

图 2 钢混组合建筑结构设计方案

(1) 结构设计说明：十六层挑檐外挑 4.9-5.8m，挑檐顶面高度为 74.15m，其结构件外挑最长为 3.95m，整个结构设计为箱式结构，挑板为 100mm 厚，主挑梁梁高为 1400mm 高和 950mm 高两种截面，梁宽为 4000mm。主梁上设置 300mm 宽和 900mm 高的剪力墙。

(2) 建筑设计说明：挑檐结构施工完成后，在结构面安装钢龙骨形成挑檐骨架，钢龙骨外侧安装铝单板饰面层形成最终外立面造型。

(3) 挑檐龙骨设计说明：结构施工完成后，用热浸镀锌方钢管与混凝土结构通过锚栓连接，形成主悬挑钢龙骨，次龙骨用热浸镀锌角钢与主龙骨焊接，形成整体的龙骨结构。

上述设计方案是采用钢混（混凝土结构和钢龙骨）组合结构形式，其中混凝土结构外挑檐最长为 3.950m，挑檐顶标高为 74.05m；从设计方案来看，本挑檐工程施工难度极大，施工成本高，同时施工安全及质量都无法得到保证。

3.2 挑檐结构设计解决方案

由于该项目挑檐结构复杂，所以在工程施工前对外挑檐结构设计方案进行了对比，主要从施工安全性、结构安全性、施工进度、经济指标等因素，综合考虑分析外挑檐结构形式的设计优缺点；通过对业主设计意图进行分析后，本项目初步对外挑檐结构设计方案，是采用钢混（混凝土结构和钢龙骨）组合结构形式和钢结构形式两种方案进行对比，其中钢结构设计方案如下（十六层型钢结构剖面见下图）：

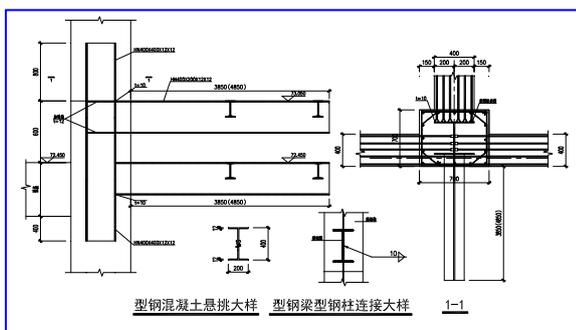


图 3 型钢及型钢混凝土结构节点大样

(1) 型钢混凝土设计说明：挑檐主梁为 HN400*200*12*12 的型钢，间距 8m 既每根框架柱悬挑两根主梁，次梁为 20a# 工字钢，次梁与主梁的连接方式为焊接，次梁设置四道，沿线条

周圈布置。挑檐主梁型钢伸入柱内，与柱内竖向型钢连接，埋入柱内的型钢为 HN400*200*12*12。梁柱节点处梁钢筋通过直螺纹焊接于工字钢上。

(2) 挑檐龙骨设计说明：结构施工完成后，用热浸镀锌方钢管与外挑型钢连接，形成主悬挑钢龙骨，次龙骨用热浸镀锌角钢与主龙骨焊接，形成整体的龙骨结构。

从钢结构挑檐方案可以看出，十六层挑檐外挑宽度为 4.9-5.8m，挑檐构件外挑过长，仅设计建筑幕墙钢龙骨无法满足挑檐构件受力要求，如采用钢结构挑檐设计，需在十六层及层层外围梁柱混凝土中增设外挑型钢结构作为挑檐的受力构件。

3.3 两种结构形式挑檐结构方案对比分析

根据分析,钢结构挑檐比钢混组合结构形式挑檐材料成本低,综合其它各层挑檐形式材料对比,材料成本都比钢混组合结构形式挑檐材料成本低。

3.4 挑檐结构设计方案的确定

根据十六层外挑檐结构安全性、经济指标和施工进度等因素,综合考虑分析外挑檐结构方案形式的设计优缺点,以及施工的安全性和难易程度,最终确定十四层以上采用钢结构型钢挑檐设计方案。

4 挑檐结构施工方案的选择

根据施工实际情况分析,现一般常用的脚手架工程体系分落地式和悬挑式脚手架两种。本工程七层挑檐落地式脚手架搭设的高度约为 32.5m,宽度约为 3m;十六层的挑檐落地式脚手架搭设高度最低为 53.85m,宽度为 6.4m。根据规范要求,落地式钢管脚手架工程的搭设高度不宜超过 50m。本建筑挑檐构件施工如采用落地式脚手架,则搭设高度已超过国家规范要求,因此本工程挑檐施工不应采用落地式钢管脚手架工程支撑体系。由于不宜采用落地式脚手架工程施工,考虑到本工程十六层挑檐外挑宽度为 4.9-5.8m,以及施工的安全性、施工工期和施工成本等原因,传统工字钢作业平台又不能满足安全性需求,故本工程确定设置钢操作平台作为悬挑盘扣式脚手架工程的基础平台。

5 钢平台和盘扣式脚手架设计与计算

5.1 钢平台和盘扣式脚手架设计

5.1.1 钢操作平台的设计

(1) 十四层以上每层均设置有挑檐线条,为节约成本,同时考虑外架的美观性,在十三层+56.5m 设置一道钢操作平台,由于十六层挑檐为外挑最宽的楼层,外挑宽度达到 4.9-5.8 (局部) m,因此十三层钢操作平台安装宽度按十六层挑檐的建筑宽度另加 1.1m 外架搭宽度,钢平台悬挑长度 6m,局部 6.9m;上部悬挑架最高 25m。

(2) 钢平台上部挑檐线条龙骨为钢结构，因此钢操作平台只需同时满足型钢构件的安装荷载及盘扣式脚手架的荷载，+56.5m 钢平台计算荷载按 5KN/m² 考虑。

(3) +56.5m 钢平台：十三层钢平台主梁工字钢用 32a# 工字钢，间距为 1500mm，主梁型钢长度 12m；钢平台设计外挑宽度为 6.1—6.9m；次梁用 32a#/18a# 工字钢，次梁间距为 1.3m，沿线条周围设置五道。下层斜及拉杆撑用 32a# 工字钢，钢平台面层为 3mm 厚的花纹钢板。钢平台搭设区域平面详见下图：

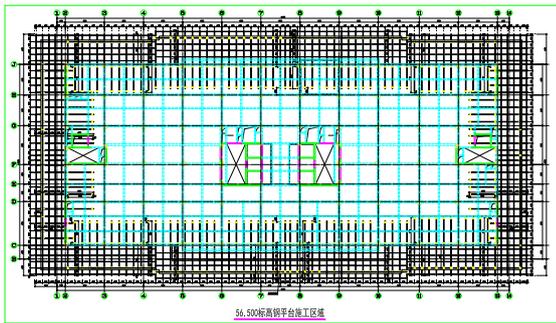


图 4 13 层（56.5m）钢平台型钢布置平面图

5.1.2 盘扣式钢管脚手架的设计

架体搭设材料：承插型盘扣式钢管，脚手板为定型钢脚手板。

架体类型：施工外架，主体结构施工阶段与装修阶段使用，作业层数按 2 层考虑，荷载标准值 2KN/m²。

架体参数：立杆的纵距 1.50/1.2/0.9m，立杆的横距 0.6/0.6/0.9/1.2/1.5m，立杆的步距 1.5m，排数：不同搭设部位 4~6 排，外排防护层（不大于 4m）结构预埋拉结点，拉结点间距 3 跨。自 13F 悬板面挑架施工至屋面结构，挑架高度：25m（56.5m~81.5m）。搭设区域与架体布置如下图：

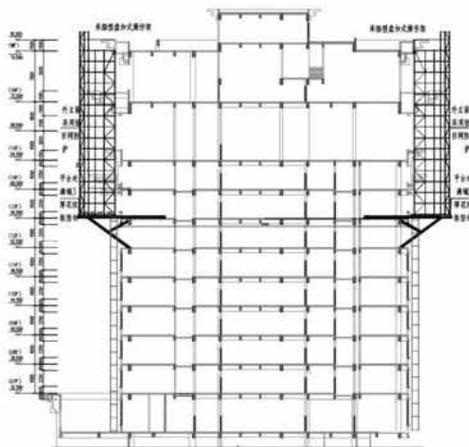


图 5 13 层（56.5m）盘扣脚手架和钢平台型钢剖面示意图

5.2 盘扣式钢管脚手架及钢操作平台安全方案计算

5.2.1 盘扣式钢管脚手架安全方案计算

本工程采用承插盘扣式钢管脚手架，立杆钢管管径为

60mm，壁厚为 3.2mm，纵向间距为 1.5m，立杆横向间距依次为 0.6/0.6/0.9/1.2/1.5m；横杆采用 $\phi 48 \times 2.75\text{mm}$ 钢管，步距 1.5m；斜拉杆采用 $\Phi 42.8 \times 2.5\text{mm}$ 系列；其余连接用及对顶钢管采用 $\phi 48 \times 3.0\text{mm}$ 。其它具体参数参见 5.1.2 盘扣式钢管脚手架的设计。

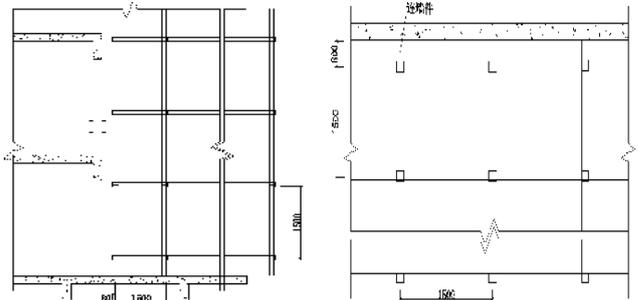


图 6 盘扣式脚手架计算剖面图 图 7 盘扣式脚手架平面图

本工程盘扣式钢管脚手架设计方案在满足各项荷载作用下，具有足够的强度、刚度和稳定性的要求，经计算盘扣式钢管脚手架体系，满足设计方案要求。

5.2.2 钢操作平台安全方案计算验算

通过上述对外挑檐方案、钢操作平台的设计方案、盘扣式钢管脚手架等安全方案及相关参数要求的确定，现对钢结构操作平台进行计算，具体计算及计算参数如下：

本工程多排悬挑架钢操作平台主要计算参数参见 5.1.1 钢操作平台设计，其中，悬挑方式为联梁悬挑；主梁与建筑物连接方式为平铺在楼板上；锚固点设置方式为 U 型锚固螺，锚固螺栓直径为 20mm；钢操作平台支撑方式为上拉下撑，其中上拉方式不参与计算。

(1) 多排悬挑架钢平台方案计算

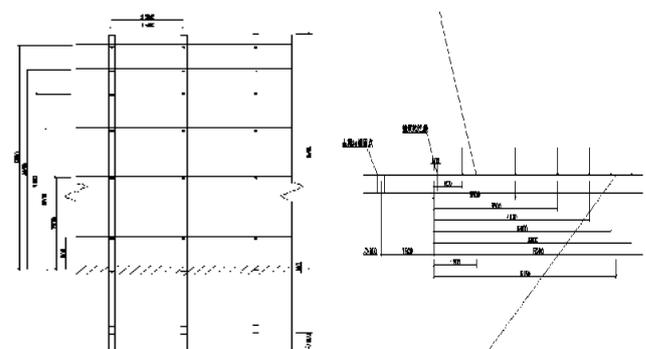


图 8 钢操作平台计算平面图 图 9 钢操作平台计算立面图

本工程多排悬挑架钢操作平台经过联梁验算、主梁验算、下撑杆件验算、悬挑主梁整体稳定性验算及锚固段与楼板连接的计算等验算，钢操作平台设计方案在满足各项荷载作用下，具有足够的强度、刚度和稳定性的要求。

(2) 多排悬挑架钢操作平台方案计算验算

① 结构模型概况

各层等效尺寸

表 1 各层等效尺寸(单位:m,m2)

层号	层高	层尺寸	面积	形心X,Y	等效层数	等效层厚	最大弯矩	最小弯矩
2	2.000	4.000	99.75	12.47,9.41	13.30	7.50	13.30	7.50
1	2.000	2.000	0.00	0.00,0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

②荷载信息

风荷载信息

风压单位: KN/m²; 迎风面积单位: m²;

本层风荷、楼层剪力单位: KN; 楼层弯矩单位: KN.m.

表 2 X 向顺风向风荷载信息

层号	本层风荷	楼层剪力	楼层弯矩
2	9.4	9.4	18.8
1	7.7	17.1	53.1

表 3 Y 向顺风向风荷载信息

层号	本层风荷	楼层剪力	楼层弯矩
2	16.7	16.7	33.4
1	9.6	26.3	86.0

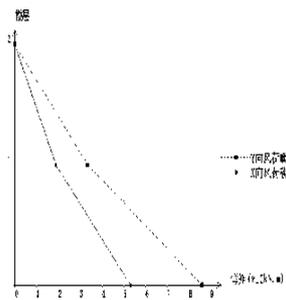
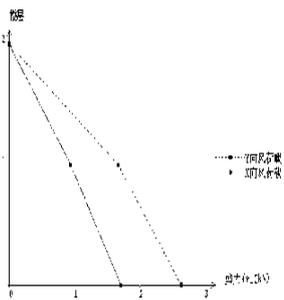


图 10 顺风向楼层剪力简图

图 11 顺风向楼层弯矩简图

(3) 结构分析及设计结果简图

①结构平面简图

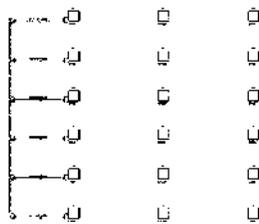


图 12 1 层结构平面简图

②荷载简图



图 13 1 层荷载简图

③配筋简图

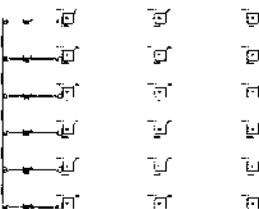


图 14 1 层配筋简图

④梁弹性挠度简图

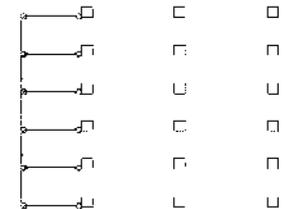


图 15 1 层梁弹性挠度简图

图 14 1 层配筋简图

图 15 1 层梁弹性挠度简图

⑤梁内力包络简图

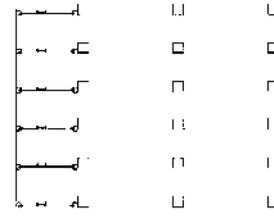


图 16 1 层弯矩梁内力包络简图

6 施工工艺技术

6.1 钢操作平台主要施工工艺技术

6.1.1 施工工艺

钢操作平台及外架搭设施工工艺示意图如下:

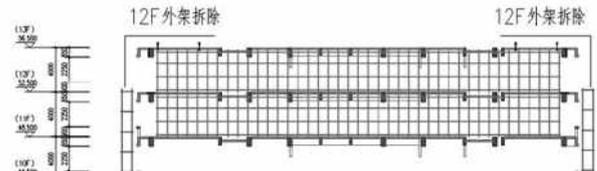


图 17 13 层预埋件安装和 12 层外架拆除剖面示意图

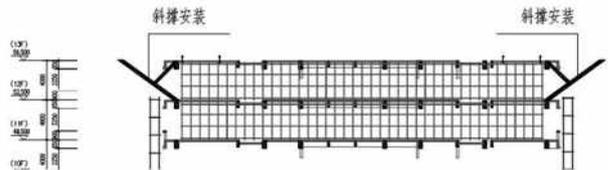


图 18 13 层钢平台斜撑安装剖面示意图



图 19 13 层平台梁安装、花纹板铺设剖面示意图

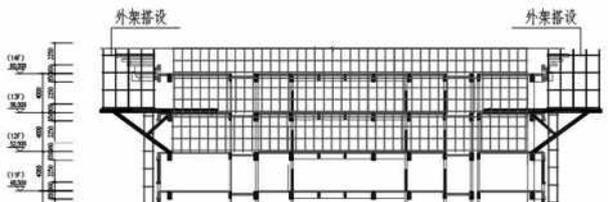


图 20 13 层外架随进度层搭设剖面示意图

6.1.2 +56.5m 层钢平台施工技术

(1) +56.5m 层钢平台悬挑跨度大, 在钢平台区域支撑柱脚位置安预埋件(板、墙、柱), 同样在施工预埋件放置区域结构浇筑时添加混凝土早强剂。

(2) 施工+52.5m 标高时放置预埋板, 在施工至+56.5m 标高时在边跨梁放置预埋板及板面预埋螺栓。见下图:

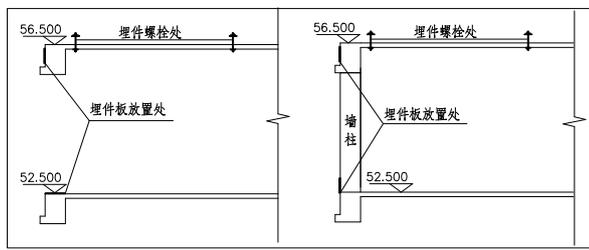


图 21 预埋件放置示意图

(3) 悬挑钢梁采用工字钢 32a#, 长度 12m, 悬挑长度 6.1m, 局部 6.9m, 斜撑及拉杆采用工字钢 32a#, 均为一道; 横向支撑采用工字钢 32a#, 支撑一道。接触面满焊。焊缝厚度 8mm。

(4) 待埋件处结构混凝土强度达到 80% 后, 进行钢平台安装。为保证施工安全及整体稳定性, 施工顺序为对称焊接, 钢梁及斜支撑焊接完毕后, 进行整体加固连接。为保证施工安全及整体稳定性, 施工顺序为对称焊接, 钢梁及斜支撑焊接完毕后, 进行整体加固连接。具体步骤如下:

12F 外架拆除 → 斜支撑的组合钢构件地面组装焊接 → 组合钢构件吊至预埋件处进行连接校准 → 连接两榀组合件斜支撑的 1 道横向支撑焊接 → 悬挑工字钢安装 → 水平连接钢梁 5 道 → 铺设 3mm 花纹板。

6.1.3 钢平台安装特殊节点部位施工注意事项

(1) 斜撑节点设置: 采用 12 厚连接板、M22 螺栓连接。

(2) 斜撑若与混凝土挑梁冲突, 可将支撑适当移动至混凝土梁的下方, 混凝土梁的下边预埋锚栓, 连接板和钢梁在工厂加工。

(3) 平台梁与混凝土梁、楼板采用预埋锚栓, 规格为 M20, 平台梁上连接板在工厂做好, 现场安装。所有平台梁、斜撑与混凝土墙、柱采用预埋锚栓, 规格为 M18, 平台梁上连接板在工厂做好, 现场安装。

(4) 斜撑与下层混凝土楼板采用预埋锚栓, 规格为 M20, 平台梁上连接板在工厂做好, 现场安装。

(5) 四个转角处的牛腿应是 L 型埋板先期预埋, 牛腿待钢平台安装时与埋板现场焊接。另外, 牛腿与混凝土有冲突, 建议将牛腿加劲板适当调整修型。

(6) 四个转角处的斜撑与平台梁连接处按现场焊接处理。

(7) 四个转角处斜撑交汇在一处, 可按正对连接板的斜撑梁在工厂加工, 斜接的梁由现场根据实际情况进行焊接。

(8) 部分平台梁和斜撑位于混凝土梁、柱边缘位置, 其连接板建议可按边缘对其混凝土边, 预埋孔位随之移动, 避开钢梁和混凝土的遮挡。

(9) 在内直角转角处, 斜撑梁的连接板只能接在这个直角内, 预埋锚栓分别埋在两边混凝土梁内。阴角相邻的两排锚栓伸出混凝土外会导致相互碰撞, 且连接板为 L 型, 实际难以

安装, 将 L 型板改为两块板, 其中一块在工厂与斜撑焊好, 另一块现场安装。

本次吊装作业采用现场两台 (PT6013FZ-6、PT6012FZ-6) 塔吊, 现场备用一台 200t 汽车吊, 应现场作业面较多。当塔吊负荷不满足作业要求时使用吊车作业。

6.2 挑檐钢结构施工

(1) 本工程挑檐钢结构 (见图 3-2) 预埋件安装, 为“主梁支座埋件”安装。当梁柱钢筋绑扎后, 根据预埋件布置图及已标注的定位或控制线进行预埋件安装; 为保证预埋件的安装质量, 混凝土浇筑、振捣过程中应进行跟踪检查, 若出现位移偏差, 应立即进行处理。

(2) 本工程挑檐钢结构柱梁在加工厂制作完成, 混凝土柱第一次浇筑至预埋件下方 10cm 处, 待强度达到 50% 后方可进行钢柱安装; 待钢柱安装校正到位后进行钢梁安装, 在进行螺栓连接后校正, 然后对需要焊接的部位进行施焊。

(3) 挑檐钢结构安装完成后, 用热浸镀锌方钢管与外挑型钢连接, 形成主悬挑钢龙骨, 次龙骨用热浸镀锌角钢与主龙骨焊接, 形成整体的龙骨结构; 钢龙骨外侧安装铝单板饰面层形成最终外立面造型。

6.3 承插型盘扣式多排脚手架施工

(1) 立杆应通过立杆连接套管承插连接, 脚手架首层立杆应采用不同长度的立杆交错布置, 立杆错开为 1m, 当立杆模数不符无法调整时用同规格钢管将两侧架体连接。

(2) 斜杆设置: 沿架体外侧纵向每 5 跨每层设置一根竖向斜杆, 端跨的横向每层应设置竖向斜杆, 统一采用盘扣自身斜杆做加固。

(3) 连墙件设置

外脚手架的搭设, 应沿建筑物周围连续封闭, 遇进出口等不能封闭时, 应设置必要的纵向支撑, 端部加强设置连墙点。脚手架与主体结构的连接采用刚性连接。当短肢剪力墙、梁施工时, 在楼层拉结点的相应位置预埋 500mm 长钢管。连墙件连接时应采用双扣件连接加固。考虑挑檐铝板安装是需拆除部分连墙件, 各楼层与每根框架柱增设抱住连接。

特殊构造: 多排脚手架横跨较大, 连墙件跨度较长。增设斜拉杆提高抗弯性能。

连墙件应设置在有水平杆的盘扣节点旁, 连接点至盘扣节点距离不得大于 300mm; 采用钢管扣件做连墙杆时, 连墙杆应采用直角扣件与立杆连接。

6.4 钢操作平台拆除施工

(1) 先将平台上的花纹板逐榀拆除, 然后按周圈均匀拆除, 以 1 榀钢架为基准点, 两两钢架为支点, 对中间的榀钢架拆除时起到支托作用。

(2) 将平台上的花纹板按顺序拆掉, 统一放置并用塔吊吊至指定位置。

(3) 拆除连接横向支撑与水平连接梁: 拆除横向支撑与水平连接梁, 每榀悬挑钢梁为独立单体。

(4) 拆除悬挑钢梁: 每榀悬挑钢梁形成独立单体, 对预埋板焊接点进行切割, 在对预埋螺栓进行切割, 最后由吊车吊到地面指定地点, 依次逐榀拆除。

7 钢平台及脚手架监测监控

7.1 监测内容及监测网布置

(1) 悬挑脚手架在搭设、使用过程中, 必须确保整体稳定性, 应重点对架体基础工字钢、斜杆、立杆、连墙件等做好监测。

(2) 在悬挑架施工前完成基准点的布设, 悬挑钢操作平台完成后, 开始搭架前布设观测点, 并对位移、沉降监测网进行初始值的测读。位移监测点的布置根据现场实际情况, 考虑基准点的稳定性和观测精度要求, 利用现场引测控制点作为悬挑脚手架位移、沉降监测基准点。

(3) 目测的主要内容有: 工字钢卡环是否出现松动; 架体是否下沉; 斜撑是否变形; 连墙件是否松动; 挡脚板、脚手板等是否遭到破坏等。

7.2 监测要求

(1) 变形速率预警值为(悬挑架搭设过程中)连续每天

变形速度大于 10mm/天; (搭设完成后) 连续每天变形速度大于 5mm/天。

(2) 当水平位移、沉降达到安全值或 12 小时内位移超过 5mm 时, 应及时通知项目技术负责人, 并加密观测, 同时加强悬挑架体巡回目测。

(3) 当变形累计值、变形速率等指标达到预警值时, 将增加监测频率, 必要时, 增加监测点的布置。

8 结语

本文通过对荆楚风格建筑挑檐设计方案对比, 从施工安全性、结构安全性、施工进度、经济指标等综合研究分析, 分析了钢混组合式结构和钢结构挑檐两种结构形式的挑檐设计优缺点, 确定钢结构挑檐设计方案; 同时通过各项施工技术研究探讨, 最终选择钢操作平台与承插盘扣式脚手架作为钢结构挑檐施工方法。

从本工程钢结构外挑檐采用钢操作平台与盘扣式脚手架施工方案的实施效果来看, 由于本工程施工前已做好各项交底工作; 施工过程中加强盘扣式脚手架体系的安全构造措施, 强化施工过程质量检查; 搭设完后按规定组织各相关单位进行联合验收, 并派专人对钢操作平台和盘扣式脚手架体系进行变形监测。在确保外挑檐工程施工的安全与质量情况下, 保证了工期, 降低了施工成本, 取得了良好的经济效益和社会效益, 为今后类似工程的组织实施积累了施工技术经验。

参考文献:

- [1] JGJ/T231-2021. 建筑施工承插型盘扣式钢管脚手架安全技术标准[S].
- [2] GB50009-2012. 建筑结构荷载规范[S].
- [3] GB50205-2020. 钢结构工程施工质量验收标准[S].
- [4] 江正荣编著. 建筑施工计算手册[M]. 第四版. 北京: 中国建筑工业出版社, 2018:807-853.
- [5] 刘京国. 大型悬挑钢结构施工关键技术研究[J]. 黑龙江科学, 2014, 5(10):86-87.
- [6] 周红亮. 某工程外廊及挑檐型钢支撑体系施工技术[J]. 山西建筑, 2015, 41(16):83-84.