

山地果园链式循环货运索道张紧力检测装置*

文 韶 洪添胜 苏 建 朱余清 孔繁波 Chileshe J M

(华南农业大学南方农业机械与装备关键技术教育部重点实验室, 广州 510642)

【摘要】 为研究山地果园链式循环货运索道负载数量、张紧位置、挂载方式及驱动电动机工作频率等因素对驱动链张紧力的影响,设计了一种用于检测山地果园链式循环货运索道驱动链张紧力的试验装置。试验结果表明:除驱动电动机工作频率外,其他三因素对驱动链张紧力影响显著;将张紧机构置于起始位置与终端位置以及改变负载数量,检测得张紧力均值差异变化范围为 105. 929 ~ 164. 641 N;将张紧机构置于起始位置,采用均衡和非均衡两种挂载方式,张紧力均值变化范围为 1 165. 351 ~ 1 425. 864 N 和 1 140. 500 N ~ 1 435. 353 N,相应的变异系数变化范围为 0. 115 ~ 0. 139 和 0. 155 ~ 0. 227。

关键词: 山地果园 货物运送 驱动链 张紧力 检测装置

中图分类号: S229⁺. 1; U18 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2011)08-0080-05

Tension Detection Device for Circular Chain Cargo Transportation Ropeway in Mountain Orchard

Wen Tao Hong Tiansheng Su Jian Zhu Yuqing Kong Fanbo Chileshe J M

(Key Laboratory of Key Technology for South Agricultural Machinery and Equipment, Ministry of Education,
South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China)

Abstract

For studying effects of different combinations of influential factors including payload variations, tension locations, loading approaches and motoring frequencies the circular chain cargo transportation ropeway imposes on the driving-chain in mountain orchards, a related device added to the ropeway system was designed to detect real-time dynamic variations for driving-chain tensions. The experimental results indicated that effects from the other three factors on the hoisting chain tension were obvious except for that from the motoring frequency. While the mechanical operator was adjusted to various locations, exclusively at the start and at the terminal, differences of mean tension variations were obtained ranging from 105. 929 N to 164. 641 N under different payloads. In addition, when the mechanical operator was adjusted to the commencing point, through either balanced loading or unbalanced loading approaches, mean tension variations were obtained ranging from 1 165. 351 N to 1 425. 864 N and 1 140. 500 N to 1 435. 353 N with related variation coefficients from 0. 115 to 0. 139 and 0. 155 to 0. 227, respectively.

Key words Mountain orchards, Cargo transportation, Driving-chain, Tension, Detection device

引言

柑橘在我国经济栽培区主要集中在北纬 20° ~ 30°之间的山区,该区域地形复杂,交通基础设施薄弱,传统的运输机械很难开展作业,柑橘和农资的运输主要依靠人工肩挑背负的搬运,这种运输方式不仅劳动强度大,而且运送效率低^[1]。为了解决山区

果品和农资运输困难,减轻果农的劳动强度,国内学者开展了适应山区地形特点的运输机研究,综合考虑山区的地形特点、生产成本和运输效率等问题,单线循环式工程索道成为当前研究的热点^[2~3]。

在单线循环式工程索道设计中,无论是固定抱索器还是脱挂抱索器,其驱动链的张紧问题一直是影响索道运行可靠性的关键^[4~6]。索道运行过程

收稿日期: 2010-11-09 修回日期: 2011-03-27

* 国家公益性行业(农业)科研专项经费资助项目(200903023)和国家现代农业产业技术体系建设专项资金项目(农科教发[2011]3号)

作者简介: 文韬,博士生,主要从事电子信息与计算机应用技术研究,E-mail: wt207@sina.com

通讯作者: 洪添胜,教授,博士生导师,主要从事机电一体化和信息技术在农业中的应用研究,E-mail: tshong@scau.edu.cn

中,由于链索的自重作用,驱动链过松容易造成脱链或卡轮事故,特别是应用于山区地形起伏的索道,在挂载重物时,如果链索过松,容易造成挂载物拖地,影响索道正常运转。如果驱动链过紧,则增大了链索与驱动盘及托索机构之间的摩擦力,增加了线路阻力;同时增加了驱动机构中减速器的径向载荷,容易造成减速器轴承弯曲变形。

本文选取华南农业大学研制的山地果园链式循环货运索道为载体^[7],选用应变式拉力传感器,以驱动链为研究对象,搭配不同试验因素,在索道的整个运行周期内分别对各因素作用下索道驱动链张紧力进行测量。通过试验结果分析,可进一步确定索道运行过程中影响驱动链张紧力变化的主要因素,从而为山地果园链式循环货运索道的改进设计提供依据和建议。

1 索道驱动链张紧力计算分析

索道的驱动装置和张紧调节装置一同架设在驱动支架上,如图1所示。电动机带动驱动链顺时针旋转,以驱动轮为参考点,驱动链的下行方向为驱动轮的入侧点,驱动链的上行方向为驱动轮的出侧点。

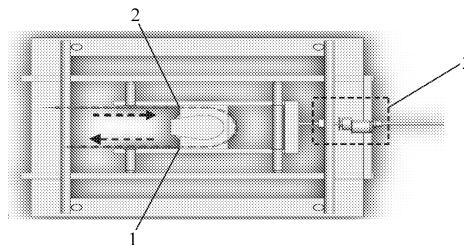


图1 索道驱动装置

Fig. 1 Driving device for ropeway

1. 驱动轮出侧点 2. 驱动轮入侧点 3. 机械调节机构

本文分析的驱动链张紧力是指整条运行线路中链条承受的张紧力,因此在分析驱动链受力时可以参考钢丝绳索张紧力学模型。假设驱动轮出侧点的最小牵引张力 $T_{\min} = T_1$,则驱动轮入侧点牵引张力 T_2 可表示为^[2]

$$T_2 = (T_1 + q_f \Delta h + lq_f f_0)(1 + C_1) - q_q \Delta h + lq_q f_0 \quad (1)$$

驱动轮入侧点牵引张力 T_2 及出侧点牵引张力 T_1 之和与机械调节机构张紧力 T_3 近似相等,即

$$T_1 + T_2 = T_3 \quad (2)$$

式中 q_f ——负载线路均布载荷,N/m

q_q ——空载线路均布载荷,N/m

f_0 ——线路阻力系数 l ——线路总长,m

Δh ——线路高程差,m

C_1 ——驱动轮或迂回轮阻力系数

4种运行状态在不考虑惯性力时机械调节机构张紧力 T_3 为:

负载上行与负载下行时

$$T_3 = (T_1 + q_f \Delta h + lq_f f_0)(1 + C_1) - q_f \Delta h + lq_f f_0 + T_1 \quad (3)$$

负载上行与空载下行时

$$T_3 = (T_1 + q_f \Delta h + lq_f f_0)(1 + C_1) - q_q \Delta h + lq_q f_0 + T_1 \quad (4)$$

空载上行与负载下行时

$$T_3 = (T_1 + q_q \Delta h + lq_q f_0)(1 + C_1) - q_f \Delta h + lq_f f_0 + T_1 \quad (5)$$

空载上行与空载下行时

$$T_3 = (T_1 + q_q \Delta h + lq_q f_0)(1 + C_1) - q_q \Delta h + lq_q f_0 + T_1 \quad (6)$$

2 张紧检测装置设计

2.1 机械结构

张紧检测装置由索道驱动机构平移丝杆上加装的应变式拉力传感器、链轮和直流电动机组成。平移丝杆承受的水平拉力近似等效为驱动链入侧点与驱动链出侧点的合力,即驱动链承受的张紧力,驱动链张紧检测装置如图2所示。

2.2 硬件构成

张紧检测装置中的应变式拉力传感器选用广州

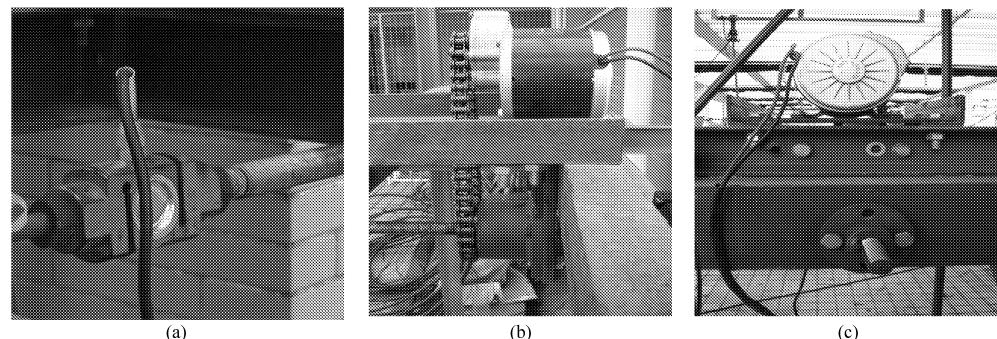


图2 驱动链张紧检测装置

Fig. 2 Ropeway driving device installed tension detecting instrument

(a) 张紧力检测部分 (b) 张紧调节链传动部分 (c) 张紧调节机架尾部

电测仪器厂的应变式称重传感器,型号YZC-526/200 kg,额定量程200 kg,输出灵敏度1.998 mV/V,精度等级C3。该拉力传感器内部为金属应变片组成的电桥电路,电桥的输入电压12 V,电桥输出的信号通过AD623(Analog Devices, Norwood, MA, USA)仪用放大器输出放大的差模信号给单片机的A/D模数转换器从而获取到驱动链的张紧数据。

3 试验结果与分析

3.1 试验条件与设备

试验场地位于华南农业大学工程学院国家柑橘产业技术体系机械研究室试验园,地形为平地,园区内通过设置不同高度的索道支撑架,实现对山地地形的模拟。索道基本参数:索道全长(80 ± 5)m,共设有13个支撑架;最大支撑架跨度(11.0 ± 0.5)m,最小支撑架跨度(3.5 ± 0.2)m;挂钩之间距离(5.0 ± 0.5)m,共16个挂载点;最大坡度 $35^\circ \pm 2^\circ$ 。试验设备主要包括:水箱(作为挂载点处负载),16个,单箱质量(10 ± 0.5)kg;山地果园链式循环货运索道驱动装置,其中动力部分包括交流驱动电动机,电动机功率

0.375 kW,转速1400 r/min;行星摆线针轮减速器,输出轴转速41.29 r/min(传动比1:30);单相输入三相输出变频器(VFD015M21A, Delta Electronics, Taiwan),最大适用电动机1.5 kW,输出频率0~50 Hz;张紧检测装置及便携式计算机(CQ40, Hewlett-Packard, USA)。为了综合测试负载数量、张紧位置、挂载方式、驱动电动机工作频率等因素对驱动链张紧力影响,分别进行单因素试验,各因素的取值如表1所示,其中非均衡挂载为驱动链下行边顺序挂载,均衡挂载为驱动链上行边与下行边对称挂载。

表1 影响驱动链张紧程度的因素取值

Tab. 1 Impact factors values influences on hoisting chain tension

| 因素 | 取值 |
|--------------|------------|
| 张紧位置 | 起始位置,终端位置 |
| 负载数量/个 | 2~16,步长为2 |
| 挂载方式 | 非均衡挂载,均衡挂载 |
| 驱动电动机工作频率/Hz | 50,40 |

3.2 试验结果分析

驱动链在不同试验因素下,张紧检测装置上应变式拉力传感器实时检测的张紧力变化曲线如图3

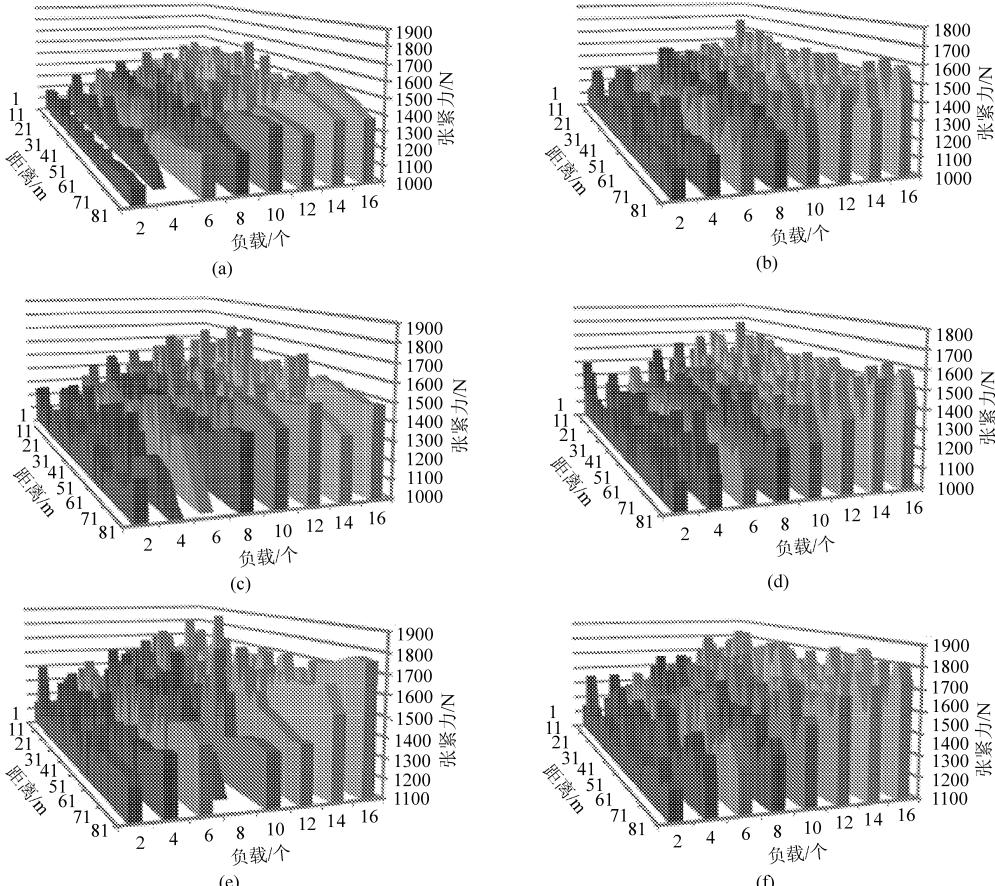


图3 不同试验因素下驱动链张紧力变化

Fig. 3 Tension variations of hoisting chain under different experimental factors

- (a) 张紧机构置于起始位置,50 Hz,均衡负载
- (c) 张紧机构置于起始位置,50 Hz,非均衡负载
- (e) 张紧机构置于终端位置,50 Hz,均衡负载
- (b) 张紧机构置于起始位置,40 Hz,均衡负载
- (d) 张紧机构置于起始位置,40 Hz,非均衡负载
- (f) 张紧机构置于终端位置,40 Hz,均衡负载

所示。

由图3可知,在负载数量不变条件下,驱动链循环运行一周(驱动链运行周长为80 m),实时检测的张紧力变化曲线具有明显波动性,说明负载在上行和下行过程中驱动链承受的张紧力不同,符合索道驱动链张紧力理论分析结果。各试验因素对张紧力的主效应方差分析结果如表2所示。从4个主效应的F检验结果的P值看,除驱动电动机工作频率外,负载数量、张紧位置和挂载方式对张紧力影响在0.05水平上均具有显著性差异。张紧机构置于起

始位置,驱动电动机工作在50 Hz,采取人工均衡与非均衡挂载方式分别检测的张紧力变异系数如表3所示。可知,驱动链在均衡挂载方式下运行较为平稳。将张紧机构分别调节到起始位置与终端位置,对两个位置的张紧力进行了检测,试验结果如表4所示。由表4可知,不同负载条件下,不同位置检测的张紧力均值差异变化范围为105.929~164.641 N,标准差变化范围为238.286~304.749,各组双尾t检验的显著性概率均小于0.05,说明张紧机构对驱动链张紧调节影响显著。

表2 不同试验因素对张紧力的主效应方差分析结果

Tab. 2 Analysis of variance of tension on main effect under different experimental factors

| 偏差来源 | 偏差平方和 | 自由度 | 均方 | F值 |
|-----------|------------------------|---------|---------------------|------------|
| 负载数量 | 2.099×10^9 | 8 | 2.624×10^8 | 7 511. 438 |
| 张紧位置 | 3.363×10^8 | 1 | 3.363×10^8 | 9 626. 527 |
| 驱动电动机工作频率 | 121 577. 425 | 1 | 121 577. 425 | 3. 480 |
| 挂载方式 | 825 125. 935 | 1 | 825 125. 935 | 23. 621 |
| 误差 | 4.753×10^9 | 136 066 | 34 932. 144 | |
| 总和 | 2.541×10^{11} | 136 078 | | |

表3 在张紧起始位置均衡与非均衡挂载张紧力均值比较

Tab. 3 Tension comparisons at start location using balanced loading and unbalanced loading

| 负载 数量/个 | 均衡挂载 | | | | 非均衡挂载 | | | |
|------------|------------|-------|----------|--------|------------|-------|----------|--------|
| | 均值/N | 样本数 | 标准差 | 变异系数 | 均值/N | 样本数 | 标准差 | 变异系数 |
| 2 | 1 165. 351 | 2 274 | 147. 871 | 0. 127 | 1 140. 500 | 2 274 | 259. 227 | 0. 227 |
| 4 | 1 204. 774 | 2 286 | 151. 940 | 0. 126 | 1 190. 212 | 2 286 | 258. 431 | 0. 217 |
| 6 | 1 272. 420 | 2 301 | 156. 870 | 0. 123 | 1 265. 884 | 2 301 | 255. 679 | 0. 202 |
| 8 | 1 316. 222 | 2 307 | 183. 006 | 0. 139 | 1 294. 878 | 2 307 | 262. 458 | 0. 203 |
| 10 | 1 355. 480 | 2 328 | 155. 513 | 0. 115 | 1 353. 542 | 2 328 | 234. 136 | 0. 173 |
| 12 | 1 397. 644 | 2 325 | 168. 120 | 0. 120 | 1 392. 013 | 2 325 | 234. 436 | 0. 168 |
| 14 | 1 425. 864 | 2 315 | 194. 397 | 0. 136 | 1 435. 353 | 2 315 | 221. 871 | 0. 155 |

表4 张紧位置在均衡挂载方式下的配对样本t检验

Tab. 4 Paired samples test about tension adjustment location using balanced payload

| 配对样本 | 均值差异/N | 标准差 | t值 |
|---------------------|----------|----------|----------|
| 2 负载起始位置-2 负载终端位置 | 105. 929 | 238. 286 | -21. 231 |
| 4 负载起始位置-4 负载终端位置 | 120. 924 | 242. 104 | -23. 928 |
| 6 负载起始位置-6 负载终端位置 | 114. 082 | 262. 671 | -20. 834 |
| 8 负载起始位置-8 负载终端位置 | 117. 705 | 287. 627 | -19. 686 |
| 10 负载起始位置-10 负载终端位置 | 114. 508 | 265. 665 | -20. 810 |
| 12 负载起始位置-12 负载终端位置 | 138. 798 | 273. 861 | -24. 438 |
| 14 负载起始位置-14 负载终端位置 | 164. 641 | 278. 462 | -28. 448 |
| 16 负载起始位置-16 负载终端位置 | 129. 330 | 304. 749 | -20. 616 |

4 结论

(1) 驱动电动机工作频率对驱动链张紧力无显著影响,负载数量、张紧位置及挂载方式对驱动链的

张紧力变化具有显著影响。

(2) 张紧机构置于起始位置,均衡和非均衡挂载方式下,驱动链张紧力均值差异变化范围为1.938~24.851 N;采用均衡挂载方式,实时检测的张紧力变

异系数范围为 0.115~0.139, 索道驱动链运行较为平稳; 采用非均衡挂载方式, 当负载数量为 2、4、8 时, 检测的张紧力变异系数分别为 0.227、0.217、0.203, 说明非均衡挂载方式引起的运行线路受力不均对索道平稳运行有一定影响。

(3) 张紧机构置于起始位置与终端位置时, 不同负载条件下张紧力均值差异变化范围为 105.929~164.641 N, 验证所设计的张紧检测装置能实现对索道驱动链张紧力实时检测。

参 考 文 献

- 1 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): 105~110.
Hong Tiansheng, Yang Zhou, Song Shuran, et al. Mechanization of citrus production[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2010, 41(12): 105~110. (in Chinese)
- 2 嵇换章. 单线循环式客运架空索道设计与研究[J]. 矿山机械, 2005, 33(2): 32~35.
Ji Huanzhang. Design and study to aerial ropeway for single-wire circular ski-lift conveyer [J]. Mining & Processing Equipment, 2005, 33(2): 32~35. (in Chinese)
- 3 杨义勇, 王延利, 王人成, 等. 单线循环索道站内驱动系统及检测装置设计[J]. 中国机械工程, 2007, 18(5): 514~516.
Yang Yiyong, Wang Yanli, Wang Rencheng, et al. Design for drive system and testing devices of circulating mono-ropeways [J]. Journal of China Mechanical engineering, 2007, 18(5): 514~516. (in Chinese)
- 4 石奉强. 关于单线循环式客运索道张紧系统的几个问题[J]. 工程设计与研究, 1995(2): 53~55.
Shi Fengqiang. Several problems on tension system for single-wire circular carrier ropeway [J]. Engineering Design and Research, 1995(2): 53~55. (in Chinese)
- 5 王柏德, 黄万吉. 架空索道缆索张力的动态分析[J]. 东北大学学报: 自然科学版, 1993, 14(4): 393~396.
Wang Baide, Huang Wanji. Dynamic analysis of tension of overhead cable for ropeway [J]. Journal of Northeastern University: Nature Science, 1993, 14(4): 393~396. (in Chinese)
- 6 嵇换章. 驱动机与拉紧装置设在同一座站房的架空索道的牵引计算[J]. 矿山机械, 2005, 33(3): 34~37.
Ji Huanzhang. Calculation for drawing force of aerial cableway where engine and tension apparatus are mounted in the same station house [J]. Mining & Processing Equipment, 2005, 33(3): 34~37. (in Chinese)
- 7 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.
Hong Tiansheng, Su Jian, Zhu Yuqing, et al. Circular chain ropeway for cargo transportation in mountain citrus orchard [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2011, 42(6): 108~111. (in Chinese)

(上接第 74 页)

- 7 王利霞, 张书慧, 马成林, 等. 基于 ARM 的变量喷药控制系统设计[J]. 农业工程学报, 2010, 26(4): 113~118.
Wang Lixia, Zhang Shuhui, Ma Chenglin, et al. Design of variable spraying system based on ARM [J]. Transactions of the CSAE, 2010, 26(4): 113~118. (in Chinese)
- 8 王俊红, 傅泽田, 王秀, 等. 基于 AT89C52 单片机的变量喷雾控制器设计[J]. 微计算机信息: 测控自动化, 2006, 22(8): 8~10.
Wang Junhong, Fu Zetian, Wang Xiu, et al. Design of variable rate sprayer controller based on AT89C52 [J]. Microcomputer Information: Control and Automation Publication Group, 2006, 22(8): 8~10. (in Chinese)
- 9 翟长远, 朱瑞祥, 隋顺涛, 等. 车载式变量施药机控制系统设计与试验[J]. 农业工程学报, 2009, 25(8): 105~109.
Zhai Changyuan, Zhu Ruixiang, Sui Shuntao, et al. Design and experiment of control system of variable pesticide application machine hauled by tractor [J]. Transactions of the CSAE, 2009, 25(8): 105~109. (in Chinese)
- 10 胡开群, 周舟, 祁力钧, 等. 直注式变量喷雾机设计与喷雾性能试验[J]. 农业机械学报, 2010, 41(6): 70~74.
Hu Kaiqun, Zhou Zhou, Qi Lijun, et al. Spraying performance of the direct injection variable-rate sprayer [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2010, 41(6): 70~74. (in Chinese)
- 11 Gil E, Escola A, Rosell J R. Variable rate application of plant protection products in vineyard using ultrasonic sensors [J]. Crop Protection, 2007, 26(8): 1287~1297.
- 12 邱白晶, 李坤, 沈成杰, 等. 连续可变量喷雾系统响应特性试验[J]. 农业机械学报, 2010, 41(9): 32~35.
Qiu Baijing, Li Kun, Shen Chengjie, et al. Experiment on response characteristics of variable-rate continuous spraying system [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2010, 41(9): 32~35. (in Chinese)