

气 导 听 力 零 级 测 量*

章句才

邓元诚

文光新

(中国计量科学研究院)

(甘肃省人民医院)

(北京市耳鼻咽喉研究所)

摘 要

本文报道了 1971 年后测得的 100 名正常听力的人, 在 100—10000 赫兹频率范围上的听力零级数值。经过 1976 年对 12 名受试者同条件的复核实验后, 用响度平衡法将初始耳机 TDH-39 (MX-41/AR) 的数值, 由实验仿真耳过渡给 NBS-9A 及 IEC-318 仿真耳的其它六种我国现有常用测听耳机。

一、引 言

由于科学文化水平的提高, 加之近代工业噪声的危害, 促进了听力科学考查实践的广泛开展。纯音测听是各类听力考查的基础, 它通过测听耳机, 给受试者一系列强弱可调的纯音信号, 通常有 125、250、500、1000、1500、2000、3000、4000、6000、8000、10000 赫兹等频率。信号强弱的“零分贝”起始值, 代表一个国家或地区的健康青年的听觉灵敏水平。在安静环境里将用一定型式的耳机所能听到的最弱声音耦合到一定型式的仿真耳装置上, 所输出的声压级叫做听力零级标准。

听力零级作为人的主观参量, 与人的生存环境、传统体素以及实验时的主、客观条件有一定联系。如噪声污染严重且持久作用的国家与地区, 普遍反映听力下降。国际上的声乐、语言等方面的专家在评述中国民族听觉灵敏时, 未见有相反的论断。所以, 虽有以欧洲人为基础的标准听力零级国际推荐值, 但还仍认为有必要测定中国人的听力零级数值。本文报道了自 1971 年起在北京、广州、兰州先后对 100 名正常听力受试者的实验测定零级数值, 并介绍了 1976 年对 12 名受试者的复核实验结果以及过渡到 NBS-9A 与 IEC-318 仿真耳的共七种我国常用测听耳机的数值。

二、正常听力受试者的产生

声学概念中的最低可听阈, 是受试者在消声室内面对声源的双耳听觉数值。听力零级是用耳机接触测量的单耳听觉。两者数值互不相等, 但可建立一定的换算关系^[1] (均以实验室测定为基础)。通过听力普查、现场统计得来的听力零级, 往往数值偏大。美国于 1969 年废除的旧标准就是先例。所以英国采用实验室抽样测定。作为抽样的受试对象的人数, 从数学统计的要求, 有较为稳定的 30 人就可获得代表性的数值。我们分别在三地进行了实验测定后得最

本文 1978 年 12 月 8 日收到。

* 参加复核与过渡阶段实验的还有陈建中、蒋渭鑫、封根泉、何毓葵、仇少玲、徐炯、周甲球、罗章珍、章汝威、王振华、汪安泰、林桂珍、戴苓萍、张林等同志。

后结果: 实验筹备阶段 10000 多人次的听力普查表明, 25 岁以上的青年往往在个别高频(常为 8000 或 10000 赫兹)的纯音处表现失聪。另外还证实 15—16 岁的青少年由于注意力集中的过程短, 容易疲乏, 故听力稳定性差。经过探讨, 确定本实验受试者的年龄组为 17—25 岁。并提出以下健康状况的要求:

1. 体质条件好:

1) 发育、营养正常: 男性身高 1.6—1.9 米, 体重 45—70 公斤; 女性身高 1.5—1.7 米, 体重 40—65 公斤, 不在怀孕期、哺乳期, 经潮期取数。

2) 无慢性病: 无结核病、肝病、肾病、风湿病、贫血病、精神病、畸形; 血压正常; 反应敏捷。

2. 听器官正常; 耳鼻咽喉正常: 外耳及鼓膜正常, 咽鼓管及鼻道通畅等; 无耳鸣、眩晕、耳流脓的既往史或现症。外耳道有较多耵聍时, 首先清理。

3. 无致聋因素: 未用过耳毒性药物, 如链霉素、卡那霉素、新霉素、奎宁等; 未经受有不良后果的爆震、射击、噪声及其它耳外伤。

由于本题所论正常听力组有异于最佳听力组, 故有必要阐明上述健康条件。为了实验能按时进行, 防止个别受试者影响全盘程序, 受试者反应敏捷是不可缺少的条件。

三、实验原则与方法

听阈在相当程度上受主观因素的影响, 为此, 必须使受试者有正常的思想情绪, 以避免受试时的听力异常状态, 达到听阈稳定^[5]。在整个测试过程中, 为防止听觉适应现象和大脑疲劳, 要给受试者以适当的休息, 以调整神经兴奋点, 松弛听觉, 更迭劳逸点。

在测试期间, 曾尝试由受试者本人调节信号, 寻找听觉阈值。但实验表明这种做法易受主观因素影响, 耗费时间长, 所得阈值的客观性差, 故全部实验都由实验者调节, 即将所用纯音信号逐个加至受试者之一耳, 用“极限法”调节强弱, 使受试者从“听到”至“听不到”之间的反应有三次以上的复现, 渐近阈值。文献[4-7]的调节量用为 1 分贝, 本实验设计使用的装置, 可达 0.1 分贝的连续可调, 这对于观察听觉的稳定性将会有较为可靠的保证。

正常听力的测定比病耳的临床测听细致, 受试者采用小幅度的手指示意, 不影响其收听微弱信号, 是一种较为适宜的反应方式。

关于测听耳机给耳翼的压力问题, 为了与常规测听吻合, 是以受试者感觉适可而又紧贴为原则。实验者在安放耳机时, 要注意声辐射的合适位置。

为减少生理噪声、环境噪声及信号的残留现象的影响, 耳机的纯音信号采用断续音, 信号持续 600 毫秒, 间隔 600 毫秒。

实验时如果仪器的调试和运转正常, 工作程序熟练, 主试、受试以及全盘仪器操作者之间配合好, 那么, 在读取一名受试者十一个纯音的一遍听力零级数值, 只需 10—15 分钟, 至多不超过 30 分钟。

四、实验装置

实验选用的测听耳机的型号为 TDH-39, 其耳垫为 MX-41/AR, 这是国内外普遍采用的测听耳机。实验中的纯音信号源引自 Kamplex 听力计, 其输出改用机外微调衰减器, 用以控

制输出信号的强弱。听力计的纯音频率由计数器 TR5178 及信号发生器 Muidhead D880 进行调节并监视。若在确定一个频率的单耳阈值后,就把耳机由真耳转到仿真耳上读数,将会消耗实验时间,拖长受试过程。为此,本实验用监视耳机代替测试耳机,在对受试者的测试过程中始终放在仿真耳上,当一侧耳的所有频率的阈值确定以后,利用耳机转换开关,用监视耳机读取零级。经过二耳机间频响特性与灵敏度的修正,就得到测试耳的零级值。监视耳对仿真耳的正压力为 0.5 公斤,做成圆柱形砵码,下底呈凹球面,使与耳机背相交成圆周。同时,使砵码在固定导槽中只作上下移动。由于这两项措施而使耳机在仿真耳上放置的重复性在 125 赫兹到 8000 赫兹的全频段上达 ± 0.2 分贝。

由于 TDH-39 耳机的一致性较好,故作为监视耳机与测试耳机间的修正值,不会给实验数据的处理带来多大不便,具体数值见表 1。

表 1 监视耳机与测试耳机间的修正值

频率(赫兹)	125	250	500	1000	1500	2000	3000	4000	6000	8000	10000
修正值(分贝)	0.2	1.4	1.3	1.1	1.3	1.4	1.2	1.3	0.8	0.9	3.7

全部实验在隔声良好的测听室进行,室环境噪声见表 2。

表 2 测听室的噪声情况

频率(赫兹)	125	250	500	1000	1500	2000	3000	4000	6000	8000	10000
噪声级, $\frac{1}{3}$ oct (分贝)	33—35	30—33	15—23	13—18	8—10	11—12	13—14	12—13	7—8	6	6

受试者一耳佩戴测听耳机,另一耳佩戴无信号的假耳机,两耳机均有一定隔声效果,隔声量见表 3。

表 3 测试耳机的隔声量

频率(赫兹)	125	250	500	1000	1500	2000	3000	4000	6000	8000	10000
隔声量(分贝)	10	10	15	20	25	25	30	30	25	25	30

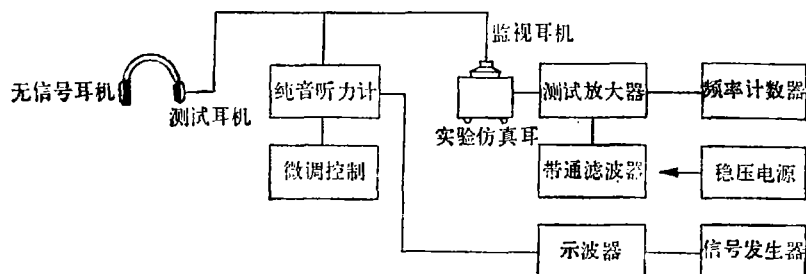


图 1 听力零级测定时实验装置方框图

由于耳机的隔声作用及测听室环境噪声不高, 加上人耳听觉还有从弱噪声中鉴别信号的一定能力, 故受试者可较清晰地察觉信号的调节。当遇到意外突发噪声时, 实验临时停顿。

全套实验装置的供电已经过稳压, 仪器使用见图 1;

各仪器经过校准后, 实验前后的准确度为:

- d_1 : D880 信号发生器频率准确度 $\pm 0.1\%$;
- d_2 : B&K2606 测试放大器表头准确度 $\pm 0.2\%$;
- d_3 : B&K2606 衰减器准确度 ± 0.1 分贝;
- d_4 : B&K2606 + B&K1614 滤波器在工作频率范围的频响特性 ± 0.2 分贝;
- d_5 : 仿真耳中电容传声器准确度 ± 0.2 分贝;
- d_6 : Kamplex 听力计衰减器在 0—50dB 档的准确度 ± 0.2 分贝;
- d_7 : TR5178 计数器频率准确度 $\pm 0.01\%$;
- d_8 : 监视耳机在仿真耳上的重复性 ± 0.2 分贝; 故本实验装置的标准误差为:

$$d = \left(\sum_{i=1}^8 d_i^2 \right)^{1/2} \simeq 0.6 \text{ 分贝}.$$

实验结果中, 耳机在受试耳上放置的重复性, 已包含在每遍零级读数的偏差中。

五、实验结果

根据 Jeffreys 统计原则^[8], 每名受试者测取 10 遍读数, 即 11 个频率共 110 个数值。各受试者的结果按 Chauvenet 数值舍弃标准^[9], 剔除偶然差错出现的个别数值, 然后将各受试者结果给予统计平均, 见表 4。实验数值剔除前、后的统计平均值相差不大于 ± 0.1 分贝, 说明实验数值是稳定的。

表 4 听力零级的分组实验数值

地点	受试者人数(个)	时间	频率(赫兹)	125	250	500	1000	1500	2000	3000	4000	6000	8000
北京	30	1971 年 7—10 月	零级(分贝)	46.9	25.3	13.9	8.9	8.3	8.2	9.7	10.1	9.0	9.8
			标准偏差(分贝)	1.4	0.9	1.0	0.4	0.6	0.5	0.5	0.5	0.7	0.6
广州	30	1972 年 6—9 月	零级(分贝)	46.2	23.8	10.9	7.7	6.9	6.5	7.7	8.5	7.6	9.2
			标准偏差(分贝)	0.9	1.1	1.3	0.7	1.0	1.1	0.9	1.0	0.8	1.0
兰州	30	1973 年 4—7 月	零级(分贝)	47.1	26.1	11.0	6.5	6.9	6.3	6.5	7.4	7.1	8.9
			标准偏差(分贝)	1.8	1.0	1.0	0.6	1.0	0.8	0.8	0.5	1.0	1.0
兰州 江浙籍	10	1973 年 7 月	零级(分贝)	47.1	26.4	11.9	6.8	6.7	5.9	6.7	6.8	7.5	8.4
			标准偏差(分贝)	1.5	1.5	1.3	0.6	0.9	0.9	0.9	0.4	1.4	2.0

表中四组数值在 500 赫兹以下的低频范围, 零级偏差不大于 3.0 分贝, 1000—3000 赫兹的中频范围, 偏差不大于 2.5 分贝, 4000—8000 赫兹的高频范围, 偏差不大于 3.5 分贝。人的听阈特性曲线中频较为平坦, 本实验数值也表明了中频段偏差较小的趋势。

将实验数据和受试者的性别、城乡作了对比的统计, 结果见表 5。

表 5 男性—女性、城市—农村的听力零级统计值(分贝)

项 目	人 数	125	250	500	1000	1500	2000	3000	4000	6000	8000
男 性	46	46.8	25.0	11.6	7.4	7.3	6.8	8.0	8.4	7.9	8.7
女 性	54	46.5	24.8	11.7	7.2	6.8	6.6	7.5	8.2	7.9	8.6
男—女		0.3	0.2	-0.1	0.2	0.5	0.2	0.5	0.2	0	0.1
城 市	37	47.0	25.2	12.0	7.5	7.1	6.9	7.8	8.4	8.1	8.8
农 村	63	46.0	24.5	11.2	7.0	6.8	6.3	7.5	8.1	7.7	8.5
城市—农村		1.0	0.7	0.8	0.5	0.4	0.6	0.3	0.3	0.4	0.3

由表 5 可知,女青年比男青年的听力略好,农村青年的听力比城市青年的听力稍好,但两者差异都不很明显。我们将 100 名受试者的数值作平均统计,结果见表 6。

表 6 中国人(北京、广州、兰州共 100 名)气导听力零级数值(分贝,参考 2×10^{-4} 牛顿/米²)

频率(赫兹)	125	250	500	1000	1500	2000	3000	4000	6000	8000	10000
气导零级 (分贝)	46.8	25.2	11.9	7.6	7.3	6.9	7.8	8.5	7.9	9.2	17.9
$\frac{1}{2}$ 分贝 进位值	47.0	25.0	12.0	7.5	7.5	7.0	8.0	8.5	8.0	9.0	18.5
标准偏差 (分贝)	1.4	1.0	1.1	0.6	0.9	0.8	0.8	0.7	0.8	0.9	1.4

六、复核实验与过渡结果

1976 年春夏,组织全国范围更广泛的科研、生产及应用部门进行了复核实验。复核受试对象 12 名,仪器情况、实验程序等同原实验。结果表明,11 个纯音有 7 个纯音的结果与原实验没有明显差异,只有两个纯音与原实验偏差较大,即 125 赫兹为 41.6 分贝与原值 46.8 分贝相差 5.2 分贝,6000 赫兹为 11.7 分贝与原值 7.9 分贝相差 3.8 分贝。125 赫兹纯音由于与受试者呼吸等低频生理噪声相近,只有在足够低能的测听环境才便于辨别。复核实验在背景噪声为 12 分贝(A)的消声室内进行,比 20 分贝(A)的原测听室更为安静,故此次复核结果数值更小。为此,再将受试者连同仪器返回原测听室测试后,果然 125 赫兹的零值回到 47.2 分贝。根据本课题对中国二十个民族所统计的外耳道长为 2.5 厘米,测量外耳频响表明 6000 赫兹附近声场不均匀,该纯音的零级偏差较大,可能是原因之一。

通过复核实验,在国内有关声学、耳科学部门召开的讨论会上,赞同将实验结果从实验室转入测听实践考察。为此,从 1976 年冬到 1977 年春,选用 10 名受试者,将上述听力零级基本数值过渡到三种仿真耳及我国测听常用的七种耳机,结果见表 7—9。

七、与国际标准值对比

ISO 的 389 推荐及 1712 推荐草案给出某些测听耳机的听力零级数值^[10, 11]。现将其中的

表 7 测得的气导听力等级在使用不同耳机和仿真耳时的数值(分贝,参考: 2×10^{-5} 牛/米²)

仿真耳	耳机	频率(赫兹)	250	500	1000	1500	2000	3000	4000	6000	8000	10000
实验仿真耳	千阳5号	50.5	31.0	20.5	11.7	10.9	11.4	6.5	6.7	2.6	5.8	13.0
	上海3号	42.2	23.0	13.3	6.4	6.6	9.0	8.0	9.2	6.9	14.5	24.6
	TDH-39	46.8	25.2	11.9	7.6	7.3	6.9	7.8	8.5	7.9	9.2	17.9
	TDH-49	46.3	23.7	10.8	7.1	7.8	6.9	5.6	9.7	4.0	11.1	14.6
	DI-48	41.9	23.2	10.0	5.1	7.2	7.9	6.7	6.6	2.8	5.3	18.2
	Amplivox	44.3	24.9	14.5	6.1	6.3	4.5	6.8	5.4	3.7	5.4	15.3
	Beaton	43.8	23.5	7.2	5.0	4.5	1.8	-3.0	4.3	2.0	7.1	13.0
	千阳5号	54.6	32.3	20.4	11.3	9.0	7.5	2.7	3.7	-2.3	1.3	7.2
	上海3号	40.5	18.1	9.9	7.2	7.5	9.6	8.4	11.7	9.5	10.4	14.7
	TDH-39	40.7	24.5	11.2	6.8	6.5	5.6	8.2	7.7	3.1	0.2	10.9
NBS-9A	TDH-49	45.6	22.5	9.9	6.2	6.8	5.4	6.5	8.6	2.8	5.6	6.1
	DI-48	43.5	22.4	9.5	5.1	5.1	5.5	4.5	3.8	2.1	3.7	10.4
	Amplivox	45.4	32.0	13.5	4.9	5.1	3.2	7.5	3.4	4.0	2.0	7.1
	Beaton	44.7	21.4	6.4	4.2	4.4	2.6	0.3	14.6	-4.7	-1.3	5.6
	千阳5号	50.7	30.2	21.2	11.5	9.9	11.2	6.7	6.9	3.0	5.1	13.5
	上海3号	41.2	21.2	12.8	5.7	5.5	8.3	7.6	8.1	7.6	15.1	23.1
IEC-318	TDH-39	47.5	25.1	12.5	7.4	7.0	7.0	8.2	8.5	7.4	10.6	17.3
	TDH-49	44.1	22.5	10.4	6.6	6.9	6.2	5.4	9.1	2.6	13.2	12.2
	DI-48	40.6	22.4	10.0	4.9	6.2	7.4	7.8	7.1	3.2	4.0	15.0
	Amplivox	43.0	24.2	15.2	5.8	5.7	4.3	6.6	6.0	3.1	5.5	15.6
	Beaton	41.7	20.1	3.5	1.6	3.3	1.8	-4.7	2.4	-1.2	5.7	12.2

表 8 测得的气导听力零级表 7 的 0.5 分贝进位值(分贝,参考: 2×10^{-3} 牛顿/米²)

仿 真 耳	频率(赫兹)	125	250	500	1000	1500	2000	3000	4000	6000	8000	10000
实验仿真耳	千阳 5 号	50.5	31.0	20.5	11.5	11.0	11.5	6.5	6.5	2.5	6.0	13.0
	上海 3 号	42.0	23.0	13.5	6.5	6.5	9.0	8.0	9.0	7.0	14.5	24.5
	TDH-39	47.0	25.0	12.0	7.5	7.5	7.0	8.0	8.5	8.0	9.0	18.0
	TDH-49	46.5	23.5	11.0	7.0	8.0	7.0	5.5	9.5	4.0	11.0	14.5
	DT-48	42.0	23.0	10.0	5.0	7.0	8.0	6.5	6.5	3.0	5.5	18.0
	Amplivox	44.5	25.0	14.5	6.0	6.5	4.5	7.0	5.5	3.5	5.5	15.5
NBS-9A	Beoton	44.0	23.5	7.0	5.0	4.5	2.0	-3.0	4.5	2.0	7.0	13.0
	千阳 5 号	54.5	32.5	20.5	11.5	9.0	7.5	2.5	3.5	-2.5	1.5	7.0
	上海 3 号	40.5	18.0	10.0	7.0	7.5	9.5	8.5	11.5	9.5	10.5	14.5
	TDH-39	49.5	24.5	11.0	7.0	6.5	5.5	8.0	7.5	3.0	0	11.0
	TDH-49	45.5	22.5	10.0	6.0	7.0	5.5	6.5	8.5	3.0	5.5	6.0
	DT-48	43.5	22.5	9.5	5.0	5.0	5.5	4.5	4.0	2.0	3.5	10.5
ILC-318	Amplivox	45.5	32.0	13.5	5.0	5.0	3.0	7.5	3.5	4.0	2.0	7.0
	Beoton	44.5	21.5	6.5	4.0	4.5	2.5	0.5	14.5	-4.5	-1.5	5.5
	千阳 5 号	50.5	30.0	21.0	11.5	10.0	11.0	6.5	7.0	3.0	5.0	13.5
	上海 3 号	41.0	21.0	13.0	5.5	5.5	8.5	7.5	8.0	7.5	15.0	23.0
	TDH-39	47.5	25.0	12.5	7.5	7.0	7.0	8.0	8.5	7.5	10.5	17.5
	TDH-49	44.0	22.5	10.5	6.5	7.0	6.0	5.5	9.0	2.5	13.0	12.0
	DT-48	40.5	22.5	10.0	5.0	6.0	7.5	8.0	7.0	3.0	4.0	15.0
	Amplivox	43.0	24.0	15.0	6.0	5.5	4.5	6.5	6.0	3.0	5.5	15.5
	Beoton	41.5	20.0	3.5	1.5	3.5	2.0	-4.5	2.5	-1.0	5.5	12.0

表 9 七种耳机在不同仿真耳上的离差值的对比(分贝,参考: 2×10^{-5} 牛顿/米²)。

仿真耳名称	离差值	125	250	500	1000	1500	2000	3000	4000	6000	8000	10000 (赫兹)	平 均
实验仿真耳	平均差	2.4	1.8	3.0	1.5	1.2	2.2	2.4	1.7	1.8	2.8	3.1	2.2
	标准差	2.8	2.6	3.9	2.1	1.9	2.9	3.5	1.9	2.1	3.2	3.8	2.8
NBS-9A	平均差	5.4	4.2	3.1	1.6	1.3	1.7	2.5	3.4	3.2	2.9	2.7	2.7
	标准差	4.2	5.0	4.1	2.2	1.5	2.2	2.8	4.0	4.2	3.6	3.0	3.3
IEC-318	平均差	2.8	2.4	3.7	2.0	1.4	2.1	2.6	1.5	2.2	3.9	2.7	2.7
	标准差	3.4	3.1	5.0	2.8	1.8	2.8	4.2	2.1	2.8	4.1	3.4	3.2

表 10 本文零级与 ISO 零级对比 (NBS-9A, TDH39/MX-41/AR)

频率(赫兹)	125	250	500	1000	1500	2000	3000	4000	6000	8000
ISO 推荐零级(分贝)	45.0	25.5	11.5	7.0	6.5	9.0	10.0	9.5	15.5	13.0
本文零级(分贝)	49.5	24.5	11.0	7.0	6.5	5.5	8.0	7.5	3.0	0
差值(分贝)	-4.5	1.0	0.5	0	0	3.5	2.0	2.0	12.5	13.0

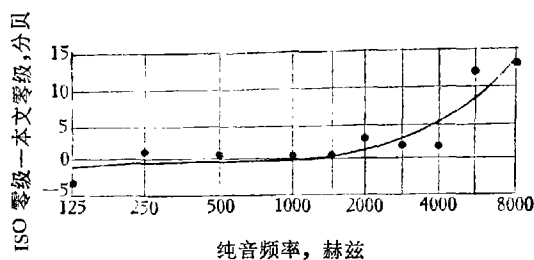


图 2 ISO 零级减本文零级曲线

TDH39 耳机数值与本文的基础数值对比见表 10, 对应曲线见图 2 所示。

两组数值的对比指出, 本文值与 ISO 值间有四个纯音 (250、500、1000、1500 赫兹) 彼此无显著差异, 有四个纯音 (125、2000、3000、4000), 差别不大, 两个纯音 (6000、8000 赫兹) 彼此有较大差异。若两组数值取得的实验方法、仪器条件及抽样对象彼此等权, 则中频一致, 低频较差, 高频较灵敏。

八、讨 论

根据过渡数值统计得出的表 9, 指出本实验仿真耳的七种耳机听力零级的离差值与标准差, 均不大于 NBS-9A 及 IEC-318 仿真耳上的值, 这表明用本实验仿真耳取得的基础数值是可靠的。

本题自测定中国人外耳道长、外耳频响^[12]开始, 直至本文的听力零级, 都为听力、语言等方面提供了基本参量。

· 本文的实验工作,得到马大猷、魏荣爵、徐荫祥、姜泗长、王宝华、程锦元、梁之安、刘千、刘铤、于渤、杜铭心等同志的指导与支持,谨此一并致谢。

参 考 文 献

- [1] Brinkmann, K., *Acustica*, 28(1973), 147—154.
- [2] Roninson, K. W., *Ann. Occup. Hyg.*, 2(1960), 107—126.
- [3] Delany, M. E., et al., *Acustica*, 18(1967), 231—237.
- [4] Dadson, R. S., King, J. H., Jr. *Laryng, and Otol.*, 66(1952), 366—378.
- [5] Wheeler, L. J., et al., *Jr. Laryng, and Otol.*, 66(1952), 379—395.
- [6] Knight, J. J. et al., *Jr. Acousl. Soc. Am.*, 32(1960), 800—804.
- [7] Grigigs, W., *Jr. Acust. Soc. Am.* 28(1956), 1110—1112.
- [8] Jeffreys, *Proc. Roy. Soc. (London)*, 138A(1932), 48.
- [9] Chauvenet, *Spherical and Practical Astronomy*, II. 558. Lippincott, Philadelphia, 1968.
- [10] *ISO Recomendation*, R389.
- [11] *ISO Draft Recomendation*, 1972.
- [12] 章句才等,科学通报,23(1979),1074—1078.