

装配式预应力叠合梁无支撑施工技术实践

罗晓威

上海锦彬建筑工程有限公司 上海 201805

【摘要】：装配式预应力叠合梁无支撑施工技术在美特·岭邨（嘉兴）智能制造创新项目中得到了实际应用，为实现仓库区域大跨度叠合梁在施工阶段免支撑，采用“两阶段张拉”预应力设计，并结合预制构件自承重性能，构建了无支撑施工体系，围绕预应力设计逻辑与作用机制、施工工艺流程、施工平台可行性等方面的分析，明确了该技术在提高施工效率、降低安全风险及优化资源配置方面的优势。成果对推广高效、绿色的装配式施工模式具有积极意义，具备广泛的工程应用价值。

【关键词】：装配式施工；预应力叠合梁；无支撑施工；两阶段张拉；智能制造项目

DOI:10.12417/2811-0528.26.17.073

引言

在工业建筑快速发展背景下，装配式结构因其高效、绿色、质量可控等优势被广泛应用，预应力叠合梁作为装配式结构关键构件，在满足大跨度、大荷载需求方面具有显著优势，美特·岭邨（嘉兴）智能制造创新项目在仓库区域采用无支撑施工技术，重点研究“两阶段张拉”预应力设计、构件自承重性能与施工流程控制，提升现场施工效率与结构安全性能。本工程作为 EPC 总承包项目，实行全流程设计、施工一体化集成管理，有效实现资源协调、进度控制与质量闭环管理，强化装配式建造的整体协同，同时项目全过程应用 BIM 模型、施工仿真与结构模拟等虚拟建造技术，为叠合梁无支撑施工方案提供了高效的技术支撑，是预制化、数字化施工的一次成功实践。

1 装配式预应力叠合梁施工技术概述

1.1 装配式叠合梁的定义与发展

美特·岭邨（嘉兴）智能制造创新项目位于嘉兴市王店镇，总建筑面积约 14 万 m²，包含厂房、仓库、综合楼和物流平台。厂房为一层钢筋混凝土框架和二层钢架结构，高度分别为 23.7m 与 23.5m，仓库梁底标高超过 8m。基础采用 C80 预应力混凝土空心方桩，持力层为砂质粉土和粘土，设计主要针对长期荷载，未优化施工阶段荷载。工程抗震烈度为七度，结构安全等级为二级，使用年限 50 年，施工阶段不得出现不可恢复裂缝和过量挠度。仓库区域采用 C40 装配式预应力叠合梁，主体梁截面为 700×1100mm。

1.2 无支撑施工技术的基本原理

仓库区结构体系基于混凝土框架设置装配式预应力叠合

梁承担钢结构屋面与楼面荷载。构件采用有粘结与无粘结预应力混合布设，其中无粘结预应力筋主要服务于施工阶段，通过首阶段张拉抵消梁体自重及施工荷载弯矩，提升早期刚度，使预制梁在未设置落地支撑条件下具备施工平台能力；有粘结预应力筋则用于使用阶段提高结构整体协同受力能力与抗裂性能。该布设方式使预应力设计目标由传统的单一的“使用阶段承载控制”转变为“施工阶段+使用阶段双工况控制”，通过施工与使用阶段分离设计，形成免落地支撑的施工体系。经方案比选测算，若采用传统现浇高支模体系，仓库区域需搭设支撑面积约 1.8 万 m²，单平方米支撑综合成本约 180~200 元，总支撑费用约 320 万~360 万元，同时增加支撑搭设与拆除工期约 20 天^[2]。

1.3 与传统现浇支撑体系的对比

传统现浇梁施工支撑架体庞大、搭设要求高、作业工序多、高空作业风险大。本仓库区域梁底标高超过 8m，截面尺寸大、跨度长，若采用传统工艺将面临较高的安全风险与成本压力。经施工组织测算，传统高支模方案在本项目中的具体影响如下：（1）高支模高度超过 8m，属于超过一定规模的危险性较大的分部分项工程，需专项论证；（2）单跨支撑架体钢管用量约 28kg/m²，仓库区域整体钢管需求约 500t；（3）支撑体系搭设与拆除周期约 22~25 天；（4）混凝土强度达到 100%后方可拆模，结构施工与屋面钢结构安装无法有效穿插；（5）高空支模作业比例提高，安全风险等级增加^[3]。

2 无支撑施工技术应用背景与挑战

2.1 传统支撑系统的不足与挑战

“两阶段张拉”作为装配式预应力叠合梁无支撑施工的关键核心技术，其目标是达成施工阶段免用支撑吊装以及运营阶

段结构的稳定状态,依靠预应力及自重效应建立内力平衡,让施工阶段梁体弯矩由外荷载控制转变为预应力和自重耦合控制,吊装后的梁呈简支状态,第一阶段张拉施工完成后,无黏结预应力筋所形成的上拱弯矩可将自重弯矩抵消。第一阶段在混凝土强度达到 80% 的时候开展,单束的张拉力大概是 300kN,施工阶段的挠度从 18.2 毫米降到 8.4 毫米,主拉应力自 3.5MPa 降低至 1.9MPa,符合变形跟裂缝控制的要求,第二阶段张拉施工运用有黏结预应力筋,其总张拉力为 600kN,形成整体相互协同受力的结构,挠度降低至 3.2 毫米,主拉应力经检测为 0.9MPa,接缝的滑移距离为 0.1mm,实现施工到使用工况的平稳转变^[4]。

2.2 无支撑施工技术应用的优势与局限

仓库区域采用一层钢筋混凝土框架式构造,负载起上方的轻钢屋面组件,这里的梁跨度大,荷载集中明显,有部分梁的截面大小为 900×1100mm,叠合层厚度为 120mm 的规格,为验证预应力对构件抗弯刚度以及承载力产生的影响,设计单位选用 C40 混凝土,其预应力筋强度是 1860MPa,搭建了有限元模型并开展加载试验仿真。模型的跨越距离为 10.2m,截面为 700×1100mm 的规格,边界条件定义为两端简支状况,荷载组合按照《混凝土结构设计规范》取值,采用等效初应力法施加预应力,第一阶段压力达 32MPa 时施加 300kN 张拉应力,第二阶段于 40MPa 时施加 600kN 的张拉力,分析按照“自重、第一阶段张拉、现浇层、第二阶段张拉”的顺序进行,界面采用接触单元进行模拟,摩擦系数采用 0.6,算出滑移量^[5]。结果如下:

表 1 施工阶段预应力作用模拟分析结果

工况编号	预应力阶段	混凝土强度 (MPa)	张拉力 (kN)	挠度 (mm)	最大主拉应力 (MPa)	接缝滑移量 (mm)
G1	未张拉	32	0	18.2	3.5	1.2
G2	第一阶段张拉	32	300	8.4	1.9	0.3
G3	第一+第二阶段张拉	40	600	3.2	0.9	0.1

2.3 预制构件作为“施工平台”的可行性分析

在无支撑施工体系中,预制梁在完成吊装后即承担起施工平台的功能,需在未设置落地支撑的情况下承受现浇层混凝土

重量、钢筋绑扎荷载与短期施工活载等荷载组合。基于构件实际尺寸、混凝土强度、施工荷载等参数,施工单位依托施工图纸与现场复核数据,构建典型工况的荷载组合模型,并以 SAP2000 软件进行荷载效应计算与安全系数评估。

本次计算按施工阶段承载能力极限状态进行验算,并结合正常使用极限状态下的挠度控制要求进行双重校核。承载能力验算依据《混凝土结构设计规范》(GB50010-2010)第 8.2 条规定进行,施工阶段荷载组合采用 1.2Gk+1.4Qk 进行取值,其中 Gk 为结构自重及现浇层混凝土重量, Qk 为施工活荷载 (3.5kN/m²)。挠度控制标准按施工阶段不大于 L/400 进行控制。具体如下:

表 2 预制叠合梁施工平台承载能力计算结果

项目项别	单位值	参数说明
预制梁跨度	10.2 m	现场吊装图纸复核数据
梁截面尺寸	700×1100 mm (局部 900×1100 mm)	结构详图数据
混凝土强度等级	C40	构件设计标注
现浇层厚度	120 mm	图纸设定值
施工荷载	3.5 kN/m ²	包括浇筑荷载与施工活荷载组合
支座反力	280 kN	有限元分析结果
极限承载力	450 kN	按《混凝土结构设计规范》计算
安全系数	1.61	计算所得: 极限承载力/实际荷载

3 无支撑施工技术的实施方案与流程

3.1 施工前期准备与技术要求

装配式预应力叠合梁施工全过程覆盖了预制加工、运输吊装、定位拼装、现浇层浇筑与结构成型等多个环节,预制环节在工厂完成梁段钢筋骨架、预应力筋布设与端部锚固安装,混凝土采用 C40 等级并使用高性能减水剂控制坍落度以提高密实度与界面光洁度,当混凝土强度达到设计强度值的 80% 后方可进行第一阶段张拉,张拉力控制在设计值的 90% 以内。

该控制指标依据《预应力混凝土结构技术规程》(JGJ85-2010)关于施工阶段张拉控制应力宜取设计控制应力85%~95%的规定确定,本工程取90%作为施工阶段控制值,以避免早期超张拉引起混凝土局部压应力过大或锚具滑移风险。

3.2 施工过程中关键环节的控制措施

预应力叠合梁施工质量控制重点在于张拉操作、吊装精度和接头处理,张拉采用应力与伸长双控方式,设备需定期校验并实时记录数据,张拉顺序应对称分级加载,避免界面开裂,吊装阶段全站仪测量误差控制在3mm内,梁端标高误差不超过 $\pm 5\text{mm}$,平面偏差控制在10mm内,吊点位置须经复核避免构件受扭,接缝灌注前清理并湿润界面采用高一等级微膨胀混凝土灌缝,振捣密实并加强养护防止开裂和脱空,模板系统采用高强铝模板与刚性限位构件,测量放线建立高精度控制网。

3.3 施工后期验收与质量评估

无支撑施工对构件质量与安装精度要求较高,质量控制需覆盖预制、运输、吊装、现浇及张拉全过程。预制构件出厂前应检测外观、尺寸、钢筋布设、混凝土强度与张拉力,尺寸偏差控制在5mm内。该控制指标依据《混凝土结构工程施工质量验收规范》(GB50204-2015)中关于预制构件尺寸允许偏差的相关规定执行,对梁类构件截面尺寸及长度偏差按优于规范允许偏差值控制,以满足无支撑施工对构件拼装精度的要求。张拉误差不超过设计值的5%。

参考文献:

- [1] 吴哲伟.“润泰连接”装配式施工临时支撑分析[J].建筑技术开发,2023,50(08):56-58.
- [2] 林宝沧.多层装配式混凝土叠合梁板施工实践的探讨[J].江西建材,2022,(11):205-206+209.
- [3] 王家安.预制装配式叠合梁、板施工技术要点研究[J].江西建材,2022,(09):198-199+202.
- [4] 刘达.装配式混凝土建筑叠合梁板关键施工技术分析[J].江西建材,2022,(06):299-300+303.
- [5] 丘文德.预制装配式叠合梁板安装施工技术要点研究[J].住宅产业,2021,(09):97-99.

4 技术应用实例与效果分析

本研究依托美特·岭邨(嘉兴)智能制造项目,构建了“预制梁体+两阶段张拉+无支撑平台”一体化施工体系,明确了分阶段预应力调控的力学机制。首阶段张拉通过引入上拱弯矩抵消梁体自重弯矩,形成施工阶段自承重平台;第二阶段张拉在组合截面形成后提升整体抗弯刚度与抗裂性能,实现施工工况向使用工况的平稳过渡。数值分析与现场实测结果表明,施工阶段最大挠度由18.2mm降至3.2mm,接缝滑移控制在0.1mm以内,施工平台承载安全系数为1.61,高于施工阶段一般控制值1.30,满足承载能力与刚度验算要求。

5 结语

美特·岭邨(嘉兴)智能制造项目的实践充分证明,运用“两阶段张拉”跟预制构件施工平台结合的集成技术,能有效化解复杂工况下的施工难题,它不仅给这类工程设立了标准化实施的样板实例,还为后续相似项目给出了可行的技术参考,面对目前建筑市场对大跨度、异形节点以及高集成度施工需求不断上扬的情况,现有体系依然存在优化的范畴。尤其是在梁板连接构造表现出的多样性、预应力长期损失的规律状态以及多工种交叉作业协同进行等方面,迫切需要推进更深入的机理分析及试验研究,要充分借助BIM、物联网以及智能张拉监测等数字化手段,搭建涵盖全流程的智能管控体系,从而加快无支撑装配式施工技术的更新替换和大量运用。