

# 模块集成箱体与钢结构组合安装工艺探究

周贤明 林可 梁伟怀 崔健

中海建筑有限公司

**摘要：**模块化集成箱体组合建筑是一种实现模块单元工业化生产和现场快速安装的新型装配式建造方式，发展此类建筑结构，对推动我国装配式建筑技术的革新与应用起到积极作用。本文主要介绍了某高层酒店采用的MIC集成箱体与钢结构组合安装工艺以及在施工过程中需要控制的要点，采用此种施工方法比传统结构施工大幅度提高了效率，保证了项目在零伤亡的前提下按期完成了项目，为模块化集成箱体吊装工艺积累了宝贵的经验。

**关键词：**MIC；模块化；集成箱体；吊装

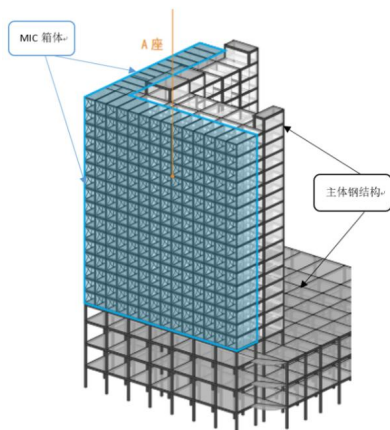
【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2023.23.017

## 一、引言

与国外相比，我国模块建筑发展起步慢，行业对模块建筑了解少，目前应用于中低端的临建设施居多。随着MIC模块化集成建筑在国际上广泛应用，国内建筑行业应用MIC集成模块技术进程亦不断提速。MIC即组装合成建造法（Modular Integrated Construction），是指在工厂一次性完成各空间单元的装修、水暖、机电等工序。运送到施工现场时，每个模块已经达到精装修入住的标准。施工现场只需要像每个单元一样“搭积木”同样简单地组装，就可以完成整个工程的施工。本项目采用了类似装配式建筑的施工工艺，利用MIC箱体和钢结构主体组成建筑的整体结构MIC箱体吊装过程复杂，要求精度高，施工风险大；因此必须采取相应的吊装工艺来保证吊装施工过程中的质量和安全。

## 二、项目概况

某市健康驿站项目主体结构为钢结构，地上20层，地下2层，结构高度77.7m。钢框架部分采用矩形钢管混凝土柱，钢梁采用H型钢梁。项目5-20F使用MIC集成箱体进行建造，每层22个MIC箱体，整栋楼共有MIC模块箱352个，箱体长宽高设计为9m\*3.9m\*3.45m，单个模块重量约为25T。拟采用350吨履带吊进行箱体吊装。项目完成后为目前国内最高的MIC+钢结构组合结构体系。



## 三、关键点技术分析

1. 本工程MIC箱体是从地上5层开始吊装，直到20层封顶，在主体结构4层，采用钢结构柱、梁和斜支撑进行箱体底部固定支架。钢结构的吊装精度直接影响到MIC箱体的吊装速度和就位精度，也是保证5层以上每层箱体就位精度的前提。

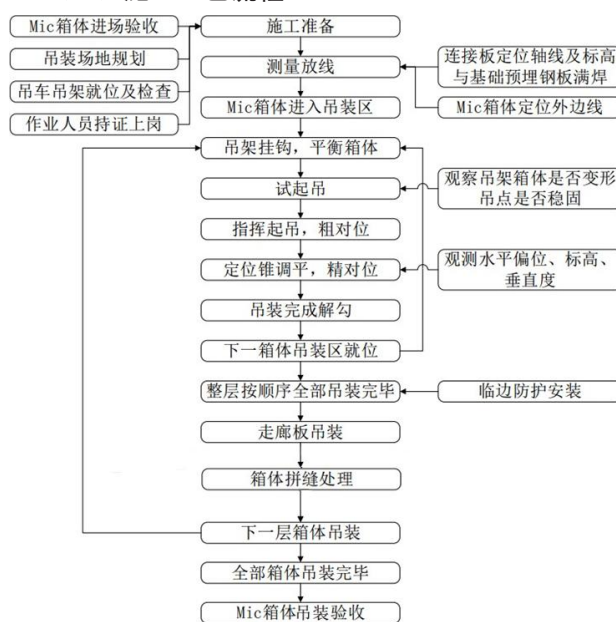
2. MIC箱体吊装设备的选型和行走路线设置需要全面考虑，箱体吊装工具采用专用吊装工具，需要经过设计后进行制作。

3. 箱体吊装完成后与主体结构的连接为本工程施工重点。

4. 箱体吊装过程中与其他专业的交叉施工作业也是本工程的难点。

## 四、施工工艺分析

### （一）施工工艺流程



### （二）吊装机具选择

1. 通过对现场施工场地、施工图纸以及MIC模块箱各部件重量、结构尺寸、吊装工艺、安全、吊机起重性能分析，钢结构吊装拟采用两台XGT7528A臂长50m塔吊进行吊装。MIC箱体拟选用一台350t履带式起重机进行吊装。

2. 现场楼层平面图为L型建筑，两个长边分别为54.4m和50.8m，宽20.8m，现场履带吊需要两个站位点，距离最近的MIC箱体就位距离40m，拟选用的350t履带吊自重315t，采用主臂+塔臂工况，吊装高度100米，在40m半径位置履带吊吊重35吨，该吊机的性能完全能满足此次MIC模块箱吊装过程中的安全和技术要求。

### （三）交通疏导

因本项目工期短，在吊装过程中需要有效合理协调MIC箱体进场顺序，一是需要保证附近道路交通顺畅，

通过协调申请了附近道路的使用权；二是需要保证充足的Mic箱体随时待命准备进场进行吊装，因此在施工现场外不远处设置了Mic箱体中转场，厂家发出的货车在中转场短暂停留、随时待命，能够不间断地保证吊装施工；三是设置调度指挥中心统一对进出场车辆进行统一管理，规定车辆进场、等待、离场路线，进出场车辆均有专用车道。

(四) 施工准备

1. 吊装前运输通道填筑并硬化，运输车辆可直达安装现场起吊位置。履带吊及履带吊安装区域（含运输车停放位置），完成整平压实并换填碎石。履带吊和履带吊进行试吊。依次进行下列各项试吊和检查工作：全面检查各种绳索是否完好，机具运行状态是否良好，履带吊是否安全可靠；指挥通讯是否畅通。

2. 5层MIC箱体吊装之前，4层的钢结构需要全部吊装、焊接完成，MIC箱体与钢结构的连接件安装就位并焊接完成。将箱体与钢结构接触面清理干净，对预埋件标高及水平偏移进行复测，并在下层钢结构上放出支座纵横向中心线，对应支座底板中心十字线也采用墨线弹出。复测连接件的标高和水平位置满足要求后才能进行箱体吊装。

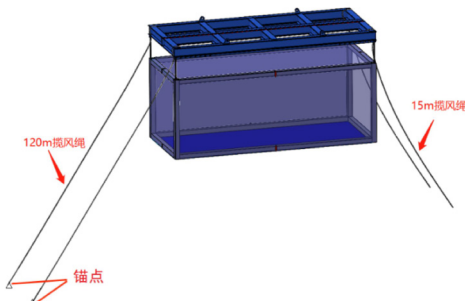
3. MIC钢箱模块达到设计要求，并经监理工程师检查合格后方可进行安装。安装前要检查设备的外形尺寸，以及箱体与钢结构连接部位的尺寸和位置，符合要求方可使用。

(五) MiC箱体吊装

1. MiC箱体使用专用拖车按计划顺序从中转场地运输到施工现场指定停放地点，该地点的选择一是需要停放在预先设置的安全防护区域内，二是为了便于履带吊挂钩起吊。

2. 当箱体运输到指定地点后，要进行试吊，先对MIC箱体专用吊具、吊耳、吊索等基本零部件进行检查，然后使用履带吊起吊专用吊具，之后各岗位作业人员就位，之后将箱体起吊离拖车200mm高，再次检查履带吊的制动性能、吊点的牢固性、调整箱体的平衡性等，在一切确认无误后再继续吊装。

3. 地面、上下楼层之间及楼顶均设置关键岗位，每人均配备一部对讲机；每件MIC箱吊装过程中均采用四根揽风绳进行稳固（120m 两根、15m两根），由于揽风绳均系在MIC箱顶部侧面，两根120m的风绳在地面设置两个锚点，每个锚点处有两人拉揽风绳，两根15m的揽风绳由MIC箱安装人员控制箱体的水平稳定。

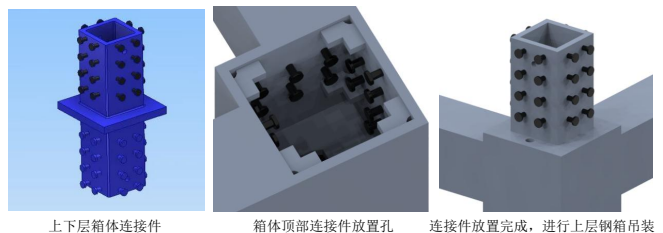


专用吊具及揽风绳示意图

4. 当箱体吊运到安装地点附近后，安装作业人员牵引缆风绳在统一指挥下摆动旋转箱体，使箱体能够准确地落于指定范围之内，作业人员再进行微调，控制箱体的偏移在允许误差范围内。待箱体落位后，高处作业人员取下连接箱体和吊具的卸扣，履带吊升起吊具准备吊装下一个箱体。

5. MIC模块箱与钢结构预埋件对接后，通过经纬仪或全站仪校核模块垂直度，偏差≤3mm；在模块操作平台上放置水准仪，通过塔尺测量模块四个角的水平度，偏差≤2mm；若存在较大的水平误差，可通过在误差较大角柱底部放置垫片调平，确保水平偏差达到设计要求，首层模块安装完成。

6. 本层箱体吊装完成后，在箱体顶部安装与上一层箱体连接的钢箱连接件，调整好连接件位置之后再行上一层箱体的吊装。



7. 待到箱体吊装完成10层以上，开始进行连接部位的灌浆工作。钢箱模块之间的连接采用新型灌浆节点，通过后灌浆式连接，栓钉和灌浆料之间的握裹作用能够在实现快速安装的同时使节点域达到近乎等同于传统钢结构的强度和刚度。新型灌浆节点应采用C120高强无收缩灌浆料，灌浆时浆体温度应在5℃~30℃范围内。灌浆时及灌浆后24小时内施工部位及环境温度不应低于5℃。



五、质量保证措施

(一) 吊装工程施工质量控制

1. 施工前组织所有相关人员熟悉图纸、方案，并进行技术、质量交底。

2. 箱体制作完成后，应在加工厂内进行预吊装，在预吊装中对可能出现的问题进行调整解决。

3. 第一层箱体吊装前对钢结构面层利用全站仪进行详细测量，利用2mm厚钢垫片对标高偏差进行调整，使其满足箱体就位要求。

4. 箱体要使用专用吊具进行吊装，起吊后调整到水平状态，然后进行就位吊装。

六、安全保证措施

(一) 安全管理措施

1. 吊装方案、安全技术措施经批准后实施。实施中

未经主管人员许可不得任意改变方案。

2. 吊装作业前必须进行技术交底，全体作业人员必须熟知吊装方案、指挥信号、安全技术要求及起重机械的操作方法。

3. 吊装前，应用气象部门取得联系，了解气象变化情况，风速大于10.8m/s的大风或大雾、大雪、雷雨等恶劣天气时，不得进行吊装。

4. 吊装前，应按吊装方案对地基、专用吊具、设备吊耳进行全面检查，确认符合吊装方案后，方可进行试吊和吊装作业。



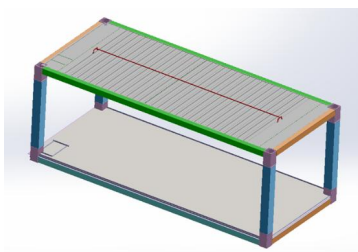
箱体吊装专用工具

5. 履带吊司机与信号司索工双方均须配备对讲机，以便于能第一时间做出正确的判断和操作，司机必须密切配合信号司索工的指挥进行操作，当信号工发出的指挥信息不明确或存在风险时司机有权拒绝执行，当其他人员对司机发出危险信号时，司机须引起高度重视，第一时间停止操作，接触危机后再进行作业。

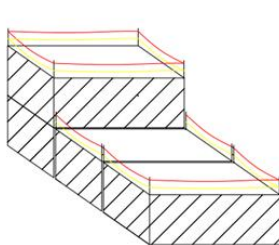
### (二) 防止高处坠落措施

1. 钢箱顶部拉安全绳用于装卸车摘挂钩作业：

在钢箱顶部两端设置安全绳挂点，钢箱顶部沿长方向设钢丝绳作为安全带挂绳，防止装卸车摘挂钩时作业人员跌落。攀爬钢箱时使用专用直爬梯，专人扶持。



安全绳示意图



生命线示意图

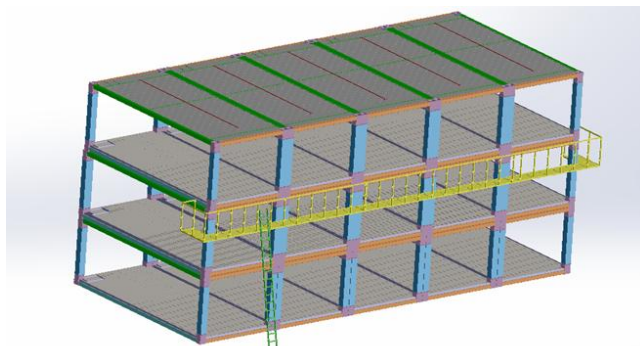
2. 钢箱顶部临边防护措施：

在钢模块箱体顶部周边设置钢丝绳生命线系统（箱体临边防护示意图）用于吊装作业人员防护，该生命线防护系统设两层防护钢丝绳及快速拆卸立杆（可拆卸立柱三维图），高度1.2米，钢丝绳直径8mm，两端用安全挂钩安装在立杆上，吊装作业安排2-3人专门从事生命线安装作业，保证生命线安装及时，有效，安装上层模块时，拆除底层钢模块钢丝绳，待上层模块安装后立即

安装新安装模块生命线。

3. 落箱定位人员防坠落措施

箱体安装采用设置围护吊架的形式安装，吊架安装在钢箱端部横梁上，可利用直爬梯上下到水平支撑走廊上，第二层爬架距离走廊水平支撑高度不超过6.5米。



防护吊架示意图

### (三) 防止高空落物伤人措施

1. 地面操作人员必须戴安全帽与反光衣。

2. 高空操作人员使用的工具、零部件等，应放在随身佩带的工具袋内，不可随意向下丢掷。

3. 地面操作人员，应尽量避免在高空作业面的正下方停留或通过，也不得在起重机的起重臂或正在吊装的构件下停留或通过。

4. 吊装现场包括吊机及吊装作业点周围应设置临时栏杆或安全警示带及警示牌，禁止非工作人员进入。

### 七、结语

MiC建筑作为建筑业绿色发展的重要载体，是低碳理念在社会发展中的重要体现，具有节能环保、缩短工期等优点。某健康驿站项目5F-20F使用352个MiC模块进行建造。箱体房间由加工厂加工制作完成后，直接进行吊装施工，省去了后期的水电安装及室内精装的时间。与传统建造模式相比，MiC模块可实现90%以上工艺在工厂集成制造，能够节省65%工期，可降低25%以上的施工过程材料损耗、50%以上施工碳排放、70%以上现场建筑垃圾排放。在安全健康方面，工厂和现场作业环境安全，现场没有焊接和湿作业，噪音、粉尘等排放显著降低，极大提升了工人健康防护水平。

### 参考文献

[1] 温小勇, 李春田, 陈洋等. 模块化钢结构建筑集成一体化建造关键技术[J]. 施工技术(中英文), 2021, 50(18): 65-70.  
 [2] 王晓玲. 模块化建筑与模块化施工[J]. 施工企业管理, 2015(08): 24-25  
 [3] 姚进洪, 麦镇东. 箱式钢结构集成模块化建筑建造实践案例[J]. 广东土木与建筑, 2020, 27(09): 4-7.  
 [4] 郑新树, 廖汀坤, 徐恺, 等. 浅析MiC建筑建造与思考[J]. 建筑, 2022(15): 76-77.