

山地农业机械化译文集

(之 三)

贵州省山地农业机械研究所

一九八〇年七月



目 录

1. 陡坡地用拖拉机防侧移机构的创制.....	(1)
2. 拖拉机车轮的回转对其在坡地上直线行驶稳定性的影响.....	(5)
3. 具有全驱动回正轮的陡坡地用拖拉机的牵引——附着性能分析.....	(8)
4. 坡地和梯田作业对于机械效率的影响.....	(14)
5. 装有测量运动性能仪器的拖拉机在坡地上的试验研究.....	(20)
6. 坡地灌溉.....	(24)
7. 坡地谷物联合收获机.....	(31)

陡坡地用拖拉机防侧滑机构的创制

现今的农用拖拉机，不管其牵引性能多好，在确保稳定性的条件下，其对坡地作业的适应性都比较差。

为了扩大系列拖拉机在坡地耕耘中的利用率，曾经采取过一些措施，譬如：加宽轮距，降低拖拉机的重心，引进各种附加装置等。这些措施有一些效果，但不能充分满足山区农业对拖拉机提出的各种要求。

根据农业技术和防止土壤侵蚀的要求，横坡行驶是在山区条件下拖拉机进行作业的最为适宜的行驶方式。同时，我们又知道，拖拉机沿坡横向行驶时，要产生重力的分力 $G\sin\alpha$ ，该分力垂直于拖拉机纵坐标轴，并引起重量在支承点上的重新分配，发生侧向滑移等，从而使拖拉机沿行驶方向的操纵性和稳定性明显地变坏。

丘达科夫、李沃夫、德万里、哈赫洛夫等人所作的研究表明：动力指标随着横坡坡度的增加而变坏。拖拉机侧向倾斜时，其抗倾翻和抗侧滑的稳定性都明显降低，所发出的牵引力也大大减小，坡度达到一定值时将出现倾翻。山地农用陡坡拖拉机（坡地自走机械）的创制，成为研究能满足山区农业各种要求的牵引工具的重要里程碑。这种陡坡拖拉机与一般拖拉机不同，它具有使车架和车轮在横坡运动中保持直立姿式的机构。

为了在 20° 以下的坡地上完成综合作业，进行了1.4吨级的万能轮式坡地自走机械T-50K的研制工作。T-50K乃是系列拖拉机MT3-50的变型。这种变型在基型结构中引进了一些新的部件。这些新部件是：可折转的边缘减速器、在坡地上用的车架调平机构、液压式直立位置自动稳定器以及相应的转向及前桥系统。为了与农机具配套，拖拉机带有中间连接杆，用来使悬挂在后部的农机具与坡地相适应。

T-50K坡地自走机械试验组正在进行生产试验。试验表明，除了一系列优点之外，由于侧滑、偏移、存在转向力矩等情况，不仅造成沿等高线的行驶直线性不够好，而且拖拉机车架的稳定程度也不高，因此不能满足在坡地上进行中耕作业的各种要求。

机组偏离预定的方向可能是由于以下因素所引起的：拖拉机本身的结构特点，轮胎的侧向偏离，土壤的侧向移动，行走系统相对于土壤的滑动，拖拉机上所悬挂的农机具下坠等。

为了消除或尽可能减小由上述因素所引起的机组的侧向偏移，需要先研究一下这些因素作用的性质和它们各自所造成的偏差所占的比例。

为此，曾经做了一些试验来研究T-50K坡地自走机械的直线行驶稳定性与坡度、驱动轮胎气压、牵引力、倾翻及偏移的关系。为了确定车架的调平对行驶直线性的影响，对接通和切断车架的自动稳定系统都做了试验。试验表明，为了提高直线行驶的稳定性的，必须进行防侧滑机构的研制工作。

有一些机构能够改善附着性能并提高行驶的直线性，但却不适用于带回正车轮和车架的机器。这是因为附加的栅格轮、抓地爪、固定在轮毂和轮缘上的圆盘等装置，都是供在垂直于坡面的平面内旋转的车轮使用的，亦即普通平原型拖拉机的轮胎。

我们所研制出的机械，即陡坡地用拖拉机防侧滑机构其特点是：附加在拖拉机上的装置

能随着拖拉机驶入坡地而自动地进入工作状态（图1. a, б）。这种附加装置的结构是：几个带可伸缩的弹性支柱并能自由旋转的圆盘，它们被固定在左右两个边缘减速器壳体的前部和后部，而边缘减速器壳体则安装在与拖拉机纵轴成一定角度的托架上。

圆盘装置在必要的时刻楔入土壤中，从而防止拖拉机下滑；而且当坡度愈大，边缘减速器的转角就愈大，圆盘楔入土壤也愈深。

其结构参看图1：圆盘爪1和2装在支柱3上，可以自由转动，支柱3固定在左右边缘减速器壳体4、5的前部和后部。这样一来，坡地自走机械的驱动轮、边缘减速器壳体和我们设计的圆盘爪装置就能相对于边缘减速器的回转中心摆动。

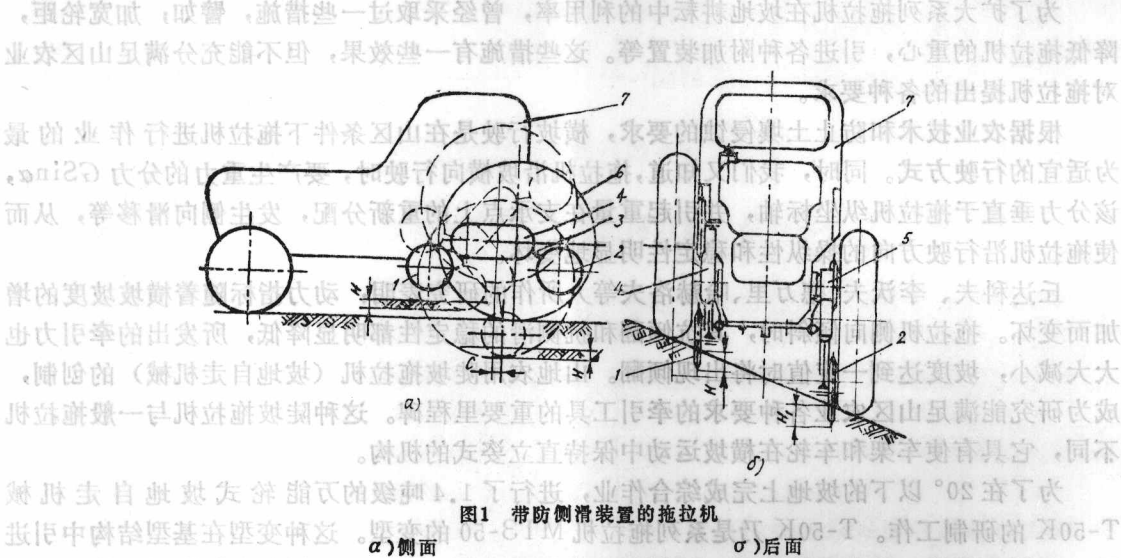


图1 带防侧滑装置的拖拉机

每一个坡地自走机械的驱动轮都装有两个圆盘爪。在横坡作业时，车架的自动回正系统协调地动作，两个边缘减速器向不同的方向折转，坡上侧轮子的前圆盘爪和坡下侧轮子的后圆盘爪便楔入土壤中。坡度变小时，两个边缘减速器的折转角度也减小，圆盘爪便抬起来。

防侧滑装置结构简单而紧凑，可全部装入T-50K坡地自走机械中。在水平地段上，圆盘爪与地面间有一定的距离，而在坡地上迫近危急时便接触到土壤。

显然，处于坡度为 α 的坡地上的拖拉机，只要满足 $G \sin \alpha \leq \varphi G \cos \alpha$ ，便不会下滑。当圆盘爪入土深度为 H 时，在带有防侧滑机构的坡地拖拉机旁边产生了附加的侧反力。这个侧反力决定于土壤的抗剪强度 τ 。根据库仑定律，土壤的极限抗剪强度有下面的线性关系：

$$\tau = \sigma \mu_2 + C_0,$$

- 式中： μ_2 ——内摩擦系数，
 C_0 ——土壤受剪时的单位内聚力，kg/cm²；
 σ ——垂直应力，kg/cm²。

当圆盘爪入土深度为 H 时，土壤承受剪切。这时剪切面为弓形，其面积

$$S_c = 0.5r^2 \left[\frac{\pi}{90} \arccos \left(1 - \frac{H}{r} \right) - \sin 2 \arccos \left(1 - \frac{H}{r} \right) \right], \dots\dots\dots (1)$$

式中: r ——圆盘爪的半径。

防翻滑力可由下式确定

$$Y = r^2 \tau \left[\frac{\pi}{90} \arccos \left(1 - \frac{H}{r} \right) - \sin 2 \arccos \left(1 - \frac{H}{r} \right) \right] \dots \dots \dots (2)$$

为了求得这个力, 我们来观察机构的运动简图 (图2, a, 6)。在坡地上, 当坡地自走机械回正车架时, 一只驱动轮上升, 而另一只驱动轮下降, 上升或下降的距离为

$$Z = \frac{B}{2} \operatorname{tg} \alpha.$$

两个边缘减速器向不同的方向转过角度

$$\alpha = \arcsin \frac{B}{2A} \operatorname{tg} \alpha, \dots \dots \dots (3)$$

式中: A ——边缘减速器的中心距;

B ——坡地拖拉机的轮距。

当边缘减速器折转时, 坡地上、下两侧车轮相应的前、后圆盘爪楔入土中。用 h 表示前圆盘下降的数值, 用 h_1 表示后圆盘下降的数值,

$$\left. \begin{aligned} h &= l [\sin (\varphi + \alpha_0) - \sin \varphi]; \\ h_1 &= l_1 [\sin (\varphi_1 + \alpha_0) - \sin \varphi_1], \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (4)$$

式中: φ 和 φ_1 ——前、后圆盘摆动臂相对于水平线的初始倾角;

l 和 l_1 ——前、后圆盘摆动臂的长度。

从图2可以看出, 当坡地拖拉机回正车架时, 量 h_0 对于前圆盘爪要减少 a , 而对于后圆盘爪却要增加 a 。在这个基础上, 前、后圆盘爪的入土深度可按式来确定〔注一〕:

$$\left. \begin{aligned} H &= h + a - h_0, \\ H_1 &= h_1 - a - h_0, \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (5)$$

〔注二〕,
$$a = \frac{B_1}{2} \operatorname{tg} \alpha, \dots \dots \dots (6)$$

式中: B_1 ——左右圆盘爪划痕的水平投影距离。

由等式 (5) 可以看出, 圆盘爪入土的条件为

$$\left. \begin{aligned} h + a &> h_0, \\ h_1 - a &> h_0. \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (7)$$

在方程 (5) 中代入量 h 、 h_1 和 a , 我们便得出圆盘入土深度与横坡角度的关系式:

$$\left. \begin{aligned} H &= l [\sin (\varphi + \alpha_0) - \sin \varphi] + 0.5 B_1 \operatorname{tg} \alpha - h_0, \\ H_1 &= l_1 [\sin (\varphi_1 + \alpha_0) - \sin \varphi_1] - 0.5 B_1 \operatorname{tg} \alpha - h_0. \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (8)$$

令入土深度, $H = H_1 = 0$, 就可求出圆盘爪刚开始接触地面时的最小坡度角。这时 $\operatorname{tg} \alpha \approx 0$, 方程组 (8) 简化为下面的形式:

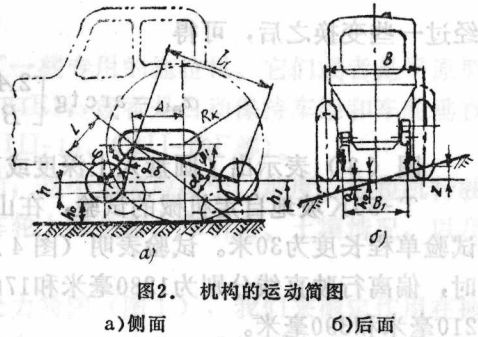


图2. 机构的运动简图

a) 侧面

b) 后面

随着拖拉机驶入坡地而 $l [\sin (\varphi + \alpha_0) - \sin \varphi] = h_0$ 。当半圆爪盘圆——中发
个带可伸屈的弹性支柱并能自由旋转的圆盘。它可随地面左右移动而不受地面阻力的影响。
于是 $\alpha_0 = \arcsin \left(\frac{h_0}{l} + \sin \varphi \right) - \varphi$

由公式 (3) 来代换 α_0 ，并且用 k 表示常量 $\left(\frac{h_0}{l} + \sin \varphi \right)$ ，
经过一些变换之后，可得

$$\alpha_{\min} = \arctg \left[\frac{2A}{B} \sin (\arcsin k - \varphi) \right] \dots \dots \dots (9)$$

图 (3) 表示出了圆盘入土深度或离地高度随坡度角的变化关系。

T-50K 坡地自走机械的试验，在山区的一些不同的坡地和不同的土壤条件下都进行过。
试验单程长度为 30 米。试验表明 (图 4)，T-50K 拖拉机在 $10^\circ 45'$ 和 $12^\circ 30'$ 的坡地上作业时，
偏离行驶直线分别为 1280 毫米和 1760 毫米。安装防侧滑机构后，偏离行驶直线相应变为
210 毫米和 390 毫米。

配带山地中耕机的 T-50K 拖拉机在 $10^\circ 45'$ 、 $12^\circ 15'$ 和 15° 的坡地上作业时，相应的偏移
量分别为 3100、4100 和 4500 毫米，安装防侧滑机构后机组相应的偏移量分别为 200、580 和
620 毫米。轮胎的侧移是安装防侧滑机构后机组偏离行驶直线不大的测量基准。

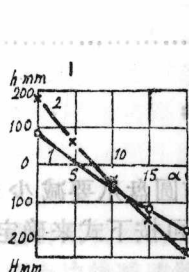


图3. 参数 H 和 h 随坡度变化的关系
1.——前圆盘; 2.——后圆盘

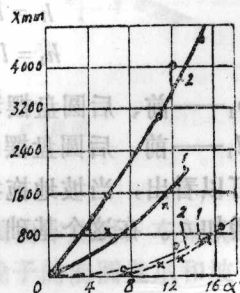


图4. T-50K 拖拉机的偏移量随坡度角的变化关系
实线——无防侧滑机构; : 虚线——有防侧滑机构;
1——荒地; 2——配带中耕机, 土壤松软。

可见，带有防侧滑机构的拖拉机机组在 $10 \sim 15^\circ$ 的坡地上作业时，在 30 米的行程内，偏离
行驶直线的距离仅仅为 $1.5 \sim 2\%$ [注四]。

这种防翻滑机构已经推荐给明斯克拖拉机厂生产。

卢奕民译自《Тракторы и сельскохозяйственные машины》

1971, №2, 14~16 刘翼龙校

注一， h_0 ——圆盘爪在平地上的离地高度。——译者

注二：此行原文没有，乃根据上下文补加的，公式编号 (6) 也相应作了调整——译者

注三：原文误为 H_2 ——译者

注四：原文误为 $15 \sim 20\%$ ——译者

拖拉机车轮的回转对其在坡地上 直线行驶稳定性的影响

为了在坡度达 20° 的坡地上耕作，国内外研制了一些专用的拖拉机。它们或者是平原型拖拉机的低重心的变型(MT3-82H、T-40H、TK-224K)，或者是自动保持车架和车轮垂直于水平面的坡地自走机械(T-50K、MT3-82K、ДЦШ-14、СШ-16Г等)。

拖拉机在横坡作业时，往往会偏离直线行驶方向，这个偏离取决于：坡度、拖拉机行驶速度、驱动轮轮胎面的结构、驱动轮轮胎内气压、车轮上的负荷、牵引力、土壤情况，以及车轮回转平面对于支承表面的相对位置。

我们分析坡地拖拉机沿横坡等速运动情况下的受力简图(图1)，我们来确定作用在拖拉机前轴(从动)和后轴(主动)两车轮上的总的侧向反力。为此，我们列出对于A点和B点的所有力和力矩的平衡方程式：

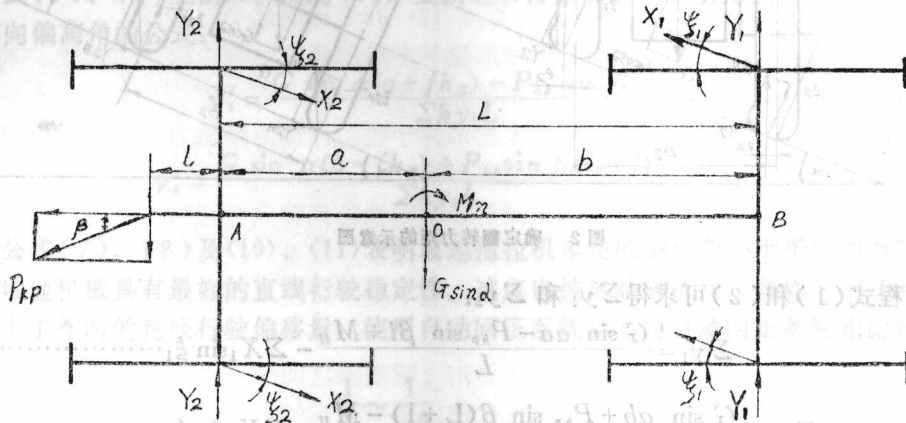


图1 拖拉机沿坡等速运动的受力简图

$$\Sigma M_A = 0; \quad P_{KP} \sin \beta l - G \sin \alpha a + \Sigma Y_1 L + \Sigma X_1 \sin \xi_1 L - M_n = 0 \dots \dots \dots (1)$$

$$\Sigma M_B = 0; \quad P_{KP} \sin \beta (L + l) + G \sin \alpha b - \Sigma Y_2 L + \Sigma X_2 \sin \xi_2 L - M_n = 0 \dots \dots \dots (2)$$

式中：

P_{KP} ——牵引力；

β ——牵引力作用线与拖拉机纵轴线之夹角；

l ——牵引点至后轴的距离；

G ——拖拉机重量；

α —— 横坡角;

a 和 b —— 分别是拖拉机重心到前轴和后轴的距离;

Σy_1 和 Σy_2 —— 分别是作用于前后轴两个车轮上的总的横向反力;

L —— 拖拉机轴距;

ΣX_1 和 ΣX_2 —— 分别是作用于前后轴车轮上的总的切向反力;

ξ_1 和 ξ_2 —— 分别是前后车轮切向力作用线与车轮对称轴之夹角;

M_{π} —— 翻转力矩。

翻转力矩是由于坡地拖拉机车轮切向反力作用点发生位移 (沿斜坡向上大小为 e 见图 2a) 而产生, 它的大小可由下式确定:

$$M_{\pi} = \Sigma X_2 \cos \xi_2 e_2 - \Sigma X_1 \cos \xi_1 e_1; \dots\dots\dots (3)$$

式中: e_1 和 e_2 —— 分别是作用于拖拉机前后轴车轮上的切向反力的作用点之位移;

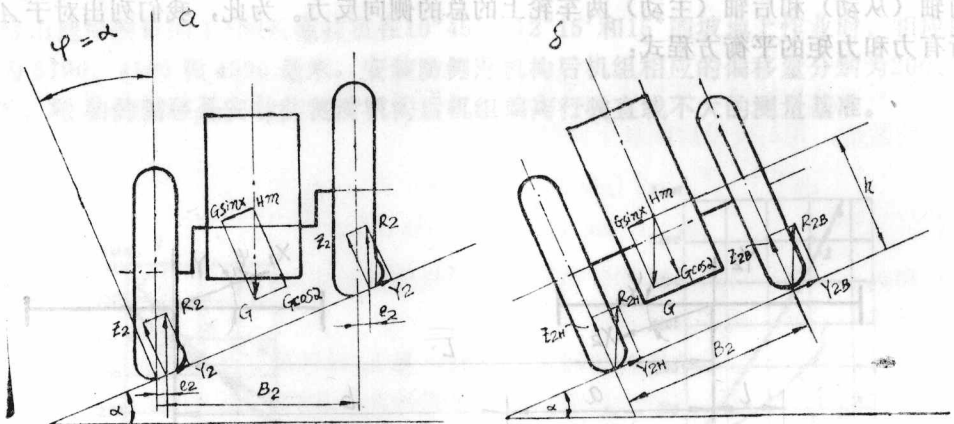


图 2 确定翻转力矩的示意图

由方程式 (1) 和 (2) 可求得 Σy_1 和 Σy_2 :

$$\Sigma y_1 = \frac{G \sin \alpha a - P_{kp} \sin \beta l + M_{\pi}}{L} - \Sigma X_1 \sin \xi_1 \dots\dots\dots (4)$$

$$\Sigma y_2 = \frac{G \sin \alpha b + P_{kp} \sin \beta (L + 1) - M_{\pi}}{L} + \Sigma X_2 \sin \xi_2 \dots\dots\dots (5)$$

作用在车轮上的侧向反力与侧向位移角和车轮对土壤表面的倾角有下列关系式 [1]:

$$y = K_y \gamma + K_{\varphi} \varphi \dots\dots\dots (6)$$

式中:

K_y —— 车轮的侧向偏离阻力系数;

γ —— 车轮侧向偏离角;

K_{φ} —— 比例系数;

φ —— 车轮回转平面与地面垂直平面之夹角 (在此情况下 $\alpha = \varphi$)。

上述系数 K_y 和 K_{φ} , 取决于轮胎的结构, 它的气压、车轮上的负荷、土壤的物理机械性能及其他因素。

解联立方程(4)、(5)、(6)得到拖拉机前后轮平均偏离角:

$$\gamma_1 = \frac{G \sin \alpha a - P_{kp} \sin \beta l + M_{\pi}}{\Sigma k y_1 L} - \frac{\Sigma X_1 \sin \xi_1}{\Sigma k y_1} - \frac{k_{\varphi} \varphi}{\Sigma k y_1} \dots\dots\dots (7)$$

$$\gamma_2 = \frac{G \sin \alpha b + P_{kp} \sin \beta (L+l) - M_{\pi}}{\Sigma k y_2 L} + \frac{\Sigma x_2 \sin \xi_2}{\Sigma k y_2} - \frac{k_{\varphi} \varphi}{\Sigma k y_2} \dots\dots\dots (8)$$

式中: γ_1 和 γ_2 —— 分别是拖拉机前后轮的平均偏离角;
 $\Sigma k y_1$ 和 $\Sigma k y_2$ —— 分别是拖拉机前后轮总的偏离阻力系数。

拖拉机的这个计算简图(图1)可同样地用于确定在坡地上工作的平原型拖拉机前后轮的偏离角。必须指明, 车轮切向反力作用点的位移以及它对轮轴的夹角是不大的, 即:

$$e_1 = e_2 = 0, \xi_1 = \xi_2 = 0, M_{\pi} = 0,$$

以及由于平原型拖拉机车轮回路面垂直于坡面 $\varphi = 0$ 。在坡地上工作的平原型拖拉机重量将沿拖拉机一侧重新分配, 并产生翻转力矩(图2 6)。

$$M_{\pi'} = f(Z_{2H} - Z_{2B}) \frac{B_2}{2} + f(Z_{1H} - Z_{1B}) \frac{B_1}{2} = fG \sin \alpha h_{\pi} \dots\dots\dots (9)$$

式中: f —— 翻转阻力系数;
 Z_{2H} 和 Z_{1H} —— 坡下侧后轮和前轮的垂直反力;
 Z_{2B} 和 Z_{1B} —— 坡上侧后轮和前轮的垂直反力;
 B_1 和 B_2 —— 分别是拖拉机前后轮的轮距;
 h_{π} —— 拖拉机重心的高度。

将公式(7)、(8)里的 M_{π} 换成 $M_{\pi'}$, 变换之后得到确定平原型拖拉机在坡地上工作的前后轮侧向偏离角的公式:

$$\gamma'_1 = \frac{G \sin \alpha (a + f h_{\pi}) - P_{kp} \sin \beta l}{\Sigma k y_1 L} \dots\dots\dots (10)$$

$$\gamma'_2 = \frac{G \sin \alpha (b - f h_{\pi}) + P_{kp} \sin \beta (L+l)}{\Sigma k y_2 L} \dots\dots\dots (11)$$

比较公式(7)、(8)及(10)、(11)表明坡地拖拉机车轮的偏离角小于平原型拖拉机的偏离角, 即坡地机械具有最好的直线行驶稳定性。这点也被试验所证实。譬如, T-50K 拖拉机在坡地上工作时的直线行驶偏移量, 使用自动回正系统和不用自动回正系统相比较, 要小

$$\frac{1}{2} \sim \frac{1}{1.6} \quad [2]$$

最后应该指出, 为了维持拖拉机在表面起伏不大的坡地上工作的行驶直线性, 它的车轮必须向上转一相应的偏离角, 这一偏离角的数值可按式(7)、(8)及式(10)、(11)来计算。

赵春正译自 Автотракторостроение. Гяговая
 динамика и режимы работы аг-
 регатов автомобилей, тракторов
 ц их двигателей 1976, №8

刘翼龙 校

具有全驱动回正轮的陡坡地 用拖拉机的牵引—附着性能分析

为确定陡坡拖拉机的牵引—附着性能及沿坡行驶时的滚动阻力，必须对车轮的回正过程进行分析，并研究车轮与坡面间的相互作用，从而确定车轮回正时的参数。

当拖拉机在水平地面行驶时，车轮的轮胎在其整个宽度内与支撑面相互作用，车轮的参数——滚动半径、假定接触面积及有效接触面积等维持不变，它们的数值均取决于轮胎气压、附着重量、挂钩负荷及土壤的物理—机械性能等因素。拖拉机在上述参数相同的、环境不同地段上行驶时，其滚动阻力、牵引力均相同。

当拖拉机在坡地上横向行驶时，其回正轮与支撑面形成一夹角。显而易见：车轮的对称面与垂直于支撑面的平面间的夹角，即为坡地的倾斜角；带有充气轮胎的回正轮与坡面间的相互作用与平地情况截然不同。

在坡地上，车轮的回正将导致轮胎胎面与支撑面间的接触宽度、接触面积减小。其接触面的形状为一不完全椭圆（一侧沿长轴方向被削去一部分），而接触面内的施力中心将相对于车轮的对称面沿坡上移，从而致使车轮的静力半径和滚动半径减小。例如，在地表坚实的 20° 的坡地上，后轮胎的接触宽度将减少 $28\sim 38\%$ ，其有效接触面积亦相应减小（ $15-20$ 号轮胎减少 17.2% ； $15.5-38$ 号轮胎减小 29.4% ； $12-38$ 号轮胎减小 21.9% ）。

回正轮在坡地上的牵引—附着性能取决于车轮的垂直负荷、接触面参数、轮辙深度（随坡度而异）、以及土壤的物理—机械性能等等。

充气轮胎在地面变形时的滚动阻力主要取决于轮胎内部的摩擦力、轮胎沿滚动表面的滑动情况、以及产生轮辙时土壤的变形情况等因素。

计算充气轮胎的滚动阻力时，以相同外径的刚性轮代替充气轮胎，并按刚性轮在变形的地面上的滚动情况处理。这样，计算便大大地简化了。但是，在大家所熟知的文献〔1、2〕中，曾经假定车轮沿水平地面滚动时车轮的参数不变，而回正轮沿坡地滚动时，它的参数为一变量，其值取决于坡角的大小。

车轮滚动时的压缩及滑动过程中，压力与土壤变形之间的最概括的关系是 B 、 B 、卡柴奇教授提出的。利用这个关系便可确定刚性回正轮沿变形的坡地表面的滚动阻力。

考虑到轮胎在坡面上的接触宽度 B_a 及平均滚动半径 R_{acp} 是变化的，刚性回正轮的假定滚动阻力可按下式计算：

$$P_{fa} = \frac{1}{\alpha} K B_a H_a \quad [\text{注一}] \dots\dots\dots (1)$$

式中： H_a ——回正轮在坡面上的轮辙深度（厘米）

K ——土壤容积压缩系数（公斤/厘米³）

沿支撑面法线方向的轮辙深度按下式计算：

$$H = \sqrt[3]{\frac{Q_n^2}{2K^2 B_a^2 R_{acp}}} \cos \alpha \quad [\text{注二}] \dots\dots\dots (2)$$

式中: Q_n ——车轮负荷 (公斤)

将 $H_a = H / \cos \alpha$ 代入方程式 (2), 便得到刚性回正轮在产生轮辙时的假定滚动阻力的计算公式:

$$P_{fa} = 0.5 Q_n \sqrt[3]{\frac{Q_n}{4 K B_a R_{acp}^2}} \dots \dots \dots (3)$$

在所研究的截面中, 充气轮胎的直径用刚性轮的平均直径代替, 从而根据土壤变形来确定充气轮胎在坡地上的滚动阻力。轮胎变形时所产生的能量损耗, 可按 A 、 E 阿米尼阳诺夫公式计算。这样, 便得到轮胎式回正轮在坡地行驶的总滚动阻力的计算公式如下:

$$P_{fa} = Q_n \left(0.5 \sqrt[3]{\frac{Q_n}{K B_a D_{acp}^2}} + C_1 \sqrt[3]{\frac{Q_n}{P_a D^2}} \right) [\text{注三}] \dots \dots \dots (4)$$

式中: C_1 ——轮胎结构系数

P_a ——轮胎气压 (公斤/厘米²)

D ——轮胎外径 (厘米)

随着坡地倾斜度增加, 回正轮的滚动阻力相应增加, 同时, 车轮接触面减小, 轮辙深度亦增加。

在行驶稳定的情况下, 沿车轮附着面的切向牵引力将取决于车轮的负荷和参数、土壤的物理——机械性能以及滑转情况。对于具有轮齿的轮胎, 切向牵引力基本上由剪切应力大小所决定。

车轮沿坡滚动时, 由于回正的缘故, 其接触面宽度 B_a 随倾斜度和轮辙深度的变化而异。同时, 接触长度同样在改变, 其值可按下式计算:

$$L_a = R_{acp} \gamma_0 + u D_{acp} U_a \dots \dots \dots (5)$$

式中: $\gamma_0 = \arctg \frac{\sqrt{D_{acp} H_a}}{R_{acp} - H_a}$ ——即车轮与土壤接触面的包角

U_a ——轮胎的径向变形

车轮在坡地上处于回正状态时, 其接触面为顺长轴方向被削去一部分的椭圆, 并将改变轮胎与地面接触的轮齿数目。在坡地上, 与支撑面啮合的回正轮胎的完整轮齿数的假定值为

$$i_a = \frac{B_a L_a}{l t \sin \xi} \dots \dots \dots (6)$$

式中: l ——整个轮齿的侧刃面长度 (厘米)

t ——轮齿间距 (厘米)

ξ ——轮齿的排列角度

考虑到公式 (5)、(6), 回正轮在坡地上的总切向牵引力为:

$$P_{ha} = \frac{Q_n B_a f_{ch} K_r \cos \alpha}{\sigma F_a} \left(\ln ch \frac{\delta L_a}{K_r} - f_{np} \frac{1}{ch \frac{\delta L_a}{K_r}} \right) + 2 \tau_{cp} a i_a \dots \dots \dots (7)$$

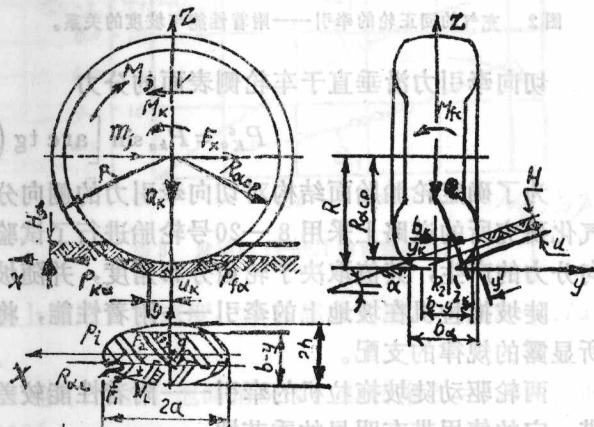


图1 在坡地上驱动回正轮的受力、力矩示意图。

式中: f_{ck} ——滑动摩擦系数
 δ ——滑转率(角度)
 τ_{cp} ——剪应力(公斤/厘米²)
 F_a ——接触面积(厘米²)
 K_r ——变形系数
 f_{np} ——当量摩擦系数
 a ——轮齿高度(厘米)

按公式(7)计算回正轮的切向牵引力,无论在坡地还是在平地,在达到某一滑转值前,切向牵引力是增加的,而后却减少。同时,车轮在坡地上的切向牵引力比在平地小些,并随滑转减小而增加。回正轮在坡地上的切向牵引力达到最大值时的滑转值,也比平地情况为大。当 $\delta = 20\%$ 时,用解析法可得到(12—38)号轮胎式回正轮的牵引——附着性能与坡度的关系曲线〔 $D = 154$ 厘米, $B_a = 32.4$ 厘米, $P_o = 1.1$ 公斤/厘米², $Q_k = 1305$ 公斤, 土质为重粘土, 地表为生荒地, $K_1 = 20.1$ 公斤/厘米³, $\tau_{cp} = 1.7$ 公斤/厘米〕, 如图2所示。

土层变形的方向与拖拉机行驶方向相反, 车轮的切向牵引力等于作用于每一个轮齿的土壤切向反力的总和。

由于车轮回正时, 其接触面形状为一不完全椭圆(顺长轴方向被削去一部分), 故轮胎一侧的轮齿接触长度不变, 而另一侧却减少了。接触面内所有力的合力施于车轮对称面的一

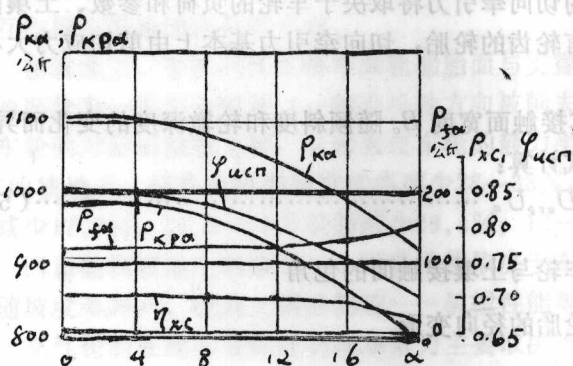


图2 充气的回正轮的牵引——附着性能与坡度的关系。

侧, 其方向与车轮对称面成一定角度。很明显, 切向牵引力等于所有对轮齿上的力的合力, 其方向亦与车轮对称面成一定角度(参考图1)。

拖拉机的车轮在坡地上回正情况下, 其切向牵引力的作用角总是沿坡向下, 这样, 促使车轮偏歪和下滑。

切向牵引力沿行驶方向的分力等于与土壤接触的所有对轮齿的力 R_a 的总和:

$$P_{K_a}^K = P_{K_a} \cos \left[\arctg \left(\frac{B}{B_a} - 1 \right) \operatorname{tg} \xi \right]$$

切向牵引力沿垂直于车轮侧表面的分力

$$P_{K_a}^S = P_{K_a} \sin \left[\arctg \left(\frac{B}{B_a} - 1 \right) \operatorname{tg} \xi \right]$$

为了确定轮胎胎面结构对切向牵引力的侧向分力与坡度的关系的影响, 在中央机械化电气化研究所的道路上采用8—20号轮胎进行了试验。试验表明: 车轮回正将导致牵引力的侧向分力的产生, 其值取决于轮齿分布角度, 并随坡度增加而增加。

陡坡拖拉机在坡地上的牵引——附着性能, 将受到驱动回正轮的牵引——附着特性变化所显露的规律的支配。

两轮驱动陡坡拖拉机的牵引——附着性能较差, 使用受到限制。特别在湿土及松土地带, 它的使用带有明显的季节性。

回正轮式行走装置的工作特性, 常致使陡坡拖拉机的牵引——附着性能变坏。拖拉机在坡地与水平地面的情况相比较, 车轮回正时, 车轮的接触面积、接触长度、滚动半径变小, 单位压力明显增加, 从而造成土壤层的强烈破裂。陡坡拖拉机在坡地上按预定方向行驶时往往会往下滑移, 这是由于轮胎的滑移、重力的侧向分力以及切向牵引力的横向分力所造成的。

陡坡拖拉机在坡地上的牵引——附着性能之所以差，是由于滑转和轮胎变形所引起的滚动阻力增加、轮胎沿滚动表面的滑动、以及产生轮辙时土壤层变形加剧所造成的。

陡坡拖拉机在坡地上具有较大的滑转及较大的滚动阻力。要提高其使用效率，可以采用使拖拉机的全部重量都成为附着重量的方法。

以往所进行的研究显示了全驱动陡坡拖拉机结构的优越性。在标定滑转20%的情况下，在坡度为 $6^{\circ}\sim 8^{\circ}$ 的待播地上，四轮驱动拖拉机的牵引力为1750公斤，而两轮驱动拖拉机为950公斤。在同样坡度压实后的土壤上，四轮驱动拖拉机的牵引力为1800公斤，而两轮驱动拖拉机为1130公斤。当四轮驱动拖拉机的牵引力降至1400公斤时，在压实后的土壤上滑转率约减少15%。

研究陡坡拖拉机在接通（或切断）前桥动力，以及接通（或切断）自动回正系统的情况，使我们能够选择坡地拖拉机的结构型式，并进行坡地拖拉机的研究，其中，坡地与平地情况的牵引——附着性能的对比应占有特殊的地位。

对四轮驱动陡坡拖拉机的牵引指标及燃油经济性指标，在 ЮНИНС—НАТИ 的留茬地（土质为黑钙土）进行过测定。在水平地面、倾斜度为 5° 、 10° 、 20° 的坡地；海拔2000米；土壤（深度5—10厘米）含水率为（14—19）%；坚实度大于40公斤/厘米²；轮胎气压：12—38号轮胎（后轮）为1.4公斤/厘米²；8—20号轮胎（前轮）为2.5公斤/厘米²；拖拉机总重量为4200公斤。

通过动力测量获得的发动机指标为：1700（转/分）时，功率为51马力，比油耗198公斤（马力·小时）。被测陡坡拖拉机的发动机——Д-50Л 的调速特性如图3所示。

分布在四个区域内的曲线族使我们能够建立陡坡拖拉机的牵引特性参数与牵引力的关系，并可转换到坡度角的坐标中（图4）。由图中所提供的滑转率随牵引力的变化曲线可以看出：坡地的滑转过程较平地变化快，说明牵引性能变坏了。

比较试验结果可以看到：转速不高时（Ⅱ档速度），滑转率特别大，在坡地上滑转率增加的幅度亦最大。在坡地上，随着速度增加，滑转率增加的幅度变小。例如，在 10° 坡地上用Ⅱ档速度，滑转率增加1.35倍（这时，牵引力为1400~1500公斤）。若在 10° 、 20° 的坡地上采用Ⅳ档速度，滑转率分别增加（0.62~0.75）倍（这时，牵引力分别为1250、1040公斤）。

当牵引力为1400公斤（牵引等级—1.4吨），水平地面情况下，滑转率 $\delta = 9.8\%$ ，而 $\alpha = 10^{\circ}$ 时， $\delta = 21\%$ ； $\alpha = 20^{\circ}$ 时， $\delta = 29\%$ 。

在不同牵引力的情况下，滑转率与坡度的关系特性维持不变。

坡度每增加一度，滑转率相应增加0.96~1.12%。行走部分滑转率增加的同时，轮辙深度增加，因而，滚动阻力亦明显增加。

拖拉机的最大牵引功率 N_{hpMax} 随坡度增加而降低。坡度为 $10\sim 12^{\circ}$ 时，牵引功率的降低

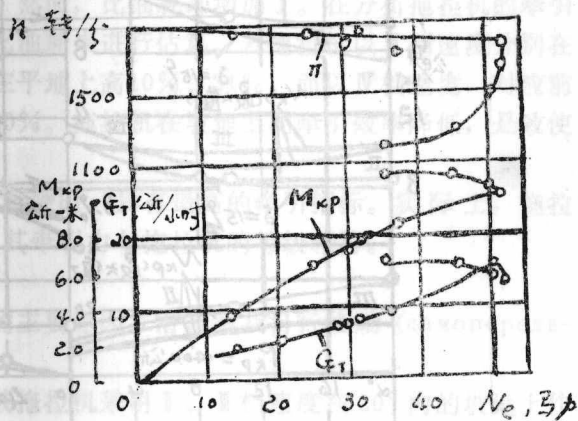


图3 发动机 Д-50Л 的调整特性。

尤为显著。与平地情况相比较，20°的坡地上用Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ档的牵引功率分别降低(31、38.2、42)%。坡地上牵引功率的降低，是由于滑转率增加、牵引力减少及速度降低所造成的。若用Ⅲ、Ⅳ档速度，当 α 增加时，可观察到牵引力一直在减小。滑转率为15%，采用Ⅲ档速度，当 α 在0~10°内变化时，坡度每增加一度，牵引力减少52公斤；而 α 在10~20°内变化时，坡度每增加一度，牵引力减少23公斤。若采用Ⅰ档速度，当坡度 α 超过10~12°，牵引力亦有一定增加，然而，它的数值明显地比平地情况小得多。拖拉机沿车轮附着面发出的最大牵

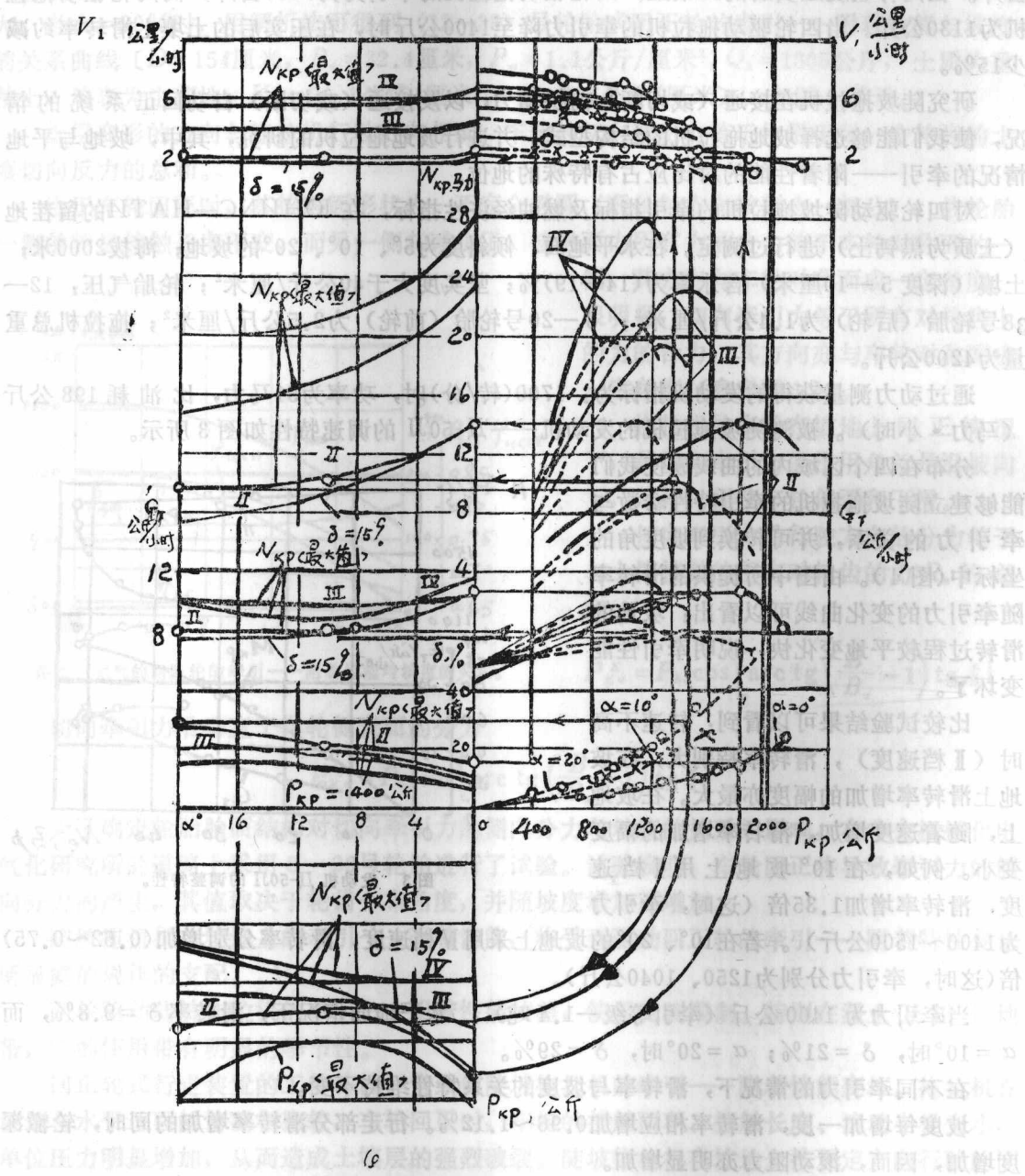


图4 具有全驱动稳定轮的陡坡拖拉机在平地 and 不同陡度的坡地上的牵引特性曲线。

引力与坡度的关系也具有类似特性。

分析拖拉机的牵引试验结果表明：坡度对拖拉机的牵引——附着性能有极重要的影响。例如，拖拉机在平地上行驶时，若用Ⅱ档速度，所发出的最大牵引功率为13.8马力；若用Ⅲ档，所发出的最大牵引功率为23马力。同样情况下，牵引力分别为1800、1600公斤；滑转率分别为14、12%。

在10°坡地上，Ⅱ档最大牵引功率减少26%(10.2马力)；Ⅲ档减少14.8%(19.6马力)，这时的Ⅱ、Ⅲ档牵引力分别为1400、1300公斤；滑转率分别为21%、18%。在20°坡地上，拖拉机的牵引指标显著降低，Ⅱ档牵引力为1500公斤，滑转率为33%时，牵引功率为9.5马力。Ⅲ档牵引力为1100公斤，滑转率为19%时，牵引功率为14.2马力。与平地情况相比，20°坡地上Ⅱ、Ⅲ档时牵引功率分别减少31%、38.3%。

随着拖拉机速度的增加，其牵引指标明显降低。如拖拉机以Ⅳ档速度在20°的坡地上行驶，其最大牵引功率为18.2马力时，所发出的牵引力为1040公斤，同平地情况相比较，牵引力、最大牵引功率分别减少21.7%、29.6%[原文如此]。拖拉机牵引指标明显降低的原因在于：拖拉机自行移动(самопередвижение)时的损耗增加了。

从图4中曲线可看出：在坡地上滑转率急剧地增加，与此同时，拖拉机的前进速度却相应降低。

处于Ⅱ、Ⅲ档情况下，随着坡度增加，可以观察到：前进速度持续地降低。在20°坡地以Ⅳ档速度行驶时可以发现：拖拉机的前进速度比在10°坡地行驶时有所增加。而在20°坡地上行驶速度的增加，将引起拖拉机的侧向位移和下滑明显增加，从而致使拖拉机沿坡向下移动。

拖拉机每小时耗油量随坡度增加而减少，然而，比油耗却增加了。在分析拖拉机的牵引特性时，燃油的经济性按最大牵引功率时的比油耗来进行估算。若拖拉机以Ⅲ档速度分别在10°及20°的坡地上行驶时，其比油耗分别比在平地上高10%、31%。而以Ⅳ档速度，对应前述情况下的比油耗分别比在平地上高17%、20%。拖拉机在坡地上的牵引效率降低，是致使比油耗增加的主要原因。

在20°的坡地上，拖拉机以Ⅱ、Ⅲ档速度行驶时，具有最高的牵引指标。实际上，拖拉机以Ⅱ、Ⅲ档速度在20°内的坡地上行驶时，其牵引力与拖拉机的等级相符。

结 论

在坡地上，陡坡拖拉机的牵引指标降低的主要原因：滑转率及自行移动(самопередвижение)所耗费的功率增加。

具有双驱动桥(即全驱动回正轮)的陡坡拖拉机采用Ⅱ、Ⅲ档速度在20°内的坡地上作业效果最好。

注一：原文误为 $\frac{1}{2}KB_sH_s$ 。

注二：原文误为 $\sqrt[3]{\frac{Q_n^2}{2KB_s^2B_{ac}}} \cos \alpha$

注三：原文误为 $Q_s \left(0.5 \sqrt[3]{\frac{Q_n}{KB_s D_{an}^2}} + c_1 \sqrt[3]{\frac{Q_s}{P_s D^2}} \right)$

刘翼龙译自苏刊

《ТРАКТОРЫ И СЕЛЬХОЗМАШИНЫ》 №2,76

卢奕民校

坡地和梯田作业对于机械效率的影响

绪 言

许多年来,用梯田种植作物已经成为保持土壤的一条经验。在美国西部阿华州的深黄土地区,一般是把超过2%的坡地修成梯田。虽然梯田已经是被推荐的经验,因为它有耕种困难的缺点,所以农场主还是不愿意接受和采纳这种办法。

耕种梯田的问题,已经由各方面的作者论述。但是,有关耕种困难的度量方法还很少论及。阿诺德(1),贝尔德(2)和雅克布逊(4)已经介绍了农民在一般梯田里操作的缺点。巴恩斯和斯特瑞可拉(3),估算了生产相同数量的谷物所用的工作量,在不平地或梯田里比在平坦地里多用10—12%。

史密斯的研究结果是:耕种平行梯田系统,比耕种一般梯田系统所用的机械工作时间和人工劳动量都要少。

本文介绍土地坡度和地块形状,对于不同的田间操作所需时间影响的研究概况。同时也研究了土地坡度和作物行的曲率,对于减少种植密度的影响。

研究程序

在阿华州的五个农场里,对需要中耕的作物的四种主要田间操作进行了研究。从这五个农场选择了34块沿河梯田,收集了机械在每块梯田里进行犁、种植、耕耘和收割所需的时间,记录了机械完成每种田间操作的总时间及机具在地头调头所需的时间。测定点播面积的百分率和条播面积的百分率。

这些田间资料被用来确定生产时间,实际生产时间,平均有效速度,机具调头所需时间的百分率,平均调头时间和平均行长度。

生产时间用下面等式来表示:

$$P = \frac{T}{A} \dots\dots\dots (1)$$

式中: P = 生产时间, 小时/英亩。

T = 总时间, 小时。

A = 面积, 英亩

实际生产时间的定义是:在单位面积上,完成一种田间操作所需的总时间,减去机具调头时间。此关系用下面等式来表示:

$$P_{adj} = \frac{T - Nt}{A} \dots\dots\dots (2)$$

式中: P_{adj} = 实际生产时间, 小时/英亩。

$$N = \frac{\text{梯田宽度}}{\text{机具宽度}}$$

t = 机具每次调头的平均时间, 小时。

T = 总时间, 小时。

A = 梯田面积, 英亩。

平均有效速度的定义是: 等式 (2) 中的实际生产时间的倒数除以机具的宽度。平均有效速度是额定机具宽度的函数。但是, 这里没有考虑坡度的影响 (它可能使机具宽度比公称宽度大一些或者小一些)。平均有效速度可以用下面等式来表示:

$$S_{ae} = \frac{8.25A}{(T - NT)W} \dots\dots\dots (3)$$

式中: S_{ae} = 平均有效速度, 米/小时。

A = 梯田面积, 英亩。

T = 总时间, 小时。

$$N = \frac{\text{梯田宽度}}{\text{机具宽度}}$$

t = 机具在梯田里的平均调头时间, 小时。

W = 机具宽度, 呎。

平均行长度可用下面等式表示:

$$l = \frac{43560A}{NW} \dots\dots\dots (4)$$

式中: l = 平均行长度, 呎。

A = 梯田面积, 英亩。

$$N = \frac{\text{梯田宽度}}{\text{机具宽度}}$$

W = 机具宽度, 呎。

机具调头时间的百分数, 表示机具在行端调头用的时间占总时间的百分率, 可以用下面等式来表示:

$$T_{LT} = \frac{4356000At}{LWT} \dots\dots\dots (5)$$

或:

$$T_{LT} = \frac{100NT}{T} \dots\dots\dots (6)$$

式中: T_{LT} = 调头损失时间百分数。

A = 梯田面积, 英亩。

t = 机具每次调头的平均时间, 小时。

L = 平均行长度, 呎。

W = 机具宽度, 呎。

T = 总时间, 小时。

$$N = \frac{\text{梯田宽度}}{\text{机具宽度}}$$

从上述的五个农场, 还获得作物种植密度减少的数据。中耕前, 在种植谷物的梯田里, 划定若干小块地区。通过选择这些小块地获得土地的坡度范围和作物的曲率数据。在中耕前确定作物的种植密度。