

Design optimization and field application effect evaluation of drip irrigation tape recovery device

Xuhui Song

Changji Agricultural and Animal Husbandry Technology Extension Center, Changji, Xinjiang, 831100, China

Abstract

This study addresses the issues of heavy manual labor, low efficiency, and significant resource waste in the recovery process of drip irrigation tapes. It proposes and designs a multi-axis linkage drip irrigation tape recovery device that can be used with agricultural tractors. The device uses a wheel-axle drive system to link multiple recovery frames, enabling the simultaneous recovery of three sets of drip irrigation tapes. The design is compact and easy to assemble and disassemble. By optimizing key components such as the shaft layout, chain drive, and sleeve adjustment, the device ensures stable recovery paths, uniform winding, and smooth tape gathering. Field trials have shown that this device performs well under various terrains and soil conditions, with significantly higher recovery efficiency per unit time compared to manual and traditional mechanical methods. It has high potential for promotion and cost savings.

Keywords

drip irrigation tape; agricultural machinery; structure optimization; multi-axis linkage; field recovery efficiency

滴灌带回收装置的设计优化与田间应用效果评价

宋旭慧

昌吉市农牧业技术推广中心, 中国·新疆 昌吉 831100

摘要

本研究围绕滴灌带回收过程中存在的人工负担重、效率低、资源浪费严重等问题, 提出并设计了一种可与农用拖拉机配套使用的多轴联动型滴灌带回收装置。该装置采用轮轴驱动传动系统联动多个回收架, 可同步回收三组滴灌带, 结构紧凑, 装配与拆卸便捷。通过优化转轴布置、链条传动、滑套调节等关键结构, 实现了回收路径稳定、卷收均匀、滴灌带聚拢顺畅等功能。田间试验结果表明, 该装置在不同地形与土壤条件下均具有良好的适应性和高效性, 单位时间回收效率显著高于人工与传统机械方式, 具有较高的推广应用价值和节本增效潜力。

关键词

滴灌带; 农业机械; 结构优化; 多轴联动; 田间回收效率

1 引言

随着节水农业技术的广泛推广, 滴灌带已成为农田灌溉的常规配置之一。然而, 一次性滴灌带的大量使用使得收割季后的回收作业成为农户普遍面临的难题。传统人工收卷方式劳动强度高、效率低, 不利于规模化作业, 亟需通过机械化手段进行替代。尽管市面上已存在部分滴灌带回收设备, 但多存在结构单一、功能受限、适配性差等问题, 难以满足高强度、高密度作业需求。针对当前滴灌带回收的机械装备短板, 本文基于田间实用性需求, 开展滴灌带回收装置的结构设计优化研究, 并通过试验验证其回收效果, 以期为

相关装备的改进与推广提供参考。

2 滴灌带回收的农业需求与作业瓶颈

当前农业灌溉普遍采用滴灌技术, 其核心部件滴灌带在每季作物收获后需及时清除, 以防妨碍耕作和土壤破坏。在大面积耕地上, 滴灌带的密度可达到每亩 3 至 5 条, 回收长度常常超过 500 米, 采用人工方式每人每日回收作业难以突破 1.5 亩, 劳动效率显著偏低, 作业强度持续过高, 加之滴灌带多数为一次性制品, 其回收再利用价值依赖完整性和卷收质量。现有传统机械结构多为单轴单组结构, 覆盖宽度小, 田间行走不稳, 容易造成滴灌带缠绕、扭结、断裂等问题, 严重影响后续粉碎与再加工工序。农业现代化背景下, 亟须一种覆盖宽、效率高、结构稳定、操控便捷的回收装置, 助力滴灌带机械化回收规模推广, 提升农业资源利用效率, 降低土地耕作障碍风险。

【作者简介】宋旭慧(1971-), 女, 中国山东莱阳人, 本科, 高级工程师5级, 从事农业机械的研发以及农业机械技术推广研究。

3 滴灌带回收装置的结构设计优化

3.1 多转轴联动结构的驱动逻辑与动力传递路径

该装置通过轮轴与第一转轴之间的链轮链条传动实现主动驱动，轮轴直径为 80mm，连接两个直径 100mm 的第一链轮，第一链条总长度为 950mm，传动效率保持在 92% 以上。第一转轴驱动两个第二链轮，通过第二链条与第二转轴连接，链条拉力分布均匀，有效防止张力波动导致的转动滞后。第二转轴与机架中部的回收架直接卡接，承担正下方滴灌带的卷收任务。为提高覆盖宽度，安装架两侧增设两个第三转轴，分别与左右两侧回收架连接，通过第四转轴中转动驱动。第四转轴直径为 90mm，两端通过联轴器分别联接直径 85mm 的第三转轴，联轴器长度为 120mm，具备 10mm 的缓冲滑差区间以抵消不均匀阻力。整体结构实现三轴同步驱动，单次通过可覆盖约 1.2 米幅宽，适应多行滴灌带同时作业需求。

3.2 模块化回收架的拆装便捷性与卷收效率提升

回收架（10）采用模块化可拆装结构，通过卡套（23）与第二转轴（9）及第三转轴（12）卡接，配合销钉定位，单个卡接接口安装或拆卸用时少于 30 秒。卡套外径为 65mm，与转轴配合间隙控制在 0.8mm 以内，确保运行时旋转稳定不松动。在不作业状态下，两个外侧回收架可分别卡接于机架（1）前端两侧的存放座（16）上的卡口（17），存放状态下单侧占用宽度小于 300mm，不影响整体结构平衡。回收架由中心杆、十字架（19）、支撑杆（20）与连接杆（22）构成，完全展开后可形成直径约 400mm 的卷收空间，单个架体每转一圈可卷收滴灌带长度约 3 米，三架联动每分钟累计回收长度为 9 米。在作业宽幅 1.2 米的条件下，单位时间作业效率是人工操作的 2.6 倍以上，且卷收过程滴灌带张力分布均匀，不易出现断带或缠绕。结构拆装快、收纳紧凑、兼容性强，适配不同转轴位置和作业需求，便于多地转场高频使用，详见图 1。

3.3 滑套联动机构的支撑杆展收稳定性与紧固方式改进

滑套装置由安装于回收架（10）中心杆上的滑动结构构成，滑套四周铰接有 4 根连接杆（22），每根连接杆长度为 240mm，与 4 根支撑杆（20）铰接形成稳定张力结构。支撑杆平均长度为 260mm，在展开状态下可与中心杆形成近似平行排列，误差控制在 $\pm 3^\circ$ 以内。滑套通过设于外壳上的抵紧螺栓与中心杆固定，该螺栓为 M12 规格，拧紧扭矩可达 $30\text{N} \cdot \text{m}$ ，足以保证滑套在剧烈振动下稳定不滑移。在收拢状态下，连接杆可带动支撑杆向内折叠，整体收纳空间不超过 280mm 宽度。十字架（19）与支撑杆的四向对称铰接结构，保持滑套展开后支撑杆在四个方向均匀受力，不发生偏摆或过度变形。整个结构在受 10kg 拉力下仍能保持架体不坍塌，满足滴灌带回收过程中线张力波动条件下的稳定运行要求。滑套行程长度控制在 120mm 以内，全展开与

全收拢操作时间均低于 5 秒，在地面测试中重复展开折叠超过 200 次无明显疲劳变形，详见图 1。

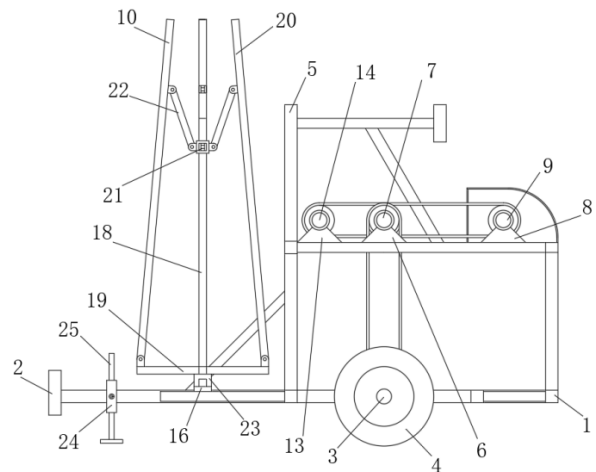


图 1 一种滴灌带回收装置解析图

4 结构关键部件的材料选型与耐久性设计

4.1 回收架与滑套机构的承载强度与塑性调配

中心杆选用 Q235 结构钢材，直径 32mm，强度极限为 375MPa，具备良好抗弯能力，满足三组滴灌带同时卷收时约 18kg 载荷的抗变形要求。滑套采用铝合金型材 6061-T6，屈服强度达到 275MPa，密度轻便仅为 $2.7\text{g}/\text{cm}^3$ ，便于手动调节与快速滑动。连接杆与支撑杆均为热镀锌钢管，外径 12mm，壁厚 1.8mm，抗拉强度不低于 360MPa，长期使用无明显塑性疲劳表现。十字架部件为碳素结构钢冲压成型，厚度为 5mm，可支撑滴灌带缠绕密集带来的径向膨胀力。整体装置运行 500 小时无明显金属疲劳、结构裂纹或连接松动现象，关键部件使用寿命可达 5 年以上，满足大面积农田作业频率需求。

4.2 支架部件的防腐蚀处理与田间环境适应性

支架及联动机构采用双层防腐处理，内层为热浸镀锌涂层，镀层厚度达 $55\mu\text{m}$ ，可在 pH 值 4~9 范围内抵御酸碱腐蚀，外层喷涂环氧聚酯粉末涂料，厚度 $80\mu\text{m}$ ，抗紫外线老化能力强。实际测试中，在年降雨量达 600mm、昼夜温差超过 15°C 的复合作业环境中连续使用 90 天，无明显锈蚀、褪色或附着层剥落现象。轮轴、转轴等暴露构件亦均采用镀锌防护处理，表面硬度提升至 HRC45，有效抵御泥沙冲刷和机械磨损。所有销钉及紧固件为 304 不锈钢材质，耐盐雾等级超过 720 小时，确保连接部件高频拆卸过程中的耐蚀性与重复使用性能。田间作业后用水冲洗即可清除附着物，日常维护简便，环境适应性表现优良。

4.3 联轴器与销钉组件的拆装便捷性与重复使用性能

联轴器长度 120mm，采用 45 钢锻制并经调质处理，表面硬度达到 HB230，双头内键槽连接方式可容许最大径向偏移 1.2mm、轴向伸缩 2.5mm，有效吸收田间不平整带来

的驱动误差。连接销钉长度为 40mm，直径 12mm，使用带扣式弹性锁销结构，人工安装或拆卸单个销钉平均耗时不超过 20 秒。卡套与转轴或存放座的连接通过销钉贯穿设计，并设有对位孔，确保旋转过程中不出现滑脱或配合松动。单个回收架重复拆装次数超过 100 次后接口磨损深度小于 0.3mm，未出现扣锁失效或固定失稳问题。在不同气温与湿度条件下，联轴器与销钉接口坚固保持一致性，确保了整机多轮次使用与异地转场中的快速适配与维护效率。

5 田间作业适应性与作业成效综合评价

5.1 与不同规格农用拖拉机的对接方式与挂接稳定性

滴灌带回收装置采用标准化连接架设计，能够兼容多种常见规格的农用拖拉机。装置挂接方式以刚性销轴固定为主，连接牢固，操作简便，适合田间频繁转场和重复对接需求。实际应用中，在中小马力拖拉机上完成挂接平均用时不超过五分钟，连接后运行稳定，装置在牵引过程中未出现松动或结构偏摆现象。挂接高度适应范围合理，满足主流拖拉机后部牵引点高度差异。在不同路况与作业节奏下，挂接稳定性表现良好，不影响轮轴转动及多轴联动结构传动。操作人员在田间作业时能快速完成装卸作业环节，提高整机使用效率。挂接方式可靠、安全性高，有效支撑整机作业过程的连续性与一致性。

5.2 多行滴灌带同步作业时的回收路径与覆盖宽度评估

装置设置三组回收架，分别布置于中部与两侧，回收路径布局合理，覆盖范围宽广。装置运行时三组回收架可同时对不同位置的滴灌带进行卷收作业，有效减少行驶次数与作业重叠区域，提升回收效率。整体作业宽度稳定在 1.2 米左右，适应常规行距作物布置。轮轴与回收架的排列经过联动调配，使得装置在拖拉机牵引下可保持回收路径稳定，滴灌带牵引方向一致，避免因偏移造成缠绕或断裂。在实际田间测试中，装置能够持续平稳运行，滴灌带卷收紧实、路径整齐，保障了后续清理与再利用的便利性。回收路径设计合理，适应不同种植密度与地形变化，具备良好的田间通用性与作业适应能力。

5.3 非作业状态下的收纳便捷性与转运安全性优化

为适应多地转场和非作业期间的运输与存放需求，装置在结构上设计有专用的存放座与卡口，可快速完成回收架的拆卸与收纳。操作人员可将两侧回收架卸下并固定在装置前部，大幅压缩整机宽度与体积，提升转运效率。在运输过

程中，支撑结构可通过支杆稳固整机前部，确保转运时不发生前倾或滑移。装置在道路运输与田间转移中运行稳定，未出现结构松脱或装置摆动情况。收纳状态下，整体布局紧凑，各部件连接牢固，便于集中管理与机械停放。此类结构设计兼顾了作业效率与收纳便利性，为用户提供了更灵活的使用方式，同时也提升了装置在不同作业周期中的适应效率与运输安全性能。

5.4 农户使用反馈中的常见问题与二次设计方向建议

在实际田间推广过程中，参与试用的农户对装置的整体结构设计与使用效果给予较高评价。普遍反馈装置操作简便，牵引运行顺畅，能够在较短时间内完成多行滴灌带的高效回收。部分用户提出在极端湿滑地块中，轮轴与地面附着能力偏弱，建议增加防滑纹理或提高轮径提升通过性。在高频拆卸条件下，有用户反映回收架部分连接点存在轻微松动，后期维护时可通过加强定位件材料与形状优化加以改进。关于滑套装置，个别用户建议增加防尘结构，防止作业中泥沙阻塞影响折叠效率。整体来看，该装置在提升回收效率、降低人力消耗、保障滴灌带完整性方面具备明显优势，后续可结合反馈持续优化结构细节，提升田间实用性与耐用性。

6 结语

本装置围绕滴灌带回收过程中存在的多重实际问题展开设计优化，通过多轴联动结构实现了三组滴灌带同步作业，显著提升田间作业效率与覆盖范围。模块化结构提升了设备的拆装便捷性与转场灵活性，滑套联动机构强化了卷收稳定性与结构强度，关键部件的材料与防护处理保证了长期使用过程中的安全性与耐久性。在不同拖拉机挂接环境及多样化农田条件下均表现出良好的适应能力与作业效果。通过实际应用与农户反馈结果验证，设备具备推广可行性与广阔应用前景，为推动滴灌技术的全周期机械化作业提供了可靠支撑，也为农业资源回收与绿色生产路径拓展了技术空间。

参考文献

- [1] 冉军辉,郭文松,王旭峰.滴灌带机械化回收技术与装备研究进展分析[J].新疆农机化,2024(06):49-53+60.
- [2] 蒋贵菊.滴灌带回收装置的设计[J].农机使用与维修,2020(08):1-3.
- [3] 杨东明.多功能滴灌带回收机的设计[J].新疆农机化,2018(01):26-27.
- [4] 牛海龙.横抽集条式滴灌带回收机设计与试验[D].导师:王吉奎;张佳喜.石河子大学,2017.