

少耕除草机除草铲的分析与设计

张 国¹, 王晓燕¹, 李洪文¹, 冯爱莲²

(1. 中国农业大学 工学院/农业部保护性耕作研究中心, 北京 100083; 2. 内蒙古自治区农牧业机械技术推广站, 呼和浩特 010010)

摘 要: 针对我国华北农牧交错带一年一熟保护性耕作地区, 普通播前除草耕作部件容易抛翻土壤使水分大量流失的问题, 设计了一种除草铲。设计时, 针对农牧交错带地区的土壤特性, 对除草铲的工作方式、受力方式、缠草问题等进行了分析。实验表明, 当拖拉机速度小于等于 1.43m/s 时除草铲能够实现不翻土作业, 除草率达到 96%, 碎土质量达到 96.5%, 满足设计要求。

关键词: 农业工程; 除草铲; 设计; 缠草分析; 滑切; 工作阻力

中图分类号: S224.1

文献标识码: A

文章编号: 1003-188X(2007)11-0090-04

0 引言

保护性耕作体系发展初期主要采用除草剂管理农田杂草, 然而随着杂草抗药性的出现以及保护性耕作农田杂草治理难度的加大^[1], 使得杂草治理工作变得越来越难。Kurstjens 等研究表明, 掩埋深度有限是限制除草效果的主要原因^[2]。保护性耕作的前提使在机械除草中掩埋除草的方法不可行, 只有通过提高除草铲的除草性能才能满足保护性耕作地除草的需求。

1 除草铲工作方式和受力分析

在除草作业时, 土壤被切割变形, 而土壤介质本身具有的质量和强度, 就会对除草铲的作用产生阻力。除草铲的受力特性主要取决于除草铲的外载情况, 除草铲的外载指在除草过程中土壤或土壤中的杂物施加于除草铲上的阻力。

1.1 工作方式

当除草铲碰到杂草 O (如图 1 所示), 铲刃挤压其根部, 使杂草弯曲并沿着 OO_1 线与铲刃法线偏离 φ 角^[3]。如果杂草 O_1 离开铲翼瞬间尚未被切断, 那么其茎秆偏离的距离为

$$S_0 = \frac{C_0}{\cos(\varphi + \gamma)} \quad (1)$$

式中 C_0 —除草铲间重叠量;

收稿日期: 2007-03-01

基金项目: 农业部 948 项目 (2004-Q1)

作者简介: 张 国 (1981-), 男, 北京人, 硕士研究生, (E-mail) zhangguo8899@126.com.

通讯作者: 王晓燕 (1973-), 女, 北京人, 副教授, (E-mail) xywang@cau.edu.cn.

2γ —除草铲张角;
 φ —铲刃法线偏离角;
 S_0 —茎秆偏离距离。

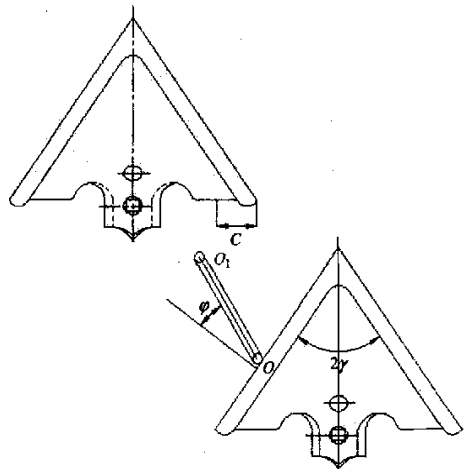


图 1 除草铲切草运动分析

当 C_0 和 φ 不变, S_0 值随着 γ 角的变小而减小。因此, 为了全部切断杂草, 在没有必要时不应减小 2γ 值。为了减小重叠量, 在不缠草的前提下, 应采取最大的除草铲张角 2γ 。

动态缠草分析如图 2 所示。当除草铲在土壤从 I 移动到 II, 处于 ABCD 面内的所有杂草将在原地被铲断并与除草铲一起移动, 同时沿着铲刃滑动, 堆积在铲刃的 CD 段。在该段铲刃上的杂草数量为

$$n = iL\Delta h \quad (2)$$

式中 n —杂草数量;

i —田间单位面积的杂草数量;

L —梯形中线长度;

Δh —梯形 ABCD 的高度。

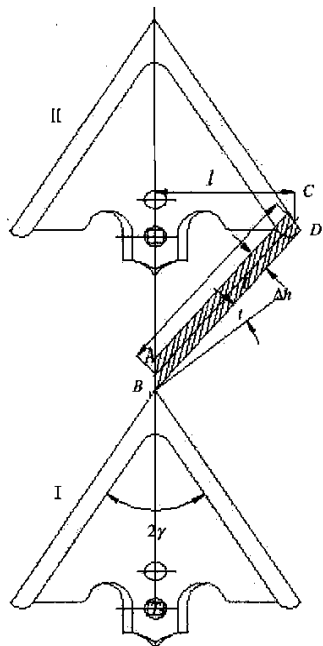


图2 除草铲缠草分析

从图2中可以求出

$$L = \frac{l}{\cos(\gamma+t)} \quad (3)$$

如上所述，通常A的运动轨迹是与铲刃法线成*t*角的直线AD。将L值代入式(2)中，并假设 $\Delta h=l$ 可得

$$n = \frac{il}{\cos(\gamma+t)} \quad (4)$$

由式(4)可知，当*i*、 γ 、*t*为常数，在铲刃上的杂草数量与除草铲的幅宽成正比。因此，除草铲幅宽愈大，地里的杂草愈多，挂在入口上的杂草在铲翼端部形成的“草堆”愈快，这与铲刃静态缠草所产生的“草堆”在外形上很相似。

在第二行除草铲翼端的杂草，它所受到正面阻力的切线方向分力(平行于铲刃)，除了克服杂草在铲刃上的摩擦力外，还要克服移动土层时产生的阻力。因此，除草铲的碎土角 $\beta=12^\circ\sim 18^\circ$ ，除草铲厚度 $\delta\leq 0.03b$ (*b*为除草铲宽幅)。本设计中， β 角取 15° ， δ 取6mm。

1.2 受力分析

1.2.1 滑切条件分析

翼张角 2γ 是除草铲翼刃沿机器前进方向在水平面内的夹角，其确定依据是使草根茎沿铲刃口滑动，实现滑动切割，使除草铲顺利切断杂草并避免被杂草缠住。除草铲滑切条件分析，如图3所示。

如图3所示，当刀具前进时，与刀刃接触的土粒*m*因受后面土壤的推力*R*而在刃口上产生沿刃口方向的分力*S*。此*S*力如果大于土粒或草根与刃口

间的摩擦力($F=R\text{tg}\phi\sin\gamma$)时，则土粒或草根在刃口上将产生“滑动”。滑切对土粒或草根兼有正应力和剪应力。但是滑切不一定有明显的滑动。产生滑动的条件为

$$S > F \quad (5)$$

由图3可知： $S=R\cos\gamma$ ， $F=R\text{tg}\eta\sin\gamma$ 。其中， η 为摩擦角。

代入式(5)得

$$\gamma < 90^\circ - \eta \quad (6)$$

即在刀具的安装角 γ 小于 $90^\circ - \eta$ 时，土粒或草根在刀刃上滑动。经验表明， η 约为 45° ，则有 $\gamma < 45^\circ$ 。

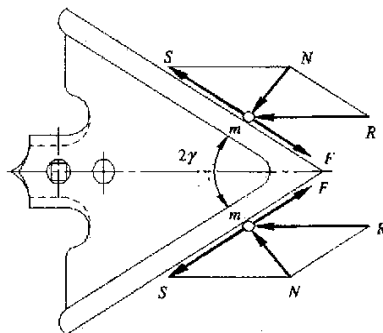


图3 除草铲滑切条件分析

杂草阻力*R*值取决于土壤类型及物理性质状态，不同土壤耕作应采用不同的 γ 角。粘湿土壤的 ϕ 角增大， γ 角要取小值；在砂土中， γ 角则可取大值(如表1所示^[4])。为了保证较好的滑切性能，翼张角 2γ 通常取值范围为 $60^\circ\sim 70^\circ$ ，由于本除草铲设计的目标土壤是内蒙古沙化比较厉害的砂土，且为了保证草根被彻底切断，结合上面的讨论，本设计翼张角取 $2\gamma=72^\circ$ 。

表1 不同土壤浅松铲翼张角

土壤类型	翼张角 2γ
粘土	$50^\circ\sim 58^\circ$
中壤土	$60^\circ\sim 78^\circ$
沙土	$70^\circ\sim 80^\circ$

1.2.2 铲刃受力分析

切刀受力分析图，如图4所示。图4(a)为常见切刀的断面形状。由图4可知，由于切刀刃部有一个斜向上的 N_1 的作用，使切刀上抬，耕深不稳定。又因为这样的刃面增加了机器的工作阻力，不利于节省能源和提高工作效率。对于以小功率拖拉机为主的中国农业机械来说节约这些动力有着特殊的意义。图4(b)为本文所设计的切刀局部断面形状。其中， N_1 、 N_2 、 N_3 为法向力， T_1 、 T_2 、 T_3 为切向摩擦力，*N*为正向阻力。总阻力*P*即为这些力的水平分力之和，则

$$P = N + N_1 \sin j + N_1 \mu \cos j + T_1 \mu \cos j + N_2 \sin \alpha + N_2 \mu \cos \alpha + T_2 \mu \cos \alpha + N_3 \mu + T_3 \quad (7)$$

其中， μ 为土壤与切刀的表观摩擦因数。 N_1 由土壤变形产生，其计算公式为

$$N_1 = K_1 S_1 \quad (8)$$

其中， K_1 为变形比阻； S_1 为楔刃面的面积。

N_2 是由土壤流变回弹引起的，其算式为

$$N_2 = K_2 S_2 \quad (9)$$

其中， K_2 为土壤在刃切面上的压强； S_2 为侧面刃的面积。 N_3 为土壤对除草铲的反作用力，则有

$$N_3 = \frac{Mg}{n_0} + N_1 \cos j + N_2 \cos \alpha - T_1 \sin j - T_2 \sin \alpha \quad (10)$$

式中 M —机器总体质量；

g —重力加速度；

n_0 —除草铲的个数。

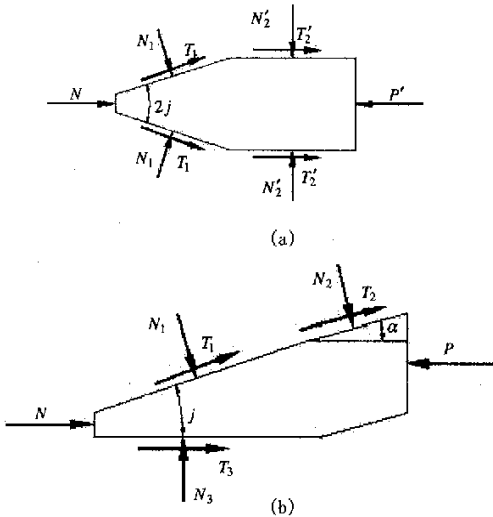


图4 切刀受力分析

N 是由除草铲边缘厚度引起的，其计算公式为

$$N = KS \quad (11)$$

其中， K 为土壤比阻； S 为铲边缘面积（如图5所示）。

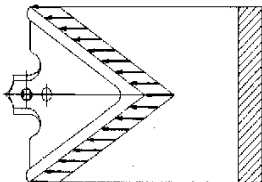


图5 除草铲边缘受力分析（假设土壤均匀且各向同性）

将式（8）、式（9）、式（10）和式（11）带入式（7）并整理得

$$P = KS + K_1 S_1 (\sin j + 2\mu \cos j) + K_2 S_2 (\sin \alpha + 2\mu \cos \alpha) + T_1 \mu (\cos j - \sin j) + T_2 \mu (\cos \alpha - \sin \alpha) + T_3 + \frac{\mu Mg}{n_0} \quad (12)$$

由式（12）可知：

1) K 和 K_1 对于特定的土壤而言是固定值，不可改变。

2) K_2 由土壤性质和除草铲入土深度决定，可见减少除草铲的入土深度可以减少工作阻力。因此，在不影响工作效果的前提下应尽量减少除草铲的入土深度，这样做也减少了对土壤的扰动，减少了水分流失和有机质被氧化的量。基于这种考虑和对不同土壤状况难以把握的实际，把整机设计成除草深度可调的形式，以适应机器在不同土壤状况的田地里作业。

3) s 的减小有助于减少土壤阻力，但是由于除草铲刃已经很薄，继续减少的幅度不大，基本上没有实际意义。铲刃厚度的减小会导致除草铲容易磨损，强度迅速下降，易于残损^[5]，不可取。

4) 减小 S_1 和 S_2 可以减少除草铲的工作阻力。 S_1 和 S_2 的减小途径是可以减小除草铲的工作幅宽 W 和前后距离 Q （如图6所示）。然而， W 和 Q 的减小只对单个除草铲有实际意义，对于整套机器而言，增加了机器的复杂程度和毁坏的几率，不可取。

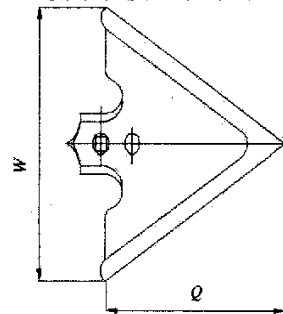


图6 除草铲纵横幅宽

由于从整体上来讲，除草铲所受力是来自土壤的水平推力。推力由下到上逐渐减小，如图7所示。图8所示的是除草铲受力情况的纵向投影，其中 P_1 部分是侧刃面的投影， P_2 部分是楔刃面的投影。可以预见，减小除草铲的翼缘高度可以减小 S_1 和 S_2 的面积从而减小除草铲前进的阻力。

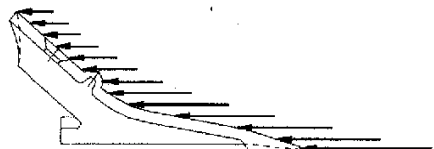


图7 除草铲受力示意图

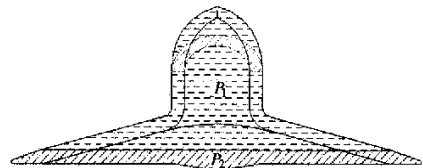


图8 除草铲纵向受力面分析

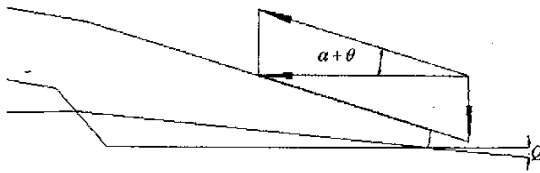


图9 除草铲入土性能分析

上述分析虽然可减少除草铲工作阻力，但会大大降低除草铲的入土性能，加上在除草铲的安装中采用水平安装，仅有入土角 α （本设计中为 10° ）已不能使除草铲快速入土了。为增强除草铲的入土性能，在设计时将除草铲的最前端向下倾斜一个角度

θ （如图9）。由图9可知，当土壤反力 F 作用于铲刃上时，促使除草铲入土的力 F_2 的计算公式为

$$F_2 = F \tan(\alpha + \theta) \quad (13)$$

本设计中，取 $\theta = 5^\circ$ 。

1.3 除草铲磨刃类型的确定

由经验可知，刃口的隙角 $\epsilon \geq 10^\circ$ ，刃角 i 小于 $12^\circ \sim 15^\circ$ ，切土角 $\beta_0 = i + \epsilon = 22^\circ \sim 25^\circ$ 。当 $\beta < 15^\circ$ 时应采用上磨刃，当 $\beta > 25^\circ$ 时应采用下磨刃，而当 $5^\circ < \beta < 25^\circ$ 时应采用组合磨刃。下磨刃除草铲的工作表面没有棱边，在粘土中工作时易粘土。

结合本文的上述分析，设计的除草铲的结构参数如表2所示。

表2 除草铲结构参数

翼张角 $2\gamma / (^\circ)$	刃角 $i / (^\circ)$	隙角 $\epsilon / (^\circ)$	切土角 $\beta_0 / (^\circ)$	碎土角 $\beta / (^\circ)$	入土角 $\alpha / (^\circ)$	辐宽 B / mm	铲翼缘高 h / mm	材料厚度 $ / \text{mm}$
72	3	15	18	15	10	190	8	6

2 结论

本文所设计的除草铲是针对实行保护性耕作的干旱、半干旱地区的除草需要而提出的。本文研究了除草铲铲除杂草的过程，分析并选取了切除杂草所需的除草铲参数。

实验表明，当拖拉机速度小于等于 1.43 m/s 时，除草铲能够实现不翻土作业，除草率达到 96% ，碎土质量达到 96.5% ，满足设计要求。

参考文献：

[1] 白勇. 河北坝上保护性耕作麦田杂草管理技术研究[D]. 北京: 中国农业大学, 2006.

[2] Kouwenhoven J K. Intra-row mechanical weed control—possibilities and problems [J]. Soil & Tillage Research, 1997, 41:87-104.
 [3] (苏) Г. Н. 西涅阿科夫, И. М. 潘诺夫. 土壤耕作机械的理论和计算[M]. 李清桂, 译. 北京: 中国农业机械出版社, 1981.
 [4] 桑正中. 农业机械学(第二版上册)[M]. 北京: 机械工业出版社, 1987.
 [5] 朱克亮. 浅松机关键部件的试验研究及其测力系统的开发[D]. 北京: 中国农业大学, 2001.

Analyze and Design on Shovel of No-till Weeding Machine


ZHANG Guo¹, WANG Xiao-yan¹, LI Hong-wen¹, FENG Ai-lian²

(1.Engineering College/Center for Conservation Tillage Research, China Agricultural University, Beijing, 100083, China; 2.Mechanical Technical Advice Station of Farming and Animal Husbandry of the Inner Mongol, Hohhot 010010, China)

Abstract: Interlock cultivation till area for one year to agriculture of North China, ordinary weeding machine often turning over the soil when working, look through soil make moisture a large number of questions of running off sow, and have designed a weeding shovel. At the time of the design, mixed with the soil characteristic with the area, to the working way of the shovel of weeding, analyze by strength way, twining the grass question and etc. The experiment shows, weed when the tractor pace is no more than 1.43 m/s the shovel can work without turning over the soil, the weeding rate is up to 96% , garrulous soil quality reaches 96.5% , meet the designing requirement.

Key words: agricultural engineering; weeding shovel; design; weed enlace analyze; sliding cut; effective resistance

少耕除草机除草铲的分析与设计

作者: 张国, 王晓燕, 李洪文, 冯爱莲, ZHANG Guo, WANG Xiao-yan, LI Hong-wen, FENG Ai-lian
作者单位: 张国, 王晓燕, 李洪文, ZHANG Guo, WANG Xiao-yan, LI Hong-wen(中国农业大学, 工学院/农业部保护性耕作研究中心, 北京, 100083), 冯爱莲, FENG Ai-lian(内蒙古自治区农牧业机械技术推广站, 呼和浩特, 010010)
刊名: 农机化研究 
英文刊名: JOURNAL OF AGRICULTURAL MECHANIZATION RESEARCH
年, 卷(期): 2007(11)
被引用次数: 1次

参考文献(5条)

1. 白勇 河北坝上保护性耕作麦田杂草管理技术研究 2006
2. Kouwenhoven J K Intra-row mechanical weed control-possibilities and problems[外文期刊] 1997(1/2)
3. Г Н 西涅阿科夫; И М 潘诺夫; 李清桂 土壤耕作机械的理论和计算 1981
4. 桑正中 农业机械学 1987
5. 朱克亮 浅松机关键部件的试验研究及其测力系统的开发[学位论文] 2001

本文读者也读过(10条)

1. 张国, 王晓燕, 李洪文, 程国彦, 张学敏 少耕除草机弹性铲柄的设计与计算机模拟分析[会议论文]-2007
2. 韩豹, 李悦梅, 申建英, HAN Bao, LI Yuemei, SHEN Jianying 水平圆盘式苗间松土除草装置的设计与试验[期刊论文]-东北农业大学学报2010, 41(7)
3. 陈国才, 堰邦生 机械化保护性耕作新型机具——浅耕除草机[期刊论文]-当代农机2007(11)
4. 程远输, 杨秀兰 果园松土除草轮的研究[期刊论文]-农业机械学报1999, 30(4)
5. 杨宝玲, 王庆杰, 邱宇光, 李洪文, Yang Baoling, Wang Qingjie, Qiu Yuguang, Li Hongwen 保护性耕作模式下的除草技术的研究[期刊论文]-农机化研究2009, 31(7)
6. 梁远, 汪春, 张伟, 车刚, 马永财, 杨忠国, Liang Yuan, Wang Chun, Zhang Wei, Che Gang, Ma Yongcai, Yang Zhongguo 3ZCS-7型复式中耕除草机的设计[期刊论文]-农机化研究2010, 32(6)
7. 古润生, 周丽荣 机械化保护性耕作技术——化学除草作业机械和机械除草作业机械[期刊论文]-当代农机2007(5)
8. 保护性耕作土壤浅松除草机的设计[期刊论文]-农机化研究2009, 31(11)
9. 李东升, 张莲洁, 盖志武, 王伟 国内外除草技术研究现状[期刊论文]-森林工程2002, 18(1)
10. 刘晓芳, 刘丽, 谭振军, 牛剑峰 5ZSC-50型手扶松土除草机的研究与设计[期刊论文]-辽宁林业科技2004(2)

引证文献(1条)

1. 刘晓锋, 金文秀, 刘宇 五味子园除草机的研制与应用[期刊论文]-农业科技与装备 2009(1)

本文链接: http://d.wanfangdata.com.cn/Periodical_njhyj200711026.aspx