

农业大棚结构系统设计

孟令启*, 漆立方

广州科技职业技术大学智能工程与未来学院, 广东 广州

收稿日期: 2026年3月23日; 录用日期: 2026年4月29日; 发布日期: 2026年5月11日

摘要

本文设计了一种现代智能化农业大棚结构系统, 通过优化布局、节省材料、提升环境控制能力改善大棚内部生长环境。设计中参考大量资料, 详细计算风载、雪载及内部载荷, 确保结构稳定与功能完备。优化结构设计减少材料使用, 同时保障稳固性和耐久性; 配备可调节光照系统、气体监测调节系统、自动水肥系统及智能化控制系统, 实现高效农业生产管理。该方案提升了大棚功能性, 减少人工干预, 提高生产效率和资源利用率, 符合现代农业发展需求。

关键词

大棚, 结构, 载荷, 智能化

Agricultural Greenhouse Structural System Design

Lingqi Meng*, Lifang Qi

School of Intelligent Engineering and the Future, Guangzhou Vocational and Technical University of Science and Technology, Guangzhou Guangdong

Received: March 23, 2026; accepted: April 29, 2026; published: May 11, 2026

Abstract

This paper designs a modern intelligent agricultural greenhouse structure system aimed at improving the internal growing environment by optimizing layout, saving materials, and enhancing environmental control capabilities. During the design process, extensive agricultural greenhouse data was referenced, and detailed calculations were conducted for wind load, snow load, and internal loads to ensure structural stability and functionality. By optimizing structural design, material

*通讯作者。

usage is reduced while ensuring the greenhouse's stability and durability. An adjustable lighting system is designed to automatically regulate the light intensity inside the greenhouse based on crop needs. An intelligent system monitors and adjusts gas levels, and an integrated automatic irrigation and fertilization system is included. The entire greenhouse system is equipped with an intelligent control system that enables efficient agricultural production management. This design enhances functionality, reduces manual intervention, improves production efficiency and resource utilization, aligning with the needs of modern agricultural development.

Keywords

Greenhouse, Structure, Load, Intelligent

Copyright © 2026 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

在全球人口增长、农产品需求攀升的背景下, 农业大棚作为现代农业重要设施, 在提高作物产量、品质及促进农业增效等方面发挥关键作用[1]。合理的结构设计是大棚实现功能的核心, 然而目前存在抗风抗雪能力不足、空间利用率低、材料选择不合理等问题。基于此, 本文设计长 100 米、宽 50 米、高 7 米的智能化农业大棚, 实现自动通风、调温、调湿及光照精确调控, 同时保障结构安全稳定。

1.1. 国内外大棚发展状况

1.1.1. 国内大棚发展状况

我国现代农业大棚技术始于上世纪五十年代, 九十年代快速发展, 目前大型温室面积超 370 万公顷, 居世界首位。因地形气候多样, 主要采用日光温室和塑料大棚, 且正向智能化转型[2]。我国现代农业大棚技术始于上世纪五十年代, 最初以简易土温室为主; 九十年代随着塑料工业发展, 塑料大棚快速普及, 面积年均增长超 15%。截至 2024 年, 全国大型温室面积已超 370 万公顷, 稳居世界首位。因地域辽阔、地形气候多样, 北方以日光温室为主, 利用太阳能实现冬季保温; 南方则侧重塑料大棚与遮阳网结合, 应对高温高湿环境。近年来, 随着物联网、人工智能技术渗透, 国内大棚正向“环境精准调控 + 水肥智能管理 + 作物生长监测”的全链条智能化转型, 如山东寿光的智慧农业园区已实现通过手机 APP 远程控制大棚温湿度、光照等参数, 亩均产量提升 20%以上。

1.1.2. 国外大棚发展状况

世界最早大棚技术出现于公元十五世纪, 美国、荷兰、以色列等国以大型连栋温室为主, 实现机械化、规模化生产及自动化环境控制, 经济效益显著。世界最早的大棚技术可追溯至公元十五世纪的意大利, 当时采用玻璃覆盖的温室用于培育热带植物[3]。现代大棚技术以美国、荷兰、以色列等国为代表: 荷兰依托玻璃温室产业优势, 研发出 Venlo 型连栋温室, 覆盖率超 95%, 通过物联网系统实现温度、CO₂ 浓度的精准控制, 番茄单产可达 70 公斤/平方米; 美国侧重规模化生产, 加州的蔬菜大棚基地采用机械化耕作与自动化采收结合, 人均管理面积达 50 亩; 以色列则针对干旱气候, 开发出节水型温室, 结合滴灌技术使水资源利用率提升至 90%以上, 这些国家的大棚普遍实现了机械化、规模化生产及全自动化环境控制, 经济效益显著高于传统农业。

1.2. 设计任务

研发智能化农业大棚结构系统, 解决光照分布不均问题, 实现自动通风、调温、调湿及光照精确调控, 优化空间布局, 计算风载、雪载等载荷, 确保结构安全稳定, 提高作物品质和生产效率[4]。

2. 方案分析与选择

2.1. 方案概述

2.1.1. 方案一 单体拱棚

结构简单、建造方便、成本低、适应性强, 但无法有效控制内部环境, 现代化程度低, 生产效率和经济效益有限。如图 1 所示。



Figure 1. Arch shed
图 1. 单体拱棚

2.1.2. 方案二 连栋玻璃温室

可智能化控制内部环境, 实现现代化生产, 经济效益高, 减少人工成本, 但结构复杂, 建造和维护成本高, 初期投资大, 对能源依赖强。如图 2 示。



Figure 2. Connected glass greenhouse
图 2. 连栋玻璃温室

2.1.3. 方案三 光伏大棚

可太阳能发电, 智能化控制环境, 环保且运行成本低, 但造价昂贵, 光伏板可能影响作物光照, 设计施工要求高[5]。如图 3 示。



Figure 3. Photovoltaic shed
图 3. 光伏大棚

2.2. 方案选择

选择连栋玻璃温室方案, 既能实现内部环境智能化控制, 又具有相对合理的成本, 兼顾现代化与经济效益。

3. 大棚结构与计算

3.1. 大棚基本结构

大棚长 100 米、宽 50 米、高 7 米, 每隔一定距离设置立柱、横梁等构件, 表面覆盖浮法玻璃, 配备湿帘风机降温系统, 天窗通过齿轮齿条控制[6]。大棚整体采用连栋式钢结构设计, 长 100 米、宽 50 米、脊高 7 米, 檐高 4.5 米, 共设 8 跨, 每跨跨度 6.25 米, 柱间距 4 米。主体结构由立柱、横梁、檩条及支撑系统组成, 立柱采用 $100 \times 100 \times 5 \text{ mm}$ 镀锌方管, 横梁选用 $120 \times 80 \times 4 \text{ mm}$ 轻型钢骨架, 檩条间距 1.5 米以保证玻璃覆盖的稳定性[7]。表面覆盖材料选用 $4 \text{ mm} + 9 \text{ A} + 4 \text{ mm}$ 中空浮法玻璃, 透光率达 90% 以上, 兼具保温与抗冲击性能; 天窗系统沿屋脊方向布置, 单扇天窗尺寸为 $1.5 \times 2 \text{ m}$, 通过齿轮齿条传动机构控制开启角度($0^\circ \sim 45^\circ$ 可调), 实现自然通风; 侧墙下部安装 1.8 米高湿帘, 对应侧墙上部设置负压风机, 形成完整的温降通风回路图。如图 4 示。

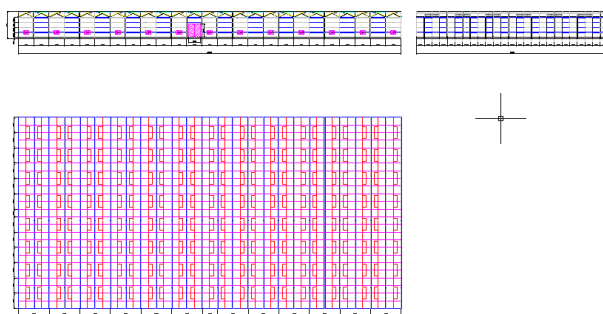


Figure 4. Greenhouse structure
图 4. 大棚基本结构

3.2. 大棚材料选择

钢材结构采用镀锌方管、轻型钢骨架等; 玻璃结构选中空浮法玻璃、10 mm 厚天窗玻璃及 8 mm 厚钢化屋顶玻璃[8]。

3.3. 大棚的载荷分析

按时间变异将载荷分为可变载荷(风载、雪载等)、永久载荷(结构自重等)和偶然载荷(地震、台风等)。按时间变异特性, 大棚载荷分为三类: 永久载荷(恒载)、可变载荷(活载)和偶然载荷[9]。永久载荷包括结构自重(钢材、玻璃等构件重量)、固定设备重量(风机、电机等), 经计算钢结构自重约 0.3 kN/m^2 , 玻璃覆盖层自重 0.15 kN/m^2 , 总恒载约 0.45 kN/m^2 ; 可变载荷主要为风载、雪载及作物吊挂载荷, 其中风载和雪载需结合当地气象数据计算; 偶然载荷包括地震作用、台风冲击等, 本设计按地震烈度 7 度设防, 台风荷载按 50 年一遇标准考虑[10]。

- 1) 风载荷: 计算得风载荷标准值为 0.4125 kN/m^2 。
- 2) 雪载荷: 计算得雪载荷标准值为 0.4 kN/m^2 。
- 3) 永久载荷: 通过计算大棚各组成部分质量确定。

3.4. 大棚的强度校核

3.4.1. 大棚立柱的强度校核

立柱的受力分析

当 $x = 0$ 时, $F_S = 5500$, $M = 15125$ 由此可以做立柱的剪力弯矩图(图 5)。

立柱的正应力

$$\sigma = \frac{M}{W} = \frac{15125}{81.78 \times 10^{-6}} = 184.95 \text{ Mpa} \quad (1)$$

Q235 钢的屈服强度 σ 约等于 235 MPa > 184.95 MPa, 立柱强度校验合格。

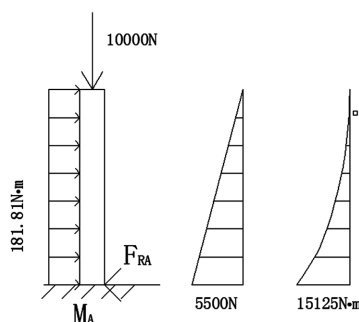


Figure 5. Section diagram

图 5. 立柱的剪力弯矩图

立柱的稳定性校核

被固定在地面上的立柱无法被移动, 一端支撑着大棚的梁, 将立柱简化为一端固定一端铰支的受力模型图 6, 钢柱长度因数为 0.7。钢材使用 Q235 钢, 强度许用应力 $[\sigma] = 170 \text{ Mpa}$, 选择边长 100 毫米, 厚度为 8 毫米, 横截面积为 28.35 平方厘米的方钢管为立柱, 惯性矩为 408.9 cm^4 。如图 6 示。

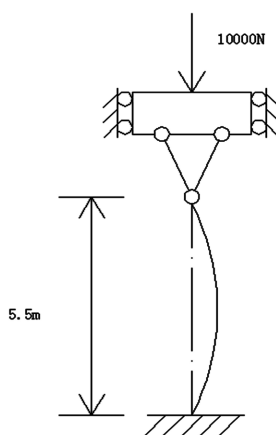


Figure 6. Compression bar diagram

图 6. 压杆示意图

钢柱的工作应力 σ 是:

$$\sigma = \frac{F}{A} = \frac{10000}{28.35 \times 10^{-4}} = 3.527 \text{ Mpa} \quad (2)$$

因此, 压杆的稳定许用应力大于工作应力, 压杆符合稳定性要求。

3.4.2. 大棚梁的强度校核

强度校核时, 可将大棚的梁当作简支梁。将每两根立柱间区域划分为小单元, 对小单元进行强度校核, 化简后, 结合大棚顶部的质量计算进行受力分析, 可以设 $q = 2500 \text{ N/m}$

当 $x = 0$ 时, $F_S = 10000 \text{ N}$, $M = 0$,

当 $x = l/2$ 时, $F_S = 0$, $M = 20000 \text{ N}\cdot\text{m}$,

当 $x = l$ 时, $F_S = -10000 \text{ N}$, $M = 0$,

由此可做梁的剪力、弯矩图(图 7):

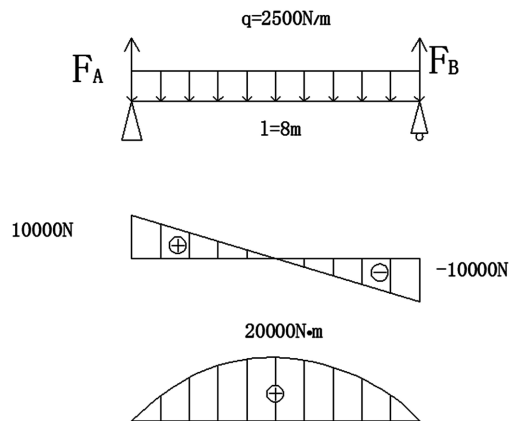


Figure 7. Shear force diagram and bending-moment diagram
图 7. 梁的剪力弯矩图

梁的挠度计算:

梁的弯矩方程为

$$M(x) = F_A x - qx \cdot \frac{x}{2} = \frac{qlx}{2} - \frac{qx^2}{2} = 10000x - 1250x^2 \quad (3)$$

因此可列出梁的挠度方程:

$$Elw = 1666.7x^3 - 104.17x^4 - 53333.3x. \quad (4)$$

挠度的极值在跨度中点:

$$w_{\max} = 0.0187 \text{ m}$$

梁的许可挠度为

$$[w] = \left[\frac{w}{l} \right] \times l = \frac{1}{400} \times 8 = 0.02 \text{ m}$$

由于 $[w] > 0.0187 \text{ m} = w_{\max}$

因此梁满足刚度条件。

4. 大棚各系统的设计及选型

4.1. 降温系统设计及选型

选用湿帘风机降温系统, 计算得出需 70 m 长湿帘, 20 台 TH-1380A 负压风机[11]; 选择合适型号水

泵, 满足流量和扬程要求[12]。降温系统采用湿帘 - 风机强制通风降温方案, 根据大棚体积($100\text{ m} \times 50\text{ m} \times 7\text{ m} = 35000\text{ m}^3$)及通风量要求(夏季降温需每小时通风 40~60 次), 计算得出所需总通风量为 $1.4 \times 10^6 \sim 2.1 \times 10^6\text{ m}^3/\text{h}$ 。选用 150 mm 厚蜂窝状湿帘, 单米湿帘通风量约 $20000\text{ m}^3/\text{h}$, 故需湿帘总长度 70 m, 沿大棚一侧侧墙连续布置; 配套选用 TH-1380A 型负压风机, 单台风机风量 $72000\text{ m}^3/\text{h}$ 、功率 1.1 kW, 共设置 20 台, 沿另一侧侧墙均匀排列。水泵选用 ISG50-160 型管道离心泵, 流量 $12.5\text{ m}^3/\text{h}$, 扬程 32 m, 满足湿帘供水压力与流量需求, 同时配备自动水位控制器, 保持湿帘水槽水位稳定[13]。

4.2. 遮光系统设计及选型

采用双层遮阳帘系统, 外遮阳帘选用防水涤纶材质, 内遮阳帘选用蜂窝帘; 计算得出所需电机功率, 选择相应型号伺服电机。遮光系统采用双层遮阳帘设计, 外遮阳帘主要用于阻挡夏季强光, 选用遮光率 75% 的防水涤纶材质, 幅宽 4 米, 通过拉幕电机驱动, 运行速度 0.3 m/s ; 内遮阳帘兼具遮光、保温功能, 选用遮光率 50% 的蜂窝状聚酯纤维帘, 采用齿轮齿条传动方式[14]。根据大棚跨度与长度, 计算得出外遮阳帘总面积 5000 m^2 , 内遮阳帘总面积 4800 m^2 ; 驱动电机选用 200 W 伺服电机, 扭矩 $5\text{ N}\cdot\text{m}$, 配套行程开关实现自动限位, 可通过智能控制系统根据光照强度(设定阈值 $20000\sim 80000\text{ lux}$)自动调节遮阳帘开合度。

4.3. 水肥系统设计及选型

选用农用水肥一体化设备, 滴灌方式灌溉, 选择合适型号水泵满足流量要求。水肥系统采用智能一体化设备, 由水肥混合罐、过滤系统、滴灌管网及控制系统组成。选用 200 L 不锈钢混合罐, 配备搅拌机(功率 0.55 kW , 转速 1400 r/min)实现水肥均匀混合; 过滤系统采用叠片式过滤器(过滤精度 80 目)与网式过滤器(过滤精度 120 目)双重过滤, 防止滴灌带堵塞[15]。滴灌方式采用压力补偿式滴灌带, 间距 30 cm , 滴头流量 2 L/h , 工作压力 0.15 MPa ; 配套 ISG40-125 型水泵, 流量 $6.3\text{ m}^3/\text{h}$, 扬程 20 m, 满足灌溉需求[16]。控制系统可根据土壤墒情传感器(测量范围 $0\%\sim 100\%$ volumetric water content)数据自动启停灌溉, 实现水肥精准施用, 节水节肥率达 30% 以上。

5. 大棚环境监测小车结构设计

5.1. 监测小车总体设计

小车需体型小、能耗低、速度适宜、便于维护, 以电池为驱动能源[17]。监测小车采用模块化设计, 整体尺寸为 $800 \times 500 \times 400\text{ mm}$, 重量 $\leq 50\text{ kg}$, 以 48 V 锂电池为驱动能源, 续航时间 ≥ 8 小时, 行驶速度 $0.5\sim 2\text{ m/s}$ 可调。小车采用双轮驱动 + 万向轮导向结构, 配备磁导航传感器实现沿预设轨道自动行驶, 轨道选用 C 型钢(型号 C100)铺设于大棚顶部桁架下方, 间距 5 米设置一个支撑托架。小车集成环境监测模块、数据传输模块及中控模块, 可按预设路径每 2 小时完成一次全大棚环境巡检, 实时采集温湿度、 CO_2 浓度、光照强度等参数, 并将数据上传至大棚中央控制系统。

5.2. 小车执行部件设计

- 1) 电机选型: 计算得出电机所需参数, 选择合适型号直流无刷电机。
- 2) 传动轴设计: 完成中间轴和输出轴的尺寸设计及校核, 满足强度要求。
- 3) 换向装置设计校核: 选用直齿圆锥齿轮换向, 经校核满足齿根弯曲疲劳强度和齿面接触疲劳强度要求。

5.3. 小车轨道托架的校核

对托架进行受力分析, 计算得出其应力满足强度要求。

5.4. 小车传感器选型

选用温湿度传感器和红外二氧化碳传感器, 实现大棚环境参数监测。小车传感器选用高精度工业级模块: 温湿度传感器采用 SHT35 型, 测量范围 $-40^{\circ}\text{C}\sim 125^{\circ}\text{C}$ (温度)、 $0\%\sim 100\%$ RH(湿度), 精度 $\pm 0.2^{\circ}\text{C}/\pm 2\%$ RH; CO_2 传感器选用 MH-Z19B 型红外传感器, 测量范围 $0\sim 5000$ ppm, 精度 ± 50 ppm + 3% FS; 光照传感器选用 BH1750 型, 测量范围 $0\sim 65535$ lux, 精度 $\pm 20\%$ 。传感器数据采样频率为 1 次/秒, 通过 RS485 总线传输至小车中控模块, 中控模块采用 STM32F103 单片机, 具备数据存储(容量 ≥ 16 GB)与无线传输(4G/Wi-Fi)功能, 可实时将监测数据上传至云端平台, 当参数超出设定阈值(如温度 $> 35^{\circ}\text{C}$ 、 $\text{CO}_2 < 400$ ppm)时自动触发报警。如图 8 示。



Figure 8. Temperature sensor
图 8. 温度传感器实物图

6. 结论

本次设计的智能化连栋式温室大棚, 通过结构校核确保安全稳定, 详细设计了降温、遮光等系统, 重点研发的智能监测小车可实时监测环境参数。大棚能自动调节光照、通风等条件, 实现水肥精准管理, 降低人工依赖, 提升生产效率, 为现代农业智能化发展提供可行方案。本次设计的智能化连栋式温室大棚, 通过系统的结构分析与强度校核确保了安全稳定性: 立柱正应力 184.95 MPa 小于 Q235 钢屈服强度 235 MPa, 梁结构挠度控制在 $L/250$ 以内, 满足规范要求。功能系统方面, 湿帘-风机降温系统可使夏季大棚内温度降低 $5^{\circ}\text{C}\sim 8^{\circ}\text{C}$, 双层遮阳帘系统实现光照强度精准调节, 水肥一体化系统节水节肥率超 30% 。重点研发的智能监测小车实现了环境参数的动态巡检, 采样精度达工业级标准, 数据传输延迟 < 10 秒。整体系统通过中央控制器实现联动控制, 如当监测小车检测到 CO_2 浓度低于 400 ppm 时, 自动开启 CO_2 发生器; 当温度高于 32°C 时, 联动启动湿帘风机与天窗。该设计大幅降低人工干预强度, 预计可使作物亩均产量提升 $25\%\sim 30\%$, 资源利用率提高 40% , 为现代农业智能化、集约化发展提供了切实可行的技术方案。

基金项目

课题系安徽省高校协同创新重大项目, 课题号: AHGU2023008。

参考文献

- [1] 孙树. NJ 光伏农业大棚项目后评价[D]: [硕士学位论文]. 石家庄: 河北地质大学, 2023.
- [2] 王寿辰. 现代农业大棚蔬菜栽培技术探析[J]. 农业工程技术, 2023, 43(9): 24-25.
- [3] 钱蔡华. 农业大棚环境温度场 CFD 模拟及测控系统研究[D]: [硕士学位论文]. 盐城: 盐城工学院, 2024.

-
- [4] 徐雨晴. 大跨度 M 型农业大棚结构抗风降温性能研究[D]: [硕士学位论文]. 泰安: 山东农业大学, 2023.
- [5] 王有平, 耿相国, 李敏. 浅谈光伏农业实施技术研究[J]. 新农民, 2020(14): 13-14.
- [6] 张天虎, 钟建琳. 农业种植大棚风雪荷载计算及结构优化[J]. 北京信息科技大学学报(自然科学版), 2023, 38(6): 64-69.
- [7] 凡健, 易振峰, 姚兴智, 等. 考虑机械载荷和热载荷的温室大棚骨架结构轻量化设计[J]. 中国农机化学报, 2024, 45(6): 77-81, 112.
- [8] 吴天翔, 孔令文, 闫嘉为, 等. 智能化农业大棚对当代农业市场的影响[J]. 农村经济与科技, 2023, 34(12): 47-49, 56.
- [9] 李先山, 胡天让. 物联网技术在农业温室大棚中的应用[J]. 现代农机 2021(2): 35-36.
- [10] 王文星, 王玲玲. 结合简支梁桥算例的材料力学教学设计[J]. 科技风, 2024(21): 115-117.
- [11] 陈立德, 罗卫平. 机械设计基础[M]. 第 5 版. 北京: 高等教育出版社, 2022.
- [12] 时彦林, 张士宪, 赵晓萍. 工程力学[M]. 北京: 机械工业出版社, 2022.
- [13] 刘灿, 朱晓坤, 丁奇, 等. 智能农业大棚生产环境调控系统[J]. 智慧农业导刊, 2022, 2(17): 1-3.
- [14] 刘光伟. 智能农业大棚系统探究[J]. 广东蚕业, 2020, 54(7): 59-60.
- [15] Zhang, M. and Du, J. (2020) Design and Development of Smart Socket Based on STM32. *Journal of Computational Methods in Sciences and Engineering*, **20**, 227-243. <https://doi.org/10.3233/jcm-193761>
- [16] Xu, D., Li, Y., Zhang, Y., Xu, H., Li, T. and Liu, X. (2020) Effects of Orientation and Structure on Solar Radiation Interception in Chinese Solar Greenhouse. *PLOS ONE*, **15**, e0242002. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0242002>
- [17] Maraveas, C. (2020) Wind Pressure Coefficients on Greenhouse Structures. *Agriculture*, **10**, Article 149. <https://doi.org/10.3390/agriculture10050149>