

# 铁磁性物质在地磁场中的静置磁化和退磁

仲维畅

(南京燃气轮机研究所,南京 210037)

**摘要:**介绍了铁磁性物质静置于地磁场中产生的自发磁化和退磁的原因,主要有以下三点:一是磁时效——铁磁性物质的磁性和磁畴的空间排列都滞后于施加于其上的磁化场;二是地磁场强度大小和方向随着时间推移而发生的周期性变化;三是金属的时效——材料中机械应力随着时间流逝导致其磁化曲线和金相组织的改变以及延迟裂纹的出现等。

**关键词:**铁磁性物质;磁化;退磁;静态

中图分类号:TG115.28

文献标志码:A

文章编号:1000-6656(2009)06-0451-02

## Magnetization and Demagnetization of Ferromagnetic Materials Staying in Static State in Geomagnetic Field

ZHONG Wei-Chang

(Nanjing Gas Turbine Research Institute, Nanjing 210037, China)

**Abstract:** The reasons causing the spontaneous magnetization and demagnetization of ferromagnetic materials staying in static state in the geomagnetic field are explained in the present paper. The first cause is the magnetic ageing—the magnetism of ferromagnetic materials and the spatial arrangements of magnetic domains all lag behind the magnetizing field applied upon them. The second one is periodical changes of the geomagnetic field strength in magnitudes and directions with the passage of time. And the final cause is the ageing of metals—the increasing of mechanical stress in the materials versus time induces the change of its magnetization curve and metallographic constitutional changes as well as the appearance of the delayed cracking etc.

**Keywords:** Ferromagnetic materials; Magnetization; Demagnetization; Static state

文献[1—2]分别论述了铁磁性物体在地磁场中转动和平动时的自发磁化,而自然界中还存在着与此不同的另外两种现象——静置于地磁场中的铁磁性物质不仅能自发磁化,而且还会自动退磁。为阐明其成因,笔者进行了以下分析。

### 1 自发磁化和自动退磁

不少磁粉探伤人员都有下列经验:探过伤、退净磁的工件放置一段时间后,却发现它们又有了磁性;而某些强烈磁化的工件随着时间的推移,磁性却逐渐减弱了。如1980年1月南京汽轮电机厂在生产

2.3万kW燃气轮机转子时,发现其“出力端”轴头和轴承挡可吸附起305mm(12英寸)大螺丝刀,而到了4月却只能吸起3根大头针(每根大头针重约0.08g)。某大学在试验室内按要求调准了的磁性标准试件,拿到使用现场时,却发现其磁性改变了。

### 2 磁畴结构与磁时效

磁学<sup>[3—5]</sup>认为:铁磁性材料由自发磁化到饱和状态的小区域“磁畴”组成,每个磁畴的磁化强度M在大小和方向上都保持恒定,但不同磁畴的磁化方向却并不相同。材料未磁化时,各磁畴的排列完全无规则,故材料总体上不显磁性。当有外加磁化场H<sub>a</sub>时,这些磁畴便被取向、整列(即各磁畴的M逐渐转向H<sub>a</sub>的方向),从而使材料显现出了强烈的磁性。磁粉探伤后,对中小工件退磁所施加退磁电流

收稿日期:2007-06-22

基金项目:国家自然科学基金资助项目(50371045后续)

作者简介:仲维畅(1937—),男,高级工程师,主要从事声振动和磁性无损检测及其理论研究。

的持续时间一般都很短暂,在其作用下,原先显示出剩磁的一部分磁畴(以  $d_1$  表示)反转了过来,抵消了极性还来不及反转的另一部分磁畴(以  $d_2$  代表)所拥有的剩磁,使工件“退净”了剩磁(图 1a 和 b)。由于每个磁畴都受到相邻其它磁畴弹性力和弹性力矩的作用,故退磁场  $H_t$ (图 1b)建立的瞬间,磁畴  $d_2$  因弹性力矩的阻碍不能反转,磁畴  $d_1$  虽被强行反转了过来,但却承受到使它们恢复原状的极大弹性反力矩。退磁场  $H_t$  一旦消失,  $d_2$  大都原封不动,只有少量慢慢反转,  $d_1$  则被猛然弹回,而绕其转动中心作衰减摆动——所以退磁电流中止后,工件又会呈现出原有极性的剩磁(图 1c)。但随着时间的推移,  $d_1$  的衰减振动逐渐停止,它们都取与原来剩磁相反的方向,从而又抵消了  $d_2$  的剩磁(图 1d)。宏观看来,即出现了“磁时效”——磁性的滞后。

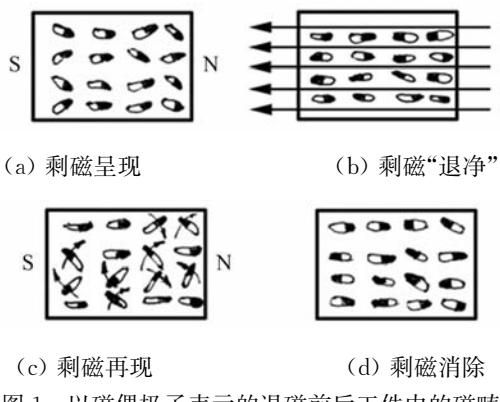


图 1 以磁偶极子表示的退磁前后工件内的磁畴

### 3 地球磁场随时间的变化和地磁感应

1653 年吉利布兰最先指出同一地方的磁偏角(磁北和真北间夹角,图 2<sup>[6]</sup>)会随着时间而改变。此后英国天文学家哈雷于 1683 年、格拉汉姆于 1722 年、德国科学家洪堡于 1860 年、阿喇戈在 1820 ~ 1825 年都分别对磁偏角、磁倾角(图 2)的周日变

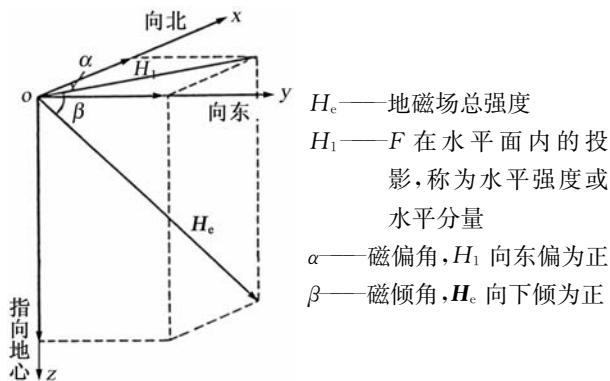


图 2 地磁要素示意图

化和长期变化等进行过观测和研究<sup>[5]</sup>,从而得悉:地球上某一地点的磁偏角和磁倾角都是随着时间不断变化的。虽然地磁场强度的周日变化极小,但其水平分量的周日变化却较大<sup>[5]</sup>。总之:

$$\frac{dH_e}{dt} \neq 0 \quad (1)$$

式中  $H_e$  为地磁场强度,  $T$ ;  $t$  为时间,  $s$ 。

根据法拉弟电磁感应定律<sup>[5]</sup>,在铁磁性物质中与  $H_e$  垂直的横截面  $S$  内会产生出感应电动势  $E$ :

$$E = -\mu_r \mu_0 S \frac{dH_e}{dt} \quad (2)$$

式中  $\mu_r$  为铁磁性材料的相对磁导率;  $\mu_0$  为真空磁导率,  $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ H/m}$ 。

$E$  在  $S$  内导致感应电流  $i$  产生,  $i$  必然激励出感应磁场  $H$ <sup>[7]</sup>,使工件自发磁化或退磁,这取决于  $H$  的磁极性与工件原有磁极性的关系,若相同,则材料自发磁化;相反,则工件自动退磁。对于静置于地磁场中原先并无磁性的铁磁性物质,随着时间的推移,必然会自发强烈地磁化。

### 4 金属时效引起的材料磁性改变

(1) “应力-磁化”转变 工件经静置一段时间(时效)后,其中所受的机械内应力会发生改变,而机械应力的改变会使某些材料的磁化曲线发生变化,从而使未受应力作用时不显磁性的材料因受高应力而转变成具有强剩磁和高矫顽力的材料。

(2) “应力-组织”转变 机械应力能够使金属晶格中各原子、离子间的相对距离、位置发生变化,从而影响其磁化性能。此外,机械应力还会引起金相组织的变化,例如使钢铁中不具磁性的奥氏体转变成具有磁性的铁素体。

(3) 金属在时效过程中发生了延时开裂,使原先首尾相连、磁性相抵消的磁畴间出现了断开的沟槽,从而显现出强烈的漏磁场。

### 5 结论

地球上任一地点磁偏角和磁倾角的周期性变化,必然会使静置于地磁场中的铁磁性物质中感应出磁化场,使其自发磁化或自动退磁。

铁磁性物质的磁畴结构和磁时效——磁畴的转动受到机械摩擦力矩的阻碍,是磁粉探伤后已退磁工件又重新带磁的主要原因。此外,因金属时效而引起的“应力-磁化”和“应力-组织转变”乃至延时裂

(下转第 455 页)

$+n^k$  是相应的含噪帧, 其中  $n^k$  是噪声。更进一步, 让  $\tilde{f}^{2D,k} = [\tilde{f}_1^{2D,k}, \dots, \tilde{f}_L^{2D,k}]$  表示视频序列中经过小波滤波后的第  $k$  帧图像。为了利用运动信息, 定义第  $k$  帧关于前一帧的运动量为  $m^k = [m_1^k, \dots, m_L^k]$ 。如果  $m_l^k = 0$ , 表示从第  $k-1$  帧到第  $k$  帧在位置  $l$  上无明显的运动; 如果  $m_l^k = 1$ , 表示从第  $k-1$  帧到第  $k$  帧在位置  $l$  上有明显的运动。按下式估计运动:

$$m_l^k = \begin{cases} 0 & \text{if } |\tilde{f}_l^{2D,k} - \tilde{f}_l^{3D,k-1}| < T \\ 1 & \text{if } |\tilde{f}_l^{2D,k} - \tilde{f}_l^{3D,k-1}| \geq T \end{cases}$$

式中  $T$  为一个阈值。在试验中, 发现取  $10 \sim 30$  效果较好, 在此取  $T=20$ 。如果某一位置上的像素没有运动被检测到, 则采用时间域迭代加权平均。

$$\tilde{f}_l^{3D,k-1} = \begin{cases} \alpha \tilde{f}_l^{2D,k} + (1-\alpha) \tilde{f}_l^{3D,k-1} & m_l^k = 0 \\ \tilde{f}_l^{2D,k} & m_l^k = 1 \end{cases}$$

式中  $0 \leq \alpha \leq 1$ , 试验中取  $\alpha=0.75$ 。

基于提升框架的视频降噪方法比基于传统小波变换的视频降噪方法在实时性上有较大的提高, 主要是因为基于提升框架的小波变换比传统小波变换快。例如, 对于长度为  $N$  的信号, Haar 小波的 DWT 需要进行  $2N$  次乘法和  $N$  次加法, 而相应的提升框架则只需要  $N/2$  次乘法和  $N$  次加法, 运算量大大减少。又由于使用了时间域滤波, 因此效果好于只进行空域滤波的方法。

### 3 仿真结果

在仿真过程中, 采用  $256 \times 256 \times 8$  bit 的图像序列。使用 Celeron2.4 GHz, 512 MB 的计算机, 结果见图 1 和 2。

从图 2 可以看出, 该算法在降低噪声的同时很好地保持了细节, 效果较好。在运算速度上, 使用 DirectShow 的运行时间为 51 ms, 未使用 Direct-

(上接第 452 页)

纹等也是使无磁性工件重新显现磁性的原因。

### 参考文献:

- [1] Wei-Chang Zhong. Explanation of high residual magnetism found in drill stems[J]. Materials Evaluation, 2006, 64(4): 394-395.
- [2] 仲维畅. 铁磁性物体在地磁场中的自发运动磁化[J]. 无损检测, 2005, 27(12): 626-627.
- [3] Bozorth R M. Ferromagnetism[M]. New York: IEEE Press, 1978.

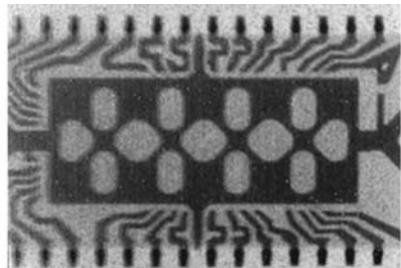


图 1 源图像

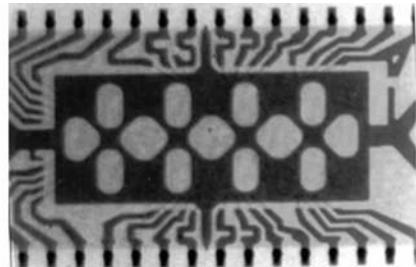


图 2 处理后的图像

Show 的运行时间为 76 ms。可见, 该方法大大提高了处理速度, 能够达到 20 帧/s。

### 4 结论

提出一种基于 DirectShow 的动态降噪方法。利用 DirectShow 开放式的开发环境, 定义了一个动态降噪 Filter, 以控制和处理视频数据流。在 Filter 设计中采用计算量小、占用内存少的提升框架方法, 提高小波分解与重构的速度, 从而实现基于 DirectShow 的视频降噪的实时处理。该方法用软件实现, 避免了使用特定硬件的限制, 易于修改。仿真实验中所用视频的降噪速度可达 20 帧/s, 但在图像较大并且带有强噪声时的处理时间还不太理想, 需进一步优化算法。

(下转第 500 页)

- [4] 赵凯华, 陈熙谋. 电磁学[M]. 北京: 高等教育出版社, 1978.
- [5] 宋德生, 李国栋. 电磁学发展史(第二版)[M]. 南宁: 广西人民出版社, 1996.
- [6] 中国大百科全书. 固体地球物理学 测绘学 空间科学卷[M]. 上海: 中国大百科全书出版社, 1985.
- [7] 仲维畅. 金属磁记忆法诊断的理论基础——铁磁性材料的弹-塑性应变磁化[J]. 无损检测, 2001, 23(10): 424-426.