

DOI: 10.13718/j.cnki.xdzk.2018.10.002

甘蔗收割机刀盘高度自动 调节系统模拟试验研究^①

简 真, 李光林, 赵世卿, 马 驰

西南大学 工程技术学院, 重庆 400715

摘要: 我国甘蔗种植主要集中在南方丘陵山区, 地势起伏大, 甘蔗收割机在收割过程中, 刀盘不能随着地形变化自动调整高度, 无法在合适的位置进行甘蔗切割, 造成切割质量差及影响甘蔗第二年发苗和刀具损坏等问题。针对这一现象, 设计了一种地面高度检测装置, 能够测量出甘蔗垄的相对高度, 并利用液压控制系统模拟甘蔗收割机的割台部分, 配合检测装置进行了切割刀盘的仿地形自动升降测试。结果表明: 地面高度检测装置的最大误差为 6 mm, 采用了该检测装置的刀盘高度自动调节系统误差为 9 mm, 能够满足生产使用的精度要求。

关键词: 甘蔗收割机; 高度检测; 液压系统; 自动调节

中图分类号: S24

文献标志码: A

文章编号: 1673-9868(2018)10-0012-07

甘蔗是我国南方的重要经济作物, 在甘蔗全程机械化过程中收割机械化是最为重要的一个环节^[1]。但是我国的甘蔗收割机械化程度并不高, 其中主要原因是由于我国甘蔗种植地区主要是丘陵和山地^[2], 地形起伏较大, 适合机械作业的平缓坡地还不到 40%^[3], 而现有的甘蔗收割机基本都无法根据地形变化自动调节切割刀盘的高度, 造成收割质量不好, 比如割茬过长、破头率高等^[4], 影响甘蔗第二年发苗。研究表明, 甘蔗收割机在收获过程中刀盘入土一定深度进行切割可以获得更好的效果^[5-6], 所以设计出一套仿形系统, 能不受环境因素影响(如甘蔗茎叶遮挡等), 使刀盘能够随着蔗垄起伏而上下移动、始终保持在一定的入土深度进行甘蔗切割, 便是我国甘蔗收割机械发展的一个重大突破口。目前虽然已经有一些关于图像处理、切割负载压力等方面的研究^[7-9], 但基本还没有完整可靠的仿形系统投入使用, 本文提出了一种通过机械检测装置测量地面相对高度的方法, 并进行了甘蔗收割机模拟试验研究。

1 刀盘自动升降控制系统

1.1 系统构成

本控制系统由三大部分构成: 控制器、地面高度检测装置和液压系统。液压系统主要包括液压控制元件和执行元件, 控制元件为电磁换向阀, 执行元件为液压缸和液压马达。

系统控制结构图如图 1 所示, 其中被控对象为刀盘, 地面高度检测装置测量出地面相对高度后, 控制器将其与刀盘高度进行比较, 然后控制换向阀的开口方向, 换向阀开口方向决定了液压缸上升还是下降, 也就是刀盘上升还是下降。

① 收稿日期: 2018-03-31

基金项目: 科技部重大研发课题(2016YFD0701203-3)。

作者简介: 简 真(1994-), 男, 硕士研究生, 主要从事智能检测与控制研究。

通信作者: 李光林, 教授, 博士研究生导师。

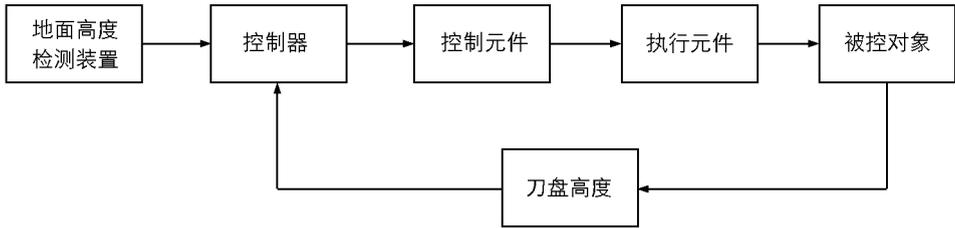
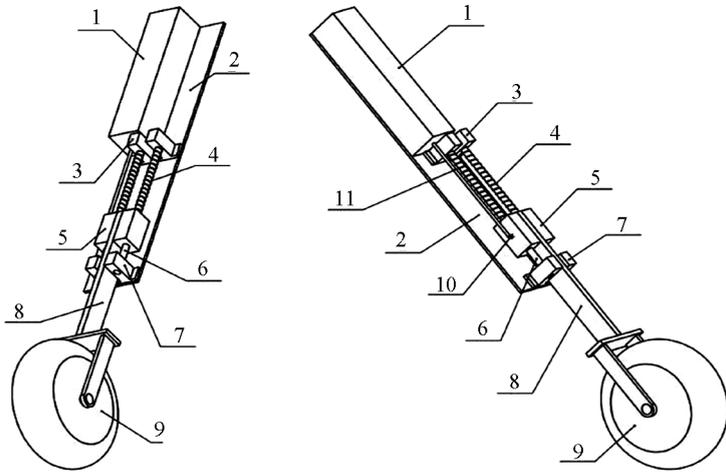


图 1 控制系统结构图

1.2 地面高度检测装置

地面高度检测装置如图 2 所示。仿形轮、支架和滑块构成的整体可以沿着导轨上下移动，为可伸缩部分；其余为不可伸缩部分，固定在收割机上。直线位移传感器和滑块通过连接杆连接在一起，当仿形轮随着地形起伏时，可伸缩部分也上下移动，同时带动直线位移传感器伸缩杆移动，压紧弹簧可以保证仿形轮贴地行驶。这样，传感器读数变化就可以反映出地形的起伏。



1. 直线位移传感器；2. 固定底板；3. 上支撑座；4. 压紧弹簧；5. 滑块；6. 导轨；7. 下支撑座；8. 支架；9. 仿形轮；10. 连接杆；11. 直线位移传感器伸缩杆。

图 2 高度检测装置设计图

图 3 为地面高度检测原理。图中地面代表的是甘蔗垄面，参考面为垄间的沟（本文中提到的地面都为甘蔗垄面，各高度都是相对于参考面而言）。上方黑点假设为高度检测装置在收割机上的安装点，下方黑点为仿形轮和地面的接触点。设检测装置安装点高度为 H ，与水平方向夹角为 θ ，不可伸缩部分长度（包括轮子半径）为 T ，若直线位移传感器测出可伸缩部分长度为 S ，则地面起伏高度 h 的计算式为：

$$h = H - (S + T) \cdot \sin\theta \quad (1)$$

1.3 液压系统

液压系统原理如图 4 所示。其中调速阀用来调节液压缸和液压马达的运行速度，由于液压缸跟液压马达负载压力不同，且马达侧压力较小，所以在马达回路中加入减压阀，以保证两者都能正常运行^[10-11]。

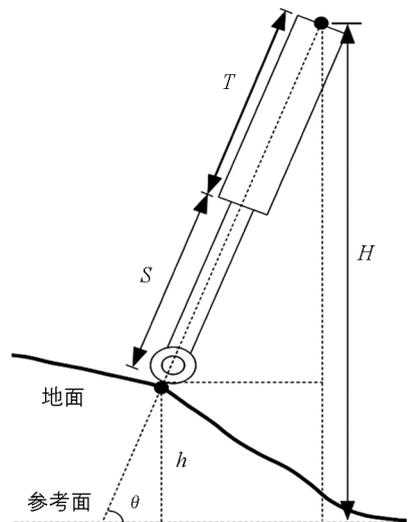
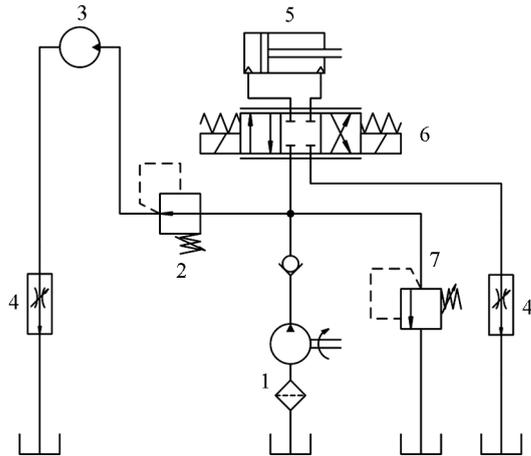


图 3 高度检测原理图

液压马达、液压缸、刀盘和直线位移传感器构成本次研究所使用的甘蔗收割模拟试验机的割台部分(图 5). 液压马达带动刀盘转动, 液压缸带动马达跟刀盘一起上下移动, 移动的距离通过直线位移传感器测出.



1. 液压泵; 2. 减压阀; 3. 液压马达; 4. 调压阀; 5. 液压缸; 6. 电磁换向阀; 7. 安全阀.

图 4 液压系统原理



1. 直线位移传感器; 2. 高度检测装置; 3. 液压缸; 4. 液压马达; 5. 刀盘.

图 5 试验机侧面

1.4 系统控制原理

在甘蔗仿形收割过程中, 为避免滞后控制, 需要提前测量出地面高度, 所以地面高度检测装置需安装在刀盘前方某处. 当检测装置测量出某一点的地面高度后, 需要把这一数据保存起来, 当收割机往前运动一段时间后, 刀盘到达该点, 这时则根据保存好的地面高度对刀盘的高度作出调整. 这中间间隔的时间取决于检测装置与刀盘之间的距离和收割机的运动速度.

由于检测装置结构的特殊性, 当其随地形上下起伏时, 不仅在上下移动, 其实也在左右移动, 所以它与刀盘之间的距离是变化的. 但是, 本次研究并没有直接利用这两者之间的距离, 而是利用相邻两个地面高度测量点的距离. 图 6 表示的是检测装置分别位于 3 个测量点时的简化情形, 为了便于说明, 再对其进行简化, 如图 7.

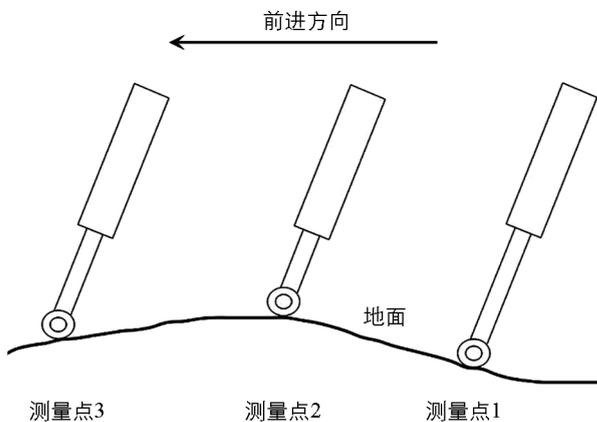


图 6 测量过程简化图

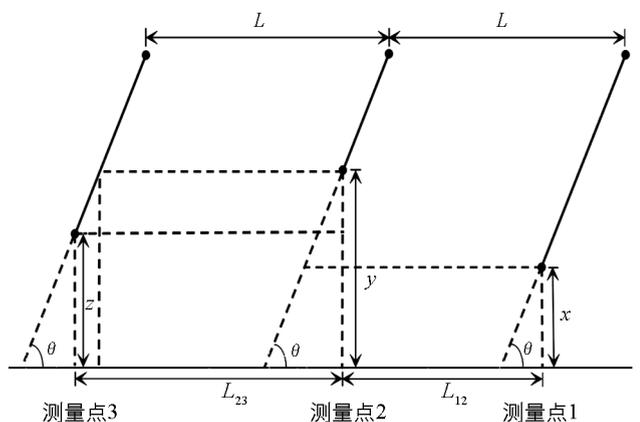


图 7 测量过程示意图

图 7 中, 3 根黑实斜线代表检测装置, 上端黑点表示检测装置在收割机上的安装位置, 下端黑点表示检测装置与地面的接触点. 由于检测装置不可伸缩部分固定在收割机上, 所以将两者当作一个整体. 从图中可以看出, 对于该整体来说, 相邻测量点之间的水平距离都为 L , 但是由于检测装置只有不可伸缩部分固

定在收割机上,可伸缩部分会斜向伸缩,跟收割机之间有相对运动(从图中来看就是 3 根黑实斜线的长度不一样),所以接触点之间的水平距离并不为 L ,而是图中的 L_{12} 和 L_{23} .

假设检测装置测量出的 3 个接触点的地面高度分别 x 、 y 和 z ,从图中可以看出 $y > z > x$,也就是说测量点 1 到测量点 2 地面高度上升,测量点 2 到测量点 3 高度下降,分别代表检测装置在测量过程中上坡和下坡两种运动状态.通过计算可以得出:

$$L_{12} = L - \frac{y - x}{\tan\theta} \quad (2)$$

$$L_{23} = L + \frac{y - z}{\tan\theta} \quad (3)$$

对比两个式子可以看出,式(3)就是式(2)的变式,可以用式(2)代替,所以可将式(2)作为一般表达式.

式(2)计算的是收割机每前进距离 L 时检测装置可伸缩部分前进的距离,也就是刀盘下一次调整高度之前收割机需要前进的距离,但该式并不适用于刀盘第一次高度调整,也就是收割机刚出发时的情况,如图 8 所示.

图 8 中收割机位于出发点位置,设检测装置安装高度为 H ,安装点与刀盘最前端的水平距离为 M ,测得此时的地面高度为 h ,则刀盘第一次调整高度之前收割机需要前进的距离 L_0 为:

$$L_0 = M + \frac{H - h}{\tan\theta} \quad (4)$$

由于 L_0 这一段距离的地面高度并没有测量,所以并不知道具体高度,为保险起见,需要让刀盘保持在一个较高的位置,或者让收割机从平坦一点的地方出发,直接将出发时测出的地面高度 h 当作整个 L .这一段距离的地面高度,提前做出第一次刀盘高度调整,节省之后的调整时间.

为了准确控制地面高度测量点之间的距离都为 L 和在收割机前进了相应距离后及时进行刀盘调整,本次试验并没有利用采集收割机前进速度进而得出前进距离的方法,因为虽然收割机在收割过程中近似于匀速前进,但实际上并不是匀速,而且本次试验中,采用人工的方式推动试验机行走,速度变化比实际收割机更大,如果使用先求速度再求距离的方法,会使计算变得复杂繁琐,而且误差很大.为了消除速度的影响,本次试验利用光电编码器直接得出试验机前进的距离.

编码器是一种把角位移或直线位移转换成电信号的传感器,本次试验使用的增量式编码器,分辨率为 1 000,也就是旋转一圈可以产生 1 000 个脉冲,本次使用的测距轮周长约为 785 mm,如图 9 所示,所以测距轮每前进 0.785 mm 编码器产生一个脉冲,记录脉冲个数则可知道试验机前进了多少距离.

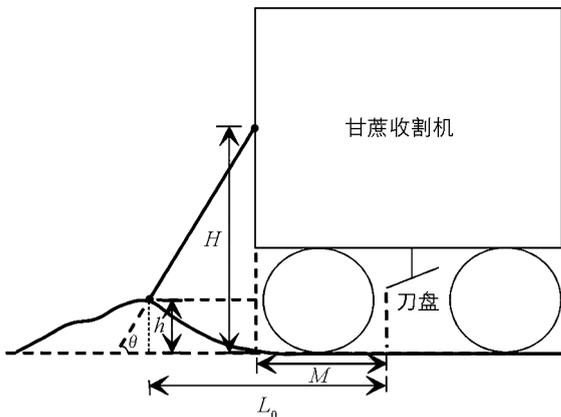


图 8 出发点示意图



图 9 测距轮

综上,把收割机前进的距离平均分为若干段,隔一段距离测量一次地面高度,并且得出这些高度测量点之间的水平距离,当收割机由一个测量点前进到下一测量点时,进行刀盘高度调整.

2 试验设计

2.1 试验设备

本次试验使用的是搭载刀盘自动升降系统的甘蔗收割模拟试验机, 如图 10 所示. 车架宽度 580 mm, 长度 800 mm, 高度 850 mm; 高度检测装置与水平面夹角约为 53 度, 能测量的最大地面起伏高度为 300 mm, 安装在整车左侧距离中心 110 mm 处(以仿形轮中心为基准); 刀盘倾角约 17 度, 直径 300 mm, 厚度 2 mm, 最大高度为 280 mm, 刀盘最前端与车架最前端的距离为 450 mm.

2.2 试验方法

本次试验场地为长度约 20 m, 垄宽 400 mm, 最大垄高 220 mm, 最大坡度约 15°, 试验机每前进 1 cm 测量一次垄高.

试验分为两大部分. 一是单独测试地面高度检测装置: 关闭液压系统, 随机选取垄上某试验点, 分别用尺子和检测装置测出该处的垄高并记录数据. 二是测试整个刀盘高度控制系统: 仍然随机选取垄上某试验点, 人工测出该处的实际垄高, 然后人工推动试验机前进, 速度在 0.5~3 m/s 之间, 当刀盘也运动到该处时, 测出此时刀盘最低点的高度, 记录数据.

为了便于观察效果, 试验过程中并没有让刀盘入土切割, 因为如果入土切割会损坏垄, 对后续的高度测量造成影响. 虽然刀盘紧贴地面移动效果最为直观, 但是由于误差的存在, 也会损坏垄, 所以也并未采取. 最终设计让刀盘在垄上方 3 cm 处随地形起伏, 也就是说需要在测得的实际垄高基础上加上 3 cm 后进行结果分析.



图 10 试验机

3 试验结果与分析

本次随机选取了不同高度的测量点若干进行试验, 高度检测装置单独试验结果见表 1, 整个系统试验结果见表 2. 为了更加直观, 表中的实际垄高已经加上 3 cm.

表 1 检测装置单独试验结果

序号	检测装置测量 结果/mm	实际垄高/ mm	绝对误差/ mm	序号	检测装置测量 结果/mm	实际垄高/ mm	绝对误差/ mm
1	54	48	6	6	144	149	5
2	61	57	4	7	189	195	6
3	67	72	5	8	167	162	4
4	87	84	3	9	95	99	4
5	124	129	5	10	83	80	3

表 2 试验机整机模拟试验结果

序号	刀盘高度/ mm	实际垄高/ mm	绝对误差/ mm	序号	刀盘高度/ mm	实际垄高/ mm	绝对误差/ mm
1	41	47	6	6	200	191	9
2	58	52	6	7	175	170	5
3	68	60	8	8	123	127	4
4	86	91	5	9	99	92	7
5	146	140	6	10	64	70	6

通过两个表中数据可以看出,本次试验地面高度检测装置最大测量误差为 6 mm,整个系统最大误差 9 mm. 中华人民共和国机械行业标准《JB/T6275-2007 甘蔗收获机械试验方法》规定,割茬小于 3 cm 为合格切割,所以从切割高度来讲,试验结果符合要求.

4 结 论

1) 试验结果表明,试验机模拟甘蔗收割机切割刀盘自动升降误差在允许范围内,符合仿形要求. 导致误差的主要原因有:各传感器误差和仿形轮跟地面的接触点位置不固定,可以通过使用更准确的传感器和直径更小的仿形轮等方法来减小误差;试验机行走的沟和垄一样起伏不平,是误差的一个主要来源,但这是符合实际情况的,收割机自身的避震装置可有效减少该误差;地面高度测量点之间间隔一定的距离,并不连续,而刀盘高度只能按照这些测量点的高度调整,若选取的试验点刚好在测量点之间,那么试验结果就会不准确,通过减小测量点之间的距离可以减小误差;人工测量高度也是误差来源之一.

2) 减少刀盘的振动可以提高收割质量^[12],但是研究刀盘仿形系统却是主动让刀盘进行移动,有所矛盾,所以本次试验采取折中的方法,并没有连续控制刀盘移动,而是间隔一段距离移动一次,这样既可以仿形切割,也减少了刀盘的移动.

3) 本试验重点在于模拟甘蔗收割机收割过程,验证地面高度检测装置的原理,证明该装置的可行性,并未按照实际收割机量身定做,所以检测装置的尺寸大小、材料、结构、安装位置和角度,刀盘的升降速度和液压系统结构等还需进行进一步研究.

4) 影响甘蔗切割质量除了切割位置还有其它很多因素,比如收割机前进速度、刀盘倾角和转速、刀片数量和刃角等^[13-14]. 目前,虽然甘蔗收割机割台升降速度对切割质量影响的研究还没有,但是升降速度势必会影响切割质量,比如升降速度过快时,虽然刀盘可以快速到达最佳切割位置,但是如果此时刀盘正在切割甘蔗,升降速度过快不仅可能造成甘蔗破头,还可能造成刀片损伤甚至折断,而升降速度过慢又可能导致刀盘到达不了指定位置. 升降速度的确定,需要考虑所有影响因素并进行大量实验,必要时还可以加入电液控制技术,进行变速升降,最好还能检测刀盘的切割状态,当刀盘正在切割甘蔗时不进行升降,或者以较慢的速度升降,没有切割甘蔗时使刀盘贴着土壤表面移动,这样既能保护刀盘,又能迅速进入入土切割状态. 由于条件的限制,本次试验并没有对刀盘的升降速度或切割状态进行研究,只是采用手动方式简单调节刀盘升降速度.

参考文献:

- [1] 蒙静杰. 甘蔗机械化收割技术与收割机械推广分析 [J]. 农业与技术, 2017, 37(9): 46-47, 80.
- [2] 丁美花, 谭宗琨, 熊文兵, 等. 基于 MODIS 数据提取广西甘蔗信息技术初步研究 [J]. 西南大学学报(自然科学版), 2008, 30(9): 94-100.
- [3] 王晓鸣, 莫建霖. 甘蔗生产机械化现状及相关问题的思考 [J]. 农机化研究, 2012, 34(10): 6-11.
- [4] 廖平伟, 张 华, 罗 俊, 等. 我国甘蔗机械化收获现状的研究 [J]. 农机化研究, 2011, 33(3): 26-29.
- [5] 周建阳, 朱 艳, 李尚平, 等. 砍蔗刀盘切割深度对宿根破头率影响的研究 [J]. 农机化研究, 2015, 37(2): 186-189.
- [6] 陈超君, 梁 和, 何章飞, 等. 甘蔗机械收获对蔗莖质量和宿根蔗生长影响初探 [J]. 广东农业科学, 2011, 38(23): 26-30.
- [7] 黄亦其, 黄体森, 杨 睿, 等. 基于机器视觉的甘蔗切割高度检测与试验 [J]. 中国农机化学报, 2017, 38(9): 81-87.
- [8] 刘庆庭, 区颖刚, 卿上乐, 等. 甘蔗茎秆切割力试验 [J]. 农业工程学报, 2007, 23(7): 90-94.
- [9] 陈远玲, 周启迪, 黄芸茗, 等. 基于压力反馈的甘蔗收割机台架液压升降系统仿真 [J]. 农机化研究, 2010, 32(9): 37-40.
- [10] 李 明, 王 雷, 蔡劲草, 等. 基于 Fluid SIM 的装载机液压系统建模与仿真 [J]. 重庆理工大学学报(自然科学版), 2016, 30(8): 36-44.

- [11] 贾渭娟, 何 斌, 郑雪娜. 轧机液压伺服系统滑模变结构控制 [J]. 重庆理工大学学报(自然科学版), 2017, 31(4): 111—114.
- [12] 麻芳兰, 蔡 力, 杨代云, 等. 基于刀盘动刚性的甘蔗收获机布局试验研究 [J]. 农机化研究, 2016, 38(5): 213—218, 223.
- [13] MATHANKER S K, GRIFT T E, HANSEN A C. Effect of Blade Oblique Angle and Cutting Speed on Cutting Energy for Energycane Stems [J]. Biosystems Engineering, 2015, 133(5): 64—70.
- [14] 罗词广, 王顺喜, 彭彦昆, 等. 我国甘蔗联合收割机发展中一些问题的探讨 [J]. 农机化研究, 2013, 35(6): 247—249.

Research and Simulation Test of an Automatic Adjusting System of Blade Height of Sugarcane Harvester

JIAN Zhen, LI Guang-lin, ZHAO Shi-qing, MA Chi

School of Engineering and Technology, Southwest University, Chongqing 400715, China

Abstract: In China, the planting of sugarcane is mainly concentrated in the hilly areas of the southern part of the country, where the terrain is undulating. In the process of harvesting sugarcane, the cutter can not automatically adjust its height with the changes of the terrain, so it can't cut the sugarcane in the right position, causing poor cutting quality and influencing the germination of sugarcane the next year. In addition, the cutting tools may be damaged. In view of this phenomenon, a measuring device is designed, which can measure the height of the sugarcane ridges. The cutting part of the sugarcane harvester is simulated with a hydraulic control system, and an automatic adjusting test of terrain imitation is carried out. The result shows that the maximum error of the measuring device is 6 mm, and that of the automatic cutting height adjusting system with this device is 9 mm, which can meet the accuracy requirements of practical application.

Key words: sugarcane harvester; height measuring; hydraulic system; automatic adjustment

责任编辑 汤振金