

塑料和聚合物的超声焊接

贺西平

(陕西师范大学物理学与信息技术学院, 陕西省超声学重点实验室, 陕西西安 710062)

摘要: 从塑料和聚合物的特性、塑料焊接方法分类、焊接的基本步骤、焊接特点方面介绍了塑料和聚合物的超声焊接。一般认为, 超声焊接的研究内容主要是研究与超声有关的焊接声参数方面的问题。其实, 在国外更多地是从材料方面研究焊件在焊接过程中物理性能的变化, 对此做了较详尽的介绍。超声波在热塑性粘弹性介质中传播相对于金属介质来说有较大耗损, 文中也介绍了测定粘弹性介质复杨氏模量的基本方法。

关键词: 热固性塑料; 热塑性聚合物; 超声焊接; 复杨氏模量

中图分类号: O426.4

文献标识码: A

文章编号: 1000-3630(2014)-02-0131-06

DOI 编码: 10.3969/j.issn1000-3630.2014.02.007

Ultrasonic welding of plastics and polymers

HE Xi-ping

(Shaanxi Key Laboratory of Ultrasonic, College of Physics and Information Technology, Shaanxi Normal University, Xi'an 710062, Shaanxi, China)

Abstract: The characteristics of plastics and polymers, the classification method of plastics welding, the fundamental steps and the characteristics of ultrasonic welding for plastics and polymers are introduced in this paper. It is generally considered that ultrasonic welding is mainly focused on the relevant ultrasonic parameters. Actually, changes of welded parts in physical properties during the welding process have been more concerned in some developed countries, so a more detailed introduction is made in this paper. There is more consumption of ultrasonic propagation in thermoplastic viscoelastic materials than in metal ones, therefore a brief introduction for the determination of the basic methods of complex young's modulus of viscoelastic materials is also given.

Key words: thermosets; thermoplastics; ultrasonic welding; complex modulus

0 引言

当今塑料及聚合物制品应用领域的不断扩大, 快速、可靠、经济和高质量的焊接方法也越来越受到人们的重视。超声塑料和聚合物的焊接, 因其快速、经济、易于实现自动化, 广泛地应用在汽车、电子、医疗、家电、无纺布服装、办公用品、包装、玩具等领域内。

人们一般认为, 超声焊接, 顾名思义, 应是从超声参数的角度去更多地研究焊接过程。但实际上, 这只是其中很小的一部分研究内容。国外研究者们更多地是从材料学、力学、传热学等的角度对超声焊接过程、焊接效果进行研究。

本文利用一定篇幅, 将从塑料和聚合物的特性、塑料焊接方法分类、焊接的基本步骤、焊接特点、超声焊接的研究内容等方面来介绍塑料和聚合

物的超声焊接。超声波在热塑性粘弹性介质中传播相对于金属介质来说有较大耗损, 在进行超声塑料和聚合物焊接过程中, 需要对这个耗损量进行正确计算, 以便确定传入焊件的超声能量, 特别是在进行远场焊接时这点尤为重要。最后简单介绍一下测定粘弹性介质复杨氏模量的方法。

1 塑料和聚合物

塑料是一种合成聚合物材料, 是由许多重复单元构成的长链高分子化合物。这种构成方式可分为两种类型, 一种是体型结构, 称为体型高分子化合物。有些高分子虽然分子间有交联, 但交联较少, 称为网状结构, 也属于体型结构。体型结构高聚物由于没有独立的大分子存在, 所以没有弹性和可塑性, 不能溶解和熔融, 只能溶胀, 硬度和脆性也较大。体型高分子结构制成的塑料称为热固性塑料 (Thermosets), 如酚醛塑料、氨基塑料等。另一种类型是线型结构, 称为线型高分子化合物。有些高分子带有支链, 称为支链高分子, 属于线型结构。线型结构的高聚物由于有独立的分子存在, 故有弹性、可

收稿日期: 2012-11-17; 修回日期: 2013-01-25

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(11374201)。

作者简介: 贺西平(1965—), 男, 江西人, 博士, 教授, 博士研究生导师, 研究方向为功率超声、超声检测。

通讯作者: 贺西平, E-mail: hexiping@snnu.edu.cn

塑性,在溶剂中能溶解,加热能熔融并可再成形,硬度和脆性也较小。线型高分子制成的塑料称为热塑性塑料(thermoplastics)。热塑性聚合物又分为两类,无定形(amorphous)和半结晶形(semicrystalline)。无定形热塑性聚合物的高分子链相互缠结、盘绕,或者带有较长的侧链,因此分子链处于无序的自由缠结、随机排列状态,如ABS(丙烯腈-丁二烯-苯乙烯共聚合物,俗称超不碎胶)、PS(聚苯乙烯)、PVC(聚氯乙烯)、PMMA(聚甲基丙烯酸酯,俗称压克力)、PC(聚碳酸酯,俗称防弹胶)等。半结晶形热塑型聚合物由可排列规则有序和微晶致密结构的长链线性分子链构成,但这些长链分子不能形成完全高度有序的结构,因此材料中还存在一些非晶区,被称为半晶聚合物,如PE(聚乙烯)、PP(聚丙烯,俗称百折胶)、POM(聚缩醛树脂,俗称赛钢或夺钢)、Nylon(聚酰胺纤维,俗称尼龙)。

热塑性塑料适合于焊接,热固性塑料则不适合。为使缩短焊接时间,对大多数无定形热塑性塑料来说,焊接温度通常要高于其玻璃化温度 $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以上,对半晶形塑料来说,为确保其焊接面能完全熔融,焊接温度要高于其熔融温度 $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以上^[1]。

2 焊接方法分类及基本过程

焊接方法通常根据采用的加热方式分类,一般可以分为外加热和内加热两大类。外加热的焊接方法有热板焊接、热气焊接、挤出焊接、内植感应焊接和内植阻抗焊接。内加热又可分为电磁加热和机械加热两类。电磁加热的方法有射频焊接、红外焊接、激光焊接以及微波焊接。机械加热方法有振动焊接、旋转焊接和超声焊接。

热塑性塑料及复合材料的焊接,就是通过某种加热方式,使聚合物界面处熔融并熔接,从而将焊件连接在一起的加工过程。其实质是两焊件在两界面熔融后,使界面处聚合物长链高分子间形成扩散。焊接过程一般可以分为五个步骤:(1) 准备,两焊件要相互匹配(即要适合于焊接,具有可焊性),表面需要进行必要的清洗或切削;(2) 加热,使两焊件界面处的聚合物熔融;(3) 加压,外界施压,焊件熔融的界面被压在一起;(4) 分子间扩散,熔融的聚合物层与层之间要达到充分接触,使得分子间扩散顺利进行;(5) 冷却成型。

3 超声焊接

超声焊接一般用于由于复杂或成本较高而不

能整体成型的部件。通过在焊件上施加低振幅($10\sim 50\text{ }\mu\text{m}$)的高频率机械振动(一般为 $10\sim 70\text{ kHz}$,更常用的频段范围是 $10\sim 40\text{ kHz}$)来完成^[2]。在上焊件中导入超声波后,将在焊件中产生正弦驻波。焊件中分子间的摩擦使部分能量以热能的方式消耗掉,另一部分能量传送到焊界面,由于焊接面处的声阻大,因此会产生局部高温。塑料导热性差,不能立刻散发,能量聚集在焊区,致使两界面处能迅速熔化,施加一定压力后,使其充分接触,两界面的分子间相互扩散缠结,最后形成一个坚固的分子链,达到焊接的目的。超声焊接强度可接近于原材料强度。超声波除了用于一般的焊接外,还可以应用于所谓的“超声铆接”。例如,当连接两个材料不同的、不相熔的热塑性部件时,或连接热塑性部件与另一种材料如金属部件时,可将一种材料插入到另一种材料中,如可将一金属部件插入到热塑性部件之中。

超声焊接是热塑性塑料和聚合物常用的焊接方法。焊接速度快,易于自动化控制、形成批量焊接,每分钟可完成 60 个焊件,是目前所有焊接方法中最快的一种^[3]。焊接过程中不需要用于驱除烟雾或热量的通风系统。与其他方法相比较,成本低,焊接质量高。焊接工具头可快速更换,以适应不同形状的焊件。焊接过程中不会产生有害污染,或降解源。当前的焊接技术,对焊件的尺寸有一定限制,不能大于 $250\text{ mm}\times 300\text{ mm}$ 。另外,焊前需要对焊件作一些特殊的焊接设计。

3.1 能量导引体

由于焊件粗糙的界面和摩擦力的作用,使得界面处的面应变总大于焊件的体应变,焊件界面产生的热量也最大,足以使热塑性材料熔融并使焊件熔结。为提高焊件的坚固性,一般在焊件的焊接界面处,人为地制造一些三角形或矩形凸台。这些凸台也称为能量导引体或集中体^[4],超声波振幅在此处为位移节点,应变腹点,将产生最大热量。能量导引体受热熔融流动,将两部分焊件熔结在一起。

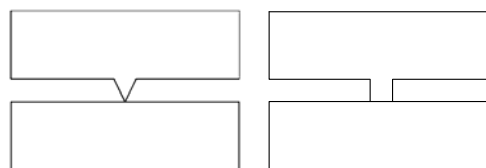


图1 三角形或矩形凸台构成能量导引体
Fig.1 Man-made triangle or rectangle energy directors

3.2 近场和远场焊接

目前工业上焊接系统中广泛使用的是 20 kHz

工作频率的超声波, 这个频率在热塑性塑料和聚合物中的波长一般为 6~13 cm。根据这个波长长度来计算, 通常将超声焊接分为两种形式, 近场焊接和远场焊接。焊头与焊接部件的接触面到焊接界面之间距离小于 6.4 mm 的称为近场焊接, 大于 6.4 mm 的称远场焊接。

近场超声焊接中, 因焊头与焊接部件的接触面到焊接界面之间距离小于其超声波在焊件中的波长, 焊接面的振幅可认为几乎等于焊头表面的振幅。近场焊接通常用于对超声能量吸收较高的半结晶形和低硬度材料, 远场焊接通常用于对超声能量吸收较低的无定形和高硬度的材料。远场焊接要考虑波在其中传播的耗损问题^[5,6]。

3.3 切入和连续式焊接

切入式焊接是一个不连续的过程。超声波焊头放入夹具中, 对焊件施加超声波能量进行焊接, 焊接结束后将焊头收回。切入式焊接常用于焊接、铆接、导入或压型。典型步骤一般包括放置焊件、按下焊接按钮、焊头下降、导入超声能量、保持(在预定压力下焊头与焊件保持一段时间)、焊头提起、移走焊件等。

连续焊接中, 超声波焊具在一定压力或固定间隙下一直保持与焊件接触, 焊件以连续方式抽出, 焊接的对象通常为薄膜或纤维, 类似于超声缝纫。

3.4 工艺控制

焊接设备中, 有一微处理器, 用于监控时间、能量、位移。而分别对应的各种模式有时间、能量、位移、最大功率控制模式等等, 含义分别为达到焊接预设时间、传入部件的超声能量达到预设值、焊头深入焊件中达到了位移预设值、达到预设功率值。例如, 能量模式中, 系统中的总能量是预设好的, 这时的时间参数被调节成维持这种预设好的能量的时间^[7]。另外, 为保证焊接质量, 在采用任何一种工艺控制模式的同时, 也可以控制一个参数而对其它参数有所限制。如采用时间模式, 可设置最小焊接能量或最大功率。也就是说, 当焊接结束时, 如果第二个参数(能量或最大功率)没有达到预设值, 控制器就会向操作者或 PLC(programmable logic controller)发出警报, 以便进行检查或废弃掉焊件。

4 超声焊接的研究内容

超声焊接是个非常复杂的过程, 它与数值计算、力学、传热学、超声学、材料学、电学等领域

密切相关。具体地说, 为了保证超声焊接的强度和品质, 需要从焊接相容性、焊件设计、焊件的材料性质、焊件熔融时的力学行为、热学行为、焊接参数的优化等方面去加以研究。

(1) 聚合物焊接时的相容性。不同种类的聚合物在焊接熔融过程中, 若具有相容性(理解为可相互互融渗透), 才可能焊接成功。熔融时的粘度将会影响材料的润湿和扩散的动力学行为。像玻璃纤维、矿物质粉, 或脱模剂, 也可极大地影响材料的可焊性^[8]。

(2) 焊接设计, 包括焊点及焊件设计。必须要保证焊件可以在焊接设备上精确固定。两个焊件的焊接区域大小和形状必须相同。焊件焊接前, 要人为地在上焊件的熔焊面上设计一些能量导引体, 能量导引体可以为三角形, 也可以制造成矩形形状, 用来降低熔焊面所需的超声能量, 减少焊接时间。焊点设计的同时, 要设计好溢料井。在可能的情况下, 尽量采用近场焊接。如不可能设计为近场焊接, 对构型复杂的焊件, 可借助于数值计算方法, 优化焊件的尺寸, 确保焊接面上的振幅能达到最大。避免焊件共振在焊接频率上, 以防止可能会对焊件造成的破坏^[2]。

(3) 研究焊接过程中焊件的温度分布, 测定熔融层厚度。可以利用温度分布函数来估算受热区的尺寸及可能产生的相态类型, 通过温度分布函数可估算部件的热膨胀以及最终形变量, 也可以估算焊接件的热应力和残余应力水平, 这对于焊件长期性能的稳定是非常重要的。然而, 由于焊件的黏弹性和测定残余应力的复杂性, 确定焊接后的残余应力不是件容易的事情^[9]。

(4) 熔融层面积的扩展行为及规律。高温下的熔融热塑性塑料为典型的黏弹性材料行为, 其接触面积会随着施加的压力的增大、时间的延长和温度的升高而增大, 为简化起见可认为聚合物熔体为牛顿流体(认为恒定压力下其粘度保持不变), 其流动行为可认为符合幂律流体方程。但实际焊接过程中因焊件几何形状的不规则和熔体温度的变化、不一致等会使得问题变得更加复杂^[10]。

(5) 研究无定形聚合物和半晶性聚合物流动性的不同, 用于估计时间、温度、压力对两被焊部件之间达到紧密接触所需粘度的影响。焊接过程中, 若能减小粘度, 压缩流动就会尽快发生。半晶性材料在高于熔融温度下的流动性较好。无定形聚合物的流动性往往依赖于加热温度高于其玻璃化温度的程度。可通过增加复合材料表面树脂含量和在表

面加聚合物膜的方法来降低表面粘度。

(6) 为得到焊件完全弥合(complete healing)的时间与分子量、温度及压力的关系,要研究在界面处分子之间的扩散和缠结。熔融层或软化层界面层间能够发生流动和紧密接触,会有分子间的扩散和链缠结现象出现,可用所谓的“蛇形理论”来解释^[11]。

(7) 各焊接参数的优化。近场和远场焊接中的超声能量、功率、振幅、焊接压力、焊接时间、保持时间、保持压力等参数,都会对最终焊件的焊接强度产生影响^[2,4,5,12,13],其中尤以振幅、焊接时间、焊接压力影响最大^[14]。为更好地控制焊接过程,也有从力学角度,提出利用集中参数的 Voigt-Kelvin (质量、弹簧、阻尼相并联)模型,从动态阻抗的角度,研究超声焊接^[15]。

5 超声波焊接设备

从焊接设备的控制装置、电源与传动装置是否分离来分类,焊接设备可分为两种类型,一种为模块系统,另一种是集成系统。超声焊接系统一般由超声电源、控制器、焊接机架(包括换能器、变幅杆、焊头、传动装置和夹具)组成。控制器中有一微处理器,用于监控时间、能量、位移、功率等常用的工艺控制模式。特定工件的焊接参数一旦被设定,焊接过程中的每一步操作都可由系统自动、快速、准确、连贯地执行。典型的超声焊接装置如图 2 所示,其中的变幅杆及换能器如图 3 所示,已装配好的带焊头的超声机械振动系统如图 4 所示。

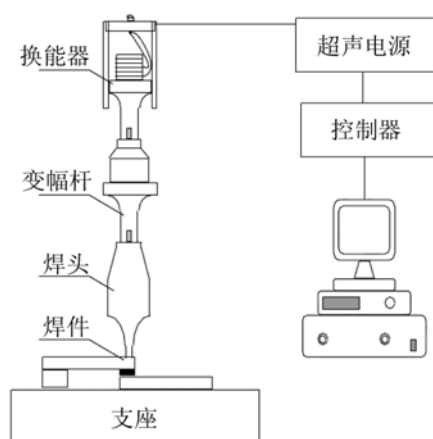


图 2 超声焊接装置

Fig.2 Sketch of ultrasonic welding

生产焊接设备最著名的美国公司为 Dukane 和 Branson 公司。这些焊接系统有自动调频的功能,可以弥补因更换焊头或焊头受热及其他因素所造成的频率偏移(通常可在一定范围内,如 ± 500 Hz 范



图 3 焊接换能器及变幅杆

Fig.3 Transducer and solid horn for ultrasonic welding



图 4 超声振动系统

Fig.4 The system of ultrasonic vibration

围内自动调谐)。能可视化自检、过程监控、报警,设备开启时会自动自检,设备正常可显示“ready”,对过载、设备故障、参数设置错误等问题,会以数字代码显示,以利于快速准确地排除故障。具有声波压力触发功能,当施加在焊接工件上的压力达到预设值时,系统开始施加超声能量,工件在焊接时始终处于恒定的压力下,平稳有效地吸收超声波能量,获得稳定的焊接品质。系统在每一次焊接后可自动储存焊接参数。有系统自我保护功能,对频率偏移过大、电压过高、电流过大、温度过高、功率过载能实施有效的保护,最大程度避免设备故障和破坏。焊接机中,一般采用气动装置来提供焊接压力。近年来,采用伺服电机控制焊头压力和焊头移动,更能高精度控制,并减少噪音。

6 粘弹性介质复杨氏模量的测定

超声波在热塑性粘弹性介质中传播相对于金属介质来说有较大耗损,如何确定超声波的耗损呢?粘弹性材料的复杨氏模量 E^* 由两部分组成

$$E^* = E' + iE'' \quad (1)$$

其中: E' 为储能模量(也称弹性模量),表示弹性形变储存的模量; E'' 为损耗模量或耗能模量,代表形变中以热损耗掉的能量,这个值越大,则耗能也越大。也可以用损耗角(δ)正切来描述这种耗能行为的大小:

$$\tan \delta = \frac{E''}{E'} \quad (2)$$

作为低损耗因子的粘弹性材料, $\tan \delta \ll 1$, 材料的损耗因子 β 和损耗角正切近似相等:

$$\beta \approx \tan \delta = \frac{E''}{E'} \quad (3)$$

相位速度为^[5]

$$v = \frac{|E^*|}{\rho^{\frac{1}{2}} E^{\text{III}}} \quad (4)$$

这里: $(E' - iE'')^{\frac{1}{2}} = E^{\text{III}} - iE^{\text{IV}}$ 。从以上的方程中, 测得损耗因子和相位速度, 就可以确定粘弹性棒的储能模量 E' 和损耗模量 E'' ^[16]。

测定粘弹性介质复杨氏模量, 不仅对超声塑料及聚合物焊接中声能损耗的大小可以做出定性判断, 也为了在隔振、消噪、振动冲击等领域内能高效地利用粘弹性材料。测定粘弹性材料动态力学参数可以归结为两类方法, 一类是通过测量材料样品的振动响应推算其动态力学性能参数。对一维样品的粘弹性棒, 粘弹性材料的复数杨氏模量能够从其受到不同类型的动态负载中测定出来。例如, 样品棒的一端传输进一列纵波, 另端被加载一附加质量, 利用加速度计可测得在谐振频率或非谐振频率处的响应^[17], 或在该端使用一个阻抗头, 测试得到力或加速度响应^[18]。对三维样品的粘弹性棒, Willis 等人利用振动器或压电陶瓷执行器激振, 在一个可控温度和压力的腔体内, 利用激光测振仪测试该样品的动态响应, 通过对从样品散射信号的接收和处理而获得材料三维方向上的表面运动, 结合有限元方法获得材料的复杨氏模量和复剪切模量^[19]。另一类是通过对材料声学特性的测量反演得到其动态力学参数。如利用应变测试技术, 对样品一端施加冲击信号, 可在同一时间内测试一列波(入射波或反射波)^[20], 也可以允许波重叠在样品棒的两个不同位置测得其轴向时域应变信号^[21,22], 经傅氏变换就可以得到衰减系数、相位速度与频率的关系, 经计算后可得到复数杨氏模量。

7 展望

影响超声波塑料焊接质量的因素众多, 人们对其微观机理的认识还不够深入、完善。如焊头对焊接过程的影响, 焊接区域材料的熔融、熔接行为, 不同焊接区部位温度场和应力场的分布、压力作用下塑料的流变规律和形变规律等等。

1999年, 美国焊接学会为了比较焊接件之间的焊接强度, 对常使用的 20 kHz 和 40 kHz 两种超声频率下的各种热塑性塑料, 规定了统一的焊件尺寸^[23]。经过我们的计算分析发现, 当时规定的标准件并没

有考虑优化设计。也就是说, 在 20 kHz 和 40 kHz 的工作频率上, 对不同材料的焊件, 若能在其最佳尺寸上, 或者说, 对不同材料、相同尺寸的焊件, 若能在其最佳频率上进行焊接, 将可能提高焊件的焊接强度, 或在相同的焊接强度下, 能缩短焊接时间提高生产效率。

焊接前, 对不同材料、不同形状的焊件除要进行焊点及焊件设计外, 还需计算并选择最佳频率(当然, 还需考虑振幅、压力、保持时间、保持压力等诸因素), 使得焊接面能获得到最大的超声振幅, 最大限度地使超声能量通过上焊件传递到焊区, 进一步提高焊接强度和焊接效率。

超声塑料焊接系统中已引进了伺服加压控制装置, 特点是清洁、无撞击、低噪声, 可避免机械上的强制制动, 对熔料及焊接深度可灵便调节。随着技术的发展, 对超声波塑料焊接机提出的要求是小体积、轻重量、自动控制(如 Branson 已研制出一台电脑程序可控制 4 台超声波焊接机)。相信以后的焊接机性能将更稳定, 控制界面将更加友好, 并便于操作。

参 考 文 献

- [1] Grewell D A, Benatar A, Park J B. *Plastics and Composites Welding Handbook*[M]. Cincinnati: Hanser Gardner Publications, 2003.
- [2] Lu H M, Benatar V, He F G, in: *Proceedings of the 49th annual technical conference ANTEC*[C]// Society of plastics engineers, Brookfield, 1991.
- [3] Michael J T. *handbook of plastics joining*[M]. Second Ed. New York: William Andrew Publishing, 2008.
- [4] 牛勇. 塑料超声熔焊特性的研究 [J]. 声学学报, 1998, 23(4): 316-320.
- NIU Yong, Study on characteristics of ultrasonic plastic soldering[J]. *Acta acustica*, 1998, 23(4): 316-320.
- [5] Benatar A, Zhang Ch. Ultrasonic welding of thermoplastics in the far-field[J]. *Polymer Engineering and Science*, 1989, 29(23): 1699-1704.
- [6] Benatar A, Eswaran R V, Nayar S K. Ultrasonic welding of thermoplastics in the near-field[J]. *Polymer Engineering and Science*, 1989, 29(23): 1689-1698.
- [7] Fugui H, Benatar A, Effect of amplitude and pressure control on the strength of ultrasonically welded thermoplastics[C]// *Proceedings of the 54th annual technical conference ANTEC*, Society of plastics engineers, Brookfield, 1996, 1193-1197.
- [8] Benatar A, Gutowski T G. A review of Methods for Fusion Bonding Thermoplastic Composites[J]. *Sample Journal*, 1987, 23(1): 33-39.
- [9] Park J, Benatar A. Moire interferometry measurement of residual strains in implant resistance welding of polycarbonate, *Proceedings of the 50th annual technical conference ANTEC*[C]// Society of plastics engineers, Brookfield, 1992, 353-358.
- [10] Grimm R J. Squeezing flows of polymeric liquids[J]. *American Institute of Chemical Engineers's Journal*, 1978, 24(3): 427-439.
- [11] DeGennes P G, Entangled polymers[J]. *Physics Today*, 1983, 36(6): 33-47.

- [12] Kwan K M, Benatar A. Ultrasonic heating and hardening of hot melt adhesive[C]// Proceedings of the 58th annual technical conference ANTEC, Society of plastics engineers, Brookfield, 2000, 1217-1221.
- [13] Mokhtarzadeh A, Benatar A, Wu Ch Y. Effects of metallization coating on ultrasonic welding of ABS[C]// Proceedings of the 64th annual technical conference ANTEC, Society of plastics engineers, Brookfield, 2006, 2194-2198.
- [14] Ozaltun H, Benatar A, Nayar S K, Ultrasonic plungewelding of polypropylene nonwovens[C]// Proceedings of the 64th annual technical conference ANTEC, Society of plastics engineers, Brookfield, 2006, 2184-2188.
- [15] Benatar A, Gutowski T G. Ultrasonic welding of peek graphite APC-2 composites[J]. Polymer Engineering and Science, 1989, 29(23): 1705-1721.
- [16] 贺西平, Avraham Benatar. 强迫振动方法确定黏弹性细棒的复杨氏模量[J]. 声学学报, 2012, 37(2): 193-197.
HE Xiping, Benatar A. Determination of complex modulus of viscoelastic bars using forced longitudinal vibration of slender rods[J]. Acta acustica, 2012, 37(2): 193-197.
- [17] Oyadiji S O, Tomlinson G R. Determination of the complex moduli of viscoelastic structural elements by resonance and non-resonance methods[J]. Journal of Sound and Vibration, 1985, 101(3): 277-298.
- [18] Ahn T K, Kim K J. Sensitivity analysis for estimation of complex modulus of viscoelastic materials by nonresonance method[J]. Journal of Sound and Vibration, 1994, 176(4): 543-561.
- [19] Willis R L, Wu L, Berthelot Y H. Determination of the complex Young and shear dynamic moduli of viscoelastic materials[J]. J. Acoust. Soc. Am., 2001, 109(2): 611-621.
- [20] Blanc R H. Transient wave propagation methods for determining the viscoelastic properties of solids[J]. Journal of Applied Mechanics, 1993, 60(3): 763-768.
- [21] Hull A J. An Inverse method to measure the axial modulus of composite materials under tension[J]. Journal of Sound and Vibration, 1996, 195(4): 545-551.
- [22] Soula M, Vinh T, Chevalier Y, Beda T, Esteoule C. Measurements of isothermal complex moduli of viscoelastic materials over a large range of frequencies[J]. Journal of Sound and Vibration, 1997, 205(2): 167-184.
- [23] An American National Standard, International Standard Book Number, 0-87171-585-6, AWS G1.2M/G1.2, American Welding Society, Miami, Florida, Printed in the United States of America, AWS 1999.

第七届海峡两岸声学学术交流研讨会定于 2014 年 8 月下旬召开

由上海市声学学会、同济大学声学研究所和华东建筑设计院章奎生声学设计研究所联合主办,并由云南省土木建筑学会建筑物理专业委员会、云南省设计院集团及普洱市建筑设计院联合协办的第七届海峡两岸声学学术交流研讨会已定于 2014 年 8 月 22~26 日在云南省普洱市(亦称思茅市)乾合酒店召开。

海峡两岸声学学术交流研讨会自 2008 年在香港成功召开首届会议以来,已形成了每年一届轮值筹开的会议机制。至今已先后召开了六届会议(其中第二届 2009 年在台北、第三届 2010 年在上海、第四届 2011 年在杭州、第五届 2012 年在香港、第六届 2013 年在台北),2013 年 11 月在台北召开第六届会议期间,港台方面代表建议 2014 年的第七届会议在内地云南省择地召开,经与云南方面联系,已决定于 8 月 22~26 日在普洱市召开第七届会议。并已在近日发出会议征文通知,今年会议主题为“让厅堂音质更优美,让城市环境更宁静”。欢迎台湾声学学会、台湾振动噪音工程学会、港澳声学学会、内地各声学学会和相关科研院校、专业设计单位、环境保护管理部门和专业技术人员报名参会交流。会议注册费为每位代表 1000 元人民币,如有学术论文交流请于 5 月底前将论文题目及 200 字以内的中文摘要电子版随报名回执表报至会议组委会秘书处,并于 6 月 30 日前将全文用电邮发到秘书处(全文不超过 A4 纸四页),以便会议筹委会秘书处及时编印论文集。

参会代表可经昆明市转机到普洱市(即思茅市),昆明到普洱每天有多个航班,半个小时即可飞达,上海到普洱已有直达航班或乘经停昆明到普洱的航班。会议注册费请提前汇至上海市声学学会。会议秘书处联系人:章奎生、宋拥民及余斌等。

章奎生: 电邮地址: zhangkuisheng268@163.com

手机: 13801987251, 办电: 021-62464141; 021-32539058

宋拥民博士: 电邮地址: asong1102@sina.com

手机: 13052233060, 办电: 021-32539061

余斌硕士: 电邮地址: bin_yu@xd-ad.com.cn

手机: 13918797767, 办电: 021-32539060

联系地址均为: 上海市恒丰路 329 号 12 楼(邮编 200070)

云南联系人

李家泉: 电邮地址: lijiaquan825@sina.com,

手机: 13908864777, 办电: 0871-4627698

上海市声学学会: 账号: 214180080610001

开户行: 招商银行四平支行

户名: 上海市声学学会。

第七届海峡两岸声学学术交流研讨会组委会 章奎生