

磁性传感器及其应用

Magnetic Sensor and Its Applications

王守英 供稿

摘要：文章简要介绍了磁性传感器的发展、种类及其应用。

关键词：磁性传感器，应用，种类

中图分类号：TM7 文章标识码：A 文章编号：1606-7517(2015)06-4-125

1 引言

磁性传感器与其它类型的传感器器件一样，是随着各种检测仪器的需求，进展而逐步发展的。在磁传感器的检测应用中，大多是将磁场的信息转换成电信号进行的。例如在检测磁性的仪器中，其“探头”或“取样装置”就是磁性传感器。同时，信息产业、工业自动化、电力电子技术、交通运输、办公自动化、医疗仪器、家用电器、可穿戴设备等等领域的快速发展以及电子计算机应用普及，此时，需要使用大量的传感器将要求进行检测或控制的非电参量转变成可以与电子计算机兼容的信号，作为他们的输入信号。这就给磁性传感器的快速发展提供了机会，使磁性传感器产业得以发展壮大。

2 磁性传感器的种类

自从磁性传感器作为一种独立的产品进入实际应用领域以来，已经从检测 $10^{-14}T$ 的人体微弱磁场到检测高达 $25T$ 以上的强磁场，都可以获得相应种类的传感器进行检测，也就是说，市场上已有多种多样的磁性传感器。

从应用原理上，磁性传感器的种类有：

- a. 从物理效应运用上讲，大致可分为：电磁感应器件，包括测试线圈、磁通门磁强计、读写磁头等。
- b. 从利用软磁材料的磁电阻 (MR)、巨磁电阻 (GMR) 效应的应用有：薄膜磁头、磁场传感器、电流传感器、磁编码器、磁尺、自旋阀——巨磁电阻 (SV-GMR) 微型读出磁头等等。
- c. 应用磁致伸缩效应的应力、应变、转矩传感器。

d. 应用亚铁磁性材料的磁光效应工作的光纤电流传感器和磁通计。

e. 应用温度变化引起软磁材料磁性能在居里点附近急剧变化的特性，和永磁体一起制成的温度检测与控制传感器。

f. 应用铁磁丝材料威甘德效应制作的磁脉冲发生器、磁脉冲开关等。

g. 用磁性液体制作的磁场倾斜角度传感器、震动传感器。

h. 另外，目前应用十分广泛的霍尔效应磁传感器，仍是利用半导体霍尔效应工作的产品。还有应用超导体量子干涉现象设计开发的高精度磁场传感器——超导量子干涉磁强计 (SQUID) 等等。

由以上所述各种磁效应，可以针对多种测量或控制的不同物理量，如磁场、电流、温度、光学、应力、应变、转矩、角度、位置、位移、压力、震动等制成不同的传感器。

表 1 列出了国内外市场上可见的磁性传感器类型。

3 磁性传感器的应用范围

磁性传感器的应用领域非常广泛，全球范围内，每年所需要的磁性传感器数量达几十亿之多。其应用领域主要有：

3.1 磁记录读写器

磁记录装置的种类很多，除了常见常用的磁头、磁带、磁盘之外，还有磁卡、磁墨水记录账册，钞票磁记录等等，这些都对磁记录、存储和读出的传感器提出了很高的要求和巨量的需求。近几年中，磁感应头、薄膜磁阻头、非晶

表1 磁性传感器主要种类

名称	工作原理	工作范围	主要用途	备注
霍尔效应器件	霍尔效应	$10^{-7} \sim 10$ T	磁场测量、位置和速度传感、电流、电压传感等	品种包括霍尔开关、线性和各种功能集成电路
半导体磁敏电阻	磁敏电阻效应	$10^{-3} \sim 1$ T	旋转和角度传感	对垂直于芯片表面磁场敏感
磁敏二极管	复合电流的磁场调制	$10^{-6} \sim 10$ T	位置和速度及电流、电压传感	
磁敏晶体管	集电极电流或漏极电流的磁场调制	$10^{-6} \sim 10$ T	位置和速度及电流、电压传感	包括双极、MOS 两大类
载流子畴器件	载流子畴的磁场调制	$10^{-6} \sim 1$ T	磁强计	输出频率信号
金属膜磁敏电阻器	磁敏电阻的各向异性	$10^{-3} \sim 10^{-2}$ T	磁读头、旋转编码器、速度检测	包括三端、四端、二维、集成电路
巨磁电阻器	磁耦合多层膜或自旋阀	$10^{-3} \sim 10^{-2}$ T	高密度磁读头	
非晶金属磁传感器	磁率或马特乌奇效应等	$10^{-3} \sim 10^{-3}$ T	磁读头、旋转编码器、长度检测等	包括双芯多谐振桥磁场传感器、计算机手写输入装置、巴克豪森器件
巨磁阻抗传感器	巨磁阻抗或巨磁感应效应	$10^{-10} \sim 10^{-4}$ T	旋转和位移传感、大电流传感	
威根德器件	威根德器件	10^{-7} T	速度检测 脉冲发生器	
磁性温度传感器	居里点变化或初始导磁率随温度变化	-50~250°C	热磁开关 温度检测	
磁致伸缩传感器	磁致伸缩效应		各种力学量传感、位置和速度传感	包括力、形变、压力、震动、冲击、转矩测量等传感器
磁电感应传感器	法拉第电磁感应效应	$10^{-3} \sim 100$ T	磁场测量及位置和速度传感	
磁通门磁强计	材料的 B-H 特性	$10^{-11} \sim 10^{-2}$ T	磁场测量	
核磁共振磁强计	核磁共振	$10^{-12} \sim 10^{-2}$ T	磁场精度测量	
磁光传感器	法拉第效应或磁致伸缩	$10^{-10} \sim 10^{-7}$ T	磁场测量及电流、电压传感	含磁光和光纤磁传感两大类
超导量子干涉器件	约瑟夫逊效应	$10^{-14} \sim 10^{-7}$ T	生物磁场检测	

磁头等都获得了大量应用。随着记录密度的提高，例如记录密度达到 100G 字节以上，则对磁头的灵敏度和分辨率要求更高。故以多层金属薄膜为基础的巨磁阻头、用非晶合金丝制作的非晶合金磁头、巨磁阻抗头等产品得到了重大进展。同时，信息产业还给非晶 Mattucci 效应等新型文字图形输入装置提供了广阔的应用前景，如使用励磁笔进行文字图形输入等。

3.2 电力电子技术

电力电子技术就是电力技术与电子技术的结合，以实现交直流电流的互相变换，并在所需要的范围内实现电流、电压和频率的自由调节。采用电力电子技术及其产品，可以构成多种特殊电源（如 UPS、高频电源、开关电源和弧焊机逆变电源等）以及交流变频器等产品（如交流变频器由于用电机调速，节能效果明显）。这些变流装置的核心是大功率半导体器件。以磁性传感器为基础的各种电流传感器被用来检测、控制和保护这些大功率半导体器件。霍尔电流传感器的响应速度快，而且依靠磁场和被控电路耦合，不接主电路，因而功耗低、抗过载能力强，线性好，可靠性高，既可以作为大功率器件的过流保护驱动器，也可以作为反馈器件，成为自控环路的一个控制环节。使用变流技术可以大量节能。目前国外使用的电能，有 95% 是经过变换后使用的，国内也已高度重视变流技术，但经过变换使用的电能比例还比较低，故变流技术在国内有巨大的市场前景。其中会使用到大量的电流传感器，这是磁性传感器的又一个巨大的产业性应用领域。

3.3 电机

应用广泛且用量巨大的无刷电机具有体积小、重量轻、效率高、调速方便、维护容易、寿命长、不产生电磁干扰等一系列优点。

无刷电机中，采用了如霍尔器件、威根德器件、磁阻器件等做其转子磁极位置传感器和定子电枢电流转向器。但这些磁性传感器中被大量使用的主要还是霍尔器件，而且，用其研制的大功率直流无刷电机的功率达到了 200kW 以上。

以前，电机的转速检测和控制用的旋转编码器大多采用光编码器。而磁编码器有其突出的优点，故越来越多地用来取代光编码器。使用磁传感器还可以对电机进行过载保护和对电机进行转矩检测。

3.4 能量管理

电网的运行状况以及对其进行负载分配调节和安全保护，需要用自动检测系统对电网采集大量的数据，并经电子计算机处理后对电网实施监控管理。电网自动检测监控系统的各个控制环节，都可以采用以磁性传感器为基础的电流传感器、互感器来实施。霍尔电流传感器已在电网自动监控系统中广泛应用。该传感器可以自动计费和显示功率因数，并及时进行调整，保证了高效用电。

3.5 汽车工业应用的磁性传感器

在汽车制造业中，需要使用大量的电机，如高级轿车每辆要使用 60 多台各式电机、通常使用的低档轿车，每辆也需用 20 台以上电机。车辆电机多趋于无刷化的要求，由此可见汽车工业中需使用磁性传感器的数量之大。汽车中使用磁性传感器最多的系统是防抱制动系统（ABS 系统），每个系统要用 4~6 台传感器。主要采用感应式速度传感器和新型的霍尔齿轮传感器，此外，威根德器件、非晶器件、磁阻器件等也在该系统中得到使用。发动机系统点火定时用的速度传感器及点火器主要使用感应传感器，霍尔齿轮传感器和霍尔翼片开关也在一些车型中使用。霍尔传感器这一类型磁性传感器在汽车工业中的用量很大，平均每辆汽车要用 30 多只。

3.6 在工业自动控制、机器人、办公自动化、家用电器及各种安全系统中的应用

在这些应用领域，除了无刷直流电机、交流变频器等使用磁性传感器外，在电冰箱、空调、电饭煲等等电器设备中还使用磁性温度控制器，所以，这些领域中使用磁性传感器的数量巨大。

3.7 在敏感元件中的应用

敏感元件在通信设备、静电复印机、白色家电、医疗电子器械以及汽车等领域被广泛使用，市场规模很大。

3.7.1 移动电话等通信设备用敏感元件

从产品结构而言，移动电话所用温敏元件主要是片状热敏电阻，而应用于空调器等家用电器的主要还是引线型敏感元件，如片状 NTC 热敏电阻主要作为移动电话机温度补偿线路中温度补偿晶振的内部元件使用。温度补偿晶振已有效实现了小型化和高功率密度。

3.7.2 家用电器用敏感元件

家用电器如空调产品和打印机中的温度检测等敏感元

件已实现了微细化且用量巨大，如一台家用空调器就要使用5个以上测温敏感元件。

3.7.3 办公自动化用敏感元件

办公自动化设备如静电复印机使用的敏感元件主要有感应磁鼓的表面电位感应元件和检测返光剂敏感元件、温度敏感元件、湿度敏感元件；应用于打印机和复印机的主要是表面电位敏感元件及色度敏感元件。

3.7.4 汽车用敏感元件

用于汽车产业的敏感元件主要有：安全气囊冲击力度和速度的敏感元件产品，ABS用敏感元件产品等等用于汽车安全管理的产品；检测汽车温度的温敏元件、排气敏感元件、汽车水温检测敏感元件等。另外，近十多年，对汽车行业提出了许多新的要求，如汽车尾气排放要符合环保要求，对车辆的耐热性、耐振动性、耐使用性等，这些项目，都需要采用新的敏感元件。

3.7.5 微机电系统用敏感元件

近些年来，微机电系统的研究受到高度重视，其原因在于，采用群驱动的方法可以有效地克服单个微操作器件驱动力不足的问题。

微机电系统的每个单元如果配备传感器并按某种规则与相关单元通讯的话，则可有效减少系统中的配线和通讯瓶颈，使系统容易实现某些智能，显然，在这样的二维微驱动系统中，监测传感器是不可缺少的。

微机电系统中的监测传感器结构较简单、制造工艺不复杂且具有较高的分辨率，可以通过扫描查询来监测平面上磁铁的存在位置。它们还可以不受硅片尺寸限制地制作在玻璃薄板上，这样就可以得到大尺寸的二维位置传感器。这种二维位置传感器除用于超导磁悬浮搬运系统中以外，还用于平面绘图仪中作为画笔位置监测传感器。如果给这种开关单元的活动电极配置微型驱动线圈，可以设计制造出有良好应用前景的微型电磁继电器。

3.8 在军事领域中的应用

进入本世纪以来，军事装备及战争理念不断发生着质的变化，已有过去的大炮、坦克、飞机对阵转变为电子战、信息战、智能系统战等高新技术的对抗。现代军事装备没有一件可以离开电磁技术，如电磁脉冲武器、无线电频率武器，高功率微波武器、微型无线侦察机、轰炸机、纳米卫星等等，无一不用传感器件。

3.9 在改造传统产业中的应用

我国国民经济的发展，正在升级换代，互联网“+”、物联网等新的业态不断涌现，所以对传统产业进行改造势在必行。例如对工业过程控制，现在大量使用电子传感器。用得较多的有电容式传感器、声表面波传感器等，它们可以高质量地提供给传统产业改造使用。多种新型传感器可以显著提高检测和控制精度。

3.10 在环境保护、节能减排领域的应用

众所周知，环境保护、节能减排的前提条件是对自然环境中的有关参数如温度、气压、大气成分以及土壤、水质等等参数进行监测，所以需要大量的传感器。例如，使用强磁致伸缩非晶薄带的无线磁弹型传感器阵列，可以同时测量真空或密闭空间内的温度和气压，且不用接插件直接连接，可以遥测和远距离访问，它们在环保实验中的应用前景广阔。

4 磁性传感器的发展前景

据有关部门的估算，磁性传感器和磁敏元件在力敏、（电）压敏、气敏、温敏、热敏、光敏、位移等传感器和敏感元件中的产量和使用比例达20%以上，可见其应用领域和市场之广阔。

磁性传感器和磁敏元件是安装在机器设备中使用的，新用途的机器设备不断涌现，磁性传感器研发必须与其配合，同时，现代的机器、设备也正在迅速向小型轻量化、多功能化、智能化等方向发展，所以，磁性传感器也得实现片式化，薄型化、组件化、模块化、多功能化和智能化，以适应新一代数字技术产品发展所要求的高工作速度、高检测分辨率和高灵敏度、高可靠性。另外，现代制造技术如半导体制造技术、大规模集成电路制造技术、微电子机械系统制造技术等工艺技术的不断发展进步，都为新型磁性传感器的研发、设计和制造提供了可靠的基础条件。

5 小结

随着现代新的业态如互联网+、物联网的建立与完善、电商、远程通信与监控、远程疾病诊断……的快速发展，一些发达国家都把发展尖端传感器件及其相关产业，列入了在这些领域争得优势的物质基础。因为缺乏尖端传感器

下转134页