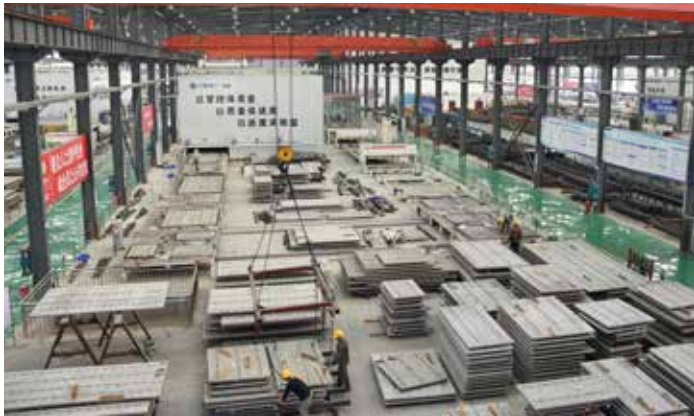


预
应
力

YU YING LI

预应力技术在装配式建筑中的应用

文_ 杨智慧（南宁职业技术学院建筑工程学院，副教授，高级工程师，硕士）

邢耀文（广西珠委南宁勘测设计院有限公司，高级工程师，硕士）

一、预应力技术

（一）应用范围

预应力技术是指在建筑工程施工时提前向各结构构件施加压力，使结构在工程中实现部分或完全消除负载产生的应力。该项技术主要应用于混凝土结构中，能有效解决建筑设计结构大、乱、杂等问题，进而大大提升工程项目施工质量，增强安全性并延长工程的使用寿命，有着广阔的发展前景。

（二）技术原理及施工条件

预应力技术应用于装配式建筑结构，通常是在结构受外荷载前，将结构受拉区进行人工张拉钢筋处理，使结构中的钢筋弹性收缩达到受力状态，再依次施加预应力。以预应力混凝土为例，施加预应力可使结构在涂装阶段抵消部分或全部的压应力和拉应力，从而扩展构件范围。此方式

在实际施工中不仅能提升混凝土的抗裂性能和结构刚度，还能利用强度数据来减轻构件重量，达到提高结构耐久度的效果。需要注意的是，预应力大小与预应力钢筋数量、拉应力等密切相关，因此施工单位需确保结构具备较高的强度，否则可能会导致组件丢失，影响其制造和使用，预应力混凝土要确保足够的塑形和黏性，使混凝土结构在损坏前具有良好的变形能力。

（三）施工工艺差异化

预应力技术包括预拉伸预应力和后拉伸预应力，这两种工艺既有相同点也有不同点，各有优劣，在实际应用中相互配合使用，可达到最佳施工效果。例如，组合式预应力混凝土技术可以先在结构构件中预留管道，待混凝土强度达到预应力要求后施加预应力；利用特殊锚杆将结构张力固定后在管道中倒入水泥，弥补了单一工艺应用需要灌浆的不足。大空间、大跨度的框架结构应用组合式预应力技术可最大限度提高结构构件的力学性能，进而节约钢材等原材料损耗，大幅降低施工成本，提高经济效益。

二、建筑工程中预应力技术相关要点

（一）准备阶段

准备阶段主要包括施工设备和材料的准备，应选择较高资质的生产厂家，且具备合格证及质量报告，以确保设备和材料符合行业施工标准。在使用设备前需进行二次检验，以确保设备和材料外观良好，各项性能参数均达标，方能满足实际施工要求。

（二）预应力钢筋下料及锚固控制要点

在进行预应力钢筋下料时需要根据实际施工情况掌握钢绞线长度，钢绞线放置在设计区域内，其长度和数量均不能超出范围。锚具则在施工现场合适位置制作好后运送到施工现场安装。

（三）预应力钢筋定位要点

通常情况下，施工人员利用固定架完成预应力钢筋的竖向垂直度固定，允许在一定范围内有合理偏差。固定好之后在波纹管顶部钻直径20毫米的孔安装排气管，安装后用海绵包裹并缠绕钢丝固定，接头处用胶带密封，以免泄露泥浆，排水管用长度500毫米、直径25毫米的圆管与塑料板连接制作。

（四）对原材料的质量控制

原材料的质量控制对预应力技术在装配式建筑中的应用效果具有直接影响力，因此施工单位应确保原材料采购质量并保留原始数据，一旦使用了不合格的原材料，不仅无法发挥预应力技术的实质价值，还会影响建筑物的整体质量。

（五）建筑工程预应力技术

应用预应力技术的施工单位可在施工前完成建筑物的计算，预估建筑物在施工和投入使用后所承受的应力总和。对建筑材料结构进行早期施压，可显著提高材料结构的载荷能力，使其

在施工和投入使用后发挥力学性能，提升建筑物整体质量，避免因施工或使用不当造成结构破坏，出现墙体开裂、下陷等问题。另外，在实际应用预应力技术中，施工人员需详细了解选择材料、钢筋选择与切割、创建合理操作曲线、焊接支架等技术应用流程。从操作流程来看，该技术并不比其他施工技术难度高，但在实际应用中存在多处细节问题，对施工人员专业水平有一定要求，若要发挥更大的技术应用价值，施工人员应注重建筑物细节，在确保施工安全的前提下优先处理所有细节，以提高建筑物整体性能。

三、预应力技术在装配式建筑中的应用

（一）预应力技术在装配整体式预应力混凝土框架中的应用

1. 技术应用

将预应力技术应用在装配整体式预应力混凝土框架中，主要由预制柱、预应力叠合梁、现浇节点核心区组成，采用后张、连续、曲线预应力筋等工艺施加预应力，灌注套筒连接预制框架柱的竖向钢筋，将曲线型波纹管预埋在预制框架叠合梁中，通过现浇混凝土连接梁柱节点，以形成完整的装配整体式预应力混凝土框架（见图1）。

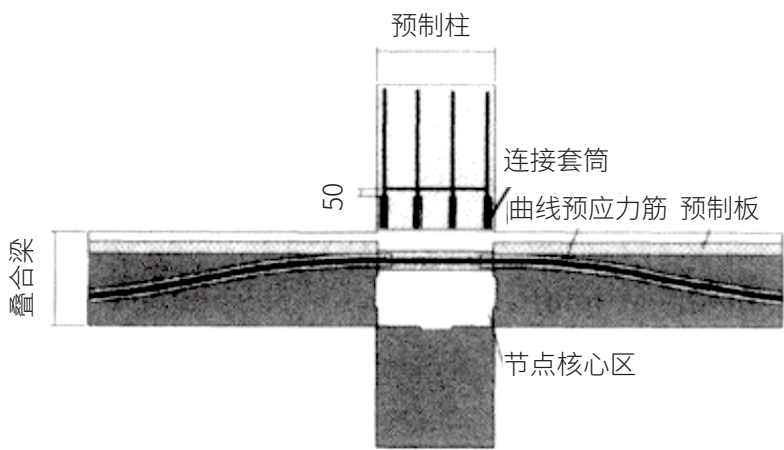


图1 装配整体式预应力混凝土框架节点

2. 设计要点及难点

一是在工程施工时配合使用预制多段柱技术，以减少灌浆套筒的使用数量，提高预制构件的吊装效率。预制多段柱能够更好满足施工吊装要求，但节段处的处理和施工是一大难点，需施工人员具有专业水平和经验。二是应用预制多段柱技术，吊装时可能会在中层节点处遇到空间不足的问题，使预制梁无法完成安装，这一点需要在前期施工设计中着重考虑。三是多段柱节点有大量的交叉梁柱和纵筋，这会增加钢筋布置与连接施工的难度，需要提前做好梁钢筋位

置安排，以免安装时发生冲突（见图2）。四是采用预制预应力梁解决大跨度框架梁截面大的问题，能有效提高建筑物净高，但会增加叠合梁和预应力线性的设计难度。

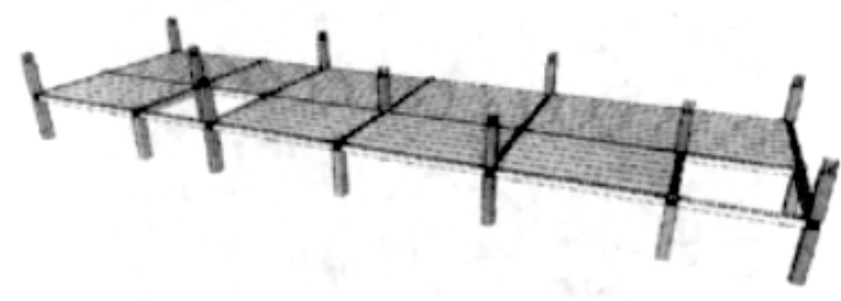


图2 预制多段柱交叉布置

3.技术应对方式

针对上述设计要点及难点，在施工中采取以下技术应对：一是采用钢筋灌浆套筒，考虑到现场施工人员可能无法精准掌握钢筋笼绑扎的精度，而后期模板支设或混凝土浇筑、振捣等工序均会影响钢筋的位置与稳定性，因此可以借助可调式插筋定位器和定型化定位钢板，起到精准定位柱纵筋的作用。先利用圆孔插入钢筋限位，再用混凝土浇筑，待强度达到初凝标准后将定位器回收。二是预制多段柱质量较大，可采用单个预制多段柱构件的方式，利用汽车式起重机完成预制多段柱的翻身和起吊处理，使用铁扁担（工具）进行脱模和转运，起吊部位选择柱身侧边提前埋设好的4个吊环，安装预制柱前需清理基础顶面和插筋，抄测基础顶面的标高，用垫块调节预制柱的高程；安装时先将轴线布置在基础地面，在预制柱上弹出对应轴线，应用套筒完成预制柱下落位置的初步定位，待预制柱插入套筒后缓慢下放，需确保预制构件弹线对齐基础地面轴线；利用临时支撑稳固安装并将吊装挂钩摘除，通过临时支撑调节装置使预制柱与基础地面垂直，再完成套筒灌浆。三是预应力筋的位置会直接影响预应力实施的最终效果，施工人员应确定预应力筋在梁中的位置，并做好定位处理，选取预应力铰线中心到底面、梁顶的垂直距离，在定矢高前将预应力钢绞线绑在梁箍筋上，再根据实际图纸定位矢高钢筋并固定。

（二）预应力技术在叠合楼盖中的应用

当前，我国装配式建筑应用广泛，预制叠合楼盖便是其中一种，可以实现“等效现浇”却直接影响建筑物结构，预制叠合楼盖能按照投影面积计算预制率。市场上最常用的预应力叠合板有预应力带肋混凝土叠合板、预应力混凝土空心板、预应力混凝土双T板3种，其特点及适用性如表1所示。

表1 预应力叠合板特点及适用性

	预应力带肋混凝土叠合板	预应力混凝土空心	预应力混凝土双T板
适用跨度	3m~8m	6m~20m	8m~20m
荷载适用范围	3kN/m²~12kN/m²	5kN/m²~20kN/m²	10kN/m²~45kN/m²
生产特点	长线法生产效率高,可以结合高效布筋、张拉、放张、模板、浇筑、养护等技术	长线法采用自动化设备成型为干硬性混凝土,实施整体张拉、放张,长度可切割,没有侧模和芯模支拆	长线法结合组合式自持力模合,可根据实际设计及需要调整高度与长度,整体张拉、放张,混凝土整体浇筑,不需要支拆
技术特点	先张法版面增设预制纵肋,属于单向受力,刚度大且承载力高	先张法纵向形成规律通孔,自重轻、承载力高,单独与叠合受力均可	先张法横截面为双“T”型,肋部呈规律样排布,通常叠合受力,主要承受拉应力,横向连接成整体
施工特点	根据不同跨度完成施工,底板少设置或不设置支撑,施工效率较高	应用专用吊具,不需要模板和脚手架,预制板放置在支座上,需要现场处理板缝连接处	不需要模板和脚手架,肋搁置在支座上,下部阶段采用干连接方式,板面横向焊接后绑上钢筋进行整体叠合现浇
适用工程类型	框架结构的公共建筑和大空间住宅等工程,例如学校、医院、办公大楼	大跨度框架结构的公共建筑和大空间住宅、屋面等工程	大跨度、重载的公共建筑工程,例如体育馆、大型停车场、厂房、仓库等

（三）预应力技术在装配式剪力墙中的应用

根据《装配式混凝土结构技术规程》《装配式建筑评价标准》规定，高宽比大的装配式剪力墙底部加强区应具有拉、弯受力明显的特点。因此，为了便于设计和施工，应在剪力墙结构、框支剪力墙结构底部加强区采用现浇混凝土。但在实际施工中发现，大部分施工单位无法解决装配式剪力墙底部加强区接缝因承载力小而无法装配的问题，故在施工现场会用到两种施工方法，这将导致施工效率与质量下降，无法发挥预应力技术促进高效施工的优势。因此，针对装配式剪力墙，需解决底部加强区拉弯受力时接缝承载力较小、不适宜装配建造等问题。

预应力技术可有效改善混凝土结构的拉、弯性能，将其应用于装配式剪力墙预制中，以实现快速拼装预制墙结构，使其具备自复位功能，能够在拉弯受力后恢复到原本的正常位置。

可使用无黏结后张预应力技术，先在墙体底部开水平缝，将其与基础地面局部分离，再制作自复位摇摆剪力墙（见图3），使其具有低能耗、较好自恢复性能并具备抗震性能，同时采用黏滞流体阻尼器、软钢阻尼器来降低自复位摇摆剪力墙的能耗。通过对比试验分析预应力筋大小和位置、锚固措施和竖向荷载大小是否会对剪力墙自恢复性能、抗震性能造成影响，影响规律如何，从试验结果中不难发现，通常情况下有黏结的预应力结构相比于无黏结的预应力结构需要更多能耗，但所形成的摇摆结构抗侧刚度也相对更低。因此，山东建筑大学傅日荣团队研究了有黏结预应力技术预制预应力剪力墙的效果，研究结果表明在轴压比不超过0.4的情况

下,剪力墙具备较高的抗震性能。通过有限元模型进一步分析在装配式剪力墙底部加强区施加有黏结后张预应力技术的效果,结果发现:将预应力施加在装配式剪力墙底部加强区不会影响整体墙体的特性,即预应力剪力墙与普通剪力墙的周期和模态相同。由于剪力墙结构具有内力重的分布特点,在底部加强区施加预应力无法达到理想状态,会损耗大约50%,如果将预应力施加在底部加强区的附近,则剪力墙上部普通墙体则会明显产生拉力,且拉力与距离呈负相关,故会在一定区域的形成拉力区。同时,预应力剪力墙底部加强区在拉、弯工况轴拉力下,墙体接缝承载力更高,抗震性能更好,在具体施工过程中可以通过提高配箍率来增强抗震性能。

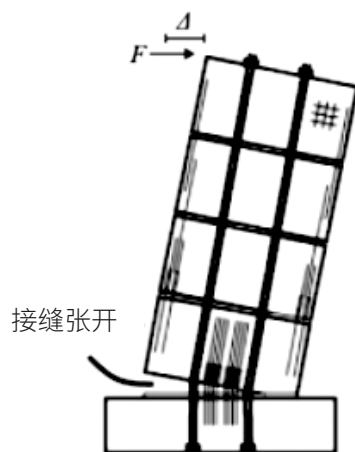


图3 自复位摇摆剪力墙

四、结语

装配式建筑的广泛应用,对提高施工效率和施工质量具有较高意义。预应力技术在装配式建筑中的应用,能进一步提升装配式建筑结构构件的性能,预应力混凝土相比于普通混凝土,强度、刚度和抗裂性能会更优。本文详细阐述了预应力技术在装配整体式预应力混凝土框架、叠合楼盖以及装配式剪力墙中的应用,在预应力技术的实际应用中,施工单位需掌握其原理、技术要点、施工重难点,并根据施工现场具体情况科学调整,严格把控技术应用过程中的质量关卡,以最大限度发挥预应力技术在装配式建筑中的最大作用。🏠

注:本文系教育部2021年第二批国家级职业教育教师教学创新团队课题研究项目“基于‘岗课赛证’融通的新形态教材‘活化’研究与开发——以高职装配式建筑工程技术专业教材建设为例”(编号:ZI2021060205)研究成果;教育部2021年第二批国家级职业教育教师教学创新团队课题研究项目“基于现代学徒制模式下的装配式建筑工程技术专业人才培养方案研究与实践”(编号:ZI2021060202)研究成果;教育部2021年第二批国家级职业教育教师教学创新团队课题研究项目“基于专业群框架下装配式建筑工程技术专业‘四层次、四融通’模块化课程体系建设研究”(编号:ZI2021060203)研究成果;教育部2021年第二批国家级职业教育教师教学创新团队课题研究项目“智能建造技术专业群团队协作的模块化教学模式和方法研究”(编号:ZI2021060204)研究成果。