

4GQ-1C型甘蔗收获机的设计与试验

杨子增, 曾伯胜, 陆愈天, 黄伟凤

(广西农业机械研究院有限公司, 广西 南宁 530007)

摘要: 针对我国丘陵山区甘蔗种植的特点研制一种履带式自走切段收获机, 该机可一次性完成切梢、扶倒、切割、输送、切断、分离及集蔗功能, 适合在坡度较大、小地块、散户种植的蔗区作业。设计并介绍了整机的总体结构、工作原理、技术参数以及液压系统、切割装置、输送装置、切段装置、履带底盘等关键部件。田间试验结果表明, 该机总损失率为2.38%, 宿根破头率为8.3%, 含杂率为6.2%, 纯工作小时生产率为0.12 hm²/h, 燃油消耗率为150 kg/hm², 4GQ-1C型甘蔗收获机在丘陵坡地作业具备较好的适应性, 性能指标达到设计要求。

关键词: 甘蔗; 收获机; 参数; 设计; 试验

中图分类号: S223 **文献标识码:** A **文章编号:** 1673-2154 (2020) 04-0016-06

0 引言

甘蔗是我国食糖的主要原料来源, 食糖是关系国计民生的重要战略物资^[1], 甘蔗产业发展关系食糖供给安全。近年来, 随着人工成本不断提高, 甘蔗收获方式已由人工砍收逐步向机械收获过渡, 机械收获的比例逐年提高。甘蔗机械收获是实现甘蔗生产全程机械化的重要环节, 是降低甘蔗生产成本、增加蔗农收入的重要途径。但由于中国南方甘蔗种植地块面积较小, 且以丘陵地区为主^[2], 大中型甘蔗收割机难以适应复杂的地况环境, 收割机的翻车事故时有发生, 导致在丘陵地带坡度大的种植区无法正常进行机械收获。另外, 在甘蔗收获季节, 常遇到雨天, 在此类恶劣的自然条件下进行甘蔗收获, 大、中型甘蔗收割机很难适应^[3]。特别在广西、广东地区, 一个榨季时间一般是3~4个月, 遇上阴雨连绵的雨天, 整个榨季适合机收的时间只有30~50 d, 机械收获时间短, 机收作业量少, 严重影响甘蔗机械收获的比例。大、中型甘蔗收获机

无法适应丘陵坡地, 雨后又难以下地进行收割作业, 影响甘蔗收获机械化的进程, 阻碍甘蔗产业的发展。因此, 开发一款适合丘陵地区、适应雨后作业需要、通过性能好、重心低且转弯半径小的小型收割机十分必要, 针对我国丘陵山区甘蔗种植的特点设计一种履带式自走切段收获机(4GQ-1C型甘蔗收获机), 该机可一次性实现切梢、扶倒、切割、输送、切断、分离及集蔗功能, 适合在坡度较大、地块小、散户种植的蔗区作业。

1 总体结构和原理

4GQ-1C型甘蔗收获机属于切段式甘蔗联合收割机, 可一次性完成切梢、扶倒、切割、输送、切段、分离、蔗段收集等作业工序。为了适应广西丘陵山区地形及多雨气候, 减轻机收时收割机对蔗地的碾压, 行走底盘采用橡胶履带式结构, 由切梢器、扶倒器、切割器、输送装置、切段装置、风机部件、集蔗装置等部件组成, 结构如图1所示。

根据甘蔗的种植模式和农艺要求, 整机主要技

收稿日期: 2020-04-15

基金项目: 广西科技创新重大专项项目(桂科AA17202013); 国家糖料产业技术体系——甘蔗收获机械化岗位任务项目(CARS-180403)。

作者简介: 杨子增(1979—), 男, 工程师, 主要从事农业机械研究设计。E-mail: 121037368@qq.com

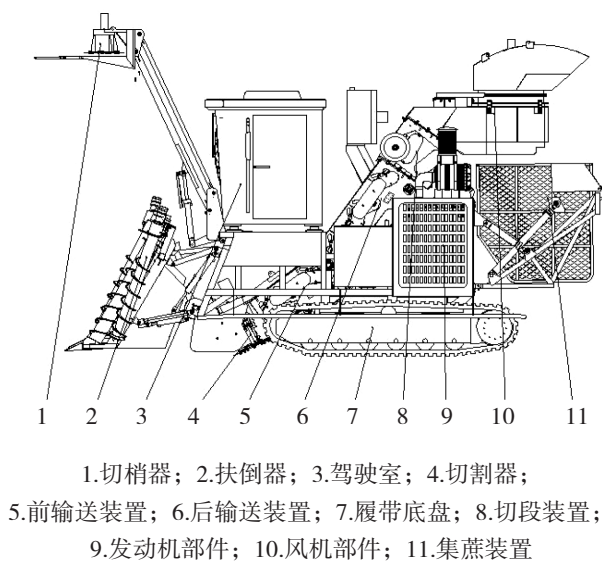


图1 4GQ-1C型甘蔗收获机总体结构示意图

术参数如表1所示。整机配套动力采用东风康明斯97 kW柴油发动机，额定转速为2 200 r/min，全液压驱动，行走无级变速，速度范围为0~10 km/h，收割作业喂入量为3 kg/s，为适应丘陵山区地块小、坡度大的作业环境，采用橡胶履带行走底盘。

表1 主要性能指标和技术参数

项目	参数
配套动力/kW	97
外形尺寸(长×宽×高)/mm	6 600×2 100×3 700
结构质量/kg	7 000
最高行驶速度/km	≤10
适应行距/m	≥0.9
最大作业坡度/(°)	≤13
总损失率/%	≤5
宿根破头率/%	≤8
含杂率/%	≤10
纯工作小时生产率/hm ² ·h ⁻¹	≥0.1
喂入量/kg·s ⁻¹	≥3
燃油消耗率/kg·hm ⁻²	<250

作业时，将发动机调整到额定转速，启动各工作部件，然后根据甘蔗高矮调节切梢高度，放下扶倒器，调节切割刀盘到合适高度，切梢圆盘将蔗梢切割后抛到已收过的地上，扶倒器将倒伏或交错的甘蔗分开并扶起，被压蔗辊压倒后进入喂入口被切割器切割，在提升辊和输送辊的夹持作用下，甘蔗进入前、后输送装置，输送装置上部辊组可根据甘蔗喂入量大小调节，避免压裂甘蔗茎秆，输送到切

段刀的甘蔗茎秆被切成一定长度的甘蔗段，同时在切断刀片的作用下抛出，风机将夹带在蔗段中较轻的蔗叶、杂草等杂物抽出分离，较重的甘蔗段落入集蔗装置内。

2 关键部件设计

2.1 液压系统

本机工作系统全部采用液压控制和驱动，可以实现切梢、切割、输送、切段、除杂、卸料等过程中的全部动作。液压传动与控制系统示意图如图2所示。

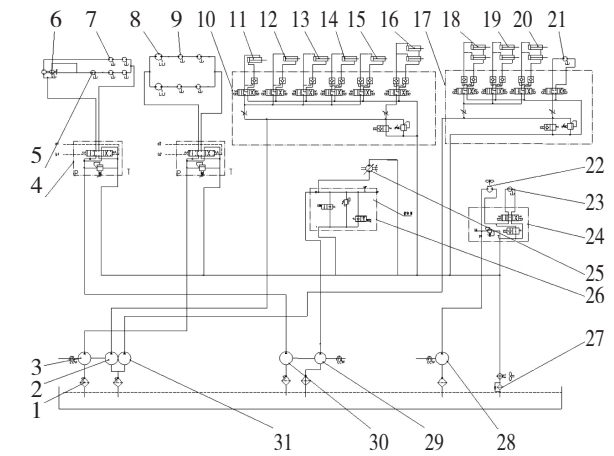


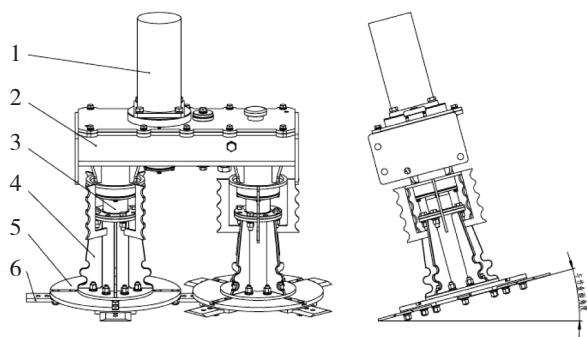
图2 液压传动与控制系统示意图

液压系统主要包括工作泵、马达、液控换向阀、六联控制阀、四联控制阀和升降油缸等，由发动机输出动力驱动。切割马达、压蔗辊马达、扶倒器马达为同单元油路，切段马达、输送马达为同单元油路。切割、输送、切段过程中有石头、木头等异物进入或喂入量大导致堵塞时，采用液控换向阀控制马达正反转的方式排堵。为了有利于蔗叶分离、降

低含杂率、保持风机转速稳定, 风机马达采用独立单元的泵、阀块进行供油与控制。油缸动作采用单独泵及六联、四联阀块控制。

2.2 切割装置

切割装置采用双圆盘切割刀盘, 用来切割甘蔗基部并把甘蔗送入提升辊及输送装置。切割装置主要由马达、齿轮箱、传动轴、齿板、刀盘、切割刀等部件组成, 如图3所示。刀盘上均布有4把刀片, 2个刀盘割刀交错布置, 传动轴上焊接4片阶梯型齿板, 为增加刀盘工作面和甘蔗的摩擦, 在径向均匀堆焊4条6 mm高的焊筋。工作时, 甘蔗被压蔗辊压倒, 与前进方向成 50° 左右倾斜, 高速回转的切割刀切断甘蔗根部, 甘蔗在刀盘、齿板高速旋转以及收割机前进的共同作用下, 被带入输送装置。



1. 马达；2. 齿轮箱；3. 传动轴；4. 齿板；5. 刀盘；6. 切割刀

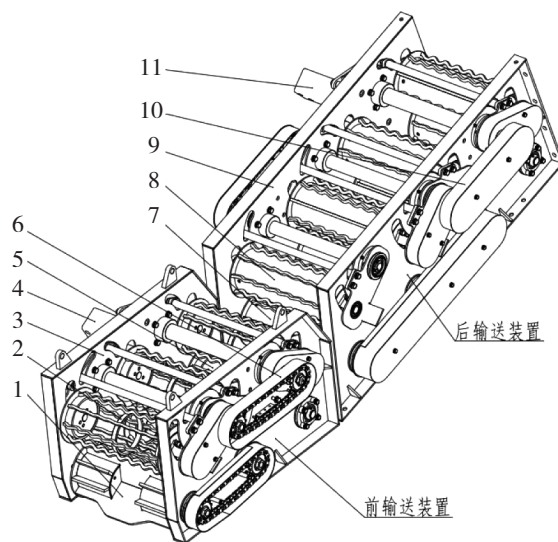
图3 切割装置结构示意图

切割刀盘线速度是切割装置的关键技术参数, 实践表明, 圆盘切割器的圆周速度与破头率和切割所消耗的功率有关。一般切刀圆周线速度取 $15\sim 25\text{ m/s}$ ^[4]。本设计小型收获机整机功率较小, 为减少能耗, 刀盘转速取偏小值 18 m/s 。设计时要保证每行的甘蔗都可以被拢进两刀盘中间, 两刀盘中心距必须大于甘蔗根部生长宽度, 目前单行种植的甘蔗根部生长的最大宽度在 450 mm 左右。因此, 本设计刀盘中心距取 480 mm 。两刀盘之间间隙过大, 容易漏蔗; 间距太小, 工作一段时间的切割刀变形, 容易打到刀盘。结合在田间收获作业经验, 刀盘之间间隙取 25 mm 。根据刀盘中心距和刀盘间隙, 刀盘直径取 455 mm 。收割机入土切割, 刀片受冲击很大, 为了使切割刀具有一定的刚度和强度, 刀片采用Cr12MoV合金钢, 尺寸为

$170\text{ mm}\times 90\text{ mm}\times 6\text{ mm}$, 保证切割刀不因工作中磨损而变化太大。作业时, 一般切割刀片与水平面(作业面)夹角为 $10\sim 20^{\circ}$, 收割机根据不同的培土高度调节刀盘高度, 切割刀片与水平面(作业面)夹角也随之在一定范围内变化。

2.3 输送装置

甘蔗被切割后进入输送装置, 输送装置由前输送装置和后输送装置组成, 如图4所示。前输送装置和切割装置固定安装成整体, 其后端与机架铰接, 前端由液压油缸控制升降。后输送装置与机架固定连接。前输送装置由1个提升辊、2个固定辊、3个浮动辊组成。后输送装置由4个固定辊和4个浮动辊组成。



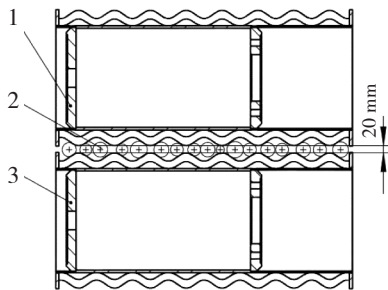
1. 提升辊；2. 前输送装置上浮动辊；3. 前输送装置机架；
4. 液压马达；5. 前输送装置固定辊；6. 传动链轮箱；
7. 后输送装置固定辊；8. 后输送装置浮动辊；
9. 后输送装置机架；10. 传动链轮箱；11. 液压马达

图4 输送装置

根据喂入量 3 kg/s 的需求, 设计输送装置通道宽度为 500 mm , 输送辊直径取 220 mm 。选取输送装置输送速度为 200 r/min ^[5]。按每根甘蔗长度为 2 000 mm 、质量为 1.5 kg 、直径为 30 mm 计, 宽度为 500 mm 的输送装置通道可以平放16根甘蔗, 输送辊线速度为 2.3 m/s 。输送过程中由于甘蔗和输送辊滑动会产生速度差, 输送效率按0.9计, 则甘蔗输送速度为 2.07 m/s , 即相当于输送速度为16根/s, 16根甘蔗质量合计为 24 kg/s , 远远大于喂入量 3 kg/s 要求。

因此, 输送装置通道宽度、输送速度等满足喂入量要求。由于甘蔗生长株距、密度不一, 喂入时会有杂草等进入输送通道, 不是有序喂入, 导致喂入量波动大。因此, 将上辊设计为浮动辊, 可以根据喂入量的大小变化上下浮动。浮动辊和固定辊距离最大可以达到120 mm。

为了保持辊组有足够的夹持力, 减少甘蔗在输送时的相对滑动, 提高输送效率, 辊齿设计成波浪形, 上下辊波浪是峰对峰、谷对谷对应形式, 如图5所示。上下辊的间隙对性能影响很大, 间隙过小, 对易脱叶的甘蔗品种表皮易磨破伤蔗; 间隙过大, 输送效率降低。同时, 切段时输送辊对甘蔗的夹持力不足会导致蔗段长度不一。经多次田间试验调整, 上下辊间隙为20 mm时比较合适, 既可以减少辊组对甘蔗的夹伤, 又能保证输送效率。

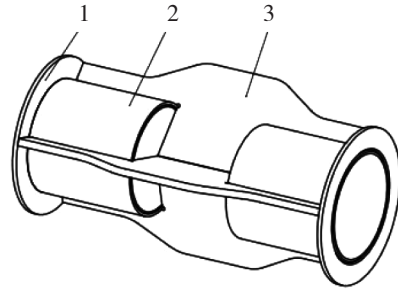


1. 浮动辊; 2. 物料 (甘蔗); 3. 固定辊

图5 上下辊配合示意图

为了配合齿板式切割刀盘装置, 提高输送效率, 刀盘后安装3齿板结构的提升辊。该结构主要由法兰板、马达安装筒、齿板组成, 如图6所示。当甘蔗进入3等分齿板之间时, 甘蔗被抬起, 同时与浮

动辊夹持甘蔗输送到下一组辊筒。提升辊可有效提高喂入速度, 降低甘蔗收获损失, 解决喂入通道堵塞问题。

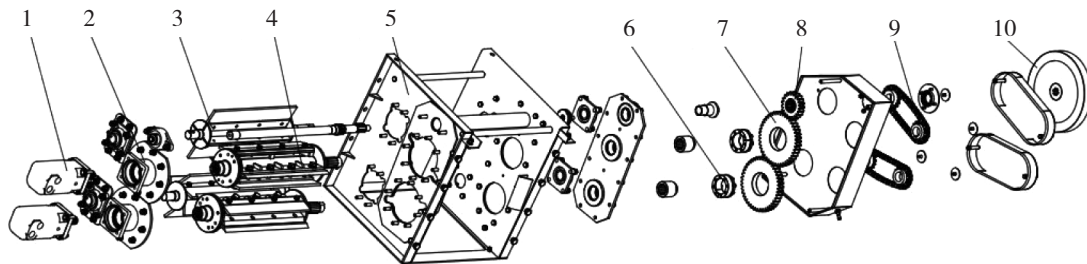


1. 法兰板; 2. 马达安装筒; 3. 齿板

图6 提升辊结构示意图

2.4 切段装置

切段装置的作用是将甘蔗切成一定长度的蔗段, 有利于风机将蔗段和蔗叶分离, 以及集蔗和运输。切段装置主要分为滚切式和砍切式^[6], 本小型甘蔗收获机采用滚切式切段装置, 如图7所示, 该装置由液压马达、抛蔗辊、切段辊、同步齿轮、小齿轮等部分组成。其中切段辊由上下刀辊组成, 刀辊上180°对称安装2片切段刀, 为了保持同步和相对位置关系, 辊组一端安装1对大小一致的同步齿轮, 为了调节上下刀的配合间隙, 以及进异物后实现过载保护, 同步齿轮和刀辊轴头由胀套联结传动。同时, 为了增加切段的惯性力, 设置了飞轮, 通过同步齿轮和小齿轮啮合传动到飞轮, 一般同步齿轮和小齿轮速比约为1:3, 另一端由2个液压马达带动, 切段辊带动抛送辊, 通过链轮、链条分别与上下辊轴头连接传动。该抛送辊的功能是利用一



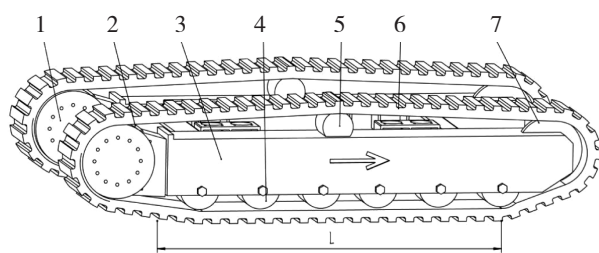
1. 液压马达; 2. 马达座; 3. 抛送辊; 4. 切段辊; 5. 机架; 6. 胀套;
7. 同步齿轮; 8. 小齿轮; 9. 链轮与链条; 10. 飞轮

图7 切段装置结构示意图

定的回转输送作用使切段的甘蔗以分散的形式抛入风机的高压区,同时可防止切段后蔗段沿切段旋转方向回带,有利于风机将蔗段和蔗叶分离。

2.5 履带底盘

一般甘蔗收割机的行走装置有轮式和履带式,轮式行走装置油耗低,速度快,便于机动转移,但在潮湿泥泞或松软土壤上易打滑,牵引力小。履带式行走装置抓地力和坡度适应能力强,可原地转弯。考虑收割机对榨季下雨时蔗地粘滑、坡度较大等工况适应性,本文采用履带式行走装置,该装置由驱动液压马达、驱动轮、机架、支重轮、托轮、橡胶履带、导向轮等组成,如图8所示。



1.驱动液压马达; 2.驱动轮; 3.机架; 4.支重轮; 5.托轮;
6.橡胶履带; 7.导向轮

图8 履带底盘结构示意图

甘蔗双高基地种植采取 1.2 m 以上的等行距种植或宽行 1.2 m 以上的农艺要求^[7],同时考虑收割机在较大坡度作业时的稳定性,本机履带轨距确定为 1.35 m,履带宽度为 0.35 m,可以保证收割机在作业时不碾压旁边一行甘蔗,在不对中收割时,又能收获最窄行距 0.9 m 宽的甘蔗,在丘陵坡地作业时也具有较好的稳定性。

履带接地长度 L 要适中,过长则转向阻力大导致转向困难,过短则纵向平衡性差,有翘头或翘尾现象。按行走装置的工作环境及设计要求,允许的平均接地比压值 $P \leq 55 \text{ kPa}$ 。根据履带平均接地比压和整机质量,确定履带接地长度 L 。接地比压与履带接地长度存在以下关系

$$\frac{G}{2bL} \leq P$$

式中 P 为行走装置的允许接地压力, kPa; G 为机体的重力, kN; b 为履带的宽度, m。

即 L 最小长度为

$$L \geq \frac{G}{2bP}$$

根据收获机结构设计的总质量,取 G 为 70 kN,履带宽度 b 为 0.35 m,计算得 $L \geq 1.82 \text{ m}$ 。考虑纵向稳定性,取履带接地长度 L 为 2 m。

履带行走装置的接地长度和履带轨距的比值对履带行走机构的转向性能和转向所需的功率影响较大,如果比值大于 1.7,履带行走装置很难转向,如果比值小于 1.0,行走机构的直线行走能力较差,必须频繁地转向^[8]。根据已知履带轨距 B 为 1.35 m,得

$$\frac{L}{B} = \frac{2}{1.35} = 1.48$$

计算的比值小于 1.7,大于 1.0,满足要求。

为了保证通过性,底盘离地最低位置设计高度为 0.3 m。根据我国主要甘蔗种植区大部分坡度小于 15° 的状况,甘蔗收割机应具备不小于 15° 的爬坡能力^[9]。接近角和离去角是机器接近或离开障碍物时不产生碰撞的可能性表示,接近角和离去角越大,通过性越好^[10]。同时,为了平衡履带底盘接触压力,保证足够的接触面积,该履带底盘采用的接近角为 17° ,离去角为 13° 。

3 田间试验

2019/2020 榨季,4GQ-1C 型甘蔗收获机先后在扶绥县渠黎镇、来宾市兴宾区进行连续作业试验。本榨季进行甘蔗收获作业地块的最大坡度为 8° ,在进行爬坡能力测试中,4GQ-1C 型甘蔗收获机可在坡度为 15° 的斜坡顺向行走,大于实际作业地块的最大坡度,满足设计要求。收获的甘蔗种植行距在 0.9~1.2 m 之间,有中蔗 9 号、柳城 10137、桂糖 42 等脱叶难易不同的品种。作业时间为 30 d,作业收获量约 700 t,作业面积约 13.5 hm^2 。在雨后的天气作业,对比在同一地块作业的轮式收割机,轮式容易打滑,难以继续作业,履带式通过性强,能连续作业,适应雨后的作业天气。在扶绥县渠黎镇的甘蔗种植基地进行性能测定,品种为中蔗 9 号,行走速度为 1.0 km/h,作业性能测定结果为:总损失率为 2.38%,宿根破头率为 8.3%,含杂率为 6.2%,纯工作小时生产率为 $0.12 \text{ hm}^2/\text{h}$,燃油消耗率为 $150 \text{ kg}/\text{hm}^2$ 。

4 结语

1) 根据 2019/2020 榨季连续 30 d 试验验证, 结果表明, 样机关键部件设计合理, 性能可靠, 总损失率、宿根破头率、含杂率等主要性能指标达到设计要求, 因此本研究开发的收割机性能达到了预期效果。

2) 研制的 4GQ-1C 型甘蔗收获机可适用于地块小、行距窄、坡度相对较大的甘蔗地进行收获作业, 适应性强, 作业效率高, 具有良好的市场前景, 但收获倒伏严重的甘蔗时, 扶倒喂入系统的性能还有待进一步改进提高。

参考文献

- [1] 罗超. 广西甘蔗收割机械化研究[J]. 市场论坛, 2017(3): 13-14.
- [2] 游建化, 方锋学, 陈引芝, 等. 广西甘蔗生产机械化现状及发展对策[J]. 中国糖料, 2008(4): 69-72.
- [3] 朱寿林, 傅坤仁, 张清华, 等. 东风-12小型甘蔗收割机的研制和性能试验[J]. 福建农学院学报, 1981, 12(3): 1-3.
- [4] 中国农业机械化科学研究院. 农业机械设计手册[M]. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2007: 1120.
- [5] 沈中华, 李尚平, 麻芳兰, 等. 提高整杆式小型甘蔗收割机喂入能力的试验研究[J]. 湖南农业大学学报, 2017, 43(4): 451-455.
- [6] 中国农业机械化科学研究院. 农业机械设计手册[M]. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2007: 1125.
- [7] 卢业飞, 黄燕妮, 伍才龙, 等. 广西糖料蔗“双高”基地和良繁基地建设情况研究[J]. 广西糖业, 2017, 12(6): 3-6.
- [8] 孙超, 左鹏. 采摘平台履带式驱动机构的设计与计算[J]. 当代农机, 2018(4): 75-77.
- [9] 梁宇达, 邹小平, 胡圣荣, 等. 切段式甘蔗联合收割机履带底盘设计与试验[J]. 甘蔗糖业, 2015(5): 23-27.
- [10] 吕小荣, 丁为民, 吕小莲. 丘陵山区小型多功能底盘液压系统的设计[J]. 华中农业大学学报, 2014(3): 128-132.

Design and Experiment of 4GQ-1C Sugarcane Harvester

Yang Zizeng, Zeng Bosheng, Lu Yutian, Huang Weifeng

(Guangxi Agricultural Machinery Research Institute Co., Ltd., Nanning 530007, China)

Abstract: A kind of self-propelled caterpillar sugarcane billet harvester was designed, to aim at harvesting sugarcane planted in hilly areas in China. The machine could complete the process of cutting cane topper, separating sugarcane in different rows and lifting up the lodging situation sugarcane, cutting cane roots, conveying canes, chopping canes into segments, eliminating trash from the billet canes, and gathering the canes in the collector at once, which is suitable for sugarcane harvesting in large slope, small spots and retail planting sugarcane areas. In this paper, the designs on overall structure, working principle, technical parameters and the hydraulic system were introduced, and the key components such as the root cutter, the conveyor, the chopper, and the caterpillar were elaborated with their design parameters. Field tests were conducted to measure the operation ability and stability. The results showed that the total loss rate was 2.38%, the permanent root breakage rate was 8.3%, the impurity rate was 6.2%, the pure working hour productivity was 0.12 hm²/h, and the fuel consumption rate was 150 kg/hm². In a word, the 4GQ-1C sugarcane harvester has good adaptive capacity and works well in hilly sugarcane planting areas, and all main parameters meet the design requirements.

Key words: sugarcane; harvester; parameter; design; experiment