

# 功率超声技术的现状与展望

王建明

(上海船舶电子设备研究所·200025)

功率超声是以物理、电子、机械振动、材料等学科为基础的现代高新技术之一,它是能量使物体或物性变化的功率应用,在国民经济中它对提高产品质量,降低生产成本、提高生产效率、防止环境污染等具有特殊潜在的能力。近10年来,随着微电子技术发展,新型材料的日新月异使大功率超声的产生、基本效应的研究和技术应用取得了较大的进展。据国外报导,功率超声产生的社会与经济效益增长速度相当惊人,1995年超声清洗产值2.8亿美元为,超声塑料焊接2亿美元、国内功率超声产值为1.67亿元,国内一些传统的超声清洗、焊接、加工等设备的研制、销售也方兴未艾,近年来发展较快的新技术及其应用例如声化学、超声马达、环保治理,超声治疗也十分活跃。下面就功率超声几个主要方面的技术与应用作一简介。

## 1. 功率超声发生器和振动系统

目前其激励形式分有两种,一种是自激式,另一种是他激式,目前应用较多的是晶体管自激式超声发生器,其线路简单,造价低,可靠性好,该类发生器具有一定的频率自动跟踪能力,有的具有恒功率输出性能,有的输出功率随负载增加而增加,也附有快速切断供电的保护功能,有的已用微机控制超声波发生器,它们能在调谐不当、功率过高或换能器有故障与失灵时,微机能自调停止超声波的输出。目前常用的发生器频率为15~

40kHz之间,功率输出在几十W到几十kW间,随着大功率晶体管,尤其VMOS和IGBT管不断取得进展,功率合成系统不断完善,功率超声发生器输出功率在几十kW也并非难得的。

功率超声振动系统是指换能器、变幅杆和工具头等组成的功率超声发生系统,是功率超声的核心部件。换能器大多采用螺栓夹紧的纵向压电振子,近来发展的一种夹心结构的弯曲振动换能器和夹心扭转振动换能器将在功率超声中得到应用。换能器所用的材料目前仍以压电陶瓷为主,它具有较高的压电常数,但在声频时电阻抗较高,因夹紧电阻与频率成反比,造成激励电压较高,当电压很高时,产生的压电应力超过其张应力强度时,压电陶瓷片产生破裂。目前国产压电陶瓷参数不稳定,因其原料不是专为压电陶瓷用的,纯度达不到要求因此压电陶瓷与国外先进水平还有一定差距,这是影响国产大功率超声发展的因素之一。现在人们正寻找新的大功率超声材料,例如稀土合金磁致伸缩材料,其电声参数尤其低频时低阻抗,高应变饱和限制都是极有利的,但大功率超声实际应用目前还有一定距离。

## 2. 功率超声技术的应用

### (1) 超声清洗

超声清洗目前在功率超声中应用最广,主要应用在电子、电气、仪器仪表、机械、钟

表、制笔、光学玻璃、汽车、航空、原子能等工业。清洗效果的好坏要选择一个适当的功率与频率,还有清洗液的温度,清洗物品的安放及清洗溶液的选择都有一定关系。目前广泛使用单一频率的清洗机由于驻波场的存在,造成清洗不均匀,对于有大量污垢的另件一般采用浸、喷、冲等方法进行预清洗,然后超声清洗效果较好。从技术上讲目前清洗设备的改进主要可从几个方面着手,例如当清洗液的温度,高度,物件的形状改变时,清洗设备的输出功率应进行自动调整,使满足清洗的要求。另一方面要改善清洗缸的声场均匀性,可采用双频、复频、调频清洗。对于有大量清洗物件时可采用半自动、自动联合清洗,其中包括机械预清洗、超声清洗、气相清洗等。

## 2. 超声焊接

超声焊接分金属焊接与塑料焊接两种,其功能,原理略有不同,但基本设备还是超声发生器和换能振动系统。

金属焊接有点焊、缝焊、对焊等,它广泛应用在铝板、铝箔、铜板的焊接和硅片与金属线、电容引线的连接焊。电子工业中的点焊一般功率较小,在几十 W 或几 W 以下,而缝焊与对焊功率较大,在几百 W 甚至几十 kW。据日本报导用两个上下振动系统进行对焊,频率 27kHz,功率 3kW 可焊 10mm 厚的铝板,其焊接强度达焊样的本身强度。超声缝焊目前主要应用在薄板 1mm 或 0.5mm 以下的铝管焊接这种焊接属连续焊,因此要求振动系统损耗小,可靠性好。

塑料焊接是超声通过焊头加到两被焊面交界处,由于交界面处声阻大。因此产生局部高温聚集在焊区,致使交界面处的塑料迅速熔化,在一定压力下,两块焊件合成一体。随着塑料工业迅速发展,且塑焊时不添加任何粘结剂、填料或溶剂,不污染环境,因此被广泛应用到航空、汽车、电器、仪表、包装、玩具、电子、医疗器械、服装等行业。超声焊接的质量与焊件交界面处的超声能量、压力、焊接时

间有关,正确掌握三者间的关系是焊接强度的关键。用微机控制的超声塑焊机可根据焊件的状态、性质、自动控制发生器的输出功率、焊件的压力及焊接的时间等参数使达到最佳焊接状态,当参数不适应时会自动报警或停机。目前焊接大尺寸工件时,由于大截面焊头受横向振动的影响,其振幅分布均匀与否是相当关键的,正确设计振动系统尤其工具头是超声焊接的成败因素。有时焊件要求多头焊接这种子母式的焊头应设计成半波长或全波长,当多焊面在同一平面且间距较小时取半波长,间距较大时可取全波长。目前的超声焊接其所用频率大多在 15 ~ 40kHz 间,对于一些熔点较高的聚脂薄膜类可用更高的频率,甚至达 300kHz 左右。随着以塑代钢节约金属材料和减轻重量,超声塑焊的应用领域和市场前景是令人鼓舞的。

### (3) 超声分散

功率超声在液体中最突出的应用是分散效应,其中包括乳化、粉碎、雾化、凝胶的液化等,超声分散完全靠液体的空化作用进行的。

超声乳化与一般乳化比最突出的优点是形成乳液平均液点小,乳液更稳定、可控制乳液类型,且功率小,目前更多地在食品、造纸、油漆、化工、医药、纺织、石油、冶金等部门应用。例如燃油掺水乳化燃烧是超声乳化应用之一,在食品工业上果汁、果酱,蛋黄酱、番茄酱、人造奶油,巧克力、色拉油的制取用超声乳化技术可提高产品质量档次和提高生产效率。另外医药上鱼肝油乳剂的制取,农药的农药乳剂制取,化工的漂白乳剂等都可利用超声乳化技术来提高产品质量。

超声粉碎用途也是十分广阔的例如重油燃烧,一向受到国内外重视,目前可用超声粉碎技术进行重油粉碎、把劣质重油中许多难于燃烧的淤渣粉碎细化,能达到完全均质化其粒度可达  $2\mu\text{m}$  以下,从而大大提高燃料的性状比,使重油升高 1 或 2 个级别。对节约能源,减少污染、降低燃费具有重要意义,还有

医学上的细胞粉碎,冶金工业上的金属粉末制取等都需要超声粉碎。

#### (4) 超声处理

超声处理涉及面也十分广泛,例如超声淬火可大大提高材质淬火后的硬度与淬火速度,且抗拉强度和屈服极限比一般淬火有明显提高。目前在污水处理上引入超声波也取得了进展,用超声辐照空气饱和的污水,可使污物发生裂解。例如国外用 530kHz 超声辐照以空气饱和的含五氯苯酚盐的污水 50min,其中五氯酚盐浓度可从  $10^{-4}$ M 降到  $5 \times 10^{-6}$ M,国内用 30kHz 50W 电功率聚焦超声辐射含五氯酚盐的水溶液 50min 处理实验,五氯酚盐在水溶液中明显被分解,表明超声有可能成为一种新颖、无污染的污水处理方法。

超声在空气中的处理另一重要应用是凝聚,凝聚效应在电厂等烟囱除尘中非常有用。利用高强度超声把空气中粒子凝聚起来,其凝聚效果与超声振幅、强度、频率和作用时间有关。超声除尘比目前其它除尘都有效,但需

要的声能约几十 kW 以上。

#### (5) 声化学

声化学崛起的历史不过 10 年左右,但不仅引起学术界的关注,也激起了企业界的强烈兴趣,声化学是指利用超声波开启化学反应新通道,加速化学反应的新方法,其基础还是声空化效应,它并非声能与物质的直接相互作用,其基础原理还是声空化,它在合成化学、聚合化学、电化学、环境化学等方面的研究已取得了很大进展。

功率超声应用除上述外还有许多,尤其新技术开发,例如超声马达、超声悬浮等都受到各先进国家重视。90 年代功率超声新技术和应用发展迅速,研究开发机构不断壮大,近来有一些功率超声专著相继出版,反映了我国功率超声前景广阔,但目前应进一步重视应用研究向市场转化,能否设想使高校,研究所、工厂走集约化道路,形成联合体,发挥各自优势,把我国功率超声研制与应用提高到一个新的台阶,并逐步走出国门走向世界。

(上接第 45 页)

$$\text{表示为 } \frac{\Delta R_M}{R_M} = \left( \frac{\Delta(\Delta p_1)}{\Delta p_2} + \frac{\Delta(\Delta p_2)}{\Delta p_2} \right) / \left( 1 - \frac{\Delta p_1}{\Delta p_2} \right) \quad (13)$$

式(13)表明,减小测量相对误差的根本途径是:①适当增大流速,以提高压差  $\Delta p_1$  和  $\Delta p_2$  本身读数,如前所述。②式(15)中因子  $1/(1 - (\Delta p_1/\Delta p_2))$  的值大于 1(压差比  $\Delta p_1/\Delta p_2$  恒小于 1),它使流阻的总测量误差大于两个微压计测量误差之和,因此可称之为放大因子,减小压差比  $\Delta p_1/\Delta p_2$ (这反映在式(11)就是设法增大  $c$  值)可以减小放大因子,从而减小测量误差。具体方法是采用流阻较大的参考试件来测量流阻较小的待测试件。由式(5)

可得放大因子  $k$  与两试件的流阻比有关:

$$k = 1 / (1 - \Delta p_1 / \Delta p_2) = 1 + R_M / R_S \quad (14)$$

因此流阻比  $R_S/R_M$  越大,放大因子越小,测量相对误

差越小,但要注意,由于实际上  $R_S$  本身也要通过测量确定,其误差将计入  $R_M$ ,因此  $R_S$  必须首先尽可能测准。③提高压强测量仪器的精度,考虑到实际要求的相对误差小于 20%,以及放大因子  $k$  的作用,微压计的精度  $\Delta(\Delta p)/\Delta p$  最好在 0.05 以上。

#### 参考文献

- 1 殷业. 多孔吸声材料流阻的测量及吸声性质研究, 同济大学硕士论文. 1992.5., 25~27.
- 2 ASTM, standard test method for airflow resistance of acoustical materials, C- 522- 80.
- 3 林抒等. 普通物理实验. 人民教育出版社, 1981. 9: 8