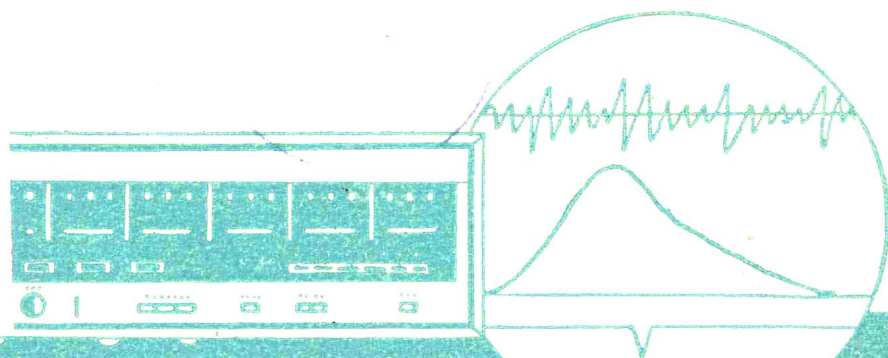


NONGJIDIANCEJISHU

农机电测技术

(下 册)

徐 国 富



农 机 部 农 机 鉴 定 总 站 合 编
湖 南 省 农 业 机 械 鉴 定 站



目 录

第四章 非电量测试方法	(1)
第一节 拉压力测量	(1)
一、拉压力传感器弹性元件设计.....	(1)
二、拉压力及荷重传感器.....	(7)
三、流体压力传感器.....	(10)
四、电拉力仪.....	(12)
第二节 扭矩和转速测量	(13)
一、扭矩测量方法.....	(14)
二、电扭矩仪传感器.....	(15)
三、集流环.....	(16)
四、转速测量.....	(19)
第三节 位移测量	(20)
一、电阻式位移传感器.....	(24)
二、差动变压器式位移传感器.....	(25)
三、电容式位移传感器.....	(25)
四、激光测距仪.....	(26)
第四节 振动与噪声测量	(28)
一、加速度传感器.....	(29)
二、机械阻抗的测定.....	(31)
三、噪音测量仪器及现场测量.....	(33)

第五章 农机电测试验方法	(38)
第一节 拖拉机悬挂测力装置	(38)
一、悬挂杆测力装置原理.....	(38)
二、悬挂杆结构计算.....	(40)
三、悬挂销测力法.....	(46)
第二节 农机功率测定方法	(48)
一、农机功率测定方法.....	(48)
二、脱粒机功率分配电测试验.....	(51)
第三节 犁体空间受力测量	(66)
一、悬挂式六分力测力装置.....	(67)
二、园管式六分力测力装置.....	(74)
第四节 农机综合测试仪	(83)
一、传感器.....	(84)
二、农机综合测试仪.....	(89)
第五节 农机强度电测试验	(91)
一、农机应力应变测量.....	(91)
二、1 L L—530菱形犁架强度电测试验.....	(102)
三、载荷频谱试验.....	(111)
四、有限元素法应用.....	(115)
第六节 田间电测工程车	(118)
一、自车电测试验法.....	(118)
二、田间电测工程车.....	(118)
三、遥测工程车及遥测应变仪.....	(121)

第六章 国内外农机测试技术进展	(122)
第一节 变换器与传感器	(123)
一、电阻应变计的进展.....	(123)
二、测力传感器的进展.....	(128)
第二节 农机电测通用仪器	(130)
一、应变仪的发展.....	(130)
二、电测记录仪的应用.....	(132)
第三节 农机田间测试技术	(133)
一、主要特点和动向.....	(133)
二、典型电测工程车概况.....	(133)
第四节 实验室试验技术	(136)
一、快速强化试验与压缩试验.....	(136)
二、模拟试验与模型试验.....	(137)
第五节 农机测试新技术	(137)
一、振动测试.....	(137)
二、电子计算技术应用.....	(138)

附 表

第四章 非电量测试方法

农机的性能试验，主要是对样机的各种机械量，如拉压力、力矩、位移、振动与加速度等动力学参数进行测量；整机鉴定则要求多种动力学参数的综合测试，作出全面评价。

第一节 拉压力测量

拉压力是农机试验鉴定中最基本的测量参数之一，如农机具的牵引阻力、悬挂杆受力、农机具重量、联合收割机重心配置，风机、水泵、液压部件流体的压力等。

通过力的测量可了解和研究机构的受力情况及工作状态，并为应力测量提供外载荷，为模拟试验提供载荷谱。电测试验通过测力传感器，按比例转换为电量，然后与标定值比较，这种测力方法称为间接比较法。

一、拉压力传感器弹性元件设计

传感器是将非电机械量转换为电量的电测工作部件；由变换器、弹性元件及辅助元件等部分组成，弹性元件直接感受非电机械量的变化，变换器完成相应的转换工作。今以应变式传感器为例，说明弹性元件设计原则和方法。

（一）弹性元件基本特性

1. 非线性度：弹性敏感元件在外力的作用下产生变形，粘

贴在其上的应变片由于应变效应转换为电阻变化输出。弹性元件的实际载荷变形曲线与理论线性特性曲线的最大偏差量 $\Delta_{\max}$ 对容许最大变形量 $y_{\max}$ 的百分比为非线性度。

$$\eta = \Delta_{\max} / y_{\max} \times 100\%$$

2.弹性滞后：在弹性范围内，加载与卸载到同样载荷变形不等的现象叫弹性滞后。

滞后量 λ 是弹性元件在加载卸载行程中的最大偏差与最大变形量 $y_{\max}$ 的百分比。

3.刚度：弹性元件产生单位变形所需要的力称为弹性元件的刚度 K_T 。反映抵抗变形的能力，其大小取决于弹性元件的弹性、尺寸、形状及受力变形方式。

4.灵敏度：单位力 P 或其他物理量所能产生的应变 ε 称为灵敏度 S_ε ：

$$S_\varepsilon = \varepsilon / P \quad (\mu\varepsilon / \text{kg})$$

灵敏度反映弹性元件对外部作用的敏感程度。在保持正常工作状态情况下，希望弹性元件产生足够大的应变，以便有较高灵敏度。

5.自振频率：弹性元件振动体单位时间内完成的振动次数。

$$f_o = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{K_T}{m}} \quad (\text{Hz})$$

式中 $m=W/g$ 为弹性元件振动质量。

在设计弹性元件时，经常遇到直线性、灵敏度、自振频率之间的相互矛盾。提高灵敏度非线性加大，自振频率降低；因此必须根据测量对象和精度要求，综合分析考虑。

(二) 材料和许用应力的选择

1. 材料: 弹性元件应选择弹性极限高、直线性好、无滞后现象的材料。冲击和交变载荷用材韧性必须满足要求, 如选镍铬钼钢; 防腐耐酸碱用不锈钢; 小负荷用铍青铜等。

2. 许用应力选择:

常温静载拉压力许用应力〔 σ 〕可用屈服极限 σ_T 与安全系数 K_t 的比值, $K_t = 1.4 \sim 2.0$ 。高温动载试验许用应力一般可类同静载选取, 交变载荷时则需弹性极限的 $1/3$ 左右为宜。

(三) 弹性元件形式及其计算

1. 管柱状弹性测力元件: 结构简单加工方便, 农机测试中应用较广。国内生产的拉压力传感器多采用该型式。

选择材料和确定许用应力〔 σ 〕后, 截面积为

$$A \geq F_{\max} / [\sigma] \quad (\text{mm}^2)$$

弹性元件外园周长 S 应保证贴下一组应变片, 外径 $D = \frac{1}{\pi} \cdot S$, 或按系列统一选取。

$$\text{内径} \quad d = \sqrt{D^2 - \frac{4A}{\pi}} \quad (\text{mm})$$

$$\text{厚度} \quad \delta = \frac{D - d}{2} \quad (\text{mm})$$

考虑断面尺寸突变引起应力集中, 选取有效长度:

$$L = (2 \sim 2.5) D。$$

2. 薄壁拉力环弹性元件: 不考虑应力沿环厚度分布的不均匀性, 按直梁计算。

纯园环任一断面的弯矩为:

$$M = Pr \left(\frac{1}{\pi} - \frac{1}{2} \cos \varphi \right)$$

$$\varphi = 90^\circ \quad M_A = 0.318 Pr$$

$$\varphi = 0^\circ \quad M_B = 0.182 Pr$$

二者符号相反。 $M_{\alpha=0}$ 时, $\alpha_0 = 50.5^\circ$, 弯矩如图 4—1 所示。

$$\begin{aligned} \text{据 } M &= 0.182 Pr = E \cdot W \cdot \varepsilon \\ &= W \sigma \end{aligned}$$

式中抗弯断面模量 $W = \frac{1}{6} bh^2$, (h 为环厚度)。

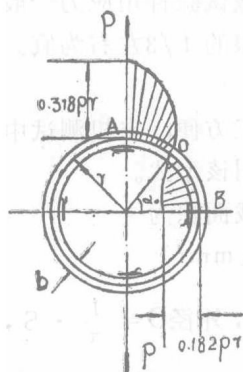


图 4—1

拉力环弹性元件

$$h = \sqrt{\frac{1.09 Pr}{b \cdot [\sigma]}} \quad (\text{mm})$$

据载荷 P , 选择材料确定 $[\sigma]$ 后, 按系列得 r 和 b 的值, 由上式即可算出最小厚度 h 。实际上园环多有刚性部分, 计算略有不同。

3. 梁式弹性元件:

悬臂梁已知宽度为 b 、厚度为 h , 当 P 力作用于自由端, 固定端截面应力最大:

$$\sigma_{\max} = \frac{6PL}{bh^2} \leq [\sigma]$$

由上式确定长度 L 。贴片在中间时, 指示应变按 $L_0 = \frac{1}{2} L$

计算。

等强度梁宽度由固定端 b_0 ，渐减至自由端 b_1 ，厚度 h 保持不变；当集中力 P 作用于自由端时，各截面应力相等。设计时依次确定 P 、 h 、 L 、 $[\sigma]$ ，即可求得固定端宽度 b_0 ：

$$b_0 = \frac{6 PL}{h^2 [\sigma]} \quad (\text{mm})$$

及沿梁长方向宽度的变化值，最后选择 $b_{\min}$ 值和离开受力点的距离。

两端固支梁，集中力 P 作用于跨中，该断面应力为

$$\sigma = \frac{3 PL}{4 bh^2} \leq [\sigma]$$

已知梁宽度 b 和长度 L ，可由上式算出厚度 h ，小负荷荷重传感器常用这种形式。

4. 周边固支园型薄板：

测量流体或固定均布载荷 q 时，固端径向应力 σ_0 和中心径向应力 σ_1 分别为：

$$\sigma_0 = \frac{3 q R^2}{4 h^2} \leq [\sigma]$$

$$\sigma_1 = \frac{3 (1 + \mu) q R^2}{8 h^2}$$

由 σ_0 式确定厚度 h ，用 σ_1 式变换计算灵敏度，确定贴片位置。犁体用测压膜盒，流体压力测量均可采用该型弹性元件。

5. 轮辐式弹性元件：外形低、精度高、线性好、抗偏心 and 侧向力能力强。

如图4—2所示，由于外力作用轮辐产生切应力，即沿轮

辐中性面呈 45° 方向贴片，求主应力值。

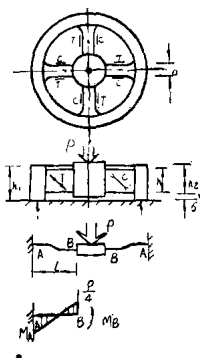


图 4-2
轮辐式弹性元件

$$M_B = -\frac{P}{8} \cdot L$$

$$M_A = M_B - \frac{P}{4} L = -\frac{P}{8} L$$

$$\sigma_{Amax} = \frac{M_A}{W} = \frac{3}{4} \frac{PL}{bh^2} \leq (\sigma)$$

$$\sigma_{\pm 45^\circ} = \tau_{max} = \frac{3}{8} \frac{P}{bh} \text{ 待测正}$$

应力。按剪切强度取 $\tau_{max} \leq (\tau)$

$$= 0.6 \sigma = \frac{0.6}{3} \sigma_s, h = 2.5b, \text{ 则}$$

$$b \geq \frac{3}{4} \sqrt{\frac{P}{\sigma_s}} \quad (\text{mm})$$

6. 组合式弹性元件：由若干个尺寸相同的分力弹性元件，按不同方法组合成一个大型测力传感器。改善接触应力分布，化大为小，有利工艺，分力标定降低对标定试验机吨位要求，且可灵活组桥，输出方式多样。组合方案图 4-3 中示出常见几种类型。

设计时首先据总承载 P ，选择分力元件数目 n 及组合方案。然后确定上盖和下垫板厚度和传感器中弹性元件的高度 H 。取 $H/D = 0.5$ ，则外径和内径分别为： $D = 2H$ 、(mm)

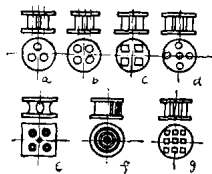


图 4-3

组合式弹性元件

$$d = 2 \sqrt{H^2 - \frac{P}{\pi n(\sigma)}} \quad (\text{mm})$$

$$\text{壁厚 } b = \frac{1}{2} (D - d) = \frac{1}{4} H$$

据组合方案计算接触面积 A ，然后求接触应力

$$\sigma = \frac{P}{0.7nA} \quad (\text{kg/mm}^2)$$

灵敏度校核：

$$\frac{\Delta V}{V} = \frac{KP(1+\mu)}{2EF_n} \times 10^3 \quad (\text{mv/v})$$

式中 K ——应变片灵敏度系数， $K=2.0$

F ——弹性元件最小截面积（贴片处面积）

7. 其他型式弹性元件：

小位移测量中还用到 Ω 形、 Π 形、C 形、V 型弹性元件，其计算过程着重分析 P 力作用点沿作用线方向的相对位移量 Δ 与保证弹性范围内工作的许用位移量 $[\Delta]$ 的关系。 $[\Delta]$ 可取达屈服极限 $\sigma_s \cdot \frac{1}{2}$ 时的相应位移量。

二、拉压力与荷重传感器

拉压力传感器中应变式仍占主要比重，目前已发展到相当高水平，测力范围广，非线性小，零漂小灵敏度变化小，总的测量精确度可控制在 $\pm 0.1\%$ 内，高精度测力传感器可达 $\pm 0.02\%$ 。农机试验性测量，作业过程检测，过载报警及自动控制均可选用。

我国定型生产的BLR—1型拉压力传感器结构如图4—4所示：

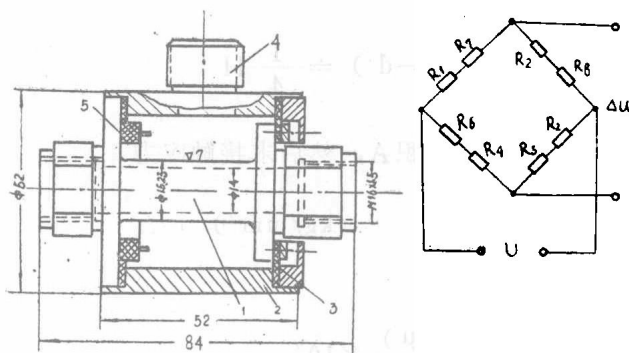


图4—4 BLR—1型拉压力传感器

BLR—1型拉压力传感器由空心圆管弹性元件1、外壳2、抗弯膜片3、航空插接座4、绝缘接线板5组成。弹性元件上为使应变片的阻值便于搭配，以利于电桥的初始平衡，分两个断面共粘贴8个应变片。其中 R_1 、 R_5 和 R_3 、 R_7 与轴线平行粘贴，串联接入相对两臂；而 R_2 、 R_6 和 R_4 、 R_8 与轴线垂直粘贴，分别串联接入另外两臂，共同组成全桥电路，桥臂系数为 $2(1 + \mu)$ 。16种系列产品中量程可由100公斤~10吨。详细规格参见附表8所示。

差动变压器、压电晶体、霍尔元件也都可以设计成测力传感器，拖拉机综合测试仪牵引力传感器用差动变压器，金属切削力测定仪传感器用压电晶体。但电测系统中必须另配电荷放大器作为放大单元。

荷重传感器是电子秤或其他电测称重设备的一次仪表，采

用的变换器有电容式、电感式、磁敏式、激光式等，但由于应变片式精度高，灵敏，轻而小，响应速度快，测量方便，对测试对象无影响，因此应用较为广泛。

我国定型生产的大量程用BHR—4型、小量程BHR—7型荷重传感器都采用应变片作为变换器。如图4—5所示，小量程时用园周固支的应变梁作弹性元件，梁正中间粘四个应变片然后组成全桥电路，桥臂系数等于4；大量程时采用管柱状应变筒作为弹性元件，腰部粘贴四个应变片，组成全桥后，桥臂系数为 $2(1 + \mu)$ 。也可采用组合式弹性元件或用几个荷重传感器同时分担全重。饲料搅拌机的电测称重系统一般选用三个荷重传感器置于园周各 120° 位置，共同分担全重的测量。

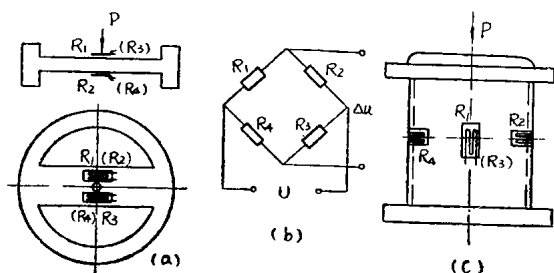


图 4—5 荷重传感器布片与接桥

国内许多衡器厂、材料试验机厂都自行设计专用的荷重和拉压传感器。农机试验中也可自制有关传感器。农机试验中也可自制有关传感器。在提交使用前必须进行机械标定，确定外载与应变的关系曲线。即将传感器直接联接到精度较高的加载设备上，逐级加载卸载，在专用电测系统及相应衰减挡下，得出与电标定直接比较的阶梯曲线，然后求出机械标定常数 K_j 。

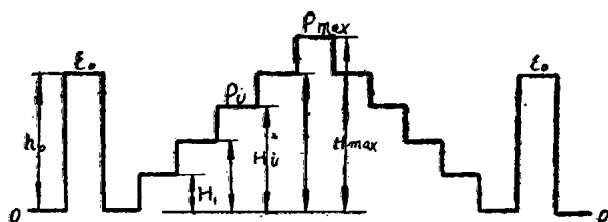


图 4—6 机械标定阶梯曲线

如图 4—6 所示，已知一定应变 ε_o 的电标定高为 h_o ，加载（或加卸载平均） P_i 力的高度为 H_i ，加载 $P_{\max}$ 时的高度为 $H_{\max}$ ；则机械标定常数与电标定常数 K_i 的乘积，即为总的标定常数

$$K_j = \frac{P_{\max} \cdot h_o}{\varepsilon_o \cdot H_{\max}} \quad (\text{kg}/\mu\varepsilon)$$

$$K = K_j (\text{kg}/\mu\varepsilon) \cdot K_i (\mu\varepsilon/\text{mm}) \quad (\text{kg}/\text{mm})$$

这种计算方法排除不同衰减档的影响，和不同标定测试仪器引起的误差。对于现场直接标定的测试方案，可直接由机械标定曲线求出：

$$K = P_{\max}/H_{\max} \quad (\text{kg}/\text{mm})$$

三、流体压力传感器

为了测定流体的压力，可使用各种变换器配合适当的传力元件和弹性元件组成压力传感器。主要用于测量管内流体压力或压差。农机试验中除用于液压、排灌、风机、喷雾等机具的压力或压差测定外，也可用于机具表面（如犁体曲面）土壤压力测量。

1. 膜片式压力传感器:

简称测压膜盒，用周边固支的园形薄板作为弹性元件，根据受均布载荷的应力分析，在 $X = r/\sqrt{3}$ 园周的内外两侧应力应变方向均相反。

国产 YMY 型测压膜盒采用粘贴 2 片组成半桥电路的方法进行测量，可测 2、6、10 kg/cm² 级压力变化，膜片工作直径 d 用 10、15、20 mm 三个系列，外型尺寸 $D = (d + 6) \text{ mm}$ 。

采用特制的测压薄式应变片能够最大限度地利用膜片的应变状态，输出较大信号。如图 4—7 (a) 所示应变片，周边辐射状承受负应变，中间圆弧状承受正应变，四部分接全桥输出。



图 4—7 (a) 应变片

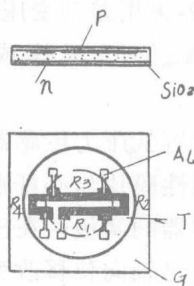


图 4—7 b 半导体膜片

小型压力传感器，也可直接用 n 型硅作弹性元件，其上扩散 P 型应变层，在极性转换圈内应变为正，圈外应变为负，二直线型 P 型半导体应变片承受正应变，二 U 形半导体片承受负应变，四片接成全桥电路。其输出灵敏度较高。

也可仅将膜片作为传力元件，内部另配一个悬臂梁作为弹性元件，可测较低达 1 kg/cm² 的压力；但自振频率较低。