

山地果园无动力运输机设计

刘杰 张衍林 张闻宇 孟亮

华中农业大学工学院, 武汉 430070

摘要 针对大坡度山地果园运输难、耗能高的问题,设计1种依靠货物自身重力运输的山地果园无动力运输机。运输机主要由自适应阻尼装置、遥控急刹装置、遥控控制系统、增速装置、冷却风扇、运输车等组成,能实现一端运输车在货物重力作用下沿 $20^{\circ}\sim 50^{\circ}$ 坡地或直线水泥槽内安全匀速下行,另一端带着空运输车上行。该运输机仅需1个12 V电瓶提供遥控制动时所需动力,通过遥控器遥控急刹装置,能实现运输机在任意点的启停。试验表明,在长时间运行时,维持制动毂温度小于 50°C 状态下,运输机能稳定以最大速度 0.7 m/s 匀速运行,最大载荷为1 t。该运输机工作可靠、运行平稳、操作简单、无需运输动力,适合偏远大坡度山地果物的运输,节能环保。

关键词 山地果园; 无动力运输机; 大坡度; 交替钢丝绳槽轮; 遥控急刹装置

中图分类号 S 229⁺.1 **文献标识码** A **文章编号** 1000-2421(2017)01-0117-06

我国是柑橘种植大国,柑橘具有较高的营养价值和药用价值,深受广大消费者喜爱^[1],但有限的可耕地面积使得我国许多柑橘园位于偏远山区或台地^[2]。这些地区果物运输困难、效率低,并且由于我国特有的柑橘种植条件,很难引进国外的果园运输机^[3]。在现代农业产业技术建设专项资金资助下,我国已经研发了多种适用于 $20^{\circ}\sim 50^{\circ}$ 坡地的果园运输机^[4],如履带式运输机^[5]、单轨运输机^[6]、双轨运输机^[7]、索道牵引运输机^[8]等,这些运输机需要电能或者燃油作为动力。但还没有适应大坡度的无动力运输机,而这些大坡度区域恰好是柑橘种植的主要地区。目前农村青壮劳动力向城镇输出,使得农村劳动力紧缺,因此,需要易于操作、使用成本低廉的运输机解决偏远地区大坡度山地果园的运输问题。柑橘园作业机械化不但可以实现柑橘园的规范化管理,大幅度地降低果农的劳动强度、节约生产成本、提高生产效率,还能减少柑橘病虫害的发生,提高柑橘的质量。为此,本研究设计1种适用于大坡度山地果园的无动力运输机,依靠果物自身重力提供动力,以降低柑橘采摘后的运输成本和劳动强度,增加果农收入。

1 材料与方法

1.1 整体结构

山地果园无动力运输机主要由控制部分和运输部分组成。控制部分包括自适应阻尼装置、遥控急刹装置、遥控控制系统、增速装置等。运输部分包括交替钢丝绳槽轮、运输车、安全保障装置等构成。整机结构如图1所示,图2为运输机实物图。

1.2 工作原理

在已有的自适应阻尼装置的基础上设计1种山地果园无动力运输机,该运输机主要靠运输机运输货物自身的重力向下运送果物。在自适应阻尼装置作用下控制运输车匀速向下行驶,通过遥控器遥控急刹装置和配重块配合实现运输车在任意点的启停,整个控制系统仅需1个12 V电瓶提供能源。运输机启停方便、操作简单。运输机整机传动路线如图3所示。

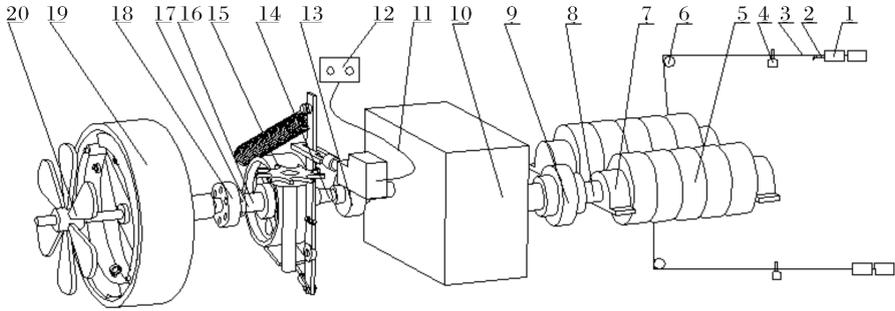
运输机工作时,装有货物的运输车在自身重力作用下向下运动。一方面通过交替钢丝绳槽轮对“8”字形交错缠绕钢丝绳带动另一侧空运输车向上运动,交替钢丝绳槽轮之间无相对滑动;另一方面槽

收稿日期: 2016-01-04

基金项目: 现代农业(柑橘)产业技术体系建设专项(CARS-27)

刘杰, 硕士研究生, 研究方向: 现代农业装备技术. E-mail: 392415934@qq.com

通信作者: 张衍林, 教授, 研究方向: 柑橘生产机械化和生物质能装备. E-mail: zhangyl@mail.hzau.edu.cn



1.运输车 Carriages; 2.安全保障装置 Anti-drop device; 3.钢丝绳 Wire rope; 4.行程开关 Position switch; 5.交替钢丝绳槽轮 Wire rope mutual entanglement sheave; 6.导向轮 Steerable wheel; 7.轮对轴承 Sheave bearing; 8.槽轮轴 Sheave shaft; 9.联轴器 3 Coupling 3; 10.增速箱 Gearbox; 11.控制线缆 Control cable; 12.遥控控制箱 Control boxes; 13.联轴器 2 Coupling 2; 14.间隔套筒 1 Spacer sleeve 1; 15.遥控急刹装置 Fast brake apparatus; 16.间隔套筒 2 Spacer sleeve 2; 17.刹车轴 Brake shaft; 18.联轴器 1 Coupling 1; 19.自适应阻尼装置 Adaptive gravity damping device; 20.冷却风扇 Cooling fan.

图 1 样机整机结构示意图

Fig.1 Structure diagram of mountain orchard transporter



图 2 样机整机实物图

Fig.2 The prototype of the orchard transporter

在运输过程中,将果园分片,通过遥控装置以及最小配重块(最小配重块是使得运输机运行的最小重物块,最小配重可根据运输机工作环境选取,其质量只需克服阻力使运输机运行)采用单边运输的方式,在左边园区单边运输时,左边运输车装满货物行驶到终点卸货后,放在右侧运输车内的配重块将左侧运输车带动至所需要装运货物的地点,通过遥控装置,控制遥控急刹装置,实现运输机的停车装货、再启动向下运输。右边区域运输时只需将配重块放在左侧运输车,按照左侧运输的方式即可。整个运输过程操作简单、单次运载量大、效率高、节能减排。

1.3 主要技术参数

经过反复改进设计和试验,确定了运输机的各项技术参数指标:运输车尺寸(长×宽×高):1 000 mm×720 mm×750 mm;遥控急刹装置配套电源,12 V;整机质量≤1 000 kg;运输车最佳运行速度:0.65~0.80 m/s;单个运输车承载质量,1 000 kg;运输车运行坡度:20°~50°。

1.4 运输车关键部件设计

1) 交替钢丝绳槽轮对装置。交替钢丝绳槽轮由 2 个包含 4 个槽的铸铁轮组成,钢丝绳在槽轮对上呈“8”字形交错缠绕,从而保证钢丝绳与槽轮之间不打滑^[9]。交替钢丝绳槽轮将下行的运输车的动力传递给上行运输车以及驱动控制部分,控制运输机的转速。

2) 自适应阻尼装置与配重。自适应重力阻尼装置由支撑板、制动蹄、定位销、回位弹簧等构成旋转

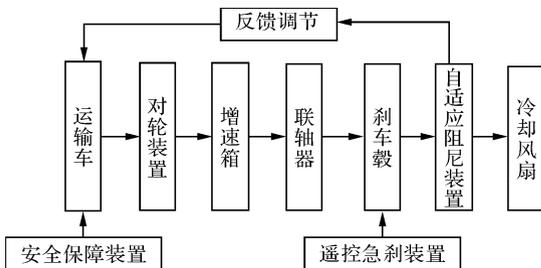


图 3 运输车工作流程图

Fig.3 Flow-sheet of the transporter

轮的转速经过增速箱放大传给自适应阻尼装置,带动制动蹄旋转。当转速达到一定值时,制动蹄在离心力的作用下克服弹簧力沿径向甩出,与固定的制动毂摩擦克服运输车的重力加速度,当达到某一临界速度(设定 0.8 m/s)时,自适应阻尼装置提供的阻力与运输车重力动态平衡,运输车保持匀速运动。在增速箱与自适应阻尼装置之间装有遥控急刹装置,可实现运输机的启停和随时停车的功能。

部件^[10]。自适应阻尼装置的制动蹄固定在制动轴上,随制动轴一起转动;制动毂固定在机架上,承受制动时的旋转扭力。当运输车向下运动速度逐渐增大,制动毂的摩擦衬片与制动蹄之间摩擦产生的扭矩也逐渐增大,当运输车速度达到设定值后,衬片与制动蹄之间摩擦产生的扭矩与运输车的重力矩相平衡,从而反馈调节运输车的行驶速度^[11-12]。根据山地果园无动力运输机的设计要求以及运输机的最大运行速度不超过 0.8 m/s,并能使自适应阻尼装置制动毂温度不至于过高,根据传动关系,槽轮直径为 168 mm,自适应阻尼装置在有冷却装置下能保持温度平衡,制动蹄的最大转速为 820 r/min,确定增速箱的传动比为 1:9。假定运输机在运输时两侧山坡坡度均为 θ ,回位弹簧弹力 F_S 远小于离心力,考虑运输机处于匀速制动阶段,货物提供的重力力矩与自适应阻尼装置提供的阻力矩相平衡:

$$G_1 r (\sin\theta - \mu_1 \cos\theta) - G_2 r (\sin\theta + \mu_1 \cos\theta) = \frac{\mu R_1 R_2 m}{r^2} v^2 i^3 - 4\mu R_2 F_S \sin\delta i$$

式中: r 为槽轮半径; θ 为山坡坡度; μ_1 为运输车与地面摩擦系数; R_1 为制动蹄回转半径; R_2 为摩擦衬片摩擦面半径; v 为运输车速度; i 为增速箱增速比; μ 为摩擦衬片与制动毂之间的摩擦系数; m 为单个制动蹄质量。可通过运输车的速度选择合适的配重块。

3) 遥控控制系统。为了方便果农操作,山地果园无动力运输机采用遥控装置控制整个系统^[13]的启停,如图 4 所示。当运输车行驶至行程开关处,运输车下的托板压倒行程开关,断开行程开关立即失电不再吸合,实现运输车停车制动,也可以通过遥控器控制运输车在任意点的启停^[14]。控制系统接收信号范围可达 1 000 m,能够覆盖运输机工作范围。整个控制系统仅需 1 个 12 V 电瓶提供遥控

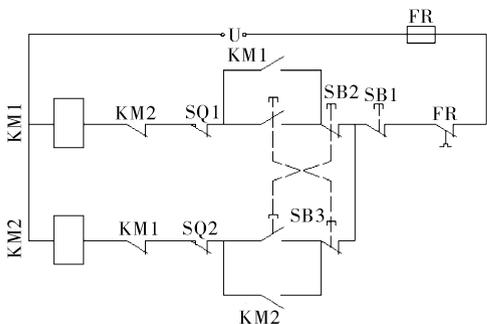
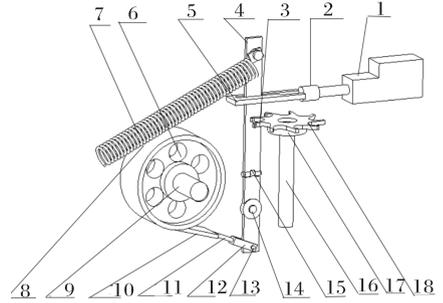


图 4 遥控控制系统

Fig.4 Telecontrol control system

制动时所需动力,电瓶只需启停时供电,电瓶可工作时间长,清洁、耗能少。

4) 遥控急刹装置的设计。遥控急刹装置主要由电推杆、移动卡槽、操纵杆、刹车弹簧、刹车片、抬升弹簧、飞轮盘、棘轮、回位弹簧等构成,其结构示意图如图 5 所示。



- 1.电推杆 Electric drive pusher; 2.万向头 Universal joint; 3.回位弹簧 Return spring; 4.操纵杆 Operating lever; 5.移动卡槽 Moving groove; 6.刹车盘 Brake drums; 7.刹车弹簧 Brake spring; 8.抬升弹簧 Uplift spring; 9.刹车轴 Brake shaft; 10.刹车片 Brake facing; 11.刹车片调节螺栓 Brake facing adjusting bolt; 12.连接套 Connecting sleeve; 13.销轴 Pin shaft; 14.纵向销轴 Portrait pin shaft; 15.横向销轴 Landscape pin shaft; 16.支撑杆 support rod; 17.棘轮 Ratchet; 18.齿盘 Fluted disc.

图 5 遥控急刹装置结构示意图

Fig.5 Structure diagram of fast brake apparatus

遥控急刹装置的工作原理为:刹车拉簧 7 通过杠杆原理为刹车机构提供动力,在该动力的作用下,刹车片与刹车毂抱死从而实现运输机的刹车制动。按下遥控控制开关的启动按钮,电推杆 1 收缩,拉动移动卡槽 5 向后移动,卡在移动卡槽内的操纵杆 4 随移动卡槽 5 一起向后运动,操纵杆通过杠杆原理,将刹车片 10 向上推起,在抬升弹簧 8 作用下不再与刹车盘 6 接触,电推杆 1 收缩到指定长度时,操纵杆 4 被卡在只能逆时针转动的棘轮 17 和齿盘 18 组成的飞轮盘内,在货物自身重力作用下,运输机启动,正常运行。当运输机运行到终点触动行程开关时,电推杆 1 推出,由于飞轮盘不能顺时针方向转动,因此,操纵杆 4 上端在电推杆的作用下沿横向销轴 15 转动,操纵杆 4 沿着齿盘 18 的齿向齿边缘移动,脱离移动卡槽 5 前端卡槽,在后端卡槽中,在刹车弹簧 7 的作用下迅速带动刹车片 10 抱死刹车盘 6 达到快速刹车,当电推杆 1 伸长到指定长度后,在回位弹簧 3 作用下,将操纵杆 5 上端拉入前端卡槽,为运输机启动做准备。在整个运输过程中也可以通过遥控控制开关控制运输车在任意点的启停。遥控急刹装

置为机电一体化机构,刹车制动部分为机械操作,可靠性高,相对于之前设计的刹车装置,该刹车装置刹车过程迅速灵敏,大大缩短了刹车距离,避免事故的发生。整个运输过程为遥控控制,操作过程方便、简单。

5)安全保障装置。山地果园无动力运输机在运输时,如果发生意外情况,如牵引钢丝绳断裂,安全保障装置弧形勾,会在重力作用下将运输车钩在其行程上设置的支撑轮上,如图6所示,避免造成更大的安全事故,提高了整个系统的安全性能^[14]。

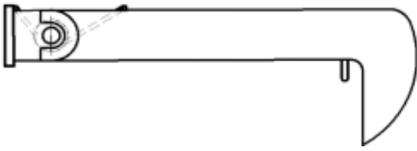
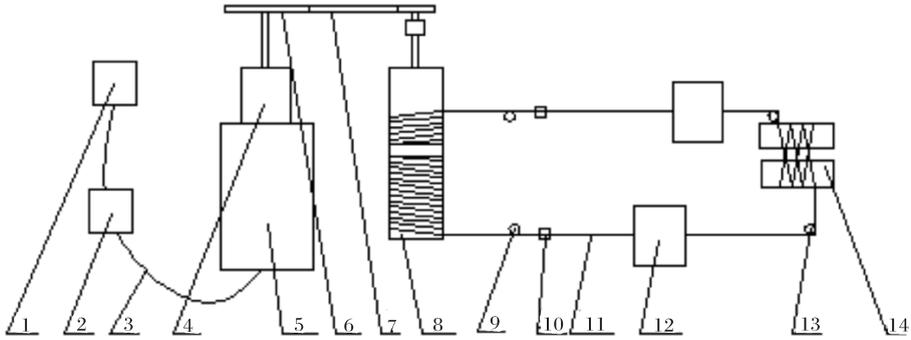


图6 安全保障装置弧形勾结构图

Fig.6 Structure diagram of safety and security curved hook device



1.遥控控制箱 Control boxes; 2.变频器 Inverter; 3.控制线缆 Control cable; 4.减速箱 Reduction box; 5.电机 Motor; 6.链轮 Chain wheel; 7.链条 Chain; 8.卷扬滚筒 Roller of the windlass; 9.偏置销 Pin offset; 10.钢丝绳 Wire rope; 11.行程开关 Position switch; 12.运输车 Carriages; 13.导向轮 Steerable wheel; 14.槽轮 Sheave.

图7 运输机试验台架示意图

Fig.7 Structure diagram of experimental platform

的频率来控制自适应阻尼装置制动的蹄转速,试验中所选电动机功率为2.5 kW,最大转速为1 400 r/min,通过减速箱以及链传动,将动力传递给运输车。试验时需要使遥控急刹装置失电,以免造成终点停车或者中途停车卷扬机急需工作而刹车毂抱死而造成危险。调节变频器频率5~35 Hz,间隔1 Hz,每次试验除掉间隔时间,连续运行5 min,模拟运输机在200 m坡地连续工作,停车5 min,模拟运输机装货卸货,1次试验运输机工作1 h。在制动鼓温度有上升范围内变频器频率以0.5 Hz变化,确定自适应阻尼装置起作用时的运输车的速度。

1.5 试验设计

运输机在运行过程中,自适应阻尼装置长期处于工作状态,制动蹄与制动毂在工作时产生摩擦,会导致刹车片发热,发热的刹车片由于磨损和升温,导致实际产生的扭矩并不能维持运输车在理论速度稳定行驶,降低了系统的安全性。因此,需要通过试验,在实际工作情况下得到运输车运行速度与刹车毂温度的关系,寻找最合适的运输车运行速度。加工好的样机安装在华中农业大学山地果园运输机示范园内,通过变频器控制卷扬机的转速来控制运输车的速度,以控制自适应阻尼装置制动蹄的速度,通过转速仪、扭矩传感器以及温度传感器分别来测量自适应阻尼装置的转速、所提供的扭矩以及制动毂的温度,并记录,运输机试验台架如图7所示。

由于运输园内运输车水泥槽距离较短,需要通过控制电动机正反转来模拟运输机在200 m大坡地的实地运输。采用单因素试验,通过控制变频器

2 结果与分析

通过调节变频器速度,换算得到运输车速度与制动毂温度关系的部分试验数据(表1)。

试验表明,运输车在速度小于0.61 m/s时,自适应阻尼装置的制动蹄未与制动毂摩擦,此时,自适应阻尼装置未起作用,制动毂温度基本不变化。当运输车速度大于0.8 m/s时,自适应阻尼装置的制动蹄与制动毂之间的摩擦力随运输车速度增加而增大,使得制动毂温度随速度的增大而急剧上升,并且模拟卸货停车5 min后,制动毂的温度基本不下降,

表1 制动毂温度随运输车速度变化情况

Table 1 Brake drum temperature change with vehicle speed experimental data

℃

| 运输车速度/(m/s) Speed of the carriages | 时间/min Time | | | | | | | | | | | | |
|---------------------------------------|-------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| | 0 | 5 | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 | 35 | 40 | 45 | 50 | 55 | 60 |
| 0.611 | 25 | 26 | 26 | 27 | 26 | 27 | 26 | 28 | 26 | 27 | 25 | 27 | 26 |
| 0.614 | 26 | 30 | 29 | 31 | 30 | 32 | 30 | 33 | 31 | 33 | 31 | 33 | 31 |
| 0.657 | 22 | 26 | 31 | 28 | 32 | 30 | 34 | 29 | 34 | 31 | 34 | 30 | 34 |
| 0.665 | 25 | 34 | 33 | 38 | 35 | 38 | 36 | 38 | 36 | 38 | 36 | 38 | 36 |
| 0.676 | 23 | 33 | 35 | 40 | 38 | 43 | 39 | 46 | 43 | 48 | 42 | 48 | 42 |
| 0.689 | 28 | 43 | 49 | 46 | 50 | 46 | 49 | 46 | 50 | 46 | 49 | 45 | 50 |
| 0.776 | 25 | 44 | 50 | 56 | 55 | 56 | 55 | 56 | 55 | 56 | 55 | 56 | 55 |

这会影晌长时间连续工作的自适应阻尼装置的寿命。当运输车速度为 0.66 m/s 时,自适应阻尼装置的制动蹄与制动毂开始摩擦,制动毂温度开始上升。按照设计要求,自适应阻尼装置最大温度不超过 50 ℃,通过模拟运行中可知,当运输车速度为 0.7 m/s 左右时,能保持制动毂的温度稳定在 50 ℃ 范围内,此时运输机的运载量为 1 525 kg,能够达到设计要求。

3 讨论

在已有的山地果园无动力运输机样机的基础上对各部件参数和工艺进行优化,在满足运输车使用要求和稳定性的前提下,进一步降低运输机的成本。阻尼调速装置在制动过程中摩擦生热,样机试验中当运输车速度达到 0.8 m/s 时并不能使制动毂温度保持低于 50 ℃。因此,需要改进阻尼调速装置的参数,如改变制动毂的半径、改变弹簧的弹性模量等。受试验条件的限制,未对运输车阻尼调速装置做疲劳试验,后续研究将进行长时间、多次数的试验,得出阻尼调速装置磨损的规律,以进一步优化阻尼调速装置。

运输车在运行过程中由于所设计的增速箱阻力较大,影响了运输机的正常启动。因此,在后续运输机的制造过程中需要改进运输机的参数达到减少系统阻力的目的。该运输车无需额外的电能或者燃油为运输车提供动力,节省了运输成本,可实现载荷 1 000 kg,在 20°~50°坡地行驶,在保持制动毂温度小于 50 ℃ 的状态下,运输车以 0.7 m/s 最大速度行驶,为大坡度山地以及台地运输难、耗能高的问题提出了新的解决办法,丰富了已有的运输车类型。同时还应当拓展思路,在已有的山地果园无动力运输

机的基础上方便地搭载其他柑橘园类机械联合作业,进一步提高柑橘园生产的机械化程度。该运输机整机质量较小,控制部分固定在山顶,添加防护罩等措施可以使其免受风雨,使用寿命较长,采用无轨水泥槽运输,降低了轨道安装成本以及安装施工的难度。该运输车为无人驾驶运输车,具有较高的安全性,通过遥控控制系统和配重块可以实现运输车在任意点的启停,操作方便简单,具有很好的应用前景。

参 考 文 献

- [1] 丁晓波,张华,刘世尧,等.柑橘果品营养学研究现状[J].园艺学报,2012,39(9):1687-1702.
- [2] 粘雅玲,沈嵘枫,张小珍,等.果园运输机械研究进展[J].农业技术与装备,2014,22(11):24-28.
- [3] 吴伟斌,冯运琳,朱余涛,等.山地果园轮式运输车自装卸装置的设计与分析[J].华中农业大学学报,2016,35(4):113-120.
- [4] 洪添胜,杨洲,宋淑然,等.柑橘生产机械化研究[J].农业机械学报,2010,41(12):105-111.
- [5] 朱余清,洪添胜,吴伟斌,等.山地果园自走式履带遥控急刹装置抗侧翻设计与仿真[J].农业机械学报,2012,43(S):18-23.
- [6] 张衍林,樊敏洲,李敬亚,等.一种山地单轨道果园运输车:101544235[P]. 2009-09-30.
- [7] 欧阳玉平,洪添胜,马煜东.山地果园双轨运输车牵引系统动力学仿真与试验[J].系统仿真学报,2015,27(7):1502-1510.
- [8] 洪添胜,苏建,朱余清,等.山地橘园链式循环货运索道设计[J].农业机械学报,2011,42(6):108-111.
- [9] 李善军.自走式双轨道果园运输车果园运输车槽轮特性分析与实验研究[D].武汉:华中农业大学,2012.
- [10] 王宣锋.鼓式制动器动力学性能的研究[D].哈尔滨:哈尔滨工业大学,2006.
- [11] 孟庆健.大坡度山地果园运输车自适应阻尼装置的研究[D].武汉:华中农业大学,2014.
- [12] 姚明,王国林,周孔亢,等.车辆鼓式制动器结构参数的稳健优化设计[J].农业机械学报,2005,36(12):17-20.

- [13] 程玉斌,解云松.新型矿用采掘设备遥控装置的设计[J].工矿自动化,2011(8):17-21.
- [14] 孟亮,张衍林,张闻宇,等.遥控牵引式无轨山地果园运输机的设计[J].华中农业大学学报,2015,34(4):125-129.

Design of unpowered mountainous orchard transporter

LIU Jie ZHANG Yanlin ZHANG Wenyu MENG Liang

College of Engineering, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China

Abstract An unpowered orchard transporter relied on its own gravity was developed to solve the difficulties of fruits transportation in large slope mountain. The design was mainly composed of adaptive gravity damping device, fast braking apparatus, remote-control system, gearbox, cooling fan, carriages, etc. The system can achieve one side of the carriages with fruits driving down in the cement trough or slope at the degrees of 20 to 50 relying on the gravity of fruits in a moderate speed and the other side of the empty carriages driving up the hill. The transporter only requires a storage battery(12 V) to provide the power when the control system makes the fast brake apparatus to work. The transporter can realize reliable barking at any point along the cement trough. Results showed that the transporter kept the temperature of the bark drum between 20 °C and 50 °C when the carriages was driving at the speed of 0.7 m/s with the maximum load of 1 000 kg. The transporter operated simply, worked reliably and run smoothly with no extra power, which is suitable for the remote large slope mountainous area with energy conservation and environment protection.

Keywords mountainous orchard; unpowered orchard transporter; large slop; wire rope mutual entanglement sheave; fast brake apparatus

(责任编辑:陆文昌)