

# 装配式建筑结构预制预应力空心板叠合梁柱体系施工技术

黎起胜

上海建工二建集团有限公司南昌分公司 江西 南昌 330000

**摘要：**在国家“双碳”战略目标和建筑业转型升级的宏观背景下，装配式建筑以其工业化、绿色化、智能化的核心优势，已成为推动建筑产业现代化的关键路径。本文聚焦于一种高效、经济且性能优越的装配式结构体系——预制预应力空心板叠合梁柱体系，系统阐述了其技术原理、核心构件设计特点、关键施工工艺流程、质量控制要点及工程应用价值。文章深入剖析了该体系中预制预应力空心板、预制叠合梁、预制柱等主要构件的协同工作机制，并对吊装定位、节点连接、后浇混凝土施工等核心环节的技术难点与解决方案进行了详细论述。研究表明，该体系不仅能够显著提升施工效率、降低现场湿作业量、改善建筑品质，还能有效保证结构的整体性与抗震性能，具有广阔的应用前景和推广价值。

**关键词：**装配式建筑；预制预应力空心板；叠合梁；叠合柱；施工技术

## 引言

传统现浇混凝土结构施工模式长期面临着资源消耗大、环境污染重、劳动生产率低、施工周期长以及建筑质量受人为因素影响波动大等诸多挑战。为破解这些行业痛点，国家层面大力倡导并推动装配式建筑的发展，《“十四五”建筑业发展规划》等政策文件明确要求，到2025年，装配式建筑占新建建筑的比例要达到30%以上。在此背景下，探索并推广高效、可靠的新型装配式结构体系，对于实现建筑业的高质量、可持续发展具有重大的现实意义。预制预应力空心板叠合梁柱体系，作为一种将成熟的预应力技术和先进的装配化理念深度融合的结构形式，正逐渐成为多层及高层公共建筑、工业厂房、住宅等领域的重要选择。该体系通过工厂化预制主要受力构件（如预应力空心板、叠合梁、叠合柱），在现场进行高效装配，并通过后浇混凝土形成整体受力结构。它兼具了预应力结构跨度大、自重轻、抗裂性能好与装配式建筑施工速度快、现场作业少、质量可控等多重优点，是装配式混凝土结构技术迭代升级的重要方向。

## 1 预制预应力空心板叠合梁柱体系概述

### 1.1 体系构成与工作原理

预制预应力空心板叠合梁柱体系是一种由工厂预制和现场后浇两部分共同组成的混合结构体系。其基本构成单元包括：（1）竖向承重构件：预制混凝土柱（通常为叠合柱形式，即预制柱身+后浇核心区）。（2）水平承重构件：预制混凝土叠合梁（由预制梁底+后浇梁顶组成）。（3）楼盖系统：预制预应力混凝土空心板。工作原理如下：在工厂内，采用长线台座法或挤压成型法生产出高强、高韧性的预应力空心板；同时，采用立模或

平模工艺生产出带粗糙面和预留钢筋的预制叠合梁及预制柱。运输至施工现场后，首先安装预制柱，然后吊装预制叠合梁，形成稳定的水平框架<sup>[1]</sup>。随后，将预应力空心板铺设在叠合梁上，板端搁置在梁的预制部分上。最后，在梁顶、柱核心区以及板缝处浇筑混凝土，使预制构件与后浇混凝土形成一个牢固的整体，共同承担竖向荷载和水平地震作用。其中，预应力空心板主要承担楼面的竖向均布荷载，并将其传递给叠合梁；叠合梁则将荷载传递给柱；柱最终将荷载传递至基础。

### 1.2 主要预制构件特性分析

#### 1.2.1 预制预应力空心板

预制预应力空心板是该体系的核心楼盖构件。其内部沿板长方向均匀分布圆形或椭圆形孔洞，这不仅大幅减轻了自重（比同厚度实心板轻约30%-40%），降低了对下部结构的荷载要求，而且节省了大量混凝土和钢材。通过预先施加的高强钢绞线预应力，有效克服了混凝土抗拉强度低的缺点，显著提高了板的抗裂性能和刚度，使其能够实现更大的无柱跨度（通常可达6-9米，甚至更长）。此外，板内的孔洞还可用于敷设管线，实现了建筑与设备专业的协同。

#### 1.2.2 预制叠合梁

预制叠合梁通常只预制梁的下半部分（梁高的一半左右），其顶部设置有粗糙面（如键槽、露骨料面）以增强新旧混凝土的粘结力，并伸出纵向受力钢筋和箍筋。这种设计一方面减少了单个构件的重量，便于运输和吊装；另一方面，后浇部分的混凝土与预制部分共同工作，形成了完整的梁截面，其受力性能与现浇梁相当。叠合梁的预制部分在施工阶段可作为预应力空心板

的临时支撑。

### 1.2.3 预制柱（叠合柱）

预制柱根据受力情况可分为全预制柱和叠合柱。在本体系中，常采用叠合柱形式，即预制柱身（包含部分纵筋和箍筋），在现场安装后，在柱与梁的节点核心区及上下一定范围内浇筑高强度混凝土。这种做法既保证了柱身的质量，又通过后浇核心区确保了梁柱节点这一关键部位的整体性和延性，对抗震极为有利。

## 2 核心施工工艺流程与技术要点

该体系的施工是一个高度协同、环环相扣的系统工程，其核心工艺流程可概括为：施工准备 → 测量放线 → 预制柱吊装与校正 → 预制叠合梁吊装与校正 → 预制预应力空心板吊装与铺设 → 节点区及后浇带模板支设 → 钢筋绑扎与机电预埋 → 混凝土浇筑与养护 → 模板拆除。以下对其中的关键环节进行详细阐述。

### 2.1 施工前的精细化准备

成功的施工始于周密的准备。此阶段需完成以下工作：（1）深化设计：基于建筑、结构、机电等各专业图纸，进行BIM（建筑信息模型）协同深化设计，精确确定每个预制构件的尺寸、重量、重心、吊点位置、预留预埋件（如套筒、预埋螺母、线盒、水管接头等）的位置和规格。利用BIM进行碰撞检查，提前解决各专业间的冲突。（2）构件生产与验收：严格监控构件厂的生产过程，确保混凝土强度、预应力张拉控制、钢筋保护层厚度、几何尺寸偏差等均符合设计及规范要求。构件出厂前需进行全面验收，并附带合格证和相关检测报告<sup>[2]</sup>。

（3）场地与设备规划：合理规划现场运输道路、构件堆场（需硬化处理，并设置专用垫木，防止构件开裂或变形）和大型起重设备（如塔吊）的选型与定位。塔吊的选型必须满足最重、最远构件的吊装需求，并考虑吊装效率。（4）技术交底：组织所有参与施工的管理人员和作业班组进行详细的技术交底，明确施工顺序、工艺标准、安全注意事项及质量控制点。

### 2.2 预制构件的吊装与精准定位

吊装是装配式施工的核心工序，其精度直接决定了后续工序的顺利与否和最终的结构质量。（1）预制柱吊装：采用专用吊具（如平衡梁）起吊，缓慢就位。通过在柱底部预埋的调节螺栓或千斤顶，配合全站仪和激光铅垂仪，对柱的平面位置、垂直度（双向）进行毫米级微调。调整到位后，用斜撑（通常不少于2道）临时固定，斜撑一端与柱上的预埋件连接，另一端锚固在楼板或地面上，确保在后续施工中柱的稳定性。（2）预制叠合梁吊装：梁的两端需准确搁置在两侧柱的牛腿或预留

槽口上。吊装时需特别注意梁端伸出的钢筋（尤其是上部纵筋）不得与柱的预留钢筋发生碰撞。就位后，同样需要复核其标高、轴线位置，并用临时支撑（独立钢支撑）在梁跨中及1/4跨处进行支撑，以承受后续空心板的荷载和施工荷载。支撑的顶部应带有可调节的U托，以便精确控制梁底标高<sup>[3]</sup>。（3）预制预应力空心板吊装：空心板通常采用多点兜底吊装法，以防止板体因应力集中而开裂。吊装时，板端需严格按照设计要求的搁置长度（通常不小于80mm）放置在叠合梁的预制部分上。相邻板之间需留设10-20mm的板缝，用于后浇混凝土的填充和管线穿越。板的就位同样需要复核其平整度和相邻板的高差，确保楼面的整体平整。

### 2.3 关键节点连接技术

节点是结构传力的枢纽，也是施工的难点和质量控制的重点。本体系中的关键节点主要包括梁-柱节点和板-梁节点。（1）梁-柱节点（核心区）：这是整个框架的“心脏”。预制柱和预制叠合梁在节点区域均预留了足够长度的纵向钢筋。现场安装后，这些钢筋在节点区内相互交叉锚固。随后，在由柱模板和梁底模围成的封闭空间内，浇筑高一等级的微膨胀混凝土。该后浇混凝土将预制构件的预留钢筋包裹，形成一个强约束、高延性的整体，确保在地震作用下能有效耗散能量，避免脆性破坏。施工中需确保钢筋绑扎规整、保护层厚度准确、混凝土振捣密实。（2）板-梁节点：预应力空心板的板端通常采用“胡子筋”（即从板端伸出的横向分布钢筋）或通过板端孔洞内插入短钢筋的方式，与叠合梁后浇部分的上部钢筋进行可靠连接。这种连接方式保证了楼板与梁之间的有效协同工作，能共同抵抗负弯矩，并将楼板的水平力（如风荷载、地震作用下的隔板效应）传递给梁。板缝处需清理干净，并按设计要求放置连接钢筋，再浇筑细石混凝土。

### 2.4 后浇混凝土施工

后浇混凝土是实现“等同现浇”性能的关键步骤。（1）模板工程：节点区和叠合梁后浇段的模板需具有足够的强度、刚度和稳定性。通常采用定型钢模板或覆膜木模板，拼缝严密，防止漏浆。模板的支撑系统必须独立、稳固。（2）钢筋与机电安装：在模板内绑扎叠合梁上部的纵向钢筋、箍筋加密区钢筋以及板缝连接筋。同时，穿插进行机电管线的预埋工作。此阶段需再次利用BIM模型进行综合排布，确保钢筋、管线、预埋件之间互不干扰<sup>[4]</sup>。（3）混凝土浇筑与养护：选用流动性好、收缩率低的高强混凝土。浇筑前，必须对预制构件的结合面（粗糙面）进行充分湿润但不得有明水。浇筑时，采

用小直径振捣棒仔细振捣,尤其要确保节点核心区钢筋密集区域的混凝土密实度。浇筑完成后,及时覆盖塑料薄膜或土工布进行保湿养护,养护时间不少于7天,以保证混凝土强度发展和减少收缩裂缝。

### 3 质量控制与安全保障体系

#### 3.1 全过程质量控制

质量管控需打破传统“重现场、轻工厂”的模式,实现双端联动。在工厂端,构件是质量的源头。生产企业应建立完善的质量管理体系,对水泥、骨料、高强钢绞线等原材料进行严格复验。生产过程中,预应力张拉力、放张强度(通常 $\geq 75\%$ 设计强度)、蒸养制度等关键参数须实时监控并自动记录。出厂前,除常规外观与尺寸偏差检查外,预应力空心板还需按批次进行静载抽检,验证其承载力与挠度性能。每件构件均应附带质量合格证及可追溯信息。在现场端,核心在于“精准安装”与“过程受控”。推行“首段样板”制度,首个标准层或典型节点须经四方联合验收后方可推广。构件进场时,采用激光测距仪、靠尺等工具对其几何尺寸、平整度及预留预埋位置进行100%实测,并与BIM深化模型比对。广泛应用信息化手段,通过二维码或RFID芯片为构件赋码,实现从生产到安装的全过程追溯。对于梁柱节点钢筋绑扎、后浇混凝土浇筑等关键隐蔽工序,实行监理旁站并留存影像资料,确保施工真实、可控。结合面(粗糙面)在浇筑前须清理干净并充分湿润,以保障新旧混凝土有效粘结。

#### 3.2 安全生产管理

装配式施工引入大量大型吊装与高处作业,安全风险显著增加,需实施立体化防控。吊装安全是重中之重。严格执行“吊装令”制度,每次作业前由技术、安全、机械人员联合检查塔吊性能、吊索具状态及专用吊具可靠性。划定警戒区域,设置硬质围挡与警示标识,安排专职信号工统一指挥,严禁交叉作业,坚决落实

“十不吊”原则。高处作业与支撑安全同样关键。作业人员须经专项培训,正确佩戴并高挂低用安全带。临边、洞口防护必须与结构同步完成。用于临时支撑叠合梁与空心板的独立钢支撑架体,须编制专项方案并经验收挂牌后方可使用,确保其稳定性与承载力满足施工荷载要求。此外,项目部应针对构件坠落、支撑失稳等重大风险,制定专项应急预案,并定期组织演练,提升应急处置能力。通过制度化、标准化、信息化的安全管理,为高效、高质量装配式施工提供坚实保障。

### 4 结语

预制预应力空心板叠合梁柱体系是装配式混凝土结构技术的重要发展方向。经系统研究与实践,该体系技术可行性高,设计理论成熟、构件生产工艺稳定,现场施工工艺优化后可操作性强;综合效益显著,在建造效率、工程质量、绿色施工等方面优势突出,契合建筑业未来趋势;其成功实施关键在于全产业链深度协同,以及对关键环节毫米级精度的把控。展望未来,该技术的发展空间广阔,可进一步与BIM、物联网、人工智能等数字技术深度融合,实现全生命周期智能化管理,如利用传感器实时监测预应力损失和结构健康状态;还可研发更高性能材料和更高效连接构造,提升结构抗震韧性、跨越能力与适用范围。随着技术迭代和产业链成熟,其必将在建筑领域发挥更重要作用。

### 参考文献

- [1]刘友恩.装配式建筑结构预制预应力空心板叠合梁柱体系施工技术[J].砖瓦,2026,(03):152-155.
- [2]吴华贵.预应力预制空心板梁施工质量控制研究[J].中国建筑金属结构,2025,24(22):139-141.
- [3]袁佳佳,王洪欣,孙占琦,等.预制预应力混凝土空心板研究及应用综述[J].混凝土与水泥制品,2021,(09):45-49.
- [4]钟楚欣.双向预应力预制空心板在房屋建筑结构施工中的应用研究[J].城市住宅,2020,27(04):206-207.