

摘要：针对在工件尺寸测量精度要求较低的应用场景中，使用电感式笔式传感器成本偏高、操作不方便等原因，本文设计一款柱式容栅传感器。该柱式传感器基于容栅技术，通过对该传感器进行独特的柱式结构设计及基本硬件设计，使其能够实现工件尺寸的测量。本文设计的柱式容栅传感器采用 RS485 接口，可与大部分工控设备通信，其精度较高（0.01mm），尺寸较小（直径 20mm），可尽可能多地布置于生产工件表面，实现多点以及多路测量，能够很好的满足中低端市场应用需求。

关键词：容栅技术；柱式；传感器

中图分类号：TP212

文献标识码：A

文章编号：1006-883X(2020)11-0007-04

收稿日期：2020-07-27

基于容栅技术的柱式传感器的研究

王玉珍 贺小军 张磊 姚奇

北京航天试验技术研究所，北京 100074

一、引言

近年来，随着传感器技术迅速发展，为适应更多行业领域的特殊测量场景，市面上出现多款笔式传感器。由于笔式传感器整体尺寸较细，可以将其尽可能多地布置到测量工件表面，从而更精确地对工件进行测量，所以该传感器能够应用于实际生产中精度要求较高的工件的尺寸测量与还原。

目前，市面上笔式传感器多为电感式笔式传感器。电感式位移传感器是一种基于法拉第电磁感应定律，将微小的被测位移输入量转换成线圈电感量变化，再经过测量电路转换成电流或电压输出量，实现非电量电测的传感器^[1]。该传感器具有精度高（0.001mm）、尺寸细（直径 8mm）的优点，但其多为国外厂家垄断，价格较高。由于电感式笔式传感器的特定工作原理，需要定期对电感传感器进行校准，使用极不方便；其次，该传感器的分辨力与测量范围相关，不适合高频动态测量，并且对被测工件材质有特定要求^[2]。

基于上述原因，本文提出研发一款基于容栅技术的柱式传感器，即柱式容栅传感器，便为市场亟需。

该传感器精度较高、尺寸较小、成本较低，与电感式笔式传感器互补，可方便应用于中低端市场。

二、容栅位移传感器基本工作原理

容栅位移传感器属于变面积类型的电容式传感器，可实现较大位移量的测量。该传感器具有直线型、圆形及筒形多种不同结构形式，本文选择直线型容栅位移传感器，对直线位移进行测量。

容栅位移传感器基本工作原理示意图如图 1 所示。容栅位移传感器主要包括两部分：动栅板和定栅板。动栅板正面放置容栅芯片等测量模块元器件，背面由规则排列的发射电极及长条状的接收电极构成；定栅板由互相绝缘的反射电极和屏蔽部分组成^[3]。一般将 8 个发射电极作为一组，并对应一个反射电极。将每组发射电极由 1~8 进行编号，当对每组编号一致的发射电极施加频率、幅值、相位均相同的激励信号，对每组相邻不同编号的发射电极施加幅值相同、相位差为 $\pi/4$ 的激励信号时，由于反射电极分别和发射电极、接收电极互相构成平板电容器，则根据电容耦合及电

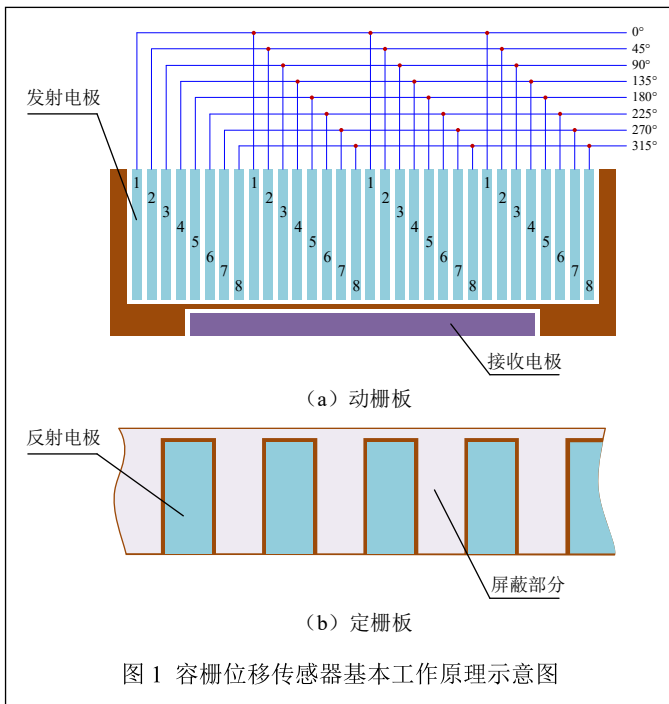


图1 容栅位移传感器基本工作原理示意图

荷传递原理，反射电极、接收电极均感应到电荷，从而产生电压，而接收电极处的电压即为容栅传感器的输出信号^[4-5]。

当动栅板相对定栅板进行移动的过程中，发射电极和反射电极对应面积改变，从而引起反射电极、接收电极电荷量的改变，通过分析，最终会引起传感器输出信号明显的相位变化，将该输出信号经测量电路处理后，即可获得位移值^[6]。

三、柱式容栅传感器设计

该柱式容栅传感器的研发包括传感器结构设计和硬件电路设计两部分。

1、结构设计

该柱式容栅传感器结构设计包括整体结构设计、内部结构设计两部分。

(1) 整体结构设计

常用的容栅式位移传感器体积较大，而本文设计的容栅式柱式传感器尺寸适中。相比之下，该柱式传感器能够更多地布置于待测工件表面。

本文设计的柱式容栅传感器柱体直径 20mm、长度 60mm、总长 90mm（不包括信号输出线长度），该

传感器的整体结构设计示意图如图 2 所示。1 为测量探头，与被测工件接触；2 为测量杆，当测量探头与被测工件接触后，带动测量杆前后移动（相对测量杆轴管）；3 为测量杆轴管，测量被测工件时，通过夹具固定该测量杆轴管；4 为柱式传感器柱体结构，内部放置柱式传感器动栅板及定栅板等；5 为信号输出线，由于该柱式传感器不具有显示功能，所以测量数据通过数据信号线输出。

(2) 内部结构设计

柱体容栅传感器的内部结构设计示意图如图 3 所示。传感器动栅板底部制作有容栅传感器的动栅；动栅板正对定栅板，通过安装孔固定于传感器柱体。与图 2 相同，当测量探头与被测工件接触后，带动测量杆前后移动。传感器定栅板固定于传感器测量杆处，由测量杆带动定栅板前后移动。

综上所述，柱体容栅传感器的结构设计原理为：柱式传感器动栅板固定不动，当测量探头接触被测工件后引起测量杆移动，从而带动定栅板移动，使动栅板、定栅板产生相对移动。上述过程将机械位移量转变为电容量的变化，通过电路转化等可进行位移测量。

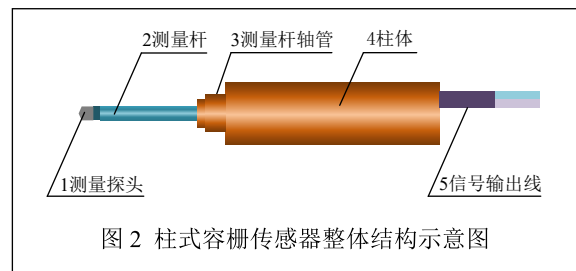


图2 柱式容栅传感器整体结构示意图

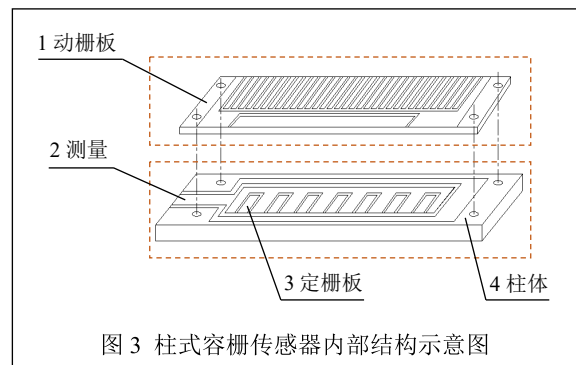


图3 柱式容栅传感器内部结构示意图

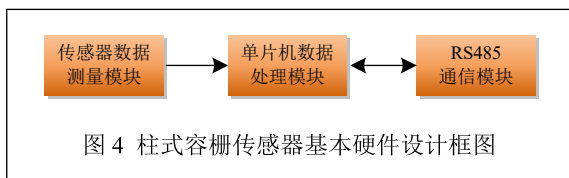


图4 柱式容栅传感器基本硬件设计框图

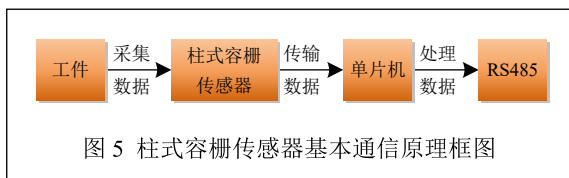


图5 柱式容栅传感器基本通信原理框图

2、基本硬件设计

本文柱式容栅传感器的基本硬件设计主要为该传感器动栅板电路设计，主要包括传感器数据测量模块、单片机数据处理模块、RS485 通信模块。

由于柱式容栅传感器内部结构空间有限，所以在动栅板电路设计时需要合理布局各模块硬件电路，尽可能地缩小其尺寸，保证传感器能够稳定工作。

该柱式容栅传感器基本硬件设计框图如图4所示。

(1) 传感器数据测量模块

传感器数据测量模块主要包括测量电路、容栅传感器两部分。当柱式容栅传感器测量杆产生位移量时，传感器动栅板和定栅板相对面积产生改变，根据容栅传感器基本工作原理，测量电路对传感器施加具有固定相位差的激励信号，并对传感器的输出信号进行解调、滤波、放大、整形等一系列处理，从而获得数字信号，最终将该信号传输至单片机数据处理模块。

(2) 单片机数据处理模块

单片机数据处理模块将传感器数据测量模块传输的数据统一格式，并进行地址编码，方便柱式容栅传感器组网时，同时进行多个传感器的数据传输。

本文柱式传感器配备 LED 灯，用来指示测量数据传输及通信状态。

(3) RS485 通信模块

本文设计的柱式容栅传感器直接输出 RS485 信号。RS485 采用标准的 Modbus-RTU 通信协议，波特率为 9600，数据格式为：N，8，1，即无校验位，8 个数据位，1 个停止位。

RS485 作为工业控制领域常用的一种通信方式，数据信号采用平衡传输方式，抗噪声干扰能力较强、

传输距离较远，并且同一条总线可挂接更多设备，方便构建网络，实现多点通信。

(4) 上位机配置软件

该柱式容栅传感器不具有显示功能，通过配备相应的上位机配置软件，可对传感器参数进行配置，并读取传感器测量数据。

四、柱式容栅传感器基本通信原理

本文设计的柱式容栅传感器主要用于对工件尺寸的测量，其基本通信原理如图5所示^[7]。容栅传感器连续采集工件数据，并将数据传输至单片机，单片机通过 RS485 接口将接收的数据连续输出，进行 RS485 通信。

五、检测柱式容栅传感器基本流程

本文选择高精度光栅测试架对柱式容栅传感器进行精度检测。该柱式传感器量程设计为 5mm，在其检测距离范围内，每移动 0.2mm，将光栅测试架数据与传感器测量数据进行一次对比（通过上位机配置软件读取或清零传感器测量数据），并计算误差值，检测过程中共移动 25 次。最终比较整个检测距离内的多个误差值，最大的误差值即为柱式传感器的精度。检测该传感器精度基本流程如图6所示。

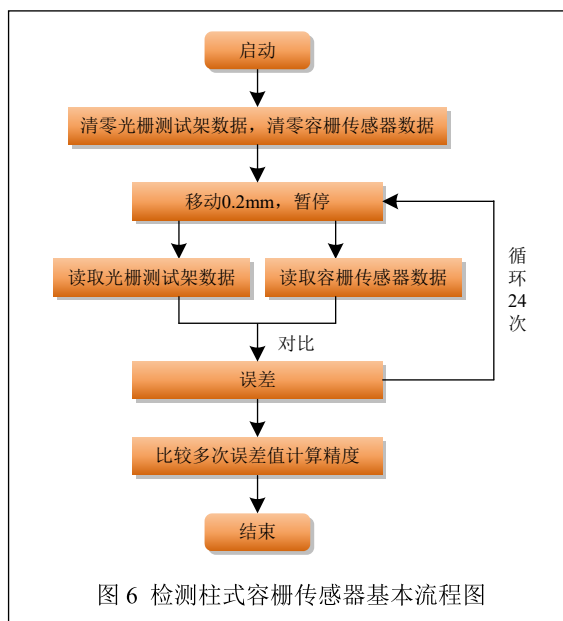


图6 检测柱式容栅传感器基本流程图

六、结论

通过以上设计,本文研发出一款柱式容栅传感器。经测试,其精度可达到0.01mm。该传感器具有精度较高、体积较小、低功耗、高可靠性、高性价比等特点。该传感器数据接口为RS485,能够进行多点检测、多路检测,可方便与PLC等工控设备通信。本文传感器的成功研发,可以弥补部分中低端市场检测的空白,有良好的市场发展前景。

参考文献

- [1] 陈宏. 电感式传感器最佳工作条件 [J]. 实验室研究与探索, 2016, 35(3): 32-36+55.
- [2] 秦亮亮. 开关电感式位移传感器的研究与设计 [D]. 东北农业大学, 2013.
- [3] 徐科军. 容栅传感器的研究与应用 [M]. 北京: 清华大学出版社, 1995.
- [4] 刘德全, 王筱华. 大位移测量的容栅传感器工作原理 [J]. 大连轻工业学院学报, 1997, 16(2): 18-21.
- [5] 于光平, 王善辉. 容栅传感器位移测量系统研究 [J]. 中国新技术新产品, 2009, (24): 4.
- [6] 王峰, 刘建新, 李民等. 容栅位移传感器在喷油泵试验台中的应用 [J]. 仪表技术与传感器, 2004, (5): 46-48.
- [7] 严晓华. 现代通信技术基础 [M]. 北京: 清华大学出版社, 2006.

Research on Column Type Sensor Based on the Capacitive Technology

WANG Yu-zhen, HE Xiao-jun, ZHANG Lei, YAO Qi
(Beijing Institute of Aerospace Testing Technology, Beijing 100074, China)

Abstract: In view of the high cost and inconvenient operation of the inductive pen sensor in the application scene with low accuracy of workpiece size measurement, a columnar capacitive grating sensor is designed in this paper. The column type sensor based on the capacitive technology, through the unique column structure design and basic hardware design of the sensor, it can measure the size of the workpiece. The columnar capacitive

grating sensor in this paper adopts RS485 interface, which can communicate with most industrial control equipment; it has high precision (0.01mm) and small size (diameter 20mm), and can be arranged on the surface of the production workpiece as much as possible to realize multi-point and multi-channel measurement, which can well meet the application needs of the middle and low-end market.

Key words: capacitive technology; column type; sensor

作者简介

王玉珍: 北京航天试验技术研究所, 工程师, 主要从事硬件电路设计。

通信地址: 北京市丰台区云岗田城中里1号院

邮编: 100074

邮箱: 1092483718@qq.com

贺小军: 北京航天试验技术研究所, 高级工程师, 主要从事测控方面研究。

张磊: 北京航天试验技术研究所, 助理工程师, 主要从事硬件电路设计。

姚奇: 北京航天试验技术研究所, 助理工程师, 主要从事机械结构设计。