

DOI:10.3969/j.issn.1000-1298.2010.Supp.020

自走式灌木平茬机设计与试验*

刘志刚^{1,2} 王德成² 郝兴玉¹ 刘贵林¹ 张宁¹ 王志军¹

(1. 中国农业机械化科学研究院呼和浩特分院, 呼和浩特 010020; 2. 中国农业大学工学院, 北京 100083)

【摘要】 针对我国西部地区沙生灌木平茬复壮工作迫切, 人工平茬难、劳动强度大、效率低等问题, 以及为荒漠化防治实现机械化技术, 设计了具有铰接式车体机构的自走式灌木平茬机, 实现扭腰式扇面摆动切割作业。提出了人工操纵与机具自适应仿形相结合的纵横向仿形收割沙生灌木方法, 并对柠条、沙柳进行了收割试验。试验结果为: 柠条漏割损失率小于等于 0.8%, 割茬破损率为 2.9%; 沙柳漏割损失率小于等于 0.8%, 割茬破损率为 2.5%, 割茬高度小于等于 7 cm, 整机可靠性系数 98.5%, 生产率 3 t/h。

关键词: 灌木平茬机 切割 沙生灌木 设计 试验

中图分类号: S225.93 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2010)S0-0095-04

Design and Experiment on Self-propelled Shrub Cutter

Liu Zhigang^{1,2} Wang Decheng² Hao Xingyu¹ Liu Guilin¹ Zhang Ning¹ Wang Zhijun¹

(1. Huhhot Branch, Chinese Academy of Agricultural Mechanization Sciences, Huhhot 010020, China

2. College of Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China)

Abstract

Aiming at some problems of shrub in western region, such as difficult to harvest, heavy labor intensity and low productivity and so on, moreover, in order to provide technical support for combating desertification, a self-propelled shrub harvester with special articulated carbody was developed. It can work in twist-waist manner and sway along the sector surface. Simultaneously, one new shrub harvesting method of vertical and horizontal profile modeling for shrub combined manual operation with adaptive profile modeling was proposed. Also experiments on caragana microphylla and sand willow harvest were carried out. The tested results were listed as follows: caragana microphylla missing cutting rate was equal or less than 0.8%, percent of broken stubble was 2.9%; sand willow missing cutting rate was equal or less than 0.8%, percent of broken stubble was 2.5%, the height of stubble was equal or less than 7 cm, reliability coefficient was 98.5%, the turnout was 3 t/h.

Key words Shrub cutter, Cutting, Desert shrub, Design, Experiment

引言

柠条、沙柳等沙生灌木是我国西部地区防沙治沙、改良沙化草原的重要树种。全国沙生灌木栽植面积已达 986 万公顷。根据沙生灌木的生长特性, 每 3~5 年需平茬复壮一次, 如不及时平茬, 灌木就会自然枯死^[1]。因此, 需研制沙生灌木平茬收割装

备。目前发达国家割灌机、灌木联合收割粉碎机、灌木联合收割打捆机均有成熟的机型, 但这些机具均以收获人工种植的能源灌木林为收割对象。它们种植的土地平整、土壤坚实度较高, 灌木品种经过精心选育, 生长粗细均匀, 灌木都直立向上, 旁生枝极少, 灌木均为机械化种植, 株行距均根据收获需要定制^[2-3], 这些机具根本不适合我国沙生灌木生长地

收稿日期: 2010-07-01 修回日期: 2010-07-16

* “十一五”国家科技支撑计划重点项目(2007BAD35B00)

作者简介: 刘志刚, 高级工程师, 中国农业大学博士生, 主要从事牧草及沙生灌木收获加工机械研究, E-mail: lzhg2008@126.com

通讯作者: 王德成, 教授, 博士生导师, 主要从事草业机械研究, E-mail: wdc@cau.edu.cn

域凸凹不平、沙石遍地、地面松软、灌木多为自然繁育或人工种植、无行无列、粗细不一、呈散射状丛生的现状,所以在国内无法使用。我国目前常用的方法是人工撅头砍伐平茬、人工夹剪平茬和背负式割灌机平茬,生产效率低,劳动强度大,采收成本高,平茬质量差。对于一些以小型拖拉机为动力的割灌设备,因其在整机的通过性、仿形性、切割刀具等方面存在问题,也未能获得大面积推广应用^[5-6]。我国的平茬收获现状已制约了国家各项防沙治沙工程的大面积开展,急需研究适合我国国情、生产率高、能适应沙生灌木生长环境及现状的平茬新方法。针对上述问题,设计一种自走式灌木平茬机械。

1 基本结构与工作原理

1.1 基本结构

该机主要由液压系统、驱动底盘、自适应仿形系统和切割部件组成。其整体结构配置如图1所示。主要工作部件由固定架焊合件、横向浮动机构、弹簧悬挂架、纵向浮动机构、电磁制动器、柱塞马达、诱导杆焊合件、浮动拉簧、齿轮箱、万向滑掌、锯盘等部分组成^[7]。

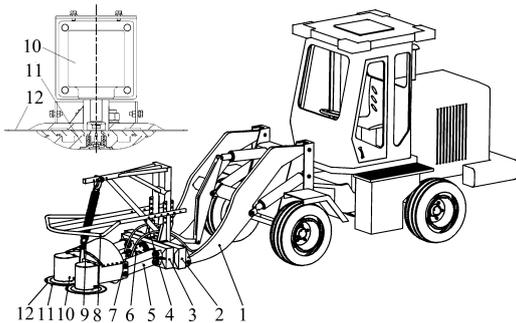


图1 自走式灌木平茬收割机整体结构图

Fig.1 Self-propelled shrub cutter overall structural configuration

1. 驱动底盘 2. 固定架 3. 横向浮动机构 4. 弹簧悬挂架
5. 纵向浮动机构 6. 电磁制动器 7. 马达 8. 诱导杆 9. 浮动拉簧
10. 齿轮箱 11. 万向滑掌 12. 锯盘

1.2 工作原理

驾驶员在驾驶室内通过操纵液压控制手柄来控制整机的前进、后退、转向、仿形与切割,机具行走工作时,驾驶员目测锯盘与地面的距离与角度,手动控制驱动底盘举升臂油缸,来控制举升臂的起落,使切割部件移动到最佳切割位置,直到切割器的万向滑掌接触地面,此时在地面对滑掌的反力作用下,使切割部件随地形条件的变化上下浮动,同时横向仿形系统以铰接轴为中心,自行横向摆动,使两个切割圆锯盘均刚好接触地面。为了适应行进前方地面的坡度,驾驶员可通过操纵油缸转动转臂来改变整个机架相对举升臂的角度,实现切割刀盘相对地面的攻

角;机器前进时,位于锯盘下方随地面起伏,因此锯片既可贴近地面的万向滑掌,保证割茬高度一致,又可减少沙石对锯盘的损伤,且减小了前进摩擦阻力。在仿形机构配合作用下,实现自适应与驾驶员操纵相结合的仿形切割要求。自走底盘为铰接式车体,通过驾驶员左右转动方向盘,车体前部分带动整个工作部件及切割器可实现“扭腰”左右摆动,实现宽幅摆动切割作业。电磁制动器可以将横向浮动机构锁定在机器横向仿形的任意角度,以实现特殊地形条件下灌木的切割。机器在前进切割时,被割倒的灌木枝顺着箭头型诱导杆整齐地排放在机器的两侧,可以减少下一道工序的工作量。自走底盘为全时四轮驱动,并配有加宽沙漠工程轮胎,保证机具在沙漠草原工作时有良好的通过性。液压驱动及操控系统由行走系统、切割系统、转向系统及手动仿形系统组成,分别控制整机的行走、切割、转向以及举升臂和转臂的举升和转动。整机采用全液压传动,机构简单、安全可靠、操作方便。

2 总体设计

2.1 技术路线

自走式灌木平茬机技术路线如图2所示,主要由行走、仿形和切割3部分组成,各部分运动均由驱动底盘上的发动机带动各自部分的液压泵驱动相应执行部件工作,通过换向阀控制各种动作。行走部分通过大排量泵、小排量泵和机械变速齿轮箱实现切割时的超低速行走、丛与丛之间移动时的中速行走和公路上行驶时的高速行走;仿形部分通过液压泵I驱动转向液压油缸、转臂液压油缸、举升臂液压油缸实现机具的人工仿形和横向仿形;切割部分由液压泵II、离合器和柱塞马达组成,离合器的主要作用是在机具不进行切割作业时将液压泵II与发动机分离,降低动力消耗。

2.2 关键部件设计

2.2.1 仿形机构设计

由于柠条、沙柳等沙生灌木的生长环境都比较大较恶劣,所以灌木收割机具的仿形成为一大难点。通过多次试验并改进,最终采用人工操作控制举升臂与转臂油缸的仿形和机具自适应仿形相结合的方法。自适应仿形系统由纵向仿形、横向仿形和万向滑掌三套系统构成。纵向仿形系统由一套安装在举升臂前端机架上的四连杆机构、转臂与复位弹簧组成。横向仿形系统通过横向摆动轴将工作部件铰接在纵向仿形机构前端,双圆盘切割器安装在横向仿形机构前端,球面的万向滑掌安装在圆锯盘中心的下端,可相对锯盘自由转动。利用横向仿形与纵向

仿形相结合可以实现对三维空间的仿形。该仿形方式有效的解决了沙生灌木割茬紧贴地表的问题。

2.2.2 锯盘结构设计

锯盘是灌木平茬机的主要工作部件,锯盘覆盖面积应尽量大,但锯盘直径增大会增加功率消耗,使整机体积过于庞大,特别是机器的通过性会明显变差^[8]。通过多次现场试验,综合考虑灌木从根部直径及半球形沙包直径,采用双锯盘相向向外转切割

方式。锯盘材料选用高硬度、淬透性好、脱碳倾向少、切削性好的65Mn,调质处理,刃口高频淬火处理。为了避免割茬太高及锯盘与土摩擦损坏,设计的万向滑掌可保证锯盘离地高度为30~70 mm。锯盘主要参数:刀头宽度为 (3.0 ± 0.03) mm,外圆跳动为0.15~0.20 mm,端面跳动为0.30~0.35 mm,硬度为40HRC~44HRC,齿数72,前角 $(20 \pm 1)^\circ$,齿型为 55° 左右开锯路,平齿出锋。

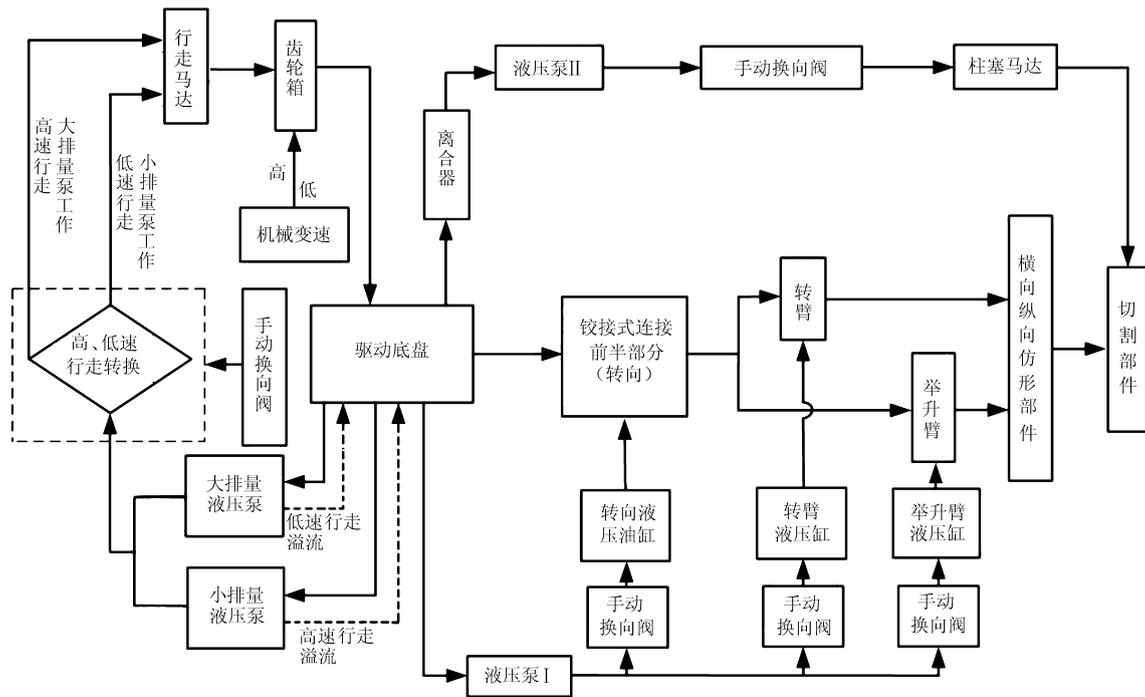


图2 自走式灌木平茬机技术路线

Fig. 2 Self-propelled shrub cutter technological line

2.2.3 锯盘转速选取

锯盘的切割线速度、功率及整机前进速度三者关系是否适宜直接影响灌木割茬质量^[9]。本机采用旋转式锯盘无支撑切割原理,因此需要切削刃具有足够的线速度。锯盘线速度的选择与所切灌木茎杆的直径以及纤维组织结构有关。锯盘线速度在60~90 m/s之间,切割所需要的功率最低。考虑到系统安全性以及机器的耗能、震动及噪声,锯盘线速度确定为60 m/s。根据

$$v = \frac{\pi nd}{60} \quad (1)$$

式中 v ——锯盘线速度, m/s
 n ——锯盘转速, r/min
 d ——锯盘直径, m

反推得 $n = 2\,247$ r/min。

2.3 锯盘消耗功率估算

根据动力学原理,锯盘空转消耗的功率为

$$P_k = \frac{mv^2 + J\omega^2}{2} \quad (2)$$

式中 m ——锯盘质量, $m = 4.0$ kg
 J ——锯盘转动惯量, $J = 0.1$ kg·m²
 ω ——锯盘转动角速度, $\omega = 235$ rad/s
 计算得 $P_k = 7.9$ kW。

锯盘切割灌木时消耗功率为

$$P_q = \frac{v_m A l_0}{102} \quad (3)$$

式中 v_m ——机器工作前进速度, $v_m = 1.1$ m/s
 A ——锯盘切割宽度, $A = 0.4$ m
 l_0 ——切割柠条时所需的功, $l_0 = 490$ J/m²^[10]
 计算得 $P_q = 2.1$ kW。

通过计算得总功率 $P = P_k + P_q = 10$ kW, 由于采用双锯盘, 所以当两个锯盘同时进行切割时消耗功率20 kW。根据锯盘功率消耗选定传动型式以及发动机、液压泵等其他部件的选型。

3 试验与结果分析

3.1 试验条件与方法

试验选择在两个具有典型地形条件和灌木生长

情况的地点:和林格尔县樊家夭乡中国农机院呼和浩特分院试验基地,该作业地段为3~7年生柠条,密度为30~50株/丛,根部直径为20~50 mm,柠条丛根部直径500 mm左右,最大自然高度2.1 m,丛距2 m,行距3 m,地形条件为硬梁坡地,地表凹凸不平;鄂尔多斯市达拉特旗吉格斯太镇乌兰壕村,该作业地段为3~6年生沙柳,密度为20~60株/丛,根部直径为20~60 mm,沙柳丛根部直径700 mm左右,最大自然高度4.2 m,丛距2 m,行距3 m,地形条件为沙区林地,地势基本平坦,坡度小于20°。

由于目前还没有国家或行业标准可以依据,试

验参照中国农业机械化科学研究院呼和浩特分院企业标准进行。机器前进速度1 m/s,锯盘刃口最高线速度60 m/s。

3.2 试验结果分析

由于试验对象分别为柠条和沙柳,以及地形条件等的差别,试验结果也有所不同。试验中累计收割柠条、沙柳共约5.2 hm²,总工作时间为232 h。试验测定了样机的技术经济指标,并予以确定。在试验期间,还对作业质量进行了抽查。柠条的漏割损失率、割茬破损率、割茬高度见表1~3,分别为0.79%、2.9%、51 mm。

表1 漏割损失率试验结果
Tab.1 Mensuration of miss cutting rate

| 参数 | 第1次 | | | 第2次 | | | 第3次 | | |
|------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | 位置1 | 位置2 | 平均 | 位置1 | 位置2 | 平均 | 位置1 | 位置2 | 平均 |
| 灌木量/kg·m ⁻² | 50 | 70 | 60 | 70 | 80 | 75 | 60 | 80 | 70 |
| 取样面积/m ² | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 取样面积内损失量/kg | 0.60 | 0.40 | 0.50 | 0.50 | 0.60 | 0.55 | 0.40 | 0.74 | 0.57 |

表2 割茬破损率试验结果
Tab.2 Mensuration of broken stubble rate

| 参数 | 第1次 | | | 第2次 | | | 第3次 | | |
|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| | 位置1 | 位置2 | 平均 | 位置1 | 位置2 | 平均 | 位置1 | 位置2 | 平均 |
| 取样丛数 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 灌木株数 | 31 | 43 | 37 | 35 | 49 | 42 | 39 | 47 | 43 |
| 破损株数 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 2.0 | 1.0 | 1.5 |

表3 割茬高度试验结果
Tab.3 Height of stubble mensuration

| 参数 | 第1次 | | | 第2次 | | | 第3次 | | |
|---------------|-----|-----|----|-----|-----|----|-----|-----|----|
| | 位置1 | 位置2 | 平均 | 位置1 | 位置2 | 平均 | 位置1 | 位置2 | 平均 |
| 每丛割茬(平均)高度/mm | 55 | 51 | 53 | 64 | 36 | 50 | 30 | 70 | 50 |

用同样的方法测得沙柳的漏割损失率小于等于0.8%、割茬破损率小于等于2.5%、割茬高度小于等于70 mm。通过试验,测得该机的整机可靠性系数为98.5%,生产率3 t/h。

通过对平茬后沙柳进行跟踪观察,发现使用该机具平茬的灌木生长旺盛,无死亡现象,春季发芽后1个月平均生长高度为0.5 m,5个月平均生长高度为3 m。

4 结束语

自走式灌木平茬机实地试验表明,该机性能稳定,作业顺畅,无故障发生,具有收割效率高、劳动强度低、操作及维修方便等优点。该机能完全满足柠条、沙柳等沙生灌木平茬的生物学要求,平茬后的柠条、沙柳生长旺盛,达到复壮的效果。

参 考 文 献

- 1 宫彩霞. 内蒙古生态灌木生物质能源开发方略[J]. 内蒙古林业科技, 2006, 32(4): 42~45.
- 2 Guillaume L. Cutting, Bundling and Chipping Shortrotation Willow[C] // Proceedings of CSAE/SCGR2005 Meeting, 2005: 29~33.

- model[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2005, 36(3):57~59. (in Chinese)
- 4 张杨. 甘蔗收割机拨指链式扶蔗器样机研究[D]. 广州:华南农业大学,2008.
Zhang Yang. Virtual prototype study on the rake bar chain-type sugarcane lifter[D]. Guangzhou: South China Agricultural University, 2008. (in Chinese)
- 5 刘庆庭,区颖刚,卿上乐,等. 甘蔗收割机单圆盘根切器虚拟样机研究[J]. 农业机械学报,2007,38(8):78~81.
Liu Qingting, Ou Yinggang, Qing Shangle, et al. Virtual prototype study on single disc basecutter of sugarcane harvester[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2007,38(8):78~81. (in Chinese)
- 6 刘庆庭. 甘蔗切割机理[D]. 广州:华南农业大学,2004.
Liu Qingting. The cutting mechanism of sugarcane [D]. Guangzhou: South China Agricultural University, 2004. (in Chinese)
- 7 蒙艳玫,刘正士,李尚平,等. 甘蔗收获机械排刷式剥叶元件虚拟试验分析[J]. 农业机械学报,2003,34(3):43~46.
Meng Yanmei, Liu Zhengshi, Li Shangping, et al. Virtual experiment analysis of a brush shape of cleaning element for sugarcane harvester [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2003, 34(3):43~46. (in Chinese)
- 8 李志红. 甘蔗收获机圆弧轨道式柔性夹持输送机理研究[D]. 广州:华南农业大学,2006.
Li Zhihong. Study on the arc-rack type flexible holding and conveying of sugarcane harvester[D]. Guangzhou:South China Agricultural University, 2006. (in Chinese)
- 9 张增学. 梳刷式甘蔗剥叶机剥叶机理的试验研究[D]. 广州:华南农业大学,2002.
Zhang Zengxue. Experiment on leaf peeling mechanism of combing brush sugarcane [D]. Guangzhou: South China Agricultural University, 2002. (in Chinese)
- 10 徐灏,等. 机械设计手册:第1卷[M]. 北京:机械工业出版社,1991:35.
- 11 解福祥. 整秆甘蔗收割机组合式扶起装置设计与试验[D]. 广州:华南农业大学,2009.
Xie Fuxiang. Design and test on the combined lifting device of whole stalk sugarcane harvesters[D]. Guangzhou: South China Agricultural University, 2009. (in Chinese)

~~~~~

(上接第98页)

- 3 Coppice Resources Ltd. Development of an SRC harvesting and chipping system [C] // Energy Technology Support Unit (ETSV), Harwell, UK, 2000.
- 4 Boyd J,Christersson L, Dinkelback L. Energy from willows[C]//The scottish Agricultural College, Edinburgh UK, 2000.
- 5 恩和,毕玉革. 沙生灌木平茬工艺及切割机理的分析[J]. 林业机械与木工设备, 2004, 32(8):43,50.
- 6 杨志宏. 柠条机械化平茬收获的特点和难点[J]. 农村牧区机械化,2005(1):27.
- 7 中国农业机械化科学研究院呼和浩特分院. 多功能自走式灌木平茬收获机:中国,ZL200920156056.0[P]. 2010-02-24
- 8 (苏)卢里耶 AB 罗姆勃切夫斯基 A A. 农业机械的设计和计算[M]. 北京:中国农业出版社,1983:464~466.
- 9 梁建平. 2GP-100 灌木平茬机研究设计[J]. 内蒙古林业科技,1994(4):26.
- 10 马永康,张振国,边胤. 柠条收割机切割器的设计与试验[J]. 农业机械学报,2007,38(7):203.
- 11 吕文,王春峰,王国胜,等. 中国林木生物质能源发展潜力研究(1)[J]. 中国能源,2005,27(11):21~26.  
Lü Wen, Wang Chunfeng, Wang Guosheng, et al. Preliminary research of wood energy development potential in China[J]. Energy of China, 2005, 27(11):21~26. (in Chinese)
- 12 吕文,王春峰,王国胜,等. 中国林木生物质能源发展潜力研究(2)[J]. 中国能源,2005,27(12):29~33.
- 13 梅二罕,赵建龙,李俊梅. 发展锦鸡儿的重要意义[J]. 内蒙古林业,2004(2):10~11.