

84吨大悬挑桁架分段吊装支撑新技术

中天建设集团浙江钢构有限公司 中天钢构“包商”QC小组

一、工程概况

包商银行商务大厦为城市综合体项目，属包头市城市新区重点开发建设项目之一。项目总建筑面积约26.89万平方米，集银行总部办公、产业链办公、金融交易、大学生创业基地、星级酒店、大型商业为一体。

包商银行商务大厦A座位于内蒙古包头市新都市区。主体结构地下4层，地上27层，建筑高度131.35m。

屋顶大悬挑结构立面标高为108.24m-

131.115m。主要包括伸臂桁架、环向桁架、采光顶边梁、屋面钢梁等。其中单榀桁架最大悬挑约17m，最重约84吨。伸臂桁架下弦至23层楼面净空高度约17m，桁架杆件截面形式为箱型，上弦、下弦最大截面尺寸为B1200×600×60×60、腹杆最大截面尺寸为B600×400×40×40，桁架间设有环向空间单片桁架，钢桁架采用空中散拼的方式完成。

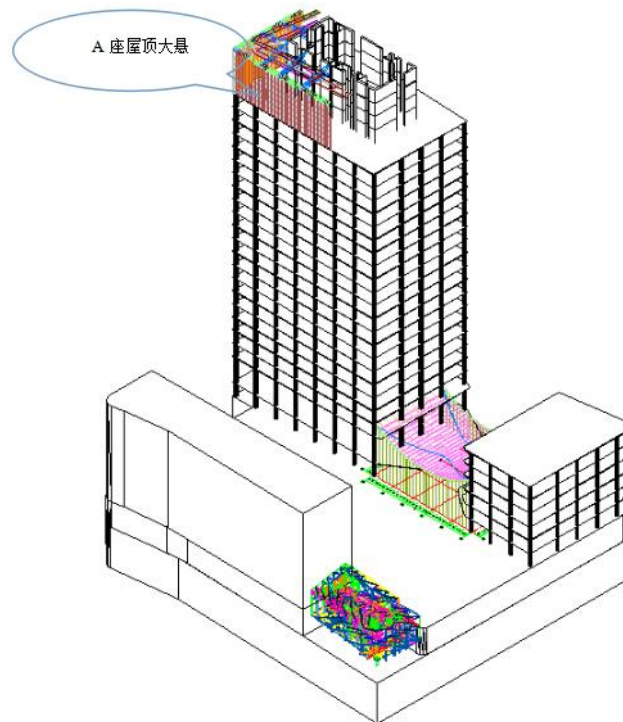


图1 屋顶钢结构位置示意图

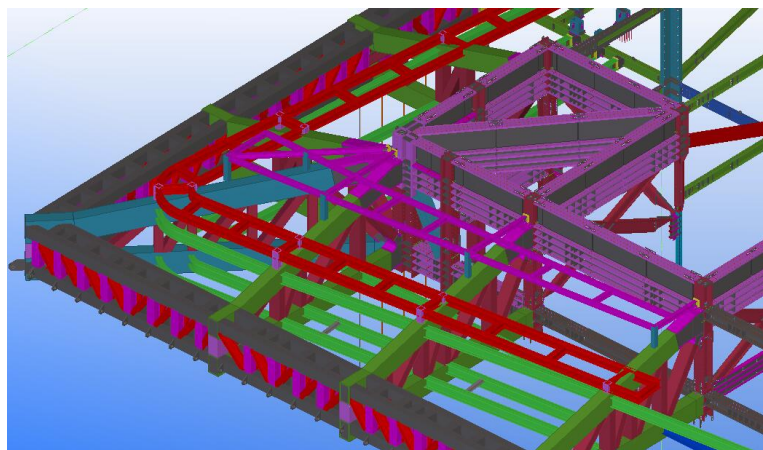


图2 屋顶悬挑钢桁模型图

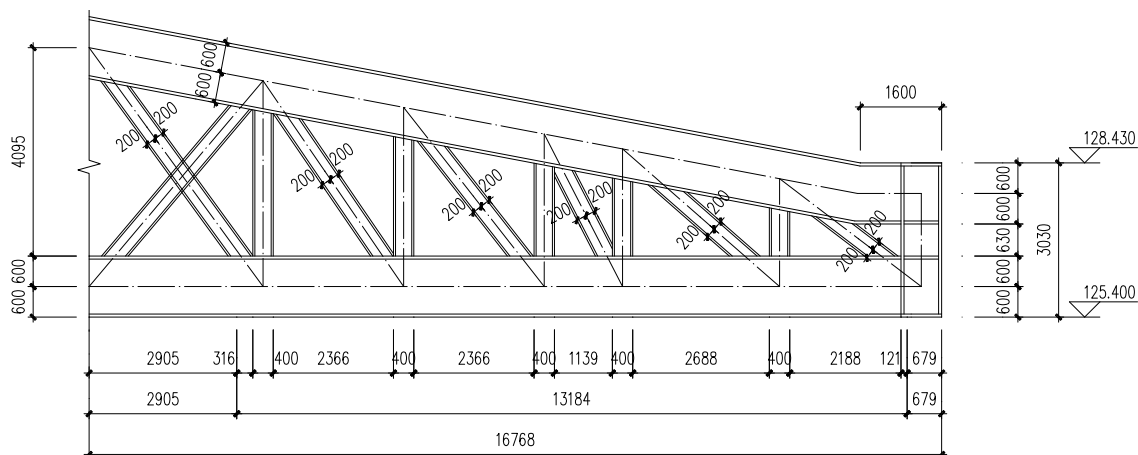


图3 84吨大悬挑桁架立面示意图

二、小组概况

本工程争创“中国建筑钢结构金奖”，项目部将创优目标列入施工质量管理目标，精心组织、科学管理，我公司选择优秀的技术骨干和现场经验丰富的施工管理人员组建QC活动小组，具体情况如下：

1. 小组概况

小组概况表

表1

小组名称	中天钢构“包商”QC小组	小组成员	10人
小组注册号	中天钢构ZTQC-2016-6	成立时间	2016年6月26日
课题注册号	中天钢构ZTQC-2016-7	注册时间	2016年7月2日
课题名称	84吨大悬挑桁架分段吊装支撑新技术	活动时间	2016.7~2016.12
课题类型	创新型	活动次数	24
TQC教育时间	人均35小时	出勤率	95%

2. 小组成员

小组成员表

表2

序号	姓名	性别	年龄	职称	行政职务	组内职务	承担工作
1	徐 晗	男	35	高级工程师	总工程师	组 长	策划、实施
2	蒋金生	男	54	教高	董事长兼总经理	技术顾问	技术指导
3	朱艳华	女	56	高级工程师	总工顾问	技术顾问	技术指导
4	徐闽涛	男	44	高级工程师	副总工程师	副组长	质量控制
5	程志强	男	37	工程师	项目经理	组员	组织协调
6	金建勇	男	30	工程师	分公司经理	组员	技术负责
7	蒋 威	男	29	工程师	技术员	组员	现场实施
8	詹 潇	男	27	助理工程师	施工员	组员	资料收集整理
9	张帅彬	男	28	助理工程师	施工员	组员	现场实施
10	吴国栋	男	31	工程师	技术员	组员	施工验算

制表人：詹 潇

制表时间：2016年7月5日

三、选题理由

1、现场施工条件受限

现场作业面位于标高130米左右，属于超高空作业，危险性高，并且进入十月份后，包头当地昼夜温差大，对现场焊接作业影响大。

2、现场吊装分段多

最重桁架为桁架3重约84吨，离1#塔吊31m，采用高空散装的方式。桁架3下弦杆重36吨，上弦杆重40.65吨，现场1#塔最大起重量仅为9.5吨，完全不能满足整根吊装的要求，需要搭设满堂脚手架进行散拼，散拼时上下弦杆及腹杆均需分段吊装。桁架3分段示意图如下。

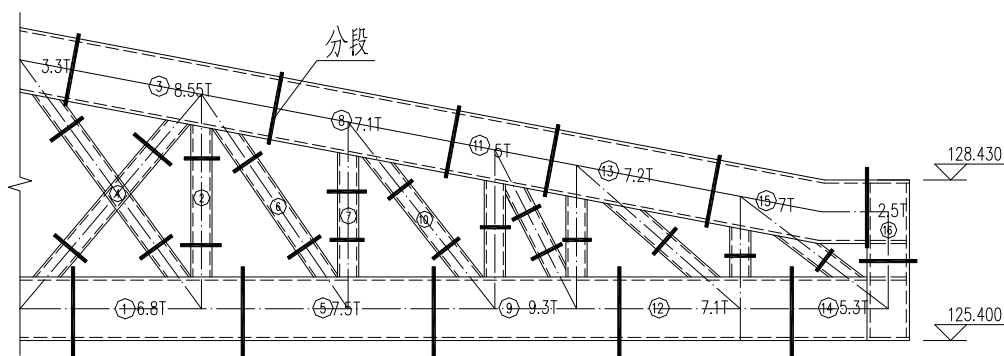


图4 84吨大悬挑桁架分段示意图

3、安装难度大

单榀桁架最重约84吨，最大悬挑长度17米左右，伸臂桁架下弦至23层楼面净空高度约17米，桁架间设有环向空间单片桁架，结构复杂。

现场散拼时需搭设满堂脚手架，脚手架按部位不同分为承重架和操作架，搭设高度约18m，需编制专项施工方案并进行专家论证。且由于架体高度大、架体自重和散拼时构件自重均超重，架体搭设完成后，桁架部位需向下搭设卸载支撑架三层。对施工组织及吊装工艺提出很高的要求。

4、工程量

屋顶钢桁架结构主要包括伸臂桁架、环向桁架、采光顶边梁、屋面钢梁等，总吨位约830吨。

5、公司要求

工程为我公司创优项目，质量要求高；该类大吨位大悬挑吊装工程在我公司尚无施工案例，技术积累及经验不足，希望通过本工程的技术创新解决实际问题，并为加强公司技术储备和强化技术人员的培养创造条件。

通过以上分析本工程的特点及难点，小组成员发现对于这种大悬挑、大吨位的钢桁架在施工中采用何种支撑技术支持本工程施工是当前亟待解决的问题，而目前并没有最好的解决方法，因而针对这个问题小组选择的课题方向是：84吨大悬挑桁架分段吊装支撑新技术。综上所述，我们QC小组将“84吨大悬挑桁架分段吊装支撑新技术”作为小组的研究课题。

四、设定目标

1、设定目标

我们需要研发设计一种新型施工工艺，不仅需要保证桁架工程本体施工的安全，更须妥善地解决下部支撑以及支撑体系下部着地点对既有建筑物的影响问题。在确保施工方便、保证安全的前提下，做到方案经济的理念，解决常规支撑方案对施工主体工程造成影响的弊端。

2. 目标达成的可行性分析

2.1、我公司是中天集团全资专业钢构子公司，中天集团拥有施工总承包、装修等专业子、分公司，具备解决各种实际施工问题的技术创新团队，有能力带领团队突破课题。

2.2、作为钢构专业公司，我司拥有优秀的钢结构专业技术人员，能为解决本项目施工难题出谋划策。

。

2.3、本QC小组成员素质较高，有丰富的工程施工、机械使用经验，且有QC活动经验，具有较强的技术创新能力，小组团体协作能力强。

五、提出各种方案,并确定最佳方案

1.提出方案：

2016年7月20日在公司总部11楼会议室召开了包商银行大悬挑桁架支撑方案讨论专题会，QC小组成员利用“头脑风暴法”，集思广益，提出各种方案。

方案一：点式支撑

点式支撑方案为总承包投标时暂定的施工方案，我们针对项目特点、环境条件等因素，进行了点式支撑试布署如下图所示：

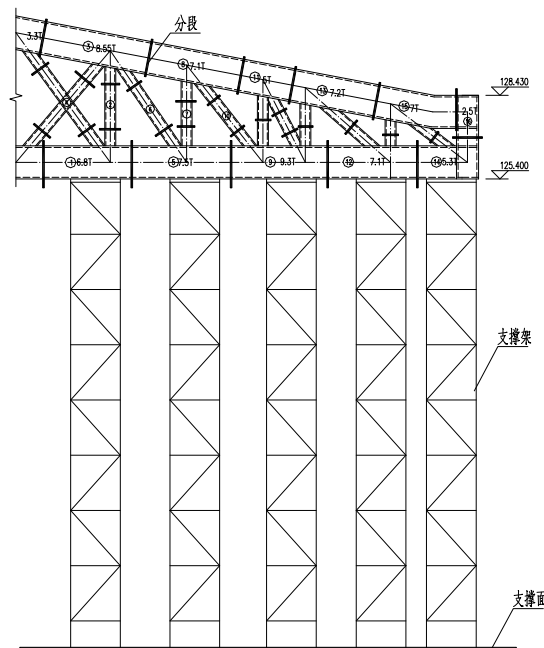


图5 点式支撑立面示意图

(1) 点式支撑在一般工程当中应用广泛、技术成熟。

(2) 支撑材料设备等比较常见易租赁。

(3) 点式支撑的的平面尺寸为1.8m×1.8m，搭设高度约17m，高宽比为9.44，施工过程中的水平荷载，对整个支撑架的稳定性影响较大。

(4) 点式支撑布置时，支撑受力面相对较小，所以在有限的区域内需租赁高强度支撑；

(5) 由于支撑受力面相对较小，对下部既有结构会产生荷载集中效应，所以对既有结构需做大量的加固工作；

(6) 支撑架间的净距离最大仅为1.8m。

方案二：普通满堂脚手架支撑

现场是在130米左右的高空作业，采用普通满堂脚手架支撑，技术成熟、安全性高并且设备易租赁。但工作量较大，模板支架搭设立杆的纵向间距和横向间距为0.7m，立杆步距为1.5m；脚手架搭设立杆的纵向间距和横向间距为0.4m，总的脚手架搭设量达1.3万方左右。并且对既有下部结构的卸载需要向下反顶4层，所以对原有结构需要做大量的卸载工作。

方案三：桁架转换受力的满堂支撑

此方案类似方案二，但由于已安装的钢桁架构件参与受力和变形。安装工艺主要采用临时支撑体系和空中散装相结合的方式，将一区段内的桁架按有限元计算分析的数据进行一定顺序的吊装，已安装的部分桁架构件要尽快形成几何不变体系，然后按分析模拟的结论拆除其下部的临时支撑，使其与下一区

段的支撑体系共同承受桁架自重和施工荷载。使得桁架下部支撑的受力大幅减小，这样对承受支撑体系的原有建筑物的加固措施费也大大缩减。

2.选定方案：

QC小组成员从多角度、多方位考虑，对以上三种方案进行对比分析，具体见表3。

最佳方案对比分析评价表

表3

序号	方案	优缺点	经济性分析	措施费用	工期	分析结论
1	点式支撑	1) 设备易租赁 2) 技术成熟 3) 安全性高 4) 需租赁高强度支撑 5) 原有建筑需做大量加固	费用应包含考虑： 1、高强度支撑的租赁费 2、支撑的设计、安装和拆除费 3、其他设备租赁费 4、对受集中荷载作用的原有建筑物的卸载措施费	80万元	170天	不适宜不选用
2	普通满堂脚手架支撑	1) 技术成熟； 2) 安全性高； 3) 设备易租赁。 4) 原有建筑需做大量加固	费用应包含考虑： 1、支撑租赁费 2、支撑的设计、安装和拆除费 3、其他设备租赁费 4. 对受均布荷载作用的原有建筑物的卸载措施费	70万元	160天	不适宜不选用
3	桁架转换受力的满堂支撑	1) 不需要高强度的支撑； 2) 不需要对原有建筑物过多加固； 3) 施工工艺相对较繁琐	费用应包含考虑： 1、支撑租赁费 2、支撑的设计、安装和拆除费 3、其他设备租赁费 4、新工艺工人培训上岗费 5、创新施工工艺研发费用 6、原有建筑物的卸载措施费	55万元	142天	合理选用
结论	拟采用桁架转换受力的满堂支撑方案					

制表人：张帅彬

制表时间：2016年7月20日

经过以上方案对比分析，我们认为方案三在技术可行性、安全可靠、经济性上等方面具有优势，因此我们把方案三作为最佳方案。

3.方案实施中必须研究解决的问题

通过QC小组成员讨论，将桁架转换受力的满堂支撑实施过程中可能出现的问题归纳如下：

1) 吊装流程：吊装施工新技术工艺的流程分析及编制；

2) 杆件分段：现场塔吊完全不能满足桁架整榀吊装的要求，需要进行散拼，散拼时上下弦杆及腹杆均需分段吊装。

3) 支撑设计：支撑体系杆件的强度、整体稳定性及对下部结构的加固范围等要求；

4) 施工分析：拆除下部支撑使已安装的桁架参与受力，需要对桁架和下部支撑在各种施工工况下进行计算分析，依次判断支撑和桁架结构的强度、变形、稳定性是否满足设计要求；

5) 监控：在桁架整个吊装过程中需要对桁架的卸载及支撑体系给予全程监控其变形。

六、制定对策

最佳方案确定后，QC小组制订了相应对策如下：

对策表

表4

序号	项目	对策 (What)	目标 (Why)	措施 (How)	地点 (Where)	完成时间 (When)	负责人 (Who)
1	吊装流程	明确吊装施工工艺流程	确保施工工艺经济、方便、高效	编制施工工艺流程	技术中心	2016年7月23日	徐 晗 徐闽涛
2	杆件分段设计	统计杆件重量；依据塔吊参数，进行构件分段	限重在塔吊作业范围内；分段位置便于施工焊接。	会议研讨分段方案，统计分段重量及半径；验算主体结构承载力。	技术中心	2016年7月25日	程志强 金建勇
3	支撑设计	依据现有荷载计算支撑的承载力	满足桁架安装要求，不损坏既有结构	开会研究讨论选择适于本项目的支撑及对既有结构的加固范围	会议室	2016年7月30日	朱艳华 张帅彬
4	施工分析	施工工况分析	保证支撑和主体结构承载力满足要求。	通过建立计算模型，对施工过程中安装、卸载工况进行模拟验算	技术中心	2016年8月1日	蒋 威 吴国栋
5	全程监控	在施工现场监测桁架和支撑的变形	通过监控，收集数据，反馈回模型，复核相关受力，确保安全。	在桁架整个吊装过程监控其位移，收集数据。	施工现场	2016年8月7日	徐 晗 詹 潇

制表人：张帅彬

制表时间：2016年8月9日

七、对策实施

实施一：吊装流程

2016年7月23日，QC小组在确定采用桁架转换受力的满堂支撑方案后，分析施工过程，并编制了施工工艺流程图。

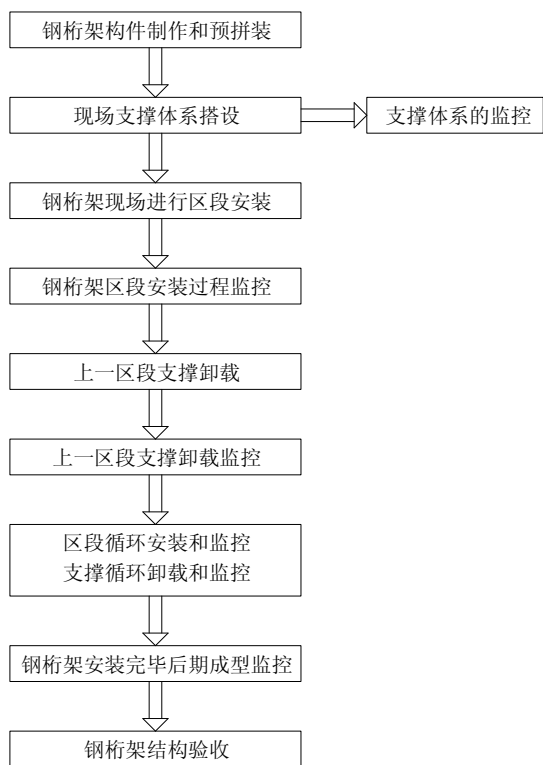


图6 桁架转换受力吊装流程图



图7 转换桁架施工工艺现场讨论会

实施二：杆件分段设计

结合现场起吊设备的实际情况，通过仿真模拟对安装步骤和顺序进行优化比选，依据分析结果得出最佳方案，确保桁架在现场拼装的每一步为结构不变体系。桁架构件吊装：每榀桁架的安装顺序严格按照模拟分析的结果进行安装，以包商银行商务大厦A座屋顶最大悬挑桁架为例：依次安装1至4号分段构件，使其形成一个稳定体系→依次安装5至8号分段构件，使其形成一个稳定体系→按构件序号依次进行区段安装，如下：

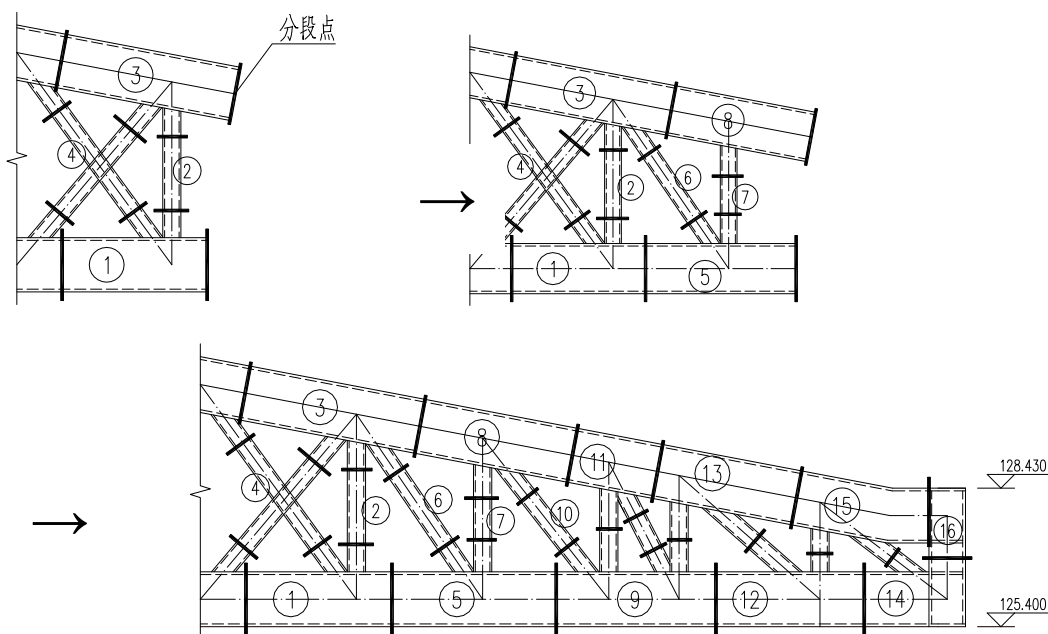


图8 悬挑钢桁架安装顺序示意图

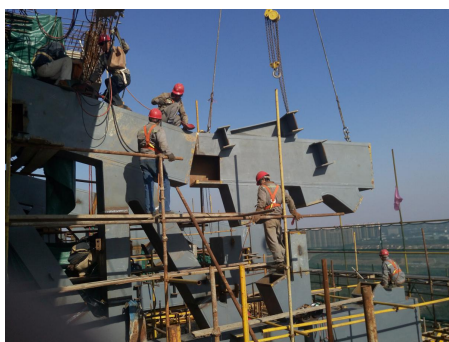


图9钢桁架现场安装示意图

桁架区段校正好后,焊接牢固,使其形成稳定体系。使其与支撑体系共同承受桁架自重和施工荷载。如此尽量利用原有的结构来承载,减小临时支撑的负载。

实施三：支撑设计

搭设承重支撑。支撑体系的位置、大小和数量通过工况计算确定。支撑体系搭设以包商银行商务大厦A座屋顶钢结构工程为例如下图所示。对支撑体系采用全站仪进行监控，将监控值与设计和分析值进行对比，确保支撑体系安全可靠。

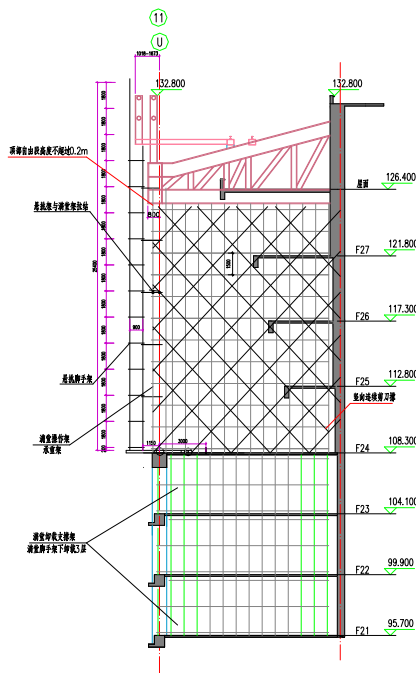
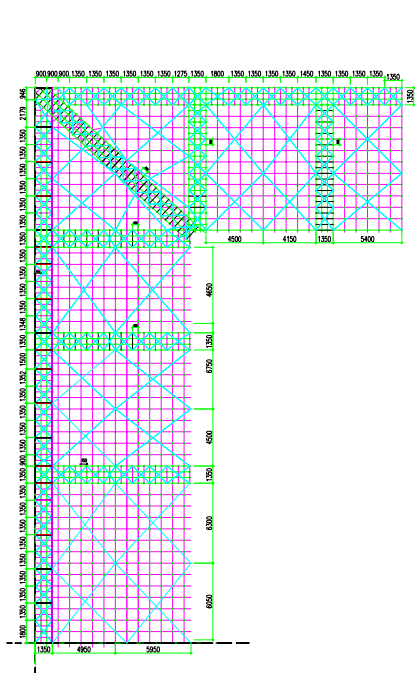


图10 悬挑钢桁架支撑体系平面布置图

图11 满堂脚手架立面图

实施四：施工分析

为了确保84吨最大悬挑桁架的现场安全吊装，我司技术中心依据设计图纸建立了最大悬挑桁架的计算模型，对桁架的吊装和卸载进行了工况验算和分析。验算及分析主要包含以下内容：

- (1)、荷载分析
- (2)、桁架卸载工况施工验算
- (3)、桁架参与受力工况施工验算
- (4)、分段后焊接处的受力分析

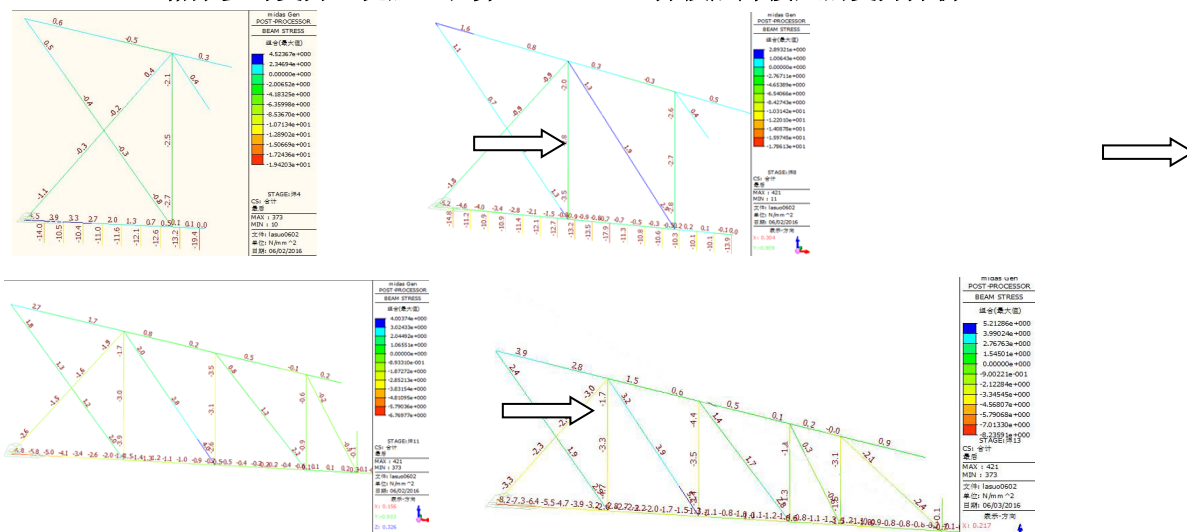


图12阶段性有限元施工分析

经验算分析，主体桁架结构和支撑共同受力满足要求。

实施五：全程监控

在钢桁架现场安装过程中，随着分阶段安装的实施，应在构件上设置应力和变形监测点。

1、应力监测点的设置应根据结构的受力特征来布置监测点，测量部位主要集中于钢桁架的弦杆等内力较大的截面，严格按照能够体现结构受力与方向的实际情况来布设，从而能够真实准确的反映构件的工作状态。

2、传感器的布设操作

1) 将应变计自带的基座拆下，装入安装模板。通过点焊基座的方式，将安装模板焊接在钢结构表面，形成螺栓，点焊位置及安装模板如图13。



图13 安装模板与钢结构焊接示意图

2) 安装好传感器后，将传感器的数据传输线绑扎在钢构件表面，引至方便到达和测量的地点。



图14钢桁架安装过程现场检测

八、效果检查

效果一：经济效益

经证明，本项目采用的钢桁架转换受力施工工法与普通满堂脚手架支撑、点式支撑等方案相比，不但可以保证桁架工程本体施工的安全，而且在现场条件受限时能妥善解决下部支撑以及支撑体系下部着地点对既有建筑物的影响问题。本施工方法的费用仅包含：设备租赁费用、部分设备维护费、原建筑物加固费用、创新施工工艺研发费用等。已安装的部分桁架构件参与受力相比传统方案经济效益明显，大大减少了支撑措施费以及对原有建筑的加固费。

工期比点式支撑安装提前约20天，按本工程规模，考虑项目部机械设备、周转材料、临时设施的租赁费用，每天水电消耗，人工成本等各方面因素，本工程日均花费约1万元，因此工期提前20天就能节约约20万的日常开支，经济效益明显。

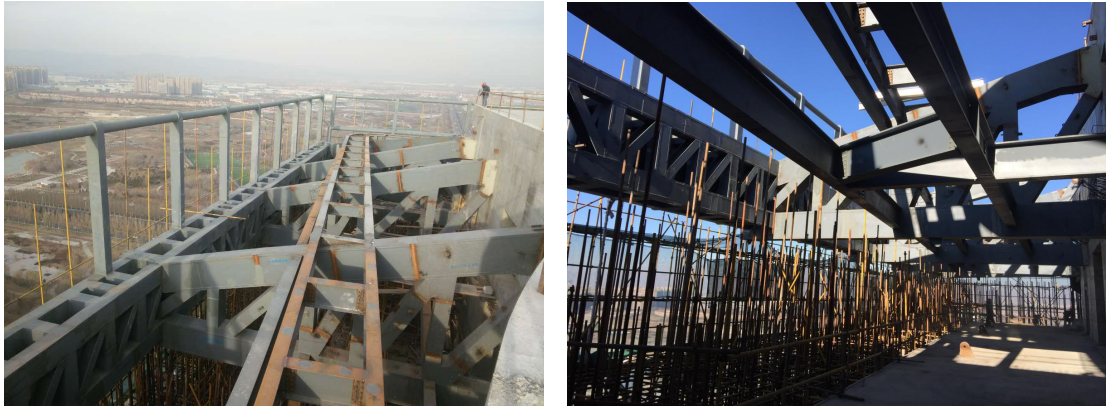


图15 包商悬挑桁架吊装完成全景

效果二：社会效益

通过这次QC活动，我们积累了开展QC的活动经验，本工艺的引进，解决了大跨度、大吨位的钢桁架在场地受限或支撑体系强度不足等的施工难题，支撑材料可周转使用，施工方便快捷，成本低，符合国家倡导的绿色施工、降耗减排的要求，社会效益显著。得到了建设单位、监理单位、现场管理人员及作业人员的一致好评。

九、巩固措施

通过本次QC小组活动，我们不断地完善补充方案细节，顺利通过了钢结构总体施工组织设计、钢结构吊装安全专项方案等专家论证。为进一步巩固活动成果，在QC攻关完成后，小组为利于将这种新工艺施工经验推广应用，已将本小组活动成果转化为作业指导书，后期将会申报施工工法。

十、活动总结及今后打算

（一）总结：

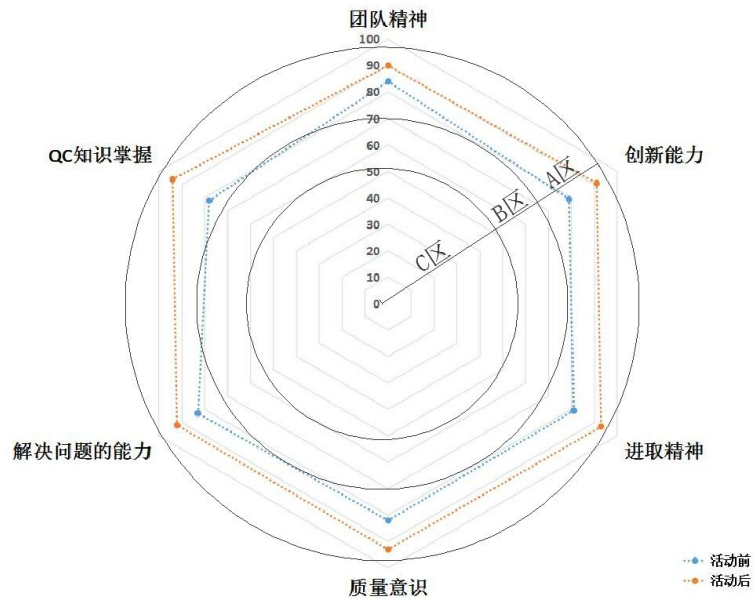
通过本次活动使小组成员的专业技术得到了进一步的提高，树立了勤于钻研的工作作风，提高了分析问题和解决问题的能力，业务素质得到了提升，也使小组成员看到了QC活动的重要性，锻炼了创新及研发能力，同时也积极响应了QC课题“小、实、活、新”特点的号召，更加激励了小组成员的创新意识。以下是小组成员的活动前后自我评价表：

自我评价数据统计 表5

序号	项目	活动前评价	活动后评价
1	进取精神	81	93
2	质量意识	82	93
3	解决问题能力	83	92
4	创新能力	79	91
5	QC知识掌握	78	94
6	团队精神	84	90

制表人：吴国栋

制表时间：2016年12月2日



自我评价雷达图

(二) 今后打算

小组通过本次活动成果非常明显，小组成员真正体会到了成就感，激发了继续开展QC小组活动的积极性。后续增加的QC活动课题初步定为“包商银行中庭屋盖施工质量控制”。把工程质量再提高一步，提升技术创新总结能力。