

Research and Application of Core Tube Extension Arm Truss Technology

Pengchong Zhao

No.2 Engineering Company Ltd. of CCCC First Harbor Engineering Company Ltd., Qingdao, Shandong, 266073, China

Abstract

Extension arm truss refers to the structural form of a truss formed by connecting steel pipes or steel plates in steel structures. The extension arm truss is widely used in construction engineering due to its reasonable structure, high strength, and strong durability. With the accelerated development of urbanization, more and more super high-rise buildings are appearing in construction. Due to the huge height and vast area of super high-rise buildings, the required structural materials and mechanical properties are higher than ordinary buildings. And the extension arm truss has become a widely used structural form in super high-rise buildings due to its excellent mechanical properties and structural characteristics. This paper is based on the introduction of the construction of the extended arm truss for the core tube refuge layer of the Hubei Financial Control Building project, and briefly discusses the research and application of the extended arm truss technology for the core tube.

Keywords

extension arm truss; super high-rise building; frame core tube; technical research

核心筒伸臂桁架技术研究与应用

赵鹏翀

中交一航局第二工程有限公司, 中国 · 山东 青岛 266073

摘 要

伸臂桁架是指在钢构建筑中, 采用钢管或钢板进行连接, 形成桁架的结构形式。伸臂桁架因其结构合理、强度高、耐久性强等特点, 广泛应用于建筑工程中。随着城市化的加速发展, 越来越多的超高层建筑在建设中出现。由于超高层建筑高度巨大, 面积广大, 所需的结构材料和力学性能都比普通建筑更高。而伸臂桁架因其优异的力学性能和结构特点, 成为超高层建筑中广泛应用的 forms。论文依托湖北金控大厦项目核心筒避难层伸臂桁架施工的介绍, 浅述对核心筒伸臂桁架技术研究与应用。

关键词

伸臂桁架; 超高层; 框架-核心筒; 技术研究

1 概述

1.1 研究的目的是与要求

核心筒 + 伸臂桁架结构体系不仅具有承载力高、抗震性能好的优点, 同时可起到减小构件截面尺寸, 增大建筑空间使用率的作用, 然而其施工工艺复杂, 施工难度大, 节点处施工质量难以保证。论文从湖北金控大厦项目超高层核心筒避难层伸臂桁架施工设计方案比选、施工工艺分析的角度入手, 论述超高层核心筒避难层伸臂桁架结构特点。

1.2 工程简介

项目建筑高度 176.85m, 地上 40 层, 地下 3 层, 裙楼 4 层; 总用地面积 13600m², 建筑面积 134545.41m², 其中地上办公面积 87405.34m², 商业面积 4586.62m², 地下室建筑面积

33600m²。主塔楼自上而下划分为总部办公、高区办公、中区办公、低区办公, 主群楼一到四层为大堂、食堂、会议室、银行。项目结构形式为框架核心筒结构, 设计使用年限 50 年。

本工程共有 3 个避难层, 分别为 11 层、22 层、33 层, 其中 22 层、33 层为结构加强层即伸臂桁架层, 11 层、33 层为标准层高 4.2m, 22 层层高为 5.7m。

1.3 工程所在位置

拟建场地周边环境较为复杂, 场地北临兴国路, 东临安邦路, 基坑支护桩外边线距兴国路最小距离为 11.9m, 距安邦路的最小距离为 3.1m, 兴国路和安邦路均为城市干道, 车流量较大。基坑南侧为田汉大剧院, 田汉大剧院为天然基础, 设一层地下室, 距本项目基坑支护桩外边线的最小距离为 6.0m。基坑西侧中北路和青岛嘴地铁站 A 出口, 中北路为交通主干道, 车流量大, 交通非常繁忙, 基坑支护桩外边线距离青岛嘴地铁站 A 出口的最小距离为 10.7m。

【作者简介】赵鹏翀 (1992-), 男, 中国河北秦皇岛人, 本科, 工程师, 从事建筑工程研究。

1.4 工程自然条件

1.4.1 风况条件

春夏多北风、东风 7、8 月多南风，风力一般 2~4 级，大风多为 5~6 级，江面最大阵风 7~8 级。年平均风速 2.8m/s；年最大风速 19.1m/s；极大风速可达 28m/s，7~8 级大风年平均 8.2 天，最多 16 天，最少 1 天。

1.4.2 气象条件

武汉地处中国东部沿海向内陆过渡地带，地处中纬度，属亚热带湿润性东南季风气候区。具有冬寒夏暖、春湿秋旱、夏季多雨、冬季少雪、四季分明的特征。年平均气温为 16.7℃，7 月平均气温高达 28.9℃，1 月仅 3.5℃。夏季气温高，35℃以上气温天数为 40 天左右，极端最高气温 41.3℃，极端最低气温 -18.1℃，武汉日均温 ≥10℃持续期达 235 天，年平均无霜期 240 天。一年四季分配也以夏季最长，达 135 天，冬季次之，为 110 天，具有冬夏漫长而春秋短促的显著特点。武汉地区降水充沛，多年平均降水量 1284.0mm，降雨集中在 4~9 月，年平均蒸发量为 1391.7mm，绝对湿度年平均 16.4%，年平均相对湿度 75.7%，湿度系数 $\Psi_w=0.903$ ，本地区大气影响深度 $da=3.0m$ ，大气影响急剧深度为 1.35m。

2 课题研究内容

2.1 核心筒伸臂桁架深化设计

金控大厦 22 层避难层在 8 轴、10 轴、12 轴上有三榀钢结构的伸臂桁架，通过将结构图纸与伸臂桁架深化图进行综合深化放样，利用计算机对复杂节点进行三维建模和平面放样，各构件的空间关系直接清晰。

2.2 方案的比选和确定

2.2.1 方案一（伸臂桁架整体吊装）

主要特点：能够避免与核心筒施工交叉作业，但整体构件较大，运输困难，且需要大型设备进行吊装。

评价：质量可靠性：好；工期：长；安全性：低；造价：高。

在本工程中的适用性：本工程核心筒避难层高度较高，场地狭小，建筑周边材料较多，核心筒内结构复杂，无整体吊装作业的空间。

2.2.2 方案二（伸臂桁架分段吊装）

主要特点：能够减少与核心筒施工交叉作业，减少现场拼装的工作量，需要大型设备进行吊装。

评价：质量可靠性：好；工期：长；安全性：一般；造价：高。

在本工程中的适用性：本工程伸臂桁架与核心筒施工交叉作业较多，核心筒部位面积狭小，结构复杂，不利于较大构件进行吊装。

2.2.3 方案三（伸臂桁架散拼安装）

主要特点：需要与核心筒施工进行交叉作业，运输方便，不需要大型设备吊装，对周边环境要求低。

评价：质量可靠性：好；工期：一般；安全性：好；造价：低。

在本工程中的适用性：本工程核心筒避难层高度较高，单构件有利于现场堆放、施工吊装等，能够更好地与核心筒施工相结合。

2.2.4 方案确定

通过上述分析可知，可供本工程核心筒伸臂桁架施工选用的方案有“伸臂桁架整体吊装”“伸臂桁架分段吊装”及“伸臂桁架散拼安装”的方法。由于“伸臂桁架整体吊装”“伸臂桁架分段吊装”构件运输困难，现场场地狭小，楼层高度较高，吊装难度大等特点，所以均不采用。针对本工程场地、结构特点，从安全、质量、成本的角度出发，决定采用散拼安装的施工方法。

2.3 工艺流程

伸臂桁架加工及安装工艺流程：排版→材料进厂→取样送检→下料→拼装→焊接→打磨→加工厂加工检测验收→防腐→运输→伸臂桁架钢立柱安装（混凝土强度达到安装强度）→轴线及标高校正→组装弦杆和斜腹杆→现场焊接→复测轴线及标高→现场安装检测验收。

2.4 操作要点

2.4.1 加工及安装准备

项目部以加工厂提供的深化设计图纸为依据来申报材料采购量，再按照加工厂提供的材料采购清单（市场常规尺寸）购买，排版要求经济合理、方便下料切割、减少损耗余量。

避难层伸臂桁架钢板材质为 Q420GJB，加工厂及现场所需 420 焊丝需提前采购并取样送检。

2.4.2 材料采购

项目部审核加工厂提供的排版图纸，并确认其钢材损耗及余料未超过合同量。审核无误后，通知物资采购钢材进场。材料到厂需检查其规格尺寸，与实际是否一致，并按规范要求取样送检。

2.4.3 下料切割

钢材采用火焰自动切割，次要部位的零件采用火焰半自动切割或手工切割。材料切割后，自由边缘必须进行打磨，并采用火焰半自动切割对零件进行坡口切割，再打磨。如表 1 所示。

表 1 气割允许偏差

项 目	允许偏差
零件宽度、长度	±3.0
切割面平面度	0.05t, 且不大于 2.0
割纹深度	0.3
局部缺口深度	1.0

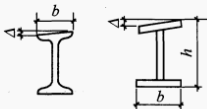
注：t 为切割面厚度。

2.4.4 钢骨柱及弦杆拼接

钢骨柱柱身及弦杆拼接为机械矫正固定拼接，机械矫正固定是指先将下翼缘板与腹板尺寸测量，并做好标记，再

调节设备使翼缘板与腹板处于垂直状态，跟随机械滚动点焊使翼缘板与腹板固定，两端需点焊，定位焊缝的厚度不应小于 3mm，不宜超过设计焊缝厚度的 2/3 且不超过 8mm，长度宜不小于 40mm 其间距宜为 300~600mm。如表 2 所示。

表 2 钢材矫正后允许偏差 (mm)

项目	允许偏差	图 例
工字钢、H 型钢 翼缘对腹板的 垂直度	$b/100$, 且 不大于 2.0	

2.4.5 柱身及弦杆焊接

焊前在焊缝区域内清除氧化铁皮、铁锈、水、油污、杂质等污物，要求露出金属光泽，并且检查焊缝坡口形式是否符合设计要求。先用 CO₂ 气体保护焊打底和填充，待焊缝清理干净后，在焊缝两端头焊接引弧板，引弧板厚度与材质必须和母材一致，且长度控制在 30~50mm。打底填充焊完成后，使用门式埋弧自动焊机将型钢上下翼缘板与腹板焊接完成盖面。

2.4.6 放样钻孔

认真核对图纸，确定孔间距、孔径等数据。按照图纸放样划线，敲洋冲眼固定钻头，防止滑动影响精度，待完成钻孔后重新复核孔距和孔径。

2.4.7 牛腿拼装焊接

牛腿上下翼缘板折弯采用折弯机缓慢加压使其达到设计角度，再将翼缘板与腹板预拼装确保其折弯角度及折弯点符合要求。将预拼接好的 H 型牛腿及箱型牛腿组装在柱身设计尺寸高度上，采用 CO₂ 气体保护焊焊接固定，定位焊缝厚度为 5~8mm 为宜。待牛腿焊缝打底完毕后再顺序焊接填充层，最后盖面。所有焊缝焊接时采用分段退焊，控制焊接变形。牛腿焊接完成后进行尺寸校验，如有偏差进行修正修改，防止误差累计。

2.4.8 检测

完成焊接打磨后，按照设计要求对一级焊缝进行 100% 检测，二级焊缝为抽样检验，钢结构工厂制作焊缝长度大于 1m 的焊缝，对每条焊缝按规定的百分比进行探伤，抽检部位为焊缝两端，且探伤长度不小于 200mm 规定，对保证每条焊缝的质量是有利的，对焊缝长度小于或等于 1mm 的焊缝，可按同类焊缝数量的百分比进行探伤。

2.4.9 栓钉焊接

安装前先放线，定出栓钉的准确位置，并对该点进行除锈、除漆、除油污处理，以露出金属光泽为准，并使施焊点局部平整。栓钉采用焊条电弧焊和气体保护电弧焊焊接。栓钉焊接后进行弯曲 30° 试验检测，其焊缝不应有肉眼可见的裂纹。

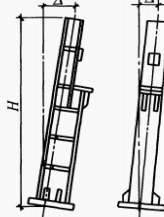
2.4.10 安装前轴线及标高校核

①基础混凝土强度达到施工所需强度，方可进行钢骨

柱的安装施工。

②混凝土浇筑完成后对柱身轴线、标高进行复测，检查是否发生过量位移，并做好记录以便构件安装时查验。如表 3 所示。

表 3 安装允许偏差

弯曲矢高		$H/1200$, 且 不大于 15.0	—	用经纬仪 或拉线和 钢尺等实测
柱轴线垂 直度	单层柱	$H/1000$, 且 不大于 25.0		用经纬仪或 吊线和钢尺 等实测
	单节柱	$H/1000$, 且 不大于 10.0		
	多层柱 柱全高	35.0		

2.4.11 钢骨柱吊装

①构件在安装前一天运至现场，将爬梯、溜绳、防坠器等固定在钢柱上，并在下节柱柱顶焊接定位码板。

②吊装作业时，应在施工范围内拉好警戒线，并派专人进行安全巡视。

③当上节柱柱脚距下节柱柱顶约 50cm 时，钢柱停止下落，按轴线位置扶正柱身，注意牛腿的安装方向，缓慢落钩就位，最后将两侧连接板安装完成。

2.4.12 钢骨柱校核

垂直起吊钢柱至安装位置与下节柱对正就位用临时连接板、螺栓进行临时固定，先对正上下柱头错位、扭转，再用千斤顶调节柱顶标高、校正柱子垂直度，使标高及垂直度偏差达到规范允许范围内。

2.4.13 钢骨柱固定

柱身标高及垂直度校核完成后，先将连接板与上下耳板焊接牢固，而后将上下钢柱连接处打底焊接，最后采用两根 6m 长 75mm × 5mm 的角钢将柱身与主体结构钢筋焊接(角钢顶端高度与柱牛腿上表面高度持平)。待固定焊接完成后，塔吊将吊钩缓慢下降至钢丝绳不受力状态，由测量人员重新复核柱身标高及轴线精度，保证精度达到规范允许范围内。最后由施工人员系好安全带、挂好防坠器，通过软爬梯至柱顶端解开钢丝绳。

2.4.14 上弦杆安装

①构件在安装前一天运至现场，将缆绳固定在钢柱上，并在弦杆两端各焊接一块定位码板。

②吊装作业时，应在施工范围内拉好警戒线，并派专人进行安全巡视。

③当上弦杆距柱身牛腿顶约 80cm 时，弦杆停止下落，由两侧施工人员通过缆绳调整弦杆方向缓慢落钩就位，用冲钉将弦杆两端孔打紧、校正，再用高强螺栓拧紧。高强螺栓安装时应清除摩擦面上的铁屑、浮锈等污物，摩擦面上不允

许存在钢材卷曲变形及凹陷等现象。

2.4.15 斜腹杆安装

先将斜腹杆按构件标号吊装至作业面楼层指定位置，再将手拉葫芦用吊带挂至距牛腿边 80cm 位置。缓慢拉动手拉葫芦链条，使斜腹杆上升至设计标高。通过撬棍左右调整，使斜腹杆与上下弦杆牛腿的标高及轴线偏差达到规范允许范围内，最后将斜腹杆与上下弦杆临时焊接固定。

2.4.16 焊接、复核

钢骨柱、上弦杆、斜腹杆安装完成后，测量人员复核构件轴线偏差，而后由焊工完成构件焊接。在焊接过程中注意焊接顺序，防止焊接对构件精度产生影响。待焊接完成后测量人员对构件标高及轴线统一复测，并做好记录，以便外侧构件安装时查验。

3 工艺实施效果

3.1 实施效果

本工程核心筒伸臂桁架施工通过三维建模和平面放样，各构件间的空间关系清晰明确，对核心筒与伸臂桁架细部节点相互矛盾部位进行重新深化审核，在满足相关规范及各行业标准规定下，采用设置钢筋焊接连接板、开设穿筋孔、深化外框钢梁预埋板等措施保障核心筒钢筋与伸臂桁架的冲突。将伸臂桁架与核心筒、伸臂桁架与外框钢结构的施工相结合，既保证了核心筒与伸臂桁架结构施工的质量，又确保了伸臂桁架与外框钢架施工的质量。

3.2 注意事项

①施工前，应熟悉核心筒及伸臂桁架的图纸及各种工况，掌握核心筒伸臂桁架的结构形式、各构件的连接要求。

②做好构件加工制作过程中质量的管控。

③做好构件最终出厂质量的控制。

④做好运输过程中的成品保护工作。

⑤现场安装遇到的问题，最好多与加工厂沟通，要每一道工序质量严格把控。

⑥做好与土建施工的衔接，确保现场钢构安装能有序、安全地进行。

3.3 存在问题及改进措施

通过核心筒伸臂桁架的加工及施工，发现构件在工厂

加工及现场安装过程中存在一些问题，主要表现在以下几个方面：

问题一：放样尺寸存在偏差，导致零部件焊接位置出现错误。

解决方法：加强质检复核制度，减少误差。

问题二：在高处安装过程中，爬架提升未完成，施工作业面无临边防护。

解决方法：做好提前沟通作业面施工情况，合理地安排施工时间，如果遇到无法调节时将立即停止，安全生产、杜绝隐患。

问题三：在加工和安装过程中存在标高和尺寸偏差，导致现场构件组装存在较大的焊缝。

解决方法：加强构件制作及安装过程中质量管控。

4 效益评估

核心筒+伸臂桁架结构形式，在超高层避难层中，既满足了对避难层的结构的加强及抗震性能，又能增大了建筑空间的使用率，具有结构性能好、安全性能高、效益好等优势。经过施工总结可知，缩短了避难层施工工期 5 天，节约了大量设备使用的费用，现场在安全方面的管控力度得到提升，施工应用的经济价值和社会效益十分突出。

5 结语

金控大厦项目部 22 层核心筒伸臂桁架已经安装完成，通过现场实践以及与加工厂交流总结，下一步将制定更加科学合理的施工技术方法，严格组织，精心施工，以保证较好完成地上钢结构施工。并为今后类似的避难层施工提供相关经验。

参考文献

- [1] 黄愿,汪梦甫,宋兴禹.带钢桁架水平加强层的高层混合结构抗震性能分析[J].钢结构,2010,25(6):15-19.
- [2] 杨克家,梁兴文,李波.带加强层超高层结构受力性能研究及设计建议[J].建筑结构,2008,38(2):5.
- [3] 何伟明,刘鹏,殷超,等.北京财富中心二期办公楼超高层结构体系设计研究[J].建筑结构,2009,39(11):1-8.
- [4] 闫峰,周建龙,汪大绥,等.南京绿地紫峰大厦超高层混合结构设计[J].建筑结构,2007,37(6):20-24.