

验外推到人体上,至少在现有的条件下还是可行的,但安全系数比实验时应大些.

参 考 文 献

[1] Gail ter Haar, Safety of Medical Ultrasound Vol.

II, 1981.
[2] F. J. Fry et al., J. Acous. Soc. Am., 48-6(1970).
[3] 尚志远等, 中国生物医学工程学报, 5-1(1986), 14-17.
[4] 尚志远等, 陕西师大学报自然科学版, 2(1983).
[5] 尚志远等, 中国生物医学工程学报, 5-1(1986).
[6] 马玉英等, 声学进展, 3(1984).

指数形压电声笔的设计和应用

殷 庆 瑞

(中国科学院上海硅酸盐所)
1985 年 5 月 22 日收到

压电声笔是各种声坐标录取装置的重要组成部分, 高性能的声笔对于该装置的接收机和其它信号处理部分的研制会带来很大的方便, 对装置的有效工作面积有直接的影响, 对整机的精度有重要的作用. 本文主要介绍从波动方程^[1]入手, 根据变幅杆原理进行超声笔设计的方法. 并根据实用要求测试了声笔的性能: 工作频率为 200kHz, 垂直于工作面的水平指向性为 360°, 可以在与工作面的夹角为 30°—90° 的任何正常书写角度上使用, 它发出的声信号强度比普通声笔(非变幅杆型)大 6 倍以上, 并测定了几个典型点的振幅值, 振幅放大系数大于 6. 符合设计要求, 已在某些声坐标录取装置上获得了满意的应用. 如按半波长振子的原理并配以简单的结构, 能够很方便地获得当笔尖发射超声的同时, 还能在传输介质的表面上留下笔迹, 使用方便自由, 外形和尺寸与普通钢笔相似.

一、引 言

指数形声笔是一种长度为半波长整数倍的变截面杆, 它能放大机械振动的振幅, 并能有效地把声波传输到介质中去. 变幅杆的种类以及激励方式有多种, 在超声工业上已获得了广泛的应用^[2]. 在我们的设计当中是将一只压电陶瓷圆环粘结到指数笔头的低振幅端, 在壁厚方向加驱动电场, 利用圆环的轴向振动作为激励源. 按照声坐标录取装置的精度要求, 并考虑到书写自由、外形美观以及有足够的振幅放大系

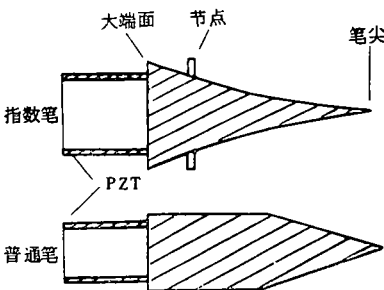


图 1 激励元件和笔头示意图

数, 所以选用了指数形笔头. 图 1 是指数形声笔与普通声笔的结构示意图, 指数形声笔的外壳与节点固定在一起.

表 1 指数形笔尖形状计算表

x(mm)	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40
R(mm)	4.45	4.0	3.52	3.0	2.8	2.5	2.25	2.0	1.8	1.5	1.35	1.12	1.1	1.0	0.9	0.85	0.7	0.67	0.56	0.5

1. 指数形声笔有关参数的计算

有关变幅杆的计算方法在有的书上或文章当中已有介绍, 本文不列出设计声笔的详细数学推导, 仅提出我们分析的最后结果, 下面是一组计算指数形声笔的公式。

(1) 两端自由时声笔笔头的谐振长度:

$$l = \frac{\lambda}{2} \sqrt{\frac{(n\pi)^2 + (\ln M)^2}{\pi^2}} \quad (1)$$

式中 $M = R_1/R_2$, R_1, R_2 分别为笔头大小端面半径。

(2) 笔头支撑点(节点)离大端面的距离:

$$x = \left(\arctg \frac{k'}{\beta} \right) / k' \quad (2)$$

式中 $k' = \sqrt{k^2 - \beta^2}$, k ——波数 β ——指数系数。

(3) 指数系数:

$$\beta = \frac{1}{x} \ln \frac{R_1}{R_2} \quad (3)$$

(4) 声笔二个端面的振幅放大系数:

$$M = R_1/R_2 \quad (4)$$

在作声笔有关参数计算以前, 应考虑到声笔的工作频率, 选择适当的笔头材料以及驱动元件——压电陶瓷的尺寸。工作频率可按实际需要而定, 我们选取的频率为 200kHz。为了使声能有效地从笔尖传输到玻璃介质中去, 特选择了合金铝(密度为 2.7g/cm³, 声速为 5200m/s)作为笔尖材料, 激励元件可用发射型 PZT 压电材料(圆片或者圆环), 轴向取为半波长振子, 为防止径向振动的耦合, 应适当地选取压电元件轴向与径向的尺寸。本设计选用的圆环, 高度为 8mm, 厚度为 1mm。笔头大端(低振幅端)半径为 10mm, 小端(笔尖)取 1mm。

根据上述的要求, 并把有关参数代入式(1)~(4), 就得到了指数笔的一组数据

(1) 笔头长度 $l = 40\text{mm}$; (2) 指数系数 $\beta = 5.785 \times 10^{-2}$; (3) 支撑点位置(距大端面距离) $x = 5.7\text{mm}$; (4) 振幅放大系数 $M = 10$; (5) 指数形笔头形状曲线计算见下表 1。

表中 x 表示距大端面距离, R 为相应处的半径。根据这组数据加工指数形笔头。

2. 声笔性能测定

根据上述的计算, 并用数控机床按表中数据加工以后, 粘接上压电陶瓷, 组装成指数形压电声笔, 为防止电干扰和安全使用, 笔套可选用轻质金属并可靠接地。然后测定笔的性能。

测量声笔性能时, 使用的电压源是一台幅度为 1500V 的负高压脉冲发生器, 前沿上升时间为 ns 级, 重复频率为几十 Hz, 负高压脉冲直接加在声笔上, 从笔尖上输出声脉冲, 对不同的被测参数分别选用不同的信号检测方式。

(1) 工作频率

将一支声笔接在负高压脉冲发生器上, 并在玻璃介质上发射声波, 用一只低 Q 压电换能器作接收用, 将接收到的信号送 SBM-14 示波器直接作宽带放大, 并用 XFG-7 高频信号发生器和通用频率计数器作频率监视用, 经校准所测得的几支笔的谐振工作频率在 195—210kHz。

(2) 水平指向性

将声笔垂直地放置在玻璃板表面上(也可选用其它固体介质), 以放置点为圆心, 在适当的半径上画一个圆, 在圆上取若干个点, 用另一支声笔沿着圆弧亦同样垂直地放置在欲测的点上, 并注意收、发两支笔的相对方向的一致性, 以减少测量误差。使用了自制的宽带接收机(中心频率为 200kHz, 带宽略大于一个倍频程, 总增益大于 70dB)检测声笔的信号, 测得的一组数据列在表 2 中, 指向性图如图 2 所示。

表 2 不同方向上的声信号值

位 置	声信号值 (示波器分度格)
1	6
2	6
3	5
4	5.5
5	5
6	6
7	6
8	6

(3) 有效工作角度

实际使用当中, 希望声笔应该是无指向性

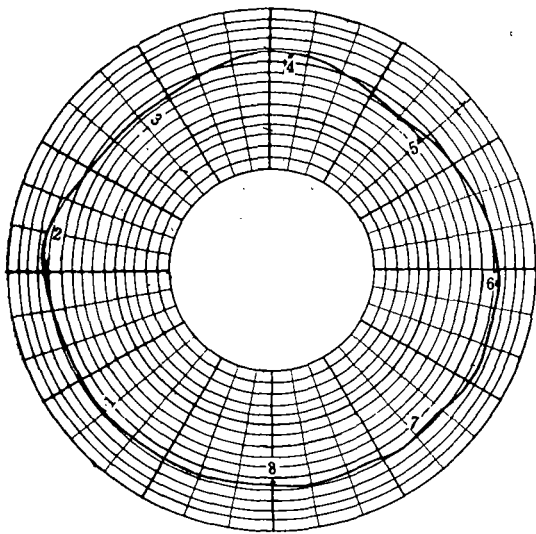


图2 声笔指向性图 ($f = 200\text{kHz}$)

的,但是由于各人握笔习惯与水平面所成的夹角大小不一,笔尖也并非是一个绝对的圆,当声笔与工作面的夹角小于 90° 时,发射指向性就变得明显起来,严重时会影响到整个装置的精度。为此必须确定声笔的有效工作角度,其方法同上节(2),仅是把发射声笔放置在与水平面的夹角分别为 30° , 45° , 60° 。在不同书写角度的各个方向上所检测到的声笔发出的信号值列在表3上,信号值单位同表2。由表2数据可以看出,书写角度为 60° 时的指向性比 30° , 45° 更接近于 90° 书写角度的指向性。

表3 指数笔在不同书写角度时不同方向上的声信号值

30°		45°		60°	
位置	信号值	位置	信号值	位置	信号值
1	4	1	4	1	3.5
2	2.7	2	3	2	3
3	3	3	3	3	2.7
4	2.7	4	3	4	2.7
5	2.7	5	3	5	3
6	4	6	4.5	6	4
7	6	7	6	7	4.5
8	6	8	5	8	4

按总体设计要求,在正常书写角度上,声笔

发出的声信号,经坐标板传输衰减以后,必须在距离声笔1m处的 $x-y$ 接收阵列上接收到时能够足以被放大到饱和。或者说必须保证信号处理系统的输入有足够大的信号幅度。这样,信号前沿就比较陡峭,以利保证整机精度。经实测,静态(笔尖固定)时,声笔发出的信号经饱和放大以后,波形前沿上升时间 $<0.15\mu\text{s}$;动态(笔尖在坐标板上移动)时,前沿 $<0.4\mu\text{s}$,此时且有足够的信噪比。

(4) 声笔上几个典型点的相对振幅值

若能测量出指数形声笔的纵向振幅分布并绘出振幅随距离的变化曲线,就更清楚地说明了指数笔的振幅放大作用。但是在我们的具体情况有相当的困难。从实用来看,使人感兴趣的还是振幅放大系数,以及节点位置选择是否适当。所以对声笔的大端面、笔尖和节点处的相对振幅进行了粗略的测量。用电-声转换的方法作相对比较,其中一支笔作发射用,另一支笔作接收,使用示波器进行观察,并与普通声笔(非变幅杆)在同样工作条件下作了比较,数据列于表4。

表4 指数笔、普通笔在不同位置上的相对振幅值

位 置	信 号 值	
	指 数 笔	普 通 笔
大 端 面	2.5	2.5
节 点	2	
笔 尖	16 (mv 级)	2.5 (μv 级)

二、结果和讨论

从指数形声笔与普通声笔相比较可以看出:前者具有明显的振幅放大作用,在同样驱动力的作用下,发出了强得多的声波,在实际使用中效果显著。垂直于工作面的发射指向性角近似 360° ,在 30° — 90° 的任何正常书写角度上,即使在最远作用距离上,声笔发出的信号也能使信号处理系统得到所需的信号强度,保证了整机的精度;从实验结果看,工作角度在 60° — 90° 范围内对提高整机精度会更有利。

声笔的振幅放大系数主要取决于两个端面

的线性尺寸之比,测量值比理论计算值小,可能是由于机械加工的原因,实际声笔的指数与计算值有差异所致。节点处仍有一定的振幅,这可能是由于支撑圆片太厚的关系,已超出了真正节点的位置,因而受到纵向振动的影响。用相同方法测量靠近笔尖 3mm 以内任一点,得出横向振动的信号仅为纵振动的 1/10,可见横向

振动对纵振动的影响不大。

参 考 文 献

- [1] B. A. Auld, Acoustic Fields and Waves in Solids, John Wiley & Sons, 1973.
- [2] B. J. Martin and J. S. Suanl, The Ultrasonic, Fuel Injector, Inf. Conf. Automotive Electronics, London, Nov. 1979, (I.E.E.).

中国最大地震的地声研究

高 建 国

(中国科学院北京天文台)

1984 年 8 月 9 日收到, 1986 年 5 月 12 收到修改稿

本文根据 1668 年郯城—莒县 $8\frac{1}{2}$ 级地震 126 个县地声记录, 分析震前地声、模拟声响、历时和走向, 发现震中区西部存在一条北东向地声异常带。参考水文地质图和石油构造分布图, 将地声异常带与地质结构之间的联系做了可能解释。

一、前 言

地声是一种自然声源。地震发声, 古称“地震有声”, 是地声中的一种。1668 年 7 月 25 日, 山东郯城—莒县间 (35.3°N , 118.6°E) 发生了 $8\frac{1}{2}$ 级特大地震, 为我国境内有史以来最大地震之一。伴随发生的大量地声信息, 均被记录在地方志内。

这次地震发生在清初康熙七年, 正值经济上升时间。自战国时期兴起的地方志, 清代达到全盛时期。康熙十一年 (1672 年), 各地设局修志, 并有专人检查志书质量^[1]。我国现存地方志 8264 种, 大部分是清代撰修的^[2]。各种灾祥大事被记载保存下来, 成为我国具有特色的史料来源。1956 年出版的《中国地震资料年表》, 1983 年以后陆续出版的《中国地震历史资料汇编》和各省地震历史汇编, 大量资料取自地方志。李善邦指出: “公元 1668 年山东郯城大地震, 影响及于山东、山西、河南、河北、湖北、安徽、江西、江苏、浙江等省, 有记载者共 410 个县, 其中记有破坏情况的 150 个县。这是我国

历史记载最丰富的一次地震”^[3]。此次地震地声资料之丰富也是罕见的。

二、地声史料的价值和内容

1. 1668 年郯城—莒县地声史料的丰富性

附录中共搜集了七省二市的 126 个县的 159 条地声记录, 占有记录县数的 30.7%。所记地声全凭人耳所闻, 行文简洁, 没有细节描述。即便如此, 但仍能提取一些模拟声响、地声走向、历经时间和震前地声方面的信息供研究。这样大的一次自然声源恐怕在相当长的时间里是很难模拟的。 $8\frac{1}{2}$ 级地震相当释放 $3.55 \times 10^{24}\text{erg}$ ($3.55 \times 10^{17}\text{J}$) 能量, 即使只有一小部分能量转变成声能, 也是可观的。图 1 是这次地震的等震线图, 图 2 是地声分布图。震中至最北、最南距离分别为 630km 和 828km, 至最东和最西为 423km 和 648km。图 2 与图 1 的等震线图一样, 呈北东向。地声记录点数与震中距离有关, 以震中为圆心, 分别以 100、200、……900km 为半径作同心圆来计数 (图 2), 但考虑