

# 基于霍尔原理的非接触式位置传感器的研究现状与发展趋势

李志鹏, 赵伊齐, 邵宪友, 赵杨 (东北林业大学交通学院, 黑龙江哈尔滨 150040)

**摘要** 介绍了霍尔原理在非接触式位置传感器上的重要性, 并与其他传感器对比, 对现阶段主要的几种基于霍尔原理的非接触式位置传感器的工作原理、研究进展以及应用情况进行分析, 总结了应用于非接触式位置传感器上霍尔原理存在的问题, 归纳分析得出霍尔原理在非接触式位置传感器上主要发展趋势。

**关键词** 霍尔原理; 其他传感器; 非接触式位置传感器

**中图分类号** S126; U463.45 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2015)11-357-03

## Research Status and Development Trend of Non-contact Position Sensor Based on Hall Effect

LI Zhi-peng, ZHAO Yi-qi, SHAO Xian-yong et al (College of Traffic, Northeast Forestry University, Harbin, Heilongjiang 150040)

**Abstract** The importance of the Hall effect in non-contact position sensor was introduced, compared with other sensor, the working principle, research progress and application of current several non-contact position sensor based on Hall effect were analyzed, the existing problems were summarized, the main development trend of Hall effect in non-contact position sensor was reviewed.

**Key words** Hall effect; Other sensors; Non-contact position sensor

霍尔效应(Hall Effect)自1897年被德国物理学家霍尔发现并命名以来,便受到大量关注,经过不断地创新与发展,霍尔效应在当今诸多领域上呈现了更为高效、便利的一面;利用霍尔效应的磁电转换的性质并具有结构牢固、体积小、重量轻、寿命长、安装方便、功耗小等诸多优点而成为非接触式位置传感器的研究热点被测量技术、电子技术以及自动化技术等所运用。

对于传统的接触式位置传感器,存在一些接触性问题。长时间的摩擦易导致机器磨损,致使测量的精度不能达到规定要求,从而造成寿命上的缩减,使得需要工作人员经常修理甚至更换,实用性不强<sup>[1]</sup>,以至增大各方面的支出,经济性差。非接触式位置传感器在磁电转换理论下利用霍尔原理能够成功克服以上缺点并拥有精度高、低成本、方便安装等优点,这对非接触式位置传感器的研究与开发有重要意义。一般位置传感器应用有节气门传感器、油门踏板传感器、EGR 阀位移传感器、EPS 扭矩传感器以及方向盘转角传感器。笔者针对直线位移、角位移、扭矩以及转角 4 种非接触式位置传感器进行研究。

## 1 霍尔原理

1987年,霍尔在一次实验中发现当一电流垂直于外磁场并流过导体时,就会在垂直于电场与磁场的方向上有电势差产生,此称为霍尔效应(Hall Effect)。所测到的电势差称为霍尔电压 $V_H$ ,其工作原理如图1所示。

载流子受洛伦兹力的作用向导体一侧偏转,导体两侧产生电势差,从而形成霍尔电场 $E_H$ ,随着电场变强,最终洛伦兹力 $f_L$ 与静电斥力 $f_e$ 平衡。控制电流 $I$ 一定时,霍尔电压公式为:

$$V_H = K_H IB \quad (1)$$

由式(1)可得霍尔电动势 $V_H$ 与外加磁场 $B$ 成正比例线性关系,检测对象本身为磁场或者以磁场为载体的非电、非磁等

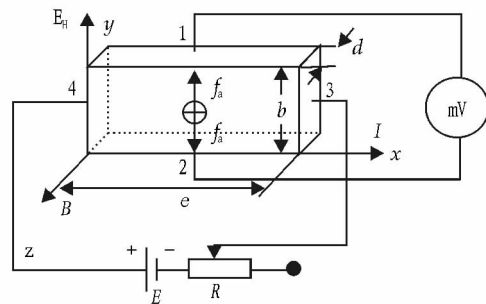


图1 霍尔原理示意

物理量,将其转变为电量、磁量进行控制以及测量。霍尔元件、霍尔集成电路以及霍尔组件这些均由霍尔效应为原理所构成,并统称为霍尔效应磁敏传感器,简称霍尔传感器。

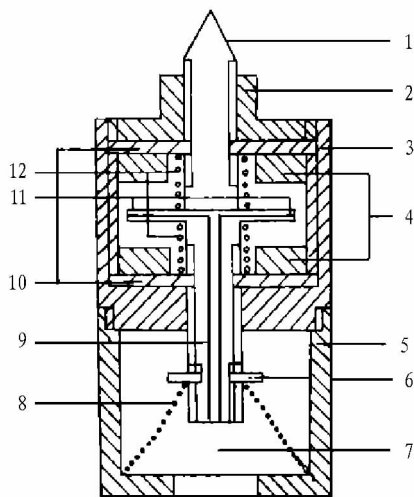
## 2 基于霍尔效应的非接触式位置传感器的研究现状

目前,按工作原理的不同位置传感器大致可分为电位计式、电阻式、电容式、霍尔式以及光电式。其中电位计式位移传感器结构简单,测量范围最高可达1~1000 mm,但由于接触式位置传感器零件摩擦,会存在易磨损、寿命短、分辨率低等问题;电阻式传感器因其弹簧带动的悬臂梁根部的弯曲应变与所测位移成线性关系,故具有线性好、分辨率高、结构简单等优点,其测量范围为 $0.1 \times 10^{-3} \sim 0.1$  mm,偏小;电容式位移传感器精确度高,可达0.005%,但受温度、湿度等环境因素影响较大;对于光电式传感器,其具有灵敏度高、精确度高、响应快等优点,由于成本高,一般只应用于精密仪器中。相比于以上4种传感器,霍尔位置传感器拥有低成本、分辨率高、结构简单等多种优点,被广泛应用。

**2.1 非接触式霍尔位移传感器** 非接触式霍尔位移传感器通过测量霍尔电动势的变化来测量位移变化量。国内最早由武新华等提出,主要由导杆、外套、预紧弹簧、霍尔元件、支撑弹簧等组成<sup>[2]</sup>。将霍尔元件置于2块同级磁铁磁场中间,调整位置,使初始霍尔电动势为0,随后提供固定电流并移动霍尔元件,根据霍尔原理可得,输出的霍尔电动势会随位移变化而发生改变,输出的霍尔电动势可得位移量。梯度磁场

越大,精度越高;梯度磁场变化越均匀,线性度越好,其结构原理见图2。在国内已被广泛生产并应用于电机、汽车中。

由于霍尔元件通常测量微位移,一般测量范围在1 mm左右,且要求保持均匀梯度磁场,这样存在测量范围小且条件要求高的弊端。厦门大学设计出一种带有反馈随动机构的霍尔位移传感器,将被测物体与磁钢连接在一起,当被测物体移动时,磁钢与其运动状态保持一致,由于霍尔元件受磁场变化而产生感应电动势,电动势通过放大器接收放大后经过控制电路、驱动电路后驱动机械驱动机构从而相应改变霍尔元件的位置。这种传感器能在不要求磁场梯度是否均匀的条件而大大增加霍尔元件的测量范围。但实验存在一定误差,与磁电传感器信号输出之间有一定的相位差。



注:1. 导杆;2. 调节螺丝;3. 外壳;4. 磁铁;5. 外套;6. 薄片螺母;7. 引线;8. 预紧弹簧;9. 外线孔;10. 定位垫片;11. 霍尔元件;12. 支撑弹簧。

图2 非接触式霍尔位移传感器结构原理

**2.2 非接触式霍尔角位移传感器** 作为位移传感器的一种型号——角位移传感器,相比于同步分析器、电位计,由于本身为非接触式传感器,拥有寿命长、工作可靠等优点。按角位移工作原理可分为3类:变阻器式角位移传感器、电容式角位移传感器以及磁式角位移传感器(即霍尔式以及磁阻式角位移传感器)。结构简单、成本低等优点成为霍尔式角位移传感器被广泛使用的原因。

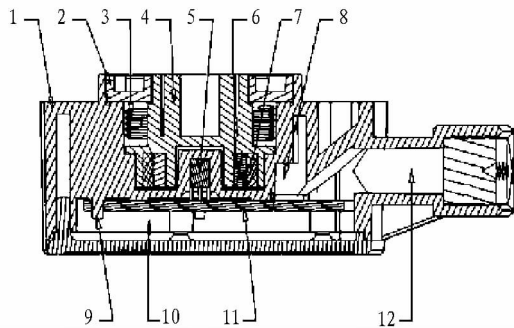
非接触式霍尔角位移传感器主要由永磁体、霍尔元件、屏蔽罩以及塑料壳体等组成,其结构如图3,磁体放在可转动转子上,转子与工作体相联,当工作体转动时,通过转子的连接使得作用在霍尔元件上的磁场也发生相应变化,根据霍尔原理,霍尔输出  $V_H$  也同样发生变化。由于霍尔元件属磁性元件,易在强直流条件下受干扰,可利用屏蔽罩达到聚磁、屏蔽效果。当磁场强度  $B$  与霍尔元件平面的法向作用线存在夹角  $\theta$  (即旋转角度)时<sup>[3]</sup>,则霍尔电压公式为:

$$V_H = K_H I B \cos\theta \quad (2)$$

为保证磁场强度与输出电压的线性关系,国内先后出现2种解决方法:通过设计一种产生非均匀磁场的“V”极靴或者半圆形极靴,从而达到在  $\pm 25^\circ$  内实现输出线性化的目

的<sup>[4]</sup>;将霍尔元件放在0磁通的位置,根据所需角度向两侧分开,经实验得在磁通量为  $-200 \sim 200$  MT 之间满足霍尔电压线性化<sup>[5]</sup>。

霍尔角位移传感器具有灵敏度高、温度性能好等优点。国内利用霍尔角度传感器已申请非接触式单信号、双信号节气门位置传感器的专利并大量投入生产。在汽车电子油门踏板位置、自动变速器以及节气门位置测量上也大量使用霍尔角位移传感器。目前关于非接触式霍尔角位移传感器只限于SSI数字输出、0~5 V标准模拟电压信号输出、0~10 V标准模拟电压信号输出3款产品。在此基础上同样还可设计I<sup>2</sup>C开发数字输出、4~20 mA标准模拟电流信号输出、增量编码器输出,以及用于远距离传输的RS422及RS485输出等几种类型产品。



注:1. 壳体;2. 内壳;3. 扭簧;4. 转子;5. 霍尔元件;6. 磁钢;7. 屏蔽铁;8. 上腔;9. 连接柱;10. 下腔;11. 电路板;12. 插接口。

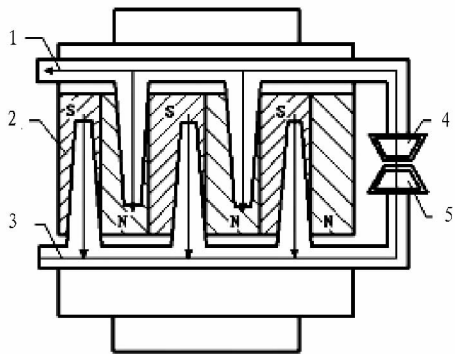
图3 非接触式霍尔角位移传感器结构图

**2.3 非接触式霍尔扭矩传感器** 霍尔式扭矩传感器主要通过利用霍尔效应原理所制成,其工作原理如图4所示:当方向盘转动时,传感器中的扭杆会产生扭转变形,导致磁靴和多级磁铁发生转动,使得上下磁靴与多级磁铁发生错动,从而传感器的磁通发生变化,其变化的磁通通过霍尔SZ转换为相应的电压或电流变化,从而测量出相应的扭矩大小和方向<sup>[6]</sup>。

这种非接触式扭矩传感器因霍尔元件的存在具有灵敏度较高,在一定温度内精度高、线性度好、动态性能强等优点,但由于存在磁性元件,导致信号受温度变化影响较大,传感器结构比较复杂。目前,日本的捷太格特公司已将霍尔式扭矩传感器装配于电动助力转向系统中,并增加电动助力转向扭矩传感器上霍尔器件的比例配备。德国的DF公司的电动助力转向系统同样采用了相应形式的霍尔效应式扭矩传感器。

**2.4 非接触式霍尔角度传感器** 利用霍尔原理,根据霍尔器件的性能可将霍尔传感器分为线性型霍尔传感器以及开关型霍尔传感器。其中线性型霍尔传感器适用于对电压或者电流等物理量的测量;开关型霍尔传感器适用于对位移、角度以及转速等物理量的测量。

对于霍尔角度传感器,为了精确旋转角度,放置2个开关型传感器于信号齿轮盘的两侧,如图5所示:当用铁磁材料制成的被检测齿轮从霍尔传感器以及固定在霍尔背后的



注:1. 磁通;2. 多级磁铁;3. 磁轭;4. 霍尔 IC1;5. 霍尔 IC2。

图4 非接触式霍尔扭矩传感器

永久磁铁近旁经过时,通过磁场的变化从而霍尔传感器产生电压,电压随被检齿轮上齿的不同而改变,从而得到检测物体的运动参数。为了确定齿轮旋转方向,将2个霍尔传感器呈 $90^\circ$ 放置,如图6所示:当被测齿轮经过霍尔传感器就有脉冲输出,H1与H2为2个变化且相差 $1/4$ 个周期得脉冲序列,通过判断2个电平顺序来确定旋转方向,假设顺时针为

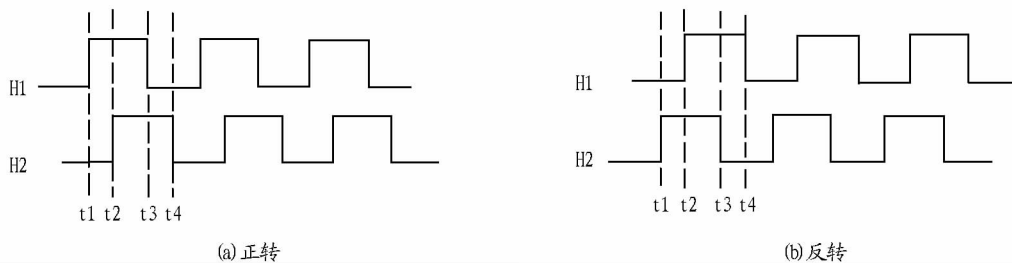


图6 脉冲时序图

非接触位置传感器大部分被德国、美国、日本、意大利以及一些全球合资公司所垄断。德国 BOSCH 公司在 1996 年通过利用径向充磁的环形磁铁和被测物体的一起转动从而获得大于的线性范围而研制出基于霍尔原理的角度位置测量装置<sup>[8]</sup>；日本 DENSO 利用传统平面线性霍尔芯片从而开发磁感非接触式电子节气门位置传感器<sup>[9]</sup>，同样的，意大利的 Maerli 通过平面线性霍尔芯片 MLX90215 得接触式节气门位置传感器；2006 年韩国控制与测量系统公司研制出基于霍尔原理的非接触式旋转位置传感器；目前国内许多汽车零部件企业以及科研院校也将霍尔元件用于汽车位置传感器中<sup>[10]</sup>。在 2009 年联合汽车电子设计出线性范围广而且线性度良好的基于霍尔原理角度传感器测量装置<sup>[11]</sup>，四川红光电子机同样也开发出基于霍尔原理的非接触式智能电子油门传感器以及电子油门踏板总成。

### 3 发展趋势

以往的霍尔芯片由于采用平面设计,会产生温漂以及易受外界磁场干扰等缺点而不被广泛采用。近几年霍尔技术逐渐成熟,奥地利的 Austriamicrosystems、Melexis 以及 Microsnas 公司已研发出三轴霍尔芯片(不仅可以测量垂直于测量元件的磁场也能测量到平行于被测元件的磁场),从而提高了工作效率并在很大程度上克服了温漂等缺点<sup>[10]</sup>。

正,在  $t_1 \sim t_4$  时段中若 H1 高 $\rightarrow$ H2 高 $\rightarrow$ H1 低 $\rightarrow$ H2 低 $\rightarrow$ 为正转向,若 H2 高 $\rightarrow$ H1 高 $\rightarrow$ H2 低 $\rightarrow$ H1 低 $\rightarrow$ 则为反转向<sup>[7]</sup>。

利用霍尔角度传感器的磁场敏感、使用面积小、感应能力强等多项优点而在电动助力转向系统、汽车方向盘以及节气门传感器等多方面都有所应用。国内生产出最高精度可达 $0.089^\circ$ 并且工作温度宽的霍尔角度传感器,未来在精度以及环境上应用将有更大进展。

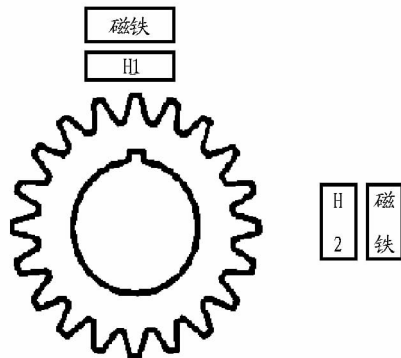


图5 齿轮信号盘

BOSCH、DENSO 以及、Mareli 已研发出基于霍尔原理的非接触式位置传感器并已在进口车和合资车上大量生产,国内化未能实现。对于国内,只有少量的大客车(如北汽福田)采用非接触式油门踏板位置传感器配套装车,而对于销量最广的轿车而言,基于霍尔原理的非接触式位置传感器没有可实用产品。未来几年,基于快速发展的科技发展力,霍尔技术也会向高效、安全、方便的方向更迈进一步。

### 4 结语

该研究从工作原理、应用情况以及研究进展等几方面对国内外几种主要的基于霍尔原理的非接触位置传感器的利用进行论述。随着对霍尔元件研究技术日趋成熟,对满足易操作、高精度、低成本、工作可靠性好的非接触式霍尔位置传感器的研究成为必然。

### 参考文献

- [1] 张珂,杨其华,李冰,等.基于霍尔器件的非接触式角度传感器研制[J].传感技术学报,2008,21(6):981-984.
- [2] 武新军,康宜华,卢文祥,等.非接触式霍尔位移传感器的研制及应用[J].华中理工大学学报,1998(2):53-54.
- [3] 霍尔元件及其应用[J].仪器制造,1974(5):32-34.
- [4] 邵光海.霍尔角位移传感器[J].仪器制造,1980(4):29-30,35.
- [5] 刘荣先.霍尔角位移传感器的磁路设计[J].盐城工学院学报;自然科学版,2012(4):27-31.
- [6] JTEKT,corporation. Torque sensor:US,7845244 B2[P].2010-12-07.

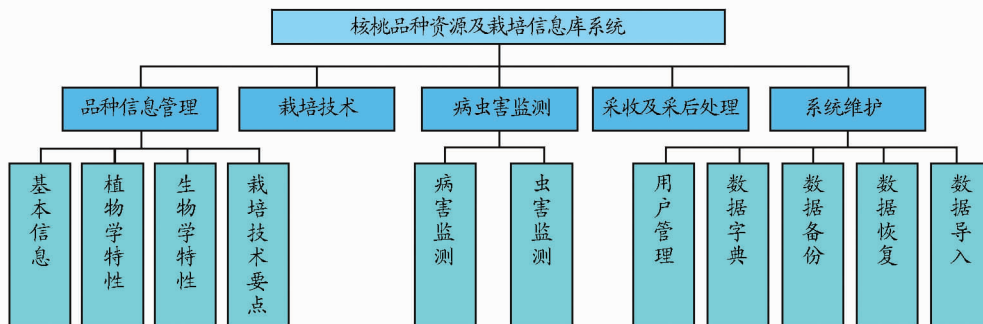


图1 系统总体功能结构



图2 系统主界面示意

进行维护。包括用户管理、数据字典、数据备份、数据恢复和数据导入功能

### 3 结语

核桃品种资源及栽培信息库系统的建设,顺应了当今社会信息技术发展的趋势,弥补了核桃资源数据记载不规范、不全面、数据遗失严重等问题,对核桃资源收集和评价工作具有至关重要的意义。

### 参考文献

- [1] 都荣庭,张毅萍. 中国果树志核桃卷[M]. 北京:中国林业出版社,1996.  
[2] 李国和. 核桃种质资源研究[D]. 雅安:四川农业大学, 2007.

- [3] 云南省林业厅. 2013年林业统计年报[J]. 云南林业,2014(12):1-2.  
[4] 张雨,董润泉,习学良. 云南核桃种质资源现状及开发利用[J]. 西北林学院学报,2004,19(2):38-40.  
[5] 马婷,郎南军,杨素琼,等. 云南省核桃资源现状及研究进展[J]. 内蒙古林业调查设计,2012,35(1):101-104.  
[6] 陈鹏,张仕林. 云南核桃资源现状及其加工利用前景分析[J]. 安徽农学通报,2009,15(1):59-61.  
[7] 廖声熙,姜磊,李昆,等. 鹤庆县天然林保护工程地理信息系统设计与实现[J]. 云南地理环境研究,2005,17(4):6-10.  
[8] 薛誉. 篮球裁判员判罚准确性探析[J]. 徐州工程学院学报, 2005(10):90-91.  
[9] 马婷,亢新刚. 森林经理学课程题库系统的设计与实现[J]. 河北林果研究,2009,24(1):26-28.

(上接第359页)

- [7] 李玉江. 霍尔传感器用于角度测量的一种方法[J]. 电子机械工程, 2001,92(4):25-26  
[8] HERDEN WERNER. Measuring device for contactless determination of relative angular position with an improved linear range;US,FR2739444[R]. 1997-04-04.  
[9] MIYATA KENJI, SHIMADA SATOSHI, TAJIMA FUMIO, et al. Non-con-

tact rotational position sensor and throttle valve assembly including non-contact rotational position sensor;US,RE40523[P]. 2008-09-30.

- [10] 印友军. 基于霍尔原理的非接触式位置传感器的研究与应用[D]. 上海:上海交通大学,2012.  
[11] 王春健,张舜,陈雁. 角度位置传感器:中国,CN201281584[P]. 2009-07-29.