

超声译丛

1

中国科学技术情报研究所

超 實 譯 丛

第 一 集

*

中国科学技术情报研究所編輯出版

北京朝內大街 117 号

北 京 外 文 印 刷 厂 印 刷

全 国 各 地 新 华 書 店 发 行

*

787×1092 $1/32$ 14²⁰/₃₂ 印张 311,032 字

1960年1月北京第1版 1960年4月北京第2次印刷

印数: 00501—05500册

科研版: 2—00399

定 价: 2.00 元

目 录

1. 超声学的綜述

苏联声学杂志社論..... 1

声学工程..... 4

2. 超声的产生

i 换能器材料

压磁振动器用的 *Ferroxcube* 材料..... 11

陶瓷鉄氧体共振器在作为换能器和滤波器元件时的性能..... 37

鉄氧体的磁致伸縮振动..... 68

用于磁致伸縮换能器的鉄—鋁合金..... 86

Alfenol 的动态磁致伸縮特性..... 95

ii 气哨、气笛和液哨

强超声气动发生器..... 104

噴气式声发生器的研究——一种新的发展..... 124

高强度下产生控制波形的旋笛設計..... 147

能产生具有振幅調制的受控波形的旋笛設計..... 165

流体动力式超声发射器工作情况的研究..... 181

iii 高强度超声

取得高强度的聚焦超声的装置..... 200

液体中高强度超声的获得..... 208

3 超声場測量

微型压电超声接收器..... 217

超声绝对强度测量仪.....	226
液体中的超声输出功率测量法.....	229
液体中的超声测量技术.....	247
4. 大振幅超声	
液体中大振幅超声波形的光学研究.....	254
大振幅超声波上的光衍射.....	268
5. 变幅杆	
复式聚能器的理论与计算.....	283
超声聚能器的计算.....	296
在有负载时杆状聚能器的工作情况.....	310
6. 超声在化学上的应用	
论超声波化学作用的机理.....	314
7. 超声在生物学上和医学上的应用	
生物声学及医学声学.....	335
8. 超声在物质研究上的应用	
现代分子声学的基本问题.....	347
物质的性质, 固体.....	365
液体中的超声波谱学.....	371

苏联声学杂志社論

苏联共产党（非常的）第XXI次党代表大会根据赫魯曉夫同志的报告确定的1959—1965年苏联国民經济发展的統計数字中指出：“1959—1965年机器制造业必須保証在运用最新的科学技术成就和发明，特別用无綫电电子学，超导性、超声、放射性同位素、半导体、核能等的基础上創制和生产机器……”。

摆在声学家、工程师和科学工作者面前的任务是巨大而光荣的，为了完成这个任务必須用最有效的方法在最短的时间內动员全部力量，投入到主要的工作中去。

超声上工业应用在苏联已經实现了。有充分理由可以說，苏联是应用超声探伤的祖国！許多研究所、實驗室、設計局都在拟定和設計与超声应用有关的检查計量仪器，机床，設备及其他机器。

許多工业企业成功地运用超声仪器和設备解决检查計量問題和工艺問題。然而超声在工业上应用的規模，特別在考虑到超声的广闊的工业应用的前景时，作得非常不够。

超声（和声）振动由于它的机械性質，所以是研究力学性質和几何輪廓的最合适的方法。目前除超声探伤仪外，还广泛地采用了測厚計、气体和液体的流量計、液面計和粘度計。

成功地发展了医学诊断的超声方法。目前还很少有人注意在非透明媒質中进行观察的裝置及檢驗化学反应过程和物化过程（例如：聚合作用、結晶、混凝土硬化等）的仪器，而超声方法

在这方面的应用非常有前途，因为它具有很高的灵敏度，設有活动的另件，可以用远程发送机装置和連續的觀察，这样超声方法不仅可用来檢驗，而且可用于这些过程的自动控制。在发现各种杂质（例如：測定空气含尘量和其中甲烷含量，測定各种化学品的純度等）方面超声应用也不够。毫无疑問，必須进行有計劃的，系統的工作，除了改进已知的方法外，必須发现新的非声学量的声学测量方法。

大功率超声振动在工艺上的应用还有远大的发展前途。許多工艺过程在超声作用下大大加快了。这方面計有：复杂形状另件的清洗和除油，布匹，皮革和皮毛的染色，，皮革的鞣制，布和絕緣材料的浸染，腐蝕，电化学和电泳过程，結晶，溶解，聚合作用和解聚作用，扩散，某些化学反应等。在另外的場合中用超声可解决完全新的工艺問題，例如：硬材料和脆材料的切削，縫焊質量的改进，微粒气悬体的凝聚，硬合金的成形冲模和拉模的制备，铸件晶体結構的改善，鋁及鋁合金的焊接和鍍錫。

目前的基本情况是：超声在工艺上的各种不同的应用問題还远远未完結，例如：超声在金屬和塑料的冷焊上应用的可能性只是在最近才确定。这种焊接不破坏材料的結構和强度，便于操作，并能使薄极与厚极的接合；而用气焊和电焊这种接合在实际上是是不可能的。

而就是上述列举的超声工艺过程也远远沒有全部都达到广泛的工业应用阶段。其中一部分作出了試驗設備，而另一部分还未走出實驗室，这样，我們的主要任务是：除了寻找新的超声工艺应用方法外，必須将已开始研究的过程达到广泛的工业应用的阶段。为了完成这一任务必須广泛地展开設計工作和試驗工艺的研究工作，建立工业上的超声器件的工程計算方法，发展新的产生超声的方法及寻找更完善的压电和磁致伸縮材料。

很重要的一个問題是研究超声和声工艺过程的物理和化学机

理，否則就不可能合理地設計相應的機器和儀器。完全可以指出，在世界工業比較完善的和正在運用的工藝過程中，如超聲切削，所用的高頻能量到達切削工具上的只有10%；而90%耗損在機床本身的無益的機械和熱的損耗上。從這個例子可以看出，工業設備的廉價化和簡單化的潛力還有待挖掘。

為了完成蘇聯共產黨第XIX次代表大會規定的任務，需要物理學家、工程師、設計家及工藝師們廣泛的參與這一工作。必需科學與生產緊密結合，必須有研究工作確切而實際的情報，研究工作的配合及深入的協作。蘇聯聲學雜誌在這重大的事件中要起應有的作用。

1959—1965年的蘇聯國民經濟發展統計數字應該而且一定能完成！

譯自 *Акуст. Ж.*, 1959, № 22

声 学 工 程

休 特*

在本文中作者将集中討論声学中的薄弱环节，这些环节主要是由材料的不适合以及不能使器件充分发挥作用所引起的。在声学工程方面在許多工作中产生了問題，这些問題并不是由理論困难所引起的而是由于考虑到某些工业上特有的因素，如經濟、耐久性、可靠性、及环境等所引起的。声学工程的内容涉及用于对材料和元件加工、检测和分析的声学仪器和方法，其頻率范围則从可听声到超声頻率。⁽¹⁾在大多数情况下这些技术中所涉及的基本声学現象都是熟知的，或至少已有足够的經驗知識能作为工程工作的指南。虽然如此，在实际工作中仍会产生某些要求，这些要求与基本物理定律相冲突以致往往不能得到完滿的調和，有时甚至不能解决。

例如，换能器工程师时常遇到的一个問題是需要一种材料应当是一个良好的导热体但同时又是一个良好的电絕緣体。这里我們就遇到怀德曼-弗兰茲定律的困难了。其結果就使对处理象鈦酸鋇那样的材料中发生了困难，因为鈦酸鋇在大功率下，其内部产生的热将要保持着而不传导出来。⁽²⁾压磁鈦氧体在这方面有所改进，⁽³⁾⁽⁴⁾但是对它們的机械极限問題还了解得极少。声学工程师們所熟悉的另一个未解决的問題是一种压力释放材料在高流体靜力压下会停止不动。考虑到水到空气的阻抗率的变化是从海平面的4000呎到深度为2000呎时的20。則在这方面我們所需要“是落空了” (*contradictio in adjectu*)。

* T. F. Heuier

在材料方面不断的努力研究中会产生一些不同的問題，但是如果能把专家們都会集在一起也必能获得解决。这方面的实例为：强而不脆的胶結剂的发展，为船上陶瓷水听器用的冷硫化橡胶的发展；用作消声柜檢驗柜衬里⁽⁶⁾、类似固特利契厂的 SOAB 和 SAPER 的低頻吸收材料頑⁽⁵⁾的制造，質量輕和劲度高的輻射膜片的制造，振动表面对空化損伤的防护，⁽⁷⁾制成具有高增量磁率值、高矫預磁力和低渦流損失、用于磁致伸縮換能器的永久磁铁。

在換能器工艺范围中的这些实例已足以反应声学工程人員每日所遇到的問題。即使这些人員可能对那些具有基本特性的問題更感兴趣，在那些問題上的正确研究方向会推动声学应用工程的进展。声学的一个最有希望的应用是利用声感生的空化作用进行化学处理⁽⁸⁾，这种应用从工业观点来看还屬最初阶段中。虽然声学学会的几次會議中都对空化現象进行了討論，但是对促进空穴形成和相伴着发生的空穴消失⁽⁹⁾的基本过程还了解得很少，缺少对这方面的了解我們就很难估計当某一种物質在大振幅声压中受照射将会发生些什么变化。同样我們現有的知識也不过单凭經驗*，还不能对所需的过程很好地作定量的控制。一个众所周知的实例为声的乳化作用，在不同的空化程度下会产生稳定乳腐剂或分解乳剂的相反的效应。

在空化作用型处理中的一些重要参数列于表 I。第一行中列出了那些在实驗室中获得相当重視的物理参量。例如，我們已知空化气泡的形成需要時間⁽¹⁰⁾，这就使空化閾随着頻率的增加而提高。从处理的观点来看，1兆週每平方厘米为 100 瓦級的强度的空化作用是否和 10 千周每平方厘米为 1 瓦时产生的空化作用的

注*：从化学工程的观点来检查超声的生理化学应用見美国麻省、Waltham, Raytheon Manufacturing Corp., Research Division 的吉卜斯(N.E.Gibbs)的研究报告第 11 号。

表 I 有关空化作用的参数

开始空化方面	发声方面	利用方面
频率	换能器	抗张力
温度	能转移	切变力
压力	声场	温度峰值
粘滞度	流率	自由基
成核作用		

效果相等，这个问题引起相当大的争执。超声清洗设备的制造者和使用者两方面的不一致的要求都说明了一件事实，即需要有改进的量测技术和标准检验*。

表 II. 处理容量

基本公式: $P = \omega Q_m k^3 W_s \eta = \beta \times Q_m f$

介电储能: $W_s = \epsilon E^2_{rms}$

磁性储能: $W_s = \mu H^2_{rms}$

由 $\tan \delta$, R^2 , Q_m , Q_A 决定的效率 η

最大瞬时值 (β 的单位是瓦/时³/千周):

镍	磷酸二氢铵	钛酸钡
$B = 6$ 千高斯	$E = 8$ 千伏/厘米	$E = 2$ 千伏/厘米
$k = 20\%$	$k = 30\%$	$k = 30\%$
$\beta \approx 1.2\eta$	$\beta \approx 0.8\eta$	$\beta \approx 1.0\eta$

空化阈同时也随着温度，流体静力压和粘滞度而变化——但是处理效率和这些变化的关系又是怎样的呢？开始产生空化方面

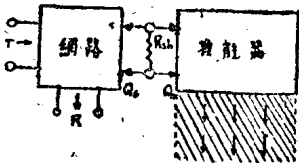
注*：美国标准协会 (American Standards Association) 已组织了一个调查委员会 S1-x-31，来决定超声清洗仪器标准化的可能性。

的一个最令人难解,但同时又可能是最重要的问题是关于核,核是液体分裂的原因。气体含量、尘粒、⁽¹¹⁾和离子径迹⁽¹²⁾都是促进或核作用的因素。如果对这些因素所起的作用有了进一步的了解就能在处理应用中更好地控制空化作用的数量。

在表 I 的第二行中是一些对设计连续液流处理系统甚为重要的项目。在规定的使用目的下要节约功率与选择一种最适合的换能器有关。在能源方面在很低频率中是趋向于流体动力式和喷气式的发声方法,但是最后能获得能量密度和流速还不知道。另外一种实际上尚未研究的高能源是由实验中提出的水中火花放电。⁽¹⁴⁾

如果要利用由空化泡消失所释放出的能量必须对这个作用的机理有更完整的了解,这个作用在声的解聚作用、均化作用或氧化作用中都有着有效利用的潜在可能性。在表 I 的第 3 行中列出了一些机械方面、热学和化学方面的因素,但是对它们的相对作用至今还不了解。

以上是有关空化作用的。另外一方面的問題列于表 II。其中主要是关于压电或压磁固体的处理容量,尤其是在低频和低 Q 的情况下。象镍和 $BaTiO_3$ 那样具有滞后性质的材料,它们的驱动功率是有所限制的。它们的最大瞬时储能约为 Qf 瓦/时³,

表 II		
在以下各方面很重要		
声 射	↑ ↑ ↑	自激放电 ①
流 速 计	↑ ↑ ↑	互 配 层 ②
缺陷探测	↑ ↑ ↑	
医学诊断		
运 送 线		
		耦合系数 ③
		糊裹材料 ④
基本法则 $B \times \tau = 1$	$Q_m = Q_c - \left(\frac{1-K^2}{K^2} \right) \eta_{cm}$	$\eta_{cm} \approx \frac{1}{1 + R_m/R_L}$
需要的: 大 B 和高变换效率 η_{cm}		
① ② 和 ④ 增加 B 但减低 η		
③ 增加 B 和 η		
最佳	$Q_m \approx Q_c \approx \frac{\sqrt{1-K^2}}{K}$	$1/F Q_m \gg \frac{T \Delta \theta}{K^2}$

其中 f 的单位是 4 赫。然而在大功率驱动时这些材料的变换效率要降低，这是因为它们的介电损失⁽¹⁶⁾和机械损失⁽¹⁷⁾因数的非线性的原故。这在钛酸钡中尤其严重，因为由于这种损失而造成发热会导致在远未达到居里点以前就已降低了其活动性。我们所需要的是一种具有高机电耦合系数和高矫顽力的低损耗材料。一种理想的材料应具有磷酸铵二氢的线性、镍的机械强度和低电阻抗，石英的温度稳定性和钛酸钡的易于制备性。

最后应提及第三个问题范围，这个问题是由换能定律和某些应用要求之间的不相适应而产生的。表Ⅲ中是一些应用，在这些应用中既需要有很宽的处理本领，或带宽，同时还需具有很高的灵敏度。在这里换能器可作为带通滤波器看待，它的通频带与耦合系数有关，⁽¹⁸⁾整个带通滤波器网络的通频带是由两个质量因数 Q_m 和 Q_e 所决定的。 Q_m 可以用表Ⅱ右边符号 L_m 和 b 所指出的各种机械方法来降低。 Q_e 则又依赖于 Q_m 和等值电路中相值分流电阻的数量。这些数量之间的基本关系也列在同一表中。我们应注意到机电耦合系数的巨大重要性。它决定了在高效率下能达到的最佳频带宽度，也就是说在电路中不需要再附加阻尼。因此我们所期望要的材料是兼有高的 k 值和低的 $\tan \delta$ 值，同时对负载介质也提供良好的阻抗匹配。

在上面的讨论中对于“未解决的问题”这一句话的解释是以工程的角度广泛地来说的。可以看到在某些方面对这些工程问题的解决必须要等待对材料的性质更进一步了解才能作到，这也就是下面两篇论文的主题。⁽¹⁹⁾⁽²⁰⁾在其它方面只要能用已有的声学方法和材料对某些问题作出合理的安排，问题也就不难获得圆满的解决。

参 考 文 献

1. T. F. Hueter and R. H. Bolt, *Sonics* (John Wiley and Sons, Inc., New York, 1955).
2. Schofield, Brown and Dingle, *ASTIA reports* Nos. 123056 and 123058.
3. C. M. Van der Burgt, *J. Acoust. Soc. Amer.*, 28, 1020 (1956).
4. U.ENZ, *Tech. Mitt. P. T. T.* 33, 209 (1955).
5. W. J. Toulis, *J. Acoust. Soc. Amer.*, 27, 1221 (1955).
6. C. L. Darner, *USRL Rept. No. 21* (1953).
7. H. Nowotny, *Destruction of Materials by Cavitation* (Edwards Brothers, Inc., Ann. Arbor).
8. E. C. Steiner and J. Karpovich, *J. Acoust. Soc. Amer.*, 29, 1262 (1957).
9. H. A. Flynn, *Tech. Memo No. 38* (March 1, 1957) Acoustics Research Laboratory, Harvard University, Cambridge, Massachusetts.
10. B. E. Noltingk and E. A. Neppiras, *Proc. Phys. Soc. (London)* B63, 369 (1950).
11. E. Meyer, *J. Acoust. Soc. Amer.*, 28, 801 (1956).
12. D. A. Glaser, *Phys. Rev.*, 87, 665 (1952).
13. J. V. Bouyoucos, *J. Acoust. Soc. Amer.*, 29, 771, (T) (1957).
14. F. Fruengel and H. Keller, *Z. angew. Phys.*, 9, 145 (1957).
15. R. S. Woollett, *Trans. Inst. Radio Engrs*, Pt. 9, (1957).
16. H. G. Baerwald and D. A. Berlincourt, *J. Acoust. Soc. Amer.*, 26, 696, (1953).
17. Hueter, Neuhous, and Kolb, *J. Acoust. Soc. Amer.*, 26, 696 (1954).
18. W. P. Mason, *Electromechanical Transducers and Wave Filters* (D. Van Nostrand Company, Inc., 1958), p. 237.

19. R. W. Morse, *J. Acoust. Soc. Amer.*, 30, 380 (1958), following paper,
20. Theodore Litovitz *J. Acoust. Soc. Amer.*, 30, 383 (1958), this issue.

譯自 *J. Acoust. Soc. Amer.* 1959, 30
No. 5, p. 378

压磁振动器用的 *Ferroxcube* 材料

伯 格 特*

简介: 为了发生或检测超声波。时常采用压电或压磁(磁致伸缩)振动器用特制的陶瓷 *ferroxcube* 作为压磁振动器的芯在许多方面同目前一般使用的压磁金属和合金同样地优良,在某些方面甚至超出它们。*Ferroxcube* 振动器不但能用来产生和检测声波,而且还能用作不受温度影响的带通滤波器元件。为此,也特制了许多种 *ferroxcube*。

引 言

本文中主要涉及在液态介质和固态介质中超声的发生和检测。这里不需要详细地讨论这种技术的日益增长的重要性。例如它可用在,水中发送信号(回声测深、“潜艇探测器”、“声拿”)、探测固体材料的缺陷、清洗小的机械零件、材料加工(如玻璃及其他脆性材料)⁽¹⁾的钻孔;焊接铝(当氧化物薄膜形成时即被打碎)以及治疗等应用。⁽²⁾

以上例子中所用的超声振动器都属于将电能变换成机械能或声能或是由声能转变为电能这一类的换能器。在这方面,它们能与在空气中用来发生和检测频率范围介于每秒20周和每秒20千周之间的声波的扬声器和传声器相比。

在动圈扬声器中,由电能变换为声能是基于作用在线圈上的

* C. M. van der Burgt

(1) 关于超声钻孔的文章将在本杂志的下一期刊登。

(2) 例如,见由 F. G. Richardson 主编的“声的技术方面”

第二卷, Elsevier, Amsterdam 1957; T. F. Hnetter 和 R. H. Bolt 的“声能学”, Wiley and Sons, New York 1955; L. Bergmann 的“声学” Hirzel Verlag, Zurich, 6th ed 1954.

力，这个力作用在讯号电流所通过的线圈上，线圈是置于永久磁铁的场内。这些力使膜（扬声器锥体）振动，由此在周围介质中产生了声波。按原理来讲扬声器也能当作传声器使用：当圆锥体由声波引起振动时在线圈中就感生电压，即声能变换成电能。

电动力系统一般不能用在液体或固体中产生和检测超声波频率在20千周/秒以上）；因此就采用压电或压磁材料制成的振动器。本文主要涉及压磁振动器，但是由于它与压电振动器有许多相似地方，所以首先简单地讨论压电振动器是有益的⁽³⁾。

例如，一个压电振动器包括一个石英晶体，石英晶体置于交变电场中，结果形状发生周期变化。这样的压电振动器多数是在接近于振动体的机械共振频率的频率时使用的。在以单晶形式使用的石英及其他一些材料如磷酸二氢铵（ADP），水合硫酸锂（LSH）和酒石酸钾钠（罗谢耳盐）的压电效应中，形变是电场强度的奇函数，并随着电场方向改变符号。前三种晶体的形变甚至当电场强度值很高时都是与它成正比的。（表现出有显著滞后的罗谢耳盐就没有上述那样的简单比例关系）。此外还有一些多晶材料，如陶瓷材料：钛酸钡（ $BaTiO_3$ ）和钛酸-锆酸铅（ $PbTi_{1-2}Zr_2O_3$ ）也同样由于电场而发生形变；然而在这里形变为电场强度的偶函数，也就是说在一个指定的电场强度下它不受电场符号的影响。对这种在场和形变之间显然没有比例关系的材料，只要对它们施加一个偏压极化就能使它们在小的交变电场中成为线性的。为了达到此目的就对它们施加一个恒定的场，在这场上再叠加小振幅交变电场，在某些情况下可以不用极化场，即在能采用“矫顽电极化”的时候可以这样作。

(3) 有关压电性質見 J. C. B. Missel 的“压电材料”
Philips tech. Rev. 11, 145—150, 1949/50.

現在將以上所討論的电压振動器與可以用來發生和檢測超声波⁽⁴⁾的压磁振動器進行比較。這些振動器是以預先磁化的(極化)鉄磁材料的压磁效应(磁致伸縮)為基礎。压磁效应是一個綫性效应，能與極化的鈦酸鋇的綫性压电效应相比。在原理上一切預先磁化的鉄磁材料都具有這種压磁效应。

為了適合以上所提及的各種應用，曾發展了压磁效应特別顯著的特制鉄磁材料。起初，發展工作包括找尋一種適合上述目的的金屬和金屬合金，例如鎳，“Permalloy”(Ni, Fe), “Alfer”和Alfenol”(Al, Fe), 以及“釩-Permendur”(V, Co, Fe)。為了要產生振動，這些材料必須放在迅速交變的磁場中，結果它們必須採用疊片方式。如果不是這樣，則所產生的渦流(趨肤效应)將會引起材料中磁場的顯著地減弱，由此而降低了最後所得的压磁效应。

近年來已大規模地發展了陶瓷材料(例如，鎳-鋅鉄氧體，ferroxcube⁴)，它們可用來作為在高頻⁽⁵⁾下應用的綫圈、變壓器等的心。由於它們具有高電阻率，這些材料不必採用疊片方式。由此，而產生了研究這種材料是否適於作為超声压磁應用的意圖。

事實確實如此。飛利浦製成的各種 ferroxcube 是製造压磁振動器的良好材料，尤其是在它們的化學成分和製備過程中作某些改變時則更好。陶瓷本身所固有的脆性的確對它所能輻射的最大功率有所限制；但是對 ferroxcube 來說，這個限度並不妨礙它的大多數實際應用。這種新 ferroxcube 材料既可以用來製造

(4) 压磁是一個新的名辭，用來包括一般屬於磁致伸縮(例如，見 G. Bradjielp 的超声电声学；一般譯述，Acustica; 4, 171—181, 1954)範圍內的各種可逆機磁現象。有關压磁振動器應用的綜合歷史概觀可在 F. V. Hunt 的“电声学”Harvard Univ. Press, Cambridge (Mass) 1954, 一書中找到。

(5) J. J. Went 和 E. W. orter (f) “Ferroxcube 材料的磁學性質和電學性質”，Philips tech. Rev. 13, 181—193, 1951/52。