

我们采用激光干涉相移条纹以及白光投射条纹和步进马达控制光栅移动相位测量技术,对人体^[19]头骨、叶片、汽车车身模型^[20]做了测量,得到了精确的测量数据。

四、测量误差讨论

有关相位测量误差的讨论已在许多文章中得到论述^[10,21,22]。值得提出的是 J. V. Wingerden^[22]对于相移方法做了比较详细的误差分析,该文讨论了相移器的系统误差以及光源、机械振动、检测器噪声、非线性等引起的误差。文章提出五步(90°)相移和平均四步(90°)相移具有较小的误差,在校正情况下,四步(90°)使用比较方便,对随机误差,三步(120°)将比三步(90°)好。根据文章所提供的公式推算,一个 0.5°的相移误差在四步(90°)相移时将产生 0.4°的相位误差,这在偏振相移装置(不大于 0.3°/步)将不难解决。

[1] 金观昌、唐寿鸿,第六届全国实验力学学术会议论文

集,北京大学出版社,(1989),1007.

- [2] J. Schwider *Appl. Opt.*, **22** (1983),3421.
 [3] 金观昌,唐寿鸿,光学学报,**10**(1990),161.
 [4] 金观昌、唐寿鸿,应用激光,**12**(1992),29.
 [5] H. Kadono and S. Toyooka, *SPIE Proceedings*, **1554A** (1991),628.
 [6] C. R. Mercer and G. Beheim, *Appl. Opt.*, **30** (1991), 729.
 [7] M. aloua and H. Liu, *Optics and Laser in Engineering*, **11** (1989),185.
 [8] P. Wizinowich, *Appl. Opt.*, **29** (1990),3271.
 [9] J. J. J. Dirckx, *Appl. Opt.*, **27** (1988),1164.
 [10] M. Owner-Peterson, *Appl. Opt.*, **30** (1991),2730.
 [11] G. H. Kaufmann *Appl. Opt.*, **29** (1990),3570.
 [12] Der-Shen Wan, *Appl. Opt.*, **29** (1990),3255.
 [13] S. Tang and Y. Y. Hung, *Appl. Opt.*, **29** (1990),3012.
 [14] 唐寿鸿、金观昌,中国激光,**18** (1991),405.
 [15] C. Joenathan, *Appl. Opt.*, **29** (1990),1905.
 [16] D. Shi et al., *SPIE processings*, **1554A** (1991),680.
 [17] G. M. Brown, *Exp. Mech.*, **30** (1990),135.
 [18] 金观昌,实验力学,**7** (1992),181.
 [19] 金观昌、高柠,人类学学报,**9** (1990),164.
 [20] G. C. Jin and S. Tang, *Opt. Eng.*, **28** (1989),1211.
 [21] K. Greath, *SPIE Processings*, **680** (1986),19.
 [22] J. V. Wingerden, *Appl. Opt.*, **30** (1991),2718.

凹形电介质测试腔新的刻度和测试方法

倪尔瑚

(浙江大学材料系,杭州 310027)

一、凹形谐振腔及其电介质测试系统

频率从 0.1GHz 至 1GHz 的电介质测量方法广泛采用凹形谐振腔构成的测试系统[图 1 (a)]. 它是国际电工委员会(IEC)和大部分国家作为固体电介质材料相对复介电常数 $\hat{\epsilon}_r = \epsilon_r(1 - j\tan\delta)$ 标准测试方法。该凹形谐振腔是一段中心导体断开的、两端短路的同轴双凹结构。其上中心导体籍助于位于顶上的主测微器产生上下移动,形成可变间隙的平板电容 C_1 ,待测样

品就放在这个间隙之中。下中心导体上方开有一侧向圆孔,位于腔体侧面的微调测微器推动杆子在孔内运动,构成微调圆柱电容 C_2 ,用以测量谐振曲线的带宽。当间隙集中电容 C_1 远大于同轴线的分布电容时,可认为两个集中电容 C_1 和 C_2 与同轴线的分布电感形成谐振回路[图 1 (b)]. 材料的相对介电常数 ϵ_r 和损耗角正切 $\tan\delta$ 就从有、无样品时 C_1 和 C_2 (用频率刻度)的读数按有关公式计算得到。但仍然存在着如下问题,阻碍了它的商品化。

(1)由于引入腔体的样品电容很小,要求平

板间隙能非常精密地调节和刻度成电容(单位 pf). 当采用常规的电容-间隙曲线(或对照表)时, 不仅刻度和使用都很麻烦, 而且又不能在整个量程内达到所要求的精度, 特别是在 0.5mm 以下的常用区间, 误差很大.

(2) 由于每次测量都必需在平板间隙中夹紧样品, 使主测微器的丝杆精度很快降低, 无法

满足较长时间使用. 当夹紧过头时, 还会造成主测微器外套的滑移, 使读数不正确, 出现谬误的测量结果.

(3) 微调电容用频率刻度的手续极其麻烦, 精度不高, 使用极不方便.

(4) 要在被测样品表面施以和去掉导电薄层情况下分别进行测量才能获得 ϵ_r 和 $\tan\delta$.

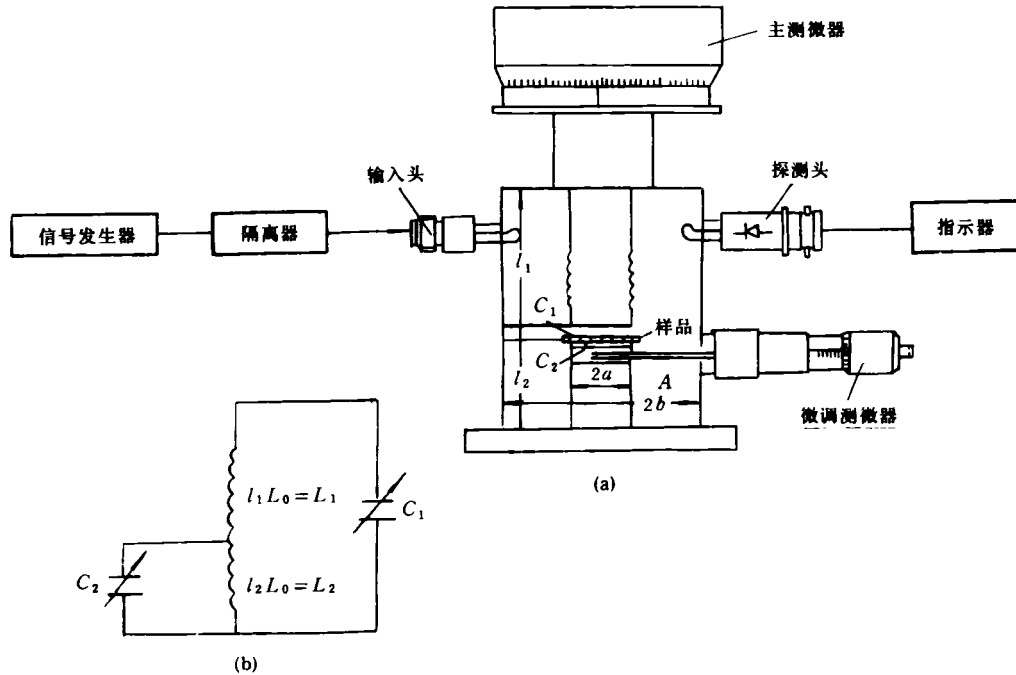


图 1 (a) 凹形谐振腔测试系统; (b) 腔体等值电路

二、腔体新的刻度方法

1. 主电容 C_1 刻度的新方法^[1]

本发明用引入电极直径的增量 Δ 来表示边缘电容, 并用这个长度来刻度电容, 使刻度曲线从接近双曲线变成接近直线.

假定包括边缘电容在内的平板电容 C_1 可按下式计算:

$$C_1 = \frac{(D + \Delta)^2}{144(M + \delta)} (\text{pf}), \quad (1)$$

式中 D 是圆平板电极的直径 (mm), M 是主测微器读数 (mm), δ 是主测微器与极板间隙零值的差异 (mm), Δ 是用以计及边缘电容的电极直径的增量 (mm). 用精密电容电桥测量 $M =$
物理

0.1—6mm 范围内约 30 个点的电容 C_1 , 按 (1) 式求得 Δ , 将一组 Δ 、 M 数据用计算机进行优化处理, 建立 Δ - M 对照表, 由此就完成了电容刻度. 将该对照表与有关公式存储在计算机的软盘中, 使用时只需按测微器读数 M 用线性内插法从 Δ - M 对照表获得 Δ , 按 (1) 式可获得极接近于原刻度的电容量. 它适用于可作为集中电容处理的电容间隙. 一般情况下可用于 1GHz 以下的平板可变间隙空气电容器的刻度. 它比常规的电容-间隙直接刻度法有线性范围大、精度高、只需较少测量点就能完成刻度等优点.

2. 微调电容 C_2 用频率刻度的改进

为消除残余电感的影响, C_2 的变化是用频率刻度的. 但频率 γ 与微调测微器读数 m 呈

近似抛物线关系,这给刻度和使用都带来了复杂性. 本发明采用如下方法:(1)调节圆柱电容 C_2 的孔和杆子 A 的直径;(2)将刻度范围缩小到谐振曲线半功率点带宽的 2—3 倍,使 γ 与 m 的关系达到线性. 刻度得到的线性相关系数可以不低于 0.9999,从而提高了刻度的准确度,大大减化了刻度手续和方便了使用.

三、改进测试方法

1. 不接触电极的测试方法

在样品和上电极间引入空气隙构成不接触电极,从而使常规的直接测量样品的 ϵ_r 和 $\tan\delta$ 变成测量样品和空气隙串联的等效 ϵ_r^* 和 $\tan\delta^*$,再来计算样品的 ϵ_r 和 $\tan\delta$. 这样不再需要在样品表面涂覆或粘贴导电薄层和进行有、无导电薄层的两次测量. 这显然简化了制备样品和测量的手续,并使主测微器的丝杆能长期保持高精度及主电容的读数在使用过程中不会出差错. 同时也带来如下的优点:

(1)能对无法施加导电薄层的和不能施加压力的材料进行测量,如硬、软泡沫材料、多孔陶瓷、弹性材料、薄膜等.

(2)扩大了 ϵ_r 、 $\tan\delta$ 的高端测量范围.

(3)用调节空气隙的距离使同一样品可以在不同频率下获得 ϵ_r 、 $\tan\delta$ 的数据.

这个在低频下被推荐的不接触电极测试方法,在分米波波段之所以能得到极成功的应用与发展,应归功于主电容刻度的新方法,腔体的高 Q 因子(在 500MHz 时, $Q_0 \approx 2500$),以及高精度的主测微器丝杆.

2. 一次失谐测试法

常规的测试方法是在含和不含样品两种情

况下分别用调节微调测微器来失谐,读取半功率点谐振曲线的带宽 $\Delta\gamma_i$ 和 $\Delta\gamma_0$ 来获得材料 $\tan\delta$. 由于现在微调测微器的精确刻度只有空腔谐振曲线带宽的 2—3 倍,所以在一般情况下(极低损耗材料除外)不再允许含样品情况下的失谐测量,而是用含和不含样品时指示器在谐振点的相应指示 I_i 和 I_0 替代 $\Delta\gamma_i$ 来获得 $\tan\delta$. 众所周知,在同一系统下,一次失谐和两次失谐测试法的误差是相同的,且在低频下近年来也趋向于用一次失谐法来替代原来乐于使用的两次失谐法.

分米波波段已在超远程警戒雷达、电视、广播、通信、激光调制等方面得到广泛的应用,在其他方面的应用也还在不断开拓,因而准确测量非金属材料在该波段的介电性能对国民经济和国防都具有重要的意义. 凹形电介质测试腔新的刻度和测试方法的完成,使腔体能批量生产,腔体或以腔体为主体构成的电介质测试仪可以变成一组工业产品. 我们在 1986 年试生产的第一批 20 台 300—600MHz 的腔体已在国内各有关单位使用并得到好评. 我们又于 1989 年 8 月完成了机械电子工业部部标的编写和制订工作(SJ/T 10143-91). 这些都为今后的更广泛应用打下了基础. 此外,本文介绍的方法是集中参数和分布参数相结合的一个极典型例子,作为不同电磁场结构的各类凹形腔^[2]中的一个特例,对大专院校的理论和实验教学都是很有推荐价值的.

[1] 倪尔翔等,浙江大学学报,21-3(1987),155.

[2] 倪尔翔,电子测量技术, No. 2(1985),17.