

机械工程手册

第 64 篇 长度测量自动化

(试 用 本)

机械工程手册
电机工程手册

编辑委员会



机械工业出版社



机 械 工 程 手 册

第64篇 长度测量自动化

(试 用 本)

机械工程手册
电机工程手册

编辑委员会



机 械 工 业 出 版 社

本篇包括：第1章传感器、第2章主动测量仪和第3章自动分选机。主要提供了结构、电路、参考数据和设计要点等。

机 械 工 程 手 册

第64篇 长度测量自动化

(试 用 本)

哈尔滨工业大学、合肥工业大学 主编

*

机械工业出版社出版(北京阜成门外百万庄南街一号)

(北京市书刊出版业营业许可证出字第117号)

机械工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

*

开本 $787 \times 1092^{1/16}$ · 印张 $6^{3/4}$ · 字数 187 千字

1978年1月北京第一版·1978年1月北京第一次印刷

印数 00,001—67,000 · 定价 0.53 元

*

统一书号：15033·4478

编 辑 说 明

(一) 我国自建国以来, 特别是无产阶级文化大革命以来, 机械工业在伟大的领袖和导师毛泽东主席的无产阶级革命路线指引下, 坚持政治挂帅, 以阶级斗争为纲, 贯彻“**独立自主、自力更生**”的方针, 取得了巨大的成就。为了总结广大群众在生产和科学技术方面的经验, 加强机械工业科学技术的基础建设, 适应实现“四个现代化”的需要, 我们组织编写了《机械工程手册》和《电机工程手册》, 使出版工作更好地为无产阶级政治服务, 为工农兵服务, 为社会主义服务。

(二) 这两部手册主要供广大机电工人、工程技术人员和干部在设计、制造和技术革新中查阅使用, 也可供教学及其他有关人员参考。《手册》在内容和表达方式上, 力求做到深入浅出, 简明扼要, 直观易懂, 归类便查, 以便广大机电工人使用, 有利于工人阶级技术队伍的发展和壮大。

(三) 这两部手册是综合性技术工具书, 着重介绍各专业的理论基础, 常用计算公式, 数据、资料, 关键问题以及发展趋向。在编写中, 力求做到立足全局, 勾划概貌, 反映共性, 突出重点。读者在综合研究和处理技术问题时, 《手册》可起备查、提示和启发的作用。它与各类专业技术手册相辅相成, 构成一套比较完整的技术工具书。《机械工程手册》包括基础理论、机械工程材料、机械设计、机械制造工艺、机械制造过程的机械化与自动化、机械产品六个部分, 共七十九篇; 《电机工程手册》包括基础理论、电工材料、电力系统与电源、电机、输变电设备、工业电气设备、仪器仪表与自动化七个部分, 共五十篇。

(四) 参加这两部手册编写工作的, 有全国许多地区和部门的工厂、科研单位、大专院校等五百多个单位、两千多人。提供资料和参加审定稿件的单位和人员, 更为广泛。许多地区的科技交流部门, 为审定稿件做了大量的工作。各篇在编写、协调、审查、定稿各个环节中, 广泛征求广大机电工人的意见, 坚持实行工人、技术人员和领导干部三结合的原则, 发挥了广大群众的智慧和力量。

(五) 为了使手册早日与读者见面, 广泛征求意见, 先分篇出版试用本。由于我们缺乏编辑出版综合性技术工具书的经验, 试用本在内容和形式方面, 一定会存在不少遗漏、缺点和错误。我们热忱希望读者在试用中进一步审查、验证, 提出批评和建议, 以便今后出版合订本时加以修订。

(六) 本书是《机械工程手册》第64篇, 由哈尔滨工业大学和合肥工业大学主编, 参加编写的有中原量仪厂, 天津大学等单位。许多有关单位对编审工作给予大力支持和帮助, 在此一并致谢。

机械工程手册
电机工程手册 编辑委员会编辑组

目 录

编辑说明

引 言

第1章 传 感 器

1 电感传感器与互感传感器	64-3
1.1 类型与转换电路	64-3
1.2 结构举例	64-6
1.3 零点残余电压及其补偿	64-9
1.4 设计要点	64-10
2 电容传感器	64-11
2.1 类型	64-11
2.2 转换电路	64-12
2.3 结构举例	64-13
2.4 设计要点	64-13
3 电触传感器	64-14
3.1 类型与结构举例	64-14
3.2 误差及其测定	64-16
3.3 设计要点	64-16
4 光电传感器	64-17
4.1 类型与结构举例	64-17
4.2 光电转换电路	64-20
4.3 设计要点	64-21
5 气动传感器	64-22
5.1 测量原理	64-22
5.2 气动测头	64-25
5.3 气动量仪	64-29
5.4 转换器	64-31
5.5 气动射流触发器	64-32
6 光栅传感器	64-33
6.1 计量光栅的类型与常用光路	64-33
6.2 莫尔条纹	64-35
6.3 结构举例	64-36
6.4 细分(倍频)与辨向	64-36
6.5 设计要点	64-39
7 感应同步器	64-42
7.1 类型与结构	64-42
7.2 信号处理方式	64-44
7.3 设计安装要点	64-44

8 磁栅传感器	64-45
8.1 磁栅	64-45
8.2 磁头	64-47
8.3 信号处理方式	64-48
9 激光测长装置	64-48
9.1 激光器	64-48
9.2 激光干涉测长装置	64-49
9.3 激光衍射测量装置	64-50
9.4 激光扫描测量装置	64-51
10 射线测厚装置	64-51
10.1 测厚原理及方法	64-51
10.2 射线源	64-52
10.3 探测器	64-53

第2章 主动测量仪

1 加工中测量装置	64-54
1.1 轴加工测量装置	64-54
1.2 孔加工测量装置	64-57
1.3 配磨加工测量装置	64-60
1.4 断续面加工测量装置	64-61
1.5 大直径加工测量装置	64-63
2 自动补调装置举例	64-64
2.1 无心磨床自动补调装置	64-64
2.2 双端面磨床自动补调装置	64-64
2.3 车床自动补调装置	64-65
2.4 镗床自动补调装置	64-65
3 保险测量装置举例	64-66
4 指示控制电路	64-66
4.1 指示控制电路的类型	64-66
4.2 通断信号电路举例	64-67
4.3 连续信号电路举例	64-68
4.4 计数电路举例	64-73
4.5 补调控制电路举例	64-75
5 主动测量系统的误差和调整	64-75
5.1 加工中测量系统的误差和调整	64-75
5.2 补调系统的误差及警告界限的确定	64-76
6 主动测量装置设计要点	64-77

第3章 自动分选机

1 自动分选机的组成	64-77	5.2 连续信号电路	64-88
2 测量装置	64-77	5.3 射流控制线路	64-93
2.1 机械式测量装置	64-77	6 分选机举例	64-94
2.2 使用传感器的测量装置	64-77	6.1 电触式轴承滚动体自动分选机	64-94
2.3 测量装置对分选精度的影响	64-80	6.2 互感式圆柱滚子自动分选机	64-94
3 执行机构	64-82	6.3 电感式圆锥滚子自动分选机	64-95
3.1 各种执行机构	64-82	6.4 气动式针阀体自动分选机	64-96
3.2 落料箱	64-85	6.5 气电式多参数活塞自动分选机	64-96
4 程序控制系统	64-85	6.6 球轴承装配仪测量装置	64-97
4.1 工作循环图	64-85	6.7 光电式钢球外观自动分选机	64-98
4.2 分配轴	64-86	7 分选机的误差及其测定	64-99
4.3 电子程序控制器	64-87	7.1 实测法	64-99
5 指示控制线路	64-87	7.2 分错率法	64-100
5.1 通断信号电路	64-87	7.3 双标准件法	64-100
		参考文献	64-101

引言

长度测量自动化是指机械产品零部件的几何参数、弹性、重量等物理量，也可转化为位移量实现测量数（尺寸、表面形状与位置等）的自动测量。硬度、自动化。

表64·0-1 长度自动测量的分类

类别	主 动 测 量			自 动 分 选 (被 动 测 量)
	加 工 中 测 量	自 动 补 调 测 量	保 险 测 量	
特 点	加工中测量仪与机床、刀具、工件组成闭环系统，测得的工件尺寸信号，作用于该工件本身，不仅能减小工艺系统的系统误差，还能减小偶然误差	补调测量仪与机床、刀具、工件组成闭环系统，测得工件尺寸信号，作用于后面加工的工件，以减小工艺系统的系统误差	在加工过程中，测量工件尺寸，检查工件安装情况，检查刀具状况。发现不正常现象时发出报警信号，或操纵执行机构剔除不合格工件，或使机床停止加工	对加工完毕的零部件按被测尺寸参数进行自动验收或分组
使 用 场 合	进给式工序，即工件尺寸取决于工件与刀具的相对位置，且在加工中有横向进给运动的情况，如外圆磨、内圆磨、珩磨等 中批量以上，被测参数单一，加工或配合精度要求较高，停机测量较为麻烦的场合	补调式工序，刀具磨损较快，系统误差起主要作用时，如贯穿磨削工艺中较广采用 批量较大，被测参数单一，加工精度要求较高，工艺比较稳定的场合 在某些不便使用加工中测量的场合（如车床上切屑会影响测量装置正常工作），可用按挡铁加工的方法，补调挡铁的位置以减小系统误差	工件尺寸由刀具决定（如钻孔、攻丝）的工序中 在自动加工机床上和自动生产线中，为防止产生大量废品和发生事故的场合	中、小尺寸，形状简单，大批量生产，精度要求较高的零部件 不允许废品混入合格品中，要求对全部零件进行检验时，人体不宜接触（如带放射性）的零部件，选择装配的零部件

图 64·0-1，被加工工件 2 装夹在机床上，驱动部件 5 把测量装置 3 送入测位，对工件进行测量。测量信号经指示控制线路（又称指示控制仪）4 处理后，通过执行机构 12 控制刀架 1 的进给运动。当工件达到预定尺寸时，发出停机信号，机床停止加工，测量装置 3 退出测位。测量装置 3 和指示控制仪 4 总称为加工中测量仪。

在生产自动线中，加工中测量仪往往与分选机

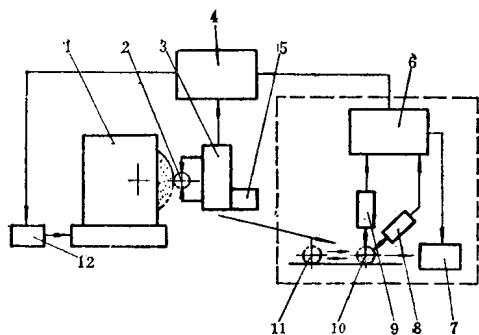


图64·0-1 加工中测量的工作原理

联用。加工后的工件 10 送入分选机中，由测量装置 9 测定尺寸，温度传感器 8 测定温度，两测量信

号经指示控制线路 6 进行处理后，操纵分选机的执行机构 7 对工件进行分选，并定时对指示控制仪 4 进行修正，以补偿加工中测量系统的零点漂移（简称零漂，下同）。同时，定期将标准件 11 送入分选机进行测量。根据测量结果补偿分选机本身的零漂，保证整个系统的加工和分选精度。

图64·0-2，加工后的工件 2 立即送到测量装置 1 中进行测量，测量结果由指示控制仪 4 指示。当工件尺寸超出一定界限时，指示控制仪发出补调信号，改变刀架 3 的位置，恢复调整时的精度，以控制后续工件的加工。测量装置 1 和指示控制仪 4 总称为自

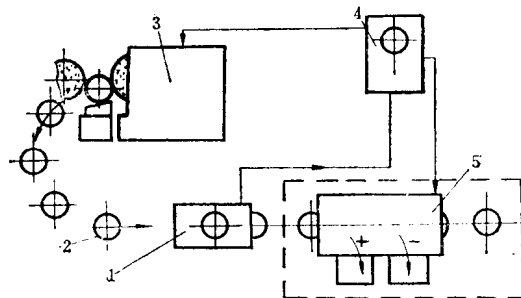


图64·0-2 自动补调测量的工作原理

动补调测量仪。在这个系统中,有时还利用上述测量信号去控制执行机构5,对工件进行自动分选。

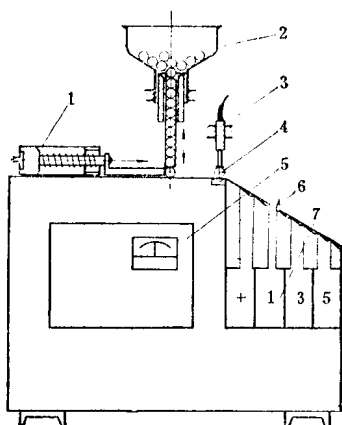


图64-0-3 自动分选的工作原理

图64-0-3,上料装置2把被测工件整理好,送料机构1把被测工件4逐个地送到测位,由测量装置3进行测量。测量信号由指示控制线路5进行处理后,操纵执行机构打开相应的活门6,送料机构把测量完毕的工件推出测位并落入相应的分选箱7内。

近年来,微型、大型、复杂形状工件的自动测量发展也很快,例如:0.01~0.1mm的细丝可利用激光衍射原理自动连续测量它的直径,精度可达0.1 μ 。大直径工件,可利用对滚法并使用光栅传感器进行自动测量,结果用数码显示。板材、带材、薄壁筒之类的工件厚度,可利用射线,微波,超声波进行双面或单面测量。复杂形状的工件,可采用多个测头进行自动巡回测量,或利用工业电视扫描法和标准样板作比较测量;工件内表面形状可利用激光全息照相术测量;由计算机提供理论数据与被测工件形状作比较测量等。

第1章 传 感 器

传感器的作用是将被测工件的几何参数转换为便于处理的物理参数(如电参数或气参数等),经控制线路进行放大和信号处理,最后进行指示并控制执行机构。

传感器是自动测量仪器的关键部件。对它的主要要求是:精度高、工作可靠、长期工作稳定性好、温度稳定性好、结构简单、使用维护方便、抗干扰能力强。

表64-1-1 常用传感器的比较

类 型	示 值 范 围 mm	示 值 误 差① μ	对环境的要求	特 点	应 用 场 合
电 感 互 感	$\pm(0.003\sim1)$ ②	示值范围0.1mm以下: $\pm(0.05\sim0.5)$	对环境要求低,抗干扰能力强;一般有密封结构	使用方便;信号可进行各种运算处理;可给出示值和发出多分组信号	一般自动测量
电 容	$\pm(0.003\sim0.1)$ ②	与电感传感器相似	易受外界干扰,要考虑良好的屏蔽;要密封	传感器两只电容接入桥路的零残电压小,能进行高倍放大以达到高灵敏度;频率特性好;信号处理与电感传感器相似	在自动测量领域内有一定的应用;可测带磁工件或电缆芯偏心等特殊参数
电 触	0.2~1	$\pm(1\sim2)$	对振动较敏感;一般应有密封结构	只能指示被测参数是否处于公差范围内或是否达到某一定值;结构简单;电路简单;反应速度快;测力大	自动分选机与主动测量仪
光 电	按应用情况而定		易受外界杂光干扰,要有防护罩	便于实现非接触测量;反应速度快	检测外观、小孔、复杂形状等特殊场合,或与其它原理结合使用
气 动	$\pm(0.02\sim0.25)$	示值范围 ± 0.04 mm以下; $\pm(0.2\sim1)$	对环境要求低	便于实现非接触测量;可进行各种运算;因气体惯性,反应速度慢;压缩空气要净化	各种尺寸与形位的自动测量,特别是内孔、各种内表面、软材料工件等

(续)

类型	示值范围 mm	示值误差① μ	对环境的要求	特 点	应 用 场 合
光 栅	大 位 移	$\pm(0.2\mu + 2 \times 10^{-6}L)$ ③ $\pm 0.5''$ (测角)	油污灰尘会影响工作可靠性,应有防护罩	信号易数字化;精度较高	大位移静态与动态测量, 程控、数控机床中用作测量元件
感 应 同步器	大 位 移	$\pm 2.5\mu/250\text{mm}$ $\pm 1''$ (测角)	对环境要求低	信号易数字化;结构简单,接长方便	
磁 栅	大 位 移	$\pm(2\mu + 5 \times 10^{-6}L)$ $\pm 5''$ (测角)	易受外界磁场影响,要进行磁屏蔽	信号易数字化;结构简单,录磁方便;成本低	
激 光	大 位 移	$\pm(0.1\mu + 0.1 \times 10^{-6}L)$	环境温度、湿度、气流对其稳定性有影响	信号易数字化;精度很高	精度要求高,测量条件较好
射 线	0.005~300	$\pm(1\mu + 1 \times 10^{-2}L)$	受温度影响大(指电离室)	非接触测量	轧制板、带及镀层的厚度的自动测量

① 指利用该原理的测量装置所能达到的示值误差; ② 特殊设计, 示值范围可达100mm或更大; ③ L—被测长度。

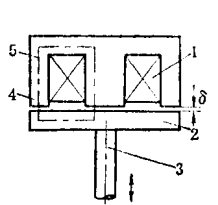
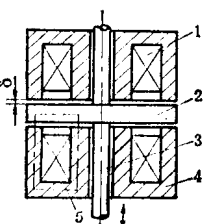
传感器应有的示值范围与被测工件几何参数的公差有关,在主动测量中还与加工余量有关。信号的类型(模拟或数字),模拟信号在被测长度单位变化时的输出量(即mV/μ或mmH₂O/μ)、数字信号的幅度及数字当量等,在很大程度上决定了控制线路的选择和设计。在自动测量平均直径、表面形状或相互位置时,有时需要进行和差演算,

这时采用气动传感器特别简单。对软、薄材料工件的自动测量,应选用合适的传感器以实现非接触测量。

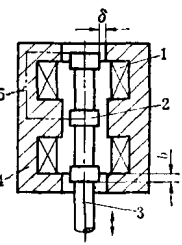
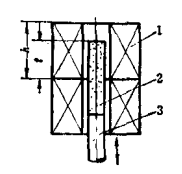
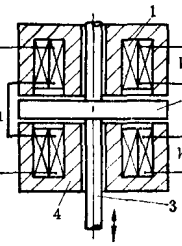
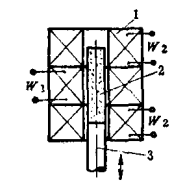
1 电感传感器与互感传感器

1.1 类型与转换电路

表64-1-2 电感和互感传感器的类型

类型	原 理 图	工作原理	电感或互感量计算式	电感或互感量 相对变化计算式	灵敏度	线性范围 (非线性 误差1%)	总行程
电 感 传 感 器		测杆移动时,气隙厚度δ变化引起线圈电感量变化	$L \approx \frac{W^2 \mu_0 S}{2 \delta}$	$\left \frac{\Delta L}{L_0} \right \approx \left \frac{\Delta \delta}{\delta_0} \right $	较 高	$\frac{\delta_0}{10}$	受 δ ₀ 限制
		测杆移动时,上下气隙厚度变化引起两个线圈电感量变化			比单线圈高一倍	$\frac{\delta_1}{5}$	

(续)

类型	原理图	工作原理	电感或互感量计算式	电感或互感量 相对变化计算式	灵敏度	线性范围 (非线性 误差1%)	总行程
电 感 式 传 感 器		测杆移动时, 通磁面积变化引起电感量变化	$L \approx \frac{W^2 \mu_0 S}{\delta}$	$\frac{\Delta L}{L_0} = \frac{\Delta b}{b_0}$	中	$\frac{b_0}{3}$	按 需 安 排
		测杆移动时, 上下线圈自感磁链变化引起电感量变化	$L = \frac{[hR^2 + (\mu_r - 1)rt^2]\pi\mu_0 W^2}{h^2}$	$\frac{\Delta L}{L_0} = \frac{\Delta t}{t'_0} \approx \frac{\Delta t}{t_0}$	较 低	$\frac{h}{5}$ 将线圈 绕成图 64·1-1 所示台 阶状可 扩大量 程	按 需 安 排
互 感 式 传 感 器		测杆移动时, 气隙厚度 delta 变化引起互感量变化	$M \approx \frac{W_1 W_2 \mu_0 S}{2\delta}$	$\left \frac{\Delta M}{M_0} \right \approx \left \frac{\Delta \delta}{\delta_0} \right $	较 高	$\frac{\delta_0}{5}$	受 delta_0 限 制
		测杆移动时, 互感磁链变化引起互感量变化	理论计算较为复杂, 可由 实验测定	$\frac{\Delta M}{M_0} = \frac{\Delta t}{t'_0} \approx \frac{\Delta t}{t_0}$	较 低	$\frac{h}{5}$ 将线圈 绕成图 64·1-1 所示台 阶状可 扩大量 程	按 需 安 排

1—线圈 2—活动磁心 3—测杆 4—固定磁心 5—磁力线
 L —单个线圈电感量H L_0 —工作点原始电感量H W —线圈匝数
 δ —气隙厚度 cm δ_0 —工作点原始气隙厚度 cm
 S —气隙磁通面积 cm^2 b —气隙宽度 cm b_0 —原始气隙宽度 cm
 $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-10}$ H/cm—空气导磁系数 μ_r —磁心相对导磁系数
 h —单个线圈高度 cm R —线圈平均半径 cm r —磁心半径 cm
 t —磁心伸入线圈深度 cm t_0 —磁心原始伸入深度 cm
 $t'_0 = t_0 \left[1 + \left(\frac{h}{t_0} \right) \left(\frac{R}{r} \right) \times \left(\frac{1}{\mu_r - 1} \right) \right]$ —磁心折合伸入深度 cm
 M —互感量H M_0 —工作点的原始互感量H
 W_1 —初级线圈匝数 W_2 —次级线圈匝数

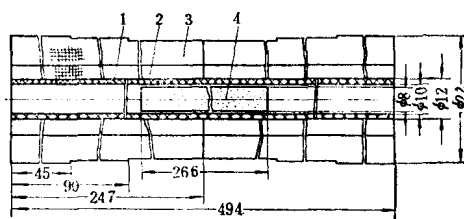
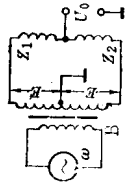
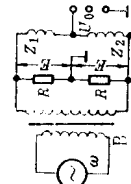
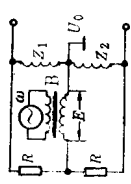
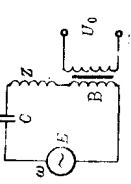


图64·1-1 量程为 $\pm 75\text{mm}$ 的互感传感器的线圈磁心部件

1—骨架 2—初级线圈 3—次级线圈 4—磁心

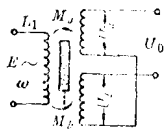
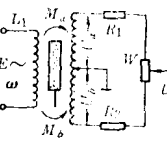
表64.1-3 与电感传感器配用的转换电路

转 换 电 路	空 载 输 出 电 压 U_0	空 载 灵 敏 度 k_0	特 点
差 动 电 路 	$U_0 = \frac{E\omega L_0}{\sqrt{r^2 + (\omega L_0)^2}} \cdot \frac{\Delta L}{L_0} \approx E \cdot \frac{\Delta L}{L_0}$	与气隙式传感器配用 $k_{01} = \frac{U_0}{\Delta \delta} = \frac{E\omega L_0}{\sqrt{r^2 + (\omega L_0)^2}} \cdot \frac{1}{\delta_0} \approx \frac{E}{\delta_0}$ 与管式传感器配用 $k_{02} = \frac{U_0}{\Delta t} = \frac{E\omega L_0}{\sqrt{r^2 + (\omega L_0)^2}} \cdot \frac{1}{t'_0} \approx \frac{E}{t'_0}$	使用元件少，输出阻抗小；若负载电阻很大，则电路本身的特性是线性的；应用较广
桥 式 电 路 (一) 			开路时电路本身的特性是线性的；输出阻抗比上一种大，设置R有助于电桥平衡，但不接地的次级线圈容易带来（来自初级）静电感应电压，使高倍放大器不能正常工作
桥 式 电 路 (二) 	$U_0 = \frac{2R\omega L_0 E}{(R+r)^2 + (\omega L_0)^2} \cdot \frac{\Delta L}{L_0}$	$k_{01} = \frac{2R\omega L_0 E}{(R+r)^2 + (\omega L_0)^2} \cdot \frac{1}{\delta_0}$ $k_{02} = \frac{2R\omega L_0 E}{(R+r)^2 + (\omega L_0)^2} \cdot \frac{1}{t'_0}$	变压器次级线圈接地，可避免静电感应干扰；开路时电路本身的特性呈非线性，因而只能应用于示值范围不大的场合
谐 振 电 路 	$\Delta U_0 = A_1 \frac{\Delta L}{L_0}$ $A_1 = \frac{\omega^2 L_0 L_0 n E}{\left\{ r^2 + \left[\omega (L_0 + L_n) - \frac{1}{\omega C} \right]^2 \right\}^{1/2}}$	与气隙式单线圈传感器配用 $k_0 = A_1 \cdot \frac{1}{\delta_0}$	谐振电路灵敏度很大，单线圈传感器的非线性严重，目前只应用于加工中测量

注：桥式电路（包括差动电路）也可与单线圈电感传感器配用，这时有一桥臂放一个固定电感，输出电压与灵敏度是表中所列的二分之一

表中符号：Z (Z_1, Z_2)—传感器电感线圈阻抗； $Z = r + j\omega L$ —线圈有效阻抗 L—电感 $\omega = 2\pi f$ f—电源频率 R—电阻 C—电容 B—变压器 E—激励电压 L_0 —变压器初级线圈电感 n—变压比，其它符号见表64.1-2

表64-1-4 与互感传感器配用的转换电路

转 换 电 路	空载输出电压 U_0	空载灵敏度 k_0	特 点
反串 电路 	$U_0 = 2U_{a0} \cdot \frac{\Delta M}{M_0}$	$k_0 \approx 2U_{a0} \cdot \frac{1}{t_0'}$	使用元件少；输出电压与灵敏度比桥式电路高一倍
桥式 电路 	$U_0 = U_{a0} \cdot \frac{\Delta M}{M_0}$	$k_0 \approx U_{a0} \cdot \frac{1}{t_0'}$	利用 W 可进行电调零

表中符号 L_1 —初级线圈电感 M_a, M_b —互感 M_0 —工作点原始互感 U_{a0}, U_{b0} —一次级感应电压 $U_{a0} = E \omega M_0 / \sqrt{r_1^2 + (\omega L_1)^2}$
—工作点 单个次级线圈的感应电压 其他符号见表 64-1-2

表中 k_0 指总灵敏度
 $k_0 = k_c \cdot k_D = U_0 / \Delta x$

式中传感器灵敏度 $k_c = (\Delta L / L_0) / \Delta x$ 或 $(\Delta M / M_0) / \Delta x$, Δx —测杆位移
转换电路灵敏度 $k_D = U_0 / (\Delta L / L_0)$ 或 $U_0 / (\Delta M / M_0)$, U_0 —空载输出电压
通常希望 k_0 不小于数百 $\mu V / \mu$, 以便于后面放大器的设计

1.2 结构举例

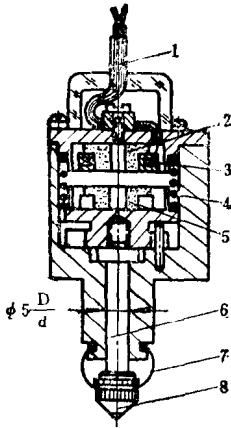


图64-1-2 轴向式单线圈电感传感器

1—引线 2—固定磁心 3—线圈 4—测力弹簧
5—活动磁心 6—测杆 7—密封套 8—量端

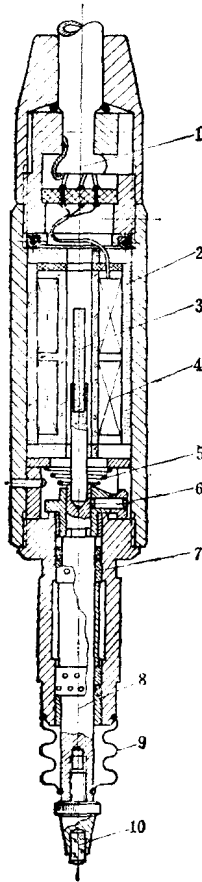


图64-1-3 轴向式电感传感器之一
1—引线 2—固定磁筒 3—活动磁心 4—线圈 5—测力弹簧 6—防转销 7—钢球导轨 8—测杆 9—密封套 10—量端

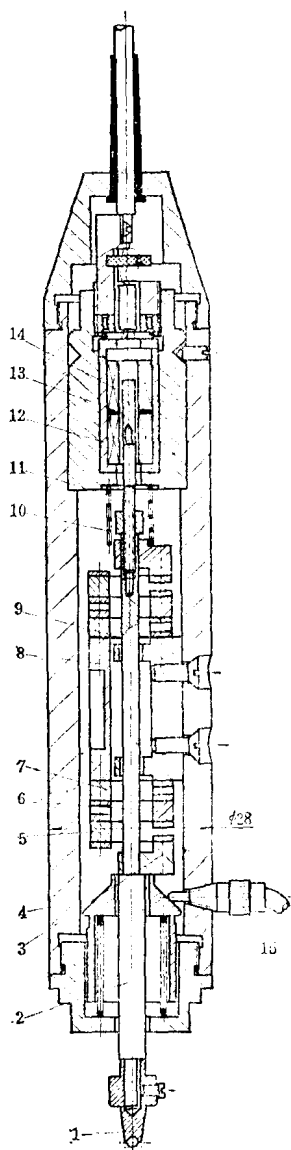


图64-1-4 轴向式电感传感器之二
1—量端 2—测杆 3—支架 4—外壳
5—左框架 6—右框架 7—垫块 8—
联结架 9—多层片簧导轨 10—测力弹
簧 11—磁心轴 12—线圈盒 13—磁
心 14—线圈 15—快门式抬头机构

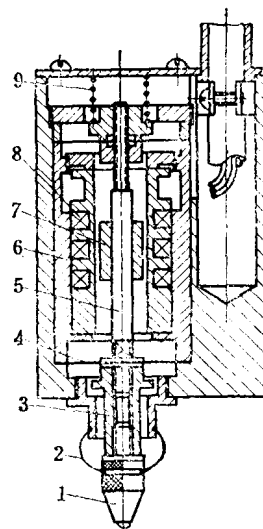


图64-1-5 轴向式互感传感器
1—量端 2—密封套 3—轴套 4—片簧导轨
5—测杆 6—磁筒 7—活动磁心 8—线圈
9—测力弹簧

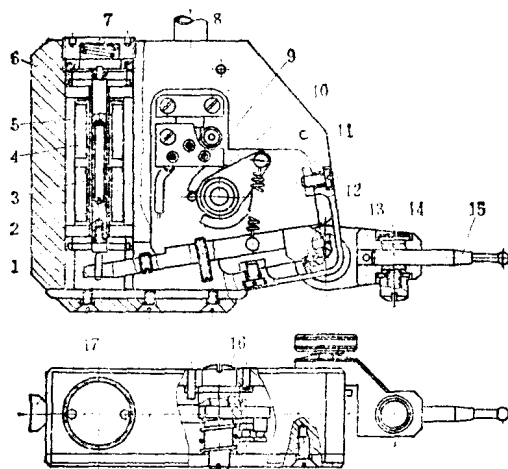


图64-1-6 旁向式电感传感器
1—杠杆 2—磁心轴 3—磁心 4—线圈 5—固定磁
筒 6—片簧导轨 7—测力弹簧 8—引线 9—接线板
10—测力换向器限位钉 11—测力换向弹簧 12—片簧
支承 13—量端座 14—锁紧器 15—测杆 16—测力
换向钮 17—装夹枝条

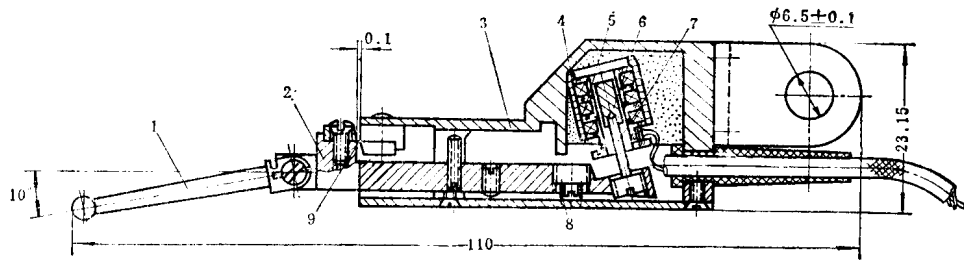


图64-1-7 旁向式互感传感器

1—测杆 2—杠杆 3—主体 4—线圈盒 5—线圈 6—磁心 7—磁心轴
8—测力弹簧 9—片簧铰链

表64-1-5 几种电感互感传感器的特点及参数

传感器类别		轴 向 式			旁 向 式		
		单线圈电感传感器	电 感 传 感 器		互感传感器	电感传感器	互感传感器
图 例		图64-1-2	图64-1-3	图64-1-4	图64-1-5	图64-1-6	图64-1-7
结 构 特 点		优点：结构简单，制造容易，电感量大，抗干扰能力强 缺点：非线性，滑动导轨有间隙，精度不高，电磁吸力大	优点：滚动导轨，精度高，磨损小，寿命长 缺点：制造装配较复杂	优点：多层片簧导轨，精度高，行程大，测力变化不大 缺点：径向受力敏感	优点：片簧导轨，精度高 缺点：径向受力敏感，行程小，测力变化大	优点：回转支承用片簧，精度高 缺点：行程小，测力变化大，体积小，结构复杂	优点：结构简单，体积小 缺点：单片簧支承精度较低，测力变化大，行程小
技 术 参 数 与 参 考 数 据	示值变差 μ°	0.2	0.05	0.03	0.1	0.1	0.3
	测 力 gf	170~250	20~36	65~100	200~250	15~35	12~18
	总 行 程 mm	3	3	3	2	± 1	± 1
	转换电路	串联谐振电路	差动电路	桥式电路	桥式电路	差动电路	桥式电路
	供电电压 V	20	2×0.9	2×1.0	3 (初级激磁电压)	2×0.9	3 (初级激磁电压)
	供电频率 Hz	10000	10000	6000	4000	10000	4000
	灵 敏 度 mv/ μ	200	0.14	0.16	0.1	0.14	0.1
	窗口面积 mm ²	8.3	2×19.4	2×17	3×8.7	2×19.4	3×4
	导线直径 mm	0.16	0.13	0.1	0.05	0.13	0.07
	线圈匝数	190	2×800	2×1000	3×1400	2×800	3×750
	磁芯材料	MX-1000(2000)	MX-1000	1J 50	铁镍合金(Ni45%)	MX-1000	1J 50
	轮 廓 mm	$27 \times 31.5 \times 75$	$\phi 15 \times 94$	$\phi 28 \times 172$	$21 \times 29 \times 60$	$20.5 \times 42 \times 80$	$14 \times 23 \times 110$
	重 量 g	400	110	420	190	350	200

上列传感器，旁向式比轴向式结构复杂，精度略低，但在测量内表面时，使用方便。测杆导轨或回转支承的结构，有滑动的、滚动的和片簧的。它们对传感器的机械精度（如示值变差、回程误差、不灵敏限等）、使用寿命和轮廓尺寸等有很大影响。

1.3 零点残余电压及其补偿

使用桥式电路（包括差动电路与反串电路）时，磁心位移 S 与输出电压 U_0 的关系曲线见图 64-1-8。虚线表示理论特性曲线，实线表示实际特性曲线。磁心处于零位时交流电桥不平衡，输出电压 U_0 不等于零，而有零点残余电压 e_0 存在。这时输出电压可表示如下：

$$U_0 = \sqrt{a(\Delta L)^2 + b}$$

或

$$U_0 = \sqrt{a(\Delta M)^2 + b}$$

式中 a 和 b 为与传感器参数及电路有关的常数。

当 $\Delta L = 0$ 或 $\Delta M = 0$ 时

$$U_0 = e_0 = \sqrt{b}$$

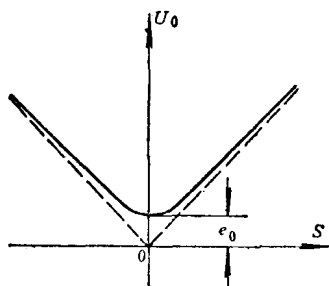


图64-1-8 轴输出电压与磁心位移的关系曲线

若 e_0 值太大，则非线性误差增大，不同档位的放大倍数有显著差别，甚至造成放大器末级趋于饱和，以致仪器不能正常工作。

表64-1-6 零残电压的产生原因与减小措施

成分	产生原因	减小 e_0 的设计与工艺措施
基波	电感传感器： 1. 激励电源变压器两个副边不对称 2. 两电感线圈等效电路（图64-1-9）参数不对称 互感传感器： 两互感线圈等效电路（图64-1-10）参数不对称	1. 磁路设计要对称 2. 磁心材料要均匀，热处理质量要好 3. 线圈品质因数要高 4. 两线圈绕制要均匀一致
高次谐波性	1. 激励电源的谐波成分 2. 磁心的磁化曲线非线性	1. 激励电源正弦波波形要好 2. 让磁心工作在磁化曲线线性段

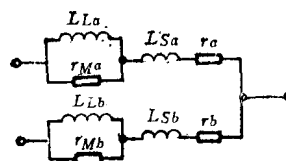


图64-1-9 电感传感器等效图

L_{La} 、 L_{Lb} —与磁心磁通交链部分线圈电感
 L_{Sa} 、 L_{Sb} —不交链部分线圈的电感 r_{Ma} 、 r_{Mb} —铁损等效电阻 r_a 、 r_b —铜损等效电阻

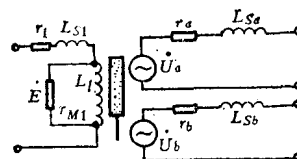


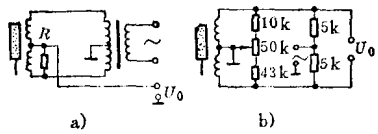
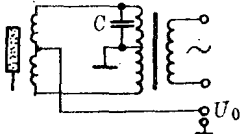
图64-1-10 互感传感器等效图

$\dot{U}_a$ 、 $\dot{U}_b$ —一次级感应电压 r_a 、 r_b —一次级铜损等效电阻 L_{Sa} 、 L_{Sb} —漏感

表64-1-7 电感传感器零残电压补偿法

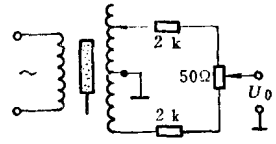
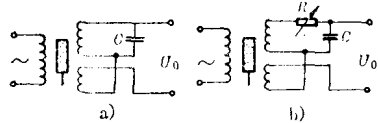
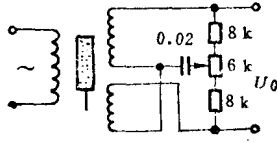
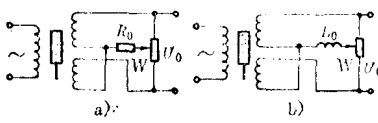
补偿电路①	说明
	串联电阻，调整两臂电阻分量，取得平衡。图 a 用试探法在某一臂接入电阻 R (0.1~5Ω)，图 b 用电位器调节

(续)

补 偿 电 路①	说 明
 a) b)	并联电阻, 调整铁损的平衡, 同时可改变流入电感线圈电流的大小, 即改变磁化曲线工作点, 以减小高次谐波的影响。图 a 用试探法接入 R (几十K至几百K), 图 b 用电位器调节
	当振荡器次级线圈两半不对称, 可将传感器拔去, 用两阻值相同的电阻代替, 用试探法并联电容 C (100~500PF) 调节

① 三种方法可单独使用或并用。

表64-1-8 互感传感器零残电压补偿法

补 偿 电 路	说 明
	制造时用拆圈的方法使两个互感相等。电位器 (50Ω) 用作电调零
 a) b)	由于两感应电压相位不同, 并联电容 C 改变其一的相位。图 b 中还可串联电阻 R 调整次级线圈的电阻分量
	并联电位器 (6K), 改变两次级线圈输出电压的相位。接入电容 (0.02) 的目的是防止调整电位器时会使零点移动
 a) b)	接入 R_0 (几百K) 或补偿线圈 L_0 (几百匝, 它要绕在传感器的初级线圈上) 减小负载上的电压, 以避免负载不是纯电阻而引起较大的零点残余电压

1.4 设计要点

a. 轮廓的选择 要求 (1) 必要的线圈匝数, 以保证线圈有足够的电感量和较高品质因数;

(2) 夹持方便, 轴向传感器的夹持部分外径常为

$\phi 28$ 、 $\phi 15$ 、 $\phi 8$, 其中采用 $\phi 8$ 的较多; 旁向传感器常有专门的夹持部分; (3) 轴向传感器常作成细长形, 使测杆有足够的导向长度, 减小测杆倾斜引起的误差。

b. 线圈骨架的选择 骨架材料应采用热膨胀