

中山市柏景台高层商住楼

无粘结预应力平板施工与测试

杨宗放 李 龙

中山市柏景台商住楼坐落在中山市城区长途汽车站斜对面,是一座集商、住、娱乐为一体的大型综合性民用建筑。该工程地下二层为停车场,地上1~7层裙房为大型购买商场,8~29层塔楼(三幢)为高级公寓,30~31层为设备层。建筑总面积为7.8万 m^2 ,总高度为95m,其中塔楼标准层层高仅为2.8m。

该工程由香港富源地产有限公司投资,机械工业部第五设计研究院设计,广东省第八建筑工程公司中山分公司承担土建施工,华东预应力中心珠海分部承担预应力施工。该工程结构部分已于1997年6月完成。

一、结构概况

1、结构方案选择

该工程塔楼采用剪力墙结构体系,裙房采用框架剪力墙结构体系。对塔楼楼板,可供选择的结构方案有以下几种。

(1) 钢筋混凝土平板方案——混凝土用量多,自重大,成本高;

(2) 钢筋混凝土梁板方案——室内有明梁,平面布置有局限性,从美观和使用上给用户带来不便。

(3) 无粘结预应力平板方案——可减少板厚、降低层高、综合经济效益好。

结合该工程平面布置比较规则,最后选用无粘结预应力混凝土平板。

2、计算模式与预应力筋变更设计

该工程预应力部分的设计依据《无粘结

预应力混凝土结构技术规程》(JGJ/T92-93),采用的计算方法为应力比预应力度法。

在设计阶段,采用的力学模型为8.2m跨度的单向简支板,板厚为200mm。无粘结预应力筋采用7 Φ 5钢丝索(1570N/ mm^2),其用量大(5.62kg/ m^2),由于筋短,使锚具用量大,预应力施工费用高。

在施工阶段,为了提高工程质量,降低成本,改善结构的受力性能,变更了原设计,将标准层单向板改为双向板。板厚减至180mm,无粘结预应力筋改为 Φ 15.2高强度低松弛钢绞线(1860N/ mm^2)。标准层预应力筋布置见图1。 Φ 15.2钢绞线的间距为420~600mm。普通钢筋配置:正弯矩为 Φ 12@200,负弯矩为 Φ 10@200,混凝土强度等级为C35。

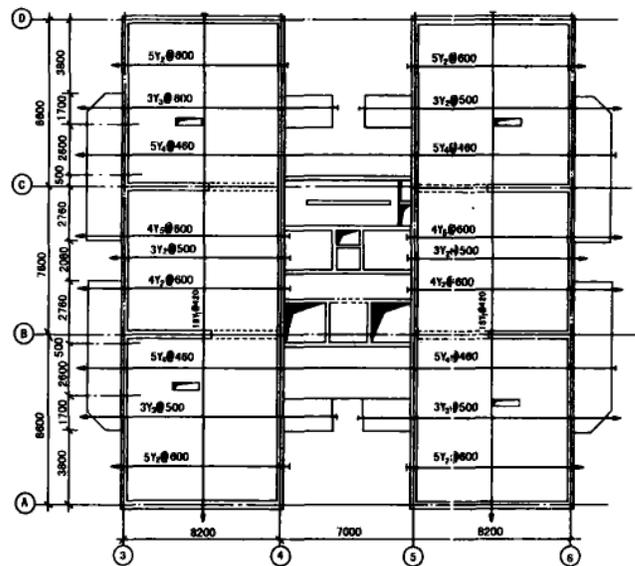


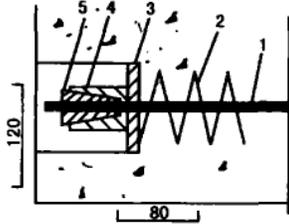
图1 标准层预应力筋布置

杨宗放 东南大学华东预应力中心主任、教授

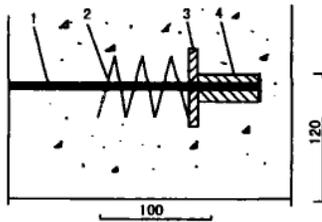
李 龙 东南大学现代预应力公司助工

3、预应力筋端部构造

预应力筋张拉端采取凹入式作法。锚固体系采用单根夹片锚具、承压钢板和螺旋筋，见图2。张拉后凹口用细石混凝土填实。预应力筋固定端采取内埋式作法。锚固体系采用挤压锚具、



1. 钢绞线 2. 螺旋筋 3. 承压钢板 4. 夹片锚具 5. 夹片
图2 预应力筋张拉端构造



1. 钢绞线 2. 螺旋筋 3. 承压钢板 4. 挤压锚具
图3 预应力筋固定端构造

承压钢板与螺旋筋，见图3。

承压钢板的尺寸为 $80 \times 80 \times 12\text{mm}$ ，螺旋筋采用 $\Phi 6.5$ 钢筋，直径为 $\Phi 70$ 。

二、预应力施工

1、总体施工顺序

高层建筑的平面面积小、层数多，在拟定总体施工顺序时，主要解决楼板混凝土浇筑及预应

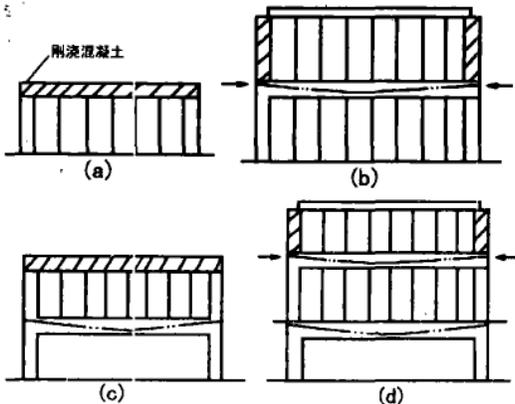


图4 “数层浇筑、顺向张拉” 施工顺序

力筋张拉两道工序之间的关系问题。结合该工程施工速度快特点，采用“数层浇筑，顺向张拉”方案，见图4。这种方案可按普通钢筋混凝土楼板一样，逐层连续施工；预应力筋张拉可落后于混凝土浇筑1~2层，自下而上（顺向）逐层进行，但要求上层楼板混凝土强度应达到C15。

- (a) 第三层楼板混凝土浇筑完毕；
- (b) 第四层楼板支模扎筋，第二层楼板张拉；
- (c) 第四层楼板混凝土浇筑完毕，第一层楼板拆模；
- (d) 重复以上顺序。

2、标准层楼板施工流程

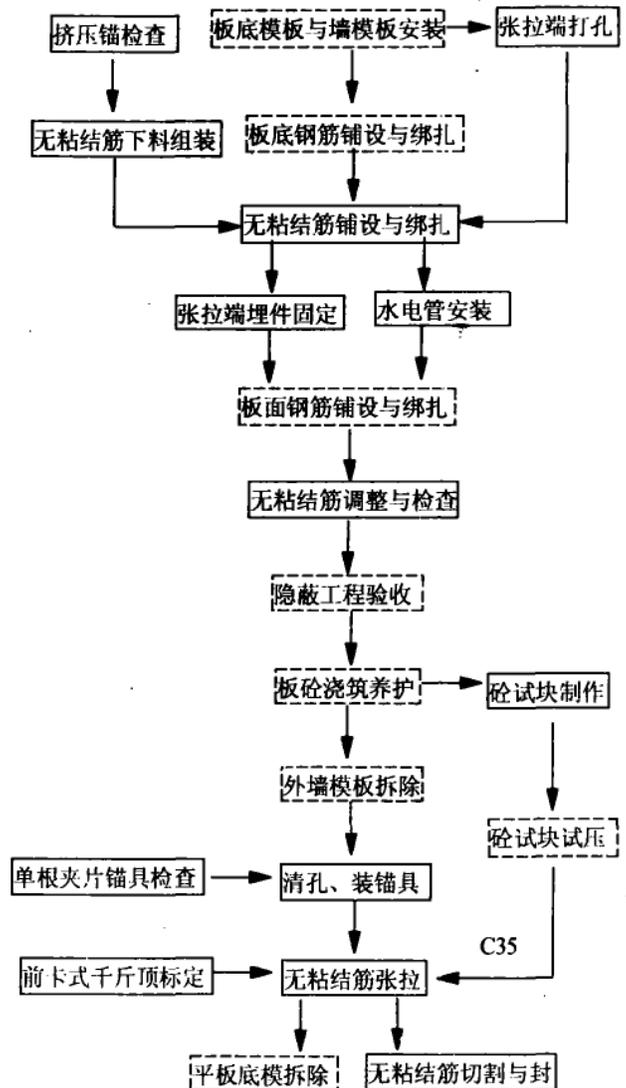


图5 标准层楼板施工流程

标准层楼板施工流程见图5。

图中虚框工序由土建总包单位完成,实线框工序由预应力分包单位完成。

3、预应力材料

预应力钢材选用江西新华金属制品公司名牌产品 $\Phi^{15.2}$ 超高强度低松弛钢绞线。经华南理工大学力学试验室测度,其实际抗拉强度为1900~1940MPa,屈强比为0.923~0.940,伸长率为4.5~5.5%,性能优良。

钢绞线运到珠海市后,由东南预应力材料厂涂油包塑制成无粘结预应力筋,其油脂含量达0.5kg/10m,塑料皮厚为0.9mm,满足使用要求。

预应力锚具选用柳州欧维姆公司名牌产品OVM15-1夹片锚具与OVM15P挤压锚具。经该公司预应力筋锚具组装件静载试验,其 $\eta_a \geq 0.95$, $\epsilon_u \geq 2\%$,满足I类锚具要求。

江西新华钢绞线与OVM公司锚具匹配良好,该工程135t钢绞线与7000套夹片锚,均无滑移现象。

4、预应力施工要点

(1) 钢绞线切割采用砂轮锯。其固定端与挤压锚具组装后,用电焊固定在承压钢板上,但要防止钢绞线遭受热影响。

(2) 在双向平板中,无粘结曲线预应力筋的铺设顺序,应事先根据各纵横筋交叉点的标高确定。坐标高度低的筋,应先铺设,尽量减少双向筋相互穿插铺设。

双向预应力筋的底层筋,应与同方向非预应力筋处于同一水平位置,以减少重叠层数,保证其曲率矢高。

(3) 板中无粘结预应力筋铺设时,其曲线坐标用钢筋马登控制。马登间距为1.5~2m,用铁丝与无粘结筋扎牢。

(4) 无粘结筋张拉端的承压钢棉线应垂直于钢绞线,并用短筋与四周钢筋焊牢。张拉端凹

口用泡沫块填塞,施工方便。

(5) 无粘结预应力筋铺设后,应进行隐蔽工程验收。其控制点(跨中最低点、反弯点与支座最高点)的坐标高度允许偏差为 $\pm 30\text{mm}$ 。无粘结筋的线形应保持平顺。

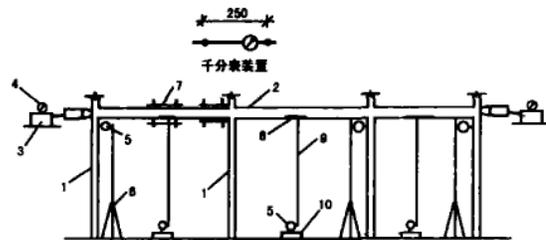
(6) 施加预应力时,混凝土强度不应低于C30。张拉设备采用前卡式千斤顶,张拉控制应力 $\sigma_{con}=0.75 \times 1860=1395\text{N/mm}^2$,单根 $\Phi^{15.2}$ 钢绞线张拉力 $P_1=195\text{KN}$ 。

(7) 预应力筋采取一端张拉方式,对称进行。张拉程序为 $0 \rightarrow 0.2P_1$ (量伸长初读数) $\rightarrow 0.6P_1 \rightarrow 1.0P_1$ 锚固。张拉伸长值误差控制在 $+10\%$ 、 -5% 范围内。预应力筋张拉时,如遇到脚手杆,采用变角张拉装置解决。

(8) 预应力筋锚固后,用手提砂轮机切去多余钢绞线(留30mm),凹口部位清理干净并用水湿润,然后用C35细石混凝土填实。

三、现场测试

高层建筑楼面结构采用无粘结预应力混凝土平板,在中山市尚属首次。为了验证预应力混凝土结构设计的可靠性及综合反映主体结构的施工质量,对该工程C座第十四层楼板张拉阶段进行测试。



1、测试内容与方法(图6)

1-无粘结预应力平板 2-墙 3-张拉设备 4-精密压力表 5-百分表 6-支架 7-千分表装置 8-预埋钢板 9-钢管 10-贴玻璃片

图6 测试仪表布置图

(1) 孔道摩擦损失,采用张拉千斤顶配备精密压力表(0.4级)测定。测试前张拉千斤顶应作主动与被动工作标定。测度对象:长筋与短

筋各二根。从实测孔道摩擦损失,推算 μ 值。

(2) 楼板反拱挠度综合值,采用百分表测定。测试部位:双向板的中央。测试前,焊一根钢管,引至地面读数。

(3) 楼板混凝土应力,采用千分表装置测定。测试部位:双向板的跨中与支座处的上、下表面。千分表装置的标距为250mm。

(4) 楼板混凝土弹性压缩,采用百分表测定。测试部位:三跨楼板端墙顶部与单跨楼板侧墙顶部。测试前,搭独立支架。

2、测试数据与分析

- (1) 孔道摩擦损失(见表1)
- (2) 楼板混凝土应力(见表2)
- (3) 楼板反拱挠度综合值(见表3)
- (4) 楼板混凝土弹性压缩值

沿三跨方向,楼板混凝土弹性压缩值计算值

为0.7mm,实测值为0.51mm。

四、结束语

通过中山市柏景台高层商住楼无粘结预应力平板施工与测试,我们有以下几点认识:

- 1、建筑布局应尽量规则对称,开洞少,板面标高一致,使预应力筋布置比较合理;
- 2、结构自重要轻,隔墙宜改为轻质材料,以减轻静荷载;
- 3、选择比较合适的预应力度,该工程钢绞线用量仅为 $3.75\text{kg}/\text{m}^2$,钢筋用量约为 $11\text{kg}/\text{m}^2$;
- 4、无粘结预应力筋的孔道摩擦损失小,所建立的应力是足够的;
- 5、无粘结预应力混凝土平板的应力、反拱挠度与压缩值等基本上与设计值吻合,说明结构性能良好、施工符合要求、安全可靠。

表1 孔道摩擦损失表

| 筋号 | L (m) | 总 θ (弧度) | 孔道摩擦损失率% | | k值 | | μ 值 | |
|----------------|-------|-----------------|----------|----------|-------|-------|---------|-------|
| | | | 计算 | 实测 | 计算 | 取用 | 计算 | 实测 |
| Y ₁ | 25.8 | 0.56 | 15 | 9.5~11.1 | 0.004 | 0.003 | 0.12 | 0.570 |
| y ₃ | 12.9 | 0.32 | 8.8 | 6.2~7.8 | 0.004 | 0.003 | 0.12 | 0.104 |

表2 楼板混凝土应力值表

| 测试部位 | 楼板顶面应力(MPa) | | 楼板底面应力(MPa) | |
|-------|-------------|-------|-------------|-------|
| | 计算值 | 实测值 | 计算值 | 实测值 |
| 边跨中处 | -0.3 | -0.1 | -1.7 | -1.78 |
| 边跨内支座 | -2.2 | -1.53 | +0.2 | +0.25 |
| 中跨中处 | +0.2 | +0.26 | -1.4 | -1.26 |

注:楼板混凝土应力计算值,采用整体空间有限元分析,取预应力引起的荷载与二层楼板与支撑荷载的50%计算。

表3 楼板反拱挠度综合值表

| 测试部位 | 张拉时(mm) | | 本层拆模后(mm) | | 上层拆模后(mm) | |
|------|-------------|-------|-----------|-------|-----------|-----|
| | 计算值 | 实测值 | 计算值 | 实测值 | 计算值 | 实测值 |
| 边跨中处 | 3.2↑+4.0/2↓ | 0.8↑ | 3.2↑+4.0↓ | 0.70↓ | 3.2↑+2.0↓ | —— |
| 中跨中处 | 3.0↑+3.6/2↓ | 0.76↑ | 3.0↑+3.6↓ | 0.54↓ | 3.0↑+1.8↓ | —— |

注:荷载取值同表。