

# 听觉辨别阈的测定<sup>\*</sup>

梁之安 邵殿华 罗维之

(中国科学院上海生理研究所, 上海·200031)

本工作用一种结构简单操作方便的新型调频调幅调相声刺激器, 准确地在人 (用心理物理方法) 和豚鼠 (用电生理方法) 测定了听觉的频率辨别阈 ( $\Delta f$ )、强度辨别阈 ( $\Delta I$ ) 和相位辨别阈 ( $\Delta \phi$ )。在听力正常的受试者, 测得的  $\Delta f$  为  $1.3 \pm 0.6$  pps (pulses per sec. 以下同, 编者注),  $\Delta I$  为  $0.4 \pm 0.2$  dB,  $\Delta \phi$  为  $0.9 \pm 0.3^\circ$ 。在听力正常的豚鼠, 它们相应为  $2.5 \pm 1.1$  pps,  $0.5 \pm 0.2$  dB 和  $1.2 \pm 0.5^\circ$ 。文中详细地介绍了所用刺激器的设计及工作原理。

## Measurement of auditory discriminating thresholds

LIANG Zhian SHAO Dianhua LUO Weizhi

(Shanghai Institute of Physiology, Chinese Academy of Sciences, Shanghai, 200031)

With a newly designed FM/AM/PM sound stimulator, accurate measurements of auditory discriminating thresholds of frequency ( $\Delta f$ ), intensity ( $\Delta I$ ) and phase ( $\Delta \phi$ ) were performed psychophysically in humans and electrophysiologically in guinea pigs. For normal hearing human subjects, the measured thresholds amount to  $1.3 \pm 0.6$  pps for  $\Delta f$ ,  $0.4 \pm 0.2$  dB for  $\Delta I$ , and  $0.9 \pm 0.3^\circ$  for  $\Delta \phi$ . For normal hearing guinea pigs, they are  $2.5 \pm 1.1$  pps,  $0.5 \pm 0.2$  dB and  $1.2 \pm 0.5^\circ$ , correspondingly. The designed stimulator is simple in construction and easy to manipulate and the operating principles are described in details.

### 1 引言

对声音的感受和辨别是听觉功能两个基本方面。感受是前提, 但对声音有用信息的提取而言, 辨别功能尤为重要<sup>[1]</sup>。只是由于技术上较难, 在听觉研究和耳科临床检查中, 听觉辨别功能的测定远不如听力测定 (感受功能) 得到那么广泛的运用。我们先后曾介绍过测定听觉辨别阈的个别方法并研制过一些设备, 经和兄弟单位共同使用和开拓后, 积累了经验并逐步作了改进<sup>[2~8]</sup>。本文总结我们在此基础上建立的一套较完整的技术, 包括新制成的调频调幅调相声刺激器, 用它可在人 (用心理物理或电生理方法) 和动物 (用电生理方法) 方便准确地测定听觉系统对声音的频率辨别阈  $\Delta f$ 、强度辨别阈  $\Delta I$  和相位辨别阈  $\Delta \phi$  并介绍和讨论一些有代表性的结果。

### 2 调频调幅调相声刺激器的工作原理

频率、强度和相位是声音最基本的参数, 用与它们相应的辨别阈  $\Delta f$ 、 $\Delta I$  及  $\Delta \phi$  可较全面地反映听觉的基本辨别功能。重复短声在频谱上虽然比纯音复杂, 但对其实现调频、调幅或调相的处理和控制, 在技术上要比对纯音容易得多, 而对几种听觉辨别阈, 用重复短声参数调制方法测得的结果比用纯音还要精确, 同样能反映听觉辨别功能的状况<sup>[5,7]</sup>。

图 1(a) 示调频调幅调相声刺激器的设计和工作原理。仪器的主要结构包括周期发生器、单个脉冲发生器、500pps 脉冲发生器、调制信号发生及调节装置、脉冲振幅形成器、延迟脉冲发生器、加法器、功放衰减组件及电源等部件。周期发生器产生每秒一次的脉冲,

\* 收稿日期: 1996-9-23

控制刺激声的调制周期及同步触发信号。

500pps脉冲发生器连续产生基准频率为每秒 500 次的窄矩形脉冲 (P1), 波宽 0.1ms, 其频率可被调制。脉冲振幅形成器产生同样的 500pps 脉冲, 只是其振幅可被调制。用 500pps 的 P1 脉冲触发延迟脉冲发生器, 产生参数与 P1 完全相同的另一组 P2 脉冲, P1 与 P2 经加法器相加后, 组成每秒 500 对重复脉冲。每对脉冲中 P1 与 P2 有一间隔 (即相位差, 由延迟时间  $T$  决定), P1 的时间位置不变 (相位为  $0^\circ$ ), P1 P2 间的基准相位差选定为  $60^\circ$  ( $T = 0.33\text{ms}$ )。改变  $T$  即可实现调相<sup>[6,7]</sup>。调制信号是延迟及时程各为 200ms 的梯形波, 上升下降时间各 10ms, 由调制信号发生器产生, 每秒 1 次, 由周期发生器控制。调制信号可经选择开关分别接至调频 (500pps 脉冲发生器)、调幅 (脉冲振幅形成

对声音进行调频调幅调相的方法虽有多种, 本仪器采用的技术却极为简便适用。调频和调相是通过把调制信号引至相应时基集成电路的“压控”接端 (“555”的 5 脚“556”的 3 或 11 脚) 来实现的 (图 1 的 b 上, 以“555”为例)。当产生 500pps 频率集成电路压控接端的电压变化时, 频率即随之而变, 当产生延迟信号集成电路压控接端的电压变化时, 延迟时间  $T$  便变化, P2 的相位即随之而变。从脉冲振幅形成器产生的 500pps 脉冲, 其振幅由相应时基集成电路供电 “ $V_{cc}$ ” 及“复位”两接端 (分别为“555”的 8 4 脚, “556”的 14 4 或 10 脚) 的电压所决定。调制信号经跟随器接至此两接端 (b 下), 便可实现调幅。图 1(c) 为重复短声各参数被调制时电信号时域波形的示意 (脉冲频率比实际使用时低)。自上而下依次为调频、调幅、调相和调制信号。

调制的深度和方向由调制信号的大小和极性决定。至压控接端 (调频和调幅) 或  $V_{cc}$  接端 (调幅) 调制信号的基准电压  $V$  以 +6V 左右 (5~8V) 为宜。在此基准电压调定后再调节相应时基电路, 使基准频率为 500pps P2 的基准相位为  $60^\circ$ 。调制信号振幅的变化范围 ( $\Delta V$ ) 为  $0 \sim \pm 4\text{V}$ , 大体上相应的频率变化为  $0 \sim \pm 40\text{pps}$ , 相位变化为  $0 \sim \pm 40^\circ$ , 振幅变化为  $0 \sim \pm 5\text{dB}$ 。  $\Delta V$  通过两个精密 10 转电位器来调节, 一由主试者控制 (总调), 另一由受试者控制 (自调)。  $\Delta V$  经对数放大后驱动一电表, 在精确校准和标出刻度后, 其指针可直接显示频率、相位或强度的调制量 (图中的“显示”)。

此仪器可产生 4 种刺激声: (1) 单个短声, 由周期发生器触发单个脉冲发生器产生; (2) 调频声 (FM); (3) 调相声 ( $\phi M$ ); (4) 调幅声 (AM)。它们经选择开关输至功放、衰减组件, 在设定所需强度后输出。功放和衰减器也已有多种通用设计。信号在功放前可被引出至“显示”, 供示波器上观察、校准等用。基准频率及其变量  $\Delta$  可用频率计校准, 若计数的

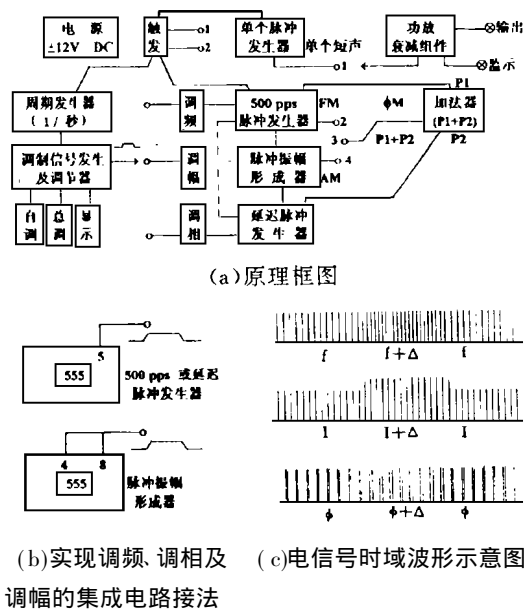


图 1 声刺激器原理图

器) 或调相 (延迟脉冲发生器) 组件, 以实现相应的调制周期、脉冲、调制信号、延迟信号等发生器的各项功能, 用若干片时基集成电路 (如“555”或“556”) 配适当的分立元件组成的线路很易实现, 通用的现成设计已有较多介绍, 本文便从略。

采样时间为 10s,精度便可达 0.1pps 强度和相位的校准以在示波器上进行较方便。仪器可输出两种触发信号,一从周期发生器发出,每秒 1 次,供记录诱发电位时同步用;另一为 P1 脉冲,供测定相位时在示波器上量 P1 与 P2 的时间差  $T$  用。

### 3 人 $\Delta f$ $\Delta I$ 和 $\Delta O$ 的测定

用心理物理自调法较方便准确。单侧耳机给声,强度以阈上 50~60dB 为宜。主试者先任意设定一较大的调制深度,使受试者听到连续声中有每秒 1 次的周期性波动(音调、响度或音色),然后让受试者自己反复转动在其手中的自调电位器,至认为周期性波动刚消失为止。此时调频、调幅或调相的变化量即为 1 次测得的辨别阈,若干次结果的均值或中位数便可代表该测试耳的  $\Delta f$ 、 $\Delta I$  或  $\Delta O$ 。表 1 第 1 行示在 55 名听觉正常受试者(17~39 岁,共 110 耳)用上述刺激器和方法测得的结果(均值和标准差),可作为正常值的参考。另 1 组受试者(40~67 岁,共 80 耳)测得的均值和标准差都较大,他们也无耳病史,显然是受年龄因素的影响。在人,  $\Delta f$ 、 $\Delta I$  和  $\Delta O$  也可用电生理方法,以声参数调制诱发的皮层慢反应(SCR)作指标客观地测定,但不如用心理物理方法方便,测得数值也要大些(见表 1 第 3 行,  $\Delta f$  的例数为 23,  $\Delta I$  和  $\Delta O$  的只少数例,故只示数值范围)。

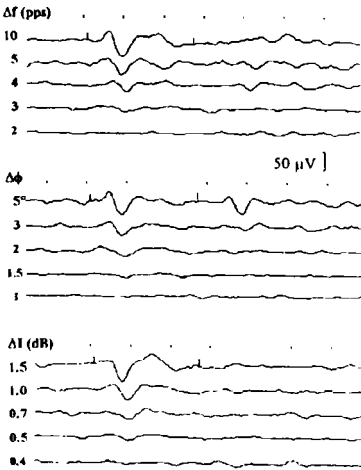
表 1 人和豚鼠的  $\Delta f$ 、 $\Delta I$  和  $\Delta O$

受试者	例数	$\Delta f$ (pps)	$\Delta I$ (dB)	$\Delta O$ (°)	方法
17~ 39 岁	110	1.3± 0.6	0.4± 0.2	0.9± 0.3	心理物理
40~ 67 岁	80	2.4± 2.2	0.8± 0.9	1.4± 1.1	心理物理
20~ 37 岁		3.0± 1.3	0.6~ 0.9	1.5~ 3.0	电生理
豚鼠	20	2.5± 1.1	0.5± 0.2	1.2± 0.5	电生理

### 4 豚鼠 $\Delta f$ $\Delta I$ 和 $\Delta O$ 的测定

表 1 中还列入了听觉正常豚鼠的  $\Delta f$ 、 $\Delta I$  和  $\Delta O$  值,是用电生理方法测得的。豚鼠预先在颅骨颞区上安装慢性引导电极(脑膜外),手术恢复后在动物的清醒情况下,用平均处理技术记录由声参数调制诱发的皮层慢反应

(SCR),逐渐改变调制深度,刚能诱发可辨认电位的调制深度即定为辨别阈<sup>[3~9]</sup>。图 2 为在豚鼠  $\Delta f$ 、 $\Delta I$  和  $\Delta O$  测定的示例。SCR 的典型波形为正负正 3 相,第 1 正峰的潜伏期约为 50ms(从调制起始算起),反应的总时程为 100 至 200ms,最大振幅可超过 50 $\mu$ V。此示例各阈值分别为 3pps、1.5° 及 0.4dB。SCR 较多出现在调制起始之后(“给”反应),有时也出现在调制结束之后(“撤”反应;见  $\Delta O$  为 5° 时的反应)。“撤”反应的潜伏期可稍长。



3 组反应自上而下依次为调频、调相和调幅所诱发。时间点标间距为 80ms,每组第 1 条线上的短竖线示调制起始和结束,左端数字表示调制深度。

图 2 重复短声调频、调幅和调相在豚鼠诱发的皮层慢反应  
参考文献

1 Shao Dianhua et al. A reasonable evaluation of auditory function Proc 1st Asian Pacific Reg. Conf on Deafness, 1986; 366~ 370.  
2 杨琼华等. 正常人的调频感受阈. 生理学报, 1981; 33 57~ 65.  
3 杨琼华等. 声音的调幅感受阈. 生理学报, 1986 38 515~ 521.  
4 Liang Zhian et al. Slow cortical response evoked by amplitude modulation of sound and response thresholds in guinea pigs. Chin J. Acoust., 1988 7 157~ 163.  
5 邵殿华等. 重复短声调频在豚鼠诱发的皮层慢反应及反应阈. 生理学报, 1988; 40 349~ 355.

6 Lu Jianzhong et al. An approach to investigation of monaural phase detection. 14th ICA, 1992; H6- 4.

7 Shao Dianhua et al. Changes in auditory differential sensitivity after impulse noise exposure. 14th ICA, 1992; H5- 2.

8 王坚等. 催产素可改善豚鼠对声音强度、频率变化的辨别能力. 南京铁道医学院学报, 1992; 11: 131- 133.

9 Shao Dianhua et al. Frequency and intensity DL-curves in animals. III West Pac. Reg. Conf. Acoust., 1988; 2: 1103- 1106

## 学术活动

### 江苏省声学学会建声专业委员会来沪交流访问

应上海市声学学会建声专业委员会的邀请,江苏省声学学会建声专业委员会一行 10人在江苏省声学学会理事长、南京大学声学研究所吴文虬教授、孙广荣教授及东南大学建筑系柳孝图教授率领下于 4月 3日至 5日来上海交流参观和访问。访问组成员来自南京大学、东南大学、江苏省建筑设计院、省环科所、省环境监测站及江苏无锡堰桥噪声控制设备厂等单位。上海声学学会建声专业委员会主任章奎生高工负责并安排了这次兄弟省声学学会访沪活动事宜,上海市声学会上届理事长王季卿教授、理事吕玉恒高工及理事上海申华声学装备公司张明发总经理都参加了接待工作,这是两地声学学会之间组织开展的首次交流访问活动,对丰富并活跃声学会工作加深两地声学界同行的友谊和了解起到了积极的作用。

短短的 3天访问交流活动丰富又紧凑,先后到上海申华声学装备有限公司、中美合资松江欣昌减震器有限公司、浦东荷兰亨特建材集团公司等企业参观了消声器、隔声罩、橡胶软接管、减振器及金属穿孔板吸声材料等噪声、振动控制产品及其生产情况,听取了企业及工程应用情况的详细介绍。访问组也先后到正在紧张施工的上海大剧院现场听取了华东建筑设计研究院的建声设计及研究工作介绍,并参观了观众厅施工现场,在上海广电大楼参观了国内最大的多功能可调混响演播厅及国际会议中心大厅的声学设施等,又到建成不久的上海广播大厦参观了由日本 JVC设计、黄岩东保声学装饰工程有限公司负责施工并即将完工的 200m<sup>2</sup>音乐录音棚的声学装修;还参观了新建成的卢湾体育馆等许多建筑声学工程以及透明微穿孔板新型高架道路声屏障等。

通过近 3天的交流参观和访问,江苏声学学会访沪组成员都对上海声学学会的安排表示十分满意,他们认为这次访问看到了许多新的声学工程,新的材料产品,新的声学装备企业,也看到了上海改革开放和发展的新面貌,访问取得了很大的收获,是一次非常成功的专业学术交流活动,他们将期待着上海声学学会建声委员会择日赴南京交流访问。

章奎生