工工艺流程、安全风险辨识、应急处置措施等，使每个作业人员都明确自身的安全职责。同时，还定期开展员工的安全教育培训，学习典型事故案例，观看警示教育片，签订安全承诺书，强化员工安全意识^[3]。通过制度化、流程化的教育培训，为项目顺利实施奠定了坚实基础。

(二) 精确测量放线控制

桁架精确安装的前提是测量放线到位。鉴于该项目规模大、跨度长、高差多的特点，项目采用了免棱镜全站仪、精密水准仪、钢尺等多种测量手段。对施工现场进行了全面的控制网复测，并在桁架吊点、支座基准点等关键部位设置了标识明显的控制点。桁架构件进场后，全部采用全站仪测量，将测量数据与深化设计图纸复核，及时调整构件加工误差^[4]。吊装过程中，每个构件节点都严格控制标高和平面位置偏差，确保拼装精度。在临时支撑和永久支座处，还利用精密水准仪进行高程传递，

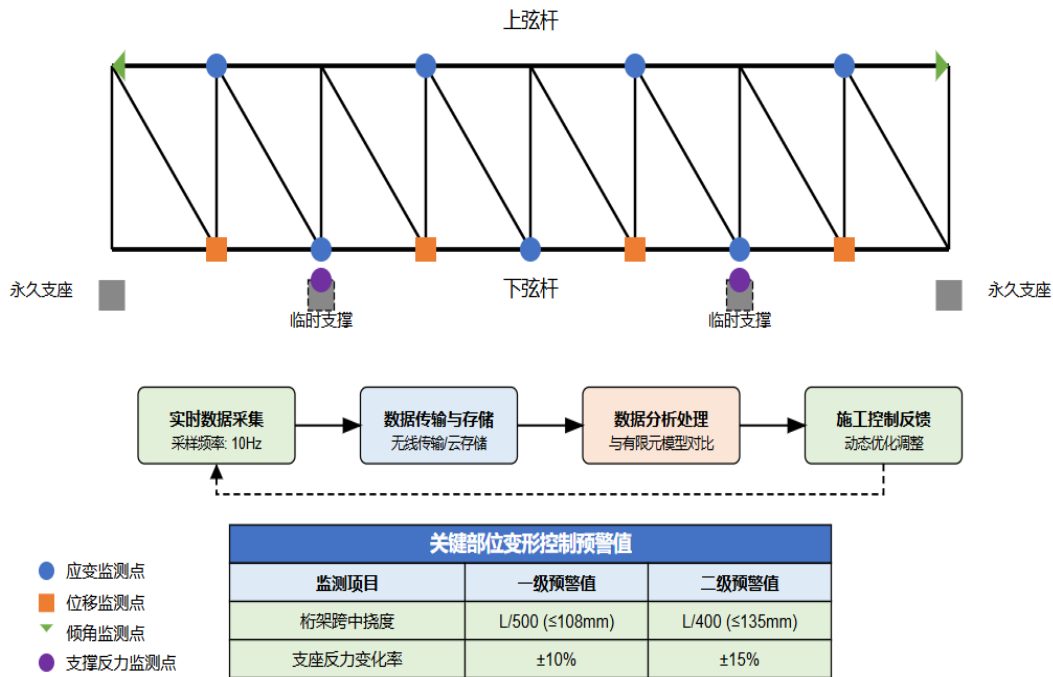


图1 钢桁架提升检测系统布置及数据分析流程

为桁架线形控制提供了可靠保障。桁架合拢环节，更是严把几何尺寸“三关”，确保了施工质量。

(三) 高空临边防护要点

项目施工最大高度达50米，高处坠落是重大安全风险之一。为有效防范，项目成立了高处作业管理小组，制定了高处作业安全管理制度和操作规程。桁架施工采取“板式钢平台+钢管护笼+安全立网”的立体防护，对临边和洞口采取“防护栏杆+安全警示线”的防护。同时，要求所有高处作业人员必须正确佩戴安全带，采用“一人一档一钩”的使用原则。高空作业现场还设置了兼职安全员，对作业人员进行旁站监护，发现问题及时制止和纠正。在防护设施和监督管理的双重保障下，项目顺利实现了高处作业“零事故”的目标。

(四) 吊装区域封闭管理

桁架吊装施工占地面积大，不可避免的与其他工序交叉作业。为消除安全隐患，项目实施了吊装区域封闭管理。在桁架吊装半径内设置了硬质围挡，并在醒目位置设置安全警示标识，严禁非吊装作业人员进入。吊装施工时，还在作业区外围设置软隔离，配备专职安全监护人员，控制人员和车辆进出。塔吊、施工升降机等大型设备采取统一调度，避免交叉作业。吊装现场还合理布置了临时用电设施，采取“三级配电两级漏保”的用电保护，并对特种作业人员进行了复工考核^[5]。通过划定“管理区、警戒区、禁区”三道防线，形成了“人防、物防、技防”三位一体的本质安全。

(五) 应急预案编制及演练

由于该项目桁架跨度大、提升高度高，一旦发生事故极易造成重大人员伤亡和经济损失。项目高度重视应急管理，成立了现场应急领导小组，编制了系统的施工应急预案，明确了应急组织体系和职责分工。预案针对

起重伤害、高处坠落、触电、火灾等场景，制定了详细的应急处置程序和措施。在现场配备了灭火器、救生绳、担架等必要的应急物资，并定期检查维护，确保随时可用。同时，项目还定期组织桁架提升施工应急演练，模拟各种突发事件，检验应急预案的可操作性。通过不断修正完善，使应急预案更加贴近施工实际，为项目安全生产提供了坚强保障。

结语

综上所述，大跨度钢桁架施工是一项复杂的系统工程，涉及方案优化、技术创新、精细管理、团队协作等诸多方面。该项目在继承成熟施工工艺的基础上，通过优化升级临时支撑体系、创新施工工序和卸载方案、加强全过程质量安全管控，克服了复杂钢桁架施工的技术难题，实现了工程的高质、高效、安全建设。同时，该项目在施工过程管理中广泛应用BIM、物联网、大数据等信息化技术，提高了管理水平和决策效率，也为钢结构工程建设的数字化转型提供了有益探索。

参考文献

- [1] 康颖琦. 大跨度桁架+网架的钢结构屋盖提升技术分析[J]. 江西建材, 2024, (07): 270-272+285.
- [2] 尹俊杰. 基于建筑钢桁架提升施工技术及其质量控制的探讨[J]. 土木工程, 2024, 13(06): 922-929.
- [3] 倪信. 大跨度钢桁架连廊整体提升施工技术分析[J]. 安徽建筑, 2024, 31(06): 35-37.
- [4] 杨宗勉. 某超高层建筑钢结构工程施工技术重点难点分析[J]. 建设科技, 2024, (10): 86-88.
- [5] 蒋亚铭. 大型桁架网屋盖整体提升施工技术[J]. 铁道建筑技术, 2020, (07): 145-147+161.

作者简介: 张永斌, 1986年1月10日, 男, 汉, 甘肃省兰州市, 本科, 中级工程师, 研究方向: 土木工程。