

# 非晶玻璃弹性性能的超声研究

王汝菊 王积方 李凤英 秦志成  
(中国科学院物理研究所 北京·100080)

玻璃态的形成使晶态的长程有序受到破坏,只在几个原子(或分子)直径的小区域内具有短程序,这是非晶态的一个基本特征,对其微观结构、宏观性能以及新材料的探索和研究有重要意义。金属玻璃是一类引人瞩目的非晶材料,有优于一般金属的力学和物理特性<sup>[1]</sup>,是一种理想的弹-塑性固体和重要的功能材料。金属合金形成非晶态的临界冷却速率很高,通常只能得到非晶金属薄带或细丝,难以得到力学性能测试所需的大块材料,缺少相应的实验数据。近年发现并实现了从某些临界冷却速率较低的合金中获得大块金属玻璃,它具有声传播衰减低的性质,为引用超声技术创造有利条件。

选择三种不同类型的非晶材料:单原子的碳玻璃(本文简称CG)、氧化物玻璃-窗口玻璃(称WG)和水白玻璃(称WWG)、ZrTiCuNiBe金属玻璃(称MG),使用高频超声相干技术的几种不同测量方法,如脉冲回波重合法<sup>[2]</sup>(即PEO法)、脉冲重迭法<sup>[3]</sup>(PSP法)以及相比较法<sup>[4]</sup>(PC法),工作频率分别为10MHz和10~50MHz,在活塞圆筒型高压容器中测量1GPa以内流体静压力下样品声速的变化规律,研究非晶玻璃的弹性性能。实验结果显示:由于各种非晶玻璃成分、微观结构不同,声速及其在压力下的变化规律不同,反映出弹性性能的差异。

弹性常数是研究固体中原子相互作用、晶格稳定性、状态方程和相变等问题的重要参数,非晶玻璃可视为各向同性材料,根据超声测量的纵波速度 $V_L$ 、横波速度 $V_S$ 和样品密度 $\rho$ ,可得到相应的弹性常数: $C_{11} = \rho V_L^2 = \lambda + 2\mu$ ,  $C_{44} = \rho V_S^2 = \mu$ ,  $C_{12} = \lambda$ ,也可得到表征材料压缩性能的体弹模量 $K$ 以及表征材料对膨胀和切变相对阻力的泊松比 $\sigma$ 。

如果各向同性固体原子间相互作用是中心对称的,弹性常数应满足勾犀关系 $C_{12} = C_{44}$ ,或有 $K/G = 1.7$ ,表1中三类玻璃都不满足这些关系,碳玻璃、窗口玻璃和水白玻璃的 $C_{12} < C_{44}$ ,  $K/G < 1.7$ ,而ZrTiCuNiBe玻璃的 $C_{12} > C_{44}$ ,  $K/G > 1.7$ 。

扰动时的压缩特性,与介质本身性质的状态有关,主要决定于介质的密度和有关的弹性常数。碳玻璃是由碳原子组成的单原子非晶体,它的密度为表中最小,声速也最低。ZrTiCuNiBe玻璃的母体是五元合金,密度为表中最大的, $V_L$ 与氧化物玻璃相近, $V_S$ 却较低,即比值 $V_L/V_S$ 很大,相应的 $K$ 和 $\sigma$ 也远大于其它两类玻璃,这正是金属玻璃弹性好,又有较高硬度和韧性等力学性能的反映。

表1 三种类型玻璃在室温条件下测量的密度、声速及由此计算的弹性模量

材料	CG	WWG	WG	MG
测量方法	PEO	PC, PSP, PEO	PEO	PEO
$\rho$ (g/cm <sup>3</sup> )	1.56	2.48	2.42	5.92
$V_L$ (km/s)	3.88	5.84	5.59	5.14
$V_S$ (km/s)	2.41	3.42	3.38	2.47
$C_{11}$ (GPa)	23.44	84.43	75.73	156.40
$C_{12}$ (GPa)	5.40	26.33	20.25	84.16
$C_{44}$ (GPa)	9.02	29.06	27.74	36.26
$K$ (GPa)	11.41	45.71	38.75	108.20
$\sigma$	0.19	0.24	0.21	0.35
$K/G$	1.26	1.57	1.40	2.98

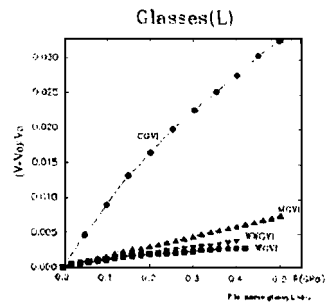


图1 纵波速度随压力的变化

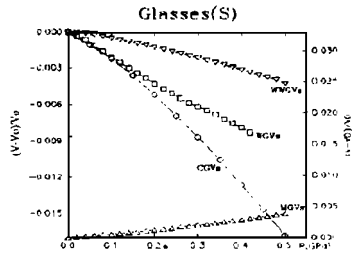


图2 横波速度随压力的变化

超声波在弹性介质中传播的速度反映介质受声

图 1、2 分别给出三类玻璃在高压下声速的变化(统一选取在 0.5GPa 以内)。图 1 中三类玻璃的  $V_l$  都是随压力增加而增加,图 2 则表明碳玻璃、氧化物玻璃与金属玻璃的  $V_s$  有完全不同的压力依赖关系,前两类的  $V_s$  随压力增加而减小,金属玻璃的  $V_s$  却有正的压力系数。碳玻璃声速随压力的变化量比金属玻璃和氧化物玻璃大得多,约为氧化物玻璃的 10 倍。

非晶态结构中具有的某些程度的短程序和晶态的长程序在最近邻原子间的相互关系(如键长、键角)等方面有类似之处。制备碳玻璃的石墨晶体,每层中的 C-C 键是共价键叠加金属键,层间为范德瓦耳键,三种键型同时存在。根据碳玻璃在静水压和单轴压力超声实验<sup>[5]</sup>,得到二阶和三阶弹性常数,计算出表征原子振动非简谐性质的 Grüneisen 常数:  $\gamma_l = 1.25$  (对应纵向振动),  $\gamma_s = -0.27$  (对应横向振动), 平均的  $\gamma_{av} = 0.24$ 。  $\gamma_s$  为负,表明与横波相对应的振

动频率在高压下不断减小,是一种软模行为。实验中选用的窗口玻璃和水白玻璃主要成分是  $\text{SiO}_2$  (约含 72%), 这种氧化物玻璃主要靠共价键结合,由共价键组成的空旷网络结构其键角结构容易改变,在压力作用下会导致横波速度减小。而形成金属玻璃的合金至少由一种过渡金属和一种类金属元素构成,保持长程的金属键合,因此兼有金属的特征,除声速和弹性常数与金属相近外,声速的压力依赖关系也与金属材料相同,  $V_l$  和  $V_s$  都具有正的压力系数。

#### 参考文献

- 1 Gilman J J., J. Appl. Phys., 1975; 46(4): 1625
- 2 Papadakis E P., J. Acoust. Soc. Am., 1967; 42: 1045
- 3 Meskmin H J., J. Acoust. Soc. Am., 1961; 33: 12
- 4 Meskmin H J., Ultrasonic methods for measuring the mechanical properties of liquids and solids, Physical Acoustics (Part 1) (Mason WP, Eds.) New York, Academic Press, 1964
- 5 王积方,王汝菊. 高压物理学报, 1988; 2(1): 34

## 大气核爆炸次声波远距离传播和监测

谢金来 (中国科学院声学研究所,北京·100080)

谢照华 (中国科学院计算机网络信息中心,北京·100080)

### 1 引言

次声监测已被联合国列入全面核禁试条约的国际监测系统。次声波远距离传播和实时检测是众所周知和公认的一种非常有效、既经济又实用的方法。一套完善、可靠、实时的监测系统和及时发布公报能为现场核查提供依据。即最新的次声监测系统和先进的分析方法能有效地监督全球核试验。它可对大气层核爆炸,尤其是陆地上空的大气层爆炸进行检测和定位。此外,水声系统和次声系统的结合,对于发生在洋域上空的核爆炸可产生有益的协同作用。

在核禁试会议中,次声监测专家组提出国际次声监测系统<sup>[1]</sup>,包括探测系统的灵敏度为  $0.01\text{Pa}$ , 频响  $0.02 \sim 5\text{Hz}$ , 动态范围  $80\text{dB}$ ,  $300$  米长管抗干扰,  $4$  元电容微音器阵组成的台站,精密的网络设计,全球建  $60$  个次声台阵台站,几小时之内发出公告,定位精度为  $1$  千吨当量的爆炸在  $1000$  公里远处探测,定

声学技术

溯源方位偏差在  $100$  公里之内。数据处理与国际数据中心联网,提供次声信号到达时间、周期、幅度、视速度、相关系数、定位、三维动态谱、识别等信息。

1995 年 5 月 15 ~ 18 日在美国弗吉尼亚州的 Chantilly 召开核禁试监测学术国际会议,纷纷发表次声监测学术论文,力争为全球次声监测作贡献。如高空风对次声信号传播的影响;监测大气声重力波用宽频带压力传感器系统,  $3\text{dB}$ ,  $0.01 \sim 10\text{Hz}$ , 用于研究各种地球物理现象,如雪崩和灾害性天气产生的次声波,并形成实际应用;洛斯阿拉莫斯国家实验室用次声微音器阵探测地下核试验,1989 年中心转移到核不扩散监测,1995 年进入全面核禁试条约监测的研究;澳大利亚北部的腾南特克里克 Warramunga 有一高灵敏度的次声阵,作为非线性大气波动现象的扩充研究项目,强调次声技术开发用于全面核禁试条约核查系统;对流星观测核次声阵系统等。