

铝模早拆体系用于预应力楼板技术研究

刘海洋¹ 王宇琛² 梁少岩¹ 方星² 杨苑³

1. 中建国际建设有限公司 北京 100029

2. 中建五局第三建设有限公司国际公司 深圳 518000

3. 中国建筑股份有限公司埃及分公司 开罗 11435

【摘要】：本文以无梁预应力楼板结构为对象，基于有限元分析方法，对施工阶段冲切、抗剪、弯矩及挠度等关键指标进行系统计算，并结合混凝土48h强度约20MPa的特性，构建铝模早拆体系实施路径。结果表明，在施工荷载约15.7kN/m²条件下，楼板最大弯矩约3.5kN·m，最大挠度约0.087mm，裂缝宽度约0.023mm，均满足规范要求。通过该体系应用，模板周转周期由7d缩短至5.5d，支撑安全储备系数提升至10以上。研究表明，该技术可在保证结构安全前提下显著提升施工效率。

【关键词】：铝模早拆体系；预应力楼板；施工技术

DOI:10.12417/2811-0528.26.12.065

近年来，随着建筑行业向高层化、复杂化方向发展，无梁预应力楼板结构因其能够显著降低结构层高、提升空间利用率及改善受力性能，逐渐在超高层住宅及商业建筑中得到广泛应用。该类结构通过引入预应力筋，使楼板在服役阶段形成有利的内力分布，从而减少裂缝发展并提高整体刚度^[1]。但是施工阶段预应力还没有施加，结构主要依靠混凝土早期强度和临时支撑体系来承担荷载，受力状态与成型后有较大差别，也给施工过程的安全控制和进度管理带来新的难题。铝合金模板因为轻质高强、拼装精度高、可重复使用次数多等特点，给模板体系的工业化和标准化提供重要的支持，但是它的优势的充分发挥需要高效的周转机制。

1 铝模早拆工艺流程

1.1 模板与支撑体系一体化安装

铝模板系统同支撑体系一起做精细化布置，工程实践表明支撑立杆间距控制在1200mm×1200mm以内，支撑头尺寸为100mm×200mm，保证早期荷载传递的稳定性。对于板厚为220~300mm的预应力楼板而言，模板拼装精度要控制在±2mm以内，以防止后期出现局部应力集中。模板安装时应留设早拆节点位置，布置早拆头装置，一般每跨设3套，保证后期拆模时能实现面板先脱、支撑不断的状态。

1.2 混凝土浇筑与早期强度控制

混凝土浇筑完毕之后，早拆体系的执行依靠早期强度发展状况。用C40混凝土做现场试块检测，在浇筑后48h内，强度可以达到约20MPa，占设计强度的50%左右。施工时要控制好混凝土入模温度（不宜大于25℃），振捣密实度，防止离析、孔隙造成局部强度不够。施工阶段组合荷载为

15.7kN/m²（自重5.5kN/m²、施工活荷载约5kN/m²），此数值为早拆验算的输入参数。

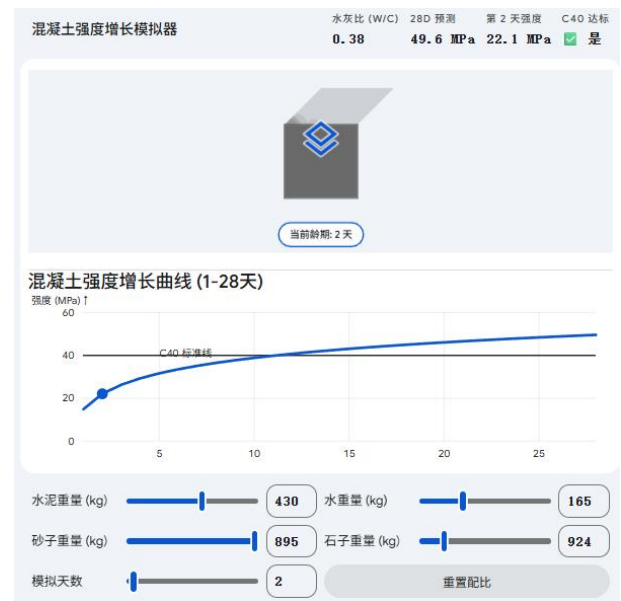


图1 混凝土强度增长曲线图

1.3 面板拆除与支撑保留实施

混凝土强度达到20MPa左右时就可以进行铝模板面板的早拆工作。拆除过程中只拆除面板和次龙骨构件，保留全部竖向支撑和早拆头，使结构仍然处在受控支撑状态。单个支撑点的承载荷载为22.6kN，楼板抗冲切承载力大于198kN，安全储备大。拆模顺序一般为“中部向两侧”，以减小不均匀变形^[2]。

1.4 支撑延续与预应力施工衔接

面板拆除之后，支撑体系一直保持到预应力张拉结束为

止。按照项目《SECTION 348313-PRESTRESSED CONCRETE CONSTRUCTION》要求，混凝土强度达到设计强度的75%以后才能进行张拉施工，该阶段支撑体系承受剩余施工荷载和结构初期变形约束。经过有限元分析可知，该阶段楼板最大挠度为0.087mm，小于允许值4.8mm，结构刚度满足要求。预应力张拉、压浆后才能分阶段拆除支撑体系。

2 预应力楼板中铝模早拆体系的应用流程

与常规现浇楼板相比，预应力楼板在施工阶段具有“先弱后强、受力滞后”的特点，早拆体系的应用也不再只是模板拆除本身，而是嵌入到结构受力演化和预应力形成的过程中，所以它的应用过程更注重结构性能的阶段匹配以及施工参数的精确控制。

2.1 预应力结构参数适配

铝模早拆体系引入之前要先做预应力楼板结构参数和模板体系的适配分析。以板厚220~260mm为例，板内双层双向钢筋配置为 $\Phi 8@300$ ，附加钢筋为 $\Phi 12@150$ ，实际配筋面积约为921.5mm²，比弯矩计算所需的约47mm²要大得多，说明结构在施工阶段有较大的安全余量。根据该特征，在模板设计时应根据预应力筋布置位置（一般在板中下部）对支撑点进行优化调整，防止支撑集中在预应力筋锚固处^[3]。另外，把支撑网格控制在1.2m模数内可以使得单位面积受力分布更加均匀，从而降低局部冲切风险。该阶段的主要任务就是用结构参数反推出模板布置，使早拆体系由“施工工具”变成“结构协同体系”。

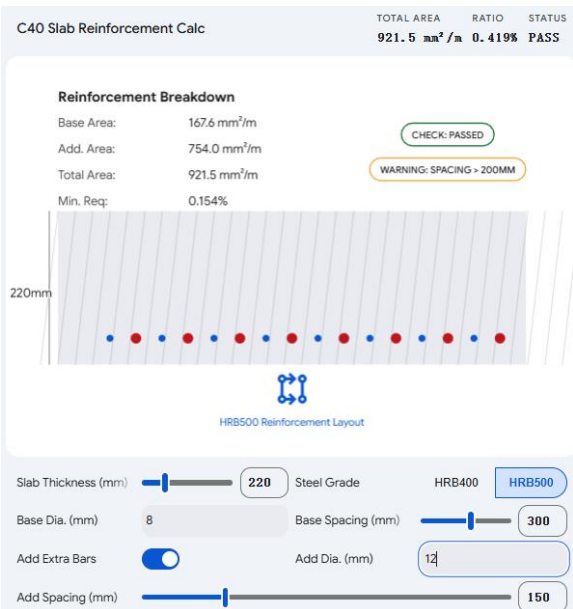


图2 钢筋配筋率计算

2.2 施工阶段受力重分配控制

预应力未张拉前，楼板主要是依靠混凝土初期强度和支撑

系统来承受荷载的。按照施工荷载组合计算可知，单位面积荷载为15.7kN/m²，在该荷载作用下单支撑点的荷载约为22kN。经过有限元模拟得知，该阶段楼板的最大弯矩为3.5kN·m，远远小于配筋的承载能力上限，因此结构仍然处在弹性受力范围内。

在应用中通过改变支撑刚度和布置密度来使荷载在楼板和支撑之间形成协同分担的关系，而不是传统的支撑主导。局部悬挑或者边界处，增加钢支撑（加到4套配置）可以抑制边缘变形。该过程实际上完成了施工阶段受力路径的重新安排，使结构在未张拉时就具有一定的自承能力，为后面拆模和张拉衔接创造了条件。

2.3 张拉前结构稳定性验证

早拆之后到预应力张拉之前这段时间内，结构处在最敏感的受力时期，必须经由多项指标加以证实其稳定状况。首先计算剪力为5.56kN，小于允许值14.63kN；其次实际冲切力18.23kN远远小于抗冲切承载力198kN，安全系数大于10倍。

在变形控制上，得到最大挠度为0.087mm，小于允许值(L/250≈4.8mm)的1.8%，说明整体刚度有较大的储备。并且裂缝宽度计算结果是0.023mm，大大小于0.2mm的限值。经过上述各方面的指标验证，在没有施加预应力的情况下，结构仍然处在安全稳定的状况中。本阶段技术关键是用计算先行、数据支撑的方法给早拆体系提供可靠的工程依据，而不是靠经验来判断。

2.4 张拉协同与支撑释放控制

混凝土强度达到设计强度的75%以后，进入预应力张拉阶段，这时结构受力体系就会发生本质的变化。随着预应力筋的张拉，楼板由“受弯为主”变为“受压和受弯并存”，结构刚度明显增大。根据工程监测数据可知，在张拉完成后楼板挠度可再减小约15%~20%，说明预应力对结构变形有明显的抑制作用。

在此时，支撑体系的拆除要采用分级释放的方式，一般先拆中跨，后拆边跨，防止出现应力集中。另外，通过观测控制关键节点位移（控制在1mm以内）和应变的变化来调节拆撑速度^[4]，最终使支撑体系由刚性约束变成完全释放。这一时期是铝模早拆体系和预应力结构真正的结合，主要价值就是利用施工过程控制来实现结构性能的主动塑造。

3 实施案例成效

3.1 案例背景

以“一带一路”埃及阿拉曼新城超高综合体项目为例，项目位于地中海南岸，涵盖4栋超高层公寓住宅楼和1栋标志塔，

建筑面积共计 109 万平方米，住宅塔楼标准层高度为 3.6m，结构体系采用无梁预应力楼板形式，板厚主要分布在 220mm、260mm 两种规格。项目处在高温干燥的环境之中，夏季日均气温可达 32℃ 以上，混凝土早期强度发展较快，但是施工资源比较紧张，模板周转受阻成了影响主体结构施工进度的主要因素。原设计用传统的满堂支撑体系，模板配置量为 2.5 套/栋，标准层施工工期为 7 天。为了提高施工效率、降低模板投入成本，项目团队在标准层施工中采用铝模早拆体系，结合预应力施工工序进行整体优化设计，形成了模板快速周转、支撑延续承载的复合施工模式。

3.2 工艺方法

本项目铝模早拆体系采取的是“分级受力、阶段控制”的实施方案。模板体系使用标准铝模单元拼装，面板厚度为 4mm，龙骨间距不大于 300mm，保证模板刚度；支撑体系用可调钢支撑，布置间距为 1200mm×1200mm，单根支撑设计承载力不小于 30kN。经过前期勘测，楼板裂缝的发生部位主要在跨中板底（正弯矩最大部位）、支座板面位置（负弯矩最大部位），因此，本问题的实质就是分析这两个位置在实际工况下的最大弯矩值，以此作为混凝土楼板裂缝控制的计算依据。

混凝土设计强度等级为 C40，施工时将水胶比调整到 0.38，加入早强减水剂（掺量约为 0.42%），使混凝土在 48h 内抗压强度达到 20~22MPa。模板拆除控制条件为同条件试块强度 $\geq 20\text{MPa}$ ，结构计算验算满足要求时，进行面板拆除，只保留支撑头和立杆体系。受力控制时，用有限元模型对施工阶段的荷载进行分析，施工组合荷载取值为 15.7kN/m^2 ，按不利工况验算，保证冲切承载力 $\geq 180\text{kN}$ 、抗剪承载力 $\geq 14\text{kN}$ 。边跨和悬挑区加大钢支撑密度到 900mm 间距，在局部增设双支撑头，提高局部刚度。张拉时间控制在混凝土强度达到 30MPa（约 75%设计强度）之后，张拉时观测板面变形，最大挠度不大于 1mm。支撑拆除采用分步卸载法，先卸去支撑荷载的 30%，待其稳定后再将全部支撑拆除，防止发生应力突然改变。整个工艺实现了模板系统、支撑体系和结构受力三者之间的动态协调。

参考文献：

- [1] 葛强谦.第四代住宅错层种植平台模板施工技术研究[J].陶瓷,2026,(03):124-127.
- [2] 于杰,张钊,蒲文军,等.高层建筑外脚手架与铝模一体化施工技术应用[J].建筑安全,2026,41(03):39-42.
- [3] 张本学.铝合金模板施工技术概论[J].中国住宅设施,2022,(04):91-93.
- [4] 何涛,陈文祥.铝模早拆体系下的楼板裂缝控制有限元建模与分析[J].建筑结构,2021,51(S1):1361-1367.

3.3 实施成效

根据楼板的结构力学和实际工况的特点，以大跨度的客餐厅楼板作为分析楼板，采用 4 节点平面四边形单元，单元的划分尺寸不大于 20cm。铝模早拆体系关键技术参数优化对比如表 1 所示。

表 1 实施成效

技术参数	优化前（传统体系）	优化后（早拆体系）
模板周转周期（d）	7	5.5
支撑间距（mm）	1000×1000	1200×1200
单支撑承载设计值（kN）	25	30
48h 混凝土强度（MPa）	16~18	20~22
最大施工阶段弯矩（kN·m）	4.2	3.5
最大挠度控制值（mm）	0.15	0.087
抗冲切安全储备系数	6.5	10.9
裂缝控制计算值（mm）	0.035	0.023

经过改进的早拆体系，在各个重要的受力指标上都表现出了更好的状态。支撑间距由原来的 1000mm 变更为现在的 1200mm 之后，由于提高了单个支撑的承载能力，使得整体支撑效率得到提高，并且仍然可以保证结构的安全裕度；混凝土 48h 强度提高到 20MPa 以上，使得早拆具有了可靠的物理基础；弯矩和挠度都降低了，说明结构在施工阶段受力更加均匀。抗冲切安全储备系数提高到 10 以上，裂缝控制水平明显提高，说明该体系提高了施工效率，在结构安全和耐久性控制上也具有一定的技术优势。

4 结语

在超高层建筑和无梁预应力结构越来越多地被采用的情况下，施工阶段效率和安全之间的关系变得越来越明显。本文以铝模早拆体系在预应力楼板上的应用为研究对象，从施工阶段受力机制的重新认识出发，把模板体系由单一的成型工具转变为结构受力演化的重要参与单元。在计算分析和工程实践相结合的基础上，形成了一个以阶段受力、参数控制、过程协同为特点的技术路线，使得模板拆除不再依靠经验判断，而是建立在可以量化的、可以验证的结构性能基础上。