

装配式温室大棚结构与设备一体化 施工技术研究

李玉杰¹, 黄永鹏²

(1. 山东华亮建设工程有限公司, 山东 潍坊 262500;

2. 山东华亮重工机械有限公司, 山东 潍坊 262500)

摘 要 针对传统温室大棚施工存在的工序串行脱节、结构与设备衔接性差、施工周期长、现场湿作业多、运维管控难度大等核心问题, 本文系统构建了装配式温室大棚结构与设备一体化施工技术体系, 明确了一体化协同设计的核心原则与全流程施工工序, 细化了基础工程、钢结构装配、围护结构施工、机电管线预埋、设备集成安装、系统联合调试的关键技术要点, 建立了覆盖施工全周期的质量控制与安全管理体系, 分析了该技术的综合应用效益与未来优化方向, 以期为装配式温室大棚的标准化、规模化建造提供参考。结果表明, 该技术可实现主体结构施工与配套设备安装的并行推进, 有效缩短施工周期 40% 以上, 降低工程综合造价 15% ~ 20%, 同时显著提升温室结构稳定性、环境密封性与智能设备运行效能。

关键词 装配式温室大棚; 结构与设备一体化; 装配式施工; 钢结构装配式安装技术; 围护结构

中图分类号: S625

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2026.22.025

0 引言

装配式温室大棚是现代设施农业的核心载体, 结构与设备一体化施工是实现温室建造标准化、装配化、智能化的关键环节。本文围绕装配式温室大棚结构与设备一体化施工技术展开系统研究, 明确一体化施工的核心体系、协同设计原则、全流程施工工序与关键技术要点, 建立配套的质量控制与安全管理体系, 分析技术应用的综合效益与未来优化方向, 形成完整的装配式温室大棚一体化施工技术规范, 为同类工程建设提供技术参考。

1 装配式温室大棚一体化施工核心体系

装配式温室大棚结构与设备一体化施工的核心, 是在设计阶段实现主体结构 with 配套设备的统筹规划, 在施工阶段实现结构装配与设备安装的同步推进, 打破传统“先结构、后设备”的串行施工模式, 实现设计、生产、施工、调试全流程的协同管控。其核心体系分为主体结构体系与配套设备系统两大模块, 两大模块在设计阶段完成模数匹配与接口预留, 在施工阶段实现同步安装与精准对接。

1.1 主体结构体系

装配式温室大棚主体结构采用全螺栓连接的热镀锌钢结构体系, 全程无现场焊接作业, 保障结构防腐

性能与装配效率, 主要分为基础体系、承重骨架与围护结构三个子单元。

基础体系采用预制混凝土构件, 分为预制条形基础与预制独立基础两类, 构件强度等级为 C25 ~ C30, 预制阶段同步完成地脚螺栓、连接预埋件的精准定位, 替代传统现浇作业, 基础设计需满足温室抗风荷载、雪荷载与抗震设防的相关标准要求。

承重骨架为温室的核心受力结构, 主立柱采用 100 mm × 100 mm × 3.5 mm 热镀锌方管, 屋面拱架采用 Φ48 热镀锌圆管或 32 mm × 20 mm 热镀锌椭圆管, 拱架间距控制在 0.8 m ~ 1.2 m, 通过纵向拉杆、横向桁架、竖向斜撑的组合连接, 形成空间稳定受力体系。骨架预制阶段同步完成设备支座、管线通道、固定点位的预留加工, 避免现场开孔破坏结构防腐层与受力性能^[1]。

围护结构是温室保温与密封性能的核心载体, 分为复合保温板墙体、PO/PE 薄膜、PC 阳光板、钢化玻璃四类, 全部采用卡槽卡簧、螺栓连接的装配式固定工艺, 替代传统现场粘接压实工艺, 保障围护密封性与拆装便捷性。

1.2 配套设备系统

一体化施工需同步集成五大核心设备系统, 在设计阶段完成各系统与主体结构的模数匹配与接口预留,

作者简介: 李玉杰 (1987-), 女, 专科, 研究方向: 建筑设备。

施工阶段与结构装配同步完成管线铺设与设备安装，实现结构与设备的深度融合。

环境调控系统，含风机湿帘、电动卷膜器、内外遮阳、加温降温、环流风机等设备，为温室环境调控的核心执行机构；智能传感系统，含空气温湿度、光照强度、CO₂ 浓度、土壤温湿度、土壤 EC 值传感器等，是温室智能调控的信号采集单元；水肥一体化系统，含滴灌 / 喷灌管路、智能施肥机、叠片过滤器、变频水泵等，实现作物灌溉与施肥的精准管控；电气与控制系统，含强弱电管线、智能控制柜、远程监控模块等，是整个温室系统的控制中枢；辅助系统，含排水槽、防虫网、保温被、植物补光灯等，为温室稳定运行提供配套保障^[2]。

2 一体化施工协同设计原则与总体流程

2.1 一体化协同设计核心原则

协同设计是一体化施工的前提，需以“模数统一、结构适配、工序协同、运维友好”为核心原则，实现主体结构及设备系统的深度融合。

模数统一原则，主体结构构件尺寸、设备安装间距、管线走向布局采用统一模数标准，减少现场二次加工，降低材料损耗，提升装配效率；结构适配原则，承重骨架设计阶段同步完成管线穿设通道、设备安装支座、传感器固定点位的设计，所有预留点位与设备参数精准匹配，避免后期结构改造；工序协同原则，深化设计阶段明确结构装配与设备安装的工序衔接节点，实现两大工序的穿插并行，最大化压缩施工总工期；运维友好原则，设备检修口、控制阀门、电气控制柜的布局兼顾安装便捷性与后期运维需求，预留充足的检修空间，降低后期运维难度。

2.2 一体化施工总体流程

装配式温室大棚结构与设备一体化施工采用“工厂预制、现场装配、同步集成、联合调试”的核心模式，全流程核心工序为：施工准备与场地放线→预制基础施工与预埋件同步预埋→钢结构立柱与桁架装配→纵向支撑与檩条安装→围护结构装配式施工→机电管线与水肥管路同步铺设→环境调控与智能传感设备集成安装→智能控制系统接线与全系统联合调试→竣工验收。

相较于传统串行施工模式，一体化施工实现结构装配与设备安装穿插并行，大幅压缩总工期，同时避免后期设备安装对成型结构的破坏。

3 一体化施工关键技术要点

3.1 基础工程与预埋一体化施工技术

基础工程是一体化施工的起始环节，核心控制要点为预埋件的定位精度与管线预埋的同步性。采用预制

混凝土条形基础时，先按设计轴线完成场地平整与沟槽开挖，沟槽宽度 400 mm、深度 500 mm，沟槽底部铺设 100 mm 厚碎石垫层并压实，垫层压实系数不低于 0.93。预制基础构件吊装就位后，按轴线精准定位预埋钢板与地脚螺栓，螺栓外露长度控制在 150 mm ~ 200 mm，轴线偏差 ≤ ±3 mm，标高偏差 ≤ ±5 mm，采用细石混凝土对基础缝隙进行灌注封堵。

基础施工阶段同步完成给排水主管、电缆护管、传感器引线管的预埋作业，预埋管口采用密封胶带防护，防止砂浆堵塞；管线走向、坡度按设计执行，强弱电分离布置，间距不小于 300 mm，避免电磁干扰。待基础混凝土强度达到 75% 设计强度后，方可开展上部钢结构装配作业，保障结构承载安全。

3.2 钢结构装配式安装技术

钢结构安装遵循“从下到上、分跨成型、及时加固”的原则，具体安装顺序为：立柱吊装就位→立柱垂直度校正→底板双螺母固定→屋面桁架安装→纵向拉杆连接→斜撑与檩条加固。立柱吊装采用汽车吊单点起吊，就位后采用双向线坠校正垂直度，垂直度偏差控制在 1/1 000 柱高以内，全高偏差不得超过 10 mm，校正完成后采用双螺母锁紧固定，同步安装弹簧垫圈防止螺栓松动。

构件连接全部采用热镀锌高强度螺栓，终拧扭矩 45 N·m ~ 50 N·m，螺栓外露丝扣不少于 2 扣，节点无松动虚接。每完成 3 跨安装，及时设置横向支撑与竖向斜撑，形成稳定受力单元，抵御风荷载变形。钢结构装配过程中，同步完成遮阳电机支座、风机安装支架、传感器固定支架的预装作业，支架与钢结构骨架采用螺栓一体化固定，保障设备安装的结构稳定性。

3.3 围护结构与密封一体化施工技术

围护结构的施工质量直接决定温室的保温性能与设备运行效率，采用全装配式密封施工工艺，杜绝冷热桥与渗漏隐患。薄膜围护选用 12 ~ 15 丝 PO 防老化膜，纵向张拉后用卡槽卡簧固定，张拉均匀无褶皱破损，边缘预留 5% 伸缩余量，四角加强固定。复合保温板墙体采用企口拼接工艺，板缝采用中性硅酮密封胶填缝密实，外侧做防水处理，内侧与骨架螺栓固定，杜绝冷热桥产生^[3]。

天窗、侧窗安装采用三元乙丙橡胶密封条，启闭间隙控制在 3 mm 以内，保障通风可控性与保温效果。天沟与钢结构骨架一体化装配，纵向坡度设置不小于 5%，落水口与排水管采用密封胶圈柔性连接，接缝处

做防水处理。围护结构施工完成后,需进行密封性专项检查,重点排查板缝、门窗、天沟等关键节点,发现隐患及时修补。

3.4 机电管线预埋与同步铺设技术

强弱电管线、水肥管路为主体结构施工同步开展,实现管线暗敷一体化,杜绝管线外露造成的老化、破损问题。电气管线采用 PVC 阻燃穿线管,沿立柱、桁架内侧暗敷,固定点间距不大于 1 m,强弱电分槽布设,屏蔽线缆单独穿管。接地装置与基础同步施工,联合接地电阻 $\leq 4\ \Omega$,智能控制柜预留标准化接口。

水肥管路采用 HDPE 食品级管材,主管采用 $\Phi 63\ \text{mm} \sim 75\ \text{mm}$ 管材,支管采用 $\Phi 25\ \text{mm} \sim 32\ \text{mm}$ 管材,管路沿骨架底部固定安装,固定点间距不大于 0.8 m。管路系统安装完成后进行水压试验,试验压力为 0.3 MPa,保压 30 min 压力降不大于 0.05 MPa、无渗漏为合格,管路首端安装 120 目叠片过滤器防止滴头堵塞。智能传感器引线隐藏于骨架预留通道内,安装点位离地高度 1.5 m,避开风口与阳光直射区域,保障数据采集精度^[4]。

3.5 环境与水肥设备集成安装技术

环境调控设备与结构施工同步安装,风机湿帘对称布置于两山墙,基座与预埋件固定,接缝密封严密;内外遮阳系统采用齿轮齿条驱动,导轨水平度偏差 $\leq 3\ \text{mm}$,行程限位精准,运行无卡滞。电动卷膜机、加温设备安装固定牢固,水肥系统施肥机与管路采用法兰柔性连接,阀门仪表布设便于操作读数。

3.6 智能控制系统一体化调试技术

智能控制系统调试分为单点、联动、远程三个阶段。单点调试逐一校验各执行机构动作准确性;联动调试按作物生长需求设定环境参数阈值,验证系统自动调控逻辑;远程调试接入物联网云平台,实现远程监控、数据存储与异常报警。调试完成后校准传感器,温度误差 $\leq \pm 0.5\ ^\circ\text{C}$,湿度误差 $\leq \pm 5\%\ \text{RH}$,保障调控精度。

4 一体化施工质量控制与安全管理体系

4.1 全流程质量控制要点

建立“进场检验—过程管控—竣工验收”三级质量控制体系,实现施工全流程的质量闭环管控。构件进场全数检验,核查合格证与检测报告,钢结构镀锌层厚度 $\geq 85\ \mu\text{m}$,尺寸符合《温室钢结构安装与验收规范》(NY/T 1832)要求,预制构件外观无缺陷,不合格品严禁进场。

过程管控阶段,对基础预埋件精度、立柱垂直度、

拱架弧度、天沟坡度、设备安装水平度进行全程跟踪检测,每道工序完成后经自检、互检、专检合格后方可进入下一道工序,重点管控钢结构连接节点、围护密封节点、管线接口、设备固定点位的施工质量,发现隐患立即停工整改^[5]。

竣工验收阶段,对温室结构稳定性、围护密封性、设备运行性能、系统调控精度进行全面检测,结构抗风、抗雪荷载性能满足设计要求,温室内部温度场均匀度不低于 85%,水肥灌溉均匀度不低于 90%,智能控制系统响应时间不大于 5 s,所有指标合格后方可完成竣工验收。

4.2 全过程安全施工管理规范

建立全过程安全管理体系,落实安全生产责任制,作业人员经培训合格上岗,特种作业人员持证上岗。高空作业规范佩戴安全带,搭设操作脚手架,严禁高空抛物;电气作业严格执行停送电制度,设备做好接地保护,雨天停止室外电气与高空作业;构件吊装设置警戒区,专人指挥,严禁超载吊装。现场易燃材料分类存放,配备足量消防器材,每日施工完成后切断临时电源,排查安全隐患。

5 结束语

装配式温室大棚结构与设备一体化施工技术,通过设计、生产、施工、调试全流程的统筹协调,实现了温室主体结构与环境调控、水肥一体化、智能控制等系统的深度融合,有效解决了传统温室建造过程中施工效率低、质量离散性大、结构与设备脱节、运维难度高等核心问题。该技术具备工期短、造价低、性能优、绿色环保等显著优势,可适配多种温室类型,符合现代设施农业标准化、智能化、绿色化的发展趋势。

参考文献:

- [1] 朱明野,尹喜慧.装配式钢结构建筑工程施工技术研究与应用[J].建筑机械,2024(09):70-75.
- [2] 李清丽,徐栋栋,李蕊.装配式建筑预制构件中照明设备集成化施工技术研究[J].中国照明电器,2025(09):71-75.
- [3] 袁春鹏.装配式建筑施工技术要点分析[J].淮北职业技术学院学报,2025,24(01):109-112.
- [4] 石志永.大棚蔬菜种植技术及病虫害防治[J].种子科技,2025,43(09):149-151.
- [5] 杨婧暄.我国农业大棚现状及未来发展趋势[J].种子科技,2023,41(14):142-144.