

高等学校试用教材

热处理工艺参数
测试技术

黎景全 主编

黎景全 宋永龄 吴特昌 于长生 编写

北京钢铁学院

1980年·北京

编 者 的 话

一九七八年一月在西安召开的冶金部所属的高等冶金院校的教材工作会议上，确定《轧制工艺参数测试技术》一书为全国高等冶金院校金属压力加工（轧钢）专业统一教材。本书系根据这次会议制定的教学大纲进行编写的。

近年来，随着科学技术的发展，在生产和科学实验中，测试技术已成为发展生产、改进现有工艺与设备，尤其是生产过程自动化必不可少的手段之一。故我们根据国内各单位的宝贵经验和国外有关资料，以及我们自己在实际工作中的粗浅体会，编写了本书，目的在于使学生掌握有关的基本原理和方法，并通过实际操作培养一些实验的基本技能。

本书在编写过程中，坚持理论联系实际的原则。在内容阐述上，力求由浅入深，通俗易懂，便于自学。在内容取舍上，既考虑了教学大纲的要求，又适当地照顾到今后进一步提高的需要。因此各院校在使用本教材时，可视其具体情况自行取舍。由于本书篇幅所限，对于有些问题未能在本书中做详细介绍的内容，则列出了参考文献，以便需要时查阅。

本书由黎景全同志主编，参加编写的单位有：北京钢铁学院和东北工学院。参加编写的人员有：北京钢铁学院黎景全（第二、七、九、十和十三章）、宋永龄（第四、五、十一和十四章）、吴特昌（第一、三、六、八、十五和第九章第一节）和东北工学院于长生（第十二章）。

本书承东北重型机械学院、武汉钢铁学院、鞍山钢铁学院和西安冶金建筑学院等单位审阅，大家提出了一些有益意见，尤其是东北重型机械学院的张云骏老师对本书进行了仔细的审阅，提出了许多具体的改进意见，在此一并致谢。

由于编者水平不高，业务能力有限，加之时间仓促，因此书中错误和不当之处在所难免，敬请读者批评指正，以便将来进行修订。

编 者

一九七九年六月于北京

内 容 简 介

本书着重介绍了轧制工艺参数测试技术的基本原理和方法。

全书共分三篇十五章。第一篇介绍测试基础，包括传感器、电阻应变片、测量电路、应变测量及记录装置的基本原理和使用方法。

第二篇介绍参数测量，包括力参数、运动参数、电参数、工艺参数的测量原理与方法。

第三篇介绍测定数据分析与处理，包括示波图形分析、误差理论和实验数据处理方法。

本书为高等冶金工业院校金属压力加工（轧钢）专业的试用教材，也可供从事轧钢工艺与设备方面的现厂工程技术人员和科学研究人员参考。

目 录

第一篇 测试基础

第一章 传感器

第一节 概述	1
一、传感器的概念	1
二、传感器的特性	1
三、传感器的分类	2
第二节 电阻式传感器	2
第三节 电容式传感器	4
一、基本原理与特性	4
二、主要结构形式	8
三、电容式传感器的优缺点	9
第四节 电感式传感器	9
一、基本原理	9
二、电感式传感器的主要型式	11
三、电感式传感器的基本参数选择	13
第五节 压磁式传感器	16
一、基本原理	16
二、压磁元件单片的形状	17
三、压磁传感器的主要结构	18
四、压磁传感器的测量电路	18
第六节 磁电式传感器	19
一、基本原理	19
二、磁电式传感器的基本结构	20
三、传感器的灵敏度	21
第七节 光电式传感器	22
一、光电变换元件及其特性	22
二、光电传感器的类型	26

第二章 电阻应变片及其粘贴工艺

第一节 电阻应变片	28
一、应变片的分类	28
二、应变片的构造和特点	31
三、应变片材料	32

四、应变片的工作原理	34
五、应变片的主要参数及其特性	37
第二节 应变片的粘贴	43
一、选择应变片的依据	43
二、应变片的检查	46
三、应变片用粘接剂	46
四、粘贴工艺	49

第三章 测量电路

第一节 概述	53
一、测量电路的种类	53
二、电桥的分类	54
第二节 电桥工作原理	55
一、直流电桥	55
二、交流电桥	60
第三节 电桥平衡	63
一、电阻平衡	63
二、电容平衡	65
第四节 电桥特性	66
一、电桥加减(和差)特性	66
二、电桥灵敏度	67
三、桥路的温度补偿	68
第五节 电桥桥臂应变片的串联和并联	69
一、电阻应变片的串联	69
二、电阻应变片的并联	70
三、电阻应变片的串并联	70
第六节 电桥输出的非线性误差	70

第四章 应变测量装置

第一节 轧机负荷指示器	72
一、轧机负荷指示器原理方框图	72
二、轧机负荷指示器原理线路图	72
三、电桥输出计算公式	73
四、供桥电压的选择	73
第二节 超小型测压仪	74
一、原理方框图	74
二、原理线路图	74
三、超小型测压仪在扭矩测量中的应用	74
第三节 自激振荡调制式测压仪	75
一、原理方框图	75

二、电路图及工作原理	75
第四节 数字式测压仪简介	77
第五节 动态电阻应变仪	77
一、电阻应变仪的用途及分类	77
二、电阻应变仪的组成及其作用	77
三、应变仪的使用	88
第六节 遥测应变仪	96
一、遥测应变技术的特点	96
二、遥测应变的基本原理与体制	96
三、单通道旋转件遥测应变仪	99
四、遥测应变仪的使用与维护	99

第五章 记录装置

第一节 概述	101
第二节 光线示波器	103
一、光线示波器的工作原理	103
二、光线示波器的组成	106
三、振动子的特性	112
四、光线示波器的测量误差	119
五、光线示波器的正确使用	121
第三节 自动平衡记录器	124
一、自动平衡记录器	124
二、x-y 记录器	124
第四节 记录仪	125
一、记录仪的构成	125
二、记录仪的检流计	125
三、记录方式	127
第五节 磁带记录器	127
一、磁带记录器的特点	127
二、磁带记录器的工作原理	128
三、磁带记录器的构成	128
四、磁带记录器的种类	129
五、磁带记录器的记录方式	130
六、重放过程	132

第二篇 参数测量

第六章 零件的应力测量

一、应力应变的分析计算	134
二、测量方法	141
三、零件受力状态分析及测量点的选择	151

第七章 轧制压力测量和测力传感器设计

第一节 轧制压力测量	154
一、轧制压力的概念	154
二、轧制压力的测量方法	154
第二节 电阻应变式测力传感器设计	156
一、弯曲式传感器设计	157
二、压缩(或拉伸)式传感器设计	157
三、剪切式传感器设计	175

第八章 轧制力矩测量

一、测量原理	178
二、测量方法	180
三、集电装置	183
四、扭矩标定	187

第九章 其它力参数测量

第一节 轧件张力测量	190
一、单机座可逆式冷轧机张力测量	190
二、连轧机张力测量	193
第二节 轧制单位压力和摩擦力测量方法	194
一、轧制单位压力测量方法	194
二、轧制摩擦力测量方法	195
三、轧制单位压力和摩擦力的综合测量方法	197
四、测压针和测力元件的构造和种类	199
第三节 金属塑性变形抗力的测量方法	200
一、研究金属塑性变形抗力的意义	200
二、测量方法	200
第四节 流体压力测量方法	202
一、测量原理	202

二、液压传感器设计	202
-----------	-----

第十章 运动参数测量

第一节 位移测量	204
一、线位移（行程）测量	204
二、角位移（转角）测量	206
第二节 速度测量	210
一、转速测量	210
二、转速降和转速差的测量	212
三、线速度测量	213

第十一章 电参数测量

第一节 直流电机的电参数测量	214
一、直流电流和电压的测量	214
二、直流电机功率测量	219
第二节 交流电机的电参数测量	220
一、交流电流和电压的测量	220
二、交流电机功率测量	222

第十二章 轧件尺寸测量

第一节 宽度测量	235
第二节 厚度测量	236
一、概述	236
二、射线测厚仪表	237
三、同位素测厚仪的厚度检测方法	238
四、放射源	239
五、检测器	240
六、 γ 射线测厚仪	242
第三节 辊缝测量	243
一、概述	243
二、SGF-1型辊缝测量仪的工作原理	244
第四节 压下率测量	245
第五节 刚度测量	247
一、轧机刚度及其意义	247
二、轧机刚度的测量方法	249

第十三章 轧制设备的综合测定

第一节 初轧机测定	251
一、轧制压力测量	252
二、接轴扭矩测量	254

三、扭转振动测量·····	254
四、主机电枢电流、电压和转速测量·····	255
五、压下量(压下行程)测量·····	255
六、操作信号测量·····	256
第二节 型钢轧机测定·····	257
第三节 钢板轧机测定·····	259
一、热轧钢板轧机测定·····	259
二、冷轧钢板(带钢)轧机测定·····	259
第四节 钢管轧机测定·····	260
第五节 钢坯剪切机测定·····	261
一、剪切机的受力分析·····	261
二、剪切力测量·····	261
三、上刀行程测量·····	262
四、下刀行程测量·····	262
五、压板力测量·····	263
第六节 辊式矫直机测定·····	263
一、矫直力测量·····	263
二、辊轴弯矩测量·····	264
三、辊轴轴向力测量·····	264
四、辊轴悬臂刚度的测量·····	265
第七节 现厂综合测定的组织工作·····	266
一、测定前的准备工作·····	266
二、现厂准备工作·····	267
三、正式测定阶段·····	267
四、试验数据的加工整理·····	268

第三篇 测定数据分析和处理

第十四章 示波图的波形分析

一、波形分析之目的·····	269
二、波状分析的主要任务·····	269
三、波形分析的一般原理·····	270

第十五章 测量误差分析与实验数据处理

第一节 误差理论基础·····	283
一、测量的分类·····	283
二、真值和平均值·····	284
三、误差的概念与分类·····	284

四、精密性和准确性·····	285
五、有效数字与计算法则·····	285
第二节 系统误差·····	286
一、系统误差的分类·····	286
二、发现系统误差的简单方法·····	287
三、系统误差的消除·····	290
第三节 算术平均值与偶然误差·····	290
一、算术平均值·····	290
二、误差的正态分布定律·····	291
三、观测值的误差表示方法·····	292
四、算术平均值的误差表示方法·····	293
五、算术平均值与标准误差的简便算法举例·····	294
第四节 过失误差与可疑数值的舍弃·····	295
第五节 间接测量的误差计算·····	295
一、间接测量结果(最佳值)的计算·····	296
二、间接测量的误差计算·····	296
第六节 电阻应变测量法的误差分析·····	298
一、电阻应变片·····	298
二、电阻应变仪·····	299
三、记录器(光线示波器)·····	299
四、其它因素·····	299
第七节 实验数据表示法·····	299
一、列表法·····	299
二、作图法·····	302
三、方程法·····	304

第一篇 测试基础

第一章 传 感 器

第一节 概 述

一、传感器的概念

当测量某一非电量参数时，首先要把该非电量参数转换成某一电量参数，这种将非电量参数转换为电量参数的装置叫做传感器（也有称做转换器、变换器、变送器、发送器等。本书采用传感器一词）。传感器的作用是把被测的非电量参数（如压力、速度、温度等）转换成与之成比例的电量参数（如电流、电压等）。然后再经过适当的测量电路处理后，送至指示器指示或记录器记录。

这种非电量至电量的转换，就是应用不同物体的某些电学性质与被测非电量之间的特定关系来实现的。如电阻应变片就是应用金属电阻丝的电阻率随丝的变形而变化的关系。此外，还有应用铁芯与通电线圈之间的运动而产生电感量变化的关系；金属极板之间的距离变化而产生电容量变化的关系；以及压磁效应、压电效应、热电效应、光电效应等等。应用不同物体的独特的物理变化，就可以设计制造出适用于各种不同场合下使用的传感器。

二、传感器的特性

（一）输入特性

1. 输入量的形式 主要是指输入量的物理本质，它可能是某一物理量，当测量方案已定时，输入量的形式就已经决定了。

2. 输入量的有效范围 其下限主要是取决于传感器本身的不灵敏度、误差及干扰信号。因为当输入量的数值与以上各量具有相同数量级时，传感器无法正常工作。其上限主要是防止产生信号失真或引起元件损坏。

3. 对被测量的影响 理想的传感器应对被测量没有影响，在理论上这是不可能的。实际上这个影响是可以忽略不计或被限定。影响的大小可用由被测量提供用于驱动传感器的力（能或功率）来表示。

（二）转换特性

1. 转换函数 输入量 Q_1 与输出量 Q_0 之间的关系为转换函数

$$Q_0 = f(Q_1)$$

上式微分
$$\frac{dQ_0}{dQ_1} = S$$

S 是传感器的灵敏度。一般转换函数是线性的，故

$$S = \frac{dQ_0}{dQ_1} = \frac{Q_0}{Q_1}$$

2. 传感器的误差 当传感器的工作不是严格符合转换函数 $Q_0 = f(Q_1)$ 时, 则实际输出量 Q_0' 包含有误差 δ

$$\delta = Q_0' - Q_0$$

误差主要有传感器的零点误差、灵敏度误差、非线性和滞后等。此外还有动态误差。

3. 传感器的抗干扰能力 抗环境干扰能力是非常重要的, 若传感器受到外界干扰(如温度、压力、加速度的变化、磁场或电场的变化, 或电源电压的变化等), 则传感器不能严格符合转换函数工作, 并产生误差。

(三) 输出特性

1. 输出量的形式 由非电量转换为电量时, 其电量的输出形式可以是电流、电压、阻抗或这些量的时间函数。

2. 输出量的有效范围 其下限受到不灵敏度、误差、干扰等因素限制, 其上限由传感器输入量的最大值决定。

3. 输出阻抗 输出阻抗决定了在一定量的输入信号作用下, 传感器所能提供出的能量, 如果传感器的输出阻抗低于下一级的输入阻抗, 则传感器的输出具有恒压源的特性; 如果输出阻抗高于下一级的输入阻抗, 则输出具有恒流源特性。当输出阻抗等于下一级输入阻抗(即阻抗匹配)时, 则传感器具有最大的输出功率。

传感器是非电量电测技术的重要转换元件, 为了保证测量的准确性, 对传感器提出了如下要求:

- (1) 非电量与电量之间的转换有良好的线性比例关系;
- (2) 有较高的灵敏度;
- (3) 有较高的频率特性;
- (4) 稳定性与抗干扰性要好。

三、传感器的分类

目前应用的传感器种类较多, 根据转换原理可以分为两大类:

(一) 参量式传感器

它是使所测的非电量由传感器转换为电阻、电容或电感等电路参数变化, 再进行测量。为了测量这些参数, 需要由仪器供给电能。参量式传感器一般能用于静态和动态的测量。

(二) 能量式传感器

它将被测的非电量由传感器直接转换为电势, 在测量过程中借用了所转换的能量。此类传感器在工作时吸收了被测参数的极小部分能量转换为电能, 因此被测参数应该随时间有一定的变化, 也就是说宜用于动态测量。

下面将分别介绍几种常用传感器的转换原理及其主要应用。

第二节 电阻式传感器

此类传感器是通过改变电路中电阻值的大小, 来实现将位移、力、速度等非电量参数转换为电量的转换器, 叫做电阻式传感器。电阻式传感器按其组成电路可分为电阻应变式传感器(见第七章)和变阻器式传感器(电位计式传感器)两种。这里主要介绍变阻器式传感器。

变阻器由绕在绝缘支架上的电阻丝和滑动键组成, 滑动键可以在电阻丝上滑动。由于被测参数的作用, 使滑动键产生位移 x (线位移或角位移), 从而改变了电路中电阻值, 因而

使电路的输出电压或电流发生变化,以达到转换之目的。变阻器可以接在几种测量电路中。

当变阻器式传感器在电路中起变阻作用(图1-1a)时,其静特性为 $R_1 = f(x)$,则输出电流为

$$I_1 = \frac{U}{R_g + R_1} \quad (1-1)$$

式中 R_g ——测量仪表的内阻。

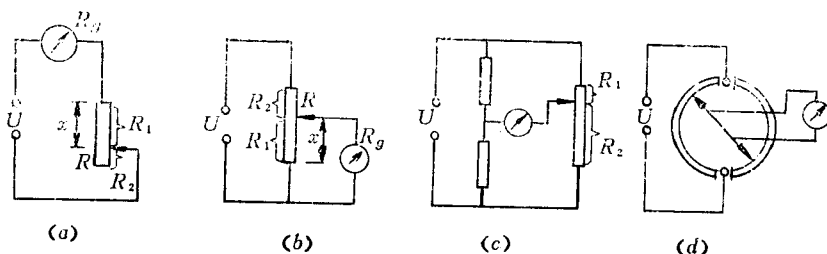


图1-1 变阻器式传感器原理图

式(1-1)中, $I_1 = f(R_1)$ 或 $I_1 = f(x)$, 具有双曲线特性。

当变阻器式传感器在电路中起分压作用(图1-1b)时,其静特性为:

$$U_g = f(x) \text{ 或 } I_g = f(x)$$

$$U_g = U \frac{\frac{R_1 \cdot R_g}{R_1 + R_g}}{R_2 + \frac{R_1 \cdot R_g}{R_1 + R_g}} = U \frac{R_1}{\frac{R_1 \cdot R_2}{R_g} + R} \quad (1-2)$$

式中 $R = R_1 + R_2$

由式(1-2)可以看出:

1. 若 $R \ll R_g$ (因之 $R_2 \ll R_g$), 则

$$U_g = U \frac{R_1}{R} \quad (1-3)$$

此时静特性曲线 $U_g = f(x)$ 为直线。

2. 若 $R \approx R_g$ 或 $R > R_g$, 则特性曲线如图1-2所示。

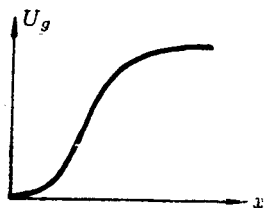


图1-2 $U_g = f(x)$ 特性曲线

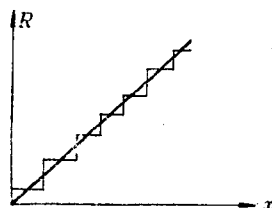


图1-3 滑线变阻器的电阻阶梯形变化

在多数情况下,把变阻器式传感器做为电桥的两臂(图1-1c)或组成电桥的四个臂(图1-1d)(详见第三章)。

变阻器式传感器多采用滑线式变阻器，由于制做变阻器的电阻丝有一定的直径（即在滑动方向上有一定宽度），因此滑动键在每一匝的范围内移动时，不会有输出信号的变化，因而输出信号是阶梯形变化（图 1-3）。

对变阻器的电阻丝要求电阻率大，电阻温度系数小，有较高的允许温升。常用的材料有康铜、锰铜和铁铬铝合金等。对滑键的触头材料，要求有较高的抗氧化能力，接触热势小，一般用磷青铜片制成。在材料与结构上应保证有良好的弹性和一定的接触压力。

绕线变阻器的总电阻 R 由下式确定：

$$R = \frac{\rho \cdot l \cdot W}{S} \text{ 欧} \quad (1-4)$$

式中 ρ ——电阻丝的电阻率，欧·毫米²/米；

l ——每匝电阻丝的平均长度，米/匝；

S ——电阻丝的横截面积，毫米²；

W ——总匝数。

一般给定变阻器的电阻值，可求出金属丝的直径 d 。

变阻器式传感器的动态特性主要取决于滑键的质量与接触状况，对于角位移的变阻器式传感器，则主要由旋转部分的转动惯量来决定。此类传感器允许输入信号的最高变化频率比较低。

变阻器式传感器的主要优点是结构简单，使用方便。缺点是有滑动触点，可靠性差，灵敏度较低。

变阻器式传感器可用于测量线位移、角位移、压力等。

第三节 电容式传感器

采用电容式传感器的测量系统如图 1-4 所示。某参数 P （如力、位移等）使电容器的电容 C 变化 ΔC ，传感器接入测量电路（或信号处理的变送器）中，测量电路将电容或电容变化转换成输出信号（电压或电流）送入指示器或记录器。此测量系统的特性，取决于传感器与测量电路的组合特性。

一、基本原理与特性

最简单的电容传感器是由两个互相绝缘的金属板组成的。两个平行极板间的电容量可由下式表示：

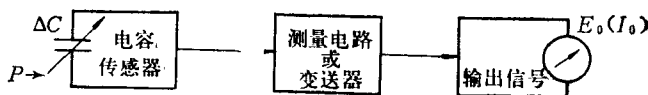


图1-4 电容式传感器的测量系统

$$C = 0.0885 \frac{\epsilon S}{\delta} \text{ 微微法} \quad (1-5)$$

式中 S ——两个极板相互复盖的面积，厘米²；

δ ——两个极板间的距离，厘米；

ϵ ——极板间介质的介电常数，空气的 $\epsilon = 1$ 。

由式（1-5）可见，在 S 、 δ 、 ϵ 三个参数中，只要改变其中任一个数值，均可使电容 C 发生变化，也就是说，可以把三个参数中的任何一个转换成电容 C 的变化，这就是电容器

式传感器的基本工作原理。根据这个原理，在实际应用中，一般可做成三种类型的电容器式传感器：(1) 改变两极板间的距离 δ ；(2) 移动极板，以改变极板间相复盖的面积 S ；(3) 改变极板间的介质，以使介电常数 ϵ 发生变化。目前应用最广泛的是前两种类型，下面分别介绍之。

1. 改变极板间距离 δ 的电容式传感器 这种类型传感器的最简单的结构就是由二个平行平板组成的电容器，如图 1-5 所示。图中极板 1 是固定不动的，极板 2 为可动的，一般称为动片。当动片 2 受被测参数 P 作用而发生移动时，就改变了两极板间的距离 δ ，从而使两极板间的电容量发生变化。设极板 2 在未移动时，两极板间的电容量为：

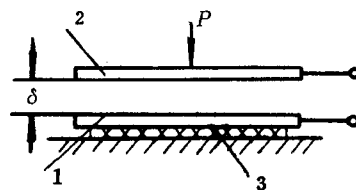


图1-5 改变极板间距离的电容传感器

$$C_0 = \frac{\epsilon S}{\delta} \quad (1-6)$$

当极板 2 移动 x 值后，其电容量为：

$$C_x = \frac{\epsilon S}{\delta - x} \quad (1-7)$$

由式 (1-7) 可见，电容 C_x 与 x 不是线性关系，而是双曲线关系，如图 1-6 所示。由曲线看出，只有使电容器工作在很小的距离内，可视为近似的线性，并有较高的灵敏度。

式 (1-7) 可改写成：

$$C_x = \frac{\epsilon S}{\delta - x} = \frac{\epsilon S(1 + \frac{x}{\delta})}{\delta(1 - \frac{x^2}{\delta^2})} \quad (1-8)$$

当 $x \ll \delta$ 时， $1 - \frac{x^2}{\delta^2} \approx 1$ ，则

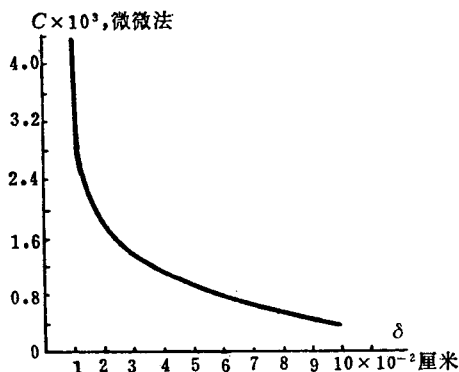


图1-6 电容 C 与极板间距离 δ 的关系

$$C_x = \frac{\epsilon S(1 + \frac{x}{\delta})}{\delta} = C_0 + C_0 \frac{x}{\delta} \quad (1-9)$$

由上式可以看出，在 x 很小时， C_x 与 x 便成近似的线性关系了。但是，电容器的容抗：

$$x_c = \frac{1}{\omega c} = \frac{\delta}{\omega \epsilon S} \quad (1-10)$$

式中 x_c ——容抗，欧；

ω ——角频率，弧度/秒；

c ——电容，法。

由此可见，电容器的容抗 x_c 与极板间距离 δ 成线性关系。因此，如果电容式传感器的输出为容抗 x_c 时，那么 x_c 就与 δ 成线性关系，无需满足 $x \ll \delta$ 这一条件了。

此类传感器的灵敏度 S_c (可动部件的机械位移变化所引起的电容变化), 可用下式表示:

$$S_c = \frac{\Delta C}{\Delta \delta} = \frac{\varepsilon S}{\delta^2} \quad (1-11)$$

由此可知, 灵敏度 S_c 与极板的复盖面积 S 成正比, 而与极板间距离 δ 的平方成反比。所以, 减小 δ 可提高传感器的灵敏度, 同时改善其线性 (见图 1-6)。理论上讲, 减小 δ 可以将灵敏度提高到任意需要的数值, 而实际上, 气隙 δ 的减小受空气击穿电压的限制, 因为 δ 过小易引起电容击穿的危险。实验 (1) 表明, 在两极板间放置高介电常数的材料 (如云母), 可以改善传感器的线性, 并可提高传感器的电容量和灵敏度。当在极板间放置云母层时, 电容器的电容量为:

$$C = \frac{S}{\frac{\delta_{\text{云}}}{\varepsilon_{\text{云}}} + \frac{\delta}{\varepsilon}} \quad (1-12)$$

式中 $\varepsilon_{\text{云}}$ 、 ε ——分别为云母层和空气的介电常数;

$\delta_{\text{云}}$ 、 δ ——分别为云母层和空气层的厚度。

2. 改变复盖面积 S 的电容式传感器 这种传感器的基本原理如图 1-7 所示。被测非电量 P 作用于可动极板 2, 改变了两极板的相复盖的面积, 从而使电容值发生变化。

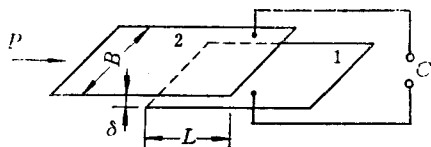


图1-7 改变复盖面积式电容传感器

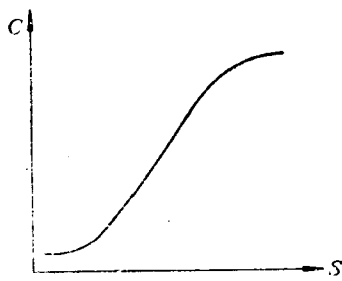


图1-8 电容 C 与复盖面积 S 的关系

若电容器极板为矩形, 两极板的复盖面积 $S = B \cdot L$ 。设 L 发生变化, 传感器的电容值 C 亦随之改变, 其值为:

$$C = \varepsilon \frac{B \cdot L}{\delta} \quad (1-13)$$

其特性曲线理论上是线性的, 实际上特性曲线如图 1-8 所示, 曲线的中间段为直线。此类传感器的灵敏度 S_c 为

$$S_c = \frac{\Delta C}{\Delta L} = \frac{\varepsilon \cdot B}{\delta} \quad (1-14)$$

从上式看出 S_c 与 ε 、 B 成正比关系。

此种类型电容器还可以做成扇形的角位移电容式传感器, 当动片旋转一角度时, 使两极板的复盖面积发生变化, 因而改变了极板间的电容量。

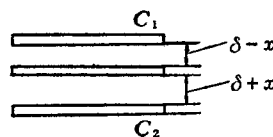
以上介绍的都是单组式的电容器。在实际应用中, 为了提高传感器的灵敏度, 常常做成差动式电容传感器。图 1-9a 是改变极板间距离的差动式电容传感器原理图, 中间一片为动

片，两边的两片均为固定片，当动片受被测参数作用移动距离 x 后，一边的间隙为 $\delta - x$ ，另一边间隙为 $\delta + x$ ，则电容量为：

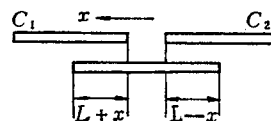
$$C_1 = \frac{\varepsilon \cdot S}{\delta - x} \quad (1-15)$$

$$C_2 = \frac{\varepsilon \cdot S}{\delta + x} \quad (1-16)$$

图 1-9 b 所示为改变极板间复盖面积的差动式电容传感器原理图。设动片与二个定片均复盖 L 长度，当动片朝一方向平移距离 x 后，则一边复盖长度为 $L + x$ ，另一边为 $L - x$ ，则电容量为：



(a)



(b)

图1-9 差动式电容传感器

$$C_1 = \frac{\varepsilon \cdot B(L + x)}{\delta} \quad (1-17)$$

$$C_2 = \frac{\varepsilon \cdot B(L - x)}{\delta} \quad (1-18)$$

差动式传感器的二部分电容，若按电桥特性接入桥臂中，则较单组式传感器的灵敏度大一倍，还具有比单组式更大的线性区域。

几种常用的电容式传感器的特性和可测的输入量范围如表1-1所示。

表1-1 电容式传感器的特性及可测的输入量范围

传感器类型	原理图	关系式	关系曲线	输入量
改变极板间距离的传感器		$C = \frac{\varepsilon S}{\delta}$		0~1毫米
改变极板间距离的差动传感器		$C = \frac{\varepsilon S}{\delta}$		0~1毫米
改变复盖面积的传感器		$C = \frac{\varepsilon S}{\delta}$		>1毫米
改变复盖面积的差动传感器		$C = \frac{\varepsilon S}{\delta}$		>1毫米
具有可变介电系数的传感器		$C = \frac{b}{\delta} [H\varepsilon_0 + h(\varepsilon - \varepsilon_0)]$		介质在极板间可移动的距离