

农业机械学

上册

(第四、五章)

武汉工学院印

一九八〇年十二月

目 录

第四章 犁体外载·····	(1)
§ 4—1 犁体外载的研究目的和表示方法·····	(1)
§ 4—2 犁体外载测定的方法及其装置·····	(3)
§ 4—3 犁体工作状态外载的测定结果·····	(6)
§ 4—4 影响犁体外载的因素·····	(8)
§ 4—5 犁耕阻力·····	(11)
第五章 犁耕机组·····	(14)
§ 5—1 概 述·····	(14)
§ 5—2 悬挂犁机组·····	(14)
§ 5—3 入土性能·····	(15)
§ 5—4 耕深调整和耕深稳定性·····	(18)
§ 5—5 拖拉机的增重问题·····	(21)
§ 5—6 耕宽和耕宽稳定性·····	(23)
§ 5—7 机组操向性·····	(27)
§ 5—8 悬挂犁主要参数的确定·····	(30)
§ 5—9 机组配置·····	(32)
§ 5—10 牵引犁机组·····	(33)
§ 5—11 半悬挂犁机组·····	(37)

第四章 犁体外载

§ 4-1 犁体外载的研究目的和表示方法

犁体是铧式犁的主要工作部件，犁的受力特征主要取决于犁体的外载状况。因此，研究犁体的外载，对于犁和机组的研究都具有重要的意义。

犁体的外载，系指犁在耕作过程中，土壤施加于犁体上的作用力。

研究犁体外载的目的主要是：

- 1) 为犁体曲面的设计和改进以及减轻犁的阻力提供依据；
- 2) 为耕作机组的正确设计与合理使用提供依据；
- 3) 为犁的零部件结构强度和疲劳寿命计算提供依据。

为了上述目的，不但需要获得犁体外载数据的平均值，而且还需知道犁体外载分布规律、峰值的大小和频数，即数据的离散范围。

近年来，由于对机组动力学研究和犁的实验室台架快速载荷模拟试验的需要，对犁体载荷的随机性质采用了统计规律和动力学规律两者相结合的办法进行研究。作用在犁体上载荷的相关函数以及载荷的频谱密度都是属于随机过程的基本特征。如果弄清楚土壤与犁体或其他耕作机具之间相互作用的随机函数规律，其意义十分重大。如在耕作机组动态平衡分析中，弄清楚作为悬挂系统封闭环中一环的土壤与工作部件之间的作用规律，基本上就能从实验室测得悬挂系统封闭环各环的特性，从而可以推断悬挂系统田间作业的性能。对新设计的犁体结构强度进行实验室台架快速载荷模拟试验，可大大缩短试验时间。通常需要在田间条件下进行 3~4 年的试验，如采用台架试验方法，则仅需 2~3 个月的时间即能完成这项工作〔3、10〕。

在犁耕作业时，土壤在犁体的作用下被切割、变形和抛翻。而土壤具有质量和强度，就会对上述作用产生阻力，这就是犁体的外载。但由于犁体曲面几何形状比较复杂，土壤质点在犁面上的运动轨迹为一空间曲线，所以作用于每一微分刃口和面积上的土壤单元阻力，其作用线不可能在同一平面内，也不可能在空间汇交于一点。所以犁体外载是一个空间非汇交力系，不能合成为一个单一的合力。

犁体外载的数据可按不同的需要，用下列几种方法表示：

一、六分力法

这种方法是将犁体外载放在空间直角坐标系中，用对某简化中心的主矢量三个分量和主矩三个分量来表示。例如可以用向理论铧尖 O 点简化的主矢量三个分量 R_x 、 R_y 、 R_z 和主

矩的三个分量 M_x 、 M_y 、 M_z 来表示(图4—1)。

二、三个坐标平面的分阻力法

这个方法又称三面法。此法是将犁体外载用三个坐标平面内的三个分阻力表示,即现已知六个分力的基础上,按平面力系合成原理在各坐标内分别进行力的合成,成为一个单一的合力。

因此,在纵垂面 XOZ ,水平面 XOY 和横垂直面 YOZ 内的分阻力值的大小分别为(图4—2):

$$R_{xz} = \sqrt{R_x^2 + R_z^2} \quad (4-1)$$

$$R_{xy} = \sqrt{R_x^2 + R_y^2} \quad (4-2)$$

$$R_{yz} = \sqrt{R_y^2 + R_z^2} \quad (4-3)$$

其方向分别由 Ψ 、 η 和 ξ 表示,可由下式求出:

$$\Psi = \arctg \frac{R_x}{R_z} \quad (4-4)$$

$$\eta = \arctg \frac{R_y}{R_x} \quad (4-5)$$

$$\xi = \arctg \frac{R_z}{R_y} \quad (4-6)$$

其作用线位置可以分别用与简化中心(例如理论铧尖 O 点)的垂距 ρ_{xz} 、 ρ_{xy} 和 ρ_{yz} 表示。其数值可这样求得,即使分阻力 R_{xz} 、 R_{xy} 和 R_{yz} 在各坐标平面内相对简化中心产生的力矩与该平面内原有的力矩 M_y 、 M_z 和 M_x 相平衡,即

$$\rho_{xz} = \frac{M_y}{R_{xz}} \quad (4-7)$$

$$\rho_{xy} = \frac{M_z}{R_{xy}} \quad (4-8)$$

$$\rho_{yz} = \frac{M_x}{R_{yz}} \quad (4-9)$$

三、力螺旋法

这种方法是将犁体外载用一个力和垂直于该力的平面上的一個力偶来表示。

在上述六分力法的基础上,也可以进一步变换为作用于某点(例如理论铧尖 O 点)上的一个主矢量 R 和一个主矩 M 。它们的模和方向余弦分别为:

$$|R| = \sqrt{R_x^2 + R_y^2 + R_z^2} \quad (4-10)$$

$$\left. \begin{aligned} \cos(R, X) &= \frac{R_x}{R} \\ \cos(R, Y) &= \frac{R_y}{R} \\ \cos(R, Z) &= \frac{R_z}{R} \end{aligned} \right\} \quad (4-11)$$

$$|M| = \sqrt{M_x^2 + M_y^2 + M_z^2} \quad (4-12)$$

$$\left. \begin{aligned} \cos(M, X) &= \frac{M_x}{M} \\ \cos(M, Y) &= \frac{M_y}{M} \\ \cos(M, Z) &= \frac{M_z}{M} \end{aligned} \right\} \quad (4-13)$$

实际上由于主矢量 R 与主矩 M 通常是不垂直的, 即 $R \cdot M \neq 0$, 因此犁体外载只能合成一个力螺旋而不能合成一个单一的合力。

设 R 与 M 二矢量间的夹角为 ϕ , (图4-3) 则可将主矩 M 分解为 M' 和 M'' , 分别与主矢量 R 平行和垂直。由于 M'' 与 R 垂直, 所以二者可以合成为一个合力 R , 但其作用线相应平移 $d = \frac{M''}{R}$ 距离。于是最后可以合成为由主矢量 R 和最小主矩 M' 组成的力螺旋。这个最小主矩 M' 称为力螺旋主矩, 其大小由下式计算:

$$|M'| = \frac{R_x M_x + R_y M_y + R_z M_z}{\sqrt{R_x^2 + R_y^2 + R_z^2}} \quad (4-14)$$

力螺旋的主矢量 R 和主矩 M 的共同作用线称力螺旋中心轴, 它的位置可以用其中心轴的空间直线方程表示:

$$\begin{aligned} \frac{M_x - (Y R_z - Z R_y)}{R_x} &= \frac{M_y - (Z R_x - X R_z)}{R_y} \\ &= \frac{M_z - (X R_y - Y R_x)}{R_z} \end{aligned} \quad (4-15)$$

对该直线方程依次使 $X=0$ 、 $Y=0$ 和 $Z=0$ 进行计算, 可以求出力螺旋中心轴线与各坐标平面交点的坐标值。对于用作图法绘制的犁体曲面, 可以用投影几何的方法求出力螺旋中心轴与犁体曲面的穿点和该点相对于理论铧尖的坐标值。这时铧尖可作为新的坐标原点。

在上述三种犁体外载的表示方法中, 前两种便于进行犁和机组的受力和强度计算, 其中六分力法较适用于解析法, 三平面法较适用于图解法, 第三种力螺旋法, 给人以空间直观的概念, 便于台架试验的模拟加载和犁的挂接点的选择。

§ 4-2 犁体外载测定的方法及其装置

由于在耕作过程中影响犁体外载的因素十分复杂, 其载荷数值又是随机性质的, 因此虽经各国的长期研究, 提出了各种理论的或经验的计算公式, 但都还难以在实际中有效的应用。为了迅速解决耕作部件和整机设计、使用、调整中的一系列问题, 犁体的外载资料主要还是采用原型工作部件, 在田间实际工作状态下或土壤槽内, 借助一定的装置和仪器直接测得的。

目前, 对犁体外载的测定, 随其用途的不同主要有以下几种方法和装置。

一、 线性测力

线性测力是指测定犁沿前进方向的阻力数值,即牵引阻力 R_x 。线性测力常用于犁的总体设计、机组配套和对比犁的动力性能等方面。

整机线性测力最简单的方法是用机组在田间直接测定。对于牵引犁,可以在拖拉机与犁之间连接拉力仪,直接测出前进方向的阻力值。对于悬挂犁,则可在被测机组前再串联一拖拉机,由二拖拉机之间的拉力仪测出机组工作状态时的总阻力,然后减去被测机组空行程的滚动阻力数值。但是这种方法机组很长,测定误差较大。为了克服这些缺点,近年来发展了各种型式的拖拉机悬挂测力装置。这些装置大都是通过测定拖拉机悬挂机构的上、下拉杆或前(后)悬挂销子受力数值,然后计算出牵引阻力值。

对于带有犁轮的犁,上述方法所测出的阻力值尚包括犁轮的滚动阻力。若要直接测出犁体本身的阻力,可采用专用的线性测力悬架,图4—4即为该装置的一种型式,其特点是,被测犁体不直接装在主犁架上,而是装在一特制的悬梁上。悬梁与两个短连杆铰接,而短连杆又与犁架上的支架铰接,构成一组平行四连杆机构。在各铰连点装有径向止推球轴承,用来平衡犁体所承受的侧向力。这样,用铰接于悬梁和犁架间的拉力仪便可测出被测犁体沿前进方向的阻力 R_x 的数值。图中前面的犁体是为被测犁体开出犁沟用的。

实际上,由于耕区各处土壤的性质不同以及耕深、耕宽和耕作速度的不稳定等原因。仪器所记录的线性阻力值是波动的,其测定结果如图4—5所示,横坐标表示时间,纵坐标表示阻力。图中右侧是载荷出现的频率曲线,其横坐标表示频率值。平均值出现的频率是在峰值附近,这说明平均值出现的机会最多。在实用中,通常所指的阻力值大都指其算术平均值,即

$$R_{xj} = \frac{\sum_{i=1}^n R_{xi}}{n} \quad (4-16)$$

式中 n ——测定点数; R_{xj} ——各测定点阻力。

其阻力波动情况可以用变异系数 ν 表示:

$$\nu = \frac{S}{R_{xj}} \% \quad (4-17)$$

式中 S ——标准偏差; R_{xj} ——阻力算术平均值。

其中

$$S = \sqrt{\frac{\sum (R_{xi} - R_{xj})^2}{n - 1}} \quad (4-18)$$

也可以用动荷系数 λ 表示阻力波动情况:

$$\lambda = \frac{R_{xmax}}{R_{xj}} \quad (4-19)$$

式中 R_{xmax} ——阻力的峰值。

对于负荷逐渐增加的情况,例如遇到坚硬土壤时,其动荷系数一般为2;对于碰到障碍物时,例如碰到石块、树根时,其动荷系数甚至可达4[14]

二、空间测力

在测定犁体空间外载时,通常首先测出该空间力系的六个分力数值,然后换算为所需要的形式。因此犁体空间外载测定常称为六分力测定。

目前最常用的空间测力装置主要有悬架式和管式两类,而在每一类中又有许多型式。

1、悬架式测力装置

悬挂式测力装置有许多型式,其共同点是都有固定被测犁体用的悬架,而该悬架由六个独立的传感器与机架连接。这六个传感器约束了悬架的六个自由度,并反映了各点所承受的阻力数值。这种测力装置可以装在悬挂式或牵引式犁上,也可以装在土壤槽的台车架上。

图4—6为一种悬架式六分力装置的示意图(为了简化分析结构上作了一些改变)。其悬架为三角形,被测犁体固定在斜梁上。在悬架上过A、B两点沿X方向,过B点沿Y方向,过A、B、C三点沿Z方向各连接一拉压力传感器。拉压力传感器的另一端与犁架(图中未绘出)连接。为保证测力元件只承受拉力或压力,传感器两端都是球铰接。

在被测犁体右前方的犁架上安装一相同犁体(图中未画出)为被测犁体开沟,以保证被测犁体的耕宽稳定。

当犁体耕作受到外载荷时,悬架上的六个传感器就会测出(通过记录装置)六个拉力或压力值, A_x 、 A_z 、 B_x 、 B_y 、 B_z 和 C_z 这六个力与犁体外载等效。

在水平面XOY、纵垂面XOZ和横垂面YOZ内悬架和犁体上的受力状态如图4—7所示。图中 x 、 y 和 z 分别为被测犁体理论铰尖O点相对于球铰A中心点的纵向、横向和垂直方向距离, L 、 S 为悬架A、B、C三点的相对距离。图中设理论铰尖为坐标原点,X轴以犁前进方向相反为正值,Y轴可指向未耕地方向为正值,Z轴以向下为正值。对坐标轴的力矩,其矢量方向以符合右手法则为正向。

根据空间力系平衡条件,可得

$$R_x = A_x + B_x$$

$$R_y = B_y$$

$$R_z = A_z + B_z - C_z$$

$$M_x = (A_z - C_z)y - B_z(S - y) + B_y z$$

$$M_y = C_z(L + x) - (A_x + B_x)z - (A_z + B_z)x$$

$$M_z = B_x(S - y) + B_y x - A_x y$$

式中 R_x 、 R_y 、 R_z 、 M_x 、 M_y 和 M_z 即为简化到理论铰尖O点的犁体外载六个分力数值。

2、立管式测力装置

立管式测力装置代替了原犁柱的位置,它主要由传感器、上连接盘和专用犁托三部分组成(图4—8)。传感器为一薄壁圆筒,圆筒外壁的相应位置贴有若干电阻应变片、并接成一定的桥路,以分别测出犁体外载的六个分力数值。

图4—9为电阻应变片的一种布置方案。力 R_x 和 R_y 采用测剪力的方法布片,接成半桥测量;由于 R_z 力较小,则将测定 R_z 力的应变片布置在由 R_x 和 R_y 产生的弯矩较小,管壁较薄

的部位,以提高测量灵敏度;力矩 M_x 和 M_y 由两对电阻应变片测量,它们组成两个测量半桥;力矩 M_z 是采用四个电阻应变片组成的测量扭矩的方法测定。上述六组线路通过传感器上面的六个接线插座与动态应变仪和记录仪连接[5、10]。

3、卧管式测力装置

卧管式测力装置,其传感器亦为一薄壁圆筒,但呈纵向水平配置。这种传感器实际上是一个附加的悬臂梁,前端固定于犁架上,后面的悬臂端安装被测犁体(图4—10)。与立管式测力装置的原理一样,在圆筒外壁相应的位置按一定的布片方案,贴上若干电阻应变片,并接成一定的桥路,以测出六个分力数值[6]。

4、管梁组合式测力装置

这种装置的传感器由两部分组成:圆筒形立管和矩形悬臂纵梁(图4—11)。立管与纵梁刚性连接,纵梁前端固定在犁架上,立管下端通过专用犁托安装被测犁体。在纵梁和立管外壁相应位置贴上若干电阻应变片,纵梁测出 R_z 值立管测出其余五个分力数值[3]。

上述四种犁体外载空间测力装置中,悬架式是最早出现的一种型式,世界各国早期测出的犁体外载六分力数据,大都是这种装置测得的。但是,这种装置比较复杂,需要专用的犁架。同时由于这种型式的悬架和传感器之间存有空隙和摩擦力、悬架本身的重量增加了被测犁体的惯性力,因此,其测量精度和频率响应受一定影响。

薄壁圆筒式测力装置是近年来才在国内外使用的。这类测力装置比悬架式结构简单、重量轻、惯性小、无间隙和摩擦力。但这类装置对其传感器的材料均匀性、加工、划线、贴片精度和质量以及电阻应变片阻值的精度和一致性等都有很高的要求,否则将会对测量精度和六个分量的分辨能力产生很大的影响。

在管式测力装置中,立管式测力装置结构紧凑,可以直接装在现有犁架上同时进行多犁体测定;而卧管式和管梁组合式则尚须改动原有犁架或制造专用犁架。但是,由于圆筒传感器的轴向灵敏度较低,而且犁体外载的垂直分力 R_z 值较小(甚至有时为零),所以卧式和管梁组合式利用纵梁测定 R_z 值有助于提高其测定精度。此外,卧式测力装置其传感器位置较高,适用于南方水田地区的需要。

§4—3 犁体工作状态外载的测定结果

近几十年来,一些国家对铧式犁体工作状态下的外载情况,相继进行了大量的测定研究工作。但是,由于犁体外载因犁体、土壤和工作参数等等因素的不同而产生很大差异,因此到目前为止尚缺乏比较系统的、完整的犁体外载资料。要想获得某种犁体在特定的使用条件范围内的准确外载数据,最好进行直接测定。

尽管如此,现有的一些犁体外载资料仍然可以提供很多具有普遍意义的规律,特别是各分阻力 R_x 、 R_y 、 R_z 及其相对值等。

为了真实反映纯犁体曲面上的外载,在空间测力时应拆除犁侧板(而且犁托也不应接触沟壁),否则犁侧板将平衡部分或全部犁面上的侧向力 R_y 。同时,由于犁侧板所承受的沟壁反力受机具安装和调整等因素的影响很大,所以当装有犁侧板进行测定时,也将明显地增大外载的波动量。

表4—1 空间测力一数据一

外 载 参 数		重 型 壤 土	中 等 壤 土	沙 壤 土
		耕 深 $a = 17 \sim 24 \text{ cm}$	耕 深 $a = 17 \sim 24 \text{ cm}$	耕 深 $a = 15 \sim 22 \text{ cm}$
分 阻 力	牵引阻力 R_x , kgf	252.8~429.0	223~394	170.2~247.6
	侧向阻力 R_y , kgf	70.8~145	62~134	44.8~78
	垂直阻力 R_z , kgf	64.2~109	56~60	41.0~63
分 阻 角	R_{xy} 与X轴夹角 η	15°42'~18°42'	15°36'~18°48'	15°42'~17°40'
	R_{xz} 与X轴夹角 ψ	14°18'	14°16'~8°36'	14°24'
	R_{yz} 与Y轴夹角 ξ	42°12'~37°	42°12'~24°6'	42°24'~33°
分 波 动 量	ΔR_x , kgf	40.78~71.81	34.09~70.13	27.01~42.27
	ΔR_y , kgf	9.84~22.88	11.02~25.27	7.06~12.20
	ΔR_z , kgf	9.22~17.82	8.02~8.48	7.52~11.44
力 螺旋	主矢量 R , kgf	270.3~465.8	238.8~420.3	171.3~265.1
	主力矩 M , kgfm	4.17~18.8	3.52~11.8	2.71~9.48
力 旋 标	在水平面上交 X, m	0.103~0.136	0.115~0.064	0.099~0.112
	点坐标 Y, m	-0.07~0.066	-0.066~0.088	-0.066~0.064

表4—2 空间测力数据二

分 阻 力	X O Z 平面			X O Y 平面			Y O Z 平面		
	R_{xz} kg	ψ	ρ_{xz} cm	R_{xy} kg	η	ρ_{xy} cm	R_{yz} kg	ξ	ρ_{yz} cm
保定30犁体(BT30)	423	9°4'	9.46	445	20°30'	16.58	170	22°42'	5.29
保定25犁体(BT25)	244	14°12'	8.06	260	23°40'	18.1	121	29°20'	10.6
水田系列(T20)	277	13°6'	14.8	283	17°16'	11.2	105	36°54'	18.4

表4—1中列出的一组空间测力数据,可以对犁体外载建立起一般数量上的概念。这组数据是根据国外对熟地型犁体,以3.78km/h的作业速度,在不同的土壤条件下测得的[8]。

表4—2为我国测定的几种犁体的空间测力数据,这组数据是坐标平面分阻力法表示的[4,6]。

从大量的实测数据中发现,犁体外载的主矢量三个分量和主力矩三个分量,彼此两两之间都有一定的相关程度。很早以来,各国相继发现了 R_x 、 R_y 和 R_z 之间存在一个比例系

数, 即 $n = \frac{R_y}{R_x}$, $m = \frac{R_z}{R_x}$ 。表 4—3 为有关 n 和 m 值的一些测定数据[3、4、6]。

从表 4—3 中可以看出, 比例系数 n 在各国的试验数据中比较接近。但是, 由于对 R_z 值的变异范围的试验数据目前还较少, 数据间的差别也较大, 所以对 m 值的选取, 其根据在一定程度上是不很充分的。

人们之所以重视对 n 、 m 两个系数的研究, 是因为这样只需要用线性测力的方法测出犁体牵引阻力 R_x 之后, 就立即可以求出 R_y 和 R_z 值。

当用坐标平面分阻力表达犁体外载时, 西涅奥可夫的测定结果表明: 各分阻力作用线位置也有一定的规律, 在 XOZ 平面内当 $\psi > 0$ 时 $\rho_{xz} \approx 0.5a$, 当 $\psi < 0$ 时 $\rho_{xz} \approx 0.33a$ (图 4—12); 在 XOY 平面内, $l = (0.3-0.5)b$, 相当于 $\rho_{xy} = 0.4 \sim 0.65b$ (图 4—13); 在 YOZ 平面内当 $\xi > 0$ 时 $\rho_{yz} \approx 0.5a$, 当 $\xi < 0$ 时 $\rho_{yz} \approx 0.75a$ (图 4—14)。以上各式中 a ——耕深; b ——耕宽。

表 4—3 有关 n 和 m 的一些测定数据

测定数据的来源		$n = \frac{R_y}{R_x}$	$m = \frac{R_z}{R_x}$
西德盖茨拉夫	1951年	0.3	0.4
	1956年	0.3	0.15
美国宾夕法尼亚大学农业试验站		0.24	
日本川村登 R (美国熟地型)		0.27	0.26
W (熟地型)		0.26	0.22
Z (熟地型—急倾斜型)		0.28	0.19
D (熟地型—深耕型)		0.20	0.17
K (通用型)		0.23	0.23
G (翻转型)		0.30	0.23
苏联西涅奥可夫	1946年	0.25~0.45	± 0.2
洛阳农机学院	1975年	0.37	0.16
吉林工业大学	1977年4月	0.25~0.33	0.13~0.25
镇江农机学院	1977年	0.31	0.23

§ 4—4 影响犁体外载的因素

在耕地时, 犁体外载受到多种因素的支配和影响, 主要包括犁体因素(工作曲面的形状、犁体结构、刃口锐利情况、工作面的材料和光洁度, 土壤与犁体的接触面积等), 土壤因素(土壤组成、土壤结构、坚实度、含水量、作物残茬、石块等)和其他因素(耕作断面、作业

速度、坡度、有无小前犁和犁刀等)。在上速因素中,有的难以精确地分析,有的在通常的耕作条件下可以忽略,因此,下面仅讨论一些主要影响因素。

1、犁体曲面型式

犁体曲面型式对分阻力 R_x 和 n 、 m 两个系数都有影响。一般来说,在常用耕深范围内,熟地型犁体的阻力较小。图4—15将不同犁体的比阻与耕深的变化曲线进行了比较;从图中可以看出,碎土型(S)犁体的比阻曲线是很平缓的,在耕深为10—22cm时,其比阻值基本不变;而熟地型(L)和翻土型(W)在耕深增加时,其比阻曲线均上升。虽然熟地型的比阻较小,但当耕深超过20cm时,其比阻却超过了碎土型。

应当指出,犁体曲面的型式应同其耕作的土壤类型、作业要求和作业速度相适应,只有在适应这些条件的情况下比较其阻力的大小,才有实用意义

2、犁铧刃口

当犁铧在工作中由于刃口磨损而形成背棱图(4—16),它的受力情况将发生变化。这是因为背棱产生了附加阻力 ΔR 。这时,犁体外载的垂直分力 R_z 将减小,并随着背棱的加宽变为负值;同时,犁体外载的纵向横向分力 R_x 和 R_y 相应增大。因此,犁铧磨损不仅影响犁的入土性能和耕深稳定,并使牵引阻力增大。

3、土壤

在不同土壤里工作的犁体有不同的外载,其数值主要取决于土壤的机械组成、含水量和其他土壤参数。图4—17表示用一种熟地型犁体在三种不同土壤(细砂壤土 A 、砂性粘壤土 B 和粒砂粘壤土 E)中耕作时,测定的三个坐标平面分阻力随耕深变化的曲线。由图中看出,当耕深增大时, R_x 和 R_y 均相应增大,在土壤 E 中的 R_x 力比在土壤 A 中的 R_x 力大2.5—3倍。致于在三种土壤中的 R_z 力,当耕深15—20cm时,基本上是相同的。但当耕深减少时,在土壤 E 的垂直分力 R_z 明显减小,甚至改变符号变为负值,这说明 R_z 力的方向此时是向上的。

土壤含水量对犁体外载有很大影响。一般在适耕水分时阻力最小,含水量过小或过大都影响阻力值。适耕水分应根据土壤状况而定,对壤土旱耕而言,其适耕含水量(绝对含水量一般在15%左右。

4、耕地断面尺寸

耕地断面尺寸主要包括耕深 a 、单犁体幅宽 b 和宽深比 $\frac{b}{a}$

犁体在一定耕深范围内耕作时,其牵引阻力 R_x 随耕深的增加基本上成线性增大(图4—18)。当耕深超过一定值时(图中约为20cm,在所有幅宽条件下,都会使牵引阻力急剧上升。这主要是因为耕深超过耕作层遇到了生土的缘故。

如果将比阻 k 与宽深比 $\frac{b}{a}$ 的变化关系用图线表示(图4—19),将有助于选择最优耕作断面。图中所有某一耕深的比阻曲线均有一个最小值既有一个最优的 $\frac{b}{a}$ 值,选择这样的断面比阻最小。如耕深为10cm的比阻线,其最小值的幅宽在13—14cm之间,当耕深为15—25cm时,其最小的值均在窄幅一边。这说明从减小阻力的观点看,窄幅耕作是有利的。

随着耕深的改变。侧向分力 R_y 的变化规律与 R_x 接近,大致按 $R_y \approx n R_x$ 规律变化(参看图4—17)。

垂直分力 R_z 亦随耕深不同而变化(参看图4—17)。由于犁体外载垂直分力 R_z 是由作用在犁刃底面的负方向的土壤反力、犁体工作面上的土壤阻力以及土壤重量组成的合力,因而当耕深小、土质硬时, R_z 可能出现负值。随着耕深的增大,由于犁面上的土壤阻力和重量的增加, R_z 逐渐增大。但进一步加大耕深,特别这对于犁壁翼部扭曲较强的犁体,由于犁翼扣压土堡, R_z 值开始减小。如果耕深超过硬土层时, R_z 可能出现负值。

5、作业速度

犁的作业速度与犁体外载数值的关系很大。当作业速度提高时,牵引阻力 R_x 将显著增加。例如,用熟地型犁体耕作,当耕速由 3.5 km/h 提高到 9 km/h 时,其牵引阻力增加约30%,而其所消耗的牵功率可增大几倍(图4—20)。因此在高速作业时,宜采用高速犁体和大马力拖拉机。

随着耕速的提高,侧向力 R_y 也有增大的趋势,但不很明显。对于垂直力 R_z ,当速度提高时一般认为有向下(正向)缓慢增大的趋势。

6、小前犁和圆犁刀

一些试验表明[12],带有小前犁的犁体耕作时,在多数情况下其阻力比不带小前犁时为大,但有时减小。例如当在砂壤土耕作时,其牵引阻力增大15%,而在粘的生草土壤上耕作则减小9%,这是因为砂壤土粘结力小,土堡在犁壁上的变形阻力较小,耕作时的主要阻力来自犁铧的切割阻力,加装小前犁后便增添了小前犁犁铧的切割阻力,致使总阻力增大;而在粘的生草土壤上耕作时,犁壁上的阻力相当大,这时装有把土壤切为两条的小前犁,将减小主土堡的弯曲阻力矩,致使总阻力降低。

圆犁刀对犁体的牵引阻力 R_x 的影响不很明显,这是因为圆犁刀本身虽有一定的阻力,但却减小了犁体铧刃切土的阻力。圆犁刀对犁体的垂直阻力 R_z 影响较大,例如直径 390 mm 的圆犁刀在坚实度为 35 kgf/cm^2 ,含水量为38%的土壤上,工作深度为 12 cm 时所测出的垂直阻力为 105 kgf (方向朝上)。可见加装圆犁刀不利于犁的入土和耕作深度的稳定。

§4—5 犁耕阻力

耕地是农业生产的重要环节,也是能量消耗最大的作业之一。为此,研究犁和机组的受力特性、特别是犁耕时的牵引阻力,对改善耕作的稳定性、减轻耕作阻力和提高机具的使用寿命,从而充分发挥犁耕的经济效果,都具有重要的意义。

一. 犁的牵引阻力公式

为了计算犁的牵引阻力和阐明复杂犁耕过程中各主要因素与阻力间的物理联系,不少学者经过长期的研究,提出了一些阻力公式。苏联高略契金院士按照一般的力学原理,在实验

的基础上首先提出了犁的牵引阻力有理公式。这个公式由磨擦、变形和动量三个阻力项组成。

$$R = R_1 + R_2 + R_3 = fG + kab + \varepsilon abv^2 \quad (4-20)$$

式中 R —犁的牵引阻力 N ； f —综合磨擦系数，留茬地 $f=0.3\sim0.5$ ； k —土堡抗变形系数 N/cm^2 [11]：轻质土壤（砂土、粘砂土）为2，中等土壤（砂粘土）为4，粘重土壤（重粘土）为6，特重土壤（重粘土）6—10； a —耕深 cm ； b —工作幅宽 cm ； ε —与犁体曲面形状、土壤性质等因素有关的系数 NS^2/m^4 ，其数值范围较大，一般平均可取 $\varepsilon=4000NS^2/m^4$ [11]； U —犁的前进速度 m/s 。

在公式（4—20）中，第一项 R_1 为与耕作速度和土堡尺寸无关的磨擦阻力。其中包括犁体和沟底、沟壁的磨擦阻力，轮子的滚动阻力等等。这项阻力与犁的重量成正比，其比例常数既为综合磨擦系数 f 。因此，这项阻力与有效功无关系，而且是永远伴随着犁运动而产生无法避免的固定阻力。

第二项 R_2 为使土堡变形的阻力。这项阻力与速度无关，而与土堡的横截面成正比，其比例常数既为堡抗变形系数 k 。

第三项 R_3 为翻土转土堡的阻力，或称介质的动力变化阻力。

设在每秒钟内通过犁壁的土壤体积为 $V=abv$ ；而其质量为 $m=\rho abv$ ，其中 ρ —土壤密度， $\rho=\frac{r}{g}$ （ r —土壤比重； g —重力速度）。

由于使土堡抛翻并具有速度 v_1 的力由 mv_1 值决定（其中 v_1 为土堡速度， v_1 与犁的前进速度 v 成正比，设 $v_1=\varepsilon'v$ ）。因此，这项阻力可由下式求得：

$$mv_1 = \varepsilon' \frac{r}{g} abv^2$$

或用总系数 ε 代表 $\varepsilon' \frac{r}{g}$ ，则得

$$R_3 = \varepsilon abv^2$$

这就是有理公式（4—20）的第三项阻力形式。

二. 阻力的组成

从牵引阻力的有理公式可以看出，在犁的阻力中大体可分为无效阻力和有效阻力两部分。

无效阻力主要由以下各种摩擦力组成：

- 1) 犁体与沟底和土堡间的磨擦力；
- 2) 犁轮的滚动阻力及轴承的磨擦力等；

这部分阻力主要包括在有理分式的第一项中。有效阻力是完成耕翻过程所必须的阻力，主要有以下各种阻力组成：

- 1) 切出土堡的切割阻力，既犁铧刃口切出沟底、犁刀或犁铧刃口切出沟壁的阻力（如小前犁，还有小前犁切出小土堡的切割阻力）；
- 2) 土堡受到挤压、剪切、扭转移动及破碎的阻力；
- 3) 抛出土堡的阻力；
- 4) 由于犁耕速度的变化所产生的惯性阻力等。

这部分阻力主要包括在有用公式的第二、三两项中。

三、犁的效率

犁的效率一般指犁的有效阻力与总阻力之比。现将公式(4-20)改写成下列两项形式:

$$R = fG + (k + \varepsilon v^2) ab \quad (4-21)$$

其中第一项为无效阻力。如果认为第二项为有效阻力时,可用下列比值来计算犁的效率:

$$\eta = \frac{R - fG}{R} = 1 - \frac{fG}{R} \quad (4-22)$$

或

$$\eta = \frac{(k + \varepsilon v^2) ab}{fG + (k + \varepsilon v^2) ab} \quad (4-23)$$

犁的效率常作为评价犁的性能指标之一。由于悬挂犁比牵引犁结构简单、重量较轻,其无效的磨擦阻力 fG 小得多,因而悬挂犁的效率较牵引犁为高。即使同一类型的犁,亦因工作部件和配置的不同,其效率也有所差异。

四、减小牵引阻力的途径

分析犁耕阻力的组成及其影响因素的一个重要目的,是为了研究如何减小其阻力,从机具的设计角度来看,减小犁耕阻力大体上有下列途径。

1、减小犁与土壤之间的磨擦阻力

犁与土壤之间的磨擦力,基本上属于无效阻力,因而减小这类阻力对提高犁的效率是有重大意义的。为此:

- 1) 减轻犁的重量。例如,采用悬挂犁代替牵引犁,采用矩形钢管等。
- 2) 减小犁轮的滚动阻力和轴承磨擦阻力。例如,采用气胎轮、滚动轴承等。
- 3) 减小犁侧板的磨擦阻力。例如,采用滚动犁侧板等。

2、设计良好的犁面和结构

在设计犁体曲面时,要在满足不同土壤类型、作业速度和作业要求的同时,尽量减小其阻力。特别是与大马力拖拉机配套的高速作业犁(现代高速犁耕速度已达 $7 \sim 12 \text{ km/h}$),必须使其犁体曲面适应高速作业的要求,否则牵引阻力会急剧地增大。

在犁体结构方面,可以采用耐磨或自刃的犁铧。使铧刃保持锋利。

采用带有塑料覆层等低磨擦系数材料的犁壁,可以减少粘土,从而减小阻力。例如,以特氟纶(Teflon)涂层与普通钢犁壁比较,牵引阻力可减少23%。

此外,还可采用滚子犁壁等结构,以减小阻力。

3、合理选用挂接参数和辅助工作部件

与拖拉机正确挂接可以减小牵引阻力。例如对于悬挂犁,合理选用液压悬挂机构及悬挂参数,可使犁的部分重量转移到拖拉机上,这样不但减轻了犁的重量,而且提高了拖拉机的牵引附着性能。

从减小阻力的角度来看,对于一般土壤,带小前犁和园犁刀是不利的,只有在杂草很多的地里耕作时宜装小前犁;而园犁刀一般只需装在多铧犁的最后一个犁体上,使犁沟沟壁整齐,减小犁轮的阻力。

参考文献

(1) 镇江农机学院、吉林工业大学合编,农业机械理论及设计,上册,中国工业出版社,1961。

(2) 吉林工业大学,农业机械理论和设计,本校印,1977。

(3) 吉林工业大学,铧式犁体工作状态外载测量的研究,本校印,1977。

(4) 洛阳农业机械学院,北方旱作地区铧式犁系列犁体六分力测定及架式六分力测力装置的改进,本院印,1975

(5) 一机部农机院综合室,犁体六分力测力装置研究试验报告,本院印,1978。

(6) 桑正中,卧式圆筒六分力测力装置的研究,农机情报资料,1979年2期。

(7) M·H·列托施聂夫著,曾德超、曹崇文等译,农业机械,高等教育出版社,1959。

(8) A·A·龙卓,通用犁的基本参数的研究与论证,镇江农机学院译,1962。

(9) Z·Brdzda等,陈秉麟译,影响犁体牵引阻力的主要因素的确定,农业机械快报,1963年1期。

(10) E·Г·保加洛夫著,何椿岁译,土壤对铧体作用力的实验测定,原载 *Тракторы и сельхозмашины* 1971年9期。

(11) H·Heyde·G·Кейн, *Landmaschinen Lehre, Band 2*, 1976。

(12) Г·Н·Синекоков, Проектирование почвообрабатывающих машин, *Машиностроение* 1965。

(13) E·C·Босой, Теория Конструкция и расчет Сельскохозяйственных машин, *Машиностроение*, 1978。

(14) O·J·J·Rogers等,王瑞麟译,在不同的土壤条件及速度下作用于三类型犁体上的力,农业机械译丛,1964年3期。

第五章 犁耕机组

§5-1 概述

以耕地为目的，由犁和动力机械组合成的作业整体，称为“犁耕机组”。动力机械有其本身的一系列技术理论问题。当配上农具组成为机组后，又有其相互联系，相互影响的整体问题。这些问题是与发挥机组工作效率，提高耕作质量密切相关的。机组的主要型式（图5-1）有：

牵引犁机组——犁和拖拉机以单点挂接型式相连接，拖拉机仅起牵引和导向作用。无论机组在运输状态，还是在工作状态下，犁的重量主要由犁本身的三个轮子所支承。

悬挂犁机组——犁和拖拉机通常以三个挂接点相连接。机组借助拖拉机的液压装置使犁从工作状态转换到运输位置。在运输状态时，犁的重量完全由拖拉机支承。

半悬挂犁机组——犁通过悬挂架和拖拉机相连接。机组在工作状态时，犁的前端由拖拉机支承，犁本身还有一个或二个轮子起支承和稳定耕深的作用。机组借助拖拉机的液压装置使犁从工作状态转换到运输位置。在运输状态时，犁的部分重量由拖拉机支承，另一部分重量由犁的尾轮支承。半悬挂犁的形态既和牵引犁相仿，又和悬挂犁相似。

拖拉机作为牵引动力机械应用于农业生产以后，最初与其配套的是牵引犁。牵引犁是从马拉犁发展而来的，很大程度上保持着原来的形态和特点。它以单点挂接牵引，具有行走轮和机械式起落机构，调整简便，工作稳定，表现出较好的作业质量。自从液压装置引入到拖拉机上以后，悬挂犁就得到了发展。悬挂犁改变了传统的点牵引型式，而以三点与拖拉机连接，并精简了牵引犁固有的行走轮和起落机构，显得轻巧灵活，工作效率较高。目前在中小型拖拉机上几乎都配上了悬挂犁。

随着拖拉机功率不断提高，要求配套犁的工作幅宽亦相应增加，但当增加到一定程度后，就产生了种种问题：牵引犁的体形变大，重量增加，机动性变差；悬挂犁的机组运输纵向稳定性下降，作业仿形性变坏。半悬挂犁正是在解决上述矛盾时发展起来的。半悬挂犁具有较大的工作幅，但它比同幅宽的牵引犁的金属用量少，机动性好，而同时又兼有悬挂犁的大部分优点。

悬挂犁机组结合紧密，整体性强，但犁和拖拉机间的相互影响的问题比较突出。为此，本章将较全面地分析悬挂犁机组的理论问题，而对牵引犁机组和半悬挂犁机组只进行一般性的讨论。

§5-2 悬挂犁机组

不仅犁和拖拉机能组成悬挂机组，其他田间作业机具也能和拖拉机组成悬挂机组。机具

相对于拖拉机的配置，根据作业的工艺过程和结构上的可能性而有所不同。例如：收割机和割晒机的悬挂割台往往配置在拖拉机的前方，这种型式叫正面悬挂；割草机一般悬挂在拖拉机的侧面，这种型式叫侧面悬挂；行间中耕机的中耕铧铲往往悬挂在中耕拖拉机的腹部，某些与自走底盘配套的铧式犁也悬挂中间，这种型式称中间悬挂；大部分耕耘机具都是配置在拖拉机的后面，以使拖拉机走在未耕地上，避免压实已耕地，这种型式称为后悬挂。

悬挂犁一般采用后悬挂型式，通常以三点悬挂方式和拖拉机相结合。所谓三点悬挂，就是用三根杆件分别把拖拉机后部的三个点和犁上的三个点铰接起来，而使二者成为一体。这种挂接型式不仅能挂接犁，也可以挂接其他农具，目前已是现代拖拉机普遍采用的通用挂接型式（图5—2）。上面一根杆件 AB 通常称为上拉杆或中央拉杆，下面左右二根杆件 C_1D_1 和 C_2D_2 称为下拉杆。这三根杆件已成为拖拉机悬挂机构不可缺少的组成部分。杆件二端均以球铰结构连接拖拉机和犁，因此挂接点在一定范围内有转动的自由度。悬挂犁的起落运动，由拖拉机液压系统控制，它通过左右高升臂 E_1F_1 和 E_2F_2 直接作用于左右下拉杆。图5—3是悬挂犁机组在纵向垂直面内和水平面内的投影简图。在纵向垂直面内，假定两下拉杆的投影恰好重合为 $c'd'$ ，则悬挂机构可看作为 $a'b'c'd'$ 四杆机构， $b'c'$ 杆能相对于它的瞬心 π_1 转动，和 $b'c'$ 杆连接在一起的悬挂犁也就具有起落运动的可能。在水平面内，若不计 ab 杆的约束，则悬挂机构可看作为 $d_1c_1c_2d_2$ 四杆机构， c_1c_2 杆能相对于它的瞬心 π_2 转动，因此，和 c_1c_2 连接在一起的悬挂犁在水平面内有左右摆动的自由度。

§5—3 入土性能

犁是否能入土，入土是否迅速，是涉及到机组能否正常工作，和生产效率高低的问题。犁的入土性能优良与否，通常以入土行程作为综合指标。所谓入土行程是指犁的最后一个犁体铧尖从落地处起，至犁达到规定耕深处为止的水平距离 s （图5—4）。入土行程愈短，表明犁的入土性能愈佳。而整台犁的入土区 D ，应为犁的入土行程 s 加上最前和最后犁体铧尖纵向距离 l 。实践说明，同一台机组在不同的土质和茬口的地里耕作和不相同的机组在同一块地里耕作，表现的入土性能并不相同。这表明了入土性能除了受土壤条件影响外，还有机组本身方面的原因。耕地的对象——土壤条件往往不能随意选择，下面仅从机组的角度来分析讨论如何改善入土性能。

一、入土过程

悬挂犁机组从运输状态转换到工作状态都需经过下落和入土两个过程。下落过程是指犁从悬空位置下降，到犁体铧尖触地为止的这一阶段。犁的下落是由于犁的自重作用产生的，一般不用液压系统的动力迫使犁下降，相反，在某些液压系统中的节流阀，还起到适当的阻尼作用，使犁的下落速度稍慢，以减轻犁和地面的冲击作用。通常在下落过程中，只要液压悬挂系统没有故障，是不会发生什么问题的，任何犁都能完成下落过程。

下落过程结束后，犁就开始入土，入土总是犁体铧尖先破土。在多铧犁上，首先由第一犁体铧尖入土，然后其余犁体相继入土。入土过程中犁体基面（或犁架平面略呈前倾，随着犁体的耕入，犁体基面前倾逐渐变小，到达规定耕深时，前后犁体耕深一致，犁体基面呈水平状态，到此入土过程结束。与此同时，用高度调节法控制耕深的犁，限深轮落到地面起限