

小型四轮拖拉机旱田驱动叶轮的研究

史 岩 宋洪波 梁安波

(莱阳农学院)

摘 要 根据小型四轮拖拉机结构参数和其在旱地作业的状态进行了旱地驱动叶轮的设计,建立了轮缘外径、轮叶齿数、轮叶齿端曲线等方程,据此确定了泰山-12 拖拉机旱地驱动叶轮主要参数,与胶轮进行性能对比,未耕地和已耕地作业时最大牵引功率分别提高 25.4 % 和 15.3 %,最大牵引力分别提高 37.5 % 和 24 %,齿形夹角 150 的驱动叶轮较轮叶夹角 120 的驱动叶轮最大牵引力提高 24 %。

关键词 轮式拖拉机 旱田叶轮 胶轮 牵引性能

8.8 kW 至 11 kW 的小型四轮拖拉机在我国广大农村拥有巨大的数量,是田间作业和运输的生力军。然而小型四轮拖拉机在田间作业时,胶轮滑转率高,附着能力差,发动机功率不能充分发挥出来的问题较为普遍,特别是在已耕地作业时更为突出。因此近年来出现了多种形式的驱动叶轮替代胶轮用于旱地田间作业,收到了一定效果。但这些驱动叶轮多数是直接将水田驱动叶轮用于旱田作业,存在着叶片高度大、叶片形状和叶片间距不合理等问题,为此我们对小型轮式拖拉机旱田驱动叶轮进行了研究。

1 旱田驱动叶轮设计

轮式拖拉机田间作业状态主要有两种:两侧车轮均在平地(已耕地或未耕地),机车底盘保持与地面平行;或一侧车轮行驶在已耕地上而另一侧行驶在未耕地上,机车向已耕地方向倾斜。为了保证机组正常耕翻作业,以拖拉机结构和耕作的农艺要求为依据进行有关驱动叶轮参数设计。

1.1 叶轮外缘直径的确定

叶轮外缘直径的确定既要考虑拖拉机正常行驶时基本保持同胶轮行驶状态相似;又要满足耕翻作业时地隙要求,以保证机组正常、连续地作业。故叶轮外径的确定应以拖拉机耕翻作业状态为主,同时兼顾在平地行驶状态的要求。

拖拉机耕翻作业时倾斜状态如图 1 所示。

建立叶轮外缘半径 R 的方程为:

$$R = \frac{1}{2}(L \cdot \tan \alpha) + h_c + H_c + \frac{S_2}{\cos \alpha}$$

$$= L(H + S_1 + S_2) / (2\sqrt{L^2 - (H + S_1 - S_2)^2}) + h_c + H_c \quad (1)$$

则叶轮外缘直径 D 为:

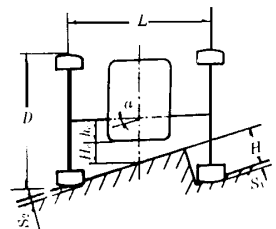


图 1 拖拉机耕翻作业状况

Fig. 1 State of tractor in ploughing

收稿日期: 1998-04-30

史 岩, 副教授, 山东省莱阳市文化路 65 号 莱阳农学院农工系, 265200

$$D = 2R = L(H + S_1 + S_2) / \sqrt{(L^2 - (H + S_1 - S_2)^2 + 2(h_c + H_c))} \quad (2)$$

式中 R —— 叶轮外缘半径, mm; h_c —— 轮轴线距变速箱壳底距离, mm; D —— 叶轮外缘直径, mm; H_c —— 拖拉机耕翻作业时地隙, mm; α —— 拖拉机沿耕翻方向倾角, °; H —— 拖拉机耕翻作业时耕深, mm; L —— 驱动轮轮距, mm; S_1, S_2 —— 左、右叶轮陷入土壤中的深度, mm

一般地, 小型拖拉机耕翻作业时的最大耕深 $H_{\max} = 18 \text{ cm}$, 最小耕深 $H_{\min} = 13 \text{ cm}$, 叶轮叶爪陷入土壤(犁底层或未耕地)深度 $1 \sim 2 \text{ cm}$, 将泰山-12 拖拉机结构参数轮距 $L = 960 \text{ mm}$ 及 $h_c = 149 \text{ mm}$, 代入(2)式得叶轮外缘直径为 781 mm , 此值小于水田驱动叶轮外缘直径的经验公式(1.1 ~ 1.2 倍胶轮外缘直径)的计算值范围 $836 \text{ mm} \sim 912 \text{ mm}$, 这是因为旱田作业时驱动轮下陷深度较小。较小的驱动轮直径有利于提高拖拉机的牵引力。

1.2 轮叶数量的确定

要充分发挥拖拉机发动机功率获得足够的牵引力, 叶轮应具备足够多且数量合理的轮叶数量。

机组行驶时由于滑转率的存在, 轮叶的运动轨迹为余摆线。为了研究问题的方便, 以轮叶外端作为研究对象, 选取如图2所示的坐标系, 可建立轮叶外端运动的普遍方程如下

$$\begin{cases} x = v_m \cdot t + R \cdot \cos \omega t \\ y = R - R \cdot \sin \omega t \end{cases} \quad (3)$$

式中 x —— 轮叶外端点的水平位移, mm; y —— 轮叶外端点的垂直位移, mm; v_m —— 机组前进速度, m/s; ω —— 叶轮转动角速度, rad/s; t —— 时间, s

而滑转率 $\delta = (R \cdot \omega - v_m) / (R \cdot \omega)$

则 $v_m = R \cdot \omega(1 - \delta)$ (4)

将(4)式代入(3)式得

$$\begin{cases} x = (R \cdot \omega \cdot t + R \cdot \cos \omega t) - R \cdot \omega \cdot \delta \cdot t \\ y = R - R \cdot \sin \omega t \end{cases} \quad (5)$$

由(5)式可以看出, 当叶轮尺寸一定且转速一定时, 其水平位移不仅与时间有关, 且与滑转率 δ 有关, 其值随滑转率的增加而减小; 而垂直位移与滑转率无关。

为了保证机组有连续、稳定的牵引性能, 当一个轮叶达到土壤中最低点时, 后续的轮叶应当开始入土, 二者的时间间隔即图2中的入土点1至最低点2的时间。

由(5)式推出: $t = \frac{1}{\omega} \arcsin\left(\frac{R - y}{R}\right)$

则相邻两叶片夹角为: $\Delta\theta = \omega \cdot \Delta t = \arcsin\left(\frac{R - y_1}{R}\right) - \arcsin\left(\frac{R - y_2}{R}\right)$ (6)

式中 y_1 —— 轮叶外端入土时垂直位移, mm, 对未耕地取 20 mm ; y_2 —— 轮叶外端距土壤中最低点时垂直位移, mm, $y_2 = 0$

安装轮叶的个数: $N = \frac{2\pi}{\Delta\theta} = 2\pi / [\arcsin\left(\frac{R - y_1}{R}\right) - \arcsin\left(\frac{R - y_2}{R}\right)]$ (7)

考虑到不同土壤条件轮叶陷入土壤深度不同, 土壤类型不同以及不同功率的拖拉机可提供的牵引力不同, 因此应对(7)式进行修正, 即:

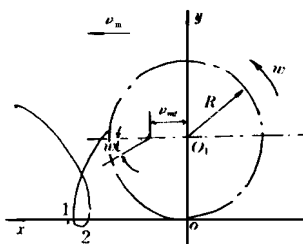


图2 轮叶外端运动轨迹

Fig. 2 Locus of the edge of the vane

$$N = K \cdot 2\pi / [\arcsin(\frac{R - y_1}{R}) - \arcsin(\frac{R - y_2}{R})]$$
 (8)

式中 K —— 修正系数

泰山-12 拖拉机功率小, 为保证足够的牵引力用较少的轮叶个数为宜, 过多易产生积泥导致牵引力反而下降和滚动阻力增加。因此 K 值应适当取小些。选取 $K = 1.1$

则 $N = 23.9$ 圆整得 $N = 24$ (个)

1.3 轮叶齿端曲线的确定

轮叶齿端曲线应能较好地满足机组平地作业和耕翻作业不同状态的要求。轮叶齿端为直线, 在平地作业时轮叶具有较大接地面积, 附着性能好, 但耕翻作业时向耕翻方向的一角着地, 接地面积小, 应力集中易使轮叶变形。采用圆弧曲线则可有效解决以上问题, 特别是耕翻作业时接地面积较齿端为直线型轮叶增加近一倍。

轮叶齿端示意图如图 3 所示。可建立相应的函数关系式。

$$\begin{cases} \frac{B}{2} = r \cdot \sin \alpha \\ S = r - r \cdot \cos \alpha \end{cases}$$

整理得轮叶齿端圆弧半径 r 的关系式

$$r = \frac{B^2 + 4S^2}{8S}$$
 (9)

式中 B —— 轮叶宽度, mm; S —— 轮叶下陷深度, mm, 取 $S = 20$ mm

1.4 其它结构参数的确定

轮叶宽度根据耕作时犁耕宽度的农艺要求选取为 160 mm, 略小于胶轮的宽度 180 mm。代入 (9) 式可得轮叶齿端圆弧半径为 170 mm。

由于驱动叶轮在旱田作业, 整体下陷深度较小, 因此轮叶高度可取小些, 取其值为 60 mm。

为了提高拖拉机行驶的平顺性和增强抗侧滑性能, 将轮叶沿其宽度中心线折成人字形。人字形夹角大有利于增加附着力, 但抗侧滑能力降低和行驶平顺性能变差, 自洁性能变差, 夹角减小时则相反。

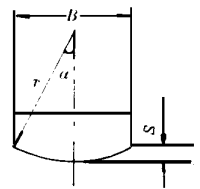


图 3 轮叶齿端示意图

Fig. 3 Shape of the top of the vane

2 性能试验

2.1 滚动阻力对比试验

本试验对泰山-12 拖拉机驱动轮分别使用橡胶轮和叶轮在未耕生荒地和已耕熟地条件下的拖拉机滚动阻力进行了对比试验, 各试验对象测取平均值见表 1。从表 1 可以看出在未耕生荒地上无论是叶轮还是胶轮, 拖拉机滚动阻力均较小, 且二者基本相等; 在已耕熟地上滚动阻力均有较大上升, 而安装叶轮时拖拉机滚动阻力较胶轮时增加 15.1%, 这是由于叶轮轮叶较高, 下陷深度较大, 从而增加了滚动阻力。

2.2 牵引性能对比试验

本试验采用泰山-25 拖拉机作为负荷车, 运用 CTM-II 型汽车拖拉机综合测试仪, 在未耕生荒地和已耕熟地对泰山-12 拖拉机驱动轮使用胶轮和叶轮分别进行试验 (轮齿人字形角 150°), 测定 III 档作业不同负荷时的前进速度 v 、滑转率 δ 及牵引力 P_T , 牵引功率 N_T 。绘出牵引

表 1 胶轮、叶轮在不同地面状况下
拖拉机滚动阻力对照表

Tab 1 Comparison of rolling resistance at different lands and wheels

地面状况	驱动轮型式	拖拉机滚动阻力/N
未耕生荒地	叶轮	546.8
	胶轮	553.7
已耕熟地	叶轮	986.9
	胶轮	857.5

注: 未耕生荒地为棕壤土, 含水率 10.3%, 土壤容重 1.3 g/cm³; 已耕熟地为粉沙壤土, 含水率 7%, 土壤容重 1.02 g/cm³。

特性曲线如图 4。

由图 4 可以看出, 在未耕生荒地作业时, 安装叶轮时拖拉机最大牵引功率为 4.51 kW, 较安装胶轮时拖拉机最大牵引功率 3.60 kW 提高了 25.3%, 前者对应的滑转率为 17.9%, 在允许范围内; 而后者对应的滑转率为 35%, 超出了允许滑转率; 在已耕熟地作业时, 安装叶轮的拖拉机最大牵引功率为 3.40 kW 较安装胶轮的 2.95 kW 提高 15.3%, 前者相应的滑转率为 16.5%, 在允许范围内, 而后者相应的滑转率为 23%, 较允许范围略大。

按照轮式拖拉机旱地作业允许滑转率范围 $\delta \leq 20\%$, 则在此范围内, 安装叶轮的拖拉机在未耕地作业时最大牵引力为 3234 N 较安装胶轮的最大牵引力 2352 N 提高了 37.5%; 在已耕地作业时前者为 2499 N 较后者 2009 N 提高了 24%。

2.3 不同轮叶齿形夹角牵引性能对比

对轮叶齿形夹角分别为 150 和 120 两种叶轮进行测试, 测定牵引力 P_T 与滑转率 δ 关系, 见图 5。

由图 5 可以看出, 轮叶齿形夹角为 150 的叶轮无论在已耕地还是未耕地, 当牵引力一定时, 其滑转率均小于轮叶齿形夹角为 120 的轮叶, 同时可以看出, 在允许滑转率范围 $\delta \leq 20\%$ 内, 在未耕地作业时前者最大牵引力为 3234 N, 较后者的 2842 N 提高 13.8%; 在已耕地作业时前者最大牵引力为 2499 N 较后者的 2009 N 提高 24%。可见较大的轮叶齿形夹角有助于附着性能的提高。在作业时两种叶轮的行驶平顺性较胶轮差, 但两种叶轮间差别不大, 这是因为叶轮间隔较大, 从接地角度讲为“不连续接地”行走, 因此其行驶平顺性较差, 也正因为如此, 较小的轮叶齿形夹角难以从根本上改变这种状态。

3 结 论

- 1) 根据轮式拖拉机结构参数及其在旱地作业状态进行驱动叶轮主要参数设计的方法可行, 误差小, 为轮式拖拉机旱地驱动叶轮设计提供了依据。
- 2) 轮式拖拉机安装旱地驱动叶轮和胶轮在未耕地作业时滚动阻力相等, 在已耕地作业时滚动阻力增加 15%; 在未耕地和已耕熟地作业时最大牵引功率分别提高 25.3% 和 15.3%, 在 20% 滑转率范围内最大牵引力分别提高 37.5% 和 24%。
- 3) 轮叶齿形夹角为 150 的叶轮较 120 夹角的叶轮最大牵引力提高 24%。

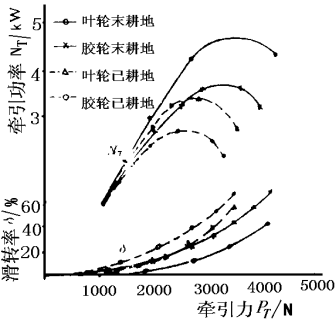


图 4 叶轮、胶轮牵引特性曲线
Fig 4 Drawing power and slip rates at different wheels and lands

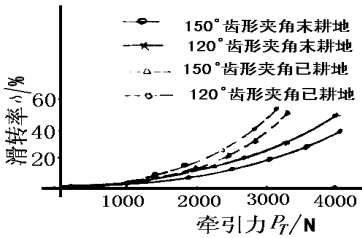


图 5 不同轮叶齿形夹角的
叶轮牵引性能曲线
Fig 5 Slip rates of vane at different angles and lands

参 考 文 献

1 罗哲等. 两种水田拖拉机驱动轮胎牵引性能试验对比. 农业工程学报, 1997, 13(2): 245~ 246
2 华中农业大学主编. 拖拉机汽车学(第四册). 北京: 农业出版社, 1991. 4~ 133
3 程悦孙主编. 拖拉机设计. 北京: 农业机械出版社, 1981. 226~ 230

- 4 宋洪波, 安风平, 史岩 偏心式移栽机的研究 农业机械学报(增刊), 1997, 41~ 45

Study on the Vane-Wheel of Small -Wheeled Tractor for Dryland

Shi Yan Song Hongbo Liang Anbo

(Laiyang Agricultural College, Laiyang)

Abstract The slip rate of rubber-tired tractor is high and the adhesion is low when small-wheeled tractor working in dryland, which affects exerting power. Based on the structure parameter of small-wheeled tractor and soil conditions, the parameter equations of the vane-wheel were set up, such as external diameter, the number of wheel-vane and curvilinear equation. Therefore, the principal parameters of vane-wheel for Taishan-12 tractor were determined. Compared with the functions of rubber tire working in fields, when a tractor works in raw land and ploughed land, the maximum drawing power of vane-wheel increases by 25.3 % and 15.3 % respectively, and the maximum drawing force increases by 37.5 % and 24 % respectively. Compared with the 120° angle of vane, the maximum drawing force of the 150° angle of vane increases by 24 %.

Key words wheeled tractor, dryland vane, rubber tire, tractive property