

L型四分力传感器及深松铲 受力特性的测定

邵维民 李小昱 卢博友

(西北农学院农机系)

摘 要

L型四分力传感器, 主要供测定中耕锄铲、深松铲等对称土壤工作部件受力特性之用。本文简要介绍了该传感器的结构特点、工作原理, 以及在深松铲受力特性测定方面的应用情况。

前 言

对于中耕锄铲、深松铲等土壤工作部件的受力特性, 过去我国研究甚少。随着农机工业的发展, 特别是为了研制新型的、适于干旱半干旱地区应用的、少耕增产、深松保墒机具和中耕机具, 迫切需要提供这方面的可靠外载荷数据。本文简要介绍近年来我们研制的L型四分力传感器的工作原理, 以及深松铲受力特性的测定情况。

一、工作部件受力分析

中耕锄铲、开沟培土铲、深松铲等对称工作部件, 在土壤比阻较均匀的情况下, 作用于部件上的合力 R 应在纵向对称平面内, 其合力 R 可分解为水平分量 R_x 和垂直分量 R_z (图1)。

水平分量 R_x 可用下式计算:

$$R_x = kab \quad (1)$$

式中: k ——土壤比阻 (kgf/cm^2)

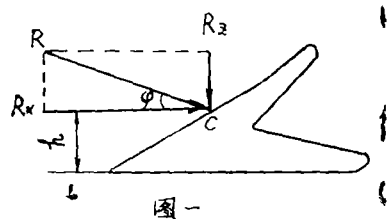
a ——耕深 (cm)

b ——工作幅宽 (cm)

影响土壤比阻的因素很多, 如工作部件的形状和尺寸、土壤的物理机械性质等。据

资料^[1]介绍, 对于幅宽为220mm的双翼通用铲在耕深50~120mm时, K 值的变化范围在0.32~0.63 (kgf/cm^2) 之间。

垂直分量 R_z 和 R_x 的比值 $m = R_z/R_x = \tan \phi$ (见图1), 与工作部件的结构参数、刃部的锐利程度、土壤质地、土壤坚硬度和含水量以及耕深等有关。 m 值的变化范围为0.22~0.25^[1]。



图一

曲, 梁的变形复杂⁽³⁾, 给传感器的布片、计算带来很多麻烦。为此, 我们将传感器的梁作成正方件截面, 将斜弯曲变成平面弯曲加以研究。

三、测力传感器的工作原理

(一) 传感器的布片和组桥

由于作用于工作部件上合力 R 的作用点是在 C 点(图1)附近随机变化的, 为消除作用点变化对测量 R_x 、 R_z 、 R_y 的影响(若土壤质地较均匀、部件安装位置正确, 则 R_y 值基本上在“零线”附近摆动, 其均值基本上为零。测 R_y 的目的, 主要是检查部件的安装正确与否), 此三个力的测量采用测剪力的方案布片和组桥。为确定 R 力作用点的位置, 需测出 R 力对“ O ”(图5)点的弯矩 M , 弯矩 M 的测量采用测侧向力的方法^[4, 5]。

传感器的布片和组桥如图3所示。

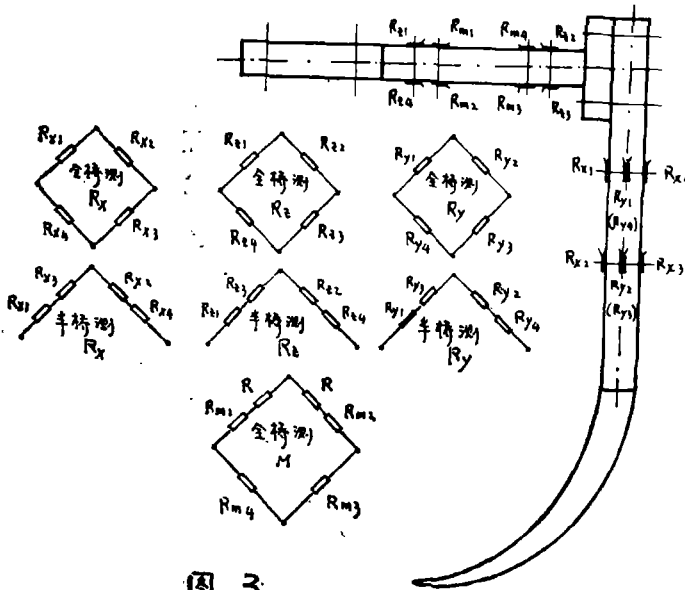


图 3

(二) R_x 、 R_z 、 R_y 力的测量原理

此三个力的测量均采用了测剪力的原理, 此处仅以 R_x 力的测量为例加以说明。

如图4所示, 在 R_{x1} 、 R_{x2} 截面上所产生的应变为:

$$\varepsilon_1 = \varepsilon_{x1} + \varepsilon_{z1} + \varepsilon_{a1}$$

$$\varepsilon_2 = \varepsilon_{x2} + \varepsilon_{z2} + \varepsilon_{a2}$$

式中 ε_{x1} 、 ε_{x2} ——分别表示在 R_{x1} 、 R_{x2} 截面处, 由 R_x 力作用而引起的应变;

ε_{z1} 、 ε_{z2} ——分别表示在 R_{x1} 、 R_{x2} 截面上由 R_z 力作用而引起的应变, 显然 $\varepsilon_{z1} = \varepsilon_{z2}$

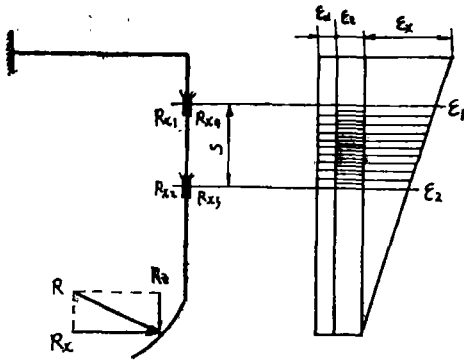


图 4

$\epsilon_{\alpha 1}$ 、 $\epsilon_{\alpha 2}$ ——分别表示在 R_{x1} 、 R_{x2} 截面上，由于温度变化而引起的应变。因为传感器在同一温度下工作，故 $(\epsilon_{\alpha 1} = \epsilon_{\alpha 2})$ 。若工作部件安装不正或因土壤质地不均匀，有 R_y 力产生时，因 R_{x1} 、 R_{x2} 是布置在传感器立梁的中性层上，故也无应变输出。由剪力测量原理知^[6]：

$$R_x = Q = \frac{EW}{S}(\epsilon_1 - \epsilon_2) = \frac{EW}{S} [(\epsilon_{x1} + \epsilon_{z1} + \epsilon_{\alpha 1}) - (\epsilon_{x2} + \epsilon_{z2} + \epsilon_{\alpha 1})] \\ = \frac{EW}{S}(\epsilon_{x1} - \epsilon_{x2}) \quad (2)$$

式中 E ——材料弹性模量
 W ——抗弯截面模量
 S —— R_{x1} 和 R_{x2} 之间的距离（其余同前）

由（2）式看出： R_x 力的大小与 $(\epsilon_{x1} - \epsilon_{x2})$ 成正比，而图3中测 R_x 的电桥输出正好是 R_{x1} 和 R_{x2} 的阻值变化之差。从而克服了 R_x 力作用点变化对测量 R_x 力的影响，同时也实现了温度自补偿和排除了 R_z 对 R_x 测得值的干扰（按图3的布片组成全桥时，则输出增加一倍）。

（三）合力 R 对“O”点的弯矩 M 的测量原理

测量 M 的目的是为了确定 R 力作用点的位置。横梁的应力如图5所示。

由图5看出在I—I截面上的应变为 ϵ （由 R 力造成的弯矩 M 引起的应变 ϵ_M 、 R_x 力引起的应变 ϵ_x 和 R_z 力引起的应变 $-\epsilon_z$ 组成，即 $\epsilon_1 = \epsilon_{M1} + \epsilon_{x1} - \epsilon_{z1}$ ），在II—II截面上的应变为 ϵ_2 （ $\epsilon_2 = \epsilon_{M2} + \epsilon_{x2} - \epsilon_{z2}$ ）。

由图5可得出如下的关系：

$$\begin{aligned} \epsilon_1 &= CE, \quad \epsilon_2 = FH, \quad \epsilon_x = GF = DE, \\ \epsilon_M &= JK = AC + \epsilon'_1 \quad (\epsilon'_1 = CE - DE \\ &= \epsilon_1 - \epsilon_x), \\ HF - GF &= \epsilon_2 - \epsilon_x = \epsilon'_2, \\ BC &= BE - CE = FH - CE = \epsilon_2 - \epsilon_1 \\ &= (\epsilon'_2 + \epsilon_x) - (\epsilon'_1 + \epsilon_x) = \epsilon'_2 - \epsilon'_1 \end{aligned}$$

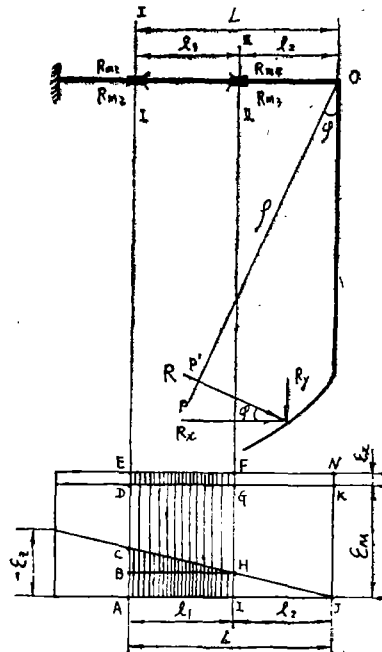


图 5

$\because \triangle CBH \sim \triangle CAJ$

$$\therefore \frac{BC}{BH} = \frac{AC}{AJ} \quad \text{则} \quad BC = \frac{AC}{AJ} \cdot BH$$

$$\text{即} \quad \varepsilon'_2 - \varepsilon'_1 = \frac{\varepsilon_M - \varepsilon'_1}{L} \cdot l_1$$

化简得

$$\varepsilon_M = \frac{1}{l_1} (\varepsilon_2 L - \varepsilon_1 l_2 - l_1 \varepsilon_x) \quad (8)$$

$$\text{由材料力学知} \quad \varepsilon_M = \frac{M}{E W}$$

$$\text{故} \quad M = E W \varepsilon_M = \frac{E W}{l_1} (\varepsilon_2 L - \varepsilon_1 l_2 - \varepsilon_x l_1) \quad (4)$$

由(4)式可见,要求出M需用三个电桥分别测出 ε_1 、 ε_2 及 ε_x ,然后代入(4)式计算。这样一来不仅要占用三条测量电路,而且增大了数据处理工作。现设法用一个电路测出M。

为方便起见,可作进一步简化,将(4)式写成:

$$M = \frac{E W}{l_1} L (\varepsilon_2 - \frac{l_2}{L} \varepsilon_1 - \frac{l_1}{L} \varepsilon_x) \quad (5)$$

因 $\varepsilon_x \frac{l_1}{L}$ 相对 $(\varepsilon_2 - \frac{l_2}{L} \varepsilon_1)$ 要小得多(一般情况下前者不到后者的1%,以16—

1—II*试验为例,可算得 $\varepsilon_x \frac{l_1}{L} = 4.56 \mu\varepsilon$,而 $\varepsilon_2 - \frac{l_2}{L} \varepsilon_1 = 469 \mu\varepsilon$),可忽略不计,并令

$$\overline{\varepsilon_1} = \frac{l_2}{L} \varepsilon_1$$

则(5)式又可简化为

$$M = \frac{E W L}{l_1} (\varepsilon_2 - \overline{\varepsilon_1}) \quad (6)$$

即M与 $(\varepsilon_2 - \overline{\varepsilon_1})$ 成正比。 ε_1 是I—I截面处的应变值,由于 $\frac{l_2}{L} < 1$,所以 $\overline{\varepsilon_1}$ 是

ε_1 的一部分,如电桥中能测出 $\overline{\varepsilon_1}$,就可用一个电桥测出M。

由应变片的工作原理知:

$$\varepsilon_1 = \frac{1}{K} \cdot \frac{\Delta R_{n1}}{R_{n1}}$$

$$\text{故} \quad \overline{\varepsilon_1} = \frac{l_2}{L} \varepsilon_1 = \frac{1}{K} \cdot \frac{\frac{\Delta R_{n1}}{L}}{\frac{l_2}{L} R_{n1}}$$

可见 $\overline{\varepsilon_1}$ 的物理意义是由传感器变形引起的应变片 R_{n1} 的阻值的变化 ΔR_{n1} 是不变的,

但应变片的阻值变为原始阻值的 $\frac{L}{l_2}$ 倍。

若在电桥原 R_{n1} 处串入一个固定电阻 R （不参加工作），使 $R_{n1} + R = \frac{L}{l_2} R_{n1}$ ，

即 $R = \left(\frac{L}{l_2} - 1 \right) R_{n1}$ ，则此时桥臂代表的应变值

$$\frac{1}{K} \cdot \frac{\Delta R_{n1}}{R_{n1} + R} = \frac{1}{K} \cdot \frac{\Delta R_{n1}}{\frac{L}{l_2} R_{n1}} = \overline{\varepsilon_1}$$

这样就解决了在电路中能直接测出 $\overline{\varepsilon_1}$ 的问题。

为了使用应变仪配带的精密无感电阻，则在测 M 值的布片时，使 $\frac{L}{l_2} = 2$ ，即使 $R = R_{n1} = 120\Omega$ 。

在实际测试中为了使不同阻值的桥臂组成平衡电桥，则需采用图3所示的全桥测量电路。此时电桥的输出为

$$u = \frac{2}{4} K (\varepsilon_2 - \overline{\varepsilon_1})$$

$$\text{即 } (\varepsilon_2 - \overline{\varepsilon_1}) = \frac{2}{K} \cdot \frac{u}{U} \quad (7)$$

将(7)式代入(6)式

$$\text{则 } M = \frac{EWL}{l_1} \cdot \frac{2}{K} \cdot \frac{u}{U} \quad (8)$$

式(7)、(8)中： U ——供桥电压

K ——应变片灵敏度系数，通常 $K = 2.0$

L, l_1 ——布片常数 ($L = l_1 + l_2 = 2, l_1 = l_2$)

将布片常数 ($L = 2, l_1 = 1$)， $K = 2$ 及(7)式代入(8)式

$$\text{则 } M = WE 2 (\varepsilon_2 - \overline{\varepsilon_1}) \quad (9)$$

忽略的 $\frac{l_1}{L} \varepsilon_x$ 项所产生的误差 γ 可用下式计算：

$$\gamma = \frac{l_1}{L} \varepsilon_x / \left(\varepsilon_2 - \frac{l_2}{L} \varepsilon_1 - \frac{l_1}{L} \varepsilon_x \right) \times 100\% \quad (10)$$

一般情况 γ 值小于1%，仍以16—1—II*试验为例，可算得 $\gamma = 0.98\%$ 。

(四) 合力 R 的大小、方向及作用点的确定

按以上所述测得 R_x 、 R_z 和 M 值后，可用下述方法确定

1. 合力 R 的大小由下式确定

$$R = \sqrt{R_x^2 + R_z^2} \quad (11)$$

2. 合力 R 的方向及作用点的确定

由图5知： $M = \rho \cdot R$

$$\text{故 } \rho = M/R = M/\sqrt{R_x^2 + R_z^2} \quad (12)$$

合力R与水平面的夹角

$$\varphi = \tan^{-1} \frac{R_z}{R_x} \quad (13)$$

由式(12)、(13)算出 ρ 及 φ 值后,即可用作图法确定合力R在铲子上的实际位置:①过O点作一射线OP,并与垂直梁的夹角为 φ ;②在OP线上截取一段 $OP' = \rho$;③过P'点作OP'的垂线与铲子的交点C,即为合力R的作用点。

四、传感器的特性

对图2所示的两种不同用途的传感器,我们曾作了静态特性和自振频率的试验。表1~3为测定深松铲用的传感器(图2C)的静载试验结果。试验用YJ-5静态应变仪,在我们研制的标定台上进行,标准载荷由砝码给出。

由表1看出: R_z 施加不同载荷时,输出的 ε_z 、 ε_M 的直线性均很好。由表中数据可算出 ε_z 的最大非线性为0.5%(载荷100kg级), ε_M 的非线性为0.3%(载荷60kg级);最大滞后误差 ε_z 为0.53%(2.5 $\mu\varepsilon$), ε_M 为0.21%(1 $\mu\varepsilon$)。

由表2看出: R_x 施加不同载荷时, ε_x 、 ε_M 的直线性也很好。由表中数据同样可算出,最大非线性误差, ε_x 为0.19%(60kg载荷级), ε_M 为0.11%(80kg载荷级);最大滞后误差, ε_x 为0.71%(2.5 $\mu\varepsilon$), ε_M 为0.65%(2.5 $\mu\varepsilon$)。

表3是对传感器进行总合加载试验的结果。由表中数据可看出,直线性和滞后性均较好,并且灵敏度值 K_x 、 K_z 和 K_M 均和表1、2的数据十分接近。

总观表1~3的数据可看出,其直线性和滞后误差均小于1%,传感器的精度是较高的,完全可以满足测试的要求。

对于传感器的固有频率,我们曾用敲击录波法进行了测定。中耕锄铲测试用的传感器(图2b)的固有频率为850Hz,深松铲用的传感器(图2C)的固有频率为240Hz。为真实地反映被测载荷的幅频、相频特性,一般要求传感器固有频率大于被测载荷最高频率的3~5倍^[7]。而中耕机及犁的工作部件的频率一般为18~24Hz^[8]。可见就动态特性来讲,传感器也可很好的满足测试要求。

五、深松铲受力特性的测定

1984年1月14~16日我们曾用图2C所示的传感器,对旋松犁配套用的深松铲进行了选型试验。试验是在我系的土槽中进行。测试系统如图6所示。

试验结果见表4。表中 R_x 、 R_z 及M值是用网格计数法求得。由于深松铲

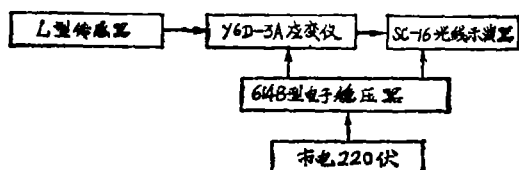
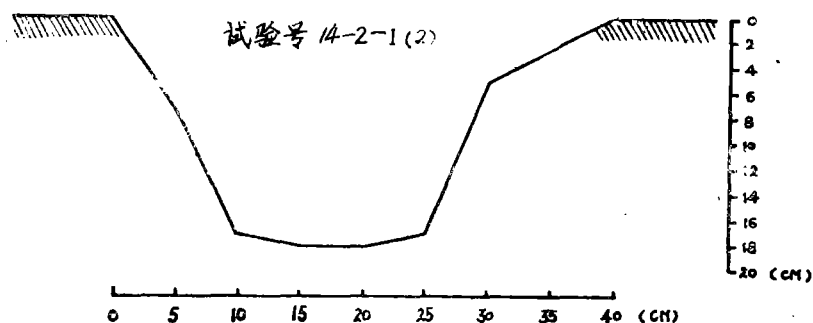


图6 测试系统

的宽度(翼形的为17.5cm,鸭咀形的为12cm)、相对工作深度(16~20cm)较小,铲子松土的断面形状不规则(见图7),故在测定最大耕深的同时,还测定了铲子的松土断面积。表中的最大耕深 a 及松土断面积 $a \times b$ 的数据,是分别测定三次的平均值。



$$S = 413.1 \text{ cm}^2$$

比例: 1 : 4

图 7

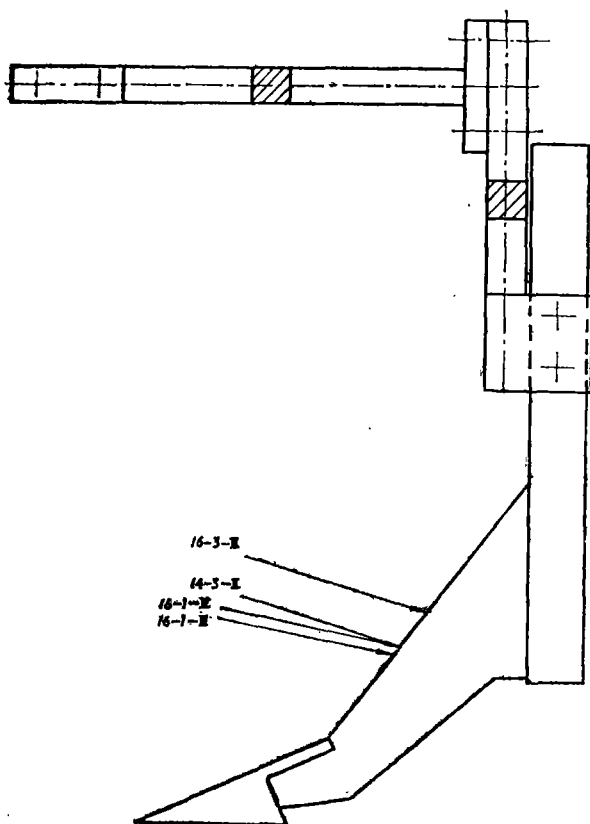


图8 a)

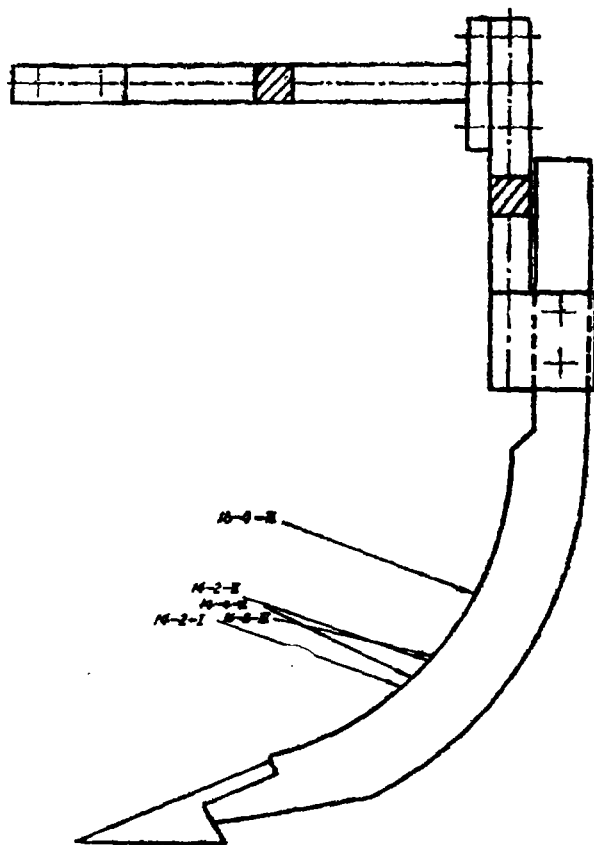


图8 b)

为直观起见,按表4的数据绘出了各次试验的合力 R 在松土铲上的作用位置(见图8)。

由表4及图8可看出:

(1) 合力 R 与松土铲面的交点 $h = (0.72 \sim 0.98)a$,较一般中耕锄铲的交点 $[h = (0.42 \sim 0.57)a]$ 为大,这主要是因工作深度的加大所致。

(2) m 值(R_z/R_x)的变化范围在 $0.212 \sim 0.483$ 之间,其变化范围也较中耕机锄铲工作时的变化范围($0.22 \sim 0.24$)大。

(3) 深松时的比阻 K 值是在 $0.315 \sim 0.375$ (kgf/cm^2)之间。就两种铲柄和两种铲头四种配合方案来讲,以弯曲铲柄配翼形铲头的方案为佳。

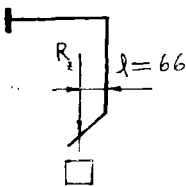
结 束 语

为了研制新型的、适于干旱半干旱地区的少耕增产、深松保墒的机具和中耕机具,我们研制了组合式L型四分力测力装置。该装置的特点:1.结构简单,工作可靠,可基

表1 R_z 静 载 试 验

输出 R _z 载荷 (kg)	ε _z				ε _y				ε _x		
	理论计 算 值 (με)	加 载 (με)	卸 载 (με)	灵敏度 K _z (με/ kgf)	理论计 算 值 (με)	加 载 (με)	卸 载 (με)	灵敏度 K _y (με/ kgf· cm)	理论计 算 值 (με)	加 载 (με)	卸 载 (με)
20	94	95	97	4.7875	18	18	18.5	0.1389	0	0	1
		94.5	97			18	18.5			0.5	1
		95	96			18	19			0	1
40	187	190	192	4.7646	36	36.5	37	0.1392	0	0	0.5
		190	191			36	37			0.5	1
		190	190.5			37	37			0	0.5
60	281	284	285.5	4.7389	54.5	54.5	55	0.1387	0	0	0
		284	284.5			55	55			0.5	1
		284	284			55	55			0	0.5
80	375	379	380	4.7385	72.7	73	74	0.1397	0	0	0
		378.5	379			74	74			0.5	1
		379	379			73.5	74			0	1.5
100	468	473.5		4.7267	90.9	91		0.1389	0	0	
		472		平 均		92		平 均		1.5	
		472.5		4.75124		92		0.1391		0.5	

注：①加载示意图



② $\epsilon_z = C \frac{R_z \cdot S}{WE} = 4.6821 R_z;$

③ $\epsilon_y = 1 \cdot R_z / WE = 0.90887 R_z;$

②~③式中：C—组桥常数，C = 2；

W—抗弯截面系数， $W = 2.77^3 / 6 = 3.54232(\text{cm}^3)$ ；

E—弹性模量， $E = 2.0 \times 10^6 (\text{kgf}/\text{cm}^2)$ ；

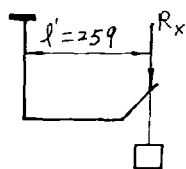
S—布片常数， $S = 17\text{cm}$ 。

表2

 R_x 静 载 试 验

输出 R_x 载荷 (kg)	ε_x				ε_M				ε_z		
	理论计 算 值 ($\mu\varepsilon$)	加 载 ($\mu\varepsilon$)	卸 载 ($\mu\varepsilon$)	灵敏度 K_x ($\mu\varepsilon$ / kgf)	理论计 算 值 ($\mu\varepsilon$)	加 载 ($\mu\varepsilon$)	卸 载 ($\mu\varepsilon$)	灵敏度 K_M ($\mu\varepsilon$ / kgf· cm)	理论计 算 值 ($\mu\varepsilon$)	加 载 ($\mu\varepsilon$)	卸 载 ($\mu\varepsilon$)
20	27.5	28.5	28	1.4208	71.3	72	71	0.1390	0	0	0.5
		28.5	28			73	72			0	0
		29.0	28.5			72	72			0	0.5
40	55.1	56.5	56	1.4146	142.7	144	143	0.1388	0	0	1
		56.5	56.5			146	143			0	0
		57.0	57			143.5	143			0	1
60	82.6	85	84.5	1.4125	214	215	215	0.1384	0	0.5	1
		85	84.5			216.5	214			0	0
		85	84.5			215	214.5			0	1
80	110.2	113	113	1.4146	285.3	287	286	0.1384	0	0.5	1
		113.5	113			288.5	285.5			0	1
		113.5	113			286	285			0	2
100	137.7	141		1.4133	356.7	358		0.1384	0	2	
		141.5		平 均		360		平 均		2	
		141.5		1.4152		357		0.1386		2	

注：①加载示意图



$$\textcircled{2} \quad \varepsilon_x = C \frac{R_x \cdot S'}{WE} = 1.3771 R_x,$$

$$\textcircled{3} \quad \varepsilon_M = l' \cdot R_x / WE = 3.5666 R_x;$$

②~③式中： $S' = 5\text{cm}$ 余同表1

本上不改变工作部件的原安装位置和联接方法；2.传感器的精度高，非线性等各项误差均小于1%；3.传感器的结构形式较好，可精确的测出作用于铲子上的四个分力 R_x 、 R_z 、 R_y 和 M ，并可确定出合力 R 的大小、方向和作用位置。

传感器的设计思想，可供设计工作中受力对称的工作部件时参考。

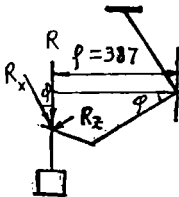
深松铲测试结果，为研究深松部件受力特性及研制新型深松保墒机具提供了必要的参数。

表3

R 静 载 试 验

输出 R 载荷 (kg)	ϵ_x				ϵ_z				ϵ_M			
	理论计 算 值 ($\mu\epsilon$)	加 载 ($\mu\epsilon$)	卸 载 ($\mu\epsilon$)	灵敏度 K_x ($\mu\epsilon/\text{kgf}$)	理论计 算 值 ($\mu\epsilon$)	加 载 ($\mu\epsilon$)	卸 载 ($\mu\epsilon$)	灵敏度 K_z ($\mu\epsilon/\text{kgf}$)	理论计 算 值 ($\mu\epsilon$)	加 载 ($\mu\epsilon$)	卸 载 ($\mu\epsilon$)	灵敏度 K_M ($\mu\epsilon/\text{kgf}\cdot\text{cm}$)
20	26	27	27	1.4310	28.6	30.5	30	4.9273	106.6	106	106	0.1376
		27.5	27			30	30			107	107	
40	52.4	55	54	1.4277	57.3	60.5	60	4.9375	213.2	211.5	211	0.1371
		54.5	54			60.5	60.5			213.5	213	
60	78.4	82	81	1.4244	85.9	90	90	4.9137	319.8	316.5	316	0.1368
		81.5	81			90.5	90			319	319	
80	104.9	108.5	108.5	1.4228	114.5	122	121.5	4.9682	426.3	421	421.5	0.1367
		108.5	108			121.5	121			425	425	
100	131	135.5		1.4258	143	152		4.9723	532.9	525.5		0.1364
		136		平均				平均				平均
				1.4263		152		4.9238		530		0.1369

注: ① 加载示意图



② $R_x = R \cdot \cos\varphi = R \cdot \cos 17.8^\circ$;

③ $R_z = R \cdot \sin\varphi = R \cdot \sin 17.8^\circ$;

④ $\epsilon_x = C \frac{R_x \cdot S'}{WE} = 1.3771 R_x$;

⑤ $\epsilon_z = C \frac{R_z \cdot S}{WE} = 4.6821 R_z$;

⑥ $\epsilon_M = R \cdot \rho / WE = 5.32929 R$;

各式中符号意义同表 1、2。

表4

深松铲受力特性测试结果

试验号	项目	R_x (kgf)	R_z (kgf)	M (kgf·cm)	R (kgf)	ρ (cm)	φ (°)	$m = R_z/R_x$	最大耕深 a (cm)	h	断面积 $a \times b$ (cm ²)	比阻 K (kgf/cm ²)
16-1-Ⅲ		140.14	29.77	6643.39	143.26	46.38	12.00	0.212	18.7	0.75	338.33	0.361
16-1-Ⅳ		143.22	31.47	6705.09	146.64	45.73	12.39	0.219	17.5	0.83	397.83	0.360
14-2-I		152.16	53.04	7803.96	161.14	48.43	19.22	0.349	16.0	0.78	438.87	0.347
14-2-Ⅱ		147.87	54.57	7218.57	157.62	45.80	20.26	0.369	16.8	0.86	416.27	0.355
16-2-Ⅳ		130.16	33.99	6204.01	134.52	46.12	14.63	0.261	17.9	0.83	413.20	0.315
14-3-Ⅱ		128.67	41.77	6134.56	135.28	45.35	17.98	0.325	16.3	0.90	344.17	0.374
16-3-Ⅳ		149.03	42.77	6494.41	155.05	41.89	16.01	0.288	18.2	0.97	345.00	0.432
14-4-Ⅱ		125.98	60.87	6454.40	139.92	46.13	25.79	0.483	18.5	0.72	386.50	0.326
16-4-Ⅲ		153.46	57.55	6447.90	163.89	39.34	20.55	0.375	20.4	0.98	409.17	0.375

注：①试验编号说明：前两位数代表试验日期；中间一位数是铲子和铲柄组合的代号，1——直铲柄（见图8a）安翼形铲；2——弯曲铲柄安翼形铲；3——直铲柄安鸭咀形铲；4——弯曲铲柄安鸭咀形铲；最后一位罗马字母代表试验的土槽号。例14-2-I，是指1984年1月14日用弯曲铲柄安装翼形铲在第一槽土中进行试验。

②试验条件：土壤含水量：13.4%；土壤质地：中壤（偏粘）；

土槽号		0~10cm	10~20cm
土壤坚实度：	I	4.93	7.53
	Ⅱ	7.61	5.14
	Ⅳ	5.71	3.51
	Ⅲ	3.93	3.67

参 考 文 献

- [1] 西北农学院农机土壤工作部件课题组: “中耕锄铲测力传感器的设计” (陕西省科委课题鉴定材料), 1982年9月。
- [2] (苏) ГИХИ西涅可夫等著、李清桂等译: 《土壤耕作机械的理论及计算》, 中国农业机械出版社, 1981年12月。
- [3] 浙江大学刘鸿文主编: 《材料力学》, 人民教育出版社, 1979年。
- [4] 吉林工业大学、中国农机研究院合编: 《应变片电测技术》, 机械工业出版社, 1978年。
- [5] 曲兆林: “侧向力电测新方法”, 《农机鉴定通讯》, 1979年第4期, 7—10页。
- [6] 北京农机化学院主编: 《农机测试技术》, 农业出版社, 1983年。
- [7] 铁道部科学研究院铁道建筑研究所: 《电阻应变式压力传感器》, 人民铁道出版社, 1979年。

L-type of Tetra-component Transducer and Determination of Characteristics of the Deep Digging Point Subject to Force

Shao Weiming Li Xiaoyu Lu Boyou

(Farm Machinery Department, Northwestern College of Agriculture)

Abstract

L-type of tetra-component transducer is mainly used to determine the characteristics of working parts of the cultivator point and the deep digging point subject to forces when working in the soils. This paper briefly deals with the structural characteristics and working principles of the transducer and the regimes of its application to the determination of characteristics of the deep digging point subject to force.