

# 扣件式钢管脚手架设计实例解析

○曹大斌(浙江广鑫建筑工程有限公司)

○王金妙(浙江省黄岩市机关事务管理局)

## 1. 前言

根据《建筑施工安全检查标准》(JGJ59—99)对外脚手架的规定,提出逐步淘汰毛竹脚手架,积极推广扣件式钢管脚手架。《建筑施工扣件式钢管脚手架安全技术规范》(JGJ130—2001)对扣件式钢管脚手架的设计原则和计算方法都作了规定。笔者将以该规范为依据,结合工程实例,系统地扣件式钢管脚手架的设计计算和使用过程中应注意的有关事项,作一解析。

## 2. 工程实例概况

黄岩东河嘉苑商住楼1~3#楼,建筑面积为15000m<sup>2</sup>, (三幢楼地下室全部连通,地下室呈L形),最高建筑物3#楼檐口高度为19.8m,1#楼、2#楼北侧脚手架和3#楼南侧脚手架搭设在地下室顶板上。

## 3. 脚手架设计

### 3.1 计算参数的确定

(1) 架体尺寸。立杆横距 $l_b=800\text{mm}$ ,纵距 $l_a=1500\text{mm}$ ,步距 $h=1800\text{mm}$ 。搭设高度21.6m(取3#楼为计算对象),立杆底部垫设槽钢。

### (2) 架体构件。

构件 型号	截面积 $A(\text{cm}^2)$	惯性矩 $I_x(\text{cm}^4)$	截面 模量 $W(\text{cm}^3)$	回转 半径 $i(\text{cm})$	单位 重量 $\text{kN/m}$	强度允 许值 $\text{N/mm}^2$
$\phi 48 \times 3.5$	4.89	12.19	5.08	1.58	0.038	205

不科学施工存在安全隐患等违规行为形成约束,经建设单位、监理单位和承包单位共同商讨约定达成共识,制定和实施“工地安全违规处罚办法”,界定各类属安全违规的现象,明确处罚标准和屡犯执行标准。处罚制度要做到良性循环,有奖有罚。

对违反建筑法、行政法规从而产生严重后果和安全事故后果的行为,按法律规定程序和行政规定程序执行。

## 10. 教育和培训的预防制度

工程开工初期,由各项目负责人组织集中学习施工(监理)合同、安全法律法规、规范、贯标程序、项目管理等文件精神,取长补短,强化意识,建立并形成“团队”目标的工作环境。

工程开工初期,由业主持召集各参建单位召开安全专题会议,解决施工安全问题、设计安全问题,解决对安全施工中的人员投入、安全预防投入的问题,做到按程序操作,有章可循。

工程开工初期,由承包单位

(3) 围挡材料。采用2000目安全网,全高封闭,挡

风系数0.6,自重标准值 $5\text{N/m}^2$ 。

(4) 脚手板。采用竹篾板,层层满铺,其自重标准值 $0.35\text{kN/m}^2$ 。

(5) 施工活载。主体结构均布活荷载标准值 $3\text{kN/m}^2$ 。

(6) 基本风压。台州地区基本风压为 $\omega_0=0.55\text{kN/m}^2$ ,风压高度变化系数 $\mu_z=1.31$ ,脚手架风荷载体型系数 $\mu_s=0.1157$ 。

### 3.2 横向、纵向水平杆计算

3.2.1 横向纵向水平杆的抗弯强度按下式计算:

$$\sigma = M/W \leq f$$

式中的 $M$ —弯矩设计值,按 $M=1.2M_{CK}+1.4M_{QK}$ 计算, $M_{CK}$ 为脚手板自重标准产生的弯矩, $M_{QK}$ 为施工荷载标准值产生的弯矩。 $W$ —截面模量。 $f$ —钢材的抗弯强度设计值, $f=205\text{N/mm}^2$ 。

#### (1) 横向水平杆的抗弯强度

计算横向水平杆的内力按简支计算,计算跨度取立杆的横距 $l_b=800\text{mm}$ ,脚手架横向水平杆的构造计算外伸长度 $a=300\text{mm}$ , $a_1=100\text{mm}$ 。

① 永久荷载标准值 $g_k$ 包括每米立杆承受的结构自重标准值 $0.136\text{kN/m}$ (纵距1.5m,步距1.8m),脚手板自重标准值 $0.35\text{kN/m}^2$ 和栏杆与挡板自重标准值

技术负责人和项目经理组织安全施工理论知识、安全施工操作、劳动保护知识、成品保护措施、消防知识等安全技术交底,加强学习,预防伤害。

工程开工初期,由项目经理组织各特殊设备厂商,召集项目技术人员、安全员和特殊工种操作人员统一传授特殊设备的性能参数知识、安全使用知识、维修保养和故障鉴定知识等,切磋技艺,提高职业技能,预防安全事故。

(本文收稿:2004-03-08)

0.14kN/m(如图1)

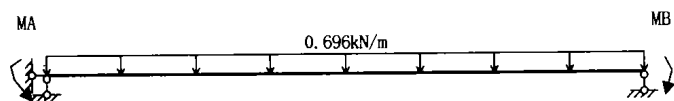


图1 结构自重计算简图

$$g_k = 0.136 + 0.35 \times 1.2 + 0.14 = 0.696 \text{ kN/m}$$

$$M_A = 1/2 g_k a^2 = 1/2 \times 696 \times 0.3^2 = 31.32 \text{ N} \cdot \text{m}$$

$$M_B = 1/2 g_k a_1^2 = 1/2 \times 696 \times 0.1^2 = 3.48 \text{ N} \cdot \text{m}$$

$$M_A - M_B = 31.32 - 3.48 = 27.84 \text{ N} \cdot \text{m}$$

$$M_{GK} = g_k / 2 l_b / 2 - (M_A - M_B) / g_k l_b^2 - M_A$$

$$= 696 / 2 \times 0.8 / 2 - (27.84 / 696 \times 0.8)^2 - 31.32 = 11.32 \text{ Nm}$$

②施工均布活荷载标准值

$$Q_k = 3 \text{ kN/m}^2 \times 0.75 = 2.25 \text{ kN/m}$$

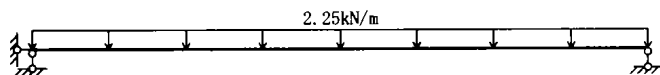


图2 施工荷载计算简图

$$M_{QK} = Q_k l_b^2 / 8 = 1/8 \times 2250 \times 0.8^2 = 180 \text{ N} \cdot \text{m}$$

$$M = 1.2 M_{GK} + 1.4 M_{QK} = 1.2 \times 11.31 + 1.4 \times 180$$

$$= 265.57 \text{ N} \cdot \text{m}$$

$$\sigma = M/W = 265.57 \times 10^3 / 5.08 \times 10^3$$

$$= 52.28 \text{ N/mm}^2 < f = 205 \text{ N/mm}^2$$

所以横向水平杆满足安全要求。

(2) 纵向水平杆的抗弯强度按图3三跨连续梁计算,计算跨度取纵距 $l_a=1500\text{mm}$ 。F为纵向水平跨中及支座处的最大荷载,分别按静载P和活载Q进行计算,作用在支座上的F力在弯矩计算时不用考虑。

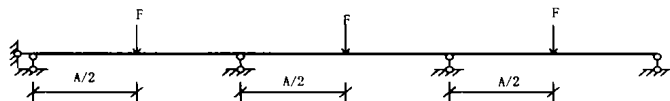


图3 纵向水平杆计算简图

①考虑静载情况

$$P = g_k (l_b + a + a_1) \times (l_b + a - a_1) / 2 l_b = 696 \times (0.8 + 0.3 + 0.1) \times$$

$$(0.8 + 0.3 - 0.1) \div (2 \times 0.8) = 522 \text{ N}$$

图4静载布置情况考虑跨中和支座最大弯矩。

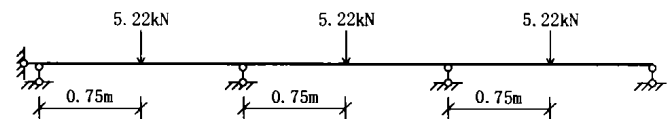


图4 静载状况下计算简图

$$M_1 = 0.175 P l_a \quad M_B = M_C = -0.15 P l_a$$

②考虑活荷载情况

$$Q = 1/2 q_k l_b = 1/2 \times 2250 \times 0.8 = 900 \text{ N}$$

按图5、6两种活载最不利位置考虑跨中最大弯矩。

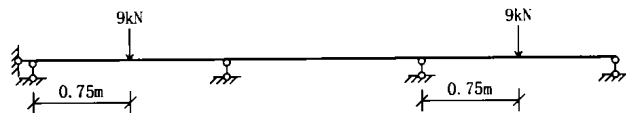


图5 活载最不利状况计算简图

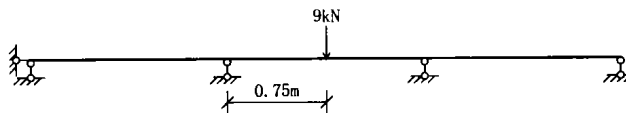


图6 活载最不利状况计算简图

$$M_1 = 0.213 Q l_a$$

按图7、8两种活荷载最不利位置考虑支座最大弯矩。

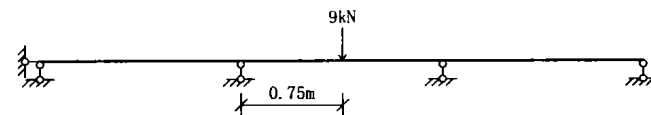


图7 活载最不利状况计算支座弯矩

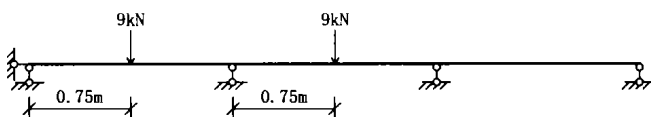


图8 活载最不利状况计算支座弯矩

$$M_B = M_C = -0.175 Q l_a$$

根据以上情况分析,可知图4与图5(或图6)这种静载与活载最不利组合时 $M_1$ 跨中弯矩最大。

$$M_{GK} = 0.175 P l_a = 0.175 \times 522 \times 1.5 = 137.03 \text{ N} \cdot \text{m}$$

$$M_{QK} = 0.213 Q l_a = 0.213 \times 900 \times 1.5 = 287.55 \text{ N} \cdot \text{m}$$

$$M = 1.2 M_{GK} + 1.4 M_{QK} = 1.2 \times 137.03 + 1.4 \times 287.55$$

$$= 567.01 \text{ N} \cdot \text{m}$$

$$\sigma = M/W = 567.01 \times 1000 / 5.08 \times 1000 = 111.6 \text{ N/mm}^2 <$$

$f = 205 \text{ N/mm}^2$ ,纵向水平杆抗弯符合要求。

3.2.2.纵向、横向水平杆的挠度按下式计算

$$v \leq [v] \quad [v] \text{ 为容许挠度,按规范要求取 } 1/150$$

(1)横向水平杆的挠度

①考虑静载情况(图1)

$$K_1 = 4 M_A / q_k l_b^2 = 4 \times 31.32 / 696 \times 0.8^2 = 0.28$$

$$K_2 = 4 M_B / q_k l_b^2 = 4 \times 3.48 / 696 \times 0.8^2 = 0.03$$

查《建筑结构静力计算手册》中梁在均布荷载作用下的最大挠度表,用K1、K2值采用插入法求得系数

$$v_1 = 0.1972 \times q_k l_a^4 / 24EI$$

E为钢材的弹性模量,  $E = 2.06 \times 10^5 \text{ N/mm}^2$

I—— $\phi 48 \times 3.5 \text{ mm}$ 钢管的惯性矩。  $I = 12.19 \text{ cm}^4$

②考虑活载情况(图2)

$$v_2 = 5q_k l_b^4 / 384EI \text{ 两种情况叠加,得}$$

$$v = v_1 + v_2 = 0.1972 \times q_k l_a^4 / 24EI + 5q_k l_b^4 / 384EI$$

$$= 0.197 \times 696 \times 10^{-3} \times 800^4 / 24 \times 2.06 \times 10^5 \times 12.9 \times 10^4 +$$

$$5 \times 2250 \times 800^4 / 384 \times 2.06 \times 10^5 \times 12.19 \times 10^4 = 0.57 \text{ mm} <$$

$$l_b / 150 = 180 / 150 = 5.33 \text{ mm}$$

所以横向水平杆的挠度满足要求。

(2)纵向水平杆的挠度

$$\text{①考虑静载情况(图4)} v_1 = 1.146 \times P l_a^2 / 100EI$$

$$\text{②考虑活载情况(图3)} v_2 = 1.615 \times Q l_a^2 / 100EI$$

两种情况加,得

$$v = v_1 + v_2 = 1.146 \times P l_b^3 / 100EI + 1.615 \times Q l_a^3 / 100EI$$

$$= l_b^3 (1.146P + 1.615Q) / 100EI$$

$$= 1500^3 \times (1.146 \times 522 + 1.615 \times 900) / 100 \times 2.06 \times 10^5 \times$$

$$12.19 \times 10^4 = 2.76 \text{ mm} < l_a / 150 = 1500 / 150 = 10 \text{ mm}$$

所以纵向水平杆的挠度满足要求。

3.2.3.纵向水平杆与立杆连接时扣件的抗滑承载力应符合下式规定

$R \leq R_c$ 式中R为纵向水平杆传给立杆的竖杆作用力设计值,  $R_c$ 为扣件抗滑承载力设计值,按规范表取  $R_c = 8.00 \text{ kN}$

纵向水平杆与立杆连接时扣件受到的垂直作用力包括贴立杆的横向水平杆荷载F和M1在扣件处引起的与F同向的最大剪力V之和。

$$F = 1.2P + 1.4Q = 1.2 \times 522 + 1.4 \times 900 = 1886.4 \text{ N} < 8 \text{ kN}$$

$$V = 1.2 + 0.65P + 1.4 \times 0.575Q = 1.2 \times 0.65 \times 522 + 1.2 \times 0.575 \times 900 = 1131.66 \text{ N}$$

$$R = F + V = 1886.4 + 1131.66 = 3018.06 \text{ N} < 8 \text{ kN}$$

所以纵向水平杆与立杆连接时扣件的抗滑承载力满足安全要求。

3.3立杆的稳定计算

立杆的稳定计算按下列公式计算

$N / (\varphi A + M_w / W) \leq f$ , 式中N为计算立杆段的轴向力设计值,  $\varphi$ 为轴向受压构件的稳定系数。A为一立杆的截面面积,  $M_w$ 为计算立杆段由风荷载设计值产生的弯矩, W为截面模量, 钢材的抗压强度设计值  $f = 205 \text{ N/mm}^2$ 。

3.3.1.风荷载标准值

$$w_k = 0.7 \mu_z \mu_s \omega_0 = 0.7 \times 1.31 \times 0.1157 \times 0.55 = 0.058 \text{ kN/m}^2$$

3.3.2.计算立杆段由风荷载设计值产生的弯矩

$$M_k = 0.85 \times 1.4 \omega_k l_a h^2 / 10 = 0.85 \times 1.4 \times 0.058 \times 1000 \times 1.5 \times 1.8^2 / 10 = 33.55 \text{ Nm}$$

3.3.3.轴向受压构件的稳定系数

轴向受压构件的稳定系数 $\varphi$ , 根据立杆长细比 $\lambda$ 规范用表取值, 当 $\lambda > 250$ 时, 按  $7320 / \lambda^2$  计算。计算长度  $l_0 = k \mu h$ , 式中k为计算长度附加系数, 取  $k = 1.155$ ;  $\mu$ 为考虑脚手架整体因数的单杆计算长度系数, 按规范用表取  $\mu = 1.5$ ;

h为立杆步距。  $l_0 = k \mu h = 1.155 \times 1.5 \times 1.8 = 3.12 \text{ m}$ , 立杆的长细比  $\lambda = l_0 / i$ , i为截面回转半径, 查表得  $\phi 48 \times 3.5 \text{ mm}$  钢管  $i = 1.58 \text{ cm}$ 。

$\lambda = l_0 / i = 3.12 / 0.0158 = 197.5$ , 根据立杆长细比查得稳定系数为0.185

3.3.4.立杆段的轴向设计值

$$N = 1.2(N_{G1K} + N_{G2K}) + 0.85 \times 1.4 \sum N_{QK}$$

(1) 脚手架结构自重标准值产生的轴向力  $N_{G1K}$

本工程脚手架共12步, 实际脚步架高度  $H = 12 \times 1.8 = 21.6 \text{ m}$

$$N_{G1K} = 23.4 \times 0.1734 = 3.745 \text{ kN} = 3745 \text{ N}$$

(2) 构配件自重标准值产生的轴向力  $N_{G2K}$

每个立杆段需要3个直接扣件, 13个旋转扣件, 则:

$$N_{G2K} = 3 \times 18.4 + 13 \times 14.6 = 245 \text{ N}$$

(3) 施工荷载标准值产生的轴力总和内力  $\sum N_{QK}$

外立杆可按一纵距内施工荷载的总和的1/2取值

$$\sum N_{QK} = 3000 \times 0.8 \times 1.5 \times 1/2 = 1800 \text{ N}$$

$$N = 1.2(N_{G1K} + N_{G2K}) + 0.85 \times 1.4 \sum N_{QK}$$

$$= 1.2 \times (3745 + 245) + 0.85 \times 1.4 \times 1800 = 6930 \text{ N}$$

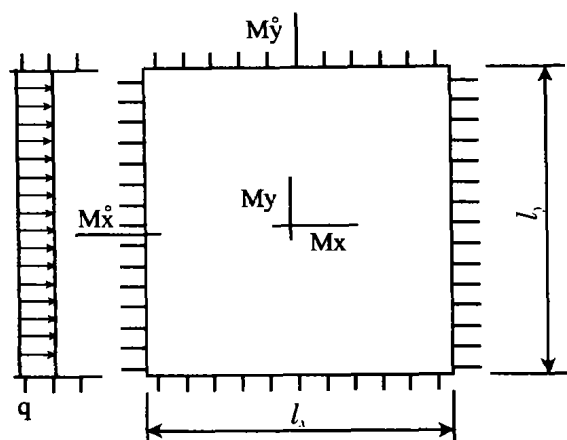


图9 地下室顶板验算示意图

## 3.3.5. 验算立杆的稳定性

$N/\varphi A + M_w/W = 6930 \div (0.185 \times 486) + 33.55 \times 10^3 \div (5.08 \times 10^3) = 83.21 \text{ N/mm}^2 < f = 205 \text{ N/mm}^2$  所以立杆稳定性满足要求。

3.4 地下室顶板验算 (取最大板块  $6.2 \times 3.6 \text{ m}$ )

## 3.4.1 基本参数:

(1) 边界条件 (左端/下端/右端/上端): 参见图9

(2) 荷载: 均布荷载设计值:  $q = 7.310 \text{ kN/m}$

(3) 几何参数: 宽度:  $l_x = 3600 \text{ (mm)}$  长度:  $l_y = 6200 \text{ (mm)}$  板厚:  $h = 200 \text{ (mm)}$

(4) 材料特性: 混凝土强度等级: C30 钢筋等级: 二级 ( $< \phi 25$ )

## 3.4.2 计算结果:

(1) 弯距值:  $M_x = 3.651 \text{ kNm}$   $M_y = 1.237 \text{ kNm}$

$M_x^0 = -7.590 \text{ kNm}$   $M_y^0 = -5.410 \text{ kNm}$

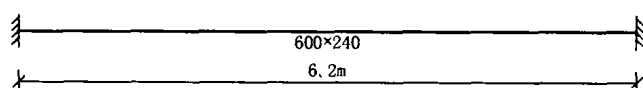
(2)  $l_x$  向配钢筋: 计算面积:  $66.42 \text{ mm}^2$  可选方案:  $\phi 12 @ 200$

(3)  $l_y$  向配钢筋: 计算面积:  $22.45 \text{ mm}^2$  可选方案:  $\phi 12 @ 200$

设计实际选用  $\#12 @ 150$ , 满足要求。

## 3.5 连续梁验算

## 3.5.1 几何数据及材料特性



混凝土: C30 主筋: 二级 ( $< \phi 25$ ) 箍筋: 一级



7.31kN 7.31kN

## 3.5.2 内力及配筋

## (1) 内力包络图



## (2) 截面内力及配筋

0 支座: 弯矩  $6.51 \text{ kN/m}$ , 荷载组合 1

剪力  $14.09 \text{ kN}$ , 荷载组合 1

上钢筋:  $2\phi 12$ , 计算面积:  $216.00 \text{ mm}^2$

下钢筋:  $2\phi 12$ , 计算面积:  $216.00 \text{ mm}^2$

设计为  $4\phi 20$ , 满足要求

1 跨中: 弯矩  $1.73 \text{ kN} \cdot \text{m}$ , 荷载组合 1

剪力  $14.09 \text{ kN}$ , 荷载组合 1

挠度  $0.38 \text{ mm}$ , 裂缝  $0.02 \text{ mm}$

上钢筋:  $2\phi 12$ , 计算面积:  $216.00 \text{ mm}^2$

下钢筋:  $2\phi 12$ , 计算面积:  $216.00 \text{ mm}^2$

箍筋:  $\phi 6 @ 50$ ,

设计为  $4\phi 22$ , 满足要求。

1 支座: 弯矩  $1.03 \text{ kN/m}$ , 荷载组合 1

剪力  $0.53 \text{ kN}$ , 荷载组合 1

上钢筋:  $2\phi 12$ , 计算面积:  $216.00 \text{ mm}^2$

下钢筋:  $2\phi 12$ , 计算面积:  $216.00 \text{ mm}^2$

设计为  $4\phi 20$ , 满足要求。

## 4. 结束

经实际使用, 此脚手架使用情况良好, 本设计是安全的。但为确保脚手架安全, 必须做到: ①组成脚手架的各种材料必须符合现行国家标准和技术规范。②进场的钢材、钢管和扣件必须进行抽样检查, 合格后方可使用。③脚手架设计要做到安全保证、科学合理和动态发展的要求。④脚手架施工前要编制专项施工方案, 确保按设计方案和规范要求进行搭设。⑤脚手架在使用过程中应重视维护管理, 任何对脚手架形状的改变都必须经过设计人员的确认。

(本文收稿: 2005-01-10)