

# 铝模在高层建筑中的可行性分析及应用

程洁

(中交一航局第二工程有限公司)

**摘 要:** 文章以城阳区棘洪滩街道北万社区棚户区改造项目为例,阐述了铝合金模板体系在高层建筑中应用的必要性、材料选择方法及施工工艺要点。验证了铝合金模板体系在高层建筑中应用的可行性,可供类似工程借鉴。同时铝合金模板体系作为工程建设中的环保材料,在高层建筑中合理应用,可推动绿色发展理念。

**关键词:** 铝合金模板体系;高层建筑;可行性;绿色发展

## 0 引言

铝合金模板体系由四部分组成,分别为模板系统、支撑系统、紧固系统、附件系统,现场施工时,通过将四个系统按一定次序紧密相连,形成混凝土浇筑的封闭空间。与传统木模板体系相比较,采用铝合金模板体系,模板不易变形且不发生涨模、爆模现象。

城阳区棘洪滩街道北万社区棚户区改造工程位于青岛市城阳区,总用地面积 57 203.01 m<sup>2</sup>,总建筑面积 190 878.27 m<sup>2</sup>,拟建 9 栋高层住宅、4 处商业网点、1 处换热站、1 层地下停车库等,为框架剪力墙结构。本文主以 7 号楼为例,介绍铝模在高层建筑中的应用。7 号楼地下 2 层,地上 26 层,2 层以上为标准层,标准层高为 3.1 m。铝合金模板体系因造价高,比较适合在标准层使用,主要应用在标准层的内外侧墙、连续墙、剪力墙、梁和顶板等结构。

## 1 选择铝模的必要性

### 1.1 周期短,施工效率高

随着铝模系统的推广应用,铝模技术逐渐成熟,目前铝模的顶模和支撑系统已实现一体化设计,并将早拆技术融入支撑系统中,大大提高了模板周转率和施工效率。本工程 7 号楼采用“1344”体系,即 1 套主模板体系,3 套楼板底支撑体系,3 套梁底支撑体系,4 套悬挑结构支撑,应用此体系,可实现 5 d 一层的施工速度,比采用木模板系统至少可提高 2 d 的工期。现场实际施工时,待该层混凝土强度达到设计强度 50%(<2 m);75%(>2 m, ≤8 m)要求后,主模板便可拆除并通过传料口传送至上层。但楼板底及梁底支撑系统要待混凝土强度达到 100%才可拆除,因此

15 d 完成一次周转。

### 1.2 施工精度高,施工质量提高

采用铝模体系施工前,需仔细研究图纸,分析图纸,设计配模方案,方案设计做到系统化、标准化并考虑施工中可能遇到的一切问题,同时铝模在厂房加工时,采用高强度的铝合金型材,标准化生产、量化生产,运至施工现场前,在厂房进行统一的整体试装,解决现场可能发生的问题,提高精确度和施工进度。应用铝模体系施工,浇筑完成的混凝土面光滑、整洁,可达到清水模板混凝土效果,木模成型效果图见图 1,铝模成型效果图见图 2。



图 1 木模体系成型效果图



图 2 铝模体系成型效果图

1.3 经济合理，性价比高

1) 铝合金模板体系属于快拆体系，施工时通过传料口将模板传递至上一层，不仅减少卸料平台的设置，还可减少机械设备的投入，降低塔吊的使用率，间接减少工程的安全危险源。通过与设计沟通，决定 60 m<sup>2</sup> 内设置 1 个(300 mm×800 mm)的传料口，待模板传递完成后再进行浇筑封堵。

2) 铝合金模板体系市场租赁价格虽高于木模板周转材料价格，但经现场实际测算，如标准层在 24 层以上，工程所需两模板费用可持平。同时铝合金模板体系达到的清水模板混凝土效果，可有效减少二次抹灰施工或者仅采用薄抹灰施工，目前市场上抹灰价格为 20 元/m<sup>2</sup>，就 7 号楼而言，抹灰工程约节省 46 万元左右。因此在高层建筑施工时，铝合金模板体系更经济合理。

1.4 绿色环保

铝合金模板体系在本工程结束后可实现 100% 回收且周转次数达 200 多次，是一款节能、环保产品，符合国家目前推广的绿色发展理念。而传统的木模板体系不仅要损耗大量的木材且最多只可周转 8 次，无回收利用的价值，不符合国家现在推广的绿色发展理念。

2 铝模板材料的选择及论证

2.1 铝模材料的选择

本工程以墙模板为例，验证铝模板材质的选择是否合理。铝模板采用 6005A-T6 系列，背楞、对拉杆、独立钢支撑采用 Q235B 系列，参数明细见表 1、表 2。

表 1 6005A-T6 系列铝模参数表

材料属性	数值
弹性模量/(N·m <sup>-2</sup> )	6.90×10 <sup>10</sup>
泊松比	0.33
密度/(kg·m <sup>-3</sup> )	2 700
抗拉强度/(N·m <sup>-2</sup> )	2.55×10 <sup>8</sup>
抗剪强度/(N·m <sup>-2</sup> )	9.50×10 <sup>7</sup>
屈服强度/(N·m <sup>-2</sup> )	2.15×10 <sup>8</sup>
热扩张系数/K <sup>-1</sup>	2.40×10 <sup>-5</sup>
热导率/(W·(m·K) <sup>-1</sup> )	166.9
比热/(J·(kg·K) <sup>-1</sup> )	896

2.2 墙模板结构力学计算

墙模板结构力学的计算条件：混凝土作用在水平侧压力下，完成铝合金墙模板及背楞的强度、

表 2 Q235 系列钢材参数表

材料属性	数值
弹性模量/(N·m <sup>-2</sup> )	2.08×10 <sup>11</sup>
泊松比	0.28
密度/(kg·m <sup>-3</sup> )	7 860
抗拉强度/(N·m <sup>-2</sup> )	3.90×10 <sup>8</sup>
抗剪强度/(N·m <sup>-2</sup> )	1.25×10 <sup>8</sup>
屈服强度/(N·m <sup>-2</sup> )	2.35×10 <sup>8</sup>
热扩张系数/K <sup>-1</sup>	8.70×10 <sup>-5</sup>
热导率/(W·(m·K) <sup>-1</sup> )	43
比热/(J·(kg·K) <sup>-1</sup> )	440

挠度计算、对拉螺杆的强度计算。同时结合网格划分软件 Hypermesh 与有限元计算软件 Abaqus 进行强度与挠度校核。

2.2.1 标准墙模板的计算

侧压力公式一： $P_1 = 0.22\gamma_c t_0 \beta_1 \beta_2 V^{1/2}$

侧压力公式二： $P_2 = \gamma_c H$

最大弯应力公式  $\sigma_w = M_{\max} / W_x$

最大挠度公式  $Y_{\max} = 5q_k L^4 / 384EI$

式中： $\gamma_c$  为混凝土的重力密度，kN/m<sup>3</sup>； $t_0$  为新浇筑混凝土的初凝时间，h，可按实测确定。当缺乏实验资料时，可采用  $t_0 = 200 / (T + 15)$  计算( $T$  为混凝土温度，℃)； $V$  为混凝土的浇筑速度，m/h； $H$  为混凝土侧压力计算位置处至新浇筑混凝土顶面的总高度，m； $\beta_1$  为外加剂影响修正系数，不掺外加剂时取 1.0；掺具有缓凝作用的外加剂时取 1.2； $\beta_2$  为混凝土坍落度影响修正系数，当坍落度小于 100 mm 时，取 1.0；不小于 100 mm 时，取 1.15； $M_{\max}$  为最大弯矩； $W_x$  为截面抗弯模量； $q_k$  为恒荷载均布线荷载标准值； $L$  为面板计算跨度； $E$  为弹性模量； $I$  为截面惯性矩。

本工程中  $\gamma_c = 25 \text{ kN/m}^3$ ； $t_0 = 5 \text{ }^\circ\text{C}$ ； $\beta_1 = 1.2$ ； $\beta_2 = 1.15$ ； $V = 2 \text{ m/h}$ ； $H = 3 \text{ m}$ 。当采用内部振捣器时，新浇筑混凝土对模板的侧压力标准值按上述公式计算得  $P_1 = 53.66 \text{ kN/m}^2$ ， $P_2 = 75 \text{ kN/m}^2$ 。根据规定，取计算结果最小值。则  $P = 53.66 \text{ kN/m}^2$ 。

倾倒混凝土时产生的水平荷载标准值取自 JGJ 74—2003《建筑工程大模板技术规程》， $F = 6.0 \text{ kN/m}^2$ 。

有效高度  $h = F / \gamma_c = 2.15 \text{ m}$ 。

根据以上计算可分析出混凝土侧压力的分布图，见图 3。

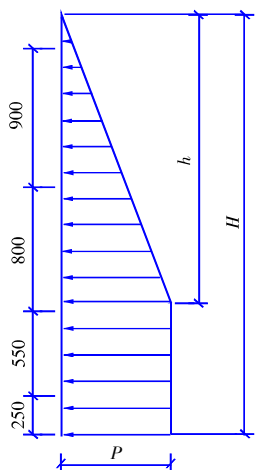


图3 墙模板受力简图

从图3可以看出，在间距550 mm或800 mm处可出现最大挠度，因此在墙板计算中只计算550 mm和800 mm两处的挠度值。

### 2.2.2 墙板计算

本工程面板型材截面  $b=500$  mm,  $h=65$  mm,  $t=3.7$  mm, 截面积  $A=3\ 648.98$  mm<sup>2</sup>; 截面惯性矩  $I_x=1\ 692\ 229.1$  mm<sup>4</sup>; 截面抗弯模量  $W_x=36\ 086.75$  mm<sup>3</sup>。

均布荷载  $q_k=0.5 \times P \times 0.9 + 0.5 \times$  倾倒混凝土侧压力标准值  $\times 0.9 = 26.85$  kN/m, 其中0.9为按《建筑施工模板安全技术规程》规定取的临时结构折减系数。

最大弯矩  $M_{\max}=1\ 015\ 265.625$  N·mm

最大弯应力  $\sigma_w=28.13$  MPa  $< 240$  MPa, 满足要求。

挠度计算不考虑倾倒混凝土侧压力, 仅考虑新浇筑混凝土侧压力,  $q_k=0.5 \times P \times 0.9 = 24.15$  kN/m。允许挠度设计值:  $Y_{\max} \leq L/250$ , 且  $Y_{\max} \leq 3$  mm。

间距550 mm处面板的  $q_k=24.15$  kN/m。

最大挠度  $Y_{\max}=0.25 < 2.2$  mm (550/250), 满足要求。

间距800 mm处面板的梯度等效荷载从简图中可得知  $P=32.06$  kN/m<sup>2</sup>,  $q_k=0.5 \times P=16.03$  kN/m。最大挠度  $Y_{\max}=0.73 < 3.2$  mm (800/250), 满足要求。

### 2.2.3 背楞计算

背楞采用截面为80×40×3的双拼口, 最大拉杆间距  $L=1\ 000$  mm。

截面惯性矩  $I_x=1\ 117\ 000$  mm<sup>4</sup>

截面抗弯模量  $W_x=I_x/0.5H=27\ 920$  mm<sup>3</sup>

截面积  $A=1\ 368$  mm<sup>2</sup>;  $P=32.06$  kN/m<sup>2</sup>

计算荷载  $q_k=(0.8 \times 32.06 + 0.8 \times 6) \times 0.9 =$

27.4 kN/m

最大弯矩  $M_{\max}=q_k l^2/8=3\ 425\ 000$  N·mm

最大弯应力  $\sigma_w=M_{\max}/W_x=3\ 425\ 000/27\ 920=122.67$  MPa  $< 235$  MPa, 满足要求。

支点最大剪力  $F=q_k l/2=13.7$  kN

最大剪应力  $\sigma_t=F/A=10.01$  MPa  $< 125$  MPa, 满足要求。

最大挠度  $Y_{\max}=5q_k l^4/384EI=1.5 < 1.6$  mm (800/500), 满足要求。

### 2.2.3 对拉螺杆最大拉应力计算

M18 拉杆有效直径为15.65 mm, 有效面积为192.5 mm<sup>2</sup>; 拉杆承受最大侧压力区域为  $0.8$  m  $\times$   $1$  m  $= 0.8$  m<sup>2</sup>。

最大拉力  $F=53.66 \times 0.8=42.93$  kN

最大拉应力  $\sigma_s=F/A=223$  MPa  $< 235$  MPa, 满足要求。

### 2.2.4 墙模板有限元计算

在确定铝模材料的情况下, 对墙模板进行有限元分析, 在对模板工作面施加的梯度荷载最大为60 kN/m<sup>2</sup>情况下, 最大应力值  $\sigma_w=52.9$  MPa  $< 215$  MPa、最大挠度值  $Y_{\max}=0.58$  mm  $< 2$  mm, 均满足要求。

通过以上数值计算与有限元分析可得, 铝模板产品强度、挠度满足设计要求。

## 3 铝模施工要点分析

### 3.1 铝模施工工艺流程

铝模施工工艺流程: 测量放样→墙柱钢筋绑扎→首层外墙柱根部封堵→隐蔽工程验收→模板拼装前校验→模板吊装上楼→墙柱模板安装→楼梯节点模板安装→背楞安装→梁模板安装、斜撑安装→精调楼面板安装→梁钢筋绑扎、K板安装→楼面钢筋绑扎、吊模安装→混凝土浇筑及护模→模板拆除。

### 3.2 铝模体系的选择

#### 3.2.1 墙板体系

本工程标准墙板的宽度500 mm, 墙板与楼面转角采用的安装形式为直接连接, 外墙承接板应提高50 mm, 内外墙板保持高度一致。墙板通过背楞和对拉栓加固, 对拉栓最大水平间距为1 000 mm, 竖直方向距离分为250 mm、550 mm、800 mm及900 mm。墙模侧面采用可调式斜支撑, 用HRB400 12 mm预埋环或膨胀螺栓固定在地面上, 另一端螺栓固定在背楞上, 起增强抗弯, 调节垂

直度作用。墙板安装示意图见图 4，现场墙板安装图见图 5。

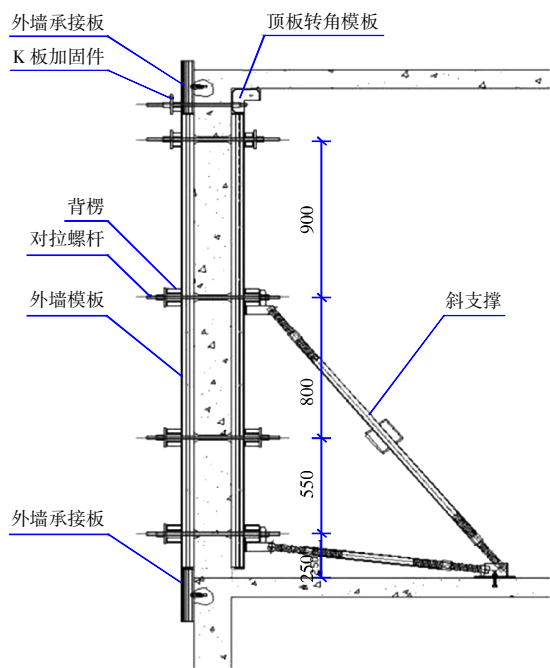


图 4 墙板安装示意图

3.2.2 柱模板体系

墙模板的安装方法同样适用于柱模板，但除此之外还应注意：

1) 工程施工前，加强与设计联系，设计为独立柱时，应尽量保持柱尺寸的一致性，施工时可



图 5 现场墙板安装图

采用相同设计。其次根据柱的尺寸进行配模时，保持柱的单块模板尺寸与墙标准板尺寸设计相同，这样可将模板通用，避免因柱尺寸的多样化而对模板进行大量改动。

2) 墙连柱时，需注意模板间的缝隙不得在交界处设置，同时墙柱交界处应设置为一块整板。

3.2.3 梁板体系

本工程标准层高 3.1 m。在梁模板选择时，将早拆头设计模式应用于梁底，梁底支撑的最大间距为 1 200 mm，梁底早拆头宽为 100 mm，早拆头之间采用的铝模板间距为 1 100 mm，见图 6。

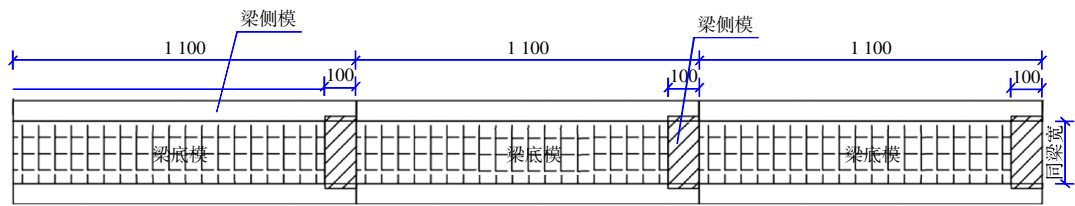


图 6 梁板安装示意图

3.2.4 顶板体系

本工程顶板体系采用的标准尺寸为 500 mm × 1 200 mm，局部模板按实际结构尺寸进行调整。铝模板的厚度为 3.7 mm，楼面龙骨采用 100 mm 宽承梁，底部支撑立杆间距为 1 200 mm × 1 300 mm。楼面的基本分布现场图见图 7，示意图见图 8。

4 注意事项

4.1 混凝土施工

采用铝模体系施工时，在混凝土浇筑现场，要保证有 2 名操作工待命于现场，随时检查浇筑



图 7 现场配板图

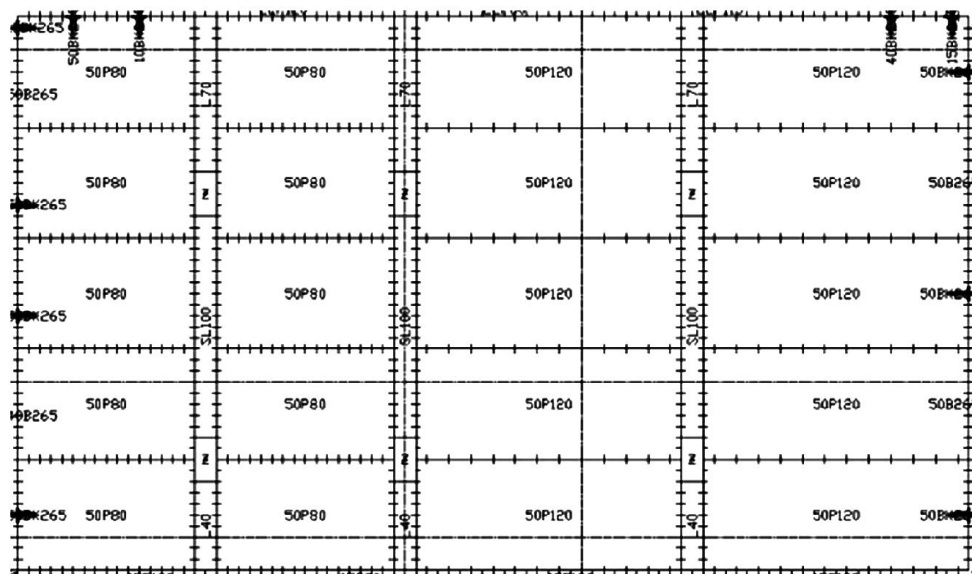


图 8 配板示意图

期间墙两边的销子、楔子及对拉螺丝连接情况。且操作工手中必须配备销子、楔子、可调整支撑、水泥钉、木工锯、小锤等辅助材料及工具，在发生因振动引起销子脱落或振动引起横梁下降滑移时能够及时修补，保证混凝土浇筑质量。

#### 4.2 模板拆除

1) 混凝土强度达到早拆条件时才可进行顶模的拆除，顶模须一块块按顺序拆除并逐渐传递下来，不可把全部的销子和楔子一同取下，再拆除整面铝板。

2) 所有部件拆下后应及时清除污物，可使用刮刀和钢丝刷。避免因时间过长，污染物难以清理，影响后续混凝土成模的观感质量。

3) 清理后的模板传递到下一个安装点后，应在合理的位置按正确顺序叠放，并做出鲜明的标识，对下轮模板的安装将起到帮助，除此以外还可以避免发生因混乱而引起的安全问题。

#### 5 结语

通过铝合金模板体系在城阳区棘洪滩街道北万社区棚户区改造项目 7 号楼中的实践应用，不仅体现铝模施工效率高，周期短，质量高、经济合理的优势，同时也符合国家现下推行的节能环保、绿色发展理念，在高层建筑中将会得到合理的推广和发展，使高层建筑项目在安全、高效、优质上得到质的提升，可以推广使用。