

自走式沙柳平茬机参数设计与试验*

刘志刚^{1,2} 王德成¹ 翟改霞² 刘贵林² 郝兴玉² 张 宁²

(1. 中国农业大学工学院, 北京 100083; 2. 中国农业机械化科学研究院呼和浩特分院, 呼和浩特 010010)

摘要: 阐述了自走式沙柳平茬机结构及工作原理,并针对自走式沙柳平茬机平茬作业过程中锯片转速与行走速度匹配问题,对其切割锯片线速度、机具行走速度等工作参数及驱动底盘进行了设计与试验。试验结果表明:沙柳平茬作业适宜的切割器线速度为 50 m/s;机具行走速度由灌丛大小及植株密度决定;机具沙地行走有效爬坡角度小于 10°。

关键词: 沙柳 平茬机 设计 试验

中图分类号: S776.27⁺6 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2013)S2-0107-04

Parameters Design and Experiment on Self-propelled
Salix psammophila Stumping Machine

Liu Zhigang^{1,2} Wang Decheng¹ Zhai Gaixia² Liu Guilin² Hao Xingyu² Zhang Ning²

(1. College of Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China

2. Huhhot Branch, Chinese Academy of Agricultural Mechanization Sciences, Huhhot 010010, China)

Abstract: The structure and working principle of the self-propelled *Salix psammophila* stumping machine were described. And aiming at the saw blade rotation speed and walking speed matching problem of the machine, the design and experiment on the working parameters were carried out, such as cutting saw blade linear velocity and machine walking speed, and the structure of the drive chassis. Results of the trial were summarized as follows. The proper linear cutting velocity for *Salix psammophila* stumping was 50 m/s. And the machine walking speed was determined by the brush size and plants density. The effective uphill angle of the machine walking on sand was less than 10°.

Key words: *Salix psammophila* Stumping machine Design Experiment

引言

沙柳(*Salix psammophila*) 别名西北沙柳、北沙柳,是草原地带典型的沙生中旱生落叶灌木或小乔木,在我国主要分布于毛乌素沙地、库布其沙漠及其周边地区,是我国西部防沙治沙、改良沙化土地的重要植物,在我国治理沙化危害中发挥着重要作用。根据沙柳的生长特性,定期平茬是沙柳唯一的抚育措施,因为沙柳的生长主要集中在前3年,第4年以后生长开始变慢,并逐渐衰退,但一经平茬又会萌发

大量枝条,旺盛生长^[1~2]。我国现有沙柳平茬方式为人工砍伐平茬和利用背负式割灌机平茬,这些作业方式劳动强度大、效率低、安全性差,无法满足大面积沙柳平茬抚育的需要。国外虽有大型灌木联合收获机械,但其作业对象只针对在平坦耕地上种植的能源灌木林,不适合在我国沙柳生长地区作业^[3]。目前,仅鄂尔多斯市的60万hm²沙柳林地中,就有50%左右因没有及时平茬而出现不同程度的生长退化,面临二次沙化的危险。因此,有必要研制适合沙柳高效平茬复壮作业的机具。

收稿日期: 2013-06-25 修回日期: 2013-07-10

* “十二五”国家科技支撑计划资助项目(2013BAD22B02)和科技部科技型中小企业技术创新基金资助项目(12C26211500972)

作者简介: 刘志刚,博士生,中国农业机械化科学研究院高级工程师,主要从事牧草收获加工机械研究,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

1 沙柳平茬机主要结构与工作原理

1.1 工作环境与平茬机具设计要求

沙柳大多生长在地表凸凹不平、地面松软的丘间沙地,沙柳丛外观呈无主干散射状,灌丛大小、枝干粗细不均;由于阻挡风沙的特性,其根部常集聚大小不等的球冠或椭球冠状沙丘。经实地测量与统计分析,鄂尔多斯地区 5 年龄沙柳丛根部沙丘底圆直径在 900 mm 左右,沙丘顶部与外沿之间平均垂直距离为 200 mm。植株密度平均 105 株/丛,单株根部直径在 20 ~ 30 mm 的占 52%。在沙柳林地 0 ~ 200 mm 深度采样,沙土颗粒尺寸较均匀,0.10 ~ 0.25 mm 的细沙占 64.6%;沙土含水率 5.1% (2012 年 10 月中旬),密度 1.57 g/cm³,土壤紧实度 200 kPa。

沙柳平茬机具的设计要求:①沙地附着力较差,机具应有较强的沙漠通过能力。②留茬高度根据在沙地中沙柳所生长的位置以及功能的不同而有所差别,普遍茬高在 70 mm 以下较为理想,因此,机具应有对球冠状沙丘的仿形功能。③沙柳平茬后最理想的切割端面应呈较为光滑的圆形或椭圆形,这样对复壮较为有利,但是在平茬时作业地况复杂,有植物根系、沙土、卵石等,所以要求切割刀具应有良好的切削性、韧性、耐磨性和散热性^[4~5]。

1.2 主要结构

沙柳平茬机的主要结构如图 1 所示,主要由圆盘锯式切割器、纵向仿形系统、横向仿形机构、V 型诱导杆、翻转臂、举升臂、驾驶室、发动机、铰接式驱动底盘、液压系统和电气系统等组成^[6];其中圆盘锯式切割器由切割器架体、锯片、锯片法兰盘、滑掌、T 型换向齿轮箱、传动带轮、传动带张紧机构、柱塞马达等组成;纵向仿形系统由四连杆机构及纵向仿形拉簧组成。驱动底盘轮胎选用 15.5/60-18TL 型低压胎。切割器通过纵向仿形系统、横向仿形机构

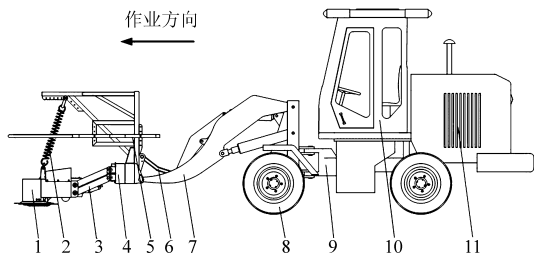


图 1 沙柳平茬机整体结构图

Fig. 1 Overall structure of *Salix psammophila* stumping machine

1. 圆盘锯式切割器 2. 纵向仿形拉簧 3. 四连杆机构 4. 横向仿形机构 5. V 型诱导杆 6. 翻转臂 7. 举升臂 8. 轮胎
9. 铰接式驱动底盘 10. 驾驶室 11. 发动机

和铰接式驱动底盘前部的两个举升臂、一个翻转臂三点铰接安装。

1.3 工作原理

发动机经主离合器将动力传递给分动箱,分动箱上不同功能的液压泵经液压控制系统将动力传递给行走传动系统、切割传动系统、机具转向机构、举升臂、翻转臂等各执行机构。机具转向、举升臂、翻转臂由同一个液压泵提供动力,分别由转向机和换向阀控制对应液压缸的动作。工作时,驱动底盘匀速行进,圆盘锯式切割器在纵、横向仿形机构的作用下随地面浮动仿形,高速旋转的锯片将沙柳从根部适当位置切断,被切断的沙柳沿 V 型诱导杆倒向机具两侧。调整举升臂的高度能增加纵向仿形量,调整翻转臂可改变锯片的切割倾角。左右转动方向盘可使铰接式底盘前车身带动割台扇形摆动切割。

2 主要部件设计与参数确定

2.1 双圆盘锯割台设计

2.1.1 锯片参数的确定

依据所测沙柳丛根部直径,确定割台割幅为 1 010 mm,采用双锯片相向向外转动方式切割,单片圆锯片直径为 500 mm,2 锯片内侧有 10 mm 间隙。圆锯片材料为 65Mn 弹簧钢,其弹性及塑性好,热处理淬透性好。齿行为截背齿,齿数 72,前角 25°,锯片厚度为 2.4 mm,锯料量为 0.6 mm,硬度为 40 ~ 44 HRC。

2.1.2 锯片转速与机具前进速度的确定

锯片的转速、锯切时机具的前进速度及齿数是影响灌木茬口质量和切割效率的关键因素^[7],依据木材锯切推荐的每齿进给量 0.1 ~ 0.2 mm、锯片齿尖线速度 40 ~ 70 m/s,初步确定每齿进给量为 0.15 mm,考虑到机具的可靠性和安全性,确定锯片齿尖线速度为 50 m/s。则锯片转速为

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

式中 v ——锯片线速度, m/s

n ——锯片转速, r/min

D ——锯片直径, m

将 $D = 0.5$ m, $v = 50$ m/s 代入式(1),计算得锯片转速 $n = 1\,910$ r/min。有

$$U = \frac{U_z n}{1\,000} \quad (2)$$

式中 U ——机具前进速度, m/s

U_z ——锯片每齿进给量, mm

z ——锯片齿数

将 $z = 72$, $U_z = 0.15$ mm 及 $n = 1\,910$ r/min 代入

式(2),计算得机具前进速度 $U=0.34\text{ m/s}$ 。

2.1.3 锯切功率消耗的估算

根据动力学原理,锯片及其上下法兰盘空转消耗的功率为

$$P_k = \frac{J\omega^2}{2\,000} \tag{3}$$

式中 J ——锯盘转动惯量,取 $0.37\text{ kg}\cdot\text{m}^2$
 ω ——锯盘转动角速度,取 200 rad/s

计算得 $P_k=7.4\text{ kW}$ 。

根据木材切削原理,目前在工程计算上多用经验公式来计算切削力和切削功率^[8],锯片锯切沙柳消耗功率为

$$P_c = \frac{KhbU}{102} \tag{4}$$

其中 $K=K_\varphi a_s a_w a_\delta a_v a_h a_t$ (5)

式中 K ——单位切削力,MPa
 h ——切削厚度,按锯片同时锯切 8 株直径 25 mm 的沙柳计算,取 200 mm
 b ——切削宽度,2.4 mm

K_φ 为木材不同方向的单位切削力,横向切削时为 0.5 MPa; a_s 为木材树种修正系数,沙柳取 0.8; a_w 为木材含水率修正系数,新伐材锯切时为 1.1; a_δ 为切削角修正系数,切削角 55°横向锯切时为 1.06; a_v 为切削速度修正系数,切削速度 50 m/s 时为 1.1; a_h 为切屑厚度修正系数,软材平均切屑厚度为 0.15 mm 时为 1.9; a_t 为刀具变钝修正系数,按工作 3 h 选取为 1.4。

计算得 $K=1.36\text{ MPa}$, $P_c=2.2\text{ kW}$ 。
总功率 $P=P_k+P_c=9.6\text{ kW}$,由于采用双锯片,所以当两个锯片同时进行锯切时消耗功率19.2 kW。

2.2 机具沙地行走牵引力计算及爬坡能力预测

沙柳平茬机在行走中轮胎与沙土相互作用,其动力主要消耗于沙土变形导致的阻力。包括:土壤压实阻力,表现在行走机构在运动过程中对沙土加压形成沟辙;推土阻力,表现在行走机构前方形成拥土;土的粘着阻力,表现在土壤粘附在行走机构上。机具行驶时,其推动力是地面对驱动轮的反作用力,地面附着条件决定推动力的最大值。目前,在工程机械设计中广泛采用基于试验数据的简单公式来计算土壤阻力。

沙柳平茬机非工作状态下沙地行驶时受到的阻力为

$$P_f = Qf \tag{6}$$

式中 Q ——机身重力,40 180 N
 f ——轮子滚动阻力系数,根据经验数据选取为 $0.2^{[9]}$

计算得 $P_f=8\,036\text{ N}$ 。
沙柳平茬机非工作状态下沙地行驶时所能获得的最大推动力为

$$P_t = AC + Q\tan\phi \tag{7}$$

式中 A ——轮胎接地面积, m^2
 C ——沙土内聚力, N/m^2
 ϕ ——沙土内摩擦角

利用等应变直剪仪^[10]对库布其沙漠沙柳林地的沙土进行直剪测试,经计算得该地区的沙土内聚力 $C=0$,沙土内摩擦角 $\phi=26.9^\circ$,计算得 $P_t=20\,384.5\text{ N}$ 。最大牵引力为

$$P_q = P_t - P_f \tag{8}$$

计算得 $P_q=12\,348.5\text{ N}$ 。

对于自走式沙柳平茬机,其最大牵引力主要表现为机具的爬坡能力。

沙柳平茬机在沙地的最大爬坡角度为

$$\theta = \arctan\left(\frac{P_q}{Q}\right) = 17.1^\circ \tag{9}$$

3 机具性能试验与结果分析

性能试验在位于库布其沙漠腹地的鄂尔多斯市造林总场展旦召分场七里沙作业区进行。该地区地形条件为沙区林地,地势平坦,最大坡度 20°,有林地坡度小于 10°。试验时间为 2012 年 10 月中旬。

3.1 切割器锯切性能试验与结果分析

选择 5 年生人工种植沙柳为试验对象,该地段沙柳植株密度 68~124 株/丛,根部直径 10~40 mm,最大自然高度 4.5 m,沙柳枝条平均鲜重 450 g/株,沙柳丛根部沙丘底圆直径 700~1 000 mm,高 100~150 mm,丛距 1.5 m,行距 6 m。

试验时行走速度为 0.24、0.34、0.44 m/s,依次在锯片齿尖线速度为 50 m/s 时进行平茬作业,每组试验参数选取连续的 5 丛沙柳作为研究对象,记录每一丛沙柳的总株数、破茬株数、漏割株数和留茬高度大于 70 mm 的株数。表 1~3 为试验结果。

分析表 1~3 中的试验数据,从总体上看,在切割器转速恒定的情况下,破茬率、漏割率、茬高不合格率随沙柳平茬机的前进速度的增加而增大。而对于单个沙柳丛来说,在株数小于 80 株/丛时,破茬率、漏割率、茬高不合格率随沙柳平茬机的前进速度的增加并无明显变化,而对大于 110 株/丛的沙柳则增加明显。

3.2 机具爬坡性能试验与结果分析

在试验区内选取坡度均匀,长度不小于 20 m,坡度为 2°~18°,区间间隔为 2°的坡道 9 条,坡道底部有 5~10 m 的平坦地面,坡道中间设有 10 m 测试

表 1 沙柳平茬机前进速度为 0.24 m/s 时试验结果

Tab.1 Experimental results on *Salix psammophila* stumping machine walking speed of 0.24 m/s

编号	植株密度 /株·丛 ⁻¹	破茬数 /株	破茬率/%	漏割数 /株	漏割率/%	茬高大于(等于) 70 mm 株数/株	茬高不合 格率/%
1	79	1	1.3	0	0	0	0
2	109	2	1.8	2	1.8	1	0.9
3	121	3	2.5	2	1.7	2	1.7
4	68	0	0	0	0	0	0
5	93	2	2.2	1	1.1	1	1.1
合计	470	7	1.7	5	1.1	4	0.9

表 2 沙柳平茬机前进速度为 0.34 m/s 时试验结果

Tab.2 Experimental results on *Salix psammophila* stumping machine walking speed of 0.34 m/s

编号	植株密度 /株·丛 ⁻¹	破茬数 /株	破茬率/%	漏割数 /株	漏割率/%	茬高大于(等于) 70 mm 株数/株	茬高不合 格率/%
1	111	4	3.6	2	1.8	2	1.8
2	89	1	1.1	1	1.1	1	1.1
3	72	1	1.4	1	1.4	0	0
4	105	3	2.9	2	1.9	2	1.9
5	117	4	3.4	3	2.6	3	2.7
合计	494	13	2.6	9	1.8	8	1.6

表 3 沙柳平茬机前进速度为 0.44 m/s 时试验结果

Tab.3 Experimental results on *Salix psammophila* stumping machine walking speed of 0.44 m/s

编号	植株密度 /株·丛 ⁻¹	破茬数 /株	破茬率/%	漏割数 /株	漏割率/%	茬高大于(等于) 70 mm 株数/株	茬高不合 格率/%
1	76	1	1.3	0	0	1	1.3
2	124	7	5.6	5	4	5	4
3	118	6	5.1	4	3.4	3	2.5
4	69	0	0	1	1.4	0	0
5	90	2	2.2	1	1.1	2	2.2
合计	477	16	3.4	11	2.3	11	2.3

区。将机具预热到正常工作温度后,用工作挡位由坡底的平路起步,油门全开向坡上行驶,测量通过测区的时间、车轮转动圈数,计算出在不同坡度下机具的滑转率^[11]。该沙柳平茬机的爬坡度与滑转率的关系如图 2 所示。

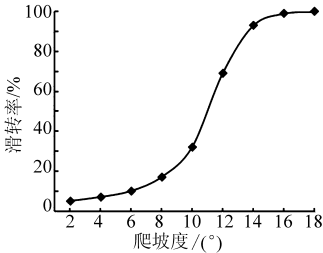


图 2 沙柳平茬机爬坡度与滑转率关系曲线

Fig.2 Relation curve between gradability and slipping rate of *Salix psammophila* stumping machine

由图 2 可知,当坡度为 10°时,机具的滑转率为 31.4%。小于该角度时,滑转率缓慢增加,当超过该角度后,机具的滑转率迅速增加,由此表明该沙柳平茬机工作时最大有效爬坡角度为 10°。

4 结论

实地测试试验表明,该沙柳平茬机的仿形切割

效果显著,平茬后的沙柳茬口光滑整齐,割茬高度均匀;驱动底盘具有较好的沙地通过能力,可在复杂地貌上对沙柳平茬作业,适应性强。

(1)通过对沙柳平茬机切割器锯片空转功率消耗、锯切功率消耗的计算,空转功率消耗较锯切功率消耗要大,锯片旋转角速度对空转功率影响显著,呈二次正相关关系,因此,在保证平茬质量的前提下,降低锯片角速度可明显降低空转功率消耗。

(2)沙柳平茬作业时,机具作业速度受沙柳丛植株数量、植株直径、丛下沙丘高度的影响以及灌木平茬技术要求,对沙柳平茬作业不能像收割农作物一样以恒定的速度作业,驾驶员应根据经验判断沙柳丛的具体情况适时调整机具前进速度。

(3)该沙柳平茬机工作时最大有效爬坡角度为 10°。在坡度超过 10°且小于 17°的沙地该机虽然能够行走,但是效率较低。该机不适合在坡度超过 17°的沙柳林地作业。

Chinese Society of Agricultural Engineering,2011,27(11):46~50. (in Chinese)

9 侯守印,陈海涛. 立式轴流大豆育种脱粒机参数优化[J]. 农业工程学报,2012,28(5):19~25.
Hou Shouyin, Chen Haitao. Parameters optimization of vertical axial flow thresher for soybean breeding[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2012,28(5):19~25. (in Chinese)

10 费荣昌. 试验设计与数据处理[M]. 无锡:江南大学出版社,2001:59~63.

11 徐中儒. 农业试验最优回归设计[M]. 哈尔滨:黑龙江科技出版社,1998:181~187.

12 Kahraman F. The use of response surface methodology for prediction and analysis of surface roughness of AISI 4140 steel[J]. Materials and Technology,2009,43(5):267~270.

13 Gemtos M T. Reliability of cotton pickers and its effect on harvesting cost[J]. Biosystems Engineering,2002,82(4):381~391.

14 Fite G C. Recent progress in the mechanization of cotton production in the United States[J]. Agricultural History,1950(1):19~28.

15 中国农业科学院农业机械化研究所. 棉花收获机械译文集[M]. 北京:机械工业出版社,1960.

16 康建明,陈学庚,温浩军,等. 梳齿式采棉机籽棉清理装置的设计与性能试验[J]. 石河子大学学报:自然科学版,2010,28(5):631~635.
Kang Jianming, Chen Xuegeng, Wen Haojun, et al. Comb cotton picking machine design and performance test of seed cotton cleaning plant [J]. Journal of Shihezi University: Natural Science, 2010, 28 (5): 631~635. (in Chinese)

17 王业成,陈海涛,林青. 黑加仑采收装置参数的优化[J]. 农业工程学报,2009,25(3):79~83.
Wang Yecheng, Chen Haitao, Lin Qing. Optimization of parameters of black currant harvesting mechanism[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering,2009,25(3):79~83. (in Chinese)

18 坎杂,谷趁趁,王丽虹,等. 脱绒棉种介电分选参数的优化[J]. 农业工程学报,2010,26(9):114~119.
Kan Za, Gu Chenchen, Wang Lihong, et al. Optimization of parameters for delinted cottonseeds dielectric selection [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering,2010, 26(9):114~119. (in Chinese)

19 迟久鹏,王春耀,王学农,等. 基于 ADAMS/View 的偏牵引梳齿式采棉机侧向稳定性分析[J]. 新疆农业科学,2012,49(12):2292~2298.
Chi Jiupeng, Wang Chunyao, Wang Xuenong, et al. Analysis of lateral stability on partial traction comb cotton picker based on ADAMS/View[J]. Xinjiang Agricultural Science,2012,49(12):2292~2298. (in Chinese)

20 董伟. 梳指式采棉机的设计与关键技术研究[D]. 乌鲁木齐:新疆大学,2009.
Dong Wei. Design and key technology research for comb finger-type cotton picker [D]. Urumqi: Xinjiang University, 2009. (in Chinese)

21 王贤斐. 梳齿式采棉机采收台的优化设计与实验研究[D]. 石河子:石河子大学,2012.
Wang Xianfei. The optimal design and experimental research of comb cotton picker harvesting platform [D]. Shihezi: Shihezi University,2012. (in Chinese)

22 韩宁. 带清理装置的梳齿式棉花采收台设计与试验研究[D]. 石河子:石河子大学,2013.
Han Ning. The design and experimental study of comb-type cotton harvest table with cleaning device [D]. Shihezi: Shihezi University,2013. (in Chinese)

(上接第 110 页)

参 考 文 献

1 丁志刚,任安海,苏亮明. 浅谈沙柳的生物学特性,自然分布及平茬复壮技术[J]. 内蒙古林业科技,2005,28(增刊1):36~37.

2 许凤, Jones-Gwynn L L, 孙润仓. 速生灌木沙柳的纤维形态及解剖结构研究[J]. 林产化学与工业,2006,26(1):91~94.
Xu Feng, Jones-Gwynn L L, Su Runcang. Fibre morphology and anatomical structure of sandlive willow (*Salix psammophila*) [J]. Chemistry and Industry of Forest Products, 2006,26(1):91~94. (in Chinese)

3 Guillaume L. Cutting, bundling and chipping shortrotation Willow[C]//CSAE/SCGR 2005 Meeting, 2005:29~33.

4 邹玉明. 沙柳平茬复壮的技术要点[J]. 内蒙古林业科技,1989(4):23~24.

5 姚建成,梁海荣,张松林,等. 沙柳平茬不同留茬高度对比试验[J]. 内蒙古林业科技,2009,35(4):35~36.
Yao Jiancheng, Liang Hairong, Zhang Songlin, et al. Comparison on different stubble height after stumping for *Salix psammophila* [J]. Journal of Inner Mongolia Forestry Science & Technology, 2009, 35(4): 35~36. (in Chinese)

6 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.

7 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):202~204.

8 李黎. 木材切削原理与刀具[M]. 北京:中国林业出版社,2012:2,33~39,67.

9 镇江农业机械学院. 农业机械学:下册[M]. 北京:中国农业机械出版社,1981:367~371.

10 庄继德. 计算汽车地面力学[M]. 北京:机械工业出版社,2001:20~26.

11 GB/T 15833—2007 林业轮式和履带拖拉机试验方法[S]. 2007.