

为什么选择磁性传感器？

本文说明为何使用磁性传感器以及它们能解决什么样的问题。概述了磁性传感器的应用环境和所使用的磁性传感器。本篇描述了三个典型测量的磁场范围(远大于地球磁场、类似于地球磁场和远小于地球磁场)以及每个磁场范围最适用的传感器型号。讨论线圈、磁通量闸门、霍尔效应传感器、磁阻和巨磁阻磁性传感器的工作原理。介绍磁性传感器的优缺点以及已认证的产品应用。

作者: TAMARA BRATLAND , ROBERT BICKING 和 BHARAT B. PANT

磁性传感器为电流传感、接近传感、线性速率或转动速率传感，定向、磁异态检测，角度、位置或位移测量等许多传感方面的问题提供了独特的解决方案。了解磁性传感器技术背后的概念和它们最合适的应用将有助于帮您决定选择的磁性传感器是否对您的应用有利。

磁性传感器用于检测磁场的存在，测量磁场的大小，确定磁场的方向或测定磁场的大小或方向是否有改变。磁性传感器可用于检测静止的或如汽车、卡车或火车等运动的铁磁物体；门或门锁的关闭，如飞机货舱门；一个物体的位置，如键盘上的按键；如发动机中轴的旋转运动；一个物体的部位，如阀轴或机械手；或者用于跟踪虚拟现实和运动控制等应用。

磁场测量可分为三个范围。在每个范围中，能在其环境中处于最佳工作状态的磁性传感器型号也不同。第一个磁场范围远大于地球磁场(如在永久磁铁或大电流附近)。其范围为100奥斯特(Oe)或更高。第二个磁场范围约等于地球磁

图1. 霍尼韦尔齿轮传感器，装有一个磁性霍尔效应传感器



表1—用于不同磁场范围的传感器型号					
磁性传感器技术	10^{-10}	10^{-6}	10^{-2}	10^2	10^6
线圈	[Bar]				
磁通门	[Bar]			[Bar]	
霍尔效应	[Bar]			[Bar]	
磁阻	[Bar]		[Bar]		
SQUID	[Bar]				

(1 Oe)

场或0.6Oe。第三个磁场范围远远小于地球磁场，它们在1mOe或更低范围内。地球磁场常用作受铁磁物体干扰的背景磁场，如在磁异态检测中的铁磁物体。表1给出了用于不同磁场范围的传感器型号。

何时使用磁性传感器？

极少的应用场合只需要一个磁场测量，更确切地说是将现有的或已建立的磁场用于感测其它信息。以下是几个实例：(1) 电流传感，此处将载流线产生的磁场用于监控电路中的过负荷状态或蓄电池的状态；(2) 定向，将地球磁场的两个水平分量用来计算相对于磁北的角度；(3) 磁异态检测，此处将由铁磁物体产生的对地球磁场的干扰(如一个铁钉、金属螺栓、汽车、潜艇或地磁岩石)用来检测这些物体是否存在。一旦表现出有相同的干扰，也能用来识别该物体的类型(如汽车实体或模型)。

另一个例子是齿轮齿传感(图1)，此处传感器与一块磁铁和齿轮齿的组合一起使用。齿轮齿或凹槽对磁铁产生的磁场有不同的干扰，就可将齿轮齿与凹槽辨认开来。这个数据可用于测量齿轮的转速。

磁性传感器，通常称为磁力计，有不同的物理原理和设计结构。下面我们将讨论各种磁性传感器中使用的不同技术。

线圈

线圈是最老式的磁性传感器之一。根据法拉第定律，通过线圈的通量有何化都将导致线圈产生电动势，在时变磁场区中放置变线圈就可工作。通过改变磁场就能测量线圈中感应的电压。当穿过导电回路的磁通量有量的变化，这个回路中就会产生电压。

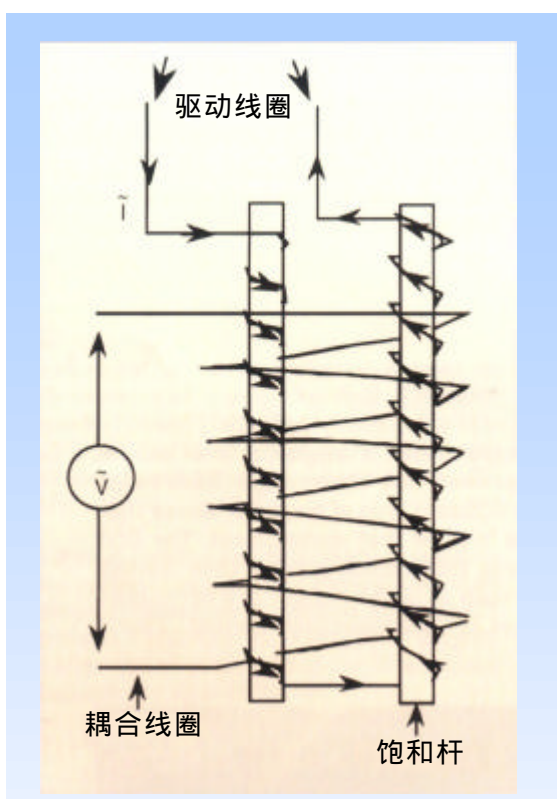


图2. 磁通门磁力计简图

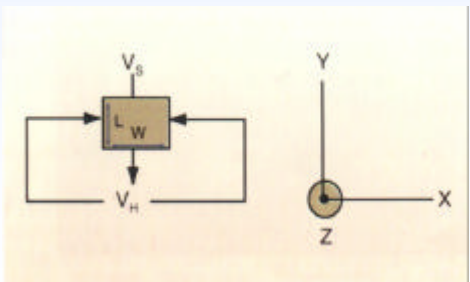


图3. 霍尔板

感应的电压=磁通量变化/时间变化

线圈型传感器用于需测量变动场变化的应用场合。对这种原理有许多不同的实施方法。线圈的一个常见的应用是用来触发红绿灯信号的埋在道路中的电路回路。系统执行时线圈通常大而成本高。

磁通门

磁通门(图2)，同样基于法拉弟定律，通常是用两个铁磁材料制成的杆，但也可以是用一次或二次绕组绕成的环或圈。这两个杆用一次绕组缠绕，以相反方向产生驱动磁场。频率 f 的交流电在一次绕组中流动，在驱动磁场的作用下两个杆的磁化作用处于相反方面。二次绕组测量两个杆产生的净磁通量。在未施加外部磁场时，假定两个杆和一次线圈是相同的，则在二次线圈里的净磁通量为零。这样在此线圈中就不会有信号产生。当沿着杆的轴线方向施加一个外部磁场时，其中的一个杆将先于另一个杆磁性饱和。磁通门的输出是驱动频率 f 的第二谐波。施加一个小磁场时，第二谐波的波幅与施加的磁场成正比。

磁通门可以在制造工艺上使其非常敏感，分辨率最低为 $1\mu\text{Oe}$ 。可以测量直流或交流磁场。频率的上限为kHz。与霍尔和磁阻传感器相比，它们的尺寸规格较大，价格也更贵。

霍尔效应传感器

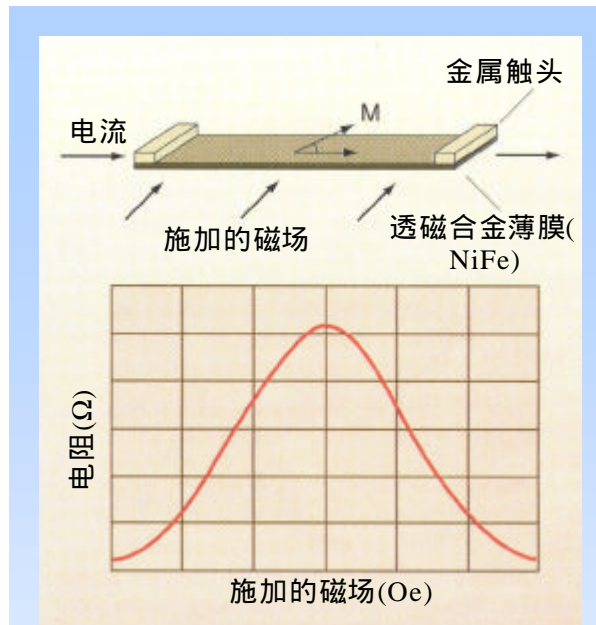
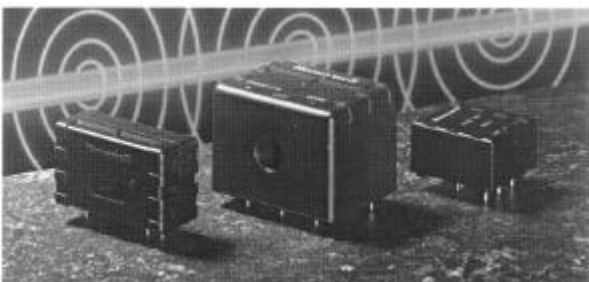


图5. 磁阻传感器的工作原理及典型的MR响应曲线。

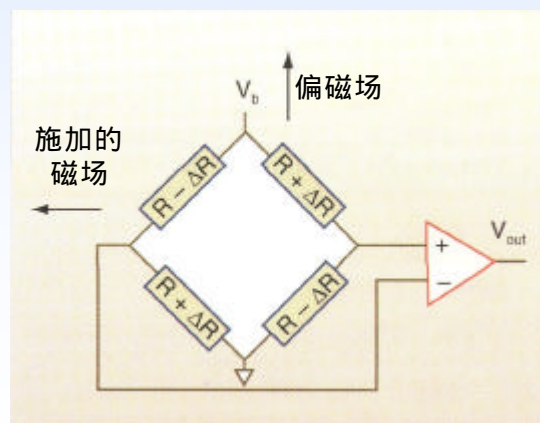


图6. 惠斯顿电桥和磁阻传感器的工作原理



图7.MR传感器为异态检测提供高灵敏度和特的解方法，根据物体的磁性信号特征物识别。

的测量最为理想。在存在磁场的情况下，霍尔效应发生在载电流的金属或半导体中。最常用的霍尔效应传感器是硅型霍尔传感器，其中信号调节电子器件被集成在芯片上。

图3中所示为导电材料的矩形薄板，沿Y轴施加了一个电压 V_S ，在板的垂直方向施加了一个磁场 B (沿Z轴)，霍尔电压 V_H 由下式求得：

$$V_H = \mu_H (W/L) B V_S$$

其中 μ_H 是霍尔迁移率， W 是霍尔板的宽度， L 是长度。

由于洛伦兹力作用在用导电材料制成的电荷载体上而产生的霍尔效应等于：

$$F = q(v \times B)$$

其中 q 是电荷载体上的电荷， v 是电荷载体的速度， B 是磁场。力使电流变形，并将其挤向导电板的一侧。这造成X轴上的等势线变形，导致产生霍尔电压。如果霍尔板的长度远大于宽度，则霍尔电磁场与洛伦兹力相平衡，电流变成与Y轴平行。最实用的半导体霍尔元件一般来说是正方形。此时电流相对于励磁电压有一个角度。

硅片中霍尔效应的灵敏度约为 $7 \mu V/V/Oe$ 。由于硅是压敏电阻材料，所以通过硅的封装而施加在霍尔元件上的应力会导致在机械和温度效应共同作用下的零位偏移误差。硅片中霍尔效应在百分之几到几千Oe的范围内是呈线性的，可检测的最小磁场为1Oe的数量级。

霍尔装置的应用包括齿轮传感、旋转位置传感器和电流传感器。电流传感器如图4所示。在汽车业中使用的新型火花点火发动机有一个直接点火系统，系统内每个汽缸或每对汽缸都使用一个点火线圈，去除了分布器。内含有一个永久偏磁和一个霍尔效应传感器的齿轮传感器对曲轴和凸轮轴进行计时。使用两个廉价的铁质磁极片可制成一个旋转位置传感器，将磁性信号从旋转的磁棒送至霍尔传感器。带有凹槽的环形磁芯，霍尔IC位于这个凹槽内，可用来制成一个电流传感器。也可制成线性和数字输出传感器，其工作范围为10A至1000A。霍尔装置的其它应用包括键盘开关、磁强计和位置传感器。

磁阻传感器

各向异性磁阻(AMR)发生在铁质材料中。如图5所示，当施加的磁场垂直于用铁

质材料制成的薄板中的电流时，它本身的电阻明显有变化。磁阻传感器传感沿着空间一个方向的磁场，在此模式范畴内，它们属于霍尔效应传感器和SQUID(超导量子干涉装置之间的传感器)。SQUID可测量小于1 μOe 几个数量级的磁场。磁阻传感器通常用于测量 μOe 到10Oe的磁场。

惠斯顿电桥是磁阻传感器的基础电气元件。图5说明了磁阻传感器的工作原理和一个MR板对外部磁场的典型响应。图6所示为用四个磁控电阻器制成的惠斯顿电桥带有一个供电电压 V_b ，致使电流通过电阻器。如图所示，施加一个偏磁场，使在所有电阻中的磁化强度和电流间有一个约 45° 的夹角。如果电阻器是同一种结构，则所有四个电阻器的电阻是相同的，正交施加磁场 h 的 R_A 使两个反向放置的电阻器磁化而转向电流，使电阻有一个增量 R 。在剩下的两个反向放置的电阻器中，由于磁化而转离电流，导致电阻减少 R 。

电桥输出为 $V_{out}=(R/R)V_b$ 。作为施加磁场函数的电桥输出 V_{out} 被称为传感器的传递函数。在线性区内，输出与施加的磁场成正比($V=S h V_b$)。灵敏度 S 和传递函数的线性范围对于传感器来说是两个重要特征。传递函数的线性范围与灵敏度成反比。

磁阻传感器是由一长条铁磁薄膜(如透磁合金、镍铁合金)制成的。用标准半导体技术将这些薄膜熔制在硅片上。板的厚度有几百埃(150-500)，宽度为几十微米(10-50)，长度从几百至几千微米。

MR传感器有下列属性，使它们在众多应用中都可选用：

- 尺寸小。
- 高灵敏度，使传感器可距被测铁磁物体一段较长的距离。
- 由于内阻抗小，使其对电磁噪声和干扰不敏感。
- 由于是固态溶液，无转动部件，使它具有高度可靠性。
- 由于部件能方便地装入在插板产品中，而使实施成本降低。

MR传感器(图7)，为异态检测提供高灵敏度和独特的解决方案，可根据物体的磁性信号的特征支持对物体的识别。这些特性可应用于检测如武器等的安全系统中，或用于在收费公路上对车辆进行检测。它特别适用于货币鉴别，跟踪系统，如在虚拟现实设备中，和固态电子定向罗盘中。与磁铁组合也可用于齿轮传感。MR传感器可传感芯片平面内沿一个方向的磁场。这使其可与能传感沿芯片平面法向磁场的霍尔效应装置区别开来。这可使应用设计者以霍尔效应传感器无法使用的几何构型使用MR传感器，例如当需要一个薄型传感器时。需用一个或几个MR传感器的其它应用，包括机械手的位置和虚拟现实产品中盃的位置和定向。许多应用既可使用霍尔效应传感器也可使用MR传感器，但在需要低灵敏度，而较宽的线性范围时，应使用霍尔效应传感器；在要求高灵敏度时，则使用MR传感器。

巨磁阻效应

巨磁阻效应(GMR)是最近才发现的现象，它基于电子通过数层叠层中，非常薄

的铁磁层和非磁性层(25-50埃)之间的界面散射。这是由于磁阻效应与上述AMR效应相比显得大而如此命名。当两个相邻的铁磁层有反向磁化强度时,电阻要高于它们在同一方向上的磁化强度矢量。

GMR是由法国的M. N. Baibich等人在1988年发现的,已成为重大研究课程。通过新兴的GMR技术我们有希望制造出高灵敏度的小型传感器。迄今为止,GMR效应需要工作在高强度的磁场并伴有高分贝噪声,这使得它不能应用于大范围的传感器产品中。电阻变化所需的磁场变化需从10Oe到几千Oe,而灵敏度尚未达到MR或磁通门装置的灵敏度。但正继续朝着开发更低磁场的方向发展。

参考文献

1. *Scientific Honeyweller*(霍尼韦尔科学), 8(1): 29-34页, 1987年秋季版, Magnetoresistive Sensors (磁阻传感器), 作者Pant, Bharat B。
2. *Proceedings of the IEEE* (电气和电子工程师协会学报), 78(6):973-989页, 1990年6月, A Review of Magnetic Sensors (磁性传感器回顾), 作者Lenz, J。
3. *Sensors and Actuators* (传感器和执行机构), 10:127-140页, 1986年, Magnetic Field Sensors Using the Magnetoresistive Effect (使用磁阻效应的磁场传感器), 作者Dibbern, U。
4. *Journal Physics E: Scientific Instruments* (物理电子杂志: 科学仪器), 12:241-253页, 1979年, The Fluxgate Magnetometer (磁通门磁力计), 作者Primdahl, F。
5. *The Hall-Effect and its Application* (霍尔效应和应用), Plenum, 纽约, NY, 1980年, 作者Chien, C.L.和Westgate, C.R。
6. *Honeywell Scientific Magazine* (霍尼韦尔科学杂志), 1995年, New Developments in Magnetoresistive

Transducers and Sensors (磁阻变换器和传感器的新发展), 作者Pant, B., Cameron, G., 和Krahn, D。

7. Institute of Physics Publishing (物理学出版学会), Bristol, 1992年, Thin Film Resistive Sensors (薄膜电阻传感器), 作者Ciureanu, P和Middelhoek, S。

8. IEEE Transactions on Magnetics (IEEE磁学会报), 28(5):2482-2487页, 1992年9月, Giant Magnetoresistance: A primer (巨磁阻:入门), 作者White, Robert L。



9. 1994年9月的Sensors Expo Conference (传感器世博会议)上发表的论文: GMR: The Next Generation of Magnetic Field Sensors

(GMR:新一代磁场传感器), 作者Daughton, Jim和Brown, Jay。

作者

TAMARA BRATLAND在Honeywell Solid State Electronics Center(霍尼韦尔固态电子中心)的磁性传感产品部任销售经理。她拥有明尼苏达州大学的BSEE(电机工程学士)学位,获得圣托马斯大学的MBA(工商管理硕士)学位,在过去的11年她受聘于霍尼韦尔公司。在过去的几年里,她积极地将霍尼韦尔制造的许多新磁性传感器引入市场。



ROBERT BICKING获得明尼苏达州大学的BSEE(电机工程学士)和MSEE(电机工程硕士)学位,从事传感器和控制系统有34年之久。现在是霍尼韦尔公司微型开关部新型自动传感器

开发的高级工程研究员。他已被授予三个专利,撰写了二十多篇技术论文,参与了两部关于自动传感器专业书籍的部分章节编写工作。他还是IEEE(电气和电子工程师协会)和SAE(汽车工程师学会)的会员。



BHARAT B. PANT, Ph.
D.

1985年进入霍尼韦尔公司工作，任霍尼韦尔固态电子中心磁性传感器开发组的组长。在印度孟买大学获得物理学学士学位，在加拿大的新不伦瑞克大学获得物理学硕士学位，匹兹堡大学获得物理学博士学位。从1991年至1993年，他花了17个月时间在日本九州大学，获得国家科学基金补助研究磁性薄膜的微磁学。他已开发了多种磁阻传感器，并发表过多篇论文，并申请了多个磁性传感器专利。Bharat已被授予霍尼韦尔最高科技奖，H.W. Sweat奖，于1992年成为开发高灵敏度磁阻传感器小组的成员。

有关更多的磁性传感技术方面的资料，请与霍尼韦尔固态电子中心联系，地址：12001 Highway 55, Plymouth, MN 55441, 612/954-2992, 传真612/954-2051