

声级计上传声器的正确使用*

沈保罗 编译
(同济大学声学研究所)

前 言

在国内,声级计上的电容传声器应该选用什么型号,是个引起争议的问题。有的主张用自由场传声器,有的却认为在某些测量场合下用声压传声器或无规入射传声器更好。在国外,这个问题同样存在。对于声级计,大西洋两岸有两种不同的标准。美洲大多数国家,声级计是按照美国国家标准 ANSI S 1.4^[1]制造的,规定用无规入射传声器;而在欧洲、亚洲,声级计是按照国际电工委员会 IEC651 文件^[2]或早先的 179 文件制造的,唯一不同的是规定用自由场传声器,其参考方向由厂商确定,一般取 0° 入射。两种声级计测得的结果在高频端甚至差达 6~7 分贝。本文将从传声器的基本概念出发,来阐述产生这种差异的原因,并给出两种声级计的各自适用范围。符合 IEC 标准的声级计用在已知声波方向的自由场测量,会给出更精确的结果,而符合 ANSI 标准的声级计,则用于扩散声场中测量较为满意。随着积分声级计的出现,问题变得更为尖锐。希望有关声级计的两种标准并用,以使得用不同声级计测

能校准。实际上如果换能器是转动的并且换能器的散射表面是充分大,使得有足够的光返回到干涉仪,则横向运动的分量也将能检测到。这就意味着实际上剪切波换能器能被监视。

(4) 该仪器是手提式的并能在有干扰的工业环境中使用。

(5) 该仪器能与低功率激光器或对眼睛

得的结果相一致。

在平面行波中的传声器

图 1 为传声器放在声压为 p 的平面行波场中在其周围的声压分布。图 1a 为 0° 入射,即声波垂直入射到传声器膜片。由于传声器对声波的绕射和散射,膜片处的声压级增量 ΔL_p (相应声压增量为 Δp) 在某些频率高达 10 分贝。 ΔL_p 依赖于声波波长与传声器(看作圆柱体)直径之比值,对于确定的传声器直径, ΔL_p 仅与频率有关。

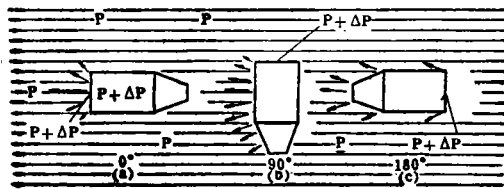


图 1 传声器置于自由声场中其膜片处的声压 $p + \Delta p$
(a) 声波方向垂直于膜片(0° 入射);
(b) 声波掠入射膜片(90° 入射);
(c) 声波来自背后(180° 入射)

图 2 为 $1/2$ 吋传声器的实验结果。从其

*本文主要选自 B & K «Technical Review» 1983 No.4 PP3-23。

安全的激光器一起使用,所以它不违反工业安全法。

(6) 建议将这样的仪器作为原始标准,其它定量标准设备以它作为对照标准。

(周根祥 译自 «Conference on The Evaluation and Calibration of Ultrasonic Transducers» pp.106-111, 蒋廷华校)

0° 入射曲线知道, 当传声器小于波长时, ΔL_p 可被忽略。对 1/2 吋传声器, 在 3 千赫附近 ΔL_p 开始上升, 而在 22 千赫附近达到最大, 更高频率处 ΔL_p 变化非常不规则 (图中只画到 20 千赫)。如果按图 1b 所示将传声器旋转 90° (掠入射), 膜片处声压级增量 ΔL_p 较小, 在不同频率有的是正值, 有的是负值, 见图 2 中 90° 入射曲线。若按图 1c 将传声器旋转 180°, 膜片处于圆柱体的“阴影”中, ΔL_p 主要是负值, 见图 2 中 180° 入射曲线。

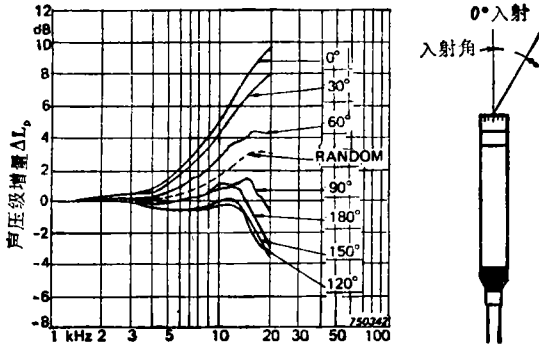


图 2 对于如图 1 所示的不同入射角度, 声压级增量 ΔL_p 与频率的关系 (曲线适用于带有护罩的 1/2 吋 B&K4165 型电容传声器)

必须指出, 传声器的频率响应曲线与下列因素有关: 膜片质量和应力、膜片与后极板的间隙、后极板上的孔数, 以及内部空气容积的形状和大小等。而图 2 中的 ΔL_p 曲线只依赖于声波入射角度、声波频率、传声器的外形和尺寸, 换句话说, 对于相同外形和尺寸的传声器具有同样的 ΔL_p 曲线形状, 它只与声波入射角度和频率有关。因此, 对于某种类型带有护罩的传声器, 只需测得一组 Δp 曲线就够了, 而不必象频率响应曲线那样须对每只传声器进行测量。

如果传声器直径小到 1.5~3 毫米, 在可听声范围内 ΔL_p 可能与入射角度和频率无关。但这是不现实的, 这样小的传声器灵敏度太低, 无法测量低频声波和低声级, 过薄的膜片会使传声器代价昂贵, 且容易破碎, 而耐

化学腐蚀性能也变差。声级计常用的传声器直径在 10~25 毫米之间, 较大的 ΔL_p 正好落在常用频段内。

传声器的三种灵敏度

测量用的传声器常为电容传声器, 每只传声器都有三种灵敏度。

1. 自由场灵敏度 M_F 定义为:

$$M_F = \frac{\text{输出开路电压 } e}{\text{自由场中声压 } p} \quad (1)$$

由图 2 看出, M_F 与入射角有关。参考入射角一般选 0°, 其原因是 0° 入射时灵敏度随入射角的变化最小, 允许在一个较宽的入射角范围内进行较为精确的测量。另外, 0° 入射的自由场频响曲线平直范围在高频端比其他入射角度几乎扩展了一个倍频程。 M_F 可在消声室中用互易法测得。

2. 声压灵敏度 M_p 定义为:

$$M_p = \frac{\text{输出开路电压 } e}{\text{膜片处声压 } (p + \Delta p)} \quad (2)$$

它主要适用于人工嘴中的声压反馈、人工耳测量等场合, 在那里重要的是膜片处的声压。声压灵敏度与入射角无关, 只依赖于频率。 M_p 和声压响应曲线一般用 B/K4143 型互易校正仪测得。把图 2 中某入射角的 ΔL_p 曲线加到声压响应曲线上, 就得到该入射角的传声器自由场响应曲线。

3. 无规入射灵敏度 M_R 定义为:

$$M_R = \frac{\text{输出开路电压 } e'}{\text{扩散声场中传声器放入前的声压 } p_R} \quad (3)$$

M_R 可由下列公式得到:

$$M_R = K_1 M_0^2 + K_2 M_{30}^2 + K_3 M_{60}^2 + K_4 M_{90}^2 + K_5 M_{120}^2 + K_6 M_{150}^2 + K_7 M_{180}^2 \quad (4)$$

式中 $M_0, M_{30}, \dots, M_{180}$ 分别为各对应声波入射角的自由场灵敏度, $K_1 = K_7 = 0.018, K_2 = K_6 = 0.129, K_3 = K_5 = 0.224, K_4 = 0.258$ 。把图 2 中无规入射时的 ΔL_p 曲线 (对每一频率, 它由不同入射角时的 ΔL_p 按公式 (4) 相应算得) 加到声压响应曲线上就得到无规入射响

应曲线。三种灵敏度的数值在高频端常有 $M_F(0^\circ) > M_R > M_d$ 。

图3给出B/K4134和4133(均为1/2吋)传声器的三种响应曲线,其尺寸、外罩几何形状均同,故 ΔL_p 曲线全同。但与图2中4165型外形有区别,因此各自的 ΔL_p 曲线亦不同,可从有关说明书中查到。图3a中的B/K4134型,其声压响应曲线相当平坦,故称为声压传声器(其末尾为双数,亦称双号传声器);

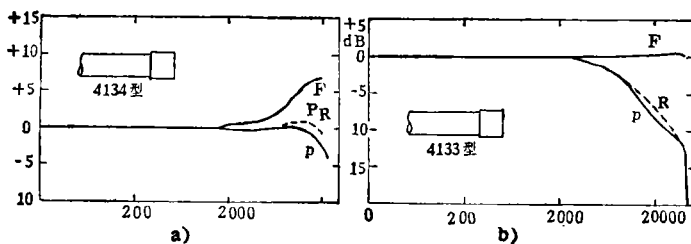


图3 0° 入射自由场响应F、无规入射响应R和声压响应p:(a)4134型声压传声器、(b)4133型自由场传声器

不同声场中各种传声器的差异

如果把一只由ANSI S 1.4所规定的无规入射传声器(例如4134型)放到自由声场中,并使声波 0° 入射,见图4a,此时测得的声压会高得多。这是由于该传声器的 0° 入射自由场响应在高频处比无规入射响应大得多。从图3a可清楚看出,对4134型,其差值在4千赫处为1分贝,8千赫处为2.5分贝,而对于更高频率可达7分贝。这个结果告诉我们,按ANSI S 1.4所规定的声级计在自由场中测量时,不应象按IEC651所规定的那样 0° 入射。那末声波到底以什么角度入射,其自由场响应与无规入射响应最接近呢?从图2可知, 75° 入射能满足此要求。亦就是说,按ANSI S 1.4所规定的声级计在室内、外测量时,如果声波主要来自某一方向,则应按图4(b)所示 75° 入射。

若把一只按IEC651所规定的自由场传声器(0° 入射),例如4133型,放到扩散声场中会测得过低的声压。因为由图3b可知,在

而图3b中的B/K 4133型其 0° 自由场响应曲线非常平坦,称为自由场传声器(同样亦称作单号传声器)。如果传声器的无规入射响应曲线平坦,则就称作无规入射传声器。由于无规入射响应与声压响应十分接近,有时声压传声器和无规入射传声器名称混用。在尺寸不小于1/2吋的传声器中,B/K 4134型的无规入射响应曲线平直段的频带最宽,非常适用于扩散声场中测量^[4]。

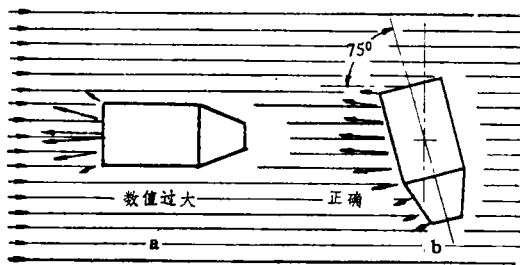


图4 自由场中的无规入射传声器:
(a)指向声源会给出过大的数值;
(b) 75° 入射将给出正确的自由场响应

高频端无规入射响应比 0° 入射自由场响应低得多。无疑,此时采用无规入射传声器是合适的。

但在许多实际情况下,要正确判断声波来自哪个方向或者判断是否存在反射是不可能的,亦即待测的声波来自不同方向。因此,希望确定一个入射角范围,在这范围内所有声波均会被正确测得。图5为带有护罩的 $\frac{1}{2}$ 吋4165、4166型传声器方向性图形。以12.5千赫为例,一只4165型自由场传声器 0° 入射时,若声波来自 $0^\circ \sim \pm 33^\circ$ 范围测得的误

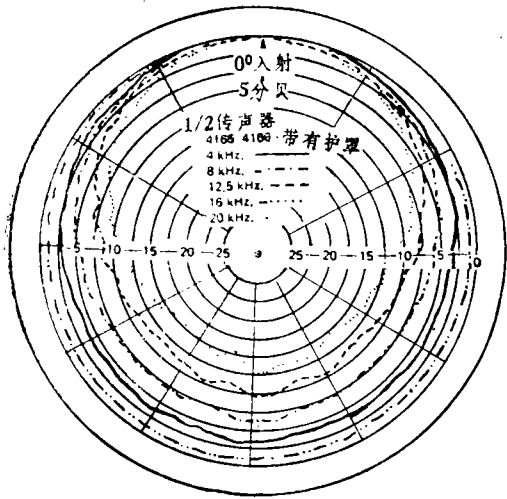


图 5 带有护罩的4165、4166型传声器方向性图形

差为 0~-1 分贝，而对于 4166 型无规入射传声器 75° 入射时，测得误差为 ±0.5 分贝的圆锥角仅为 ±6°。

图 6 给出了 1/2 吋和 1 吋自由场传声器误差为 0~-1 分贝以及 1/2 吋和 1 吋无规入射传

声器误差为 ±0.5 分贝的入射角范围。可以看出，自由场传声器的适用角度范围比无规入射传声器大得多。

两种声级计的各自特点和适用范围

两种声级计各有其特点

在室外测量时，声源位置往往是已知的，故可选择 0° 入射。图 7 为一种按 ISO 建议标准 326^[5] 测量汽车噪声的标准化方法。从图中看出，到达声级计处的直达声和反射声间的夹角约为 15°~30°。由于地面看作全反射，两种声波的声压同数量级。由图 5 知，在 0°~±30° 范围内，传声器灵敏度的变化极小，因此用自由场传声器两种主要声波都能被正确测得。若用无规入射传声器使直达声 75° 入射，而反射声偏离入射角 15°~30° 到达，由图 5 知，在掠入射附近，入射角的微小变化会导致灵敏度的很大变化。图 7 右边是保持直达声 75° 入射的无规入射传声器的两个

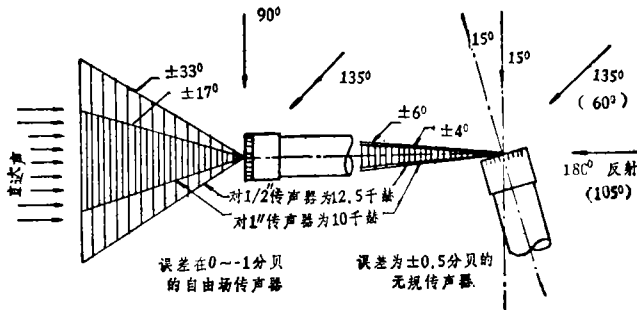


图 6 1/2吋、1吋自由场传声器误差为0~-1分贝以及1/2吋、1吋无规入射传声器误差为±0.5分贝的入射角范围

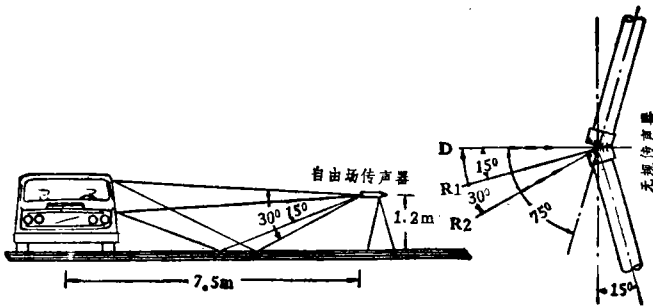


图 7 按照 ISO 建议标准326测量汽车噪声(直达和反射声是用 IEC651 规定的声级计(左)和 ANSI S1.4 规定的声级计(右)测得的)

位置A和B,表1是这两个位置所引起的声压级差异。ISO建议标准326规定这个试验要求满功率加速,因而冷却风扇噪声、开足油门时的进风口噪声、轮箍噪声等较为主要,这些噪声主要成份是5~12千赫高频。综上所述,用IEC651所规定的声级计对汽车、摩托车、飞机等进行室外标准化噪声试验是非常合适的。

表1 无规入射传声器的两种位置A和B所引起的声压级的差异 (分贝)

频率	4千赫		8千赫		16千赫	
	A	B	A	B	A	B
无规入射传声器						
直达声	0.1	0.1	-0.1	-0.1	-1.0	-1.0
反射声 R ¹	0.4	-0.1	0.7	-0.5	1.5	-2.2
反射声 R ²	0.6	-0.2	1.4	-0.9	2.8	-3.6

然而,对于某些室内测量,情况刚好相反。例如,在一个充分混响的大车间内测量总声级时,声波来自各个未知方向,此时用ANSI S 1.4规定的声级计较为合适,若用IEC651规定的声级计测得值会过低。在同一车间内,若要测量特定机器附近的操作者位置处的噪声时,声波来自一个方向几率最大;还有,如果车间的混响时间较短,主要声波很可能来自一个方向,在这两种情况下,还是用IEC651规定的声级计较为正确。

测量各种机器和设备的声功率在一系列ISO标准中已有描述。主要有自由场(消声室内或室外)测量和混响室测量两种。无疑,前者用自由场传声器,后者用无规入射传声器。若在混响室中用自由场传声器,在高频端声压级低3~5分贝是常有的事。

表2给出两种声级计的适用场合。从中看出自由场传声器的使用场合占大多数,这也是IEC651规定声级计用自由场传声器的理由之一。自由场传声器还有助于遏制反射声或噪声。因为0°入射时,传声器膜片上的声压增量最大,在实际测量中这是一个很大

表2 两种声级计的适用场合

测量对象	IEC651规定的声级计 (配自由场传声器)	ANSI S 1.4规定的声级计 (配无规入射传声器)
室外	适用	
汽车	适用	
摩托车	适用	
一般交通噪声	适用	
飞机—外面 —里面	适用	适用
船舶—外面 —里面	适用	适用
工厂外面	适用	
充分混响的车间内		适用
吸声较强的车间内	适用	
车间内的机器	适用	
ISO 3741混响室内声功率测量		适用
ISO 3745消声室内声功率测量	适用	
通风系统		适用

的优点。例如,按ISO建议标准326测量汽车噪声时,规定选点应远离建筑物和其他大的反射面是可能做到的,但小的反射体如树干、三角架、仪器操作者等等是难以避免的。此外,在交通噪声和住宅噪声中,有时希望估计来自单个声源的噪声,即只测直达声,而把反射声和噪声的干扰减至最小。为便于比较,对两种类型传声器,表3列出相对于直达声为90°、135°和180°到达的反射声的遏制量,亦可参照图6。从表3中可知,当一只无规入射传声器用于自由场测量时,180°到达的反射声遏制不显著,小于180°到达的反射声或噪声实际上是放大的。而1吋传声器比1/2吋具有更大的遏制效果。

综上所述,与自由场中用无规入射传声器相比,自由场传声器的优越性可归纳如下:

1. 对于声波入射角在±30°之间,其灵敏度变化不大,从而确保高精度。
2. 有较宽的频率范围,在高频端几乎扩展一个倍频程。

表3 以相对于直达声的各个角度到达的反射声和噪声的遏制量(分贝)

相对于直达声的反射声方向	带有护罩的传声器型号											
	1/2吋传声器						1吋传声器					
	4165 自由场型—F 4166 无规型—R						4145 自由场型—F 4144 无规型—R					
	90°		135°		180°		90°		135°		180°	
频率	F	R	F	R	F	R	F	R	F	R	F	R
1千赫	0	0	0	0	0	0	-0.5	+0.5	-1.0	+0.5	-0.5	0
2千赫	-0.5	0	-0.5	0	-0.5	0	-1.0	+1.0	-1.5	+0.5	-1.0	-0.5
4千赫	-1.0	+1.0	-1.5	+0.5	-1.0	-0.5	-3.0	+2.0	-4.0	+1.0	-3.0	-1.0
8千赫	-3.0	+2.0	-4.0	+1.0	-3.0	-1.0	-7.0	+5.0	-10	+4.5	-8.0	-2.5
16千赫	-8.0	+5.5	-10.5	+1.5	-9.5	-4.0	-20	+14	-22	+3.5	-21	-8.0

注：表中‘-’表示遏制，‘+’表示放大

3. 可有效遏制反射声和噪声对直达声的干扰(2~5分贝)。

积分声级计

IEC 和 ANSI 标准所考虑的仪器只是普通声级计，而随着积分声级计^[6]的出现，必须对上述标准进行某些修改。积分声级计具有存储大量取样数的能力，并可在任一时间间隔内由内装的计算功能算出等效连续声级。由于长时间测量时，瞬时声级的变化常常是很大的，故常要求有足够的动态范围，文献[6]中规定1型积分声级计至少应有60分贝动态范围。

如果把积分声级计安装在一个固定位置和方向上，早先涉及到的有关自由场传声器与无规入射传声器的讨论仍然适用，表2的建议对积分声级计亦有效。

若把积分声级计转一圈，则可对所有不同方向进行平均，此时如果配备自由场传声器将会给出过低的数值。而装上一只无规入射传声器就较为合理，然而这只有当积分声级计在相等的时间间隔内指向空间的所有方向才是正确的。只在一个平面内把积分声级计转一圈会引入2~5分贝误差。如图8所示，通过复盖空间所有方向的几个平面来旋转积分声级计是十分重要的。

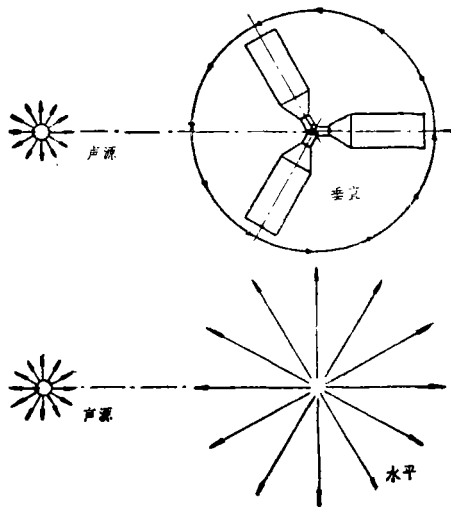


图8 在几个平面内旋转积分声级计

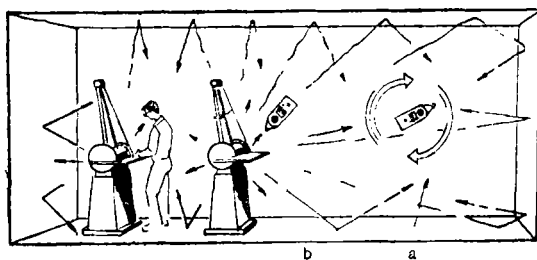


图9 车间内的噪声测量:

- (a) 图例说明旋转配有无规入射传声器的积分声级计的情况，在几个平面内旋转给出所有方向的正确平均；
- (b) 配有自由场传声器的声级计在测定操作者位置处的声级时，应在整个测量时间内直接指向声源

测量车间内或任何其他房间内的平均声级，积分声级计容易得到精确结果。在房间内的所有空间相等地移动积分声级计，同时指向所有方向，就能得到声级的时间、空间平均值。通常，连续测量1分钟就足以给出一个非常可信的结果；见图9a。用积分声级计，结果可重复性达零点几分贝，而一般声级计会有几分贝的变化。

结 论

通常对室内测量，特别是用积分声级计，以及在混响室内测量声功率，必须使用配有无规入射传声器的声级计。对室外和消声室内测量，须使用配有自由场传声器的声级计。一只积分声级计通常必须配备下述所列之一：

1. 两只传声器，一只自由场型，一只无规入射型；
2. 一只自由场传声器和一只无规入射

校正器；

3. 一只带开关的放大器，从电路上来改变自由场响应和无规入射响应。

在有关噪声测量的标准中，描述仪器部分应注明采用哪种传声器，并希望关于声级计的两种标准并用，并明确给出每种声级计的使用场合。

参 考 文 献

- [1] ANSI S 1.4 美国国家标准，关于声级计的技术规格，S1.4，1983
- [2] IEC 651 声级计，国际电工委员会标准，651 文件(1979)
- [3] IEC 791精密声级计，IEC179文件(1965和1973)
- [4] 沈保罗、方启文：“扩散声场中测试电容传声器的选用”，上海市第一届声学学会年会报告，1983年10月
- [5] ISO R362-1964——机动车辆噪声测量，国际标准化组织
- [6] IEC 草稿，积分式声级计，29C(秘书处)37，1980年10月

全国声波测井技术学术讨论会在南京召开

1984年3月28日到4月2日中国石油学会地质学会在南京召开全国首届声波测井学术讨论会，历时7天。应邀参加这届学术讨论会的代表分别来自有关省市石油学会、中国科学院、石油工业部、地质矿产部、煤炭工业部所属厂矿、油田、地质普查勘探单位，以及大专院校共86个科研、教学和生产部门。

石油工业上，声波测井信息广泛用于地质勘探和开发，预测地层孔隙压力，了解工程质量，估算岩石力学参数以及预测油(气)蕴藏等。在煤田勘探中，应用声波测井技术可提高对煤层定性定厚的可靠性。在水文和工程地质方面，利用声波测井资料可以

划分岩石风化带和了解结构面状况等。近年来，声波测井在应用、仪器研制，基础理论和解释地质资料方面都有了很大的发展。

这次会议共交流学术论文48篇，其中包括理论研究、基础实验、资料解释方法和仪器研制，基本上反映了我国目前测井技术的水平。

为了迅速提高我国声波测井技术水平，适应我国工业建设的需要，会议组织了代表针对目前的实际水平，根据声波测井技术的发展趋势，从基础理论研究，解释方法和应用、仪器改进和研制等方面开展讨论并提出建议。

(编辑部)