

橡胶在水声系统中的应用

王东生

(天津市橡胶工业研究所 300010)

摘要 简述橡胶的动态模量与声学性能的相关性,调整聚合物内在结构可改变模量。介绍了橡胶在水下声学系统中的应用,如在透声、反声、吸声、阻尼和防水等诸方面的应用。

关键词 橡胶,水声系统,动态模量,声学性能

水下声学对于现代舰船的设计有着重要的指导作用。探测潜艇最主要的手段是利用它在周围水域产生的噪声(被动声呐)或利用潜艇外壳反射的声波脉冲(主动声呐)。被动声呐和主动声呐好比潜艇的耳目,用来搜索其它潜艇和水面舰船。聚合物,尤其是橡胶,对于这种水下探测技术的发展起着极其重要的作用。最初通过粘贴橡胶层,利用阻尼结构振动,把艇壳与机器隔离,以减少工作环境噪声,从而改进舰艇自身声呐性能。以后,又用橡胶隔绝舰壳振动,减少辐射噪声,防止被动声呐的搜索。还可在潜艇外壳贴上消声覆盖层,吸收入射声波,以阻止主动声呐的探测。

在实际应用中,可以用作水声材料的品种很多,有橡胶、塑料、木材、陶瓷和粘滞液体等。由于橡胶作为水声材料有许多其它材质无法比拟的优点,国内外水声工作者多年来对它做了大量的研究工作。

本文谈及橡胶的动态模量和声学性能的相关性,并概述在水下声学系统中所用声学橡胶的作用机理和声学特性,涉及到透声、反声、吸声、阻尼和防水等诸方面的应用。

1 橡胶动态模量与声学性能的相关性

运用现有的测试手段和声学原理,当已知某种材料或结构的声学性能时,就可以了解它在声波存在时的作用情况;当已知材料的动态机械性能时,就可了解它对结构振动的响应如何。事实上,两者含义完全相同,“声

学”和“动态机理”、“声音”和“振动”实为同义词,不同的术语仅仅是因为人耳的频率响应造成的。振动波在听觉范围内(或以上),一般称为“声音”或“声波”,而“振动”一般专指低频振动波。

这种动态机械波的传播特性完全由其穿过的材料或结构的质量和刚度(施加的力除以力所产生的位移)所决定。刚度和质量均取决于材料固有的性能和几何尺寸。测定某种材料的刚度和质量,也就知其模量和密度;再测定出它们的动态模量和密度,就可以了解它们的声学 and 动态特性。此外,任何物体的动态响应,除了取决于材料固有的声学性能外,还取决于其几何尺寸。

聚合物在橡胶态和玻璃态之间有个过渡区,过渡区的温度范围一般为 $10\sim 20\text{ }^{\circ}\text{C}$,这一特性对于聚合物的声学应用特别重要,因为在过渡区,周期应力会产生异相应变,材料可以吸收能量。材料的能量吸收可以用损耗因子 η 加以描述, $\eta = \tan \delta$, 其中 δ 为介质损耗角,是应力和应变之间的相位角, η 在过渡区域中心达到峰值,此处吸收能量最高,即在阻尼峰上进入聚合物的声能变成不可逆的热能的比例达到最大值。

橡胶的模量不仅与温度变化有关,而且还与频率的变化有关。提高频率和降低温度有类似的作用。对于大多数聚合物来说,频率增加 10 Hz , 大约相当于温度下降 $8\sim 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

2 橡胶在水声技术中的应用

2.1 透声橡胶

处于橡胶态的透声材料与海水有很好的声阻抗匹配性,声波可以通过水传到橡胶,而在界面上没有明显的反射,同时由于这种橡胶对声波的衰减作用相当低,即插入损失相当小,所以被广泛用于制作声呐导流罩和换能器透声窗。

NR、CR、IIR 和聚氨酯橡胶等,通过合理的配方设计,均能制成性能良好的透声材料,并兼有密封防水和透射声波双重功能。在 5—45kHz、试样厚度为 8mm 的条件下透声系数在 91% 以上。

2.2 反声和去耦材料

这两种材料在结构上都含有某种形态的空气泡,实质上均属于阻抗失配材料,其特性阻抗与海水相差越大,反声和去耦性能越好。聚合物处于橡胶态时,随着空气含量的增大 (>50%),剪切模量降低,波速下降,特性阻抗比海水低得多,从而在泡沫与水的界面上有很高的反射率(反射系数一般大于 80%)。用这种含空气泡的材料,可做成反声障板和去耦器。在声呐设备中,反声障板可以调节声呐换能器或基阵的方向特性,隔除水流和设备自身的噪声,相对增强有用信号。去耦材料常被安放在换能器各单元之间起隔声作用,安放在压电元件和底座之间则起隔振作用。

对于有效使用的声障板或去耦器,如果空气含量足够高,橡胶的模量足够低,其厚度只需水中声波波长的几分之一。但这种材料仅适用于水面或浅水区,对于深水区使用的材料,则需要既反声又耐压,即在保证反声或去耦性能的同时,又要有足够高的刚度或静态模量。国内研制的反声障板耐静水压力可达 3MPa 或更高些。

2.3 吸声或消声材料

随着泡沫材料中空气含量的减少和聚合物模量从橡胶态移向阻尼区,特性阻抗提高。如果仔细地选取所有的参数,它就可以与水

的特性阻抗正好匹配,这时在水和聚合物界面上将不发生反射,而产生吸声或消声作用。通常吸声性能随着材料层加厚而提高,但即使在特性阻抗完全匹配时,也只有使材料层很厚,才能产生完全的吸声作用。在实际应用中,当材料层厚度达几个波长时,可达到完全的声吸收,但使用几个波长厚度的材料一般又是不可能的。

根据性能和厚度通常把吸声或消声器分为两种类型。一种是在窄频带范围内具有高回声降低作用的,称为共振消声器,其厚度比声波波长小很多,因而又叫薄层消声器。另一种能在宽频带范围使用,称为宽频带消声器,其厚度比波长大很多,因而又叫厚层消声器。事实上,两者并无严格的界线。

要使厚层消声器达到高的回声降低,泡沫材料的声学性能必须符合两个要求:(1)必须有良好的阻抗匹配,以保证声波进入材料层而不在外表面被返回;(2)声能一旦进入材料层,衰减必须相当高,以保证随着声波穿过材料层而被全部吸收。衰减随空气含量增加而提高,但空气含量增加,则相速度下降,且会比在水中低许多,这种低波速会使声匹配变差。这样,简单均匀的吸声层就很难达到衰减高而又匹配好的要求。

在保证高衰减的同时,有两种改善匹配的方法:(1)提高吸收材料的密度,以提高材料的特性阻抗,通过加入致密的填料,就可得到高密度的吸声泡沫材料;(2)使用阻抗过渡型吸声结构,即做成平板尖劈、方型尖劈和圆锥型结构,或采用逐步提高空气含量的多层复合结构,其吸声系数在 90% 以上,甚至高达 99%。

使用聚合物泡沫材料做成消声器,大体有 3 个步骤:(1)设计和选择达到动态模量要求的聚合物;(2)使泡沫材料具有适当的空气含量和密度,以达到所需的声学性能要求;(3)选择单层或多层结构,或尖劈及锥形结构,以满足带宽和降低回声的要求。

有 3 种泡沫结构已被用于消声层。最早的含气泡材料是在橡胶中加入软木粉、空心球、铝粉等,其难点是不易控制气体含量。第 2 种是发孔泡沫,通过在橡胶中加入发泡剂,形成细小的球形气泡。第 3 种是将带有圆形孔洞的橡胶薄片粘合在一起模压制成 Alberich 消声器。其空气含量可以严格控制,但是气室的尺寸不易达到足够小,且性能不均一。这种消声层在结构共振的意义上是一种薄层共振消声器,如果精心设计出不同孔状的结构,形成多极共振,就可使消声频带加宽,特别是将 Alberich 结构设计与吸声泡沫材料相结合,可以增加高频回声降低的效果,达到更好的宽带消声性能。

吸声材料和反声材料一样,在使用中有时要求具有耐静水压力的性能,因为多孔的吸声材料在静水压力较高时,泡孔会被压塌,随之声速变大,衰减变小,吸声性能丧失。目前国内已有了耐压达 10MPa 的吸声材料。

2.4 结构阻尼

阻尼材料在声学中的应用最早也最广泛,早在 19 世纪初,橡胶就被作为一种减震降噪的工业材料使用。由于橡胶的模量相对于金属材料是很低的,这种低模量与高应变恢复能力相结合,可以防止结构振动的传递。

在简单的阻尼结构中,将一层阻尼胶板粘贴于金属构件如钢板上,构成“自由阻尼层”,可以抑制钢板的弯曲振动。再将一层薄金属板粘贴在阻尼胶板外面,构成“约束阻尼层”。金属板可以防止阻尼胶板外表面的扩张变形,在声波通过时主要产生剪切变形。由于扩张产生的能量损失不如剪切变形的大,因而约束阻尼结构可以达到较高的阻尼水平。

在阻尼状态下,橡胶发生的剪切变形和扩张,会使分子链之间产生相对运动,使能量吸收增加。对于这种阻尼材料,不必引入气泡,只需做成密实的胶板。但也要求阻尼层与被阻尼的刚性构件相匹配。为使声能从振动件传递到阻尼层上,要求阻尼层材料有高模

量和尽可能高的损耗因子,一旦声能传递过来,随即把它转换成热能耗散掉。

为了达到高阻尼,要把材料的阻尼峰调整到工作温度范围内,并要求在工作温度和频率范围内的损耗因子较高。采用橡胶并用,加入树脂、高结构炭黑、高长径比填料都可改变阻尼峰的位置,提高模量和损耗因子。

2.5 防水和防污涂料

由于受水下环境的影响,橡胶的声学性能会有所改变。热降解和氧化会引起聚合物结构的变化,从而使动态模量发生变化。为此,要选用耐水性能良好的胶种和配合剂,并加入适当的防老剂,以保证水声器件在长期使用中不会因老化作用而使声学性能发生明显改变。

有的橡胶,例如聚氨酯橡胶吸水和透水都较快,对声学性能和水密性能会有不利影响。针对这一问题,研制出一种橡胶防水涂料,在待密封的换能器表面和聚氨酯橡胶表面涂覆约 0.05—0.20mm 厚的防水胶层,可显著降低吸水和透水速度,延长水声器件的工作期限。

此外,在海水中使用的水声器件,时间长了表面会附生一层海生物,这也会妨碍声波的有效传播,甚至使声呐设备失灵。为此研制出一种有效期超过 2 年的防污涂料,可以防止海生物对声呐设备的污损,保证其声学性能长期稳定。

3 结语

综上所述,可知橡胶在水声系统中的全部应用几乎都与它的动态模量有关,因此,能设计出符合动态模量应用要求的配方是最重要的。

普通的橡胶制品,大多只需测定其一般的物理机械性能,但对声学橡胶,除了测定强度特性外,更重要的是测定其模量随温度和频率的变化。应用粘弹谱仪可以简便又准确地测定材料的动态模量,绘制模量随温度与

煤炭工业对管带橡胶制品需求的简介

檀俊峰

(煤炭工业部中国煤炭物资总公司 100713)

有机高分子材料是材料领域的后起之秀,在煤炭行业中已有越来越多的高分子材料及制品投入使用,如橡胶、塑料、尼龙制品以及复合制品。

煤炭行业对橡胶制品的大量需求缘于煤炭机械的发展。从60年代使用单体液压支柱进行支护,到70年代末使用液压支架,引进缩采100套,使管带的需求量激增,也使各种密封制品进入了煤矿。露天煤矿的开采使大规格的工程轮胎应用到煤炭行业。

从发展趋势看,胶带运输将成为煤炭运输的主要方式,逐步替代剩余的矿车运输及露天矿的汽车运输。由于导风筒、密封制品的生产工艺成熟,因而生产厂家迅猛增长(120余家导风筒生产厂领证,化工、煤炭工业密封件定点厂家为42家),市场供应远大于需求(保守估计,供求比例分别为20:1和10:1),加上产值不高,市场前景不理想。本文重点介绍管带橡胶制品。

1 输送带

1.1 目前在煤矿的使用情况

输送带现在在统配煤矿的材料成本中已超过 $1\text{元}\cdot\text{t}^{-1}$,目前全国统配煤矿在用输送带带有800万 m^2 ,每年投入的采购资金达5亿元左右,为各行业之首。从输送带品种来看,阻燃带是煤矿专用品种,其推广使用是煤矿

输送带的一次大变革。由于在煤矿井下使用传统的输送带不断引发火灾事故,造成了巨大的经济损失,为此,从1980年起,开始发展阻燃带,并强制推广,现已广泛使用。但高强度的钢丝绳带如何被阻燃带取代仍是值得深入研究的问题。起初煤矿业对使用阻燃带有抵触的原因是:

(1)阻燃带在1980年开始研制,没有受到有关部门的重视,产品质量长期得不到显著改善,使煤矿资金投入增加,经济效益却降低。推广使用的阻燃带是整芯编织的输送带,寿命仅1年左右,较差的仅几个月,是英国产品的 $1/5$,是传统输送带的 $1/3$,而其价格不低于传统橡胶输送带,使煤矿每年购买输送带资金要多投入2—3倍以上。

(2)煤矿使用习惯的影响。由于传统橡胶带和整芯阻燃带特别是PVC涂层阻燃带的层面不同,其摩擦系数不同,故应用范围也有所不同。橡胶带的爬坡性要比塑料涂层带好,塑料带可爬坡度为 12° ,但在输送水煤时打滑,工人便认为阻燃带不好用。

在强制推广过程中,供应部门针对阻燃带的使用情况,及时解决由于使用不当产生的问题,促进了其推广使用。目前,阻燃带在煤矿井下总输送带中约占70%,在每年新投入的输送带中阻燃带约占95%。近几年,阻燃带比例最低的年份是1992年,在宁波定货

频率的变化曲线,确保产品的声学性能符合使用要求。

可以预期,通过橡胶配方设计、声学结构的不断改进和对其动态特性有更全面的认

识,将可研制出适用于各种压力、温度范围和不同频带宽的水声橡胶制品。

收稿日期 1996-01-11