

生物菌剂自动喷洒装置设计及定时控制系统研究

张佳琪, 徐艺, 怀玉, 高云*

辽宁科技大学机械工程与自动化学院, 辽宁 鞍山

收稿日期: 2026年3月22日; 录用日期: 2026年4月12日; 发布日期: 2026年4月23日

摘要

为解决传统人工喷洒生物菌剂的诸多弊端, 设计了一款生物菌剂自动喷洒装置。该装置结构, 以架板与支撑架构成基础, 移位机构与喷洒机构构成核心, 储液箱与水泵等为辅助组件, 以及以STM32单片机为核心的定时控制系统, 可预设喷洒时间与间隔周期自动启停。通过移位与旋转喷洒协同, 实现多方位无死角均匀喷洒, 既提升了喷洒效率与菌剂利用率, 又降低人工成本、避免人员受伤害, 适用于农作物培育等农业自动化场景。

关键词

自动喷洒装置, 定时, 控制系统

Research on the Design and Timed Control System of a Biological Bactericide Automatic Spraying Device

Jiaqi Zhang, Yi Xu, Yu Huai, Yun Gao*

School of Mechanical Engineering & Automation, University of Science and Technology Liaoning, Anshan Liaoning

Received: March 22, 2026; accepted: April 12, 2026; published: April 23, 2026

Abstract

To address the numerous drawbacks of traditional manual spraying of biological agents, an automatic biological agent spraying device was designed. The device features a structural framework composed

*通讯作者。

文章引用: 张佳琪, 徐艺, 怀玉, 高云. 生物菌剂自动喷洒装置设计及定时控制系统研究[J]. 动力系统与控制, 2026, 15(2): 217-222. DOI: 10.12677/dsc.2026.152022

of a base plate and support frame, with a core mechanism consisting of a shifting mechanism and a spraying mechanism. Auxiliary components include a liquid storage tank and a water pump, along with a timing control system centered on an STM32 microcontroller. It enables preset spraying schedules and automatic start-stop intervals. Through coordinated movement and rotation spraying, it achieves multi-directional, gap-free, and uniform application. This not only enhances spraying efficiency and agent utilization but also reduces labor costs and prevents personnel injuries, making it suitable for agricultural automation scenarios such as crop cultivation.

Keywords

Automatic Spraying Device, Timing, Control System

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

农业生产中的生物菌剂作为提升农作物产量、改善土壤质量的重要农资，其科学施用对农业生产效益至关重要[1]。然而，传统生物菌剂喷洒是人工手动将喷洒剂抛洒产品表面，这种工作方式不仅步骤繁杂，消耗体力，浪费时间，还浪费喷洒剂原料，同时喷洒剂也不能均匀地抛洒产品表面，无法做到零度无死角喷洒，导致工作效率低，而喷洒剂的药性也会对工作人员手部皮肤造成一定伤害，存在一定安全隐患。此外，人工喷洒难以精准把控间隔时间，容易因人为疏忽而导致重喷或漏喷等情况。这些问题严重制约了生物菌剂在农业生产中的推广应用，也与现代农业规模化、自动化的发展趋势不相适应。

设计一种生物菌剂自动喷洒装置，属于生物菌剂自动喷洒技术领域，满足农业生产对高效、均匀、安全喷洒的需求，避免了传统人工喷洒存在的弊端。

2. 生物菌剂自动喷洒装置的发展现状

(1) 新型生物菌剂自动喷洒装置以“自动化作业 - 精准喷施 - 安全高效”为核心架构演进。传感器技术是实现精准控制的基础，通过部署作物分布传感器、菌剂余量传感器、喷施范围检测传感器等，实时采集作业区域作物布局、菌剂存储量及喷施覆盖情况等数据，为自动化调控提供数据支撑；部分装置开始集成简易定时模块，多为固定间隔式设计。

(2) 定位与路径规划技术为装置精准作业提供保障，结合简易定位模块与预设路径程序，使装置能按照设定轨迹移动作业，有效避免菌剂重喷、漏喷问题，确保作业区域内菌剂喷施的均匀性。

(3) 生物菌剂自动喷洒装置的喷洒机构逐渐向多维度调节方向发展，通过移位机构实现喷洒部件的水平移动，搭配旋转式喷洒头扩大喷施范围，部分装置还集成流量调节组件，可根据作物需求调整菌剂喷施量。

综上，目前行业仍存在核心调控技术相对简单、适配复杂作物布局的灵活性不足、缺乏统一的技术标准与质量规范，且定时控制系统设计不完善、间隔时间调控精度低、控制方式不便捷等问题，这些因素制约了其在大规模农业生产中的广泛应用。

3. 生物菌剂喷洒装置调研

3.1. 痛点分析

经过调研与统计，目前市场上的生物菌剂喷洒装置，存在以下痛点，参看表 1。

Table 1. Pain points and analysis of existing bioagent spraying devices in the market**表 1.** 市场上生物菌剂喷洒装置存在的痛点及分析

痛点 1: 喷洒效果不佳	传统装置多为固定路径或单一喷洒模式, 无法实现全区域无死角覆盖
痛点 2: 难以适配生物菌剂特性	无法根据根际微生态需求精准分配菌剂用量, 造成菌剂浪费或施用不足[2]
痛点 3: 操作与适配性差	多数装置依赖人工推动或手动控制
痛点 4: 功能单一	仅侧重喷洒功能, 无监测反馈机制[3]
痛点 5: 安全性不足	部分装置密封性能差, 生物菌剂易泄漏, 对操作人员皮肤、呼吸道造成刺激[4]
痛点 6: 定时控制系统不完善[5]	定时器精度低, 间隔时间误差大

3.2. 设计要求

针对上述市场上生物菌剂喷洒装置存在的痛点, 本产品的的设计目标是提供一种生物菌剂自动喷洒装置, 以解决现有装置存在的问题, 满足农业生产对高效、均匀、安全、精准喷洒的需求。具体设计要求如下:

(1) 喷洒效果: 实现全区域无死角覆盖, 确保每一株农作物都能均匀受到菌剂喷洒, 提升生物菌剂的施用效果。

(2) 适配性: 能够根据不同农作物的生长需求以及根际微生态的特点[6], 精准调整菌剂的喷洒量和喷洒范围, 提高菌剂的利用率, 避免浪费。

(3) 操作便捷性: 提高装置的自动化程度, 减少人工干预, 降低工作人员的劳动强度, 同时保证操作的便捷性和直观性, 便于工作人员快速掌握和使用。

(4) 功能多样性: 集成监测反馈机制, 实时监测装置的运行状态、菌剂的剩余量以及喷洒覆盖情况等, 为工作人员提供准确的参考信息, 便于及时调整喷洒策略。

(5) 安全性: 增强装置的密封性能, 防止生物菌剂泄漏, 保障工作人员的身体安全和作业环境的安全。

(6) 定时精度: 定时器计时精度 ≤ 1 s, 间隔时间设置范围 1 min~24 h 可调, 满足不同作物的喷洒周期要求。

4. 新型生物菌剂自动喷洒装置设计方案

4.1. 装置结构设计

该生物菌剂自动喷洒装置以架板为基础支撑载体, 构建“支撑固定 - 移位调节 - 精准喷洒 - 辅助保障”的一体化结构体系, 该装置以架板、支撑架为基础, 核心含移位机构与喷洒机构, 搭配储液箱、水泵等辅助组件及控制、观察部件, 搭载以 STM32 单片机为核心的定时控制系统[7]。通过各部件协同配合实现生物菌剂的自动化、全方位喷施作业, 具体结构设计如下。

4.1.1. 基础支撑结构

核心基础为架板, 作为整个装置的安装承载主体, 为上部所有功能部件提供稳定安装平台。架板内部顶端固定设置若干支撑架, 支撑架垂直向下延伸, 其底端与移位机构固定连接, 通过多组支撑架的均匀分布, 确保移位机构及喷洒机构的安装稳定性, 避免作业过程中因振动导致部件移位, 保障喷施精度。

4.1.2. 移位调节结构

移位机构由固定杆、移动块、滑槽、螺纹槽和螺纹杆组成, 是实现喷洒机构水平移位的核心部件。固定杆横向固定于支撑架底端, 为移动块提供导向支撑; 移动块内部底端两侧开设与固定杆适配的滑槽, 通过滑槽与固定杆的活动连接, 限制移动块的运动轨迹; 移动块底端中心开设螺纹槽, 内部啮合连接螺纹杆, 螺纹杆外部一侧活动设置驱动电机。启动驱动电机后, 其输出转矩带动螺纹杆旋转, 在螺纹槽的

传动作用及固定杆与滑槽的限位作用下，移动块可沿固定杆长度方向平稳、精准移动，实现喷洒机构的水平位置调节。

4.1.3. 精准喷洒结构

精准喷洒机构对称装在移动块内部顶端两侧，核心由滑块、旋转电机、锥形齿轮组、连接管、喷洒头构成，搭配储液箱、水泵和抽水管形成完整的菌剂输送喷施回路，具体工作方式分为横向调节和旋转喷施两部分：

(1) 滑块处于在移动块顶端的移动槽中，槽体两侧的推杆电机与滑块相连，电机伸缩可带动滑块沿槽横向移动，实现喷洒机构的伸收，扩大整体喷施范围。

(2) 滑块上的旋转电机带动第一锥形齿轮转动，通过齿轮啮合传动带动第二锥形齿轮及套内的连接管旋转，连接管底端装喷洒头；同时滑块上的储液箱储存生物菌剂，经抽水管、水泵传输至连接管，最终从旋转的喷洒头喷出，既完成菌剂的输送喷施，又通过喷洒头的旋转提升喷施均匀度，实现精准喷洒。

4.1.4. 辅助保障结构

(1) 控制按钮固定设置于架板外部顶端一侧，通过现有线路与驱动电机、推杆电机、旋转电机及水泵电性连接，用于集中控制各动力部件的启停，操作便捷直观，实现作业过程的人工干预与调控。

(2) 架板外部两侧固定设置透视窗，采用透明防护材质制成，既不影响装置内部作业环境的密封性，又能方便工作人员实时观察内部喷洒机构的运行状态、菌剂喷施覆盖情况，同时可直观监测架板下方农作物的生长状况，便于及时记录作业数据与作物生长信息。

4.2. 新型生物菌剂自动喷洒装置工作原理

这种生物菌剂自动喷洒装置在使用时，首先将需要种植的农作物栽培在架板底端，工作人员通过按钮控制，再通过原有线路启动驱动电机，电机转动带动螺纹杆旋转，在固定杆和滑槽的限位辅助下，带着移动块朝指定方向移动。

再用同样的方式通过启动水泵和旋转电机，带动滑块向移动块的两端伸展开并到达指定位置，水泵会把储液箱里的液体抽出来，经连接管传输到喷洒头，同时旋转电机转动，借助第一、第二锥形齿轮的相互配合带动连接管旋转，最终达到让喷洒头实现旋转喷洒的目的，详细内容见图 1、图 2。

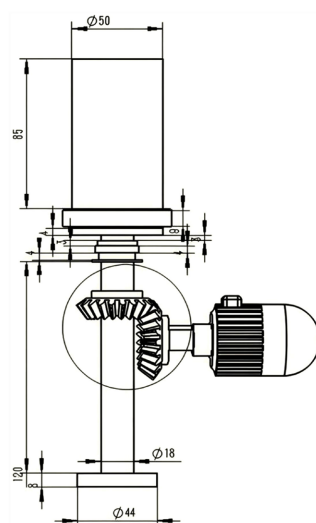
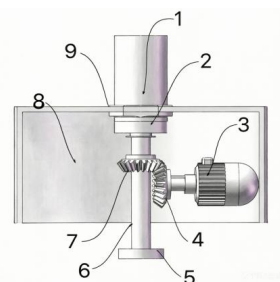


Figure 1. Engineering diagram of the device structure

图 1. 装置结构工程图



图中：1、储液箱；2、抽水管；3、旋转电机；4、第一锥形齿轮；5、喷头；6、连接管；7、第二锥形齿轮；8、滑块；9、水泵。

Figure 2. Schematic diagram of the internal structure of the sprinkler head for rotating spraying

图 2. 喷头实现旋转喷洒内部结构示意图

可多方位位移的喷洒机构，装置能照顾到每一个区域的农作物，即可做着重喷洒同时也可做全方位覆盖喷洒，大幅提升了装置的功能价值，旋转式的喷洒机构，进一步加大了喷洒范围，使每个农作物都能茁壮成长。

4.3. 定时控制系统

农业生物菌剂自动喷洒装置的定时自动喷洒控制，以微控制器 MCU 或 PLC，加计时模块为核心，与泵执行机构相配合，结合农业工作场景环境，进行抗干扰、多时段优化设计，包括控制架构、定时逻辑、执行联动三部分，适合户外菌剂喷洒的实操需求。

(1) 核心控制硬件

主控单元：STM32 单片机，适合在大棚或园区工作，选用的 PLC 稳定抗干扰，支持多组定时、联动，与温室传感器等连接[8]。

计时模块：用单片机内部定时器，预设单次使用或循环使用时间长度，也可以加 RTC 实时时钟模块，DS3231 可设具体时间，如早 6 点、晚 5 点启动工作模式。

输入设置：支持按键控制，触摸屏或手机 APP 远程控制，可预设喷洒时间、单次喷洒时长、循环周期。

执行机构：选择继电器控制菌剂管路的接通与断开，隔膜泵精准控菌剂出量，防止回流。

(2) 完整控制流程

以大棚菌剂喷洒为例，其工作流程：

上电初始化→通过触摸屏设参数(早 6 点喷，单次 40 秒，每 10 小时循环一次)→主控 RTC 计时待命→到设定时间→启动隔膜泵 + 打开电磁阀→菌剂经管路雾化喷洒→达到单次时长→关闭泵 + 阀，停止喷洒→RTC 继续计时，到下一个周期重复→菌剂液位低或设备故障→停喷 + 蜂鸣报警，等待人工处理。

5. 与其他技术的比较研究

(1) 大部分的喷洒装置，喷洒机构由方形挂架、J 字形挂钩和喷头组成，喷头仅可手动调向实现有限角度喷洒，药液靠水泵和连接管输送，结构简单、功能单一，喷洒范围和方式无法灵活调整。而本生物菌剂自动喷洒装置的喷洒机构更复杂高效，设于移动块内部顶端两侧，核心含滑块、旋转电机等结构形成完整输送喷施回路，可以横向移动扩大喷施范围，360°喷头无死角横移旋转喷洒，回路密封高效、传输稳定、无泄漏。

(2) 农业植保喷洒装置虽标称可 360°调向，但喷头需人工手动调节，效率低、精准度差，遇风向突变难以及时调整，易出现喷洒盲区，且无法根据作物情况精准调量，易造成药液浪费或喷洒不足。而本生

物菌剂自动喷洒装置通过移位与旋转式喷洒机构协同作业,实现多方位、广范围精准喷洒,遇风向变化无需人工干预,可自动保障喷洒效果。

该装置整合移位机构与旋转式喷洒机构,通过机械自动化控制实现多方位、广范围的精准喷洒,装置的研发与应用,不仅为生物菌剂的科学施用提供了技术支撑,也为现代农业自动化喷洒设备的优化升级提供了新思路,对推动农业生产的提质增效与可持续发展具有重要现实意义。

6. 总结

本文对生物菌剂自动喷洒装置展开自动化设计研究,在已有的生产技术基础上,结合机械传动与自动化控制技术,融入可自由设定喷洒时间、间隔时长的定时器控制逻辑,通过计时模块与执行机构联动实现自动启停作业。研究分析了生物菌剂自动喷洒装置对全区域覆盖、精准施药、安全高效及场景适配的具体需求,破解设计中的痛点问题,将技术核心聚焦于喷洒均匀性提升、人工干预减少与作业安全保障的协同实现[9],明确装置的结构设计与功能实现要求,对产品的核心机构(移位机构、喷洒机构)和定时控制方式进行细致研究,深化其自动喷洒核心功能,并在实际应用需求基础上优化操作便捷性与可视化监测功能,将装置分为移位驱动模块、旋转喷洒模块、动力传输模块及控制监测模块,提高生物菌剂喷洒的自动化水平与作业效率,为现代农业生物菌剂施用提供高效、安全、精准的技术装备支持。

参考文献

- [1] 康雯. 生物菌剂对连作芹菜根际微生态及生长发育的影响[J]. 西北园艺, 2026(1): 53-56.
- [2] 陈浩, 周云鹏, 张泽兰, 等. 生物菌剂对马铃薯生长和产量的影响[J]. 吉林蔬菜, 2025(4): 47-49.
- [3] 吴晓伟, 骆庭宝, 孙友强, 等. 基于人工智能技术的温室农药喷洒行为监管系统研究[J]. 现代农业科技, 2024(24): 165-169.
- [4] 朱晨曦. 基于机器视觉的黄瓜大棚农药自动喷洒装置设计[J]. 南方农机, 2022, 53(18): 67-69.
- [5] 刘瑞琪, 韦玉海, 余玲, 等. 一种农作物自动喷洒小车设计[C]//美国信息工程研究院. 新加坡管理与体育科学学院. 2018年第七届 ICASS 社会科学与信息国际会议(SSSI 2018)论文集. 柳州: 广西科技大学电气与信息工程学院, 2018: 139-142.
- [6] 郭倩茹, 陈天晓, 赵丽, 等. 一种微生物菌剂降解减量含油污泥的效果评价[J]. 油气田地面工程, 2026, 45(1): 40-45.
- [7] 张嘉睿, 伍梓瑜, 周旭, 等. 基于 IoT 技术的智能大棚农药喷洒装置研究[J]. 南方农机, 2025, 56(15): 44-47.
- [8] 麻桃花, 王晓蓉. 基于单片机的一体化播种机控制系统设计[J]. 电脑知识与技术, 2026, 22(2): 95-96.
- [9] 张小白. 基于无人机精准喷洒技术的苹果病虫害防治方法[J]. 中国林业产业, 2025(4): 42-43.