

农业机械测试技术

吉林工业大学 孙廷琮 主编



中国农业机械出版社

高等院校试用教材

农业机械测试技术

吉林工业大学 孙廷琮 主编

中国农业机械出版社

农业机械测试技术

吉林工业大学 孙廷琮 主编

*

中国农业机械出版社出版

山东电子科技资料印刷所印刷

*

787×1092 16开 17印张 418千字

1981年7月北京第一版·1981年7月山东第一次印刷

印数：0,001—5,500 定价 1.75 元

统一书号：15216·066

编写说明

本书是根据1978年四月一机部在天津召开的高等院校专业教材会议讨论通过的农业机械测试技术教材编写大纲编写的。

本书主要介绍农业机械试验中所使用的测量仪器、测量技术和数据处理等方面的基本知识。通过学习,使学生掌握以应变片电测技术为主的测量技术,并具有阅读、分析专业资料中有关问题的能力。

本书可作为农业机械专业的教材,也可供其他机械类专业师生和工程技术人员参考。

本书由吉林工业大学张德骏(第四篇4章),崔引安(绪论),孙廷琮(第一篇1、2、4、5章;第三篇1、2、3章),镇江农业机械学院吴守一(第三篇4章),冼福生(第一篇3章;第二篇;第四篇3章),徐刚(第三篇5、6章;第四篇1、2章)等同志编写,由孙廷琮同志主编。全书最后由清华大学工程力学教研室张如一、沈观林、戴诗亮等同志主审,中国农业机械化科学研究院夏开卷同志参加了部分审稿工作。

本书在编写过程中得到了华东电子仪器厂、上海电表厂、中国农业机械化科学研究院等单位的大力支持,在此表示衷心感谢。

由于编者水平有限,书中难免有不妥之处,请读者批评指正。

编者

一九八〇年十月

目 录

绪 论

第一篇 应变片电测技术

第一章 电阻应变片..... 5	二、记录仪和 $X-Y$ 记录仪.....64
一、电阻丝的电阻应变效应..... 5	三、磁带记录器.....68
二、应变片的种类..... 7	四、模拟量的采样与量化.....82
三、应变片的工作情况.....10	第四章 农机构件典型载荷的
四、应变片的主要参数和工作特性.....11	测量和测量系统.....95
五、各种应变片优缺点比较.....15	一、农机构件典型载荷测量时
六、半导体应变片.....15	的布片和接桥.....95
七、粘结剂和应变片的粘贴技术.....17	二、农机静、动态应变测量系统.....104
第二章 测量电路和仪器.....24	三、无线电遥测技术.....112
一、测量电路.....24	四、田间电测车.....115
二、电阻应变仪.....38	第五章 应变片式传感器.....120
第三章 记录器.....51	一、传感器的工作原理和特性.....120
一、光线示波器.....51	二、传感器的构造和设计.....129

第二篇 农机试验用的其它各种变换器

第一章 参数式变换器.....145	一、磁电式变换器.....159
一、电感式变换器.....145	二、压电式变换器.....160
二、压磁变换器.....149	三、热电式变换器.....164
三、旋转变换器.....150	四、光电式变换器.....171
四、电容式变换器.....152	第三章 其它形式的变换器.....179
五、霍尔变换器.....154	一、同位素变换器.....179
六、磁阻式变换器.....158	二、同位素变换器应用举例.....180
第二章 发电式变换器.....159	三、超声波变换器.....181

第三篇 农业机械典型试验举例

第一章 农业机械悬挂机组的	三、框架式悬挂测力装置.....190
测量.....185	第二章 犁体六分力测量.....192
一、悬挂杆测力法.....185	第三章 农业机械试验用土槽.....197
二、悬挂销测力法.....188	第四章 高速摄影.....199

一、高速摄影的作用	199	二、振动量的测量	211
二、高速摄影的分类和原理	199	第六章 噪声的测量	214
三、高速摄影的方法	200	一、基本概念	214
四、高速摄影的应用	201	二、噪声的测量仪器	217
第五章 机械振动的测量	203	三、有关噪声测量的几点注 意事项	219
一、常用的振动测量仪器	203		

第四篇 农业机械试验的基础理论

第一章 试验设计	221	一、载荷谱研究及室内模拟 试验的重要意义	252
一、正交试验设计法简介	221	二、载荷谱的定义及测定	252
二、正交试验设计法的应用举例	223	三、程序载荷谱的编制	256
第二章 测量误差理论与随机 数据分析	227	第四章 量纲分析和模型实验 简介	261
一、测量误差理论和分析	227	一、量纲分析	261
二、随机数据的分析	240	二、模型实验	266
第三章 农业机械载荷谱及室 内模拟试验	252		

绪 论

实验是开展科学研究工作的必不可少的手段。一项科学研究往往需要通过多次反复的试验工作，方能获得足够数量的数据和信息。在对这些实验数据和信息进行科学处理和分析研究之后，才能对所研究事物的本质及内在规律、相互关系和影响逐步有所认识，最后才能得到可靠有用的结论。

近代自然科学是从有了实验科学之后才真正形成的。许多重大科学成果的获得，首先是由于有了新的实验手段。因此，拥有先进的科学实验手段，是科学技术现代化的一个重要标志。

迄今实验方法仍是研究农业机械的主要方法。这是因为农业机械这门科学还很年轻，发展水平不高，不能单靠理论计算和分析来解决问题。同时也因为影响农机工作的因素很多，如土壤、作物、气候、地形等都异常复杂，而又变化无常，为理论计算和分析带来了很多的困难，所以在农机研究工作中实验仍占有主导地位。现代的实验方法是以精密的测试技术和手段为基础。有些国家农机技术之所以能达到先进的水平，主要原因之一就是他们拥有现代化的测试手段。随着科学技术的不断发展，各种新技术的逐步应用，农机测试手段和技术也日益改进和创新，内容和水平都迅速得到提高。过去难以测试和根本无法完成的科研项目，现在都能容易地和适当地得到解决，结果促进了农业机械科学技术能够向前迅猛发展。

下面介绍农机试验的常用种类和特点。

根据测试项目的不同，农机试验可分为：

性能试验。它的目的是为了测出机器的工作质量（例如犁的耕翻质量，谷物联合收获机收获物的清洁度和谷粒损失率等）、生产率、功率消耗等。

结构试验。它的目的是为了测定机器的强度、耐久性等。

根据试验条件的不同，农机试验可分为：

田间试验。它是在多变的、不可控制的田间条件下对整台机器进行性能或结构试验。它常用的测试手段是农机田间电测车。由于在车上采用了遥测技术，摆脱了传统的有线跟踪的形式，方便了在条件恶劣的地段，如水田内开展试验活动。又由于可在车上配用小型或微型电子计算机，能在田间及时进行数据处理和分析，如试验中出现问题，便于随时进行补救或重作，可大大缩减试验所需要的时间、人力和物力。

实验室试验。它是在人工控制的条件下对整台机器或其零部件进行性能或结构试验。它的最典型的代表是台架（试验台）试验。如试验链条、三角皮带、切割器等零部件的耐久性试验台；研究土壤工作部件的土槽装置；研究脱粒过程的滚筒试验台等。它的优点是：试验条件易于控制，便于反复再现试验的控制程序和控制量；便于接近和观察受试的对象；因为室内试验受天气条件的影响少，可终日进行试验，缩短所需的时间。因此室内试验是争取在尽可能短的时间内获得精确数据的重要方法，有利于压缩农业机械研制和投产所需要的时间。

根据试验目的的不同，农机试验可分为：

鉴定试验。它的目的主要是对整机机器进行全面的评价，重点一般放在性能方面。对于各种机具的鉴定试验通常都拟定好全国统一的试验方法，可使不同时期和不同地区所完成的试验能进行比较。

专题性试验。这方面多为科学研究工作的一个组成部分，其内容和范围均视科研的目的而定。

近年来国外为了充实实验室试验的内容，对农业机械的室内快速试验、模拟试验和自动化试验的技术及装置都进行过大力的发展，取得了很大的成就。

快速试验就是借助于专门的方法和合理的组织，在比使用普通方法或田间条件下短得多的期限内，对农机新样机、新产品作出快速的科学鉴定，确定它们的质量技术指标。快速试验又可分为强化试验和压缩试验。

强化试验就是对试验对象的工况，如载荷大小、循环频率和试验环境条件实行人工强化。例如对发动机的吸气系统和曲轴箱按一定的方法添加人工磨料，以进行快速的耐磨性试验。

压缩试验就是将试验持续进行。例如将拖拉机的制动系统、离合器等部件安装在专用的试验台上，按照常规的工况，在室内进行连续运转，从而相应地压缩了现场试验的周期。

模拟试验是在模拟田间的真实载荷条件下，在实验室内昼夜不停地对农业机械进行快速试验，以便大大减少试验所需要的人力、物力。例如可应用田间载荷谱模拟试验来发展和评价拖拉机的零部件设计。

室内自动化试验就是由电子计算机按一定程序来控制整个试验的进行，取得数据，完成必要的运转，最后作出试验的结论。由于它能连续进行，减少试验误差，节省试验时间，因此成为一种高效、快速而又经济的试验方法。

随着电子计算机的普及和广泛应用而出现的一种新的试验方法，被称为计算试验。它可在无需实际制造样机的情况下，快速地计算出在给定的环境条件下，给定参数的样机的性能试验结果。由于这种试验方法可大大节约研制的经费和时间，所以受到了人们的特殊重视。近年来已有人提出了一般农用轮式拖拉机的牵引特性的数学模型，铰接式四轮驱动拖拉机车轮与土壤相互作用力的数学模型，铧式犁和饲料收割机等农业装备所需能量的数学模型等。利用这些模型通过计算机即可进行任何特定条件下的“田间”试验。这就允许研究人员用改变模型的输入参数的方法来判断其发展趋势，研究各种环境参数和农机参数对牵引力、效率和能量消耗等的影响。当然，要提高这种试验方法的准确可靠性和应用范围，还需要作出很大的努力进行深入的研究。

应用现代的测试技术和设备还可解决振动测试、运输监视和故障诊断等一类的农机使用的技术问题。

农机试验的特点是和农机作业的特点分不开的。农业机械的作业受到土壤、作物、地形、地区、气候等复杂因素的影响很大，因此农机试验有以下各种特点：

(1) 在试验中，要注意测定各种环境因素的特性。每次试验前要对试验田进行全面的调查，对机器作业有影响的各种因素如土壤坚实度、土壤湿度、作物湿度、植株密度等都要进行详细的测定。

(2) 要加强对比试验。在试验中，由于不同地区、不同地形和不同时间的情况有很大的变化，所以试验中所测出的数值的离散度很大，这就要求增加试验的重复次数。在不同地

区、不同时间内所获得的试验结果往往不能进行比较。为了弥补这一缺陷，在进行鉴定试验时往往需要添用一台“对照机器”和被试验的机器一起在尽可能相同的条件下进行对比试验。“对照机器”应该选用通过长期生产使用、工作质量比较稳定的基本定型了的机器。这样，对比试验所取得的结果才能相对地说明受试机器性能的优劣。

(3) 要加强试验的计划准备工作。农机作业的季节性很强，要掌握农时，因此可能进行农机试验的时期一般都很短促，田间试验尤其如此。为了抢时间，在进行试验之前应作好周密的计划，很好地组织人力、物力，尽可能地加快试验的进度。

(4) 试验装置要能适应田间的恶劣作业条件，所用的仪器设备应轻便、坚固、抗震、使用调整简便和耗电量少。

第一篇 应变片电测技术

第一章 电阻应变片

电阻应变片，简称应变片。它作为非电量电测的传感元件，将被测的零件或构件的变形（应变）变成其电阻值的变化。当然这种传感元件不仅能测应变，因为许多非电物理量（如：力、液体压力、位移、温度等）都可通过弹性元件和应变建立一定的关系，因此这些非电物理量就可转换成应变片的电阻变化。用电子仪器将这个电阻值的变化测出来，就可得知相应的非电物理量的数值了。

应变片一般由敏感栅、基底、粘结剂和引线构成（见图 1-1）。

敏感栅是应变片的核心部分，由具有高电阻率的电阻丝制成。应变片所以能感受应变的变化，就在于电阻丝具有电阻应变效应。

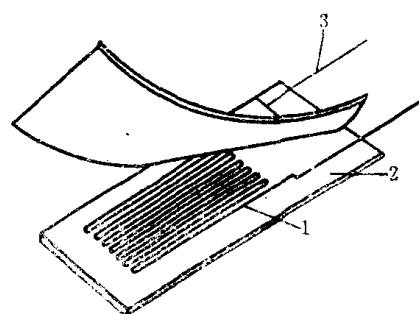


图 1-1 电阻应变片
1—敏感栅 2—基底 3—引线

一、电阻丝的电阻应变效应

电阻丝的电阻值随其变形而发生改变的这一物理现象，称为电阻丝的应变效应。根据物理学大家知道：金属导线（电阻丝）的电阻值为：

$$R = \rho \frac{L}{F} \quad (1-1)$$

式中 R ——导线的电阻值，欧姆；

ρ ——导线的电阻率，欧·毫米²/米；

L ——导线的长度，米；

F ——导线的截面积，毫米²。

根据这个公式，可直观地认为，导线变形后使 L 、 F 和 ρ 发生了变化，故 R 也发生变化。我们设法找出应变和电阻变化之间的数学关系：

将公式（1-1）的等号两边取对数得

$$\ln R = \ln \rho + \ln L - \ln F$$

微分后得

$$\frac{dR}{R} = \frac{d\rho}{\rho} + \frac{dL}{L} - \frac{dF}{F}$$

再将等号两边除以 $\frac{dL}{L}$ 得

$$\frac{\frac{dR}{R}}{\frac{dL}{L}} = \frac{\frac{d\rho}{\rho}}{\frac{dL}{L}} + \frac{\frac{dL}{L}}{\frac{dL}{L}} - \frac{\frac{dF}{F}}{\frac{dL}{L}} \quad (1-2)$$

对于半径为 r 的圆截面电阻丝,其截面积 $F = \pi r^2$,对之微分得 $dF = 2\pi r dr$ 。

根据材料力学,如电阻丝轴向变形的应变值为 ε (即 $\frac{dL}{L} = \varepsilon$),则在横向的应变为

$-\mu\varepsilon$ (μ 为材料的泊松比)。即 $\frac{dr}{r} = -\mu\varepsilon$ 或 $dr = -r\mu\varepsilon$ 。

$$\therefore \frac{dF}{F} = \frac{2\pi r dr}{\pi r^2} = \frac{2\pi r(-r\mu\varepsilon)}{\pi r^2} = -2\mu\varepsilon$$

这个结果是由圆形截面推导出来的,亦完全适用于其它形状的截面情况。所以式(1-2)可写成

$$\frac{\frac{dR}{R}}{\varepsilon} = 1 + 2\mu + \frac{\frac{d\rho}{\rho}}{\varepsilon}$$

我们令 $1 + 2\mu + \frac{\frac{d\rho}{\rho}}{\varepsilon} = k$,

则

$$\frac{\frac{dR}{R}}{\varepsilon} = k$$

或写成

$$\frac{dR}{R} = k\varepsilon \quad (1-3)$$

这样我们就找出了一根电阻丝的电阻变化和其应变之间的数学关系。我们称 k 为电阻丝的灵敏(度)系数,即单位应变所引起的电阻丝电阻的相对变化。 k 由三项组成:第一项表示因电阻丝长度变化引起的电阻变化,第二项表示截面积变化引起的电阻变化,第三项则表示电阻率发生了变化,这是因为电阻丝受力后晶格的变形影响了自由电子的数量和活动能力而致。由于这一项现在还找不到规律性,故 k 值无法由计算得到,只能通过实验得出。不同电阻丝材料的 k 值在较大的范围内变化。

不是任何的电阻丝都能做应变片的敏感栅。对应变片敏感栅材料(应变电阻合金)的要求为: k 值高,并在较大的应变范围内为常数;电阻率 ρ 高,以便在一定的电阻值要求下,可减小应变片的尺寸;具有足够的热稳定性,即要求其电阻温度系数小和灵敏系数 k 随温度的变化小;具有一定的机械强度,好的工艺性能,即良好的延展性能和焊接性能;对铜的接触热电势小等。

表1-1介绍几种常用的应变电阻合金。我国常温下用得最多的是康铜和镍铬合金。

表 1-1 常用应变合金的性能

合金类型	牌号或名称	成分		灵敏系数 k	电阻率 ρ (欧·毫米 ² /米)	电阻温度系数 α ($10^{-6}/^{\circ}\text{C}$)	对铜的热电势 (微伏/ $^{\circ}\text{C}$)
		元素	%				
铜镍合金	康 铜	Cu Ni	55 45	1.9~2.1	0.45~0.52	± 50	43
铁镍铬合金	—	Fe Ni Cr Mo	55.5 36 8 0.5	3.6	0.84	300	—
镍铬合金	—	Ni Cr	80 20	2.1~2.3	1.0~1.1	110~130	3.8
	6J22 (卡玛)	Ni Cr Al Fe	74 20 3 3	2.4~2.6	1.24~1.42	± 20	3
	6J23	Ni Cr Al Cu	75 20 3 2	2.4~2.6	1.24~1.42	± 20	3
铁铬铝合金	OCr25A15	Fe Cr Al	70 25 5	2.8	1.3~1.5	30~40	2~3
贵金属及合金	铂	Pt	100	4~6	0.09~0.11	3900	7.6
	铂-铱	Pt Ir	80 20	6.0	0.32	850	—
	铂-钨	Pt W	92 8	3.5	0.68	227	6.1

二、应变片的种类

常用的应变片有丝式、箔式和半导体式三种(见图 1-2)。丝式应变片又分绕线式和短接式两种(见图 1-3)。绕线式应变片由一根电阻丝往复地绕成栅状(两端的转向处呈圆弧形),用粘结剂粘贴于基底上,并在电阻丝的两端焊上两根粗一些的金属丝做引出线而构成(见图 1-3 a)。短接式应变片是在基底上放上数条互相平行的电阻丝,在两端处横向放上两条较粗的金属丝(见图 1-3 c),金属丝与电阻丝交叉处焊接在一起,并用粘结剂贴到基底上,剪断图上打叉处的金属丝,就构成了短接式应变片(见图 1-3 b)。

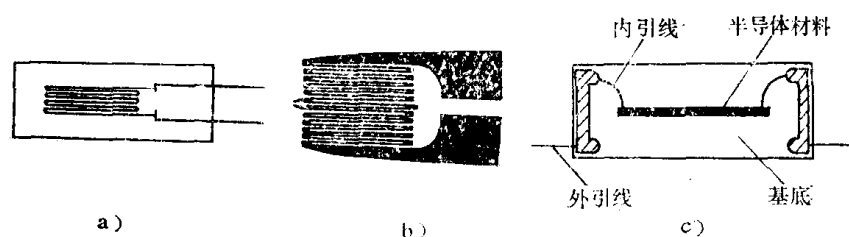


图 1-2 电阻应变片

a) 丝式应变片 b) 箔式应变片 c) 半导体应变片

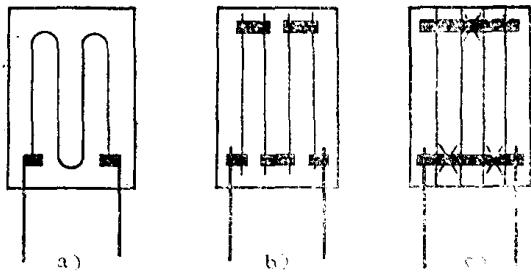


图 1-3 丝式应变片
a) 绕线式 b) 短接式 c) 短接式的毛坯

图 1-2b 为箔式应变片。它是用极薄的（厚为 0.003~0.008 毫米）应变合金箔片腐蚀而成。制造时先在箔片的一面涂一薄层粘结剂并固化成为基底，箔片的另一面涂以光刻胶，用光刻技术印刷上所需要的敏感栅形状，然后放在腐蚀液中将多余部分腐蚀掉（和制作印刷电路板的方法一样），就成为箔式应变片。也有用冲压的方法制造箔式应变片的，主要用于不易腐蚀的贵金属合金材料。箔式应变片由于采

用光刻技术，可以做成各种复杂的形状，满足某些特殊测量的要求（见图 1-4）。

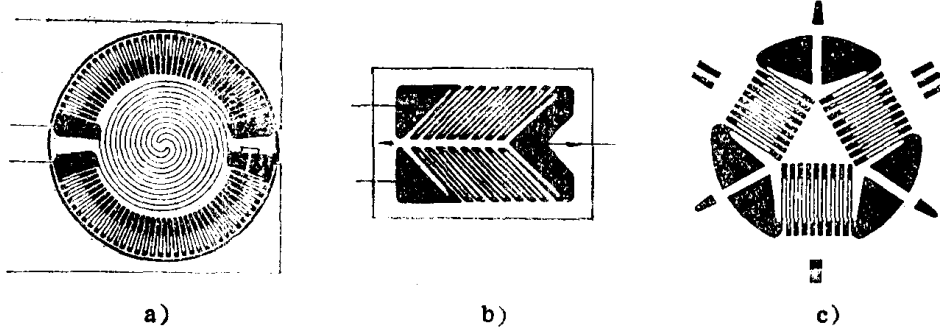


图 1-4 特殊用途的箔式应变片
a) 膜片测压用 b) 测轴扭矩用 c) 应变花

图 1-2c 为半导体应变片，它的敏感栅是由锗或硅等半导体材料制成，可分为体型半导体应变片（敏感栅由锗或硅等半导体材料按一定的晶轴方向切割后经腐蚀等方法制成）和扩散型半导体应变片（敏感栅系将杂质扩散在半导体材料上制成）。

还有一种薄膜式应变片，它是将金属、合金或半导体等材料真空蒸发或真空沉积到基底材料上，形成很薄的薄膜作敏感栅而构成的应变片。

除上述常用的应变片外，还有临时基底型应变片、焊接式应变片、大变形应变片、疲劳寿命片、应力集中片、残余应力应变片和裂纹扩展片等。

临时基底型应变片（见图 1-5），系在制片时将敏感栅置于临时基底上，使用时将临时基底去掉，仅将敏感栅粘贴（安装）到试件上去。这种应变片主要用于高温场合。

焊接式应变片的基底是金属薄片，使用时是用焊接的方法将之固定在试件表面上。常用于高温或低温的场合。

疲劳寿命片，其外形与普通箔式应变片差不多，但其敏感栅是经过特殊回火处理的康铜箔。当其粘贴在承受循环载荷的试件上时，在循环载荷的作用下，敏感栅发生冷作硬化使其电阻发生不可逆的变化。此积累的电阻变化可用下式表示：

$$\Delta R = c(\varepsilon_R - \varepsilon_0)N^h \quad (1-4)$$

式中 ΔR ——电阻变化，以 % 表示；

ε_R ——最大的交变应变，微应变；

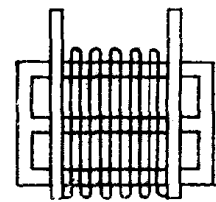


图 1-5 临时基底型应变片

ε_0 ——某一应变值，低于此值时电阻不发生变化；

N ——交变应变的循环次数；

h ——常数，此处等于0.4；

c ——常数。

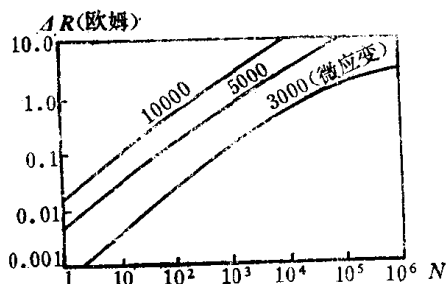


图1-6 疲劳寿命片电阻变化特性曲线

可将疲劳寿命片粘贴在结构材料上，画出在各种应变水平下载荷循环次数与电阻变化关系的一系列试验曲线（又叫标定曲线，见图1-6）。如将这样的疲劳寿命片贴于某一结构件上，根据测定的电阻变化情况，利用上述标定曲线，就可以知道该结构的疲劳寿命已消耗了多少，也可以预计该结构件何时会达到疲劳破坏。

利用疲劳寿命片，不仅可以测定某一结构件的疲劳情况和预测在破坏之前还有多长的使用寿命，如果将它粘贴在不同构件的同一受力部位上，还可以根据各疲劳寿命片的电阻变化的大小，来判定不同设计的优劣；或对相同的结构件在不同的使用条件下，判定哪一个载荷条件较为不利。

为使疲劳寿命片感受比被测构件表面的实际应变大数倍的应变，出现了一种如图1-7所示的应变倍增器。它可以根据需要设计成将实际应变放大2~20倍，以让倍增器内的疲劳寿命片感受。在倍增器内还置有一片普通的应变片，它也感受被放大的应变，作为检查应变大小用。

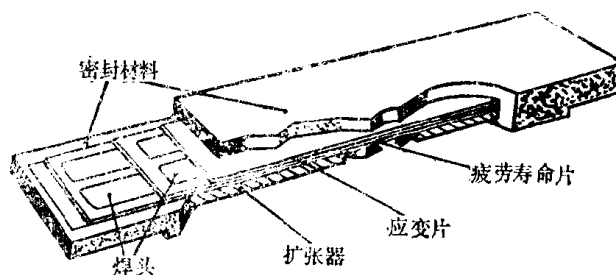


图1-7 应变倍增器

为了测量试件应力集中处的应力情况，可采用应力集中应变片。它是在同一基底上，整齐地排列着数片或十几片小尺寸的应变片，这给使用者带来很大的方便。图1-8是其中的一种。

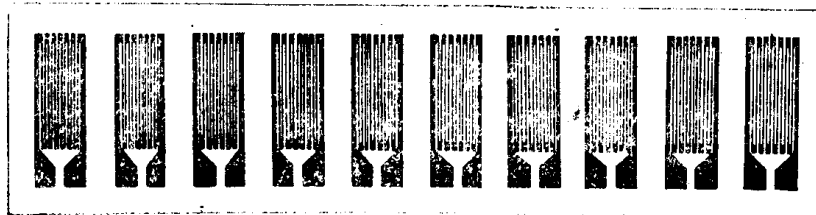


图1-8 应力集中应变片（放大图）

图1-9为残余应力应变片，用以测量零件或构件的残余应力。使用时将它贴于被测部位，并在中心处钻孔，让试件的残余应力释放出来而进行测量。为了保证钻孔的精确位置，需采用专门的胎具和钻具。

图1-10为裂纹扩展片，用以监视试件材料的裂纹扩展情况。根据断裂力学，一些超高强度合金钢之所以会突然发生脆性断裂，是因为构件在一系列加工过程中不可避免会产生一些微小的裂纹和缺陷。这些裂纹和缺陷，在一定的应力

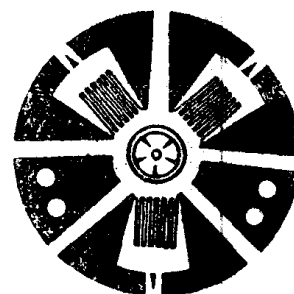


图1-9 残余应力应变片

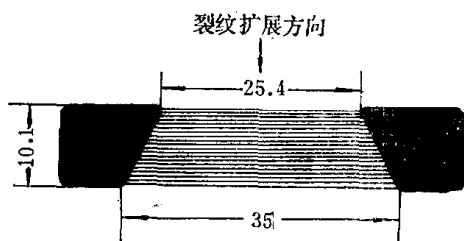


图 1-10 裂纹扩展片

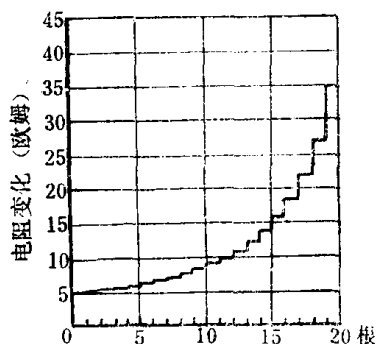


图 1-11 裂纹扩展片的电阻变化曲线

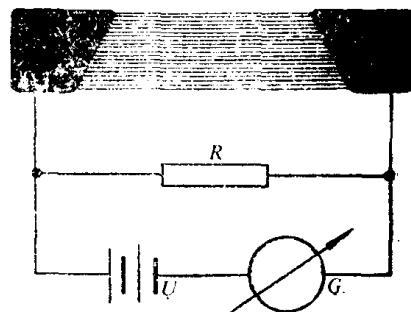


图 1-12 裂纹扩展片测量电路简图

三、应变片的工作情况

也许有人会提出问题：贴在试件上的应变片其电阻丝能否和试件一起变形？我们说基本上可以。这是因为电阻丝很细（直径仅0.02~0.03毫米），中间物质（一层基底和两层粘结剂）很薄（约零点零几毫米），由于电阻丝全部埋在粘结剂里，其粘贴表面积是相当大的（如常用的电阻丝直径为0.025毫米，当其长度为10毫米时，其表面积为横截面的1600倍），因此说电阻丝基本上可以和试件表面一起变形。

试件表面的变形（应变）是通过粘结剂层和基底以剪应力的形式传递给电阻丝的。根据实验得知，这个剪应力的分布规律如图 1-13a 所示，在应变片的中部为零，两端最大且方向相反。这就告诉我们，在粘贴应变片时要特别注意将两端粘牢。从传递变形的角度出发，应变片只贴两端不贴中间在承受拉应变时是可以的。但在实际使用中这会使应变片产生较大的零漂，因此应变片的中部也必须贴牢。检查的方法是用软橡皮头按压应变片的中部，此时应变片如有较大的输出说明没有粘贴好。

前面说到应变片的电阻丝基本上可以和试件表面一起变形。注意是“基本”而不是“完全”，这里面有一点差别。因为如果试件表面

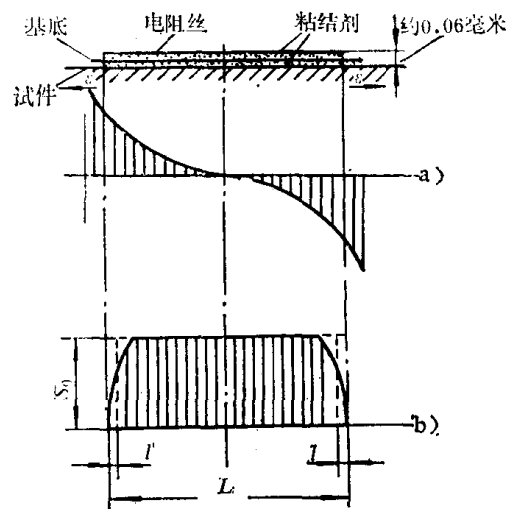


图 1-13 应变片的工作状态
a) 剪应力 b) 应变

产生的应变为 S_0 时,电阻丝也应随之产生 S_0 的应变。但实际上,在电阻丝的端部附近其粘贴表面很小,不足以带动电阻丝产生变形,因此端部附近的应变为零。离开端部一段距离时,随着距离的增大,电阻丝的粘贴表面积逐渐增加,电阻丝被带动变形的程度也增加,直至达 S_0 值。一根电阻丝在 S_0 应变场中的应变分布规律如图 1-13b 中实线所示(在电阻丝的弹性变形范围内),虚线为等值的应变分布规律曲线。由等值曲线可以看出电阻丝等于有 $2l$ 段没有参加工作(即不变形),也就是这个 $2l$ 段不会产生电阻的变化,使灵敏系数 k 值变小了。

另外,如果将一片应变片贴在一单向应力状态的试件表面上(见图 1-14),试件沿力 P 作用线方向的应变为 ϵ 。据材料力学,试件在一维应力状态下,当沿应力方向有应变 ϵ 时,则与之垂直的方向将有 $-\mu\epsilon$ 的应变。因此使端部转向圆弧段电阻丝产生了符号相反的变形,即转向圆弧这一段不仅不参加工作,而起相反的作用。这同样使灵敏系数 k 值下降。这种现象称为横向效应。

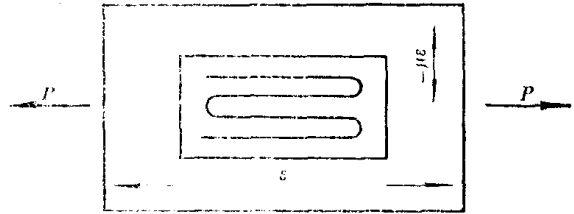


图 1-14 试件为一维应力状态下的应变片

由于存在上述两个问题,应变片的灵敏系数一定要比电阻丝的低,为区别之,我们以大写的 K 来表示应变片的灵敏系数,则 $K < k$ 。

四、应变片的主要参数和工作特性

(一) 应变片的尺寸

顺着应变片轴向的敏感栅两端转向处内侧之间的距离称为栅长(或叫标距),以 l 表示。敏感栅的横向尺寸称为栅宽以 s 表示(见图 1-15)。 $l \times s$ 称为应变片的使用面积。应变片基底的长度 L 和宽度 W 要比敏感栅的大一些。丝式应变片的栅长不能做得太小,一般最小为 3~5 毫米左右,箔式的可小至 0.2~0.5 毫米。小栅长的应变片对制造要求高,对粘贴的要求亦高,并且应变片的蠕变、滞后以及横向效应也大。因此,在可能的条件下,应当尽量选用栅长大一些片子。应变片的栅宽,也以小一些为好,但考虑到散热,敏感栅的线与线之间要有一定的距离(一般为 0.1~0.3 毫米),对一定阻值的应变片的栅宽也就无法做得太小。

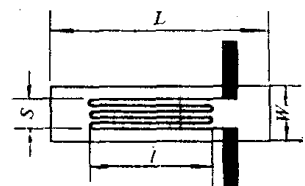


图 1-15 应变片的尺寸

选择应变片尺寸,应从下列三方面考虑:

选择应变片尺寸,应从下列三方面考虑:

- (1) 试件测量部位允许粘贴应变片的尺寸;
- (2) 试件测量部位的应变梯度大时,应选用小栅长应变片;
- (3) 测量动态应变时,选取应变片的栅长应不大于振动波长的 $1/10 \sim 1/20$ 。振动波长 λ 可按下式计算:

$$\lambda = v/f \quad (1-5)$$

式中 f ——动态应变的变化频率;

v ——声波在试件材料中传播的速度(钢、铝、镁中声速约为 5000 米/秒)。