

磁流体超声检测的原理和应用*

P. P. Prokhorenko等

研究在超声检测中应用磁流体(MF)作为声触点。报道了MF的声学性能,它们对无损检测装置中声学通道的影响和超声扫描时流体的损失等有关问题所作探索性研究的结果。

磁流体在无损检测中获得日益广泛的应用。我们首次提出在超声检测中用这种介质作为MF声学通道^[1,2],并已经设计了一系列具有MF触点层(UTMF)的超声换能器,用来检测不论是机械化还是自动化检测中位于几乎不可能测到的地方的复杂形状的物体^[3-6]。

已经测量了210—320K温度范围内在煤油($q_p = 0$ 至27.4%)、变压器油(0至23%)、水(0至8%)等流体中具有不同磁粒容量的磁流体的声学性能。超声速度 C_m 用干涉测量法和脉冲相位法测定,频率为5MHz,测量误差为0.1%~5%。超声阻尼的变化 $\Delta\alpha$ 用脉冲回声法测量。还用Happler装置和Rheotest-2(流变测试仪)补测了MF的粘度值。

根据实验数据(图1),MF的声学性能的变化尤如其所用的液体的那样。所研究的磁流体是非-Knezerian流体。 $\Delta\alpha(T)$ 曲线某一温度值 T^* 有一最大值,这些温度值对变压器油和煤油的MF相差几十度。降低温度使之接近 T^* 时,超声速度非线性地增大,其 $\partial C_m / \partial T$ 大大超过在室温所测的值^[4]。值得注意的是在一种有机化合物的MF中,当 $T < 290K$ 时,可用文献[4]中提出的公式估算超声速度和它的电阻率,这时,假设胶体溶液中的各组份的压缩性和密度具有可加和性和不变性。MF的压缩性 $\beta(q_p) = \rho_m^{-1} C_m^{-2}$ 的实验和理论数据示于图1b。其中的 β_0 是分散剂油酸的压缩性。

MF的物理性能分析表明,在220~240K时,煤油基磁流体可用作UTMF,变压器油的可达到255~265K,而用油酸作稳定剂的水基磁流体可达到269K。

在铁磁流体中, q_p 的增加主要是导致扩展换能器的指向性瓣,增大Snellius入射角和 N_p 函数,

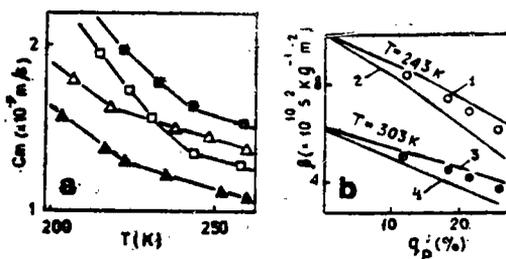


图1 $C_m(T)$ (a)和 $\beta(q_p)$ (b)曲线

$q_p, \% = 0(\blacksquare, \blacktriangle), 27.4(\blacktriangle), 23(\square)$

$\beta_0 = \text{常数}(1.3), 0(2, 4) \cdot \text{基液};$

煤油($\blacktriangle, \blacktriangle, \bullet, 1, 2, 3, 4$); 变压器油(\square, \blacksquare)。

$N_p \approx K D_1 D_2 \exp(-\Delta\alpha l)$, 若 $\Delta\alpha l \approx 0$,可增大13~14dB,这里K是变换系数, D_1 和 D_2 是在分界面:UTMF-MF-物体的具体声学通道上的声能透射系数, l 是MF中声学通道的长度。 N_p 在确定的温度 $T_N < T_0$ 时有一最大值。增大声波频率、MF中声学通道的长度、磁粒的容量会使得 T_N 增高,并使UTMF适用的温度范围变窄。此范围的选择基本上依赖于换能器运动时接触介质的损失。

根据对流体中无限表面的法向移动的补偿这一问题理论分析^[7],我们推导出当换能器沿一任意轨道运动时估计磁流体损失的公式。假设惯性力矢量的方向性 $\vec{G} = \text{const} = \vec{G}_0 G = M \nabla H + \rho_m \vec{g}$ 。单位法向矢量 \vec{n}^0 和 $\vec{v} = \vec{v}^0 v$ 是任意的且MF中声学通道的曲率半径是可变的,这里M, P_m , H分别是磁化强度、MF密度和磁强。假定 $r/R, r/x, r/h \ll 1$,这里r是在MF-物体边界上一弯月面的特征曲率半径,h是声学通道的高度,x是惯性力空间变化的特

* 本文为第五届磁流体国际会议论文。

征尺度,则在换能器一任意轨道的准定常运动的情况下,时间 t^0 时,求MF流速的公式如下:

$$\int_{l^0}^{\varphi} \varphi AG^{-0.5} \eta \kappa \kappa + 1 | \tilde{G}^0 \times \tilde{n}^0 |^{-0.5} | \tilde{v}_0 \times \tilde{l}^0 |^{\kappa+1} dl dt \quad (1)$$

这里,若 $\omega = \eta v / \sigma \ll 1$, $A = C_1 | \tilde{G}^0 \times \tilde{n}^0 |^{0.5} \cdot (\tilde{n}^0 \tilde{G}^0 + 1)^{-0.5} \sigma^{-1/2}$, $K = 2/3$, 而 $\omega \gg 1$ 时, $A = C_2$, $K = 0.5$; C_1 和 C_2 是常数,是描绘边界的轨道, η 和 σ 分别是MF的粘度和表面张力, $d\tilde{l} = \tilde{l}^0 dl$.

这样,UTMF流速特性不仅由MF物理性能和惯性力的大小而且同样也由 \tilde{v}^0 , \tilde{n}^0 和 \tilde{G}^0 之间的方向来确定。在 $\omega \ll 1$ 和 $\varphi_{1,2} = \pm \arcsin | \tilde{l}^0 \cdot \tilde{v}^0 | = \pm \pi/6$ 。MF损失与 $\varphi = \pi/2$ 时相比较,总共达30%。同样的特性在 $\Psi = \pm \arcsin | \tilde{G}^0 \cdot \tilde{n}^0 | = \pi/6$ 时,相差高于3倍。

用上述条件检验公式(1)表明,它与实验结果十分一致(10%~20%),该实验是把可弯曲的条带拉过由恒磁铁吸住的MF中(带速 $1 - 250 \times 10^{-3} \text{ m/s}$)。值得指出的是作者们比文献^[8]还要早地做了把MF薄膜从窄缝的法向拉入的实验,磁粒浓度的计算与实验数据之间令人满意的一致,仅差百分之几。

由图2可见,物体单位面积的MF损失 m^0 与磁性浓度的关系曲线上有一不太明显的最小值,它随

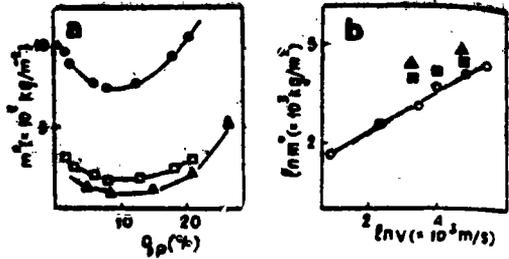


图2, $m^0(q_p)$ (a)和 $m^0(v)$ (b)曲线

基液:煤油(Δ),变压器油($\square \bullet \blacksquare \blacktriangle$)。

$v(\text{m/s}) = 0.025 - \square$; $0.25 - \blacktriangle \bullet$,

$R_{zH} \approx 2.5 - \circ$; $60 - \blacksquare$; $90 - \blacktriangle$ 。

所用液体的粘度的增大而移向高浓度区。当物体的粗糙度 $R_z > 5 \sim 10 \mu\text{m}$ 时,理论与实验之间的差异可达百分之几十和百分之数百。为减少 m^0 ,建议用一缓冲流体^[2],诚如理论分析和实验已经揭示的那样,这种缓冲液体将改变流动边界条件并减少换能器的MF流阻。

(参考文献略)

许孙曲译自 Journal of Magnetism and Magnetil Material 1990, 85:261~263

章瑞铨,冯绍松校

《声学技术》承接广告启事

《声学技术》是由上海市声学学会、中国科学院东海研究站及同济大学声学研究所联合主办的技术刊物。于1982年正式创刊,自办发行,其报导内容以声学技术应用为主,兼及当前国内外声学科科技信息以及评述科研发展动态。在国内外享有一定的声誉。

本刊专业面宽,读者面广,读者对象为科研、设计、生产和使用等部门广大工程技术人员和业务领导,有较好的广告效果。欢迎国内外企、事业在本刊登载产品广告和业务广告。

本刊为16开本,季刊,每年2、5、8、11月出版,每期48页。

国内刊号:CN31-1449,国际刊号:ISSN1000-3630。

联系地址:上海市小木桥路456号《声学技术》编辑部,

邮政编码:200032 电话:(021)4047276