

超高层建筑的单元式幕墙施工技术

张健儿 张定国

工程概况

杭州某商业金融项目位于钱江新城，整个项目由A、B、C三幢5A甲级写字楼及商业裙房组成，工程占地面积约24500 m²，总建筑面积为291000 m²，其中地上的建筑面积为195668平方米，地上部分最高为40层（建筑高度180米），地下4层；幕墙总面积约为93084 m²，塔楼部分幕墙主要为单元式半隐框幕墙（总计75084m²、11136块，最大的尺寸为6x2.1m，重量达到750kg）、裙楼部分由18000 m²的框架式幕墙、铝板幕墙和雨棚系统组成，标准层采用6（半钢化、Low-E双银）+1.52+6（半钢化）+12A+6（全钢化）的中空钢化玻璃，层间采用薄钢板+50mm厚保温岩棉，底层部位采用8（半钢化、Low-E双银）+1.52+8（半钢化）+12A+12（全钢化）中空钢化玻璃。固定方式在混凝土结构预埋定制的槽式埋件，采用配套的专用铝合金挂件。由于A、B、C三个塔楼呈星型布置，而A、B楼之间则通过4层裙房相连，目前已经投入使用，使用单位大都为国内外的金融大鳄，成了名副其实的金融中心（见图1）。



图1 工程实景

1 单元式幕墙的特点

单元式幕墙与传统幕墙相比主要有以下的特点：

1.1可以有效缩短施工工期。

1.1.1因为除了现场测量放线、预留预埋、安装就位及细部收头等工作外，其它的诸如铝型材、玻璃的组合、防水雨幕系统与单元体的组装等工作均在专业加工厂完成，极大地减轻了现场的工作量。

1.1.2幕墙的加工、吊装等均可以和土建同步实施，最大限度地利用了主体结构、装饰、泛光照明等工种的合理穿插，有效缩短了总工期。

1.2单元式幕墙综合性能优异，大大提高了舒适性。由于单元板块的胶条特殊设计，其尘密线、水密线和气密线采用双胶条设计，密封和传力胶条独立分开设置，保证了密封与变形性能，大大减轻了摩擦噪音，从而提高了舒适性；另外，还由于其融合了各种幕墙技术于一体，各取所长，使幕墙体系的各种性能达到最优，包括抗震性能。

1.3单元式幕墙的施工质量容易保证。由于各个构件的制作、加工、施胶等关键工序实现了自动化生产，其生产的环境条件将不会受到外界条件的影响，有利于保证单元体的质量；而在节点处理上往往采用了对插接缝技术，不仅提高了幕墙的变形适应能力，而且也作为雨幕原理的构造设计提供了最佳的平台，从而提高了幕墙的水密性和气密性。

1.4幕墙立面布置方式灵活，受力合理、清晰。通过BIM技术进行单元式幕墙的设计计算，其计算结果与实际受力状况较为吻合，以进一步优化受力构件截面形式与壁厚等，可以有效地减少受力构件的重量，并进一步降低成本。

1.5建筑工业化程度高，绿色施工。由于单元式幕墙的结构材料的选择、设计、加工制作及单元板块的维护管理、质量控制等都是专业生产线上完成的，自动化程度高，大大减轻了劳动强度，实现了工业化生产，且因改善了作业环境，大大减少了其污染物及废弃物的排放，实现了绿色施工。

2 单元式玻璃幕墙施工流程

现场测量放线→槽式埋件预埋→交接验收与保护工作→混凝土浇捣→弹线复测→设置标准线→单元支座安装→单元板块的加工、检验与运输→单元板块的进场验收→单元板安装→检查安装质量→安装防水过桥→细部处理、清洁、打胶→淋水试验→避雷系统与泛光照明安装与调试→防火层安装→幕墙分项工程验收

2.1 单元式幕墙的现场施工准备

2.1.1采用“读图讲图”、“样板带路”等方法，做好对现场安装工人的技术与安全交底工作，以便进一步熟悉单元式幕墙的技术结构特点、质量标准与施工过程中注意事项，切实保证施工质量。

2.1.2 根据本工程单元板块的几何尺寸、重量选择合适的安装方法、吊装工艺与设备、流水段的划分等，以便保证施工质量与安全。本工程幕墙开始安装时，主体结构已经施工到20层，故在主体结构施工时，主要由塔吊解决垂直运输问题，由单臂吊负责单元板块的安装。

2.1.3 合理规划现场施工总平面。由于本工程场地十分紧张，且存在着主体结构、装饰、安装和幕墙施工等平面与立体交叉施工，特别是在交通、垂直运输、堆场之间的矛盾十分严重，为保证单元板块的顺利安装，要求幕墙单位做好每块单元板块的位置与编号的标注工作，大大减少了返工、驳运等的工作量。

2.2 单元板块的设计深化、加工、运输及进场

2.2.1施工单位根据已经各方确认的施工图、实际测量等情况进行了深化设计工作，主要包括结构、消防与热工的设计，并经原设计单位复核同意，细化了各种单元的主要受力构件的设计与选型等，幕墙的四性试验结果满足设计与规范的要求。

2.2.2单元板块的加工与制作在专业工厂完成。主要是要控制好加工时的环境条件（温度、湿度及清洁度等），同时，各种材料的品牌与规格必须按照合同的要求进行采购，铝型材、玻璃、胶及五金件等的各种试验与检测应符合要求；在制作时，尚应注意各个构件之间的配合、打胶的厚度与宽度、养护条件等是否合乎设计与相关规定。

2.2.3单元幕墙板块制作加工完成后，经质监合格方可出厂。为防止运输过程中的损伤，出厂时应做好相应的保护工作，采用了可拆卸式的单元板块运输的专架，在单元板块之间、单元板块与周转架接触等部位均选用软质材料进行隔离。

2.2.4运到现场后，应检查单元板在运输过程中是否有损坏，其数量、规格及编号是否有误，检查其出厂合格证、标志、尺寸偏差、转接件的位置等是否符合要求，并根据编号进行分层、分规格进行堆放，做好成品保护工作（图2）。





图2 成品保护

2.3 单元板块的安装

2.3.1 转接件的安装

(1) 主体结构施工时，应保证预埋件的施工质量，其具体要求是：前后方向偏差不大于20mm，左右方向偏差不大于30mm，垂直方向偏差不大于10mm。安装前再次核查预埋件的留设位置是否满足设计深化的要求，如不符合要立即采取补救措施。

(2) 根据深化与实际测量成果设置垂直于水平的基准线，并安装转接件，经激光经纬仪复核安装好的转接件的位置偏差可否满足其允许偏差。如不满足，则做好调整工作。

(3) 防腐、防锈应满足设计要求，在不同材质的金属材料接触面处应设置绝缘防腐垫片，玻璃与梁柱结构相遇处应设置柔性垫片与采取防松措施。

2.3.2 单元板块的垂直运输。

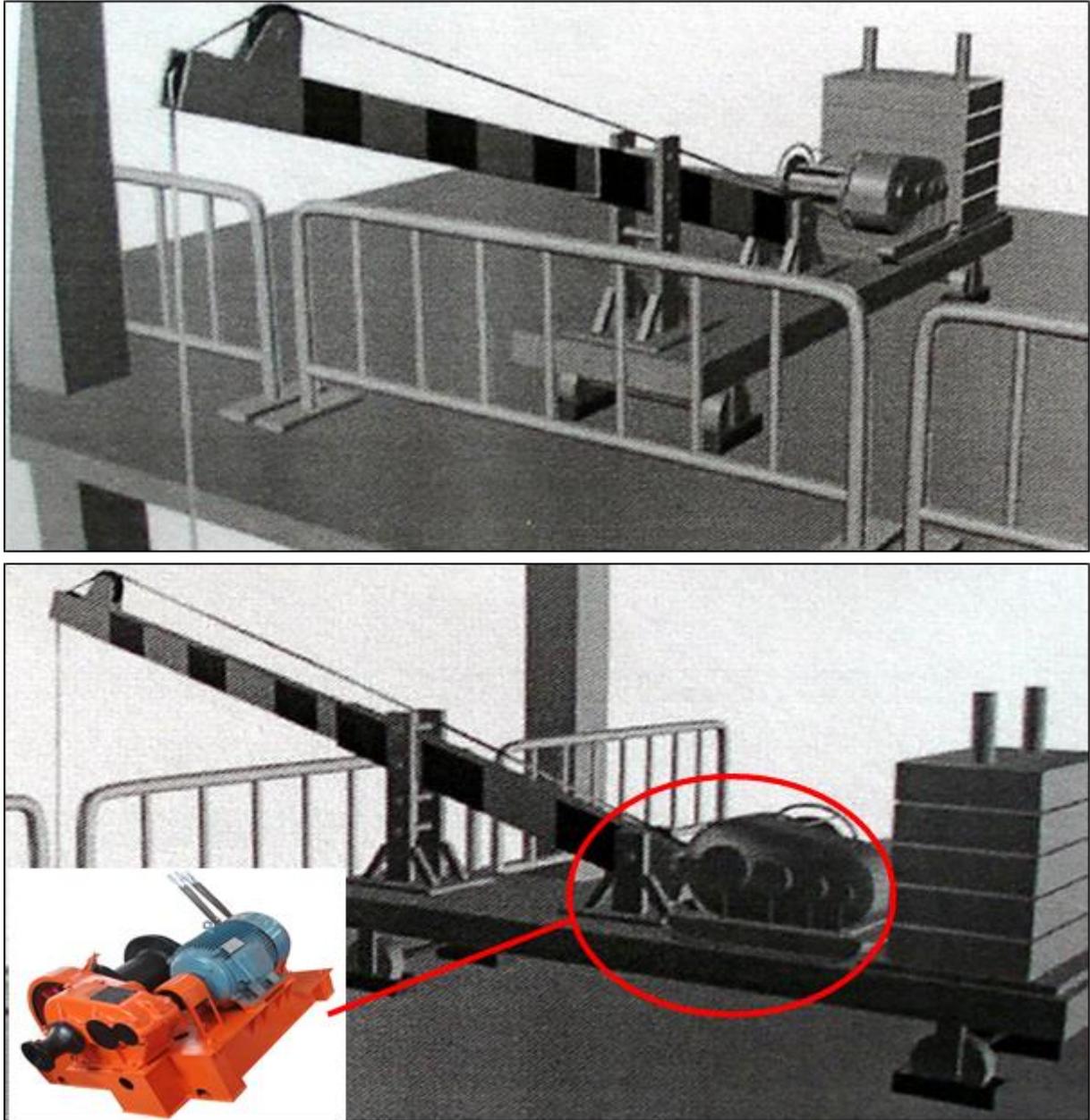
为了满足进度的需要，在塔吊未拆除之前，将大部分的单元板块使用专用吊具分别吊至10、20、30、屋面层等部位分散码放，塔吊拆除后的补片，则采用单臂吊进行吊装。

2.4 单元板块安装方法的选择与安装注意事项

2.4.1 安装方法的选择

根据本工程现场的特点，结合类似成功的安装经验，一般采用塔吊、外架及单臂吊等几种安装方法，但使用塔吊、外架两种方案不利于本工程进度的推进，不利于现场的安全管理工作，安全隐患较多，经专家论证一致认为采用单臂吊是可行的。

单臂吊的组装示意图见图3所示，图4为单臂吊施工图。



单臂吊机搭设效果图

图3 单臂吊组装图

2.4.2 安装注意事项

根据单元板块的重量设计吊装夹具，吊装夹具不能对单元板块造成损坏，吊点应符合设计要求，吊点不应少于2个。必要时可增设吊点加固措施并试吊。单元板块就位时，应先将其挂到主体结构的挂点上，板块未固定前，吊具不得拆除。第一块板块挂接到位后，应进行上下、左右、前后位置核查，对不满足设计要求的尺寸进行微调。施工中应避免板块额外施工荷载，板块不应翘曲、受弯、扭转等施工荷载。对于无法密合到位的板块，严禁采用棍撬、捶击的方式强行安装。应检查是否有阻碍、板块不平等缺陷。



图4 塔楼单臂吊机施工示意图

2.5 单元式幕墙的质量控制

2.5.1 测量精度的控制

根据本工程特点制定的测量允许偏差如表1所示

表1 测量允许偏差控制

平面控制网		
项目	允许误差	实测允许误差
测角中误差	±2"	±1.5"
边长相对中误差	1/25000	1/35000
楼层轴线投测 (mm)		
主轴线间距	允许偏差 (mm)	实测允许偏差 (mm)
相临轴线	±3	±2
L≤30m	±5	±4
30m<L≤60m	±10	±8

60m<L≤90m	±15	±10
L>90m	±20	±15

2.5.2 预埋件的安装质量检测

(1) 安装牢固，位置正确。但部分位置因设计调整而出现了后置埋件，则后置埋件安装偏差一般为：标高偏差≤10mm，位置与设计位置的偏差≤20mm。

(2) 安装应平整，材料无蜂窝、麻面，防腐处理符合规范、设计要求。

(3) 所有埋件应符合设计要求，且经抽样拉力试验合格后，方可埋设。

2.5.3 转接件的质量控制

单元式幕墙板块吊装就位安装前，应先将预埋件清理干净，安装转接件前，要先放线定位，保证位置精度，转接件相对钢线的定位精度要求较高（见表2）

表2 转接件定位控制要求

序号	项目		允许偏差(mm)	检查方法
1	标高		±1.0（有上下调节时±2.0）	水准仪
2	转接件两 endpoint 平行度		≤1.0	钢尺
3	距安装轴线水平距离		≤1.0	钢尺
4	垂直偏差（上、下两 endpoint 与垂线偏差，包括前、后左右两线）		≤1.0	钢尺
5	两转接件连接点中心水平距离		≤1.0	钢尺
6	相邻三转接件（上下，左右）偏差		≤1.0	钢尺
7	转接件	孔（槽）直径（宽度）	+0.40[+0.10]	塞规
		轴（板）直径（厚度）	-0.10[-0.40]	
		插孔（槽）件直径（厚，宽度）	+0.40[-0.10] +0.10[-0.40]	
8	两连接构（插）件（槽）上，下端对角线长度差		≤1.0	钢尺

2.5.4、除锈、防腐质量控制

埋件、转接件、钢结构安装、焊接后应清理，除渣除锈，构件除锈后应露出金属光泽，金属表面不得有灰尘，油渍、鳞皮、锈斑、焊渣、毛刺等附着物。现场进行的焊接部位，由于电焊破坏了原有的镀锌层或其它防腐层，故要进行二次防腐处理，二次防腐处理时不能单独考虑焊缝的位置，同时要考虑整个结构，检查每个铁件的位置，进行全面防腐处理，处理时要先涂两度防锈漆，再漆两度富锌漆，要求全部均匀覆盖。

2.5.5 单元式幕墙制作质量的控制

(1) 玻璃应安装或粘结牢固，橡胶条和密封胶应镶嵌密实，填充平整。

(2) 检查镀膜玻璃安装方向是否正确，在没有特别要求的情况下，膜面应朝向室内一侧。

(3) 玻璃分格、拼缝和玻璃幕墙与其它单元拼缝均匀，横平竖直，宽窄均匀，允许偏差达到设计要求。

(4) 耐候密封胶施工必须严格按照施工工艺要求操作。灌胶前应按工艺要求在准备灌胶的槽里加垫发泡塑料材料，聚乙烯发泡材料填塞必须保证灌胶的厚度及防止三面粘结，在槽周围粘贴防污胶纸，并用二甲苯将槽内灌胶部位清洗干净。密封胶应充满胶槽空腔，不应有气泡、夹渣、滴瘤等缺陷。胶缝平整光滑，横平竖直，接口过渡自然光滑。胶的施工厚度和施工宽度必须严格按图纸和工艺要求施工。

(5) 幕墙拼缝位置必须施打密封胶。按设计文件要求设置排水通道，并保持排水通道的通畅。

2.5.6 单元式幕墙施工质量的控制

(1) 密封胶条安装到位，不允许施加外力使胶条处于拉伸状态，允许适度的压缩，端头留有5~10mm的余量，粘合紧密，对接缝处无间隙，且不允许外露。

(2) 在可视部位密封胶条对接缝应留在板块的四角，斜面断开应拼成预定的设计角度，并应用粘结剂粘结牢固后嵌入框架槽口内。胶缝表面应平滑、平整、无气泡、无飞边、玻璃和板等表面无污渍及残胶。

(3) 保温材料的品种、堆集密度，导热性符合设计要求，固定防火保温材料的形式应符合设计，防火保温层应平整，拼缝处不应留缝隙，保温材料上粘贴的锡铂纸等应牢固，不脱落。

(4) 幕墙翻窗的锁、限位器、执手等附件安装到位齐备，符合设计要求，层间封修、保温做法、避雷措施等均应符合设计图纸及有关规范的要求。

3 单元幕墙吊装过程中的安全防护措施

3.1 对于被吊装的单元板块，采用专用的单元吊具，为了不使起吊板块与已安装完毕的幕墙相碰撞，在作业面上的楼层内设置人员用专用工具进行下行过程中的板块保护。同时，楼层内的吊具也要进行防止外掉的保护，要有缆绳与室内柱相连，保证不出意外。

3.2 当需要单元吊装与底层其它装饰项目同步施工时，其安全措施是非常必要的。需在施工层下部设置安全防护网，以防上部的落物。同时严禁在各楼层的沿口堆放材料，在各楼面放置2m安全警戒线。操作前必须清理任何可能带来下坠的物品，严禁高空抛物。现场施工人员必须配安全带、防滑鞋、防坠器具，以确保人身安全。

3.3 单元板吊装区域的下方地面必须设置醒目的安全警戒范围，吊装区域下方地面的吊装过程必须设置专人安全监护。

3.4 吊装单元板现场安全员应全程跟踪监护吊装作业工作。设备监护员在吊装过程不允许脱离岗位，如发现设备有不正常情况，必须通过对讲机通知吊装组，并停机检查。

3.5在任何工作情况下，都不允许电焊与吊机的钢丝绳相接触，并且伤害钢丝绳，一旦发现钢丝绳受伤，必须报告专职安全员和相关专业人员处理。

3.6 在吊装过程中，保险绳设备措施齐全后方可施工操作，专业人员检查。制定相应的应急预案，防止事故的发生及减轻事故损失。

4 结语

本工程目前已经投入使用已经超过了2年，已经评为“西湖杯”优质工程，在施工过程中，各参建各方通过对其细部构造的精心改进，使幕墙在保证立面效果的前提下，不仅具有优良的气密性、水密性、风压变形及平面变形能力，而且达到了环保节能要求充分展示了现代幕墙的建筑技术，达到了设计效果，而单臂吊技术在本工程的使用，大大缩短了施工工期约6个月，其经济效益与社会效益十分明显。

参考文献

- 1 《建筑装饰装修工程质量验收规范》(GB50210-2001)，中国建筑科学研究院，2000年，中国建筑工业出版社
- 2 《建筑幕墙》(GB/T 21086-2007) 中国建筑科学研究院，2006年，中国建筑工业出版社
- 3 《玻璃幕墙工程技术规范》(JGJ102-2003)，2002年，中国建筑工业出版社。

作者介绍：张健儿，杭州信达投资咨询估价监理有限公司副总工程师，教授级高工，注册监理工程师、一级建造师、安全工程师及注册设备师，电话：13957159219，Email:13957159219@139.com。浙江省杭州市省府路27号4楼，邮编：310007