

这种陶瓷球具有很高的抗压缩强度(3GPa),并且在钢套两端设计成活动滑块,可用螺钉控制其压紧程度,这一特殊设计的磁体,场强已达到72T, $t = 12-80\text{ms}$.

5 结论

强磁场技术,其中包括稳态场、脉冲场及其相关技术,近年来取得了长足进展.尤其是45T稳态强磁场装置的建成,为强磁场下的凝聚态物理、材料科学、化学和生物科学研究等提供了一个新的研究条件,并可望某些新现象和新效应的发现.

参 考 文 献

[1] 中川康昭,日本金属学会会报,31(1992),406.
 [2] L. G. Rubin, R. J. Weggel, E. J. McNiff Jr. et al., *Physica B*, 201(1994), 500.

[3] J. Brooks, J. E. Crow, D. M. Parkin et al., *Physica B*, 197(1994), 19.
 [4] J. R. Muller, M. D. Bird, S. Bole et al., *IEEE Transactions on Magnetics* 30(1994), 1563.
 [5] K. Inoue, T. Asano, T. Kiyoshi et al., *Physica B*, 177(1992), 7.
 [6] K. Inoue, T. Takeuchi, T. Kiyoshi et al., *Physica B*, 201(1994), 517.
 [7] T. Kiyoshi, K. Inoue, K. Itoh et al., *IEEE Transactions on Magnetics* 30(1994), 2110.
 [8] M. Oshikiri et al., *Physica B*, 201(1994), 521.
 [9] S. Fonet, *Appl. Phys. Lett.*, 49(1986), 982.
 [10] H. A. Jordaan, R. Wolf, D. Deklerk, *Physica*, 69(1973), 129.
 [11] 施嘉标、潘引年、查秀英等,核科学与工程,4(1984), 163.
 [12] Y. Sakai, K. Inoue, T. Asano et al., *Appl. Phys. Lett.*, 59(1991), 2965.
 [13] G. Machel et al., *Physica B*, 201(1994), 575.
 [14] G. S. Boebinger, A. Passner, J. Bevk, *Physica B*, 201(1994), 560.

共振腔内微波场强的测量方法*

谭立国 胡用时 张志强

(华中理工大学固体电子学系,武汉 430074)

摘 要 提出了一种利用定向耦合器确定共振腔内微波场强的新方法.该方法简单实用,引入误差较小.实验表明,这一方法得出的结果与现行方法符合很好.

关键词 微波场强测量,共振腔,定向耦合器,高功率微波材料

目前在高功率微波铁氧体材料的自旋波线宽 ΔH_k 的测试中,用 TE_{10n} 矩形共振腔产生高强度的微波场,被测样品放在腔内微波磁场最大处(零电场处).在加直流偏磁场的条件下,当微波功率升高到某一定值时,产生高功率非线性吸收现象,微波脉冲后沿开始畸变.这时加在样品上的微波磁场强度为阈值场强,根据阈值场强可以确定自旋波线宽.

确定阈值场强实际上是确定腔内最大的微波磁场.测试时, TE_{10n} 矩形腔处于共振状态,内

部的场强可以通过腔的品质因数、共振时的驻波比、共振频率、腔的入射功率以及腔的工作波型和尺寸计算出来.整个测试和计算比较复杂,引入误差也较大.

1 TE_{10n} 矩形共振腔内场强的确定

* 1995年8月14日收到初稿,1995年11月20日收到修改稿.

根据以往的作法, TE_{10n}矩形腔共振时腔内最大磁场由下式

$$h_c = 4 \sqrt{\frac{P_{in} Q_1}{(1+r)\mu_0 \pi f_0 abd [1 + (\frac{d}{na})^2]}} \quad (1a)$$

(对弱耦合腔)

$$h_c = 4 \sqrt{\frac{P_{in} Q_1}{(1+\frac{1}{r})\mu_0 \pi f_0 abd [1 + (\frac{d}{na})^2]}} \quad (1b)$$

(对强耦合腔)

确定, 式中 h_c 为腔内最大磁场, Q_1 为有载品质因数, P_{in} 为输入行波功率, r 为共振时腔输入端反射形成的驻波比, f_0 为共振频率, d, a, b 分别为腔的长、宽、高. n 为工作波型的第三下标, 表示场强沿腔长度分布的半驻波个数.

上式是在信号源完全匹配的条件下导出的, 这一条件在测试系统经过精心调配后原则上是可满足的, 但实际上这一条件很难完全满足, 因此测试时不可避免会产生误差. 另外 Q_1 和 r 是不稳定的, 它们随环境温度、湿度以及腔内表面导电状况和信号源的匹配状态而变化, 特别是在高功率下工作时, 腔内打火会使其表面烧蚀, 从而改变 Q_1 值.

为减小测量误差, 要求每次确定场强前都重新测定腔的 Q_1 值. 当腔工作在高功率系统时, 直接测 Q_1 是不容易的, 必须把腔改接到低功率测试系统上去, 在低功率系统上测定 Q_1 后再把腔接回到高功率系统上来, 或者在高功率系统上转接低功率信号源以及相应的测试设备, 测完 Q_1 后再恢复高功率系统. 连接转换时, 波导法兰面的错位将进一步带来误差.

由以上讨论可以看出, 按现行方法确定高功率下腔内场强是一件很麻烦的工作, 其误差源也较多.

2 新的测场方法

为了克服上述缺点, 我们给共振腔装上一个定向耦合器. 共振腔内的电磁振荡是由两传播方向相反的行波叠加构成. 当腔的品质因数

很高时, 这两个行波分量振幅基本相等. 用定向耦合器对其中任一行波分量取样, 根据定向耦合器的耦合度, 即可算出行波分量的功率, 由腔内行波分量的功率来确定腔内的场强.

对于 TE_{10n} 矩形共振腔, 其行波分量的功率 P_{CT} 与它的电场强度最大值 E_m 的关系由下式表示^[1]:

$$P_{CT} = \frac{ab}{4} \frac{\alpha}{\omega_0 \mu_0} E_m^2, \quad (2)$$

式中 α 为相位常数, ω_0 为共振角频率, μ_0 为真空磁导率. 行波分量电场强度最大值 E_m 与行波分量的磁场强度的最大值 h_m 有如下关系:

$$E_m = \frac{\omega_0 \mu_0}{\alpha} h_m. \quad (3)$$

由于腔内两行波分量幅度相同, 腔内最大场强等于行波分量场强最大值的两倍. 若 h_c 为腔内磁场的最大值, 则有

$$h_m = \frac{1}{2} h_c. \quad (4)$$

相位常数 α 与腔内的波导波长 λ_g 有如下关系:

$$\alpha = \frac{2\pi}{\lambda_g}. \quad (5)$$

将(3), (4), (5)式代入(2)式, 经整理后得到

$$h_c = 4 \sqrt{\frac{P_{CT}}{abf_0 \mu_0 \lambda_g}}. \quad (6)$$

考虑到在 TE_{10n} 矩形腔中, 共振时其波导波长 λ_g 与腔长 d 以及工作波型的第三下标 n 有如下关系:

$$\lambda_g = \frac{2d}{n},$$

且腔内行波功率 P_{CT} 与耦合度为 A 分贝的腔内取样定向耦合器的输出功率 P'_{CT} 有如下关系:

$$P_{CT} = P'_{CT} \cdot 10^{-A/10},$$

于是得到

$$h_c = 4 \sqrt{\frac{n P_{CT}}{2abdf_0 \mu_0}} = 4 \sqrt{\frac{n P'_{CT}}{2abdf_0 \mu_0}} 10^{-A/20}. \quad (7)$$

由(7)式可算出TE_{10n}矩形腔内最大磁场 h_c 。利用(7)式确定 h_c 不需要测量 Q_1 和 r , 也不需要判断腔与外电路的耦合状态。该式不包含任何共振腔外部电路有关的量。这意味着可将腔随意接入测试系统, 即使在信号源和负载对系统严重失配的情况下, 也不会给场强的测试带来误差。

实际测量中, 要求用于测定腔内行波分量功率的定向耦合器的耦合度不能过大, 否则会扰动腔内场分布, 使(7)式的推导条件发生变化, 给场强的确定带来误差。

3 实验验证

为了验证上述方法的正确性, 我们在两个

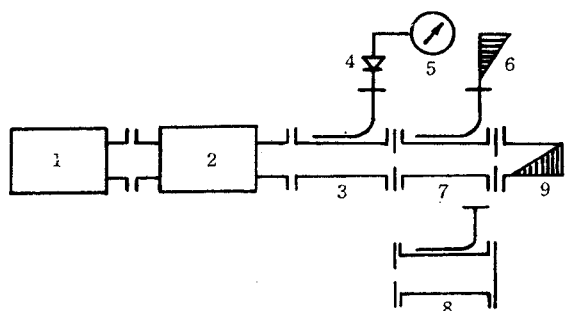


图1 实验验证测试系统

1. 信号源; 2. 精密衰减器; 3. 入射波定向耦合器; 4. 晶体检波器; 5. 检流指示器; 6. 匹配负载; 7. 带定向耦合器的通过腔; 8. 带定向耦合器的反射腔; 9. 匹配负载

3cm 波段十字形定向耦合器的主波导端口分别

装上膜片, 构成了一个通过腔和一个反射腔, 并用(1)式和(7)式分别计算这两个腔的场强值。

为了准确得出场强值, 我们在对信号源精心调配的状态下测定了它们的共振频率 f_0 、有载品质因数 Q_1 、共振腔反射产生的驻波比 r 以及腔内取样定向耦合器的耦合度 A , 并确定了腔与外电路的耦合状态为弱耦合, 另外还测出了对输入功率取样的定向耦合器的耦合度 A_{in} 。然后按图1依次把两个带定向耦合器的腔体接入测试系统中, 并改变信号源1的频率, 使共振腔共振。用衰减替代法测出腔内取样定向耦合器与入射功率取样定向耦合器3的输出功率比的分贝数 A_T 。根据测试系统的连接情况, 可以推导出

$$\frac{P_{CT}}{P_{in}} = 10^{(A_{in} + A_T - A)/10} \quad (8)$$

由(8)式可算出腔内行波分量功率与腔的输入端口的入射功率的比值。

为区别起见, 由(7)式计算的场强用 h'_c 表示, 由(1)式计算的场强仍用 h_c 表示。用两种不同方法得出的场强的比值在考虑到(8)式后为

$$\frac{h'_c}{h_c} = 10^{(A_{in} + A_T - A)/20} \cdot \sqrt{\frac{(1+r)\pi n [1 + (d/na)^2]}{2Q_1}} \quad (9)$$

在理想情况下, 两种方法得到的结果完全相同, (9)式中的 h'_c/h_c 应等于1。实际上, 由于耦合孔的影响以及测量误差, 这个比值只能接近1。表1列出了实验结果。由结果看出两种方法确定的场强值符合得很好。

表1 实验数据

	Q_1	r	n	d (mm)	a (mm)	A_T (dB)	A_{in} (dB)	A (dB)	h'_c/h_c
通过腔	2228	2.981	4	92	22.86	2.067	-9.58	-23.81	0.981
反射腔	2120	4.104	4	92	22.86	0.6	-9.58	-24.04	0.988

实验中没有用功率计直接测量 P_{CT} 和 P_{in} , 而是采用衰减替代法测出两对应的取样定

向耦合器的输出功率的比值的分贝数 A_T , 这样做可以提高实验精度, 因为微波功率测量的

误差是比较大的.

4 结论

本文首次提出用定向耦合器确定共振腔内场强的方法,给出了计算公式.同现行方法相比,它简单可靠,引入误差较小,对测试系统无严格要求.实验证明,该方法在原理上是成立的,可以用来确定微波铁氧体高功率吸收的阈

值场强.该方法不但可以确定腔内微波磁场强度,也可用来确定微波电场强度,可望用于研究水和其他介质经过高强度微波电场处理后的物理特性.

参 考 文 献

- [1] 黄宏嘉,微波原理,科学出版社,(1963),116.

气体炮技术*

王金贵

(中国工程物理研究院流体物理研究所,成都 610003)

摘 要 气体炮是当前世界上应用最广的实验室用冲击加载装置.由于气体炮具有高速发射弹丸的能力,它的冲击加载可在固体材料中产生几百 MPa 至几百 GPa 的冲击波压力,是研究材料在动态高压下的状态方程、本构关系以及断裂和相变的有效工具.同时,也是研究高速弹道学的理想装置.文章介绍了一、二级气体炮的一般工作原理和相关技术,讨论了其使用特点和当前水平,并简要介绍了几个典型的应用实例.

关键词 气体炮,冲击加载,冲击波物理

本世纪 50 年代,人类已经具有发射航天器的能力.摆在人们面前的一个重要问题是:如果航天器在太空以 8km/s 以上的速度运动时与陨石相碰,将会遭到多大的破坏? 60 年代以来,坦克和飞机的性能都有很大的提高.对坦克来说,不仅装甲的厚度不断地增加,而且在装甲的结构方面也发生很大的变化.采用“夹心饼干”式的复合装甲大大提高了抗御破甲弹的能力.飞机的航速已经达到 2.5—3 马赫数.在这样快的飞行速度下,原来初速仅约 1km/s 的高射炮射击的命中率显著下降.火箭技术的发展特别需要一种观测缩比箭体模型飞行气动力性能的手段——弹道靶.高压物理的发展要求人们产生更高的压力载荷.当前最有效的实验室条件是利用高速飞片与材料相碰,借助所产生的强冲击波对材料冲击加载.这些技术领域的发展,刺激人们更深入地研究高速发射技术.

人们已经探索了加速弹丸和粒子的一些方

法. C. N. Scully 等^[1]报道了采用电热炮使小型硅酸盐球体 (10^{-8} — 10^{-6} g) 的速度可达到 20km/s. 球体由锂离子流的气动力加速,由电弧放电给离子流供能. J. F. Friichtenicht 等^[2]用静电方法把小型带电粒子(直径为 0.1—10 μ m)加速到高达 28km/s 的速度. S. Kronman 等^[3]把 0.01—1g 的离散粒子用向心爆轰技术已经加速到 ~21km/s 的速度. 虽然这些发射技术创造了相当高的速度指标,但是从应用于实验研究角度看,都还达不到能与气体炮发射器相竞争的地步.

与其他发射器相比,气体炮是一种特别通用的装置.这是因为它能发射各种形状的弹

* 国家 863 高技术计划资助项目;国家自然科学基金资助项目;中国工程物理研究院科学基金资助项目.

1995 年 6 月 5 日收到初稿,1995 年 11 月 1 日收到修改稿.