

建筑施工中超高处大跨型钢悬挑结构施工技术探索应用

马英杰

新疆生产建设兵团第十三师红星建设集团 新疆 哈密 839000

【摘要】：建筑设计为了突出建筑立面整体效果,经常会出现突出外立面的造型,建筑施工中会出现高空大跨悬挑结构施工,本文探索型钢悬挑结构支模施工技术。该技术施工方便,安全可靠,可缩短施工工期,大幅度减少施工措施投入。

【关键词】：悬挑结构 大跨型钢悬挑支撑体系

1 危大工程概况和特点:

本工程为新疆哈密地区新星市某医院建设工程。拟建建筑为地上6层、地下1层的框架多层公共建筑。该建筑总面积13124.10 m²,建筑总体呈规则矩形,长75.6m,宽23.4m。建筑总高度31.05米(地上高度)。本工程屋顶为斜屋面,屋面在南北方向伸出立面4.5米,其中斜屋面悬挑3.3m,屋面外侧为檐沟,檐沟宽0.3m,在檐沟外侧设置宽0.9米的铝单板外包装饰面。在实际施工时,在建筑标高27米处存在大悬挑部位,考虑到施工空间及外架防护面宽度预留0.6米,因此实际施工中总悬挑跨度为5.1米。根据建设部37号令规定,分段架体搭设高度20m及以上的悬挑式脚手架工程属于危大工程,需专家论证通过后方可实施。

由于该悬挑结构施工高度为27米,且施工悬挑跨度达到了5.1米,施工技术难度大。如果采用传统满堂脚手架施工方法将消耗大量的材料和人力,施工成本极高,且施工周期长,本着安全可靠、经济节约、施工方便、周期短的原则,采用型钢悬挑结构支撑体系施工。有效解决了施工中的重难点问题,大幅节约了投资。该方案于2021年8月通过专家论证后实施。

2 施工方案的比选

本项目高空悬挑结构施工的特点是施工高度高,悬挑跨度大,施工危险性极大。为了满足模板支撑系统和外防护架体的刚度和稳定性要求。高空作业过程中必须保证施工中绝对安全,因此整个支撑系统的支撑形式和材料选择,必须充分的考虑,需对几个可能施工方案进行经济、技术及安全方面的比选。

2.1 传统的落地式满堂钢管脚手架支撑体系

该支撑体系由于支撑高度高,南北方向均有悬挑,落地式满堂脚手架必须加密横向杆件和竖向立杆的间距,在沿高度方向间隔5米布设水平剪刀撑,在脚手架外立面方向连续布置剪刀撑。因此需大量的投入钢管脚手架,钢管脚手架主要为租赁形式,作业时需要大量的架子工人工搭设。经济投

入非常大。方案仍需专家论证,技术上能够实现。

2.2 型钢悬挑支撑结构体系

该体系整体刚度大,结构安全可靠,通过型钢组合拼装形成排架体系,施工主要材料为型钢,型钢组合结构的加工主要在地面进行,通过切割和焊接组装,施工时可以采用汽车吊进行机械吊装作业。型钢在使用完毕,可以回收。

通过经济、技术及安全指标比选:落地式满堂钢管脚手架支撑体系措施费总成本约80万,型钢悬挑支撑结构体系总成本费用约35万(材料购买、运输、加工及安装约65万,回收价约30万),型钢悬挑支撑结构体系比落地式满堂钢管脚手架支撑体系节省措施费约45万元。技术及安全方面经过专家论证后实施,技术及安全措施按照施工方案进行。因此,通过比选,确定选用型钢悬挑支撑结构体系。

3 施工方案

本项目型钢主梁拟采用20a号工字钢,按照间距1.5米布设,悬挑主梁楼面搁置段长度6.9米,悬挑端5.1米(主梁建筑物内锚固长度:主梁建筑物外悬挑长度=1.35),在距悬挑梁端部1.5米处加设支撑(距锚固点3.6米),悬挑梁的斜撑另一端支撑于五层结构楼面上,斜撑拟采用18号工字钢。(如图2所示)。在悬挑主梁上电焊槽钢形成连梁,连梁既作为链接各个型钢组合约束,同时也作为模板支架的传力体系,连梁间距根据模板支架间距布设(本项目经过计算为0.9m),连梁间布设脚手板。待该层板模板浇筑完毕强度达到100%后,在该层板上支设斜屋面模板支架。

4 施工工艺流程

【型钢悬挑结构和脚手架(扣件式)】

预埋件设置→安装悬挑主梁→悬挑主梁斜撑设置→立杆定位点设置→纵向扫地杆→立杆→纵向水平杆→剪刀撑→连墙件→槽钢连梁→铺脚手板→扎安全网

5 主要工序施工方法

5.1 悬挑梁定位

定距定位，放样悬挑梁位置并做好标记。悬挑梁必须保证有足够的锚固强度和截面抗屈曲能力，悬挑长度应按设计确定。普通主梁悬挑时，立杆直接支承在悬挑梁上，水平悬挑梁的纵向间距与上部脚手架立杆的纵向间距相同；上部脚手架立杆与挑梁支承结构应有可靠的定位连接措施，以确保上部架体的稳定。通常采用在挑梁上焊接 150-200mm，外径 $\Phi 25$ mm 的钢筋，立杆套在其外，并同时立杆下部设置扫地杆。

5.2 悬挑梁宜采用钢筋拉环、U 型螺栓进行锚固

(1) 型钢悬挑梁固定端应采用 2 个（对）及以上钢筋拉环或锚固螺栓与建筑结构梁板固定；钢筋直径采用 18 号光圆钢筋。

(2) 钢筋预埋至混凝土板、混凝土梁底部，每侧平直段不小于 0.6m；

(3) U 型螺栓预埋至混凝土板、混凝土梁底部，2 根 1.5m 长直径 18mmHRB335 钢筋放置 U 型筋上部；

(4) 钢筋拉环、U 型螺栓与悬挑梁间隙用木楔楔紧；U 型环在板内和边梁内布置。

5.3 立杆及剪刀撑设置

(1) 立杆采用对接头连接，立杆与纵向水平杆采用直角扣件连接。接头位置交错布置，两个相邻立杆接头避免出现在同步同跨内，并在高度方向错开的距离不小于 50cm；各接头中心距主节点的距离不大于步距的 1/3。

(2) 每根立杆底部应设置垫块，并且必须设置扫地杆。纵向扫地杆应采用直角扣件固定在距底座上皮不大于 200mm 处立杆上。

(3) 立杆的垂直偏差应控制在不大于架高的 1/400。

(4) 开始搭设立杆时，每隔 6 跨设置一根拉撑，直至连墙件安装稳定后，方可根据情况拆除。脚手架应连续布设剪刀撑。

5.4 悬挑排架模板支架搭设

悬挑部位模板支架间距按照计算确定（按照 900x900 布设），沿着支架纵向在主梁上铺设槽钢（槽钢与主梁垂直布设），与脚手板按照 900mm 间隔布置，槽钢规格选用 14b 号槽钢，倒扣通长铺设在主梁上，通过点焊固定，每根槽钢不应小于 6 米，槽钢拼接端头必须布置在主梁上。钢管支架下部应设置垫木，垫木放在槽钢上，不得打滑。悬挑主梁在

吊装时，预埋件混凝土强度不小于 75%，加载附加荷载时，预埋件混凝土强度达到 100%以上方可施工。

5.5 斜撑布置与主梁链接方式

在 4 楼结构面提前预埋外径 $\Phi 25$ mm 的钢筋，外露长度 100—150mm，预埋钢筋间距按照 1.5 米布设，在预埋钢筋外侧焊接 20a 号槽钢，预埋钢筋与槽钢双面焊接，待悬挑结构临时固定后，斜撑支撑工字钢端部与槽钢焊接，现场四面围焊。悬挑主梁采用 20a 工字钢，斜撑采用 18 号工字钢，从建筑物外 3.5 米处设置支撑点，斜撑垂直段距离 4.5 米，水平段 3.5 米，主梁与斜撑夹角为 52 度，在夹角处设置加劲钢板，加劲钢板厚度 8mm，加劲钢板短边尺寸不小于 5 公分。主梁与斜撑四面围焊，加劲钢板与主梁及斜撑采用双面焊。

6 计算书

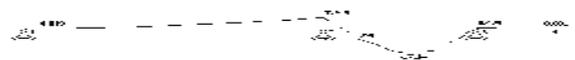
6.1 荷载布置参数

| 支撑点号 | 支撑方式 | 距主梁外锚固点水平距离(mm) | 支撑件上下固定点的垂直距离 L1(mm) | 支撑件上下固定点的水平距离 L2(mm) | 是否参与计算 |
|------|------|-----------------|----------------------|----------------------|--------|
| 1 | 下撑 | 3500 | 4500 | 3500 | 是 |

| 作用点号 | 各排立杆传至梁上荷载标准值 F'(kN) | 各排立杆传至梁上荷载设计值 F(kN) | 各排立杆距主梁外锚固点水平距离(mm) | 主梁间距 la(mm) |
|------|----------------------|---------------------|---------------------|-------------|
| 1 | 6 | 8.4 | 800 | 1500 |
| 2 | 8.7 | 12.2 | 1700 | 1500 |
| 3 | 11.4 | 16 | 2600 | 1500 |
| 4 | 14 | 20 | 3500 | 1500 |

6.2 主梁验算

(1) 强度验算



弯矩图(kN·m)

$$\sigma_{max} = M_{max} / W = 17.34 \times 10^6 / 237000 = 73.164 \text{ N/mm}^2 \leq [f] = 215 \text{ N/mm}^2 \quad \text{符合要求!}$$

(2) 抗剪验算



剪力图(kN)

$$\tau_{\max} = Q_{\max} / (8I_z \delta) [bh_0^2 - (b - \delta)h^2] = 19.594 \times 1000 \times [100 \times 200^2 - (100 - 7) \times 177.2^2] / (8 \times 23700000 \times 7) = 15.942 \text{ N/mm}^2$$

$$\tau_{\max} = 15.942 \text{ N/mm}^2 \leq [\tau] = 125 \text{ N/mm}^2 \quad \text{符合要求!}$$

(3) 挠度验算



变形图(mm)

$$v_{\max} = 4.434 \text{ mm} \leq [v] = 2 \times l_x / 250 = 2 \times 5100 / 250 = 40.8 \text{ mm}, \quad \text{符合要求!}$$

(4) 支座反力计算

$$\text{设计值: } R_1 = 0.004 \text{ kN}, R_2 = 21.902 \text{ kN}, R_3 = 38.714 \text{ kN}$$

6.3 下撑杆件验算

下撑杆件角度计算:

$$\beta_1 = \arctan L_1 / L_2 = \arctan(4500 / 3500) = 52.125^\circ$$

下撑杆长度:

$$L_{01} = (L_1^2 + L_2^2)^{0.5} = (4500^2 + 3500^2)^{0.5} = 5700.877 \text{ mm}$$

轴心受压稳定性计算:

$$N_{X1} / (\phi_1 A f) = 49045.119 / (0.09 \times 3074 \times 205) = 0.865 \leq 1, \quad \text{符合要求!}$$

对接焊缝验算:

$$\sigma = N_x / (l_w t) = 49.045 \times 10^3 / A = 49.045 \times 10^3 / 3074 = 15.955 \text{ N/mm}^2 \leq f_c^w = 185 \text{ N/mm}^2, \quad \text{符合要求!}$$

6.4 悬挑主梁整体稳定性验算

主梁轴向力:

$$N = |[-(+N_{XZ1})]| / n_2 = |[-(+30.111)]| / 1 = 30.111 \text{ kN}$$

压弯构件强度:

$$\sigma_{\max} = [M_{\max} / (\gamma W) + N / A] = [17.34 \times 10^6 / (1.05 \times 237 \times 10^3) + 30.111 \times 10^3 / 3555] = 78.15 \text{ N/mm}^2 \leq [f] = 215 \text{ N/mm}^2 \quad \text{符合要求!}$$

受弯构件整体稳定性分析:

其中 ϕ_b -- 均匀弯曲的受弯构件整体稳定系数:

查表《钢结构设计标准》(GB50017-2017)得, $\phi_b = 0.68$, 由于 ϕ_b 大于 0.6, 根据《钢结构设计标准》(GB50017-2017)附表 C, 得到 ϕ_b' 值为 0.66。

$$M_{\max} / (\phi_b' W_x f) = 17.34 \times 10^6 / (0.655 \times 237 \times 215 \times 10^3) = 0.519 \leq 1, \quad \text{符合要求!}$$

参考文献:

- [1] 危险性较大的分部分项工程安全管理规定 建设部第 37 号令
- [2] 《建筑施工脚手架安全技术统一标准》 GB51210-2016
- [3] 《建筑施工高处作业安全技术规范》 JGJ80-2016
- [4] 《建筑施工临时支撑结构技术规范》 JGJ300-2013
- [5] 《建筑结构荷载规范》 GB50009-2012
- [6] 《钢结构设计标准》 GB50017-2017
- [7] 汪正荣,朱国梁,简明施工计算手册(第三版)[M].北京:中国建筑工业出版社,2005
- [8] 计算采用品茗软件,版本号 V13.7.3