

基于预应力免模免支撑结构体系在装配式整体框架结构项目中的应用研究

张绍寅

上海现代建筑规划设计研究院有限公司

DOI:10.12238/ems.v7i6.13775

[摘要] 本文基于实际工程项目设计与施工,系统探讨了预应力免模免支撑结构体系在装配式整体式框架结构项目具体应用实践。文章详细分析了该结构体系的构成原理、适用工程场景及其技术优势,重点阐述了梁、板、柱等关键预制构件的设计与施工特点,并对实施过程中关键技术环节进行了深入剖析。结合项目实际,从材料节约、施工效率提升等方面评估其经济效益,并从施工环保性、技术创新推动等方面探讨其社会效益。研究结果表明,该结构体系在本项目中表现出良好的综合效能,对类似工程项目的推广应用具有一定的借鉴价值。

[关键词] 预应力免模免支撑结构体系; 装配整体式框架结构; 先张法预应力; 经济效益; 社会效益

一、引言

随着建筑工业化、绿色施工理念的不断推进,传统建筑体系正朝着高效、节能、环保方向发展。预应力免模免支撑结构体系作为一种集成化、装配化程度较高的建筑结构形式,凭借其在节材降本、提效保质等方面的显著优势,正在越来越多的工程中得到实践应用^[1]。上海临港新片区作为国家战略性发展区域,对建筑项目的工期、安全性及绿色施工要求更为严格。本文以该区域某产业园项目为研究对象,围绕其在实际建设中采用预应力免模免支撑结构体系的全过程展开分析,以期为该技术体系的进一步推广应用提供理论支持和实践参考。

二、项目概况

2.1 项目基本信息

该项目位于上海临港新片区产业园内,于2024年7月取得审图合格证。本项目共9栋单体,总建筑面积为7.9万平方米,均为装配整体式框架结构,以某栋单体为例地上4层,地下1层,结构总高度22.8米,建筑面积约6564平方米,功能主要涵盖生产及办公空间,对结构的承载能力、空间适应性与施工进度提出较高要求。



图1 项目施工图

2.2 项目建设需求

产业园类建筑通常具有大开间、重荷载、灵活布置等特点,施工周期控制及成本管控亦是其核心建设诉求。为满足上述要求,项目选用了预应力免模免支撑结构体系,以期在确保结构安全与使用功能的同时,实现施工效率的显著提升及整体成本的有效控制。

三、预应力免模免支撑结构体系概述

3.1 体系构成

本项目所采用结构体系主要由以下几部分组成:带柱帽的预制或现浇柱、先张法预应力叠合梁、以及各类免支撑叠合板(如大部分区域采用PH板,局部采用钢筋桁架楼承板等)。该体系通过预制与现浇相结合的方式,兼具工业化构件生产效率与现浇结构整体性的双重优势。

3.2 适用场景

先张法预应力预制整浇结构尤其适用于层高超过8米的厂房类项目,如多层物流仓储、重型工业厂房及产业园区工程等,可有效满足其对大空间和重荷载的结构性能需求。

3.3 技术优势

此项目实施过程中,梁底钢筋由高强钢绞线替代,含钢量显著降低,减轻结构自重,提升抗震性能。大幅减少支模脚手架与木模板的使用,降低施工措施费用,简化施工工序。提升施工精度,降低人为误差,增强现场施工安全性与质量稳定性^[3]。预制构件工厂生产、现场快速拼装,整体施工进度显著提升。同时,预应力梁具有高刚度、无裂缝工作状态,空间利用率高,节点钢筋优化设计便于施工。

四、主要预制构件应用分析

4.1 预应力梁

采用先张法生产方式，梁下部配置高强度钢绞线提供主要抗拉力，梁上部设置平衡筋以抵消使用阶段荷载效应。生产过程中，通过张拉台座施加预应力，保证构件成型后具备优良力学性能，现场安装效率高，结构受力合理，空间利用率提升。在工厂生产阶段，通过张拉台座对预应力钢绞线进行张拉，使钢绞线产生预拉应力。然后浇筑混凝土，待混凝土达到一定强度后，放松钢绞线，通过钢绞线与混凝土之间的粘结力，将预拉应力传递给混凝土梁。在施工现场，预应力梁通过预留的节点钢筋与其他构件进行连接，安装过程中避免了梁柱节点钢筋碰撞，提高了安装效率和质量。

从实际应用效果来看，预应力梁的刚度大，正常使用极限状态下不产生裂缝，有效保证了结构的安全性和耐久性。

梁高较小，增加了建筑的室内净空高度，提高了空间利用率。同时，由于钢筋用量减少和施工效率提高，降低了工程成本。



图2 预应力叠合梁

YCL-1		300x700 预应力预制叠合梁计算										
无支撑	叠合次梁			分项系数	恒	活	（厂房活载大于4KN/m ² ，可采用1.4分项系数）	结构重要性系数	板型选择P55		预制梁自重 (t)	
				1.3	1.5	1		平板		3.8		
预制截面												
预制矩形截面(mm)		板厚	标准跨度	次梁间距	活载强度计算	上筋		下筋		叠合梁钢筋(Ⅲ级)		
腹板宽	腹板高	(mm)	(M)	(M)	KN/M ²	数量	规格	数量	规格	肢数	直径(mm)	间距(mm)
300	570	130	8.6	4.3	6	2	15.2	8	15.2	2	8	100
总高	700	简支计算跨度	8.6	附加恒载	应力计算	上排钢筋高度	485	0	0	2	8	200
下翼缘总宽	下翼缘高	预制次梁挑头	270	2	4.2	叠合层内顶面拉通筋				预制部分肢数及直径		加区长度
300	0	上翼缘宽	1380	准永久系数	0.7	2	12	墙部放松系数	0.25	2	8	1.20
设计结果												
张拉控制应力		砼张拉强度	叠合层混凝土强度	预制预应力混凝土强度	施工阶段有否支撑	受压区高度	弯矩比	剪力比 (<1.0)		底应力比 (<1.0)	长期挠度	裂缝
上	下						(<1.0)	加密区	非加密区	满足		
0.75	0.65	45	30	50	无支撑	满足	0.77	0.78	0.68	0.00	8	0.00
验算指标												
砼张拉应力		施工阶段下缘应力	施工阶段强度		柱帽验算	使用阶段强度		挠度限值	裂缝限值	挑头验算	梁端接缝验算	吊筋验算
上	下		抗弯	抗剪	框架梁	抗弯	抗剪	1/300	0.2	次梁	框架梁	主梁
满足	满足	满足	满足	满足	无	满足	满足	满足	满足	满足	无	无
材料参数												
预制混凝土强度		放张混凝土强度	现浇叠合层混凝土强度	混凝土容重	钢筋强度等级输入及单根钢筋面积		钢绞线	箍筋		普通筋		
fcu_k1	23.1	fcu ⁺	45	fcu_k2	30	26		f _{yv}	E _s	f _y		
f _{c1}	23.1			f _{c2}	14.3		f _p	1320	360	200000	435	
f _{t1}	1.89			f _{t2}	1.43		f _{ptk}	1860	非加密区	加密区A _{sv}	面筋	
f _{tk1}	2.64	f _{tk⁺}	2.52				E _p	195000	101	101	113	
f _{ck1}	32.4	f _{ck⁺}	29.6				上筋	140	预制部分		底筋	
E _{c1}	34500	E _{c1⁺}	33500	E _{c2}	30000		下筋	140	101	101	0	

图3 预应力叠合梁计算

4.2 免撑叠合板

目前大部分包括 PH 板、PK 板、多肋叠合板等，具有无需临时支撑、安装便捷、协同承载能力强等优点^[2]。施工过程中，叠合板与现浇层形成整体楼板，承载力与刚度显著增强，兼具施工便捷性与结构安全性。在施工过程中，免撑叠合板的铺设较为简便。首先在预制梁或墙面上安装支撑角钢或预埋件，然后将叠合板吊运至安装位置，进行定位和固定。在叠合板安装完成后，直接在其上进行现浇混凝土层的浇筑，

形成整体的楼板结构。施工过程中需要注意叠合板之间的拼缝处理，确保拼缝处的防水和整体性。

免撑叠合板的应用不仅节省了支撑材料和安装费用，还加快了施工进度^[3]。同时，叠合板与现浇混凝土层共同工作，提高了楼板的承载能力和抗震性能。此外，由于叠合板在工厂生产，质量易于控制，减少了现场施工的不确定性。

4.3 预制柱

采用带柱帽设计提升柱顶抗冲切能力。工厂化生产保障

构件质量,现场通过灌浆套筒或焊接方式进行连接,快速形成结构整体,减少现场施工工序,提升施工效率与精度。在施工现场,预制柱通过起重机吊运至安装位置,利用预留的钢筋和预埋件与基础或其他构件进行连接。连接方式主要有灌浆套筒连接和焊接连接等,这些连接方式能够保证预制柱与其他构件之间的可靠连接,使结构形成一个整体。在安装过程中,需要严格控制预制柱的垂直度和标高,确保安装质量。

预制柱的应用减少了现场混凝土浇筑和钢筋绑扎的工作量,缩短了施工周期。同时,由于预制柱在工厂生产,质量稳定,能够有效提高结构的整体性能。柱帽的设计增强了柱的承载能力,满足了产业园项目对结构承载能力的要求。

4.4 预制楼梯

楼梯构件实现标准化、工厂化生产,安装效率高,现场湿作业减少,有助于提升施工安全性和环保性^[4]。其良好的尺寸控制和成品质量保障使用功能及视觉效果。在施工现场,预制楼梯通过起重机吊运至安装位置,与主体结构的预留钢筋和预埋件进行连接。安装过程中需要注意楼梯的位置和角度调整,确保楼梯的安装精度和使用安全。预制楼梯安装完成后,只需进行简单的装饰和扶手安装即可投入使用。

预制楼梯的应用加快了楼梯施工的速度,减少了现场湿作业,降低了施工噪音和环境污染。同时,由于预制楼梯质量稳定,能够有效提高楼梯的安全性和耐久性。标准化的设计和生产也有利于降低成本,提高生产效率。

五、项目实施关键技术

5.1 构件运输与存放

预制构件在运输过程中需要采取有效的保护措施,防止构件受损。根据构件的尺寸和重量,选择合适的运输车辆和运输路线。对于大型预制构件,如预制柱和预应力梁,采用专用的平板拖车进行运输,并在运输过程中设置可靠的支撑和固定装置,确保构件在运输过程中的稳定性。

5.2 吊装与定位

根据构件特性选用适宜吊装设备,施工中采用专用吊具,保障安装安全与构件定位精度。通过全站仪等设备辅助测量,确保节点连接与标高控制满足规范要求。

5.3 节点连接与现浇部分处理

采用多种节点连接技术(如灌浆套筒、焊接、螺栓连接),确保结构整体性^[5]。现浇混凝土施工严格控制质量与养护,

保障预制与现浇部分的有效结合。

六、社会效益分析

6.1 对产业发展的促进

施工进度显著加快,有助于园区快速投入运营,促进产业集聚,增强区域经济活力。

6.2 环保贡献

施工现场建筑垃圾减少约20%,粉尘与噪音污染下降,绿色施工效果显著,符合环保政策导向。

6.3 技术推动作用

在预制构件的连接方面,设计单位研发了一种新型的连接节点,通过优化节点构造和连接方式,提高了节点的连接强度和可靠性,同时简化了施工工艺,降低了施工难度。创新的张拉台座及制造工艺,提高了预应力梁的生产效率和质量。该工艺采用了先进的张拉设备和自动化控制系统,能够精确控制预应力的施加,保证预应力梁的性能稳定。对免支撑叠合板的结构进行了优化设计,增加了叠合板的承载能力和刚度,同时进一步提高了免支撑的效果。通过采用新型的材料和构造形式,使叠合板在满足使用要求的前提下,更加经济、实用。

七、结语

预应力免模免支撑结构体系在上海临港产业园项目中的应用表明,该体系在提升施工效率、降低材料与施工成本、确保结构性能等方面均具有显著优势。其技术路线成熟、构件标准化程度

[参考文献]

[1]袁佳佳,王洪欣,陈培潮,等.新型装配式混凝土结构体系在高层工业厂房中的应用研究[J].混凝土与水泥制品,2023(4):63-67.

[2]严薇,曹永红,李国荣.装配式结构体系的发展与建筑工业化[J].土木建筑与环境工程,2004,26(005):131-136.

[3]吴函恒.钢框架-预制混凝土抗侧力墙装配式结构体系受力性能研究[D].长安大学,2014.

[4]郝际平,薛强,郭亮,等.装配式多、高层钢结构住宅建筑体系研究与进展[J].中国建筑金属结构,2020(3):27-34.

[5]张爱林,林海鹏,张艳霞,等.重力-抗侧力可分钢框架体系受力性能分析[J].建筑钢结构进展,2020,22(3):37-47.