

# 大跨度钢桁架分段吊装与高空拼装施工工法

## 1 前言

1.0.1 为应对城市建筑空间不足问题，城市建筑逐渐向高空、大跨径发展。钢桁架作为大跨度建筑的关键构件，其施工质量直接影响建筑整体质量及安全。传统的钢桁架高空安装技术主要有 2 种方法，一种方法为采用塔吊直接吊装就位，该方法比较常用，但安全性不高，且受塔吊自身因素以及环境因素影响较大；另一种方法为当塔吊工作荷载及工作半径受到限制，无法直接采用塔吊安装时，则采用在需要安装的钢桁架下方搭设满堂脚手架作为安装钢桁架的临时支撑体系，该临时支撑体系在安装钢桁架全过程中承担结构自重及施工荷载，并通过现场拼装完成钢桁架的安装。由于需要搭设临时支撑体系，对工程施工进度以及施工成本影响较大，同时过多的高空拼装相比地面拼装，在焊接质量、成品尺寸等方面均较难保证，对工程施工质量造成影响。

1.0.2 鉴于此，为解决大跨度钢桁架高空安装施工过程中的危险大、质量差、成本高、进度慢的问题，本工法申报单位和国内知名高校展开相关研究，对常用的方法进行比较、分析并结合新工艺，最终形成大跨径竖向异形钢桁架高空拼装施工工法。工法申报单位积极将相关技术应用于实际工程，取得了较高的经济技术效益，并将施工技术和经验进行总结，集成了《大跨度钢桁架分段吊装与高空拼装施工工法》这一企业级工法，并在工程实践中，不断探索、完善，集成了本次工法的申报文本。经国家一级查新机构进行科技查新，本工法在

国内尚未见有相同的施工方法及相同研究成果的公开报道。本工法核心技术获授权实用新型专利 3 项：钢结构现场拼装用吊装装置（ZL202221793757.7）、钢构件用的吊装装置，（ZL202221716428.2）和一种钢结构吊装专用 U 型扣（ZL202320228716.1）。本工法关键技术已于 2024 年 4 月 7 日通过了浙江省产学研合作促进会组织的科技成果评价（浙产促科评字[2024]第 002 号），总体达到了国内领先水平。

## 2 工法特点

2.0.1 结构稳定，施工安全。提出了履带吊上地下室顶板钢平台改良加固技术，提高钢平台稳定性与整体刚性，满足履带吊在钢平台上施工的安全性要求，提高了履带吊施工的安全性。

2.0.2 结构可靠，安装便利。研发了用于临时固定的竖向桁架支撑架，提高了竖向桁架支撑架的结构可靠性，满足竖向桁架安全安装要求，实现临时固定支撑架拆卸便利、重复使用要求，缩短施工工期，节约临时支撑结构安装拆卸成本。

2.0.3 虚实结合，安装精度高。研发了实体预拼装与计算机虚拟预拼装相结合的钢桁架拼装技术，实现了钢桁架虚拟预拼装与实体预拼装的相互验证，显著提高钢桁架拼装精度和效率。同时，与单一实体预拼装技术相比，在虚拟预拼装技术下指导的实体预拼装技术，可降低钢桁架多次预拼装成本，提高实体预拼装效率。

## 3 适用范围

本工法适用于钢桁架高空拼装工程的施工，尤其适用于对安装精

度、施工效率和施工安全性要求较高的大跨径竖向异形钢桁架高空拼装施工。

## 4 工艺原理

本工法主要包括履带吊上地下室顶板钢平台改良加固技术、用于临时固定的竖向桁架支撑架和实体预拼装与计算机虚拟预拼装相结合的钢桁架拼装技术，其工艺原理可概括如下：

4.0.1 为实现履带吊在高空钢平台安全、自由作业，研发了一种履带吊上地下室顶板钢平台改良加固技术。如图 4.1 所示，钢平台构件立柱采用截面口  $500 \times 500 \times 20$ ，主次梁均为口  $500 \times 500 \times 20$ 。钢平台上部铺设约 200mm 厚的路基箱，在钢路基箱顶板上加焊防滑钢条，增加履带吊在其上部行走的摩擦附着力。

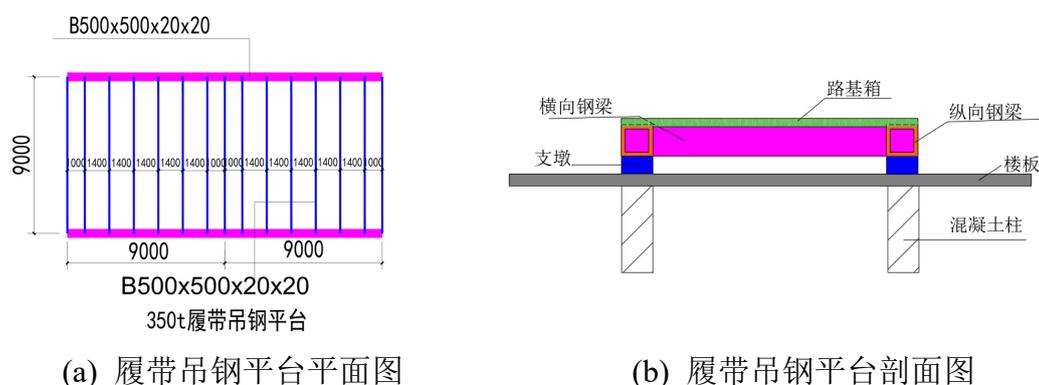


图 4.1 履带吊钢平台示意图

4.0.2 如图 4.2 和图 4.3 所示，支撑钢平台的小立柱与混凝土结构采用钢板埋件连接，小钢立柱大部分位于混凝土柱顶，直接传力至基础；部分位于混凝土梁上，需要采用钢管口  $350 \times 350 \times 20$  进行反顶支撑，顶部预设埋件。

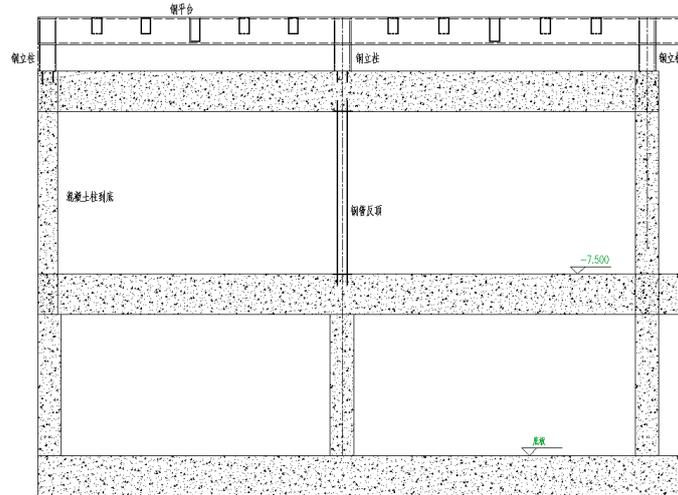


图 4.2 反顶设置立面

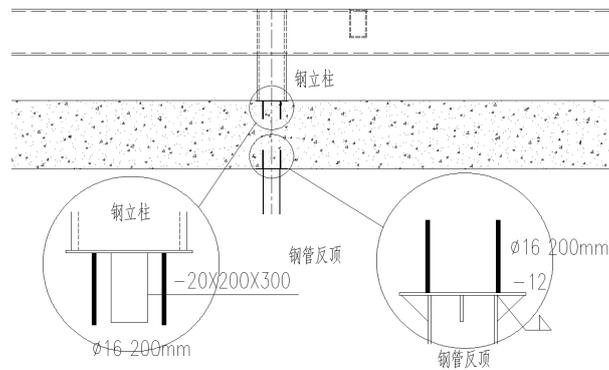


图 4.3 钢立柱预埋结构

4.0.3 如图 4.4 所示，钢平台小立柱与混凝土结构采用 $-20 \times 550 \times 550$  钢板埋件连接，在埋件钢板下部设置 $-20 \times 200 \times 300$  抗剪键，同时，支撑与混凝土结构采用 $-12 \times 500 \times 500$  钢板连接，并在支撑端部设置 4 块外加劲板，以提高结构的稳定性和整体刚性。

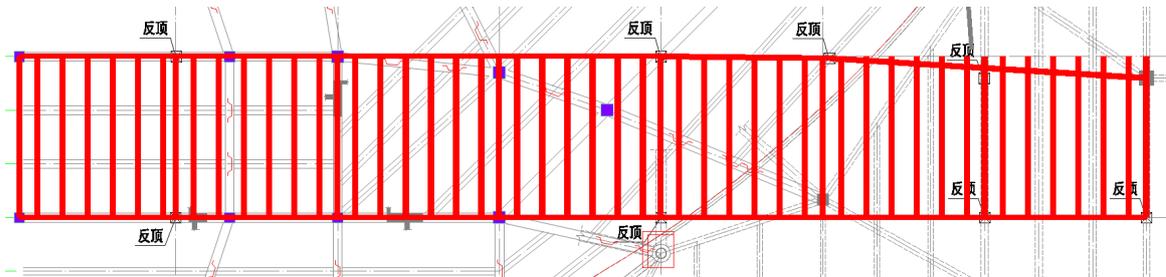


图 4.4 需反顶位置平面布置

4.0.4 针对现有钢桁架结构复杂、标高多、承载受力结构不规则

和梁柱节点分散等问题，研发了一种用于临时固定的竖向桁架支撑架。如图 4.5 所示，支撑架四肢采用  $\phi 140 \times 5$  钢管，缀条采用  $\phi 60 \times 3.5$  钢管。承重胎架由 4 片胎架组成，胎架接长采用 M16 $\times$ 50 高强螺栓连接，竖向桁架下部支撑设置在 0.000m 标高楼面混凝土梁上，混凝土梁下部使用钢管反顶 2 层至基础板面。

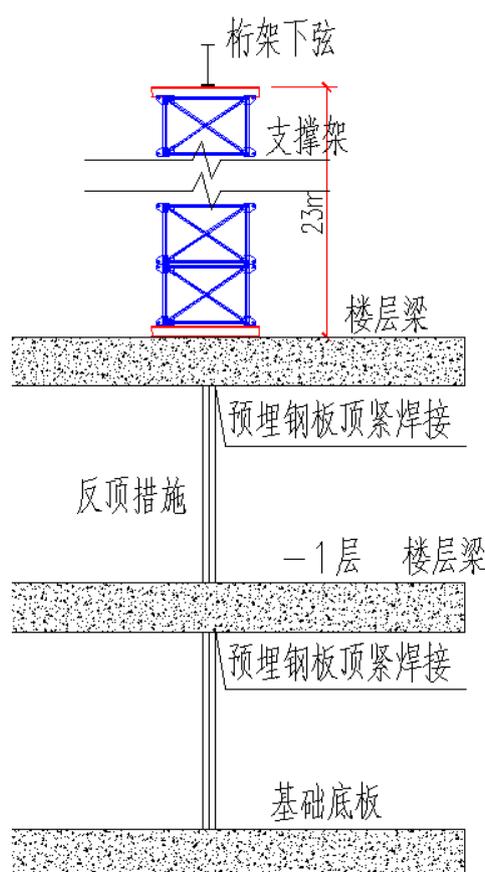


图 4.5 支撑竖向布置

4.0.5 为提高结构安装效率及精度，研发了实体预拼装与计算机虚拟预拼装相结合的钢桁架拼装技术。利用三维激光扫描仪结合逆向成形技术，将扫描成形的构件在专业软件中进行虚拟拼装，从而得出预拼装可能存在的问题和最小改动方案，以指导工厂。同时，通过上述方式对加工完成后构件进行复测，解决由于加工误差超限导致现场

无法安装情况。在现场预拼装过程中，采用型钢胎架进行实体预拼装，拼装胎架采用多点布置，胎架主立杆采用 H250×250×9×14，底部和四周辅助以[16 作为稳定支撑。

## 5 施工工艺流程及操作要点

### 5.1 工艺流程

大跨径竖向异形钢桁架高空拼装施工的工艺流程参见图 5.1。

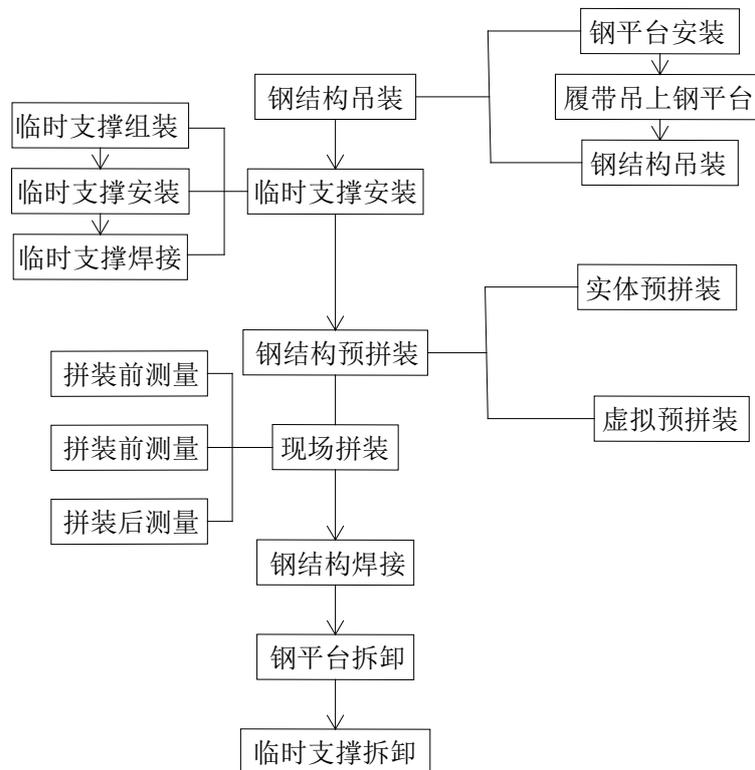


图 5.1 大跨径竖向异形钢桁架高空拼装施工工艺流程图

### 5.2 操作要点

#### 5.2.1 钢结构吊装

1 钢平台安装，使用履带吊安装履带吊行走平台，在竖向桁架下方设置用支撑架。同时，在钢平台上部铺设约 200mm 厚的路基箱，在钢路基箱顶板上加焊防滑钢条，增加履带吊在其上部行走的摩擦附着。



图 5.2.1 履带吊吊装

2 履带吊上钢平台，待钢平台安装及调平完毕后，履带吊爬行至履带吊行走平台，以便于钢结构吊装。

3 钢结构吊装，采用履带吊对网壳、楼层梁和竖向桁架进行吊装，为提高施工过程中结构的稳定性与安全性，钢结构吊装按序分块完成，如图 5.2.1 所示。

### 5.2.2 临时支撑安装

1 临时支撑组装，在地面进行临时支撑结构组装。首先，对第一片安装单元进行定位，定位完毕后，依次拼装第二、三和四片安装单元，形成支架的一个标准节，最后将多个标准节拼装成一个吊装单元，如图 5.2.2-1 所示。



图 5.2.2-1 临时支撑架单元

2 临时支撑安装，根据支撑设计方案，利用吊机将吊装单元安装至指定位置，形成临时支撑。在安装过程中，在支撑架中部设置 1 道 [16，左右各 1 道，与支撑架立杆焊接，如图 5.2.2-2 所示。

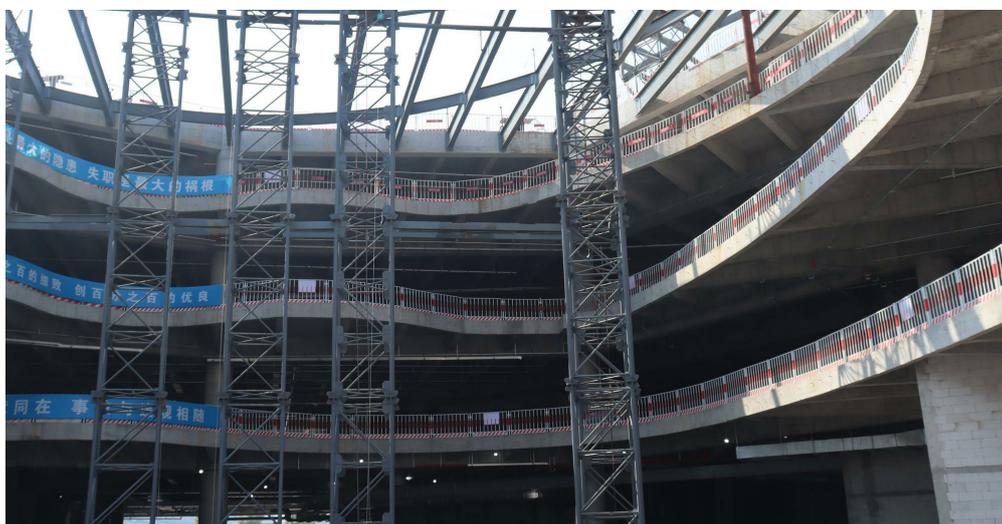


图 5.2.2-2 支撑架钢梁拉结示意图

3 支撑架焊接，待支撑架安装完毕后，完成设置在钢平台上的支撑架底部与钢平台的焊接，如图 5.2.2-3 所示。



图 5.2.2-3 支撑架安装完毕后示意图

### 5.2.3 钢结构预拼装

#### 1 实体预拼装

如图 5.2.3-1 所示，根据构件立面布置图结合预拼装范围绘制地样线，经检测地样线合格后，根据胎架与构件接触部位与地样线之间的关系，确定胎架的位置及其高度尺寸（方便操作），采用水准仪测量调整胎架横梁的水平度。并标识各控制点。各控制点标识完毕后，对成品构件进行完整组装，并用直角尺、线锤、焊接检验尺和钢尺等对预拼装后的构件进行调整。



图 5.2.3-1 实体预拼装示意图

## 2 虚拟预拼装

a. 构件准备，如图 5.2.3-2 所示，将待扫描构件置于空旷场地，以便于构件扫描。



图 5.2.3-2 待扫描构件准备

b. 扫描仪器准备，完成扫描仪器设置及计算机相关程序准备，如图 5.2.3-3 所示。



图 5.2.3-3 扫描仪器准备

c. 构件贴片，在待扫描构件上粘贴带磁性的黑色贴片，如图 5.2.3-4 所示。



图 5.2.3-4 构件贴片

d. 构件扫描，利用扫描仪，对贴片的构件进行 3D 扫描，如图 5.2.3-5 所示。



图 5.2.3-5 构件扫描

e. 虚拟预拼装，将扫描所得模型导入软件 GEOMAGIC 软件中，进行预拼装处理，进而根据模拟结果调构件参数，如图 5.2.3-6 所示。

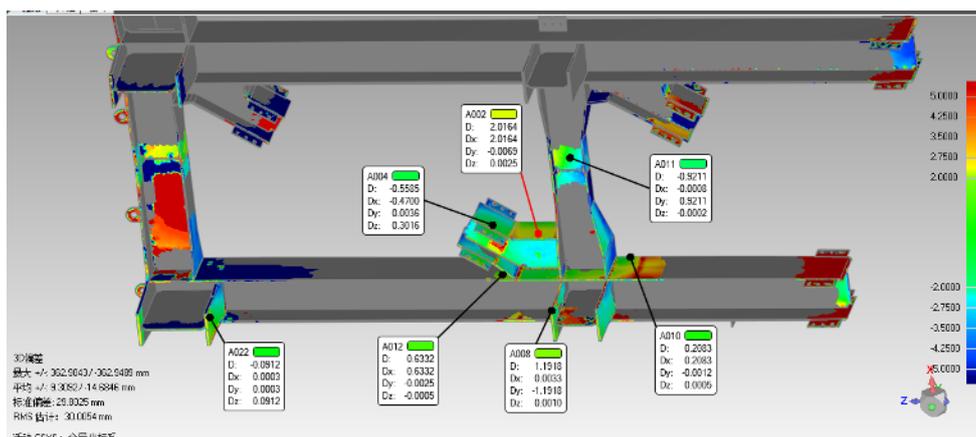


图 5.2.3-6 虚拟预拼装

## 5.2.4 现场拼装

1 钢结构现场拼装，构件完成预拼装且进场后，利用汽车吊对钢结构进行起吊与拼装。钢结构脱胎使用履带吊进行施工，结构安装完毕后如图 5.2.4 所示。

2 拼装前测量，在钢结构拼装立体组合支撑架设置完成开始进行拼装前，对胎架的总长度、宽度、高度等进行测量校正，并完成各空间位置放线及限位块布置。

3 拼装过程测量，钢结构拼装过程中需对每一根弦杆及弦杆间连杆一一进行测量定位。

4 拼装结束后测量，拼装完成后，需利用全站仪对结构进行全方位监测和校对，以确保与设计状态相符。



图 5.2.4-1 钢结构安装完毕示意图

### 5.2.5 钢结构焊接

待结构安装完毕后，根据所选钢材厚度、坡口形式和材质，选用 CO<sub>2</sub> 气体保护焊（GMAW）和手工电弧焊（SMAW）对钢结构进行焊接。为减缓焊后冷却速度、降低焊接应力和降低焊接结构的拘束度，可对钢结构进行焊前预热。

通过驱动油缸使得拼装台车上的滑块与滑杆发生移动，进而控制机械臂位置发生变化，从而使得预制侧板进行前后、左右、微倾等微调动作，实现预制侧墙位置以及角度的精准确定，显著提高了安装精度和施工质量，保证了施工安全，且起到临时固定的作用。

### 5.2.6 钢平台拆卸

待钢结构安装完毕后，首先将履带吊退出钢平台，对钢平台上可

拆卸构件进行拆卸后，拆除场地内部的钢平台。

### 5.2.7 临时支撑拆卸

1 在桁架结构安装过程中，随着各区域结构安装完毕，对支撑架进行分区卸载，其中竖向桁架的临时支撑架最先卸载。

2 当临时支撑架与桁架完全脱离后，进一步将支撑架拆除。悬挑网壳处支撑架采用 25t 汽车吊一次性吊装至地面；竖向桁架下的支撑架使用 25t 汽车吊分 2 次将支撑架全部吊装至地面。场内网壳下支撑架则先使用手拉葫芦逐节拆除上部 8m 支撑架，后使用 25t 汽车吊 2 次吊装至地面。场外支撑架使用 25t 汽车吊分段吊装至地面。

3 支撑架全部放倒后，可根据货车长度进行分割装运。

## 6 材料与设备

### 6.1 材料

本工法需要的主要材料如表 6.1 所示。

表 6.1 主要材料表

序号	材料名称	单位	数量
1	砼	m <sup>3</sup>	按需确定
2	钢筋	T	按需确定
3	手工电弧焊	台	3
4	CO <sub>2</sub> 气体保护焊	台	3
5	埋弧焊	台	3
6	高强螺栓	个	按需确定
7	支撑架		按需确定
8	钢平台		按需确定

### 6.2 设备

本工法需要的主要机具设备如表 6.2 所示。

表 6.2 主要机具和设备表

序号	设备名称	规格型号	单位	数量
1	MaxSHOT 摄影测量系统	/	套	1
2	MetraSCAN 210 工业级光学三坐标三维扫描仪	/	套	1
3	液压提升器	XY-TS-135、 XY-TS-195、 XY-TS-555	台	3
4	液压泵源系统	XY-BY-30、 XY-BY-30	台	2
5	计算机同步控制及传感检测系统	XY-KZ-01	套	1
6	履带吊	350t	辆	2

## 7 质量控制

### 7.1 质量控制标准

本工法主要遵照执行的标准规范、规程和标准有：

1. 《钢结构施工质量验收标准》（GB50205-2020）；
2. 《钢结构焊接规范》（GB50661-2011）；
3. 《钢结构工程施工规范》（GB50755-2012）；
4. 《焊缝无损检测 超声检测 技术、检测等级和评定》（GB11345-2013）；
5. 《建筑工程施工质量验收统一标准》（GB50300-2013）；
6. 《重型结构和设备整体提升技术规范》（GB51162-2016）；
7. 《工程测量规范》（GB50026-2016）；
8. 《建筑变形测量规程》（JGJ/T8-2016）；

## 7.2 质量保证措施

### 7.2.1 钢结构吊装质量控制措施

(1) 工作前必须检查各操作装置是否正常，钢丝绳是否符合安全规定，制动器、液压装置和安全装置是否齐全和灵敏可靠。

(2) 司机与起重工必须密切配合，听从指挥人员的信号指挥。操作前，必须先鸣喇叭，如发现指挥手势不清或错误时，司机有权拒绝执行。工作中，司机收到任何人发出的紧急停车信号后都必须立即停车，待消除不安全因素后方可继续工作。

(3) 汽车吊司机在松软地面上工作的，应在使用前将地面垫平、压实。机身必须固定平稳，四根支撑必须到位、安放牢固，作业区内应有足够的空间和场地。

(4) 在汽车吊司机在起吊重物时，应先将重物吊离地面 10 厘米左右，检查起重机的稳定性和制动器等是否灵活和有效，在确认正常的情况下方可继续工作。

(5) 汽车吊起重臂仰角不得小于 30 度，在我荷情况下应尽最退  
13、汽车吊司机在工作时，吊钩与滑轮之间应保持一定的距离，防止卷扬机过限把钢丝绳拉断或起重臂后翻。在起重臂起升到最大仰角和吊钩在最低位置时卷扬筒上的钢丝绳应至少保留 3 圈以上。

(6) 汽车吊工作完毕，吊钩和起重臂应放在规定的稳妥位置，将所有控制手柄放至零位，并切断电源。

### 7.2.2 钢桁架支撑结构质量控制措施

(1) 根据本工程钢屋盖网壳吊装分区情况需要使用临时支撑塔

架，以便节点和构件就位，按节点和构件的重量进行计算，确定临时支架的形式采用格构柱体系。

(2) 根据吊装时支架受力的不同，进行每只临时支架的合理设计。

(3) 临时支架在分段吊装前必须制作结束并交检查员验收合格方可使用。按支架布置位置将各临时支架吊装到位，并用缆风绳进行固定。

(4) 临时支撑拆卸过程中，对同一个受力区域，采用整体、同步、等比例回落的原则进行卸荷。。

(5) 桁架安装过程中为两侧固定挡块受力，在卸载开始前，顶升千斤顶使千斤顶将桁架向上微微顶起。

(6) 从空隙间撤出部分辅助定位支撑顶部的调整垫块，同时慢慢回落千斤顶。

(7) 支撑架全部放倒后，可根据货车长度进行分割装运。装运时仍需要 25 吨汽车吊进行配合装车，装运完毕后用钢丝绳收紧绑扎牢固。

### 7.2.3 钢桁架拼装质量控制措施

(1) 根据构件立面布置图结合预拼装范围绘制地样线，地样线应包括总定位控制点、定位轴线、构件轮廓线及节点的中心线投影等，确认合格后方可进行胎架的搭设。

(2) 经检测地样线合格后，根据胎架与构件接触部位与地样线之间的关系，确定胎架的位置及其高度尺寸（方便操作），采用水准

仪测量调整胎架横梁的水平度。

(3) 各构件的位置主要以其构件定位点的坐标值来进行控制，即构件定位坐标值为主要控制点；同时辅以各钢柱牛腿的坐标值进行控制。

(4) 控制点和坐标轴等标识完毕，即可进行节点的就位工作。节点的定位通过各主要控制点的 X、Y、Z 坐标来控制，采用吊铅垂线使其端口主要控制点与地样上的控制点相重合的方法来调整构件位置，还应核查端口控制点的投影是否与其对应的地样控制点相重合。

(5) 对预拼装的检测需采用全站仪对构件上的控制点（两端中心点和中间部位每隔 2000mm 取一点）进行测量，测得的数据再与理论的数值相比较，从而得到构件控制点的垂直坐标的精度；控制点的水平精度通过在控制点挂线锤与平台上的位置点吻合情况来控制。

(6) 用全站仪测量胎架垂直度，垂直度 $\leq h/1000$ ，且不大于 5mm，主要控制点为定位点的标高。组对定位采用全站仪对构件各个节点的坐标进行精确定位。

(7) 检测人员检测各控制点的尺寸偏差及各对应端口间的错边与间隙情况，并对照相应的验收规范，对于超出偏差要求的部位，由技术部门根据实际测量结果会同总包单位和监理单位共同制定相应的处理措施，操作人员按技术部门出具的处理方案进行修整。

#### 7.2.4 钢结构焊接质量控制措施

(1) 焊接过程中对焊接参数的选定、焊接变形及层间温度额定

确定都需要通过焊接工艺评定试验进行测试，以保证钢结构的焊接质量。

(2) 箱型钢梁的焊接由一名焊工，焊前设置焊接垫板，垫板超出钢梁翼缘的部分为引弧板，先焊接下翼缘板后焊接上翼缘板，焊接完后割除引弧板，最后打磨、探伤。

(3) 焊接结构要求控制变形（一般是指塑性好，刚性小的薄壁焊接结构）时，可选用刚性固定法焊接、反变形法焊接和逆向分段焊接法等。

(4) 焊接结构要求控制应力（一般是指空淬倾向大，塑性差的焊接材料，合金钢管对接焊、缸体补焊等）时，可选用预热焊接、焊后回火焊接、锤击焊缝法焊接等。

(5) 焊接若以减少变形为主，则尽可能使各条焊缝的变形限制到最小值或其变形方向相反、相互抵消，可选用对称焊、逐步退焊、分中对称焊、跳焊等。

(6) 焊接若以降低应力为主，则尽可能使各条焊接焊缝能自由收缩或受阻碍较小，应先焊收缩量大的焊缝，焊缝方向指向自由端，焊后回火等。

## 8 安全措施

8.0.1 本工法安全措施应遵循以下国家、行业有关现行标准、规范要求：

1. 《建筑施工安全技术统一规范》（GB 50870-2013）
2. 《建设工程施工现场供用电安全规范》（GB 50194-2014）

3. 《建筑机械使用安全技术规程》（JGJ33-2012）
4. 《建筑安全检查标准》（JGJ 59-2011）
5. 《施工现场临时用电安全技术规范》（TGJ 46-2005）
6. 《建筑施工起重吊装工程安全技术规范》（JGJ276-2012）
7. 《建筑施工高处作业安全技术施工规范》（JGJ80-2016）
8. 《中华人民共和国消防法》（中华人民共和国主席令[2008]第 6 号）

#### 8.0.2 安全保证措施

1 施工阶段作业人员进场前，必须学习现场的安全规定，遵守业主、监理、总包等各单位制定的规章制度，进行安全技术交底；广泛宣传、教育作业人员牢固树立“安全第一”的思想，提高安全意识。

2 必须随时携带和使用安全帽和安全带，防止机具、材料的坠落；严禁酒后进入现场，要互相关照、监督，发现不安全因素随时提出，确保该工程文明、安全施工。

3 凡要带入楼内的机械事先必须接受安全检查，合格后方可使用。另外携带电动工具时，必须在作业前先作自我检查，在进入场地时将检查记录交安全员；每天作业前后检查所用工具。

4 作业前清理作业场地，下班后整理场地，不要将材料工具乱放，在作业中断或结束时当天清扫垃圾并投放到指定地点。

5 在电焊作业时，必须设置接火斗，配置看火人员；各种防火工具必须齐全并随时可用，定期检查维修和更换，木方模板堆积地必须放置足够的灭火器，施工期间禁止抽烟，如需抽烟可去抽烟区，烟头

不得随意丢弃，集中堆放于储水的垃圾桶中。

6 工程项目设一名专职安全员，各班组一名兼职安全员，加强现场监督检查，由施工员和质检员配合进行现场安全管理。

7 支架的搭设必须严格按照设计及规范进行。施工前对杆件质量和支架结构进行检查，重点是结合部是否精确定位，准确对中。检验合格后方可进入下道工序作业。

8 操作人员在作业前必须对吊索、吊具进行认真检查，确认合格后方可进行下道操作。

9 吊装指挥和操作人员必须持证上岗。指挥人员作业时应于操作人员密切配合；执行规定的指挥信号。操作人员应按照指挥人员信号进行作业，当信号不清或发生错误时操作人员可拒绝执行。

10 作业时，起重臂最大仰角不得超过出场规定。无资料可查时，不得超过 78 度。在起吊荷载达到额定起重量的 90%及以上时，升降动作应慢速运行，并严禁同时进行两种及两种以上动作。

## 9 环保措施

本工法环保措施按照《中华人民共和国环境保护法》、《建设项目环境保护管理条例》以及地方法规和行业企业要求等有关环境保护的规程和规程执行，并采取如下措施：

9.0.1 预制侧墙施工期间，施工产生污水经废水池三级沉淀处理合格后，由临时排水渠道排入市政排水系统；废弃泥浆采用泥浆箱统一存放，集中外运至指定废弃场。

9.0.2 在混凝土浇筑现场设置临时洗车位，以防罐车出料口残余

的混凝土洒到城市交通道路上。

9.0.3 对作业人员进行必要的职业安全卫生知识教育，提高其职业卫生意识，降低职业病发病率。同时，还应对焊接作业场所的尘毒危害进行定期监测，对作业人员定期进行体检，以便及时发现问题，预防和控制职业病。

9.0.4 运输车辆进出的主干道应定期洒水清扫，保持车辆出入口路面清洁，以减少由于车辆行驶引起的地面扬尘污染。

9.0.5 将施工场地和作业限制在工程建设允许的范围内，合理布置、规范围挡，做到标牌清楚、齐全，各种表示醒目，施工场地整洁文明。

9.0.6 建设单位将环境保护设施建设纳入施工合同，保证环境保护设施建设进度和资金，并在项目建设过程中同时组织实施环境影响报告书、环境影响报告表及其审批部门审批决定中提出的环境保护对策措施。

## 10 效益分析

### 10.1 经济效益

本工法研发了一种履带吊上地下室顶板钢平台改良加固技术，支撑钢平台的小立柱与混凝土结构采用钢板埋件连接，小钢立柱大部分位于混凝土柱顶，直接传力至基础；部分位于混凝土梁上，采用钢管口进行反顶支撑，同时，在埋件钢板下部设置抗剪键，并对支撑端部设置4块外加劲板，以提高结构的稳定性和整体刚度。为提高履带吊在钢平台上安全、自由作业，钢平台上部铺设路基箱，在钢路基箱顶

板上加焊防滑钢条，增加履带吊在其上部行走的摩擦附着力。针对现有钢桁架结构复杂、标高多、承载受力结构不规则和梁柱节点分散等问题，研发了一种用于临时固定的竖向桁架支撑架。支撑架四肢和缀条分别采用 $\phi 140\times 5$ 和 $\phi 60\times 3.5$ 钢管。承重胎架则由4片胎架组成，胎架接长高强螺栓连接。该支撑架受力结构规则，各构件安装与拆卸简单，结构安全性和施工效率高。除此之外，研发了实体预拼装与计算机虚拟预拼装相结合的钢桁架拼装技术。利用三维激光扫描仪结合逆向成形技术，将扫描成形的构件在专业软件中进行虚拟拼装，从而得出预拼装可能存在的问题和最小改动方案，以指导工厂。同时，通过上述方式对加工完成后构件进行复测，解决由于加工误差超限导致现场无法安装情况。本工法施工快捷，履带吊可实现高空自由、安全作业，施工安全且施工效率较高。同时，采用本工法，可简化钢桁架支撑结构安装与拆卸步骤，显著提高施工效率，同时也实现了临时支撑结构的重复使用，具有良好经济效益。最后，采用虚实结合的预拼装技术，提高了钢桁架结构预拼装效率与精度，避免传统实体预拼装过程中存在的预拼装效率低下，构件调整精度较低等问题，保证工程正常施工以及工程整体质量，具有良好的直接与间接经济效益。

## **10.2 社会效益**

本工法作为一种跨径竖向异形钢桁架高空拼装施工工法，弥补了传统钢桁架高空安装技术存在的钢桁架施工安全性不高，受塔吊自身因素以及环境因素影响较大等问题，同时也避免了现有临时支撑体系安装技术所存在的临时支撑体系搭设工期长、影响正常施工进度，焊

接质量、成品尺寸难以保证等问题。本工法研发了一种履带吊上地下室顶板钢平台改良加固技术，提高钢平台稳定性与整体刚性，满足履带吊在钢平台上施工的安全性要求，提高了履带吊施工的安全性。同时，针对钢桁架临时支撑体系安装效率低、工期长、临时结构高空焊接困难等问题，提出了一种用于临时固定的竖向桁架支撑架，显著提高了竖向桁架支撑架的结构可靠性，满足竖向桁架安全安装要求，实现临时固定支撑架拆卸便利、可重复使用要求，节约临时支撑结构安装拆卸成本。最后，研发了实体预拼装与计算机虚拟预拼装相结合的钢桁架拼装技术，通过钢桁架虚拟预拼装和实体预拼装，实现两种技术的相互验证，显著提高钢桁架拼装精度和效率。同时，与单一实体预拼装技术相比，在虚拟预拼装技术下指导的实体预拼装技术，可降低钢桁架多次预拼装成本，提高实体预拼装效率。本工法相较于传统钢桁架吊装与拼装技术，具有施工安全、快捷、经济和精度高等特点。且在工程施工过程中，一方面该技术可简化大型构件吊装、钢桁架临时支撑体系安装和钢桁架预拼装的步骤，保证工程快速顺利进行，另一方面，实现了钢桁架临时支撑体系的组成构件的重复利用，同时引入计算机虚拟预拼装技术，提高了钢桁架预拼装的效率，显著提高了钢桁架吊装、安装与拼装的安全性及经济性。该工法满足国家所倡导的绿色施工理念，具有良好的社会效益。

## 11 应用实例

### 11.1 牛田单元 G11/C3/C4-01 地块公园及文体中心项目

杭州市牛田单元(XS07)位于杭州市区东北部，用地隶属江干区九

堡镇和彭埠镇、笕桥镇。地处规划下沙新城九堡片区的西北部。项目规划占地面积 57647m<sup>2</sup>，总建筑面积 68800m<sup>2</sup>，其中地上建筑面积 20000m<sup>2</sup>，地下室建筑面积为 48800m<sup>2</sup>。项目主要建设内容包括绿化工程，水景工程、园路及铺装、小品、雕塑、景观照明工程、公共厕所、文体中心及地下机动车停车库、非机动车停车库、设备用房、附属用房等。开工时间：2018 年 07 月 15 日，竣工时间：2021 年 11 月 15 日。

总鸟瞰图



项目效果图

针对本工程跨度大，桁架结构形状不规则问题，采用了一种用于临时固定的竖向桁架支撑架。支撑架四肢和缀条分别采用  $\phi 140 \times 5$  和  $\phi 60 \times 3.5$  钢管。承重胎架则由 4 片胎架组成，胎架接长高强螺栓连接。该支撑架受力结构规则，各构件安装与拆卸简单，结构安全性和施工效率高。同时，针对本工程高空拼装构件众多、拼装难度大问

题，采用了一种履带吊上地下室顶板钢平台改良加固技术，支撑钢平台的小立柱与混凝土结构采用钢板埋件连接，小钢立柱大部分位于混凝土柱顶，直接传力至基础；部分位于混凝土梁上，采用钢管口进行反顶支撑，且在埋件钢板下部设置抗剪键，并对支撑端部设置 4 块外加劲板，以提高结构的稳定性和整体刚度。最后，利用三维激光扫描仪结合逆向成形技术，将扫描成形的构件在专业软件中进行虚拟拼装，从而得出预拼装可能存在的问题和最小改动方案，以指导工厂。同时，通过上述方式对加工完成后构件进行复测，解决由于加工误差超限导致现场无法安装情况。

本工程应用“大跨度钢桁架分段吊装与高空拼装施工工法”，可优化桁架支撑结构传力路线，提高结构安全性，降低工程安全风险。同时提高桁架结构高空吊装与拼装安全性，满足当前工程安全需求，得到了业主、监理单位的一致好评，取得了显著的经济、环保和社会效益。

## **11.2 萧政储出（2017）6 号地块商业办公项目**

华润超高层项目位于杭州市萧山区奥体博览中心核心区域，是集办公、商业、地铁相关配套设施于一体的大型高端商业建筑。项目东侧为杭州国际博览中心，西侧为亚运三馆，中间与地铁 6 号线无缝对接。项目规划用地面积 32294 平方米。总建筑面积约 23 万平米。由 1 栋 43 层的塔楼(T2 塔楼)，1 栋 33 层的塔楼(T1 塔楼)及 2 栋独立 2 层裙楼(A1 裙楼、A2 裙楼)组成。塔楼为框架-核心筒结构，T2 塔楼建筑高度 202m，T1 塔楼建筑高度 170m。开工时间：2018 年 05 月

10日，竣工时间：2021年03月30日。



项目效果图

本工程采用“大跨度钢桁架分段吊装与高空拼装施工工法”，克服了周边环境对工程施工的影响，提高了工程施工的安全性。同时，利用履带吊上地下室顶板钢平台改良加固技术，显著提高平台结构稳定性，满足履带吊在钢平台上施工的安全性要求。针对钢桁架临时支撑体系安装效率低、工期长、临时结构高空焊接困难等问题，提出了一种用于临时固定的竖向桁架支撑架，显著提高了竖向桁架支撑架的结构可靠性，且实现临时固定支撑架拆卸便利、可重复使用要求，节约临时支撑结构安装拆卸成本。最后，研发了实体预拼装与计算机虚拟预拼装相结合的钢桁架拼装技术，通过钢桁架虚拟预拼装和实体预拼装，实现两种技术的相互验证，显著提高钢桁架拼装精度和效率。

本工程应用“大跨度钢桁架分段吊装与高空拼装施工工法”，相较于传统钢桁架吊装与拼装技术，具有施工安全、快捷、经济和精度高等特点。且在工程施工过程中，一方面该技术可简化大型构件吊装、

钢桁架临时支撑体系安装和钢桁架预拼装的步骤，保证工程快速顺利进行，另一方面，实现了钢桁架临时支撑体系的组成构件的重复利用，同时引入计算机虚拟预拼装技术，提高了钢桁架预拼装的效率，显著提高了钢桁架吊装、安装与拼装的安全性及经济性，得到了业主、监理单位的一致好评，取得了显著的经济、环保和社会效益。