

doi:10.6041/j.issn.1000-1298.2014.S0.012

# 雷达识别狼毒草喷药灭除装置\*

赵建柱 宗玉峰 王枫辰 李琨 李少雄 王国业

(中国农业大学工学院, 北京 100083)

**摘要:** 针对狼毒草早期萌发的高度优势和灌丛特性,提出一种狼毒草对靶喷药灭除装置。完成了机架系统、喷药系统、电控系统以及整机结构的设计,基于雷达传感测距技术实现了对狼毒草的自动识别与定点精量施药控制。实地试验结果表明:该装置对狼毒草施药附着率可达87.1%,能有效提高灭除效率和减少农药的使用量,避免由于大量连续喷药引起的环境污染。

**关键词:** 狼毒草 灭除装置 雷达识别 定点喷药

**中图分类号:** S451.23; TN959.4 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2014)S0-0068-05

## 引言

作为主要的草原有毒植物种类之一,狼毒草已被视为草原荒漠化的一种灾难性警示。狼毒草的滋生蔓延,严重破坏了草地生态环境,使草地生产力下降,载畜能力降低,已成为制约畜牧业发展的主要因素之一<sup>[1-2]</sup>。

连续喷药灭除是目前对狼毒草治理的主要方式。该方式采用远程风送式喷药机连续喷药,药剂不仅会喷洒到有毒植株上,还会喷洒到正常生长的植被上,不仅浪费药液,还会对草原生态造成破坏<sup>[3-4]</sup>。

针对狼毒草早期萌发的高度优势、株径大小和疏密程度等生长特点<sup>[5]</sup>,本文提出采用雷达技术进行狼毒草识别,对狼毒草进行对靶喷药,并精确控制单株施药量,达到有效灭除、降低用药量、减少环境污染的目标<sup>[6]</sup>。

## 1 整机结构及工作原理

定点喷药式狼毒草灭除装置主要由机架系统、电控系统和喷药系统组成,其整体结构如图1所示。

装置通过三点悬挂与拖拉机后置连接,液泵动力由拖拉机动力输出轴输入。在作业过程中,雷达探头不断发射出超声波,电控系统通过对超声波反射信号的识别和处理,判别出植株高度以及密度,并控制喷药系统开闭。本装置共有6条独立的支路,每条支路都由单片机单独控制<sup>[7]</sup>,互不干扰,实现

对狼毒草植株的定点喷药。

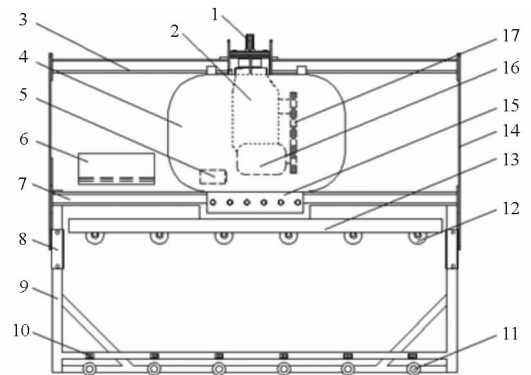


图1 整机结构

Fig.1 Overall structure of device

1. 动力输入轴 2. 变速箱 3. 前横梁 4. 药箱 5. 滤清器
6. 控制单元 7. 后横梁 8. 伸缩套筒 9. 喷药支架 10. 电磁阀
11. 喷头 12. 雷达探头 13. 雷达横杆 14. 支撑侧板 15. 分流阀
16. 液泵 17. 胶带轮传动组

### 1.1 机架系统

机架系统主要由前后横梁、支撑侧板、雷达安装架、伸缩套筒和喷药支架组成。喷药支架可以沿伸缩套筒前后移动,并可在相应的位置固定,从而改变雷达探头和喷头之间的距离,以适应拖拉机不同的行驶速度。机架系统三维模型如图2所示。

### 1.2 喷药及电控系统

喷药系统主要由动力输入轴、变速箱、胶带轮传动组、液泵、药箱、滤清器、分流阀、电磁阀和喷头组成。药液在液泵的作用下通过滤清器到达分流阀,分流阀有6个独立的出口,能保证6个出口的压力

收稿日期: 2014-06-21 修回日期: 2014-08-22

\*“十二五”国家科技支撑计划资助项目(2011BAD20B11)

作者简介: 赵建柱,副教授,主要从事现代农业装备及车辆地面力学研究,E-mail: zhjzh@cau.edu.cn

通讯作者: 王国业,教授,博士生导师,主要从事现代农业装备及车辆地面力学研究,E-mail: guoye@cau.edu.cn

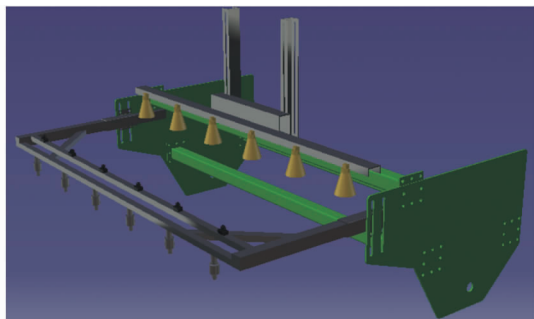


图2 机架系统三维模型

Fig.2 3-D model of frame system

相等,系统管路保持工作压力。电控系统主要有信号采集、信号处理和执行控制3部分,可有效控制喷头施药。

## 2 自动喷药电控系统设计

电控系统结构设计如图3所示,主要由雷达探测单元、信号处理单元和喷药执行单元组成。

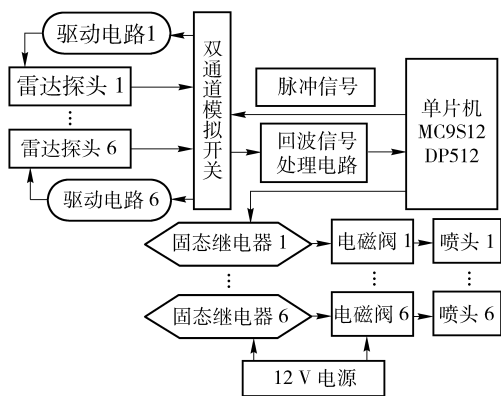


图3 电控系统结构框图

Fig.3 Structure diagram of electrical control system

### 2.1 雷达探测单元

雷达探测单元由6个雷达探头、6路雷达驱动电路和一个双通道模拟开关组成。本装置雷达探头方向朝下,均匀安装在雷达横杆上,采用超声波测量距离、测反射波密度的方法实现狼毒草识别。双通道模拟开关将脉宽调制(PWM)输出的脉冲信号传送给选定的某一雷达,同时该路雷达探头将接收到的回波信号通过双通道模拟开关送入回波信号处理电路。

#### 2.1.1 雷达探头高度布置

通过对雷达测量距离与实际距离进行比较,计算相对误差,确定合适的雷达放置高度。

雷达测量范围为400~1600mm,在此范围内每隔100mm作为测量点,记为 $H_s$ ,每个点测3次取平均值为测量距离,记为 $H_c$ ,计算相对误差 $e_r$ 。试验数据如表1所示。从表中试验数据可得雷达合适的放置高度为900~1000mm。

表1 雷达测距试验数据

Tab.1 Radar ranging test data

$H_s$ /mm	$H_c$ /mm	$e_r$ /%	$H_s$ /mm	$H_c$ /mm	$e_r$ /%
400	430	7.5	1 100	1 120	1.8
500	530	6.0	1 200	1 220	1.7
600	620	3.3	1 300	1 330	2.3
700	710	1.4	1 400	1 420	1.4
800	810	1.3	1 500	1 540	2.7
900	900	0	1 600	1 650	3.1
1 000	1 000	0			

#### 2.1.2 雷达锥形罩锥角确定

为了限制雷达探测范围,避免无效信号干扰,需安装锥形罩,避免药液多喷和乱喷,提高喷药的准确性。根据雷达间距、高度和狼毒草平均尺寸,锥形罩锥角确定方法如图4所示。狼毒草植株平均尺寸为:高400mm、株径400mm;图中 $L$ 为雷达探头间距,根据机架宽度和狼毒草株径,设计为430mm; $H$ 为雷达探头距地面的垂直距离, $\theta$ 为锥形罩锥角大小;设定雷达探测范围交于狼毒草植株高度中点处。由图4计算出的锥形罩锥角表达方程为

$$\theta = 2 \arctan \frac{L}{2(H - 200)} \quad (1)$$

根据式(1)可确定雷达锥形罩锥角为 $30^\circ \sim 34^\circ$ ,选择中值 $32^\circ$ 。

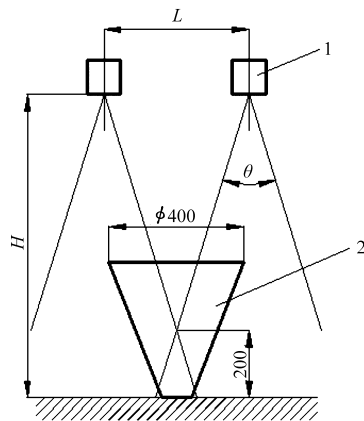


图4 锥形罩锥角尺寸确定

Fig.4 Cone angle size determination

1. 雷达探头 2. 狼毒草植株

### 2.2 控制单元

本控制单元采用Freescale公司生产的16位工业控制用单片机MC9S12DP512。本设计应用PWM模块驱动雷达探头产生超声波信号;应用ECT(增强型定时捕捉器)模块检测超声波回波信号,并利用超声波发射与接收的时间差计算障碍物高度、接收的信号数量判断疏密程度;应用外部中断实现对设定狼毒草高度、植株大小的识别。

### 2.2.1 印刷电路板(PCB)设计

为提高电控系统质量和可靠性,规划设计并制作了PCB板。将单片机、雷达板(驱动和回波信号处理电路)、固态继电器、电源转换器合理布置在PCB板中,并设计了信号线、电源线以及时钟线的宽度、安全距离和过孔大小等。PCB板实物如图5所示。

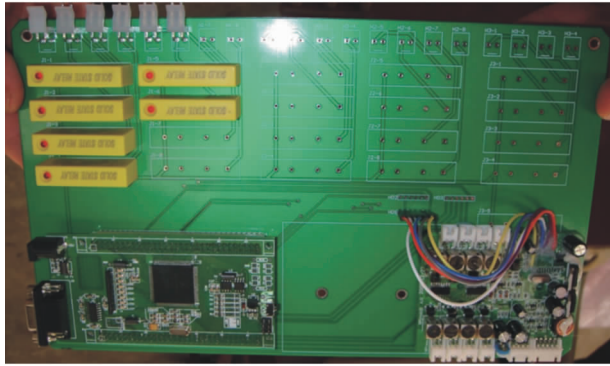


图5 PCB板实物图

Fig. 5 Real products of PCB

### 2.2.2 电控系统程序设计

程序设计基于Code Warrior进行,控制程序主要由主程序、输入信号处理模块程序、雷达信号输入捕捉中断程序、采集与控制周期中断程序组成。电控系统程序流程如图6所示。

雷达探测模块中最大探测距离为 $S_{max}$ ,装置工作环境中超声波传播速度为 $v$ ;  $T_1$ 为程序开始时计时器记录的初始时间,  $T_{CNT}$ 为计时器瞬时值,  $T_{CNTperiod}$ 为设定的计时周期。  $T_{CS}$ 为输出捕捉比较寄存器设定值,  $T_{C4}$ 为输入捕捉保持寄存器的值,  $S_x$ 为雷达探头与障碍物的距离。

当 $T_{CNT} \geq T_{CS}$ 时,触发输出比较中断;当 $T_{CNT} < T_{CS}$ 时,  $T_{CNT}$ 被锁存到输入捕捉保持寄存器 $T_{C4}$ 中,此时 $T_{C4} = T_{CNT}$ ,触发输入保持中断。

$T_{CS}$ 计算式为

$$T_{CS} = \frac{S_{max}}{vT_{CNTperiod}} + T_1 \quad (2)$$

$S_x$ 计算式为

$$S_x = T_{CNTperiod} (T_{C4} - T_1) \frac{v}{2} \quad (3)$$

### 2.3 喷药执行单元

喷药执行单元由6个电磁阀和6个分别控制电磁阀通断的固态继电器组成。选用直流式固态继电器SDH1030D,二通、常闭式电磁阀。

## 3 试验

为验证狼毒草定点喷药准确性,根据狼毒草植株高度及密度特点进行了模拟试验,并在草原上进行了实地试验。

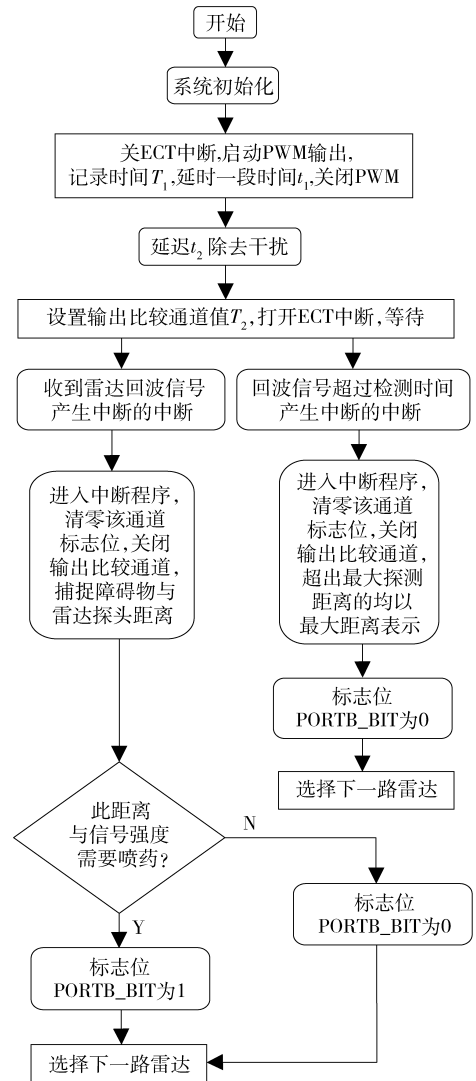


图6 电控系统程序流程图

Fig. 6 Flow chart of electrical control system program

### 3.1 模拟试验

试验地点选在河北省石家庄市无极县天同神农机械有限公司,试验场景如图7所示。根据狼毒草生长的特点设计试验,观察并记录每组试验各个喷头的开启情况,通过喷头正确开启数与实际开启数的比较,计算本装置喷药的误差率,并得出行进速度与误差率的关系。



图7 试验效果

Fig. 7 Test photo

#### 3.1.1 模拟试验方法

雷达探头与喷头对应安装,共有6条相互独立

喷药支路。考虑喷药宽幅与拖拉机轮距的限制,每排放置4棵植物。在统计喷头正确开启数时,考虑雷达重叠角,正确喷药时处于2个喷头中间位置的植株可能出现每棵植株有2个喷头均喷药的情况,处于喷头偏置位置的植株只有1个喷头喷药。在计算喷头正确开启数时,处于中间的植株,只要相邻2个喷头中的1个喷药或者均喷药,都视作正确喷药。拖拉机以7种不同速度( $v_1$ )行驶,在行进方向每排放置4棵植物,每排之间交错放置,排间距大于2 m,共5排,每种速度往返一次作为一组试验统计。

### 3.1.2 模拟试验结果

为方便统计和分析试验结果,定义识别误差率  $C$  为

$$C = \left| \frac{n_a - n_t}{n_t} \right| \times 100\% \quad (4)$$

式中  $n_a$ ——实际开启喷头数量

$n_t$ ——理论开启喷头数量

试验中,样机以不同速度每经过一排植株时,6个喷头绝大部分会正确喷药,在无植物空地未发现误喷现象。不同速度喷药误差率如表2所示。试验结果表明:在不同行驶速度情况下,定点平均喷药误差率小于21%。

表2 试验结果

Tab.2 Test results

$v_1/(km \cdot h^{-1})$	平均误差率 $\bar{C}/\%$	$v_1/(km \cdot h^{-1})$	平均误差率 $\bar{C}/\%$
1.0	21	4.5	5
2.3	17	6.3	8
2.9	8	7.3	17
4.3	8		

### 3.2 草原试验

实地试验在内蒙古锡林郭勒盟太仆寺旗草原试验站进行。为便于统计与分析,本次试验使用碱性水替代狼毒草灭除药液,通过碱性水与pH试纸的物理反应,检测喷雾效果。试验中使用的碱性水pH值在11左右,pH试纸遇雾滴立即呈现深蓝色。

试验时在狼毒草植株比较密集的区域,规划好试验路线。将位于路线范围内的狼毒草每棵植株上

周边均布贴4片、中心贴1片pH试纸,拖拉机以慢Ⅲ挡(2.2 km/h)悬挂狼毒草灭除装置在规划路线上行进。统计路线上的狼毒草总植株数与被施药植株数,计算施药附着率。实地试验效果如图8所示。试验结果如表3所示,施药附着率可达87.1%,施药效果较好。



图8 草原试验场景图

Fig.8 Graph of field trials scene

(a) 装置工作 (b) 喷药效果

表3 草原试验结果

Tab.3 Actual test results

工况	路径	施药株数	总株数	平均速度/( $km \cdot h^{-1}$ )
慢Ⅲ挡	往	26	32	2.2
	返	35	38	2.2
平均值		30.5	35	2.2
施药附着率/%			87.1	

## 4 结论

(1) 基于雷达探测技术,实现了对狼毒草靶标进行自动识别定点喷药控制。雷达探测器价格低廉,技术成熟,易于商品化。

(2) 研制的定点喷药式狼毒草灭除装置可大大减少农药的使用,明显提高了农药的利用率,可大幅减小过量农药使用引起的环境污染。

(3) 实地试验结果表明装置的施药附着率可达87.1%,装置定点喷药准确率高,工作可靠性好,在保护环境的同时提高了狼毒草灭除工作效率。

(4) 装置也适用于其他植株高度密度优势明显,且通过喷施药可进行有效灭除的有害植物,或需要追加液态肥的植物。

## 参 考 文 献

- 1 钱金波. 祁连山狼毒盖度地面测量与卫星遥感估算[D]. 兰州:兰州大学,2009.
- 2 邓君,刁治民,雷青娟,等. 青海省瑞香狼毒草的研究现状·综合利用及防治对策[J]. 安徽农业科学,2006,34(3):555-557.
- 3 吴国林,魏有海. 青海草地毒草狼毒的发生及防治对策[J]. 青海农林科技,2006(2):63-64.  
Wu Guolin, Wei Youhai. Occurrence and control measure on stelleria chamaejasme in Qinghai grassland [J]. Science and Technology of Qinghai Agriculture and Forestry, 2006(2):63-64. (in Chinese)
- 4 邢福. 东北退化草原狼毒种群生活史对策研究[D]. 长春:东北师范大学,2002.
- 5 赵宝玉,刘忠艳,万学攀,等. 中国西部草地毒草危害及治理对策[J]. 中国农业科学,2008,41(10):3094-3103.

- Zhao Baoyu, Liu Zhongyan, Wan Xuepan, et al. Damage and control of poisonous-weeds in Chinese western grassland[J]. *Agricultural Sciences in China*, 2008, 41(10):3094-3103. (in Chinese)
- 6 傅泽田, 祁力钧, 王俊红. 精准施药技术研究进展与对策[J]. *农业机械学报*, 2007, 38(1):189-197.  
Fu Zetian, Qi Lijun, Wang Junhong. Development tendency and strategies of precision pesticide application techniques[J]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 2007, 38(1):189-197. (in Chinese)
- 7 曹峥勇, 张俊雄, 耿长兴, 等. 温室对靶喷药机器人电控系统[J]. *农业工程学报*, 2010, 26(增刊2):228-233.  
Cao Zhengyong, Zhang Junxiong, Geng Changxing, et al. Control system of target spraying robot in greenhouse [J]. *Transactions of the CSAE*, 2010, 26(Supp. 2):228-233. (in Chinese)
- 8 魏新华, 蒋杉, 孙宏伟, 等. PWM 间歇喷药式变量喷施控制器设计与测试[J]. *农业机械学报*, 2012, 43(12):87-93.  
Wei Xinhua, Jiang Shan, Sun Hongwei, et al. Design and test of variable rate application controller of intermittent spray based on PWM [J]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 2012, 43(12):87-93. (in Chinese)
- 9 Zheng Jiaqiang, Zhou Hongping, Xu Youlin, et al. Toward-target precision pesticide application and its system design [J]. *Transactions of the CSAE*, 2005, 21(11):67-72.
- 10 中国农业机械化科学研究院. 农业机械手册(上册)[M]. 北京:中国农业科学出版社, 2007:635-694.
- 11 张富贵, 洪添胜, 王锦坚, 等. 现代农药喷施技术及装备研究进展[J]. *农机化研究*, 2011(2):209-213.  
Zhang Fugui, Hong Tiansheng, Wang Jinjian, et al. Development of modern pesticide spray technique and equipment [J]. *Journal of Agricultural Mechanization Research*, 2011(2):209-213. (in Chinese)
- 12 Myamar B, Aniya Y. Free radical scavenging action of medicinal herbs from Mongolia [J]. *Phytomedicine*, 2000, 7(3):221-229.
- 13 何雄奎, 严苛荣, 储金宇, 等. 果园自动对靶静电喷药机设计与试验研究[J]. *农业工程学报*, 2003, 19(6):78-80.  
He Xiongkui, Yan Kerong, Chu Jinyu, et al. Design and testing of the automatic target detecting, electrostatic, air assisted, orchard sprayer [J]. *Transactions of the CSAE*, 2003, 19(6):78-80. (in Chinese)
- 14 Schueller J K. A review and integrating analysis of spatially-variable control of crop production [J]. *Fertilizer Research*, 1992, 33(1):1-34.
- 15 Tian L, Reid J F, Hummel J W. Development of a precision sprayer for site-specific weed management [J]. *Transactions of the ASAE*, 1999, 42(4):893-900.

## Spraying and Removal Device for *Stellera Chamaejasme* Identified by Radar

Zhao Jianzhu Zong Yufeng Wang Fengchen Li Kun Li Shaoxiong Wang Guoye  
(College of Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China)

**Abstract:** According to brush features and height advantage of *stellera chamaejasme* during its early budding stage, a kind of targeted spraying device for its removed was proposed. The design of the frame system, spraying system, electrical control system and machine structure of the device were completed. By means of radar range sensor technology, the *stellera chamaejasme* could be automatically identified and site-specific accurately sprayed. The results of real test showed that this device could effectively eliminate *stellera chamaejasme* with 87.1% pesticide adherent rate. This device could improve the efficiency of *stellera chamaejasme* removed and reduce the amount of pesticide used, which was benefit for reducing the environmental pollution caused by high amount of continuous spraying.

**Key words:** *Stellera chamaejasme* Removal device Radar identification Fixed-point spraying