

工厂几何量计量检验员丛书（第3分册）

电测技术基础

主 编 何 贡

副主编 许国正 庚以滦 刘瑞清

编 著 张万夫 冉多钢

中国计量出版社

图书在版编目(CIP)数据

电测技术基础/张万夫, 冉多钢编著. —北京: 中国计量出版社, 1998. 2

(工厂几何量计量检验员丛书)

ISBN 7-5026-1027-8

I. 电… II. ①张… ②冉… III. 电测法 IV. TB971

中国版本图书馆 CIP 数据核字(97)第 25199 号

内 容 提 要

本书为工厂几何量计量检验员丛书的第 3 分册。书中介绍了各类传感器、电感测微仪、测量结果的显示装置、自动分选机及主动测量系统的结构、工作原理和应用实例。该书所介绍的实例应用普遍, 具有较强的实用性。

本书可供工厂计量室、车间检验站的检验人员阅读, 也可供从事机械设计与制造的技术人员和工人参考。

中国计量出版社出版

北京和平里西街甲 2 号

邮政编码 100013

北京市迪鑫印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

版权所有 不得翻印

*

787×1092 毫米 16 开本 印张 7 字数 162 千字

1998 年 6 月第 1 版 1998 年 6 月第 1 次印刷

*

印数 1—4 000

定价: 12.00 元

前 言

产品质量是决定市场竞争成败和企业兴衰的关键因素。产品质量管理离不开计量检测技术，特别是在生产第一线，急需一批既具有一定理论知识又具有实际检测能力的检测人员。

几何量包括长度、角度和两者的综合，由于角度可用长度的比值来表示，故几何量计量人们亦习称长度计量。在各种物理量的测量中，尤其在机械制造等产业部门，几何量计量测试占有重要位置。中国计量出版社最近组编出版了一套《计量测试技术手册》，共 13 卷，字数逾 2000 万，堪称巨著，其中第二卷即为《几何量》卷。在此之前，还组编出版了一套《长度计量测试丛书》，共 20 个分册，属中级读物。本套《工厂几何量计量检验员丛书》为初级读物，主要读者对象是在生产第一线从事几何量计量检测工作的检验人员，特别是参加工作不久的年轻检验人员。丛书亦可供有关专业人员和大中专院校有关专业的师生参考。

本丛书共 9 个分册：即《通用量具与检具》、《常用光学量仪》、《电测技术基础》、《形位误差测量》、《角度测量》、《表面粗糙度测量》、《平台测量》、《螺纹测量》及《齿轮测量》。编写原则是力争全面、系统，又能少而精，突出生产中常用的基本检测技术。考虑到总篇幅的限制，对各种基础理论知识，未作详尽地介绍，对不断涌现的新技术，虽有所涉及但未全面展开叙述。有关这些方面的知识，读者可参阅其他专业书藉。

由于编者水平所限，丛书中不足之处及缺点错误在所难免，尚望广大读者多予批评指正，以便再版时进行修订。

编 者

1998 年 3 月

目 录

第一章 常用传感器	(1)
一、概述	(1)
二、电触式传感器	(1)
(一) 类型与工作原理	(1)
(二) 典型结构与转换电路	(3)
(三) 误差及调整	(5)
三、电感传感器	(6)
(一) 工作原理	(6)
(二) 类型	(7)
(三) 典型结构	(9)
(四) 转换电路与传感器总灵敏度	(11)
(五) 零点残余电压	(13)
四、互感传感器	(13)
(一) 工作原理与类型	(13)
(二) 典型结构	(15)
(三) 转换电路	(16)
五、电容传感器	(17)
(一) 工作原理与类型	(17)
(二) 典型结构	(21)
六、压电传感器	(22)
(一) 压电效应与压电材料	(22)
(二) 工作原理与压电晶片的连接	(23)
(三) 压电传感器结构用例	(23)
七、光电传感器	(24)
(一) 光电效应与光电元件	(24)
(二) 类型	(26)
八、光栅传感器	(28)
(一) 光栅及莫尔条纹	(28)
(二) 工作原理	(30)
(三) 常用光学系统	(31)
九、激光传感器	(32)
(一) 激光器及激光的特点	(32)
(二) 各类激光传感器	(33)

十、磁栅传感器	(35)
(一) 磁栅	(35)
(二) 磁头	(36)
十一、感应同步器	(37)
(一) 类型与绕组结构	(37)
(二) 工作原理	(39)
第二章 电感测微仪	(40)
一、87164-002 电感测微仪	(40)
(一) 仪器的外形及有关部位功能	(41)
(二) 仪器的组成与工作原理	(41)
(三) 转换电桥和调零电桥	(42)
(四) 量程切换器与调零切换器	(44)
(五) 相加交流放大器	(45)
(六) 相敏检波器	(45)
(七) 振荡器	(47)
(八) 直流稳压电源	(48)
二、其他电感测微仪	(48)
(一) GDH 型电感测微仪	(49)
(二) DGS-20C/A 型互感测微仪	(50)
(三) DYJ-1 型数显电感测微仪	(51)
三、电感测微仪的应用	(53)
(一) 单一尺寸测量	(53)
(二) “和差演算”测量	(53)
四、电感测微仪的调整方法	(55)
第三章 测量结果的显示装置	(57)
一、指示表式显示装置	(57)
(一) 普通指示表	(57)
(二) 积分表	(59)
二、数字显示装置	(61)
三、记录式显示装置	(65)
(一) 放大器	(66)
(二) 记录头	(66)
(三) 排纸机构	(67)
(四) 记录笔	(67)
四、打印式显示装置	(68)
第四章 自动分选机	(71)
一、概述	(71)
二、自动分选机的组成	(72)
(一) 上料装置	(72)

(二) 运送机构	(73)
(三) 测量装置	(75)
(四) 执行机构	(77)
三、程序控制系统	(79)
四、测量与控制线路	(80)
(一) 通断信号电路	(80)
(二) 连续信号电路	(81)
五、自动分选机举例	(81)
(一) 圆锥滚子自动分选机	(81)
(二) 活塞环开口工作间隙自动分选机	(82)
六、自动分选机的调整与误差	(85)
(一) 分选机的调整方法	(85)
(二) 分选机的误差	(86)
第五章 主动测量系统	(88)
一、基本原理	(88)
二、测量机构的性能要求与结构	(89)
(一) 测量机构的性能要求	(89)
(二) 测量机构的结构	(90)
三、传感器与测量信号	(95)
四、控制信号	(99)
五、自动定寸系统和自动补调系统	(100)
(一) 自动定寸系统	(100)
(二) 自动补调系统	(101)
六、主动测量技术的发展趋势	(102)

第一章 常用传感器

一、概 述

传感器是电测量仪的重要组成部分，是首要环节。几何量用的传感器，有的又称测头。传感器是保证输出电信号和输入几何量之间具有一定的对应关系，并且有一定精确度的测量部件。

图 1—1 是传感器的方框图，它一般由三部分组成：敏感元件、转换元件和转换电路。敏感元件直接感受被测几何量的变化。转换元件的作用是将被测几何量的变化转换为电参数的变化（如电阻、电感、电容等），再经转换电路转换成电信号（如电压、电流、频率等）的输出。

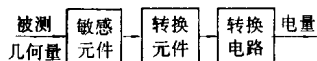


图 1—1 传感器组成框图

传感器的种类很多，目前在几何量电测技术中常用的传感器有电触式、电感式、互感式、电容式、压电式、光电式、气电式、光栅式、磁栅式、激光式及感应同步器等等。

传感器的质量好坏、准确度高对整台仪器起主要作用。由于各种传感器的原理、结构不同，使用的环境、条件、目的不同，因此对各种传感器的具体要求也不相同。但对一般要求，却基本上是共同的，如工作可靠、准确度高、长期工作稳定性好、温度稳定性好。此外，应具有结构简单、使用维护方便、抗干扰能力强等。

二、电触式传感器

电触式传感器是将被测几何量转换成电路中的电触点闭合或断开，并发出相应电信号的测量装置。其特点是只能表示被测参数是否处于给定的界限范围或是否达到一定界限值，但不能测量出被测参数的实际值。与其它传感器相比，电触式传感器结构简单，制造容易，维护和使用方便，抗干扰能力强。在较好条件下测量准确度能达到 $\pm 1\mu\text{m}$ ；在一般条件下能达到 $\pm 3\mu\text{m}$ 。常用于自动量仪、自动分选机和信号灯装置中。

（一）类型与工作原理

电触式传感器有界限式和幅值式两类。

1. 界限式电触传感器

界限式电触传感器是用来检测工件尺寸是否处在公差范围之内或是否超过公差界限尺寸。如图 1—2 所示是界限式电触传感器的结构原理图。

可调固定触点 K_1 和 K_2 根据被测工件 1 的公差带用微调螺钉 5 和 7 调整好位置。当被测工件尺寸变化时，使在弹簧 3 作用下的测杆 2 作相应的移动，T 形杠杆 4 随之转动。当工件尺

寸达到上限（或下限）值时，上（或下）活动触点 K 与固定触点 K_s （或 K_x ）闭合，接通电路，发出相应的信号；当工件尺寸在公差带以内时，活动触点 K 与 K_s 和 K_x 都不闭合，发出电路没接通的信号。

为提高测量精度和容易调整，电触式传感器多采用如图 1—2 中那样带杠杆放大的机构。

触点副的数目，界限式又可分为单界限、双界限和多界限（触点副在三个以上）三种，图 1—3a、b、c 所示分别为其原理示意图。发出信号的多少等于触点副的数目加 1。例如双界限式电触传感器有两对触点副，因而可以发出上固定触点和动触点闭合、上下固定触点和动触点都断开、下固定触点和动触点闭合三种状态的信号。

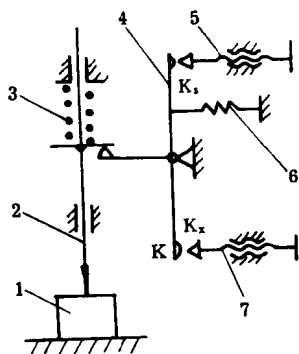
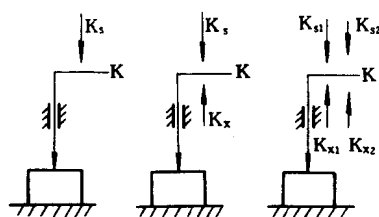


图 1—2 界限式电触传感器结构原理

1—工件；2—测杆；3—弹簧；

4—T形杠杆；5、7—微调螺钉；6—弹簧



(a) 单界限 (b) 双界限 (c) 多界限

图 1—3 三种界限式电触传感器原理示意图

2. 幅值式电触传感器

幅值式电触传感器是用来检测工件尺寸变化的幅值是否处在公差范围之内。

现以检验工件椭圆形状的圆度误差为例，说明其工作原理（图 1—4）。可调固定触点 K_s

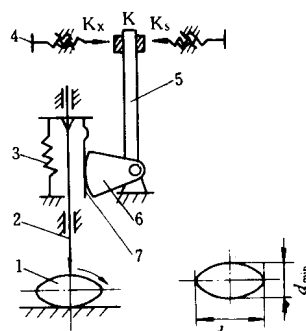


图 1—4 幅值式电触传感器工作原理

1—工件；2—测杆；3—弹簧；

4—微调螺钉；5—杠杆；

6—扇形块；7—弹性片

和 K_x 根据被测工件 1 的圆度公差 δ_d 用两个微调螺钉 4 调整好位置。若工件由图示位置顺时针方向不断转动，由于尺寸逐渐变大，测杆 2 也随之上升，与此同时，通过摩擦副（扇形块 6 和与测杆 2 固结在一起的弹性片 7 组成）带动扇形块 6 和杠杆 5 一起顺时针转动，当动触点 K 碰上固定触点 K_s 后，摩擦副打滑。当工件最大直径 d_{max} 转到测杆正下方时，测杆和扇形块处于某一接触位置。若工件继续顺时针方向不断转动，由于尺寸由最大逐渐变小，测杆由最高位置也随之下降，与此同时通过摩擦副带动扇形块和杠杆一起逆时针方向转动。当尺寸变化幅值 $\Delta d = d_{max} - d_{min}$ 超过一定值时，动触点 K 与固定触点 K_x 闭合，发出圆度超差信号。若检测过程中，K 只与 K_s 或 K_x 闭合，说明椭圆度不超差。可见幅值式电触传感器只检验尺寸变化的幅值是否超出公差范围，不能反映工件尺寸的大小。

(二) 典型结构与转换电路

1. 双界限电触传感器结构与转换电路

图 1—5 所示是一种方形双界限电触传感器结构图。测杆 1 上固定着夹块 3，夹块 3 支承在嵌入杠杆 4 内的宝石销 2 上。可调固定触点 6 的位置可用微分筒 7 进行调整，微分筒装在绝缘板 9 上。片簧 10 用来消除微分螺丝的间隙，制动片 11 防止其转动。上活动触点 5 装在杠杆上，下活动触点用片簧 14 悬固在杠杆上，当下触点副接触以后，片簧弯曲，允许测杆继续下降。杠杆悬固在十字片簧铰链上，传动比 1:5。由于使用了宝石销，除提高耐磨外，还使杠杆对壳体和测杆绝缘。可用微调螺母 13 来移动测杆调整传感器。销子 12 用来防止测杆转动。触点副通过插头 8 接入电路。

传感器的技术参数：测量范围 1mm；测杆行程 3mm；重复误差 $\pm 1\mu\text{m}$ ($\pm 3\sigma$)；零点漂移误差 $\pm 1\mu\text{m}$ ；测量力 $< 5\text{N}$ 。

图 1—6 所示为晶体管继电器转换电路，它与图 1—5 所示双界限电触传感器配用；把传感器中两对触点副 K 和 K_s 、 K 和 K_x 接于电路上。这种转换电路的作用是把传感器触点副的闭合与断开转换为电路的导通与截止，继电器的吸合与释放，输出相应的电信号。

该电路主要由晶体管 BG_1 、 BG_2 和继电器 J_1 、 J_2 等组成晶体管继电器电路。二极管 D_2 和 D_3 是保护晶体管用的。

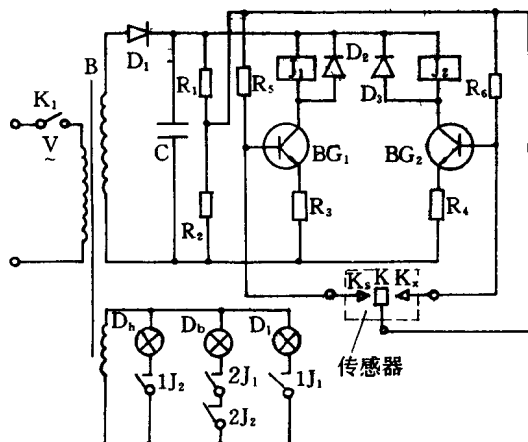


图 1—6 双界限电触传感器
用晶体管继电器电路

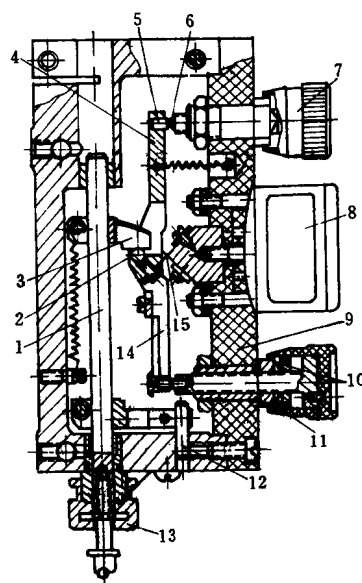


图 1—5 方形双界限
电触传感器结构

- 1—测杆；2—宝石销；3—夹块；4—杠杆；
5—上活动触点；6—可调固定触点；
7—微分筒；8—插头；9—绝缘板；
10—片簧；11—制动片；12—销子；
13—微调螺母；14—片簧；15—十字片簧

市电经电源变压器 B 降压后，其中一个次级线圈输出经二极管 D_1 半波整流和电容 C 滤波，得到直流电压供给晶体管；另一个次级线圈输出直接供给信号灯电路。

电路工作情况分析如下：

当传感器触点 K 与 K_s 和 K_x 都断开时，由于两个晶体管 BG_1 、 BG_2 的基极限流电阻 R_5 、 R_6 的阻值都很大，因而基极偏流都很小， BG_1 和 BG_2 都处于截止状态，所以继电器 J_1 和 J_2 都处于释放状态，常闭接点 2J_1 和 2J_2 闭合，只有白色指示灯 D_6 接通电源发亮，表示被测工件尺寸处于公差范围之内，是合格的。

当 K 与 K_s 接触时， R_5 被短路， BG_1 基极偏流增大而处于导通状态， J_1 吸合，常开接点

1J₁ 闭合, 绿色指示灯 D₁ 发亮, 同时常闭接点 2J₁ 断开, 白色指示灯 D₀ 不亮, 标志被测工件尺寸超出公差上限, 是不合格的; 当 K 与 K_x 接触时, R₀ 被短路, BG₂ 基极偏流增大而处于导通状态, J₂ 吸合, 常开接点 1J₂ 闭合, 红色指示灯 D₀ 发亮, 同时常闭接点 2J₂ 断开, 白色指示灯 D₀ 不亮, 标志被测工件尺寸超出公差下限, 也是不合格的。

双界限电触传感器若用于加工中测量, 配用这种转换电路可发出三个信号去控制加工过程。

2. 幅值式电触传感器结构与转换电路

图 1—7 所示是一种幅值电触传感器的结构。

测杆 1 上固定有摩擦片 2, 摩擦片与扇形块 6 之间的压力是由弹簧片 3 产生的, 压力的大小可用螺钉 4 调节。扇形块用十字片铰链支承。当测杆 1 移动时, 通过摩擦片和扇形块带动摆杆 5 回转。若被测尺寸增大时, 摆杆顺时针回转, 直至触点 K 与 K_s 相接触后, 摩擦片与扇形块打滑; 若被测尺寸减小时, 摆杆逆时针回转, 在触点 K 与 K_x 相接触后, 摩擦副也打滑。当被测尺寸幅值超出公差范围时, K 先后与 K_s、K_x 接触; 若 K 只与 K_s 和 K_x 之一接触时, 说明被测尺寸幅值没超出公差范围, 工件合格。动触点 K 和定触点 K_s、K_x 均经导线与插销 7 相联, 再接入转换电路。

这种幅值电触传感器的技术参数: 测量范围 0.2mm; 测杆行程 4mm; 重复误差 $\pm 1\mu\text{m}$ ($\pm 3\sigma$); 零点漂移误差 $\pm 1\mu\text{m}$; 测量力 2.5~3.0N。

图 1—8 为用于幅值电触传感器的晶体管继电器转换电路。该电路与图 1—6 主要区别是在限流电阻 R₅ 和 R₆ 上分别并联有常开接点 3J₁ 和 3J₂, 作用是传感器的 K 与 K_s 触点和 K 与 K_x 触点一旦接触, 就将接触状态保持住。

工作情况分析如下:

当 K 与 K_s、K_x 都断开时, J₁ 和 J₂ 都处于释放状态, 常闭接点 1J₁ 和 1J₂ 闭合, 白色指示灯 D₀ 亮; 当 K 只与 K_s 接触时, J₁ 吸合, 通过常开接点 3J₁ 闭合, 使晶体管 BG₁ 永远保持导通, 即把 K 与 K_s 接触过的状态自锁保持了。其常闭接点 1J₁ 断开、常开接点 2J₁ 闭合, 但由于白色指示灯 D₀ 是通过 1J₁ 和 1J₂ 并联接入电源的, 所以 D₀ 仍然亮, 而 D₀ 是通过 2J₁ 和 2J₂ 串联接入电源的, 因 2J₂ 接点是断开的, 所以

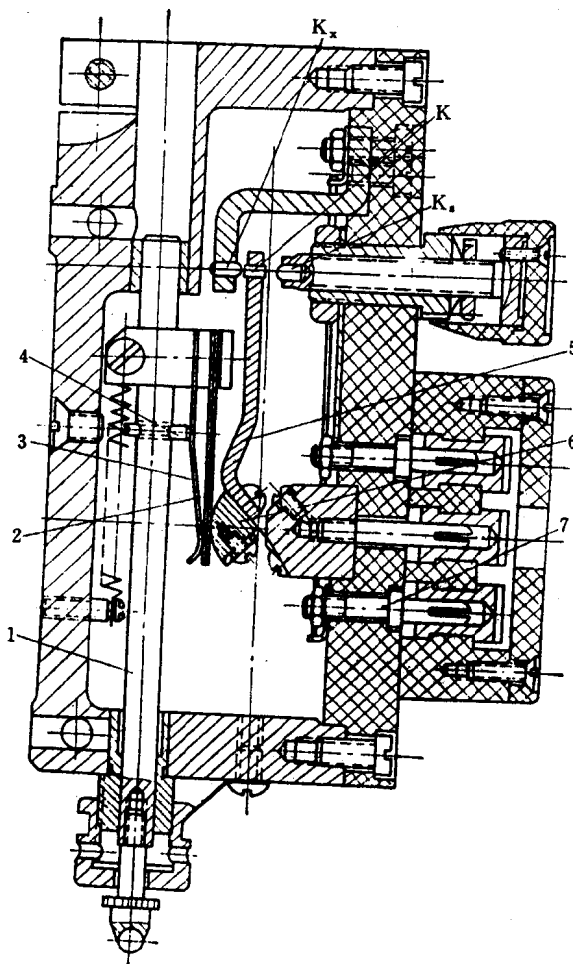


图 1—7 幅值电触传感器结构

1—测杆; 2—摩擦片; 3—弹簧片;
4—螺钉; 5—摆杆; 6—扇形块; 7—插销

2. 调整方法

电触传感器在测量工件之前, 必须对可调固定触点的位置进行调整。

对双界限传感器各触点副, 首先选择两个尺寸分别等于工件最大尺寸和最小尺寸的标准件或量块。把尺寸小的标准件或量块置于传感器测杆下方, 转动微分筒, 使可调固定触点 K_x 与活动触点 K 相接触 (见图 1—5 的件 7、6、5), 红色指示灯 D_b 亮 (图 1—6)。当把标准件多次置入测位时, 约有一半次数指示灯亮, 一半次数指示灯不亮, 即 K_x 的位置调整好。这种调整方法称为最佳调整法。用同样的方法, 把尺寸大的标准件或量块调整好 K_s 的位置。

如果是多界限电触传感器, 就得选择多个与分组界限尺寸相同的标准件, 对每对触点副分别进行调整。

这种调整方法, 具有较高的调整精度, 但一种尺寸的工件, 就需用两个标准件, 因此需要的标准件数量很多; 而且对标准件的尺寸精度和形状精度要求都很高, 故一般多用量块。

对于幅值电触传感器触点副的调整方法是首先选择一个标准椭圆件, 使标准件的长轴等于工件的最大尺寸 (即工件的长轴尺寸), 短轴等于工件的最小尺寸 (即工件的短轴尺寸)。然后把标准椭圆件的长轴置于测杆下方, 转动微分筒使 K_s 与 K 相接触 (见图 1—7), 白色指示灯 D_b 亮 (见图 1—8)。然后转动标准件时, 若有一半次数指示灯亮, 一半次数指示灯不亮, 即 K_s 位置已调整好。 K_x 位置不能调整。

三、电感传感器

电感传感器有很多优点: (1) 结构简单, 工作可靠; (2) 示值误差较小, 分辨力高, 精度高; (3) 输出阻抗小, 输出功率大; (4) 抗干扰能力强, 对工作条件要求较低, 工作稳定性好。它的缺点有: (1) 示值误差和分辨力与示值范围有关, 示值范围大, 分辨力降低, 示值误差增大 (示值误差一般为示值范围的 $0.1\% \sim 0.5\%$); (2) 频率响应低, 不适合于快速动态测量。

电感传感器是目前在几何量电测技术中应用最多的一种传感器。

(一) 工作原理

电感传感器主要是根据电磁感应原理, 把被测几何量的微小变化转换为线圈的电感量 L 的变化, 经转换电路转换成相应的电信号的测量装置。

电感传感器的工作原理如图 1—9 所示。铁芯 2 和衔铁 3 都是用导磁材料做成的, 在铁芯 2 上绕有电感线圈 1, 衔铁 3 和测杆 4 固接在一起, 这便构成了一个简单的电感传感器。在线圈上接以不变的交流电源 U , 在测杆下放上被测工件 5, 由电流表 A 读出电流值。当被测工件 5 的尺寸改变时, 从电流表 A 将读得不同的电流值。这是因为工件尺寸变化时, 测杆带动衔铁相应移动, 改变了空气隙 δ 的厚度, 使磁路的磁阻发生变化, 从而引起线圈中电感量 L 的变化。因此, 只要测出电感的变化量, 就能判断出被测工件尺寸变化的大小。

实际上, 不是通过测出线圈中电感量的变化, 来测量工件尺寸变化大小, 而是把线圈的电感接到一定的转换电路中, 将电感值的变化转换为电信号 (电压或电流或频率等) 的变化, 然后再经其它电路处理, 最后给出被测尺寸值。

设线圈的匝数为 W , 电感值 L 可按下式计算

$$L = \frac{W^2}{R_m} [\text{H}] \quad (1-1)$$

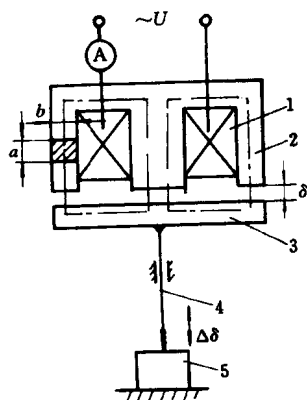


图 1-9 电感传感器原理图

1—线圈；2—铁芯；3—衔铁；
4—测杆；5—工件

式中 W ——线圈匝数；

R_m ——磁路（图中以封闭的点划线表示磁路）总磁阻。

如果空气隙厚度 δ 较小，且不考虑磁路的铁损时，则总磁阻

R_m 为

$$R_m = \left(\frac{l}{\mu S} + \frac{2\delta}{\mu_0 S} \right) [\text{H}^{-1}] \quad (1-2)$$

式中 l ——导磁体的长度 (m)；

μ ——导磁体的导磁系数；

S ——导磁体的横截面积（认为空气隙的导磁横截面积亦为 S ）(m²)；

δ ——空气隙厚度 (m)；

μ_0 ——空气的导磁系数， $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ H/m}$ 。

因为一般导磁体的导磁系数 μ 远远大于空气的导磁系数 μ_0 ，故导磁体的磁阻与空气隙的磁阻相比是很小的，计算时可将其忽略，这样将式 (1-2) 代入式 (1-1) 得线圈的电感值：

$$L \approx \frac{W^2 \mu_0 S}{2\delta} \quad (1-3)$$

式 (1-3) 就是电感传感器的基本公式。

(二) 类型

由上式可以看出，线圈匝数 W 确定之后，在空气的导磁系数 μ_0 不变的情况下，只要空气隙厚度 δ 和截面积 S 二者之一发生变化，就能引起线圈电感量 L 的变化。因此，电感传感器有气隙型、截面型和管型三种。

1. 气隙型

图 1-9 所示的传感器是通过改变气隙 δ 的变化而使电感值变化的，因只有一个电感线圈，故称单线圈气隙型电感传感器。由式 (1-3) 可知，电感量 L 与气隙厚度 δ 之间成反比关系，二者之间有如图 1-10 所示为非线性关系。

若传感器的初始工作点（初始气隙）为 δ_0 ，线圈相应的电感值为 L_0 ，当工件尺寸变化引起气隙变化 $\Delta\delta$ 时，则电感的变化为 ΔL ：

$$\Delta L = \frac{W^2 \mu_0 S}{2(\delta_0 - \Delta\delta)} - \frac{W^2 \mu_0 S}{2\delta_0} = L_0 \frac{\Delta\delta}{\delta_0 - \Delta\delta} \quad (1-4)$$

由式 (1-4) 也可看出，工件尺寸变化引起气隙变化 $\Delta\delta$ ，致使电感的变化 ΔL 之间是非线性关系。在实际应用中，常取 $\Delta\delta/\delta_0 \leq 0.1$ 。这种变气隙型电感传感器适用于小尺寸测量，一般测量范围为 0.001~1 毫米，但灵敏度高。

2. 截面型

图 1-11 所示为单线圈截面型电感传感器原理图。它是由测杆 1 与其固结在一起的磁芯

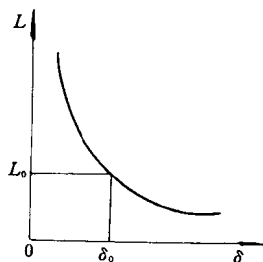


图 1—10 $L-\delta$ 的关系曲线

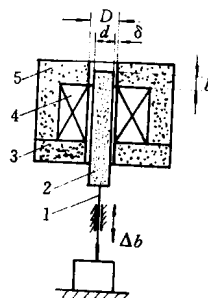


图 1—11 截面型电感传感器原理

1—测杆；2—磁芯；3—磁环；
4—线圈；5—磁筒

2、磁环 3、线圈 4 和磁筒 5 组成的。线圈的电感量按式 (1—3) 计算为：

$$L \approx \frac{\mu_0 S W^2}{2\delta}$$

其中, S 为气隙截面积, $S=ab$, a 为气隙环平均周长, $a=\pi\left(\frac{D+d}{2}\right)$, D 和 d 分别为磁筒和磁芯的内外直径; b 为磁芯和磁筒的覆盖宽度。上式表明线圈的电感量 L 与气隙截面积 S 之间成正比关系。当工件尺寸变化 Δb 引起气隙截面积的变化 ΔS (实际上是 b 变化 Δb , 故 $\Delta S=a\Delta b$), 则电感的变化为 ΔL :

$$\Delta L = \frac{W^2 \mu_0 a \Delta b}{2\delta} = L_0 \frac{\Delta b}{b_0} \quad (1-5)$$

由式 (1—5) 可看出, 工件尺寸变化引起电感的变化 ΔL 之间是线性关系。这种类型的电感传感器灵敏度较低, 但测量范围比较大。

3. 管型

图 1—12 所示为单线圈管型电感传感器的结构原理图。它的组成和截面型基本相同, 只是磁芯插入线圈的部分较小。管型电感传感器属于大气隙传感器, 不能按式 (1—3) 来计算线圈的电感值 (计算公式复杂, 在此不作推导)。当工件尺寸变化 Δz 引起磁芯在线圈上、下运动时, 将改变磁路磁阻, 使线圈电感值产生相应变化。这种类型的电感传感器结构简单, 适用于较大位移的测量, 但灵敏度低。

如将上述三种单线圈式的结构, 如图 1—13a、b、c 所示, 上、下完全对称地各安置一个。就分别做成气隙型、截面型和管型差动式 (即双线圈) 的电感传感器。这样, 当工件尺寸变化, 引起测杆相应移动时, 一个线圈的电感量增大, 另一个线圈的电感量减小。因此, 双线圈结构与单线圈结构比较, 有如下优点: (1) 线性好; (2) 灵敏度提高一倍; (3) 外界影响小, 如温度变化、电源波动、电磁吸力等的影响可以互相抵消和减小。所以实际应用中, 除了单线圈气隙型电感传感器用于主动测量中外, 其它的单线圈结构基本上不用。常用的是差动式, 特别是差动管型电感传感器用得最多。因为它的线性范围大 (即测量范围), 可达到几毫米, 制造容易, 批量生产互换性好, 易于作和差演算。虽然其灵敏度低一些, 但应用电子技术提高灵敏度很容易, 所以在生产中得到广泛的应用。

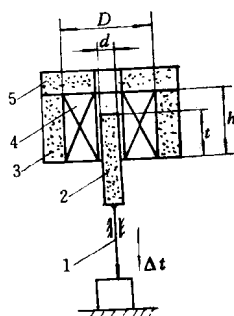


图 1-12 管型电感传感器原理

1—测杆；2—磁芯；3—磁筒；
4—线圈；5—磁环

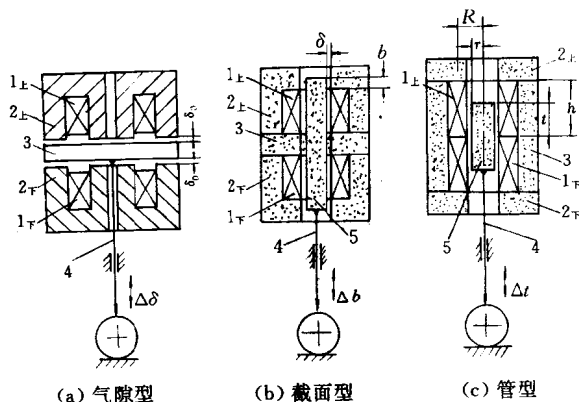


图 1-13 差动式电感传感器原理

1_上、1_下—上、下电感线圈；2_上、2_下—上、下铁芯
(或磁筒或磁盖)；3—衔铁 (或磁环或磁筒)；4—测杆；5—磁芯

(三) 典型结构

根据传感器结构型式不同，电感传感器可分为轴向式和旁向式两种。我国有专门的计量器厂家生产，也有的单位根据特殊需要自己制造。

图 1-14 所示为国产的 TDG-82 型单线圈气隙型轴向电感传感器。固定磁芯 2 和可动磁芯 4 都用磁性材料制成。在固定磁芯上绕有线圈 3，用导线 1 引出接入转换电路。可动磁芯 4 通过托盘 5 与测杆 9 联结在一起，测杆下端装有测端 12。8 是压力弹簧，产生测量力，销子 6 用来防止测杆转动。工件尺寸变化，使测杆带着可动磁芯作轴向位移，引起两个磁芯之间的气隙变化，使线圈电感量发生相应的变化。11 为密封套，防止灰尘和冷却液等侵入传感器内部，起保护作用。使用时，可夹持轴套 10 的外圆（有标准直径 $\phi 8\text{mm}$ ）或外壳 7 的外圆部位（刚度较好）。

该传感器的测杆自由行程为 2mm，初始气隙选择为 0.4mm 左右时，在 $\pm 0.1\text{mm}$ 的测量范围内，示值误差小于 $\pm 1\mu\text{m}$ ，重复误差为 $0.2\mu\text{m}$ 。

图 1-15 所示为国产的双线圈管型轴向式电感传感器结构图。可换测端 2 用螺纹拧装在测杆 4 的下端上，其前端装有耐磨玛瑙头 1。磁芯 11 通过管 9 用环氧树脂粘结在测杆 4 的上端，并置于上、下电感线圈 12 和 10 的中间位置。测杆 4 可沿密珠导轨 6 作轴向移动，为消除径向间隙，提高测量精度，并保证活动灵敏和寿命，这里采用了四排每排八粒、钢球直径差和形状误差都小于 $0.6\mu\text{m}$ 的微量过盈配合。为防止水分、有害气体、灰尘等进入传感器内部，用橡皮套 3 套在测杆 4 和测端 2 外面密封。销子 7 用来防止测杆移动过程中转动。销子 19 用来限止测杆行程，测杆自由行程不应小于 2mm。压力弹簧 8 产生约 0.2~0.4N 的测量力。线圈 12 和 10 是传感器的上、下两个电感线圈，各绕 800 匝，用线径为 0.13mm 的铜漆包线绕在同一骨架 16 上，每个线圈的电感约为 4mH，两个电感线圈用引线 14 引出接入转换电路。磁筒 13 和上、下磁盖 15、18 组成外磁路，用来减小磁路磁阻，增加电感量。当磁杆

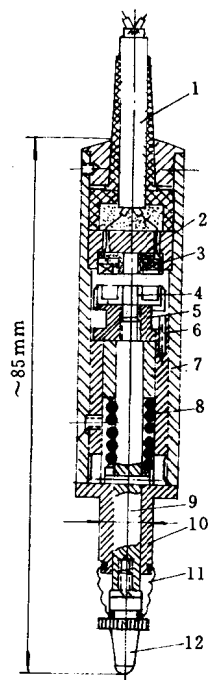


图 1—14 单线圈气隙型轴向电感传感器结构

1—导线；2—固定磁芯；3—线圈；4—可动磁芯；
5—托盘；6—销子；7—外壳；8—弹簧；
9—测杆；10—轴套；11—密封套；12—测端

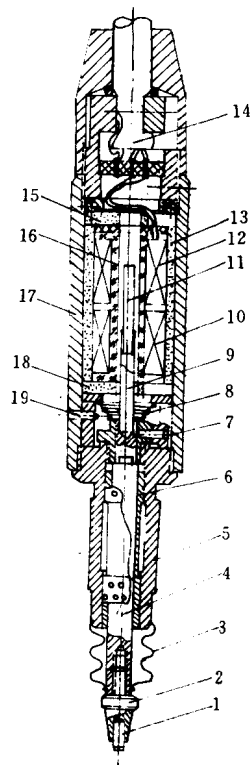


图 1—15 双线圈管型轴向式电感传感器结构

1—玛瑙头；2—测端；3—橡皮套；4—测杆；
5—轴套；6—导轨；7—销子；8—弹簧；9—管；
10—下线圈；11—磁芯；12—上线圈；13—磁筒；
14—引线；15—上磁盖；16—骨架；17—外壳；
18—下磁盖；19—销子

随工件尺寸带着磁芯在两个线圈中移动时，就使一个线圈的电感量增加，另一个线圈的电感量减小。传感器有两处夹持部位，以供传感器安装在专用测量台架上或其它仪器上使用。一处是在外壳 17 上，标准直径为 15mm，该处刚度好，在精密测量中应尽量在此处夹持；另一处是在轴套 5 上，标准直径为 8mm，该处刚度较差，应尽量少在此处夹持使用，若夹持此处时，注意夹紧力不要大，以免使轴套变形影响测杆移动的灵活性，从而影响测量精度。

图 1—16 所示为双线圈管型杠杆旁向式电感传感器结构图。可换测杆 19 用锁紧件 18 紧固在测杆座 24 内。杠杆 3 用十字片簧 17 固定在壳体 5 上，并可绕其支点在一定角度内转动。杠杆右端有一圆柱头，测杆座 24 即固定在这一圆柱头上。杠杆左端装有触点 4，它通过螺钉 6 和连杆 7 可使磁芯 8 在上、下两个电感线圈 9 内移动。上、下连杆 7 支持在上、下两个圆片簧 11 上，电感线圈置于磁筒 10 内。测量力由弹簧 12 和 16 共同产生。如图位置，由于 16 的拉力大于 12 的压力，杠杆 3 有一顺时针的测量力。当顺时针转动测力换向机构 20 至另一位置时（此位置由换向机构上另一销钉孔确定），弹簧 16 失去作用，这时测力仅有弹簧 12 产生，因而杠杆有一逆时针的测量力。这样该传感器既可在顺时针方向测量，又可在逆时针方向测

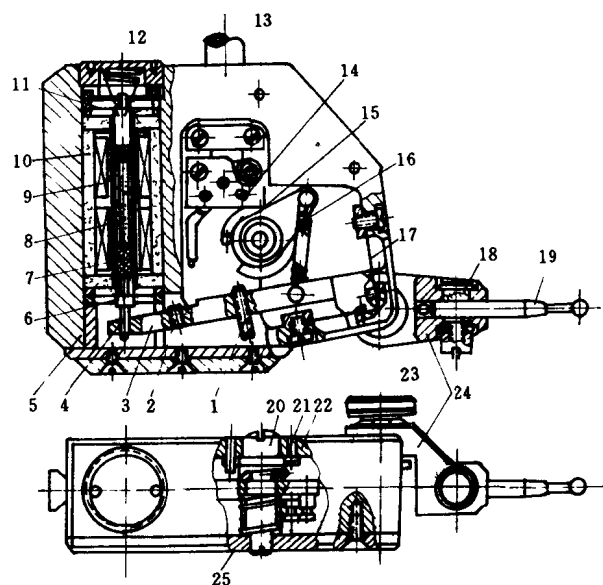


图 1—16 双线圈管型旁向式电感传感器结构

- 1、2—螺钉；3—杠杆；4—触点；5—壳体；6—螺钉；7—连杆；8—磁芯；9—线圈；10—磁筒；11—圆片簧，
12—弹簧；13—引线；14—接线板；15—销钉；16—弹簧；17—十字片簧；18—锁紧件；19—测杆；
20—测力换向机构；21—销钉；22—孔板；23—螺钉；24—测杆座；25—弹簧

量。在转动换向机构 20 时，先要将其向内压下，使销钉 21 与板孔 22 分离，然后转动至另一位置（此转角由销钉 15 限程），此时由于弹簧 25 的作用，使另一孔套入销钉 21。螺钉 1 和 2 用于限制杠杆的上、下摆动行程。两电感线圈由接线板 14 和引线 13 接入转换电路。松开螺钉 23 可以改变测杆座 24 和杠杆 3 的相对位置，以适应在不同的角度位置上进行测量。

（四）转换电路与传感器总灵敏度

1. 转换电路

电感传感器转换电路的作用，就是把电感的变化转换成电信号幅值的变化或电信号频率的变化或电信号相位的变化。分别称为调幅电路、调频电路、调相电路。下面仅介绍用得最广泛的调幅电路。

（1）谐振式电路

图 1—17a 所示为串联谐振式转换电路，它是调幅电路的一种，只能用于单线圈式电感传感器中。这里，传感器线圈电感 L 与一个固定电容 C 和变压器 B 的初级线圈电感 L_B 串联在一起，接于频率为 ω 的交流电源 U 上，变压器的次级线圈将有电压 U_0 输出，其输出电压的频率与电源频率 ω 相同，幅值随传感器电感值 L 变化。图 b 所示为输出电压 U_0 与电感 L 的关系曲线，图中 L_0 为谐振点的电感值。实际使用时，可让谐振转换电路工作在特性曲线左侧接近线性区域的一段，从而使输出电压的变化将近似正比于被测尺寸的变化。这种电路的灵敏度很高，适用于主动测量中。

（2）变压器式交流电桥