

高支撑模板系统设计^{*}

冯耀东

(广东工业大学建筑设计研究结构所, 广东 广州 510090)

摘 要: 根据国家及地方相关规范, 设计了珠芳小学综合楼高支撑模板系统的用料, 搭设和拆除, 计算梁模板支撑梁底模板、梁侧模板、竖向龙骨、横向格栅、纵向格栅的荷载、强度与刚度, 螺栓的强度和钢管支撑稳定性, 以及楼板模板、板底方木、板底钢管支撑的荷载、强度与刚度。目前工程已顺利完工, 表明本设计已取得成功。

关键词: 高支撑; 模板系统; 强度; 刚度; 稳定性

中图分类号: U412 **文献标识码:** A **文章编号:** 0529-6579 (2005) S2-0184-05

工程建筑模板系统及其支撑设计, 是实践现代设计理念及其优秀设计作品的重要环节。现代都市高楼大厦优美的外形, 高架路光顺表面和线条, 无不充分反映现代建筑模板系统及其支撑的设计技术与工艺的先进水平。然而, 由于模板系统及支撑设计或施工失当造成工程质量低下、甚至生命财产严重损失的事故时有发生。模板系统及其支撑、尤其是高支撑系统的精心设计精心施工, 是现代工程建筑设计的重要环节。本文根据国家及地方相关规范, 设计了珠芳小学综合楼高支撑模板系统的用料, 搭设和拆除, 计算梁模板支撑梁底模板、梁侧模板、竖向龙骨、横向格栅、纵向格栅的荷载、强度与刚度, 螺栓的强度和钢管支撑稳定性, 以及楼板模板、板底方木、板底钢管支撑的荷载、强度与刚度。目前工程已顺利完工, 表明本设计已取得成功。

1 工程概况

本项目是拟建的珠芳小学六层综合楼模板支撑系统。该楼采用钢筋混凝土框架结构, 首层层高 11 m, 二至六层层高 3.6 m, 总建筑高度 35.8 m。首层是篮球及羽毛球馆, 二层主要是乒乓球室。梁的最大截面尺寸是 2500 mm×600 mm, 最小截面尺寸是 500 mm×250 mm, 楼板厚度为 180 mm。

2 模板支撑系统的用料

梁侧面模板、底面模板及楼面模板均采用厚度为 18 mm 木夹板; 梁侧模板的竖直木枋、梁底板纵模龙骨及楼面模板纵横龙骨均采用 100 mm×100

mm 木枋; 梁支顶、楼面支顶、纵横水平拉杆和斜拉杆均采用 $\Phi 48 \times 3.5$ 钢管、可调式 U 型上托盘和平底下托盘; 梁侧模板采用 $\Phi 14$ 对拉螺杆。主要材料参数如下:

3.5 mm 厚 $\Phi 48$ 钢管: $A = 489 \text{ mm}^2$ $f = 215 \text{ N/mm}^2$ $i = 15.8 \text{ mm}$ $I = 1.219 \times 10^5 \text{ mm}^4$
 $W_x = 5.08 \times 10^3 \text{ mm}^3$ $E = 2.06 \times 10^5 \text{ N/mm}^2$

$[\lambda] = 210$

100 mm×10 mm 木枋: $A = 10000 \text{ mm}^2$ $f = 10.5 \text{ N/mm}^2$ $I = 6666666.67 \text{ mm}^4$ $W = 8.33 \times 10^4 \text{ mm}^3$

$[\tau] = 1.4 \text{ N/mm}^2$ $E = 9000 \text{ N/mm}^2$

18 mm 厚胶合板: $E = 9000 \text{ N/mm}^2$ $f = 15 \text{ N/mm}^2$ $[\tau] = 1.4 \text{ N/mm}^2$

混凝土重度: $\gamma = 24 \text{ kN/mm}^3$; 钢筋自重: 1.5 kN/m^3

3 模板的搭设

本工程框架梁最大截面尺寸 600 mm×2500 mm, 梁侧模板竖枋和梁底横枋间距均为 200 mm, 梁底支顶采用 $\Phi 48 \times 3.5$ 钢管 @400 mm 对接。高为 2500 mm 的梁沿高度均匀设四道对拉螺杆, 竖直方向间距 750 mm, 水平间距 400 mm。

跨度为 18 m 的二层梁中间支撑梁上柱的部位下方钢管支顶采用双钢管加强, 以保证二层柱施工时, 首层支顶有足够的强度。二层楼面 (不包括夹层部分) 楼板厚度为 180 mm, 楼面模板采用 18 mm 厚木夹板, 支顶采用 $\Phi 48 \times 3.5$ 钢管对接, 间距根据跨度按实际调整, 但最大排距不超过 1 m, 上层

^{*} 收稿日期: 2005-06-13

木枋间距 400 mm，下层木枋间距根据各框架梁实际跨度平均分布，间距与钢管架排距相符。二层楼面梁板支顶底用平头可调节高低托盘，上方用 U 型可调节高低托盘，调节支顶高度，支顶下方垫方木置于首层混泥土平面上。为加强钢管架的整体刚度，采用 $\Phi 48 \times 3.5$ mm 钢管设置纵横水平拉杆，水平拉杆间距根据立杆实际高度调整，最大间距不得超过 2 m，钢管架立杆底部内侧 30 cm 高处设拉杆一道，水平拉杆用扣件与钢管架立杆扣紧。斜拉撑在钢管架外侧周边和内部设置，斜拉标明与地面倾角宜 $45^{\circ} \sim 60^{\circ}$ ，用扣件与钢管架立杆扣紧。其余的梁，梁底木枋间距 400 mm，钢管架跨距为 1 m，并设 $\Phi 48 \text{ mm} \times 3.5 \text{ mm}$ 钢管纵横水平拉杆用扣件与钢管架立杆扣紧。所有首层地面先按设计要求捣好混凝土垫层并达到一定强度后，在 $\Phi 48 \text{ mm} \times 3.5 \text{ mm}$ 钢管立柱脚垫 100 mm $\times$ 100 mm 木枋。模板的起拱，当梁跨度 l 满足： $4\,000 \text{ mm} \leq l \leq 8\,000 \text{ mm}$ 时，起拱值为 $\frac{l}{500}$ ； $l > 8\,000 \text{ mm}$ 时，起拱值为 $\frac{l}{400}$ 。

4 模板的拆除

模板拆除应依同条件养护的砼试块强度来确定拆除时间，同时要经监理人员进行验收后才能进行。拆模前，操作人员必须接受安全教育和安全技术交底，并记录在案。跨度小于 8 m 的梁、板混凝土强度达到 75% 以上；跨度大于 8 m 的梁、板及悬挑部位混凝土强度须达到 100%。模板支顶的拆除顺序应遵循“分层拆卸，支架、水平拉杆及剪刀撑同步安装与拆除”的原则，先拆除非承重模板，后拆除承重模板，禁止抛掷模板。工作前，应检查所有的工具是否牢固，板手等工具必须用绳链系挂在身上，工作是思想集中，防止钉子扎脚和从空中滑落。拆除模板采用长撬杆，严禁操作人员站在拆除的模板下。在拆除楼板模板时，要注意防止整块模板掉下，尤其是用定型板板作平台模板时，更要注意，防止模板突然全部掉下伤人。拆除间歇时，应将已活动模板、拉杆、支撑等固定牢固，严防突然掉落，倒塌伤人。已拆除的模板、拉杆、支撑等应及时运走或妥善堆放，严防操作人员因扶空、踏空堕落。在混凝土墙体、平台上有预留洞时，应在模板拆除后，随即在墙洞上做好安全防护，或将板的洞盖严。

5 模板的强度和刚度分析

本高支撑模板系统的模板主要包括梁底、梁侧模板和楼板模板。其强度和刚度计算是本高支撑模

板系统设计的关键。下面分别计算之。

5.1 梁底模板强度和刚度分析

梁高最大为 2.5 m，梁宽最大为 0.6 m。梁荷载包括梁自重、板边传递的荷载（按 0.5 m 宽度考虑）、施工荷载和振捣砼时产生荷载。分别计算如下：

梁自重 w_1 = 模板及支架自重 + 砼自重 + 钢筋自重 = $1.0 \times 1.2 \times (0.6 + 2.5 \times 2) + 24 \times 1.2 \times 0.6 \times 2.5 + 3.0 \times 1.2 \times 0.6 \times 2.5 = 6.72 + 42.2 + 5.4 = 55.32 \text{ (kN/m)}$

板边传递的荷载（按 0.5 m 宽度考虑）：

w_2 = 模板及支架自重 + 砼自重 + 钢筋自重 = $1.0 \times 1.2 \times 0.5 + 24 \times 1.2 \times 0.5 \times 0.18 + 2.0 \times 1.2 \times 0.5 \times 0.18 = 0.6 + 2.59 + 0.22 = 2.81 \text{ (kN/m)}$

施工荷载： $w_3 = 2.5 \times 1.4 \times 0.6 = 2.1 \text{ (kN/m)}$

振捣砼时产生荷载： $w_4 = 2.0 \times 1.4 \times 0.6 = 1.68 \text{ (kN/m (水平))}$

梁底模板荷载： $W = w_1 + w_2 + w_3 + w_4 = 61.91 \text{ (kN/m)}$

梁底模板弯矩、截面模量、应力计算及强度和刚度分析如下：

$M_{\max} = -0.105 W l^2 = -0.105 \times 61.91 \times 0.2^2 = -0.26 \text{ (kN}\cdot\text{m)}$

$S = \frac{1}{6} b h^2 = \frac{1}{6} \times 600 \times 18^2 = 32400 \text{ (mm}^3\text{)}$

$\sigma = \frac{M}{S} = \frac{0.26 \times 10^6}{32400} = 8.02 \text{ N/mm}^2 <$

$f_m = 15 \text{ N/mm}^2$

可见梁底模板满足强度要求。梁底模板最大挠度

$w_{\max} = \frac{0.644 W l^4}{100 E I} = \frac{0.644 \times 61.91 \times 200^4}{100 \times 9000 \times 291600} = 0.24$

$\text{mm} < \frac{l}{400} = 0.50 \text{ mm}$ 其中， $I = \frac{1}{12} b h^3 = \frac{1}{12} \times 600 \times 18^3 = 291\,600 \text{ mm}^4$ 是梁底模板的惯性矩。可见刚度得到满足。

5.2 梁侧面模板强度和刚度分析

梁侧面模板承受的荷载主要包括梁混凝土的侧压力 F_1 及振捣混凝土时的冲击荷载 F_2 ，分别为

$F_1 = 0.22 r_c \cdot t_0 \cdot \beta_1 \cdot \beta_2 \cdot V^{\frac{1}{2}} = 0.22 \times 24 \times \frac{200}{25 + 15}$

$\times 1.2 \times 1.15 \times 2^{\frac{1}{2}} = 51.25 \text{ kN/m}^2$

$F_2 = 4.0 \times 1.4 = 5.6 \text{ kN/m}^2$ （垂直于梁侧面模板）

则梁侧模板侧压力为

$F = F_1 \times 1.2 + F_2 = 51.52 \times 1.2 + 5.6 = 67.4 \text{ (kN/m}^2\text{)}$

梁侧模板按梁净高 (2500-180=2320 mm) 计算。梁侧模板侧压力化为线均部荷载, 则梁侧模板的弯矩、截面模量、应力计算及强度和刚度分析如下:

$$M_{\max} = -0.105F \times 2.321^2 = -0.105 \times 156.4 \times 0.2^2 = 0.66 \text{ (kN} \cdot \text{m)}$$
$$S = \frac{1}{6}bh^2 = \frac{1}{6} \times 2320 \times 18^2 = 125280 \text{ (mm}^3\text{)}$$
$$\sigma = \frac{M}{S} = \frac{0.26 \times 10^6}{32400} = 8.02 \text{ N/mm}^2 < f_m = 15 \text{ N/mm}^2$$

可见梁侧模板的强度得到满足。梁侧模板的最大挠度

$$w_{\max} = \frac{0.644F_1 \times 1.2 \times 2.32l^4}{100EI} = \frac{0.644 \times 143.4 \times 200^4}{100 \times 9000 \times 1127520} = 0.15 \text{ mm} < \frac{l}{400} = 0.50 \text{ mm}$$

其中

$$I = \frac{1}{12}bh^3 = \frac{1}{12} \times 2320 \times 183 = 1127520 \text{ mm}^4$$

是梁侧模板的截面惯性矩。可见梁侧模板的刚度满足要求。

5.3 竖向龙骨强度和刚度分析

竖向龙骨采用截面尺寸为 $b \times h = 100 \times 100 \text{ mm}$ 的木枋, 间距为 200 mm。竖向龙骨的弯矩、截面模量、应力计算及强度和刚度分析如下:

$$M_{\max} = k \times 0.2F_w l^2 = -0.10 \times 13.48 \times 0.75^2 = -0.76 \text{ kN} \cdot \text{m}$$
$$S = \frac{1}{6}bh^2 = \frac{1}{6} \times 100 \times 100^2 = 166666.67 \text{ mm}^3$$
$$\sigma = \frac{M}{S} = \frac{0.76 \times 10^6}{166666.67} = 4.56 \text{ N/mm}^2 < f_m = 15 \text{ N/mm}^2$$

可见竖向龙骨的强度得到满足。竖向龙骨最大挠度

$$w_{\max} = \frac{0.677q_2 l^4}{100EI} = \frac{0.677 \times 12.36 \times 750^4}{100 \times 9000 \times 833333.33} = 0.35 \text{ mm} < \frac{l}{400} = 1.875 \text{ mm}$$

其中, $I = \frac{1}{12}bh^3 = \frac{1}{12} \times 100 \times 100^3 = 833333.33 \text{ mm}^4$ 是竖向龙骨的截面惯性矩。可见竖向龙骨的刚度满足要求。

5.4 梁横向格栅强度和刚度分析

梁横向格栅采用截面尺寸为 $b \times h = 100 \times 100 \text{ mm}$ 的木枋, 间距为 400 mm。梁横向格栅的弯矩、截面模量、应力计算及强度 (以单跨梁计) 和刚度分析如下:

$$M_{\max} = \frac{1}{8}q_1 l^2 = 0.125 \times 30.93 \times 0.4^2 = 0.62 \text{ kN} \cdot \text{m}$$
$$S = \frac{1}{6}bh^2 = \frac{1}{6} \times 100 \times 100^2 = 166666.67 \text{ mm}^3$$

$$\sigma = \frac{M}{S} = \frac{0.62 \times 10^6}{166666.67} = 3.72 \text{ N/mm}^2 < f_m = 15 \text{ N/mm}^2$$

满足强度要求。竖向龙骨最大挠度 (以单跨梁计):

$$w_{\max} = \frac{5q_2 l^4}{384EI} = \frac{5 \times 29.07 \times 400^4}{384 \times 9000 \times 833333.33} = 0.13 \text{ mm} < \frac{l}{400} = 1.0 \text{ mm}$$

满足刚度要求。上式中,

$$I = \frac{bh^3}{12} = \frac{100^4}{12} = 833333.33 \text{ mm}^4$$

是竖向龙骨的截面惯性矩。

5.5 梁纵向格栅强度和刚度分析

梁纵向格栅采用截面尺寸为 $b \times h = 100 \times 100 \text{ mm}$ 的木枋, 间距为 400 mm。梁纵向格栅的弯矩、截面模量、应力计算及强度 (以单跨梁计) 和刚度分析如下:

记

$$F_1 = 30.96 \times 0.6/2 = 9.29 \text{ (kN)}$$
$$F_2 = 29.07 \times 0.6/2 = 8.72 \text{ (kN)}$$

则

$$M_{\max} = K_M F_1 l = 0.169 \times 30.96 \times 0.6/2 \times 0.4 = 0.63 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$S = \frac{1}{6}bh^2 = \frac{1}{6} \times 100 \times 100^2 = 166666.67 \text{ mm}^3$$
$$\sigma = \frac{M}{S} = \frac{0.63 \times 10^6}{166666.67} = 3.78 \text{ N/mm}^2 < f_m = 15 \text{ N/mm}^2$$

满足强度要求。竖向龙骨最大挠度

$$w_{\max} = \frac{K_w F - 2l^3}{100EI} = \frac{1.079 \times 8.72 \times 10^3 \times 400^3}{100 \times 9000 \times 833333.33} = 0.08 \text{ mm} < \frac{l}{400} = 1.0 \text{ mm}$$

其中,

$$I = \frac{1}{12}bh^3 = \frac{1}{12} \times 100 \times 100^3 = 833333.33 \text{ mm}^4$$

是竖向龙骨的截面惯性矩。可见满足刚度要求。

5.6 对拉螺栓计算

深梁模板竖直方向设四道 $\Phi 14$ 对拉螺栓, 竖直方向螺杆间距为 750 mm, 水平方向螺杆间距为 400 mm。按最大侧压力计算, 每根螺栓承受的拉力为:

$$N = F_2 ab = 67.4 \times 0.75 \times 0.4 = 20.22 \text{ (kN)} < 105 \times 215 \times 10^{-3} = 22.58 \text{ (kN)}$$

满足要求。

5.7 钢管支撑稳定性验算

钢管支撑选用 $\Phi 48 \times 3.5 \text{ mm}$, 净截面积 $A = 489 \text{ mm}^2$, 钢管使用长度 $l = 8000 \text{ mm}$, 距地面 300 mm 处设扫地杆, 中间设水平横杆间距最大不超过

2 m, 计算按 2 m 考虑, 取 $l_0=2\ 000\ \text{mm}$, $i=\frac{1}{4}$

$$\sqrt{48^2+41^2}=15.78\ \text{mm}, \lambda=\frac{l_0}{i}=\frac{2000}{15.78}=126.7. \text{查}$$

有关表知, 稳定系数 $\Phi=0.453$ 则钢管强度
[N] = 105135 Φ = 105135 $\times$ 0.453 = 47626 N $\approx$ 47.6 kN

而钢管承受的荷载

$$N=61.91\times 0.6=37.15\ \text{kN}< [N]=47.6\ \text{kN}$$

可见满足要求。

6 楼板模板支撑系统计算

楼板模板支撑系统主要包括楼板模板、板底方木和板底钢管支撑。其强度和刚度计算分别如下。

6.1 楼板模板的计算

楼板模板承受的荷载主要有: 模板及支架自重: $w_1=1.0\times 1.2=1.2\ (\text{kN}/\text{m}^2)$ (模板及支架自重标准值取 $1.0\ \text{kN}/\text{m}^2$), 新浇筑砼自重: $w_2=24\times 1.2\times 0.18=5.18\ (\text{kN}/\text{m}^2)$, 钢筋自重: $w_3=2.0\times 1.2\times 0.18=0.43\ (\text{kN}/\text{m}^2)$ (钢筋自重标准值根据实际配筋率 $2.0\ (\text{kN}/\text{m}^2)$), 施工荷载: $w_4=2.5\times 1.4=3.5\ (\text{kN}/\text{m}^2)$ (水平), 以及振捣砼时产生的荷载: $w_5=2.0\times 1.4=2.8\ (\text{kN}/\text{m}^2)$ 。验算承载力的合力为

$$F_1=w_1+w_2+w_3+w_4+w_5=1.2+5.18+0.43+3.5+2.8=13.11(\text{kN}/\text{m}^2)$$

验算刚度的合力为

$$F_2=w_1+w_2+w_3=1.2+5.18+0.43=6.81(\text{kN}/\text{m}^2)$$

板底模板按五等跨连续梁简化计算, 每跨长度为 $l=44\ \text{mm}$, 楼板模板的弯矩、截面模量、应力计算及强度 (以单跨梁计) 和刚度分析如下:

$$M_{\max}=0.105F_1l^2=0.105\times 13.11\times 0.4^2=0.22(\text{kN}\cdot\text{m})$$

$$S=\frac{1}{6}bh^2=\frac{1}{6}\times 1000\times 18^2=54000\ (\text{mm}^2)$$
$$\sigma=\frac{M}{S}=\frac{0.22\times 10^6}{54000}=4.1(\text{N}/\text{mm}^2)<f_m=15\ \text{N}/\text{mm}^2$$

满足强度要求。板底模板最大挠度

$$w_{\max}=\frac{0.644q_2l^4}{100EI}=\frac{0.644\times 6.81\times 400^4}{100\times 9000\times 486000}=0.26\ \text{mm}<\frac{l}{400}=1\ \text{mm}$$

刚度满足要求。上式中, I 的意义如前述, 且

$$I=\frac{1}{12}bh^3=\frac{1}{12}\times 1000\times 18^3=486000\ \text{mm}^4.$$

6.2 板底方木强度和刚度计算

板底方木采用截面尺寸为 $b\times h=100\ \text{mm}\times 100\ \text{mm}$ 的木枋, 间距为 $400\ \text{mm}$, 其弯矩、截面模量、应力计算及强度 (以单跨梁计) 和刚度分析如下:

$$M_{\max}=0.125Fl^2=0.125\times 13.11\times 0.4\times 0.4\times 1.0^2=0.66\ \text{kN}\cdot\text{m}$$

$$S=\frac{1}{6}bh^2=\frac{1}{6}\times 100\times 100^2=166666.67\ \text{mm}^3$$
$$\sigma=\frac{M}{S}=\frac{0.66\times 10^6}{166666.67}=3.9(\text{N}/\text{mm}^2)<f_m=15\ \text{N}/\text{mm}^2$$

满足强度要求。板底方木最大挠度

$$w_{\max}=\frac{0.521q_2l^4}{100EI}=\frac{0.521\times 2.72\times 1000^4}{100\times 9000\times 833333.33}=0.19\ \text{mm}<\frac{l}{400}=2.5\ \text{mm}$$

可见刚度满足要求。上式中, I 的意义如前述, 且

$$I=\frac{1}{12}bh^3=\frac{1}{12}\times 100\times 100^3=833333.33\ \text{mm}^4$$

6.3 板底钢管支撑计算

钢管支撑选用 $\Phi 48\ \text{mm}\times 3.5\ \text{mm}$, 净截面面积 $A=489\ \text{mm}^2$, 中间设水平横杆, 最大间距不超过 $2\ \text{m}$, 取 $l_0=2000\ \text{mm}$, $i=\frac{1}{4}\sqrt{48^2+41^2}=15.78\ \text{mm}$, $\lambda=\frac{l_0}{i}=\frac{2000}{15.78}=126.7$, 查有关表知, 稳定系数 $\varphi=0.453$, 钢管容许承受的荷载

$$[N]=105135\varphi=105135\times 0.453=47626\ \text{N}\approx 47.6\ \text{kN}$$

钢管承受的荷载

$$N=13.11\times 1\times 1=13.11\ \text{kN}<[N]$$

满足要求。

7 结 语

目前, 本楼宇的框架结构已顺利构筑完毕, 且工程质量达到设计要求, 说明本设计是成功的。

参考文献:

[1] 混凝土结构工程施工质量标准难收规范[S]. GB50204—2002.
[2] 建筑施工扣件式钢管脚手架安全技术规范[S]. JGJ130—2001, J84—2001.
[3] 木结构工程施工质量难收规范[S]. GBJ206—2002.
[4] 木结构设建设工程高支撑模板系统施工安全管理办法[S]. 2001.
[6] 建筑施计规范[S]. GBJ5—1998.
[5] 广东省工安全检查标准[S]. JGJ59—99.
[7] 杨第康, 李家宝. 结构力学[M]. 北京: 高等教育出版社, 1998.
[8] 刘鸿文. 材料力学[M]. 北京: 高等教育出版社, 1992.

High Strut Follow Board System Design

FENG Yao-dong

(Structural Institute of Architectural Design and Research of University of
Guang Dong Industry, Guangzhou 510090, China)

Abstract: According to the related standards of China and locality, the material and building and the form removal of the high strut follow board system for the composite building of Zhu-Fang school are designed. The load, the strength and the stiffness of the bottom follow board and side plates of the beams, the vertical keels, the crosswise grilles, the vertical grilles are computed. The strength of the bolts, the stability of the steel tubes strut, and the load, the strength and the stiffness of the the floor follow board, the square wood under the floor and the steel tubes strut below the floor follow board are computed too. Now the construction of the engineering was completed successfully. It was showed that this design is succeed.

Key words: high strut; follow board system; strength; stiffness; stability